

621.396
X 21

KOV, D.A.DAVRONBEKOV, J.F. KURBANOV

RAQAMLI MOBIL ALOQA VOSITALARI



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
MAXSUS TALIM VAZIRLIGI

A.A.XALIKOV, D.A.DAVRONBEKOV, J.F. KURBANOV

RAQAMLI MOBIL ALOQA VOSITALARI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan oliy o'quv yurtlarining 5311000 – Texnologik
jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish
(temiryo'l transportida) ta'lim yo'nalishi talabalari uchun
darslik sifatida tavsiya etilgan*



«O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati» nashriyoti
Toshkent – 2018

UOʻK: 621.395(075.8)

KBK: 32.884.1

X 21

Xalikov, A.A.

X 21 Raqamli modul aloqa vositalari [Matn] : darslik / A.A.Xalikov, D.A.Davronbekov, J.F.Kurbanov. — Toshkent: «Oʻzbekiston faylasuflari milliy jamiyati» nashriyoti, 2018. — 556 b.

UOʻK: 621.395(075.8)

KBK: 32.884.1

Ushbu darslikda toʻrtinchi avlod mobil va keng polosali aloqa tizimlarining rivojlanishi tarixi, 4G avlod tizimlari haqida asosiy tushunchalar, mobil va keng polosali aloqa tizimlarining keyingi rivojlanishi istiqbollari koʻrib chiqilgan. Harakatdagi radioaloqa tizimlarining rivojlanish tahlili, ularning sinflarga boʻlinishi, sotali tizimlarning evolyutsiyasi keltirilgan. LTE mobil aloqa texnologiyalarining, Wi-Fi va WiMAX keng polosali simsiz aloqa tizimlarining oʻziga xos xususiyatlari koʻrsatilgan.

Darslik oliy taʼlim muassasalari talabalari va mobil aloqa sohasida faoliyat koʻrsatuvchilarga moʻljallangan.

Taqrizchilar:

A. Abdukayumov — prof. (TTYMI);

A. Mannapov — texnika fanlar nomzodi, dotsent (TTYMI);

E. Uljayev — texnika fanlar nomzodi, dotsent (TDTU).

ISBN 978-9943-5488-0-0

© «Oʻzbekiston faylasuflari milliy jamiyati» nashriyoti, 2018

SO'ZBOSHI

O'zbekiston Respublikasining telekommunikatsiya tarmoqlari davlatimizning barcha iqtisodiy sektorlarini barqaror ishlashi va rivojlanishi uchun xizmat qiladigan asosiy tizim hisoblanadi.

Davlatimiz hududida joylashgan telekommunikatsiya tarmoqlari umumiy foydalanish tarmog'i, ajralgan holdagi tarmoq, texnologik tarmoqlar, maxsus aloqa tarmoqlari va boshqa elektromagnit tizimlari orqali ma'lumotlarni uzatuvchi tarmoqlardan iborat.

Funksional ishlash prinsiplari bo'yicha O'zbekiston telekommunikatsiya tarmoqlari transport tarmoqlari va ulanish tarmoqlariga bo'linadi.

Hududiy bo'linishga asosan O'zbekiston telekommunikatsiya tarmoqlari xalqaro, shaharlararo, regional va mahalliy (shahar va qishloq) tarmoqlariga bo'linadi.

Xalqaro aloqa tarmoqlari — boshqa davlatlar aloqa tarmoqlari bilan texnologik jihatdan ulangan (tutashgan) telekommunikatsiya tarmoqlaridan tashkil topgan.

Shaharlararo (magistral) aloqa tarmoqlari — texnologik jihatdan ulangan (tutashgan) O'zbekiston poytaxti Toshkent shahri, viloyat markazlari va markazlarni bir-biri bilan ulovchi telekommunikatsiya tarmoqlaridan tashkil topgan.

Regional aloqa tarmoqlari — texnologik jihatdan ulangan (tutashgan) bir viloyat hududi miqyosida tuzilgan telekommunikatsiya tarmoqlaridan tashkil topgan.

Mahalliy aloqa tarmoqlari — texnologik jihatdan ulangan (tutashgan) administrativ yoki boshqa prinsip bo'yicha tarkib topgan hududda, regional aloqa tarmoqlaridan boshqa telekommunikatsiya tarmoqlaridan tashkil topgan.

Shaharlararo, regional va mahalliy aloqa tarmoqlari O'zbekistonning asosiy raqamli transport aloqa tarmog'i hisoblanadi. O'zbekiston telekommunikatsiya tarmog'iga quyidagi telekommunikatsiya tizimlari kiradi: telefon, faksimil aloqalari, ma'lumotlarni uzatish, televidenie dasturlarini tarqatish.

Aloqa, telekommunikatsiya, informatika va axborot texnologiyalari, texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish hamda boshqarish sohasidagi olimlarning (N. Viner, A. Lebedev, P. Ershev, O'zbekiston Respublikasi FA akademiklari V. Qobulov, F. Abutaliyev, J. Abdullayev, M. Komilov, N.R. Yusupbekov, professorlar M. Ziyoxujayev, M. Aripov, M. Begalov, X.Z. Egamberdiyev, A. Abduqodirov, A. Abdukayumov, S.F. Amirov va boshqalar) fan rivojiga qo'shgan hissalar ulkandir.

Ushbu darslik kitobida mualliflar talabalarning zamonaviy raqamli mobil aloqa vositalari bo'yicha to'liq va mukammal nazariy bilim olishlari uchun boshqa chet el davlatlarida chop etilgan darsliklardan, Xalqaro telekommunikatsiya ittifoqi tavsiyalaridan, jurnallarda chop etilgan zamonaviy maqolalardan foydalandilar.

Darslik birinchi marta davlat tilida nashr etishga tayyorlandi. Shuning uchun ayrim kamchilik va xatolardan xoli emas. Mualliflar, ushbu darslik bo'yicha taqrizchilarning va barcha o'quvchilarning bergan ko'rsatmalari va maslahatlari uchun ularga oldindan minnatdorchilik bildirgan holda, keyingi nashrda bu kamchiliklar bartaraf etiladi, degan umiddalar.

Raqamli mobil aloqa vositalari zamonaviy telekommunikatsiya tizimlari tarkibiga kiruvchi, har qanday masofaga, berilgan sifat parametrlari bilan, turli xabarlarini uzatish va qabul qilishni ta'minlovchi murakkab texnik vositalarning majmuasidan iborat.

Radioaloqa — bu xabarni elektromagnit to'liqlar vositasida simsiz uzatishdir. Radioning ixtirochisi A.S. Popov bo'lib, u birinchi marta 7 may 1895-yilda signalni radio orqali uzatishni amalga oshirdi. O'tgan davr mobaynida radioaloqa sohasi jadal sur'atlar bilan rivojlandi va insoniyat taraqqiyotiga beqiyos ilmiy-amaliy, texnika, mudofaa va gumanitar progressni olib kirdi. Hozirgi davrda har kuni radio vositasida juda katta hajmli raqamli axborot manbalari, fototelegrammalar, bosma gazeta matnlari, yuz millionlab TLF suhbatlar uzatiladi. Bundan tashqari radio yordamida ovozli eshittirishlar va TV ko'rsatuvlar uzatiladi. Yerning sun'iy yo'ldoshlari yordamida nihoyat uzoq masofalar bilan aloqa ta'minlanadi.

Radioaloqa va teleradioeshittirish aloqaning ajralgan sohasi bo'lib qolmay, balki yalpi telekommunikatsiya tarmog'ining zarur va muhim qismidir. U o'z ichiga shaharlar, qishloqlar, viloyatlararo, magistral radioaloqa liniyalari, kompyuterlar tarmoqlarini, ma'lumotlarni uzatishga mo'ljallangan tarmoqlarni va h.k. olib, elektromagnitli uzatishning havo yo'llari, kabellar, radioreley va kosmik aloqa liniyalaridan tashkil topgan. Masalan, bu biror radio vositasida qabul qilinuvchi har xil turdagi axborotni simli aloqa kanallari orqali davom etuvchi manzilga uzatishni ham ta'minlaydi.

Shuningdek, radioaloqa katta hududda tarqoq aholi yashaydigan hamda bosib o'tishi qiyin bo'lgan hududlar bilan ajralgan aholi yashaydigan joylarni o'zaro bog'lovchi asosiy vosita bo'lib xizmat qiladi.

Mobil, ya'ni ko'chma harakatlanuvchi obyektlar bilan aloqa qilishda radioaloqaning roli nihoyatda katta masalan: kemalar, samolyotlar, poyezdlar, avtomobillar, ekspeditsiyachilar, qutb stansiyalar va boshqalar bilan radioaloqaga bo'lgan ehtiyoj yildan yilga tobora oshib bormoqda.

Dastlabki shaxsiy mobil aloqa tizimlarining biriga "Multi-ton" deb nomlanuvchi shaxsiy chaqiriq tizimini kiritish mumkin. Bunday tizimda dispetcher xodimni shaxsiy (maxsus) qabul qilgich orqali chaqiradi. Xodim akustik chaqiriqni qabul qilgandan so'ng TF topadi va dispetcherga qo'ng'iroq qiladi. Buning keyingi takomillashgan xizmat darajasi tufayli xodim faqatgina chaqiriqni qabul qilishdan tashqari shaxsiy qabul qilgichining displeyida chaqirayotgan abonentning TLF raqamini ko'radi, lekin u bilan faqat statsionar TLF bilan o'zaro bog'lanishi mumkin (*Paiging Systems*).

Bunga oliy darajada o'xshash tizimning namunasi o'z ichida individual radiotelefon orqali o'zaro so'zlashmoqni va jamoat TLF tarmog'iga dispetcher orqali chiqish imkonini beradi. Shunga o'xshash turdagi tizimlar bilan ayrim korxonalar, kasalxonalar, ishlab chiqarish komplekslari va boshqalar ta'minlangan (*PMR, PAMR*). Ko'chma radioaloqa tizimining xususiy turi deb tushuniladigan PMR radioqoplash zonaning chegaralarini abonent kesib o'tganda aloqaning uzluksizligini ta'minlay olmaydi, avtomatik roumingga ega emas, boshqa tizimlar abonentlariga mavjud bo'lgan bir xil aloqa xizmatlar to'plamini, shu jumladan to'lovlarni kafolatli bajara olmaydi. PMRdan farqli ravishda PAMR harakatdagi abonentlarni umumiy foydalani-ladigan telefon tarmoqlari abonentlari bilan bog'lanishni ta'min-laydi. Ko'chma tizimlarni loyihalashda asosiy kuch radiotelefon xabarlarini qabul qilishda yuqori xalaqitbardoshlikni ta'minlash-ga to'plangandir, shu tufayli bu yo'nalishda jiddiy yutuqlarga erishilgan va bular ko'chma aloqani simli TLF aloqa darajasi-ga qabul qilinuvchi axborot sifati jihatidan yaqinlashtirdi. Bu esa shunga olib keldiki, radioabonentlarning ommaviy ko'payib

ketishi ko'chma aloqaga ajratilgan chastota resursini nihoyasiga yetkazdi. Natijada loyihachilarni yuqori darajada o'tkazish imkoniyatlariga ega bo'lgan tizimlarni yaratishga va ajratilgan chastota spektrini effektiv foydalanishga doir chuqur tadqiqot ishlari olib borishga undadi. Bu jihatdan prinsipial yangi tuzilish strukturaga va aloqani uyushtirishga ega bo'lgan, ya'ni ko'plab baza stansiyalari (*BTS*) umumiy yagona tarmoqqa birlashgan ko'chma sotali aloqa tizimi (*KSAT*) hammadan ko'ra ko'proq perspektivli deb hisoblangandi. Harakatlanib ko'chish protsessida abonent stansiya bir *BTS* dan boshqasiga "estafetalanib uzatib beriladi", ularning buyruq signali boshqarishida avtomatik ravishda kerakli chastotali kanalga ulanadi, natijada aloqaning uzluksizligi ta'minlanadi. *KSAT*da ajratilgan chastotali kanallar ko'p martalab bir-biridan himoya masofada joylashtirilgan sotalarning abonentlari tamonidan takroriy foydalaniladi. Bunday tuzilish negizida chastotali aktiv kanallar soni oshadi, natijada yuqori o'tkazish imkoniyatini va chastota spektrini samaraliroq ishlatilishi ta'minlaniladi (*Cellular Radio Systems*).

Radioaloqa umumiy aloqa tizimida yetakchi o'rinlarni egallaydi. Ayniqsa harakatdagi obyektlarda radioaloqaning o'rnini favqulodda yuqori. Ular to'rt yilda Yer kurrasining aholi zich yashaydigan hududlarida harakatdagi radioaloqa radiostansiyalari soni taxminan ikki barobariga ortib bormoqda. Tabiiyki, turli vazifalarni bajaradigan radiostansiyalarning "efirda" nurlatishi doimo ko'paymoqda. Bundan tashqari, energetika tizimlari va turli xil elektrotexnik va boshqa qurilmalarning rivojlanib borishi radioxalaqit manbalarining oshib borishiga olib kelmoqda.

Bunday sharoitlarda elektromagnit resurslardan samarali foydalanish radioaloqaning kelajakda rivojlanishini belgilaydigan bosh masala hisoblanadi.

Radio bo'yicha Xalqaro konsultativ qo'mita (*RXKQ*) tavsiyasiga muvofiq elektromagnit tebranishlarning keng spektridan ($10^{-3} - 10^{24}$ Gs)dan 3 dan $3 \cdot 10^{12}$ Gs gacha radiochastotalar ajratilib, ular 12 ta diapazonga bo'lingan.

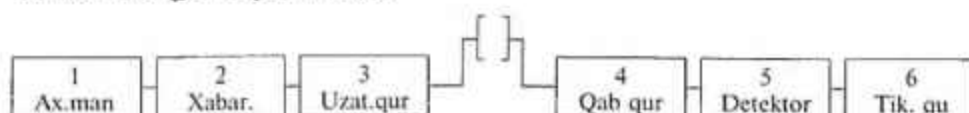
Diapazon — $0,3 \cdot 10^n$ dan $3 \cdot 10^n$ Gs gacha bo'lgan radiochastota oblasti bo'lib, bu yerda: $n = 1, 2, 3 \dots 12$ — oraliqlar raqami. Bunda radiochastota "diapazon"i bilan "oralig'i"ni aralashtirish mumkin emas. Ular har xil tushunchalardir. Oraliq radiochastota oblasti bo'lishi ham mumkin, lekin u bitta yoki ikkita diapazonlarning bir qismiga tegishli bo'lishi mumkin.

Temiryo'l tarmoqlarida radioaloqa radiochastota yoki radio-to'lqinlarning turli diapazonlarida tashkillashtiriladi. Masalan, poyezdli va stansion radioaloqa gektometrli va metrli diapazonlarda tashkil qilinadi. Induktiv aloqa esa kilometrli to'lqin diapazonida tashkillashtiriladi. Radioreleyli aloqa tizimlari det-simetrli, santimetrli va millimetrli diapazonlarda ishlaydi. Radiolokatsion tezlikni o'lchagichlar santimetrli va millimetrli diapazonlarda ishlaydi. Temiryo'l transportida yuqorida nomlari sanab o'tilgan hamma diapazonlardagi radiochastota oraliqlarida ishlashga ruxsat etilgan.

1 bob. GSM EDGE RADIO TO'RI. RADIOALOQANI TASHKIL ETISH NEGIZLARI

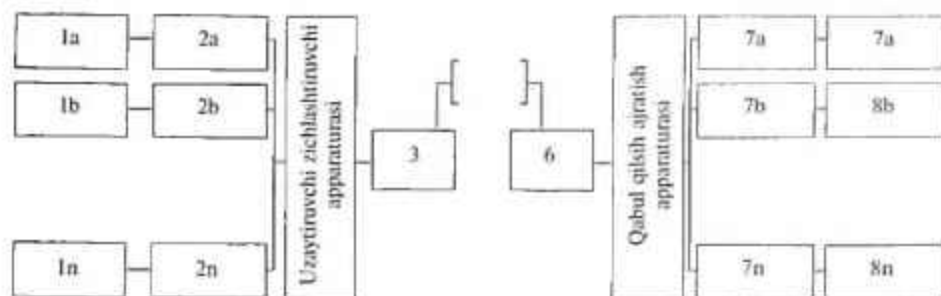
1.1. Radio aloqani tashkil etish negizlari va axborot uzatish texnologiyalari

Radioaloqaning eng sodda sxemasi 1.1-rasmda ko'rsatilgan. Bunda: 1 – axborot manbai (raqamli ma'lumotlar, tasvir, tovush va h.k.); 2 – xabar o'zgartirgich, ya'ni kirib keluvchi axborotni elektron signalga o'zgartirish uchun xizmat qiladi; 3 – modulyator va uzatgich qurilmasi.



1.1-rasm. Radioaloqaning eng sodda sxemasi.

Signalni modulyatsiyalash zaruriyati shundan kelib chiqadiki, axborotni elektron signalga o'zgartirganda u nisbatan past chastotaga ega, ma'lumki, atrof-muhitga yomon tarqaladi. Radiosignal deb ataluvchi modulyatsiyalangan yuqori chastotali (YUCH) tebranishlar uzatuvchi antennaga yuboriladi va atrof fazoga elektromagnit to'lqinlarni uzatadi. Elektromagnit to'lqin energiyasi-ning ma'lum bir qismi qabul qiluvchi antennaga keladi va unda modulyatsiyalangan yuqori chastotali kuchsiz (zaif) elektr tokini hosil qiladi. Qabul qilgich qurilmasi 4-qurilmada YUCH tebranishlar kuchaytiriladi, so'ng detektor 5 da qayta o'zgartirilib uzatgich hududidagi o'zgartirgichga keltirilgan signalning avvalgi aynan shakliga mos keluvchi signalga o'giriladi. Bunday o'zgartirish amali detektorlash deyiladi. Nihoyat, signal qayta ishlab chiqaruvchi (tiklovchi) qurilma 6 ga kelib matn yo bosmalovchi apparat, yoki telefon, televizion tasvir qabul etuvchi ekran va h.k. vositalar orqali qabul qilingan axborot iste'molchiga yetkaziladi.



1.2-rasm. *Bir tomonlama axborot uzatish.*

Uzatgich, uzatish antenna, to'liq tarqalish muhit, qabul qilish antenna va qabul qilgichlardan iborat bo'lgan qurilmalar kompleks radioliniyani tashkil etadi. 1.2-rasmda ko'rsatilganidek, radioliniya uzatgich stansiyasi joylashgan hududdan qabul qilgich hududiga bir tomonlama axborot uzatishga mo'ljallangan. Bu holda teskari tomonga uzatish ko'zda tutilmaydi.

Bir tomonlama uzatish ko'proq radioaloqada emas, balki asosan TV va radioeshittirishlarda, matbuot agentligi axborotini uzatish xizmatlarida, aniq vaqt signallarini efir orqali tarqatishda, aniq chastotani uzatishlarda va h.k.da qo'llaniladi (ishlatiladi). Qurilmalarning effektivligini (samaradorligini) oshirish va radioliniyalarning o'tkazish imkoniyatini ko'paytirish maqsadida zichlashtirish apparaturasi qo'llaniladi (1.2-rasm). Apparaturaning uzatish qismi har xil axborot manbalari 1a-1n signallaridan o'zgartirgichlar 2a-2n vositasida o'zgartirilgan yagona guruhliy signal hosil qiladi. Apparaturaning qabul qilish qismi esa signallarni ajratadi, ularni (7a-7n) o'zgartiradi, va undan keyin axborot signallari (8a-8n) iste'molchilarga yetib keladi. Xabarni bir axborot manbayidan iste'molchiga uzatuvchi texnik vositalar majmuasi radioaloqa kanali deb ataladi. Zichlashtirilgan radioliniyali radioaloqa tizimi ko'p kanalli radioaloqa deyiladi.

Ikki punkt orasida axborot almashish maqsadida ikki tomonlama radioaloqa tashkil qilinadi. Buning uchun bir-biriga qarama-qarshi

(ro'para) ishlovchi ikki komplekt bir tomonlama ishlaydigan radioaloqa qurilmalar qo'llaniladi. Ikki tomonlama radioaloqa liniyaning har bir oxirgi punktida ham uzatuvchi, ham qabul qiluvchi qurilmalar joylashtiriladi. Axborot manbayi va iste'molchi odatda birlashtirilgan bo'ladi, shuningdek, ayrim hollarda uzatgich bilan qabul qilgich yaxlit yagona qabul qilgich-uzatgich radiostansiyaga umumlashtiriladi. Bunday holda odatda har bir punktida ikkita antenna o'rniga bitta umumiy qabul qilib uzatuvchi antenna o'rnatiladi.

Ikki tomonlama radioaloqa quyidagi variantlar bo'yicha tuzilishi mumkin:

1. Ikkala uzatgich bir xil chastotada ishlaydi va qabul qilgichlar ham bir xil shu chastotaga sozlangan. Bunday holatda radioliniya bir vaqtning o'zida ikkita yo'nalish bo'yicha ishlay olmaydi. Ishlash galma-gal yo'nalishlarning biri bo'yicha amalga oshiriladi. Bunday aloqa **simpleks** aloqa deb ataladi.

2. Uzatgichlar har xil chastotada ishlaydi, shunga muvofiq qabul qilgichlar ham har xil chastotalarga sozlangan. Bu holatda radioliniya bir vaqtning o'zida ikkala yo'nalish bo'yicha ishlashi mumkin. Bunday aloqa **dupleks** aloqa deb ataladi.

3. Radioaloqa ikkita chastotadan foydalangan holda amalga oshiriladi: qabul qilgich va uzatgichlar baravariga emas, balki dupleks singari, navbatma-navbat amalga oshiriladi. Signal bir chastotada qabul qilinib boshqa chastotada uzatiladi. Abonent bir vaqtning o'zida "qabul" yoki "uzatish" rejimida bo'lishi mumkin. Bunday aloqa **yarimdupleks (poludupleks)**, (**ikkita chastotali simpleks**) aloqa deb ataladi.

Yarimdupleks aloqa quyidagi hollarda qo'llaniladi. Aslida har qanday aloqa tizimining birinchi darajali vazifasi bu zarur bo'lgan (juda uzoq) masofa orasida aloqani ta'minlashdir. Lekin sayyoramiz shar shaklida va uning sirti egri bo'lganligi sababli aloqa masofasi ufq (gorizont) bilan chegaralangan. Bundan xulosa kelib chiqadiki, ochiq tekislikda portativ radiostansiyalar orasidagi aloqa masofasi taxminan 5 km bo'lishi mumkin. Agar masofa bundan ortiq bo'lsa (99,9% hollarda) retranslyator qo'llanilinadi.

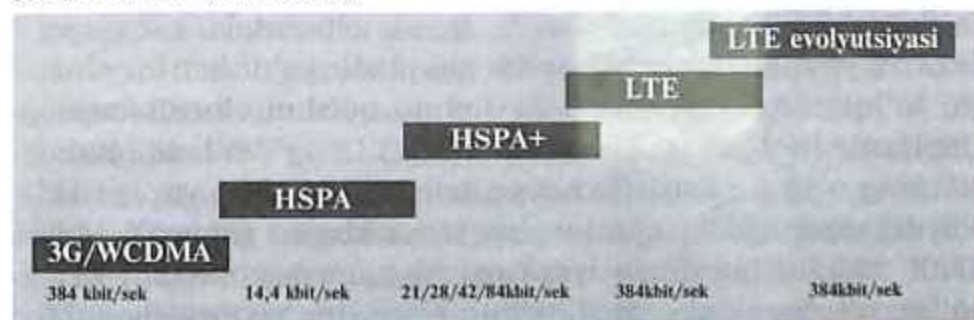
Retranslyator shunday qurilmaki, u radiosignalni qabul qiladi va keyingi qabul qiluvchi stansiyaga uzatadi. Koinotdagi Yerning sun'iy yo'ldoshiga o'rnatilgan retranslyator eng katta qamrov maydoniga egadir. Yerda belgilangan kerakli qamrovni ta'minlash uchun retranslyator sun'iy yoki tabiiy balandliklarga (imorat, minora, tepalik) o'rnatiladi. Amalda zamonaviy aloqa tizimlarining hech qaysisi retranslyatorsiz to'la ishlay olmaydi. Retranslyatsiya prinsipi 1.3-rasmda keltirilgan.

Sotali aloqa tizimlarida (yoki hozirgi vaqtda ko'pincha atalganidek mobil aloqa tizimlarida) "avlodlar" almashishi shaxsiy kompyuterlar industriyasi yoki televizion texnikaga nisbatan yaqqolroq va aniqroq bo'lmoqda. Mobil aloqa dunyosida ko'p narsa hisoblidir: 1G (*ingl. "First Generation" – birinchi avlod*) – bu analog aloqa tizimlari (NMT, AMPS standartlari); ikkinchi avlod – 2G, kanallar kommutatsiyalanishi asosida ishlaydigan raqamli aloqa tizimlari (*GSM, DAMPS va sdmaOne standartlari*); uchinchi avlod – 3G, kanallar kommutatsiyalanishi bilan birga paketlar kommutatsiyalanishini ham ko'zda tutadi (UMTS va CDMA-2000 standartlari); va, nihoyat, to'rtinchi avlod – 4G tarmoqlari to'liq paketli IP kommutatsiya asosida quriladi (LTE Advanced, IEEE802.16m (WiMAX) va IEEE802.11ac (Wi-Fi) standartlari). Shunisi diqqatga sazovorki, mobil aloqa dunyosida avlodlarning almashishi muntazam ravishda har o'n yilda bo'lib o'tmoqda.

Hozirgi kun ham dunyo miqyosida ikkinchi avlod mobil aloqa tizimlaridan uchinchi avlod tizimlariga o'tish bilan bog'liqdir. Haqiqatan, tarqalishi darajasi bo'yicha 3G tarmoqlari mobil aloqaning jahon bozorida 25 foizini egallagan holda, 2G tarmoqlarini quvlab, bosqichma-bosqich yetakchi o'rinlarga chiqib bormoqda. Mobil qurilmalar yaratuvchilari global assotsiatsiyasining (*ingl. Global mobile Suppliers Association, GSA*) va CDMA rivojlanish guruhining (*ingl. CDMA Development Group, CDG*) hisobotlariga ko'ra, 2011-yilning 11-mayiga kelib butun dunyoda 3G tarmoqlari soni 700 dan oshib ketdi, abonentlar soni esa 1,3 milliardga yetdi [1,2]. Bu yosinda 3G texnologiyalarining funksional im-

koniyaatlari ham joyida turmayapti va 3,5G nomini olgan (ya'ni HSPA va HSPA+ tizimlari) yangi ishlanmalar sari rivojlanib bormoqda. Bunday sharoitda 3G tarmoqlarining istiqbollari yorqin ko'rinmoqda edi. Ammo bizning ko'z o'ngimizda qiziqarli bir jarayon ham yuz bermoqda: sahnaga "4G" deb atalmish mobil aloqaning yangi avlodi (LTE texnologiyasi) kirib kelmoqda va jiddiy ravishda "oilada o'z o'rniga" da'vogarlik qilmoqda. Shu sababdan yaqin vaqtlarda 3G tarmoqlari to'liq kuch bilan rivojlanmasdan turib o'z o'rnini 4G tarmoqlariga bo'shatib berish ehtimoli paydo bo'lmoqda.

4G oilasiga mobil aloqa tarmoqlarida 100Mbit/sek dan ortiq tezlikda ma'lumotlarni uzatishga imkon beradigan texnologiyalarni kiritish ko'zda tutilgan. Keng ma'noda 4G – bu yana ma'lumot uzatuvchi umumiy ulanish tarmoqlariga (masalan, Internetga), shuningdek Wi-Fi (uning yangi standartlari) va WiMAX (nazariy jihatdan bu standartda tezlik 1Gbit/sek dan ortishi mumkin) tarmoqlariga keng polosali simsiz ulanish texnologiyalaridir. Qiyoslab ko'rilsa, hozirgi kunda dunyoda keng tarqalgan GSM/EDGE (2G/2,5G) sotali aloqa standartida ma'lumotlarni uzatish tezligi 384kbit/sek ni tashkil etadi. Asosan Yevropa, AQSH va Osiyoning bir necha mamlakatlarida (Yaponiya, Tayvan, Singapur) keng tarqalgan 3,5G avlod tarmoqlarida tezlik 7–14,4Mbit/sek gacha yetib boradi (1.3-rasm).



1.3-rasm. Mobil aloqa texnologiyalarida ma'lumot uzatish evolyutsiyasi.

To'rtinchi avlod tizimlarini avvalgi 3G tizimlaridan asosiy farqi shundaki, bu texnologiyalar ma'lumotlarni to'liq paketli uzatish protokollariga asoslangan, 3G tizimlari esa o'zida ham nutq, ham paket trafiginii uzatish protokollarini birlashtirgan edi. HTI 4G tizimlarini uzatuvchi va qabul qiluvchi o'rtasidagi ma'lumot almashish tezligini to'liq harakat sharoitida 100Mbit/sek gacha, cheklangan harakat sharoitida esa (uzatuvchi yoki qabul qiluvchi tarafidan) 1Gbit/sek gacha tezlikka erishish imkonini beradigan simsiz aloqa texnologiyalari deb hisoblaydi. 4G tizimlarida ma'lumot uzatish IPv6 (IP protokolining 6-versiyasi) protokoli asosida amalga oshiriladi va bu tarmoqlarning o'zaro ishlashini, ayniqsa, agar ular turli texnologiyalarga mansub bo'lganda, sezilarli ravishda osonlashtiradi. Istiqbolda yuqorida ko'rsatilgan ma'lumot uzatish tezliklarini ta'minlash uchun 40 va 60GGs diapazonlardagi yuqori chastotalardan foydalanish ko'zda tutiladi. Ammo yaqin kelajakda 4G tarmoqlari ko'proq 10GGs dan pastki diapazondan foydalanadi.

4G uchun qabul qilish/uzatish jihozlari yaratuvchilari radio-interfeys darajasida raqamli radioeshittirishda sinalgan chastotalarni ortogonal ravishda ajratish yo'li bilan multiplekslash – OFDM texnologiyasini qo'llashdi. Signallarni manipulyatsiyalashning ushbu usuli ma'lumotlarni o'zaro xalaqitlarsiz va buzilishlarsiz ham chastota, ham vaqt jihatdan sezilarli darajada "siqish" imkoniyatini beradi. Bunda chastotalar ortogonallikka rioya qilingan holda bo'lib chiqiladi: ya'ni har bir eltuvchi to'lqinning amplituda maksimumi qo'shni eltuvchilarning amplituda noliga (yoki minimumiga) teng bo'ladi. Bunda ularning o'zaro ta'siri (kanallararo interferensiya) yuzaga kelmaydi, shuningdek, chastota spektri nisbatan samarali ishlatiladi, chunki interferensiyaga qarshi himoya polosalari kerak bo'lmaydi. Signalni uzatish uchun aloqaning yuqori ishonchligini ta'minlovchi fazani surish modulyatsiyasi (PSK va uning turli ko'rinishlari) yoki kanalning o'tkazish qobiliyatidan maksimal foydalanishga imkon beradigan va zamonaviyroq bo'lgan

kvadratura-amplitudaviy modulyatsiya (QAM) qo'llaniladi. Aniq modulyatsiya turi talab qilinadigan tezlik va qabul qilish sharoitlariga bog'liq ravishda tarmoq tomonidan dinamik holda tanlanadi. Uzatishda signal ma'lum sonli parallel oqimlarga bo'linadi va qabul qilishda bu oqimlar teskari ravishda bitta signalga yig'iladi.

O'ta yuqori chastotalarda ishonchli uzatish va qabul qilish uchun 4G tarmoqlarida adaptiv antennalar tizimi (AAT) hamda ko'plab qabul qilish va uzatish (MIMO) texnologiyasidan foydalanish rejalashtirilgan. Garchi shahar sharoitida AAT tizimlariga signalni to'g'ri yo'nalishini aniqlashga signalning so'nishi (signal tarqalishida vujudga keladigan buzilishlar) xalaqit bersada, lekin OFDMning so'nishlarga va "ko'pnurlilikka" nisbatan barqarorlik xususiyati bu vaziyatdan qutqaradi. OFDM texnologiyasi tayanch stansiya (TS) va abonent uskunasi (AU) orasida to'g'ri ko'rinish bo'lmagan sharoitlarda ham yaxshi ishlaydi.

1.2. 4G avlodini tashkil etuvchi texnologiyalar

Mobil va keng polosali aloqa tizimlarining to'rtinchi avlodi — 4G, avvalo, ma'lumot uzatishning yuqori tezligi va nutqli aloqa sifatining yuqorililigi bilan tavsiflanadi. Yuqorida ta'kidlanganidek, mobil va keng polosali aloqa tizimlarining to'rtinchi avlodiga 100 Mbit/sek dan ortiq tezlikda ma'lumot uzatish imkonini beradigan texnologiyalar kiradi. Bugungi kunda nazariy jihatdan ma'lumotlarni uzatish tezligi 1 Gbit/sek gacha bo'lgan KSU tizimlaridan Wi-Fi (IEEE 802.11ac standarti) va WiMAX (IEEE 802.16m standarti), shuningdek, mobil aloqa texnologiyasi — LTE (aniqrog'i uning takomillashtirilgan varianti LTE-Advanced) 4G tarkibiga kirish imkoniyatiga egadirlar. Wi-Fi va WiMAX KSU texnologiyalari ko'plab umumiy jihatlarga egaligi sababli, mazkur qo'llanmada biz Wi-Fi texnologiyasining faqat qisqa bayoni bilan chegaralanamiz va asosiy e'tiborni LTE hamda WiMAX texnologiyalari tahliliga qaratamiz.

1.2.1. LTE texnologiyasi

3GPP Long Term Evolution (3GPP LTE, ingl. "3GPPning uzoq muddatli rivojlanish loyihasi") – ma'lumot uzatish tezligi bo'yicha kelgusidagi talablarni qondirishga qaratilgan UMTS standartini takomillashtirish loyihasining to'liq nomidir. Ushbu takomillashtirishlar, masalan, tizimning samaradorligini oshirish, javob kechikishini qisqartirish, ko'rsatilayotgan xizmatlar turini kengaytirish, shuningdek, mavjud mobil aloqa texnologiyalari bilan integratsiyani yaxshilash bo'lishi mumkin.

3GPP LTE standartida ma'lumot uzatish tezligi nazariy jihatdan "pastga" liniyada (ingl. *Download*) 326,4 Mbit/sek gacha, "yuqoriga" liniyada esa (ingl. *Upload*) 172,8 Mbit/sek gacha yetishi mumkin (3GPPning 8 relizi uchun). Shuningdek, LTE tizimida javobning kechikish vaqtini (ya'ni so'rovni jo'natish va javobni olish orasidagi vaqt) qisqartirishga erishildi. LTE tizimida polosaning ishchi kengligi o'zgaruvchan bo'lib, u 1,25 MGs dan 20 MGs gacha bo'lishi mumkin (tarmoq 450 MGs dan 2,6 GGs gacha bo'lgan keng chastotalar diapazonda ishlay oladi). LTE to'liq kanallarni paketli kommutatsiyalash asosida quriladi, ikkitalik uzatish rejimi (ingl. *Dual Transfer Mode – DTM*) esa bir vaqtning o'zida nutq va ma'lumot uzatish imkonini beradi.

LTE texnologiyasi mavjud sotali aloqa tarmoqlari uchun to'rtinchi avlod sari evolyutsion o'tishni ta'minlashi va operatorlarga tezligi yuqori va unumdor keng polosali ulanish mobil tarmoqlarini yaratish imkonini berishi, shu bilan birga, nafaqat ulanish tezligini oshirish, balki vazifalar turkumini ham kengaytirishga imkon berishi kutilmoqda.

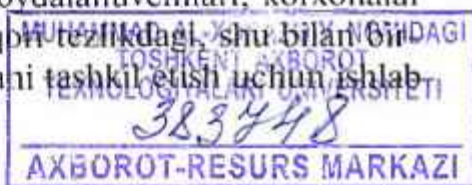
1.2.2. WiMAX texnologiyasi

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX, ingl. O'YUCH diapazonida ulanish bo'yicha butun dun-

yo hamkorligi) — bu IEEE instituti (802.16 guruhi) tomonidan standartlashtirilgan katta masofalarda “so‘nggi milya” muammosini alternativ yechimi sifatida qayd qilingan simli liniyalar va kabel texnologiyalarini to‘ldiruvchi keng polosali simsiz ulanish texnologiyasidir. WiMAX texnologiyasidan shahar miqyosida keng polosali ulanish tarmoqlarini (*ingl. Metropolitan Area Networks, MAN*) yaratish, simsiz ulanish nuqtalarini tashkil qilish (“nuqta - ko‘p nuqta” rejimi), bir-biridan olis obyektlar orasida yuqori sifatli aloqa tashkil etish (“nuqta-nuqta” rejimi) va shunga o‘xshash masalalarni yechish uchun foydalanish mumkin.

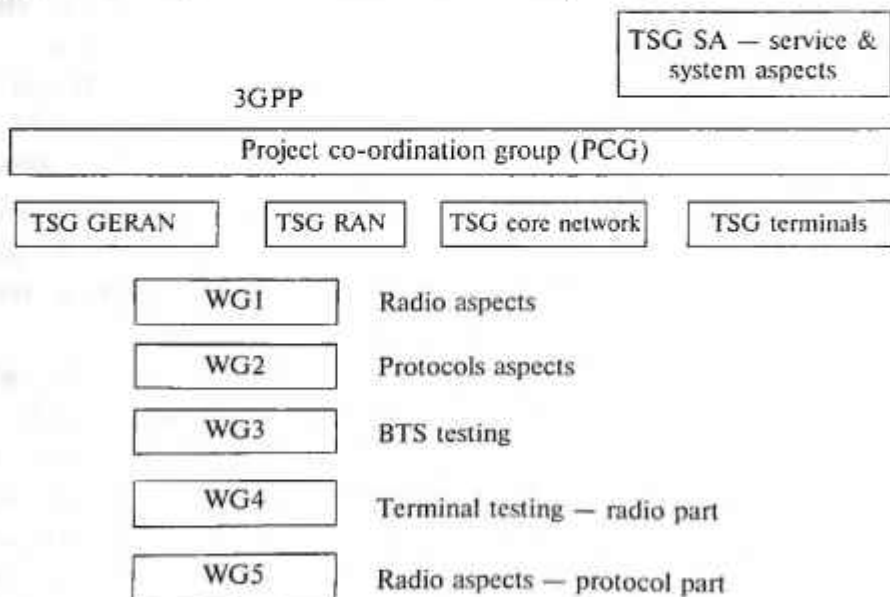
Umuman olganda, IEEE 802.16 standartining tayanch xarakteristikalarini 50 kilometrgacha bo‘lgan ta’sirning uzoqligi darajasini, to‘g‘ri ko‘rinish zonasidan tashqarida ishlash imkoniyatini, TS ning bir sektorida (jami TS 6 tagacha sektorga ega bo‘lishi mumkin) ma’lumot almashuv tezligini maksimal (pik) holatda 70Mbit/sek gacha ko‘tarilishini ko‘zda tutadi. WiMAX tarmoqlarining jihozlari 2–11GGs diapazonida 10–20MGs kenglikdagi bir necha kanallarda ishlashi mumkin. Chastota diapazonlarning bunchalik keng tanlanishi dunyoning ko‘plab mamlakatlari spetsifikatsiya (tavsifnoma)larini hisobga olish uchun qilingan.

Shunday qilib, WiMAX ma’lumot uzatish tezligi bo‘yicha simli tarmoqlar bilan taqqoslana oladigan va unumdorlik hamda qoplash bo‘yicha zamonaviy Wi-Fi tarmoqlaridan yuqoriroq bo‘lgan Internetga tezkor ulanish uchun yaratilgan texnologiya hisoblanadi. O‘z navbatida, aynan Wi-Fi lokal tarmoqlari yoki foydalanuvchilarning turli tijorat va maishiy simli tarmoqlari WiMAX “magistral tarmoqlari”ning davomi bo‘lib xizmat qilishi mumkin. Ideal holatda, WiMAX, soha standartlariga asoslangan bo‘lib, shaharlar va qishloqlarda uy foydalanuvchilari, korxonalar va mobil simsiz tarmoqlar uchun yuqori tezlikdagi shu bilan birga, nisbatan qimmat bo‘lmagan aloqani tashkil etish uchun ishlab chiqilgan texnologiya hisoblanadi.



1.3. GERAN, 3GPPda standartlash

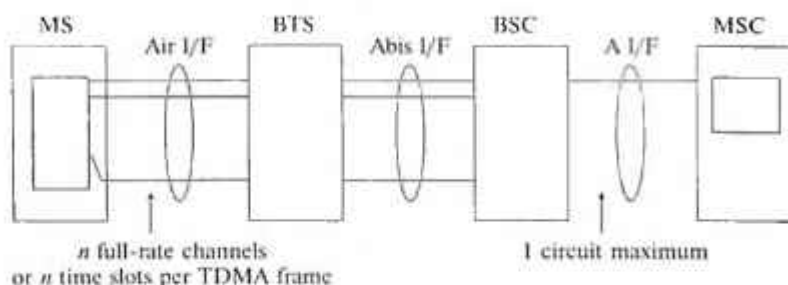
Hozirgi kunda zamonaviy mobil va keng polosali aloqa tizimlari o'zining rivojlanishida haqiqiy "sakrash"ni boshidan kechiryapti. Ma'lumotlarni mobil tarzda uzatishda o'sayotgan talab, xususan, tashqi USB adapterlar, portativ kompyuterlar uchun ichiga o'rnatiladigan yechimlar va iPhone sifat smartfonlarning paydo bo'lishi ma'lumot uzatish tezligini mobil aloqa operatorlari ko'zda tutganidan ko'ra ancha yuqoriroq ko'rsatkichlarda va nisbatan yaqinroq vaqtda talab qilmoqda. Ko'plab operatorlar bugun dastlabki 4G tarmoqlariga o'tish zaruratiga to'qnashmoqdalar. Masalan, TeliaSonera, China Mobile, NTT DoCoMo va Verizon kabi jahonning yirik operatorlari LTE tarmoqlarini ishga tushirish va kengaytirish bo'yicha faol ish olib bormoqdalar.



1.4-rasm. 3GPP tashkillashtirish va TSG GERAN ishchi guruhi.

4G texnologiyalaridagi ma'lumotlarni ulkan hajmlarda uzatishning yangi imkoniyatlari mobil kontent yetkazib beruvchilarining o'z bizneslarini kengaytirishiga ham turtki bo'lmoqda. Agar ho-

zirgi kunda bu bozorda asosiy “tovar” musiqa, kliplar va oddiy o‘yinlar bo‘lsa, 4Gning paydo bo‘lishi bilan mobil televidenie, “buyurtmali video” (ingl. “Video on demand” – VOD), “ilg‘or” o‘yinlar kabilar dolzarb bo‘lishi kutilmoqda. Bundan tashqari, 4G tufayli mobil videokonferensiyalar (videochatlar) va mobil bir darajali tarmoqlar (ingl. “Peer-to-peer”) yaratish mumkin bo‘ladi.



1.5-rasm. HSCSD tizimli arxetekturasi.

Tahlillarga qaraganda, mobil TV xizmatlari kelgusida o‘yinlar va hatto musiqaga qaraganda ancha katta foyda keltirishi mumkin.

1.3.1. LTE texnologiyasining yaqin yillardagi rivojlanish istiqbollari

LTE texnologiyasining rivojlanishi faol davom etmoqda. GSA assotsiatsiyasining hisoblariga ko‘ra, 2011-yilda LTE tarmoqlarini joriy etish bo‘yicha o‘z niyatlarini bildirgan mobil aloqa operatorlarining soni 60 ta davlatdagi 184 ta kompaniyani tashkil etdi [1]. GSA hisobotida, shuningdek, LTE tizimlarining dastlabki sinovini o‘tkazishga qaror qilgan 20 ta mamlakatdan 54 ta kompaniya – operatorlar ko‘rsatilgan bo‘lib, ular ham keyinchalik tijorat tarmoqlarini yaratish ehtimolini bildirishgan.

Shu bilan bir paytda, LTE-Advanced deb nomlangan navbatdagi avlod standarti spetsifikatsiyalari ham yaratilmoqda. 3GPP-ni 8-relizi ustidagi ishlar yakunini kutmasdan, ko‘plab yetakchi

ishlab chiqaruvchilar o'zlarining LTE ni qo'llab-quvvatlaydigan uskunalarining dastlabki tajriba namunalarini taqdim etmoqdalar. Masalan, 2007-yilning fevralida Ericsson kompaniyasi dunyoda birinchi marta ma'lumotlarni 144Mbit/sek uzatish tezligiga ega LTE jihozining ishini namoyish etgan edi. 2007-yilning sentyabrida esa NTT DoCoMo kompaniyasi 200Mbit/sek tezlikni va 100mVt dan ortiq bo'lmagan iste'mol quvvatini ta'minlaydigan jihozni taqdim etdi. 2008-yilning aprelida LG va Nortel korporatsiyalari mobil abonentlar 110km/soat tezlikda harakatlanganda 50Mbit/sek o'tkazish qobiliyatiga ega bo'lgan LTE uskunasi ni namoyish qildi. 2008 yilning 18-sentyabrida T-Mobile mobil operatori va Nortel Networks kompaniyasi "pastga" kanal uchun 170Mbit/sek, "yuqoriga" kanal uchun esa 50Mbit/sek tezliklarga erishganligi haqida e'lon qildilar. Sinovlar o'rtacha 67km/soat o'rtacha tezlikdagi avtomobilda uchta TS ta'sir hududlarida o'tkazilgan edi. LTE texnologiyalarining keyingi rivojlanishi yangi 3GPP ni 10 relizi (LTE-Advanced) ustida ishlash doirasida davom etadi. Bugungi kunda LTE-Advanced standartidagi barcha asosiy talablar shakllantirib bo'lingan [4]. Aslida ular to'rtinchi avlod texnologiyalari oldiga qo'yilgan quyidagi talablardir:

- ma'lumot uzatish maksimal tezligi "pastga" radiokanalda 1Gbit/sek gacha, "yuqoriga" radiokanalda esa 500Mbit/sek gacha bo'lishi kerak (bir abonent uchun o'rtacha o'tkazish qobiliyati LTE (8 Reliz) standartiga nisbatan uch marotaba yuqori);

- o'tkazish polosasi "pastga" radiokanalda 70MGs gacha, "yuqoriga" radiokanalda esa 40MGs gacha;

- spektrdan foydalanishning maksimal samaradorligi "pastga" radiokanalda 30 bit/sek/Gs, "yuqoriga" kanalda esa 15bit/sek/Gs (LTE (8 Reliz)ga nisbatan 3 marotaba yuqori);

- LTE va boshqa 3GPP tizimlari bilan to'la moslashish va o'zaro ishlay olish.

Bu masalalarni yechish uchun kengroq kanallardan foydalanish (100MGs gacha) [5], chastotaviy dupleks (FDD) holatida "yuqoriga" va "pastga" kanallar orasidagi o'tkazish polosasini asimmetrik

ajratish; kodlash va xatolarni korreksiyalashning takomillashtirilgan tizimlari; “yuqoriga” kanal uchun OFDMA va SC-FDMA gibrid texnologiyalari, shuningdek, antenna tizimlari sohasida ilg’or yechimlar (MIMO kabi) ishlatilishi ko’zda tutilgan.

Ko’rinib turibdiki, bugungi kunda LTE texnologiyasi keskin rivojlanish bosqichida turibdi. Deyarli har oy standartlarning o’zida ham o’zgarishlar bo’lmoqda. LTE spetsifikatsiyalarida ham to’ldirilmagan joylar, chala ishlar va noaniqliklar hali yetarli, shuning uchun tarmoq arxitekturasida ham yangi hujjatlarning paydo bo’lishini kutish mumkin.

1.3.2. WiMAX texnologiyasining yaqin yillardagi rivojlanish istiqbollari

Hozirgi kunda asosan IEEE 802.16.2004 va IEEE 802.16e versiyalari orqali ma’lum bo’lgan WiMAX standarti kabelli tarmoqlar darajasidagi yuqori o’tkazish qobiliyatini va katta radiusli hududda keng polosali ulanishni ta’minlaydigan simsiz aloqa texnologiyasidir. WiMAX jihozlari 2–11 GGs diapazonida 10MGs kenglikdagi bir nechta kanallarda ishlaydi. Turli davlatlarda chastotalarning o’ziga xos tarzda taqsimlanishi WiMAX texnologiyasidan har xil diapazonlarda ishlash imkoniyati zaruratini taqozo etadi. Masalan, WiMAX uchun Shimoliy Amerikada 2,5GGs va 5GGs diapazonlari, Markaziy va Janubiy Amerikada 2,5GGs; 3,5GGs va 5GGs diapazonlari, Yaqin Sharq, Afrika, G’arbiy va Sharqiy Yevropada 3,5GGs va 5GGs diapazonlari, Osiyo va Tinch okean regionida esa 2,3GGs; 3,5GGs va 5GGs diapazonlaridagi chastotalar ishlatilishi ko’zda tutilgan.

Real tizimlarda IEEE802.16 standartining barcha rejimlari va imkoniyatlari hali o’z ifodasini topmagan bo’lsa-da, yangi texnologiya ishlamoqda va rivojlanmoqda. IEEE802.16 standartidagi OFDMA TDD rejimini simsiz aloqa global standartlari – IMT-2000 (*IMT-2000 OFDMA TDD WMAN*) tarkibiga kiritish haqidagi HTIning 2007-yilning 19-oktyabridagi qarori buning tasdig’idir [6].

Shuni yoddan chiqarmaslik kerakki, WiMAX faqat texnologiya sifatidagina emas, balki axborot fazosini qurishdagi yangi yondashuv sifatida ham e'tirof etiladi. Ammo bu texnologiya kelgusida qanchalik muvaffaqiyatli bo'lishini mobil aloqaning istiqbolli standartlari (xususan, LTE va LTE Advanced standartlari) bilan raqobat belgilaydi va buni vaqt ko'rsatadi. Hozircha WiMAX tarmoqlari o'z rivojini davom ettirmoqda, IEEE 802.16 standartlari ham bir joyda turmayapti. Xususan, yaratilish va muhokama etish bosqichida qator yangi to'ldirishlar turibdi. Ayni paytda tizimning ma'lumot almashish tezligini oshirish (100Mbit/sek dan yuqori), spektral samaradorligini va aloqa sifatini ko'tarish, yangi mobillik (harakat) darajalarini kiritish va foydalanuvchilarning katta guruhlarini samarali qo'llab-quvvatlashni ta'minlaydigan yangi radiointerfeysni ko'zda tutgan IEEE 802.16m loyihasi faol muhokama qilinmoqda. Shu bilan birga, IEEE 802.16 Rev2 standartining aniqlashtirilgan versiyasining paydo bo'lishi ham kutilmoqda. Bu versiyaga ko'p oraliqli rele tarmoqlari bo'yicha to'ldirishlar (802.16j) va boshqa qator hujjatlar kiradi.

Ko'rib turganimizdek, mobil va keng polosali aloqa tizimlari va texnologiyalari ulkan rivojlanish jarayonida turibdi hamda inson faoliyatining turli sohalariga yanada ko'proq kirib bormoqda. Bu jarayonlarni chuqur o'rganish, mobil texnologiyalar rivojlanishi masalalaridan xabardor bo'lish, ularning istiqbollari va rivojlanish tendensiyalarini bilish mamlakatimizda mobil aloqa tizimlarining rivojlanishi va joriy etilishining ratsional strategiyalarini aniqlash uchun juda muhim. Shundan kelib chiqib, mustahkam nazariy va amaliy bilimlarga ega malakali mutaxassislarni tayyorlash dolzarb masala hisoblanadi va "nazariyot-amaliyot" bog'lovini puxtalashga xizmat qiladi. Aloqa tizimlarining zamonaviy rivojlanishini turli jarayonlar, chunonchi: bir tomondan, statsionar va mobil tarmoqlarning birlashishi (konvergeniya, internetga mobil ulanish, IP-telefoniya), boshqa tomondan, aloqa tarmoqlarining globalashtirilishi (mikrosotalardan makrosotalarga va yo'ldoshli tarmoqlarga) va, nihoyat, abonent terminallarining universallashtirilishi

(3G, 4G har xil tarmoqlarida ishlay oladigan ko'p tizimli, ko'p rejimli va ko'p funksiyali "aqli telefonlar" — smartfonlar) orqali ifodalash mumkin. Yagona global tarmoq infratuzilmasini yaratish g'oyasi aslida ancha avvaldan mavjud bo'lib, "IMT-2000" dasturi doirasida simsiz ulanish, sotali va sun'iy yo'ldoshli aloqa universal tizimlarining yangi avlodini yaratish konsepsiyasi ilgari surilgan edi. Yagona xalqaro standart yaratishning asosiy g'oyasida yuqori funksional imkoniyatlarga ega bo'lgan va shu bilan birga qimmat bo'lmagan portativ terminallar yordamida xizmatlar taklif etish ko'zda tutilgan edi. Ma'lumki, uchinchi avlod tizimlari darajasida ushbu maqsadga erishish mumkin bo'lmadi, lekin IMT-2000 doirasida bu yo'nalishdagi ishlar to'xtab qolmadi va standartlarni birlashtirish bo'yicha yangi g'oyalar IMT-Advanced nomini olgan to'rtinchi avlod tarmoqlarini yaratish dasturida o'z aksini topdi. 2009-yilning 7-oktyabrida 3GPP hamkorlik loyihasi IMT-Advanced dasturi tarkibiga kiritish uchun LTE-Advanced (3GPP 10 Reliz) texnologiyasini rasman taqdim qildi. Bu taqdimot barcha 3GPP va 3GPP-2 hamkorlik tashkilotlari: ARIB, ATIA, CCSA, ETSI, TTA va TTS tomonlaridan qilingan edi. LTE-Advanced texnologiyasi spetsifikatsiyalarini ishlab chiqish bo'yicha ishlar 2010–2011-yillar davomida bajarildi.

Shu orada, mobil aloqa dunyosining yirik operatorlari va jihozlar ishlab chiqaruvchilar birgalikda yangi 4G texnologiyalarini va ularning real funksional imkoniyatlarini aniqlash maqsadida sinovlar o'tkazdilar. 2005-yildayoq, Yaponiyaning yirik operatori — NTT DoCoMo, mobil aloqa yangi standarti bilan ishlashdagi yutuqlarini xabar qildi, ya'ni simsiz kanallar bo'yicha 100Mbit/sek tezlikda ma'lumot uzatish bo'yicha muvaffaqiyatli tajribalar o'tkazdi. 2006-yilning ikkinchi yarmida yirik milliy va xalqaro operatorlar keyingi avlod mobil tarmoqlarini yaratish buyicha rasmiy hamkorlikni boshladilar. *"Next Generation Mobile Network Cooperation"* (NGMNC) nomini olgan ishchi guruh to'rtinchi avlod mobil tarmoqlari oldiga qo'yiladigan talablarini aniqlash uchun butun dunyoning GSM va CDMA operatorlarini birgalikda to'pla-

di. Guruhning asosiy a'zolari Sprint Nextel (AQSH), T-Mobile (Germaniya), Vodafone (Buyuk Britaniya), KPN (Gollandiya) va Orange (Fransiya) kompaniyalari bo'ldi, keyinchalik esa ularga NTT DoCoMo (Yaponiya) va China Mobile (Xitoy) kompaniyalari qo'shildilar. Guruhning bosh texnologik vazifalaridan biri barcha 3G texnologiyalarining, xususan UMTS va EV-DO tizimlarining, 4G darajasiga asta-sekin o'tishini ta'minlash bo'ldi.

EPS nimitizimi xarakteristikalari

EPS nimitizimining asosiy vazifasi bu boshqaruv sathi funksiyalarini bajaradigan tarmoq tugunlari (MME moduli)ni kommunikatsiya sathi funksiyalarini bajaradigan tugunlar (S-GW shlyuzlar) dan yaqqol ajratadigan oraliqdagi ochiq interfeys — S11 ni ta'minlashdir. Binobarin, E-UTRAN radioulanish tarmog'i yangi xizmat turlarini ta'minlash hamda mavjudlarini takomillashtirish uchun yetarli darajada keng o'tkazish polosasini qo'llab-quvvatlaydi. Bunda MME ni S-GW dan ajratiladi va bundan ma'no, S-GW yuqori tezlikli paketlarni qayta ishlash uchun optimallashtirilgan platformaga asoslansa, MME esa boshqaruvchi signallarni marshrutlash uchun optimallashtirilgan platformaga asoslanishi mumkin. Bu esa tarmoqni mustaqil konfiguratsiyalash hamda har bir elementlar uchun iqtisodiy samaraliroq platformani tanlash imkoniyatini beradi. Shuningdek, tarmoq topologiyasining chegaralarida operatorlar o'tkazish polosasidan maksimal foydalanish, javobning kechikish vaqtini qisqartirish hamda ko'plab raddiyalardan (*rus. кучные отказы*) qochish maqsadida S-GW shlyuzlarini MME modullaridan mustaqil ravishda joylashtirishlari mumkin.

S1 — flex mexanizmi

S1 — flex mexanizmi MME va S-GW tayanch tarmog'i elementlari orasidagi trafik yuklamasini teng taqsimlash hamda tarmoqni zaxiralashni ta'minlash uchun xizmat qiladi. Bunga erishish

uchun, har bir eNB tugunlari bir nechta guruhlashtirilgan MME va S-GW tugunlari bilan o'zaro bog'lana olishi uchun MME va S-GW tugunlarini guruhlarini hosil qilish evaziga amalga oshadi.

Shunday qilib, LTE/SAE arxitekturasi E-UTRAN radioulalanish tarmog'idan foydalangan holda tayanch tarmog'ining alohida elementlarini (MME, S-GW, P-GW) ishlatish imkoniyati bilan operatorlarga o'z tarmoqlarini qurishda kapital va ekspluatatsion xarajatlarni qisqartirish imkonini beradi. Bu har bir eNB tugunini tayanch tarmog'ining bir nechta elementlari bilan o'zaro ulash imkonini beradigan S1-flex mexanizmini qo'llanilishi tufayli amalga oshadi. Abonent uskunasi tarmoqqa ulanganida, u tegishli provayder belgilagan o'z ID siga asoslanib, tayanch tarmog'ining mos tugunlariga ulanadi.

Nazorat savollari:

1. To'rtinchi avlod mobil aloqa (4G) tizimlariga tavsif bering.
2. 4G avlod tarkibiga qanday texnologiyalar kiradi (yoki kirishi taxmin qilinmoqda)?
3. To'rtinchi avlod texnologiyalarining uchinchi avlod texnologiyalaridan asosiy farqlari nimada?
4. 4G tarmoqlarida qanday ko'p sonli ulanish (kanallarni multiplekslash) texnologiyasi, qanday modulyasiya usullari va anten-na texnologiyalaridan foydalanish ko'zda tutilgan?
5. Dunyoning turli mintaqalarida 4G tarmoqlarining hozirgi rivojlanish holati qanday?
6. 4G tarmoqlarida qanday ilovalarga imkoniyat yaratiladi? 4G tizimlarida qanday kontentdan foydalanish ko'zda tutilgan?

2-bob. GPRS UMUMIY PAKETLI RADIOALOQA TIZIMLARI

2.1. Harakatdagi radioaloqa GPRS tizimlari rivojlanishining tavsifi va tarixi

Harakatdagi radioaloqa GPRS tizimlari (HRT) hozirgi vaqtda taqdim etiladigan xizmatlar sifati va hajmining kengaytirilishi hisobiga, ularning ommaviylashishi va foydalanuvchilarning individual talablariga moslashtirilishi hisobiga keskin sur'atlarda rivojlanmoqda. Yangi imkoniyatlarning ishlatilishi ham mavjud tarmoqlarning takomillashtirilishi hisobiga, ham global tarmoq infratuzilmasini yaratish bilan bog'liq yangi texnik yechimlarning ishlatilishi hisobiga ta'minlanadi. O'z o'rnida HRT tizimlari ham konvergensiya, universallashtirish va ichki raqobat jarayonlarini boshdan kechirmoqda. Shu asnoda, ba'zi bir xizmat turlari o'z umrini o'tab sahnadan ketmoqda (masalan, "peydjning" personal radiochaqiruv tizimlari), boshqalari o'zining funksional imkoniyatlari bilan alternativ xizmatlarga yaqinlashib bormoqda (masalan, sotali va trunking aloqalar), uchinchi holatda esa, bir xizmat ikkinchisining bozorini qamrab olmoqda (masalan, sotali va yo'ldosh aloqa tizimlari) va hokazo. "Xohlagan xizmatni" (ya'ni, nutq, ma'lumot, multimedia xizmatlari), "xohlagan joyda" (global ko'lamlarda) va "xohlagan vaqtda" (ishda, uyda, dam olishda, yo'lda) taqdim etishga qodir bo'lgan ko'p qamrovli aloqa tizimining konsepsiyasi bugungi kunda muayyan qirralarga ega bo'lmoqda. Lekin yangisini qurish uchun eskisini bilish zarur bo'lgani kabi, bu tizimlarda bugungi kunda amalga oshayotgan jarayonlarni yaxshi tushunish uchun HRT tizimlarining tug'ilish manbalari va rivojlanishini yodga olish ham foydadan xoli emas. Shu maqsadda mazkur bobda o'z rivojlanishini davom ettirayotgan HRT tizimlariga qarashli professional mobil aloqa (trunking), sotali aloqa, yo'ldoshli aloqa va simsiz telefoniya radioaloqa turlari bilan tanishib chiqamiz.

2.1.1. Professional mobil aloqa tizimlari.

Mobil aloqa tizimlarni klassifikatsiyasi

Harakatdagi obyektlar bilan radioaloqa tizimlariga yildan yilga ehtiyoj oshgan sari ular quyidagicha bo'linadi:

- Shaxsiy radiochaqiriq tizimlari (*Paging Systems*)
- Professional (shaxsiy) ko'chma radioaloqa tizimlari (*PMR, PAMR*);
- Ko'chma sotali radioaloqa tizimlari (*Cellular Radio System*);
- Simsiz telefonlar tizimi (*Cordless Telephony*);
- ESY vositadagi shaxsiy aloqa tizimi.

Shaxsiy radiochaqiriq tizimlari. Abonentlar operativ va nisbatan qimmat bo'lmagan aloqani shaxsiy radiochaqiriq tizimi yoki peydjning ta'minlab beradi SHRCHT. SHRCHTning ishlashi shunga asoslanganki, ko'p hollarda ikki tomonlama radioaloqani tashkil qilish talab qilinmaydi. Qisqa xabarni yoki chaqirishni uzatishning o'zi kifoya.

Bunday masala abonentlar katta bo'lmagan (peydjer deb ataluvchi) qabul qilgichlar bilan ta'minlanganda radiouzatgichlarni qo'llash evaziga yechiladi.

SHRCHT ikki turga bo'linadi: shaxsiy va umumiy foydalanish.

Shaxsiy (lokal) SHRCHTlar radiochaqiriqni chegaralangan hududi ta'minlanadi. Belgilangan foydalanuvchilar guruhi uchun kam quvvati bir yoki bir neecha radiouzatgich qo'llaniladi. Umum TAF tarmoqlari bilan birgalikda ishlamagan holda chaqiriq dispetcher punktlar orqali bajariladi. Umum foydalanish peydjning tizimlarda esa umum TAF tarmoqlari orqali radiokanal bilan chegaralangan hamda xabarlar jo'natiladi. Zamonaviy peydjning tizimlar umum TAF tarmoq bilan avtomatik ravishda birga ishlaydi, xabarni va chaqirishni raqamli usulda uzatishni qo'llaydi va yuksak xalaqitbardosh uzatishga va o'tkazish imkoniyatiga ega.

Eng chetki qurilmalar miniatyurlanishi natijasida sarflanuvchi energiyani tegishli kamaytirish imkonini beradi. Bunday

tizimlarning boshqalardan ajralib turadigan xususiyatlaridan biri bu xizmat ko'rsatish zonasining ko'lami mamlakat miqyosida va o'zaro xalqaro miqyosida bir-biri bilan ishlashini ta'minlash hamda narxi past bo'lishi, ekspluatatsiya qilish soddaligidadir. Eng avvalo peydjning tizimi London gospi-tallarining birida 1956-yilda ishga tushirilgan. Birinchi keng tarmoqli SHRCHT AQSH va Kanadada 60 yillarning boshlarida yaratilgan ko'lami katta bo'lgan SHRCHT Yevropa mamlakatlari orasida Gollandiya, Belgiya, Shveysariyada 1964–1965-yillarda ishga tushurilgan. SHRCHT 80 dan 1000 MHz gacha bo'lgan radiochastotali diapazonda ishlaydi.

SHRCHT larni sotali yoki boshqa ko'chma aloqa tizimlari bilan kombinatsiyalab ishlatish mumkin va ular bilan birgalikda qo'llash imkoni bor. Bunday tizimlarda foydalanuvchi kirish telefon chaqiriqlari haqida xabardor qilinish va javobini qulay vaqtda jo'natish mumkin peydjer shaxs yonida olib yuradigan qabul qilgich o'rnatilishi mumkin.

Hozirgi vaqtda hamma joyda peydjning tizimlari o'rnini sotali aloqa tizimlari egallamoqda.

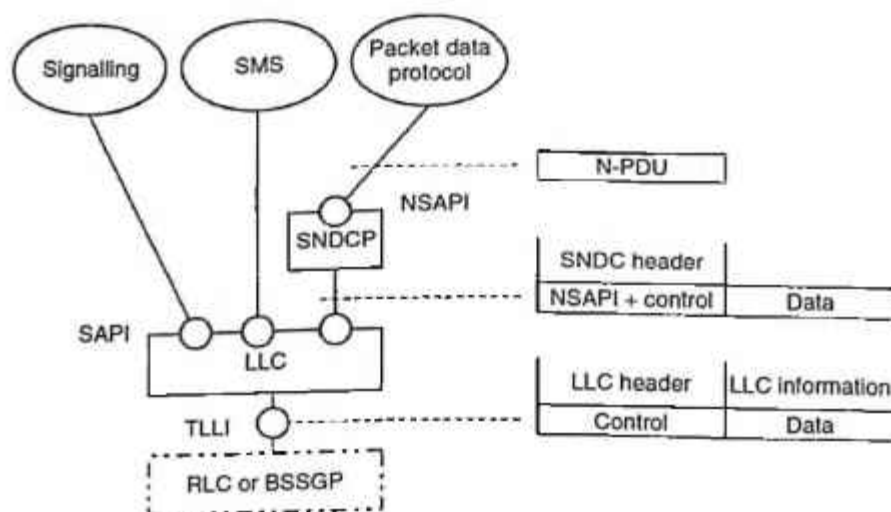
Professional mobil radioaloqa (PMR) turi bugungi kunda trunking radioaloqa tizimlari sifatida ma'lum bo'lib, HRT tarkibida eng "keksa" hisoblanadi. Bu aloqa turi o'tgan asrning 30-yillarida paydo bo'lib, yetmish yildan ortiq vaqt davomida insoniyatga xizmat qilib kelmoqda. Ma'lumki, PMR tizimlariga jamiyat xavfsizligi xizmatlari va huquq-tartibotni muhofaza qilish uchun turli vakolatli tarmoqlar (tez tibbiy yordam va favqulodda vaziyatlar bo'yicha, munitsipial va transport xizmatlari, yirik industrial obyektlar va boshqalar) kiradi. Qabul qilingan xalqaro klassifikatsiya bo'yicha PMR tizimlarining ikki sinfi, ya'ni professional mobil radioaloqa tizimlari – PMR (*ingl. Professional (Private) Mobile Radio*) va umumiy foydalanish mobil radioaloqa tizimlari – PAMR (*ingl. Public Access Mobile Radio*) mavjud. Birinchi sinfdagi tizimlar bir foydalanuvchi yoki foydalanuvchilar guruhi tasarrufida bo'ladi, va umumiy

foydalanish tarmoqlariga chiqish imkoniyatiga ega bo'ladi lekin, korporativ xizmatlarni ko'rsatmaydi. PMR tizimlarining ikkinchi sinfi esa ko'plab foydalanuvchilarga korporativ asosda UFTT (PSTN) tarmoqlariga chiqish imkoniyatini beradi va operator tomonidan yaratiladi.

Tranking rejimida ishlaydigan PMR tizimlarning farqli o'ziga xos xususiyati — bu umumiy boshqarish shinasini yordamida bir-birlari bilan bog'langan bir nechta retranslyatorlardan iborat saytning (retranslyatsiya punktining) mavjud chastota resursidan umumiy foydalanish hisobiga radiochastotalarni samarali ishlatish qobiliyatidir. Shuningdek, PMR tizimlarida radioefirni "yengillatishga" abonent radiostansiyasining uzatkichi doimiy ravishda emas, balki faqat maxsus tugma — tangenta (*ingl. Push To Talk — PTT*) bosilganida ishlashi xizmat qiladi.

PMR tizimlarining rivojlanishi aloqani sifati, tezkorligi va konfidensialligini yaxshilashga hamda analog tizimlardan raqamli tizimlarga o'tkazishga yo'naltirilgan. Raqamli PMR tizimlarining paydo bo'lishi bilan ilgari analog tizimlarida to'la me'yorda erishib bo'lmaydigan ko'plab zamonaviy xizmatlarni taqdim etish imkoniyati paydo bo'ldi. Mavjud analog PMR tizimlari (*SmartTrunkII, LTR, Multi-Net, Accessnet, Smartnet, EDACS, MPT-1327*) tarmoqlarini qurishda yetarli darajada ixcham emas, ma'lumot uzatishda imkoniyatlari cheklangan, bir-birlari bilan moslashmaydigan, yuqori konfidensiallikni va sanksiyasiz ulanishdan ishonchli himoyani ta'minlay olmaslik kabi kamchiliklarga ega. Bu "nuqsonlar" esa ko'p sonli bir-birlari bilan moslashmaydigan analog standartlarni almashtirish uchun yaratilgan raqamli PMR standartlarida bartaraf etilishi ko'zda tutilgan. Raqamli tranking tizimlarining ixcham arxitekturasini tufayli axborotlarni yuqori himoyalash darajasini ta'minlovchi regional va milliy ko'lamlardagi tarmoqlarni yaratish va ularda individual, guruhli va keng qamrovli chaqiruvlarni uzatish imkoniyatiga ega bo'ladi.

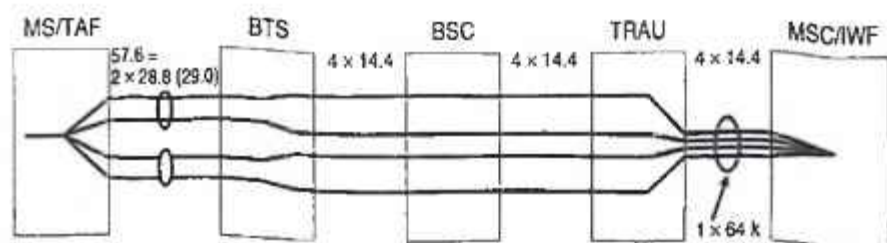
Hozirgi kunda eng rivoj topgan raqamli PMR tizimlari Yevropada aloqa sohasida standartlar bo'yicha ETSI instituti ishlab chiqqan TETRA loyihasi hamda Amerikaning jamiyat xavfsizligi tashkilotlari aloqa boshqaruvchilari assotsiatsiyasining ARSO-25 loyihasi hisoblanadi. Bundan tashqari, raqamli PMR bozorida "korxonaviy" standartlar statusini olgan EADS (Fransiya) firmasining TETRAPOL tizimi, Motorola (AQSH) firmasining iDEN tizimi, Ericsson (Shvetsiya) firmasining EDACS tizimi va boshqalar ishlatilmoqda.



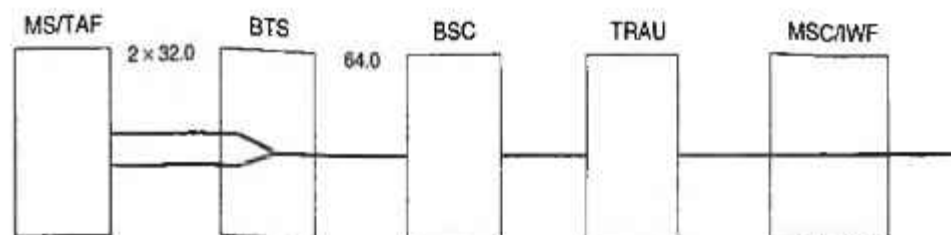
2.1-rasm. Tizimli protokollarni multipleksirlash.

ARSO-25 raqamli tranking aloqasi standarti "ochiq standart" statusiga ega bo'lib, Shimoliy va Janubiy Amerika, shuningdek, Janubi-Sharqiy Osiyo va Okeaniya davlatlarida keng qo'llaniladi. ARSO-25 loyihasiga bog'liq tadqiqotlar va standartlash ishlari 1992-yilda tugatilgan, lekin standartning spetsifikatsiyalari bir necha marta qayta to'ldirildi. ARSO-25 standarti analog va raqamli tarmoqlarni hamda tranking va konvensional tarmoqlarning o'zaro ishlash imkoniyatini ta'minlaydi. Shuningdek, mavjud bo'lgan analog tarmoqlaridan raqamli

tarmoqlarga ravon o'tish maqsadida standart ikki bosqichda amaliyotga tatbiq etilmoqda. Texnik nuqtayi nazardan ikkinchi bosqichga o'tish chastotalar to'ri qadamini ikki marta kamaytirish (ya'ni 6,25kGs gacha) va spektral jihatdan samarador bo'lgan CQPSK modulyatsiya usulidan foydalanish kabi yangiliklar hisobiga bo'lmoqda [8]. Shu bilan birga, kanallarni vaqt bo'yicha ajratish, ya'ni TDMA texnologiyasidan foydalanish hisobiga APCO-25 tizimlarini TETRA standarti bilan birlashtirish masalasi ham ilgari surilmoqda.



(a) 57.6 kbps non-transparent service



(b) 56.0/64.0 kbps transparent service

2.2-rasm. Tizimli arxitektura.

GSM sotali aloqa standartining yutuqlaridan ta'sirlanib, ETSI instituti 1994-yilda TETRA (*ingl. Trans European Trunked Radio*) "Raqamli trunking aloqa transevropa ochiq standarini" yaratdi. Keyinchalik standartga boshqa mintaqalarning ham katta qiziqishi tufayli uning ta'sir etish hududi faqat Yevropa bilan cheklanib qolmadi va hozirgi vaqtda TETRA qisqartmasi "Yer sirti trunking radioaloqasi" (*ingl. Terrestrial Trunked Radio*)

nomi bilan yoyilmoqda. TETRA standarti asosiga turli chastotalar diapazonlarida va aloqa protokollari bilan farq qiladigan tarmoqlarni minimal xarajatlarda yaratishga imkon beradigan universal texnik yechimlar qo'yilgan. TETRA tizimi chastota resursini tejash bilan bir qatorda (25 kGs chastotalar polosasida 4 ta mantiqiy kanal) istiqbolda 3-avlod xizmatlarini taqdim etish va turli joriy etish ssenariylarini ko'zda tutib, funksionallikni oshirish bo'yicha katta imkoniyatlarni ta'minlaydi. TETRA standarti rivojlanishda davom etmoqda va uning bazasida yuqori tezlikda ma'lumotlarni simsiz uzatish tizimlari ishlab chiqilmoqda (standartning hozirgi TETRA V+D versiyasi 28,8kbit/sek maksimal ma'lumot uzatish tezligini ta'minlaydi). Kanallarning paketli kommutatsiyalovchi standartining TETRA PDO yangi versiyasida esa 32kbit/sek tezlikka erishiladi. Bundan tashqari, standartning ishchi chastotalar diapazonini kengaytirish, uni dengiz va aviatsiya xizmatlari (vertolyotlar va uchish tezligi 500 km/soat bo'lgan yengil samolyotlar), qishloq joylarida aloqani tashkil etish (100 km gacha masofalarda) va boshqa vazifalar uchun moslashtirish bo'yicha ishlar olib borilmoqda [9].

PMR tizimlarining keyingi rivojlanishi foydalanuvchilarning o'sib borayotgan talablarini qondirish uchun aloqa rivojlanishining zamonaviy an'alarini hisobga oluvchi yangi xizmatlarni o'z spetsifikatsiyalariga kiritishga qaratilgan. Xususan, umumiy foydalaniladigan tarmoqlar (Internet) hamda korporativ tarmoqlar orasida tarmoqlararo o'zaro ishlash imkoniyatiga ega bo'lgan IP protokoli asosida qurilgan tarmoqlardan foydalanish taklif etilmoqda. Bunday tarmoq qo'llanilganda texnologiya o'ta yuqori ma'lumot uzatish tezligini talab qiladigan ilovalarga mo'ljallanadi. Boshlang'ich yuqori tezlikdagi ilovalar uchun bir necha o'nlab Mbit/sek tezliklardan foydalanilsa-da, keyinchalik PMR tizimlarining yangi ishlanmalari 155Mbit/sek dan yuqori tezliklarni ta'minlashga qodir bo'lishi taxmin qilinmoqda. Bunda to'la mobillik va keng hududlarni qoplash ("rouming" imkoniyatlari) kabi afzalliklar saqlanadi.

Shuningdek, PMR tizimlarini LTE mobil aloqa texnologiyasi sari rivojlantirish ustida ham ishlar olib borilmoqda va shu tariqa 4G avlodi darajasida PMR hamda sotali aloqa funksionallarining yanada yaqinlashishi kutilmoqda.

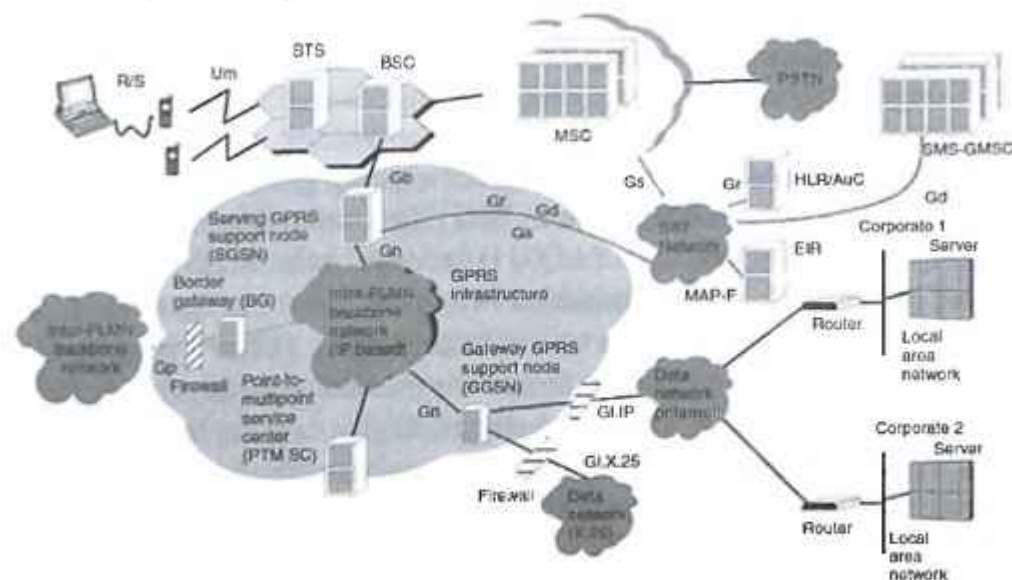
2.1.2. Sotali aloqa tizimlari

Chastotalarni sotali taqsimlash asosida qurilgan, qisqartirilganda sotali aloqa tizimlari deb nomlangan umumiy foydalanishga mo'ljallangan radioaloqa tizimlarini, so'zsiz, MRT tarkibida eng muvaffaqiyatli deb hisoblash mumkin. Haqiqatan ham, bor-yo'g'i qariyb 30 yil avval paydo bo'lgan aloqaning bu turi o'zining "akalarini" quvib o'tib, o'zining uchta avlodini almashtirib jahondagi eng ommaviy muloqot vositasi bo'lib qoldi. 2010-yilning iyuliga kelib jahondagi sotali aloqa abonentlarining soni taxminan 5 milliard kishiga etdi, bu Yer yuzi aholisining salkam 70 foizini tashkil etdi [11]. Bugungi kunda 4G texnologiyalari haqida so'z borganda, avvalo, sotali aloqa tizimlarining evolyutsiyasini ko'zda tutamiz. Shu bois, mazkur qo'llanmada asosiy e'tibor aynan shu mobil radioaloqa tizimlarining tahliliga qaratiladi, xususan, navbatdagi boblarda sotali aloqa tizimlarining rivojlanish evolyutsiyasi, shuningdek, uchinchi avlod (3G) tizimlari haqida alohida ma'lumot taqdim etiladi.

Mobil radioaloqa tizimlarini tashkil etishning sotali prinsipi telefon ixtirochisi Aleksandr Grexem Bell (*Alexander Graham Bell*) tashkil etgan Bell Laboratories (AQSH) laboratoriyasi xodimlari Duglas Ring va Rey Yang tomonidan 1947-yilda ilgari surilgan [12]. Bu kabi aloqa tarmog'i alohida tayanch stansiyalar (TS) – sotalarni xizmat ko'rsatish zonalaridan iborat bo'lib, bu zonalarining kengligi esa tarmoq abonentlarining hududiy zichligiga bog'liq bo'lar edi. Bir TS foydalanadigan chastota kanallari ma'lum bir hududiy interval orasida shu tarmoqqa kiradigan boshqa BSlar tomonidan ham takroriy foydalanilishi mumkin bo'lishi kerak edi. Bunda turli hududchalarda (sotalarda) o'sha bir chastotani o'zaro xalaqitlarsiz takroriy ishlatish imkoni paydo bo'lar edi. Afsuski, bu g'oya faqat 20 yildan

keyin tan olindi va umumiy foydalanishdagi sotali aloqa tarmoqlarini joriy etish faqatgina o'tgan asrning 70-yillari oxiridagina boshlandi. 1978-yilda Chikago shahrida 2 ming abonentga mo'ljallangan birinchi tajriba – sotali aloqa tizimining sinovlari bo'lib o'tdi. O'sha yili Baxreynida Batelco telefon kompaniyasi birinchi simsiz telefon aloqasi tizimining tijorat xizmatini boshladi. Shuning uchun 1978-yilni sotali aloqa turini amaliy ishlatilishining boshlanish yili deb hisoblash mumkin. AMPS standarti asosidagi birinchi tijorat sotali aloqa tizimi yana Chikago shahrida 1983-yilning oktyabr oyida ishga tushirildi. NMT-450 standarti asosidagi birinchi tijorat tarmoqlari esa Saudiya Arabistonida 1981-yilning 1-sentyabrida va roppa-rosa 1 oydan keyin Stokgolmda (Shvetsiya) faoliyat ko'rsata boshladi.

1989-yilda ETSI instituti doirasida tashkil etilgan maxsus mobil aloqa guruhi (*ingl. Group Special for Mobile – GSM*) tashabbusi bilan sotali aloqaning GSM nomli raqamli standarti ishlab chiqildi va u dastlab 900MGs diapazonida ishlash uchun mo'ljallandi. GSM standartida ishlaydigan birinchi tijorat tarmog'i 1992-yilda Germaniyada ishga tushirildi.



1.3-rasm. GPRSning funksiyonal ko'rinishi.

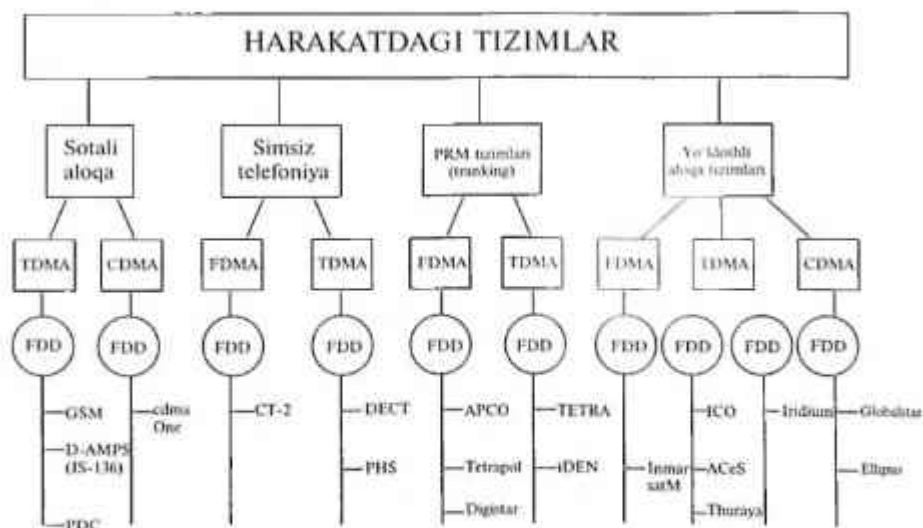
Bu standart rivojlanishni va takomillashishni davom ettirdi hamda jahon miqyosida ham keng qo'llanila boshladi. Natijada GSM qisqartmasi *"Global System for Mobile communications – Global mobil aloqa tizimi"* sifatida yoyiladigan bo'ldi. Hozirgi kunda GSM standarti Yevropada 1800MGs (GSM-1800) va 450MGs (GSM-400), AQSHda esa 1900MGs (PCS) qo'shimcha chastota diapazonlarida ishlashga moslashgan.

2.2. Harakatdagi radioaloqa tizimlarining klassifikatsiyasi

Ushbu qo'llanmada [17] manbada taqdim etilgan va HRTning quyidagi uchta belgiga asoslangan klassifikatsiyasidan foydalanilgan (2.4-rasm):

- tizimning vazifasi va xizmat ko'rsatish zonasi;
- ko'p sonli ulanish texnologiyasidan foydalanish;
- kanallarni duplekslash sxemasi.

Shuningdek, klassifikatsion belgi sifatida "xendover"ni tashkil etish sxemasi ham ko'rib chiqilgan.



2.4-rasm. Harakatdagi radioaloqa tizimlarining klassifikatsiyasi.

Nazorat savollari:

1. Harakatdagi radioaloqa tizimlarida qanday ilovalarga imkoniyat yaratiladi? Harakatdagi radioaloqa tizimlarida qanday kontentdan foydalanish ko'zda tutilgan?
2. Hozirgi rivojlanish bosqichida 4G tizimlarining qanday afzalliklari va kamchiliklari mavjud?
3. LTE tizimlarining qisqacha xarakteristikalarini bering.
4. Yaqin yillarda LTE texnologiyasining rivojlanish istiqbollari qanday?
5. WiMAX tizimlarining qisqacha xarakteristikalarini bering.

3.1. Peydjing terminali va protokollari

Shaxsiy radiochaqiriq tizimining markaziy tarkibi (komponent) uning imkoniyatini aniqlovchi peydjing terminalidir.

Peydjing terminal — abonent manzilini qabul qiluvchi va kirish qurilmasi (klaviatura yoki kompyuter)dan uzatuvchi va muayyan formatda past chastotali signalni uzatgich modulyatoriga beruvchi qurilmadir. Bundan tashqari terminal kommunikatsiyaviy kanallar bo'yicha uzatgichlar tizimini boshqarish mumkin.

Tizim orqali qo'llab-quvvatlanuvchi xabarlarini uzatish protokollari, bir nechta uzatgichlarni boshqarish imkoniyati, ajratib chiqarilgan operator joylarini ulash imkoniyati, boshqa tizimlarga (rouming), shuningdek federal peydjing va boshqa tizimlarga xabarlar uzatish terminalining xarakteristikasi hisoblanadi.

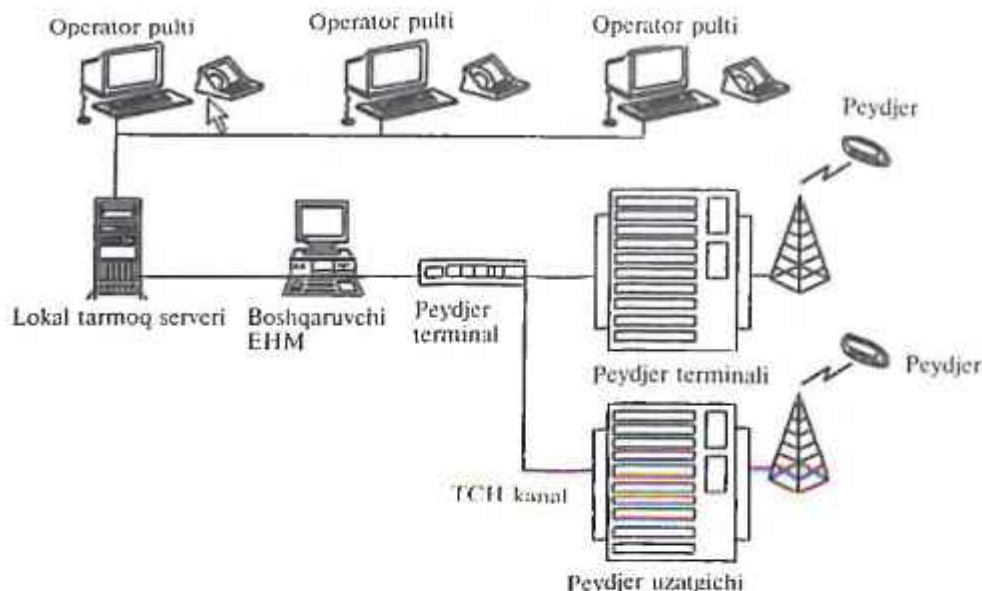
Peydjing stansiyasi tuzilishining tipik sxemasi 3.1-rasmda ifodalanagan.

Ishlab chiqarilgan terminallar turlari juda ko'p turli bo'lganligi sababli, ular 100 abonent bazasiga ega bo'lgan kompyuter platasi shaklidagi yoki raqamli xabarlarini kiritish uchun mo'ljallangan klaviaturali alohida qurilma sifatida bajarilgan oddiy terminallardan tortib, to 200000 abonentga mo'ljallangan jiddiy kompyuterlar asosida tayyorlangan qurilma sifatidagi birmuncha murakkab tizim bo'lib xizmat qiladilar.

SHRCHT AQSH, Fransiya, Yaponiya va boshqa yetakchi firmalari tomonidan ishlab chiqarilgan. Bir xil qurilmalar va xizmatlar me'yorini ishlab chiqishda turli chaqiriq tizimlardan foydalaniladigan qator umumiy yagona standartlarni yaratish zarur.

Bunday standartlardan birinchisi 1969-yilda Yevropa pochta va Yevropa aloqa administratsiyasi konferensiyasi (SEPT) tomonidan ishlab chiqilgan YEVROSIGNAL standartidir. Keyinchalik turli tashkilotlar va kompaniyalar tomonidan radio interfeysni normallashtiruvchi POCSAG, ERMES, FLEX va boshqalar kabi

birmuncha mukammallashtirilgan standartlar ishlab chiqildi. Shular ichida keng tarqalgani POCSAG standarti bo'lib chiqdi.



3.1-rasm. *Peydjing stansiyasining tuzilish sxemasi.*

UMTS tarmoqlarining joriy etilishi mobil aloqaning rivojlanishida prinsipial yangi bosqich bo'ldi va mobil tarmoqlarda ma'lumotlarni uzatishda maksimal 2,048Mbit/sek gacha tezlikka erishishga imkon berdi. UMTS tizimlarining GSM/GPRS/EDGE tizimlaridan asosiy farqi 5MGs o'tkazish polosasiga ega bo'lgan keng polosali signallardan (KPS) foydalanilishi bo'ldi. UMTS texnologiyasining yana bir afzalligi signalning yuqori to'siqqa bardoshlilik va uning ko'p nurlilik ta'siriga barqarorligi hisoblanadi. Bundan tashqari, KPSdan foydalanish kanallarini ajratishning kodli usulini (CDMA) ishlatish imkonini beradi.

SDMAONE (IS-95) standartining rivojlanishidagi oraliq bosqich IS-95b spetsifikatsiyasi bo'ldi. U 8 tagacha mantiqiy kanallarni birlashtirishga va $14,4 \cdot 8 = 115,2$ kbit/sek nazariy tezlikka erishishga (real tezlik 64kbit/sek ni tashkil etdi) imkon

berdi. Keyingi qadam CDMA-2000 loyihasi bo'ldi, u pirovard natijada IMT-2000 tomonidan 3G tarmoqlariga qo'yilgan talablarga javob berishi kerak edi. CDMA-2000 standartlari rivojlantirishining uchta bosqichi ko'zda tutilgan edi: 1X (2,75G darajasida), 3X va SDMA-2000DS (*ingl. Direct Sequence – "to'g'ri ketma-ketlik"*). So'nggi bosqich texnik jihatdan W-CDMAga o'xshash bo'lgani uchun bu yuzasidan ish olib borish to'xtatildi. CDMA-2000 standartlari oilasi 3G darajasidagi tarmoqlardan to'g'ri Pre4G darajasidagi tarmoqlargacha oraliq bosqichlardan o'tib kelmoqda. Lekin hozirgi kunda 3,5G; 3,75G; 3,9G avlodlari haqida gap ketganida, bizning hududimizda ko'proq 3GRR (ya'ni, UMTS-HSPA-HSPA+ va LTE) texnologiyalarining rivojlanish bosqichlari nazarda tutilmoqda. Shu bois bu yerda aynan shu texnologiyalar yoritiladi (3.1-rasm) va CDMA-2000 standartlarining evolyutsion bosqichlari haqida uchinchi avlod tarmoqlariga bag'ishlangan bobda tahlil qilinadi.

3.1.1. 3,5G avlod standartlari

Ma'lumot uzatish tezligini oshirish va ma'lumot uzatilishining kechikishini (ma'lumot paketi adresatga yetib borib qaytish vaqtini, qisqacha, "*javob kechikishi vaqtini*") kamaytirish maqsadlarida UMTS standartining navbatdagi rivojlanish bosqichida ko'p pozitsiyali kvadratura-amplitudaviy modulyatsiyalar, ya'ni 16-QAM, 64-QAM usullari qo'llanilgan HSPA (*ingl. High Speed Packet Access*) texnologiyasi ishlab chiqildi. Bu texnologiyada javob kechikishi vaqtini kamaytirish maqsadida asosiy e'tibor MAS (*ingl. Media Access Control*) muhitga ulanishning boshqaruv protokolini modernizatsiyalashga qaratildi. HSPA texnologiyasi 3GPP loyihasi standartlarining 6-bosqich spetsifikatsiyasi (*ingl. 3GPP Release 6*) sifatida kiritilgan bo'lib, odatda 3,5G avlodiga mansub deb ko'rsatiladi. O'z navbatida, HSPA standarti ikkita tashkil etuvchi texnologiyalar – HSDPA va HSUPA-lardan iborat.

HSDPA (ingl. *High-Speed Downlink Packet Access* – “pastga” yoʻnalishida maʼlumotlarni yuqori tezlikda paketli uzatish) – mutaxassislar tomonidan toʻrtinchi avlod texnologiyalariga oʻtishda oraliq bosqichlaridan biri sifatida baholanayotgan mobil aloqa texnologiyasidir. HSDPA texnologiyasida maʼlumot uzatishning maksimal nazariy tezligi 14,4Mbit/sek gacha yetishi mumkin, mavjud tarmoqlarda amaliy erishilgan tezlik esa 3Mbit/sek ni tashkil etadi.



3.2-rasm. 3GPP loyihasining bosqichlari.

HSDPA texnologiyasi kabi **HSUPA** (ingl. *High-Speed Uplink Packet Access* – “tepaga” yoʻnalishida maʼlumotlarni yuqori tezlikda paketli uzatish texnologiyasi) takomillashgan modulyatsiyalash usullari hisobiga foydalanuvchining W-CDMA AUdan BSga maʼlumot uzatishni tezlatishga imkon beradigan mobil aloqa texnologiyasi hisoblanadi.

Nazariy jihatdan **HSUPA** texnologiyasi “yuqoriga” maʼlumotlarni maksimal 5,76Mbit/sek gacha boʻlgan tezlikda uzatishga moʻljallangan boʻlib, bu bilan AUdan BSga maʼlumotlarning katta oqimini talab qiluvchi uchinchi avlod ilovalarini (masalan, videokonferensiya) ishga tushirish imkonini beradi.

3.2. 3,75G avlod standartlari

3GRR doirasida HSPA texnologiyalari xarakteristikalarini yaxshilash boʻyicha ishlar davom etdi va natijada 2007-yilning oxi-

rida “Takomillashtirilgan HSPA” yoki **HSPA+** (*ingl. Evolved High-Speed Packet Access*), deb nomlangan versiya ishlab chiqildi. Bu texnologiya HSPA standartining keyingi bosqichi hisoblanadi va unga MIMO antenna texnologiyalari bilan bir qatorda, murakkabroq 64-QAM modulyatsiya sxemalari qo‘shilgan. Shu bois HSPA+ tarmoqlarida nazariy jihatdan “pastga” yo‘nalishda 56Mbit/sek gacha va “yuqoriga” yo‘nalishda 22Mbit/sek gacha bo‘lgan tezliklarga erishish mumkin bo‘ldi. Ushbu texnologiya ma’lumot uzatish tezligini 168Mbit/sek gacha oshirish potensial imkoniyatiga egaligi taxmin qilinmoqda. Texnologiyada bir necha eltuvchi chastotalarda (har biri 5MGs dan) bir vaqtda uzatish va qabul qilish prinsipi ham ishlatilishi mumkin, bu narsa tezlikni bir necha marta oshirib berishi mumkin.

Opsional ravishda HSPA+ tarmoqlari to‘liq IP-arxitekturasida (*ingl. all-IP-architecture*) qurilishi mumkin, bu BSlarni IP-protokollar asosida qurilgan magistral liniyalarga to‘g‘ridan to‘g‘ri ulash imkoniyatini beradi. HSPA+ texnologiyasida AULAR akumuliyatorlari tejamlirorq ishlatiladi va ularning “kutish” rejimidan “faol” rejimiga o‘tish vaqti sezilarli qisqaradi.

HSPA+ texnologiyasi 3GRR loyihasi standartlarining 7- va 8-bosqichlari (relizlari)ga (*ingl. 3GRR Rel. 7 & 8*) kiradi.

HSPA+ texnologiyasi asosidagi birinchi tarmoq 2008-yilda Avstraliyaning Telstra kompaniyasi tomonidan Ericsson (Shvetsiya) uskunalari yordamida ishga tushirildi. 2011-yilning may oyida jahonning 65 davlatida 123 ta HSPA+ tarmoqlari bor edi.

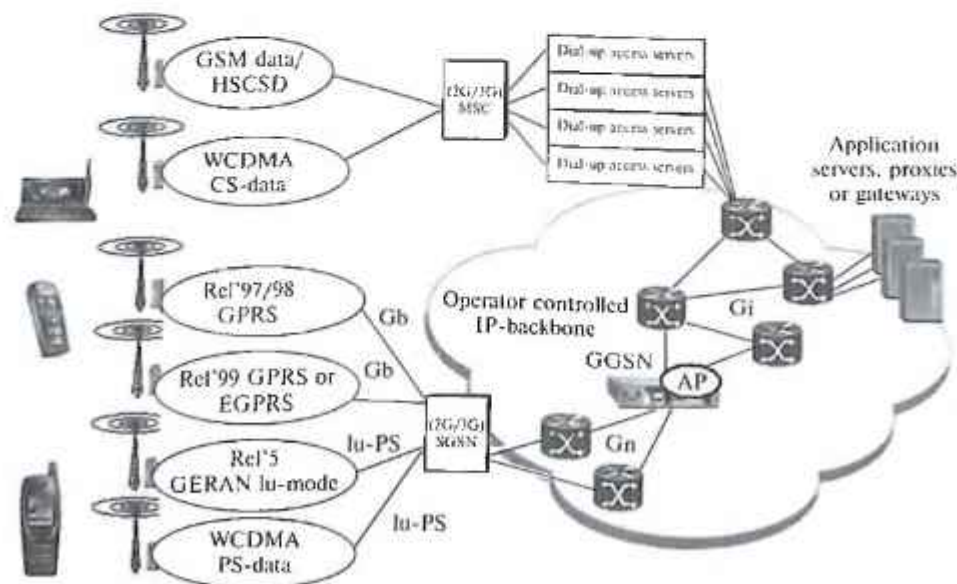
3.3. 3,9G yoki Pre 4G avlod standartlari

Wi-Fi/WiMAX simsiz ma’lumot uzatish tarmoqlarida OFDM texnologiyasidan foydalanish evaziga kelib chiqqan texnik “inqilob” mobil aloqa dunyosini ham chetlab o‘tmadi.

HSOPA (*ingl. High Speed OFDM Packet Access*) texnologiyasini ishlab chiqish bilan boshlangan yo‘l 3GRR loyihasi standartlarining 3GRR-LTE (*ingl. 3GRR Long Term Evolution*) uzoq

muddatli evolyutsiya konsepsiyasiga qo'shilib ketdi. Eslatib o'tish kerakki, OFDM asosida ishlab chiqilgan radiointerfeys texnologiyasi 2007-yilda HTI tomonidan IMT-2000 dasturining asosiy radiointerfeysi sifatida qabul qilingan (3.3-rasmga qarang).

3GRR-LTE (qisqartirilgan holda LTE) – ma'lumot uzatish tezliklariga bo'lajak talablarni qondirish uchun UMTS standarti imkoniyatlarini takomillashtiruvchi mobil aloqa texnologiyasi hisoblanadi. Bu takomillashuv aloqa samaradorligini oshirish, tarmoqlarni tashkil etishdagi sarf-xarajatlarni kamaytirish, taqdim etiladigan xizmatlar darajasini ko'tarish va kengaytirish, shuningdek, mavjud mobil va keng polosali aloqa protokollari bilan o'zaro ishlash kabilarni o'z ichiga oladi. Nazariy jihatdan LTE texnologiyasida ma'lumotlarni "pastga" uzatish tezligi 326,4Mbit/sek gacha, "yuqoriga" esa 172,8Mbit/sek gacha yetishi mumkin. LTE standartining 8-versiyasidagi (3GRR Rel.8) imkoniyatlari 4G talablarigacha etib bormagani tufayli so'nggi paytlarda LTE ko'pincha 3,9G yoki Pre4G avlod mobil aloqa texnologiyalari deb atalmoqda.



3.3-rasm. *Uzatish kanali ulanishining turli variantlari.*

3.1-jadvalda o'tkazilgan tahlillar yakunidagi mobil aloqa tizimlari evolyutsion rivojlanishining asosiy ko'rsatkichlari keltirilgan.

3.1-jadval

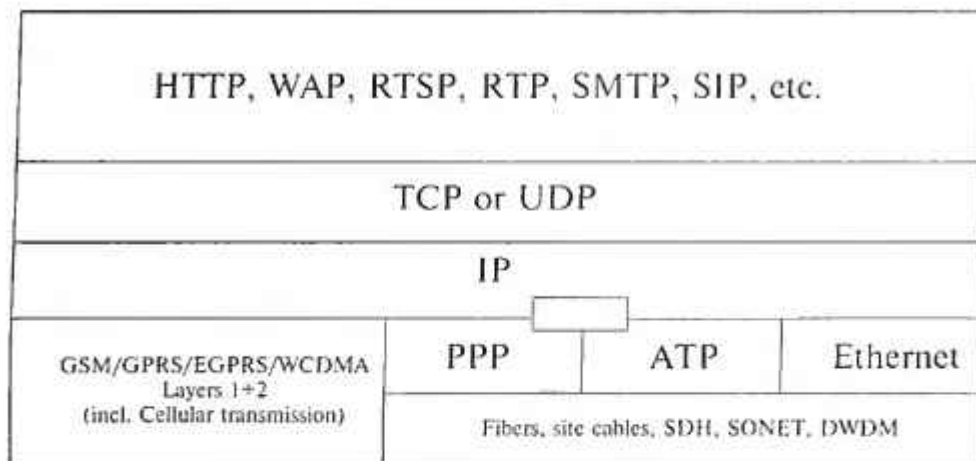
Mobil aloqa tizimlari evolyutsiyasi

Mobil aloqa avlodlari	1G	2G	2,5G	3G	3,5G	4G
Ishlar boshlanishi yili	1970	1980	1985	1990	<2000	2000
Ishga tushirish yillari	1984	1991	1999	2002	2006—2007	2009—2012
Ko'rsatilayotgan xizmatlar	Analog standartlar	Raqamli standart, SMS, 9,6kbit/sek ma'lumot uzatish tezligi	Tarmoqning katta hajmi, ma'lumotlarni paketli uzatish	Tarmoqning yanada katta hajmi, 2 Mbit/sek gacha tezlik	3G tarmoqlaridagi tezliklarni oshirish	Katta hajmli, IP-asosidagi tarmoq, multimedia, yuzlab Mbit/sek tezlik

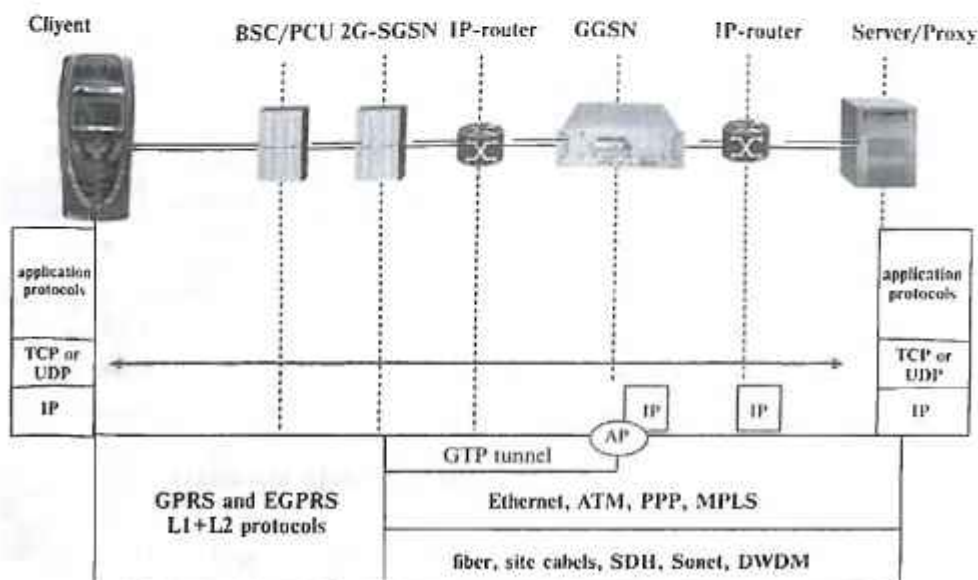
3.4. 3G uchinchi avlod sotali aloqa tizimlari

3G atamasi bilan (*ingl. third generation — “uchinchi avlod”*) ma'lumot uzatish va Internet tarmoqlariga yuqori tezlikda mobil ulanish bilan birga, ma'lumot uzatish kanalini yaratuvchi ra-

diotexnologiya yordamida foydalanuvchilarga bir qator xizmatlar to'plamini taqdim etuvchi sotali aloqa tizimlari nomlanadi.

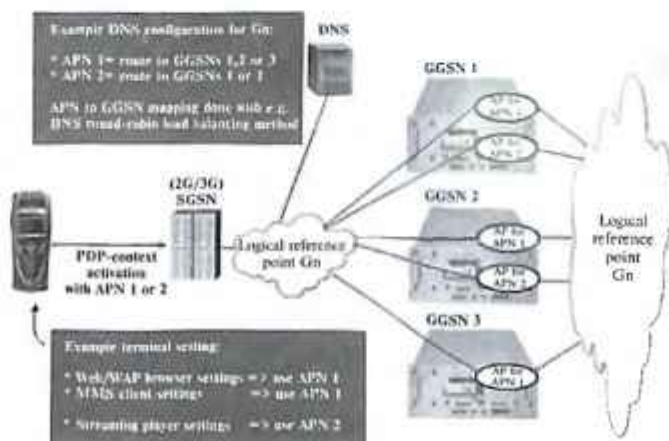


3.4-rasm. *IP asosida ko'p sathli protokoli.*



3.5-rasm. *IP paketidan GPRS protokoliga o'tish.*

3G tizimlari mobil aloqaning turli xizmatlari, “global rouming” hamda multimedyaning keng imkoniyatlarini, jumladan: video-telefoniya va videokonferensiya xizmatlari; Internet va intranetga (ya’ni, ichki tarmoqlarga) yuqori tezlikda ulanish; turli xildagi biznes, ko’ngilochar va ilmiy xizmatlarga aloqador ma’lumotlarni uzatish kabilarni taqdim etadi. Ushbu tizimlar abonentlarning harakatlanish tezligi cheklanmagan holatida – 64kbit/sek, harakatlanish tezligi cheklangan holatda (piyoda yurgandagi tezlik) – 384kbit/sek, abonent harakatlanmagan holatida esa 2Mbit/sek gacha bo’lgan tezliklarda ma’lumot uzatish imkonini beradi. 3G tizimlarining ikkinchi avlod (2G) tarmoqlaridan asosiy farqi ham katta hajmdagi ma’lumotlarni yuqori tezlikda uzatish imkoniyatidir. Bu esa o’z navbatida mobil aloqani sifat jihatidan yangi darajaga ko’taradi: bir tomondan abonent Internetga to’laqonli ulanish, videoaloqa xizmatlari, yuqori tezlikda ma’lumot uzatish imkoniyatlariga ega bo’lsa, ikkinchi tomondan – operatorlar an’anaviy aloqa xizmatlaridan daromad olish bilan birga, turli xildagi qo’shimcha xizmatlarini ko’rsatish hisobiga yangi daromad manbalariga ega bo’ladilar. 3G tizimlari – videotelefon aloqasini tashkil etish, mobil telefon yordamida filmlar hamda turli teledasturlarni tomosha qilish imkonini ham beradi.

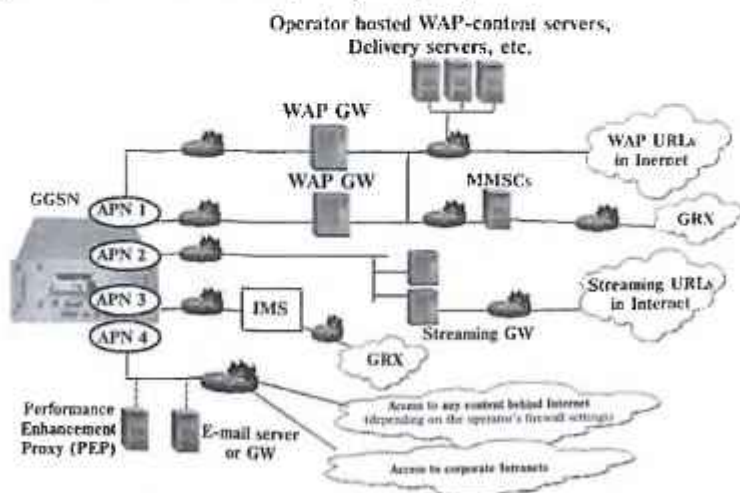


3.6- rasm. APNni DNSga bog'liqligi.

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, dunyoda 3G standartlarining asosiy ikki oilasi: W-CDMA (UMTS, FOMA) hamda CDMA-2000 texnologiyalari asosidagi tizimlari mavjud. UMTS standarti asosan Yevropada, FOMA Yaponiyada, CDMA-2000 esa Amerika va Osiyo qit'alarida tarqalgan. Shuningdek, asosan Xitoyda tarqalgan TD-SCDMA standarti ham 3G texnologiyalari oilasiga kiradi.

Mobil aloqa qurilmalarini ta'minlovchilarning global uyushmasi – GSA (*ingl. Global Association of Mobile Suppliers*)ning ma'lumotlariga ko'ra, 2011-yilning may oyida butun dunyodagi 3G va 3,5G tarmoqlari soni 710 tani tashkil etgan, bu esa dunyodagi barcha sotali aloqa tarmoqlarining 25% ni tashkil etgan [21].

Bunda 400 ta tarmoq W-CDMA texnologiyasi asosida qurilgan bo'lib, ushbu tarmoqlardagi abonentlar soni 684 mln ni tashkil etgan. Shu bilan birga 323 tadan oshiq tarmoqlar CDMA-2000 standartlar oilasi asosida qurilgan va ularda abonentlar soni 561 mln ni tashkil etgan. Shu jumladan 245 ta tarmoq EV-DO (Rel.0, Rev. A,B) standarti asosida qurilgan [22].



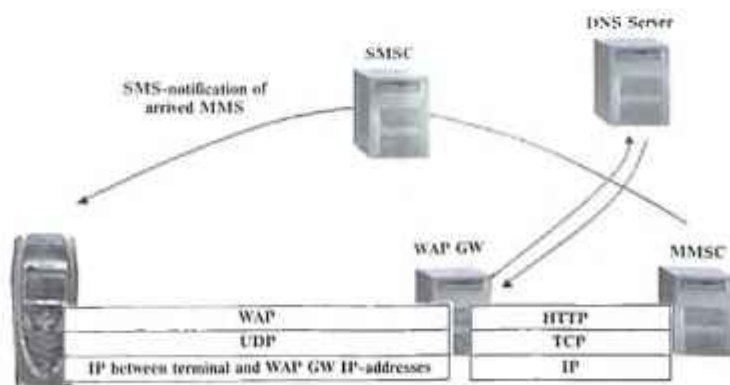
3.7-rasm. APNni proksiserverga bog'liqligi.

3G tizimlarining imkoniyatlari yakkaxon mijozlar uchun ham, jamoa bo'lib foydalanuvchi (korporativ) mijozlar uchun ham mobil aloqadan foydalanishning yangi qirralarini ochadi.

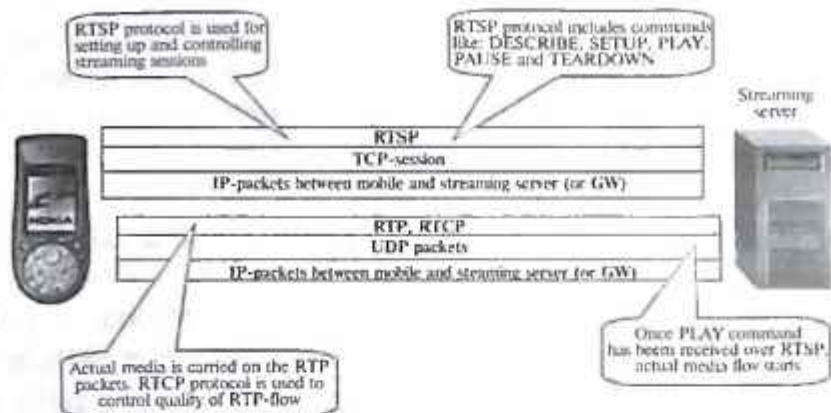
Yuqorida ta’kidlab o’tilgan Internetga ulanish hamda videoaloqa xizmatlaridan tashqari, 3G abonentlari korporativ tarmoqlarga masofadan turib ulanishlari ham mumkin. Va bu bilan mobil aloqaning uchinchi avlodi ofisda ishlashning an’anaviy tarzini tubdan o’zgartiradi.

UMTS va GSM tarmoqlarining o’zaro ishlashi

UMTS va GSM tizimlari radiointerfeys sathida turli xil mexanizmlardan foydalanadi, shuning uchun ushbu sathda ikkala tarmoqlar moslasha olmaydilar. Lekin hozirgi paytda ikkala standartda ishlay oladigan UMTS abonent uskunalari va modullari Yevropa, AQSH, Shimoliy Afrika va Osiyoning ko’p hududlarida keng tarqalgan. Bunda, agar UMTS tizimining abonentlari UMTS xizmat doirasidan chetga chiqsa, uning terminali avtomatik ravishda GSM formatida qabul qilish va uzatish holatiga o’tadi (hatto tarmoq turli operatorlarga tegishli bo’lsa ham). Lekin GSM standartining mobil terminallari UMTS tarmoqlarida ishlay olmaydi. GSM standartida xizmat ko’rsatayotgan aloqa operatorlari uchun UMTS standartiga o’tish texnik nuqtayi nazaridan oddiy bo’lsada, tarmoqni tashkil etish nuqtayi nazaridan ancha xarajatli bo’ladi.



3.8-rasm. MMS bog’lanuvchi qurilma.



3.9-rasm. Audio/video ma'lumotlarini IP protokoli orqali yuborish.

Yangi darajadagi tarmoqlarni qurishda oldingi infratuzilmaning aksariyat qismi saqlanib qoladi, lekin shu bilan birga BSlar uchun yangi uskunalarni sotib olish hamda yangi litsenziyalar olish uchun katta miqdorda mablag' sarflanishi talab qilinadi. UMTS tizimining GSM tizimidan asosiy farqi radioulanish tarmog'ini (*ingl. Radio Access Network – RAN*) umumiy ulanish prinsipida qurilishidir. Bu UMTS tizimini birlashgan xizmatlar ko'rsatuvchi raqamli tarmoqlar — ISDN, Internet, GSM yoki boshqa UMTS tarmoqlari bilan o'zaro ishlash imkonini beradi. UTRAN nomini olgan UMTS standarti radioulanish tarmog'i "Tizimlarning ochiq o'zaro ishlash" modelining (*ingl. Open Systems Interconnection – OSI*) uchta quyi sathlarida ishlaydi, ulardan eng yuqorisini (uchinchi, tarmoq sathini) radioresurslarni boshqaruvchi tizim protokollari (RRC protokoli) tashkil etadi.

UMTS standartining kamchiliklari

UMTS standartining asosiy kamchiliklariga quyidagilar kiradi:

- spektrdan nisbatan samarasiz foydalanish (5MGs kenglikdagi

juft kanallar) va boshqa xizmatlarga tegishli bo'lgan chastotalarni bo'shatish zarurati, bu tarmoqlarning qurilishini sekinlashtiradi (masalan, AQSHdagidek);

- ba'zi davlatlarda (shu jumladan, AQSH va Yaponiyada) radiochastota spektrini taqsimlash tartibi HTI tavsiyalariga mos kelmaydi va natijada UMTS tarmoqlarini standart uchun mo'ljallangan chastotalarda qurib bo'lmaydi;

- UMTS va GSM tarmoqlari orasida "xendover"ni tekis amalga oshirishning texnologik murakkabligi;

- sotaning uncha katta bo'lmagan radiusi (xizmatlarni to'liq taqdim etish uchun u 1–1,5km ni tashkil etadi);

- akkumulyator batareyalarining kam sig'imliligi bilan birga mobil terminallarning nisbatan og'irligi.

Nazorat savollari:

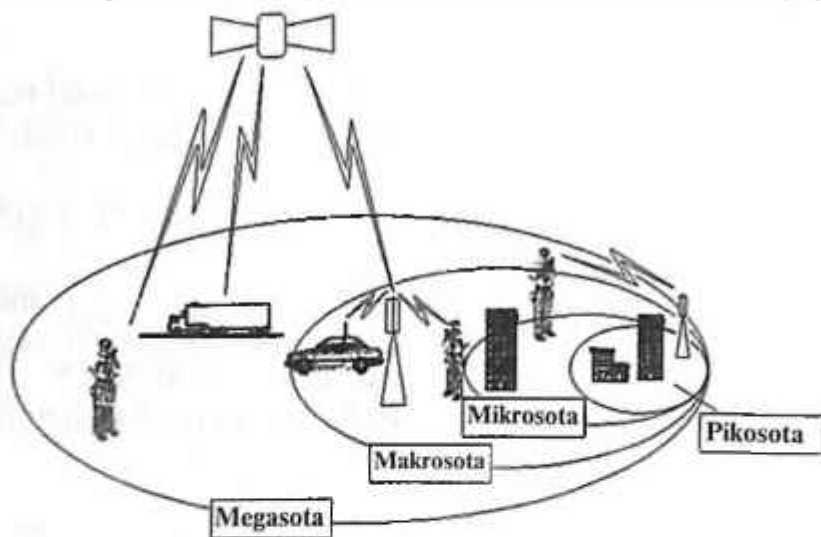
1. To'rtinchi avlod mobil aloqa (3G) tizimlariga tavsif bering.
2. UMTS avlod tarkibiga qanday texnologiyalar kiradi (yoki kirishi taxmin qilinmoqda)?
3. To'rtinchi avlod texnologiyalarining uchinchi avlod texnologiyalaridan asosiy farqlari nimada?
4. 3.5G tarmoqlarida qanday ko'p sonli ulanish (kanallarni multiplekslash) texnologiyasi, qanday modulyatsiya usullari va antenna texnologiyalaridan foydalanish ko'zda tutilgan?
5. Dunyoning turli mintaqalarida 4G tarmoqlarning hozirgi rivojlanish holati qanday?

4-bob. MOBIL STANSIYALARINING JOYLASHUVI

4.1. Mobil stansiyalarining joylashuvi va 3G tizimlarining qurilish prinsiplari

Uchinchi avlod mobil aloqa tizimlari quyidagi prinsiplar asosida quriladi:

- **“umumqamrov” aloqa**, ya’ni “hamma joyda va har doim” mavjud aloqa – bu prinsip Yerning istalgan joyida umumiy foydalanish tarmoqlariga ulanish imkoniyati mavjudligini ko’zda tutadi. 3G tizimlarini yaratishda UPT (ingl. *Universal Personal Telecommunications* – “*Universal shaxsiy aloqa*”) texnologiyasi muhim o’rinni egallaydi. Unga muvofiq, Yer yuzida yashovchi har bir shaxs uchun ofis, shahar, mintaqa va global masshtabdagi aloqa tarmoqlariga istalgan joyda va istalgan vaqtda ulana olishi uchun shaxsiy identifikatsiya raqami ajratiladi (4.1-rasm) [1].



4.1-rasm. IMT-2000 doirasida Yer usti va yo’ldoshli aloqa tarmoqlarining birlashishi.

- **yagona axborot maydoni**, ya’ni butun dunyo axborot maydoni resurslariga mobil tarzda ulanishning unifikatsiyalangan (ya-

qinlashtirilgan) uslublarini ishlab chiqishni ko'zda tutadi. Bu radioulash va Internet tarmoqlarining integratsiyalash (birlashtirish) yo'li bilan amalga oshiriladi;

- **yagona chastota maydoni**, IMT-2000ga muvofiq 3G tizimlarini rivojlantirish uchun butun dunyo negizida 2GGs diapazonida 230MGs kenglikdagi chastotalar polosasini ajratilish ko'zda tutiladi;

- **mobil terminallarning ommabopligi**, 3G tarmoqlardagi mobil terminallar ko'p funksiyali, ko'p rejimli, foydalanuvchilar talablariga mos va shu bilan birga ixcham va arzon narxda bo'lishi nazarda tutiladi;

- **mobil va turg'un aloqa tizimlarining birlashtirilishi** — FMC (*ingl. Fixed Mobile Convergence*) — turg'un va mobil aloqa xizmatlarining integratsiyalash va konvergentsiyalash (bir-biriga singishi) hamda "bir kishi-bir telefon" prinsipini amalga oshirish ko'zda tutiladi;

- **"raqamli tengsizlik"** (*ingl. Digital Divide*) muammosini yechish, ya'ni dunyoning turli davlatlari va mintaqalarida aloqa va axborot texnologiyalari rivojlanishida farqni (nomutanosiblikni) qisqartirish. Shunga ko'ra, 3G tizimlari bu farqni tuzatish maqsadida ko'prik (*ingl. Bridge the Telecommunications Gap*) vazifasini o'tashi lozim.

3G tizimlarini ishlatish uchun mobil aloqa global unifikatsiyalangan standartlari bo'yicha quyidagi tavsiyalar ishlab chiqilgan edi:

- ovoz uzatish sifatini simli aloqa tarmoqlaridagi ovoz uzatish sifati darajasiga yetkazish;

- axborot xavfsizligini ta'minlashda simli tarmoqlardagi xavfsizlik darajasiga yetkazish;

- milliy va xalqaro "rouming"ni ta'minlash;

- bir necha mahalliy va xalqaro operatorlar tarmoqlariga ulana olishni ta'minlash;

- chastotalar spektridan samarali foydalanish;

- ko'p sathli sotali tuzilmalar (strukturalar)ni qo'llab-quvvatlash;

- paketli va kanalli kommutatsiya uslublarini ta'minlash;
- yo'ldoshli aloqa tizimlari bilan o'zaro ishlash imkoniyatini ta'minlash;
- ma'lumot uzatish tezligini bosqichma-bosqich 2Mbit/sek gacha yetkazish.

4.2. 3G standartlari

UMTS standarti (*ingl. Universal Mobile Telecommunications System – “Mobil aloqa universal tizimi”*) – uchinchi avlod mobil aloqa tizimlari turkumiga kiruvchi sotali aloqa texnologiyasidir. Ushbu standartda radioefir orqali ma'lumot uzatish uslubi sifatida W-CDMA texnologiyasidan foydalanilgan. UMTS tizimi 3GPP loyihasiga muvofiq standartlashtirilgan va Yevropa ishlab chiquvchilari tomonidan HTIning IMT-2000 dasturi bo'yicha talablariga javob beradi. Raqobatdagi tizimlardan ajralib turishi uchun UMTS standarti gohida 3GSM deb ham yuritiladi. Shu bilan, bir tomondan, uni 3G – uchinchi avlod texnologiyalariga tegishliligi ta'kidlansa, ikkinchi tomondan, uni GSM tarmoqlarining “keyingi avlodiligi” nazarda tutiladi.

4.2.1. UMTS standarti.

UMTS standartining xarakteristikalar

Kanallarni kod asosida bo'lish (CDMA) texnologiyasining kirib kelishi mobil aloqa tizimlarining rivojlanishiga katta turtki bo'ldi va 3G tarmoqlarida 2G tarmoqlarida erishilmagan imkoniyatlarga erishishga zamin yaratdi. Bunga yorqin misol – bu radiosignalning quvvatiga nisbatan qabul qilgichning yuqori sezgirligi asosida signalni nurlanish quvvatini tezkor tarzda boshqarish imkoniyati paydo bo'lganidir. Shuningdek, UMTS texnologiyasining o'ziga xos xususiyatlariga quyidagilarni ham kiritish mumkin:

- RRS – tarmoq radioresurslarini yanada ixchamroq boshqarish;

- xizmatlar sifati (*ingl. Quality of Service – QoS*)ni “boshidan-oxirigacha” (ya’ni, “so’nggi foydalanuvchidan – so’nggi foydalanuvchigacha” zanjirida) boshqarishni qo’llanilishi;
- yangi - “transport” kanallarini kiritish hisobiga signal uzatuvchi fizik muhitdan foydalanishning samaradorligini oshirish;
- MGW va SoftSwitch mediashlyuzlarini tadbiq etish yo’li bilan tayanch tarmog’i (*ingl. Core Network*) trafigini optimallashtirish;
- tarmoqda IP protokolidan foydalanishni maksimal kengaytirish;
- adaptiv (moslashuvchan) ovoz kodeklarining xilma-xilligi (AMR-NB, AMR-WB, AMR-WB+);
- turg’un aloqa tarmoqlari bilan konvergensiyalash (SS7 signalizatsiyasi asosida);
- “IP asosidagi ovoz” (*ingl. VoIP*) xizmatidan foydalanish imkoniyatlari;
- intellektual antenna tizimlari (yo’naltirish diagrammasini adaptiv holda boshqaruvchi “smart-antennalar”)dan foydalanish imkoniyatlari.

Biroq, UMTS standartining (va barcha 3G standartlarining) 2G standartlariga nisbatan asosiy ajratib turuvchi xususiyati — bu ma’lumot uzatish tezligini mumkin qadar oshirilishi bo’lsa ajab emas. UMTS tizimining asl darajasida ma’lumot uzatish tezligini nazariy 2Mbit/sek gacha yetkazish imkoni mavjud. HSPA va HSPA+ kabi UMTS bazasida qurilgan yangi texnologiyalarning ishlatilishi natijasida, yuqorida bayon etilganidek, muvofiq ravishda 14Mbit/sek va 100Mbit/sek gacha tezliklarni ta’minlash mumkin. Shu bilan, UMTSning hatto asl variantidagi tezlik ko’rsatkichlari ham GSMdagi 9,6kbit/sek yoki hatto GPRSdagi 171kbit/sek va EDGEdagi 474kbit/sek tezlik ko’rsatkichlariga nisbatan so’zsiz progress (o’sish) hisoblanadi va Internet tarmoqlariga va boshqa “tezkor” servislarga mobil terminallar orqali keng polosali ulanish imkoniyatlarini beradi.

4.3. UMTS standarti radiointerfeysi texnologiyasi

UMTS tizimi GSM tarmog'ining "yadrosi" (tayanch tarmog'i) ga W-CDMA, TD-CDMA yoki TD-SSDMA radiointerfeys texnologiyalaridan birini tadbiq etish asosida qurilishi mumkin. Lekin, so'nggi vaqtda UMTS (yoki o'xshash — FOMA) tarmoqlarini ishlatayotgan ko'plab operatorlar radiointerfeys texnologiyasi sifatida aynan W-CDMA variantini tanlashmoqda.

W-CDMA (ingl. *Wideband Code Division Multiple Access* — "kanallarni kodli bo'lish asosida ko'p sonli keng polosali ulanish") — 3G xizmatlarini qo'llab-quvvatlash maqsadida keng polosali radioulanishni ta'minlash uchun ko'plab sotali aloqa operatorlari tomonidan tanlagan radiointerfeys texnologiyasidir. W-CDMA texnologiyasi foydalanuvchilarga yuqori tezlikdagi multimedia xizmatlarini taqdim etish uchun optimallashtirilgan va 2Mbit/s sek gacha tezlikda ma'lumot uzatishni ta'minlay oladi. Ma'lumki, bunday tezliklar keng chastotalar polosasini talab qiladi, shuning uchun W-CDMAda polosa kengligi 5MGsni tashkil etadi. W-CDMA texnologiyasini mavjud GSM va GPRS — ikkinchi avlod tarmoqlariga qo'shimcha o'zgartirishlar kiritish yo'li bilan qurish mumkinligi uni tarmoq resurslaridan foydalanish va global moslashtirish nuqtayi nazardan istiqbolli ekanligidan darak beradi. W-CDMA dastlab GSM tarmoqlarini almashtirilib, asta-sekin 3G tarmoqlariga o'tish texnologiyasi deb qabul qilingan. Shuning uchun uning tarmoq infratuzilmasi MAP/GSM arxitekturasiga mos keladi va Yevropadagi W-CDMA tarmoqlari uchun yaratilgan abonent terminallar GSM tarmoqlarida ham ishlay oladi. Bu esa operatorlarga, avvaliga, aholisi zich joylarda W-CDMA "orolchalarini" yaratish (2G/2,5G tarmoqlari bilan o'zaro xizmatda), keyin esa, bosqichma-bosqich ularni yirik tarmoqlarga aylantirish imkoniyatini beradi. Bundan tashqari, W-CDMA texnologiyasi paketli kommutatsiya protokollarini (IP, X.25) qo'llab-quvvatlashga mo'ljallangani tufayli, bu uni umumiy foydalanishdagi boshqa tarmoqlar bilan o'zaro ishlashini soddalashtiradi.

W-CDMA texnologiyasi har bir kanalda 5MGslik polosada spektrni to'g'ri ketma-ketlikda kengaytirish — DSSS (*ingl. Direct-Sequence Spread Spectrum*) uslubiga asoslangan. Dastlab belgilangan chiplar oqimining tezligi (4,096 Mchip/sek) keyinchalik boshqa texnologiyalar bilan moslashish maqsadida biroz kamaytirildi (3,84 Mchip/sek gacha). W-CDMA texnologiyasi cheklangan harakatdagi abonentlar uchun talab qilingan 2 Mbit/sek gacha va yuqori harakatdagi abonentlar uchun 384Mbit/sek gacha ma'lumot uzatish tezliklarini qo'llab-quvvatlashi mumkin.

Ishlab chiquvchilar tomonidan W-CDMA texnologiyasining ikki varianti taklif etilgan: chastota va vaqt bo'yicha duplekslash asosidagi juftlik (*ingl. munosib ravishda FDD W-CDMA va TDD W-CDMA*). Ular uchun 2110–2170MGs va 1920–1980MGs polosalarida poylik chastotalar hamda 1900–1920MGs va 2020–2025MGs polosalarida 25MGs gacha poysiz chastotalar ajratish taklif etilgan. FDD W-CDMA texnologiyasini tashkil etish prinsiplari ko'p jihatdan cdmaOne texnologiyasinikiga o'xshasada, lekin, tabiiyki, W-CDMA texnologiyasi ancha murakkabroq. Prinsipial farqlaridan biri — FDD W-CDMA asosidagi tarmoqlar ham sinxron, ham asinxron rejimlarda ishlashi mumkinligi hisoblanadi. Juft kanallarga 5MGs chastotani ajratish imkoniyati bo'lmagan hollar uchun TDD W-CDMA versiyasi qo'l kelishi mumkin. Vaqtli duplekslash prinsipi oddiy bo'lib, butun vaqt diapazoni teng kanal intervallari (oraliqlari) ketma-ketliklariga bo'linadi. Har bir kanal intervali davomida har bir mantiqiy kanalda (kodli taqsimlash asosida) faqat bir yo'nalishda, yo "pastga" yo'nalishda, yoki "yuqoriga" yo'nalishda uzatish amalga oshiriladi. Shu tarzda, ma'lum vaqt oraliqlarida barcha kanallar yoki chiquvchi, yoki kiruvchi bo'ladi. Kiruvchi/chiquvchi kanallarning oraliq intervallari orasidagi munosabat va ketma-ketlik ikki tomonga uzatilayotgan trafikning intensivligiga (faolligiga) bog'liq ravishda moslashuvchan tarzda o'zgarishi mumkin. Bu esa asimmetrik ma'lumot uzatuvchi ko'plab ilovalar (masalan, Internetga ulanish) uchun o'ta muhim.

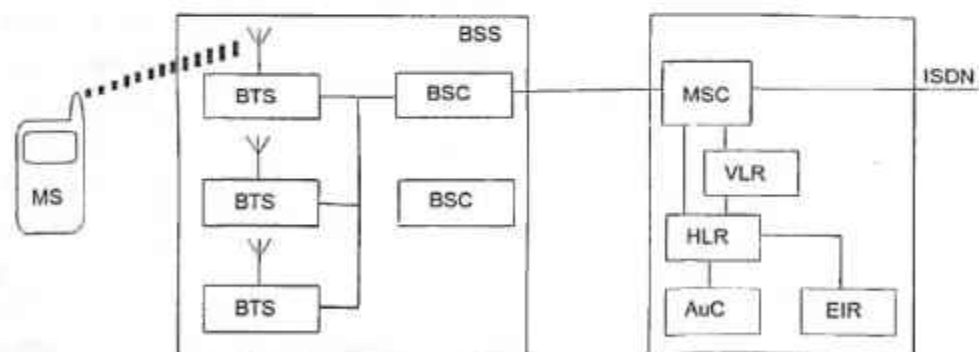
FDDdan farqli ravishda TDD rejimi W-CDMA tarmog'idan sinxronlikni talab qiladi, qolgan hollarda esa ularning parametrlari deyarli bir-biriga mos tushadi.

4.3.1. UMTS standartida tarmoq arxitekturasini

UMTS tizim arxitekturasini uni GSM tarmoqlari bilan (birinchi navbatda GSM/GPRS juftligi bilan) o'zaro ishlashini ta'minlash maqsadida yaratilgan va shuning uchun UMTS tizim arxitekturasini o'rganishdan avval, GSM tizimi arxitekturasini hamda unda GPRS qo'llanilgan variantini yodga olish foydadan xoli emas, deb hisobladik.

Ma'lumki, GSM tarmoqlari uch asosiy tuzilma elementini o'z ichiga oladi (4.2-rasmga qarang):

- **MS** (*ingl. Mobile Station*) – mobil stansiya;
- **BSS** (*ingl. Base Station Subsystem*) – tayanch stansiyalar nimitizimi;
- **NSS** (*ingl. Network and Switching Subsystem*) – tarmoq va kommutatsiya nimitizimi.



4.2-rasm. GSM tarmog'ining tuzilish sxemasi.

BSS nimitizimi MS uchun radioulanishni boshqarish vazifasini bajaradi, xususan: ovozni kodlash/dekodlash, signalni modul-

yatsiyalash/demodulyatsiyalash, “yuqoriga” va “past” yo‘nalishlari bo‘yicha uzatish tezligini radiomuhit sharoitlariga moslashtirish va boshqalar.

BSS nimitizimi quyidagi qismlardan tashkil topgan:

- **BTS** (*ingl. Base Transceiver Station*) — **tayanch stansiya**: sota deb ataluvchi cheklangan geografik hududda radiosignallarni uzatish va qabul qilish uchun kerak bo‘lgan qurilmalarni o‘z ichiga oladi.

- **BSC** (*ingl. Base Station Controller*) — tayanch stansiya kontrolleri: radiokanallarni va “xendover” jarayonini boshqarish vazifalarini amalga oshiradi.

NSS nimitizimi deb radioulanish tarmog‘i va tashqi umumiy foydalanish aloqa tarmoqlari orasida kommutatsiyani (ulanishni) amalga oshiruvchi qism hisoblanadi.

NSS o‘z ichiga quyidagi qismlarni oladi:

- **MSC** (*ingl. Mobile Switching Center*) — mobil kommutatsiya markazi: radioulanish tarmog‘i PSTN, PDN va ISDN kabi turg‘un aloqa tarmoqlari orasidagi o‘zaro bog‘lovchi qism hamda simli tayanch tarmog‘i hisoblanadi. Mobil aloqa tarmog‘ida MSC markazi BSC kontrollerlarini bir-biri bilan ulash hamda boshqa MSC markazlari bilan ulanish vazifalarini bajaradi.

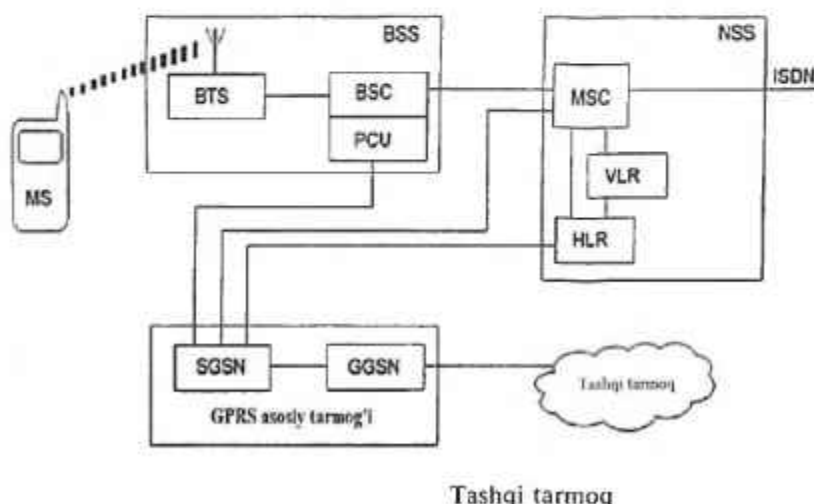
- **HLR** (*ingl. Home Location Register*) — **mahalliy (“uy”) abonentlar registri**: tarmoqda doimiy ro‘yxatdan o‘tgan abonentlar haqida ma’lumot bazasi hisoblanadi. HLRda abonentni tanitadigan manzillar (adreslar), raqamlar va abonentlarning haqiqiylikini bildiradigan va tasdiqlaydigan parametrlar, shuningdek, abonentga ko‘rsatilayotgan aloqa xizmatlari tarkibi, marshrutlashtirish va “rouming” bo‘yicha ma’lumotlar saqlanadi.

- **VLR** (*ingl. Visitor Location Register*) — **ko‘chma (mehmon) abonentlar registri**: tegishli geografik hududda joylashgan faol abonentlar haqidagi vaqtincha saqlanadigan ma’lumot bazasi hisoblanadi. Aslida VLRda HLRdagi bilan deyarli bir xil ma’lumotlar joylashgan bo‘ladi, lekin VLR bu ma’lumotlarni faqatgina abonent uning “javobgarlik” hududida bo‘lgan davrdagina saqlaydi.

- **EIR** (*ingl. Equipment Identity Register*) — **qurilmalarni identifikatsiyalash registri**: tarmoq mobil stansiyalarining xalqaro identifikatsion nomerlari — **IMEI** (*ingl. International Mobile Equipment Identities*) bo'yicha ma'lumot bazasi hisoblanadi. EIR shuningdek bir necha xavfsizlik vazifalarini ham bajaradi (masalan, qo'ng'i-roqlarni taqiqlash).

- **AuS** (*ingl. Authentication Center*) — **avtorizatsiya markazi**: abonentni autentifikatsiyalash (aslligini tasdiqlash) jarayonini bajaradi.

GSM tarmoq arxitekturasiga GPRS texnologiyasini joriy etilishi bilan tarmoqning kanal kommutatsiyasi hamda paket kommutatsiyasi rejimlarida ishlashi natijasida ham tovush, ham ma'lumot trafiklarini uzatish imkoniyati paydo bo'ldi. GRPS texnologiyasi ma'lumotlarni yuqoriroq tezlikda uzatish va paket kommutatsiyali tarmoqlar bilan o'zaro ishlashini ta'minlash uchun GSM texnologiyasini davomchisi sifatida ishlaydi. GRPS texnologiyasini ishlatish uchun GSM tizimi arxitekturasiga quyidagi tarkibiy elementlar qo'shimcha tarzda kiritiladi (4.3-rasm).



4.3-rasm. GRPS tarmog'ining tuzilish sxemasi.

• **SGSN** (*ingl. Serving GPRS Support Node*) — **GPRSni qo'llab-quvvatlovchi xizmat tuguni:** GPRS rejimida ishlaydigan barcha abonentlarning faoliyatini, shu jumladan, abonentlar bilan paketli ma'lumotlar almashish, abonentlarni mobil xizmatlarga ulanishi, tarmoqning xizmat doirasidagi abonentlarni ro'yxatga olish kabilarni umumiy boshqaruvini ta'minlaydi.

• **GGSN** (*ingl. Gateway GPRS Support Node*) — **GPRSni qo'llab-quvvatlovchi shlyuz tuguni:** GPRS tarmog'ini tashqi ma'lumot uzatish tarmoqlari bilan moslashtirish va ulash vazifasini bajaradi. Har bir GPRS tarmog'ida har doim bir yoki bir necha SGSN tugunlari bilan bog'liq bitta GGSN tuguni bo'lishi kerak. GGSN tugunlarining ikkilamchi vazifasiga ma'lumotlarni adreslash (manzillash), IP manzillarni dinamik (tezkor) tarzda taqsimlash, shuningdek, tashqi tarmoqlar va shaxsiy abonentlar haqida axborotlarni (shu jumladan xizmatlarni tariflashtirish bo'yicha) kuzatib borish kabilar kiradi.

• **PCU** (*ingl. Packet Control Unit*) — **paketli uzatishni nazorat uskunasi:** tayanch stansiya kontrolleri — BSCga o'rnatiladi va ma'lumot trafigini BSCdan SGSNga bevosita yo'naltirilishiga javob beradi.

Shuningdek, GPRS texnologiyasini mavjud GSM tarmoqlariga joriy etish uchun yuqorida ko'rsatilgan uskunalardan tashqari, BTS, BSC, HLR hamda VLR registrlarida dasturiy ta'minotni yangilash ham talab qilinadi.

GSM standartining keyingi takomillashuvi — uning GERAN (*ingl. GSM/EDGE Radio Access Network*) radioulanish tarmog'iga EDGE texnologiyasini joriy etish bilan bog'liq bo'ldi. EDGE texnologiyasini tatbiq etishda GSM/GPRS tizim arxitekturasida o'zgartirishlar kiritilmadi, aksincha, mavjud tarmoqda faqat yangi, tezkor modulyatsiyalash (8PSK) uslubidan foydalanildi.

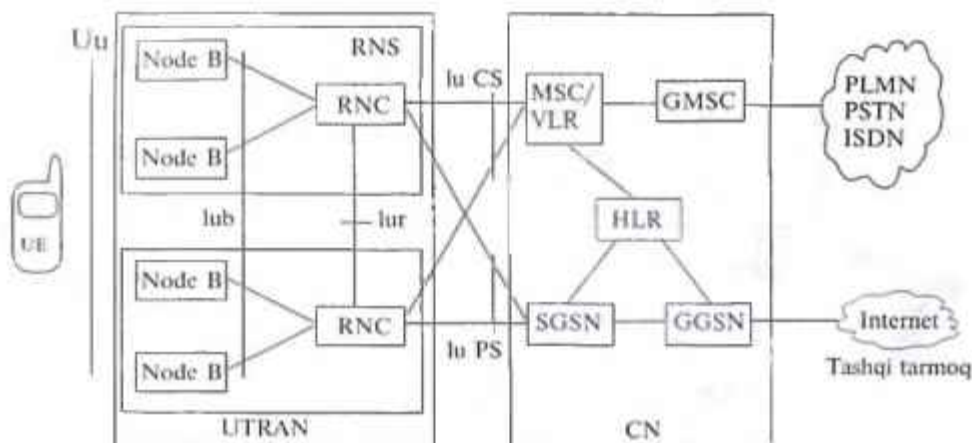
GPRS va EDGE texnologiyalarining joriy etilishi, albatta, GSM tarmoqlarining "umrini uzaytirishga" xizmat qildi, lekin uzoq muddatli rivojlanish jarayonida telekommunikatsiya "sahnasida" keyingi avlod yangi standartlarining, xususan UMTS tizimining paydo bo'lishiga xalaqit qila olmadi.

UMTS strukturasi GSM tarmoqlarining nimtizimlari bilan ishlashda kanal kommutatsiyasini ta'minlaydigan tarmoq elementlariga va tayanch tarmog'i — CN (*ingl. Core Network*)da GPRS nimtizimi bilan ishlash uchun paket kommutatsiyasini ta'minlaydigan elementlarga asoslangan. Shuni uchun UMTS tizimining tayanch tarmog'i GSM/GPRS tarmoqlaridan bizga ma'lum bo'lgan: MSC (bu yerda, VLR bilan birga), HLR, AuC, SGSN va GGSN tugunlari, shuningdek, kanal kommutatsiyasilik tashqi tarmoqlar bilan o'zaro ishlash uchun shlyuz — GMSC (*ingl. Gateway Mobile services Switching Center*)larni o'z ichiga oladi. UMTS tizimining GSM/GPRS tizimlaridan asosiy farqi — uning radiointerfeysining tashkil etilishida. Bunda radiointerfeysni butunlay yangi tarmog'i — UTRAN (*ingl. UMTS Terrestrial Radio Access Network*) ishlatiladi. UTRAN tarmog'ida ishlash uchun biroz o'zgartirishlar talab qilinadi, xususan yangi radiotarmoq kontrollerlari — RNC (*ingl. Radio Network Controller*) va yangi nom olgan tayanch stansiyalar (*ingl. Node B*)dan foydalanish kerak bo'ladi.

Funksional jihatdan tarmoq tuzilmasi Yer usti radioulanish tarmog'i — UTRAN va tayanch tarmog'i — CNlardan iborat (4.4-rasmga qarang). GSM tarmoqlardan farqli ravishda UMTS tarmoqlarida foydalanuvchi qurilmasi — UE (*ingl. User Equipment — abonent uskunasi*) deb nomlanadi. Bunga sabab shuki UMTS tarmoqlarida UE nafaqat mobil stansiya vazifasini, balki ma'lumot uzatish terminali funksiyalarini ham bajaradi.

UTRAN tarmog'i tayanch tarmog'i CNga ulangan RNS (*ingl. Radio Network Subsystem*) radioulanish tarmoqlarining nimtizimlari majmuasidan tashkil topgan. RNS nimtizimi RNS kontrolleri va bir yoki bir nechta tayanch stansiyalar Node B larini o'z ichiga oladi.

Radiotarmoq kontrolleri — RNS tayanch stansiyalarning boshqaruvini bajaradi hamda MSC/VLR — mobil kommutatsiya markazi bilan o'zaro ishlashni amalga oshiradi. RNSning asosiy vazifalariga quyidagilar kiradi:



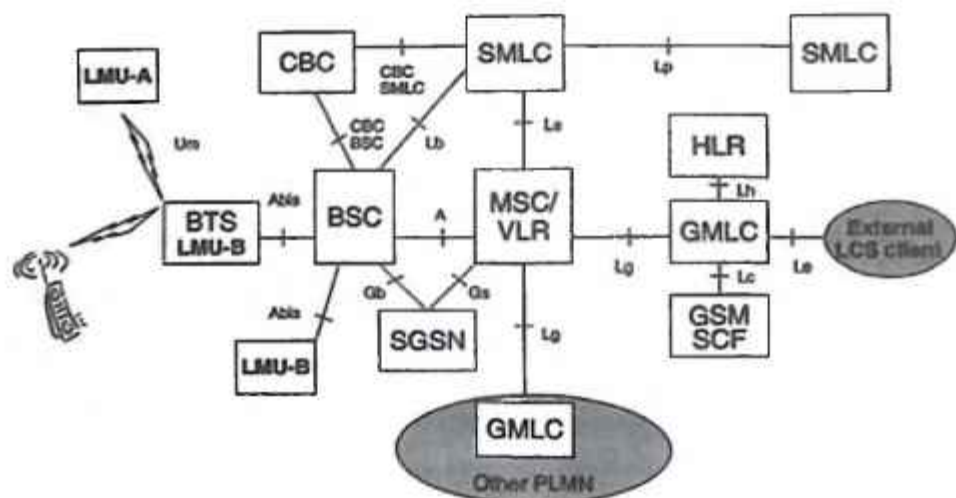
4.4-rasm. UMTS tizimlarining arxitekturası.

- radiokanallar taqsimlanishini boshqarish;
- ulanishlarni nazorat qilish;
- ulanishlar ketma-ketligini boshqarish;
- masofadan dinamik kommutatsiya qilish;
- abonent yuklamalarining taqsimlanishini nazorat qilish.

Tayanch stansiya Node B ning asosiy funksiyasi radioin-terfeysni tashkil etishdadir. Bunga quyidagilar kiradi: radi-osignalni qayta ishlash, signal spektrini kengaytirish/siqish bilan modulyatsiya/demodulyatsiya, kodlash/dekodlash va boshqalar, shu jumladan, RLC radiokanallarni boshqarish bo'yicha ba'zi operatsiyalarni bajarish (masalan, nurlanish quvvatini boshqarish, "xendoverni" amalga oshirish) va h.k. Tayanch stansiya FDD, TDD yoki aralash (*ingl. dual-mode*) rejimlarda ishlay oladi.

UMTS tizimining tayanch tarmog'i — CN quyidagi element-lardan iborat:

MSC/VLR — mobil kommutatsiya markazi tarmoqning markaziy elementi hisoblanadi. U tayanch stansiyalarni (TS) katta guruhiga xizmat qilishi mumkin hamda abonent uskunalarining (AU) ish ja-rayonida zarur bo'ladigan barcha turdagi ulanishlarini ta'minlaydi.



4.5-rasm. Arxitektura LVP.

MSC/VLR turli tarmoq elementlarini (xususan, RNS nimitizimlari elementlarini) o'zaro ulagan holda UMTS tarmog'i ichida ma'lumot almashuvini ta'minlab beradi. Shuningdek, MSC/VLR boshqa MSClar, qisman hududiy GMSC va yana boshqa qismlar bilan ham ulanishni amalga oshiradi. MSC tarkibidagi VLR reestrda mehmon abonentlar uchun ko'rsatilgan aloqa xizmatlari, shuningdek, tizimning xizmat ko'rsatish doirasidagi AULarning joylashgan o'rni haqidagi aniq ma'lumotlar saqlanadi.

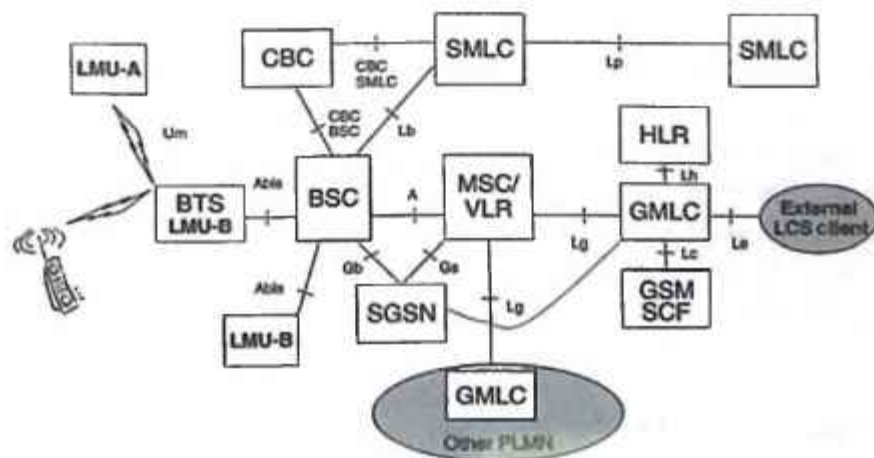
HLR reyestri, SGSN va GGSN tugunlari xuddi GSM tarmoqlaridagi kabi vazifalarni bajarishadi.

Operatorlar o'zlariga mos tarmoq konfiguratsiyalarini yaratishlari uchun UMTS tizimining arxitekturasini yetarli darajada moslashuvchan va universaldir.

UTRAN tarmog'i 4 ta asosiy interfeysdan foydalanishini eslab o'tamiz:

- **Iu** – RNC va CN o'rtasidagi interfeys;
- **Uu** – Node B bilan AU o'rtasidagi interfeys;
- **Iur** – RNClar orasidagi interfeys;

- **Iub** – Node B hamda RNC orasidagi interfeys.
- Uu va Iu interfeyslari ikki qismga bo'linadi:
- **U-Plane** (*ingl. User Plane*) – transport xizmatlari va radio-ulanish tarmog'i orqali ma'lumot uzatish xizmatlarini amalga oshiruvchi abonent sathi protokollari;
- **S-Plane** (*ingl. Sontrol Plane*) – radioulanish tarmog'idagi transport xizmatlarini hamda AU va tarmoq orasidagi ulanishlarni, shu jumladan, xizmat ko'rsatishga oid so'rovlar, uzatish resurslarini boshqarish, "xendover" va hokazolar boshqaruvini amalga oshiruvchi boshqaruv sathi protokollari.



4.6-rasm. PBS arxitektura LVP.

4.3.2. CDMA-2000 standarti

3GPP-2 loyihasi doirasida amalga oshirilgan tatqiqotlar natijasida CDMA-2000 oilasi tarkibiga kiradigan standartlar guruhi ishlab chiqildi. O'z nomidan ma'lum qilganidek, CDMA-2000 standartlarining oilasi (CDMA2000 1X – CDMA2000 EV-DO Rel.0, CDMA-2000 EV-DO Rev.A, CDMA-2000 EV-DO Rev.B, CDMA-2000 3x) kanallarni kod asosida ajratuvchi CDMA texnologiyasini qo'llagan holda quriladi. CDMA texnologiyasi o'zi-

ning yuqori spektral samaradorligi tufayli sotali aloqa tizimlarining ikkinchi avlodidan uchinchi avlodiga o'tish uchun qat'iy yechim bo'ldi. CDMA-2000 standarti cdmaOne (IS-95) tarmoqlarining evolyutsion rivojlanishida uchinchi avlodi deb hisoblanadi va shuning uchun ham bu standartlar tarmoqlari o'zaro ishlay oladi. CDMA-2000 standartlari IS-95A versiyasining asosiy prinsiplarini saqlagan holda uzluksiz rivojlanmoqda va takomillashib bormoqda. O'zining keyingi evolyutsion rivojlanishida CDMA-2000 standartlari LTE standarti tomon harakatlanmoqda.

CDMA-2000 standartining xarakteristikallari

CDMA-2000 tizimlarining tijorat yutug'ining negizida ularning keng xizmat ko'rsatish hududi, ovoz uzatishning yuqori sifatli-
gi (deyarli simli tizimlardagiga teng), tizim moslashuvchanligi va yangi xizmatlarni joriy etishda nisbatan kam xarajatli-
ligi hisoblanadi. Bu tizimlar xalaqitdan yuqori darajada himoyani, shuning-
dek, aloqa kanalini ruxsatsiz ulanish va eshitishlarga qarshi yuqori
chidamliligini ta'minlaydi, bu esa abonentlar va operatorlar uchun
juda qo'l keladi. Shuningdek, abonent uskunalarini radio uzat-
kichlarining nurlanish quvvati pastligi ham muhim ahamiyatga
ega. Masalan, GSM-900 tizimlari uchun ushbu ko'rsatkich 2Vt
(impulsda), GSM-1800 tizimlari uchun esa 1Vt bo'lsa, CDMA-
2000 tizimlarida maksimal nurlanish quvvati bor yo'g'i 0,25 vatt
ni tashkil etadi.

CDMA-2000 1X standarti asosidagi mobil aloqa tizimlarida
1,25MGs kenglikdagi chastotalar polosasidan foydalaniladi va
153kbit/sek gacha bo'lgan ma'lumot uzatish tezligi ta'minlana-
di. Bu esa tovushli aloqa, qisqa xabarlarini (SMS) uzatish, elek-
tron pochta va Internet tarmog'ida ishlash, ma'lumot bazalari
bilan ishlash, ma'lumotlar va harakatsiz tasvirlarni uzatish kabi
xizmatlarni ko'rsatish imkonini beradi.

Keyingi, CDMA-2000 EV-DO Rel.0 standartida xuddi shu po-
losa kengligidan foydalanilsada, ma'lumot uzatish tezligi "past-

ga” yoʻnalishda 2Mbit/sek va “yuqoriga” yoʻnalishda 153kbit/sek gachani tashkil etdi va bu standartni 3G talablariga javob beradigan qildi hamda real vaqt rejimida video uzatish bilan birga qoʻshimcha xizmatlar turkumini taqdim etish imkonini berdi.

CDMA-2000 standartlarining keyingi rivojlanishi EV-DO Rev.A fazasi boʻldi va unda tarmoq sigʻimini hamda maʼlumot uzatish tezligini (“pastga” yoʻnalishda 3,1Mbit/sek gacha va “yuqoriga” yoʻnalishda 1,8Mbit/sek gacha) oshirishga erishildi. Bu fazada oldingi Rel.0 fazasida amalga oshirilishi mumkin boʻlgan xizmatlarga qoʻshimcha IP tarmoqlar boʻylab keng eshittirishli maʼlumotlarni uzatish xizmati kiritildi.

Navbatdagi EV-DO Rev.V fazaning ishga tushirilishi natijasida maʼlumot uzatish tezligini bir chastota kanalida “pastga” yoʻnalishda 4,9Mbit/sek gacha va “yuqoriga” yoʻnalishda 2,4Mbit/sek gacha yetkazishga erishildi. Standartning keyingi rivojlanishi maʼlumotlarni uzatish tezligini oshirish uchun bir nechta chastota kanallarini birlashtirish tomoniga (3x, 6x, 9x, 12x, 15x kabi) qaratilgan. Masalan, 15 ta chastotalar kanallarini birlashtirish (maksimal amalga oshirilishi mumkin boʻlgan qiymat) natijasida “pastga” yoʻnalishda 73,5Mbit/sek gacha va “yuqoriga” yoʻnalishda esa 27Mbit/sek gacha tezliklarga erishildi. Bunday tarmoqlarda endi vaqtdan ushlanishlarga sezgir boʻlgan VoIP, Push-to-Talk, videotelefoniya, tovush va multimedia xizmatlarini parallel ravishda ishlatish, multisession tarmoq oʻyinlari va boshqa shu kabi xizmatlardan foydalanish mumkin boʻldi.

CDMA-2000 standarti radiointerfeys texnologiyasi

CDMA-2000 oilasi standartlarining asosida yotadigan CDMA (*ingl. Code Division Multiple Access — kanallarni kod boʻyicha ajratish asosida koʻp sonli ulanish*) texnologiyasi — ajratilgan butun chastota polosasi boʻylab har bir aloqa seansiga alohida raqamli kod (mantiqiy kanal) ajratish hisobiga radiomuhitni taqsimlash asosida quriladi. Texnologiya ancha keng polosalardan

(1,25MGs) foydalanadi va signallarni uzatish o'sha bitta chastota kanalida amalga oshiriladi. Signal kodlari bir-biridan farq qiladi va shuni hisobiga ular qabul qilish tomonida bir-biridan ajratib olinadi. Bundan shu kelib chiqadiki, CDMA texnologiyasi asosidagi tarmoqlarda BSlarni ishlashi sinxron ravishda bo'lishi kerak.

CDMA texnologiyasi bir necha eltuvchi chastotalarda (*ingl. Multi Carrier – MC*) aloqani tashkil etish imkonini beradi. Bitta eltuvchi chastotadan foydalanilganda (CDMA 1xRTT standarti-da) texnologiya 1,25MGs polosada mantiqiy kanallar sonini 128 tagacha va tezlikni 153kbit/sek gacha oshirishi mumkin. Bunga qo'shimcha, Qualcomm kompaniyasi tomonidan taklif etilgan, 4 dan 8-razryadli fazaviy modulyatsiyaga o'tish uslubi (*ingl. High Data Rate – HDR*) hisobiga, ma'lumot uzatish tezligini bir yarim barobargacha oshirish mumkin.

Ucha eltuvchi chastotadan foydalanilganda (CDMA-2000 3X standarti) ma'lumot uzatish tezligi 2Mbit/sek dan oshib ketadi. "Pastga" kanalda ma'lumotlar 1,25MGs kenglikdagi uch kanal bo'ylab ($1,25 \times 3 = 3,75$ MGs) parallel ravishda uzatiladi. "Yu-qoriga" kanalda esa uzatish DSSS uslubi asosida yaxlit 3,75MGs polosasida amalga oshiriladi.

CDMA texnologiyasining muhim o'ziga xos xususiyati CDMA-2000 standartlari fazalari orasida moslashuvchanlikni ta'minlash hisoblanadi. Bunda operatorlarga yangi chastotalar diapazonlari uchun litsenziyalar (ruxsatnomalar) olish hamda texnik uskunalarga sezilarli o'zgartirishlar kiritish talab qilinmaydi. Ya'ni, IS-95 standartidan to CDMA-2000 EV-DO Rev.B standartiga qadar mavjud tarmoqlarni ketma-ketlik bilan rivojlantirish imkoniyati mavjud.

CDMA radiointerfeys texnologiyasi ishlashi bo'yicha W-CDMA radiotexnologiyasidan farq qiladi va shu sabab CDMA-2000 va UMTS yoki FOMA tarmoqlari orasida o'zaro moslashuv na terminallar darajasida, na infratuzilmalar darajasida (MAP/GSM va ANSI-41) ta'minlanmaydi. Binobarin, har ikkala radiointerfeys texnologiyasi ham IP protokolini qo'llab-quvvatlaydi, bu ular uchun birlashtiruvchi platforma bo'lib ishlashi mumkin.

Nazorat savollari:

1. To'rtinchi avlod mobil aloqa (4G) tizimlariga tavsif bering. UMTS avlod tarkibiga qanday texnologiyalar kiradi (yoki kirishi taxmin qilinmoqda)?
2. To'rtinchi avlod texnologiyalarining uchinchi avlod texnologiyalaridan asosiy farqlari nimada?
3. CDMA-2000 tarmoqlarida qanday ko'p sonli ulanish (kanallarni multiplekslash) texnologiyasi, qanday modulyatsiya usullari va antenna texnologiyalaridan foydalanish ko'zda tutilgan?
4. Dunyoning turli mintaqalarida tarmoqlarning hozirgi rivojlanish holati qanday?

5-bob. GSM RADIO TIZIMI

5.1. GSM radioaloqa asoslari va spektral foydali ish koeffitsienti

GSM operatorlarining xalqaro assotsiatsiyasining (*ingl. GSMA*) saytida abonent “uy” tarmog‘i geografik qamrov hududidan tashqarida “mehmon” mobil aloqa tarmog‘idan foydalangan holda avtomat tarzda qanday “rouming” amalga oshirilishi va ovoz qo‘ng‘iroqlarini qanday qabul qilishi, ma’lumotlarni uzatish va qabul qilish yoki boshqa xizmatlarga qanday ulanishi haqida batafsil yoritilgan.

Shunday qilib, mobil aloqa tarmog‘ida “rouming” abonent qurilmasining mobilligini ta’minlash hamda qo‘shimcha tarzda, uzluksiz mobillikni (“xendover”) ta’minlash imkonini beradi.

“Rouming” xizmatining bir necha xillari (avtomatik yoki “qo‘l-bola”) hamda turlari (tarmoq ichidagi, tarmoqlararo, xalqaro va standartlararo) mavjud.

“Qo‘lbola rouming” sotali aloqa tarmoqlarining oldingi avlodlarida, shuningdek, peydjing tarmoqlarida qo‘llanilgan. “Mehmon” tarmoqlarda vaqtinchalik xizmat ko‘rsatish uchun oldindan “rouming”ga abonentdan ariza bilan murojaat qilish talab etilgan, hamda uni kerak bo‘lgan muddatga “qo‘lbola” ravishda ro‘yxatga olinib, amalga oshirilgan.

“Avtomatik rouming”da abonentga “mehmon” tarmoqda xizmat ko‘rsatilishi yuzasidan ariza bilan murojaat qilish talab etilmaydi, ro‘yxatga olish uchun zarur bo‘lgan barcha jarayonlar avtomatik tarzda amalga oshiriladi, hatto abonentga ushbu jarayonlar sezilmaydi ham. “Rouming”ni bunday xili bugungi kunda asosiy hisoblanadi.

“Tarmoq ichidagi rouming” (shuningdek, hududiy (regional) “rouming”) abonentga bir operator tarmog‘ining qamrov hududi doirasida bir hududdan boshqasiga o‘tib yurish imkonini beradi

(operator turli hududlar uchun turli tariflarni taklif qilgan hollarda). "Rouming"ni bunday turi bugungi kunda faqat keng hududga ega mamlakatlarda ishlatilmoqda (AQSH, Rossiya, Xitoy va boshqalar).

"Tarmoqlararo rouming" (shuningdek, milliy "rouming") bir mamlakat ichida boshqa mobil aloqa operatori tarmog'i xizmatidan foydalanish imkonini beradi.

Odatda bunday "rouming", qachonki yangi kompaniya mobil aloqa xizmatlarini ko'rsatish uchun litsenziya olib, hali o'zining keng qamrovli tarmog'iga ega bo'lmagan davrida boshqa operatorlar bilan "rouming" bo'yicha o'zaro shartnoma asosida amalga oshiriladi.

"Xalqaro rouming" chet el mobil aloqa tarmoqlari xizmatlaridan foydalanish imkonini beradi. "Rouming"ning bu turi GSM standartida juda rivoj topgan bo'lib, undan 80 foiz xalqaro mobil aloqa operatorlari foydalanadi. Abonentning mobil telefoni boshqa mamlakatda ishlay olishi uchun, u yoki xalqaro tarmoq bilan bir chastotada ishlashi kerak yoki ushbu mamlakatda ishlatiladigan barcha chastotalarda ishlashni qo'llab-quvvatlashi kerak (shuningdek, ko'p diapazonli bo'lishi kerak).

"Standartlararo rouming" turli standartlarda ishlovchi tarmoqlar orasida bimalol ko'chib yurish imkonini beradi. Mobil aloqa texnologiyalari turli qit'alarda bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda rivojlanganligi sababli, bu kabi "rouming"ni amalga oshirishda ancha qiyinchiliklar mavjud. Shunday bo'lsada mobil abonent, hatto o'zi ishlayotgan standartida tarmoq bo'lmagan mamlakatlarda ham, boshqa standart tarmog'idan foydalana olishi mumkin. Misol uchun, GSM abonent CDMA tarmog'i xizmatlaridan yoki sun'iy yo'ldosh aloqasi (masalan, Thuraya) xizmatlaridan foydalanishi mumkin. Buning uchun unga turli standartlarda ishlay oladigan (ko'p rejimli) apparat kerak bo'ladi yoki u mahalliy standartda ishlaydigan telefonga o'z SIM kartasini o'rnatib ishlaydi.

5.2. Sotali aloqa interfeyslari

Har bir sotali aloqa standartida bir necha interfeyslar qo'llaniladi, umuman olganda ular har xil turda va har xil standartda bo'lishi mumkin. MS bilan BTS ni, BTS bilan MK ni o'zaro aloqa bog'lash uchun o'zlarining interfeyslari ko'zda tutilgan (GSM standartida BTS qabul qilgich uzatgichni BSC kontrolleri bilan bog'lash uchun alohida interfeys ishlatiladi). Kommutatsiya markazi "xonadon" registri bilan, "mehmon" registri bilan, apparatura registri bilan, statsionar telefon tarmog'i bilan va boshqalar bilan ham o'zlarining interfeyslari bilan bog'lanadi.

Turli firma ishlab chiqaruvida yasatilgan apparaturalarning moslashuvini ta'minlash uchun hamma interfeyslarni standartlash talab etiladi, ammo aynan bir xil turdagi axborot tutashishlarni amalga oshirish uchun boshqa standartga mansub har xil interfeyslar qo'llanilishi man etiladi. Ayrim hollarda ko'pdan beri ishlatilib kelinayotgan mavjud standartdagi interfeyslar foydalaniladi, masalan raqamli axborot tarmoqlarda almashinish protokoliga muvofiqlari.

MS bilan BTS orasida o'zaro almashish interfeysi efir interfeysi yoki radiointerfeysi (air interface) deb nomlanadi va ikkita asosiy raqamli sotali aloqa (D-AMPS va GSM) standartlari ichida, har xil yo'l bilan tashkillashtirilganiga qaramay odatda Dm deb bir xil belgilanadi. Efir interfeysi albatta har qanday KSATda uning turli konfiguratsiyalarida va barcha sotali aloqa standartlar variantida yagona imkon qo'llaniladigan interfeysdir. Bunday holat har qanday firma tomonidan ishlab chiqarilgan MSga istalgan turli xil firmalarda yaratilgan BTS bilan bimalol o'zaro ishlash imkoniyatini tug'diradi, shu tufayli kompaniya – operatorlar uchun qulay va rouming tashkil qilishda ham zarurdir. Samarali foydalanishni ta'minlash maqsadida radioaloqa kanaliga ajratilgan chastota polosasini mumkin qadar efir interfeys standartlari juda puxta loyihalashtirib ishlab chiqiladi.

KSATning yana bir xossaligidan biri — bu o'z tarkibiga ko'p emas sondagi chastotali kanallarini kirituvchi ajratilgan chastotalar polosasining qat'iy cheklanganligidir. Bundan shunday talab kelib chiqadiki ajratilgan diapazonni mumkin qadar ratsional foydalanish, uning ishlatilishini optimallashtirish va aloqa tizimining sig'imini oshirish zarur.

Boshqa xossasi shundan iboratki, sotali aloqada ishlatiluvchi chastotalar polosalari detsimetr diapazoniga taalluqlidirlar. Detsimetrli radioto'lqinlar, to'g'ri ko'rinish ko'lami bo'yicha tarqaladi va bu chastotalarda difraksiya zaif namoyon bo'lsada, molekulyar yutilishlar va gidrometyorlardagi (qor, yomg'ir) yutilishlar deyarli yo'qdir. 5.1-jadvalda GSM standartida keltirilgan chastota polosalari ishlatiladi.

5.1- jadval

GSM standartida ishlatiluvchi chastotalar polosasi

Standart	Chastota, MHz		To'lqin uzunligi, sm	
	Teskari kanal	To'g'ri kanal	Teskari kanal	To'g'ri kanal
GSM-900	890—915	935—960	32,8—33,7	31,2—32,1
GSM-1800	1710—1785	1805—1880	16,8—17,6	16,0—16,6
GSM-1900	1850—1910	1930—1990	15,7—16,2	15,1—15,6

Ammo Yerning sirtqi qatlami yaqinligi va ayniqsa shahar sharoitidagi to'siqlarning (binolar) mavjudligi akslanuvchi signalning paydo bo'lishiga va ularning o'zaro interferensiyalashuviga olib keladi. Bunday hodisa signalning ko'p nurli bo'lib tarqalishi deb ataladi. Yerning sirtqi qatlamidan akslanish shunga olib keladiki, qabul qilinuvchi signalning quvvati uzatgich bilan qabul qilgich orasidagi masofaning ikkinchi darajasiga proporsional bo'lib kamayishi o'rniga (erkin fazoda tarqalganda) shu masofaning to'rtinchi darajasiga proporsional kamayishi kuzatiladi, ya'ni maydon kuchlanganligi maso-

faning kvadratiga proporsional kamayadi. Har xil yo'l bosib o'tgan bir necha signallar interferensiyasi hosil bo'lgan signalning tinish holatiga olib keladi, natijada qabul qilinuvchi signalning intensivligi ko'chma stansiyaning siljishida katta qiymat chegaralarida o'zgaradi. Bundan tashqari bir necha intensivliklari yaqin bo'lgan va bir-biriga nisbatan vaqt bo'yicha siljigan signallarning ustma-ust tushishi natijasida xabarning buzilishiga va qabul qilinuvchi axborotda xatolar paydo bo'lishiga olib keladi. Tayanch stansiyadan uzoqlashishiga bog'liq ravishda signal intensivligini hisoblashga ko'p nurli tarqalish faktori sezilarli darajada qiyinchilik tug'diradi. Bunday hisob tuzimni korrektili loyihalashda juda zarur bo'ladi.

Eng ko'p tarqalgan GSM standarti 800–900MHz diapazonida ishlaydi. Ko'chma stansiyalarga xabar uzatilganda (liniya "pastga") 890–915MHz polosa qo'llaniladi, tayanch stansiyalarga uzatishda esa (liniya "yuqori") 935–960MHz polosadan foydalaniladi. GSM tarmoqlari o'z vaqtida NMT-900, TACS, ETACS analog standart tizimlari bilan birgalikda ishlanganligi tufayli ularning xossalari hisobga olgan holda chastota rejaları ishlab chiqilgan.

GSM standartida kanallar orasidagi chastotalar farqi 200kHz ni tashkil etadi, ajratib berilgan polosadagi chastotaviy kanallarning soni 124 ga teng. Dupleks kanalini tashkil qilish uchun chastotalar juftlash yo'li bilan guruhlashtiriladi va "past" va "yuqori" liniyalar chastotalarining farqi 45MHz. Bu chastotalar juftligida chastota farqlari saqlanib qoladi. Har bir sotaga ma'lum sonli chastotalar jufti taqdim etiladi. Agar 890–915MHz chastota polasasida tashuvchi chastota nomerini $F1(n)$ deb belgilansan, 938–960MHz polosadagi tashuvchi chastotaning nomeri $F2(n)$ bo'lsa, unda kanallar chastotasi quyidagicha aniqlanadi.

$$F1(n)=890.2+0.2(n-1), \text{ MHz}$$

$$F2(n)=F1(n)+45\text{MHz}$$

Har bir tashuvchi chastota 8 ta fizik kanallar bilan zichlashtiriladi, bular esa TDMA kadri ko'lamidagi va kadrlar ketma-ketligida-

gi 8 ta vaqt bo'yicha darchalarda joylashtiriladi. Shu bilan birga har bir fizik kanal har bir vaqt bo'yicha TDMA kadrda birgina avvalgi vaqt bo'yicha darcha ishlatiladi.

Fizik kanalni shakllantirishdan oldin raqamli shaklga keltirilgan barcha xabarlar va ma'lumotlar guruhlashtiriladi va ikki xil mantiq kanallarga birlashtiriladi:

- aloqa kanallar kodlangan nutqni yoki ma'lumotlarni uzatishga mo'ljallangan;

- boshqarish kanallari boshqaruv signallarini va sinxronizatsiyani uzatishga (SSN) mo'ljallangan.

Bitta fizik kanal orqali bir necha turdagi mantiqiy kanallar uzatilishi mumkin, faqat ularni tegishli kombinatsiyalanganda.

KSATning funksiyalaridan biri bo'lib sotali aloqaning foydalanish imkoniga birgina ("xonadon") tizimi ko'lamidan tashqarida ham kengaytirishni taqdim etadi.

Rouming — birorta operatorning abonentiga boshqa bir operator tizimida xizmat ko'rsatish protsedurasidir. Rouming atamasi ingliz tilidan "roam" — darbadarlik, sang'ib yurish, ko'chib yurish ma'nosini bildiradi, ya'ni rouming xizmatidan foydalanuvchi abonentni roumer deb ataladi (*ingliz tilida "roamer"*). Roumingni amalga oshirish uchun uni hosil qilish imkonini beradigan texnik taxmin bo'lishi shart. Ya'ni, eng sodda holda ikkala foydalanuvchi tizimlarda bir xil standartli sotali aloqa bo'lishi zarur va taalluqli kompaniya-operatorlar orasida rouming xizmatini ko'rsatish o'zaro kelishuv shartnomasi ishlashi kerak. Mobil aloqaning taraqqiyoti evaziga tizimlar orasida ham rouming imkoniyati vujudga keladi.

Roumingni barpo etish uchun KSATlar bir xil standartda ishlashi kerak, ko'chma aloqaning kommutatsiya markazlari va abonent joylanish haqidagi ma'muriy almashishi uchun maxsus aloqa kanallari bilan bog'langan bo'lishi zarur. Rouming taqdim qilish uchun quyidagi uchta shart bajarilishi kerak:

- talab qilinuvchi mintaqalarda radiotelefon sotib olingan kompaniya standartiga moslashtirilgan KSAT mavjudligi;

— abonentlarga rouming xizmat ko'rsatish bo'yicha tashkiliy va iqtisodiy shartnomalar bo'lishi;

— rouming abonentlariga tovush va boshqa axborot uzatishni ta'minlovchi aloqa kanallarining tizimlar orasida mavjudligi.

Uch xil rouming bir-biridan farq qiladi:

— avtomatik;

— yarim avtomatik — bu yerda abonent biror-bir hudud xizmatidan foydalanishi uchun u bu haqida o'zining operatorini oldindan bildirib qo'yishi zarur;

— qo'lda, ya'ni radiotelefonni boshqa operatorning KSATiga ulanganiga almashtirish.

Roumingni tashkil etishning ideal va juda soddalashtirilgan sxemasi quyidagicha bo'lishi mumkin. Masalan, sotali aloqa abonent rouming xizmat ko'rsata biladigan boshqa "begona" tizimning hududiga borib oddiy yo'l bilan xuddi "o'zining" hududidagi tizim joylashgan kabi chaqiriq jo'natadi, ya'ni biror nomerga telefon qiladi.

Kommutatsiya markazi esa uning xonadon registrida bo'lgan abonent ro'yxatida yo'qligini aniqlab "mehmon" registri roumer sifatida kiritib qo'yadi. Bir vaqtning o'zida (yoki biror kechikish bilan) "o'zining" tizimidagi xonadon roumer registridan u haqidagi va xizmatni amalga oshirish (shifr, tisdiqlangan shartnomalar) ma'lumotlarni so'raydi va ayni paytda qaysi tizimda roumer joylashganligi haqida xabar beradi, so'nggi axborot roumeri asli xonadon registrida qayd etiladi. Bundan so'ng roumer huddi o'zining uyida kabi sotali aloqadan foydalanadi. Undan chaqiruvchi chaqiriqlarga odatdagidek, unga ta'alluqli ma'lumotlar xonadon registrida emas, balki mehmon registrida, uning nomeriga kelib tushuvchi chaqiriqlar (vatandagi) uyidagi tizim orqali roumer mehmon bo'lib turgan joyning tizimiga qayta adreslanadi. Roumer o'zining hududiga qaytib kelgandan so'ng xonadon registridagi oldingi tizimning adresi o'chiriladi va roumerning u tizimdagi saqlanib qolgan ma'lumotlari o'chiriladi. Rouming xizmat to'lovi abonent o'zining

tizimini to'laydi. Kompaniya operatori o'z navbatida shartnoma asosida xizmat ko'rsatgan boshqa hudud tizimiga to'lovni o'tkazadi.

Bayon qilingan sxema avtomatik roumingga taalluqlidir. Buni yakunlash uchun bu sxema kompaniyalararo hisob-kitobni avtomatik yo'l bilan bajaruvchi tizim bilan qo'shib to'ldirilgan bo'lishi lozim. Bu masala o'zining yechilishi bo'yicha ancha murakkabdir, chunki kompaniya operatorlari orasidagi o'zaro hisob-kitoblar shartnomalar o'zgarib turishi tufayli tez-tez o'zgarib turadi. Avtomatik roumingning teskarisi bu qo'lda amal qilish yoki adminstrativ yo'li bilan amalga oshirishdir.

Qo'l roumingi holatida abonent o'zining kompaniyasiga qo'ng'iroq qilib boshqa tizim hududiga borishining oldindan xabar beradi va boshqa hududga kelishi bilan mahalliy kompaniya operatorni o'zining kirib kelganligi bilan ma'lum qiladi. Kerakli ma'lumotlar yangi operatorlar tomonidan taalluqli kommutatsiya markazining mehmon va xonadon registrlariga kiritiladi.

Oraliq variantlar ham mavjud bo'lgan yangi alohida qayd qilish protsedurasi bilan oshirish, faqat tizimdan kelgan chaqiriqni aniq marshrutlash yo'li bilan va h.k.

Roumingni tashkil qilish markazi to'la bo'lmagan bo'lar edi, agar roumingga xos ayrim muammolar va tarix momentlari eslab o'tilmasa. Sota aloqasi paydo bo'layotganda rouming tushunchasining o'zi yo'q edi, shuning uchun muammolar ham paydo bo'lmagan edi, sotali aloqaning shunchalik taraqqiy topishi va keng ko'lamda tarqalishini hech kim oldindan aytib berishi mumkin bo'lmagan. Shu sababli rouming sota tizimlarning rivojlanishi har xil standartlarda, mamlakatlarda va mintaqalarda har xil texnikaviy va tashkiliy yechimlar asta-sekin ro'yobga chiqa boshladi.

Roumingning sezilarli rivojlanishini analog standart AMPS (Shimoliy Amerika) va NMT (Skandinaviya)larda topdi, lekin

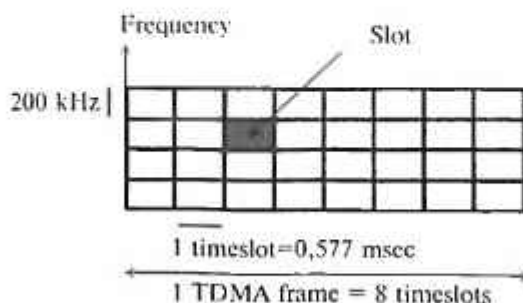
raqamli standartlarning paydo bo'lishi undagi ko'pgina qabul qilingan yechimlarni qayta ko'rib chiqishini taqozo etdi. Raqamli standart D-AMPSdagi rouming masalasining yechilishi tizimlararo operatsiyalarni belgilovchi alohida IS-41 standartiga tayanadi. Bularga nisbatan GSM standarti ancha qulay imkoniyatiga ega, chunki u eng boshidan umumyevropalik tarzda loyihalashtirilib ishlab chiqara boshlandi va unda rouming protsedurasi majburiy element bo'lib joylashtirilgan. Bundan tashqari, GSM standarti SIM kartali yoki plastik rouming deb ataluvchi rouming imkoniyati mavjud. Bunda GSM (GSM 900, GSM 1800 GSM 1900) standartlarining turli xil variantdagi apparatlari orasida SIM kartani o'rin almashtirib ishlatish mumkin, chunki GSM standartining uchala variantida ham unifikatsiyalangan SIM kartalar foydalaniladi. Ikki rejimli va kelajakda uch rejimli abonent terminallarining (GSM 900/GSM 1800/GSM 1900) paydo bo'lishi bilan GSM standartidagi rouming protsedurasi yanada ko'p qulaylik olib kelmoqda. Shuni ta'kidlash kerakki, GSM standarti hali o'zining ko'p imkoniyatlarini ro'yobga chiqarib ulgurgani yo'q, xususan unga kiritilgan prinsipial texnik yechimlarni.

Rouming rivojlanishiga doir ayrim texnikaviy va tashkiliy qiyinchiliklarni ko'rsatib ketishi zarur. Ular ichiga: abonentlarni autentifikatsiya qilish masalasi (initsiativ va hatto agressiv froda muqarrar bo'lishi tufayli); rouming xizmatlar to'lovini tashkillashtirish rouming geografiyasining kengayishi va uning masshtabini oshishi bilan ancha murakkablashishi; proteksionizm (masalan, ayrim mamlakatlarda xorijda ishlab chiqarilgan apparatning ishlatilishi taqiqlanadi).

Xulosa qilib shuni ta'kidlash mumkinki, mintaqalararo va xalqaro aloqalarning nihoyatda qatta o'sish va ish yuzasidan aloqalarni tashkillashtirishda sota aloqaning avtomatik to'laqonli roumingini barpo qilish aktual muommolardan biri bo'lib qoladi va uni yechishda qo'shimcha ishlar bajarilishi talab etiladi.

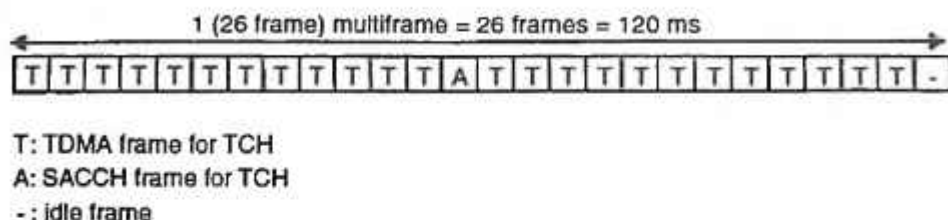
“No-3GPP” tarmoqlar bilan “rouming”ni amalga oshirishning asoslari shundan iboratki, bunday tarmoqlar ishonchli (ya’ni xavfsizlikni ta’minlash choralari ko’rilgan) hamda ishonchsiz tarmoqlarga bo’linadi. Ishonchsiz tarmoqlarni ishonchli tarmoq toifasiga o’tkazish uchun maxsus xavfsizlik protokollari-dan foydalaniladi va mos ravishda “mehmon” tarmog’idan “uy” tarmog’i yo’nalishida trafikni o’tkazish uchun tunnellar hosil qilinadi. AAA-serverlari orasida o’zaro aloqani tashkil qilishda Diameter protokolidan foydalaniladi.

Bugungi kunda mavjud LTE tarmoqlarida “rouming” xizmatidan hali yetarlicha faol foydalanilmayapti. Buning asosiy sabablari – turli mamlakatlarda turlicha chastota diapazonlaridan foydalanilayotganligi hamda ko’p rejimli va ko’p chastotali abonent qurilmalarining yetishmasligidir. Lekin, shunga qaramasdan, LTE tarmoqlari orasida “rouming”ni ta’minlash bo’yicha ko’plab ishlar amalga oshirilmoqda. Misol uchun, Ericsson hamda Qualcomm kompaniyalari SRVCC (*ingl. Standardized Single Radio Voice Call Continuity*) xizmati yordamida abonentning LTE tarmog’idan WCDMA yoki GSM tarmoqlari xizmat hududiga o’tishda uzluksiz “rouming”ni amalga oshirish imkoniyatini namoyish etishdi. Ushbu texnologiya-ning afzalligi shundaki, u nafaqat ma’lumot uzatishni, balki, ovoz trafiginii uzatishni, SMS hamda multimedia xizmatlarini ham ta’minlaydi.

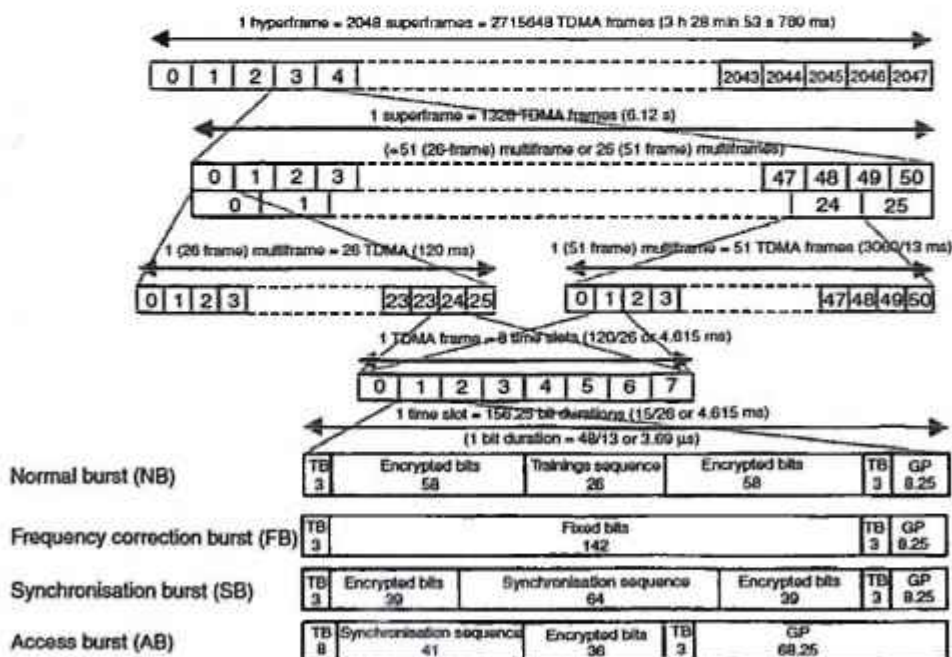


5.1-rasm. GSMga ko’p qirrali kirish (dostup).

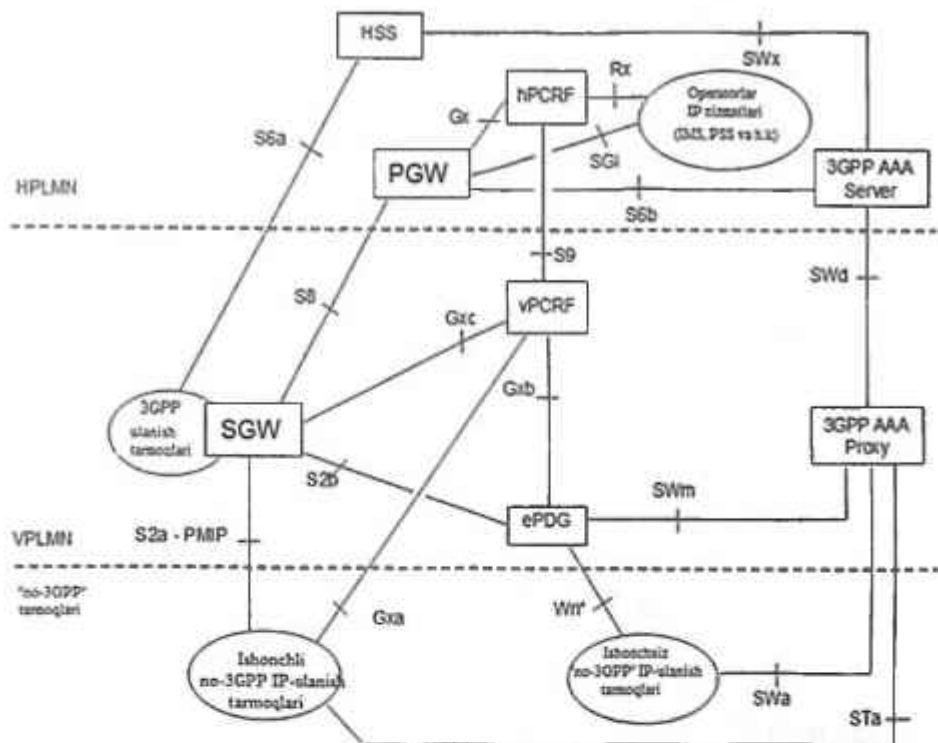
LTE tarmoqlarida “rouming”ni joriy qilish bo'yicha ishlar O'zbekistonda ham jadal ravishda olib borildi. Masalan, 2010-yilda MTS kompaniyasi (Rossiya) “MTS Uzbekiston” hamda “VivaSell-MTS” (Armaniston) kompaniyalari orasida 2,6GGs diapazonida xalqaro “rouming”ni tashkil qildi.



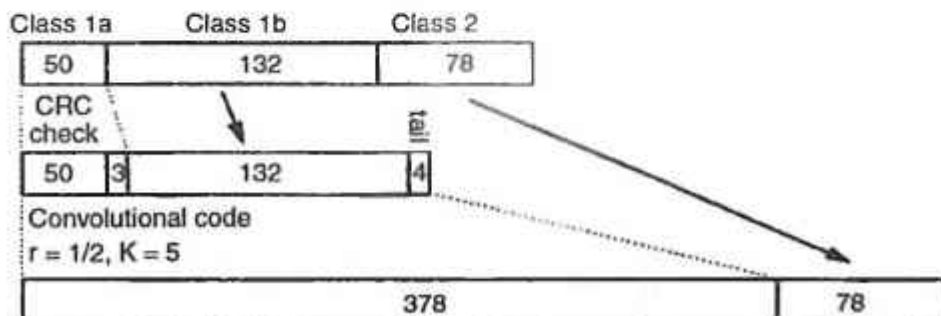
5.2-rasm. TKP boshqaruv kanalini hosil qilish.



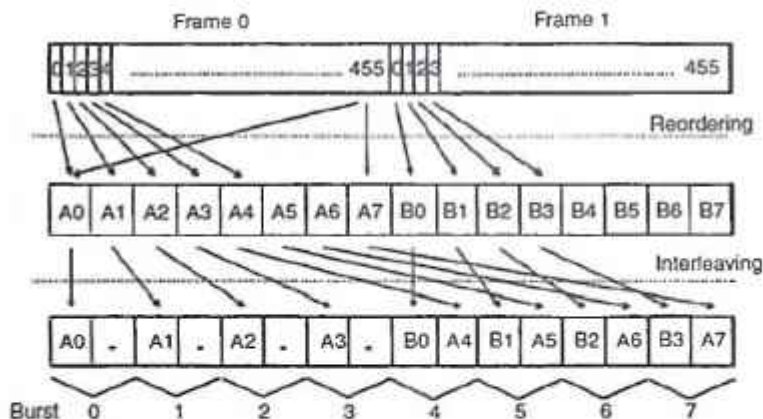
5.3-rasm. GSM vaqt intervali.



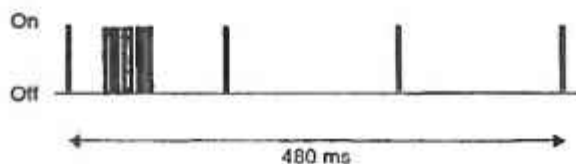
5.4-rasm. "Rouming" jarayonida LTE tarmoqlarining "no-3GPP" tarmoqlari bilan PMIPv6 protokoli asosida o'zaro hamkorligi.



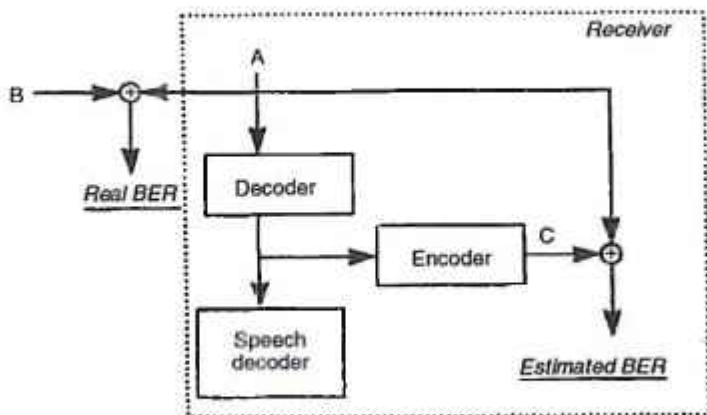
5.5-rasm. TCH/FS kodlash kanali.



5.6-rasm. TCH/FS o'zgarish tartibi.



5.7-rasm. SACCH multifreymeni DTX rejimida quvvat o'zgarishi. Sinov jarayonida Samsung GT B3710 hamda Huawei E398 rusumli modemlardan foydalanildi.



5.8-rasm. BER tizimini deshifratorda baholash.

“Rouming” xizmatlarini sinovdan o‘tkazish muvaffaqiyatli amalga oshdi hamda o‘zaro “LTE-rouming”ni qo‘llab-quvvatlash uchun zaruriy jarayonlarni tashkil etish maqsadida kompaniyalar o‘zaro hamkorlikni boshlashdi.

Nazorat savollari:

1. Hozirgi rivojlanish bosqichida 4G tizimlarining qanday afzalliklari va kamchiliklari mavjud?
2. LTE tizimlarining qisqacha xarakteristikalarini bering.
3. Yaqin yillarda LTE texnologiyasining rivojlanish istiqbollari qanday?
4. WiMAX tizimlarining qisqacha xarakteristikalarini bering.
5. Yaqin yillarda WiMAX tizimlarining rivojlanish istiqbollari qanday?

6-bob. KPI UYALI TARMOQ SAMARADORLIK KO'RSATKICHI

6.1. Signallarni raqamli uzatishda modulyatsiyalash usullarini tanlash mezonlari. KPI uyali tarmoq samaradorlik ko'rsatkichi

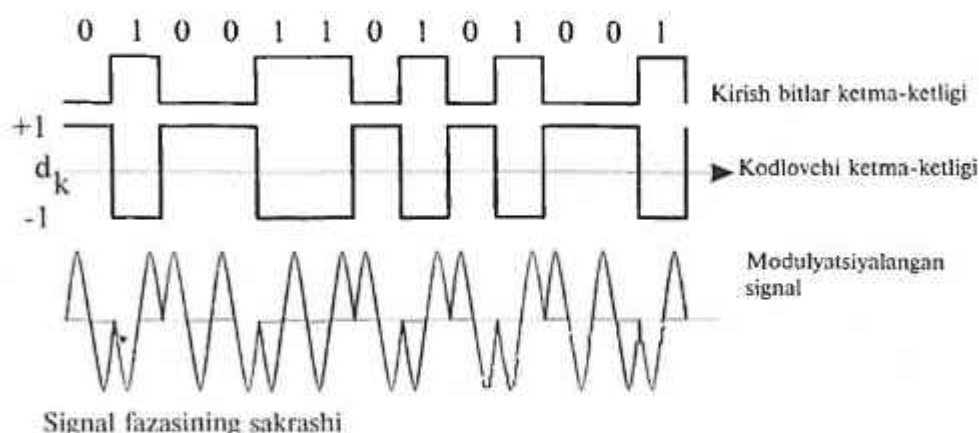
Axborotlarni radioto'lqinlar vositasida uzatish uchun ajratilgan diapazonning yuqori chastotali garmonik tebranish f_0 eltuvchisini uzatiluvchi xabarni aks etuvchi past chastotali signallar bilan modulyatsiyalash zarur. Modulyatsiyaning uchta asosiy turlari ma'lum — amplitudali, chastotali va fazali (so'nggi ikki turini birgalikda burchakli deb ham izohlash mumkin). Modulyatsiya usulini tanlashda bir biriga qarama-qarshi bo'lgan talablarning, ya'ni uzatishdagi ishonchlilikni ta'minlash va yetarli darajadagi spektral samaradorlik orasidagi o'zaro kelishuvini qidirishga to'g'ri keladi. Bu talablarning qarama-qarshiligi aniq, chunki nazariyaning fundamental nizomiga binoan bir xil sharoitda uzatishning sifati signal spektrining kengayishi bilan oshib boradi, vaholanki tizimning sig'imini oshirishga, elektromagnit moslashuvni va solishtirma o'tkazish qobiliyatini (polosa birligining uzatish tezlikka nisbati) yaxshilashga intilishlar esa ajratilgan chastotalar polosasini qisqartirishga majbur qiladi.

Ko'pincha (an'anaviy) analogli modulyatsiyalashning CHM usullari sotali aloqa tizimlarining birinchi avlodida (NMT, AMPS va boshqalar) qo'llanilgan. Modulyatsiyaning diskretli usullari (manipulyatsiya) raqamli mobil aloqa standartlarining ikkinchi va uchunchi avlodlarida qo'llaniladi. Modulyatsiyalashning diskretli usullarini ko'rib chiqishda signalning umumiy modeli sifatida doimiy interval Δ bilan takrorlanuvchi bir xil shaklga ega bo'lgan impulslar (jo'natmalar) ketma-ketligi qabul qilinadi:

$$S_0(t) = \sum_{i=-Q}^Q S_0(t - i\Delta) \cos(2\pi f_0 t + \varphi_2)$$

bu yerda, $S_0(t)$ – jo‘natmaning og‘ib o‘tuvchisi, φ_i jo‘natmaning boshlang‘ich davri.

Binar fazali manipulyatsiya BFM (*ingliz tilidan BPSK binary phase shift keying*)ning oddiy holatda jo‘natmalar to‘rtburchakli va bir-biriga tutashgan deb faraz qilinadi, ya‘ni u Δ davomlikka ega, faza φ_i esa faqat 2 ta mumkin bo‘lgan qiymatni qabul qiladi: 0 yoki π (6.1-rasm).



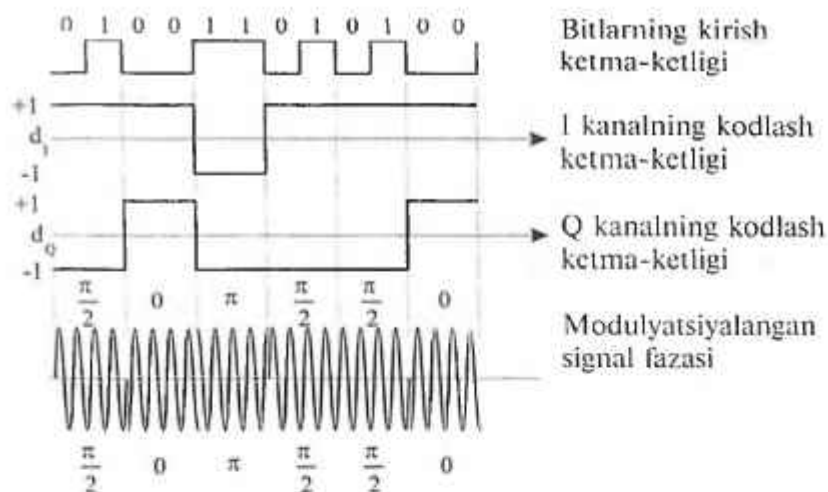
6.1-rasm. BFM (BPSK)ning ikkilik faza modulyatsiyasi.

Shunday qilib, har bir jo‘natma bitta ikkilik simvolni uzatadi, qayd qilingan davomlilik Δ va BFM signal quvvatida esa ma‘lumotlarni ikkilik uzatishning xalaqitlarga eng chidamli usulini amalga oshiradi, chunki 0 yoki π fazali impulsar bir-biridan maksimal uzoqlashtirilgandir. Ammo chastotali resursning foydalanish samaradorligiga kelsak BFM usulida u ancha past bo‘lib chiqadi. Bunday natija shu bilan bog‘liqki, signalning spektr quvvati $S(f)$ shakl jihatdan jo‘natmaning energetik $S_0(f)$ spektriga mos keladi va (jo‘natma to‘rtburchakli bo‘lganda) f chastota

oshishi bilan $1/f^2$ ga proporsional ravishda sekin kamayib boradi. Agar radiospektrdan foydalanishni xuddi aloqa texnikasida qabul qilinganidek baholansa, ya'ni signal polosasining kengligi Δf 99 bo'lib o'zida 99% dan kam bo'lmagan nurlanish quvvatni to'plagan deb hisoblansa, unda BFM uchun traditsion oriyentir $1/\Delta$ dan ko'p marta katta $f/99 \approx 18.5/\Delta$ raqam hosil bo'ladi. Shu sababli to'rtburchakli jo'natmani hosil qiluvchi BFM, qoidaga asosan, raqamli mobil telefon aloqada qo'llaniladi.

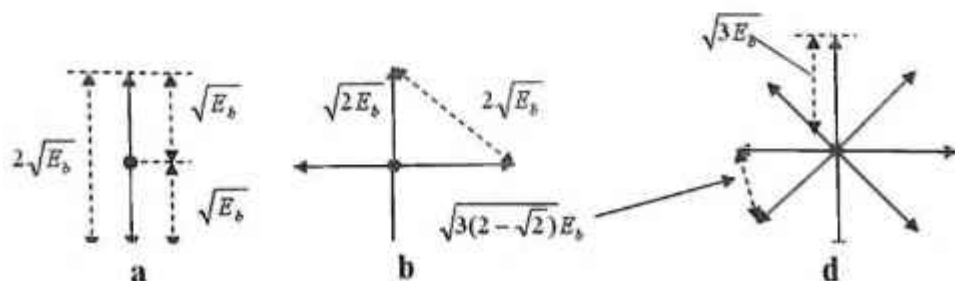
Spektral samaradorlikni oshirish uchun bir necha usullar mavjud. Ularning ichidagi eng sodda turida uzatish tezlik R ning avvalgi qiymatini saqlab qolgan holda to'rtburchakli jo'natma Δ ning davomiyligi oshiriladi. BFMda bitta bit $T_v = \Delta$ vaqt davomida uzatiladi, shuning uchun $R_t = 1/T_v$. Jo'natmani "uzaytirishda" bu tezlikni saqlab qolish uchun ϕ fazalarning mumkin bo'lgan qiymatlar sonini ko'paytirish kerak bo'ladi. Masalan, jo'natmaning davomiyligini vaqt bo'lagi Δ davomida ikki marta oshirganda ($\Delta = 2T_v$), 2 bit axborotni uzatish mumkin. Ya'ni ikkita o'rniga to'rt xil faza qiymatini qo'llash hisobiga erishish mumkin bo'lgan 4 turli xil jo'natmani uzatishga to'g'ri keladi, masalan 0, π , $\pi/2$, $-\pi/2$. Manipulyatsiyaning bunday usuli kvadraturali FM-KFM (*QSPK — quadrature phases shift keying*) deb nomlanadi (6.2-rasm).

Ko'rinib turibdiki, chastotaviy resursdan foydalanishda KFM usuli BFMga qaraganda 2 marta tejamlidir, chunki xuddi shu shakldagi spektrga ega, lekin jo'natmani ikki karali cho'zish hisobiga ikki marta toraygan. Ta'kidlash lozimki, bu yutuqqa qabul qilishning xalaqitga chidamliligini pasaytirmasdan erishilgan. Faraz qilaylik, BFMda jo'natma quvvati E_v ga teng bo'lsin, unda qarama-qarshi jo'natmalar o'rtasidagi Evklid masofa $2\sqrt{E_v}$ ga tengdir va bu kattalik ularning xatolik bilan qabul qilinish ehtimolligini aniqlaydi ($\sqrt{E_v}$ uzunlikdagi qarama-qarshi vektorlar sifatida geometrik ifodalangan) (6.3-a rasm).



6.2-rasm. KFM (QPSK)ning kvadraturali faza modulyatsiyasi.

KFMda to'rtta jo'natmaga $2\sqrt{E_b}$ uzunlikdagi to'rt biortogonal vektorlar mos keladi (4.3-b rasm) va quvvat o'zgarmagan holda jo'natmaning davomiyligi ikki baravar o'zgarishi natijasida uning energiyasi E_q BFMdagiga nisbatan ikki hissa oshadi - $E_q = 2\sqrt{E_b}$. Shu bilan birga, jo'natmalarni xatolik bilan qabul qilish ehtimolliklarining eng kattasini aniqlovchi qo'shni vektorlar orasidagi masofa avvalgiday qoladi ($2\sqrt{E_b} = 2\sqrt{E_b}$). Bu esa BFMdan KFMga o'tishda qabul qilishning xalaqitga chidamliligining hech qanday sezilarli yomonlashmasligini bildiradi.



6.3-rasm. Fazali manipulyatsiyani geometrik izohlash.

Rasmlardan ko'rinadiki, jo'natmaning davomiyligini tobora oshirishda, uzatish tezligini o'zgartirmay saqlab qolish talablari qo'shni vektorlarning yaqinlashuviga olib keladi. Masalan, tezlikni kamaytirmasdan jo'natmaning davomiyligini uch marta oshirish bitta jo'natma orqali sakkizta xabarni uzatishni bildiradi, ya'ni BFM bilan solishtirganda jo'natish quvvatining uch marta ortishi yonma-yon signallar o'rtasidagi burchakning 45° gacha kamayishi bilan qoplanadi (6.3-v rasm), ya'ni minimal Evklid masofasining $\sqrt{3E_{\text{B}}}(2-\sqrt{2})$ gacha kamayishi bilan.

Shunday qilib, polosadagi uch martali yutuq 3.5 dB miqdoridagi energetik yo'qotish evaziga erishiladi (vektorlarning yaqinlashuvini to'ldiruvchi va adashish ehtimolligini oldingi darajagacha passaytiruvchi energiyaning ortishi aynan shunday bo'lishi lozim). Bunday usul bilan spektral samaradorlikning tobora oshirilishi energiyaning sarflanish jihatdan foydasizdir. Polosada 2-Mli FMda M karrali yutuq energetik yutqazish bilan birga boradi.

$$\gamma = \frac{2}{M \left(1 - \cos \frac{\pi}{2^{M-1}} \right)}$$

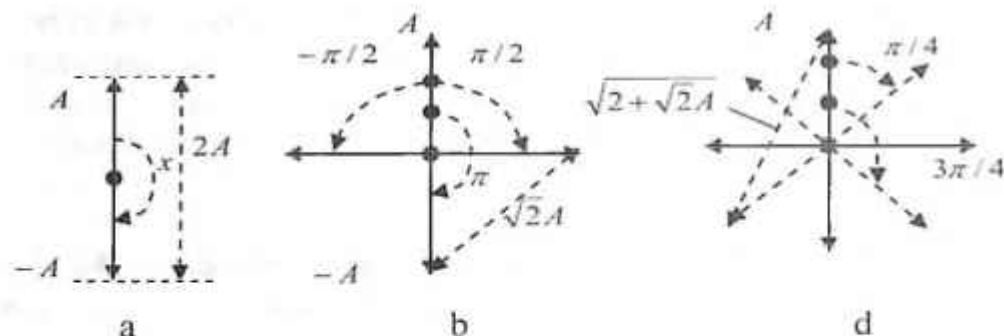
Umuman olganda signal vektorlari o'rtasidagi minimal masofani signal vektorlarni optimallashtirish hisobiga eslatib o'tilgan energetik yo'qotishlarni ma'lum darajada kamaytirish imkoniyati mavjud. Bunda vektorlar bir xil bo'lmagan uzunlikka ega, ya'ni fazali manipulyatsiya parallel ravishda amplitudali bilan qo'shimcha to'ldiriladi. Bunga o'xshash usullar amplitudali-fazali va kvadraturali-amplitudali manipulyatsiyalar nomi bilan ma'lum (AFM va KFM), telekommunikatsiya tarmoqlarida (kabelli, radioreleyli aloqa va h.k.) keng tarqalgan. Ammo simsiz mobil telefonlar tizimi spetsifikasi ixcham (portativ) terminal avtonom (qo'shimcha zaryadsiz yoki batareyalarni almashtirmasdan) ishlash muddatini uzaytiruvchi, energiyani samarali tejashning va tijorat ko'rkamligi uning og'irligi — gabariti harakat xarakteristikalarining nihoyatda muhimligidan iborat. Shu sabablarga ko'ra,

ko'p sathli (fazalar soni 16 ta va ko'proq) FM AFM va KAM bilan birgalikda mobil aloqa tizimlari radiointerfeyslarida qo'llanilmaydi va faqat sakkiz sathli FM (8-PSK) uzatish tezligini oshirish maqsadida EDGE spetsifikatsiyasi doirasida ikkinchi avlod tizimlari uchun tavsiya qilinadi.

6.2. Ikkinchi va uchinchi avlod sotali aloqa standartlarida qo'llaniladigan modulyatsiya usullari

KFMning turli modifikatsiyalari ham ikkinchi, ham uchinchi avlod raqamli mobil aloqalari tarmoqlarida keng qo'llaniladi. KFM asosiy varianti bilan solishtirganda takomillashtirish sabablari bir tomondan ixcham spektrga qiziqish, boshqa tomondan esa harakatdagi terminal uzatgichi quvvatini oshirgichning energetik rejimini optimallashtirishga intilishdir. Keyingi omilning ma'nosi shundaki, uzatgichning energiya bilan ta'minlanishi yetarli darajada eng chetki quvvat oshirgich rejimiga bog'liq, boshqacha qilib aytganda, signalning cho'qqi — omiliga (pik-faktor) bog'liq, bu esa uning cho'qqili va o'rtacha quvvatlari munosabatiga teng. Kuchaytirgichning faol elementi doimo to'yinish nuqtasi yonida joylashganda va asosan kalit vazifasini bajarganda, dinamik diapazonning chiziqligiga talab minimal bo'lganda, S sinfi rejimi ko'proq qulay hisoblanadi. Shunga o'xshash rejimga yaqinroq bo'lish uchun uzatilayotgan signal chuqur amplitudali modulyatsiyalashdan ajratilgan bo'lishi kerak. Bu shart o'z navbatida shuni anglatadiki, berilgan jo'natishdan keyingisiga o'tishni birga olib boruvchi oniy faza sakrashlari imkon boricha minimallashtirilgan bo'lishi kerak.

Buni tasdiqlash uchun 6.4-rasmga murojaat qilamiz. BFM (6.4-rasm)da uzatiladigan 0 va 1 belgilari miqdori teng ehtimolli bo'lganda, o'rtacha ketma-ket jo'natishlar o'rtasining yarmida fazaning 180° da sakrashlari kuzatiladi, ya'ni qutblilikning teskarisiga almashuvi sodir bo'ladi. Oniy kompleksli aylanib o'tishining F dan — A gacha yoki teskarisi o'zgarishi quvvat kuchaytirgich orqali buzilmasdan uzatilishi kerak, ya'ni dinamik diapazon (2A) chiziqligiga talab oshadi.



6.4-rasm. Har xil turdagi FMDagi oniy amplitudaning tafovuti.

Darajalar farqini chiziqli uzatishda quvvatning katta qismi kuchaytirgichning aktiv elementida tarqalib ketishi tufayli, chastotani pasaytirishga va manipulyatsiyalangan signalda faza sara-lashlarining yoyilishini xohlash tushunarlidir. Oldingi quvvatini saqlab qolish bilan BFMDan standart KFM (6.4-b rasm)ga o'tish kuchaytirgichning dinamik diapazoniga bo'lgan talablarni susay-tirmaydi, chunki fazalarning 180° da maksimal sakrashlari kam uchrasa ham (masalan ikki baravar) saqlanib qoladi.

Uzatgich dinamik diapazoniga talablarni yengillashtirishga KFM hajmida KFMS (OQPSK offset QPSK) siljishi bilan eri-shiladi. Maqsad shundaki, agar oldin $s(t)$ ga boshlang'ich – fazani $\pi/4$ ga (bu KFMning xususiyatiga hech qanday ta'sir qilmaydi va faqat 6.2-b rasm diagrammasini butunlay 45° ga buradi), keyin esa natijani ushbu shaklda qayta yozish:

$$s(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} S_0(t - j\Delta) \cos\left(2\pi f_0 t + \varphi_j + \frac{\pi}{4}\right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\sum_{j=-\infty}^{\infty} a_j S_0(t - j\Delta) \cos(2\pi f_0 t) + \sum_{j=-\infty}^{\infty} b_j S_0(t - j\Delta) \sin(2\pi f_0 t) \right]$$

$a_j = \cos \varphi_j - \sin \varphi_j$ va $b_j = -\cos \varphi_j - \sin \varphi_j$,

+1 va -1 miqdorlarni qabul qiluvchi binarli belgilar (6.1)

Ko'rinib turibdiki, KFM – signalni ikkita kvadraturali BFM – signallar yig'indisi deb qarash mumkin. Natijada, $\{a_j\}$, $\{b_j\}$ bel-gilari ketma-ketliklardan har birini bir-biridan alohida demodul-

yatsiyalash mumkin, chunki sinusli va kosinusli kvadraturali komponentlar to'g'ri burchakli (ortogonal) bo'lib, kogerent qabul qilishda bir-biriga chorrahali xalaqitni yuzaga keltirishmaydi. Keyin vaqt bo'yicha sinusli kvadraturali tashkil qiluvchini jo'natish davomligining yarmiga suramiz va kvadraturali komponentning to'g'ri burchakligini saqlab qoluvchi natijaga kelamiz:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\sum_{i=0}^N a_i S_0(t - j\Delta) \cos(2\pi f_0 t) + \sum \right] \quad (6.2)$$

Natijada ma'lumotlarni uzatishning sifatga tegishli qismi oddiy KFMning barcha tavsiflari. Ammo, kvadraturali olib o'tuvchilarni manipulyatsiya qiluvchi binarli belgilarning o'zgarishi bir vaqtda amalga oshmaydi, ya'ni a_j belgisi almashgan vaqtda boshqa b_j kvadraturasi belgisi o'zgarmay qoladi va, aksincha. Buning evaziga a_j , b_j belgilarning har bir almashinuvida 6.2-b rasmda signalli vektor faqat yonidagiga o'shishi mumkin, lekin sira qarama-qarshidagi sektorga emas. Natijada talab qilinadigan chiziqli dinamik diapazon $\sqrt{2A}$ BFM yoki standart KFM holatidagi bilan solishtirganda $\sqrt{2}$ marta kam bo'ladi. Aynan shu sabab tufayli IS-95 ikkinchi avlod CDMA standarti (MSdan BSGa) teskari kanalini tuzish uchun KFMS tanlangan.

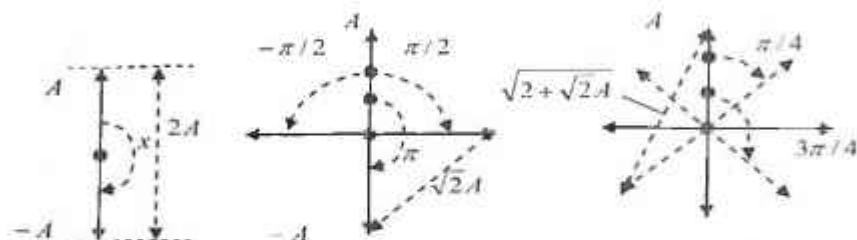
Shu maqsadga erishishning boshqa varianti jo'natishlarni siljitish o'rniga fazalar qiymati alfavitining juftdan toqqa o'tishida $\pi/4$ burchakka burish kiritilgan D-AMPS (AQSHda IS-136 va US-TDMA nomlari bilan ma'lum) va PDS (Yaponiyada JDS nomi bilan ma'lum) raqamli standartlarida amalga oshirilgan.

Bunday siljish evaziga $j=2k$, $k=....., -1, 1,$ φ_j (4.1) formulada $0, \pi, \pm \pi/2$ ko'pchiligidan, $j=2k+1$ da esa $\pm \pi/4, \pm 3\pi/4$ (6.2-v rasmdagi punktdir) ko'pchiligidan qiymatlarni qabul qiladi. Tushunarliki, qabul qilish tomonida bu siljish oson hisobga olinadi va demodulyatsiyalash deyarli oddiy KFMdagi kabi bajariladi.

KFMning bunday turi $\pi/4$ - KFM ($\pi/4$ - QPSK) nomini olgan. KFMS bilan solishtirganda uning afzalligi KFMSga xos

bo'lgan aynan demodulyatorlar murakkabligining yo'qligidir, lekin chiziqli dinamik diapazonga bo'lgan talablarni yengillashtirish borasida $\pi/4$ – KFM uncha samarali emas, chunki $\pm 3\pi/4$ burchakga o'tishiga, $\sqrt{2+\sqrt{2}}A$ ga teng aylanib o'tuvchi kompleksli darajalar farqi to'g'ri keladi va taxminan 1.4 marta KFMS singari ko'rsatkichidan yuqori.

KFMning ko'rib chiqilgan o'zgarishlari uzatilayotgan ma'lumotlar oqimi tasodifiy ramkasida faqat jo'natish shaklida aniqlanuvchi modulyatsiyalangan signallarning spektral tavsiflariga hech qanday ta'sir qilmaydi, (6.1) va (6.2) chastotali signallar quvvati spektrining sekin-asta tushishi sababi esa, to'rtburchakli uzilishidadir.



6.5-rasm. *MCHM signalning kvadraturali tashkil etuvchilari.*

Spektrlarning keskin torayishiga uning shaklini silliqlash hisobigagina erishish mumkin. Agar, jumladan (6.2)da $\sqrt{2}A$ amplitudali (6.5-rasm) kosinusning (musbat) ijobiy yarimto'lqin turidagi aylanib o'tuvchi impulsni jo'natishni olsak, unda KFM o'zining minimal chastotali manipulyatsiya – MCHM (MSK-minimal shift keyingi – minimal shift klavishi) turiga o'zgaradi.

MCHM afzalligiga ishonch hosil qilish uchun (6.2) jo'natish shaklida ifodalangan (6.1) signal $S(t)$ kompleksli aylanib o'tuvchisini topamiz. Bunda vaqt bo'yicha signal tartibining to'liq bir xilligi ta'sirida faqat ikkita yonma-yon $[-\Delta/2, 0]$ va $[0, \Delta/2]$ bo'laklarni ko'rib chiqish yetarlidir. Elementar trigonometriyadan, Eyler formulasidan va a_j, b_j belgilarining binarligidan $a_j/b_j = a_j b_j = \pm 1$ foydalanib, quyidagilarni olamiz:

$$\left\{ \begin{aligned} a_0 A \cos\left(\frac{\pi}{\Delta}\right) + b_{-1} A \cos\left[\frac{\pi}{\Delta}\left(t + \Delta - \frac{\Delta}{2}\right)\right] &= a_0 A_{\text{exp}}\left(-j \frac{\pi a_0 b_{-1} t}{\Delta}\right), -\frac{\Delta}{2} \leq t, < 0 \\ a_0 A \cos\left(\frac{\pi}{\Delta}\right) + b_0 A \cos\left[\frac{\pi}{\Delta}\left(t - \frac{\Delta}{2}\right)\right] &= a_0 A_{\text{exp}}\left(j \frac{\pi a_0 b_0 t}{\Delta}\right), 0 \leq t \leq \frac{\Delta}{2} \end{aligned} \right\} \quad (6.3)$$

(6.3)da ko'rsatilganidek haqiqiy aylanib o'tuvchi $S(t)=|S(t)|=A$ o'zgarmas va natijada uzatgich quvvat oshirgichi rejimi optimal-ligining natijasi sifatida signal cho'qqi – omilining birga tengligini ta'minlash bilan MCHM amplitudali modulyatsiyalash bilan bir-ga olib borilmaydi.

(6.3)dan boshqa xulosa shundaki, $t\pi/2$ burchak koeffitsient-li fazaning chiziqli o'zgarishi chastotaning $\pm 1/2 \Delta$ ga siljishi-ni bildirgani sababli ko'rib chiqilayotgan modulyatsiya turi $\Delta/2$ davomlilikli to'rtburchakli jo'natishlarning binarli chas-totali manipulyatsiyasiga jamlanadi, muhimi shundaki, har bir $\Delta/2$ jo'natish orasidagi chastotalar almashuv fazasi sakrashlari-siz amalga oshadi, ya'ni MCHM uzluksiz fazali modulyatsi-yalashtirish hisoblanadi. Bunga (6.3)ning har xil natijaga erishib, osongina ishonch hosil qilish mumkin:

$$S(t=0)=Q_0=S(t=0'),$$

yuqoridagi “ - ” va “ t ” indeksleri tegishli ravishda chapdan va o'ngdan $t=0$ nuqtali yaqinlashishni bildiradi.

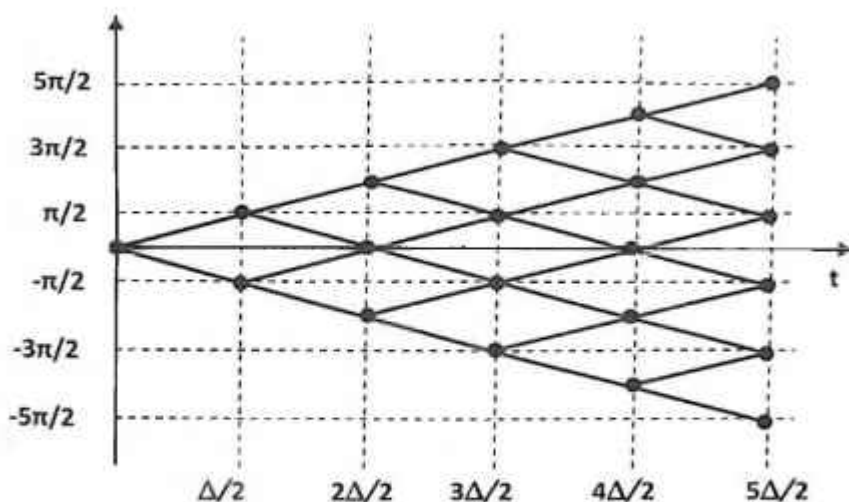
Shunday qilib, xohlagan joriy uzatiluvchi belgida navbatda-gi jo'natish oldingisidan “yig'ilib qolgan” fazadan boshlashadi. Aytilganlar 6.6-rasmdagi faza tracktoriyalari “daraxti” bilan tas-virlanadi. Har bir $[k\Delta/2, (k+1) \Delta/2]$ bo'lakni o'tishda chasto-tani joriy $+1/2\Delta$ o'z navbatida ushbu bo'lakda (6.2) signalning a_i , b_i belgilari kombinatsiyasi bilan aniqlanuvchi aylanishi bilan faza chiziqli o'sadi yoki kamayadi.

$(1+P1) \Delta/2$ vaqtida ikkita mumkin bo'lgan chastotalarga javob beruvchi fazali burchak qiymati farqi P ga teng.

Bunda fazaning mumkin bo'lgan traektoriyalaridan xohlagan uzluksiz funksiya bo'lishi mumkin. Faza uzilishining yo'qligi MCHM spektriga standart KFMS dan farqli ravishda ixchamlikning yuqori darajasi bilan ta'minlash imkonini beradi. MCHM signalining quvvat spektri taxminan $1/f$ ga proporsional kamayadi, nihoyat egallangan polosa $\Delta f \approx \frac{1,2}{T_b}$ dan ko'proq qisqaradi.

Modulyatsiyalangan signal spektrini siqishning keyingi zaxiralari nafaqat fazaning o'zining bo'laklarini yo'qotishda emas, balki uning hosilalari (chastotalar, chastotalar o'zgarish tezliklari va h.k.)da yashiringan. Bir so'z bilan aytganda, 6.6-rasmdagi chiziqli siniq traektoriyalar ko'proq silliqslari bilan almashtirilishi mumkin.

GSM standartida modulyatsiyalashning aynan shunday varianti – Gaussli MCHM da (GMSK – Gaussian MSK) qo'llanilgan, bunda jo'natish davomida fazani o'zgartirish qonuni tarqatishning gaussov integral funksiyalari yo'lini takrorlaydi, bu esa faza va chastotalar o'zgarishining ravonligini ta'minlaydi, demak spektrning ixchamlik darajasi yuqori bo'ladi.



6.6-rasm. MCHM signalning o'ny fazasining traektoriyalari.

Texnik tomondan Gauss (oddiy kabi) MCHM har xil vositalar bilan amalga oshirilishi mumkin, ammo GSM spetsifikatsiyalariga binoan uning parametrlari ma'nosini tushuntirish uchun T_b davomiylik bitli to'rtburchakli jo'natishlarning boshlashg'ich oqimi gaussov amplitudali-chastotali xarakistikalari, B polosa (-3 dB darajasida) bilan quyi chastotali filtr orqali o'tkaziladi deb hisoblash o'rinli, shundan so'ng signal generator bergan chastotani modullashtiradi. Standartda polosaga

$$\Delta f \approx \frac{0.92}{T_b}$$

javob beruvchi $BT_b=0.3$ qiymati qat'ian qayd qilingan.

Ta'kidlaymizki, BMFdan MCHMgacha modulyatsiyaning barcha turlarida, spektral samaradorlik bilan uzatishning ishonchliligi o'rtasidagi almashinuvda signalli vektorlarda minimal Evklid masofasining kamayishi amalda bo'lmaydi, bu KFM bilan BFMni solishtirish misolida namoyish qilinadi. Gaussli MCHM hodidasi bu aloqa qatoridan, gauss filtri aks sadosining chegaralanmaganligi vaqtda imkon bermaydi, aytish mumkinki, modulyatsiyalashning ushbu turini KFMSning silliqlashtirilgan versiyasi deb izohlash mumkin. Texnik adabiyotda 0,46 dB energetik yutqazishi to'g'risida eslatib o'tilishini uchratish mumkin, ammo uning nazariy potentsiali xabarlarini "butunlay" demodulyatsiyalashtirish imkonini hisobga olganda yuqoridir, ya'ni bir necha jo'natishlarni qamrab oladigan intervalda (masalan, Viterbi algoritmi yordamida).

Ko'rib chiqilgan formatlar uchun 6.1-jadvalda Δf_{99} modulyatsiyalangan signal polosasi kengligini ma'lumotlarni uzatish tezligi R_1 (bit/s) bilan bog'lovchi ma'lumotlar keltirilgan.

Keltirilgan qisqacha ma'lumotning ko'rsatishicha, hatto sotali radiotelefon raqamli standartlarining nisbatan modulyatsiyalashtirish usullari sezilarli darajada turiligi bilan farq qiladi. Agar boshqa telekommunikatsiya tizim (radioreley-yo'ldoshli aloqa, shaxsiy chaqiruv, simsiz telefon va boshqalar)lariga murojaat qilinsa, ularning ro'yxati yanada kengayadi.

Modulyat-siya turi	BFM	KFM KFMS $\pi/4$ -KFM	MCHM	Gauss MCHM
$\Delta f_{99}/R_t$	18,5	1,2	1,2	0,92

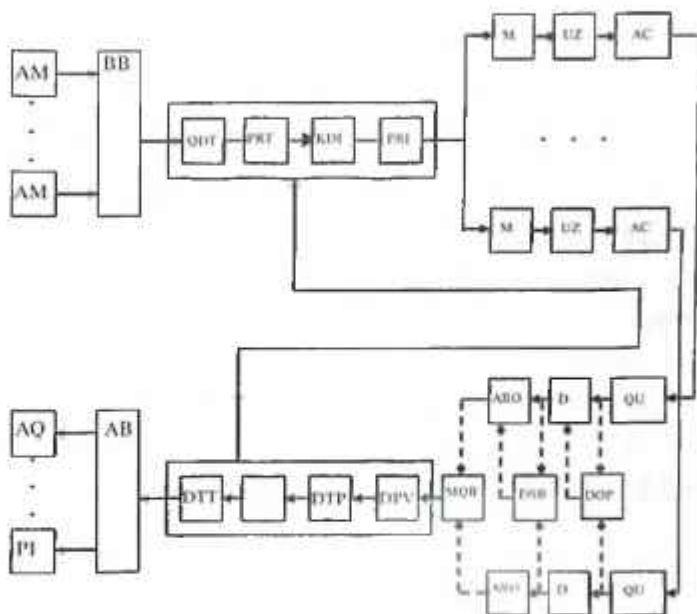
Bularning hammasi so'zsiz ravishda tizimning optimal ko'rsatkichlari yutuqlarining bir xil emasligi va ko'p variantligi to'g'risida guvohlik beradi.

6.3. Kodlar va xalaqitga chidamli kodlash to'g'risidagi umumiy ma'lumotlar

Kod — bu xabarni taqdim qilishning fizik mohiyatiga bog'liq bo'lmagan shakldir. Bu aloqa tizimda xabarni fizik taqdim etishni aniqlovchi signalni koddan abstraktli (simvolli) shaklni fizik signallar bilan bog'lashadi, bunda kodlarni chastotali, vaqt bo'yicha, fazali yoki amplitudali deb atashadi. Kodni simvollar majmuasi deb qarash mumkin. Xalaqitga chidamli kodli simvollar majmuasidagi xatolarni topish va ularni tuzatish imkonini beradi. Agar xabarlar ichki korrelyatsiyali aloqalarga ega bo'lsa, ya'ni bitta xabar ba'zi bir holatga ko'ra boshqasiga bog'liq bo'lsa, bu asosan matnlarni tabiiy tillarda uzatilganda bo'ladi, unda xohlagan kodning xalaqitga chidamligi xabarlar o'rtasidagi statistik bog'lanishlar evaziga oshishi mumkin. Agar bu aloqalar zaif yoki noma'lum, yoki ularni xalaqitga chidamlilikni oshirish uchun qo'llash mumkin bo'lmasa, bu holatda xabarni taqdim qilish shakli keragidan ortiq darajada bo'lishi lozim, jumladan xabar kodida simvollar kuchaytiriladi, kodli belgilar o'rtasida esa sun'iy korrelyatsiyali aloqalar kiritiladi. Shuning uchun ba'zi holatlarda xalaqitga chidamli kodlarni keragidan ortiq deb atashadi. Keragidan ortiqchalikni kodga kiritish xatolarni topish va to'g'irlashdan tashqari aloqa liniyaning energetik samarasini oshiradi, sixronlashtirish

trakti xalaqitga bardoshlilikini oshirish yo'li bilan aloqada kirish vaqtini qisqartirish, signallar ansambli korrelyatsiyali xususiyatini yaxshilash, oddiy usul bilan tarqoqlangan qabul qilishni amalga oshirish imkonini beradi.

Xalaqitga chidamli kodning turi aloqa tizimining tuzilishiga bog'liq, ularning umumlashtirilgan sxemasi 6.7-rasmda keltirilgan.



6.7-rasm. Aloqa tizimining sxemasi.

AM — axborot manbayi; BB — birlashtirish bloki; KDT, KDI — tashqi va ichki koderlar; PRT, PRI — tashqi va ichki oralatgichlar (peremejitel); M — modulyator; UZ — uzatgich; AS — aloqa liniyasi; QU — qabul qilgich; D — demodulyator; ARO — analog-raqamli o'zgartirgich; MQB, DSB, DOP — detektordan so'ng, detektordan oldingi, mantiqiy qo'shish bloklari; DPT, DPI — tashqi va ichki deperemejitel; DKT, DKI — tashqi va ichki de-

koderlar; AB— ajratish bloki; AQ — axborot qabul qiluvchi; QBK — qarshi bog'lanish kanali.

Bundan keyin hisoblaymizki, ko'rib chiqilayotgan aloqa tizimlarida faqat diskret turda taqdim qilingan signallar uzatiladi.

Diskretli xabarlarni zamonaviy tizimlarda uzatishda oxirgilari qoidaga asosan, bir necha manbalardan tizim kirishiga kelib tushadi. Agar tashqi manba bitta bo'lsa ham aloqa tizimining o'zi xizmat aloqa signallari manbayiga, teleboshqaruvga va telesignalizatsiya (TU-TS)ga egadir. Turli manbalardan xabarlarning kelish tezligi ham bir xil, ham har xil, sinxron o'zining taktli chastotasi bilan aloqa apparatli yoki u bilan asinxronli bo'lishi mumkin. Zichlash bloki (ZB) har xil manbalardan kelib tushgan xabarlarni yagona ketma-ketlikka, qoidaga asosan, aloqa tizimi uzatish tezligiga mos keluvchi taktli chastotali ikkilik simvollarini birlashtiradi.

Agar manbalardan kelib tushuvchi xabarlar tezligi aloqa tizimining xususiy taktli chastotasiga nisbatan asinxronli bo'lsa, ZB xabarlarni asinxronli kiritishni amalga oshiradi. Vaqtincha zichlashda qabul tomonida xabarni farq qilish uchun ZB umumiy raqamlar oqimida birinchi manba o'rinni bildiruvchi marker-ni tashkil qiladi. Marker davriy sinxronlashtirish signalini hosil qilgan holda vaqti-vaqti bilan takrorlanadi. Koder uzatilayotgan ikkilik simvollar oqimiga keragidan ortiqlarini kiritadi, shu bilan birga xabarlarni kodlashtirish talab qilingan xalaqitga chidamlikni oshirish darajasiga bog'liq ravishda bosqichma-bosqich va bosqichlarga mos ravishda turli xil koderlar bilan amalga oshirishi mumkin. ZBdan keyingi birinchi koderni tashqi (KDT), oxirgisini — ichki (KDI) deb atashadi. Koder bilan tashkil qilingan simvollar oqimi peremejitelga kelib tushadi.

Ko'p holatlarda kodning bitta simvolidan xato u bilan yonma-yon xuddi shunday ketma-ketlikdagi simvollaridagi xatoga olib keladi, bu dekoder kirishida xatolarni tuzatuvchi xatolar paketini hosil qiladi. Agar kod n yonma-yon ikkilik simvollar intervalida m xatoni tuzatishga mo'ljallangan bo'lsa, xatolar paketi esa m dan ko'proq soxta simvollarini chaqirsa, xato dekoder orqali tuza-

tilmaydi. Oralatgich yonma-yon ikkilik simvollarni boshlang'ich kodli ketma-ketlikda n belgidan ko'proq tarqatadi (vaqt bo'yicha).

Doperemejenieda — qabul tomonida tarqatilgan ikkilik simvol-lar qaytadan bir joyga yig'iladi; bir vaqtning o'zida paketdagi xa-tolar deperemejitel bilan vaqtida n belgidan ko'proq va depereme-jitelga mos keluvchi bunday tarqatilgan xatolarni dekoder tuzatishi mumkin. Kodlashtirilgan belgilarning ketma-ketligi umumiy ho-latda tarqatishining, ularga har biri modulyatorga o'tkazgichga, aloqa liniyasi va qabul qilgichga ega.

Radioaloqaning liniyali tizimlarida chastotali diapazon qismida amaldagi qotib qolishlar va tor polosali halakatlar bilan kurashish uchun ishchi chastotalarni (PPRCH) dasturli (yoki, uni ba'zi-da soxta tasodifiy deb atashadi) qayta qurishni qo'llashadi, mos qoluvchi qurilmalarga esa uzatgich va qabul qilgich kiradi.

Tarqatilgan tarmoqlarning qabul tomonidagi signallarining tuzili-shi ham demodulyator (detektorgacha tuzilish) kirishida, ham uning chiqishida (detektordan keyingi tuzilish) amalga oshirilishi mumkin. Jumladan, agar tarmoqlarda signallar nokogerent bo'lsa, detektordan keyingi tuzilishning kvadrati deb ataladi. Yaqindagina kodlashtirilgan signallar bilan aloqa tizimlarida kam xato bilan detektordan keyingi tarmoqni mantiqiy birlashtirishni qulay boshladilar. Demodulyator (D) odatda integrarlashni takt paytida tushiruvchi izi bilan tugal-laydigan signal elementida optimal ishlov berishni amalga oshira-di. Bu bilan demodulyator vaqt bo'yicha aylanib o'tuvchi signalning shovqin bilan aralashmasini diskretizatsiya qiladi.

Taktli impuls-larni tuzishni demodulyator tarkibiga kiruvchi taktli sixronlashtirish amalga oshiradi, analog-raqamli o'zgar-tirgich (ARO) demodulyator chiqishida aylanib o'tuvchi signal bilan shovqin aralashmasini daraja bo'yicha diskretlaydi (kvant-laydi). Ikkita darajaga kvantlashda ikkilik simvol dekodirlanadi. Kvantlash darajalarining maksimal soni, qoidaga asosan, 16 dan oshmaydi. Odatda darajalar soni 2, 4, 8 yoki 16 ga teng. Ikkilik simvol bilan ishlaydigan dekoder qattiq, ikkilik bo'lmagan simvol — yumaloq deb ataladi.

Dekoder ishlashi uchun dekodeer tarkibiga kiruvchi guruhli sinxronlashtirish traktida hosil qilingan spetsifik (guruhli) taktli impulslar kerak bo'ladi. Dekoderning vazifasi kodeer bilan simvollar oqimiga kiritilgan keragidan ortiq foydalashish yo'li bilan aloqa tizimlari tomonidan berilgan xabarlardagi xatolar sonini kamaytirishdan iborat. Aloqa tizimining (radio yoki simli) liniyani o'z ichki oluvchi qismi kanal deb ataladi. Tizimning boshqa modulyator chiqishidan ARO^{*} kirishiga bo'lgan boshqa qismi darajali (ammo vaqt bo'yicha diskretli) bo'yicha uzluksiz signalni uzatish-qabul qilish kanalini hosil qiladi. Tizimning yana bir modulyator chiqishidan ARO^{*} chiqishigacha bo'lgan qismi darajasi va vaqt bo'yicha uzluksiz kirish signali bilan va diskretli chiqish signali bilan kanalni hosil qiladi. Modulyator kirishidan ARO^{*} chiqishigacha kanal ham vaqt bo'yicha, ham daraja bo'yicha diskretlidir. Ikki yo'nalishli aloqa tizimida ishini boshqaruvchi amalga oshiradigan teskari aloqa kanal ko'zda tutiladi. Aloqa tizimining aniq amalga oshirilishiga bog'liq ravishda ko'rinish jihatidan o'zgarishi mumkin. Kanallardan, diskret kanalda simvolning bir mazmundan boshqasiga — soxta (xatolik yuzaga keladigan hodisa) yoki qo'llanmaydigan (o'chiruvchi deb ataluvchi hodisa)ga o'tishi turida ko'rishuvchi signallarning buzilishi, shovqinlar, xalaqitlar mavjud. Xatolar tavsifiga bog'liq ravishda diskret kanallarning simmetrik (belgilarning hamma soxta mazmunlarini teng ehtimolli) asimmetrik (belgilarning barcha soxta mazmunlarini ko'proq ehtimollikga ega), xotirasiz (belgining buzilishi boshqa chiqish signalining buzilishiga statistik bog'liq bo'lmaydi), xotirali (chiqish ketma-ketligi belgisi buzilishi boshqa xuddi shunday ketma-ketlik belgisi buzilishiga statistik bog'liq) va o'chirish bilan (xatolar bilan birga simvollarini o'chirish sodir bo'ladi) turlari mavjud.

Aloqaning xohlagan chegaralangan chastotalar polasasi bilan, uzatish vaqti va dinamik dinapazonli (amplitudalar mazmuni) kanali oxirgi o'tkazish imkoniyatiga ega. Nazariy jihatdan o'tkazish imkoniyati bu xatolarning shunchalik kam ehtimolligida vaqt

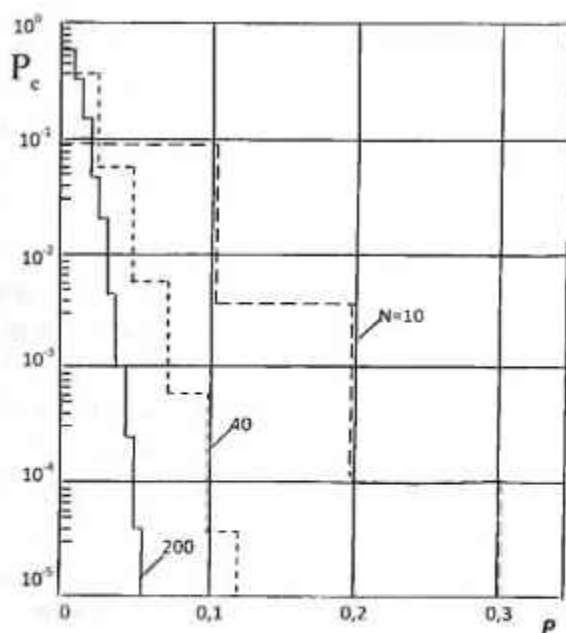
birligida uzatilgan ikkilik simvollarning (bit) maksimal sonidir. Vaqt birligida uzatilayotgan bitlarning haqiqiy qabul qilingan soni uzatish tezligi deyiladi xatolarning chegaralanmagan kam ehtimoligida uzatish tezligi doimo o'tkazish imkoniyatidan kichikdir. Xatolari bo'lgan kanalda tezlikning maksimal qiymat holatida chidamli kodlashtirishdan foydalanish yo'li bilan amalga oshiriladi. Oxirgisi uzatiladigan signalga ham vaqt bo'yicha, ham chastota yoki amplituda bo'yicha keragidan ortiqni kiritishni talab qiladi.

Agar kod kanal bilan kelishilgan bo'lsa, ya'ni kod ko'proq ehtimolli bo'lgan xatolarni tuzatish imkonini beradi, kiritilgan keragidan ortiqlik oqlanadi. Agar kod kanal bilan kelishilmagan bo'lsa, xatolar to'g'irlanmay qolishi mumkinligidan tashqari kodi bilan ko'payishi ham mumkin. Bu holatda xalaqitga chidamli kodlashtirishni qo'llash foydali emas, balki zarar keltiradi. Kodning aloqa kanali bilan kelishuvi uchun kanallarda mumkin bo'lgan xalaqitli ta'sirlar to'g'risidagi ma'lumotlarning maksimal hajmiga ega bo'lish lozim.

Xalaqit beruvchi ta'sirlar bu shovqinlar, xalaqitlar, qotib qolishlar, buzib ko'rsatishlar va xatolardir. Odatda shovqinlar tabiiy kelib chiqishga ega va ko'proq sezilarli ta'sirni qabul qilgichning o'z shovqini ko'rsatadi. Xalaqitlar ham kelib chiqishi jihatidan tabiiy (momaqaldir oqli razryadlar, sanoat xalaqitlari, qo'shni radio vositalar ta'siri) va oldindan mo'ljallangan bo'lishi mumkin. Barcha xalaqitlarning xilma-xilligi 6 ta asosiy turlarga olib keladi: shovqinli, impulsli, to'rt polasali (sinusoidal chegarasida), tizim ichidagi, retranslyatsiya qilingan.

Xalaqitga chidamli kodlashning asosiy tamoillari xatolarni to'g'rilash bilan kodlashtirish, aslida, raqamli kanallarda uzatishlar ishonchliligini oshirish uchun mo'ljallangan signallarga ishlov berish usulidir. Kodlashtirishni turli xil sxemalari bir-biriga juda o'xshash bo'lmasa ham va turli xil matematik nazariyalarga asoslangan bo'lsa ham, ularning hammasi ikkita umumiy xususiyatga xosdir. Avval xatolarning mustaqil ravishda har bir belgida hosil bo'lishiga va xatoning o'rtacha ehtimoligi $R = 0,01$ ga teng bo'lishiga olib keluvchi xalaqit-

li aloqaning qo'shaloq kanalini ko'rib chiqamiz. Agar kanalning chiqishidagi 10 ta belgidan tashkil topgan ixtiyoriy blokni ko'rib chiqish talab qilinsa, unda xato belgilarini aniqlash juda qiyindir. Shu bilan birga bunday blok 3 tadan ko'p bo'lmagan xatoga ega deb hisoblansa, unda yechim millionta blokga ikki martagina xato bo'lishi mumkin. Undan tashqari, to'g'ri yechim ehtimolligi blok uzunligi o'sishi bilan ko'payadi. Blok uzunligi ko'paytirilgan blokda xato belgilar qismi kanalda xatolarning o'rtacha chastotasiga intiladi, shuningdek, eng muhimi, bloklarning xatolar soni bu o'rtacha qiymatdan yetarli darajada farq qiluvchi qismi juda kam bo'ladi. Bu tasdiqni isbotlash uchun xato belgilar hissassi r qiymatdan ko'p bo'lishi ehtimolligini hisoblab chiqamiz va blok uzunligining bir necha qiymatlari uchun ushbu funksiyaning grafigini tuzamiz (6.8-rasm).



Bu yerda, $P_e = 0,01$ ehtimollikda p dan katta.

6.8-rasm. N uzunlik blokda e/N xatoli simvollarning ehtimolligi.

6.8-rasmdan ko'rilganidek, belgilar bir-birlaridan keng emas, balki bloklar bilan ishlov berilsa, xatolarning umumiy chastotasini kamaytirish mumkin, buning uchun shunday sharoit kerakki, blok belgilarining ba'zi qismida xatolarga ta'sirchan bo'lmagan kodlashtirish sxemasi mavjud va bu axborotlarning yo'qolishiga olib kelmaydi, ya'ni xatolik bloklarni tashkil qilmaydi. 6.8-rasmdagi grafikdan bloklarning turli xil uzunligi uchun, blokning belgilangan xatolar ehtimolligini qabul qilish uchun aynan xatolarning qanday qismini tuzatish zarurligi ko'rinib turibdi. Shuningdek, ko'rinib turibdiki, blok xatosining qayd qilingan ehtimolligida tuzatilishi lozim bo'lgan xatolar qismi blok uzunligi oshganda kamayadi, ya'ni shovqinni o'rtachalashtirishda tavsiflarni yaxshilash zaxiralari mavjud va zaxiralar blok uzunligi oshirilganda ortadi. Shunday qilib, uzun blokli kodlar qisqasiga qaraganda samaraliroqdir.

Belgilarda xatolarni tuzatishning ko'rsatilgan maqsadga muvofiqligini keragidan ortiqlik asosida amalga oshirish mumkin. Xabardagi berilgan n qo'shaloq belgilar ketma-ketligidagi xatolarni tuzatishda shuni hisobga olish juda muhimki, mumkin bo'lgan ketma-ketliklarning ikkitasidan hech biri haqiqiy xabarni taqdim qilmaydi. Haqiqatda, n belgilardan qabul qilinishi bo'lgan ketma-ketliklardan xohlagani haqiqiy xabarni taqdim etishi mumkin va ulardan biri boshqasiga qarganda ko'proq haqiqiy deb hisoblanishga hech qanday asos yo'q. Xuddi shunday usulda mulohazani davom ettirib, ko'rish mumkinki, t yoki kamroq xatolarning hamma to'plamlarini tuzatish uchun xabarni taqdim qiluvchi har bir ketma-ketlik boshqa xohlagan xabarni taqdim qiluvchi ketma-ketlikdan $2t+1$ dan kam bo'lmagan joyda farq qilishi zarur va yetarlidir. Masalan, belgilardagi barcha yolg'iz yoki barcha qo'shaloq xatolarni tuzatish uchun har xil xabarlarini taqdim qiluvchi har ikki ketma-ketlik beshtadan kam bo'lmagan belgilarda farq qilishi zarur. Har bir qabul qilingan ikkita xato belgiga ega va natijada jo'natilgan ketma-ketlikdan to'g'ridan to'g'ri ikkita joyda farq qiluvchi ketma-ketlik boshqa hamma uchtdan kam bo'lmagan joyda xabar taqdim qiluvchi ketma-ketliklardan doimo farq qiladi.

Ikkita ketma-ketlik bir-biridan farq qiluvchi vaziyatlar soni hammaning masofasi deb ataladi va d orqali ifodalanadi. Kodli ketma-ketliklarni hamma juftliklari uchun d ning eng kichik qiymati kodli masofa deyiladi va $d_{\min}$ ifodalanadi. $d_{\min}$ hamma vaqt tuzatiladigan xatolar sonining ikki barobaridan birga katta bo'lishi zarur bo'lgani uchun, yozish mumkin.

$$t = \left\lceil \frac{d_{\min} - 1}{2} \right\rceil \quad (6.4)$$

bu yerda, (6.4) butun qismni ifodalaydi.

t parametri ko'rsatadiki, xohlagan qabul qilingan ketma-ketlikda t yoki kamroq xatolarning barcha kombinatsiyalari tuzatilgan bo'lishi mumkin. t qiymati (6.4)da ko'rsatilganidan kattaroq bo'lishi mumkin bo'lgan kanallar modeli mavjud. Masalan, to'rtta kodli simvolli 00000, 00111, 11100 va 11011 so'zdan tashkil topgan kodni ko'rib chiqamiz. Har bir kodli so'z to'rtta mumkin bo'lgan xabarlardan bittasini taqdim qilish uchun qo'llaniladi. Modomiki kod bitta belgidan hamma 32 ta mumkin bo'lgan ketma-ketlikning faqat kichik bir qismidan iborat bo'lgani uchun kodli so'zlarni shunday tanlash mumkin, ulardan har ikkitasi bir-biridan farqi uchta vaziyatdan kam bo'lmaydi. Shunday qilib, kodli masofa uchga teng va kod xohlagan vaziyatdagi yolg'iz xatoni tuzatishi mumkin bo'lgan ketma-ketlikning faqat kichik bir qismidan iborat bo'lgani uchun kodli so'zlarni shunday tanlash mumkinki, ulardan har ikkitasi bir-biridan farqi uchga teng va kod xohlagan vaziyatdagi yolg'iz xatoni tuzatishi mumkin.

Bunday kodni dekoderlashda 28 ta mumkin bo'lmagan ketma-ketliklardan har birini unga yaqin yo'l qo'yilgan ketma-ketlikga muvofiq qo'yish zarur. Bu jarayon quyidagicha tuzilgan dekoderlash jadvalini tuzishga olib keladi. Avval har bir kodli so'zda undan bitta vaziyatga farq qiluvchi hamma mumkin bo'lgan ketma-ketliklar yozib chiqiladi. Natijada 6.2-jadvalning tutash chiziq bilan kesilgan qismini olishadi. Bunday tuzilishdan

so'ng qolgan sakkizta ketma-ketliklar ikkitadan kam bo'lmagan vaziyatda farq qiladi. Ammo, boshqa ketma-ketliklardan farqli ravishda bu sakkizta ketma-ketliklarni jadvalga joylashtirish mumkin emas. Dekoderlash jarayonida ushbu jadvalni qo'llash uchun qabul qilingan ustunni topish kerak. Dekoderning chiqish ketma-ketliklari sifatida shu ustunning yuqori qatorida joylashgan kodli so'zni olish kerak.

6.2- jadval

To'rt simvolli kodni dekodeqlash

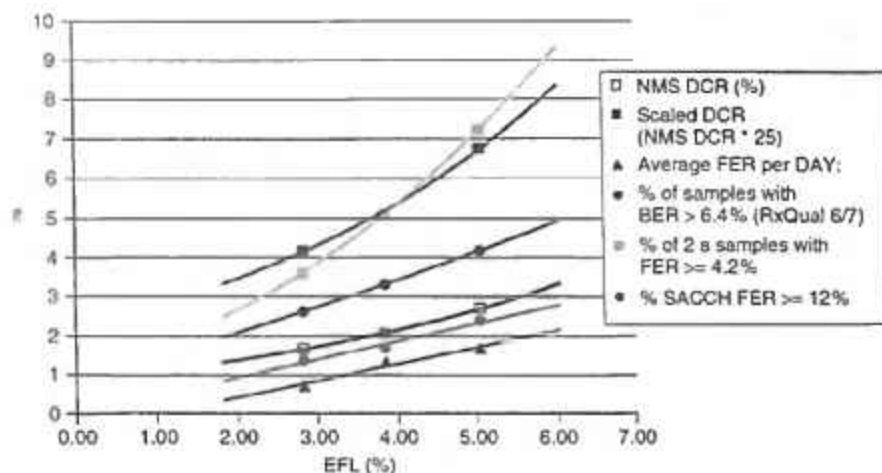
00000	11100	00111	11101
10000	01100	10111	01011
01000	10100	01111	10011
00100	11000	00011	11111
00010	11110	00101	11001
00001	11101	00110	11010
10001	01101	10110	01010
10010	01110	10101	01001

Dekoderlashning ushbu qoidasini amalga oshiruvchi dekodekder maksimal haqiqatga o'xshash hisoblanadi va ko'rsatilgan taxminlarda u qabul qilingan ketma-ketlikda dekodeqlash xatosi yuzaga kelishi ehtimolligini minimallashtiradi. Ushbu ma'noda bunday dekodekder optimal hisoblanadi. Maksimal haqiqatga o'xshash dekodekderlardan qisqa kodlar uchun tez-tez foydalanganligi uchun bu tushuncha juda muhimdir. Bundan tashqari, maksimal haqiqatga o'xshash dekodekder o'lchamlari etalon bo'lib xizmat qilishlari mumkin va u bilan boshqa optimal bo'lmagan dekodekderlar parametrlari bilan solishtiriladi. Agar dekodeqlash jadval yordamida olib borilsa, unda jadval elementlarini shunday joylashtirish mumkinki, maksimal

haqiqatga o'xshash dekodeerlash hosil bo'lsin. Afsuski, blokning uzunligi oshishi bilan jadval hajmi eksponensial o'sib boradi, shu tufayli uzun kodlar uchun dekodeerlash jadvalidan foydalanish maqsadga muvofiq emas. Ammo, dekodeerlash jadvali blokli kodlarning muhim xususiyatlarini aniqlash uchun ko'pincha foydali bo'ladi.

Karrali xatolarni tuzatish imkonini beruvchi va xato belgilarning paydo bo'lishlari chastotaning sezilarli kamayishiga olib keluvchi kodlashtirishning nisbatan ko'p sodda usullari mavjud. Bunday kodlar zamonaviy yarimo'tkazgichli qurilmalar asosida tuziladi va nisbatan oddiy dekodeerlanadi. Masalan, 50% keragidan ortiq belgilarga ega bo'lgan va to'rtta tasodifiy xatolarni tuzatishga imkon beruvchi 40 uzunlikdagi blokli kod mavjud. 6.8-rasmda ko'rsatilganidek $R_c=0,01$ da ushbu kodga kam blok xatosi ehtimoligiga ega. Agar bu yetarli bo'lmasa, ko'p sonli xatolarni tuzatish uchun yo keragidan ortiqlikni oshirish lozim yoki katta uzunlikdagi blokli kodlarga o'tish va katta o'rtachalashtirish hisobiga yutuq olish. Har bir holatda yuzaga keladigan qo'shimcha xarajatlarni e'tiborga olish zarur. Ammo har ikkala ko'rsatilgan imkoniyatlar bo'lishi va amaliy mos keluvchi muqobilik (alternativa)ni taqdim qilishlari mumkin.

Xulosa qilib qayd qilishimiz mumkinki, 6.6-rasmda tasvirlangan egri chiziqlar shakli shunday max va min qilish imkonini beradiki, agar blokda xato belgilar (bizning holatda t/n 0.01 dan birozgina yuqori) qayd qilingan qismini tuzatuvchi sxema mavjud bo'lsa, unda blok uzunligini yetarli darajada katta tanlab, xatolar qismini shuncha kamaytirish mumkin. Afsuski, bu juda qiyin vazifadir. Sxemali yechimlarning o'sib borishdagina t/n doimiy munosabatni ta'minlashi mumkin. Shunday qilib, blokning katta uzunligida foydali xabarlar qismining juda kam bo'lganligi sababli samaradorlikni yo'qotish yuzaga keladi.



6.8-rasm. Asosiy ko'rsatkichlar.

Shuningdek, mavzuni chuqurroq o'rganish uchun foydalanish mumkin bo'lgan ko'p sonli axborotlar manbalariga havolalar ham berilgan.

Nazorat savollari:

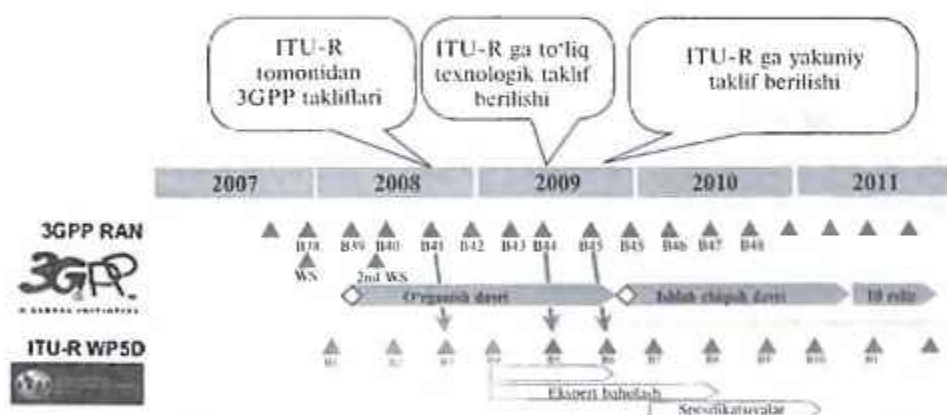
1. To'rtinchi avlod mobil aloqa (4G) tizimlariga tavsif bering.
2. 4G avlod tarkibiga qanday texnologiyalar kiradi (yoki kirishi taxmin qilinmoqda)?
3. Mintaqalarda 4G tarmoqlarning hozirgi rivojlanish holati qanday?
4. 4G tarmoqlarida qanday ilovalarga imkoniyat yaratiladi? 4G tizimlarida qanday kontentdan foydalanish ko'zda tutilgan?
5. Yaqin yillarda LTE texnologiyasining rivojlanish istiqbollari qanday?
6. WiMAX tizimlarining qisqacha xarakteristikalarini bering.

7-bob. 4G AVLOD TEXNOLOGIYALARINING RIVOJLANISHI UCHUN SHART-SHAROITLAR

7.1. To'rtinchi avlod mobil va keng polosali aloqa tizimlarining rivojlanish tarixi

Aloqa tizimlarining zamonaviy rivojlanishini turli jarayonlar, chunonchi: bir tomondan, statsionar va mobil tarmoqlarning birlashishi (konvergensiya, Internetga mobil ulanish, IP telefoniya), boshqa tomondan, aloqa tarmoqlarining globallashtirilishi (mikrosotalardan makrosotalarga va yo'ldoshli tarmoqlarga) va, nihoyat, abonent terminallarining universallashtirilishi (3G, 4G har xil tarmoqlarida ishlay oladigan ko'p tizimli, ko'p rejimli va ko'p funksiyali "aqlli telefonlar" — smartfonlar) orqali ifodalash mumkin. Yagona global tarmoq infratuzilmasini yaratish g'oyasi aslida ancha avvaldan mavjud bo'lib, "IMT-2000" dasturi doirasida simsiz ulanish, sotali va sun'iy yo'ldoshli aloqa universal tizimlarining yangi avlodini yaratish konsepsiyasi ilgari surilgan edi. Yagona xalqaro standart yaratishning asosiy g'oyasida yuqori funksional imkoniyatlarga ega bo'lgan va shu bilan birga qimmat bo'lmagan portativ terminallar yordamida xizmatlar taklif etish ko'zda tutilgan edi. Ma'lumki, uchinchi avlod tizimlari darajasida ushbu maqsadga erishish mumkin bo'lmadi, lekin IMT-2000 doirasida bu yo'nalishdagi ishlar to'xtab qolmadi va standartlarni birlashtirish bo'yicha yangi g'oyalar IMT-Advanced nomini olgan to'rtinchi avlod tarmoqlarini yaratish dasturida o'z aksini topdi. 2009 yilning 7-oktyabrida 3GPP hamkorlik loyihasi IMT-Advanced dasturi tarkibiga kiritish uchun LTE-Advanced (3GPP-10-Relizi) texnologiyasini rasman taqdim qildi. Bu taqdimot barcha 3GPP va 3GPP-2 hamkorlik tashkilotlari: ARIB, ATIA, CCSA, ETSI, TTA va TTS tomonlaridan qilingan edi. LTE-Advanced texnologiyasi spetsifikatsiyalarini ishlab chiqish bo'yicha ishlar 2010–2011-yillar davomida bajarildi.

Parallel ravishda keng polosali simsiz texnologiyalar rivojlana bordi. Simsiz tarmoqlar standartlarini yaratish sohasidagi boshlang'ich nuqta sifatida IEEE tashkiloti tomonidan 1990-yilda 802.11 qo'mitasining tashkil etilishi hisoblanadi. Mazkur qo'mita "Wi-Fi" tijorat nomini olgan simsiz lokal tarmoqlarini yaratish bilan shug'ullanadi. Wi-Fi ilk tizimlarida 100 metrgacha bo'lgan masofalarda 2Mbit/sek gacha bo'lgan ma'lumot uzatish tezligi ta'minlanar edi. Bugungi kunda ushbu texnologiyaning yangi standartlari (IEEE 802.11n) 300 Mbit/sek gacha tezlikni bir necha yuzlab metr masofalgacha ta'minlashga qodir. Wi-Fi texnologiyasi o'zining yangi IEEE 802.11ac versiyasi bilan 4G tarkibiga kirishlikka nomzod deb baholanmoqda.



7.1-rasm. ITU-R tomonidan 3GPP relizlarini tasdiqlatish jadvallari.

Internet tarmog'ining rivojlanishi va simsiz aloqa yordamida global tarmoqlarga ulanish g'oyasi simsiz texnologiyalarning rivojlanishiga katta turtki bo'ldi. 2005-yilga kelib, simsiz Internetdan foydalanuvchilar soni o'nlab millionlarni tashkil etdi. Shu bois o'tgan asrning 90-yillari oxirlariga kelib yirik telekommunikatsiya kompaniyalari tomonidan ko'p sonli korporativ (ya'ni, umumiy standart asosida tuzilmagan) texnologik yechimlar ishlab chiqildi.

U davrda bu texnologiyalar bir-biriga mos bo'lmasada, ammo bu jarayon Wi-Fi tizimlarini keng rivojlantirish g'oyasining samaraliligini tasdiqladi. Shu bilan birga Wi-Fi tizimlari "so'nggi milya" muammosini hal qila olmasliklari ham ma'lum bo'ldi. Bu hol esa 2003-yilda qator kompaniyalar tomonidan asosiy vazifasi (o'z nomidan kelib chiqqan holda) turli ishlab chiqaruvchilar tomonidan taklif etilgan yechimlarning o'zaro moslashuvini ta'minlashdan iborat bo'lgan WiMAX forumining (*ingl. WiMAX Forum*) tashkil etilishiga sabab bo'ldi. WiMAX forumi o'z oldiga standartlar bazasini yaratish maqsadini emas, balki jihozlarni sertifikatlashtirish vazifasini qo'ydi, yangi texnologiyalarni standartlashtirish esa IEEE doirasida olib borildi. 2005-yilda axborot hamjamiyatining Umumjahon Sammiti (*ingl. World Summit on Information Society, WSIS*) WiMAX texnologiyasi zimmasiga yuklatilgan vazifalarni quyidagicha shakllantirdi:

1. WiMAX yordamida uncha katta bo'lmagan aholi yashash joylari, olis hududlar va ajralib qolgan joylarning axborot va kommunikatsiya texnologiyalari xizmatlariga ulash. Bunda rivojlana-yotgan mamlakatlarda aholi soni 100 kishidan ortiq bo'lgan 1,5 million aholi yashash joylari telefon tarmoqlariga umuman ulan-maganligi va yirik shaharlar bilan kabelli aloqaga ega emasligi hisobga olinishi kerak.

2. WiMAX yordamida foydalanuvchi o'zi yetishi mumkin bo'lgan hududida yer yuzining yarmidan ko'p aholisiga axborot va kommunikatsiya texnologiyalari xizmatlarini ta'minlash. Bunda 2005-yilda Internetdan foydalanuvchilarning umumiy soni taxmi-nan 960 million kishini yoki dunyoning umumiy aholisining 14,5 foizini tashkil etishini hisobga olinishi lozim.

Yuklatilgan vazifalarni hisobga olgan holda WiMAX tex-nologiyasining yaratishdan asosiy maqsad keng spektrli uskunalar (kompyuterlar, "aqli uy" maishiy texnikasi, portativ uskunalar va mobil telefonlar) va ularning mantiqiy birlashmasi — lokal tarmoqlar bilan universal simsiz ulanishni taqdim etish bo'lib qoldi.

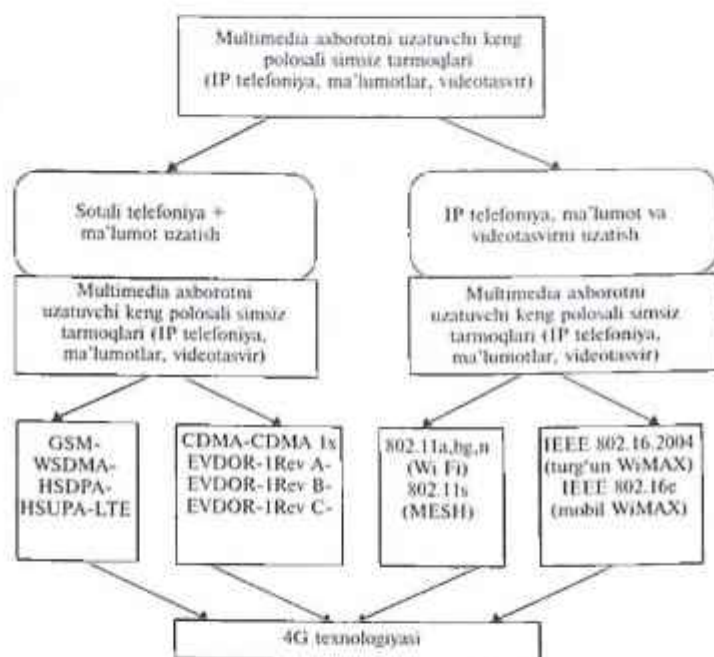
WiMAX texnologiyasiga mansub standartlar "IEEE 802.16" belgisini oldi. Ulardan birinchisi — IEEE 802.16.2002 hatto WiMAX Forumi tashkil etilishidan oldin qabul qilingan edi. Bugungi kunda WiMAXning asosiy standartlari bu 2004- va 2005-yillarda o'zaro muvofiqlashtirib qabul qilingan ikki bir-biridan farqlanuvchi versiyalari mavjud; ya'ni IEEE802.16-2004 — "turg'un" simsiz ulanish standarti va IEEE802.16-2005 — standartning "mobil" varianti.

Shu orada, mobil aloqa dunyosining yirik operatorlari va jihozlar ishlab chiqaruvchilar birgalikda yangi 4G texnologiyalarini va ularning real funksional imkoniyatlarini aniqlash maqsadida sinovlar o'tkazdilar. 2005-yildayoq, Yaponiyaning yirik operatori — NTT DoCoMo, mobil aloqa yangi standarti bilan ishlashdagi yutuqlarini xabar qildi, ya'ni simsiz kanallar bo'yicha 100Mbit/s sek tezlikda ma'lumot uzatish bo'yicha muvaffaqiyatli tajribalar o'tkazdi. 2006-yilning ikkinchi yarmida yirik milliy va xalqaro operatorlar keyingi avlod mobil tarmoqlarini yaratish bo'yicha rasmiy hamkorlikni boshladilar. "*Next Generation Mobile Network Cooperation*" (NGMNC) nomini olgan ishchi guruh to'rtinchi avlod mobil tarmoqlari oldiga qo'yiladigan talablarini aniqlash uchun butun dunyoning GSM va CDMA operatorlarini birgalikda to'pladi.

Guruhning asosiy a'zolari Sprint Nextel (AQSH), T-Mobile (Germaniya), Vodafone (Buyuk Britaniya), KPN (Gollandiya) va Orange (Fransiya) kompaniyalari bo'ldi, keyinchalik esa ularga NTT DoCoMo (Yaponiya) va China Mobile (Xitoy) kompaniyalari qo'shildilar. Guruhning bosh texnologik vazifalaridan biri barcha 3G texnologiyalarining, xususan UMTS va EV-DO tizimlarining, 4G darajasiga asta-sekin o'tishini ta'minlash bo'ldi (7.2-rasm).

Yangi mobil aloqa tizimlariga o'tishga tayyorgarlik ishlari turli hududlarda o'ziga xos tarzda bormoqda. Bu jarayonda Xitoyda ishlar qanday borganicha ancha qiziqarlidir. U yerda 3G dan 4Gga o'tish bo'yicha tadqiqot loyihasi 2001-yildan ishga tushgan.

2007-yilda Shanxayning Changning tumanida bir necha oylik sinovlardan so'ng, o'sha davr uchun "olamshumul" bo'lgan 100Mbit/sek tezlikda ma'lumotlarni simsiz uzatishni ta'minlaydigan mobil aloqa tarmog'i dunyoda birinchi marta rasmiy ishga tushirildi (bunday tezliklar o'sha vaqtda faqat optik tolali texnologiyalarda olinardi). Ta'kidlash lozimki, 4G tarmoqlarining Xitoyda keng rivojlanishi Olimpiada-2008 tufayli qo'llab-quvvatlandi.



7.2-rasm. Turli texnologiyalarni 4G tomonga rivojlantirish strategiyalari.

Yevropada ham to'rtinchi avlod mobil aloqa tarmoqlarini rivojlanish jarayoniga faol kirishildi. Bu yerda garchi WiMAX tarmoqlari ham joriy etilgan bo'lsa-da, boshidanoq asosiy e'tibor LTE texnologiyasiga qaratildi. LTE texnologiyasini rivojlantirish loyihasida yirik Yevropa operatorlaridan T-Mobile, Vodafone Group va Orange, shuningdek, mobil jihozlar ishlab chiqaruvchi Alcatel Lucent, Nokia Siemens Networks, Nortel Networks va

Ericsson kompaniyalari faol qatnashdilar. LTE tizimini test ravishda ishga tushirish 2007-yilning mayida boshlandi. LTE tarmog'ini birinchi marta tijoriy ishga tushirilishi esa 2009-yilning dekabrda shved-fin TeliaSonera operatori tomonidan Ericsson jihozlari asosida Stokgolm (Shvetsiya) va Oslo (Norvegiya) shaharlarida amalga oshirdi. Darvoqe, bu sana "LTE erasining boshlanishi" deb hisoblanadi.

AQSHda esa Sprint-Nextel mobil aloqa operatori 3G tarmoqlaridan voz kechib, birinchilar qatorida WiMAX asosida 4G tarmoqlarini yaratishga kirishdi. Hozirgi kunda kompaniya tarmoqlari qariyb butun mamlakat hududini qamrab olgan, shu bois Sprint-Nextel nisbatan xotirjamlik bilan texnologiyalar nuqtayi nazaridan o'z kelajagini rejalashtirishga qodirdir. Ya'ni, u yoki WiMAXni rivojlantirishni davom ettiradi (yangi IEEE802.16m standartiga o'tgan holda) yoki LTE tomon "og'ishni" boshlaydi. Boshqa bir misol, boshidanoq LTEga asoslangan Verizon Wireless kompaniyasining tarmog'i. Mazkur kompaniya ancha qiziq bo'lgan 700MGs diapazonida boshidan LTE texnologiyasiga asoslanib tarmoqlar yaratmoqda. Faoliyatini Boston va Siatl shaharlarida sinov hududlaridan boshlagan kompaniya, 2013-yil davomida AQSHning deyarli butun hududini LTE tarmog'i bilan qopladi.

MDH davlatlari ham bu borada ortda qolmadilar. Masalan, Rossiyada, 2011-yilning aprelidan boshlab "katta uchlik" (Bee-line, Megafon va MTS kompaniyalari) hamda Rostelekom kompanisi ishtirokida mamlakatning to'rtta regionida LTE tarmoqlarining sinov hududlari ishga tushirildi. WiMAX tarmoqlari bu yerda 2007-yildan boshlab faoliyat yuritmoqda. Eng yirik operator — Yota kompaniyasi esa 2011-yilning birinchi choragi natijalariga ko'ra Moskva shahri va Moskva viloyatining qismi, Sankt-Peterburg shahri va Leningrad viloyatining qismi, Krasnodar, Sochi va Ufa shaharlari hududlarida 700 mingdan ortiq abonentga KSU xizmatlarini ko'rsatmoqda. Ammo Yotada ham LTE kabi "opponent" paydo bo'lganidan tashvishga tushib, 2010-yildan boshlab

parallel ravishda LTE tarmoqlarini ham tatbiq qilishga kirishdilar va avval Qozon shahrida, so'ngra Rossiyaning boshqa markaziy shaharlarida bu texnologiyani rivojlantirmoqdalar.

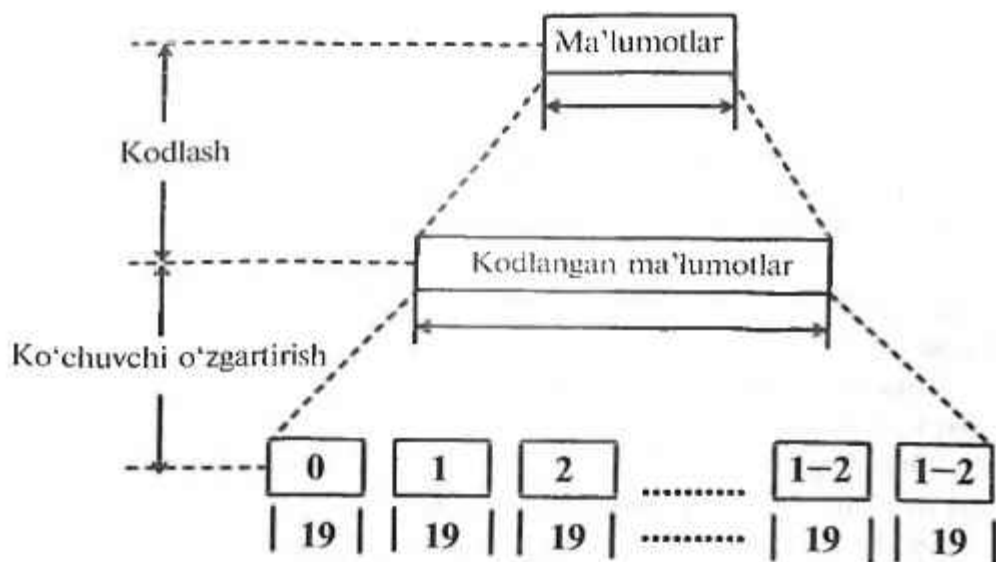
Ukrainada 2007-yilning IV choragida birdaniga to'rtta kompaniya WiMAX texnologiyasi asosida mamlakatning bir nechta yirik shaharlarida to'rtinchi avlod aloqa xizmatlarini taqdim etishning boshlanishini e'lon qilgan edi. Ukrainada LTE tarmoqlarini joriy etish 2011-yildan boshlandi. LTE tarmoqlarini keng tarqatish yuzasidan Armaniston, Qozog'iston, Ozarbayjon va Belarusiya ham o'z roziligini bildirishgan.

O'zbekistonda 4G tomonga rivojlanish ikkala yo'nalishda ham amalga oshmoqda: keng polosali simsiz ulanish tizimlari ham, mobil aloqa tizimlari ham dinamik ravishda rivojlanmoqda. Birinchi WiMAX tarmog'i Toshkent shahrida 2007-yilda ishlay boshlagan va 2010-yilning martida uning umumiy abonentlar soni 12 ming kishidan oshib, mamlakatning 6 ta shaharida ulanish nuqtalariga ega bo'ldi. 2010-yil 28-iyulda birinchi LTE tarmog'i "MTS O'zbekiston" kompaniyasi tomonidan ishga tushirildi. Shu yilning 9-avgustida Ucell kompaniyasi ham o'zining LTE tarmog'ini ishga tushirdi. Darvoqe, O'zbekiston dunyo miqyosida LTE tarmog'ini ishga tushirgan uchinchi davlat deb tan olingan [1].

7.2. GSM standartida signallarni kodlash va oralatish

GSM harakatdagi aloqa radiokanallarida xatolardan himoya qilish oralatish bilan o'ralgan va blokli kodlashtirishlar qo'llaniladi. Oralatish xatolar paketini yolg'izga o'zgartirishni ta'minlaydi. Ularni kodlashtirish yolg'iz xatolar bilan kurashish uchun qo'llaniladi, bloklar esa asosan tuzatilmagan xatolarni topish uchun. Blokli (n, k, t) kod $(n-k)$ juftlikdagi simvollarni qo'shish yo'li bilan k axborot simvollarini n simvolga o'zgartiradi, shuningdek

simvollarining t xatolarini tuzatishi (korrektorlashi) mumkin. Oʻralgan (svyortkali) kodlar (OʻK) uzluksiz xalaqitga chidamli kodlar sinfiga qaraydi. OʻKning asosiy tavsiflaridan biri K kattaligi hisoblanadi. U kodli chegaralanish uzunligi deb nomlanadi va ushbu axborot belgisining chiqish simvollariga qanday maksimal sonda taʼsir qilishini koʻrsatadi. OʻK koʻproq optimal hisoblangan Viterbi algoritmi boʻyicha dekodeqlashda amalga oshirishning murakkabligi kodli chegaralanish uzunligi oshishi bilan eksponensial oʻrtib boradi, shuning uchun K ning tipik qiymatini koʻp boʻlmagan 3–10 chegarasida tanlanadi. OʻKning keyingi kamchiligi shundaki, ular xatolarni topishmaydi. Shuning uchun GSM standartida $r=1/2$ tezlik bilan oʻralgan (2,1,5) kod asosida blokli kod qoʻlaniladi. OʻK eng katta yutuqni olishda faqat kanaldagi yolgʻiz (tasodifiy) xatolarda imkon beradi, KSATda boʻlib turadigan tinishlanishda kanallarda OʻKni oralatish bilan birgalikda qoʻllash lozim.



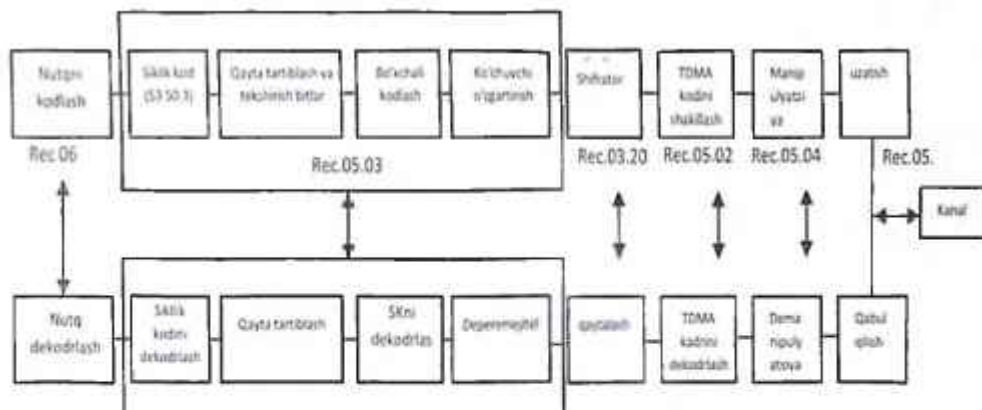
7.3-rasm. 19 ga karrali n -kodlash.

GSM standartida so'zlashuv kanallari va boshqaruv kanallari bir-biridan etarli darajada farq qiladi. So'zlashuv kanallarida aloqani tashkil qilishni real vaqt masshtabida xatolar ehtimoligini nisbatan past talablarda amalga oshirish kerak, boshqaruv kanalida esa qabulning yuqori aniqlikda bo'lishi talab qilinadi, lekin uzoq vaqt kuzatishga va kechikishga yo'l qo'yiladi.

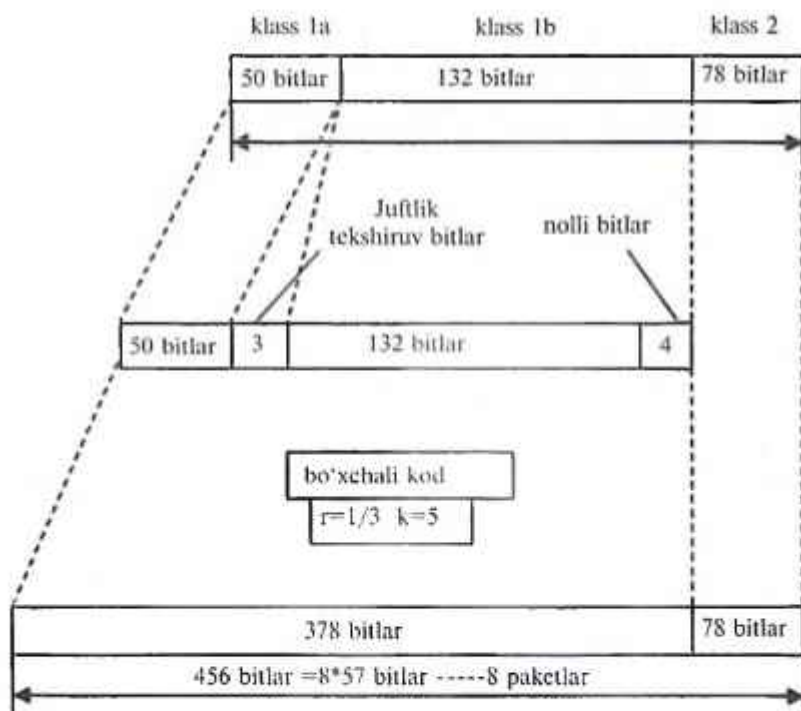
GSM standartida kadrlarni shakllantirish strukturasi muvofiq asosan axborot xabarlarini va boshqaruv signallarini uzatish TDMA kadrining norol vaqt intervali (NB)da amalga oshiriladi. NB (paket uchun har biri 57 axborot biti) tuzilishi kodlashtirilgan m bitlar sonining mos ravishda kodlanmagan n bit ga kodlashtirish va oralatish umumiy sxemasi (7.4-rasm)dagi 19 ga karali n -kodlash songa teng bo'lishi talab qilinadi. Shundan so'ng bu bitlar shifrlanadi va 1 guruhga birlashtiriladi. Bu guruhlardagi bitlar soni 19 ga teng bo'lishi kerak va 1 guruhlar 1 vaqt intervalga o'tadi. 1 nomeri oralatish darajasi deb ataladi.

Turli mantiqiy kanallarda turli xil o'ralgan kodlar qo'llaniladi, chunki uzatish tezliklari va xatolardan himoya qilish talablari ham turlichadir. Kodlashtirish va dekoderlash uchun o'zgarma $r=1/2$ tezlikdagi faqat bir necha ko'p hadlar qo'llaniladi. Ammo to'liq tezlikli aloqa kanallarini tuzish talablarini bajarish uchun, shuningdek ularni joylashtirish tuzilishlarining kadrlar tuzilishiga mos kelishi uchun $r=244/456=0.535$ tezlik zarur bo'ldi. So'zlashuv kanalida tezlikni $r=1/2$ gacha to'g'rilash uchun yagonalash (siyraklashtirish), ya'ni vaqti-vaqti bilan ba'zi kodlashtirilgan simvollarni o'tkazib yuborish qo'llaniladi. Bunday operatsiya teshib chiqish (perforatsiyalash), bunday qilib tuzilgan kodlar esa teshib chiqilgan (pereforirlangan) deb nomlanadi. Qabul qilishda dekoder yagonalash algoritmini bilgan holda qabul qilinadigan ma'lumotlarni o'zgartirib kiritish qiladi.

GSM standarti tavsiyalariga mos keluvchi kanalli kodlashtirish va oralatish bloklari bilan radiotraktning tuzilish sxemasi 7.4-rasmda keltirilgan, to'liq tezlikli so'zlashuv kanalida kodlashtirishning umumlantirilgan sxemasi esa 7.5-rasmda keltirilgan.

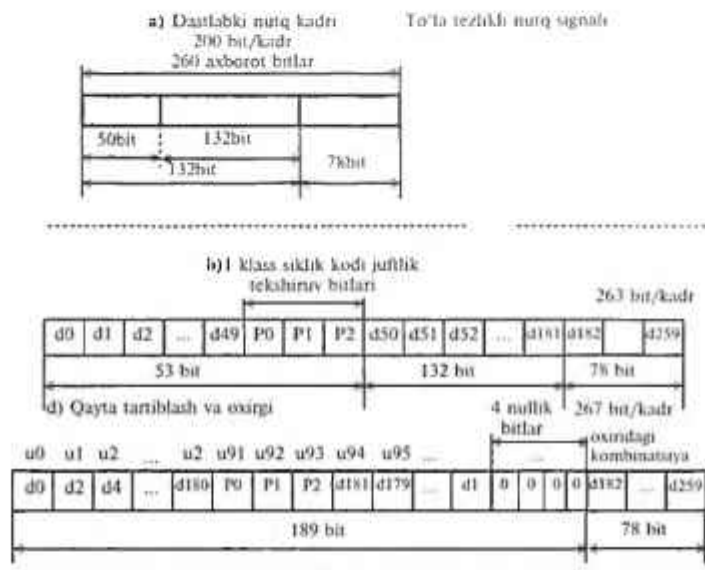


7.4-rasm. Radiotraktning tuzilish sxemasi.



7.5-rasm. So'zlashuv kanalida kodlashtirishning umumlashtirilgan sxemasi.

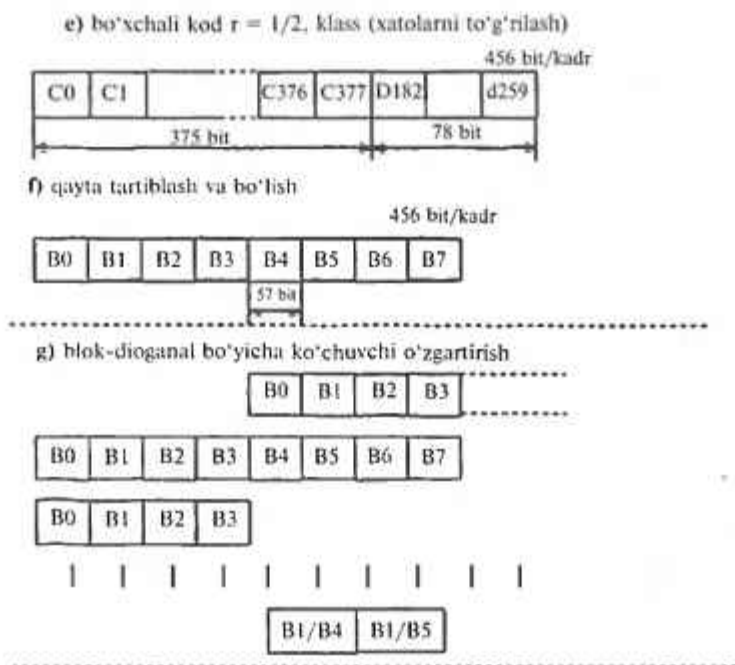
Bu yerda so'zlashuv kodi axborot ketma-ketligining har bir 260 bitlarini 13 kbit/s tezlikda kanalning kodlashtirish sxemasiga uzatadi. Bu ketma-ketlikning oldingi 182 bitlari GSM standartida 1 sinf bitlari deb nomlanadi va qabul qilishda xatolarni aniqlash uchun zaif blokli kod yordamida himoyalanaadi.



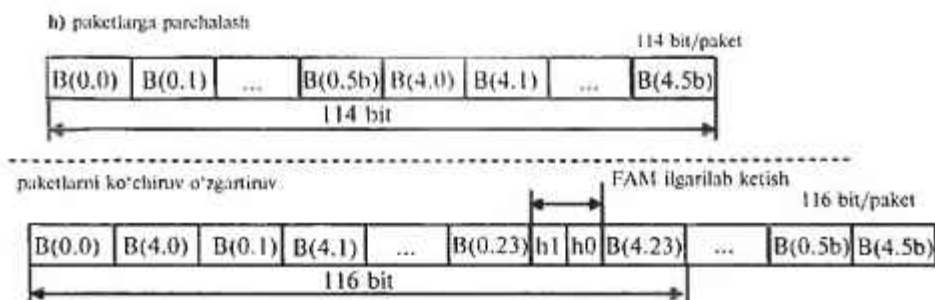
7.6-a,b,d rasm.

Kodlashtirishda 1 sinf kodlari qo'shimcha 50 bit 1a sinf va 132 bit 16 sinfga bo'linadi (7.6-a rasm). 1a sinf bitlari tiniqlik-ga (четкость) (7.6-b rasm) tekshiruv 3 ta qo'shimcha biti bilan to'ldiriladi. Blokli kod $g(D)=D*3+D+1$ turlidagi hosil qiluvchi ko'p had bilan qisqartirilgan sistematik siklik kod (53,50)dir. Sistematik kodni tuzishda S_w kalit birinchi bosh-o'nta taktli impulsar vaqtida yopiq kodlashtirish qurilmasi kirishiga ke-lib tushuvchi axborot bitlari esa bir vaqtning o'zida qaytadan tartibga solish va juftlikka tekshirish bitlarini tuzish bloklar-iga ham kelib tushadi. 50 ta taktli impulsdan so'ng S_w qayta

ulovchi qurilma ishlay boshlaydi va juftlikka tekshiruvchi bit-lar kodlashtirish qurilmasidan kelib tushadi. Natijada tuzilgan kadrlar 7.6-rasmlarda ko'rsatilgan.



7.6-e,f,g rasm.



7.6-h rasm.

Bu bosqichda ko'rsatilgan oralatishning birinchi qadami o'tkaziladi. Juft indeksli bitlar axborot so'zining birinchi qismida yig'iladi, ulardan keyin tiniqlikka tekshiruvchi uchta bit boradi. Keyin toq indeksli bitlar buferli xotirada eslab qolinadi va o'rni almashtirib qo'yiladi. Undan keyin kodni tashkil qilish uchun to'rtta nolli bitlar keladi. Undan keyin 189 ta 1-sinf bitlari o'ralgan kodlar (2,1,5) bilan $r=1/2$ tezlikda kodlashtiriladi va kadrning umumiy uzunligi $2 \cdot 189 + 78 = 456$ bit bo'ladi. Shundan so'ng 456 bitdan tashkil topgan kadr sakkizta 57 bitli quyi blokka bo'linadi va u diagonal va kadr ichidagi oralatishga duchor bo'ladi.

Ma'lumotlarni uzatish va boshqaruv kanallarida kodlashtirish va oralatish o'xshash tarzda amalga oshiriladi.

Nazorat savollari:

1. To'rtinchi avlod mobil aloqa (4G) tizimlariga tavsif bering.
2. 4G avlod tarkibiga qanday texnologiyalar kiradi (yoki kirishi taxmin qilinmoqda)?
3. To'rtinchi avlod texnologiyalarining uchinchi avlod texnologiyalaridan asosiy farqlari nimada?
4. 4G tarmoqlarida qanday ko'p sonli ulanish (kanallarni multiplekslash) texnologiyasi, qanday modulyatsiya usullari va antenna texnologiyalaridan foydalanish ko'zda tutilgan?
5. Dunyoning turli mintaqalarida 4G tarmoqlarining hozirgi rivojlanish holati qanday?

8-bob. HAKKATDAGI RADIOALOQA TIZIMLARI RIVOJLANISHINING TAHLILI

8.1. Harakatdagi radioaloqa tizimlari rivojlanishining tavsifi va tarixi

Harakatdagi radioaloqa tizimlari (HRT) hozirgi vaqtda taqdim etiladigan xizmatlar sifati va hajmining kengaytirilishi hisobiga, ularning ommaviylashishi va foydalanuvchilarning individual talablariga moslashtirilishi hisobiga keskin sur'atlarda rivojlanmoqda. Yangi imkoniyatlarning ishlatilishi ham mavjud tarmoqlarning takomillashtirilishi hisobiga, ham global tarmoq infratuzilmasini yaratish bilan bog'liq yangi texnik yechimlarning ishlatilishi hisobiga ta'minlanadi. O'z o'rnida HRT tizimlari ham konvergensiya, universallashtirish va ichki raqobat jarayonlarini boshdan kechirmoqda. Shu asnod, ba'zi bir xizmat turlari o'z umrini o'tab sahnadan ketmoqda (masalan, "peydjing" personal radiochaqiruv tizimlari), boshqalari o'zining funksional imkoniyatlari bilan alternativ xizmatlarga yaqinlashib bormoqda (masalan, sotali va trunking aloqalar), uchinchi holatda esa, bir xizmat ikkinchisining bozorini qamrab olmoqda (masalan, sotali va yo'ldosh aloqa tizimlari) va hokazo. "Xohlagan xizmatni" (ya'ni, nutq, ma'lumot, multimedia xizmatlari), "xohlagan joyda" (global ko'lamlarda) va "xohlagan vaqtda" (ishda, uyda, dam olishda, yo'lda) taqdim etishga qodir bo'lgan ko'p qamrovli aloqa tizimining konsepsiyasi bugungi kunda muayyan qirralarga ega bo'lmoqda. Lekin yangisini qurish uchun eskisini bilish zarur bo'lgani kabi, bu tizimlarda bugungi kunda amalga oshayotgan jarayonlarni yaxshi tushunish uchun HRT tizimlarining tug'ilish manbalari va rivojlanishini yodga olish ham foydadan xoli emas. Shu maqsadda mazkur bobda o'z rivojlanishini davom ettirayotgan HRT tizimlariga qarashli professional mobil aloqa (trunking), sotali aloqa, yo'ldoshli aloqa va simsiz telefoniya radioaloqa turlari bilan tanishib chiqamiz.

Professional mobil radioaloqa (PMR) turi bugungi kunda trunking radioaloqa tizimlari sifatida ma'lum bo'lib, HRT tarkibida eng "keksa" hisoblanadi. Bu aloqa turi o'tgan asrning 30-yillarida paydo bo'lib, yetmish yildan ortiq vaqt davomida insoniyatga xizmat qilib kelmoqda. Ma'lumki, PMR tizimlariga jamiyat xavfsizligi xizmatlari va huquq tartibini muhofaza qilish uchun turli vakolatli tarmoqlar (tez tibbiy yordam va favqulodda vaziyatlar bo'yicha, munitsipal va transport xizmatlari, yirik industrial obyektlar va boshqalar) kiradi. Qabul qilingan xalqaro klassifikatsiya bo'yicha PMR tizimlarining ikki sinfi, ya'ni professional mobil radioaloqa tizimlari — PMR (*ingl. Professional (Private) Mobile Radio*) va umumiy foydalanish mobil radioaloqa tizimlari — PAMR (*ingl. Public Access Mobile Radio*) mavjud. Birinchi sinfdagi tizimlar bir foydalanuvchi yoki foydalanuvchilar guruhi tasarrufida bo'ladi va umumiy foydalanish tarmoqlariga chiqish imkoniyatiga ega bo'ladi, lekin tijoriy xizmatlarni ko'rsatmaydi. PMR tizimlarining ikkinchi sinfi esa ko'plab foydalanuvchilarga korporativ asosda UFTT (PSTN) tarmoqlariga chiqish imkoniyatini beradi va operator tomonidan yaratiladi.

Trunking rejimida ishlaydigan PMR tizimlarining farqli o'ziga xos xususiyati — bu umumiy boshqarish shinasini yordamida bir-birlari bilan bog'langan bir nechta retranslyatorlardan iborat saytning (retranslyatsiya punktining) mavjud chastota resursidan umumiy foydalanish hisobiga radiochastotalarni samarali ishlatish qobiliyatidir. Shuningdek, PMR tizimlarida radioefirni "yengil-latishga" abonent radiostansiyasining uzatkichi doimiy ravishda emas, balki faqat maxsus tugma — tangenta (*ingl. Push To Talk — PTT*) bosilganida ishlashi xizmat qiladi.

PMR tizimlarining rivojlanishi aloqani sifati, tezkorligi va konfidensialligini yaxshilashga hamda analog tizimlardan raqamli tizimlarga o'tkazish yo'naltirilgan. Raqamli PMR tizimlarining paydo bo'lishi bilan ilgari analog tizimlarida to'la me'yorda erishib bo'lmaydigan ko'plab zamonaviy xizmatlarni taqdim etish imkoniyati paydo bo'ldi. Mavjud analog PMR tizimlari (SmartTrunkII,

LTR, Multi-Net, Accessnet, Smartnet, EDACS, MPT-1327) tarmoqlarini qurishda yetarli darajada ixcham emas, ma'lumot uzatishda imkoniyatlari cheklangan, bir-birlari bilan moslashmaydigan, yuqori konfidensiallikni va sanksiyasiz ulanishdan ishonchli himoyani ta'minlay olmaslik kabi kamchiliklarga ega. Bu "nuqsonlar" esa ko'p sonli bir-birlari bilan moslashmaydigan analog standartlarni almashtirish uchun yaratilgan raqamli PMR standartlarida bartaraf etilishi ko'zda tutilgan. Raqamli trunking tizimlarining ixcham arxitekturasini tufayli axborotlarni yuqori himoyalash darajasini ta'minlovchi regional va milliy ko'lamlardagi tarmoqlarni yaratish va ularda individual, guruhli va keng qamrovli chaqiruvlarni uzatish imkoniyatiga ega bo'ladi.

Hozirgi kunda eng rivoj topgan raqamli PMR tizimlari Yevropada aloqa sohasida standartlar bo'yicha ETSI instituti ishlab chiqqan TETRA loyihasi hamda Amerikaning jamiyat xavfsizligi tashkilotlari aloqa boshqaruvchilari Assotsiatsiyasining ARSO-25 loyihasi hisoblanadi. Bundan tashqari, raqamli PMR bozorida "korxonaviy" standartlar statusini olgan EADS (Fransiya) firmasining TETRAPOL tizimi, Motorola (AQSH) firmasining iDEN tizimi, Ericsson (Shvetsiya) firmasining EDACS tizimi va boshqalar ishlatilmoqda.

ARSO-25 raqamli trunking aloqasi standarti "ochiq standart" statusiga ega bo'lib, Shimoliy va Janubiy Amerika, shuningdek, Janubi-Sharqiy Osiyo va Okeaniya davlatlarida keng qo'llaniladi. ARSO-25 loyihasiga bog'liq tadqiqotlar va standartlash ishlari 1992-yilda tugatilgan, lekin standartning spetsifikatsiyalari bir necha marta qayta to'ldirildi. ARSO-25 standarti analog va raqamli tarmoqlarni hamda trunking va konvensional tarmoqlarning o'zaro ishlash imkoniyatini ta'minlaydi. Shuningdek, mavjud bo'lgan analog tarmoqlaridan raqamli tarmoqlarga ravon o'tish maqsadida standart ikki bosqichda amaliyotga tatbiq etilmoqda. Texnik nuqtayi nazardan ikkinchi bosqichga o'tish chastotalar to'ri qadamini ikki marta kamaytirish (ya'ni 6,25kGs gacha) va spektral jihatdan samarador bo'lgan CQPSK modulyatsiya usulidan foy-

dalanish kabi yangiliklar hisobiga bo'lmoqda [8]. Shu bilan birga, kanallarni vaqt bo'yicha ajratish, ya'ni TDMA texnologiyasidan foydalanish hisobiga APCO-25 tizimlarini TETRA standarti bilan birlashtirish masalasi ham ilgari surilmoqda.

GSM sotali aloqa standartining yutuqlaridan ta'sirlanib, ETSI instituti 1994-yilda TETRA (*ingl. TransEuropean Trunked Radio*) "Raqqamli trunking aloqa transyevropa ochiq standarini" yaratdi. Keyinchalik standartga boshqa mintaqalarning ham katta qiziqishi tufayli uning ta'sir etish hududi faqat Yevropa bilan cheklanib qolmadi va hozirgi vaqtda TETRA qisqartmasi "Yer sirti trunking radioaloqasi" (*ingl. Terrestrial Trunked Radio*) nomi bilan yoyilmoqda. TETRA standarti asosiga turli chastotalar diapazonlarida va aloqa protokollari bilan farq qiladigan tarmoqlarni minimal xarajatlarda yaratishga imkon beradigan universal texnik yechimlar qo'yilgan. TETRA tizimi chastota resursini tejash bilan bir qatorda (25kGs chastotalar polosasida 4 ta mantiqiy kanal) istiqbolda 3-avlod xizmatlarini taqdim etish va turli joriy etish ssenariylarini ko'zda tutib, funksionallikni oshirish bo'yicha katta imkoniyatlarni ta'minlaydi. TETRA standarti rivojlanishda davom etmoqda va uning bazasida yuqori tezlikda ma'lumotlarni simsiz uzatish tizimlari ishlab chiqilmoqda (standartning hozirgi TETRA V+D versiyasi 28,8kbit/sek maksimal ma'lumot uzatish tezligini ta'minlaydi). Kanallarning paketli kommutatsiyalovchi standartining TETRA PDO yangi versiyasida esa 32kbit/sek tezlikka erishiladi. Bundan tashqari, standartning ishchi chastotalar diapazonini kengaytirish, uni dengiz va aviatsiya xizmatlari (vertolyotlar va uchish tezligi 500km/soat bo'lgan yengil samolyotlar), qishloq joylarida aloqani tashkil etish (100 km gacha masofalarda) va boshqa vazifalar uchun moslashtirish bo'yicha ishlar olib borilmoqda [9].

PMR tizimlarining keyingi rivojlanishi foydalanuvchilarning o'sib borayotgan talablarini qondirish uchun aloqa rivojlanishining zamonaviy an'analarini hisobga oluvchi yangi xizmatlarni o'z spetsifikatsiyalariga kiritishga qaratilgan. Xususan, umumiy

foydalaniladigan tarmoqlar (Internet) hamda korporativ tarmoqlar orasida tarmoqlararo o'zaro ishlash imkoniyatiga ega bo'lgan IP protokoli asosida qurilgan tarmoqlardan foydalanish taklif etilmoqda. Bunday tarmoq qo'llanilganda texnologiya o'ta yuqori ma'lumot uzatish tezligini talab qiladigan ilovalarga mo'ljallanadi. Boshlang'ich yuqori tezlikdagi ilovalar uchun bir necha o'nlab Mbit/sek tezliklardan foydalanilsa-da, keyinchalik PMR tizimlarining yangi ishlanmalari 155Mbit/sek dan yuqori tezliklarni ta'minlashga qodir bo'lishi taxmin qilinmoqda. Bunda to'la mobillik va keng hududlarni qoplash ("roaming" imkoniyatlari) kabi afzalliklar saqlanadi [10].

Shuningdek, PMR tizimlarini LTE mobil aloqa texnologiyasi sari rivojlantirish ustida ham ishlar olib borilmoqda va shu tariqa 4G avlodi darajasida PMR hamda sotali aloqa funkcionallarining yanada yaqinlashishi kutilmoqda.

Sotali aloqa tizimining rivojlanish bosqichlari.

Sotali aloqa tizimining ishlash prinsipi

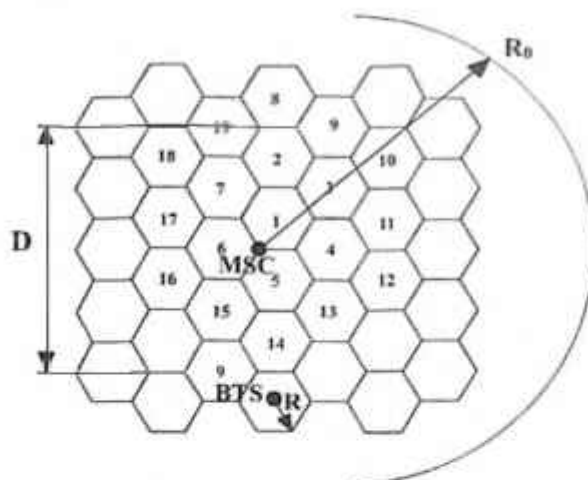
Harakatdagi obyektlar bilan radioaloqa tizimlariga yildan yilga ehtiyoj oshgan sari ular quyidagicha bo'linadi:

- Shaxsiy radiochaqiriq tizimlari (*Paging Systems*);
- Professional (shaxsiy) ko'chma radioaloqa tizimlari (*PMR, PAMR*);
- Ko'chma sotali radioaloqa tizimlari (*Cellular Radio System*);
- Simsiz telefonlar tizimi (*Cordless Telephony*);
- ESY vositadagi shaxsiy aloqa tizimi.

Hozirgi vaqtda hamma joyda peydjirg tizimlari o'rnini sotali aloqa tizimlari egallamoqda.

Radiusi R_0 bo'lgan KSRAT ning xizmat ko'rsatish hududi shartli ravishda radiusi R ga teng bo'lgan aylanalarga bo'linadi (18.1-rasm). Sotaning (katakcha, uya, ko'z) ideal shakli aylana bo'lsa ham elektromagnit maydonlarning tarqalishini va ularning

o'zaro ta'sir hisoblarini soddalashtirish maqsadida mazkur maydon to'g'ri oltiburchak sifatida asos qilib olinadi. Ammo real holatda, hudud relyefi, imoratlar va boshqa omillar tufayli sota to'g'ri aylana shakliga ega emasdir.



8.1-rasm. *KSAT xizmat ko'rsatish hududi.*

Har bir sotada joylashgan BTS ga MS dan chaqiriq kelib tushganda, shu sota ko'lamidagi ko'chma abonentlarga xizmat ko'rsatishga binoan band bo'lmagan chastota kanalini taqdim etadi. KSRAT kommutatsiyalash tizimi barcha BTS larni bir-biri bilan tutashishini hosil qiladi, shuningdek odatdagi TLF tarmog'iga chiqishni ham ta'minlaydi. O'z navbatida kommutatsiyalash tizimi SS kabi bir joyga mujassamlangan yoki taqsimlangan bo'lishi mumkin. Ikkinchi variantdan foydalanish paytida bunday ko'rinishdagi xizmatlarga boshlang'ich sarflar kamayadi. Bunday holatda kommutatsiya uzellari BTS da joylashtiriladi. Qabul qilgich-uzatish apparaturasi bilan jihozlangan har bir BTS ga chastotali kanallar to'plami taqdim etiladi. Shu bilan birga himoya intervali D bilan ajratilgan barcha BTS larda xuddi o'sha kanallar takroriy ishlatiladi. Bu esa KSRAT ning asosiy prinsipi

bo'lib tizimning yuqori darajadagi chastotaviy samaradorligini belgilaydi. Har xil chastotali kanallarni ishlatuvchi chegaradosh qo'shni BTS lar S – stansiyalardan tashkil topgan guruhni tashkil qiladi (18.2-rasm). Tizimning (klaster) chastotaviy parametri bo'lib S kattalik hisoblanadi, chunki u KSRAT kanallarining mumkin qadar minimal sonini aniqlaydi. Agar har bir BTS dagi to'plam F_k polosali L kanallardan tashkil topgan bo'lsa, unda uzatish yo'nalishidagi KSRAT polosasining kengligi $F_c = F_k / C$ bilan aniqlanadi. R_0 – radiusli xizmat hududidagi BTS lar soni L esa taxminan quyidagicha aniqlanadi:

$$L = 1,21 (R_0/R)^2$$



8.2-rasm. Chegaradosh qo'shni stansiyalar guruhi.

Bundan kelib chiqqan holda xizmatdagi butun hudud bo'yicha faol abonentlar soni $N = LI$ bilan aniqlanadi, chastota spektrining foydalanish samaradorligi esa :

$B = N/F_c = L/F_k C = 1,21 R_0^2 / F_k CR^2$ bilan aniqlanadi.

Ya'ni u B to'plamdagi kanallar soniga bog'liq emas va sota radiusining kamayishi bilan oshib boradi. Bundan kelib chiqadiki, qanchalik sotaning radiusi R kichik bo'lsa, chastotalarni shuncha tez-tez, ya'ni ularning baravar ishlatilishini (foydalanishini) takrorlashi mumkin. Bundan tashqari chastota parametri S ning kichikroq qiymatini tanlab olish zarur.

Sotaning shakli oltiburchakli deb qaralganda C bilan himoya intervali D (takrorlanuvchi chastotalarga ega sotalararo masofa) qiymatlarining optimal bog'lanishi quyidagichadir:

$$C = (D/R)^2 / 3$$

Bundan tashqari, oltiburchak shakldagi sota MS uzatkichining quvvati chegaralangach va chastotaviy kanallarning taqsimlanishini muntazamlash imkoni bor tizimlarida doiraviy zonaning eng yaxshi aproksimatsiyalanishini ta'minlaydi.

Ko'rib chiqilgan hududiy ikki o'lchovli qoplash sxemasi bir chiziq bo'yicha uzun zanjir shaklida sotalarning joylashish sxemasidan birmuncha farq qiladi. Chiziqli joylashtirish radial yo'nalishiga qaraganda, masalan avtomagistrallar bo'ylab tizimlar qurishda ko'proq e'tiborga sazovordir. Bunda chastota kanallarining minimal zarur soni $C = D/2R$ bilan aniqlanadi.

Ishlatish (foydalanish) tajribasi va hisoblashlar shuni ko'rsatadiki, R va D/R nisbatning kamaytirilishi KSAT da yuqori o'tkazuvchanlik imkoniyatini va chastotaviy samaradorlikka erishishni ta'minlaydi. Ammo, sota radiusini haddan tashqari kamaytirish abonentlarning ko'chishida sotaning shartli chegaralarini kesib o'tish soni juda ko'payib ketishiga olib keladi. Shu tufayli qayta ishlashni talab qiluvchi ma'lumotlar oqimi oshadi, bu esa boshqarish va kommutatsiya quyi tizimlarining o'ta yuklanishiga olib keladi va natijada tizimning ishlamay qolishiga olib kelishi mumkin. Bundan tashqari R ning kichik qiymatlarida, hududning real sharoitlarida BTS antenasining aniq joylanishi holatidan chetlanishi mumkin.

Hisoblashlar ko'rsatadiki, $R=1,6$ km bo'lganda, BTS anten-

nasining geometrik markaziga nisbatan radiusning to'rtidan bir masofaga o'z joyidan siljishi qabul qilgich kirishidagi signal/xalaqit nisbatining 10% kamayishiga olib keladi.

D/R qiymati o'zaro xalaqitlarning belgilangan sathi bilan aniqlanadi, D/R qiymatlari kamaygan holda, qabul qilishning xalaqitbardoshligini yuqori darajada saqlash maqsadida maxsus chora ko'rish talab qilinadi.

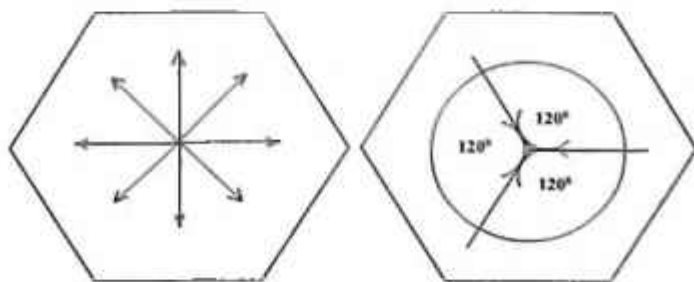
Qabul qilishda xalaqitbardoshlikni oshirish usullaridan biri yo'naltirilgan antennalaridan foydalanishdir.

Masalan, AMPS (AQSH) tizimida yo'naltirilmagan antenna o'rniga 3 ta 1200 antennalarni qo'llash natijasida qabul qilgich kirishidagi belgilangan signal/xalaqit nisbat chastotaviy parametрни $S=7$ ($S=12$, yo'naltirilmagan antennalar uchun) qiymatgacha kamaytirish imkonini beradi (18.3-rasm).

Kanallarning taqsimlash usullaridan biri bo'lib ikkilangan struktura hisoblanadi. Bu usulning eng sodda qoidasiga binoan BTSga k , $k+1$, $k+1S$ nomerli kanallar to'plami ajratiladi. Bu yerda k stansiyalar guruhidagi BTS ning nomeri. Stansiyalar guruhidagi turli xil to'plamlar ishlatiladi, ya'ni $k=1,2...C$

Masalan, 3 raqam bilan belgilangan $l=7$ sotalarda 3,10,17,24... va h.k. kanallar ishlatiladi.

Yo'naltirilgan antennalari bor tizimda simvollararo xalaqitlarni yo'qotishning yanada samarali usullaridan biri — bu qo'shni kanallar antennalarini kerakli fazoviy sozlab yo'naltirishdir.



8.3-rasm. AMPS tizimidagi antennalar.

Shunga o'xshash boshqa chastotaviy rejalar usullari (taxminan) simvollararo xalaqitlar sathini ta'minlaydi hamda taxminan xuddi o'sha natijani beradi.

Chastotaviy kanallarning taqsimlashlarida tayinlangan (fiksirlangan) usuldan farqli dinamik taqsimlash yo'li ham mavjud. Bu usuldan foydalanishdan asosiy maqsad kanallardan samarali foydalanishdir va shu kanalning barcha sotalari band bo'lgan holda chaqiriqning blokirovkalash ehtimolligini ham pasaytirishdir.

Bu chog'da, aloqa seansi vaqtida barcha kanallari band bo'lgan BTS larga qo'shni sotalarning kanallari taqdim etiladi.

Kanallarni taqsimlashda gibrid usullardan ham foydalanish mumkin. Bundan tashqari har bir BTS ga tayinlangan kanallar to'plami ajratiladi va dinamik taqsimlangan kanallarning bir nechta son biriktiriladi. Bunday tuzilishni tashkil etishda chaqiriqning blokirovkalash ehtimoligi kanalda mavjud bo'lgan yuklanishga hamda tayinlangan va dinamik kanallar sonlari orasidagi nisbatga ham bog'liq bo'ladi.

Dinamik va gibrid taqsimlashning muhim afzalligi shundan iboratki, bitta kanalga to'g'ri keladigan TLF yuklanish zichligi doimiy bo'lmasa, uni bir tekis meyorga keltirish imkonini beradi. Tayinlangan taqsimlashda esa bu yacheyka radiusini kamaytirish yo'li bilan hamda trafik yuqori bo'lgan joylarda BTS dagi kanallar sonini oshirish hisobiga erishiladi.

Shunday prinsip asosida tizimning daslabki ishga tushirilishi amalga oshiriladi. Ya'ni avval katta yacheykali bir nechta BTS ishga kiritiladi, so'ng asta-sekin sota panjarasi katagini parchalash yo'li bilan tizim mukammal o'tkazish qobiliyati rejimiga o'tadi.

KSAT ni loyihalash chog'ida faqatgina chastota bo'yicha rejalarini o'rganish muhim ahamiyatga ega bo'lib qolmay, shahar ichida va shahar atrofidagi zonalarda UQT tarqalishini ham tadqiq qilish zarurdir.

Shahar va qishloqqa oid joylarda UQT tarqalishi ustidagi ko'p sonli eksperimental tadqiqotlar mavjud.

Shahar va qishloqqa oid joylarda, qayerda ko'p marotaba

akslanish mumkin (ko'p nurlilik), UQT tarqalishiga doir ko'p marta o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, to'lqinning so'nishi sezilarli darajada faqat BTS antennasining balandligi K ga bog'liq va balandlikni oshirgan sari u kamayadi. Bundan tashqari signalning quvvati antennalararo masofaga bog'liq ravishda deyarli bir xil o'zgaradi.

KSAT ga bir tomondan o'rindosh kanallar sotalarining o'zaro xalaqitlari tufayli va boshqa tomondan, kanallarda xalaqitlar mavjudligi sababli hosil bo'ladigan tizim ichidagi xalaqitlar ham mansub. O'zaro xalaqitlar sathi tarmoqning tanlab olingan C va D parametri bilan aniqlanadi. Bu parametrlar aniq berilgan o'tkazish imkoniyatida va belgilangan chastota polosasida xalaqit qiluvchi stansiya sonini aniqlash imkonini beradi. Agar BTS larning umumiy soni uncha katta bo'lmasa, ya'ni L sezilarli ravishda S kattalikdan oshmasa, unda tizim ichida bitta yoki bir nechta xalaqit qiluvchi stansiya bo'lishi mumkin.

Tizim ichida o'zaro xalaqitlarni hisoblashning har xil turdagi uslublari mavjud. Bunday uslublari bilan hisoblash natijalari deyarli bir xil.

Bunday hisoblash tahlili shuni ko'rsatadiki, xalaqitga bardoshlikni oshirish va spektrdan samarali foydalanish uchun BTS dagi abonentlarni 1200 yo'naltirilgan qilib o'rnatish maqsadga muvofiqdir. Bunday vaziyatda oltiburchakli sotaning bir burchagida joylashtirilgan har bir BTS ga uch sektorli antenna o'rnatiladi, natijada birdaniga uchta sotani bitta BTS qoplaydi. Har bir sotadagi uchta BTS ning uch sektori mos kelganligi tufayli BTS larning umumiy soni tizimdagi sotalar soniga tengdir. Yomonroq holatda, ya'ni MS olti burchakli sotaning bir burchagida joylashib qolgan paytda $S=1$ qabul qilgich kirishidagi signal/xalaqit nisbati 1,7 dB kattalikkacha oshadi.

Umuman olganda, yo'naltirilgan nurlanish KSAT dagi o'zaro xalaqitlarni kamaytirishning samarali chorasidir.

AQSHda raqamli texnologiyalar rivojlanishining boshlanishiga "IS-54" standarti (korporativ nomlanishi D-AMPS) asos

qo'ydi. U AQSHda ishlayotgan analog AMPS tizimlarining sig'imini oshirish maqsadida ishlab chiqildi va TIA assotsiatsiyasi tomonidan 1989-yilda tasdiqlandi. D-AMPS standartida bir chastota kanalida (kanalning kengligi 30kGs) 3 ta nutq kanalini ishlatish imkoniyatini beradigan yangi texnik yechimlar kiritildi. Bu standart asosidagi birinchi tarmoqlar 1992-yilda ishga tushirildi. AQSHda D-AMPS standarti (AMPS bilan birga) uzoq vaqt asosiy tizim bo'lib turdi. 2000-yilda mamlakatda bu standartlar abonentlari soni 50 mln atrofida bo'lgan [14]. Shu yerda aytib o'tish lozimki, D-AMPS standartining tarqalishi faqat Shimoliy Amerika bilan cheklanib qolmay, dunyoning boshqa hududlarida ham, xususan, Janubiy Amerika, Janubi-Sharqiy Osiyo, Yaqin Sharq mamlakatlariga ham tarqaldi. Chunonchi, AMPS/D-AMPS standartlari MDH davlatlarida ham, xususan, bizning mamlakatimizda ham keng ommalashgan edi.

Sotali aloqaning raqamli texnologiyalarini rivojlantirishda Yaponiya ham Yevropa va AQSHdan qolishmadi va o'zining PDC (*ingl. Personal Digital Cellular — Personal raqamli sotali aloqa tizimi*) deb nomlangan raqamli standartini ishlab chiqdi. Ushbu yapon standarti 1994-yilda tasdiqlandi. PDC standarti asosidagi tarmoqlar asosan mamlakat miqyosida foydalanish uchun ishlatildi va jahon bozoriga sezilarli ta'sir ko'rsatmadi. O'sha yillarda Yaponiyada PDC tarmog'i mamlakat aholisining deyarli 99 foizi yashaydigan hududini qamrab olgan edi.

Axborotlarni raqam asosida uzatish va qayta ishlash rejimiga o'tish tufayli standartlarning sonini sezilarli kamaytirishga erishildi. Shunday qilib, 1995-yilga kelib jahonda asosan uch raqamli standart: GSM, D-AMPS (IS-54, keyinchalik IS-136-TDMA) va PDC tarmoqlari ishlar edi.

Mobil aloqa tizimlarining rivojlanishida 1989-yil o'ta mazmunli bo'ldi, chunki bu yili Qualcomm (AQSH) kompaniyasi kanallarni kodli ajratish (CDMA) texnologiyasi asosida yangi raqamli tizimni yaratdi. CDMA texnologiyasi asosida birinchi tijorat sotali aloqa tarmog'ini ishlatish 1995-yilning sentyabrida Gonkongda

boshlandi. Bundan biroz avvalroq, XTI tomonidan IS-95 (tijorat nomi **cdmaOne**) standarti tasdiqlandi va bu standart M.1073 MSE-R spetsifikatsiyalar tarkibiga kirdi. cdmaOne tizimi Uolsh funksiyasi, ya'ni 64 ta kodli psevd tasodifiy ketma-ketliklar yordamida spektrni to'g'ridan to'g'ri kengaytirilishi (*ingl. Direct Spread CDMA DS-CDMA*) usuli asosida qurilgan edi. Bu tizimda 9.6kbit/sek tezlikka ega bo'lgan, shakllantirilgan signal butun polos bo'ylab kengaytirilib, 1,2288Mchip/sek chip tezligida uzatilar edi. cdmaOne standarti asosida qurilgan, turg'un va harakatdagi aloqa xizmatlarini ko'rsatadigan sotali tarmoqlar soni keskin orta boshladi va 2000-yilga kelib dunyodagi sotali aloqa abonentlari umumiy sonining qariyb 15 foizini tashkil qildi [15]. cdmaOne tizimi asosan nutqni uzatish sifatini oshirish va katta sig'imli tarmoqlarni qurish talab etilgan hollarda qo'llanildi.

1990-yildan boshlab HTI hamda ETSI (Yevropa), ARIB (Yaponiya), ANSI (AQSH) mintaqaviy standartlashtirish tashkilotlari tomonidan butun dunyoda 3 avlodga (3G) mansub sotali aloqa standartini yaratish uchun yagona (umumiy) talablarni ishlab chiqish bo'yicha ishlar boshlandi. Bu talablar 3G tizimlarining minimal mezonlari to'plami sifatida kiritildi va ko'p va'dalar beruvchi "IMT-2000 dasturi" (*ingl. International Mobile Telecommunications — "Xalqaro mobil aloqa"*) nomini oldi. Ammo uchinchi avlod darajasida yagona aloqa standartini yaratish maqsadiga amalda erishib bo'lmadi va natijada "Uchinchi avlod mobil aloqa tarmoqlarini rivojlantirish bo'yicha hamkorlik dasturi" (3GPP) tomonidan GSM tarmoqlarini 3G tomonga evolyutsion yo'l bilan rivojlantirish maqsadida UMTS standarti ishlab chiqildi. Parallel ravishda boshqa — 3GPP-2 hamkorlik dasturi tomonidan cdmaOne standartini 3 avlod sari rivojlantirish maqsadida CDMA-2000 standarti yaratildi va bu standart, asosan, Amerika bozori uchun mo'ljallandi. UMTS va CDMAlardan tashqari 3G texnologiyalariga FOMA (Yaponiya) va TD-SCDMA (Xitoy) tizimlari, shuningdek, UMTS standartining vaqtli dupleks (TDD) asosidagi TD-CDMA versiyasi ham kiritildi.

XXI asr boshlariga kelib esa telekommunikatsiya sanoatida yangi – to‘rtinchi avlod texnologiyalarini yaratish zarurati ta’kidlandi va yana mobil aloqaning yagona global standartini yaratish g‘oyasi ilgari surildi. Natijada, mutaxassislarning fikricha, shu g‘oyani amalga oshirish uchun yetarlicha salohiyatga ega bo‘lgan mobil aloqaning LTE texnologiyasi paydo bo‘ldi.

Bo‘lim xulosasida shuni qo‘shimcha qilish lozimki, mobil tizimlarining rivojlanishi makrosotali tarmoqlardan mikrosotali va pikosota/femtosotali tarmoqlar tuzilmalariga o‘tish yo‘lidan ham bormoqda. Bunday tarmoqlardan foydalanish zich qurilishli va yopiq zonali (ofislar, yer osti avtomobil turar joylarida va boshqalarda) shahar tumanlarida abonentlarga xizmat ko‘rsatishga imkon beradi. Mikrosotali tizimlarni qurish prinsiplari makrosotali tizimlarnikidan farqlanadi: ularda chastotaviy rejalashtirish mavjud emas, “xendover” ta’minlanmaydi va signal sathini o‘lchash amalga oshirilmaydi.

8.2. Simsiz telefoniya tizimlari

XX asrning oxirida harakatdagi aloqa rivojlanishining muhim yo‘nalishlaridan biri abonent radio ulanish tizimlarining yaratilishi bo‘ldi. 1975-yilda Motorola (AQSH) kompaniyasi birinchi analog simsiz telefon apparatini (*ingl. Cordless Telephone — CT*) yaratdi.

Bu telefon UFTTga simli liniya bo‘yicha ulangan tayanch platformadan 100 m radius uzoqlikda radiotelefon trubka yordamida abonentga erkin harakatlanish imkonini berdi. Mazkur texnologiya asosida ST nomli analog standartlari, keyinroq uning takomillashtirilgan ST-2 versiyasi ishlab chiqildi. Keyinchalik, ST-2 tizimi prinsiplari asosida yaratilgan TDMA texnologiyasidan foydalangan ko‘p kanalli tizimlar: 900 MGs diapazondagi DCT-900 standarti (Shvetsiya) va 1800 MGs diapazondagi raqamli simsiz telefoniyaning Yevropa standarti — DECT (*ingl. Digital European Cordless Telecommunica-*

tions) ishlab chiqildi. Kichik quvvatli nurlanishni (10–25mVt) va abonent uskunalarining juda yuqori zichlikda joylashuvini ta'minlay olgan DECT standarti ETSI instituti tomonidan 1992-yilda tasdiqlandi. Bu texnologiya keng joriy etilishi 1995-yilda birdaniga 2 millionga yaqin terminallar sotilganidan so'ng boshlanib ketdi [16].

U davrda bir necha yillardan keyin DECT standarti simsiz telefoniya bozorini deyarli to'liq egallab olishiga ko'pchilik ishonmas edi. 2001-yilga kelib, raqamli simsiz telefonlar soni taxminan 50 millionni tashkil etib, analog simsiz telefonlardan (45 mln) o'zib ketdi.

Simsiz telefoniyaning keyingi rivojlanishi sotali aloqa tarmoqlari (pikosotalar va femtosotalar) bilan birikib ketish yo'lidan boradi va mobil aloqa tizimlarida o'zaro bir-birini to'ldirib boradi.

8.3. Yo'ldoshli aloqa tizimlari

Yo'ldoshli aloqa tizimlarini (YAT) boshqa HRT tizimlaridan ajratib turadigan qator o'ziga xos xarakteristikalar bor. Masalan, yo'ldoshli aloqa aniq bir joyga deyarli bog'lanmagan va Yer sirti aloqa tizimlariga taqqoslanganida juda katta xizmat ko'rsatish hududiga ega. U olis, borish qiyin joylarda samarador, ba'zan esa, yagona aloqa turi bo'lib qolmoqda.

YAT turli belgilar bo'yicha sinflarga bo'linadi. Vazifasi bo'yicha ular harbiy, fuqaroviy, davlat yoki tijorat; Yer usti (abonent) stansiyalari turi bo'yicha statsionar yoki mobil bo'lishlari mumkin. Taqdim etiladigan xizmatlar bo'yicha YAT ovoz (radiotelefon) aloqasi, ma'lumotlarni paketli uzatish yoki obyektlarning joylashishini aniqlash xizmatlari bilan ajratiladi. Shuningdek, YAT o'zlarining ishchi orbitalari balandligi bo'yicha sinflarga bo'linadi. Hozirgi vaqtda qo'llanilayotgan YAT tizimlari quyidagilar: yuqori orbital (*yoki geostatsionar, ingl. GEO*) — 40 ming kilometr balandlikdagi doiraviy orbitali tizimlar, o'rta orbital (*ingl. MEO*) — 5–15 ming kilometr ba-

landlikdagi tizimlar va past orbital (*ingl. LEO*) — 700—1500 kilometr balandlikdagi tizimlar.

YAT rivojlanishi XX asrning 70-yillaridan boshlanib, dastlab orbitaga Marisat geostatsionar koinot apparati (KA) chiqarilgandan keyin avj oldi. Dastlabki mobil Yer stansiyalari (ES) maxsus qo'llanish tizimlari sifatida (dengiz, havo, avtomobil, temiryo'l transportlari uchun) ishlab chiqildi va foydalanuvchilarning cheklangan soniga mo'ljallangan edi. Aloqaning ishonchliligi yuqori bo'lmadi, chunki harakatdagi obyektlarning energiya ta'minoti past edi va murakkab mahalliy relyeflarda hamda joyning kichik ishchi burchaklarida aloqaning barqarorligini ta'minlash qiyin edi. Birinchi avlod Yer stansiyalari (Inmarsat-A standarti) maxsus va korporativ tarmoqlarni yaratish uchun mo'ljallandi.

Harakatdagi YAT sohasida revolyusion o'zgarishlar 90-yillarning boshlarida bo'lib o'tdi va bunday o'zgarishlarga quyidagi uchta omil sabab bo'ldi:

- koinot dasturlarining tijoratlantirilishi;
- past va o'rta orbital KAlardan foydalanish;
- raqamli signal protsessorlaridan foydalanib, raqamli aloqaga ommaviy o'tish.

Konversiya jarayoni ilg'or harbiy texnologiyalarni tijorat dasturlariga kiritish va jalb qilish bilan bog'liq bo'ldi. Natijada past orbitalardagi (Iridium va Globalstar) va o'rta orbitalardagi (ICO) bir necha global yo'ldoshli aloqa tizimlari, shuningdek, ikkita regional (ASeS va Thuraya) tizimlar ishga tushirildi. Iridium shaxsiy yo'ldoshli aloqa global tizimi 1998-yilning oxirida ishga tushirildi va bor-yo'g'i bir yarim yil atrofida ishlatildi. 2000-yildan boshlab uchta: Globalstar shaxsiy yo'ldoshli aloqa global tizimi va nafaqat tovushli aloqa, balki ma'lumotlarni ham uzatishga mo'ljallangan ikki mintaqaviy — ACeS va Thuraya, tizimlarini ishlatish boshlandi. Bir yildan so'ng ICO (Inmarsat-P) tizimi ishga tushirildi.

Harakatdagi YAT tizimlarining keyingi rivojlanishi IMT-2000 va IMT-Advanced loyihalari doirasida amalga oshiriladi.

Nazorat savollari:

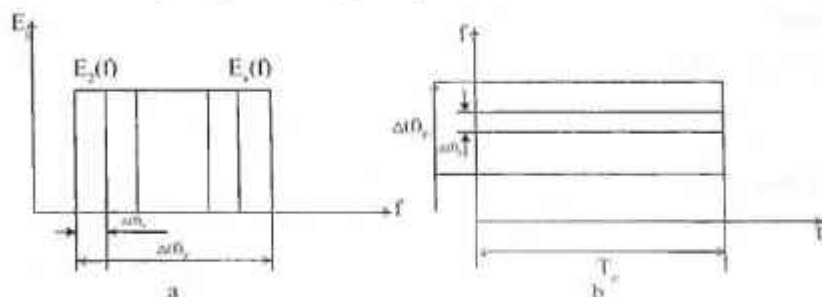
1. WiMAX tizimlariga tavsif bering va WiMAX tizimlarining qisqacha rivojlanish tarixini bayon eting.
2. WiMAX tizimi va IMT-2000 dasturi qanday o'zaro ta'sirlashadi?
3. WiMAX i Wi-Fi tizimlarining farqi qanday?
4. WiMAX tizimlarining asosiy xarakteristikalarini keltiring. WiMAX tizimlarining qo'llanilish sohalarini bayon eting. WiMAX tizimlarining qanday asosiy avzalliklari va kamchiliklari mavjud?
5. HiperMAN va WiBro standartlari haqida so'zlab bering.
6. IEEE 802.16d standartiga qisqacha xarakteristika (tavsif) bering.
7. IEEE 802.16e standartiga qisqacha xarakteristika (tavsif) bering.
8. IEEE 802.16d va IEEE 802.16e standartlarining qanday umumiy xossalari va asosiy farqlari mavjud?
9. WiMAX tarmoqlarini qurishning qanday asosiy prinsiplari mavjud? WiMAX(NRM) tarmog'i Tayanch modeliga tavsif bering. WiMAX tarmoqlari tugunlari tarkibini keltiring.
10. ASN ruxsat etishni taqdim etish tarmog'i va CSN bog'lanishlar tarmog'ining ishlashini bayon eting.
11. Tayanch stansiya va ASN shlyuzning ishlashini bayon eting.
12. WiMAX tayanch tarmog'i tugunlarining o'zaro ta'sirlashishi qanday amalga oshadi? Tayanch nuqtalarning funksiyalarini qisqacha bayon eting.
13. IEEE802.16 standartining beshta ish rejimlarini bayon eting.
14. IEEE802.16 standartida fizik darajada qanday ma'lumotlarni uzatish usullari ko'zda tutilgan?
15. WirelessMAN-OFDM usulining ishlashini bayon eting.
16. Fizik darajada ma'lumotlarni kodlash o'z ichiga qanday bosqichlarni oladi? WirelessMAN-OFDM rejimida qanday modulyatsiya sxemalaridan foydalaniladi?

9-bob. HRTNING VAZIFASI VA XIZMAT KO'RSATISH ZONASINING O'LCAMI

9.1. Kanallarni chastota bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanish KCHAKF(FDMA)

Ko'p stansiyali foydalanish tushunchasi — bu belgilangan tizimga ajratilgan chastota va vaqt bo'ylab resurs ko'lamida ko'pchilik foydalanuvchilarning parallel ishlashini ta'minlashga qaratilgan chora-tadbir amallarining majmuasi nazarda tutiladi. Ya'ni, ko'p sonli stansiyalarning bitta foydalana olish kanaliga bir vaqtda murojaat qilish imkoniyati nazarda tutiladi. Har bir abonentni qandaydir fizik kanal bilan tenglashtiradigan bo'lsak, unda aniq ko'p stansiyali foydalanish texnologiyasi cheklangan chastota va vaqt bo'ylab resurs kanallarga taqsimlash usuli deb aytishimiz mumkin. Faraz qilaylik, $s(t)$ — signal bo'lsin va uning bilan i — aloqa kanali hosil bo'lgan ($i=1,2,\dots,k$, bu yerda, k — aloqa tizimi kanallarining to'la soni). Fizik tarqalish muhitning chiziqli modeliga amal qilib, deyarli sezilarli bo'lmagan ko'pnurlilik effektini nazarga olmasak va hamroh bo'lgan $n(t)$ shovqinni additiv desak, unda qabul qilish tomonidan kuzatiluvchi tebranishni t — signalning tarqalish trassadagi so'nish va ushlanib qolish shaklida ko'rsatish mumkin. Qabul qilish tomonga qo'yiladigan masala — bu aniq abonent xabarini ajratib olishdan iboratdir, buning ustiga chetidagi signallar xalaqit beruvchilar rolini o'ynaydi. Ma'lumki, signallar superpozitsiyasidagi har qanday komponentalarni chiziqli seleksiyalash uchun boshqa komponentalar ta'siridan xoli etishdan tashqari hamma signallarning yetarli darajada chiziqli erkinligi ham zarur. Chiziqli erkin bo'lgan ortogonal signallar oddiy korrelyatsion qabul qilgich vositasida o'zaro xalaqitsiz ajratiladi. Kanalli signallarning ortogonalligini ularning chastotaviy va vaqt bo'yicha joylashtirilishi hisobiga yoki mos kodlashtirish bilan ta'minlash mumkin. Shunga asosan ko'pchilik tomondan foydalanish uslublarining klassifikatsiyasi ham belgilangan.

Kanallarni chastota bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanish. Kanallarni chastota bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalana olish tizimlari KCHAKF(FDMA) shunday tuziladiki, aloqa seansi muddati davomida har bir abonentga tizimning Δf_p umumiy chastota diapazoni ko'lamida Δf_p polosali chastota kanali ajratib beriladi, shu bilan birga faol abonentlarga taqdim etilgan kanallarning hech qaysisi bu kanal bilan mos tushmasligi shart. Bu yerda shuni ta'kidlash zarur, kanallarning signallar spektrlari bir-birini qoplamaydi (9.1-a rasm), shu tufayli ortogonallik shartining bajarilishi ta'minlanadi. Tizimning umumiy chastota va vaqt bo'ylab resursini 9.1-b rasmda keltirilgan tomonlari Δf_p va T_p bo'lgan to'g'ri to'rt burchak tavsiflaydi. Ko'rinib turganidek, KCHAKFdagi umumiy resurs k (abonentlar soniga qarab) gorizontal tasmachalarga bo'linadi. Bularning har qaysisi foydalanishi mumkin bo'lgan butun vaqt bo'yicha resursni va faqatgina chastota resursining k qismini egallaydi.



9.1-rasm. Kanal signallarining spektrlari (a) va chastotaning vaqt bo'yicha resursining abonentlar orasida taqsimlanishi (b).

KCHTKF usuli barcha analogli KSATlarda, ya'ni birinchi avlod tizimlarida qo'llaniladi va shuni ham hisobga olish kerakki abonent kanali polosasining kengligi $\Delta f_p = 10...30\text{kHz}$ ni tashkil etadi. Masalan, AMPS standartida tizimga ajratiluvchi chastota resursi ikkita uchastkadan iborat: diapazon 869...894MHz axborotni BTS dan MSga uzatish uchun (to'g'ri kanali) va 824...849MHz

axborotni teskari yo'nalishda uzatish uchun ishlatiladi (teskari qaytish kanali). Shunday qilib, dupleks chastotalar orasidagi ajratilish 45 MHz ni tashkil qiladi. Har bir chastotaviy kanalga $\Delta f_p = 30$ kGts polosa tayinlanadi, va shuning bilan himoya intervallarini hisobga olgan holda ajratilgan diapazon ko'lamida 832 kanallar joylashtiriladi va ularga 1 dan 799 gacha va 991 dan 1023 gacha nomerlar beriladi.

To'g'ri (pastga yo'nalish) kanallar chastotalari spektral ajratilishga ega bo'lishidan qat'i nazar bu kanallarning o'zaro ta'sirlashini yo'qotish faqat nazariy jihatdan amalga oshirilishi mumkin. Amalda esa kanallararo (tizimlar ichidagi) xalaqitlarning paydo bo'lishidan qutulib bo'lmaydi. Masalan, qabul qilgichdagi ajratish filtrlarining noidealligi tufayli biror kanaldagi signal energiyasining qismi boshqa kanalga sizib o'tadi. Kanallararo xalaqitlarning ta'sirini kuchsizlantirishni signallar ustida manipulyatsiyaning ("polosadan tashqari" nurlanishini kamaytirish) va filtrlarning (qo'shni kanalda xalaqitni yo'qotish) tegishlisini tanlash bilan amalga oshirish mumkin. O'zaro xalaqitlarning sathini pasaytirish usullaridan biri bo'lib chastotali kanallarning orasiga himoya intervallarini kiritish hisoblanadi, ammo bu aloqada foydalaniluvchi chastota polosasining torayishiga, ya'ni spektrning foydalanish samaradorligining pasayishiga olib keladi.

Shuni qayd etish lozimki, dupleks aloqada, jiddiy qaralganda, ikkita f_p polosalari foydalaniladi, biri to'g'ri va ikkinchisi teskari yo'nalish kanallarga mo'ljallangan.

9.2. Kanallarni vaqt bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanish KVAKF(TDMA)

Kanallarni vaqt bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanish KVAKF(TDMA) traditsion tushunchada bu barcha abonentlarning axboroti bit eltuvchi chastota o'rtasida himoya oraliqlari kiritilgan turli vaqt intervallarida uzatiladigan foydalana olish usulidir. Bunda aloqa seansi muddati davomida tizimning har bir abonentiga tizimning umumiy vaqt T , resursi (sikl yoki

tizim kadri) ko'lamida boshqa faol abonentlarga taqdim etilgandan butunlay farqli vaqt intervali T ajratiladi. Shu tufayli har bir kanalning signali boshqalar bilan ustma-ust tushmasdan o'zining individual vaqt intervalida (so'zda) joylashadi (9.2-a rasm). Shu bilan birga abonentlarning signallar spektri butun tizimga ajratilgan Δf chastotalar polosasini egallashi mumkin va to'la ustma-ust tushishi ham mumkin. Shu singari o'xshash resurs taqsimlanishni tasvirlash uchun 9.2-b rasm keltirilgan, va undan ko'rinib turibdiki chastota va vaqt bo'ylab jamlangan resurs vertikal k tasmachalar shaklida "kesilgan", va ularning har qaysisi mumkin bo'lgan butun chastota diapazonini egallashi bilan birga ajratilgan (T_0) vaqtning faqatgina K qismini egallaydi.

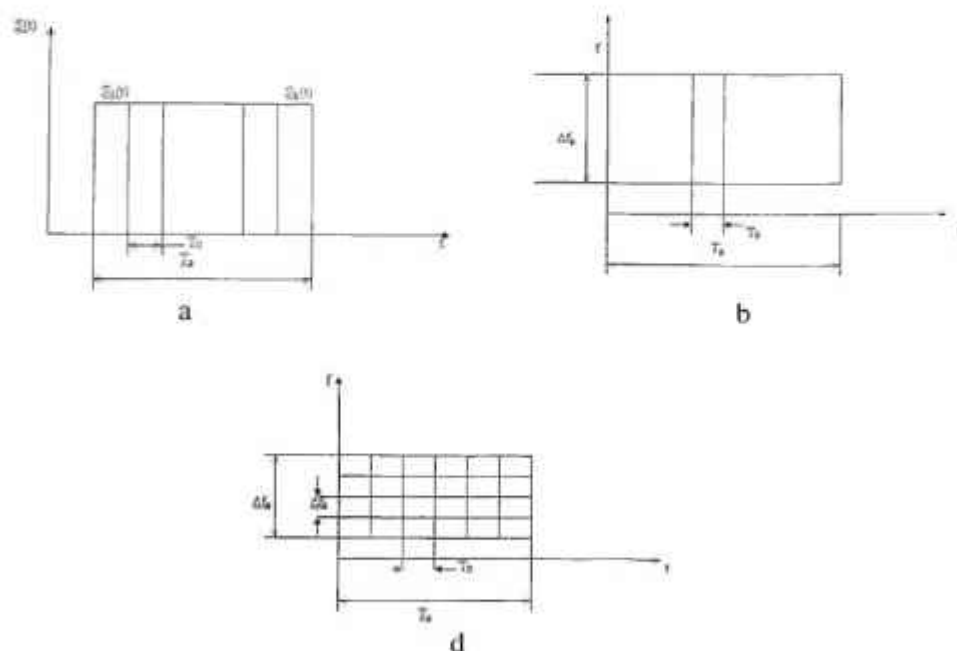
Ideal holatda vaqt bo'yicha kanallar signallarining ustma-ust tushmasligi ularning ortogonalligini ta'minlaydi va, demak, ularning o'zaro ta'sirini yo'qotadi. Amalda esa, tizim polosasiga chegaralanganligi sababli avvalgi kanallar signallarining o'tish protsesslari kelgusining paydo bo'lishiga qadar tugamasligi mumkin va so'nggi navbatda keluvchilari bilan qo'shilishi natijasida (ayqashish) har tomonlama (kanallararo) xalaqitlarni hosil qilishi mumkin.

Qo'shni kanallarning ta'sirini, ya'ni kanallararo xalaqitlarning sathini pasaytirishga himoya vaqt intervallarini kiritish bilan erishilyapti, bu esa o'z navbatida axborotni uzatish mumkin bo'lgan vaqt diapazonining kamaytirilishiga, ya'ni aslida, uzatish tezligining pasayishiga olib keladi.

Ikkinchi avlod D-AMPS, GSM va PDC raqamli standartlarda chastota va vaqt bo'yicha taqsimlashlarning kombinatsiyasini KCHAKF/KVAKF qo'llash o'rin topayapti. Bunday kombinatsiyalar doirasidagi tizimda har bir chastota kanali vaqtinchalik slotlarga bo'linadi. Shu bilan birga har bir abonent kanaliga faqatgina qisman chastota yoki vaqt resurslari ajratib beriladi.

Aytilganlarni 9.2-d rasmda ko'rish mumkin va bunda tasvirlanganidek tizimning jami resursi endi tasmachalarga kesilmay-

di, balki ikkala o'lchami ham imkon qadar eng katta qiymatidan kichik bo'lgan tomonli to'g'ri to'rtburchaklarga bo'linadi. Bu yerda soddagina qilib shuni qayd qilish mumkinki, ularning kombinatsiyasi tayinlangan resurs ko'lamida kanallar soni bo'yicha hech qanday nazariy yutuq bera olmaydi, chunki tayinlangan imkoniyat ortogonal signallarning sonini qat'iy chegaralaydi. Shuning uchun bu yerda birikmani amaliy qo'llashning sababi qandaydir potensial afzalliklar bilan emas, balki ko'proq ayrim ishlab chiqaruvchi korxonaning texnologik siyosati bilan bog'liqdir. GSM standartining efir interfeysidagi vaqt bo'yicha taqsimlangan ko'p stansiyali foydalana olishni barpo qilish misoliga murojaat qilaylik.



9.2-rasm. Kanal signallarining vaqt bo'yicha joylanishi (a), abonentlar orasidagi chastota va vaqt bo'yicha resursning taqsimlanishi (b), chastota va vaqt bo'yicha taqsimlanishlarning KCHAKF/KVAKF kombinatsiyasi (d).

Bundan oldinroq e'tibor berilgan GSM standarti ikkita diapazon chastotalarida ishlashi bayon qilingan edi, ya'ni MS uzatgichlari uchun 890...915MHz va BTS uzatgichlari uchun 935...960MHz. Kanallarining ham chastotaviy va ham vaqt bo'yicha taqsimlanishini bajaruvchi bu standartda tor polosali (aloqa kanalining polosasi kengligi 200kHz) ko'p stansiyali foydalana olish qo'llaniladi. Chastotali taqsimlash doirasida himoya polosalarini hisobga olgan holda, standart uzatish va qabul qilish chastotalari 45MHz tarqoqlikka ajratilgan 124 dupleks kanallarni o'z ichiga oladi.

Vaqt bo'yicha taqsimlash doirasida axborotni aloqa kanali vositasida 124 ta kanalning har biriga taalluqli 577 MS davomlilikka ega bo'lgan 8 ta vaqt intervali (slot) ning birginasi davomida uzatish amalga oshiriladi. Tashkiliy jihatdan 8 ta slotlar davomlilikgi 4,615 ms bo'lgan kadrlar (ingl. atama "frame") ichiga birlashtiriladi, va ular o'z navbatida multkadr, superkadr va giperkadrarga ketma-ket guruhlashtiriladi. Giperkadrning davomlilikgi GSM standartining vaqt strukturasiidagi kadrlar ketma-ketligining davrini aniqlaydi. Shuni ta'kidlash lozimki, giperkadr ko'lam doirasida kadrning nomeri uzatiluvchi axborotni kriptografik himoyalashda kirish parametri sifatida qo'llaniladi.

9.3. Kanallarni kod bo'yicha ajratish bilan ko'p marta va ko'p stansiyali foydalanish KKAKF(CDMA)

Buning negizida an'anaviy bo'lib qolgan tor polosali tizimlarga nisbatan uzatiluvchi xabarning polosasi ataylab bir necha barobar yoki ko'p marta kengaytirilishni ko'zda tutuvchi keng polosali (spread spectrum) uzatish nazariyasiga amal qilish yotadi. Bunday tizimlarda spektrning sun'iy kengaytirilishi qoida asosida ikkita asosiy usulning biri bilan amalga oshiriladi:

- to'g'ridan to'g'ri kengaytirish — *direct sequence spread spectrum (DSSS)*;
- sakrash yo'li bilan tashuvchi chastotani o'zgartirish — *frequency hop spread spectrum (FHSS)*.

Birinchi variantda axborot xabari T davomlilikga ega bo'lgan elementlar (chiplar)dan tashkil topgan psevd tasodifiy ketma-ketlik (PTK)ni manipulyatsiyalaydi. Bu yerda chipning davomiyligi uzatiluvchi bit yoki simvol davomiyligi T ga nisbatan ko'p marotaba (N marta) kichikdir.

Kattalik N birlamchi xabar polosasiga nisbatan solishtirgandagi polosa kengayishining darajasini xarakterlaydi va spektr kengayish koeffitsienti deb nomlanadi (*ingliz matnlarda spreading factor yoki processing gain*).

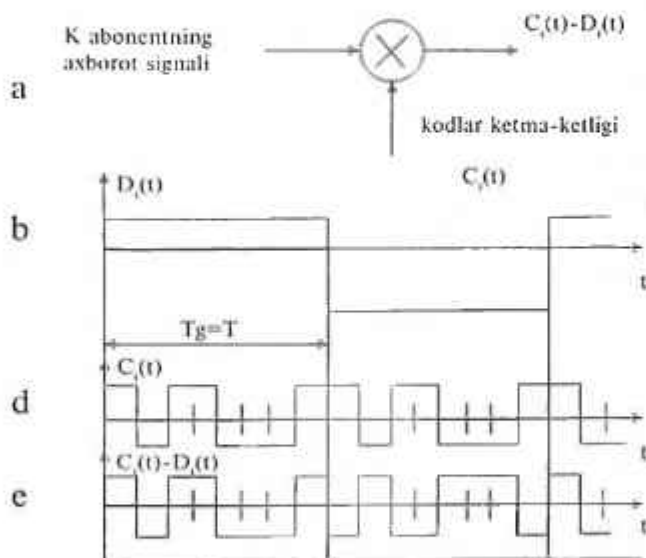
Keltirilgan 9.3-b,e rasmdagi diagrammalar raqamli ikkilik uzatish va binar PTK uchun to'g'ridan to'g'ri spektr kengaytirishning protsedura mazmunini namoyish qiladi. 9.3-d rasmda davriy binar PTK ko'rsatilgan va uning davri o'z ichiga $N = 8$ chiplarni kiritgan holda bitta xabar jo'natmaning davomligi to'g'ri keladi (umuman olganda PTKning davri ixtiyoriy bo'lishi mumkin, xususan, xabar jo'natmasining davomlilikidan ancha katta bo'lishi; umuman PTK mutlaqo aperiodik bo'lishi ham mumkin. To'g'ridan to'g'ri kengaytirishning natijasi yaqqol ko'rinib turibdi (9.3-d rasm), axborot jo'natma o'z ichida nol bitni olib yursa ($D(t)$ ning musbat qutbi, 9.3-b rasm), unda ko'paytirgichning chiqishida PTKning eng birinchi holati mavjud bo'ladi. Joriy bitning "1" qiymati jo'natma bilan uzatilsa, unda PTKning qutbi teskarisiga o'zgaradi. Hosil bo'lgan signal ko'paytirgichdan so'ng standart tashuvchi modulyatoriga o'tkaziladi (BFM, KFM va h.k.).

Uzatiluvchi $D(t)$ ma'lumotlar oqimi bilan qayd etilgan PTK ustidagi manipulyatsiya $s(t)$ ularning oddiy ko'paytirish amali bilan bajariladi (9.3-a rasm).

Bundan ko'rinib turibdiki, spektrni to'g'ridan to'g'ri kengaytirish protsedurasi Gauss kanal bo'yicha ikkilik uzatishning xalaqitbardoshligini yomonlashtirmaydi, signallarni uzatiluvchi 0 va 1 bitlarga taalluqli qilib bergan holda o'zaro teskari qoladi.

Spektr kengaytirishning ikkinchi usulini qo'llaganda axborot xabarlarining har bir simvollari ma'lum ketma-ketlik bilan tayinlangan holda disret chastotalar to'plami yordamida uzatilishi zarur.

Mavjud va kelajakda takomillashtirilgan sotali aloqa tizimlarida sinxron yoki asinxron variantda amalga oshiriluvchi spektrning to'g'ridan to'g'ri kengaytirilishi ustun qo'llaniladi. Bu ikkita DSSS modifikatsiyalarining farqi ancha sezilarlidir. Birinchi usulni barcha individual adres ketma-ketliklarni (signaturalarni) sinxronizatsiyalash imkoni bo'lgandagina qo'llash mumkin. Signaturalar alohida abonentlarga shunday taqdim etiladiki, qabul qilish tomonida turli abonentlarning signallari o'zaro vaqt siljishlarga ega bo'lmasligi kerak. "Pastga" deb nomlanuvchi liniyaga shunga o'xshash holat xarakterlidir. Bu yerda aniq bir vaqtning o'zida, ya'ni BTSdan turli xil MSga uzatilgan signallar bitta trassa bo'ylab o'zaro kechikmasdan keladi.



9.3-rasm. Raqamli ikkilik uzatish va binar PTK uchun to'g'ridan to'g'ri spektr kengaytirishning protsedurasi.

"Yuqoriga" deb nomlanuvchi liniyada turli MSdan BTSga qabul qilinuvchi signallarning sinxronizatsiyasini ta'minlash nazariy jihatdan inkor qilinmasa ham amalda ancha murakkabdir va har doim texnologik jihatdan ham samarasizdir,

chunki MSlar BTS ga nisbatan sota ko'lamida tasodifiy joylanish tufayli signallar o'zaro kechikishi kuzatiladi. Bunday holatlar uchun individual abonentlar signaturalarini o'zaro vaqt bo'yicha bog'lanishi zarur bo'lmagan DSSSning asinxron turi qo'llanilishi xarakterlidir.

KKAKFning KCHAKF va KVAKFlarga nisbatan afzalliklarini shartli ravishda ikki guruhga bo'lish mumkin. Har qanday keng polosali (spread spectrum) tizimlar birinchisining tashkil etuvchilaridir. Bular ichiga jamlangan va keng polosali xalaqitlarga yuqori bardoshli, o'ta nurli tarqalish sharoitida samarali ishlashi, kriptohimoyaning yetarli darajadagi keng diapazonli choralar, chastota va vaqt bo'yicha xarakteristikasini yuqori darajada o'lchash, radio va TV tizimlari bilan elektromagnit moslashuvchanlik va h.k. xususiyatlari kiradi.

Ikkinchi guruh esa ko'p stansiyali foydalanish aspektlari bilan — sotaga nisbatan katta sig'imga ega bo'lishi, trafik oshishi bilan aloqa sifatining "yumshoq" xarakterda pasayishi, estafetali "yumshoq" uzatishni tatbiq qilish imkoniyatidir. Kod bilan ajratish tizimlarda abonentlarning mumkin bo'lgan sonini baholashdir.

9.4. Mobil aloqa tizimlarida sota ko'lamidagi foydalanuvchilar sonini aniqlash

Ortogonal signallarni ishlatuvchi KKAKFning sinxronli varianti, albatta, KCHAKF va KVAKFlarga qaraganda maksimal foydalanuvchilar soni bo'yicha hech qanday prinsipial afzalikka ega bo'lishi mumkin emas, chunki bu son signal ko'lamining o'lchami, ya'ni chastota va vaqt bo'yicha resurs (Δf_r , T_r) bilangi-na cheklanuvchi ortogonal signallarning bo'sag'aviy qiymati bilan aniqlanadi. Ortogonalli oyilaviylikni qurish usuli (chastota, vaqt bo'yicha ajratish yoki shunga mos ravishda kodlash) oyilaviylikdagi signallar soniga ta'sir qilmaydi.

KKAKFning asinxron varianti esa (abonentlarning qisman

soni cheklangan ortogonal signallar sonidan ko'proq bo'lgan sinxron kabi bo'lsa) KCHAKF va KVAKFlarga qaraganda moslashuvchanliroq sotali topologiyali tizimlardagi resursni qayta foydalanishda radioto'lqinlarning fazoviy so'nish effektini (ekspluatatsiya qiladi) ishlatadi.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, foydali signalning satxini 5...8 dB dan past bo'lmagan xalaqitlar oshib ketsa, mingdan bir bo'lak atrofida simvol xatoligining hosil bo'lishiga yetarlidir va KKAKF xizmatidagi abonentlarning maksimal soni KCHAKF va KVAKF larga qaraganda sezilarli darajada kamroqdir. Agar, KCHAKF va KVAKF formatlarda yon sotalarning kanallarini takroriy ishlatishning taqiqlanishi bitta o'sha klasterning katakchalari orasidagi resursni maydalashga olib kelishini hisobga olinsa, unda buning natijasi bo'lib bir sota ko'lamidagi abonentlari sonining n marta kamayishi sanaladi. Bu yerda n klasterdagi katakchalar soni.

Shu vaqtning o'zida KKAKF texnologiyasi qo'shni sotalardagi mumkin bo'lgan barcha resurslarni takroriy ishlatishga imkon beradi, evaziga nafaqat o'zining abonentlari hosil qiluvchi, balki "begona" BTS abonentlarining signallari tufayli hosil bo'lgan tizim ichidagi xalaqitlar sathining oshishiga olib keladi.

Bu yerda qo'shni katakchalardan jami o'zaro xalaqitlarga "singib" kirgan qo'shimcha hissa "o'ziniki"ga (BTSga yaqinroq bo'lgani) qaraganda ancha kuchsiz bo'lishi mumkin, chunki qabul qilinuvchi quvvat masofaga bog'liq ravishda kamayishiga binoan (shaharning zich qurilgan binolari va qalin o'simliklari tufayli taxminan masofaning to'rtinchi darajasiga teskari proporsionaldir). Ko'p ma'lumot manbalirining hisoblashlariga ko'ra "qo'shni" katakchalar o'zaro xalaqitlarning umumiy sathini 1,5 marta oshiradi. Shuning uchun aytish mumkinki, KKAKFning sotali sig'imi KCHAKF va KVAKFlarnikiga qaraganda ikki baravar yutuqqa ega.

Bundan tashqari, foydalanuvchining so'zlashish faolligi faktori-ni ham hisobga olish lozim. Oddiy telefon bilan gaplashishda har bir ishtirokchi vaqtning ma'lum bir qismini suhbatdoshiga qu-loq solib eshitishda, dialog ustida fikrlashdagi pauzaga ketkaza-

di. So'zlashish faollik faktori bir ishtirokchining umumiy ulanish davomidagi gaplashish fazasining bir qismini beradi.

GSM standarti ma'lum yo'l asosida bu faktorni hisobga oladi, ammo faqat energiyani tejash maqsadidagina, abonent sig'imini oshirish emas. Nazariy jihatdan bunday imkoniyat inkor qilinmaydi, amalda fizik chastotaviy yoki vaqt bo'yicha bo'shayotgan kanalni oniy ravishda boshqa abonentga berish va keyinchalik qaytarib olish amalga oshirilishi gumondir, chunki protokolni birdan murakkablashuvi sababli individual abonentlarning so'zlashish pauzasini moslashtirib bo'lmasiligi tufayli. KKAKF doirasida gaplashish pauzasida resursning bo'shab chiqishi avtomatik ravishda o'zaro xalaqitlar sathini pasaytiradi va shu tufayli tizimning sig'imini oshirishni ta'minlaydi. Birinchi yondoshishda nutq faollik faktorini hisobga olish mumkin, uning uchun tizim ichidagi xalaqit quvvatning spektral zichligini butun so'zlashish muddati bo'yicha o'rtacha qiymati bilan almashtirish kerak. Bu holda, hisoblar shuni ko'rsatadiki, sota ko'lamidagi abonentlar sonini baholash KCHAKF va KVAKF larga nisbatan abonent sig'im to'rt baravardan ham ko'p yutiq beradi.

Ayrim manbalarda SDMAning afzaligini tasdiqlovchi yana ham hayratga soluvchi raqamlar keltirilgan. Odatda ular sotalarni sektorlashga doir taxminlarga asoslangandir, ya'ni sektorlar soniga muvofiq karrali son ravishda sotali sig'im tabiiy oshishi mumkin. Ammo bu yerda bir narsani esdan chiqarmaslik zarurki, ko'pstansion foydalanishning barcha texnologiyalarida sektorlash evaziga yutuqqa erishish mumkin, shuning uchun ularni korrektli solishtirishda hisobga olinmasligi kerak.

Shuning bilan birga ta'kidlash zarurki, yuqorida keltirilgan baholashlar birlamchi oriyentirgina bo'lib qoladi, chunki ko'pgina taxminlarga, qisqartirilishlarga asoslangandirlar. KKAKF tizimlarni real loyihalashtirilganda har tomonlama modellash va maydon sinovlari bilan birga chuqurroq tahlil o'tkazish lozim.

9.5. Sotali mobil aloqa tizimlarning real abonent sig'imi

Bundan oldingi quyi bo'limlarda har xil turdagi sotali ko'chma radioaloqa tizimlarini bayon qilishda ularning abonentlik sig'imi, ya'ni xizmat ko'rsatiluvchi abonentlar soni ochiqchasiga emas yo'l bilan, radioaloqa kanallar soni bilan aniqlanadi. Albatta, bu yerda tushunarli, bu ikki tushunchalar bir xil emas. Xizmat ko'rsatiluvchi tizim abonentlari sonini aloqa kanallari soni bilan chegaralash ratsional emasdir, chunki hamma abonentlarning baravariga aloqaga chiqish ehtimolligi odatda kichikdir. Shu sababi, aloqa kanali mavjud bo'lsa, tizim k dan ko'proq abonentlarga xizmat ko'rsatishi mumkin, garchi shunday ehtimol borki, undan asosan ayrim hollarda abonentlar foydalana olmaydilar va qanchalik abonentlar soni aloqa kanallar soniga nisbatan ko'p bo'lsa, bu ehtimollik ham ko'pdir.

Bundan bir butun ikki xil masala kelib chiqadi va uning shartlari quyidagicha tushintiriladi: berilgan ehtimolda foydalanishga rad qilishli tayinlangan sanoqdagi aloqa kanallarga ega bo'lgan tizim qancha abonentga xizmat qila oladi, yoki tayinlangan ehtimolda tizimdan foydalanishga rad qilishli aloqa kanallarining qanday soni tizimga xizmat uchun kerak bo'ladi.

Qo'yilgan masalani yechilishi ommaviy xizmat ko'rsatish nazariyasining mazmuniga asoslangan. Haqiqatdan ham mobil radioaloqa o'zining mazmuni jihatdan ommaviy xizmat ko'rsatish tizimning namunasidir, ya'ni tasodifiy chaqiriqlar oqimi bilan aloqa seansining tasodifiy davomiyligi bilan xizmatdagi aloqa kanalining so'nggi sonini bildiradi.

Tasodifiy chaqiriqlar oqimining umumiy xarakteristikasidan eng ko'pi bo'lib ularning kelib tushishining o'rtacha chastotasi u vaqt birligidagi chaqiriqlar soni bilan o'lchanadi (misol, chaqiriq soat soni) va aloqa seansining o'rtacha davomiyligi T , vaqt birligida ifoda etiladi. Ko'paytma $A = y T$ oqim yuklanishining o'rtacha trafikni aniqlaydi (trafik jadalligi, oqim yuklanishi, aloqa kanaliga tushgan umumiy yuklanishni) va teletrafika nazariyasi sohasida ishlari bilan

mashhur Daniya olimi A.K. Erlang nomi bilan ataluvchi Erlang kattaligida o'lganadi. Shuni ta'kidlash zarur, aloqa kanalidagi yuklanish u va T xarakteristikalarini odatda tizimning eng katta yuklangan intervalida baholashadi, ya'ni pik soatlarda aniqlashadi.

Tayinlangan vaqt mobaynidagi chaqiriqlar t diskret tasodifiy kattalik bo'lib Puasson taqsimlanishi bilan odatda tushuntiriladi: bu yerda t vaqt ichida kelib tushuvchi chaqiriqlarning k ehtimolligidir. Aloqa seansining davomligi (bitta kanalning bandligi) t uzluksiz tasodifiy kattalikdir va uning ehtimollik zichligi eksponensial ko'rinishda qabul qilinadi (T — o'rtacha qiymati).

Yangi chaqiriq tushish paytigacha bo'sh kanallarga ega bo'lgan tizimning qanday o'zini olib borishiga qarab uchta quyidagi modellarga ajratiladi:

- kutish vaqti cheklangan tizim (Erlang modeli A) bo'sh kanal bo'lmagan holatda chaqiriq navbatga qo'yiladi va tayinlangan vaqt o'tishida, agar shu vaqt davomida band bo'lgan kanallarining birortasi bo'shamasa, inkor (annulyatsiya) qilinadi;

- rad qilishli tizimlar, ya'ni bo'sh kanallar bo'lmagan holatda chaqiriqlar bekor qilinadi;

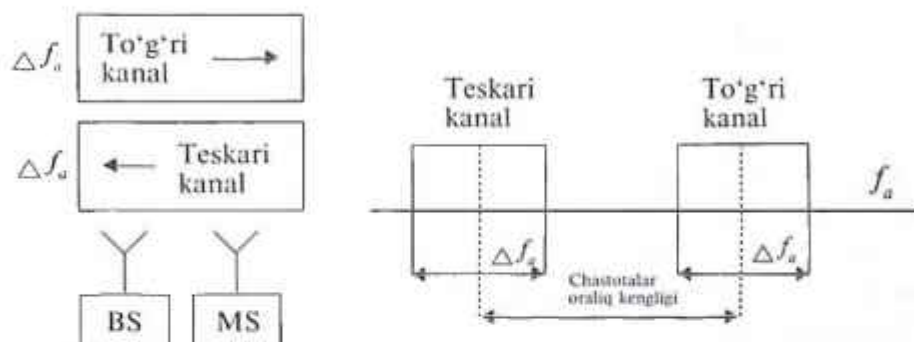
- kutish tizimlar, ya'ni chaqiriqlar navbatga qo'yiladi va kanal bo'shashini uzoq vaqt kutadi (Erlang modeli S).

Sistemadan foydalanishga rad qilishning ehtimolligini aniqlash bo'yicha formulalar mavjud. Ammo lekin ular juda katta va foydalanilmaydi. Amalda aloqa kanali tizimi uchun berilgan blokirovka ehtimolligida mumkin bo'lgan yuklanishni Erlangda hisoblash maqsadida ularni grafik shaklida yoki jadval ko'rinishda taalluqli texnik adabiyotlarda berilgan ma'lumot ishlatiladi.

9.6. Mobil aloqa tizimlarda dupleks rejimni tashkil qilish

Aniq tizimga ajratilgan jami chastota va vaqt bo'yicha resursni faqat ko'p stansiyali foydalanishga, balki dupleks rejimni ta'minlashga, ya'ni ikki tomonlama parallel axborot almashi-

nuviga ham to'g'ri keladi: tizimdan abonentga va teskarisiga. Mobil radioaloqa tizimlarda chastotali va vaqt bo'yicha dupleksni qo'llash o'rin topgan. FDD (*frequency division duplex*) deb nomlanuvchi birinchi variant dupleks juftlik ikkita chastota polosasini egallaydi. Bu polosa, o'z navbatida chastota bo'yicha dupleks tarqoqlangan deb nomlanuvchi himoya intervali bilan ajratilgandir.



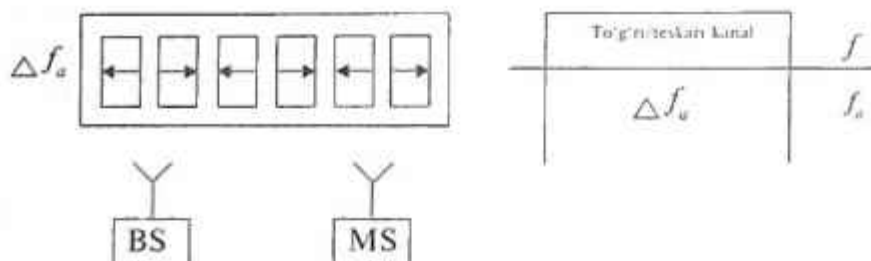
9.4-rasm. Chastotalarni dupleksli tarqoqlash prinsipida tashkillashtirish.

Shunday qilib abonentlar orasidagi axborotning uzatilishi va qabul qilinishi har xil chastotalarda amalga oshiriladi. FDD prinsipini 9.4-rasm ifoda qilib ko'rsatadi.

FDD asosida birinchi va ikkinchi avlod (AMPS, DAMPS, GSM, IS-95 va boshqalar) standartlar tizimi tuzilgandir.

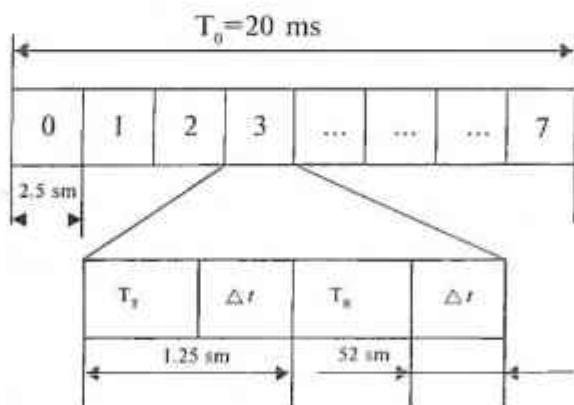
Ikki tomonlama aloqa uchun vaqt bo'yicha dupleksda (*TDD — time division duplex*) uzatish va qabul qilish kanallarning vaqt bo'yicha ajratishda birgina tashuvchi qo'llaniladi (9.5-rasm).

Mavjud bo'lgan sotali aloqa tizimlari uchun TDD rejimini qo'llash xarakterli emas, ammo simsiz telefonlar (CT2, DECT va b.) standartlarida keng tarqalgandir. Bundan tashqari unga uchunchi avlod UMTS va cdma2000 standartlarida alohida joy ajratilgan.



9.5-rasm. *Vaqt bo'yicha dupleksli tarqoqlashni tashkillashtirish prinsipi.*

Aniqlik uchun cdma2000 loyihaning negiziga qo'yilgan raqamlarga misol tariqasida nazar solib TDDli tizimlarning tipik kanallar strukturasi ko'rib chiqaylik. Dupleksni tashkillashtirishga mo'ljallangan 8 ta intervalga bo'lingan $T_k = 20$ ms (9.6-rasm) BTS kanal arxitekturasining asosiy elementi bo'lib hisoblanadi.



9.6-rasm. *CDMA2000 tizimining TDDli aloqa kanali kadrining strukturasi.*

Juftlikning birinchi intervali T_T davomiylikka ega va uzatish uchun ajratilgan. Ikkinchisida (davomiylilik T_R) MS signali qabul qilinadi. Har qanday yon intervallar Δt davomiylikli himoya

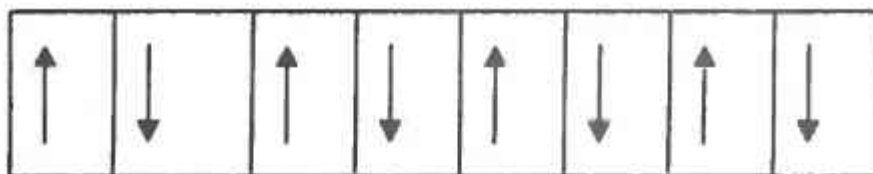
oraliqlar bilan ajratiladi va u xizmat ko'rsatish zonaning kattaligi bilan aniqlanadi. Murakkab bo'lmagan hisob shuni ko'rsatadiki 52 μ s li himoya intervalda va tayanch stansiyadagi vaqt intervallarining sinxronizatsiya aniqligi +3 μ s bo'lganda xizmat ko'rsatish zonaning maksimal radiusi 14 kmni tashkil qiladi.

Mobil stansiyalar BTS kadrining tuzilishiga o'xshash struktura-ga egadirlar, lekin uzatish va qabul qilish intervallarining o'rinlari almashadi.

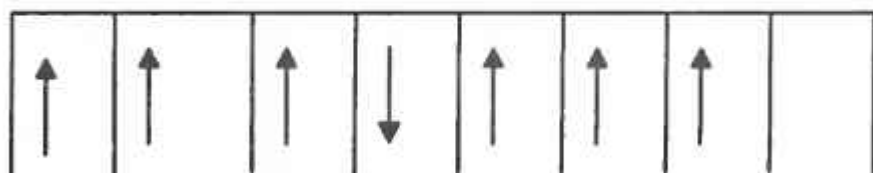
Duplekslashning ikki variantini o'zaro solishtirish shunday hulo-saga olib keladiki, sotalarning katta ko'lamida va abonentlar-niing katta tezlik bilan ko'chishida (harakatlanishida) FDD re-jim ko'proq samaraliroqdir, TDD rejimli variantda esa ko'pincha mikrosotalarda, ya'ni kam tezlik bilan harakatlanuvchi abonent-larga xizmat ko'rsatishda kichik zonalar mos keladi.

Shu bilan birga TDD rejim alohida e'tibor qiladigan bir qator qo'shimcha afzalliklarga ega. TDD rejimda "yuqoriga" va "pastga" aloqa liniyalar bitta chastotalar polosasini egallagani sababli ular ichidagi tanishishlar tasniflari yuqori darajada korrelyasiyalanadi. Bu o'z navbatida nurlatib uzatiluvchi quvvatni va fazo bo'yicha tarqoqlashni boshqarish protsedurasini soddalashtirish uchun qo'llanilishi mumkin.

Bundan tashqari TDDga xos bo'lgan kadrning moslashuvchan-lik strukturasi to'g'ri va teskari kanallar bo'yicha axborotning asimmetrik oqimlarida vaqt resursini samarali taqsimlash imkon-i beradi. Shu singari asimmetriya uchinchi avlod tizimlarida tez-tez uchraydigan holat bo'lishi mumkin, chunki mobil terminallar-ga tobora Internet tarmog'i bilan bog'lanish funksiyasi yuklanadi. Bunday ulanish davomida "pastga" liniya trafigi, odatda teskari yo'nalishga nisbatan ancha axborot oqimga to'laroqdir. Bunday holatda 9.7-rasmda ko'rsatilgandek sxematik ravishda "pastga" va "yuqoriga" liniyalar orasidagi vaqt resursning simmetrik (9.7-a rasm) taqsimlanishining asimmetrikga (9.7-b rasm) o'tishini ko'rsatadi. Bu yerda pastga yo'naltirilgan strelka MS ning ax-borotni qabul qilishini, yuqoriga esa uzatishini.



a



b

9.7-rasm. Axborot kanalidagi "pastga" va "yuqoriga" liniyalar orasidagi vaqt bo'yicha resursning simmetrik (a) va asimmetrik (b) joylanishi.

Bir rejimli TDD abonent terminalida dupleks yo'q bo'lganligi sababli uni ancha soddaroq yo'l bilan amalga oshirish TDD variantning afzalligi deb qarash mumkin. Ikkala variantda ham duplekslashtirishga mo'ljallangan ikki rejimli (FDD/TDD) terminalning apparatini murakkablashtirishga kelsak, oddiy FDD-terminalga nisbatan uncha qiyin emas va iqtisodiy ko'rsatgichlarga kritik ta'sir ko'rsatmaydi.

Yuqorida keltirilganlarga asosan shuni aytish mumkin, ikkala ko'rib chiqilgan dupleksirlash rejimlarni qamrab oluvchi Yevropa UMTS loyihasining maslahatlari tamoman rationaldir. Shu singari yechim ajratilgan spektral diapazonni ishlatish masalasi bo'yicha tizimning moslanuvchanligini ta'minlaydi. Uning o'tkazish imkoniyatini ekspluatatsiya sharoitiga va xizmatlar xarakteriga qarab adaptatsiya qildiradi. Uchinchi avlod tizimlarni barpo etishning Yevropa konsepsiyasiga asosan WARC-92 tomonidan ikkita ajratilgan 230 MHz: 1885...2025 va 2110...2200 MHz kenglikdagi spek-

tr hududlaridagi 1920...1980 va 2110...2170 MHz polosalar chastota bo'yicha dupleksli SSMSlarga va 1900...1920 va 2010...2025MHz polosalar esa vaqt bo'yicha dupleksli SSMSlarga mo'ljallangandir.

Nazorat savollari:

1. Kanallarni chastota bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanishni tushuntiring.
2. Kanallarni vaqt bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanishni tushuntiring.
3. Kanallarni kod bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanishni tushuntiring.
4. Foydalanuvchilar soni va sotali tizimlarning real abonentlik sig'imi qanday aniqlanadi?
5. Mobil aloqa tizimlarida dupleks rejim qanday tashkil qilinadi?

10-bob. SOTALI ALOQA TIZIMLARINING EVOLYUTSIYASI

10.1. Tranking radioaloqa tizimlari

Qayd qilib o'tilganidek, mobil aloqaning ilk tijorat tarmoqlari 70-yillarning oxiri va 80-yillarning boshlarida paydo bo'lgan. Ularning barchasida ovozni uzatishda analogli chastotaviy modulyatsiyadan foydalanilgan. Birinchi avlod sotali aloqa standartlariga, odatda, quyidagilar kiritiladi (10.1-jadvalga qarang):

- **AMPS** (ingl. *Advanced Mobile Phone Service* — “Takomillashtirilgan mobil telefon xizmati”, shuningdek, “Shimoliy Amerika standarti” nomi bilan mashhur, 800MGs diapazonda ishlagan, 1983-yilda foydalanishga tushirilgan) — AQSH, Kanada, Markaziy va Janubiy Amerika, Avstraliya kabi hudud va davlatlarda keng qo'llanilgan; O'z vaqtida (1995-yilda) jahondagi mobil aloqa tarmoqlaridagi barcha abonentlarning 1/3 qismiga xizmat ko'rsatgan va D-AMPS raqamli modifikatsiyasi bilan birgalikda eng keng tarqalgan sotali tizim bo'lgan. Jumladan, Rossiyada AMPS regional standart sifatida (asosan D-AMPS variantida) tasdiqlangan va eng keng tarqalgan standart hisoblangan. O'zbekistonda AMPS/D-AMPS standartlari “Uzdunrobita” hamda “Rubicon Wireless Communications” operatorlari tomonidan ishlatilgan [18];

- **TACS** (ingl. *Total Access Communication System* — “Umumlanishli aloqa tizimi”, 900MGs diapazonda ishlagan, 1985-yilda ishga tushirilgan) — Buyuk Britaniya, Italiya, Ispaniya, Avstriya, Irlandiya davlatlarida foydalanilgan, Amerikaning AMPS standarti asosida ishlab chiqilgan. ETACS (Yevropa) va JTACS/NTACS (Yaponiya) modifikatsiyalariga ega bo'lgan. TACS analog standartlari orasida tarqalishi bo'yicha ikkinchi o'rinda turgan. 1995-yilda abonentlar bazasi bo'yicha ham u jahonda ikkinchi o'rinni egallagan, lekin 1997-yilga kelib tez rivojlangan raqamli standartlar tomonidan to'rtinchi o'ringa tushirib qo'yilgan;

• **NMT-450** (ingl. *Nordic Mobile Telephone* — “Shimoliy davlatlar mobil telefoni”, 450MGs diapazonda ishlagan, 1981-yilda ishga tushirilgan) mobil aloqa tarixidagi ilk standartdir. Skandinaviya davlatlarida va jahonning boshqa ko‘plab mintaqalarida foydalanilgan. “Skandinaviya standarti” nomi bilan mashhur bo‘lgan. Jahonning analog standartlari orasida tarqalishi bo‘yicha uchinchi o‘rinni egallagan. Aholi nisbatan siyrak joylashgan hududlarda uzoq masofalarda aloqa ta‘minlash uchun ancha qulay bo‘lgan. 1985-yilda NMT-450 bazasida 900MGs diapazonida ishlaydigan NMT-900 standarti ishlab chiqilgan. U tizimning funksional imkoniyatlarini kengaytirish va abonent sig‘imini sezilarli oshirishga imkon yaratgan. O‘zbekistonda sotali aloqa davri boshlanishida NMT-450 standarti asosida “Uzdunrobita” QK o‘z faoliyatini boshlagan;

• **S-450** (450MGs diapazonda ishlagan, 1984-yilda ishga tushirilgan) — asosan Germaniya va Portugaliyada foydalanilgan;

• **RTMS 101H** (ingl. *Radio Telephone Mobile System* — “Radiotelefon mobil tizimi”, 450MGs diapazonida ishlagan, 1985-yilda ishga tushirilgan) - Italiyada ishlab chiqarilgan va foydalanilgan;

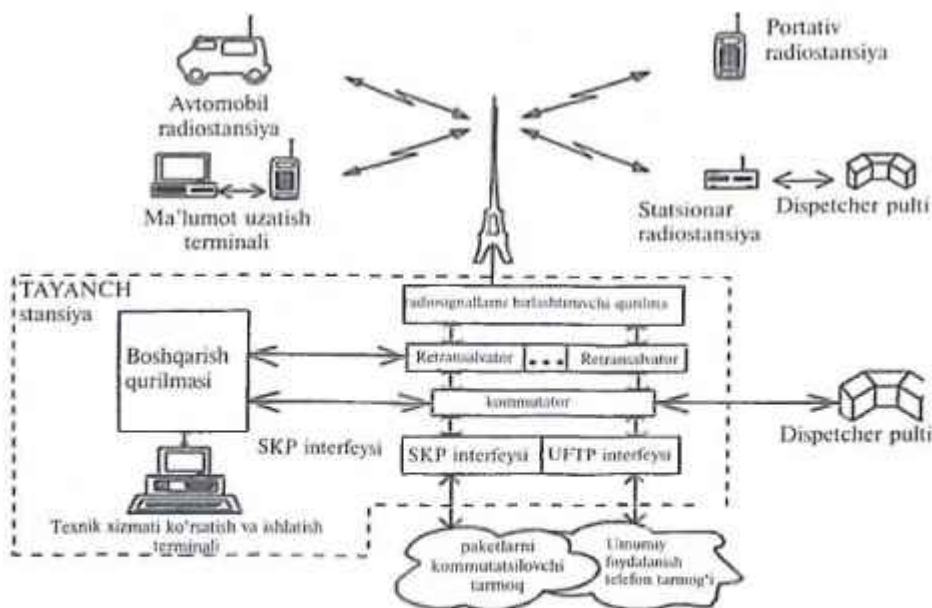
• **Radiocom 2000** (170MGs, 200MGs, 400MGs dipazonlarida ishlagan, 1985-yilda ishga tushirilgan) — Fransiyada ishlab chiqarilgan va foydalanilgan;

• **NTT** (ingl. *Nippon Telephone and Telegraph System* — “Yaponiya telefon va telegraf tizimi”, 800–900MGs diapazonlarida uchta variantda ishlatilgan, 1986-yilda ishga tushirilgan) — Yaponiyada ishlatilgan.

Barcha analog standartlarda ovozni uzatish uchun chastotaviy modulyatsiya (CHM) yoki fazaviy modulyatsiya (FM) ishlatilgan, boshqarish signallarini (yoki signalizatsiyani) uzatish uchun esa chastotaviy manipulyatsiyadan foydalanilgan. Turli kanallarda axborot uzatish uchun chastota spektrining turli qismlaridan foydalanilgan. Turli standartlarda 12,5kGs-dan 30kGsgacha bo‘lgan polosalarda FDMA usulidan foydalanilgan. Analog tizimlarning asosiy kamchiligi ham aynan shu bilan bog‘liq edi, ya’ni ajratilgan polosada chastota bo‘yicha

kanallarni ajratish chastota resurslaridan samarali foydalanish imkonini bermas edi va shu bilan birga, abonent sig'imi ham nisbatan kichik bo'lishiga sabab bo'lar edi. Ko'p sonli o'zaro mos bo'lmagan standartlarning mavjudligi ham jahonda sotali aloqa xizmatlarini ommalashishiga xalaqit berdi.

Tranking radioaloqa tizimlari UQTda ishlovchi radial-zonali ko'chma (harakatdagi) radioaloqa tizimlari bo'lib, ulardagi retranslyatorlar aloqa kanallarining abonentlararo avtomatik taqsimlanishi amalga oshiriladi. Bunday tizimlar eng avvalo turli xil muassasa va korporativ aloqa tarmoqlarni yaratishga qaratilgan bo'lib, ularda abonentlarning guruhiiy aktiv aloqa rejimi qo'llanilishi ko'zda tutilgan. Tranking tizimi turli mamlakatlarning harbiy kuchlari, huquqni himoya qilish muassasalari, jamoa xavfsizligi xizmatlari, transport va energetik kompaniyalar tomonidagi harakatdagi abonentlarning o'zaro, statsionar va telefon tarmog'i abonentlari bilan aloqa qilishini ta'minlash maqsadida keng foydalaniladi.



10.1-rasm. Bir zonali tranking tizimining umumlashtirilgan strukturaviy sxemasi.

Turli avlod sotali aloqa standartlari

Mobil aloqa standartlari	1G	2G	3G	Pre 4G
GSM / UMTS (3GPP) oilasi		GSM • GPRS • EDGE (EGPRS) ◦ EDGE Evolution • CSD HSCSD	UMTS • W-CDMA (UMTS) • HSPA ◦ HSDPA ◦ HSUPA ◦ HSPA+ • UMTS-TDD ◦ TD-CDMA ◦ TD-SCDMA • FOMA	3GPP Rel. 8 • E-UTRA (LTE)
cdmaOne / CDMA-2000 (3GPP2) oilasi		cdmaOne	CDMA-2000 • EV-DO	UMB
AMPS oilasi	• AMPS • TACS / ETACS	D-AMPS (TDMA)		
Mobil aloqa standartlari	1G	2G	3G	Pre 4G

Boshqa texnologiyalar				
• PTT • MTS • IMTS • AMTS • OLT • MTD • Autotel / PALM	• NMT • Hicap • CDPD • Mobitex • DataTAC	• iDEN • PDC • CSD • PHS • WiDEN		• iBurst • HiperMAN • WiMAX • WiBro • GAN (UMA)
Ko'p sonli ulanish uslublari	FDMA	TDMA/SSMA	CDMA/W-CDMA	OFDMA
Ishchi chastota diapazonlari • Sotali tizimlar - o GSM - o UMTS - o PCS • SMR	170MGs, 200MGs, 400MGs, 450MGs, 800MGs, 900MGs	800MGs, 900MGs, 1800MGs, 1900MGs	800MGs, 1800MGs, 1900MGs, 2200MGs	2,4–2,6GGs, 3,5GGs 5,6GGs

Umumiy foydalanish harakatdagi trunking radioaloqa tizimining ko'plab, turli xil standartlari mavjud. Ular bir-biridan nutq axborotini uzatish uslubi (analogli va raqamli), kanallarni chastotaviy (KCHAKF), vaqt bo'yicha (KVAKF) yoki kodli (KKA-KF) ajratish orqali ko'p stansion foydalanish turlari, kanallarni qidirish va tayinlash (markazlashtirilmagan va markazlashtirilgan boshqaruv), boshqaruv kanali turi (ajratilgan va taqsimlangan) va boshqa xarakteristikalar bilan farq qiladi.

Tranking tizimi tuzilish arxitekturasining asosiy tamoyillarini tushuntirish uchun trunking tizimining bir zonali umumlashtirilgan strukturaviy sxemasini ko'rib chiqamiz (10.1-rasm).

Bu yerda radiochastota qurilma tarkibiga retranslyator, antenna va radiosignallarni birlashtiruvchi qurilma kiradi.

Retranslyator. Retranslyator deganda bir juft tashuvchi chastotalarga mo'ljallangan qabul qilib-uzatuvchi qurilmalar to'plami tushuniladi. Analogli trunking tizimlarda bir juft tashuvchi chastotalar trafikning bitta kanalini bildiradi. Vaqt bo'yicha zichlashtiruvchi raqamli trunking tizimlarda (TETRA, EDAS, ProtoCAL va boshqa standartlar) bitta retranslyator ikkita yoki to'rtta trafik kanalini ta'minlashi mumkin.

Antennalar. Tranking tizimlarni qurishning muhim tamoyillaridan biri bu mumkin qadar ko'lamli katta bo'lgan qoplash zonasini yaratishdan iborat. Shuning uchun tayanch (baza) stansiyaning (BS) antennalari baland minoralar yoki inshootlarga joylashtirilishi va ular doiraviy yo'naltirish diagrammasiga ega bo'lishi zarur. Tayanch stansiya zona chekkasida joylashgan holda yo'naltirilgan antennalar qo'llaniladi. Tayanch stansiya bitta qabul qiluvchi-uzatuvchi antennaga yoki qabul qilish va uzatish uchun alohida antennalarga ega bo'lishi mumkin. Ba'zi hollarda ko'p nurli tarqalishdan kelib chiquvchi tinishlar bilan kurashish uchun bir tayanch minoraga bir nechta qabul qiluvchi antennalar joylashtirilishi mumkin.

Radiosignallarni birlashtirish qurilmasi qabul qilgich va uzatgichlarning bir necha chastotaviy kanallarda bir vaqtning

o'zida baravar ishlashi uchun bitta antenna jihozidan foydalanishga xizmat qiladi. Tranking tizim retranslyatorlarida faqat dupleks rejimda ishlash ko'zda tutiladi, qabul qilish va uzatish chastotalarining tarqoqligi 45MHz dan 3MHz gacha farq qiladi.

Kommutator tarmoq ichida va, shuningdek, tashqi tarmoqlar bilan ulanishni ta'minlaydi. BS hamma qismlari (uzel) birga ishlashini boshqarish qurilmasi amalga oshiradi. Bundan tashqari u chaqiruvlarni ko'rib chiqadi, chaqiriluvchi abonentlarni identifikatsiyalashni amalga oshiradi, chaqiruvlar navbatini o'rnatadi, vaqt bo'yicha to'lovlar uchun vaqt hisobini yuritadi, shuningdek lozim bo'lganda telefon tarmog'i bilan ulanish davomiyligini (boshqaradi) sozlaydi. Tranking tizimda UFTT interfeysi har xil usul bilan amalga oshiriladi. Arzon tizimlarda (masalan, SmarTrunk) ulanish ikki simli kommutator liniya bo'yicha olib boriladi. Zamonaviy tranking tizimlar UFTT interfeysi tarkibida ATSning standart raqamli nomer terish DID (Direct Inward Dialing) raqamni to'g'ridan to'g'ri teruvchi apparaturaga ega.

Yuqori sifatli xizmat ko'rsatishga qodir qator tranking tizimlar ATS apparaturasi bilan bog'lanishda raqamli IKM dan foydalanadi.

UFTT bilan bog'lanish tranking tizimlari uchun odatiy hol hisoblanadi, lekin ma'lumot uzatish shartli bo'lgan ilovalar sonining oshishi sababli, paketlar kommutatsiyasiga ega bo'lgan tarmoq interfeysining mavjud bo'lishi zarur hisoblanadi.

Texnik xizmat terminali. (TXT va E) tayanch stansiyada o'rnatiladi va tizim holatini nazorat qilish, nosozliklarni tashxislash, tarifkatsiyali axborotlarning hisobini yuritish, abonentlar ma'lumotlari bazasiga o'zgarishlarni kiritish uchun mo'ljallanadi. TXT va E ulanish uchun qoidaga ko'ra paketlarni kommutatsiyalash tarmog'idan foydalanadi.

Zarur bo'lganda tranking tizimlarida dispetcherlik pulti (DP) o'rnatiladi, bundan ko'pincha mudofaa UFTF va harbiy kuchlar

tashkilotlari, tez tibbiy yordam, yong'inga qarshi kurashuvchi organlar va boshqalar foydalanadilar. Tizimga DP yoki abonentlik radiosignali orqali yoki BS kommutatoriga bevosita ulangan ichki liniyalar bilan ulanadi. Tranking tizimida bir nechta mustaqil tarmoqni tashkil qilish mumkin va ularning har birida har xil ulangan DP ishlashi mumkin.

Tranking tizimida abonentlik qurilmalar to'plash juda xilma-xil. Ulardan juda ko'pchiligi yarimdupleksli radiostansiyalar bo'lib, ular yopiq gruppalardan ishlash uchun juda mos keladi. Bunday radiostansiyalar ko'pincha cheklanganlik funksional imkoniyati uchun raqamli klaviaturaga ega emas. Undan foydalanuvchilarga gruppada ichida abonentlar bilan bog'lanish yoki dispetcherga chaqiruv jo'natish kifoya. Ba'zan yarimdupleksli radiostansiyalarning keng funksional imkoniyatlari mavjud bo'lib, raqamli klaviaturaga ega, lekin bunda ular sezilarli darajada qimmat turadi.

Hozirgi davrda tranking tizimida ko'pincha sotali terminallarga qaraganda yuqori funktsionallikka ega bo'lgan, UFTTga ulanishga imkon beradigan, shuningdek yarim dupleks tartibi (rejimi)da guruhli ishlashni ta'minlovchi dupleksli radiostansiyalar qo'llaniladi.

Abonentlik qurilmalar ixcham (portativ) va avtomobilli ijroda chiqariladi. Avtomobilga o'rnatilgan qurilma uzatgichining chiqish quvvati odatda yuqori bo'ladi.

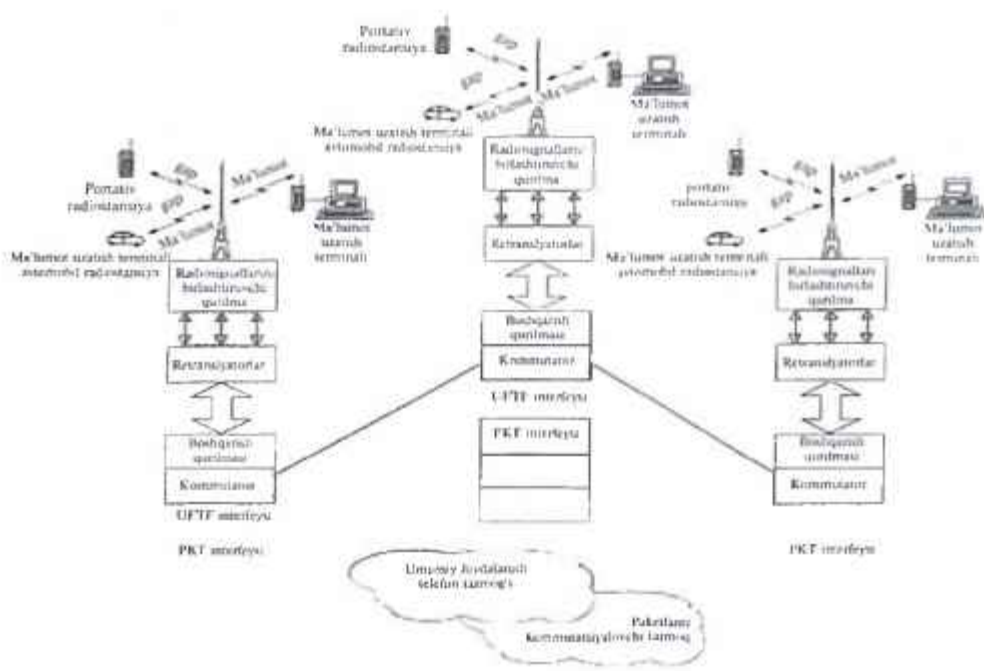
Radiointerfeysning tegishli protokoliga moslashtirilgan radiomodem va ma'lumotlarni uzatuvchi terminallar zamonaviy tranking tizimidagi abonent jihozlarning yangi sinfi hisoblanadi. DPga ulanish uchun muvofiq standart radiostansiyalar qo'llaniladi.

Hozirgi vaqtda tranking tizimlar ko'p zonali kabi ishlab chiqarilib, ularning arxitekturasi ikkita tamoyil (prinsip)ga asosan quriladi:

- zonalararo tarqatiladigan kommutatsiya bilan;
- markazlashtirilgan kommutatsiya bilan.

Birinchi tamoyil (prinsip) (10.2-rasm) uskunalarining narxi muhim omil (faktor) bo'lganda qo'llaniladi. Bunda UFTTga har

bir BS alohida ulanish imkoniga ega bo'ladi. Bir zonadan boshqa zonaga chaqirish telefon nomerini terish protsedurasini qo'llagan holda UFTT bilan interfeys orqali amalga oshiriladi. BSlararo ulanish fizik tashqi aloqa liniyalari yordamida kanallar yoki Internet tarmog'ini kommutatsiyalash yordamida amalga oshiriladi. Mazkur kommutatsiyalashni zonalar soni kam bo'lgan va transzonaviy chaqiruvlarning tezligiga talab yuqori bo'lmagan tizimlar uchun ishlatish mumkin

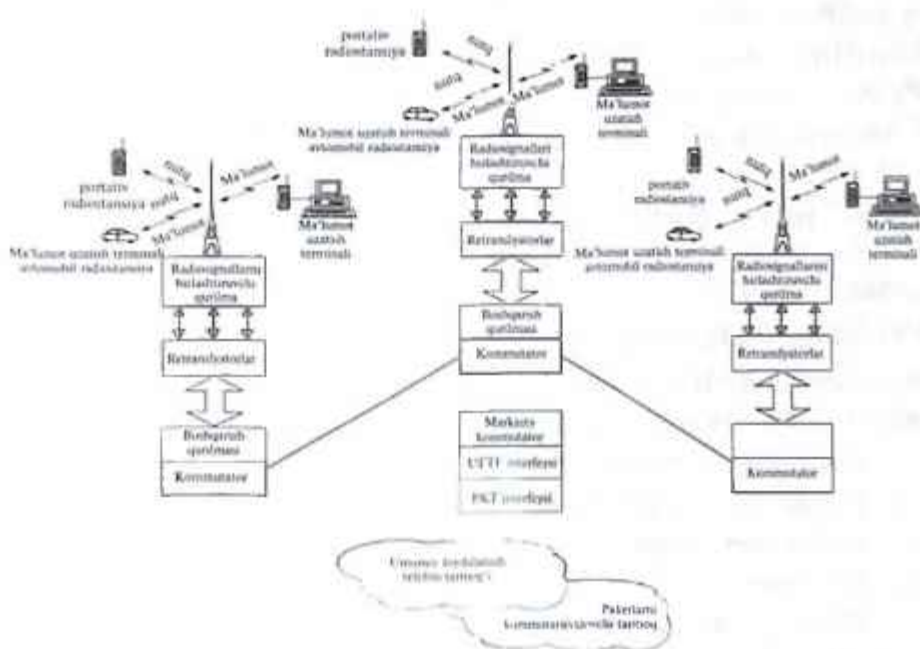


10.2-rasm. Zonalararo taqsimlangan kommutatsiyali tranking tizimning umumlashtirilgan strukturaviy sxemasi.

Markazlashgan kommutatsiyali ko'p zonali tizim xizmat ko'rsatish sifati yuqori bo'lgan tizimlarda qo'llaniladi. Bunday tizimning tuzilishi 10.3-rasmda keltirilgan.

Bu sxemada asosiy bo'g'un — zonalararo chaqiriqlarning barcha turlariga ishlov berib va uni markazlashtirilgan dispetcherlik

punktiga ulashni tezlashtirish imkonini beradigan markaziy kommutatordir. Bundan tashqari abonentning qayerdaligi to'g'risidagi axborot bir joyda to'plangan bo'ladi, UFTT va SKPning tarmoq bilan aloqasi markaziy kommutator orqali amalga oshiriladi, shuning uchun, birinchidan butun trafik to'liq nazoratda bo'ladi, ikkinchidan esa tizim yuqori boshqarishga ega bo'ladi. Lekin bunday kommutatorning narxi qimmatdir.



10.3-rasm. Markazlashtirilgan zonalararo kommunikatsiyali trunking tizimning umumlashtirilgan strukturaviy sxemasi.

Shunday qilib, uyali aloqa tarmog'idan farqli ravishda trunking tizimining o'zgacha xususiyati bu — infrastrukturaning chegaralanmaganligi va BS xizmat ko'rsatish zonasining keng qamrovligidir. Buni shunday tushuntirish mumkin-ki, tizimning minimal narxida katta maydonlarda guruhli ishlashga yordam beradi.

Abonent jihozining keng to'plami trunking tizimga korporativ mijozning ko'chma aloqaga nisbatan deyarli barcha ehtiyojlar spektrini qamrab olish imkonini beradi. Turlicha funksional vazifalarga ega bo'lgan qurilmalarga yagona tizimda xizmat ko'rsatish imkoniyati xarajatlar kamayishining yana bir omili hisoblanadi.

Yuqorida ta'kidlanganidek, trunking tizimlari o'z kanallari asosida mustaqil ajratib chiqarilgan aloqalar tarmog'i (shaxsiy virtual tarmoq deb ataluvchi)ni tuzish imkoniyatini beradi. Bu esa bir nechta tashkilotlarning birgalikdagi harakatlari bilan alohida tizimlarni o'rnatish o'rniga yagona tizim yaratish imkonini beradi. O'z navbatida radiochastotalar sezilarli darajada tejashga erishiladi, shuningdek infrastrukturaning narxi pasayadi.

10.1.1. Radioaloqa trunking tizimiga qo'yiladigan asosiy talablar

Trunking radioaloqa ko'rsatiladigan xizmatlarning xilma-xilligi bilan tavsiflanadi (xarakterlanadi), shuning uchun u quydagi talablarga javob berishi kerak:

1. Tayinlangan xizmat zona doirasida aloqani ta'minlash;
2. Harakatlanuvchi abonentning qayerdaligi to'g'risida ma'lumot bo'lmagan taqdirda aloqa o'rnatish ehtimolli darajasining yuqori bo'lishi;
3. Turli guruh abonentlarining o'zaro birgalikda ishlash imkoniyati;
4. Aloqa xavfsizligi;
5. Talab qilingan xalaqitbardoshlik;
6. Nutq signallarini qabul qilishdagi yuqori sifatlilik;
7. Chastotalar polosasidan foydalanish samaradorligi;
8. Mobil stansiyaning kam energiya iste'mol etishi;
9. Aloqani operativ boshqarish tezligi, shuningdek boshqaruvni har xil darajada ta'minlash, sirkulyar aloqa imkoniyati, aloqani markaziy boshqaruv orqali ta'minlash, aloqa kanallarini prioritetli ajratilish imkoniyati.

Berilgan yuqori ehtimolli xizmat doirasida aloqa bilan ta'minlash, abonentning qayerda bo'lishidan qat'iy nazar aloqaga kirish qulayligini takomillashtirish va ajratib chiqarilgan qabul qilish-uzatish stansiyalari va turli radiotranslyatorlardan foydalanish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Tizimda aloqa xavfsizligi uzatilayotgan xabarlarini shifrlash va kalitli maskirovka qilish yo'li bilan ta'minlanadi. Bundan tashqari, aloqani o'rnatish abonentlarni autentifikatsiyalash va abonent stansiyalarini identifikatsiyalash tartiblari orqali amalga oshiriladi. Abonentlar gruppasi birga ishlashi uchun, ya'ni "har kim har kim bilan" shifrli tamoyili bo'yicha radiosozlashuv uchun umumiy chastotali diapazon, umumiy kalitlar va maskirovkalar qo'llaniladi.

Xalaqitga chidamlilikni oshirish uchun analogli trunking tizimlari o'rniga kodlashtirish va aralashtirish usullarini qo'llashga imkon beruvchi uzatishning raqamli usullari tatbiq qilinadi. Bundan tashqari, radiotraktarning kanallarida yuzaga keladigan o'zgarishlarga moslashtirish uchun ularni fazoviy va chastotaviy ajratib joylashtirish qo'llaniladi.

Analogli tizimlarda, qabul qilinayotgan nutq signallari tushunarliklik sifatining yuqoriligi quyidagi standart usullari bilan ta'minlanadi: modulyatsiya turini ratsional tanlash, modulyator va demodulyatorlarning tuzilish tartibi, yuqori sifatli akustik o'zgartirgich va boshqalardan foydalanish. Raqamli tizimlarda yuqori sifatni ta'minlashda tezligi 9.6 kbit/s ARO'ga moslashgan deltamodulyatordan foydalaniladi va CELP va VSELP rusumli nutq o'zgartiruvchi moslama qo'llanganda o'zgartirish tezligi 4.8 kbit/s tashkil qiladi.

Ma'lumki, ko'p sonli foydalanuvchilar orasida kam sonli kanallarni avtomatik va dinamik taqsimlash amali "trunking" ("TRUNKING") deb ataladi. Trunking aloqani amalga oshirishning bo'sh aloqa kanalini qidirishga turlicha yondoshishga asoslangan ikkita asosiy tartibi mavjud. Birinchi holatda bo'sh kanalni qidirish va chaqiriqni uzatish abonent stansiyasi tomonidan butun ajratilgan chastotalar diapazoni bo'yicha band bo'lmagan kanalni skanerlash yo'li bilan

amalga oshiradi. Ikkinchi holatda qidiruv singari operatsiya tranking tizimning boshqaruv quyi tizimi tomonidan amalga oshiriladi.

Aloqaning tranking tizimida boshqaruv kanali bo'lmaganda "Trank"ning barcha vazifalari abonentlik radiostansiyaning zimmasiga yuklanadi. Bunday sharoitda bog'lanish so'ralganda abonentlik radiostansiya bo'sh kanallar mavjudligini, yaqin atrofda joylashgan retranslyator holatini va chaqirilayotgan abonentning tayyorligini bilmaganligi uchun tizimning barcha radiokanallarini birin-ketin skanerlaydi. Agar chaqirilganda "band" signali olinsa, butun tizimning holati to'g'risida xulosa chiqarish mumkin emas. Barcha kanallar band. Tizimda abonent qayd qilinmagan yoki tayanch stansiya-da elektr energiyasi o'chirilgan (nosoz) bo'lishi mumkin. Yagona yo'l takroriy terishdir. Bo'sh kanal topilgandan so'ng uni egallaydi, shundan so'ng retranslyator abonentning chaqiruv signalini efirga uzatganda javob berilsa, unda aloqa seansi tashkil qilinadi. Bog'lanishning o'rtacha vaqti bir sekunddan bir nechta sekundgacha bo'lib, u tizimdagi kanallar soniga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun band bo'lmagan kanalni qidirishning bu usulidan ko'p bo'lmagan (5–8) sonli aloqa kanallarida foydalanish maqsadga muvofiqdir.

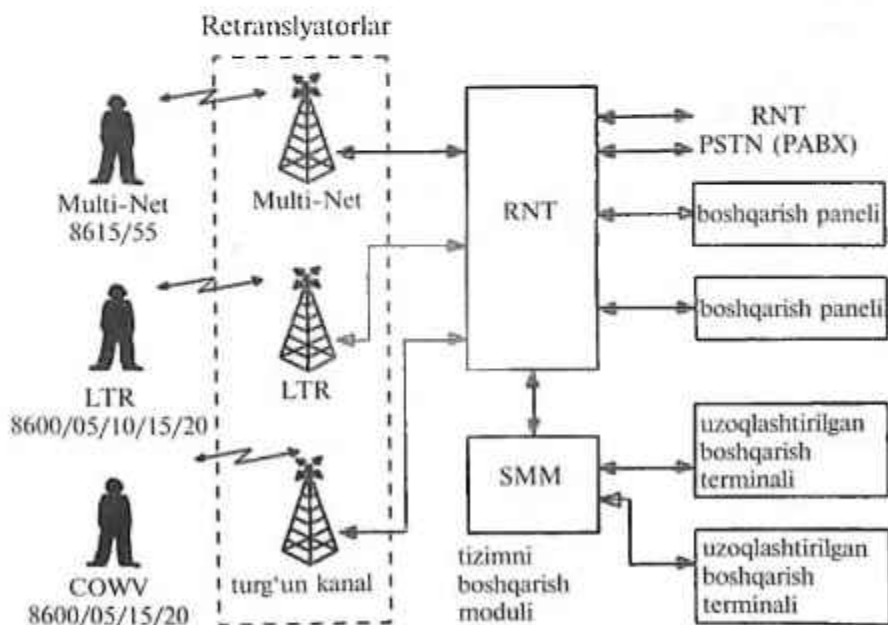
Bunday boshqaruv kanalsiz tranking tizimlaridan biri Amerika-ning 1992-yilda taqdim qilingan Smar Trunk Sustems — Smar Trunk firmalari tizimidir. Bu tizim ishlatilishi sodda va xizmat ko'rsatilishi nisbatan arzon bo'lgan bir zonali radio-radiotelefon aloqasidir.

Shu bilan birga yuqori texnik parametrlarga ega bo'lgan Smar Trunk tizimi muvaffaqiyatli rivojlandi va ancha murakkab va qimmat tizimlar bilan bir qatorda keng joriy qilindi.

Boshqaruvning zamonaviy tranking tizimlarida aloqa kanallarining bandligini tezkor tahlil qilish orqali, tarmoq ishini to'liq boshqarishni amalga oshirishga maxsus kanal qo'llaniladi. Bunday holatda aloqani o'rnatish vaqti sezilarli darajada qisqaradi.

Tranking aloqa tizimida, alohida boshqaruv kanaldan foydalanish kelajagi bor (perspektivli) deb hisoblanadi, lekin bunday kanalni tashkil qilish bo'yicha hali standart mavjud emas. Shuning uchun turli firmalar qurilmalarni mustaqil ravishda ishlab chiqarmoqdalar.

Birinchilar qatorida, 70-yillarda AQSHda, EF.Johnson CO firmasi tomonidan harakatdagi radioaloqaning analog tranking tizimi ishlab chiqib, u boshqaruv signallarini uzatish uchun nutq signali chastota spektrining pastki qismida joylashgan tovushli chastotali axborot polosasidan foydalandi. Mazkur tizimda boshqaruv signallar uzluksiz aloqa seans davomida nutq signallari bilan baravar uzatiladi. Eng avvalo, EF.Johnson CO firmasi tomonidan ishlab chiqarilgan harakatdagi radioaloqa tranking tizimida aloqa kanallarini mantiqiy boshqaruv bitta zona yoki tarmoq (LTR) doirasida amalga oshirilgan. Keyinchalik analogli ko'p tarmoq (Multi-Net) tizimlari (10.4-rasm) ishlab chiqilib, qayd qilingan kanallar bilan aloqa tarmoqlarini ham hisobga olgan holda ularda bitta zonadan bir nechta tarmoqlarni ushlab turish va boshqarish mumkin bo'lgan.



10.4-rasm. Kanallarning qaydlangan taqsimlanishli Multi-Net LTR tarmog'i.

Qayd qilingan kanallarni taqsimlash Multi-Net LTR tarmoqlarida ko'chma stansiyalar dasturiy ta'minoti bilan ajralib turadi, retranslyatorlar esa qo'llaniladigan chastotali diapazonlari bilan radioaloqa terminallari (RNT) retranslyatorlardan ma'lum masofaga uzoqlashtirilishi va u bilan aloqa liniyalari orqali bog'langan bo'lishi mumkin. Bunga qo'shimcha bitta RNTga 30 tagacha retranslyatorlar ulangan bo'lishi mumkin.

Boshqaruv moduli (SMM) RNT orqali tizimni boshqaradi, uning vazifasiga radioretranslyatorlar parametrlarini uzoqdan tutib dasturlash imkoniyati va ko'rsatilgan xizmatlar hisobi kiradi. Boshqaruv aloqaning butun seans davomida retranslyator bilan ko'chma stansiya orasida signallarning uzluksiz uzatilishi amalga oshiriladi.

Boshqaruv signallari past chastotali 150 Hz gacha bo'lgan polosada uzatiladi. Ko'chma stansiyaning tizimga kirish vaqti 0.5 sekunddan oshmaydi. Tarmoqqa kirish, tarmoq operatori tomonidan dastur usulida o'rnatilgan maxsus kirish kodlari (ID) gruppasining signalini uzatish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Turli xildagi ko'chma stansiyalar bir-birini eshitishmaydi. Bir boshqaruv signali elementining davomiyligi 3.33 millisekundni tashkil qilib, u 300 bit/s uzatish tezligiga mos keladi. "EF.Johnson CO" firmasining boshqaruvni taqsimlovchi trunking aloqa tizimidagi asosiy afzallik shundan iboratki, uning markaziy boshqaruv tizimlarida ko'zda tutiladigan alohida boshqaruv radiokanalining yo'qligidir.

Motorola firmasining trunking tizimlarida markazlashtirilgan boshqaruv ham ko'p funksiyalarga ega bo'lgan bir zonali analogli tizimlarda, ham "SMARNET", "STARTSAYT" va "SMARTZON" singari raqamli kirish va boshqaruvga ega bo'lgan ko'p zonali tizimlarda qo'llaniladi. "STARTSAYT" tizimida bir vaqtning o'zida 5 ta kanal ish bilan ta'minlanadi, ulardan biri boshqaruv kanali uchun ajratiladi. Bu tizimning

afzalligi shundaki, undan boshqaruv kanali bilan ishlash rejimida ham uni vaqtinchilik gaplashishi uchun ishlatish rejimida ham foydalanish mumkin. Boshqaruv kanali bilan ishlash rejimi holatida bu kanalda shoshilinch muhim xabarlarini, masalan favqulodda avariya sodir bo'lganda chaqiriqlarni uzatish mumkin. Boshqa kanallar band bo'lgan holatda boshqaruv kanali so'zlashuv kanali sifatida foydalanilishi mumkin. Bunday holatda tizim boshqaruv kanalining mavjudligi bilan bog'liq barcha ustunliklarini yo'qotadi. Kanallardan birini boshqarish uchun ozod qilinganda (5 ta kanalli variantda 4 ta kanal) tizim avtomat ravishda bu rejimga o'tkaziladi. Rejimni o'zgartirish tizim operatorlari tomonidan amalga oshirilishi mumkin.

10.1.2. Tranking radioaloqa tizimlaridagi standartlar

Ko'pchilik operatorlar va ishlab chiqaruvchilar, turli radioaloqa tranking tizimlarini birlashtirish uchun kerakli bo'lgan yagona standart sifatida Buyuk Britaniya pochta va kommunikatsiya vazirligi MRT 1327 (Ministry of Post and Telecommunication) tomonidan ishlab chiqilgan ochiq protokolni tanlashdi. Bu standartning asosiy vazifasi signalizatsiya protokolini normallashtirishdir. U xilma-xil chastotali diapazonlar uchun turli konfiguratsiyadagi PMR va PAMR tarmoqlarida qo'llanilishi mumkin. Ko'chma stansiya MRT 1343 protokoli bo'yicha radiointerfeysdan, tayanch stansiyasi esa MRT 1347 protokoli bo'yicha radiointerfesdan foydalanadi. PMR va PAMR raqamli tizimlarida sinxronlashtirish kodning formati MRT 1317 protokoli bilan aniqlanadi. MRT 1327 protokoli kiritilgan MRT 1317 protokolining strukturasi 10.5-rasmda berilgan.

Axborot xabarlar analogli radiokanallar bo'yicha uzatilgan taqdirda MRT 1327 standartining formati signalizatsiyaga reglamentlashtiriladi. Signalizatsiya formatining asosiy strukturasi 10.6-rasmda keltirilgan.

oshirishga tayyor bo'lish uchun kerak bo'ladi. Uning ketidan 16 ta bit dan tashkil topgan "0" bilan tamom qiluvchi "1" va "0" meandrli ketma-ketlikdagi preambula keladi. Preambula aloqa kanalining taktli sinxronligini ta'minlash uchun xizmat qiladi.

Undan keyin sinxron ketma-ketlik, adres kodlari, ma'lumotning bitta yoki bir nechta kodli so'zlari majmuasidan tashkil topgan jo'natmalar (message) keladi. Signalizatsiya formati xabar tarkibidagi kodli so'zning oxirgi belgisiga qarab, "1" va "0" dan iborat kelishuv (N) bilan yakunlanadi.

Sinxronlash davriyligi "Message" formatning sinxron ketma-ketligi bilan ta'minlanadi va 16 bit dan tashkil topadi. 10.6-rasmda ko'rsatilganidek, boshqaruv kanali va aloqa kanalining sinxron ketma-ketliklari har xil bo'lib, ular bir-biriga inversli hisoblanadi. Sinxron ketma-ketlikdan keyin 64 bit dan tashkil topgan shartli kodli so'z keladi.

Kodli so'zlar adres yoki ma'lumotlarni tashishi mumkin. Ular birinchi bit bilan farq qiladi. Bunday holatda, agar "1" uzatilsa, adresli kodli so'z, "0" uzatilganda esa kodli so'zda ma'lumotlar uzatiladi. Axborot maydoni ikkinchi bitdan boshlanib, 48 da tamom bo'ladi. Message blokidagi oxirgi 16 bit, 49 dan boshlab, tekshiruvchi hisoblanadi va xatolarni nazorat qilish uchun xizmat qiladi.

Tranking aloqa tizimining tayanch stansiyasi kontrolyori va uning radiointerfeysi MRT 1347 standartiga javob beradi, abonentlik uskunasi esa MRT 1343 standarti talablariga javob beradi. MRT 1347 standartiga asosan radiosignallarni shakllantiruvchi tayanch stansiya uzatgichining chastota tarqoqligi 12.5 kHz dan oshmasligi lozim. Quyidagi 201.2125 MHz dan 207.4875 MHz gacha bo'lgan chastota diapazonda qabul qilingan kanallarning nomerlanishi 58 dan boshlanib 560 da tugaydi.

Chastotaning absolyut barqaror bo'lmaganligi ± 1 kHz dan, deviasiyasining esa maksimal og'ishi ± 2.5 kHz dan oshmasligi kerak. Nutq xabarlarini uzatishda fazali modulyatsiyalash, raqamli xabarlarni uzatishda esa tonal quyi eltuvchisi va FFSK modulyatsiya qo'llaniladi.

Raqamli xabarlarni uzatishda, standart modulyatsiyalash (o'lehamlarining/parametrlarining) quyidagi talablarga javob berishini ko'zda tutadi:

1. Kanal polosasida signalning sathi minus 35 dB dan oshmasligi lozim;

2. Uzatish tezligi 1200 bit/s ga teng;

3. Quyi eltuvchi chastota "0"ni uzatishda 1800 Hz, "1" uzatishda 1200 Hz ga mos keladi;

4. Modulyator AChXning notekisligi 1.5 dB dan kam bo'lishi kerak;

5. Chastotalarning maksimal og'ishi:

* normal sharoitda $-1.5 \text{ kHz} \pm 250 \text{ Hz}$;

* chekli qiymatlari $1.56 \text{ kHz} \pm 500 \text{ Hz}$.

Tayanch stansiyasining qabul qiluvchi qurilmasi chastotaviy farqlanishi 12.5 kHz bo'lganda signalni 58 dan 560 gacha bo'lgan kanallarning birida 193.2125 — 199.4875 MHz li diapazonida qabul qiladi. Chastotalarning mutloq beqarorligi (noturg'unligi) $\pm 1 \text{ kHz}$ dan oshmasligi 300 Hz — 2.55 kHz polosada AChX notekislik esa $\pm 3 \text{ dB}$ dan ko'p bo'lmasligi kerak.

Abonentlik stansiyaning radiointerfeysiga bo'lgan talabni aniqlovchi MRT1343 standarti tayanch stansiyasi radiointerfeysiga qo'yilgan, qayd qilingan talablarga, $\pm 1.5 \text{ kHz}$ gacha yo'l qo'yiladigan chastotalar beqarorligi (noturg'unligi)dan tashqari mos keladi.

Tranking tizimi so'zlashuv xabarlari ma'lumotlarini radiokanalarda uzatish MRT protokollari bilan kelishilgan, ma'lumotlar terminali, EHM va boshqa raqamli tizimlarni radiostansiyaga ulashga yo'l qo'yuvchi MAP (Mobil Access Protocol) (10.7-rasm) protokolidan foydalangan holda amalga oshiriladi.

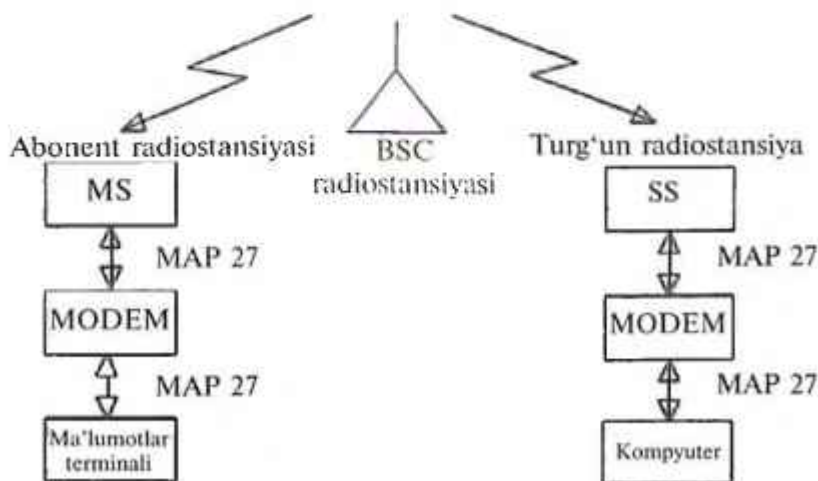
Raqamli tranking aloqa, konvensional va tranking radioaloqaning klassik analogli tizimlar rivojlanishining tabiiy taraqqiyot bosqichi hisoblanadi. Raqamli texnologiya analogli radioaloqa tizimlarida bajarish mumkin bo'lmasa, professional mobil radioaloqani yangi sifatli darajaga ko'tarish imkonlarini beradi.

Ericsson firmasi tomonidan ishlab chiqilgan EDACS (*Enhanced Digital Access Communication System*) standarti eng birinchi

raqamli standartlardan biri hisoblanadi. Dastlab so'zlashuv (nutq) ni analogli uzatish uchun ishlab chiqarilgan bo'lib, keyinchalik esa u kelib chiqqan talablarga muvofiq raqamli turga o'zgartirildi.

EDACS standarti ham bir zonali, ham ko'p zonali tizimlar tuzishning imkonini beradi. Ular tayanch stansiyalari (BTS)dan, tarqatilgan qabulning uzoqlashtirilgan punktlaridan, ko'p stansiyali muvofiqlashtiruvchi (ko'p zonali konfiguratsiya uchun) va abonent qurilmasidan tashkil topgan. BTS tarkibiga qabul qilish-uzatish retranslyatori (RT) va boshqaruvning taqsimlangan qurilmasi (BQ)ga qo'shimcha markaziy boshqaruv kompyuteri, dispatcherlik pultlari va umumiy foydalanish telefon tarmoqlarining UFTT interfeysi kiradi.

Standart MS va BQ o'rtasidagi kerakli axborot almashinuvi uchun yuqori tezlikli (9.6 kbit/s) ajratilgan boshqaruv kanali (BK) dan foydalanib, kanallarni chastotali bo'lishni ko'zda tutadi. BK mavjudligi aloqa kanalini tez (masalan, bir zonali tizimda bu vaqt 0.25 s dan oshmaydi) tashkil etish imkonini beradi. Qayd qilish lozimki, ishchi kanalda axborotni uzatish tezligi ham 9.6 kbit/s mos keladi.



10.7-rasm. MAR 27 protokoli.

EDACS tizimi tranking uzatish va xabarlarini tashkil qilish imkonini beradi.

1. Xabarlarini trankinglash aloqa kanalini butun suhbat davomida ushlab turish imkonini beradi.

2. Uzatishlarni trankinglash aloqa kanalini, faqat abonent tomonidan suhbatning bir jumlasini talaffuz qilish vaqtidagina ushlab turish imkonini beradi.

Birinchi usul — aloqa tizimlarida an'anaviy turda va UFTT bilan bog'langanda qo'llaniladi.

Ikkinchi usul — MS ning faqat dubleksli ishlatilishida qo'llaniladi va bu holatda uzatgich abonent tomonidan suhbatning bir jumlasini talaffuz qilingandagina uzatishga ulanadi.

Birinchi abonent talaffuzining tugashi bilan ikkinchi abonent talaffuzi boshlanishi o'rtasidagi pauzada (sukutda) MS uzatgichi o'chadi, bu esa aloqa kanali trafigidan yuqori samarada (effektida) foydalanish imkonini beradi. Ammo, suhbatning komfortligi (badasturligi) pasayadi. Masalan: yuqori yuklanish (nagruzka) da kanal biroz kechikish bilan taqdim qilindi, bu esa suhbatning fragmentlanishiga va parchalanishiga olib keladi.

Tizimning o'tkazish imkoniyati unumli foydalanishni ta'minlash uchun qoidaga ko'ra, ko'pchilik abonentlarga faqat tranking uzatishlarga ruxsat beriladi. Bunda so'zlashuv sifati yomonlashmasligi uchun kanallarni taqdim qilish jarayoni optimallashtiriladi.

Transport darajasidagi protokol RDI (*Radio Data Interfase*) ma'lumotlarni uzatish uchun xizmat qiladi. U xatolarni aniqlash va tuzatishga, qabulni tasdiqlashga va uzatishni avtomat ravishda takrorlashga imkon beradi.

Katta maydonni ko'p zonali qoplashda markazida ko'p stansiyali koordinator (MSC) joylashtirilgan va nurlar uchlarida esa zonaning BTS joylashgan "yulduz"li topologik sxemasi qo'llaniladi. Bunday tarmoqda zonalarning maksimal soni 32 ni tashkil qiladi.

Ko'p stansiyali koordinator zonadagi abonentning joriy holatini kuzatadi va butun ko'p zonali yalpi tarmoqda esa yagona nomerlanish ta'minlanadi. Buning uchun maqsadda abonentlarni avtomatik ravish-

da ro'yxatga olish qo'llanilinadi. Boshqaruv kanali (BK) bilan aloqaning yo'qolib qolishi qayta ro'yxatga olish kriteriyasi hisoblanadi.

Har bir zona uchun RT va BTS miqdori (soni) 20 taga yetishi va ishchi kanallardan har biri boshqaruvchi sifatida qo'llanilishi mumkin. Har bir RT universal bo'lib, 9600 bit/s tezlikda ham analogli so'zlashuv signalini, ham raqamli axborotlarni uzatish imkoniga ega bo'lishligi tufayli bunday almashinish mumkindir. Har bir RT tarkibiga BK retranslyator ishdan chiqadigan holatda uning o'rnini bosuvchi intellektual BQ kiradi.

Talabga qarab, BTS turli xil qo'shimcha qurilmalar bilan to'ldirilgan bo'lishi mumkin, bu esa tizimning darajasini taqdim etadigan imkoniyatlarini oshiradi.

1996-yil Ericsson tomonidan chiqarilgan EDACS ProtoSall raqamli trunking tizimi TDMA radiointerfeysidan foydalanishi mumkin va u EDACS tizimining keyingi zamonaviylashgan turi hisoblanadi. Bu tizimda bitta asosiy tashuvchi chastotada bitta, ikkita yoki to'rtta nutq kanallari uzatiladi. Chastotalar o'zgarish qadami, ilgariidek 25 kHz ga teng, ammo uzatish kanallar soniga bog'liqli ravishda chastotalarning samarali polosasi 25 kHz (1 kanal), 12,5 kHz (2 kanal) va 6,25 kHz (4 kanali) ish tashkil qiladi)larga tengdir.

EDACS ProtoSall tizimida radiochastotali qurilma 800MHz va 900MHz so'zlashuvni uzatish ham amalga, ham raqamli formada amalga oshirishi mumkin, ammo raqamli chastotali kanallarni yoki ma'lumot uzatish (MU) kanallarni ajiratisht ko'zda tutilmaydi.

EDACS tizimini EDACS Protocall ga o'tkazish ko'zda tutilgan. Unda ma'lumotlar bazasi avtomat ravishda o'zgartiriladi, TDMA dan foydalanish esa yuklamaning ortishiga qarab amalga oshirilishi mumkin, uning ustiga har bir chastotali kanalga alohida holatda.

Nazorat savollari:

1. WiMAX tarmoqlarida MIMO texnologiyalardan foydalanishning qanday asosiy afzalliklari mavjud?

2. Nurlarni shakllantirilishi usuli va MIMO texnologiyalarni birlashtirishda qanday murakkabliklar mavjud?

3. Nurlarni shakllantirilish usuli va MIMO texnologiyalarni birlashtirishda qanday yutuqqa erishiladi?

4. WiMAX tizimlari uchun radiochastotalarni taqsimlashda qanday butundunyo an'analari mavjud?

5. WiMAX tarmoqlari uchun spektrni taqsimlash qanday muammolarga bog'liq?

6. Litsensiyalanadigan va litsenziyalanmaydigan chastotalar polosalari qanday farqlanadi?

7. 3,5GGs diapazonda spektrni taqsimlanishining qanday o'ziga xos xususiyatlari mavjud?

8. 5GGs diapazonda spektrni taqsimlanishining qanday o'ziga xos xususiyatlari mavjud?

9. 2,5GGs (WCS, 2,4GHz ISM va MMDS) diapazonda spektrni taqsimlanishining qanday o'ziga xos xususiyatlari mavjud?

10. WiMAX tarmoqlari uchun qanday qo'shimcha chastotalar polosasi ko'zda tutilgan?

11. WiMAX tarmoqlari uchun Yevropada spektrni taqsimlanishining qanday o'ziga xos xususiyatlari mavjud?

12. WiMAX tarmoqlari uchun Rossiyada spektrni taqsimlanishining qanday o'ziga xos xususiyatlari mavjud?

13. Xavfsizlik assotsiatsiyalariga tavsif bering va ularning qanday turlari mavjud?

14. Ma'lumotlar uchun qanday xavfsizlik assotsiatsiyalari mavjud va ular qanday tashkil etuvchilardan tashkil topgan?

15. Avtorizatsiya uchun xavfsizlik assotsiatsiyalarining qanday tashkil etuvchilari mavjud?

11.1. IMT-2000 radiointerfeyslari

Shunday qilib, o'tgan asrning oxirida ikkinchi avlod mobil aloqa tizimlarining asosiy kamchiligi ularning past 9,6—14,4kbit/sek tezlikda ma'lumot uzatishi bo'ldi. Shu sababli, yuqorida ko'rsatilganidek, IMT-2000 doirasida 3G tarmoqlarida kam harakatlanadigan abonentlar uchun 2Mbit/sek gacha va mobil abonentlar uchun 384kbit/sek gacha ma'lumot oqimi tezliklariga erishish bo'yicha ishlar olib borildi. Ma'lumki, jahonda 3GRR va 3GRR-2 nomlari bilan mashhur bo'lgan uchinchi avlod standartlarini shakllantiruvchi ikkita global hamkorlik birlashmalari mavjud. 3GRR qatnashchilari chastota (FDD) va vaqt (TDD) asosida duplekslashdan foydalanadigan keng polosali W-CDMA (ingl. *Wideband-CDMA*) texnologiyalari uchun xos xususiyatlarni muvofiqlashtirishga erishdilar va HTlga tegishlicha, IMT-DC va IMT-TC loyihalarini taqdim etdilar. Radiointerfeysni tashkil etish bo'yicha asos sifatida Yevropa takliflari — UTRA (ingl. *UMTS Terrestrial Radio Access — UMTS tizimiga Yer usti ulanish radiointerfeysi*) asosida UTRA FDD va UTRA TDD variantlari qo'yildi. 3GPP-2 birlashma a'zolari D-AMPS texnologiyasini UWC-136 texnologiyasigacha va cdmaOne texnologiyasini CDMA-2000 texnologiyasigacha rivojlantirish bo'yicha evolyutsion yo'llarni taklif etishdi. Bu takliflar HTlga, tegishlicha, IMT-SC va IMT-MC loyihalari sifatida taqdim etildi (11.1-jadvalga qarang).

Shunday qilib, IMT-2000 dasturi doirasida 3G darajasida standartlarni birlashtirishga urinishlarga qaramasdan, jahonda W-CDMA (UMTS, FOMA) va CDMA-2000 texnologiyalari asosidagi o'zaro moslashmaydigan ikkita standartlar oilasi vujudga keldi (11.2-jadvalga qarang). Uchinchi avlod mobil aloqa tizimlari haqida keyingi mavzularda atroflicha ma'lumot beriladi, shu bois bu o'rinda faqat ularning rivojlanish jarayonini yoritish bilan cheklanamiz.

Radio-interfeys xarakteristikasi	Radiointerfeyslar					
	IMT-DS	IMT-MC	IMT-TC	IMT-SC	IMT-FT	IMT Advanced
Spetsifikatsiyalarni ishlab chiquvchi tashkilot	3GPP, ARIB, ETSI	3GPP2, TTA, TR-45.3	3GPP, ETSI, CWTS	3GPP2, UWCC, TR-45.3, TTA	ETSI	IEEE
HTI tomonidan radio-interfeys qabul qilingan yili	1999-y.	1999-y.	1999-y.	1999-y.	1999-y.	2007-y.
Asosidagi texnologiya	W-CDMA, UTRA FDD	CDMA-2000	UTRA TDD, TD-SCDMA	UWC-136	DECT EP	Wireless MAN, WiMAX
Ulanish usuli	DS-CDMA	MC-CDMA	TDMA/CDMA	TDMA	MC-TDMA	OFDMA
Dupleks ajratish usuli	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD/TDD	TDD
Kanaldagi manipulyatsiya tezligi (Mchip/sek)	3,84	3,8411) 1,2822)		—	—	(0,5x 3,84)... (8x3,84)
1) UTRA TDD texnologiyasi uchun. 2) TD-SCDMA texnologiyasi uchun.						

2G	2,5G	2,75G	3G	3,5G	3,75G	Pre 4G	4G
- GSM - cdma One - D-AMPS - PDC	- GPRS	- EDGE	- W-CDMA - UMTS - FOMA - TD-SCDMA - CDMA-2000	- HSPA - HSDPA - HSUPA - EV-DO Rel.0	- HSPA+ - EV-DO Rev.A,B	- LTE	- LTE Advanced

11.2. 2G avlodidan boshlab sotali aloqa tizimlarining standartlari

UMTS tarmoqlarining joriy etilishi mobil aloqaning rivojlanishida prinsipial yangi bosqich bo'ldi va mobil tarmoqlarda ma'lumotlarni uzatishda maksimal 2,048Mbit/sek gacha tezlikka erishishga imkon berdi. UMTS tizimlarining GSM/GPRS/EDGE tizimlaridan asosiy farqi 5MGs o'tkazish polosasiga ega bo'lgan keng polosali signallardan (KPS) foydalanilishi bo'ldi. UMTS texnologiyasining yana bir afzalligi signalning yuqori to'siqqa bardoshliligi va uning ko'p nurlilik ta'siriga barqarorligi hisoblanadi. Bundan tashqari, KPSdan foydalanish kanallarini ajratishning kodli usulini (CDMA) ishlatish imkonini beradi.

CDMA ONE (IS-95) standartining rivojlanishidagi oraliq bosqich IS-95b spetsifikatsiyasi bo'ldi. U 8 tagacha mantiqiy kanallarni bir-lashtirishga va $14,4 \cdot 8 = 115,2$ kbit/sek nazariy tezlikka erishishga (real tezlik 64kbit/sek ni tashkil etdi) imkon berdi. Keyingi qadam **CDMA-2000** loyihasi bo'ldi, u pirovard natijada IMT-2000 tomonidan 3G tarmoqlariga qo'yilgan talablarga javob berishi kerak edi. CDMA-2000 standartlari rivojlanishining uchta bosqichi ko'zda tutilgan edi: 1X (2,75G darajasida), 3X va SDMA-2000DS (ingl. *Direct Sequence* – "to'g'ri ketma-ketlik"). So'nggi bosqich texnik jihatdan W-CDMaga o'xshash bo'lgani uchun bu yuzasidan ish olib borish to'xtatildi. CDMA-2000 standartlari oilasi 3G darajasidagi tarmoqlardan to Pre4G darajasidagi tarmoqlargacha oraliq

bosqichlardan o'tib kelmoqda. Lekin hozirgi kunda 3,5G; 3,75G; 3,9G avlodlari haqida gap ketganida, bizning hududimizda ko'proq 3GRR (ya'ni UMTS-HSPA-HSPA+ va LTE) texnologiyalari-ning rivojlanish bosqichlari nazarda tutilmoqda. Shu bois bu yerda aynan shu texnologiyalar yoritiladi (11.1-rasm) va CDMA-2000 standartlarining evolyutsion bosqichlari haqida uchinchi avlod tar- moqlariga bag'ishlangan 2.4-bobida tahlil qilinadi.



11.1-rasm. 3GPP loyihasining bosqichlari.

11.3. 3,5G avlod standartlari

Ma'lumot uzatish tezligini oshirish va ma'lumot uzatilishining kechikishini (ma'lumot paketi adresatga yetib borib qaytish vaqti- ni, qisqacha, "javob kechikishi vaqtini") kamaytirish maqsadlarida UMTS standartining navbatdagi rivojlanish bosqichida ko'p pozit- siyali kvadratura-amplitudaviy modulyatsiyalar, ya'ni 16-QAM, 64-QAM usullari qo'llanilgan HSPA (*ingl. High Speed Packet Ac- cess*) texnologiyasi ishlab chiqildi. Bu texnologiyada javob kechiki- shi vaqtini kamaytirish maqsadida asosiy e'tibor MAS (*ingl. Me- dia Access Control*) — muhitga ulanishning boshqaruv protokolini modernizatsiyalashga qaratildi. HSPA texnologiyasi 3GPP loyihasi standartlarining 6-bosqich spetsifikatsiyasi (*ingl. 3GPP Release 6*) sifatida kiritilgan bo'lib, odatda 3,5G avlodiga mansub deb ko'rsa- tiladi. O'z navbatida, HSPA standarti ikkita tashkil etuvchi tex- nologiyalar — HSDPA va HSUPA lardan iborat.

HSDPA (ingl. *High-Speed Downlink Packet Access* – “pastga” yo‘nalishida ma‘lumotlarni yuqori tezlikda paketli uzatish) – mutaxassislar tomonidan to‘rtinchi avlod texnologiyalariga o‘tishda oraliq bosqichlaridan biri sifatida baholanayotgan mobil aloqa texnologiyasidir. HSDPA texnologiyasida ma‘lumot uzatishning maksimal nazariy tezligi 14,4Mbit/sek gacha etishi mumkin, mavjud tarmoqlarda amaliy erishilgan tezlik esa 3Mbit/sek ni tashkil etadi.

HSDPA texnologiyasi kabi **HSUPA** (ingl. *High-Speed Uplink Packet Access* – “tepaga” yo‘nalishida ma‘lumotlarni yuqori tezlikda paketli uzatish texnologiyasi) takomillashgan modulyatsiyalash usullari hisobiga foydalanuvchining W-CDMA AUdan BSga ma‘lumot uzatishni tezlatishga imkon beradigan mobil aloqa texnologiyasi hisoblanadi.

Nazariy jihatdan **HSUPA** texnologiyasi “yuqoriga” ma‘lumotlarni maksimal 5,76Mbit/sek gacha bo‘lgan tezlikda uzatishga mo‘ljallangan bo‘lib, bu bilan AUdan BSga ma‘lumotlarning katta oqimini talab qiluvchi uchinchi avlod ilovalarini (masalan, videokonferensiya) ishga tushirish imkonini beradi.

11.4. 3,75G avlod standartlari

3GRR doirasida HSPA texnologiyalari xarakteristikalarini yaxshilash bo‘yicha ishlar davom etdi va natijada 2007-yilning oxirida “Takomillashtirilgan HSPA” yoki **HSPA+** (ingl. *Evolved High-Speed Packet Access*), deb nomlangan versiya ishlab chiqildi. Bu texnologiya HSPA standartining keyingi bosqichi hisoblanadi va unga MIMO antenna texnologiyalari bilan bir qatorda, murakkabroq 64-QAM modulyatsiya sxemalari qo‘shilgan. Shu bois HSPA+ tarmoqlarida nazariy jihatdan “pastga” yo‘nalishda 56Mbit/sek gacha va “yuqoriga” yo‘nalishda 22Mbit/sek gacha bo‘lgan tezliklarga erishish mumkin bo‘ldi. Ushbu texnologiya ma‘lumot uzatish tezligini 168Mbit/sek gacha oshirish poten-

sial imkoniyatiga egaligi taxmin qilinmoqda. Texnologiyada bir necha eltuvchi chastotalarda (har biri 5MGs dan) bir vaqtda uzatish va qabul qilish prinsipi ham ishlatilishi mumkin, bu narsa tezlikni bir necha marta oshirib berishi mumkin. Opsional ravishda HSPA+ tarmoqlari to'liq IP-arxitekturasida (*ingl. all-IP-architecture*) qurilishi mumkin, bu BSlarni IP-protokollar asosida qurilgan magistral liniyalarga to'g'ridan to'g'ri ulash imkoniyatini beradi. HSPA+ texnologiyasida AUlar akkumulyatorlari tejamlirorq ishlatiladi va ularning "kutish" rejimidan "faol" rejimiga o'tish vaqti sezilarli qisqaradi.

HSPA+ texnologiyasi 3GRR loyihasi standartlarining 7- va 8-bosqichlari (relizlari)ga (*ingl. 3GRR Rel. 7 & 8*) kiradi.

HSPA+ texnologiyasi asosidagi birinchi tarmoq 2008-yilda Avstraliyaning Telstra kompaniyasi tomonidan Ericsson (Shvetsiya) uskunalari yordamida ishga tushirildi. 2011-yilning may oyida jahonning 65 davlatida 123 ta HSPA+ tarmoqlari bor edi [19].

11.5. 3,9G yoki Pre 4G avlod standartlari

Wi-Fi/WiMAX simsiz ma'lumot uzatish tarmoqlarida OFDM texnologiyasidan foydalanish evaziga kelib chiqqan texnik "inqilob" mobil aloqa dunyosini ham chetlab o'tmadi. HSOPA (*ingl. High Speed OFDM Packet Access*) texnologiyasini ishlab chiqish bilan boshlangan yo'l 3GRR loyihasi standartlarining 3GRR-LTE (*ingl. 3GRR Long Term Evolution*) uzoq muddatli evolyutsiya konsepsiyasiga qo'shilib ketdi. Eslatib o'tish kerakki, OFDM asosida ishlab chiqilgan radiointerfeys texnologiyasi 2007-yilda HTI tomonidan IMT-2000 dasturining asosiy radiointerfeysi sifatida qabul qilingan(11.3-jadvalga qarang).

3GRR-LTE (qisqartirilgan holda LTE) – ma'lumot uzatish tezliklariga bo'lajak talablarni qondirish uchun UMTS standarti imkoniyatlarini takomillashtiruvchi mobil aloqa tex-

nologiyasi hisoblanadi. Bu takomillashuv aloqa samaradorligini oshirish, tarmoqlarni tashkil etishdagi sarf-xarajatlarni kamaytirish, taqdim etiladigan xizmatlar darajasini ko'tarish va kengaytirish, shuningdek, mavjud mobil va keng polosali aloqa protokollari bilan o'zaro ishlash kabilarni o'z ichiga oladi. Nazariy jihatdan LTE texnologiyasida ma'lumotlarni "pastga" uzatish tezligi 326,4Mbit/sek gacha, "yuqoriga" esa 172,8Mbit/sek gacha yetishi mumkin. LTE standartining 8-versiyasidagi (3GRR Rel.8) imkoniyatlari 4G talablarigacha yetib bormagani tufayli so'nggi paytlarda LTE ko'pincha 3,9G yoki Pre4G avlod mobil aloqa texnologiyalari deb atalmoqda.

11.6. 4G — to'rtinchi avlod standartlari

Mobil aloqa dunyosini oldinda yangi imkoniyatlarga ega bo'lgan texnologiyalar ishlanmalari kutmoqda. Hozirgi kunda o'tkazilayotgan tajribalar natijalari 4G texnologiyalari oldiga HTI tomonidan qo'yilgan talablarga erishish mumkinligini tasdiqlamoqda. Masalan, Yaponiyaning NTT DoCoMo kompaniyasi 2009-yildayoq mobil aloqa tarmoqlarini sinash jarayonida ma'lumotlarni uzatishda 5Gbit/sek tezligiga erishdi va bunda MIMO texnologiyasini 12x12 ajratish sxemasidan foydalandi, mobil stansiya esa 10km/soat tezlikda harakatlandi [20].

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, 2002-yilda HTIning Radioaloqa Sektori (MSE-R) IMT kelajagining strategik ko'rinishini ifodalovchi IMT-Advanced (4G) tashabbusini taklif qilgan edi. Uni ishlab chiqish jarayonida munosib xizmatlar yaratildi, IMT-Advanced loyihasiga taalluqli ishchi xarakteristikalarining talablari va hajmi aniqlandi va ularni baholash uslublari batafsil tayyorlandi.

MSE-Rning 5D ishchi guruhi qoshida butun dunyodan yig'ilgan mustaqil tashqi baholash guruhlar yordamida HTIga 2009-yil oktyabrida topshirilgan 4G radiointerfeyslari bo'yicha oltita taklif har biri alohida batafsil o'rganib

chiqildi. Natijada, 2010-yil noyabrida Jenevada bo'lib o'tgan Butunjahon radioaloqa konferensiyasida ikki texnologiya: "LTE-Advanced" va "WirelessMAN-Advanced" IMT-Advanced texnologiyalar tuzimining birinchi versiyasi sifatida qabul qilindi. 11.3-jadvalda o'tkazilgan tahlillar yakunidagi mobil aloqa tizimlari evolyutsion rivojlanishining asosiy ko'rsatkichlari keltirilgan.

11.3-jadval

Mobil aloqa tizimlari evolyutsiyasi

Mobil aloqa avlodlari	1G	2G	2,5G	3G	3,5G	4G
Ishlar boshlanishi yili	1970	1980	1985	1990	<2000	2000
Ishga tushirish yillari	1984	1991	1999	2002	2006–2007	2009–2012
Ko'rsatilayotgan xizmatlar	Analog standartlar	Raqamli standart, SMS, 9,6kbit/sek ma'lumot uzatish tezligi	Tarmoqning katta hajmi, ma'lumotlarni paketli uzatish	Tarmoqning yanada katta hajmi, 2 Mbit/sek gacha tezlik	3G tarmoqlaridagi tezliklarni oshirish	Katta hajmli, IP-asosidagi tarmoq, multimedia, yuzlab Mbit/sek tezlik

11.7. 3G — uchinchi avlod sotali aloqa tizimlari

3G atamasi bilan (*ingl. third generation* — “uchinchi avlod”) ma'lumot uzatish va Internet tarmoqlariga yuqori tezlikda mo-

bil ulanish bilan birga, ma'lumot uzatish kanalini yaratuvchi radiotexnologiya yordamida foydalanuvchilarga bir qator xizmatlar to'plamini taqdim etuvchi sotali aloqa tizimlari nomlanadi.

3G tizimlari mobil aloqaning turli xizmatlari, "global rouming" hamda multimediyaning keng imkoniyatlarini, jumladan: video-telefoniya va videokonferensiya xizmatlari; Internet va intranetga (ya'ni ichki tarmoqlarga) yuqori tezlikda ulanish; turli xildagi biznes, ko'ngilochar va ilmiy xizmatlarga aloqador ma'lumotlarni uzatish kabilarni taqdim etadi. Ushbu tizimlar abonentlarning harakatlanish tezligi cheklanmagan holatida – 64kbit/sek, harakatlanish tezligi cheklangan holatda (piyoda yurgandagi tezlik) — 384kbit/sek, abonent harakatlanmagan holatida esa 2Mbit/sek gacha bo'lgan tezliklarda ma'lumot uzatish imkonini beradi. 3G tizimlarining ikkinchi avlod (2G) tarmoqlaridan asosiy farqi ham katta hajmdagi ma'lumotlarni yuqori tezlikda uzatish imkoniyatidadir. Bu esa o'z navbatida mobil aloqani sifat jihatdan yangi darajaga ko'taradi: bir tomondan abonent Internetga to'laqonli ulanish, videoaloqa xizmatlari, yuqori tezlikda ma'lumot uzatish imkoniyatlariga ega bo'lsa, ikkinchi tomondan — operatorlar an'anaviy aloqa xizmatlaridan daromad olish bilan birga, turli xildagi qo'shimcha xizmatlarni ko'rsatish hisobiga yangi daromad manbalariga ega bo'ladilar. 3G tizimlari — videotelefon aloqasini tashkil etish, mobil telefon yordamida filmlar hamda turli teledasturlarni tomosha qilish imkonini ham beradi.

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, dunyoda 3G standartlarining asosiy ikki oilasi: W-CDMA (UMTS, FOMA) hamda CDMA-2000 texnologiyalari asosidagi tizimlari mavjud. UMTS standarti asosan Yevropada, FOMA — Yaponiyada, CDMA-2000 esa Amerika va Osiyo qit'alarida tarqalgan. Shuningdek, asosan Xitoyda tarqalgan TD-SCDMA standarti ham 3G texnologiyalari oilasiga kiradi.

Mobil aloqa qurilmalarini ta'minlovchilarning global uyushmasi – GSA (*ingl. Global Association of Mobile Suppliers*)ning ma'lumotlariga ko'ra, 2011-yilning may oyida butun dunyodagi

3G va 3,5G tarmoqlari soni 710 tani tashkil etgan, bu esa dunyodagi barcha sotali aloqa tarmoqlarining 25% ni tashkil etgan [21]. Bunda 400 ta tarmoq W-CDMA texnologiyasi asosida qurilgan bo'lib, ushbu tarmoqlardagi abonentlar soni 684 mln ni tashkil etgan. Shu bilan birga 323 tadan oshiq tarmoqlar CDMA-2000 standartlar oilasi asosida qurilgan va ularda abonentlar soni 561 mln ni tashkil etgan. Shu jumladan 245 ta tarmoq EV-DO (Rel.0, Rev. A, B) standarti asosida qurilgan [22].

3G tizimlarining imkoniyatlari yakkaxon mijozlar uchun ham, jamoa bo'lib foydalanuvchi (korporativ) mijozlar uchun ham mobil aloqadan foydalanishning yangi qirralarini ochadi. Yuqorida ta'kidlab o'tilgan Internetga ulanish hamda videoaloqa xizmatlaridan tashqari, 3G abonentlari korporativ tarmoqlarga masofadan turib ulanishlari ham mumkin. Va, bu bilan, mobil aloqaning uchinchi avlodi ofisda ishlashning an'anaviy tarzini tubdan o'zgartiradi.

11.7.1. 3G tizimlarining rivojlanish tarixi

Yangi (uchinchi) avlod mobil aloqa tizimlarini yaratish ishlari 1986-yillardanoq xalqaro telekommunikatsiya ittifoqi (HTI) doirasida boshlangan edi. Usha paytdayoq FPLMTS (*ingl. Future Public Land Mobile Telecommunications System – "Umumiy foydalanuvdagi quruqlikdagi mobil aloqa istiqbolli tizimi"*) nomi ostida yagona standart konsepsiyasi ishlab chiqilgan edi. 1992-yilda HTI tarkibidagi radiochastotalar bo'yicha butun dunyo ma'muriy konferensiyasi (WARC-92) FPLMTS tarmoqlarini rivojlantirish uchun global ravishda 2GGs diapazonida 230MGs chastotalar polosasini ajratdi. Bundan Yer usti tizimlari uchun 170MGs (1885–1980MGs, 2010–2025MGs va 2110–2170MGs) hamda kelgusida qurilajak sun'iy yo'ldosh aloqa tizimlari uchun 60MGs (1980–2010MGs va 2170–2200MGs) polosalar ajratildi [23]. Yangi avlod aloqa tizimlari konsepsiyasini rivojlantirish jarayonida uning yaratuvchilariga shu ayon bo'ldiki, Yer usti aloqa tarmoqlari bilangina global aloqa qamrovini ta'minlashni iloji bo'lmaydi va bu faqatgi-

na sun'iy yo'ldoshli aloqa tizimlari yordamida amalga oshirilishi mumkin. Shuning uchun, 1995-yilda HTIda ikkita dasturni, ya'ni yuqorida ta'kidlangan FPLMTS va GMPCS (*ingl. Global Mobile Personal Communications by Satellite* — "Global yo'ldoshli aloqa personal tizimi")ni birlashtirib, "Butun dunyo mobil aloqa tizimi" — IMT-2000 (*ingl. International Mobile Telecommunications*) dasturini yaratish bo'yicha qaror qabul qilindi. Bunda "2000" soni tasodifan tanlanmadi: u dasturning ishga tushish yili, unda ishlatilishi rejalashtirilgan radiochastota diapazoni (MGsda) va ko'zlangan ma'lumot uzatish tezligi (kbit/sek da) kabi ko'rsatkichlar bilan bog'liq.

Shunday qilib, IMT-2000 — bu Yer usti va yo'ldoshli aloqa manfaatlarida to'liq xizmatlar to'plamini taqdim etuvchi milliy, regional va xalqaro tarmoqlarni tatbiq etishda ko'maklashuvchi va standartlashtirish bo'yicha uzoq muddatli dastur shaklida qabul qilindi.

3G tarmoqlarini rivojlantirish rejasida ikkita: diskriminatsion va nodiskriminatsion yondashuv ishlab chiqilgan edi. Birinchi yondashuvda, jami ajratilgan chastota resurslari barcha ishtirokchilar orasida tengga teng taqsimlanishi ko'zda tutilgan edi. Ikkinchi holda, bir necha istiqbolli texnologiyalar ajratib olinishi va kelgusida faqat ularni rivojlantirish taklif etilgan edi. Lekin, konsepsiyani ishlab chiqish bosqichidan aniq loyihalarga o'tish jarayonida turli xalqaro va mintaqaviy tashkilotlar manfaatlarini yagona standart doirasida birlashtirishning ilojisi yo'qligi yaqqol ko'rinib qoldi.

IMT-2000 standartlarini yaratish ustida olib borilgan ishlar shuni ko'rsatdiki, o'sha davrda faqatgina umumiy tavsiyalarni ishlab chiqish masalalari muvaffaqiyatli yechilishi mumkin ekan. 2G tarmoqlaridan 3G tarmoqlariga o'tish evolyutsiyasining tahlili jahonning turli regionlaridagi ayrim apparatura ishlab chiqaruvchilar manfaatlarida jiddiy farqlar mavjudligi va ularni birlashtirishning deyarli imkoniyati yo'qligini ko'rsatdi. Masalan, bir qator taqdim etilgan uchinchi avlod Yer usti va yo'ldoshli aloqa tizimlarining loyihalarida keltirilishicha, amalda bir xil

darajadagi xizmatlar taqdim etilsada, biroq radioulanish uslublarida prinsipial turli, ya'ni TDMA va CDMA texnologiyalaridan foydalanilgan. Shular sabab, ushbu bosqichda har xil loyihalarni birlashtirish va jahon miqyosida yagona standart yaratish imkoni bo'lmadi.

1998-yilga kelib, HTI qoshida Yevropa, Shimoliy Amerika va Osiyo-Tinch okeani mintaqasining ko'plab hududiy va milliy tashkilotlari ishtirokida olib borilayotgan yangi texnologiyalarni standartlashtirish jarayoni to'liq tugatildi. Uchinchi avlod tizimlariga yagona talablarni ishlab chiqish va moslashtirishga qator muvaffaqiyatsiz urinishlardan so'ng, HTI bu muammoga o'zgaracha yondashishga qaror qildi. Xususan, uning yangi konsepsiyasi, "global rouming" g'oyasini saqlab, uni yangi IFS (*ingl. IMT-2000 Family of Systems*) nomini olgan uchinchi avlod tizimlarini mavjud analog va raqamli tarmoqlari bilan birlashtirish uchun g'oyaviy asos sifatida ishlatish bo'ldi. Bir necha standartlar guruhini qabul qilgan va bu bilan global xalqaro standarti g'oyasidandan voz kechgan HTI bu standartlarni yaqinlashtirishga (garmonizatsiya) o'z urinishlarini faollashtirdi. Shunday qilib, dunyoda uchinchi avlod darajasida bir emas, balki standartlar oilasi vujudga keldi.

Dunyoda ilk bor 1996-yilda Ericsson kompaniyasi tomonidan Chista (Shvetsiya) shahrida W-CDMA texnologiyasi asosida 3G tajribiy tarmog'i qurilib, ishga tushirildi. Bu texnologiya Yevropada universal aloqa tizimi bo'lgan UMTS – Yer usti mobil segmenti loyihasiga asos bo'ldi. CDMA-2000 asosidagi birinchi tarmoq 2000-yil oktyabr oyida Janubiy Koreyada SK Telecom hamda LG Telecom kompaniyalari tomonidan ishga tushirildi. FOMA (W-CDMA)ning ilk tarmog'i 2002-yilda Yaponiyada NTT DoCoMo kompaniyasi tomonidan ishga tushirildi. Yapon operatorlarini W-CDMA texnologiyasida abonent sig'imi yuqoriligi qiziqtirdi. Birinchi TD-SCDMA tarmoqlari esa 2006-yildan boshlab, Xitoyda ishga tushirildi.

O'zbekistonda birinchi 3G tarmoqlarini yaratish ishlari 2007-yildan boshlandi. 2008-yilning oxiriga kelib, ikki operator (*MTS va Bilayn*) 3G tarmoqlarini tijorat maqsadida foydalanishga tushirishi hamda Internetga keng polosali ulanish xizmatlarini taqdim etishi haqida e'lon qildi. Uchinchi operator (*Ucell*) o'zining 3G tarmog'ini 2009-yilda ishga tushirdi. Shuningdek, O'zbekistonda 800MGs va 450MGs diapazonlarida CDMA-2000 standarti asosida ishlovchi ikki tarmoq (*Perfectum Mobile va UzMobile*) faoliyat olib bormoqda.

Nazorat savollari:

1. 3G tizimlariga tavsif bering va WiMAX tizimlarining qisqacha rivojlanish tarixini bayon eting.
2. 3G tizimi va IMT-2000 dasturi qanday o'zaro ta'sirlashadi?
3. WiMAX va Wi-Fi tizimlarining farqi qanday?
4. WiMAX tizimlarining asosiy xarakteristikalarini keltiring. WiMAX tizimlarining qo'llanilish sohalarini bayon eting. WiMAX tizimlarining qanday asosiy afzalliklari va kamchiliklari mavjud?
5. HiperMAN va WiBro standartlari haqida so'zlab bering.
6. 3.5G standartiga qisqacha xarakteristika (tavsif) bering.
7. IEEE 802.16e standartiga qisqacha xarakteristika (tavsif) bering.
8. IEEE 802.16d va IEEE 802.16e standartlarining qanday umumiy xossalari va asosiy farqlari mavjud?

12-bob. 3G STANDARTLARI CDMA STANDARTI

12.1. KSAT 3G konsepsiyasining asosiy nizomlari

Mobil aloqa avlodlari: “birinchi” (1G), “ikkinchi” (2G, 2.5G), “uchinchi” (3G). (G – generation inglizchadan – “avlod”)

Hozirgi vaqtda keng ko‘lamda foydalanilayotgan KSATning ikkinchi avlodi (2G)dan uchinchi avlod 3G ning asosiy farqi axborotni katta tezlikda va katta hajmda uzata olishidir. Bu esa aloqani yangi sifatli darajada amalga oshiradi. Bir tomondan abonent Internet, videokonferensiya va boshqalarga to‘laqonli kirib foydalanish imkoniga ega bo‘ladi. Ikkinchi tomondan esa operator faqat ko‘rsatilgan aloqa xizmatlari uchun emas, balki turli kontentlar, foydali axborotlar va servislar hisobiga xizmat haqi olishga erishadi.

3G tarmoqlarining abonentlarga xizmat taqdim etishi mobil aloqadan foydalanishdagi imkoniyatlarining keng ko‘lamlari ochilmoqda, buning ustiga ham xususiy abonentlar uchun, ham yirik korporatsiyalar uchun mobil telefon to‘g‘risidagi tushunchalar o‘zgarib, u hayotning barcha jabhasida kerak bo‘ladigan ko‘p funksiyali qurilmaga aylanayapti.

Qayd etib o‘tilgan Internet xizmatlari va videokonferensiya aloqaga kirishlardan tashqari 3G abonentlari uzoqdan turib korporativ tarmoqlardan foydalanishlari mumkin. Sotali aloqaning uchunchi avlodi mobil faoliyat tushunchasini tubdan o‘zgartiradi. Xodim o‘z vazifalarini xohlagan joyda bajarishi mumkin, bunga xatto uydan chiqmasdan ham erishishi mumkin. Tassavur qilingki, siz katta tezlikda harakatlanayotgan poyezda shaharga ketayapsiz, bunda siz hamkasblaringiz bilan videokonferensiya o‘tkazishingiz yoki notanish hududning joyi to‘g‘risida to‘liq xaritasi bilan ma‘lumot olishingiz mumkin, bundan tashqari butun vaqt davomida hamkasblaringiz va yaqinlaringiz bilan aloqada qolasiz.

3G xizmatlarining muhim elementlaridan biri mobil elektron tijorat bo‘lib bunda mahsulotlar va xizmatlar haqini mobil telefon

orqali to'lash mumkin. Shunday qilib u virtual sarmoya manbayiga aylanadi. Bundan tashqari telefon shaxsiy mobil shifokor bo'lishi ham mumkin, ishlab chiqaruvchilar tibbiy tashxis xizmatini uzoqdan turib amalga oshirish ustida jiddiy tadqiqotlar olib bormoqda. Inson va uning yashash turar joylarining xavfsizligini va xabardorligini ta'minlash masalasi yangi pog'onaga ko'tariladi. 3G abonentning qayerdaligini aniqlovchi xizmatlarni taqdim qiladi va siz hech qachon notanish shaharda adashib qolmaysiz. To'g'ridan to'g'ri mobil telefon displeyiga o'rnatilgan videokameralardan keladigan tasvirlar orqali uy yoki idorani kuzatish mumkin.

3G tarmog'i asosida bir dunyo foydali yechimlarni o'ylab topish qiyin emas. Aytaylik yirik kompaniyaning savdo agentlari shaxsiy kompyuter komplekti bilan birga 3G telefonlari bilan ta'minlash imkonini beradi. Shuning natijasida ular xohlagan do'konlardan 3G telefonlar orqali kompaniyaning aloqa tarmog'iga ulanish yo'li bilan iste'mol qilinuvchi mollar omboriga yoki zaxiralarga kirishi va mahsulotlarga kerakli miqdorda buyurtma berishi mumkin. Xalqaro elektroaloqalar ittifoqida (MSE) yangi texnologiyalarni standartlash jarayoni tugadi, bunda Yevropa, Shimoliy Amerika va Osiyo Tinch okeani mintaqalarining ko'pgina xalqaro va mintaqaviy tashkilotlari qatnashishdi. Uchinchi avlod tizimlariga qo'yilgan yagona talablarni ishlab chiqarish va kelishish bo'yicha qator natijasiz urinishlardan so'ng MSE bu muomoni yechishga boshqa tomondan yondoshishga qaror qildi. Yangi konsepsiyaning 3-chi avlod standartining yangi oilasiga asoslangan IFS(IMT-2000 Familiy of Sustems) belgisini olgan tizimlarini mavjud analogli va raqamli tarmoqlar bilan faqat ideologik asoslar sifatida birlashtirish uchun global roumingni saqlab qolish masalasi qo'yildi. Bitta standart emas, balki standartlar oilasini qabul qilib, bu bilan global xalqaro standartlarning tamoyillaridan voz kechib, MSE ularni uyg'unlashtirishga qaratilgan o'zining urinishlarini faollashtirdi.

3-avlod standartlarining butun tizimlari CDMA texnologiyalari asosida quriladi.

12.2. Kanallarni kod bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanish. CDMA standarti

CDMA standarti (*Code Division Multiple Access*) asosida kanallarni kod bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalana olish texnologiyasi yotadi. CDMA tizimlarida har bir ovoz oqimi o'zining yagona noyob kodi bilan belgilanadi va bir vaqtning o'zida boshqa ko'plab kodlashtirilgan ovozlar oqimi bilan birgalikda bitta kanalda uzatiladi. Qabul qiluvchi tomon signalni shovqindan ajratish uchun aynan shu koddan foydalanadi. Ko'plab ovozlari oqimlar orasidagi yagona farq bu noyob koddir.

Qoidaga asosan kanalning kengligi juda katta bo'lib, har bir ovoz oqimi diapazonning butun spektrini egallaydi. Mazkur tizim kengligi 1,23 MHz bo'lgan kanallar to'plamidan foydalanadi. Ovoz 8,55 Kbit/s tezlikda kodlashtiriladi, ammo ovoz aktivligini va kodlashtirishning turli tezliklarini aniqlash jarayoni ma'lumotlar oqimini 1200 bit/s gacha kamaytirishi mumkin. CDMA tizimlarida signal quvvatining o'lchami ekstremal past bo'lishiga qaramasdan juda mustahkam va himoyalangan barqaror bog'lanishlar o'rnatiladi. Nazariy jihatdan signal o'lchami shovqin darajasiga qaraganda kuchsiz bo'lishi mumkin.

Kengaytirilgan spektrli signallardan foydalanishga asoslangan kodli foydalana olish texnologiyasida odatda, o'zaro "yaxshi" korrelyatsiyalanish xossalari ega bo'lgan kodli psevdotasodifiy ketma-ketlik (PTK)lar negizida tashkil etilgan fazaviy manipulyatsiyalangan signallar qo'llaniladi. Turli PTKlardan foydalana olish CDMA tizimi abonentlariga chastotalarning umumiy polosa-sida ishlash va har qanday kanaldan foydalanish imkonini beradi.

CDMA standart texnologiyasining asosiy ustunliklariga: signalni o'ramga aylantirish jarayonida oddiy shovqinga transformatsiyalanadigan tor polosali xalaqitlarga nisbatan yuqori xalaqitga chidamlilik, radioto'lqinlarning ko'p nurli tarqalishiga ega kanallarida yuqori spektral effektivlik, abonent bir zonadan boshqasiga ko'chib o'tganda kanallarni ohista almashib ulash (hand over-xendover) kiradi. Tar-

moqdagi barcha tayanch stansiyalar bitta chastotada ishlaydi, shuning uchun chastotaviy rejalashtirish zaruriyati yo'q. Abonent stansiyalari (mobil stansiyalar) quvvatlarining sochilishiga bo'lgan yuqori sezgirlik va tayanch stansiyalarni sinxronlash zaruriyati (IS-95 standarti) mazkur texnologiyani joriy etishdagi asosiy qiyinchiliklardir. Tayanch stansiyalarni sinxronlashda GPS (Global position system – Yerning sun'iy yo'ldoshlari yordamida geografik joylanishni global aniqlash tizim)dan foydalaniladi. Umumiy foydalanuvchi abonentlarni kod bo'yicha ajratuvchi CDMA sotali ko'chma radioaloqa tizim birinchi bo'lib Qualcomm (AQSH) firmasi tomonidan ishlab chiqarildi va MOTOROLA firmasi tomonidan muvaffaqiyatli rivojlanmoqda.

AQSHda CDMA tizimiga IS-95 deb nomlangan standart qabul qilindi. Kanallarni kod bo'yicha ajratish bilan ishlovchi kommersiyali tizim birinchi bo'lib dunyoda Hutchison Telephone kompaniyasi tomonidan 1995-yilda joriy etildi. Mazkur tarmoq MOTOROLA firmasi uskunalaridan tashkil topgan bo'lib, SC9600 stansiyalari va EMX 2500 kommutatsiya stansiyalari asosida qurilgan. CDMA standartni yaratishda sotali aloqa tizimning sig'imini analoglilarga nisbatan kamida o'n martaga oshirish va ajratilgan chastota spektridan foydalanish effektivligini shu darajaga ko'paytirish asosiy maqsad qilib qo'yilgan.

CDMA prinsipi xabarlarini oddiy uzatishda qo'llanadigan chastotalarning polosasiga qaraganda polosasi ancha kengroq bo'lgan keng polosali signallardan foydalanishga asoslangan. Buning negizida ancha avvalgi vaqtdan beri harbiy radioaloqada shovqinsimon yoki keng polosali signaldan (SHSS, KPS) foydalangan holda qo'llaniluvchi modulyatsiya uslubi yotadi (SHSS yoki KPS: ingliz tili adabiyotlarida spread spectrum atama "kengaytirilgan" yoki "yoyilgan" spektr ma'nosini anglatadi. Ya'ni foydali axborot odatdagi tor polosaliga nisbatan ancha kengaytirilgan chastota diapazoni bo'yicha "yoyilib" tarqatiladi. Bu esa axborotning foydali bitlar ketma-ketligini ancha qisqa bo'lgan psevdotasodifiy ketma-ketliklar impulsariga ko'paytirish usuli bilan amalga oshiriladi. Natijada tor polosali modulyatsiyaliga nisbatan ancha kattaroq chastotaviy dia-

pazonga va kichik intensivlikka ega bo'lgan signal hosil bo'ladi. Kanallarni kod bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalana olish CDMA standartida DSSS (*ingl. direct-sequence spread spectrum* – "kengaytirilgan spektrning to'g'ri ketma-ketligi") modulyatsiyasi singari uslub qo'llaniladi, ya'ni shovqinsimon signallarni.

Keng polosali (shovqinsimon) signalning bazasi bilan tavsiflanadi, va u spektr kengligi F ni uning davomiyligi T ga ko'paytmasidan aniqlanadi:

$$B = F \cdot T$$

Ma'lumotlar ikkilik simvollar ko'rinishida raqamli uzatishda keng polosali (shovqinsimon) signalning (KPS) davomiyligi T va uzatish tezligi o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$T = \frac{1}{C}$$

Demak, signalning bazasi $B = F/C$ keng polosali (shovqinsimon) signal (KPS) spektrining ma'lumot spektriga nisbatan kengayishini tavsiflaydi, bu esa o'z navbatida ikkita uslub bilan yoki ularning kombinatsiyalash yo'li bilan amalga oshirilishi mumkin:

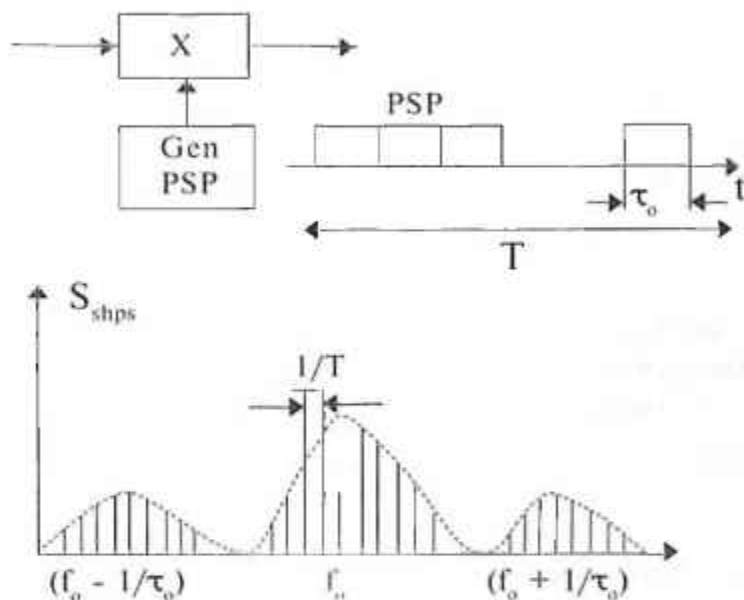
1. Chastotalar spektrini to'g'ri kengaytirish uslubi;
2. Tashuvchi chastotani saqrash yo'li bilan o'zgartirish uslubi.

Birinchi uslubga asosan tor polosali signal davomiyligi T ga teng bo'lgan psevdoto'sodifiy ketma-ketlikka (PTK) ko'paytiriladi. O'z navbatida PTKning har qaysisi davomiylikka ega bo'lgan N ta bitlardan tashkil topgan. Demak, KPS bazasi (11.1-rasm) son jihatidan PTK elementlari soniga teng bo'ladi:

$$B = T/t_0 = N$$

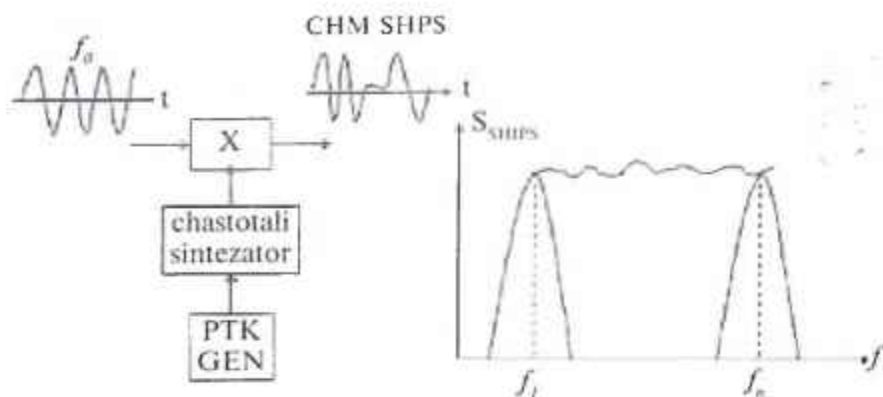
Tashuvchi chastotaning sakrashli o'zgarishida esa, sintezatorning chiqish chastotasi PTKni shakllantirish qonuniga asosan tez qayta o'zgartirilishi amalga oshiriladi (12.2-rasm).

“Chastota bo'yicha sakrash” (yoki FH — *Frequency Hop-*
ping) quyidagicha amalga oshiriladi: nisbatan kichik vaqt in-
 tervallar orasida har bir individual gaplashish kanallarga mos
 ravishda psevdoto tasodifiy qonun bo'yicha (kod bo'yicha)
 ayrim belgilangan chegara me'yorida uzatgichning (sin-
 tezatorning) eltuvchi chastotasi o'zining qiymatini doimiy
 o'zgartirib turadi.



12.1-rasm. Chastota spektrini to'g'ridan to'g'ri kengaytirish usuli bilan keng polosali (shovqinsimon) signalni shakllash.

Tizimning qabul qilgichi ham uzatgich singari algoritmda amal qiladi, ya'ni geterodin chastotasi aynan qayd etilgan algoritimga muvofiq o'zgartirilib faqat kerakli kanalni ajratishni va uning ustida ishlashni ta'minlaydi. Hozirgi vaqtda, FH uslubidan foydalangan holda, tor polosali raqamli sotali aloqa tizimlarining, xususan, GSM tizimining texnik xarakteristikasini takomillash ustida loyihachilar tomonidan ish olib borilmoqda.

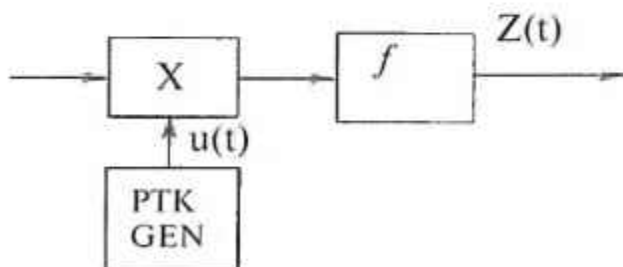


12.2-rasm. Chastotali sintezator.

Keng polosali (shovqinsimon) signal (KPS)ni qabul qilish uchun optimal qabul qilgich foydalaniladi va u ma'lum parametrlil signallar uchun korrelyatsion integralni hisoblab chiqaradi:

$$Z = \int_0^t X(t)u(t)dt$$

Bu yerda $X(t)$ – kirish signal boshlang'ich signal $u_s(t)$ va shovqin $u_{sh}(t)$ larning summasini tashkil qiladi.

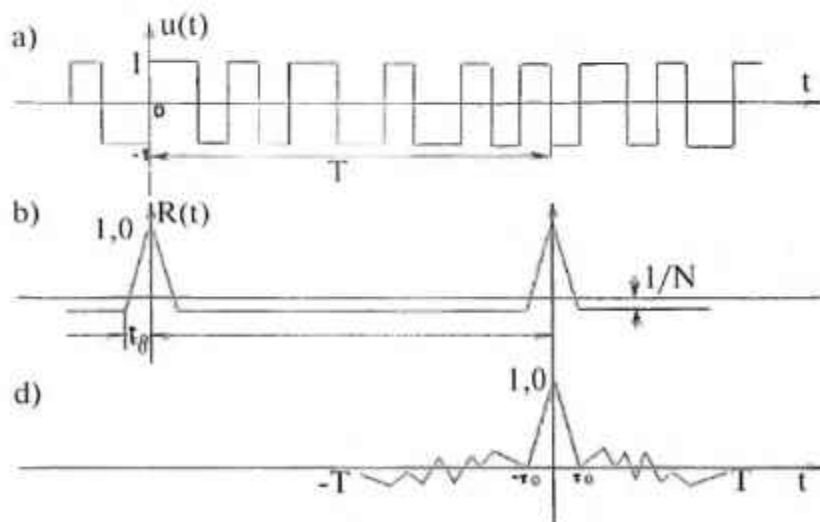


12.3-rasm. Keng polosali (shovqinsimon) signalning (SHPS) korrelyatsion qabul qilgichi.

Keyinchalik Z ning qiymati bo'sag'aviy Z_0 qiymat bilan taqqoslanadi. Korrelyatsion integralning hisoblanishi korrelyator yoki moslashtirilgan filtr yordamida amalga oshiriladi (12.3-rasm).

Korrelyatorning vazifasi keng polosali kiruvchi signal spektrini uning etalonli nusxasiga $U(t)$ ko'paytirish va keyinchalik $1/T$ polosada filtrlash yo'li bilan "siqishdan" iborat. Bu esa korrelyator chiqishidagi signal/shovqin munosabatni kirishdagiga nisbatan 8 marta oshiradi.

Kirish signali $X(t)$ bilan tayanch signal $U(t)$ korrelyatorga kelib tushganda, STK elementining teng davomlilik siljishida chiqish signali amplitudasi pasayadi va "0" ga tenglashadi. Korrelyatorning chiqish signal amplitudasining o'zgarishi korrelyatsion funksiyaning turi bilan aniqlanadi. Agar kirish va tayanch STK orasida siljish bo'lmasa, unda u avtokorrelyatsion funksiya (AKF), siljish bo'lganda esa o'zaro korrelyatsion funksiya (O'KF) deb ataladi. $N=15$ li M — ketma-ketlikning strukturasi, uning davriy AKF (b) va nodavriy AKF (v), ya'ni davriy vaqt bo'yicha davom etmaydigani 12.4-rasmda keltirilgan.



12.4-rasm. $N=15$ li M — ketma-ketlikning strukturasi (a), davriy AKF (b) va nodavriy AKF (d).

Bundan kelib chiqqan holda, "yaxshi" avtokorrelyatsion va o'zaro korrelyatsion funksiyalarga ega bo'lgan signallar ansamblini tanlash, korrelyatsion qayta ishlash yo'li bilan (KPS o'rami) signallarning bo'lib ajratilishini ta'minlashi mumkin, bu esa aloqa kanallarini kodli ajratish tizimini qurishning asosiy prinsipi bo'lib hisoblanadi.

Amaliyotda sotali aloqa tizimlarida, asosan spektrni to'g'ri kengaytirish yo'li bilan olingan KPS qo'llaniladi, kanallarning farqi esa chastotalar spektrini kengaytirish uchun qo'llaniluvchi psevdo tasodifiy ketma-ketlik shakli bilan aniqlanadi. Bunday shakllangan radiosignal faza bo'yicha manipulyatsiyalangan KPS deb ataladi.

PTK turini tanlash signallar ansamblining o'zaro va avtokorrelyatsion tavsiflariga, uning hajmiga, qabul qilgichdagi signallarni tashkil qiluvchi va "siquvchi" qurilmani amalga oshirishning soddaligiga bog'liq. Qayd qilingan shartlarni chiziqli M ketma-ketlik va uning segmentlari ko'proq qoniqtiradi, signallar ansamblining hajmini kengaytirish uchun esa ko'pincha PTK qismlariga Uolsh ketma-ketligini qo'shish bilan amalga oshiriladi.

CDMA standartining KSAT tizimlarini yaratishdagi asosiy muammo, bu kichik gabaritli, kam quvvat sarflovchi va ko'p funksiyali KPS "siquvchi" qurilmalarini ishlab chiqarishdir. Shu paytga kelib, bu muammo turli xil firmalar tomonidan muvaffaqiyatli yechilmoqda, jumladan, Amerikaning Qualcomm firmasi tavsiyasi bilan AQSHda CDMAlı KSAT tizimi uchun IS-95 standarti qabul qilindi. Yevropada RACEning turli dasturlarida CODIT (code division testted) loyihasi ishlab chiqildi, uning asosiy maqsadi CDMA standartida uchinchi avlod UMTS/FPLMTSdan foydalanish imkoniyatidir.

IS-95 standartining asosiy xususiyatlari. Bu standartni ishlab chiqarishdan asosiy maqsad KSAT sig'imini analoglilarga qaraganda kattalashtirishdir. CDMA tizimiga qo'yiladigan texnik talablar aloqa sanoati assotsiatsiyasi (TIA) tomonidan quyidagi standartlarda ifodalangan:

- IS-95-CDMA radiointerfeysi
- IS-96-CDMA so'zlashuv xizmatlari
- IS-97-CDMA ko'chma stansiya
- IS-98-CDMA tayanch stansiya
- IS-99-CDMA ma'lumotlarni uzatish xizmati

Tizim AMPS/DAMPS standartlari KSAT tarmoqlari uchun ajratilgan 800 MHz diapazonda ishlash uchun mo'ljallangan. CDMAning texnologik afzalliklaridan biri bo'lib aloqani sir saqlash (maxfiyligi) hisoblanadi, shuning uchun xabarlarni shifrlash talab qilinmaydi.

IS-95 standarti Uolsh funksiyalarining 64 ketma-ketliklari asosida chastotalar spektrini to'g'ri kengaytirishni qo'llaydi. So'zlashuv xabarlari o'zgarish tezligi 8000 bit/s bilan CELP algoritmi bo'yicha o'zgartiriladi, kanallarda esa xalaqitga chidamliliklikni oshirish uchun qo'shimcha simvolni hisobga olgan holda 9600 bit/s gacha yetkaziladi. Tizim 4800, 2400 va 1200 bit/s tezliklarda ishlash rejimini ta'minlaydi. "Pastga" uzatishda tizimda 1/2, "yuqoriga" esa 1/3 tezlik bilan o'ramli kodlashtirish qo'llaniladi. Bundan tashqari, uzatilayotgan xabarlarning navbatma-navbatligi, qabulda esa "yumshoq" yechimli Viterbi dekoderi qo'llaniladi.

Qualcomm CDMA standartidagi aloqa kanali 1.25 MHz polosani egallaydi, asosiy tavsiflari va texnik parametrlari esa 12.1-jadvalda keltirilgan.

12.1-jadval

Qualcomm CDMA standartining asosiy tafsifi va texnik parametrlari

MS uzatish chastota diapazoni	824,040–848,970 MHz
BTS uzatish chastota diapazoni	869.040–893.970 MHz
MS tashuvchi chastotasining nisbiy nomotadilligi	$\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$

BTS tashuvchi chastotasining nisbiy nomotadilligi	$+ 5 \cdot 10^{-4}$
Modulyatsiya turining nisbiy nomotadilligi	QPSK (BTS), O-QPSK (MS)
Uzatiluvchi signal spektrining kengligi – sathi 3 dB bo'yicha – sathi 40 dB bo'yicha PTKning takt chastotasi	1,25 MHz 1,50 MHz 1,2288 MHz
PTKdagi elementlar soni – BTS uchun – MS uchun	32768 bit $2^{27} - 1$ bit
BTSning 1 ta tashuvchisidagi kanallar soni	1 pilot kanali 1 signalizatsiya kanali 7 shaxsiy chaqiriq kanallari 55 aloqa kanallari
MSning kanallari soni	1 foydalanish kanali 1 aloqa kanali
Ma'lumot uzatish tezligi – sinxronizatsiya kanalida – shaxsiy chaqirish va foydalanish kanalida – aloqa kanalida	1200 bit/s 9600,4800 bit/s 9600,4800,2400,1200 bit/s
BTS uzatish kanallaridagi kodlash (sinx. kanali, shaxsiy chaqiriq, aloqasi)	O'ta aniqlik bilan kodlash $r=1/2$, $K=9$
MS uzatish kanallaridagi kodlash	$U=1/3$, $K=9$ Uolsh signali bilan 64 lamchi kodlash
Qabul qilgichdagi axborot bit energiyasining shovqin spektral zichligining nisbati (E_b/N_0)	6–7 dB
BTSning maksimal samarali uzatish quvvati	50 Vt gacha
MS ning maksimal samarali uzatish quvvati – 1 sinf – 2 sinf – 3 sinf	6,3 W 2,5 W 1,0 W
MS uzatgichining quvvatni boshqarish aniqligi	$\pm 0,5$ Db

Qabul qilishda akslanish natijasida har xil kechikish bilan kelgan signallarga alohida ishlov beriladi, so'ng vazn bo'yicha qo'shish amalga oshiriladi. Qabulning bunday tarzda amal qilinishi ko'p nurlilik effektining salbiy ta'sirini yetarli darajada pasaytiradi.

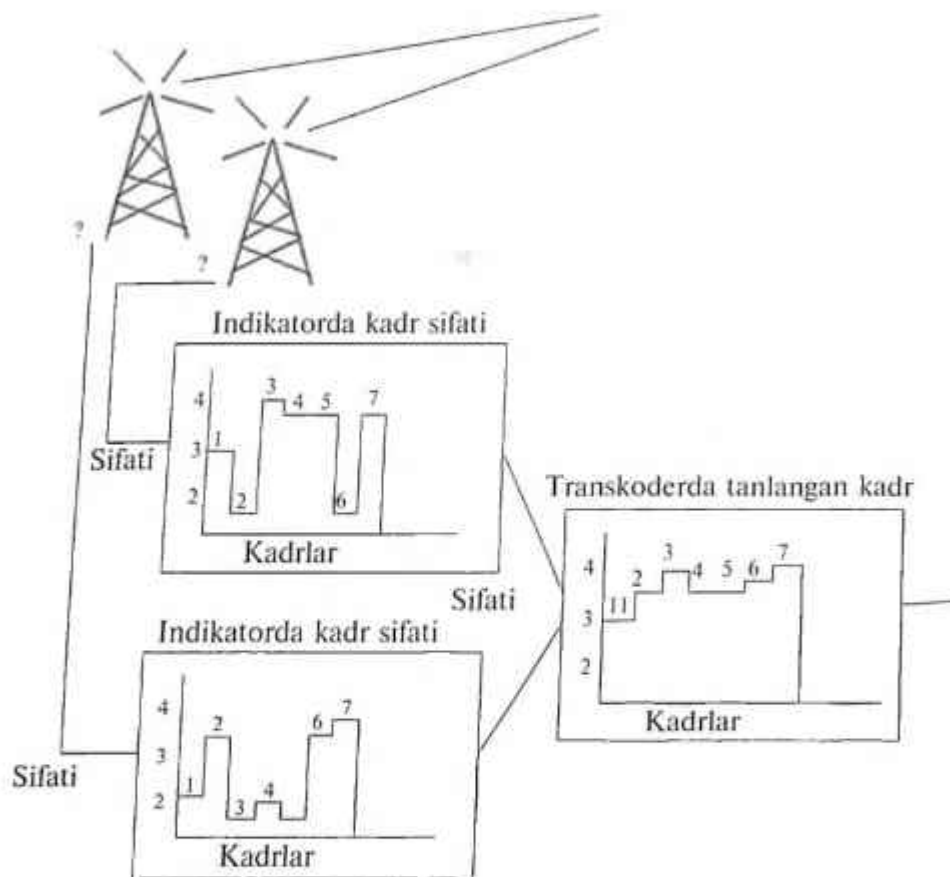
Signallarga alohida raqamli ishlov berish uchun har bir qabul kanalida 4 ta korrelyator BTSda, 3 ta korrelyator MSda parallel ravishda ishlaydi. Bundan tashqari parallel ishlovchi korrelyatorlar sotalarni kesib o'tishda "Estafetali uzatib berish"ning (*Soft Handoff*) ohista o'tish rejimini amalga oshirish imkoniyatini yaratadi. Bu MSning ikkita va undan ko'p BTSlar tomonidan boshqarilishi hisobiga yuzaga keladi. Asosiy uskunaning tarkibiga kiruvchi transkoder ikkita BTSdan keluvchi signallarni qabul qilish sifatini ketma-ket axborot kadrlari vositasida baholaydi (12.5-rasm).

Eng yaxshi kadrni aniqlash jarayoni bu so'nggi natijaviy signalni tanlash bo'lib uzluksiz kommutatsiya va yumshoq rejimni ta'minlovchi "Estafetali uzatish"da ishtrok etuvchi turli tayanch stansiyalar bilan qabul qilingan va keyinchalik yopishtirilgan kadrlar yo'li bilan shakllanadi. Bunda, nutq xabarlarini qabul qilishning yuqori sifat darajasi ta'minlanadi va boshqa standartli sotali aloqa tarmoqlarda uchraydigan aloqa seanslaridagi uzilishlarni bartaraf qiladi.

CDMA standartining umumlashtirilgan strukturaviy sxemasi 12.6-rasmda keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, keltirilgan sxemaning asosiy elementlari KSATning analogli va raqamli standartlarida qo'llaniladigan elementlariga o'xshashdir. Tafovut faqat sifatni baholovchi va kadrni tanlovchi (SU – Selection Unit) qurilmaning qo'llanilishidadir. Bundan tashqari, "estafetali uzatishning" ohista rejimini amalga oshirish uchun turli kontrollerlar (BSC) tomonidan boshqariluvchi BTSlar orasiga SU va BSC (*Inter BSC Soft Handoff*) o'rtasidagi uzatish liniya kiritiladi.

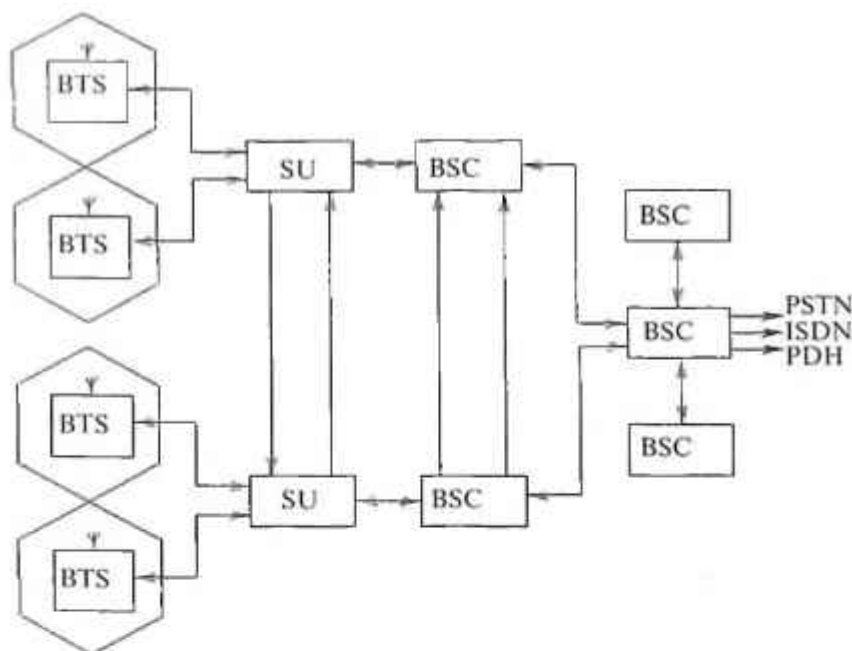
Aloqa o'rnatish protokollari CDMA'dagi to'g'ri (forward), teskari (reverse), "yuqoriga" uzatishlarga bo'lingan mantiqiy kanallardan foydalanadi. IS-95 standartining bunday kanallari strukturasi 12.6-rasmda keltirilgan.

To'g'ri pilot kanali MSning tarmoq bilan sinxronlashuvi va BTS signallarini vaqt, chastota va faza bo'yicha nazorat qilish uchun xizmat qiladi.



12.5-rasm. Har xil tayanch stansiyalar bilan qabul qilinuvchi kadrlarning eng yaxshisini bir-biriga "yopishtirish" prinsipi.

Sinxronlashtirish kanali BTSni, pilot signal nurlashish darajasini, BTSdagi PTKning fazalarini identifikatsiyalash uchun foydalaniladi.



BTS (Base Transceiver Station) – Tayanch qabul qiluvchi uzatuvchi stansiya

BSC (Base Station Controller) – Tayanch stansiyalar kontrolleri

OMC (Operation and Maintenance Centre) – Boshqarish va xizmat ko'rsatish markazi

SU (Selector Unit) – Kadr saralaydigan qurilma

DB (Date Base) – Abonentlar va qurilmalar haqida ma'lumotlar bazasi

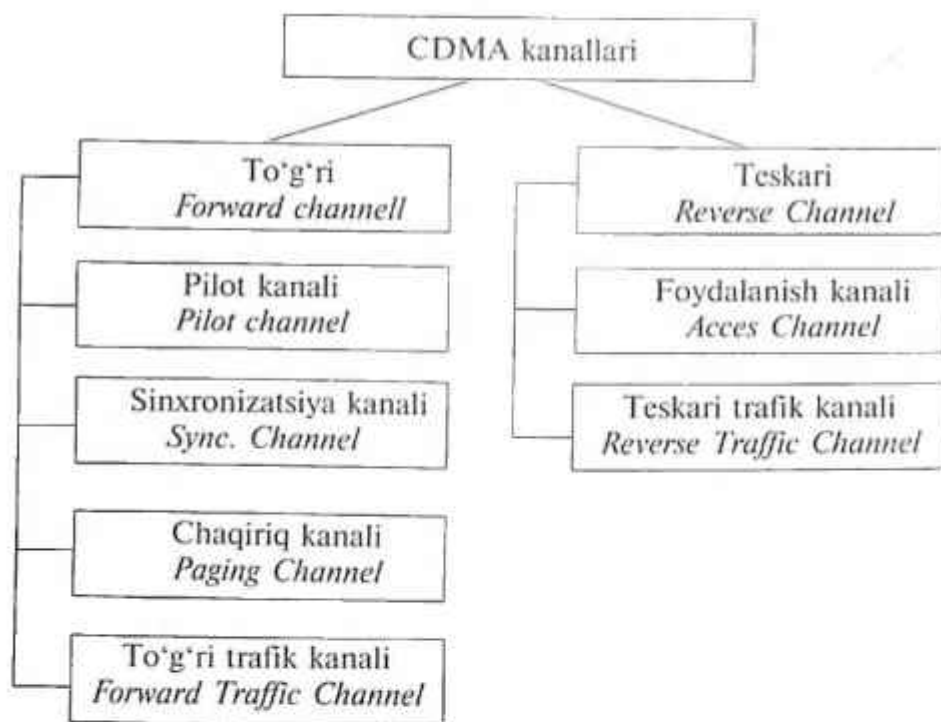
MSC (Mobile Switching Centre) – Ko'chma aloqa kommutatsiya markazi

12.6-rasm. CDMA sotali ko'chma (harakatdagi) radioaloqa tarmog'ining tuzilish sxemasi.

Sinxronlashtirishning qayd qilib o'tilgan etaplari tugagandan so'ng bog'lanish o'rnatishlar boshlanadi.

Chaquiruv kanali bo'yicha MSni chaqirish amalga oshiriladi. Chaquiruv signalini qabul qilgandan so'ng MS tasdiqlovchi signalni BTSga uzatadi. Shundan so'ng BTSdan bog'lanishning o'rnatilganligi va aloqa kanalining tayinlanishi to'g'risidagi axborot uzatiladi.

Kanal o'zining to'liq ishini faqat MS barcha tizimga taalluqli axborotni qabul qilgandan so'ng boshlaydi (tayanch chastota, taktili chastota, sinxronlashtirish kanali bo'yicha signalning kechikishi).



12.7-rasm. CDMA IS-95 standartidagi aloqa kanalining tuzilishi.

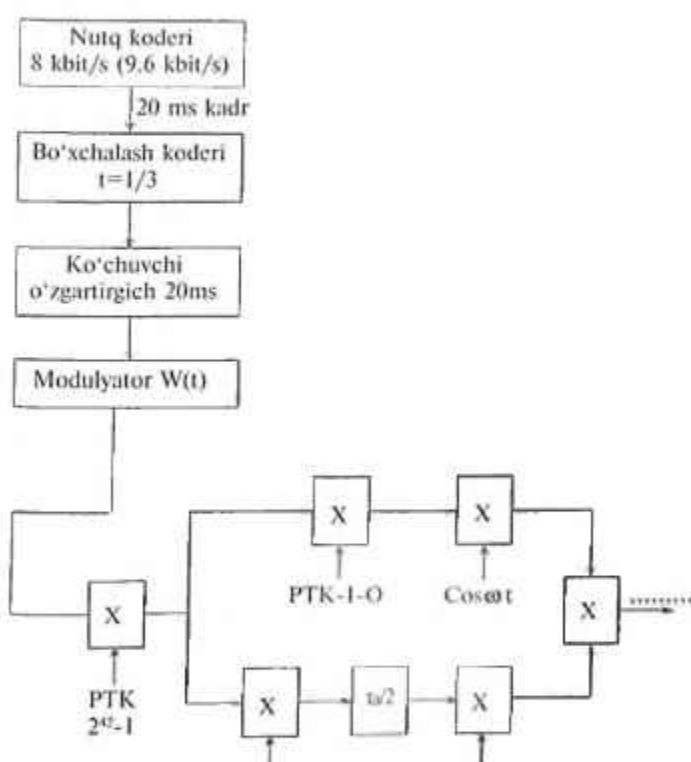
Trafikning to'g'ri kanali so'zlashuv xabarlarini va ma'lumotlarni uzatish uchun xizmat qiladi, shuningdek, BTSdan MSga boshqarish axborotlarni uzatish uchun.

Agar MS trafik kanaldan foydalanmasa, unda BTS bilan aloqani tashkil qilish uchun teskari foydalanish kanal xizmat qiladi. Ushbu kanal vositasida o'rnatuvchi chaqiruvlar, kanalda uzatiladigan xabarlarga javoblar va tarmoqda ro'yxatdan o'tkazishga taqiqlanish amalga oshiriladi. Chaqiruv va kirish kanali umumlashtiriladi.

Teskari trafik kanali bo'yicha nutq xabarlarini va MSdan BTSga boshqaruv axborotlari uzatiladi.

BTSda kanallar soni 64 ta, ulardan 2 ta kanal sinxronlashtirish uchun qo'llaniladi, 7 tasi shaxsiy chaqiruvlar uchun (Paging), qolgan 55 tasi esa nutq xabarlarini uchun.

BTSning hamma 64 ta kanali bir xil PTKdan foydalanadi. Uzatish vaqtda kanallarni ajratish uchun Uolshning 64 ta o'zaro to'g'riburchakli (ortogonal) ketma-ketligi qo'llaniladi. Shu sababli, bitta BTSdagi uzatish kanallar orasida o'zaro xalaqitlar yo'qdir. Ammo, boshqa siklik siljishli aynan shu PTKdan foydalanuvchi bir xil radiochastotali polosada ishlovchi qo'shni BTSlar hosil qiluvchi xalaqitlar bo'lib turadi.



12.8-rasm. Ko'chma stansiyadagi signalning shakllanishi va qabul qiluvchi tayanch stansiyaning strukturaviy sxemasi.

MSdan uzatishda ham xuddi shu Uolshning to'g'riburchakli ketma-ketligi qo'llaniladi, lekin kanallarni bo'lish uchun emas, balki xalaqitlarga chidamlilikni ko'paytirish uchun. Buning uchun uzatishda

har bir 6 bit axborot xabarlarini guruhiga Uolshning 64 ta to'g'riburchakli ketma-ketligidan bittasi qo'yiladi. MS signallarini ajratish turli siklik siljishlarga ega bo'lgan PTKni qo'llash yo'li bilan ta'minlanadi.

Ko'chma stansiyadagi signalning shakllanishi 12.7-rasm-da qabul qiluvchi tayanch stansiyaning strukturaviy sxemasi esa 12.8-rasmida keltirilgan.

Qo'shni BTSlar va boshqa MSlar hosil qiladigan xalaqitlar darajasi CDMA standarti tarmog'ining o'tkazish qobiliyatining yuqori bo'sag'asini aniqlaydi.

CDMA tizimining sotasida aktiv abonentlar sonini hisoblash uchun hamma k aktiv abonentlar sotada F umumiy chastotalar polosasida ishlashadi, xabarlarning uzatish tezligi esa doimiy bo'lib, S ga teng deb faraz qilinadi. Bunda BTS qabul qilgichining sezgirliigi P_0 ga, fon shovqin darajasi esa R_{sh} ga teng.

Nazorat savollari:

1. Sotali aloqa tizimlarining rivojlanishiga qisqa tahlil bering.
2. Tranking aloqa tizimlarining rivojlanishiga qisqa tahlil bering.
3. Yo'ldoshli aloqa tizimlarining rivojlanishiga qisqa tahlil bering.
4. Ikkinchi avlod tizimlarining klassifikatsiyasini keltiring.
5. Ko'p sonli ulanish texnologiyalari va duplekslash usullarini keltiring.

13-hob. UMTS VA GSM TARMOQLARINING O'ZARO ISHLASHI

Standart spetsifikatsiyalariga ko'ra, UMTS quyidagi chastotalar spektridan foydalanadi:

- “yuqoriga” yo'nalishda 1885MGs—2025MGs (AUdan BSga yo'nalishida);
- “pastga” yo'nalishda 2110MGs—2200MGs (BSdan AUga yo'nalishida).

AQSHda 1900MGs chastotalar diapazoni bandligi sababli, UMTS tarmoqlari uchun munosib ravishda 1710MGs – 1755MGs hamda 2110MGs – 2155MGs polosalar ajratilgan.

Bundan tashqari, ayrim davlatlar UMTS tarmoqlarini qurish uchun o'zlarining ichki imkoniyatlaridan kelib chiqqan holda, davlat doirasida qo'shimcha chastota polosalarini ajratishgan (masalan, AQSHda 850MGs, Finlyandiyada 900MGs).

2004-yilning dekabrda butun dunyo bo'ylab W-CDMA radio-ulanish texnologiyasi asosidagi tarmoqlarni joriy etgan operatorlarga jami 120 dan ortiq litsenziyalar (radiochastotadan foydalanishga ruxsat) berilgan edi. Yevropada litsenziya berish jarayoni yuqori texnologik kompaniyalar aksiyalariga talab kuchaygan vaqtiga to'g'ri kelgan edi. Buyuk Britaniya va Germaniya kabi davlatlarda, ko'plab mutaxassislarning fikri bo'yicha, litsenziyalar narxi o'ta yuqori bo'lib, xarajatlarni qoplay olmaydigan darajada bo'lgan. Masalan, Germaniyada operatorlar 6 litsenziya uchun 50 mlrd yevrodan ortiq mablag' sarflaganlar va ulardan ikkitasi (Mobilcom kompaniyasi va Finlandiyani Sonera va Ispaniyaning Telefonica kompaniyalarining konsorsiumi litsenziyalari) keyinchalik to'lovi qaytarilmasdan bekor qilingan.

UMTS va GSM tizimlari radiointerfeys sathida turli xil mexanizmlardan foydalanadi, shuning uchun ushbu sathda ikkala tarmoqlar moslasha olmaydilar. Lekin hozirgi paytda ikkala standartda ishlay oladigan UMTS abonent uskunalari va modullari Yevropa, AQSH, Shimoliy Afrika va Osiyoning ko'p hududlarida keng

tarqalgan. Bunda, agar UMTS tizimining abonentlari UMTS xizmat doirasidan chetga chiqsa, uning terminali avtomatik ravishda GSM formatida qabul qilish va uzatish (hatto tarmoq turli operatorlarga tegishli bo'lsa ham) holatiga o'tadi. Lekin GSM standartining mobil terminallari UMTS tarmoqlarida ishlay olmaydi.

GSM standartida xizmat ko'rsatayotgan aloqa operatorlari uchun UMTS standartiga o'tish texnik nuqtayi nazaridan oddiy bo'lsada, tarmoqni tashkil etish nuqtayi nazaridan ancha xarajatli bo'ladi. Yangi darajadagi tarmoqlarni qurishda oldingi infratuzilmaning aksariyat qismi saqlanib qoladi, lekin shu bilan birga BSlar uchun yangi uskunalarni sotib olish hamda yangi litsenziyalar olish uchun katta miqdorda mablag' sarflanishi talab qilinadi.

UMTS tizimining GSM tizimidan asosiy farqi radioulanish tarmog'ini (*ingl. Radio Access Network — RAN*) umumiy ulanish prinsipida qurilishidir. Bu UMTS tizimini birlashgan xizmatlar ko'rsatuvchi raqamli tarmoqlar — ISDN, Internet, GSM yoki boshqa UMTS tarmoqlari bilan o'zaro ishlash imkonini beradi. UTRAN nomini olgan UMTS standarti radioulanish tarmog'i "Tizimlarning ochiq o'zaro ishlash" modelining (*ingl. Open Systems Interconnection — OSI*) uchta quyi sathlarida ishlaydi, ulardan eng yuqorisini (uchinchi, tarmoq sathini) radioresurslarni boshqaruvchi tizim protokollari (RRC protokoli) tashkil etadi.

13.1. UMTS standartining kamchiliklari

UMTS standartining asosiy kamchiliklariga quyidagilar kiradi:

- spektrdan nisbatan samarasiz foydalanish (5MGs kenglikdagi juft kanallar) va boshqa xizmatlarga tegishli bo'lgan chastotalarni bo'shatish zarurati, bu tarmoqlar qurilishini sekinlashtiradi (masalan, AQSHdagidek);
- ba'zi davlatlarda (shu jumladan, AQSH va Yaponiyada) radiochastota spektrini taqsimlash tartibi HTI tavsiyalariga mos kelmaydi va natijada UMTS tarmoqlarini standart uchun mo'ljallangan chastotalarda qurib bo'lmaydi;

- UMTS va GSM tarmoqlari orasida “xendover”ni tekis amalga oshirishning texnologik murakkabligi;
- sotaning uncha katta bo'lmagan radiusi (xizmatlarni to'liq taqdim etish uchun u 1—1,5 km ni tashkil etadi);
- akkumulyator batareyalarining kam sig'imliligi bilan birga mobil terminallarning nisbatan og'irligi.

CDMA standarti (*Code Division Multiple Access*) — asosida kanallarni kod bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalana olish texnologiyasi yotadi. CDMA tizimlarida har bir ovoz oqimi o'zining yagona noyob kodi bilan belgilanadi va bir vaqtning o'zida boshqa ko'plab kodlashtirilgan ovozlar oqimi bilan birgalikda bitta kanalda uzatiladi. Qabul qiluvchi tomon signalni shovqindan ajratish uchun aynan shu koddan foydalanadi. Ko'plab ovozli oqimlar orasidagi yagona farq bu noyob koddir.

Qoidaga asosan kanalning kengligi juda katta bo'lib, har bir ovoz oqimi diapazonining butun spektrini egallaydi. Mazkur tizim kengligi 1,23 MHz bo'lgan kanallar to'planidan foydalanadi. Ovoz 8,55 Kbit/s tezlikda kodlashtiriladi, ammo ovoz aktivligini va kodlashtirishning turli tezliklarini aniqlash jarayoni ma'lumotlar oqimini 1200 bit/s gacha kamaytirishi mumkin. CDMA tizimlarida signal quvvatining o'lchami ekstremal past bo'lishiga qaramasdan juda mustahkam va himoyalangan barqaror bog'lanishlar o'rnatiladi. Nazariy jihatdan signal o'lchami shovqin darajasiga qaraganda kuchsiz bo'lishi mumkin.

IS-95 standartining asosiy xususiyatlari. Bu standartni ishlab chiqishdan asosiy maqsad KSAT sig'imini analoglilarga qaraganda kattalashtirishdir. CDMA tizimiga qo'yiladigan texnik talablar aloqa sanoati assotsiyasi (TIA) tomonidan quyidagi standartlarda ifodalangan:

- IS-95-CDMA radiointerfeysi
- IS-96-CDMA so'zlashuv xizmatlari
- IS-97-CDMA ko'chma stansiya
- IS-98-CDMA tayanch stansiyasi
- IS-99-CDMA ma'lumotlarni uzatish xizmati

Tizim AMPS/DAMPS standartlari KSAT tarmoqlari uchun ajratilgan 800 MHz diapazonda ishlash uchun mo'ljallangan. CDMAning texnologik afzalliklaridan biri bo'lib aloqani sir saqlash (maxfiyligi) hisoblanadi, shuning uchun xabarlarni shifrlash talab qilinmaydi.

IS-95 standarti Uolsh funksiyalarining 64 ketma-ketliklari asosida chastotalar spektrini to'g'ri kengaytirishni qo'llaydi. So'zlashuv xabarlari o'zgarish tezligi 8000 bit/s bilan CELP algoritmi bo'yicha o'zgartiriladi, kanallarda esa xalaqitga chidamlilikni oshirish uchun qo'shimcha simvolni hisobga olgan holda 9600 bit/s gacha yetkaziladi. Tizim 4800, 2400 va 1200 bit/s tezliklarda ishlash rejimini ta'minlaydi. "Pastga" uzatishda tizimda 1/2, "yuqoriga" esa 1/3 tezlik bilan o'ramli kodlashtirish qo'llaniladi. Bundan tashqari, uzatilayotgan xabarlarning navbatma-navbatligi, qabulda esa "yumshoq" yechimli Viterbi dekoderi qo'llaniladi.

Qualcomm CDMA standartidagi aloqa kanal 1.25 MHz polosani egallaydi, azosiy tavsiflari va texnik parametrlari esa 13.5-jadvalda keltirilgan.

13.5-jadval

Qualcomm CDMA standartining asosiy tafsifi va texnik parametrlari

MS uzatish chastota diapazoni	824,040–848,970 MHz
BTS uzatish chastota diapazoni	869.040–893.970 MHz
MS tashuvchi chastotasining nisbiy nomotadilligi	$\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$
BTS tashuvchi chastotasining nisbiy nomotadilligi	$+ 5 \cdot 10^{-8}$

Modulyatsiya turining nisbiy nomotadilligi	QPSK (BTS), O-QPSK (MS)
Uzatiluvchi signal spektrining kengligi – sathi 3 dB bo'yicha – sathi 40 dB bo'yicha PTKning takt chastotasi	1,25 MHz 1,50 MHz 1,2288 MHz
PTKdagi elementlar soni – BTS uchun – MS uchun	32768 bit $2^{42} - 1$ bit
BTSning 1 ta tashuvchisidagi kanallar soni	1 pilot kanali 1 signalizatsiya kanali 7 shaxsiy chaqiriq kanallari 55 aloqa kanallari
MSning kanallari soni	1 foydalanish kanali 1 aloqa kanali
Ma'lumot uzatish tezligi – sinxronizatsiya kanalida – shaxsiy chaqirish va foydalanish kanalida – aloqa kanalida	1200 bit/s 9600,4800 bit/s 9600,4800,2400,1200 bit/s
BTS uzatish kanallaridagi kodlash (sinx. kanali. shaxsiy chaqiriq. aloqasi)	O'ta aniqlik bilan kodlash $r=1/2, K=9$
MS uzatish kanallaridagi kodlash	$U=1/3, K=9$ Uolsh signali bilan 64 lamchi kodlash
Qabul qilgichdagi axborot bit energiyasining shovqin spektral zichligining nisbati (E_n/N_0)	6–7 dB

BTSning maksimal samarali uzatish quvvati	50 Vt gacha
MS ning maksimal samarali uzatish quvvati	
– 1 sinf	6,3 W
– 2 sinf	2,5 W
– 3 sinf	1,0 W
MS uzatgichining quvvatni boshqarish aniqligi	+/- 0,5 Db

Qabul qilishda akslanish natijasida har xil kechikish bilan kelgan signallarga alohida ishlov beriladi, so'ng vazn bo'yicha qo'shish amalga oshiriladi. Qabulning bunday tarzda amal qilinishi ko'p nurlilik effektining salbiy ta'sirini yetarli darajada pasaytiradi.

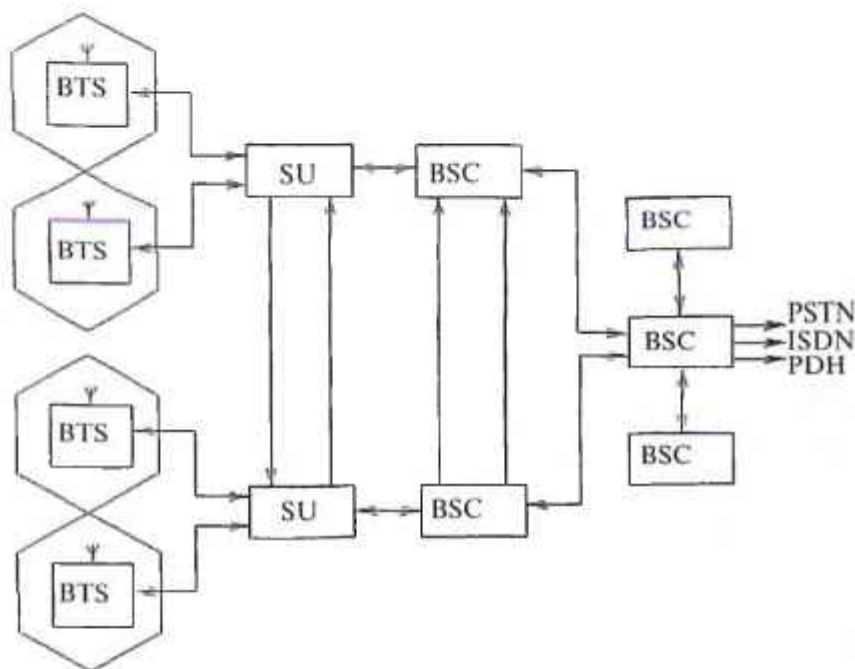
Signallarga alohida raqamli ishlov berish uchun har bir qabul kanalida 4 ta korrelyator BTSda, 3 ta korrelyator MSda parallel ravishda ishlaydi. Bundan tashqari parallel ishlovchi korrelyatorlar sotalarni kesib o'tishda "Estafetali uzatib berish"ning (*Soft Handoff*) ohista o'tish rejimini amalga oshirish imkoniyatini yaratadi. Bu MSning ikkita va undan ko'p BTSlar tomonidan boshqarilishi hisobiga yuzaga keladi.

CDMA standartining umumlashtirilgan strukturaviy sxemasi quyidagi sxemada keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, keltirilgan sxemaning asosiy elementlari KSATning analogli va raqamli standartlarida qo'llaniladigan elementlariga o'xshashdir. Tafvut faqat sifatni baholovchi va kadrni tanlovchi (*SU – Selection Unit*) qurilmaning qo'llanilishidadir. Bundan tashqari, "estafetali uzatishning" ohista rejimini amalga oshirish uchun turli kontrollerlar (BSC) tomonidan boshqariluvchi BTS lar orasiga SU va BSC (Inter BSC Soft Handoff) o'rtasidagi uzatish liniya kiritiladi.

Aloqa o'rnatish protokollari CDMA dagi to'g'ri (*forward*), teskari (*reverse*), "yuqoriga" uzatishlarga bo'lingan mantiqiy kanallardan foydalanadi.

To'g'ri pilot kanali MSning tarmoq bilan sinxronlashuvi va BTS signallarini vaqt, chastota va faza bo'yicha nazorat qilish uchun xizmat qiladi.

Sinxronlashtirish kanali BTSni, pilot signal nurlashish darajasini, BTSdagi PTKning fazalarini identifikatsiyalash uchun foydalaniladi.



BTS (Base Transceiver Station) – Tayanch qabul qiluvchi uzatuvchi stansiya

BSC (Base Station Controller) – Tayanch stansiyalar kontrolleri

OMC (Operation and Maintenance Centre) – Boshqarish va xizmat ko'rsatish markazi

SU (Selector Unit) – Kadr saralaydigan qurilma

DB (Data Base) – Abonentlar va qurilmalar haqida ma'lumotlar bazasi

MSC (Mobile Switching Centre) – Ko'chma aloqa kommutatsiya markazi

CDMAli tizimda o'zaro xalaqitni pasaytirish va buning natijasida tarmoq sig'imini kengaytirish usullaridan biri bo'lib bu nutq aktivligining detektorini va CELP algoritimli vokoderni, shuningdek analog so'zlashuv signalini raqamli signalga aylantirishning o'zgaruvchan tezligini ishlatish asosida nutqni uzlikli uzatish hisoblanadi.

IS-95 standartida xabarlar uzatilishi kadrlar bilan amalga

oshiriladi, qo'llanilayotgan qabul texnologiya esa har bir axborot kadridagi xatolarni tahlil qilish imkoniyatini beradi. Bunda, agar xatolar soni yo'l qo'yiladigan qiymatdan oshib ketsa, unda kadr o'chiriladi (*frame erasure*). O'z navbatida "bitlarni o'chirish chastotasi" E_0/N_0 munosabat bilan aniqlanadi. Sotadagi aktiv abonentlar soni ko'payganda, o'zaro xalaqitlar tufayli E_0/N_0 nisbat pasayadi, xatolar takrorlanishi esa oshadi. Bunday xatolar kattaligi bo'yicha umumiy normalar hali qabul qilinmagan, shuning uchun turli xil ishlab chiqaruvchi firmalar o'zlari tomonidan tez-tez uchrab turadigan xatolarning joiz qiymatini qabul qilishadi. Masalan Qualcomm firmasi xatolarning tez-tez sodir bo'lish qiymat kattaligini uch foizga teng deb hisoblaydi, bunda CDMA tizimining sig'imi AMPS tizimiga qaraganda 20..30 marta kattalashadi. O'z navbatida Motorola firmasi yo'l qo'yiladigan xatolar soni bir foizga teng deb hisoblaydi, unda AMPS tizimiga qaraganda CDMA tizim sig'imi faqat 15 marta kattalashadi.

Motorola firmasining ma'lumotlariga asosan $E_0/N_0=7...8\text{dB}$ nisbatda va yo'l qo'yilgan xatolar takrorlanishi bir foiz bo'lganda uch sektorli sotada 60 tagacha aktiv kanallar tashkil qilish mumkin.

IS-95 standarti MS ning xususiyatlari. IS-95 standarti uchun ishlab chiqarilgan MS ikki rejimli hisoblanadi. Ya'ni CDMA tarmog'idan boshqa mavjud chastotali modulyatsilashtirilgan analogli standartlar (AMPS) tarmoqlari bilan ham aloqa o'rnatish imkonini beradi. Bu esa CDMA abonentlariga jiddiy afzallik tug'diradi, chunki mavjud sotali analog tarmoqlar ta'minlagan radioqamrov joyda ham MSdan foydalanish imkonini beradi. Bunday MS larning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, mavjud analog standartli stansiyalarga signallarni raqamli ishlov berish funksiyalari qo'shilgan. Qualcomm firmasining IS-95 standartida bu funksiyalar bitta qurilmaga konstruktiv jihatdan birlashtirilgan uchta buyurtmali SBISda amalga oshirilgan.

CDMA texnologiyalarining signallarini efirdan qidirib topish masalasiga kelsak, ularning yuqori kriptochidamliligi va shovqinlar ostida yashirinligi tufayli bu vazifa juda murakkab hisoblanadi. Shunisi qiziqki, kriptochidamlilik, xalaqitga chidamlilik va xalaqitdan himoyalash kabi sifatlarning birligi hamda akkumulyator batareyasi sig'iminining energiyasi kam sarf bo'lishini hisobga olgan holda CDMA texnologiyasini xavfsizlik kuchlari, muassasalari ehtiyojlari uchun qo'llash maqsadga muvofiqligini ko'rsatadi.

WCDMA standarti

WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) – keng polosali, kod bo'yicha ajratilgan kanallar orqali ko'p stansiyali foydalanishdir. WCDMA tarmoqlari mavjud GSM tarmoqlari ustidan quriladi. Bunda tarmoqlar parallel ravishda ishlaydi: tarmoqning eski foydalanuvchilari GSM tarmog'idan foydalanashadi, yangilari esa sharoitga qarab, GSM yoki WCDMA dan foydalanishadi. Abonent terminali tarmoqlar o'rtasida avtomatik ravishda o'zgartiriladi, buning ustiga bir tarmoqdan boshqa tarmoqqa o'zgartirish aloqani uzmasdan turib amalga oshirish mumkin. WCDMA ning GSM ga qaraganda bosh afzalligi ma'lumotlarni yuqori tezlikda uzatishdir, nazariy jihatdan 2 Mbit/s gacha amalda erishib bo'ladigani 384 kbit/s (solishtirganda maksimal nazariy erishiladigan tezlik PRS 155 kbit/s hisobiga 64 kbit/s, amalda erishiladigani 48 kbit/s). Bundan tashqari mobil videotelefonli aloqa va mobil terminalga to'laonli audio va videofayllarni yuklash imkoniyatlari mavzuda WCDMA ning qo'llanilishi telefon narxini oshiradi. Bugungi kunda O'zbekistonda uchinchi avlod tarmoqlari test rejimida va cheklangan territoriyada ishlaydi.

UMTS (*Universal Mobile Telecommunication Systems*). Universal mobil telekommunikatsiya tizimlari bu 3G ni Yevropadagi Telekommunikatsiya Standartlari Instituti (ETSI) tomonidan

ishlab chiqilgan standartlardan biridir. Bugungi kunda mobil aloqaning rivojlanishini aniqlovchi asosiy omil ovozli telefondir. GPRS va EDGE larning yuzaga kelishi, keyin UMTS ga o'tishi ovozli aloqadan tashqari ko'plab qo'shimcha imkoniyatlarga yo'l ochib berdi. UMTS – bu ma'lumotlarni yuqori tezlikda uzatishni, mobil internet, Internet va multimediya asosida turli qo'shimcha imkoniyatlarni taqdim etadi. UMTS uchun keng polosani kod bo'yicha ajratishlar bilan ko'p stansion foydalanishning (WCDMA) asosiy texnologiyasi hisoblanadi. 1998-yili sentyabr oyida Yevropa telekommunikatsiyalar standartlari instituti tomonidan taqdim etilgan bunday revolyutsion radioaloqa texnologiyasi shu davrgacha to'plangan 3G ning barcha multimedia xizmatlarini amalda bajara oladi.

WCDMA/UMTS tizimlari GSMning takomillashgan tarmog'i va WCDMA texnologiyalari bo'yicha radiointerfeysni o'z ichiga oladi. Mobil abonent uchun radiokanalda uzatish tezligi 2 Mbit/s ga yetadi. WCDMA 2GGs chastotali diapazonda ishlaydigan tizimlarda qo'llaniladi, bu esa ushbu texnologiyaning barcha afzalliklaridan to'liq foydalanish imkonini beradi. Masalan, 5 MHz kenglikdagi bittagina asosiy WCDMA 8 Kbit/s gacha bo'lgan tezlikdagi uzatishlarni talab qiluvchi aralash xizmatlarni taqdim qiladi. Mobil terminallar esa WCDMA bilan birlashib, ITU tavsiyalariga asosan baravariga bir necha xizmatlar bilan ishlashi mumkin.

CDMA-2000 standartlari. CDMA-2000 bu simsiz radio-foydalanish, ITUIMT-2000 aniqlanganidek, sotali aloqa xizmatlarining uchinchi avlodi 3Gni qo'llab-quvvatlaydi.

Avvaldan CDMA-2000 ishlab chiqarishda quyidagi shartlar qo'yildi:

- aloqa xizmatlari hajmi va sifatining ITUning 3Gga talablariga to'la mos kelishi;
- operatorlik kompaniyalari xavf-xatarlarini kamaytirish va ularning kapital mablag'larini himoya qilish;
- operatorlik kompaniyalarining tarmoqni rivojlantirish ishlarini yengillashtirish.

CDMA-2000 uyali tarmoqlari CDMA ONE (IS-95) raqamli tarmoqlari bilan bir-biriga to'la mos keladi, bu esa simsiz aloqaning yangi avlodiga sodda va arzon o'tishni ta'minlaydi, bu bilan operatorlik kompaniyalarning kapital operatorlik kompaniyalarning kapital mablag'larini himoya qilish imkonini beradi.

CDMA-2000 uyali tarmoqlari ma'lumotlarni yuqori tezlik va multimoyillikda uzatishda tovush sifatini yetarli darajada yaxshilash va tovushli kanallar hajmini kengaytirishni tavsiya qiladi. CDMA-2000 ga evolyutsion o'tish ikkita: 2x va 3x fazalariga bo'linadi. IMT-2000 ga evolyutsion o'tishni amalga oshirish uchun 1.25 MHz chastotalar polosasida IXEV standartini rivojlantirishning. U esa CDMA-2000 imkoniyatlarini 1x dan oshirish imkonini beradi. CDMA kongressida butun dunyoning operatorlari tomonidan yig'ilgan CDG tomonidan umumlashtirilgan va bu standartga qo'yilgan talablar qabul qilinadi.

CDMA 2000 ning yechimi 450 MHz diapazonda telekommunikatsiyaning universal xizmatlarini amalga oshirish uchun asos bo'lishi mumkin. Masalan, O'zbekistonning butun territoriyasi bo'yicha, ayniqsa uzoqlashgan qishloq joylarda na faqat ovozlarni, balki ma'lumotlarni ham uzatish mumkin. Bunday holatda aloqaga oddiy erishibgina qolmasdan, balki mobil yoki qayd qilingan aloqa tarmoqlarini kengaytirish narxi balandligi tufayli aholiga bunday xizmatlarni ko'rsatish imkoni bo'lmagan joylarda ham amalga oshirish mumkin.

CDMA 2000 texnologiyalarini, ayniqsa, 450 MHz diapazonida foydalanish "elektron hukumat" tizimini tuzishni birmuncha yengillashtirishi mumkin. Bu standartning turli taqdim etiluvchi xizmatlari hukumat, davlat xavfsizligi va boshqa muassasalar uchun istiqbolli qo'llanilishlar egadir. Bu texnologiya sanab o'tilgan afzalliklardan tashqari autentifikatsiyalash, kodlashtirish yordamida uzatishda axborotlarni himoya qilishning yuqori darajasini va ma'lumotlarning butunligini ta'minlaydi.

13.2. CDMA-2000 standartining tizim arxitekturası

CDMA-2000 standartlar turkumi tayanch interfeyslar, tarmoq unumdorligiga talablar, shuningdek, ko'rsatiladigan xizmatlar tavsifini o'z ichiga oladi. CDMA-2000 tizimlari oldingi CDMA texnologiyasiga asoslangan tizimlar bilan moslashtirilgan bo'lib, bu CDMA-2000 abonent qurilmalari ham CDMA-2000, ham SDMAOne (IS-95) tarmoqlarida ishlay olishini bildiradi. Moslashtirishni ta'minlash standart uchun tizimning parametrlarini, o'rnatish jarayonlarini va ulanishni qayta ishlash, shuningdek, signalizatsiya tizimining parametrlarini belgilaydi. Standartda, shuningdek, abonent qurilmalarining o'zaro ta'sirlashishini boshqarish uchun ularning nurlanish quvvat darajalari ham keltirilgan.

CDMA-2000 tizimining arxitekturası GPRS va UMTS tizim arxitekturalari bilan ko'plab umumiylikka ega. Bu yerda ham ikki darajaga bo'linish mavjud: radioulaniş — RAN va tayanch — CN tarmoqlari, shuningdek, paketli va kanalli kommutatsiya uchun alohida nimtizimlar ishtirok etadi. CDMA tarmog'i quyidagi tuzilish elementlaridan iborat (13.1-rasm):

Radioulaniş darajasida BTS — tayanch stansiyalar (transiferlar) va BSC — tayanch stansiyalar kontrollerlari ishtirok etadi va o'zlari uchun an'anaviy bo'lgan funksiyalarni bajaradi.

Tayanch tarmog'i darajasi quyidagi elementlardan iborat:

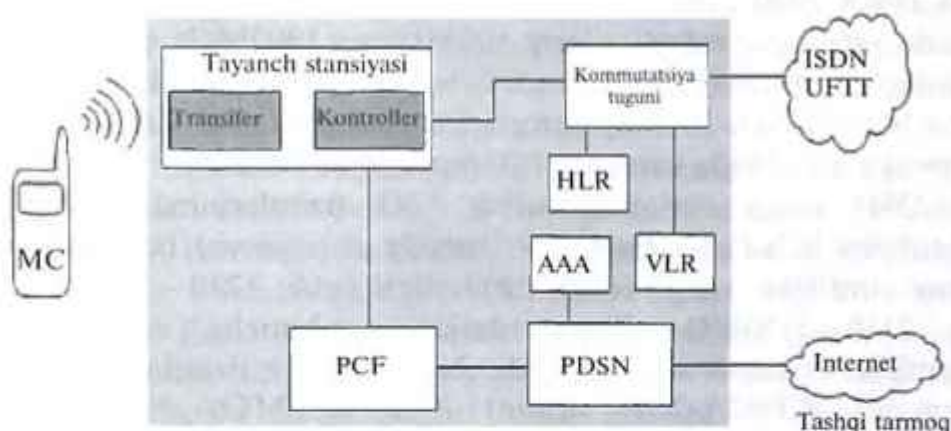
- **PCF** (*ingl. Packet Control Function*) — paketli uzatishni boshqaruv markazi;
- **PDSN** (*ingl. Packet Data Service Node*) — paketli ma'lumotlarni uzatishga xizmat qiladigan tugun.

Bu tugunlar paketli kommutatsiya jarayonida qatnashishadi.

- **MSC** — mobil kommutatsiya markazi: GPRS tarmoqlaridagi kabi simli tayanch tarmog'i hisoblanib, radioulaniş tarmog'i va umumiy ulanish turg'un tarmoqlari oralig'idagi bog'lovchi tugun hisoblanadi. MSC markazi kanalli kommutatsiya yordamida ulanishni ta'minlaydi.

Tarmoqning quyidagi tugunlari esa, o'zlarining an'anaviy funksiyalarini bajarishadi:

- **AAA** — avtorizatsiya, autentifikatsiya va hisob markazi;
- **HLR** — uy abonentlari registri;
- **VLR** — mehmon abonentlar registri.



13.1-rasm. *CDMA-2000 tarmog'ining soddalashtirilgan sxemasi.*

CDMA-2000 tizimlarining arxitekturasini tahlil qilinganda, **PDSN** - ma'lumotlarni paketli uzatish tayanch tarmog'i UMTS tarmog'idagi SGSN tuguni o'rniga ishlatilishini ko'rish mumkin. Yana bir farq shundaki, CDMA-2000 tizimida AUs mobilligini boshqarish uchun UMTS kabi HLR registri emas, balki Mobile IP protokolining kengaytirilgan versiyasi ishlatiladi (ya'ni, IP protokoli bilan moslashtirilgan). Bu esa, yangi mobil aloqa tarmoqlarini, asosan, mobil Internet ilovalari va xizmatlariga yo'naltirilganligini hisobga olganda, CDMA-2000 tizimlarining shubhasiz afzalligi hisoblanadi. Shu bilan birga, UMTS va CDMA-2000 tizimlarida ommaviy foydalanish telefon tarmoqlariga va ma'lumotni paketli uzatish tarmoqlariga ulanishda o'xshashlik mavjud.

13.3. CDMA-2000 standarti uchun radiochastota spektri

CDMA-2000 tarmoqlarini mobil aloqa tizimlari uchun ajratilgan deyarli barcha chastota diapazonlarida qurish mumkinligi tufayli radiochastotalardan foydalanish masalasida katta moslashuvchanlik mavjud.

CDMA-2000 tizimlari cdmaOne (IS-95) tarmoqlari vorisi sifatida yaratilgani tufayli, ularni 800MGs va 1900MGs diapazonlaridagi chastotalarni qo'llab-quvvatlashi asosiy talablardan bo'ldi. Shu bois CDMA-2000 operatorlari o'z tarmoqlarini qurishlarida sarmoya masalasida katta afzalliklarga ega bo'ldilar.

AQSH aloqa ma'muriyatining "3G tizimlarining yashovchanligini baholash" (*ingl. 3G Viability Assessment*) nomi bilan ham yuritilgan yangi rejasi 2004-yilga kelib 1710–1770MGs va 2110–2170MGs diapazonlarida qo'shimcha chastotalar ajratilish g'oyasini olg'a yuritdi. Natijada 3G tizimlari uchun (xususan, CDMA-2000 uchun) 1710–1755MGs diapazonda 45MGs va 2110–2150 MGs diapazonda 40MGs kenglikdagi polosalar ajratildi.

Shuningdek, CDMA-2000 tizimlari ko'plab davlatlarda NMT-450 birinchi avlod tarmoqlarining "munosib o'rinbosarlari" bo'ldi va ularning chastota diapazonini o'zlashtirdi.

Shunday qilib, zamonaviy CDMA-2000 tarmoqlari asosan quyidagi diapazonlarda ishlatiladi:

- 850MGs va 1900MGs (asosan AQSHga xos) – dunyodagi barcha tarmoqlarni 87 foizi ushbu polosalarda ishlaydi;
- 450MGs, 1700MGs, 2100MGs (dunyo miqyosida) – tarmoqlarning qolgan 13 foiziga mansub.

Misol uchun, janubi-sharqiy Osiyo davlatlarida ko'plab CDMA-2000 tarmoqlari "yuqoriga" kanalda 825–832,5 MGs va "pastga" kanallarda 870–877,5MGs (FDDda ikkita 7,5MGs lik polosalar) chastotalardan foydalanadi. Rossiyada CDMA-2000 tarmoqlari uchun 828–831MGs va 873–876MGs chastota bo'yicha ajratilgan polosalar juftligi ishlatiladi. Yuqorida ta'kidlanganidek, bizning respub-

likamizda 450MGs (453MGs–457,4MGs / 463MGs–467,4MGs) va 800MGs (835,02MGs–844,98MGs) chastota diapazonlarida CDMA-2000 standarti asosida ikki tarmoq ishlab kelmoqda.

13.4. FOMA standarti

FOMA (*ingl. Freedom of Mobile Multimedia Acces*) Yaponiya-ning NTT DoCoMo sotali aloqa operatori tomonidan taqdim etilayotgan 3G xizmatlari uchun W-CDMA texnologiyasiga asoslangan standartning savdo belgisi hisoblanadi.

NTT DoCoMo kompaniyasi bu standart ustida ishlarni avvalgi asr 90-yillari oxirida boshlab 2001-yilga kelib dunyodagi birinchi W-CDMA texnologiyasi asosidagi 3G tarmog'ini ishga tushirishga shay bo'ldi. Shunday qilib, FOMA birinchi tarmoqlari 2001-yilning oktyabrida ikkita yapon shaharlari: Tokio va Yokogamada muvaffaqiyatli ishga tushirildi. 2004-yildan boshlab FOMA tarmoqlarida ommaviy savdo ko'rsatkichlari keskin o'sishni boshladi va abonentlar soni juda ortdi. 2007-yil 29-sentyabr ma'lumotlariga ko'ra FOMA tarmoqlari 40 milliondan ortiq foydalanuvchilarga xizmat ko'rsatgan.

FOMA standarti "yuqoriga" va "pastga" yo'nalishlarda mos ravishda 1920MGs–1980MGs va 2110MGs–2170MGs chastota diapazonlarida FDD dupleks asosida W-CDMA texnologiyasidan foydalanadi. Qo'shimcha ravishda PDC standarti tarmoqlaridan bo'shashgan 800MGs diapazonidan ham foydalanish ko'zda tutilgan. FOMA standarti ATM texnologiyasini ishlatadi va paketli va kanalli kommutatsiya rejimlarini qo'llab-quvvatlaydi. Shuningdek, ATM qo'llanilishi tufayli, asinxron trafik hamda "nuqta-nuqta" va "nuqta-ko'p nuqta" rejimlarida kommutatsiya ham qo'llab-quvvatlanadi. FOMA standartida W-CDMA texnologiyasi ikki rejimda ishlatilishi mumkin: spektrni kengaytirish asosida (*ingl. Spread Spectrum Technology*) yoki multitezlik asosida (*ingl. Multirate Technology*). Bunda uzatish kanali va tezligi uzatiladigan ma'lumotlarning turi va o'lchamiga bog'liq ravishda tanlanadi.

Hozirgi vaqtda NTT DoCoMo kompaniyasi “pastga” kanalda 7,2Mbit/sek va “yuqoriga” kanalda 5.7Mbit/sek gacha ma’lumot uzatish tezligini ta’minlovchi “O’ta tez FOMA” (*ingl. FOMA High-Speed*) nomini olgan HSPA xizmatlarini taqdim etmoqda.

Umuman, o’zining texnik xarakteristikalari bo’yicha FOMA standarti UMTS standartiga juda yaqin, shuning uchun bu darslik doirasida ushbu standartning qisqa ta’rifi bilan cheklanildi.

Tabiiyki, FOMA standartining bo’lajak rivojlanishi LTE standarti bilan qo’shilish tomoniga qaratilgan va ARIB va TTC yapon standart ishlab chiquvchilari 3GPP doirasida LTE loyihasini yaratishda bevosita ishtirok etganlari bunga qo’shimcha dalildir.

13.5. TD-SCDMA standarti

TD-SCDMA (*ingl. Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access*) bu bir eltuvchi chastotali, vaqt bo’yicha duplekslovchi CDMA texnologiyasi asosidagi uchinchi avlod tizimlarining “Xitoy” varianti hisoblanadi. Standart 2006-yilda Xitoy telekommunikatsiya sanoatini qo’llab-quvvatlash va CDMA-2000, W-CDMA texnologiyalari patentlari uchun to’lovlardan xoli bo’lish maqsadida ishlab chiqilgan va rasmiy qabul qilingan.

TD-SCDMA standarti TDD duplekslash usuli ishlatilgan W-CDMA texnologiyasini rivojlantirilishi hisoblanadi. Germaniyani Siemens kompaniyasi va Xitoy telekommunikatsiya texnologiyalari akademiyasi — CATT (*ingl. China Academy of Telecommunications Technology*) hamkorligida yaratilgan ushbu standart HTI tomonidan UMTS standartlar oilasining bir a’zosi sifatida ma’qullangan. TD-SCDMA standarti aholisi o’ta zich hududlarda, Xitoyga xos bo’lgan cheklangan chastota resurslari sharoitida ishlashga mo’ljallangan.

RAT (*ingl. Radio Access Technology*) radioulanish texnologiyasi uch kombinatsiyadan iborat: kanallarni vaqt bo’yicha duplekslash (TDD), kanallarni vaqt (TDMA) va kod (CDMA) asosida multiplekslash mexanizmlari. Aloqa 5ms davomiylikdagi

ettita vaqt intervallariga (taym slotlarga) ajratilgan davriy ravishda takrorlanadigan kadrlar (freymlar) orqali amalga oshiriladi. Bundan tashqari, har bir taym-slotda 16 ta kodli ketma-ketliklar yordamida 16 tagacha CDMA kanallarini shakllantirish mumkin. Texnologiyani muhim xususiyati bu real uzatiladigan trafikdan kelib chiqqan holda taym-slotlarni moslashtirib taqsimlash imkoniyatidir. Masalan, asimmetrik ilovalarda (Internetda ishlash) "yuqoriga" kanal uchun bir taym-sloti egallansa, "pastga" kanal uchun esa qolgan oltita taym-slotlarni ajratish mumkin.

TD-SCDMA tarmoqlari uchun 1,6MGs kenglikdagi polosalar ishlatilishi ko'zda tutilgan. Yagona kanal uchun mo'ljallangan freymdagi taym-slotlarni sonini o'zgartirish hisobiga, modul-yatorni 1,28 Mchip/sek simvol tezligi asosida, ushbu texnologiya 1,2kbit/sek dan 2Mbit/sek gacha bo'lgan keng ko'lamdagi moslashuvchan ma'lumot uzatish tezligini ta'minlashi mumkin. Foydalanilgan chastota diapazoniga qarab aloqa uzoqligi 40 km gachani tashkil etishi mumkin. Standart abonentlarni yuqori mobiligini ta'minlaydi va 120 km/soat gacha bo'lgan abonentning harakatlanish tezligida ham aloqa sifatini saqlaydi.

TD-SCDMA texnologiyasida TDD dupleks sxemasi tanlanishi asoslidir. Ma'lumki, TDD duplexi kichik xizmat ko'rsatish hududida abonentlarning zich joylashgan sharoitlarida o'zining afzalliklarini ko'rsatadi va 45–220MGs ga bir-biridan tarqalgan juft chastotalar bo'lmagan hollarda yagona yechim hisoblanadi. Shuningdek, TDD tufayli kiruvchi va chiquvchi trafik munosabatlarini moslashuvchanlik bilan o'zgartirish mumkin va bu asimmetrik ilovalar bilan ishlashda juda qo'l keladi.

Shuningdek, muhimi shuki, ishlab chiquvchilar TD-SCDMA tizimlari GSM tarmoqlari bilan o'zaro ishlashini hamda GSM va W-CDMA texnologiyalarining yuqori darajalardagi signalizatsiya va protokollarini qo'llab-quvvatlashi tufayli W-CDMA tarmoqlariga "silliq" o'tishini ko'zda tutishdi. Bunga qo'shimcha, TD-SCDMA standartining birinchi telefonlari ikki rejimli bo'lib, GSM-chipsetlari bilan birga TD-SCDMA chipsetlaridan foydalangan.

Taxminlar bo'yicha, TD-SCDMA standarti asosidagi tarmoqlar o'zlarining 4G tomon evolyutsion rivojlanishda LTE standartiga o'tadilar.

Nazorat savollari:

1. Hozirgi vaqtda dunyoda qancha 3G standartlari (standartlar oilasi) mavjud?
2. W-CDMA texnologiyasining asosiy xarakteristikalarini keltiring.
3. UMTS standartining asosiy kamchiliklari nimada?
4. CDMA-2000 standarti asosidagi sotali aloqa tizimlarining evolyutsiyasi.
5. FOMA standartining asosiy xarakteristikalari.

14-bob. LTE STANDARTINING RIVOJLANISH TARIXI

14.1. 3GPP Long Term Evolution (LTE)

3GPP Long Term Evolution (LTE) — mobil aloqa protokoli bo'lib, kelajakda ma'lumotlar uzatish tezligiga bo'ladigan ehtiyojni qondirish uchun UMTS standartini takomillashtirish bo'yicha 3GPP loyihasi hisoblanadi. Ushbu takomillashtirish natijasida, misol uchun, aloqa samaradorligini oshirish, tarmoqlarni tashkil etishdagi xarajatlarni kamaytirish, taqdim etiladigan xizmatlar darajasini mukammallashtirish va kengaytirish, shuningdek, mavjud mobil va keng polosali aloqa protokollari bilan o'zaro hamkorlikni ta'minlab berish imkoniyatlari paydo bo'ladi. 3GPP LTE standartida ma'lumot olishning nazariy tezligi 326,4Mbit/sek, uzatishning tezligi esa, 172.8Mbit/sek gacha etishi mumkin.

LTE standartiga 2004-yilda asos solingan. Asosiy maqsad UTRA radioulaniş (UMTS standartida foydalaniladigan) arxitekturasini optimizatsiyalash hamda 3GPP loyihasidagi uchinchi avlod tizimlaridan to'rtinchi avlod tomon rivojlanishni ta'minlab berishga qaratilgan edi. Tadqiqotlarning boshlang'ich bosqichidagi asosiy maqsadi ma'lumotlarni yuqori tezlikda uzatishni ta'minlab bera oladigan fizik darajadagi texnologiyani belgilab olish edi. Asosiy variant sifatida ikki yo'nalish taklif etildi: yo mavjud W-CDMA texnologiyasi asosidagi radiointerfeysni rivojlantirish yoki OFDM texnologiyasi asosida ishlaydigan butunlay yangi radiointerfeysdan foydalanish. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida ushbu masalaning yagona yechimi OFDM texnologiyasidan foydalanish bo'ldi. LTEning ilk spetsifikatsiyalari "3GPP ettinchi relizi" doirasida yaratilgan edi (*ingl. 3GPP Release 7*). 2008-yilning dekabr oyiga kelib, LTE tizimlariga qo'yiladigan arxitekturaviy hamda funksional talablarni belgilab beradigan 3GPP standartlarining 8-relizi (*ingl. 3GPP Release 8*) tasdiqlangan edi (14.1-rasm).



14.1-rasm. LTE texnologiyasi rivojlanishining asosiy bosqichlari.

3GPP loyihasi arxitektura tizimi bo'yicha SA WG2 ishchi guruhi parallel ravishda "Tizim arxitekturasining evolyutsiyasi" – SAE (*ingl. System Architecture Evolution*)ni ishlab chiqish bo'yicha o'zining alohida tadqiqotlarini olib bordi. Ushbu guruhning asosiy maqsadi — 3GPP tizimini rivojlantirish yoki ma'lumot uzatish tezligini yanada oshirish, javob vaqtini kamaytirish, ma'lumotlarni paketlab uzatish kabi imkoniyatlarga ega hamda turli radioulanish texnologiyalarini – RAT (*ingl. Radio Access Technology*) qo'llab-quvvatlaydigan tizimlar strukturasi ishlab chiqish edi. SAE arxitekturasi ustida ishlar "3GPP tizimlari arxitekturasini rivojlantirish" shiori ostida 2004-yilning dekabr oyidan boshlangan edi. 2007-yilda "E-UTRA" deb nomlangan 3-avlod radioulanish texnologiyalarini rivojlantirish bo'yicha uzoq muddatli loyihasi texnik-iqtisodiy asoslash bosqichidan, ilk ma'qullangan texnik spetsifikatsiyalar bosqichiga o'tdi va 2008-yilning oxiriga kelib, texnologiya tijorat maqsadlarida foydalanishga tayyor bo'ldi.

Shu sababli mutaxassislar 3GPPning yangi standarti va yangi arxitektura tizimiga nisbatan ko'pincha LTE/SAE terminini qo'llashadi.

14.2. LTE standarti haqida umumiy ma'lumotlar

Keng polosali mobil aloqa turi tez su'ratlarda hayotimizga kirib kelmoqda. Ericsson kompaniyasining hisobiga ko'ra, 2011-yilda keng polosali aloqa xizmatlaridan foydalanuvchilar soni 1,5 mlrd ga etgan va ularning yarmidan ko'pi aloqaning mobil variantidan foydalanishmoqda. Shuningdek, kompaniyaning fikricha, 2015-yilga kelib, mobil keng polosali ulanish xizmatidan foydalanuvchilar soni 3,8 mlrd ni tashkil qilishi, shundan 95 foizi esa HSPA, SDMA va LTE tarmoqlaridan foydalanishi kutilmoqda.

Bugungi kunda mobil tizimlar xizmatlari foydalanuvchilari:

- veb-resurslardan foydalanish yoki HSPAni qo'llab-quvvatlaydigan telefonlar va noutbuklar yordamida elektron xatlar jo'natish;
- DSL modemlar o'rniga HSPA modemlaridan foydalanish;
- 3G-telefonlar yordamida katta hajmdagi video hamda audio fayllarni jo'natish kabi bir qator imkoniyatlardan foydalanmoqdalar.

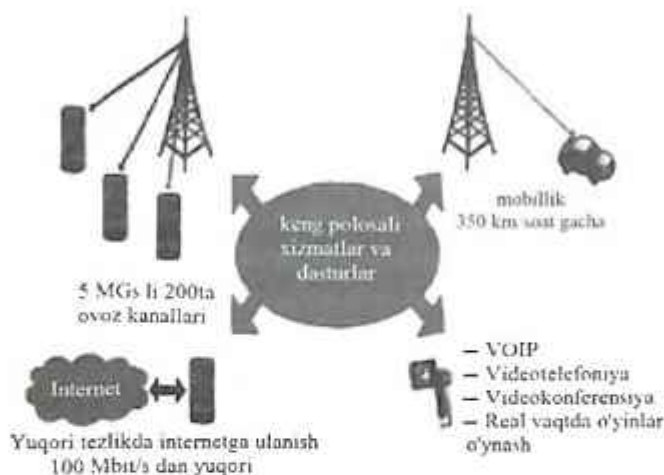
3GPP loyihasi 8-relizi sifatida kirib kelayotgan LTE standarti mobil aloqa tizimining rivojlanishi uchun sezilarli qadam bo'lishi lozim. Ishlab chiquvchilarning fikricha, foydalanuvchilar bu afzalliklarni katta resurslar talab qiladigan xizmatlar va ilovalar (interaktiv TV, foydalanuvchilar tomonidan yaratilgan videokliplar, murakkab o'yinlar va professional xizmatlar)dan foydalanganlarida yaqqol his qilishadi.

3GPP loyihasida keyingi avlod tizimlariga qo'yiladigan asosiy talablardan ayrimlari quyida keltirilgan:

- "pastga" yo'nalishda ma'lumotlar uzatish tezligining eng yuqori qiymati — 100 Mbit/sek dan kam bo'lmasligi, radioulanish tarmog'idagi javob kechikish vaqti esa 10ms dan oshmasligi kerak;
- turli eltuvchi chastota polosalaridan foydalanish qulayligi, ya'ni bir eltuvchidan boshqa eltuvchi chastotalar polosasiga o'tishning silliqligi va turli eltuvchi chastotalarni qo'llab-quvvatlashi — 5MGs va undan past chastotalar polosalaridan 20MGs gacha bo'lgan ko'plab mavjud va yangi chastota diapazonlarida;

- chastota (FDD) va vaqt (TDD) asosida dupleks rejimlarini qo'llab-quvvatlash;

- qo'shni tayanch stansiyalarga abonentga xizmat ko'rsatishni oshirishning yangi imkoniyatlari va mavjud mobil tarmoqlar bilan o'zaro "rouming"ni amalga oshirish.



14.2-rasm. *LTE tarmoqlarida mavjud bo'lgan keng polosali xizmatlar va yangi ilovalar.*

3GPP loyihasi ishtirokchilari va jalb etilgan boshqa ishlab chiqaruvchilar tomonidan o'tkazilgan ko'p yillik ilmiy-tadqiqot va tajriba-konstruktorlik ishlari (ITTKI) natijasida LTE texnologiyasi 3GPP talablariga javob beradigan, ayrim parametrlar bo'yicha esa ulardan oshadigan universal tizimga aylandi.

LTE standartida turli xil multiplekslash texnologiyalari hamda modulyatsiya usullari qo'llanilishi ko'zda tutilgan, xususan:

- "pastga" yo'nalishda uzatish uchun — ortogonal chastotali multiplekslash texnologiyasi — OFDM hamda QPSK, 16-QAM va 64-QAM modulyatsiya usullari;

- "yuqoriga" yo'nalishda uzatish uchun — bir eltuvchi chastotali multiplekslash texnologiyasi — SC-FDMA hamda BPSK, QPSK, 8-PSK, 16-QAM — modulyatsiya usullaridan foydalanilgan.

E-UTRA texnologiyasi radiointerfeysi juda moslashuvchan bo'lib, 1.4MGs dan 20MGs gacha (UTRAning 5MGs li o'zgar-mas kanallardan farqli ravishda) bo'lgan turli xil ishchi kanal kengliklaridan foydalanish mumkin. Shuningdek, E-UTRA texnologiyasining spektral samaradorligini UTRAg'a nisbatan to'rt marotabaga oshirishga erishildi. Tarmoq arxitekturas-i va signalizatsiya usullarini takomillashtirish natijasida "past-ga" hamda "yuqoriga" yo'nalishlarda javob ushlanishi vaqti-ni kamaytirishga erishildi. "Ko'p sonli qabul qilish/ko'p sonli uzatish" — MIMO antenna texnologiyasini qo'llash natijasida LTE tizimida W-CDMA texnologiyasi asosidagi 3GPP tizim-lariga nisbatan bir sotaga to'g'ri keladigan abonentlar sonini 10 barobarga oshirildi.

SAE tizim arxitekturas-i rivojlanish dasturining bir qismi sifa-tida LTE standartida IP-protokoli asosida qurilgan tarmoqning "yassi arxitekturas-i" taklif etildi. LTE/SAE arxitekturasining vazifasi har qanday IP-xizmatlarini tijoriy foydalanish nuqtayi nazaridan samarali qo'llab-quvvatlashdan iborat. Ushbu arxitek-tura mavjud bo'lgan GSM/W-CDMA tizimlarining tayanch tar-moqlari asosida qurilgan va rivojlangan, uni qurishdan maqsad tarmoq ekspluatatsiyasini yanada soddalashtirish hamda keyingi avlod tarmoqlarini bosqichma-bosqich va samarali yaratishdir. LTE/SAE arxitekturas-i tarmoqni qurish va ekspluatatsiya qilish-da sarflanadigan ekspluatatsion va kapital xarajatlarni sezilarli ravishda kamaytiradi. Yangi "yassi arxitektura" modeli trafikni oshib ketish hollarida faqatgina ikki tipdagi tarmoq tugunlarining (tayanch stansiyalar va shlyuzlarni) o'tkazuvchanligini oshirishni talab qiladi. Bundan tashqari, tarmoqni konfiguratsiya qilish-da avtomatizatsiya darajasi borgan sari oshib borayotgani ham kuzatilmoqda. Natijada, operatorlar ishlatayotgan tarmoqlari, chastota spektrlari va o'ziga xos tijorat xususiyatlarini hisobga olgan holda keng polosali va multimediya xizmatlari taqdim etuvchi LTE texnologiyasini juda moslashuvchan ravishda tatbiq etishlari mumkin.

Shuni ham ta'kidlab o'tish kerakki, 3GPP va 3GPP-2 loyihalari ishtirokchilari CDMA-2000 va LTE tizimlarining o'zaro ishlashini tashkil qilish yuzasida kelishilgan. Shunday qilib, CDMA-2000 operatorlari tarmoqlarini kelajakda LTE standarti asosidagi tarmoqlarga o'tkazish imkoniyatiga ega bo'lishdi.

14.3. LTE tizimi arxitekturası

Ilgari ta'kidlaganimizdek, E-UTRA radioulaniş texnologiyasiga tayangan LTE standarti so'nggi foydalanuvchi uskunasi-ni imkoniyatlarini sezilarli ravishda yaxshilash, baza uskunalari sig'imini oshirish, javob kechikish vaqtini qisqartirish, shu bilan birga to'liq mobillikni ta'minlagan holda foydalanuvchi interfeysini yanada yaxshiroq ko'rinishga keltirish kabi vazifalarni bajardi. IP protokoli barcha turdagi trafiklar bilan ishlash imkoniyati mavjudligi sababli ko'pchilik operatorlar uchun ommabop tanlov bo'lgani hech kimga sir emas. LTE standarti ham xizmatlar sifati – QoSni uzluksiz ta'minlagan holda, IP protokoli asosida quriladi. Shu sababli, ovoz trafiki asosan "IP orqali ovoz" (VoIP yoki VoLTE)ni tashkil etadi, bu esa boshqa multimediya xizmatlari bilan yanada o'zaro moslashishni ta'minlaydi.

UMTS tizimi arxitekturası asosida qurilgan HSPA texnologiyasidan farqli ravishda 3GPP loyihası LTE tizimi uchun ikki sath tarmoqlarini aniqlab berdi. Bu "Takomillashtirilgan paketli tayanch tarmog'i" — EPC (*ingl. Evolved Packet Core*) nomini olgan ma'lumot uzatish tayanch tarmog'i hamda "Takomillashtirilgan UMTS yer usti radioulaniş tarmog'i" — E-UTRAN (*ingl. Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*) nomini olgan yangi radioulaniş tarmoqlaridir. Bu tarmoqlarning bajaradigan vazifalari hamda ularning tuzilishi tarmoq elementlari sonini qisqartirishga, ularning funksiyalarini soddalashtirishga, puxtaroq rezervlashga yo'naltirilgan. Eng muhimi, LTE/SAE tarmog'i boshqa simli va simsiz texnologiyalar bilan o'zaro ishlashni hamda "xendover"ni ta'minlab beradi va bu bilan operatorlar va

servis-provayderlarga “uzluksiz mobillik” xizmatlarini bosqichma-bosqich tadbiiq qilish imkonini beradi. EPC tayanch tarmogʻi faoliyatini qoʻllab-quvvatlovchi tayanch nimitzim — EPS (*ingl. Evolved Packet Subsystem*) deb nom oldi.

LTE/SAE tizimi arxitekturasii bir nechta asosii prinsiiplar asosida quriladi:

- barcha texnologiiyalar bilan ulanish uchun umumiiy tayanch nuqtasi va shlyuzlardan foydalanish;
- abonent sathida qulayroq boʻlgan arxitekturadan foydalanish — tarmoq darajalari sonini qisqartirish (toʻrttadan ikkitaga tushirish — tayanch stansiiyalar va shlyuzlar);
- barcha interfeyslar IP protokoli asosida quriladi;
- radioulanish va kommutatsiiya funksiiyalarining ajratilishini W-CDMA/HSPA texnologiiyalaridagi kabi tashkil qilish;
- boshqaruv va abonent sathlarini mobillikni boshqaruv moduli va shlyuz orasida boʻlinishi;
- IP protokol yordamida 3GPPga taalluqli boʻlmagan radioulanish texnologiiyalari bilan oʻzaro ishlash.

Koʻrinib turganidek, LTE standarti oldiga funksionallik jihatidan bir qator yuqori darajadagi talablar qoʻyilgan. Ular orasida fizik sathda ortogonal chastotali multiplekslash — OFDM, koʻp sonli qabul qilish/koʻp sonli uzatish antenna tizimlari — MIMO hamda “intellektli” antennalar kabi texnologiiyalarni tatbiiq etishlardir. Shunday qilib, LTE standarti oldidagi vazifalar ancha jiddiiy va ular asosan quyidagilardan iborat: soddalashtirilgan infratuzilma hamda abonent qurilmalarini yaratish; mavjud tizimlarda ishlatilgan radiochastotalar bilan bir qatorda, yangi chastota diapazonlarini qulay ravishda oʻzlashtirish; 3GPP va 3GPP-2 oilalariga mansub boʻlgan boshqa radioulanish texnologiiyalari bilan oʻzaro ishlay olish.

14.3.1. LTE tizimlari funksionalligiga qoʻyiladigan talablar

E-UTRA radioulanish texnologiiyasi turli xil xizmatlarni amalga oshirish, shuningdek, Internetda ishlash, FTP fayllari bilan oʻzaro

almashish, videoaloqa, IP bo'yicha ovoz (VoIP), tarmoq o'yinlari, "jonli" video, "push-to-talk" hamda "push-to-view" kabi bir qator xizmatlarni qo'llab-quvvatlaydi. Shu sababli, LTE tayanch stansiyalari va abonent qurilmalarida ma'lumot uzatish tezligi yetarli darajada yuqori bo'lishi kerak hamda funksionallikning asosiy mezon sifatida javob kechikish vaqti qisqa bo'lishi zarur. 14.1-jadvalda LTE texnologiyasiga qo'yilgan bir qator talablar keltirilgan:

LTE tizimi uchun maksimal o'tkazish polosasi uzatish va qabul qilishda 20MGs bo'lishi kutilmoqda. O'z navbatida, xizmat ko'rsatuvchi provayderlar 14.1-jadvalda sanab o'tilgan istalgan kenglikdagi kanallardan birini tanlashlari mumkin. Bu esa, provayderlarga ularda mavjud radiochastota resurslariga qarab, o'z imkoniyatlaridan kelib chiqqan holda abonentlarga xizmatlar taklif etish imkoniyatini beradi va bosqichma-bosqich radiochastota resurslarini ko'paytirgan holda o'z tarmoqlarini kengaytirishlarini ta'minlaydi.

14.1-jadval

LTE tizimlari funksionalligiga qo'yiladigan talablar

Funksionallik	Talab qilinadigan qiymatlar
Ma'lumotlar uzatish maksimal tezligi, (20MGs polosa kengligida)	"pastga" kanalda: 100Mbit/sek dan kam bo'lmasligi; "yuqoriga" kanalda: 50Mbit/sek dan kam bo'lmasligi kerak
Abonentlarning mobillik darajasi	350–500 km/soat ga
Abonent uskunasi faol rejimga o'tish vaqti (passiv holatidan aktiv holatga o'tish vaqti)	100 ms dan ko'p emas

Javob kechikishi vaqti	10ms dan ko'p emas
Tarmoq sig'imi	Bir sotada abonentlar soni 200 tadan kam bo'lmash kerak (5MGs polosasi uchun)
Radioqamrov zonasi (sotaning o'lchami)	5–100 km gacha, (ammo 30 km dan ortiq masofada og'ishlar boshlanishini hisobga olgan holda)
Chastota kanali kengligi (kanalning o'tkazish polosasi)	1,4MGs; 3MGs; 5MGs; 10MGs; 15MGs va 20MGs

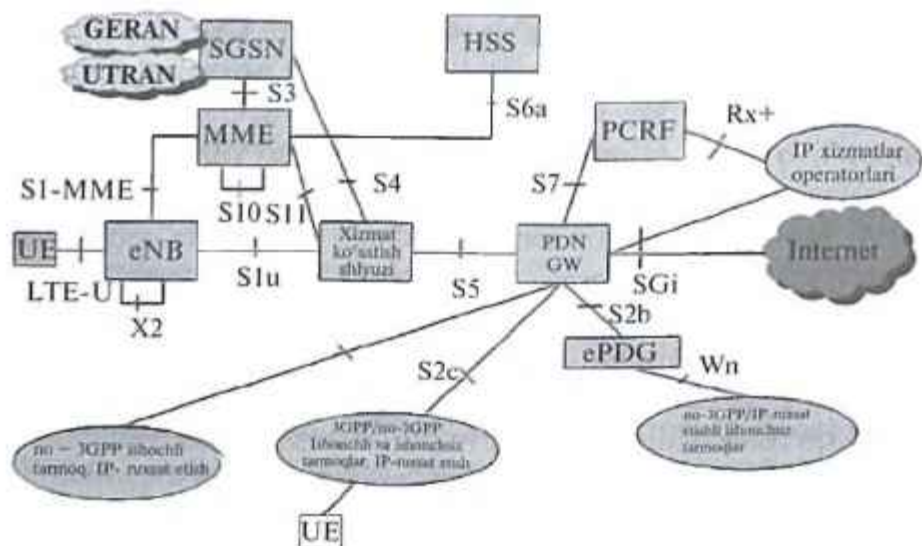
Jadvalda ko'rsatilgan talablardan tashqari, LTE standarti oldiga tizimning umumiy qiymatini va iste'mol quvvatini kamaytirish hamda tizimning aks moslashuvchanligini va UMTS tizimlaridan samarali o'tishni ta'minlash kabi talablar qo'yilgan. Bunda LTE texnologiyasi 3GPP tarmoqlari bilan, "6-reviz"dan boshlab, (HSDPA, HSUPA, HSPA+ larni o'z ichiga oladi) moslashuvchanlikni to'liq ta'minlashi kerak. "Broadcast" va "multicast" xizmatlari (barcha yoki ko'p sonli abonentlarga keng qamrovlik uzatish)ni takomillashgan turlarini, IP-protokollarining turli versiyalari (IPv4 va IPv6)ni, uzluksiz xizmat sifati – QoS ning takomillashgan usullarini qo'llash, shuningdek, tarmoq arxitekturasida variantlar soni hamda rezervlash funksiyalarining qisqartirilishi kabi imkoniyatlar ham LTE standartiga qo'yiladigan talablar sirasiga kiradi.

LTE tizimlarining spektral samaradorligi "pastga" yo'nalishda HSDPA texnologiyasiga nisbatan 3–4 marta yuqori bo'ladi, "yuqoriga" yo'nalishda esa, HSUPA texnologiyasiga nisbatan 2–3 marta yuqori bo'ladi. LTEda "xendover" jarayoni ikkinchi avlod darajasida kanal kommutatsiyasi asosida ishlaydigan tarmoqlardagiga nisbatan vaqt jihatidan ancha qisqa bo'ladi. Bundan tashqari, LTE hamda 2G/3G tarmoqlari orasidagi "xendover" uzluksiz amalga oshadi.

LTE tarmoqlaridagi axborot xavfsizligi darajasi (autentifikatsiya, identifikatsiya, ma'lumotlarni shifrlash) hozirda mavjud bo'lgan paketli va kanalli kommutatsiyaga asoslangan 3GPP tarmoqlaridan past bo'lmisligi kerak. Autentifikatsiya jarayoni tarmoqqa ulanish texnologiyasi va turiga bog'liq bo'lmisligi lozim.

14.3.2. LTE/SAE tizimi arxitekturasining asosiy tashkil etuvchilari

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, struktura jihatdan LTE/SAE tizimi arxitekturasini oldingi avlod mobil aloqa tizimlaridagi kabi ikki sathga bo'lish mumkin: radioulanish tarmog'i — RAN hamda tayanch tarmog'i — CN.



14.3-rasm. LTE/SAE tizimi arxitekturasini.

LTE/SAE tizimi arxitekturasini soddalashtirish maqsadida hozirgi kunda uni 14.3-rasmda keltirilgan kabi variantda qabul qilishgan. Bu rasmda LTE tizimining asosiy tarmoq tugunlari va interfeyslari birgalikda keltirilgan.

14.3.2.1. E-UTRAN — takomillashtirilgan radioulanish tarmog'i

LTE/SAE tizimida “takomillashtirilgan” E-UTRAN tarmog'i nomini olgan radioulanish tarmog'i “pastga” yo'nalishdagi ulanish, ma'lumotlarni kodlash, paketlarni yo'naltirish va qayta yuborish kabi vazifalarga javob beradi. E-UTRAN tarmog'i “takomillashtirilgan B tuguni”, ya'ni *eNB* nomini olgan yagona tugun darajasidan tashkil topgan bo'lib, u abonent uskunalari (AU) bilan LTE-Ub interfeysi yordamida ulanadi. *eNB* tuguni OTO⁴ (ISO/OSI) modelining fizik (RNY), muhitga ulanishni boshqarish (MAS), radiokanallarni boshqarish (RLC) hamda paketli ma'lumotlarni boshqarish (PDCP) darajalarini qo'llab-quvvatlaydi. *eNB* tuguni radioresurslarni boshqarish (RRC), ulanishni boshqarish, tarmoqni rejalashtirish, “yuqoriga” yo'nalishda QoS ning kelishilgan darajasini ta'minlab berish, keng qamrovli status xabarlarini jo'natish, abonent va boshqaruv sathlarida ma'lumotlarni kodlash/dekodlash, shuningdek, abonent sathida “pastga” va “yuqoriga” yo'nalishlarda paketlar sarlavhalarini kompressiya/dekompressiya qilish kabi vazifalarni bajaradi.

14.3.2.2. EPC — takomillashtirilgan paketli tayanch tarmog'i

LTE/SAE tizimining tayanch tarmog'i — EPC funktsionallik jihatdan uch asosiy tarkibiy qismdan iborat:

- Mobillikni boshqarish moduli — MME (*ingl. Mobility Management Entity*)

- Xizmat ko'rsatish shlyuzi — S-GW (*ingl. Serving Gateway*). Ayrim manbalarda S-GW shlyuzi 3GPP Anchor (3GPP Langar) deb ham yuritilgan.

- Paketli ma'lumotlar tarmog'i shlyuzi — PDN GW (*ingl. Packet Data Network Gateway, qisqartirilganda P-GW*). Shuningdek, adabiyotlarda ushbu shlyuz SAE Anchor (SAE Langar) ko'rinishida ham kelishi mumkin.

ERS tarmog'ining so'nggi ikki tashkil etuvchilari mobil aloqa tayanch tarmoq arxitekturasining butunlay yangi elementlari hi-

soblanib, ularni paydo bo'lishining asosiy sababi yuqorida aytib o'tilgan abonentning turli tipdagi tarmoqlar orasida ko'chib yurishi jarayonida mobillikni ta'minlash talabidir. S-GW va P-GW shlyuzlarini yagona shlyuz sifatida nomlanganda, IASA (*ingl. Inter Access System Anchor*) nomi ishlatiladi, agarda ular yagona tarmoq elementi sifatida ishlatilgan bo'lsa, bunday element – ulanish shlyuzi aGW (*ingl. access GW*) deb nomlanadi.

EPC tarmog'ining funksional elementlarini qurilma jihatdan birlashtirish yoki tarmoq bo'yicha taqsimlash mumkin, bu esa qo'llaniladigan qurilmalar va tarmoqning xususiyatlariga bog'liq. Masalan, MME hamda S-GW modullari o'zaro aralash bo'lishi yoki tarmoqning turli tugunlarida joylashgan bo'lishi mumkin.

Nazorat savollari:

1. WiMAX tayanch tarmog'i tugunlarining o'zaro ta'sirlashishi qanday amalga oshadi? Tayanch nuqtalarning funksiyalarini qisqacha bayon eting.

2. WiMAX tarmog'idagi mobil ruxsat etish rejimini bayon eting.

3. WiMAX tarmog'i topologiyasi umumiy ko'rinishda qanday ko'rinadi? WiMAX tarmog'i topologiyasining modifikatsiyasini keltiring?

4. WiMAX tarmog'i Mesh rejimda qanday tashkil etiladi?

5. WiMAX tarmoqlarini qurishga bog'liq qanday murakkabliklar mavjud?

6. Nurlarni shakllantirilishi usulini (beamforming) bayon eting. Nurlarni shakllantirilishi usulini qo'llanilishining qanday ijobiy tomonlari mavjud.

7. Nurlarni shakllantirilishi usuli va MIMO texnologiyalarini birlashtirishda qanday murakkabliklar mavjud?

15-bob. MOBILLIKNI BOSHQARISH MODULI – MME

15.1. Mobillikni boshqarish moduli – MME. Yo'ldoshli aloqa tizimlarida ko'p stansiyali foydalanish

MME moduli E-UTRAN tarmog'ida asosiy boshqaruv tuguni hisoblanadi. U kutish rejimida turgan AUni kuzatish, uni joylashuvini aniqlash va AUni faol rejimga o'tkazuvchi qisqa xabarlarini yuborish, shuningdek, trafikni qayta jo'natish jarayoniga javobgar hisoblanadi. Shu bilan birga, MME moduli bir tomonlama yo'naltirilgan kanalni aktivatsiya/deaktivatsiya jarayoni va AU uchun birinchi S-GW shlyuzini tanlash uchun ham javobgardir. LTE tarmog'i ichidagi "xendover"da esa, ushbu modul tayanch tarmoq tugunlari orasidagi trafikni qayta manzillash (ya'ni boshqa manzilga yo'naltirish) jarayonida ishtirok etadi.

MME moduli NSS serveri bilan AUni o'zaro ulanishida AUni autentifikatsiyasini amalga oshiradi. NAS (*ingl. Non Access Stratum*) — ulanishga bog'liq bo'lmagan sath signallari MME modulida tugashi tufayli unda AUlarga vaqtinchalik identifikator — ID hosil qilinadi va belgilanadi. Shunday qilib, MME moduli AU avtorizatsiyasini tekshirish, provayder tarmog'ida mavjud umumiy foydalanishdagi mobil xizmatlarga va "rouming"ga ulanishni cheklashga javob beradi.

Shuningdek, MME moduli tarmoqdagi sathlar chegarasi (*ingl. termination point*) hisoblanadi va NAS sathidagi signallar butunligini himoya qilish va shifrlashni ta'minlab beradi va himoya kalitlari bilan boshqaruvni amalga oshiradi. Signallarni qonuniy ushlab olish (Tezkor qidiruv tadbirlar tizimi (*rus. COPMga taalluqli*)) ham ushbu modulda amalga oshiriladi. MME moduli SGSN (GPRS tarmog'idagi qo'llab-quvvatlovchi tugun) orqali LTE va 2G/3G tarmoqlari orasida boshqaruv sathidagi mobillik funksiyalariga ham javob beradi. Va nihoyat, MME HSS serveri bilan o'zaro hamkorlikda AU "rouming"ini qo'llab-quvvatlaydi.

Tarmoq qurilmasini soddalashtirish, mustaqil texnologiyaga o'tish va tarmoq o'tkazuvchanlik qobiliyatini o'zgartirishni o'ta qulay qilish maqsadida MME moduli funksional jihatda shlyuzlardan ajratilgan.

Ba'zan, ayrim manbalarda MME moduli ikki mantiqiy elementlarga ajratiladi: bevosita MME moduli hamda abonentni boshqarish moduli — UPE (*ingl. User Plane Entity*) (MME/UPE). O'z navbatda UPE abonent darajasidagi funksiyalar: IP protokol sarlavhalarini siqish, mobillikni ta'minlagan holda paketlarni marshrutlash hamda qayta jo'natish, AUNing joriy statusini saqlab qolish, "pastga" yo'nalishdagi ulanishlarni amalga oshirish va ma'lumotlarni shifrlash; bevosita MME moduli boshqaruv sathidagi funksiyalari: eNB tugunlariga chaqiruv xabarlarini jo'natish (*ingl. paging*), AU larga ID belgilash, tarmoq xavfsizligini ta'minlash, abonentlar xabarlarini haqiqiylikni tekshirish va "rouming"ni boshqarish kabilardir.

Ko'p stansiyali foydalanish — bu yerdagi ko'p sonli stansiyalarning yo'ldoshli retanslyator orqali bir vaqtning o'zida baravar ishlashidir. U shunday aloqa tarmog'ini tuzishning imkonini beradiki, bunda ham magistral aloqa tarmog'ini ham tuzishni tashkil qilish mumkin. Magistral tarmoqda markaz bilan ham bitta va ko'p kanalli aloqa tizimni o'rnatish mumkin. Umumiy holatda bu masalaning yechimi TLF aloqa tarmoqlari masalalari yechimiga o'xshash, ya'ni abonent tarmoqqa erkin va mustaqil kirish imkoniga ega bo'lib, nomer terish yordamida bog'lanishni boshqaradi.

Yerdagi tarmoqlar kabi, YAT foydalanish usulining har xil tur-larini qo'llaydilar va ularni uchta guruhga bo'lish mumkin. Birinchi ikkitasi ko'p stansiyali kirishning klassik usullari bo'lib, kanallarni chastotali (FDMA) va vaqtincha (TDMA) bo'lishdir. Uchinchi guruhga esa kanallarni kodli bo'lish (SDMA) texnologiyasiga asoslangan usullar kiradi.

Ko'p stansiyali foydalanish tizimlariga qo'yiladigan asosiy talablar:

1. Retranslyator quvvatidan samarali foydalanish.
2. Retranslyator chastota polosalaridan maksimal imkoniyatda foydalanish.

3. O'tuvchi holatlarning yo'l qo'yilgan darajasi.

4. Kanallarni qaytadan tarqatish va iqtisodiy omillarini hisobga olgan holda tarmoqni boshqarishga moslashganligi. Moslashuvchanlikni ta'minlash uchun mustahkamlanmagan kanallar bilan ishlashni ta'minlash maqsadga muvofiqdir. Bunday kanallar abonentlarning talablari bo'yicha yerdagi stansiyalarning xohlagan juftlikga bog'lash uchun vaqtincha tashkil qilinadi. Tabiiyki bu qurilmaning murakkablashishiga olib keladi.

Guruhli xabarlar ko'p adresli va bir adresli tuzilishda bo'lishi mumkin. Ko'p adresli tuzilishda yerdagi har bir n stansiya qolgan $n-1$ stansiyalarga mo'ljallangan hamma xabarni bitta stvol uzatadi. Qabul qilishda bu stansiyalar guruhli signaldan "o'zining" xabarlarini ajratadi. Bunday tuzilish har bir stansiyada $n-1$ qabul qilish qurilmasi komplektni talab qiladi. Bir adresli uzatish tizimida har bir stansiya retranslyatorning har bir alohida stansiyaga mo'ljallangan $n-1$ stansiyada "o'zining" kanalini egallaydi. Qabul qilishda bunday stansiyaning barcha signallari bir tomonda joylashadi, bu esa qabul qiluvchi uskunaning hajmini sezilarli kichraytiradi. Ammo bunda uzatuvchi uskuna sezilarli murakkablashadi.

Kanallarning aralash holatlarida retranslyatorida ko'p adresli tuzilishni bir adresli tuzilishga o'zgartirish amalga oshadi.

Geoko'chmas KA asosidagi tizimlarda FDMA tez-tez qo'llaniladi, bunda har bir kanalning chastotali spektri ma'lum kenglikdagi qismlar (uchastka)ga bo'lingan. Tizim ichidagi xalaqitlardan himoya qilish uchun berilgan aniqlikda yonma-yon kanallar chastotalari chegarasini ta'minlovchi kanallararo intervallar mo'ljallangan. Aloqa liniyasining yetarli darajadagi yuqori energetik ko'rsatkichli tarmoqlarida FDMA dan foydalanish kam quvvat iste'mol qiluvchi oddiy abonent uskunasi qurish imkonini beradi.

Bu usulning kamchiligi aloqa kanallarida o'tkazish qobiliyatining pastligidir. Bundan tashqari doplerli siljish oqibatidagi chastotali noaniqlik o'lchami himoya intervalini oshirishni talab qiladi, bu esa, ayniqsa, quyi orbitali KAda foydalanganda sezilarli darajadagi energetik yo'qotishga olib keladi.

Kanallarni vaqt bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanish (TDMA) Iridium, Orbcomm, ICO, "Gonets" va boshqa tizimlar-

da qo'llaniladi. Aloqa liniyasining yuqori darajada o'tkazish qobiliyati TDMA usulining tarqoq qabul qilishda kanallarning fazoviy bo'lishishlariga mos kelishi bilan ta'minlanadi, zamonaviy texnika esa har bir KAg bir vaqtning o'zida 100 ta va undan ko'proq tor nurlarni hosil qilishga imkon beradi. Shuni ta'kidlash lozimki, vaqt o'tishi bilan tekshirib ko'rilgan FDMA va TDMA texnologiyalarini SDMAga qaraganda BRTKda amalga oshirish ancha qulayroq, shuning uchun retranslyatorlar birmuncha arzonroqdir.

SDMA texnologiyasining abonentlik uskunalari quvvatining yuqori emasligi va uzatish quvvatini tartibga solish dinamikasiga bo'lgan talablarning nisbatan pastligi, uni "telefon trubkasi" turidagi terminallardan foydalanuvchi harakatda shaxsiy radioaloqani tashkil etish uchun ko'proq jalb qiladi. SDMAning asosiy afzalliklaridan biri — abonentni bir yo'ldoshdan boshqasiga "o'tkazishda" qayta ulanishning "yumshoqligidir". SDMA sotali tarqoq qabul qilish (axborotlarni qabul qilish har xil KA orqali qo'shish bilan yoki qabul qilinayotgan signaldan sifat-lisini avtomatik tanlash bilan amalga oshiriladi)ni ta'minlash uchun ham yaroqlidir, masalan, bu Glovalstar tizim tomonidan qo'llab-quvvatlanadi.

CDMA texnologiyasi muvaffaqiyatli sinab ko'rilgan birinchi tijorat, bu yuklarni tashish nazoratini ta'minlovchi Omnitrac tizimidir. Bu texnologiyaning keyingi rivojlanishlari Amerikaning Global star, Star sys, Ellipse tizimlarida, shuningdek SAT-CDMA (Janubiy Koreya), SW-CDMA va SW-CTDMA (ESA) kabi uchinchi avlod tizimlari loyihalarida amalga oshdi.

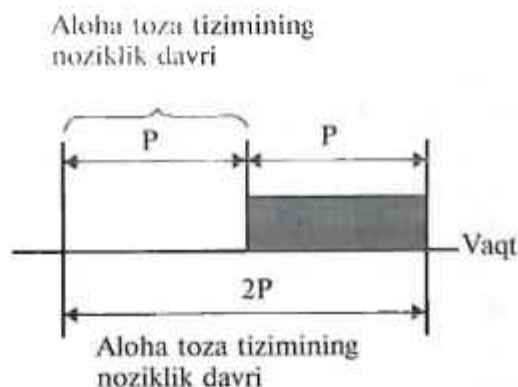
Ma'lumki, kanallarni bo'lishni texnik amalga oshirish yo'ldosh bortidagiga yerdagi stansiyalarga nisbatan arzonroq bo'ladi, shuning uchun CDMA texnologiyasiga asoslangan tizimlarda qoidaga ko'ra shaffof retranslyatorlardan foydalanish ko'zda tutilgan.

Aloha tizimi bu ko'plab ko'rinishli Aloha protokoli 1970 yillarning boshlarida Gavay universtetida ishlab chiqariladi. Bu tizimda umumiy yo'ldoshli kanalda paketlarni uzatishdan foydalaniladi. Xohlagan paytda har bir ES faqat bitta paket uzatishi mumkin. Ammo bunday holatda bir vaqtning o'zida ikkita ES retranslyator-

ga paketlarni uzatish mumkin, bu esa qarama-qarshi to'qnashuvlarni yuzaga keltirishi mumkin. Natijada, yechimi talab qiladigan vaziyat yuzaga keladi.

"Aloha toza tizim" degan nom bilan mashhur. Aloqaning birinchi variantiga muvofiq, ES xohlagan paytda uzatishni boshlashi mumkin. Agar xabar tarqatilgandan keyin ma'lum bir vaqtdan so'ng u "ijobiy kvitansiya" (uzatish muvaffaqiyatli o'tadi) olsa, nizoli vaziyatni chetlab o'tadi. Teskari holatda ES qarama-qarshi to'qnashuvlar (qoplash amalga oshirildi yoki boshqa shovqin manbayi yuzaga keldi) yuzaga kelishini bilishadi va uzatishni takrorlashadi (ya'ni salbiy kvitansiya olinadi). Agar ES eshitishdan so'ng uzatishni darrov takrorlasa yana nizoli vaziyatga tushib qolishi mumkin. Nizoni yechishda qayta uzatishda tasodifiy kechikishlarni kiritish va nizoga kirishgan paketlarni vaqt bo'yicha tarqatish uchun muayyan muolaja kerak bo'ladi.

Aloqa tizimining ikkinchi varianti bo'yicha vaqt bo'laklarga bo'linadi, (окно) darcha uzunligi bitta paketni uzatish uzunligiga teng (hamma paketlar bir xil uzunlikka ega deb hisoblanadi). Agar paketlarni uzatishni faqat darchaning boshida boshlanishi talab qilinsa (vaqt yo'ldoshga bog'lanadi), unda yo'ldoshli kanal-dan samarali foydalanishda ikki baravar yutuqa erishish mumkin, chunki bunda qoplam (положения) bitta darcha uzunligi bilan chegaralanadi (Aloha toza tizimida ikkita). Bunday uzatish Aloqa ning sinxronli tizimi deb ataladi (15.1-rasm).



15.1-rasm. Aloqa tizimining zaiflik davri.

Uchinchi variantga asosan ES talabiga ko'ra vaqtinchalik dar-chalar zaxiralanadi.

Aloqa tizimida katta intensiv vazifali ESlar uchun ustunlik ham ko'zda tutilgan.

15.2. ESY aloqa tizimlaridagi bort va yerdagi apparatlar

Bortli retranslyator kompleks (BRTK)ning tuzilishi uning vazifasi yoki maydonni qamrash masshtabi (global yoki min-taqaviy aloqa) bilan KA bortida axborotlarni qayta ishlash usuli, retranslyator kanallar soni (qabul qiluvchi, uzatuvchi yoki qabul qilib-uzatuvchi), axborot almashuv tezligi, shuningdek, tanlangan texnik yechimlar va foydalaniladigan texnologiyalar bilan aniqlanadi. BTRK tarkibiga faqat abonent retranslyatorlari ("iste'mol" turlarini tashkil qilishga mo'ljallangan), balki fiderli yoki yo'ldoshlararo liniya (xizmat aloqasi) retranslyatorlari ham kiradi.

Retranslyator o'zining xizmati va bajaradigan vazifalariga qarab uchta turga bo'linadi: shaffof, regenerativ va kombinatsiyalangan.

Shaffof retranslyatorlar (bent pipe) kiruvchi signallarni bortda ishlov bermasdan qabul qilish va qayta o'zgartirishni ta'minlaydi. Shu bilan birga, shaffof deb nomlanuvdi, lekin o'zining tarkibida kanallarni kommutatsiyalash uchun bitta yoki bir nechta kanal-li protsessorlar yoki yuqori chastotali to'liq kirishli matritsalar bo'lgan retranslyatorlar ham mavjud. Shuning uchun retranslyatorning shaffof va regenerativ turlari o'rtasiga chegara qo'yish de-yarli mumkin emas.

Bortda signallarga ishlov beruvchi (*ingl. OVR, On Board Processints*) retranslyatorlar sifatidan regenerativ retranslyatorlarning ishlash tamoyili demodulyatsiyalashga asoslangan, yani signallarning bir chastotada qabul qilish, ularni demodulyatsiyalash va yangidan modulyatsiyalashdir. Bunday retranslyatorni qo'llash kanallarni tashkil qilishda katta moslashuvchanlikni va turli xil protokollardan foydalanib terminallarni tezkor bog'lashni ta'minlangan holda bir vaqtning o'zida ko'p sonli terminallarga xizmat ko'rsatish imkonini beradi. Kom-

binatsiyalangan retranslyatorlarda faqat ayrim signallar (hamma kanallarning ma'lum bir qismi)ga ishlov beriladi, masalan, berilgan tashuvchi chastotalarga mos keladi.

Shaffof retranslyatorlar. Uzatishda keng polosali va tor polosali signallar (Intelsat, Eutelsat va boshqa)dan tijorat foydalanuvchi retranslyatorlarning ko'pchiligi orqali, tashkil qilishning ishlov bermasdan (*bent pipe* — "to'g'ri tuynik") an'anaviy, ko'proq sodda va keng tarqalgan sxemasi bo'yicha quriladi. Har bir retranslyatorga bitta yoki har xil antennalarga ulangan bir nechta qabul qiluvchi uzatuvchi apparaturalar komplekti o'rnatilishi mumkin. Yo'ldoshli aloqaning alohida qabul qiluvchi — uzatuvchi kanali stvol yoki tranponder (transponder) deb ataladi.

Zamonaviy geostatsionar (geostatsionar) kosmik aloqa komplekslarda stvollar soni 50 gacha yoki undan ham ko'p bo'lishi mumkin, shuning uchun retranslyator yuqori darajada o'tkazish imkonini yaratib beradi. 15.1-jadvalda misol tariqasida geoko'chmas KAlar uchun retranslyatsion majmualarning asosiy ko'rsatkichlari keltirilgan.

Shaffof retranslyatorlarning asosiy avzalliklari apparatlarining ishlashi soddaligi hisoblanadi, chunki ularda oraliq chastotada demodulyatsiyasiz, kanallarni filtrlamasdan signallarni faqat guruhli qayta tuzish amalga oshiriladi. Lekin ularning bir qator kamchiliklari ham mavjud. Gap shundaki, yerdagi bir necha stansiyalarning ishlashida chastotalarning keng polosasida albatta chiziqsiz effektlar yuzaga keladi, bu esa kuchsiz signalning kuchli signal tomonidan bosilishga, shuningdek parazitli amplitudali modulyatsiyalashning o'zgarishi inter modulyatsion xalaqitga olib keladi.

Chiziqsiz effektlarning kattaligini kamaytirish uchun shaffof retranslyatorlarda kvazi chiziqli tartibda ishlatiladigan uzatgichlar qo'llaniladi. Shu bilan birga bu chora hamma vaqt ham yetarli hisoblanmaydi, chunki ishchi polosada hatto bit-tagina kuchli "xalaqit beruvchi" signalning paydo bo'lishi retranslyator apparatining butunlay ishlamasligiga olib kelishi mumkin.

GEO-KA retranslyatsion komplekslarning asosiy ko'satkichlari

Tizim	KA ning uchiril- gan vaqti	Chas- tota diapa- zoni	Stvollar soni **	Quvvat, Vt	Chas- tota po- losasi, MHz, ***	E11M, dBW	G/T, dB/K
Koreasat-2 (Janubiy Koreya)	14- yanvar, 1996	Ku	12 (4)	14	36	50,2	13,5
MSAT 1 (Kanada)	20- aprel, 1996	L; Ku	16 (4); 1 (2)	38; 100	29	57; 37	- 4; + 2,3
Telecom 2D (Fran- siya)	8 avgust, 1996	C; X; Ku	10; 5 (3); 11 (4)	11; 20 ili 40; 55	50 (6) + 92 (4); 40 (3) + 60 ili 80; 36	32,5; 40; 52,5	-12; M/y; 7,5
Arabsat 2 (Saudiya Araviya)	13- noyabr, 1996	C; Ku	14 (6); 8 (4); 12	15; 57,6; 93-96	36 (12) + 54 (2); 36; 36 (8) + 30 (4)	35; 41; 47	-6; -6; 0
Mabuhay 1 (Fillipin)	10- avgust, 1997	S; Ku	24 + 6; 24	27; 110	36; 36;	35; 55	M/y
Apstar 2R (Gonkong)	16- ok- tyabr, 1997	C; Ku	28 (8); 16	60; 110	30 (1) +36 (27); 36 (1) + 54 (15)	39; 53/56	-0,4; 7,4
Galaxy 8i (AQSH)	8- dekabr, 1997	S; Ku	24; 32	16; 115	36; 27	M/y	M/y

Inmarsat 3F5 (In- marsat)	4-fevral, 1998	L; C	1 (GL) + 5 (UL); 2	12	29 (PK) + 39 (OK)	40,5 (GL) + 47,4 (UL)	-9,8 (GL); -4,8 (UL)
Nilesat 1 (Misr)	28- aprel, 1998	Ku	12 (6)	105	33	50,3	M/y
Chinastar 1 (Xitoy) *	30- may, 1998	C; Ku	18 (6); 20 (10)	45; 85/115	36 (12) + 72 (6); 36 (16) + 72 (4) 41;	52/54	1; 5
Intelsat 805 (Intel- sat)	18- iyun, 1998	C; Ku	26	34,5; 45	36; 72	26-29	-12; - 8,5
Eutelsat 3F2 (Yev- ropa)	5-ok- tyabr 1998	Ku	34	90	36 (21) + 72 (13)	50	M/y
GE 5 (AQSH)	28-ok- tyabr, 1998	Ku	6	55	54	47	M/y
Morelos 3 (Meksika)	6- dekabr	C; Ku	24; 24	36; 110	36; 36	38; 46/49	-3,0; 1,5
Brasilsat B3 (Bra- ziliya)	4-fevral, 1999	C	28	18	36	38	-2,5
Jcsat 6 (Yaponiya)	16- fevral, 1999	Ku	32	60	27 (16) + 36 (16)	m/y	m/y

Izoh. * Yo'ldoshning boshqa nomi Zhongwei 1; **qavs ichida zaxira-
radagi stvollar soni ko'rsatilgan; *** qavs ichida bir nechta, har xil
kenglikdagi o'tkazish polosalarida har turdagi stvollar soni ko'rsatil-
gan; GL — global nur, PK — to'g'ri kanal, OK — teskari kanal, UL
— tor nur, M/y — ma'lumot yo'q; Q/t — qo'llash taqiqlanadi.

Bunday vaziyatdan stvolning yalpi polosasini porsial kanallar qatoriga bo'lish bilan chiqish mumkin. "Tashuvchiga bir kanal" (SCPS, Single Cannel Per Carrier) deb nom olgan. Ushbu usul yerdagi stansiyalar o'rtasida trafikni tezkor qayta tarqatish imkonini berish tufayli VSAT tarmoqlaridan keng qo'llaniladi.

Sanab o'tilgan kamchiliklarga qaramasdan, bent-pipe turidagi retranslyator KA li zamonaviy aloqa tizimlarida faqat geostatsionar orbitalardagi emas, balki boshqa orbitalarda ham qo'llaniladi, chunki ularni amalga oshirish sodda hisoblanadi.

SCPC li shaffof retranslyatorlarni yaratishdagi yangi texnik yechim ularda quvvatni kam yo'qotishni ta'minlovchi PIN – diodli pereklyuchatelni va O'YUCH asosida integral sxemalar bilan bajarilgan yuqori chastotali kommutirlovchi matritsalarni qo'llash hisoblanadi. Bunday kommutator ishini boshqarish bort protsessori yordamida, zaxiralash esa matritsaga qo'shimcha qatorlar va ustunlar kiritish hisobiga amalga oshiriladi.

Kombinatsiyalangan retranslyator. Bitta kanal protsessorli retranslyatorda qabul qilingan signal qabul qilgichning chiqishida N kanallarga bo'linadi va ularning har birida signalni shaffof o'zgartirish amalga oshiriladi. Bunday BRTKning "mutlaqo" shaffof retranslyatordan farqi shundaki, bitta yoki bir nechta kanallarda protsessor o'rnatiladi. Bu yechimning asosiy afzalliklaridan biri sanalib, bu mavjud shaffof retranslyatorlarni kombinatsiyalaganga sodda modernizatsiya qilishdir, chunki signallarga ishlov berganda, kanallar oddiy stvolga joylashtiriladi. Bundan tashqari turli uzatish tezlikdagi turli xil kodlashtirish algoritmi kanallarini qo'llashi mumkin.

Regenerativ retranslyatorlar. Paketli kommutatsiyali retranslyatorlar. Yo'ldoshli mobil aloqa tizimlarida signallarni uzatishning yuqori samarasiga ko'pincha ATM yoki IP texnologiyalari asosida amalga oshiruvchi kommutatorlarni BRTKda qo'llash bilan erishiladi. Aniq protokolni tanlash tizimining arxitekturasiga va orbital guruhlashning turiga bog'liq. ATM – kommutatori ko'proq KAni geostatsionar yoki quyi orbitalarda (Sky Bridge tizim) qo'llovchi "yulduz" topologiyali tarmoqqa mos keladi.

Paketli ishlov berishning asosiy afzalligi “yuqoriga” va “pastga” liniyalarda asimmetrik kanallardan foydalanish imkoniyatining mavjudligidir, ya’ni interaktiv tartibda qo’llaniladi.

Axborotlarga paketli ishlov berishni bortda amalga oshirsa, marshurtlovchi retranslyator ko’proq murakkablashadi. Bunday turdagi retranslyatorlar big LEO (Iridium) yoki mega LEO (Teledesic) turidagi KA asosida qurilgan yo’ldoshlararo aloqa chiziqlari va tugunli topologiyali tizimlarda qo’llaniladi. Ularda kanallarni dinamik qayta tarqatish (marshurtlash) bevosita retranslyatorlarda amalga oshiriladi va IP (Iridium) protokolida asoslanadi.

Axborotlarga noreal vaqtda ishlov beruvchi retranslyatorlar. Mintaqaviy stansiyalar (masalan, dengiz kemasi bortida) xizmati doirasidagi tashqarida bo’lib qolgan, uzoqlashtirilgan foydalanuvchilar uchun little LEO turidagi KA yo’ldoshli tizimlarda boshqa abonentlari bilan kosmik “pochta qutisi” orqali aloqa imkoniyati ko’zda tutiladi.

Elektron “pochta qutisi” tartibidan aloqa quyidagicha tashkil qilinadi. Abonent o’zining xabarlarini radio ko’rinish maydonida hech bo’lmaganda bitta KA paydo bo’lganda uzatishi mumkin. Yo’ldosh ushbu xabarni qabul qiladi va bortdagi ZU (pochta qutisi)ga yozib qo’yadi. Oluvchiga axborotni mazkur KA uning mintaqasiz yetib borishi bilan jo’natadi. Transport protokollari abonentlik terminallarida bitta xabarga tegishli paketlarni yig’ishni ta’minlaydi, bu paketlarni yetkazish marshruti va uni tashishda ishtirok etgan KA va yerdagi bog’lovchi stansiyalar soniga bog’liq bo’lmaydi.

LTE tizimida fizik darajaning tashkil etilishi (radiointerfeys) va MIMO texnologiyasining qo’llanilishi haqida keyinroq batafsil to’xtalib o’tiladi.

Nazorat savollari:

1. Nurlarni shakllantirilishi usulini (beamforming) bayon eting. Nurlarni shakllantirilishi usulini qo’llanilishining qanday ijobiy tomonlari mavjud?

2. Nurlarni shakllantirilish usuli tayanch stansiyalar sonini qanday qisqartirish beradi?

3. Nurlarni shakllantirilishi usulidan foydalanish hisobiga tarmoqning o'tkazish qobiliyatini qanchalik oshirilishiga erishiladi?

4. Nurlarni shakllantirilishi usulidan foydalanish hisobiga qanday chastotadan takroran foydalanish koeffitsientiga erishish mumkin?

5. WiMAX tarmoqlarida MIMO texnologiyalardan foydalanishning qanday asosiy afzalliklari mavjud?

6. Nurlarni shakllantirilishi usuli va MIMO texnologiyalarni birlashtirishda qanday murakkabliklar mavjud?

7. Nurlarni shakllantirilishi usuli va MIMO texnologiyalarni birlashtirishda qanday yutuqqa erishiladi?

8. WiMAX tizimlari uchun radiochastotalarni taqsimlashda qanday butundunyo an'analari mavjud?

9. WiMAX tarmoqlari uchun spektrni taqsimlash qanday muammolarga bog'liq?

16-bob. EMM DARAJASIDA AU NING MOBILLIK HOLATLARI

16.1. EMM darajasida AUning mobillik holatlari. Noaktiv holatdagi mobillik

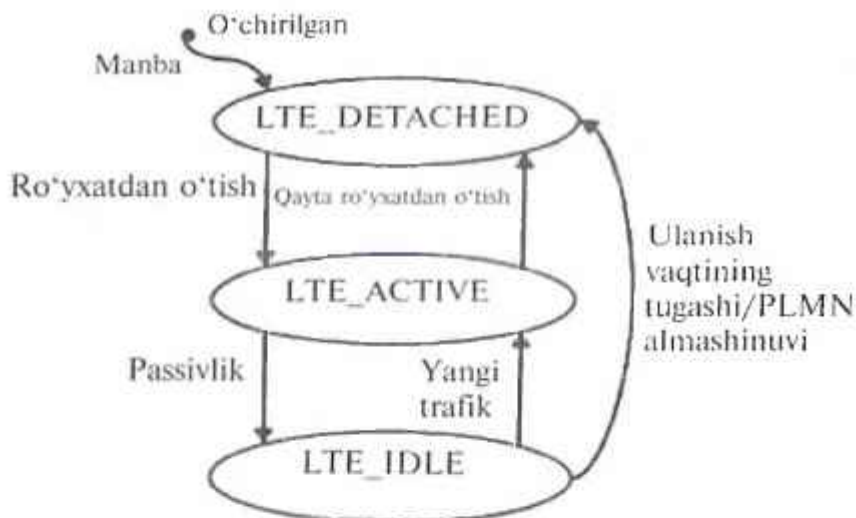
AUlarining mobilligik boshqaruvi “uy” va mehmon sotalarda ishlatiladigan radiotexnologiyalarga, AUning mobil holatiga va axborot jo‘natiladigan OTO‘ darajasiga asoslangan holda klassifikatsiya qilinadi.

LTE tarmoqlarida soddalashtirilgan ko‘rinishda AU, mobillik nuqtayi nazaridan, 16.1-rasmda ko‘rsatilganidek, uch holatdan birida bo‘lishi mumkin: “Ulanmagan LTE” (*ingl. LTE Detached*), “Noaktiv LTE” (*ingl. LTE Idle*), va “Aktiv LTE” (*ingl. LTE Active*) holatlari.

Bunda “Ulanmagan LTE”, odatda, o‘tkinchi holat bo‘lib, u AUning endi yoqilib tarmoqni qidirish va unga ulanish jarayonida bo‘lishiga to‘g‘ri keladi. “Aktiv LTE” holatida AU tarmoqqa ulangan va RRC darajasida eNB tugunida ro‘yxatdan o‘tgan bo‘ladi. Bu holatda AU qaysi sotaga bog‘langani ma‘lum bo‘lib, u bilan ma‘lumot ayirboshlash mumkin bo‘ladi. “Noaktiv LTE” AU quvvatini tejash holatiga mos bo‘lib, bu holatda AU ma‘lumot paketlarini uzatmaydi ham, qabul ham qilmaydi. Bu holatda AUga tegishli kontekstlar eNB tugunida saqlab qolinmaydi, chunki AUning territorial joylashuvi faqatgina MME moduliga ma‘lum, u ham bo‘lsa bir necha eNB tugunidan iborat bo‘lgan “kuzatuv zonasida” — TA (*ingl. Tracking Area*). MME moduliga AUning oxirgi marta ulangan TA zonasi ma‘lum bo‘ladi va AUning joylashuvini aniqlash uchun qisqa xabar — *peydj*ing yuboriladi.

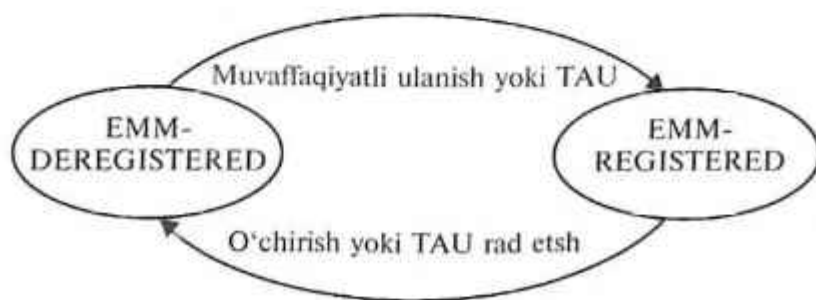
Batafsilroq ravishda AUning mobillik holatini MME modulida saqlanuvchi axborotga qarab ikki darajaga ajratish mumkin:

- EPS nimitzimidagi mobillikni boshqarish holati — EMM (*ingl. EPS Mobility Management*);
- EPS nimitzimidagi ulanishlarni boshqarish holati — ECM (*ingl. EPS Connection Management*).



16.1-rasm. *LTE tizimida AUning mobillik holatlari.*

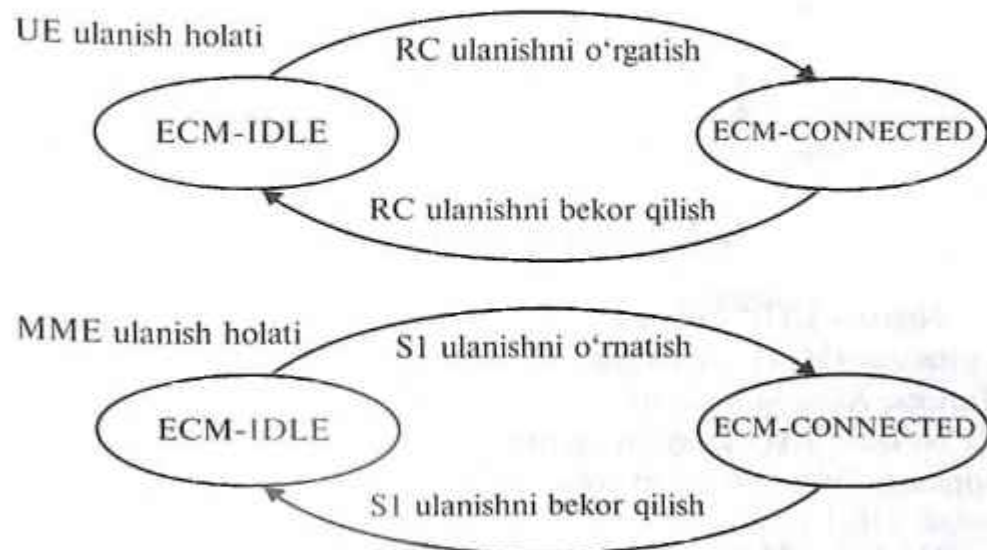
EMM holatida AU "Ro'yxatdan o'tmagan EMM" (ingl. *EMM-DEREGISTERED*) va "Ro'yxatdan o'tgan EMM" (ingl. *EMM-REGISTERED*) nimholatlariga bo'linadi. "Ro'yxatdan o'tmagan EMM" holatida MME modulida AUning ayni damdagi joylashuvi bo'yicha axborot bo'lmaydi, lekin unda AUning ushbu holatidagi haqida kontekst axborot saqlanadi va bu AU ning "ro'yxatdan o'tgan" holatiga o'tishida qayta autentifikatsiyalashdan ozod qiladi.



16.2-rasm. *EMM darajasida AUning mobillik holatlari.*

AUning “ro‘yxatdan o‘tgan EMM” holatiga o‘tishi har safar yoki AUning tarmoq bilan ulanishida, yoki kuzatuv zonasini yangilash — TAU (*ingl. Tracking Area Update*) jarayonida sodir bo‘ladi. Bu holatda MME moduli AUning joylashuvini faqat kuzatuv zonasi — TA miqyosidagina bo‘ladi, AU esa bu holatda TAU jarayonini amalga oshirishi, peydjingga javob qaytarishi va chiquvchi ma’lumot bor bo‘lsa kanal resursi ajratilishi talab qilishi mumkin (16.2-rasm).

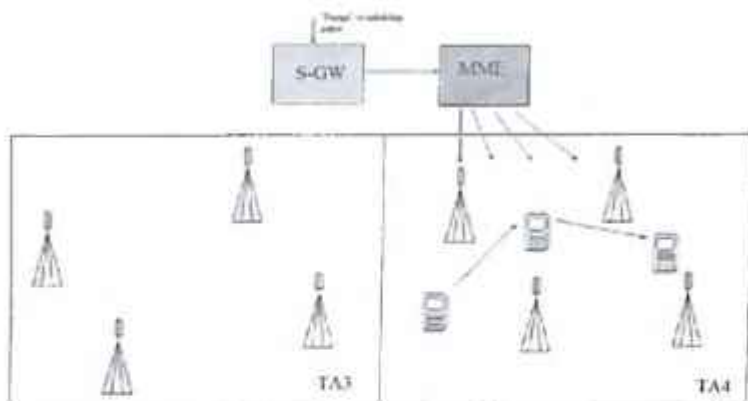
ESM darajasida ham ikki holat ajratiladi — “noaktiv ESM” (*ingl. ECM-IDLE*) va “ulangan ESM” (*ingl. ECM-CONNECTED*).



16.3-rasm. ESM darajasida AUning mobillik holatlari.

“Noaktiv ESM” holatida AU va MME orasida NAS darajasida xizmat axboroti bilan almashinmaydi va AU uchun mo‘ljallangan kontekst eNB tugunida saqlanmaydi. AUning joylashuvi TA aniqligi darajasida ma’lum, AUning joy o‘zgartirishlarini aniqlash esa TAU jarayonlari hisobiga amalga oshiriladi.

“Ulangan ESM” holatida AU va MME orasidagi xizmat axboroti almashuvi RRC protokoli, eNB va MME orasida esa S1 interfeysi orqali olib boriladi. AUning joylashuvi sota aniqligi darajasida ma’lum va AUning sota o’zgartirishlari “xendover” jarayonlari bilan birga o’tadi (16.3-rasm).



16.2. Noaktiv holatdagi mobillik

“Noaktiv LTE” holatida AU quvvatni tejash rejimida bo’ladi va tarmoqqa (MMega) sotalar aro harakati haqida xabar bermaydi. Tarmoq AUning joylashuvini bir yoki bir nechta TA lar aniqligida bo’ladi. TAU jarayoni AUning eski TA (yoki TA guruhlari) zonasiga kirmagan yangi sotani (TAni) zonasiga o’tishida ishlab ketadi (16.4-rasm).

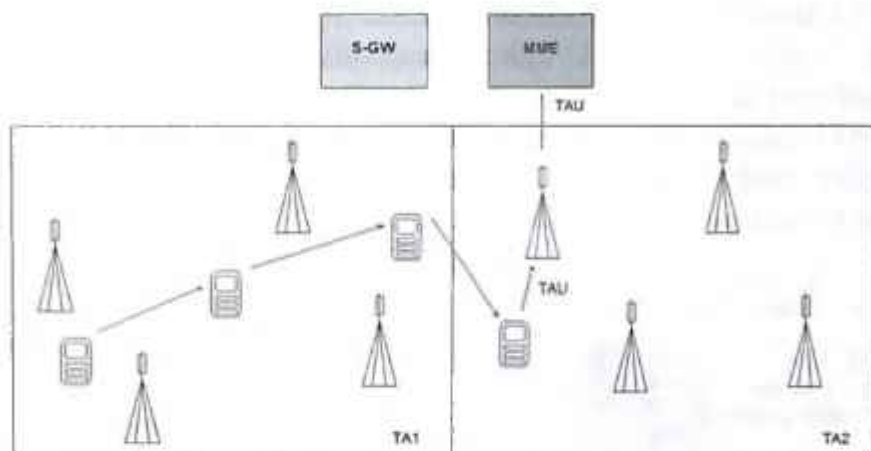
“Noaktiv LTE” holatida AU faqatgina boshqa TA maydoniga kimganda TAU jarayonini amalga oshiradi.

S-GW shlyuziga “pastga” yo’nalishda paket kelganida AU so’ngi marta ro’yxatga olingan TA maydonidagi barcha eNB larga MMB moduli xabar — “peydjing” jo’natadi.

Yana muhim joyi shuki, TAU jarayoni doimiy davriy ravishda AUda o’rnatilgan vaqt intervali asosida bajarilib turadi.

Ayni bir AU uchun chaqiruv kelganda, ushbu AU oxirgi marta ro’yxatdan o’tgan TA zonasidagi barcha saytlarga aktivatsiya

peydjingi yuboriladi. AUning bir necha TA lar orasida harakat qilganida qayta-qayta TAU jarayonini bajaravermaslik uchun, LTE tizimida AUning bir vaqtning o'zida bir nechta TA zonalari-da ro'yxatdan o'tishi ko'zda tutilgan.



16.4-rasm. *“Noaktiv LTE” holatida TAU jarayoni va “pastga” yo‘nalishda trafikni o‘tkazish jarayoni.*

3GPP doirasida shu masala bilan bog‘liq LTE tizimlarida “afzal kuzatuv zonasi” mexanizmini ishlatish bo‘yicha qizg‘in munozaralar olib borilgan. Ilgarigi texnologiyalarda (misol uchun GSMda), odatda, turg‘un kuzatuv zonalari ishlatilgan. Lekin, hozirgi kunda TAU trafiginı sotalar orasida bir tekis taqsimlaydigan va har bir AUning “mobillik” xususiyatlarini hisobga olgan holda TAU jarayoniga sarflanadigan umumiy yuklatishni kamaytirish hisobiga (ya’ni, “ping-pong” effektidan xalos qiladigan) yanada mukamallashtirilgan uslublar mavjud.

Xususan, 3GPP loyihasida standartga qo‘shish uchun bir necha quyidagi nomzod mexanizmlar taklif qilingan edi: bir-birini qoplovchi TAlar, ko‘p sonli TAlar va masofa asosidagi TAlar sxemalari. Natijada, 3GPP doirasidagi mulohazalarga asoslanib ko‘p sonli TAlar sxemasi qabul qilindi va u ortiqchalik (*rus.*

дублирование) ga yo'l qo'ymaydi deb hisoblandi. Bunday sxemada AU bir emas bir nechta TAlar yig'indisi (*ingl. TA set*)da ro'yxatdan o'tgan bo'lishi mumkin (16.5-rasm).

Shunday qilib, bu sxemada AU o'z harakatida ro'yxatdan o'tgan Talar guruhi zonasida bo'lganida TAU jarayoni bajarilmaydi. AU o'z TA lar guruhi chegarasidan chiqishi bilan TAU jarayoni boshlanadi. Natijada ushbu AU uchun qayd qilingan Talar guruhi yangilanadi yoki uni tarkibi o'zgaradi. Talar guruhining shakllanishi har bir AU uchun "personallashtirilgan" asosda amalga oshiriladi va bunday moslashuvchanlik TAU jarayonlari hisobiga umumiy tarmoq yuklanishini ancha kamaytirishiga imkon beradi.



16.5-rasm. "Noaktiv LTE" holatida ko'p sonli TAlar sxemasining ishlashi.

Shuningdek, 3GPP tomonidan TA mexanizmlari LTE tizimlari va LTEgacha bo'lgan texnologiyalar uchun farq qilishi ta'kidlangan, ya'ni LTEdagi eNB va UMTSdagi NB tugunlari TA zonalarining turli sxemalariga tegishli bo'ladi va bu turli radioulanish texnologiyali tarmoqlari orasida AUni harakatlanishida uning mobilligini ta'minlashni soddalashtiradi. Bu esa o'ta muhim masala, chunki operatorlar LTE tizimlariga

bosqichma-bosqich o'tishni ko'zda tutishmoqda va mavjud bo'lgan 3GPP texnologiyalari — HSPA, UMTS, EDGE va GPRS kabilar, yana bir qancha vaqt ekspluatatsiyada bo'lishlari kutilmoqda. Bu texnologiyalar orasidagi "xendoverga" nisbatan 3GPP loyihasi AUning turli texnologiyalar sotalari orasida "noaktiv LTE" holatida bo'lib harakatlanishida ichki tizim signalizatsiyasini kamaytirish usullarini taklif etdi. Masala shunda ediki, AU o'z harakatlanishida boshqa texnologiya sotasiga o'tganida ham o'zining joriy holatini (statusini) saqlashi kerak edi. Misol uchun, LTE tarmog'idagi "noaktiv LTE" holati UMTS/GPRS tarmog'idagi "noaktiv PMM" (*ingl. Packet Mobility Management-idle*) holatiga o'tishi kerak. Hamda AUning turli radioulaniş texnologiyalari orasida harakatlaniş jarayonida TAU jarayoni (LTE tarmoqlarida) yoki UMTS/GPRS tarmoqlaridagi marshrut zonalarini yangilash — RAU (*ingl. Routing Area Update*) jarayoni bajarilmasligi lozim. Bu talablarning barchasiga mos kelish uchun LTE tizimlarida AU ham TA zonasiga, ham RA zonasiga bog'langan bo'lishligi belgilangan. Shu yo'sinda AU o'zining TA yoki RA zonalariga mos sotalar qamrovida bo'lganida (bu sota tomonidan tarmoqqa zona identifikatorlari yuborilishi asosida aniqlanadi) TAU yoki RAU jarayonlarida hojat bo'lmaydi. AUga yo'naltirilgan yangi trafik kelib tushganda, unga (AUga) ikkala texnologiyada ham peydjing yuboriladi va uning javobi qaysi radioulaniş texnologiyasi asosida qaytishiga qarab, trafik ma'lumotlari shu texnologiyada yuboriladi.

Ta'kidlab o'tish lozimki, turli texnologiyalar asosidagi tarmoqlarda peydjingni bir vaqtning o'zida yuborish mexanizmi boshqa ishlab chiqaruvchilar tomonidan standartlashtirilgan radioulaniş texnologiyalarida (3GPP-2 va IEEE kabi) ishlamaydi. Shuning uchun AU mobilligini ta'minlash maqsadida uning LTE tarmoqlari va 3GPP oilasiga mansub bo'lmagan texnologiyalar orasida harakatlanishida tizim radioulaniş texnologiyasining o'zgargani haqida xabar oladi.

“Noaktiv LTE” holatida ISR (*ingl. Idle-mode Signaling Reduction*) nomini olgan signalizatsiya trafigini qisqartirish mexanizmi AUga bir vaqtning oʻzida ham UTRAN/GERAN tarmoqlarining RA zonasida, ham E-UTRAN tarmogʻining TA (Talar guruhi) zonasida roʻyxatlangan oʻtishga imkon beradi. Bu AUga E-UTRAN va UTRAN/GERAN tarmoqlari sotalarida AU RA va TA guruhlari koʻlamida boʻlgunga qadar TAU yoki RAU jarayonlarini amalga oshirmasdan qolishga imkon beradi. Shu yoʻsinda ISR mexanizmi AU akkumulyatorlarining zaryadini saqlashda va mobilligini boshqarishda yordam beradi.

16.2. Aktiv holatdagi mobillik

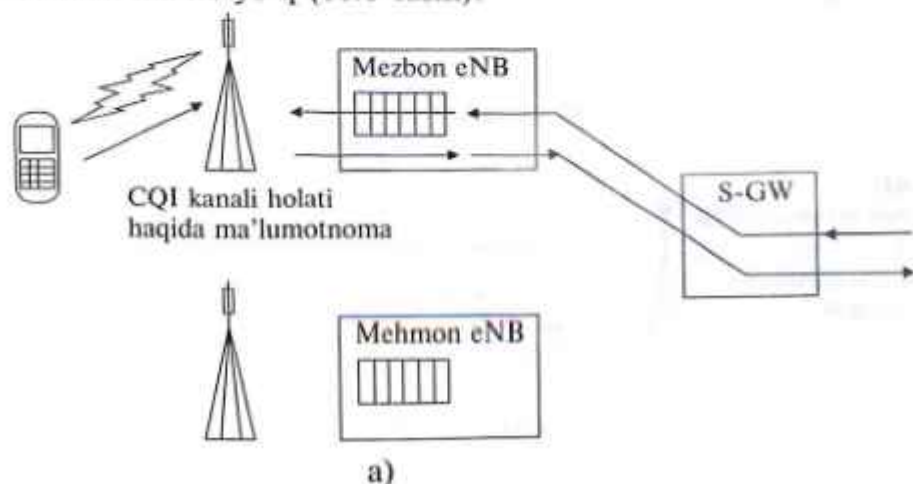
LTE tizimida AUning “aktiv LTE” holatida uni ikki sota orasida harakatlanishida “teskari (yoki bashorat qilingan) xendover” jarayoni amalga oshadi. “xendoverning” bu turida “uy” sota AUning status maʼlumotlariga asoslangan holda mehmon sotani aniqlab unga AU uchun kanal ajratishini soʻrab xabar beradi. Bunday xabarni olgan mehmon sota kerakli kanal resursini ajratadi va shundan soʻng “uy” sota AUga “xendover” jarayonini boshlashga buyruq beradi.

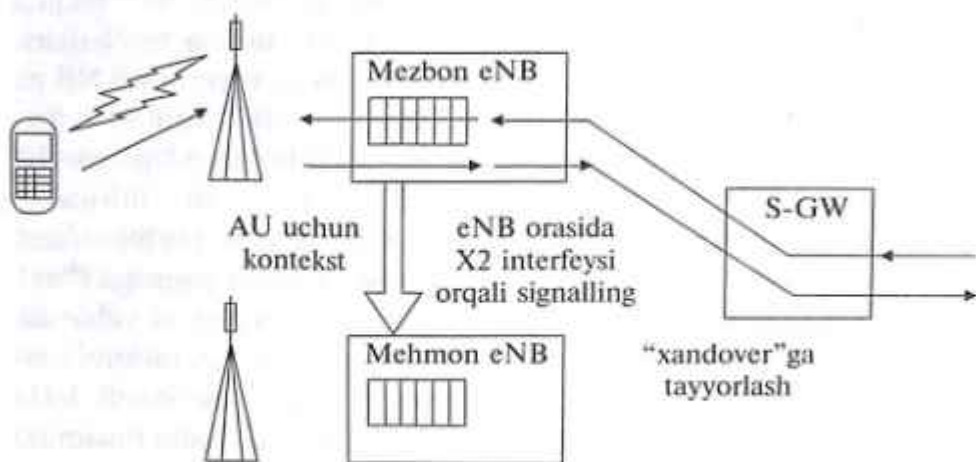
LTE tizimida RLC protokolining taʼsiri eNB tugunigacha boʻlgani sababli “pastga” yoʻnalishdagi maʼlumotlarni buferizatsiya qilish (xotirada saqlash) eNBda amalga oshiriladi. Shuning uchun LTE tizimlarida eNB tugunlari orasidagi “xendover” vaqtida maʼlumotlarni yoʻqolishiga qarshi mexanizmlarning ishlatilishi UMTS tizimlaridagiga nisbatan kattaroq ahamiyatga ega (chunki UMTSda maʼlumotlarning buferizatsiyasi radiotarmoqning markaziy kontrolleri — RNC da amalga oshadi, ular orasida esa “xendover” kamroq amalga oshiriladi). Shu sabab “xendover” jarayonida maʼlumotlar yoʻqolishini minimallashtirish maqsadida LTE tarmoqlarida ikki mexanizm taklif qilingan: maʼlumotlar buferini qayta yoʻnaltirish (*rus. перепредачу*) va maʼlumotlarni ikki marta yuborish (*ingl. bi-casting*) mexanizmlari.

Ma'lumotlar buferini qayta yo'naltirishda, "xendover" haqida qaror qabul qilingandan so'ng "uy" eNB AU uchun mo'ljallangan va buferda saqlangan barcha ma'lumotlarni mehmon eNB ga X2 interfeysi yordamida jo'natadi. Agarda eNB tugunlari orasida X2 interfeysi tashkil qilinmagan bo'lsa, u holda AUGa barcha ma'lumotlar MME orqali S1 interfeysi yordamida yo'naltiriladi.

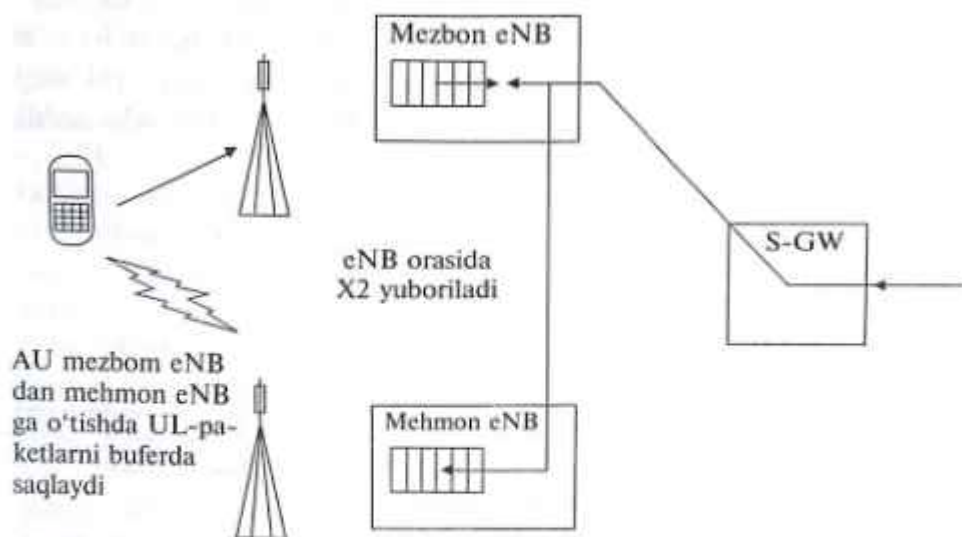
Ikki marta yuborish mexanizmidagi S-GW shlyuzi ma'lumotlarni AUNing joylashish tasodifi eng yuqori bo'lgan eNBlar guruhiga ("uy" eNBni ham qo'shgan holda ikki yoki ko'proq eNBlariga) yuboradi. Aytib o'tish joizki, ma'lumotlarni ikki marta yuborish mexanizmi magistral liniyalarning ancha katta o'tkazuvchanligini talab qiladi, lekin ma'lumotlarning yo'qolishidan to'liq kafolatlamaydi. Katta muammo ma'lumotlarni yuborish vaqtini aniqlashdadir: agar yuborish vaqtdan ilgari amalga oshsa, bu magistral liniyalarda yuklanishni oshishiga, agar kechiktirilsa — ma'lumotlar paketini yo'qolishiga olib kelishi mumkin.

Shularni hisobga olgan holda, 3GPP loyihasi LTE tarmoqlari ichidagi "xendover" jarayonlarida ma'lumotlar buferini qayta yo'naltirish mexanizmini ishlatishga qaror qildi. Bunda "uy" eNB trafikning turiga qarab uni qayta yo'naltirish bo'yicha o'zi qaror qabul qilishi mumkin. Misol uchun, agar trafik real vaqt masshtabida bo'lmasa, qayta yo'naltirishda ma'no bor, aks holda — bundan ma'no yo'q (16.6-rasm).

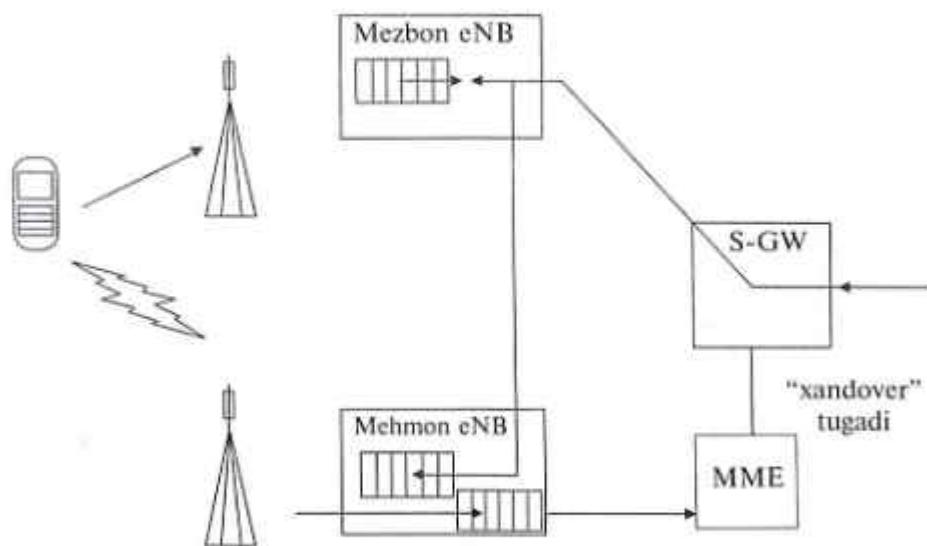




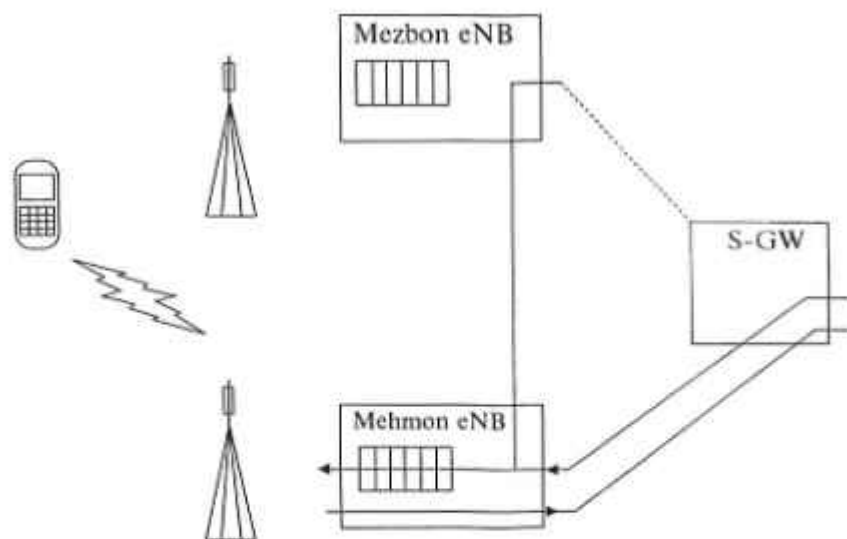
b)



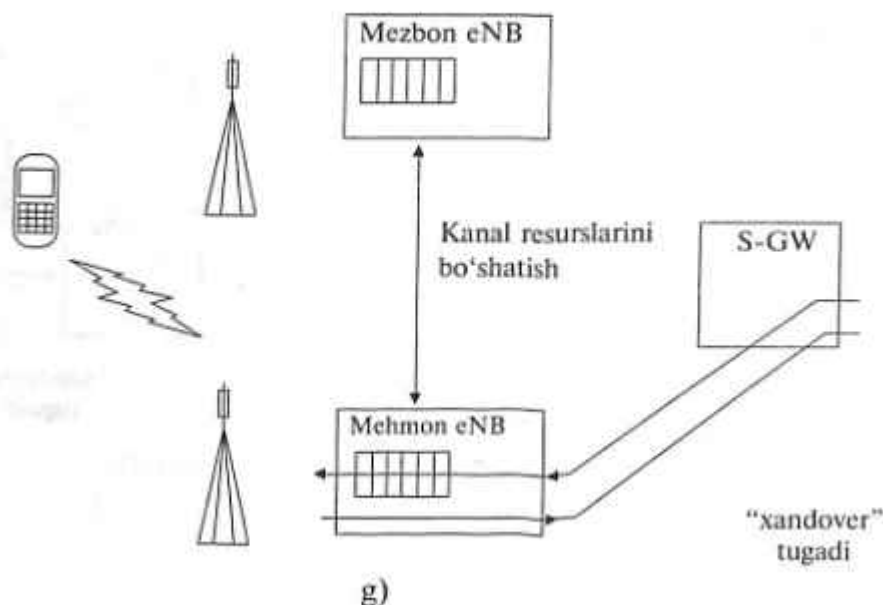
d)



e)



f)



16.6-rasm. LTE tarmog'ida "xendover" jarayoni.

Shu bilan birga 3GPP loyihasi doirasida RLC kontekstini to'liq o'tkazish kerakmi yoki har bir "xendover" jarayonidan so'ng uni yangilash kerakmi, degan munozaralar o'tgan. Ko'pchilikni fikricha, "xendover" paytida RLC konteksti yangilanishi kerak, chunki kontekstni o'tkazish o'ziga yarasha qiyinchiliklar bilan bog'liq. Lekin RLC konteksti yangilanganida AUGa to'liq uzatilmagan xizmat ma'lumotlar bloklari — SDU (*ing. Service Data Units*) qayta yuborilishi kerak bo'ladi, bu esa radiointerfeys resurslarini samarasiz ishlatilishiga olib keladi. Shuningdek, RLC konteksti har bir "xendover"da yangilanishi bilan bog'liq boshqa bir muammo ham vujudga keladi: mehmon eNBga buferning birinchi tasdiqlanmagan SDU blokidan boshlab barcha ma'lumotlari uzatilishi kerakmi yoki faqat tasdiqlanmagan SDU bloklarni o'zlari xalosmi? 3GPP loyihasi "xendover" paytida faqatgina tasdiqlanmagan "pastga" yo'naltirilgan SDU bloklari

mehmon eNBga uzatilishini qaror qildi. AUda paketlarni tartibga keltirish va ularni yuqoriroq darajalarga uzatilishida tartibni saqlash uchun PDCP protokolidagi paketlarning tartib raqamlari mehmon eNBda ham davom etishi belgilangan. AUga yo'naltirilgan bufer va kontekst ma'lumotlar eNB tugunlari orasida bevosita yangi X2 interfeysi orqali S-GW shlyuzining ishtirokisiz o'tkaziladi.

Yana bir muhokama etilgan savol — "xendover" vaqtida AU kontekstini uzatishda sarlavhalarni mustahkam siqish jarayoni — RoHCni ishlatish bilan bog'liq bo'ldi. Ma'lumot uzatish tezligini oshirish nuqtayi nazaridan RoHC yutuq beradi, lekin bunda infratuzilma murakkablashadi va tarmoqning narxi oshadi, chunki LTE tizimlarida bu jarayon eNB darajasida amalga oshgani sababli RoHCning yangilanish tezligi ko'proq bo'ladi va bu UMTS tarmoqlarida RNC darajasida tugaydigan PDCP protokolida amalga oshadigan RoHC jarayonidan farqlanadi. Bu masalada yakuniy qaror qabul qilinishi kerak.

LTE tarmoqlari va 3GPP boshqa tarmoqlari orasidagi "xendover" uchun SGSN tuguni va S-GW shlyuzi orasidagi abonent sathida interfeys tashkillashtirish qaror qilingan. Bunday interfeys sifatida GPRS tarmoqlarini abonnet sathida ishlatiladigan tunellashtirish protokoli (GTP-U) tanlangan. Garchi "xendover" ning bunday turi bevosita LTE tarmoqlari ichidagidan ko'ra kamroq amalga oshsada, 3GPP loyihasi bu turdagi "xendover" da paketlarni yo'qolishini kamaytirish usullarini belgilab berdi va qarorni yoki bevosita eNB dan RNCgacha, yoki S-GW va SGSN tugunlari vositasida ishlaydigan bufer yuborish sxemasi foydasiga qabul qildi.

LTE tarmoqlari va boshqa "no-3GPP" tarmoqlar orasidagi "xendover" uchun turli kommutatsiya protokollari ishlatiladi. Shunday qilib, S2a interfeysi orqali ham tarmoq muhiti protokoli — NBM (*ingl. Network Based Mobility*) ishlatiladi, ham xost-mashinalarga bog'liq protokolning abonent rejimi — HBM

(*ingl. Host Based Mobility*) ham ishlatiladi. Birinchi guruhga, masalan, PMIPv6 protokoli (*ingl. Proxy Mobile IP version 6*) kirs, ikkinchisiga MIPv4 FA (*ingl. Mobile IP version 4 Foreign Agent*) protokoli kiradi. S2b interfeysi orqali faqat PMIPv6 protokoli ishlatiladi, S2c interfeysida ishlash uchun esa afzallik DS-MIPv6 (*ingl. Dual-Stack Mobile IP version 6*) protokoliga berilgan. 3GPP va "no-3GPP" tarmoqlar orasidagi "xendover" ning mobillik sxemasi AUning "xendover" paytida kirib qoladigan mehmon tarmog'ida AU "xendover"ga kirgunga qadar u uchun ajratilgan resurslar bo'lishi (ya'ni "bashorat qilingan xendover" rejimi amalga oshishi) ko'zda tutilmagan. Lekin uzluksiz mobillikni tashkillashtirish bo'yicha mehmon tarmoqlarda resurslar ajratish bo'yicha takliflar ko'rib chiqilgan edi.

Nazorat savollari:

1. Xavfsizlik assotsiatsiyalariga tavsif bering va ularning qanday turlari mavjud?
2. Ma'lumotlar uchun qanday xavfsizlik assotsiatsiyalari mavjud va ular qanday tashkil etuvchilardan tashkil topgan?
3. Avtorizatsiya uchun xavfsizlik assotsiatsiyalarining qanday tashkil etuvchilari mavjud?
4. EAR autentifikatsiya kengaytiriladigan protokolining mohiyati nimada?
5. RKM kalitlarni boshqarish va konfidensiallik protokollarida avtorizatsiya jarayonini bayon eting?
6. RKM protokolda TEK kalitlarni almashtirish jarayonini bayon eting?
7. DES shifrlash algoritmining ishlashini bayon eting.
8. SSM rejimida DES shifrlash algoritmining ishlashini bayon eting.

17-bob. LTE TARMOQLARIDA “ROUMING” XIZMATINI TASHKIL ETISH

17.1. “Rouming” xizmatlariga ta’rif

Vikipediya da “Rouming” (*ingl. Roaming, Roam – aylanib yurmoq, shahar kezmoq, ko’chib yurmoq*) — bu xizmat ko’rsatish doirasidan tashqarida “uy” tarmoqlariga “mehmon” tarmog’i resurslaridan foydalangan holda abonentlarga mobil aloqa xizmatlarini ko’rsatish” deb ta’rif berilgan.

Texnik nuqtayi nazardan, “rouming” deb mobil abonent boshqa kommutatorga ro’yxatga olingan tayanch stansiya xizmat doirasiga o’tishi (hatto bir tarmoq ichida bo’lsa ham) hisoblanadi (masalan, Wi-Fi tarmoqlarida shunday tushiniladi). Lekin, ko’pincha, “rouming” deganda boshqa operator tarmog’iga o’tish tushuniladi. “Rouming” xizmatini ko’rsatish operatorlar o’rtasida oldindan o’zaro imzolangan shartnomaga asosan amalga oshiriladi. Bunda abonent bilan qabul qiluvchi operator o’rtasida shartnoma tuzilishi talab etilmaydi va ko’rsatilgan xizmat uchun abonentning mahalliy operator tarmog’idagi hisobidan mablag’ olinadi. “Rouming” jarayonida, qoidaga asosan, abonentning telefon raqami saqlanib qoladi.

GSM operatorlarining xalqaro assotsiatsiyasining (*ingl. GSMA*) saytida abonent “uy” tarmog’i geografik qamrov hududidan tashqarida “mehmon” mobil aloqa tarmog’idan foydalangan holda avtomat tarzda qanday “rouming” amalga oshirilishi va ovoz qo’ng’iroqlarini qanday qabul qilishi, ma’lumotlarni uzatish va qabul qilish yoki boshqa xizmatlarga qanday ulanishi haqida batafsil yoritilgan.

Shunday qilib, mobil aloqa tarmog’ida “rouming” abonent qurilmasining mobilligini ta’minlash hamda qo’shimcha tarzda, uzluksiz mobillikni (“xendover”) ta’minlash imkonini beradi.

“Rouming” xizmatining bir necha xillari (avtomatik yoki “qo’lbola”) hamda turlari (tarmoq ichidagi, tarmoqlararo, xalqaro va standartlararo) mavjud.

“Qo‘lbola rouming” sotali aloqa tarmoqlarining oldingi avlodlarida, shuningdek, peyjing tarmoqlarida qo‘llanilgan. “Mehmon” tarmoqlarda vaqtinchalik xizmat ko‘rsatish uchun oldindan “rouming”ga abonentdan ariza bilan murojaat qilish talab etilgan, hamda uni kerak bo‘lgan muddatga “qo‘lbola” ravishda ro‘yxatga olinib, amalga oshirilgan.

“Avtomatik rouming”da abonentga “mehmon” tarmoqda xizmat ko‘rsatilishi yuzasidan ariza bilan murojaat qilish talab etilmaydi, ro‘yxatga olish uchun zarur bo‘lgan barcha jarayonlar avtomatik tarzda amalga oshiriladi, hatto abonentga ushbu jarayonlar sezilmaydi ham. “Rouming”ni bunday xili bugungi kunda asosiy hisoblanadi.

“Tarmoq ichidagi rouming” (shuningdek, hududiy (regional) “rouming”) abonentga bir operator tarmog‘ining qamrov hududi doirasida bir hududdan boshqasiga o‘tib yurish imkonini beradi (operator turli hududlar uchun turli tariflarni taklif qilgan hollarda). “Rouming”ni bunday turi bugungi kunda faqat keng hududga ega mamlakatlarda ishlatilmoqda (AQSH, Rossiya, Xitoy va boshqalar).

“Tarmoqlararo rouming” (shuningdek, milliy “rouming”) bir mamlakat ichida boshqa mobil aloqa operatori tarmog‘i xizmatidan foydalanish imkonini beradi.

Odatda bunday “rouming”, qachonki yangi kompaniya mobil aloqa xizmatlarini ko‘rsatish uchun litsenziya olib, hali o‘zining keng qamrovli tarmog‘iga ega bo‘lmagan davrida boshqa operatorlar bilan “rouming” bo‘yicha o‘zaro shartnoma asosida amalga oshiriladi.

“Xalqaro rouming” chet el mobil aloqa tarmoqlari xizmatlaridan foydalanish imkonini beradi. “Rouming”ni bu turi GSM standartida juda rivoj topgan bo‘lib, undan 80 foiz xalqaro mobil aloqa operatorlari foydalanadi. Abonentning mobil telefoni boshqa mamlakatda ishlay olishi uchun, u yoki xalqaro tarmoq bilan bir chastotada ishlashi kerak, yoki ushbu mamlakatda ishlatiladigan barcha chastotalarda ishlashni qo‘llab-quvvatlashi kerak (shuningdek, ko‘p diapazonli bo‘lishi kerak).

“Standartlararo rouming” turli standartlarda ishlovchi tarmoqlar orasida bemaol ko‘chib yurish imkonini beradi. Mobil aloqa texnologiyalari turli qit‘alarda bir-biriga bog‘liq bo‘lmagan holda rivojlanganligi sababli, bu kabi “rouming”ni amalga oshirishda ancha qiyinchiliklar mavjud. Shunday bo‘lsada mobil abonent, hatto o‘zi ishlayotgan standartida tarmoq bo‘lmagan mamlakatlarda ham, boshqa standart tarmog‘idan foydalana olishi mumkin. Misol uchun, GSM abONENTI CDMA tarmog‘i xizmatlaridan yoki sun‘iy yo‘ldosh aloqasi (masalan, Thuraya) xizmatlaridan foydalanishi mumkin. Buning uchun unga turli standartlarda ishlay oladigan (ko‘p-rejimli) apparat kerak bo‘ladi yoki u mahalliy standartda ishlaydigan telefonga o‘z SIM-kartasini o‘rnatib ishlaydi.

17.2. LTE tarmoqlarida “rouming” asoslari

LTE tarmoqlarida “rouming”ni tashkil etishning asosiy omilari shundan iboratki, ushbu tarmoqlar 3GPPning ilgari ishlab chiqarilgan boshqa barcha texnologiyalari (ya‘ni GSM, UMTS va LTE) bilan, shuningdek boshqa standart aloqa tarmoqlari (masalan, 3GPP-2) va keng polosali simsiz ulanish tarmoqlari (WiMAX i Wi-Fi) bilan “rouming”ni ta‘minlashi zarur.

“Rouming” bilan bog‘liq masalalarni o‘rganib chiqishda ikki aspektga e‘tibor beriladi: tijorat hamda texnologik. Bugungi kunda ishlab turgan LTE tarmoqlari soni kamligi tufayli tijorat nuqtayi nazardan “rouming” xizmati bo‘yicha amaliy tajriba oz bo‘lib, bu haqda so‘z yuritish biroz erta.

Texnologik nuqtayi nazardan esa “rouming”ni standartlash-tirish; uni tashkil qilish uchun foydalaniladigan interfeyslar tuzilmasi; 3GPP hamda “no-3GPP” (ya‘ni 3GPP stanadartlariga qarashli bo‘lmagan) tarmoqlarda “rouming”ning asoslari kabi masalalar ko‘rib chiqiladi. Xususan, LTE tarmoqlarida “rouming”ni tashkil etish texnologik tarafdin quyidagi jarayonlarni o‘z ichiga oladi:

- LTE tarmoqlari bo'yicha 3GPP texnik spetsifikatsiya talablariga asosan radioulanish tarmoqlari darajasida tarmoqlararo hamkorlikni ta'minlash;

- mahalliy tarmoqning radioqamrov hududidan tashqarida LTE tarmoqlari qo'llab-quvvatlaydigan chastota diapazonlarini "skaning" qilish (izlash), sotalarni tanlash, "mehmon" tarmog'ida autentifikatsiya hamda avtorizatsiya jarayonlarini bajarish;

- "mehmon" tarmog'ida autentifikatsiya amalga oshirilganidan so'ng abonent uskunasi uchun IP-manzil ajratish hamda "mahalliy" va/yoki "mehmon" tarmoqlari xizmatlariga ulanishni ta'minlash;

- "rouming" sharoitida signalizatsiya trafigini marshrutlash hamda tarmoqlararo "billing"ni ta'minlash.

LTE tarmoqlarida "rouming"ni texnik aspektlari 3GPPning bir nechta spetsifikatsiyasi asosida tartibga solinadi. Ularning asosiysi 23-seriya (TS 23.401 va TS 23.402) deb nomlangan spetsifikatsiyalar turkumiga birlashgan.

TS 23.401 hamda TS 23.402 spetsifikatsiyalarida mos ravishda 3GPP hamda "no-3GPP" ulanish tarmoqlari bilan "rouming"ni amalga oshirish masalalari keltirilgan. TS 23.003 spetsifikatsiyasida ovoz xizmatlarida mobil "rouming" raqami shakllantirilishi, mobil yoki keng polosali simsiz ulanish IP tarmoqlari uchun identifikatorlar aniqlanishi bo'yicha ma'lumot keltirilgan. TS 36.410 hamda TS 29.215 spetsifikatsiyalari TS 23.401 va TS 23.402 lar bilan birgalikda "rouming" jarayonida LTE tarmog'i interfeyslarining vazifalarini aniqlaydi.

Yuqorida aytib o'tilganidek, LTE tarmoqlari "uzluksiz" mobillik konsepsiyasiga asoslanadi, ya'ni bugungi kunda mavjud bo'lgan barcha mobil keng polosali aloqa tarmoqlari bilan "xendover" va "rouming" jarayonlarini qo'llab-quvvatlaydi. Shuning uchun texnologiyada quyidagi IP tarmoqlarda mobillikni boshqarish protokollarini ishlatish ko'zda tutilgan: xost asosida qurilgan mobil IP protokollar (MIPv4, MIPv6 versiyalari), shuningdek tarmoqlar asosida qurilgan protokollar — PMIPv6 (mobil proksi-protokol-

lar). Xost asosidagi mobillikni boshqarish protokollari — HBM bevosita AUda ishlaydi. Tarmoq asosidagi protokollar — NBM esa mobillikni boshqarish vazifalaridan AUni imkon qadar ozod qilishga yo'naltirilgan.

MIPv4 protokoli IPv4 protokolining mobillikni ta'minlashga qaratilgan takomillashtirilgan turi hisoblanadi. Unga ko'ra AU ulanish tarmog'idan qat'i nazar har doim o'zining "uy" IP manzili bo'yicha identifikatsiya qilinadi, garchi "mehmon" tarmog'ida u boshqa IP manzil olsa ham (mazkur nomli "care-of"-manzil). IP manzillarni belgilash dinamik konfiguratsiya protokoli — DHCP (*ingl. Dynamic Host Configuration Protocol*) tomonidan bajariladi. MIPv4 protokolining ishi NA — "uy" tarmoqlari agenti, FA — "mehmon" tarmoqlari agenti hamda CN (*ingl. Correspondent Node*) — korrespondent tuguni kabi tarmoq elementlarining o'zaro hamkorligi yordamida tashkil etilgan.

NA agent FA agent yordamida "mehmon" tarmoqda ro'yxatga olingan AUning IP manzili ("care-of" manzili) haqidagi ma'lumotga ega. IP sessiyani aniqlab, NA agent AU uchun belgilangan ma'lumotlarni maxsus IP tunneldan foydalangan holda uning yangi "care-of" manziliga jo'natadi.

"Sare-of" manzil AUga ro'yxatdan o'tish jarayonida ajratiladi va ikki turda bo'lishi mumkin, ya'ni "foreign agent care-of address" (FACoA) — "mehmon" agentining "care-of" manzili hamda "co-located care-of address" (CLCoA) — birga joylashgan "care-of" manzil.

FACoA tipidagi manzil IP tunnelling oxirgi nuqtalaridan biri bo'lgan FA agentning IP manzili deb hisoblanadi (IP-tunnelning boshqa oxirgi nuqtasi esa NA agentdir). FA agent tunneldan ma'lumotlarni olgach, paketlarni de kapsulyatsiya (ajratib chiqarish) qilib, AUga uzatadi.

CLCoA tipidagi manzil IP tunnelning oxirgi nuqtasi bo'lgan bevosita AUning IP manzili hisoblanadi. Bunday holatda AU mustaqil ravishda IP tunnel ma'lumotlarini de kapsulyatsiya qila oladi.

FA hamda HA agentlarining o'zaro hamkorligi AUni ro'yxatga olish jarayonida "Agent Advertisement" xizmat xabari yordamida amalga oshiriladi. Bundan tashqari autentifikatsiya jarayonida MAS manzil asosida ARP (*ingl. Address Resolution Protocol*) manzilni aniqlovchi protokol ishlatilishi ham mumkin. ARP protokoli terminalni MAS manzilini uning IP manzili bo'yicha aniqlash uchun mo'ljallangan kanal sathi protokoli hisoblanadi.

Abonent uskunasi FA agent bilan o'zaro hamkorligi "Agent Solicitation" xizmat xabari yordamida amalga oshiriladi. Ushbu xabar asosida AU o'zining joylashgan manzilini aniqlaydi ("uy" yoki "mehmon" tarmoqda) va FA o'rnatilishi bo'yicha istalgan o'zgarishlar bo'yicha axborot oladi. AU "mehmon" tarmog'idan o'z "uy" tarmog'iga qaytganida, "Registration Request" hamda "Registration Reply" juftlik xizmat xabarlari yordamida NA agentidagi o'zining tashqi ro'yxatdan o'tganligi to'g'risidagi ma'lumotlarini bekor qiladi.

AU "mehmon" tarmoqda ro'yxatdan o'tgan paytida, CN-korrespondent tugunidan abonent uskunasi uchun mo'ljallangan ma'lumotlar paketi NA agenti yordamida "mehmon" tarmoqqa yo'naltiriladi. Yo'naltirish yoki avval FA agentiga keyin AUga yoki "Care-of" manzil turiga bog'liq holda bevosita to'g'ridan to'g'ri AUga o'tkazish yo'li bilan amalga oshiriladi. AUdan CN — korrespondent tuguniga ma'lumotlar paketini uzatish FA agent orqali yoki to'g'ridan to'g'ri amalga oshiriladi.

MIPv4 protokoli kamchiligi — uning tarmoq resurslaridan samarasiz foydalanishi edi. Ushbu kamchilikni bartaraf etish uchun MIPv6 protokolida funksionali kengaytirilgan IPv6 protokoli tashkil qilingan. Tarmoq resurslaridan samarali foydalanish optimal marshrutizatsiya — RO (*ingl. Route Optimization*) mexanizmini joriy qilish hisobiga amalga oshadi. Optimal marshrutizatsiya jarayonida ma'lumotlar paketi CN korrespondent tugunidan bevosita AUga jo'natiladi. Auning IP manzili almashgani to'g'risida CN tugunini ogoh qilish uchun maxsus boshqaruvchi xabar ishlatiladi.

MIPv6 ni joriy qilish ketma-ketligi shunday holatga olib keladiki, tarmoq qurilmasining bir qismi MIPv4 manzillaridan, boshqasi esa, MIPv6 manzillaridan foydalanadi. Bunday holatda mobillikni boshqarish uchun ham MIPv4, ham MIPv6 protokolidan foydalangan holda tunnel hosil qiluvchi DSMIPv6 – ikkilangan (dual) protokoli ishlatiladi.

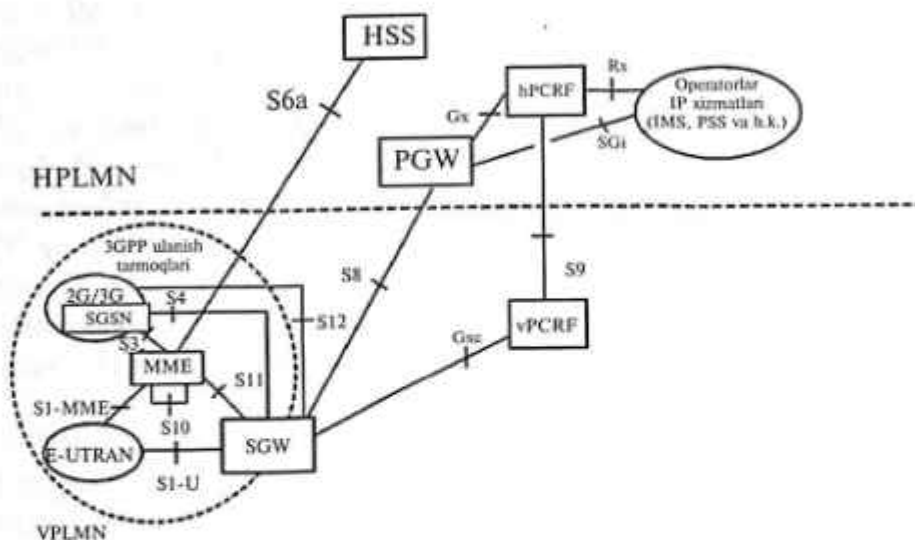
PMIPv6 tarmog'i negizidagi mobillikni boshqarish protokoli o'zining funksionalligi bo'yicha ko'proq MIPv6 ga o'xshaydi. Ushbu protokollarning asosiy farqi shundaki PMIPv6 protokoli, asosan, tarmoq segmentida tashkil etilgan. Ushbu protokolning asosiy yutuqi AUn mobillikni boshqarish vazifasidan ancha ozod qilganidir, va shuni hisobiga ulanish tarmog'i hamda abonent uskunasining resurslari iqtisod qilinganidir. Bu kabi yutuqlar radioulanish tarmoqlari uchun nihoyatda dolzarb hisoblanadi. 3GPPning TS 23.402 8 Reliz spetsifikatsiyasiga ko'ra PMIPv6 LTE tarmoqlarida nafaqat "no-3GPP" tarmoqlari bilan, balki 3GPP tarmoqlari bilan ham ulanishda GTP protokoliga mobillikni boshqaruvchi asosiy protokollardan biri deb hisoblanadi.

Shunday qilib, LTE tarmoqlari boshqa standart tarmoqlari bilan o'zaro hamkorligi jarayonida turli xil mobillikni boshqarish protokollaridan foydalanishi mumkin. Ayni bir protokolni tanlash AU hamda ulanish tarmog'iga, aniqrog'i, ular qo'llab-quvvatlaydigan protokollarga bog'liq. Bunday tanlov mexanizmi IPMS (*ingl. IP-Mobility Management Selection*) tarmoq jarayoni ko'rinishida tashkil etilgan.

IPMS jarayoni faqatgina AU "no-3GPP" ulanish tarmog'ida ro'yxatdan o'tganida yoki AU "no-3GPP" ulanish tarmog'iga "xendover" bajarganida amalga oshadi. AU 3GPP ulanish tarmog'i vositasida EPC tayanch tarmog'iga ulanganida IPMS jarayoni ishlatilmaydi.

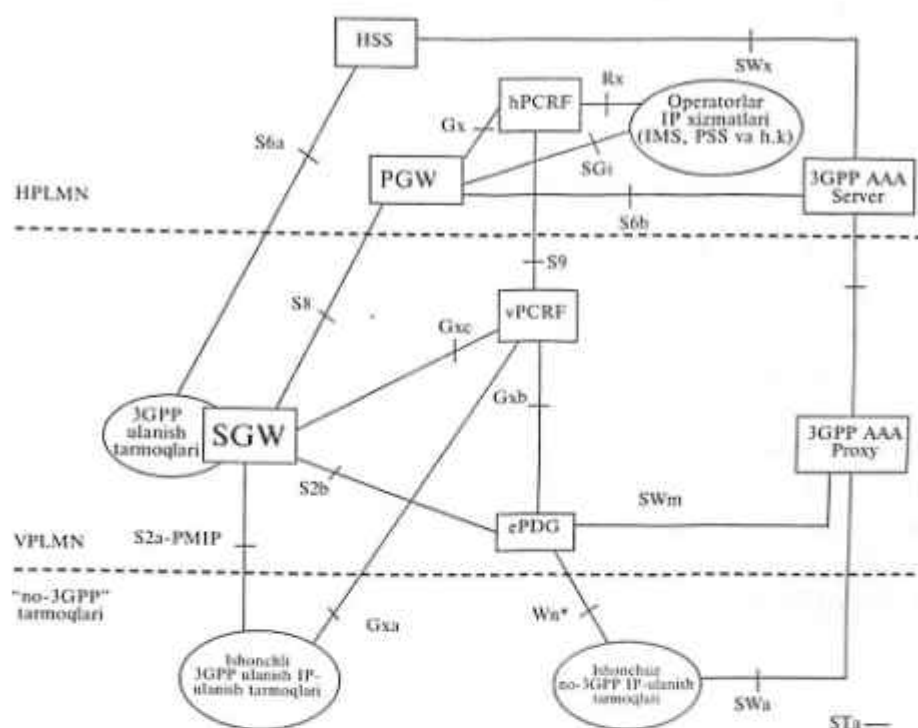
"Rouming"ni qo'llab-quvvatlovchi bir nechta tayanch interfeyslar mavjud. S1 interfeysi eNB — tayanch stansiyaning boshqaruv sathida MME (S1-MME) — mantiqiy tuguni bilan, abonent sathida esa, S-GW (S1-U) shlyuzi bilan o'zaro hamkorligini

ta'minlaydi. S8 interfeysi "mehmon" tarmog'idan "uy" tarmog'i yo'nalishida S-GW hamda P-GW shlyuzlarining o'zaro hamkorligini ta'minlaydi va "uy" tarmog'ining trafiginii marshrutizatsiyasini amalga oshiradi. S9 interfeysi QoSni boshqarish uchun "mehmon" tarmog'idan "uy" tarmog'i yo'nalishida ulanish siyosati va tarifikatsiyani boshqaruvchi PCRF — mantiqiy modullar orasida o'zaro aloqani ta'minlaydi (17.1-rasm).



17.1-rasm. "Rouming" jarayonida LTE tarmoqlarining 3GPP tarmoqlari bilan PMIPv6 protokoli asosida o'zaro hamkorligi.

"No-3GPP" tarmoqlar bilan "rouming"ni amalga oshirishning asoslari shundan iboratki, bunday tarmoqlar ishonchli (ya'ni xavfsizlikni ta'minlash choralari ko'rilgan) hamda ishonchsiz tarmoqlarga bo'linadi. Ishonchsiz tarmoqlarni ishonchli tarmoq toifasiga o'tkazish uchun maxsus xavfsizlik protokollaridan foydalaniladi va mos ravishda "mehmon" tarmog'idan "uy" tarmog'i yo'nalishida trafikni o'tkazish uchun tunnellar hosil qilinadi. AAA-serverlari orasida o'zaro aloqani tashkil qilishda Diameter protokolidan foydalaniladi. (17.2-rasm).



17.2-rasm. “Roaming” jarayonida LTE tarmoqlarining “no-3GPP” tarmoqlari bilan PMIPv6 protokoli asosida o‘zaro hamkorligi.

Bugungi kunda mavjud LTE tarmoqlarida “roaming” xizmatidan hali yetarlicha faol foydalanilmayapdi. Buning asosiy sabablari — turli mamlakatlarda turlicha chastota diapazonlaridan foydalanilayotganligi hamda ko‘p rejimli va ko‘p chastotali abonent qurilmalarining yetishmasligidir. Lekin, shunga qaramasdan, LTE tarmoqlari orasida “roaming”ni ta‘minlash bo‘yicha ko‘plab ishlar amalga oshirilmoqda. Misol uchun, Ericsson hamda Qualcomm kompaniyalari SRVCC (*ingl. Standardized Single Radio Voice Call Continuity*) xizmati yordamida abonentning LTE tarmog‘idan WCDMA yoki GSM

tarmoqlari xizmat hududiga o'tishda uzluksiz "rouming"ni amalga oshirish imkoniyatini namoyish etishdi. Ushbu texnologiya­ning afzalligi shundaki, u nafaqat ma'lumot uzatishni, balki, ovoz trafigini uzatishni, SMS hamda multimedia xizmatlarini ham ta'minlaydi.

LTE tarmoqlarida "rouming"ni joriy qilish bo'yicha ishlar O'zbekistonda ham jadal ravishda olib borildi. Masalan, 2010-yilda MTS kompaniyasi (Rossiya) "MTS O'zbekiston" hamda "VivaSell-MTS" (Armaniston) kompaniyalari orasida 2,6GGs diapazonida xalqaro "rouming"ni tashkil qildi. Sinov jarayonida Samsung GT B3710 hamda Huawei E398 rusumli modemlardan foydalanildi. "Rouming" xizmatlarini sinovdan o'tkazish muvaffaqiyatli amalga oshdi hamda o'zaro "LTE-rouming"ni qo'llab-quvvatlash uchun zaruriy jara­yonlarni tashkil etish maqsadida kompaniyalar o'zaro ham­korlikni boshlashdi.

Nazorat savollari:

1. LTE texnologiyasi haqida umumiy ma'lumotlarni keltir­ring. LTE tizimlari xarakteristikalariga asosiy talablar qanday bo'lgan?
2. LTE standartining asosiy texnik xarakteristikalarini keltiring.
3. LTE tizimida ma'lumot uzatish tayanch tarmog'ining yangi arxitekturasida qanday nom oldi? Uning asosiy vazifalari qanday?
4. LTE/SAE arxitekturasida qaysi bo'limlar asosiy hisoblanadi? LTE/SAE umumiy arxitekturasining soddalashtirilgan sxemasini chizing.
5. E-UTRAN tarmog'ining tuzilmasi va funksiyalarini bayon eting.
6. MME, S-GW va P-GW tarmoq tugunlarining funksiyalarini bayon eting.
7. GSM va WCDMA/HSPA tarmoqlari LTE/SAE tarmoqlari­ga qanday ulanadi?

8. EPS nimsizimining vazifasi qanaqa? S1-flex mexanizmi nimaga xizmat qiladi? Tarmoqni birgalikda ishlatish qanday amalga oshiriladi?

9. LTE/SAE arxitekturasida boshqaruv va abonent sathlarida protokol steklarini keltiring.

10. RLC darajasi ma'lumot uzatishning qanday ishonchlilik rejimlarini ta'minlaydi?

11. LTE tizimida ishonchlilikni ta'minlash uchun qanday paketlarni takroriy uzatish mexanizmlaridan foydalaniladi?

12. "Yuqoriga" va "pastga" yo'nalishlarda aloqa uchun 2-darajaning tuzilmasini keltiring.

13. LTE tizimidagi mantiqiy kanallarni va ularning vazifalarini sanab o'ting?

18-bob. LTE TARMOQLARIDA “BILLING” XIZMATINI TASHKIL ETISH

18.1. Hisob-kitob operatsiyalari

To'rtinchi avlod keng polosali mobil texnologiyalarning rivojlanib borishi operatorlar oldida mijozlarga sifatli xizmat ko'rsatish hamda tarmoqni samarali boshqarishni muhim asoslaridan bo'lmish “billing” xizmatini tashkil etishda qator murakkab vazifalarni qo'ymoqda.

Mobil aloqa tarmoqlarida “billing”ni tashkil etishni ifodalash uchun zamonaviy mobil aloqa tarmoqlarining umumiy boshqaruv tizimida ushbu xizmatning o'rni va vazifalari to'g'risida ayrim tushunchalarni berib o'tish lozim topildi.

“Billing” xizmatini ekspluatatsiyani qo'llab-quvvatlash tizimi (*ingl. Operations Support Systems, OSS*) hamda biznesni qo'llab-quvvatlash tizimi (*ingl. Business Support System, BSS*) tarkibida ko'rish odatga kirgan. Ushbu tizimlar aloqa operatorlari tarmoqlarida boshqaruv hamda biznes jarayonlarini avtomatlashtirish uchun ishlatiladi va ko'p hollarda birgalikda **OSS/BSS** deb nomlanadi (ba'zida, **BOSS, BSS/OSS, B/OSS**).

OSSning asosiy funksional imkoniyatlariga quyidagilar kiradi: hisob-kitob hamda telekommunikatsiya resurslarini rejalashtirish (misol uchun, raqam sig'imlarini, trafikni); xizmatlar ko'rsatishini boshqarish (*ingl. Service delivery software*); **QoS** — xizmat ko'rsatish sifati darajasini hamda uning ko'rsatkichlarini boshqarish kabilar kiradi. Shuningdek, **OSS** ning funksional vazifalariga quyidagilar ham kiritiladi: telekommunikatsion ma'lumotlar darajasida ehtimol qallobliklarni nazorat qilish (*ingl. Fraud control software*); xizmatlarga bo'lgan talabni ta'minlash hamda uni bashorat qilish (*ingl. Service provisioning software*); shuningdek, operatorning dasturiy infratuzilmasini telekommunikatsion muhit bilan o'zaro bog'lash — “mediatsiya tizimi” deb (*ingl. Mediation software*) ataladi.

BSSning vazifalariga mobil aloqa operatorining biznes-jarayonlarini qo'llab-quvvatlovchi vositalari, yuqorida ta'kidlab o'tilgandek — "billing" (abonentlar bilan o'zaro hisob-kitoblarni amalga oshirish, hisob varaqalarini yaratish, to'lovlarga ishlov berish, tarifikatsiya), CRM (abonentlar haqidagi ma'lumotlarni boshqarish, ular bilan o'zaro hamkorlikni qo'llab-quvvatlash, xizmatlarni sotish, marketing tahlillarini o'tkazish) hamda ERP-tizimlari (moliyaviy menejment jarayonlarini ta'minlash, buxgalteriya hisobi, personalni, loyihani va asosiy jamg'armalarni boshqarish) kiradi.

Shunday qilib, "billing" mobil aloqa tarmog'ining boshqaruv tizimida umumiy OSS/BSSlarining muhim tashkil etuvchisi hisoblanadi va telekommunikatsiya xizmatlaridan foydalanish to'g'risidagi axborotlarni to'plash, ularni tarifikatsiyalash, abonentlar hisoblarini yaratish, to'lovlarga ishlov berish va shu kabi qator vazifalarga mas'ul qarorlar qabul qiladi va kompleks jarayonlarni amalga oshiradi. Amalda "billing" jarayonlarini qo'llab-quvvatlash uchun "billing tizimi" deb nomlanuvchi maxsus amaliy dasturiy ta'minot qo'llaniladi. Ta'kidlash joizki, "billing tizimlarini" yaratish yuqori daromad keltiradigan biznes deb hisoblanadi.

Odatda "billing" xizmati uch asosiy bloklarga bo'linadi: hisob-kitob operatsiyalari, axborot xizmatlarini ko'rsatish va iqtisodiy xizmatlar ko'rsatish.

Kengroq miqyosda, "billing" xizmati daromadlarni boshqarish xizmati (*ingl. Billing and revenue management*) bilan birgalikda ko'rilganda qo'shimcha quyidagi vazifalargaham mas'ul: daromad olishni kafolatlash (*ingl. Revenue assurance*), abonent foydaliligini boshqarish (*ingl. Profitability management*) hamda tarmoqda qalloblikni nazorat qilish (*ingl. Fraud management*).

18.2. Hisob-kitob operatsiyalari

Hisob-kitob operatsiyalari blokida: iste'molni aniqlash (misol uchun, kommutatordan qo'ng'iroqlar haqidagi batafsil ma'lu-

motlarni olish, kommutatsion qurilmadan sarf qilingan trafik to'g'risida ma'lumotlarni olish va ularga ishlov berish, mediat-siya tizimidan ma'lumotlar olish); iste'molni baholash (iste'mol haqidagi ma'lumotlarning hisob-kitob ko'rsatkichlarini aniqlash); baholarni birlashtirish (agregatsiya) va abonentlarga ishlatilgan xizmatlari uchun hisob yozishni tashkil qilish, soliqlar, chegirmalar va qo'shimchalarni hisoblash, xatolarni to'g'irlash, to'lov uchun hisob varaqalar yaratish, to'lov hisob-kitoblarini abonentlarga yetkazish yoki ma'lum qilishni ta'minlash, abonentlarning shaxsiy hisob raqamlarini boshqarish va shu kabi boshqa qator funksiyalar amalga oshiriladi.

Hisob-kitob operatsiyalari bloki telekommunikatsiya xizmatlarining turiga hamda abonentlar bilan o'zaro munosabatlar modeliga qarab turlicha tashkil etilishi mumkin. Xususan, "oldindan to'lash" (*ingl. Prepaid*) yoki "fakt asosida to'lash" (*ingl. Postpaid*) modellari ajratiladi.

Oldindan to'lash (*Prepaid*) — abonentlar bilan hisob-kitobni amalga oshirish modeli bo'lib, aloqa xizmati operatori abonent hisob raqamiga oldindan to'lovni amalga oshirishni ko'zda tutadi. Bu kabi tizimlarda hisob-kitob real vaqt asosida amalga oshiriladi. Bunda abonentga operator tomonidan o'rnatilgan eng kam miqdor mavjud bo'lib, abonent hisobida qolgan pul ungacha kamaysa, xizmat ko'rsatish rejimi o'zgarishi (yoki to'liq to'xtatilishi) mumkin. Abonent hisobidagi mablag' miqdori, ijobiy balansning davomiyligi, tushayotgan to'lovlarning miqdori va doimiyligi — operator tomonidan ko'rsatiladigan xizmatlarning sifati, miqdori va hisobi uchun tarifkatsiya parametrlari bo'lib xizmat qiladi. Oldindan to'lash modeli "issig'idagi billing" deb ham ataladi.

Fakt asosida to'lash (*Postpaid*) — hisob-kitob modeli bo'lib, bunda operator abonent bilan tuzilgan shartnomaga muvofiq oldin xizmat ko'rsatadi, so'ng tarifkatsiya qiladi va to'lov uchun hisob chiqaradi. Tarifkatsiya hamda hisoblash jarayoni doimiy-rejali bo'lib, odatda shartnomada keltirilgan kalendar vaqt oralig'ida (ko'pincha oylik, kamdan-kam hollarda haftalik, choraklik, yillik)

amalga oshiriladi. Abonent hisob varaqada ko'rsatilgan mablag'ni shartnomada keltirilgan vaqt oraliq'ida to'lashi shart. To'lov o'z vaqtida amalga oshirilmasa, abonentga debitor qarzdorligi uchun shartnomada keltirilgan tartibda choralar ko'riladi.

Axborot xizmatlarini ko'rsatish

Axborot xizmati tariflar, cheklashlar, ehtimoliy kombinatsiyalar to'g'risidagi tezkor ma'lumotlarni hisobga olgan holda abonentlar, mahsulotlar va xizmatlarni qo'llab-quvvatlash funksiyalarini o'z ichiga oladi. Shuningdek, "billing" tizimining to'liq konfiguratsion ma'lumotlari, hisob-kitoblar jadvali, hisoblar chiqarish, abonentlarni xabardor qilish, auditni hamda ma'lumotlarning es-kirishini sozlash, abonentlarning belgilangan xarakteristikalarini boshqarish kabi funksiyalar ham kiradi.

Moliyaviy xizmat ko'rsatish

Moliyaviy xizmat ko'rsatish to'lovlarga ishlov berish, ularni hisoblangan miqdorini ko'rsatilgan xizmatlar miqdori bilan solishtirish ("kvitovka"), abonentlarning debitor qarzlarini nazorat qilish va undirish hamda soliq solish bo'yicha ma'lumotlarni boshqarish kabi funksiyalarni amalga oshiradi.

18.3. LTE tarmoqlarida "billing"ni tashkil etish asoslari

LTE tarmoqlarida ovozli aloqa va ma'lumotlar uzatishda tarifatsiya hamda abonentlarga xizmat ko'rsatish siyosatini boshqarish masalalari yuqori ahamiyat kasb etadi. Bu esa foydalanilayotgan mobil trafik hajmining keskin ortishi hamda turli xildagi keng polosali xizmatlarning konvergentsiyasi bilan bog'liq. Internetga va boshqa axborot resurslariga istalgan kanal yordamida yuqori tezlikda va sifatli ulanish imkoniyati abonentlarning asosiy talablari-dan biri bo'lib qolmoqda. Bugungi kunda iste'mol qilinayotgan

trafik darajasi operatorlar tomonidan tezlik hamda trafik hajmiga cheklovlar kiritish hisobiga boshqarib turilibdi, lekin bu kabi uslublardan uzoq vaqt foydalanib bo'lmaydi va bu mobil keng polosali xizmatlarning umumiy rivojlanishiga to'sqinlik qiladi.

Turli xil aloqa xizmatlarining konvergentsiyasi natijasida hozirgi kunda operatorlarga universal hisoblash tizimlari yanada dolzarb bo'ladi. Bunday hisoblash tizimlari almashilgan trafik asosida hisob-kitob qiluvchi an'anaviy ovoz va ma'lumot uzatish xizmatlarini qo'llab-quvvatlashi hamda yangi, asli ma'lumot uzatish tarmoqlarida asoslangan va ularning uzluksiz qismi bo'lgan xizmatlarni qo'llab-quvvatlashi lozim bo'ladi. Multiservis (ko'p sonli xizmatlar) sharoitida va turli xil hisoblash modellari asosida abonentlar so'zlashuvlarini hamda trafiklarini hisoblashga mo'ljallangan yagona "billing" xizmati "konvergent billing" nomini oldi. Oddiy misol – "Triple Play" xizmatlari, ya'ni foydalanuvchilarga "bir paketda" ham ma'lumot uzatish, ham telefoniya, ham televidenie xizmatlarini ko'rsish. Murakkabroq misollar – bu "bulutli xizmatlar" (IaaS, SaaS), o'zaro joylashuvi uzoqroq bo'lgan yirik korporativ mijozlar uchun VPN tarmoqlarini tashkil qilish va boshqalar.

Bu kabi masalalarni hal etishda yuqorida ta'kidlab o'tilganidek 3GPP loyihasida LTE/SAE arxitekturasiga xizmat ko'rsatish sifatini moslashuvchan boshqara oladigan hamda to'rtinchi avlod yangi xizmatlarini ko'rsata oladigan yangi funksional elementlar qo'shimcha ravishda kiritildi. Xususan, bu funksional elementlar LTE tarmog'ida quyidagi vazifalarni bajaradi:

- abonentlarning moliyaviy imkoniyati hamda ehtiyojlarini hisobga olgan holda qulay tariflarni qo'llash;
- foydalanilgan ilovalarga bog'liq holda tarifkatsiyani ta'minlash;
- faqatgina aloqa operatoriga ma'lum bo'lgan abonentlarning joylashgan manzili bilan bog'liq xizmatlar (masalan, sifatli kontekstli reklamalar uchun);

- operator tomonida trafik mazmunini filtrlash, shuningdek, foydalanilayotgan xizmatlarga vaqt bo'yicha hamda davomiylik bo'yicha cheklovlar o'rnatish (ushbu masalaning dolzarbligi shundaki, bugungi kunda Internet foydalanuvchilarining aksariyat qismini yosh bolalar tashkil etmoqda);

- aloqa xavfsizligiga tahdid qiluvchi, xalaqit beruvchi saytlar hamda dasturlardan himoyalaniishi.

O'z navbatida, LTE tarmoq arxitekturasi doirasida ushbu vazifalar ko'rsatilayotgan xizmatlarning tarifikatsiyasini hamda abonentlarga xizmat ko'rsatish siyosatini (qoidalarini) boshqarish funksiyasiga taalluqlidir (qisqacha "tarifikatsiya va siyosatni boshqarish" funksiyasi).

18.4. LTE tarmog'ida tarifikatsiya va siyosatni boshqarish

Tarifikatsiya va siyosatni boshqarish — *PCC (ingl. Policy and Charging Control)* funksiyasi LTE tarmog'ida (3GPP 8-relezi), 18.1-rasmda ko'rsatilganidek, ilova serverlari yordamida xizmatlar sifati — QoSni, tarifikatsiyani va siyosatni dinamik tarzda boshqaruvini ta'minlaydigan, amalda ishlatilgan platforma asosida quriladi.

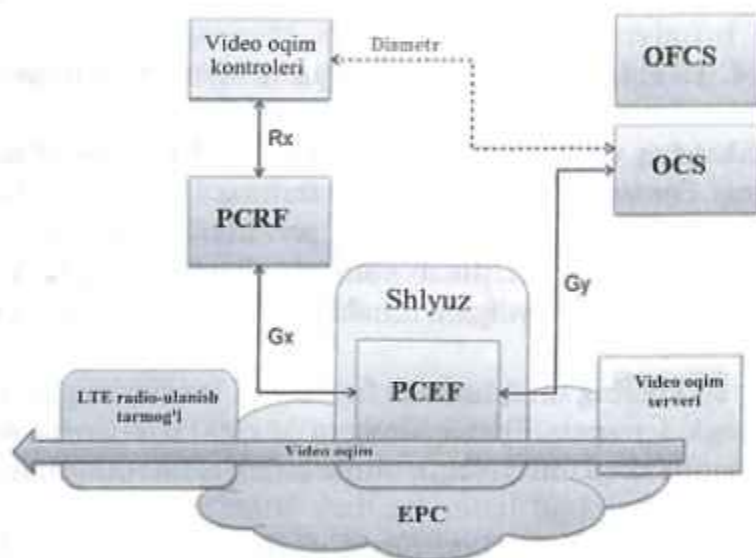
Rasmda ko'ringanidek, RSS funksiyasi taqsimlangan arxitekturaga ega va spetsifikatsiyalangan o'ziga xos vazifalarni bajaruvchi quyidagi bir nechta funksional elementlardan tashkil topgan:

- *PCRF (ingl. Policy and Charging Rules Function)* — siyosatni va tarifikatsiya qoidalarini boshqarish hamda ma'lumot oqimlari asosida qarorlar qabul qilish vazifasi;

- *PCEF (ingl. Policy and Charging Enforcement Function)* — SGW xizmat ko'rsatish shlyuzida tashkil etilgan tarifikatsiya hamda siyosatni qo'llash vazifasi va PCRF boshqaruvi ostida mustaqil IP oqimlar uchun shlyuzlash hamda QoS ni boshqarish funksiyalarini bajaradi. PCEF vazifasi, shuningdek, tarifikatsiya maqsadida trafikni baholashda ham qatnashadi;

- OCS (*ingl. Online Charging System*) – foydalanuvchilarga PCEF vositasida, ulanish vaqti, uzatilgan/qabul qilingan trafik hajmi yoki boshqa turdagi pullik xizmat ko‘rinishidagi xizmatlarni ko‘rsatishga mas’ul bo‘lgan “onlayn” (real vaqt asosida) tarifikatsiya vazifasi;

- OFCS (*ingl. Off-line Charging System*) – “off-layn” (noreal vaqt asosida) tarifikatsiya vazifasi, RCEF dan abonent xizmatdan foydalanganligi to‘g‘risida ma’lumot oladi va foydalanilgan xizmatlarning tarifikatsiyasi bo‘yicha keyinchalik “billing” tizimida foydalanish uchun CDR (*ingl. Charging Data Records*) yozuvlarini yaratadi.



18.1-rasm. *LTE tarmog‘ida RSS funksiyasini ishlash prinsipi (videokontent uzatish misolida).*

Bu yerda shuni ta’kidlash joizki, RSS funksiyasi tarifikatsiyani dinamik ravishda boshqaradi hamda har bir abonent uchun mustaqil ravishda yoki hatto alohida ma’lumotlar oqimi bo‘yicha ham alohida QoS darajalarini boshqaradi.

LTE tizimlarida "billing" xizmati tashkil etilishini ko'rib chiqishda LTE tarmoqlarini joriy etish bosqichma-bosqich (quyidagi fazalar asosida) amalga oshirilishi rejalashtirilganligiga alohida e'tibor qaratish lozim, xususan:

- 1-faza: faqat ma'lumotlar uzatish tashkil qilingan LTE tarmog'i;
- 2-faza: ma'lumotlar uzatishga qo'shimcha ravishda IP bo'yicha ovoz uzatish tashkil qilingan LTE tarmog'i (VoIP yoki VoLTE);
- 3-faza: to'liq IP-arxitektura asosida qurilgan va IMS muhitida ishlaydigan LTE tarmog'i.

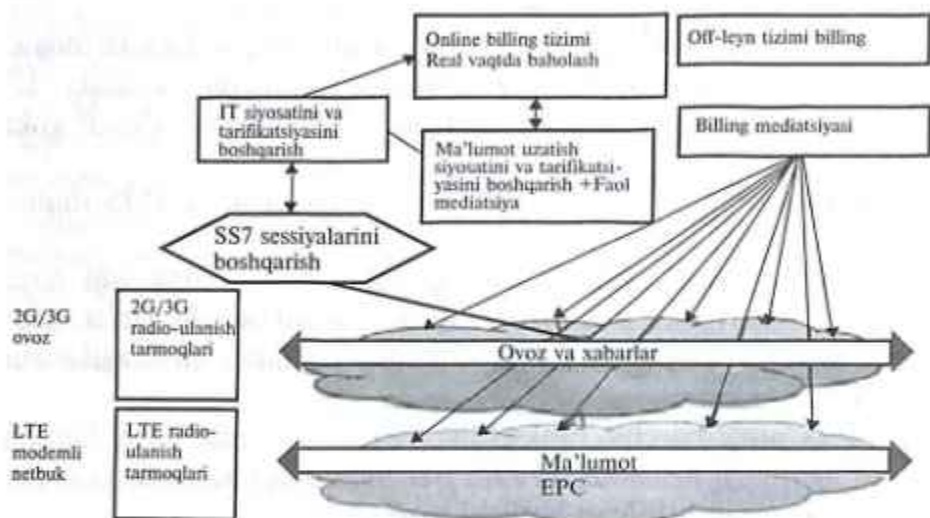
Tarifikatsiya va siyosatni boshqarish funksiyasining ishi ham shunga mos ravishda fazadan-fazaga rivojlanib borishi lozim. Masalan, RSS funksiyasining 1-faza uchun vazifalari quyidagilardan iborat:

- PCCning barcha funksiyalari trafikning mazmuni hamda hajmi ilgarigiga nisbatan sezilarli darajada o'sishini hisobga olgan holda takomillashtirilgan bo'lishi lozim;
- Mediatsiya tizimi hamda "onlayn" tarifikatsiya vazifalari (4G) paketli kommutatsiya tarmoqlari bilan (2G va 3G) kanalli kommutatsiya tarmoqlarining birgalikda ishlashini qo'llab-quvvatlashi lozim;
- Mavjud mediatsiya tizimi EPC-yangi tayanch tarmog'i elementlarini qo'llab-quvvatlashi uchun kengaytirilishi lozim;
- Foydalanayotgan xizmatlarga bog'liq holda abonentlar istalgan to'lov modellarini tanlay olish imkoniyatiga ega bo'lishlari lozim (prepaid, postpaid yoki aralash (gibrid) modellar).

Ushbu vazifalar LTE tarmog'ini boshlang'ich evolyutsion joriy qilishda hamda uni daromad keltirishi uchun juda muhim hisoblanadi (18.2-rasm).

2-faza bosqichida kanalli kommutatsiya tarmoqlari bilan o'zaro trafik almashuvi keskin qisqaradi, ammo paketli kommutatsiya hajmi ortadi va RSS funksiyasiga ham o'zgartirish kiritiladi. VoLTE xizmatlariga o'tish trafik turiga bog'liq holda QoSni dinamik boshqarishni to'liq kiritishni talab etadi.

3-faza bosqichida radioulanish sathidagi kabi kommutatsiya sathida ham to'liq IP-protokolga o'tish amalga oshiriladi (18.3-rasm).

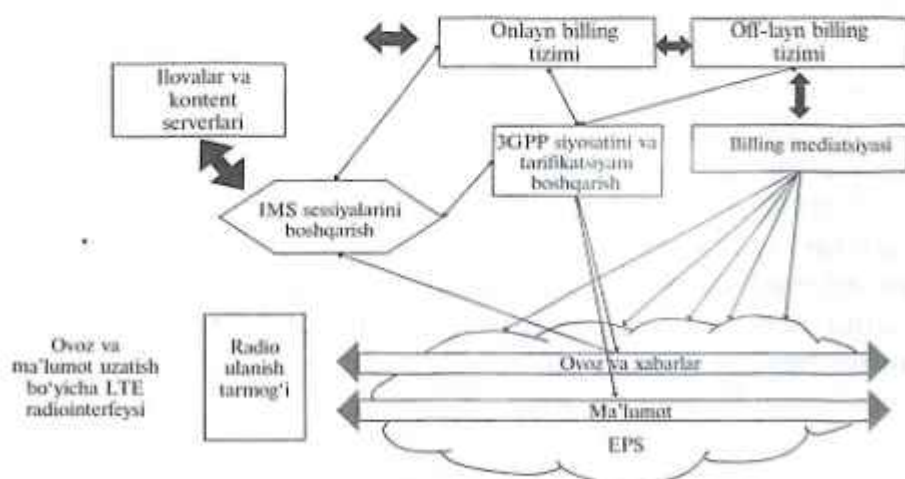


18.2-rasm. *LTE tarmog'ida RSS funksiyasining 1-faza bosqichi-dagi ishlash sxemasi.*

Ushbu bosqichda "billing" va QoSni boshqarish jarayonida ishtirok etuvchi kontent va ilovalar serverlari keng tatbiq etiladi, va bu, o'z navbatida, tarifkatsiya va siyosatni boshqarish funksiyasida yuklama yanada oshishiga olib keladi. Va bu masalalar operatorlar tomonidan o'zlarining LTE tarmoqlarini, xususan RSS funksiyasini, rejalashtirishda 1-fazadan boshlab alohida e'tiborda bo'lishi juda muhimdir.

Yagona IP-platformaga o'tish tarmoqning moslashuvchan ishlashi, kam xarajatliligi va xizmatlarning ommabopligi (universal-ligi) kabi qator afzalliklarni kiritish bilan bir vaqtda, tarifkatsiya va siyosatni boshqarish, aloqa xavfsizligini ta'minlash va yangi ilovalarni qo'llab-quvvatlashda qator qo'shimcha vazifalarni ham

yaratadi. O'zgarishlar boshqaruv signallar (signaling) sathida ham amalga oshadi, xususan: SIP-protokoliga qo'shimcha LTE tarmog'ida 2G, 3G va keng polosali simsiz tizimlarda foydalaniladigan SS7, RADIUS hamda CAMEL protokollarining o'rniga, boshqaruv signallarini ham tarmoq ichida, ham tarmoqlararo almashuvini ta'minlay oladigan yangi Diameter protokoli ishlatiladi. Keng ma'noda, tarifkatsiya va abonentlarga xizmat ko'rsatish siyosatini boshqarish funksiyasi autentifikatsiya, mobillikni boshqarish, QoS xizmatlar sifatini ta'minlash, "billing" hamda "rouming" kabi funksiyalarni o'z ichiga oladi. Demak, yagona IP-platforma Diameter protokolida signal muhitining boshqaruvi, xavfsizligi va konfiguratsiyasi qanday tashkil qilinganini aniqlab beradi. Diameter protokoli asosida yangi ulanish texnologiyalari yaratilganda autentifikatsiya, avtorizatsiya va turli servislarni hisobga olish (AAA) xizmatlarini taqdim etish uchun keyinchalik kengaytirish imkoniyatiga ega tayanch protokol yaratish konsepsiyasi yotadi. Xususan, Diameter protokoli quyidagi xarakteristikalariga ega:



18.3-rasm. *LTE tarmog'ida RSS funksiyasining 3-faza bosqichidagi ishlash sxemasi.*

- kafolatlangan yetkazishni ta'minlovchi transport protokollarini qo'llab-quvvatlash (UDP o'rniga TCP yoki SCTP);
- transport va tarmoq sathlarida ma'lumotlarni himoya qilish (IPSec yoki TLS);
- RADIUS protokolidan bosqichli o'tish (Diameter protokoli RADIUS protokoli bilan to'liq moslashmasligiga qaramasdan);
- "atribut-qiymat" juftligi (AVP) hamda identifikatorlar uchun (8 bit o'rniga 32 bit) manzil hajmining yetarliligi;
- "kliyent-server" modelini qo'llab-quvvatlash;
- tugunlarni (DNS-serverdan foydalangan holda) dinamik tarzda aniqlash;
- tarmoq tugunlarining funksional imkoniyatlarini moslashtirish;
- ilovalar sathida ishonchli yetkazish mexanizmini qo'llab-quvvatlash;
- yuqori sifatli mobillikni qo'llab-quvvatlash;
- takomillashgan masshtablanish;
- foydalanuvchi buyruqlari va atributlaridan foydalanish.

Shunday qilib, LTE tarmoqlarini joriy qilish operatorlar oldiga keng miqyosda, xususan, foydalaniladigan xizmatlar tarifikatsiyasini hamda abonentlarga xizmat ko'rsatish siyosatining boshqaruvini tashkil etish sohalarida ma'lum bir vazifalar qo'yadi. Bunda, bir tarafdin, yuqori tezlikli 4G xizmatlarini jadal ravishda joriy etish ehtiyoji va, ikkinchi tarafdin, uskunalarni, jumladan OSS/BSS tizimlarini almashtirish va yangilash uchun bo'ladigan sarf-xarajatlar o'rtasidagi balansni topa bilish o'ta muhim vazifaga aylanadi. Shu ma'noda mohirona tashkil etilgan tarifikatsiya tizimi hamda daromadlarni va foydalanuvchilarning sodiqligini oshirishga qaratilgan "billing" tizimining mavjudligi hal qiluvchi omillardan bo'lishi mumkin.

Nazorat savollari:

1. LTE texnologiyasi haqida umumiy ma'lumotlarni keltiring. LTE tizimlari xarakteristikalariga asosiy talablar qanday bo'lgan?

2. LTE standartining asosiy texnik xarakteristikalarini keltiring.
3. LTE tizimida ma'lumot uzatish tayanch tarmog'ining yangi arxitekturasida qanday nom oldi? Uning asosiy vazifalari qanday?
4. LTE/SAE arxitekturasida qaysi bo'limlar asosiy hisoblanadi? LTE/SAE umumiy arxitekturasining soddalashtirilgan sxemasini chizing.
5. E-UTRAN tarmog'ining tuzilmasi va funksiyalarini bayon eting.
6. MME, S-GW va P-GW tarmoq tugunlarining funksiyalarini bayon eting.
7. GSM va WCDMA/HSPA tarmoqlari LTE/SAE tarmoqlariga qanday ulanadi?
8. EPS nimitizimining vazifasi qanaqa? S1-flex mexanizmi nimaga xizmat qiladi? Tarmoqni birgalikda ishlatish qanday amalga oshiriladi?
9. LTE/SAE arxitekturasida boshqaruv va abonent sathlarida protokol steklarini keltiring.

19-bob. ADAPTIV VA KO'P ELEMENTLI ANTENNA TIZIMLARI

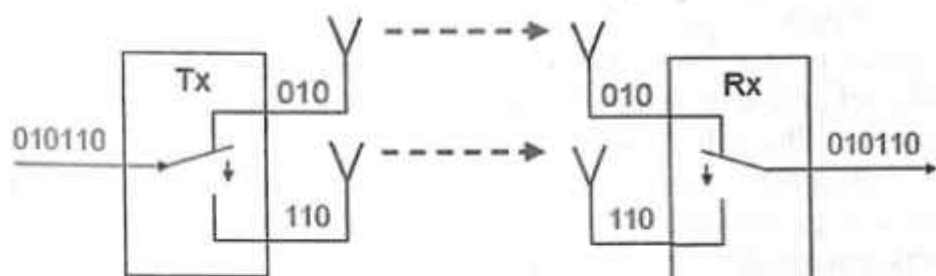
19.1. MIMO texnologiyasining tavsifi

Simsiz texnologiyalarni jadal ravishda rivojlanishi sababli tarmoqlarning yuqoriroq sig'imi va funkcionalligiga bo'lgan talablar yanada dolzarblashmoqda. Simsiz tarmoqlarning spektral samaradorligini oshirish muammosi yanada muhimlashmoqda. Hozirgi kunda aloqa industriyasi o'tkazish polosasini kengaytirish, modulyatsiya mexanizmlarini takomillashtirish va kodli multiplekslash hisobiga spektral samaradorlikni oshiruvchi ma'lum usullar imkoniyatlarini deyarli to'liq ishlatib bo'ldi. Bunday sharoitda MIMO va yo'naltirish diagrammalarni adaptiv shakllantirish kabi antenna texnologiyalari simsiz tizimlarni yanada takomillashtirishda yangi omillar deb hisoblanmoqda.

19.2. MIMO texnologiyasining tavsifi

MIMO (*ingl. Multiple Input Multiple Output – ko'p sonli qabul qilish – ko'p sonli uzatish*) – yangi ma'lumot uzatish texnologiyasi bo'lib, unga ko'ra dastlabki ma'lumotlar oqimi demultipleksorda alohida uzatish traktlari bo'yicha ishlov berish va uzatish uchun N sonli oqimlarga ajratiladi. Qabul qilish tomonida esa M sonli qabul traktlari bo'lib, ularda ma'lumotlar multipleksordan o'tadi va qabul qilishdagi xatoliklarning sonini kamaytiruvchi maxsus algoritmlar bo'yicha yana qaytib bir oqimga yig'iladi. Bu xatoliklar uzatish kanalidagi buzilishlar va signallarning fazoviy korrelyatsiyasi natijasida vujudga kelishi mumkin (19.1-rasmga qarang).

Shunday qilib, MIMO texnologiyasi bitta radiokanalda bir nechta uzatuvchi va qabul qiluvchi traktlarni ishlatadi. Amalda MIMO ni ishlash tartibida ikki xil rejim ajratiladi: Fazoviy ajratish (FA) va Fazoviy multiplekslash (FM) rejimlari.



19.1-rasm. *MIMOning soddalashtirilgan ko‘rinishi.*

FA rejimida signal nusxalarini bir necha uzatuvchi va mos ravishda bir necha qabul qiluvchi antennalarga ajratish amalga oshiriladi (ya’ni, bir xil axborot bir necha qabul qilish/uzatish traktlari bo’yicha yuborib qabul qilinadi).

FM rejimida ketma-ket ma’lumotlar oqimi bir necha parallel oqimlarga bo’linadi va bir necha qabul qilish/uzatish traktlari bo’yicha uzatiladi va qabul qilinadi (ya’ni ma’lumotlar oqimini uzatish tezligi bir necha martagacha oshadi). Shunday qilib, FM rejimi kanalning yuqori sig’imini (o’tkazuvchanlik qobiliyatini) ta’minlashi mumkin, lekin signal sifatini yaxshilamaydi, aksincha uni xatto yomonlashtirishi ham mumkin. Buning aksiga, FA rejimi signal sifatini sezilarli tarzda yaxshilaydi va qabul qilgich tomonida yuqori “signal-shovqin” nisbatini ta’minlaydi, lekin kanalning o’tkazuvchanlik qobiliyatini deyarli o’zgartirmaydi. Xususan, keng qamrovli sotalarda FM o’z imkoniyatlari chegarasida ishlaydi, chunki aloqa masofasi qancha uzoq bo’lsa, shunchalik signal kuchli bo’lishi kerak. Amaliyotda MIMOning ikkala rejimining kombinatsiyasini ham qo’llash mumkin (masalan, 4*4 sxemali MIMO-da fazoviy ajratilgan ikki juft multiplekslovchi antennalarni qo’llash mumkin).

MIMO texnologiyasining afzalliklariga quyidagilar kiradi:

- “Pastga” yoʻnalishdagi kanallarning ishini yaxshilash, bu radiotoʻlqinlar kuchli tarqalishi sharoitida signalning turgʻun va ishonchliroq uzatilishida namoyon boʻladi. “Yuqoriga” yoʻnalishdagi kanallar uchun yaxshilanishlar sezilarli emas;

- Bir necha mustaqil oqimlar bir vaqtda uzatilganda yuqoriroq darajadagi modulyatsiya sxemalarini ishlatish hisobiga kanalning oʻtkazuvchanlik qobiliyatini oshirish;

- Tizimning, ayniqsa abonentlarni yuqori mobillik holatlarida, ish xarakteristikalarini stabiligini oshirish.

MIMO ning kamchiliklariga qayta akslanish boʻlmagan hollarda, masalan, inshootlar nozich joylashgan tumanlarda, avtomagistral yoqalarida, daryo boʻylab va shunga oʻxshash hollarda sifat xarakteristikalari pasayishini kiritish mumkin.

19.3. MIMO texnologiyasining asoslari

MIMO texnologiyasi qoʻllanilmagan anʼanaviy HRT tizimlarida aloqani koʻplab kanallar boʻyicha amalga oshirish uchun bir necha chastotalar ishlatilishi kerak edi. MIMO qoʻllaniladigan tizimlarda esa koʻplab kanallar bir chastotaning oʻzi bilan amalga oshiriladi. Bu texnologiyaning maʼnosi bir oqimning bir necha oqimlarga boʻlinishi va barcha aloqa kanallarining tenglashtirilishi (ekvalayzing)dan iborat. Qabul qilishda signalning samarali ajratib olinishini taʼminlash uchun signallar oqimlarini fazoviy-vaqtli kodlash (*ingl. Space — Time Coding, STC*) deyiladigan usul qoʻllaniladi. Usulning gʻoyasi signalning fazo va vaqt boʻyicha shunday ajratishdan iboratki bunda signalni xatolarsiz qabul qilish ehtimoli (qabul qilgichda munosib ravishda qayta ishlashdan keyin) sezilarli ortadi.

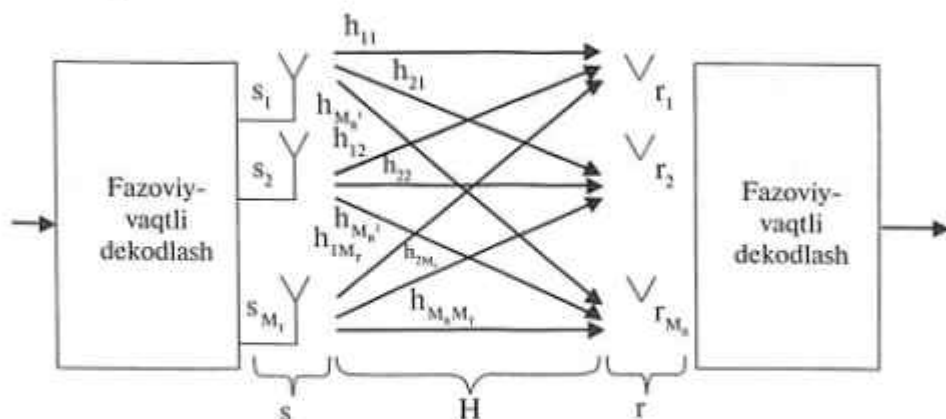
Matematik ifodalashda usul quyidagi tarzda taqdim etilishi mumkin. Kanal modeli kanalning bevosita va bilvosita komponentlarini ichiga olgan N matritsa koʻrinishida taqdim etiladi. Bevosita h_{11} komponentlar kanal xarakteristikalarining tekisligi-

ni ifodalaydi, bilvosita h_{21} komponentlar esa kanallar ajratilishini ko'rsatadi. Uzatiladigan signal S orqali, qabul qilinadigan signal esa r orqali belgilanadi. Bunda qisqa polosali kanal vaqt bo'yicha o'zgarmas deb qaraladi. U holda qabul qilinadigan kanalni quyi-dagi ko'rinishda keltirish mumkin:

$$r = HS + n,$$

bu yerda, n — uzatish kanalida signalga qo'shiladigan shovqin.

19.2-rasmda MIMO fizik kanalining soddalashtirilgan chizmasi keltirilgan.



19.2-rasm. MIMO fizik kanali.

Qabul qilgich tomonida signalni dekodlash uchun N matritsasining qiymatlarini bilish zarur va ular qabul qilgichga ma'lum bo'lgan o'rgatuvchi ketma-ketlik yordamida aniqlanadi. Yana bir muhim tadbir shundaki qabul qilgich uzatkichga kanal xarakteristikalarining aproksimatsiyalangan qiymatlarini yuboradi va ular uzatkich tomonidan dastlabki kodlash uchun ishlatiladi. Dastlabki kodlash MIMO xarakteristikalarini yanada yaxshilaydi.

Ma'lumki, an'anaviy yakka uzatkich/yakka qabul qilgichli (*ingl. SISO*) tizimlarda kanalning o'tkazish qobiliyati — S Klod Shenon formulasi bo'yicha hisoblanadi:

$$C_{\text{SISO}} = f_g \log_2(1+S/N). \quad (19.1)$$

(19.1) formulasi kanalning f_g kengligini va "signal-shovqin" nisbati (S/N)ni hisobga oladi. Kanalning o'tkazish qobiliyatini oshirishga qaratilgan ko'plab takomillashtirishlar o'tkazish polosasini kengaytirish yoki har xil turdagi modulyatsiyalardan foydalanishga asoslangan. Lekin ular hozirgi kunga kelib tizim spektral samaradorligini yetarlicha oshira olmayaptilar. Ular-dan farqli ravishda MIMO texnologiyasi ko'plab antennalar vositasida signallar oqimlari sonini oshirish hisobiga qo'shim-cha yutuq bermoqda. Agar M ko'rsatkichi orqali uzatgich — M_t yoki qabul qilgich — M_r lar antennalarining eng kam qiy-matiga teng fazoviy oqimlar soni belgilansa (masalan, 2×3 yoki 2×4 MIMO konfiguratsiyali tizimlarda faqat ikki ishonchli va to'laqonli fazoviy oqim qo'llab-quvvatlanishi mumkin), u hol-da Shannon formulasini MIMO tizimi uchun quyidagi ko'ri-nishda yozish mumkin:

$$C_{\text{MIMO}} = M f_g \log_2(1+S/N). \quad (19.2)$$

Bundan ko'rinadiki MIMO tizimlarida kanalning o'tkazish qo-biliyati antennalar sonining o'sishi bilan chiziqli bog'liqlikda oshadi.

Ko'p sonli antennalarning nosimmetrik tarzda shakllanganligi-ni ham hisobga olish mumkin. Bunday to'plamlarda (masalan 1×2 yoki 2×1) kanalning o'tkazish qobiliyati — $C_{\text{Tx/Rx}}$ ning o'sishini qayd etish uchun logarifmik bog'liqlikli formuladan foydalaniladi (faqat bu holda M ko'rsatkichi M_t yoki M_r ning maksimumiga teng olinadi):

$$C_{\text{Tx/Rx}} = f_g \log_2(1+M(S/N)). \quad (19.3)$$

Quyida MIMOning turli ish rejimlarini ko'rib chiqamiz.

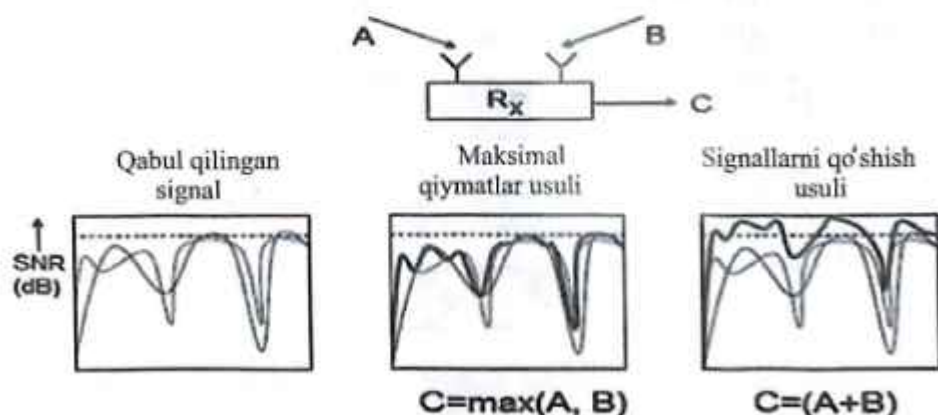
19.4. Fazoviy ajratish rejimi

Umuman olganda, ajratish prinsipi signalning zaxiralarini (nuxsalarini) taqsimlangan holda uzatishga asoslangan. Bunday zaxiralash istalgan vaqt oraliq'ida yoki istalgan antenna orqali, yo istalgan kanalda, yo istalgan qutblanish asosida (bunisi hozircha MIMO texnologiyalarida qo'llanilmaydi) uzatilishi mumkin.

Fazoviy ajratishning ikki turi mavjud:

- T_x ajratish (ya'ni uzatish bo'yicha ajratish)da signalning nuxsasi bir necha antennalar bo'yicha uzatiladi (masalan, 2×1 sxemasi);
- R_x ajratish (ya'ni qabul qilish bo'yicha ajratish)da signalning nuxsasi bir necha antennalar tomonidan qabul qilinadi (masalan, 1×2 sxemasi).

Birinchi turdagi ajratishni mono va stereo tovushlar bilan taqqoslash mumkin. Ma'lumki, inson stereo rejimidagi tovush tonini farqliroq qabul qila oladi. Ikkinchi turdagi ajratishni esa bir quloqqa qaraganda ikki quloq bilan yaxshiroq eshitish holatiga o'xshatish mumkin.

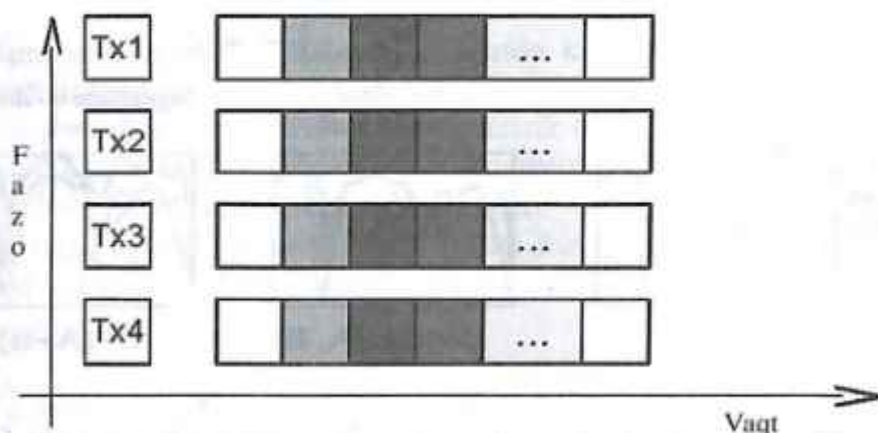


19.3-rasm. Fazoviy R_x -ajratish uchun qabul qilish algoritmlari (bu yerda A va V signallar bir xil).

T_x ajratishning qo'llanilishi uchun STC kodlash usulidan foydalaniladi (ko'proq Alamouti kodlari ishlatiladi). Bunda to'la fazoviy ajratishga erishiladi, tizim esa bitta qabul qiluvchi antenna bilan ham ishlashi mumkin. R_x ajratishdan foydalanish uchun ko'p sonli qabul qilish antennalari (uzatish antennalaridan ko'proq) va mos demultiplekslash algoritmlari ishlatiladi. Bunday algoritmlar misoli sifatida kanal matritsasi — N ma'lum bo'lgan hollarda ajratish turidan qat'i nazar ishlay oladigan "maksimal qiymatlar" va "signallar-ni qo'shish" usullarini keltirish mumkin (19.3-rasm).

19.4.1. Fazoviy multiplekslash rejimi

Bitta antennadan ortiq antennalar bo'yicha bir necha ma'lumotlar oqimini uzatish fazoviy multiplekslash deyiladi. Fazoviy multiplekslash ikki turga bo'linadi. Ularning birinchi turi deb AQSH ning Bell korporatsiyasi laboratoriyasi ishlab chiqqan, V-BLAST (ingl. *Vertical Bell Laboratories Layered Space-Time*) nomiga ega, vertikal fazoviy-vaqtli ajratish hisoblanadi. V-BLAST multiplekslash ishlatilganda kodlanmagan fazoviy ma'lumotlar oqimi qabul qilgichdagi signalni muvozanatlashtirish (ekvalayzing qilish) zaruratini hech qanday hisobga olmagan holda uzatiladi (19.4-rasm).



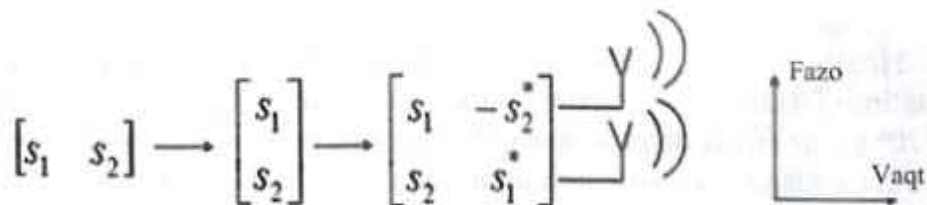
19.4-rasm. V-BLAST asosidagi fazoviy multiplekslash.

Ikkinchi tur multiplekslashda fazoviy-vaqtli kodlash — STC dan foydalaniladi. V-BLAST turidan farqli ravishda STCli multiplekslashda ma'lumotlarning ortogonal (ya'ni o'zaro xalaqitlarsiz) oqimlari uzatiladi.

Ma'lumki, V-BLAST usuli bilan uzatishda oqimlarni bir-biridan ajratishda oqimlararo interferensiya (*ingl. Multi-Stream Interferences, MSI*) vujudga kelishini oldini olib bo'lmaydi. Bu, o'z navbatida, uzatishni nobarqaror qiladi va hatto xatoliklarni to'g'ri-dan to'g'ri tuzatish usuli ishlatilsa ham bu muammo har doim ham yechilavermaydi. Signalni STC bilan dekodlash usuli esa, oddiy chiziqli bog'liqli o'zgartirishga asoslangan bo'lib, yaxshi natijalarni beradi. Shunday qilib, fazoviy multiplekslashning afzalligi bu kanal sig'imining foydalanilgan antennalar soni bilan chiziqli bog'liqligi tufayli aloqa kanali sig'imini oshirish imkoniyatidadir.

19.4.2. Fazoviy-vaqtli kodlash

Fazoviy-vaqtli kodlash tizimning funksionalligini oshirish va MIMOni fazoviy ajratish va fazoviy multiplekslash rejimlarini ishlatish imkoniyatlarini beradi. Bunda signalning nusxalari nafaqat ko'p sonli antennalar bo'yicha, balki turli vaqtlarda ham uzatiladi. Kechiktirishli bunday uzatishni vaqt bo'yicha ajratish deyiladi. STC-kodlari 19.5-rasmda ko'rsatilganidek, o'z ichiga signalning fazoviy va vaqtli nusxalarini oladi.



19.5-rasm. Ikki uzatuvchi antennalar uchun Alamouti fazoviy-vaqtli blokli kodlari.

Bu yerda ketma-ket signallar (S_1 va S_2) ikki ma'lumotlar oqimiga bo'lingan (multiplekslangan), so'ng ularga Alamouti fazoviy-vaqtli blokli kodlarini ishlab chiqish uchun signal nusxalari ($-S_2^*$ va S_1^*) qo'shilgan.

STC-kodlarini ikki turi mavjud:

- fazoviy-vaqtli blokli kod (*ingl. Space-Time Block Code — STBC*) (ikkita uzatuvchi antenنالik va Alamouti kodli misol 19.5-rasmda keltirilgan);

- fazoviy-vaqtli panjarali kod (*ingl. Space-Time Trellis Code — STTC*).

Birinchi tur keng tarqalgan va uning yordamida fazoviy ajratish oson kechadi. Ikkinchi uslub murakkabroq va hozirgi kunda qimmatligi hisobiga kamroq ishlatiladi.

Shunday qilib, tizimning optimal funksionalligini va ishonchli radioqamrovini ta'minlash uchun har ikkala rejimni kombinatsiyasini, ya'ni yaqin joylashgan hududlarda — fazoviy multiplekslashni va olisdagi hududlarda — fazoviy ajratishni qo'llash maqsadga muvofiqdir.

MIMO texnologiyasi IEEE 802.11n, IEEE 802.16d va IEEE802.16e standartlarida, shuningdek, 3GPP loyihasining 7, 8 va 10 relizlarida qo'llaniladi. Ushbu texnologiyani, shuningdek, IEEE 802.20 va IEEE 802.22 standartlarida ham ishlatilishi ko'zda tutilgan.

19.5. Adaptiv antenna tizimlari

Hozirgi vaqtda antenna texnologiyalari radiotarmoqlarning sig'imini oshiruvchi "oltin kalitga" aylandi. Bu jarayon 60° va 120° yo'naltirish diagrammasi (YD)ga ega bo'lgan va bir sota sifatida ishlagan sektorli antennalardan boshlangan edi. Masalan, GSM tarmoqlarining sig'imi uchta 120 gradusli sektorli antennalar ishlatilishi tufayli uch martaga oshishi mumkin.

Yangi panjarali adaptiv antenna tizimlari tor YD — "nur"lardan foydalanib fazoviy multiplekslash imkoniyatini kengaytiradi.

Panjarali adaptiv antennalar tizimlariga signalning kelish yoʻnalishi — DoA (*ingl. Direction of Arrival*)ni aniqlash va mos ravishda oʻz YDni sozlash imkoniyati bilan farqlanadigan “aqlli” (intellektual) antennalar ham kiradi. Yoʻnaltirilgan antennalar, shuningdek, umumiy nurlantiriladigan quvvatni ham sezilarli kamaytirishga imkon berib, kanallararo interferensiyani kamaytiradi. Abonent uskunolari bilan teskari aloqa bor-yoʻqligidan qatʼi nazar “aqlli” antennalar mustaqil ravishda AUga yoʻnaltirilgan nurlarni shakllantirishi mumkin. Ammo, qoʻshimcha, AU bilan teskari aloqa boʻlsa, murakkab antenna panjaralarini sodalashtirish imkoni paydo boʻladi. Aksincha, MIMO tizimlari, odatda, AU bilan teskari aloqa mavjudligini talab qiladi.

“Nurlarni shakllantirish” — bu antenna panjarasining nursimon YD ni yaratish uchun foydalaniladigan usuldir. U barcha antenna panjaralari tizimlarida qoʻllanilishi mumkin. Buni hisobga olganda “aqlli” antenna tizimlari ikki guruhga boʻlinishi mumkin (19.6-rasm):

- Oldindan aniqlangan turgʻun (*rus. фиксированный*) YDlarning cheklangan soniga ega fazalashtirilgan antenna panjaralari tizimlari (yoki nurlarni turgʻun tarzda shakllantirish);



19.6-rasm. Nurlarni turgʻun va adaptiv tarzda shakllantirilishi.

- Real vaqt rejimida radiomuhitning real sharoitlariga moslashtirilgan YDlarning cheksiz soniga ega adaptiv antenna tizimlari (*ingl. Adaptive Antenna System, AAS*) (yoki nurlarni adaptiv (moslashuvchan) tarzda shakllantirish.

Nurlar turg'un tarzda shakllantirilganda DoA yo'nalishi hisoblanadi va qo'zg'almas signal nuri o'rnatiladi. Agar AU bunday turg'un nurlar orasida harakatlansa u holda signal djitteri (fazaviy yoki chastotaviy tasodifiy og'ishlar) aloqaning uzilishiga olib kelishi mumkin. Boshqacha qilib aytganda AU faqat nurning markazida joylashganida signalning maksimal kuchiga ega bo'ladi. Nurlarni adaptiv shakllantirishda esa bunday muammo vujudga kelmaydi, chunki bunda nurni antenna AUning real vaqtdagi harakatlanishiga sozlaydi. Ko'rinib turibdiki, bu rejim nurlarni turg'un tarzda shakllantirishga qaraganda murakkabroq va qimmatroq bo'ladi.

Radiointerfeys funksionaliga talablar.

LTE radioulanish texnologiyasi (E-UTRA)ga qo'yilgan talablar asosan yuqori ma'lumot tezligiga va qisqa javob kechikish vaqtiga ega paketli kommutatsiya asosida ishlaydigan optimallashtirilgan radioulanish tizimini yaratishdan iborat. Belgilangan xizmatlarga, masalan, yuqori aniqlikdagi televidenie (HDTV), "talab asosidagi kino" (*ingl. Movie on Demand*) va IP tarmoqlari bo'yicha nutq (VoIP) misol bo'lishi mumkin.

E-UTRA radiointerfeysi funksionalligiga asosiy talablar yuqorida 19.1-jadvalda keltirilgan LTE tizimlar funksionaligiga qo'yilgan umumiy talablardan kelib chiqadi, shuning uchun bu yerda E-UTRAning ayrim xarakteristikalarini (HSPA texnologiyasi bilan taqqosda) keltirish bilan cheklanamiz (19.1-jadval).

19.1-jadval

E-UTRA texnologiyasi funksionalligiga ayrim talablar

Talablar	3GPP 6 relizi (HSPA)	3GPP 8 relizi (LTE)
Ma'lumot uzatishning eng yuqori tezligi	14 Mbit/sek – "pastga"; 5,76 Mbit/sek – "yuqoriga"	100 Mbit/sek – "pastga"; 50 Mbit/sek – "yuqoriga"

Spektral samaradorlik (bit/sek/Gs/sector)	0,6–0,8 – “pastga”; 0,35 – “yuqoriga”	3–4 marta ko‘p – “pastga”; 2–3 marta ko‘p – “yuqoriga”
Paket uchun o‘rtacha o‘tkazish qobiliyati	64 kbit/sek – “pastga”; 5 kbit/sek – “yuqoriga”	3–4 marta ko‘p – “pastga”; 2–3 marta ko‘p – “yuqoriga”
Abonent uchun o‘rtacha o‘tkazish qobiliyati	900 kbit/sek – “pastga”; 150 kbit/sek – “yuqo- riga”	3–4 marta ko‘p – “pastga”; 2–3 marta ko‘p – “yuqoriga”
Javob kechikishi vaqti	50 ms	5 ms
Aloqani o‘rnatish vaqti	2 sek	50 ms
Keng qamrovli uzatish rejimida ma‘lumot uza- tish tezligi	384 kbit/sek	6–8 marta yuqori
Abonent mobilligi	250 km/soat gacha	350 km/soat gacha
Ko‘p antennali tizimlar- ni qo‘llab-quvvatlash	Yo‘q	Bor
Kanal kengligi	5MGs	20MGs gacha kengayadi

19.6. LTE tizimining radiointerfeysining tashkil etilishi

LTE tizimlari funktsionalligiga qo‘yilgan talablarni hamda abonentlar xarajatlarini kamaytirish va ularga mo‘ljallangan xizmatlar tarkibini va sifatini yaxshilash, shuningdek operatorlarning ekspluatatsion sarflarini kamaytirish bo‘yicha talablarni hisobga olgan holda LTE tizimi radiointerfeysini tashkil etishni asosiy prinsiplari quyidagilardan iborat:

- 1 bit axborotni uzatishga taqsimlangan tarmoq ekspluatatsiyasi qiymatini tushirish;
- abonentlar talab qilgan xizmatlar sonini ko‘paytirish;
- mavjud va yangi chastota diapazonlaridan foydalanishni moslashuvchanligini oshirish;

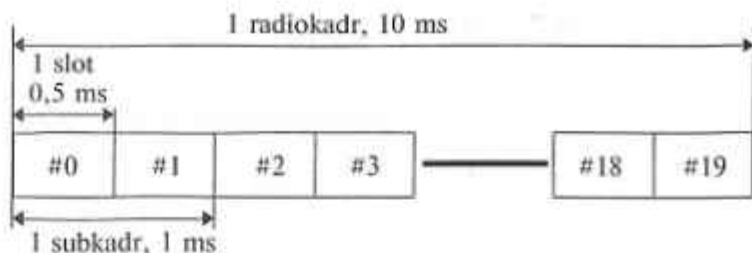
- tarmoq arxitekturasini soddalashtirish, tarmoq interfeyslarini unifikatsiyalash va ortiqcha funksiyalarni qisqartirish;
- abonent uskunalari tomondan batareya quvvatini tejamlirorq ishlatish.

Bu prinsiplarni ishlatish uchun LTE tizim interfeysida qator istiqbolli yechimlar, aynan OFDM va MIMO texnologiyalarining ishlatilishi, shuningdek, FDD va TDD duplekslash rejimlaridan foydalanish qo'llanilgan.

Yuqoriorq operatsion moslashuvchanlikni ta'minlash uchun, E-UTRA fizik darajasining spetsifikatsiyalari o'tkazish polosalariga mustahkam biriktirilmagan va 20MGs li maksimal polosada ishlashga mo'ljallangan.

LTE tizimi radiointerfeysining tashkil etilishini batafsilroq ko'rib chiqamiz.

eNB — tayanch stansiya (TS) va abonent uskunasi (AU) orasida almashuv jarayoni davriy ravishda takrorlanadigan kadrlar (LTE terminologiyasida "radiokadrlar") asosida amalga oshadi [31]. Radiokadrlarning uzunligi 10ms ni tashkil etadi. O'z navbatida, radiokadrlar 0,5ms uzunlikdagi vaqt kesimchalari — slot (*ingl. time slot — vaqt orlig'i, qisqartirilganda — slot*)lardan tashkil topgan. LTE spetsifikatsiyasidagi barcha vaqt parametrlari $T_s = 1/(2048 \cdot \Delta f) = 0,32552\text{mks}$ minimal vaqt birligiga bog'langan bo'lib, u Fur'e tezkor o'zgartirish usuli uchun maksimal mumkin bo'lgan nimeltuvchilar soniga (20MGs li polosada 2048 ta bo'ladi) va LTE standartida 15kGs qilib o'rnatilgan nimeltuvchi chastotalar kengligi (Δf)ga bog'liq bo'ladi. Radiokadrning uzunligi $307200T_s$ ni tashkil etishini hisoblash qiyin emas. T_s — vaqt birligi esa, o'z navbatida, 3G tizimlaridagi (W-CDMA tizimlarining 5MGs li kanallarida) standart 3,84MGs takt chastotasiga karrali bo'lgan 30,72MGs takt chastotasiga mos keladi ($8 \cdot 3,84\text{MGs} = 30,72\text{MGs}$). Aynan shu takt chastotalarining karraliligi LTE tarmoqlarining UMTS va GSM tarmoqlari bilan o'zaro "yumshoq" ishlash imkonini beradi.



19.7-rasm. *LTE radiokadrining FDD rejimi uchun tuzilishi.*

LTE standartida chastotaviy (FDD) va vaqtli (TDD) duplekslash uchun radiokadrlarning har xil turlari ko'zda tutilgan.

FDD uchun radiokadr ham to'liq dupleks, ham yarim dupleks rejimlari uchun ishlatilishi mumkin. Bunday kadr 0 dan 19 gacha raqamlangan 20 ta slotdan iborat. Ikkita yonma-yon turgan slotlar subkadrni tashkil etadi (19.7-rasm).

To'liq dupleksli rejimda radiokadrlar "pastga" va "yuqoriga" kanallarda parallel ravishda, lekin standartda ko'rsatilgan vaqt surilishi bilan uzatiladi. Bu rejim trafik katta bo'lgan hollarda qulayroq va samaraliroqdir, ammo AUda yuqori sifatli (ya'ni, qimmat) dupleks filtrlari bo'lishini talab qiladi. Amaliyotda AU har doim ham katta trafik bilan ishlamaydi va shuning uchun LTE standartida yarim dupleksli rejim ishlatilishi ham ko'zda tutilgan. Bunday rejimda AU bir vaqtning o'zida yo'natadi, yoki qabul qiladi. Shu bilan AUning qurilmasi soddalashadi (ya'ni, arzonlashadi) va tarmoqning kanal resurslari samaraliroq ishlatiladi.

TDD rejimi uchun radiokadr 5ms li ikkita yarimkadrardan iborat bo'lib, ulardan har biri 1ms li 5 ta subkadrni o'z ichiga oladi. LTE standarti vaqtli duplekslashning 5 va 10ms li ikki siklidan foydalanishni ko'zda tutadi.

Birinchi holda 1- va 6- subkadrlar bir xil bo'lib, "pastga" va "yuqoriga" yo'nalishlarda kanallarning xizmat maydonlari (mos ravishda DwPTS va UpPTS) dan hamda "pastga" yo'nalishdan "yuqoriga" yo'nalishga o'tishda kanallararo interferensiyani oldi-

ni olish uchun ishlatiladigan himoya intervali — GP (*ingl. Guard Period*)dan iborat. Qolgan subkadrar trafikni uzatish uchun ishlatiladi.

Nazorat savollari:

1. Mobillik nuqtayi nazaridan abonent uskunasi qanday holatlarda bo'lishi mumkin?
2. Aktiv va noaktiv rejimlarda AUning mobilligi qanday ta'minlanadi?
3. LTE tizimlarida qanday ma'lumot yo'qolishini kamaytirish mexanizmlari taklif etilgan? Ulardan qaysi biri tanlangan?
4. "Pastga" yo'nalishda OFDM/QAM modulyatsiyasi qanday ishlaydi?
5. E-UTRA tarmoqlarida ko'p antennali tizimlar nima sababdan va nima uchun ishlatiladi?
6. MIMO texnologiyasiga tavsif bering? MIMO texnologiyasi-ning prinsipi nimada? MIMO texnologiyasi qanday ish rejimlariga ajratiladi?
7. MIMO ishlatilganda qabul qilinayotgan kanalni qanday matematik ifoda bilan ko'rsatish mumkin?
8. MIMO uchun Shannon formulasi qanday ko'rinishga ega?
9. Fazoviy multiplekslash qanday turlarga ajratiladi? Ular qanday ishlatiladi?
10. MIMO tizimida qanday fazoviy ajratish turlari ishlatiladi?

20-bob. "YUQORIGA" YO'NALISHDAGI KANALNI TASHKIL ETILISHI

20.1. "Pastga" va "yuqoriga" kanallarda OFDM texnologiyasining qo'llanilishi

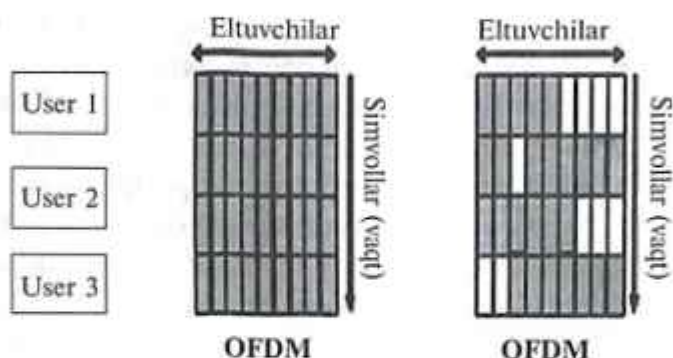
Yuqorida qayd qilinganidek, E-UTRA tarmoqlari "pastga" aloqa kanallarida OFDM texnologiyasini tanlandi. U murakkab bo'lmagan qabul qilgichlardan foydalangan holda, bir necha nimeltuvchilarga ega bo'lgan kompleks radiokanallar bilan samarali ishlashga imkon beradi. O'zining chastotalarni ajratish tabiati tufayli OFDM texnologiyasi tarmoq infratuzilmasini murakkablashtirmagan holda turli o'tkazish polosalarida ishlashga imkon beradi. OFDM multiplekslashidan foydalanib, MIMO antenna texnologiyalarini ham qulay ishlatish mumkin: ma'lumotlarning tuzilmaviy oqimini antenna oqimlariga oson bo'lish mumkin. OFDM texnologiyasi chastotaviy rejalashtirishni ham chastotalarni tanlash, ham chastotalarni tarqatish asosida amalga oshirish imkonini beradi va bu sota darajasida mavjud o'tkazish polosasini qayta ishlatishga imkon beradi. Bundan tashqari, OFDM texnologiyasi bir chastotali sinxronlashtirilgan tarmoq mexanizmi – MBSFN dan foydalangan holda, mos uzunlikdagi SRlar bilan keng qamrovli uzatish xizmatlarini amalga oshirish imkonini ham beradi.

Bunday mexanizm turli sotalarning keng qamrovli uzatish signallarini radioefirda birlashtirish orqali qabuldagi signal quvvatini va keng qamrovli uzatish xizmatlariga mos bo'lgan ma'lumot uzatish tezligini sezilarli oshirish imkonini beradi.

SRning ikki xil uzunligidan kaltasini individual uzatishlar uchun va uzunini katta sotalarda ishlatish uchun yoki MBSFN keng qamrovli uzatishlar uchun foydalangan holda nimeltuvchilar vaqt bo'yicha multiplekslanishi mumkin. Bunda butun o'tkazish polosasida simvolning foydali uzunligi o'zgarmas qoladi, nimeltuvchining 15kGs kengligi 64-QAM modulyatsiyasi ishlatilgan-

da (2,6GGs lik polosada harakat tezligi 250 km/soat bo'lganda) fazalar shovqini va Dopler effekti tufayli yo'qotishlardan qochish uchun yetarlicha keng bo'ladi.

“Pastga” va “yuqoriga” kanallarda OFDM texnologiyasining qo'llanilishi turlicha. “Pastga” kanalda bu texnologiya faqat signalni uzatish, ya'ni axborot oqimlarini multiplekslash (bevosita OFDM) uchun emas, balki ko'p sonli ulanish, ya'ni abonent kanallarini multiplekslash (OFDMA) uchun ham ishlatiladi. (20.1-rasm).



20.1-rasm. OFDM va OFDMA prinsiplari.

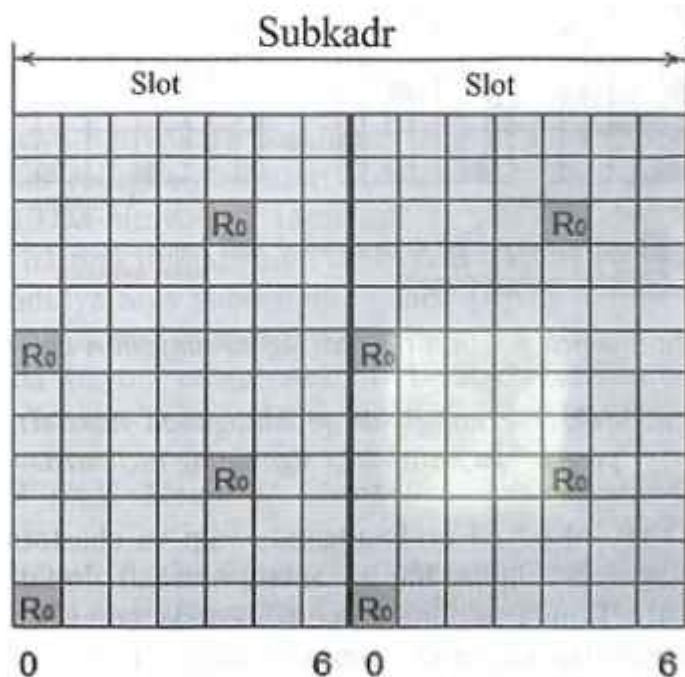
Bunda yuqorida bayon etilgan PRB blokidan tashqari, mantiqiy resurs bloki — LRB (*ingl. Logical Resource Block*) tushunchasi kiritiladi. Resurs elementlarining soni bo'yicha PRB va LRB bloklari barobar bo'ladi, lekin fizik resurs blokning elementlarini mantiqiy blokka taqsimlanishi ikki variantda: ya'ni birga-bir yoki taqsimlangan tarzda bo'lishi mumkin. Ikkinchi holda mantiqiy resurs bloki elementlari butun ruxsat etilgan resurs to'ri bo'ylab taqsimlanishi mumkin.

Boshqa paketli tarmoqlardan farqli ravishda LTE tizimida fizik darajada kanallarni sinxronlashtirish va eltuvchining siljishini baholash uchun ishlatiladigan preambulalar yo'q. Buning o'rniga

har bir resurs blokiga maxsus tayanch va sinxronlashtirish belgilari qo'shiladi. Tayanch belgilari – RS (*ingl. Reference symbol*) uch turga bo'linishi mumkin:

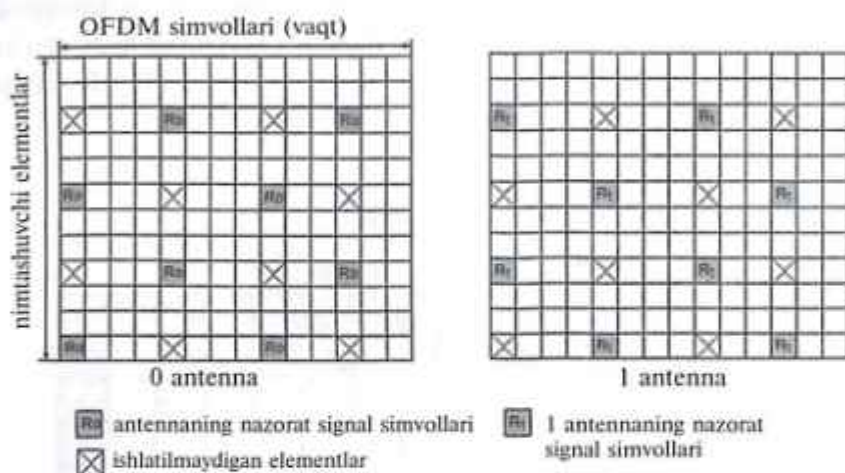
- sotani ifodalaydigan RS (*ingl. Cell specific*);
- aniq bir AUGa bog'langan RS va
- MBSFN keng qamrovli uzatish xizmatiga mo'ljallangan RS.

Tayanch belgilari uzatish kanalidagi sharoit – SQIni bevosita aniqlash uchun xizmat qiladi. Bu o'lchamlar asosida qolgan nimeltuvchilar uchun kanalning javobini aniqlash va interpolyatsiya yordamida ularning dastlabki shaklini qayta tiklash mumkin. 20.2-rasmda “pastga” yo'nalishda tayanch belgi (R_0)lik va standart prefikslik signalning tuzilmasi keltirilgan.



20.2-rasm. Standart SR uchun “pastga” yo'nalishdagi signalning tuzilmasi.

Tayanch belgilari har bir subkadmning 0-(1-RS) va 4chi (2-RS) OFDM simvolidi joylashadi. Lekin 2-RS ni ishlatmagan holda ham aloqa tashkil qilish mumkin va shuning uchun OFDM-simvollar orasida mikro kutish vaqti kiritilgan. Masalan, FDD rejimida past va o'rtacha aloqa tezliklarida 2-RS ni uzatmaslik hisobiga trafik yuklamasini kamaytirish mumkin. Kengaytirilgan SR da RS tayanch belgilari 0- va 3-OFDM simvollar vaqtida uzatiladi. Chastota sohasida esa tayanch belgilari har oltita nimeltuvchidan so'ng uzatiladi.



**Bu yerda tayanch belgilari nazorat signal simvollar deb keltirilgan.*

20.3-rasm. *MIMO texnologiyasi qo'llanilganda ctandart SR uchun "pastga" yo'nalishdagi signalning tuzilmasi.*

MIMO texnologiyasi qo'llanilganda vaqt va chastota bo'yicha surilgan tayanch belgilari har bir antenna orqali alohida uzatiladi (20.3-rasm). Bunda har bir antenna boshqa antennalar o'zlarining RSLarini uzatadigan chastotasi va vaqtida hech qanday signal uzatmaydi. Bir necha antennalarga ortogonal ravishda signallarni taqsimlash uchun bir sotaning turli uzatish antennalarida FDM — chastotaviy multiplekslash va turli sotalar antennalari uchun SDM — kodli multiplekslashdan foydalaniladi.

“Pastga” kanalda tayanch belgilaridan tashqari, sotalarni identifikatsiyalash va sinxronlashtirish uchun xizmat qiladigan sinxronlashtirish belgilari ham uzatiladi.

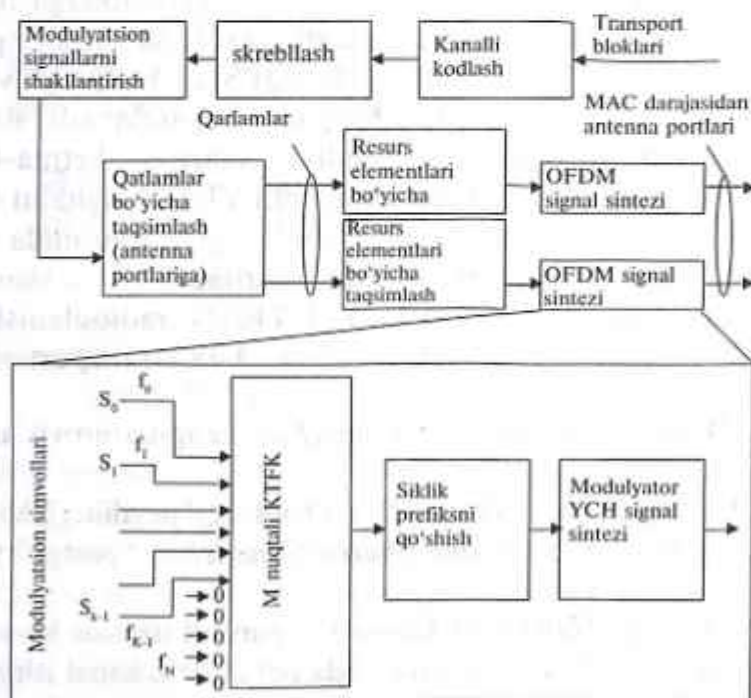
LTE tizimida “pastga” kanalda signalni shakllantirish axborotlarni raqamli uzatuvchi zamonaviy tizimlardagidan ko‘p farqlanmaydi (20.4-rasm). Jarayon kanal kodlashi, skremblash, modulyatsion simvollarini shakllantirish, ularni antenna portlari va resurs elementlar bo‘yicha taqsimlash va OFDM simvollarini yaratish kabi jarayonlarni o‘z ichiga oladi. Kanal kodlashi MAC-darajasidan keladigan ma’lumot bloklari uchun nazorat summalarini (CRC-24) hisoblashni ko‘zda tutadi. Bundan so‘ng nazorat summalik bloklar koder vositasida $1/3$ tezlikda kodlanadi. LTEda qisqartirishli kodlash yoki turbo-kodlash qo‘llanilishi ko‘zda tutilgan. Kodlashdan so‘ng oqim aralashtirish (*rus. перемежение*) jarayonidan o‘tib skremblerga tushadi va u yerda skremblash muolajasidan o‘tadi. Keyin kompleksli modulyatsiya simvollarini shakllanib (QPSK, 16-QAM va 64-QAM), ular resurs elementlari bo‘yicha taqsimlanadi. Bundan keyin, OFDM-simvollarini yaratiladi va ularning ketma-ketligi berilgan chastota diapazonida chiquvchi YUCH signalni shakllovchi modulyatorga yuboriladi. Qabul qilgich tomonida bu jarayonlarni barchasi teskari tartibda bajariladi.

Yuqorida bayon etilganidek, E-UTRAN radioulalanish tarmog‘ida “pastga” yo‘nalishi uchun 4-ta transport kanali aniqlangan:

- BCH (*ingl. Broadcast Channel*) — keng-qamrovli uzatish kanali;
 - PCH (*ingl. Paging Channel*) — chaqiruv “peydjing” kanali;
 - DL-SCH (*ingl. Downlink Shared Channel*) — “pastga” yo‘nalishning umumiy kanali;
 - MCH (*ingl. Multicast Channel*) — guruhli uzatish kanali;
- Fizik darajada “pastga” yo‘nalishda uchta fizik kanal ishlatiladi:
- PDSCH (*ingl. Physical Downlink Shared Channel*) — “pastga” yo‘nalishning umumiy fizik kanali;

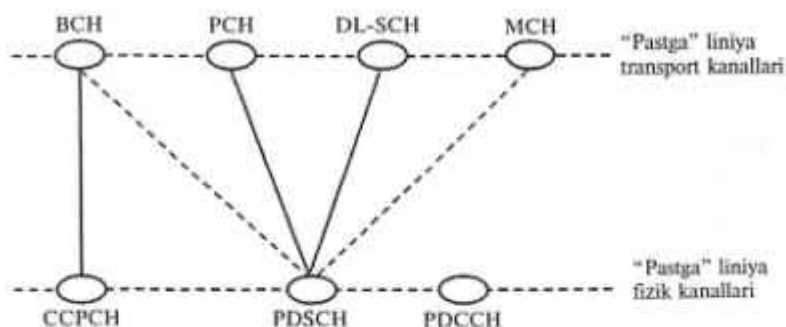
- PDCCH (*ingl. Physical Downlink Control Channel*) – “pastga” yoʻnalishning boshqaruv fizik kanali;
- CCPCH (*ingl. Common Control Physical Channel*) – umumiy boshqaruv fizik kanali.

PDSCH kanali yuqori tezlikda multimedia va maʼlumotlarni uzatish uchun moʻljallangan. Bu kanalda QPSK, 16-QAM, 64-QAM modulyatsiya turlari va signallarni fazoviy multiplekslashdan foydalaniladi. PDSCH kanali AULar uchun maxsus boshqaruv axborotlarini uzatadi va faqat QPSK modulyatsiyasidan foydalanadi. Bu kanal har bir subkadrning birinchi slotidagi birinchi uchta OFDM-simvollarini egallaydi. CCPCH kanali esa keng qamrovli uzatish boʻyicha xizmat axborotlarini uzatadi va, shuningdek, faqat QPSK modulyatsiyasidan foydalanadi.



20.4-rasm. “Pastga” kanalda signalning shakllanish sxemasi.

E-UTRAN tarmog'idagi "pastga" kanalda transport va fizik kanallarining o'zaro taqsimlanishi 20.5-rasmda tasvirlangan.



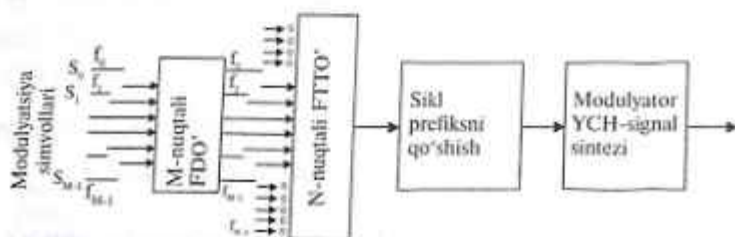
20.5-rasm. E-UTRAN tarmog'ida "pastga" yo'nalishda transport kanallarini fizik kanallariga taqsimlanishi.

20.2. "Yuqoriga" yo'nalishdagi kanalni tashkil etilishi

Nimeltuvchilarni ortogonal tartibda bo'lish va siklik prefikslardan foydalanish hisobiga radiokanal parametrlarining vaqt bo'yicha dispersiyaga nisbatan bardoshligiga erishiladi. Shu tufayli OFDM qo'llaniladigan tizimlarda qabul qilish tomonida murakkab ekvalayzerlarga zarurat qolmaydi. Bu esa katta afzallik deb hisoblanadi, chunki qabul qilgichda signalni qayta ishlash jarayoni soddalashadi va mos ravishda abonent uskunasi narxi va energiya iste'moli kamayadi.

"Yuqoriga" kanalda AUning ruxsat etiladigan nurlanish quvvati cheklangani sababli axborot uzatishning energetik samaradorligini oshirish, AUning narxini va energiya iste'molini kamaytirish kabilar birinchi darajali masalalar bo'lib qoladi. Shu munosabat bilan LTE tizimida "yuqoriga" yo'nalishi uchun signalni qayta ishlashning yangi — SC-FDMA (*ingl. Single-Carrier Frequency Division Multiple Access — bir eltuvchi asosida kanallarni chastotaviy ajratish bilan ko'p sonli ulanish*) texnologiyasi taklif etilgan.

SC-FDMA texnologiyasi OFDM texnologiyasi bilan ko'plab o'xshashliklarga ega bo'lib, ulardan asosiysi shundaki, "pastga" yo'nalishda chastotaviy ortogonallik sota ichidagi abonentlar orasida tashkil qilingan va bu sota ichidagi interferensiya hajmini boshqarishga imkon beradi. Shuningdek, SC-FDMA kuchaytirgich quvvatini tushishini kamaytiradi va bu bilan AUNing akkumulyatorining xizmat muddatini cho'zishga va aloqa uzoqligini oshirishga imkon beradi. SC-FDMA texnologiyasida signalni qayta ishlashni asosini taqsimlangan OFDM-simvollarini diskretli Fure tezkor o'zgartirish usuli tashkil etadi (20.6-rasm).



20.6-rasm. *E-UTRAN tarmog'idagi "yuqoriga" yo'nalishda uzatishda SC-FDMA texnologiyasi yordamida signalni qayta ishlash sxemasi.*

SC-FDMA texnologiyasining OFDMA texnologiyasidan farqi simvollarni nimeltuvchilarga taqsimlash jarayonida M-simvollar-ni tanlanadigan M-nimeltuvchilarga taqsimlaydigan FTO' mexanizmi asosida ishlaydigan M-massivi uchun qo'llanilishi hisoblanadi (3.40-rasmda ko'rsatilganidek). Tanlanadigan nimeltuvchilar kuchaytirgich quvvatini kam tushirish maqsadida yoki ketma-ket, yo bir tekis taqsimlangan bo'lishlari kerak. Bunda signal bir eltuvchi sifatida qaraladi, chunki M-massivining boshlang'ich FTO' o'zgartirilishi vaqt bo'yicha ajratilgan va bir tashuvchilik signal-ni dastlabki holatiga qaytaradigan katta N-massivining teskari TFO' o'zgartirilishi bilan neytrallanadi. Qabul qilgich tomonida oddiy chastotaviy qayta ishlashdan foydalanish mumkin.

SC-FDMA signalining bevosita shakllanish jarayoni quyidagi tarzda amalga oshadi. Kanal kodlashi, skremblash va modulyatsion simvollar shakllanganidan so'ng bu simvollar M simvollar bloklariga guruhlanadi (SC-FDMA sub-simvollar). Bu sub-simvollar 15 kGs lik nimeltuvchilarga joylashtirib bo'lmaydi, chunki ular endi kengroq bo'lib qolishdi va N marta kengroq chastota talab qilishadi (bu yerda, N uzatish uchun yaroqli nimeltuvchilar soni). Shuning uchun M modulyatsion simvollaridan iborat guruhlarni shakllantirib (bunda $M < N$), ularni M nuqtali Fure diskret o'zgartirish jarayonidan o'tkaziladi, ya'ni analog signali yaratiladi. So'ng N nuqtali teskari Fure tezkor o'zgartirish mexanizmi yordamida har bir eltuvchini mustaqil modulyatsiyaga mos signal sintezlanadi, siklik prefiks qo'shiladi va chiquvchi YUCH-signal generatsiya qilinadi.

TFO⁺ algoritmidan signalni o'zgartirish mexanizmi sifatida foydalanishning afzalligi yana shundaki, u tufayli "yuqoriga" yo'nalishdagi SC-FDMA signalining miqdoriy xarakteristikalarini spektrni juda yaxshi to'ldirgan holda "pastga" yo'nalishdagi OFDMA signalning xarakteristikalariga mos keladi. "Yuqoriga" kanalning resurs to'ri "pastga" kanalning to'riga to'liq mos bo'ladi: bunda har bir PRB fizik resurs bloki chastota sathida 15 kGs kenglikdagi 12 nimeltuvchilarga va vaqt sathida $0,5\text{ ms}$ lik 1 slotga ega bo'ladi. Resurs blokining uzunligi standart CP siklik prefiks ishlatilganda 7 OFDM-simvolga, kengaytirilgan SR da esa 6 simvolga teng bo'ladi. SC-FDMA simvolining uzunligi (SR prefiksisiz) OFDMA simvolining uzunligiga teng bo'lib, $66,67\text{ mks}$ ni tashkil etadi. Qisqa va uzun SR prefikslarini uzunliklari ham bir biriga teng. Resurs to'rida 6 dan 100 gacha resurs bloklari bo'lishi mumkin, lekin ularning soni 2, 3 yoki 5 sonlarga karrali bo'lishi kerak, chunki bu Fure diskret qayta o'zgartirish jarayoni bilan bog'liq. SC-FDMAning yana bir xususiyati shundan iboratki, AU da 64-QAM modulyatsiyasini qo'llab-quvvatlanishi "otsional" (ya'ni majburiy emas) va ishlab chiqaruvchilarning o'z ixtiyoriga qoldirilgan.

OFDMA da har bir nimeltuvchida bir vaqtni o'zida uni modulatsion simvoli uzatiladi. SC-FDMAda esa nimeltuvchilar bir vaqtni o'zida va bir xil modulyatsiyalanadi, lekin modulyasion simvollar vaqt bo'yicha qisqaroq bo'ladi. Ya'ni OFDMAda simvollar parallel ravishda, SC-FDMAda esa ketma-ket ravishda uzatiladi (20.7-rasm).



20.7-rasm. QPSK – simvollar ketma-ket uzatilishida OFDMA va SC-FDMA orasidagi farq.

Bunday yechim oddiy OFDM modulyatsiyalashni ishlatishga nisbatan maksimal quvvatni o'rtacha quvvatga bo'lgan nisbatini kamaytiradi va buning natijasida AU larning energetik samaradorligi oshadi va ularning konstruksiyasi soddalashadi (ya'ni uza-tkichlarning texnik parametrlarini aniqligiga talablar sezilarli ka-mayadi).

E-UTRAN tarmog'ida "yuqoriga" yo'nalishi uchun quyidagi ikki transport kanallari ajratilgan.

- RACH (ingl. *Random Access Channel*) — kamdan-kam ula-nish kanali;

- UL-SCH (*ingl. Uplink Shared Channel*) — “yuqoriga” yoʻnalishdagi umumiy kanal.

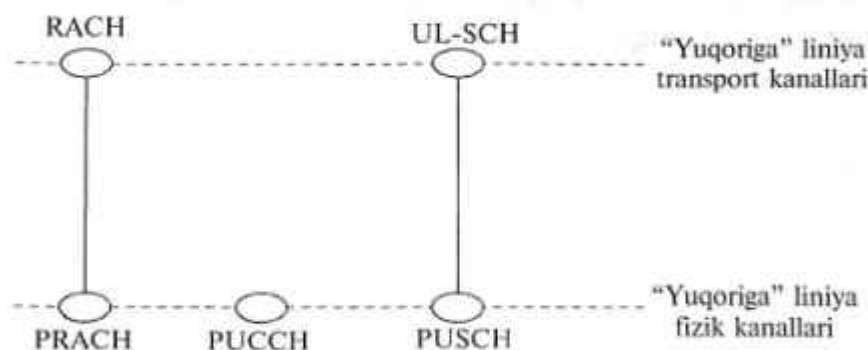
“Yuqoriga” yoʻnalishning fizik darajasida uchta fizik kanallari ajratilgan:

- PRACH (*ingl. Physical Random Access Channel*) — kamdan-kam ulanish fizik kanali;

- PUSCH (*ingl. Physical Uplink Control Channel*) — “yuqoriga” yoʻnalishdagi boshqaruv fizik kanali;

- PUSCH (*ingl. Physical Uplink Shared Channel*) — “yuqoriga” yoʻnalishdagi umumiy fizik kanal.

Transport va fizik kanallarining bir-biriga taqsimlanishi 20.8-rasmda tasvirlangan.



20.8-rasm. E-UTRAN tarmogʻida “yuqoriga” yoʻnalishdagi transport va fizik kanallarining oʻzaro taqsimlanishi.

Nazorat savollari:

1. E-UTRA tarmogʻida “pastga” va “yuqoriga” yoʻnalishlarda qanday kanallarni ajratish texnologiyalari tanlangan? Nima uchun?

2. E-UTRA texnologiyasining asosiy miqdoriy xarakteristikalarini keltiring.

3. E-UTRA freymining tuzilmasini keltiring.
4. OFDM texnologiyasiga qisqacha tavsif bering va uning asosiy afzalliklarini sanab o'ting.
5. "Pastga" yo'nalishda OFDM/QAM modulyatsiyasi qanday ishlaydi?
6. E-UTRA tarmoqlarida ko'p antennali tizimlar nima sababdan va nima uchun ishlatiladi?
7. Dunyoning turli regionlarida 700MGs diapazonida chastotalarni qayta taqsimlash qanday amalga oshiriladi?
8. 900MGs diapazonida LTE tarmoqlarini qurish afzalliklari nimada va bu diapazonda ularni qanday qurilish ketma-ketligi kutilmoqda?
9. IMT-2000 yer sirti xizmatlarini rivojlantirish bo'yicha butunjahon radioaloqa konferensiyasi (BRK) tomonidan qanday chastotalar polosasi aniqlangan?

21-bob. LTE TIZIMLARI UCHUN RADIOCHASTOTA SPEKTRI

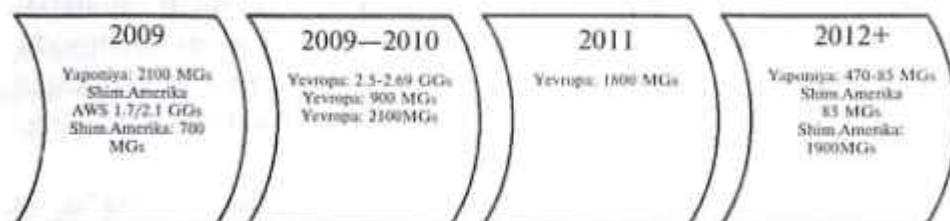
21.1. Radiochastota spektri (RCHS)

Radiochastota spektri (RCHS) har bir davlatning qimmatbaho va cheklangan resurs (mablagʻ)i hisoblanadi va hozirgi kunda undan foydalanishga talab borgan sari ortib bormoqda. Bunga simsiz aloqa tizimlari xizmatlarining yaxshilangan shaklda keng tarqalishi va ommaviyligining ortishi, xizmatlar va uskunalar xarajatlarining qisqarishi va foydalanishdagi qulayligi yordam bermoqda. Buning evaziga mavjud va yangi simsiz keng polosali tarmoqlar mavjud radiochastotalar resurslarini tezda oʻzlashtirib olib, yangi chastotalarga muhtoj boʻlishlari kutilmoqda.

Soʻnggi yillarda simsiz aloqa sanoati tovushli aloqa va maʼlumot uzatish xizmatlariga foydalanuvchilar talablarining keskin ortishini boshidan kechirmoqda. Tez oʻsayotgan mobil aloqa abonentlari soni va xizmatlardan foydalanish hajmining ortishi tufayli operatorlar ilgʻor texnologiyalarni joriy etish, yuqori sifatli mavjud aloqa xizmatlarini va maʼlumot uzatishning innovatsion xizmatlarini taqdim etish hisobiga oʻz tarmoqlarini takomillashtirishga majbur boʻlmoqdalar. Odatda radiochastota spektrini boshqarish masalasi juda murakkab hisoblanadi. Ammo soʻnggi yillarda yuzaga kelgan anʼananing oʻzgarishi kuzatilmoqda va RCHSni boshqarish jarayoni texnologiyalarga bogʻliq boʻlmagan holda moslashuvchanroq boʻlib bormoqda va oxir-oqibatda operatorlarga bozor talablarini yaxshiroq qondirishga imkon bermoqda. Aloqa operatorlari va uskuna yetkazib beruvchilar innovatsion yechimlarni, shu jumladan, qoʻllanadigan radiochastota spektrining samaradorligini yaxshilaydigan takliflarni ilgari surmoqdalar. Lekin bunda yangi simsiz aloqa texnologiyalari (WiMAX kabilar) paydo boʻlmoqda va ular ham spektr ajratilishiga daʼvogarlik qilib, jahonning barcha mintaqalarida radiochastota taqsimlash masalasini yanada keskinlashtirmoqda.

21.1.1. LTE tizimlari uchun potentsial spektr

Yuqorida bayon etilganidek, 3GRR loyihasi tomonidan LTE standartini ishlab chiqish masalalari asosan 2008-yilda yakunlangan va birinchi LTE tijorat tarmoqlari 2009-yilning oxiri va 2010-yilning boshlarida qurila boshlagan. 21.1-rasmda dunyoning turli mintaqalarida LTE tarmoqlarini qurish uchun ko'zda tutilgan chastotalar polosasi keltirilgan. Biroq bu so'nggi taqsimlash emas va kelajakda ba'zi o'zgartirishlar ehtimoli ham bor.



21.1-rasm. *LTE tarmoqlarini qurish uchun ehtimoliy chastota polosalari.*

Quyidagi paragraflarda mazkur chastotalar polosalarining holatlarini mintaqaviy kesimda diapazonlar bo'yicha atroflicha ko'rib chiqilgan.

20.1.2. 700 MGs diapazoni

700MGs diapazoni deganda ancha keng 470MGs...862MGs chastotalar polosasi tushiniladi. Bu nom mantiqli ko'rinmasa-da, lekin u uzoq vaqt televidenie va radioeshittirish uchun ishlatilganligi sababli shunday qabul qilinib qolgan.

Televidenie va radioeshittirish ehtiyojlari uchun spektrni taqsimlashga bag'ishlangan birinchi konferensiya 1961-yilda Stokgolm (Shvetsiya) shahrida o'tkazilgan. Unda, bir tomondan, aholi uchun sifatli televidenie va radio signallarini taqdim etadi-

gan, ikkinchi tomondan, alohida davlatlar va mintaqalarda ushbu xizmatlarini qulay va samarali tashkil etishga xalaqit bermaydigan uzatkich quvvatlari va chastotalar aniqlab berildi. Stokgolm bitimi (undan keyingilari kabi) ishtirokchi davlatlarga spektrdan o'z xohishlariga ko'ra foydalanish imkonini (qo'shni davlatlarga xalaqit bermagan holda) taqdim etdi. U payt televidenie barcha davlatlarning qiziqish markazida edi. Shunday qilib, Stokgolmda milliy teleuzatish xizmatlari uchun DMT (UHF) diapazoni, jumladan, 470MGs ...862MGs chastotalar polosasi tanlandi.

Ushbu diapazon ko'plab afzalliklarga ega. Birinchidan, bu chastotadagi radioto'lqinlar to'siqlarni biroz og'ishi mumkin (difraksiya hisobiga) va, natijada, binolar ichida ham tarqaladi. Bunda signalni qabul qilish uchun uzatkich to'g'ri ko'rinishda (*ingl. Line of Sight — LoS*) bo'lishi shart emas. Ikkinchidan, bu chastotalar fazoda yaxshi tarqaladi va shuning uchun signal keng hududda qabul qilinadi. Shunga muvofiq holda uzatkichlar miqdorining kam bo'lishi kapital xarajatlarni tejashga olib keladi. Shuningdek, qabul qilish antennalarining juda ixcham (detsimetr o'lchamlarda) bo'lishi ularni uy sharoitlarida ishlatish mumkinligini ham ta'minlaydi.

Hozirgi vaqtda Yevropada, shuningdek dunyoning qolgan katta qismida mazkur diapazonda analog televidiniyedan raqamli televideniegga o'tish hisobiga "raqamli dividend" nomini olgan RCHSning qismi bo'shatilishiga katta umid bildirishmoqda. Bu, mutaxassislarning fikricha, DMT diapazonida keng polosali simsiz tarmoqlarni rivojlantirish uchun talay radiochastota resursini (nazariy jihatdan 300MGs gacha) olish imkonini beradi. Bunda ushbu diapazonda chastotalarni taqsimlash "global rouming" xizmatlarini asoslarini yaratish maqsadida va RCHSni jahon miqyosida (imkon qadar maksimal holatda) garmonizatsiyalash talablarini hisobga olgan holda amalga oshirilishi ko'zda tutilgan.

"Raqamli dividend"ning ma'nosi shundaki, o'tgan asrning 90-yillarida OFDM texnologiyasining o'zlashtirilishi va uning asosida raqamli televideniening yangi DVB standartlarining ishlab chiqilishi bilan o'sha ma'lum bir telesignalni kamroq quvvat-

li uzatkichlar va kichik chastotalar polosasini qo'llash vositasida uzatish mumkin bo'lib qoldi. OFDM texnologiyasi signalni samarali kodlashni, shuningdek, shahar sharoitida oddiy teleuzatish uchun qayta akslanish sharoitlarida signalni sifatliroq uzatilishini ta'minladi. Natijada, agar 1990-yillarda bir analog telekanal o'rniga to'rtta raqamli telekanallar haqida gapirilgan (ya'ni, bir ajratilgan chastota polosasida 4 multipleks) bo'lsa, u holda hozir endi bitta multipleksda to'rtta HDTV kanallari haqida gapirilmoqda. Shunday qilib, har bir telekanal raqamli uzatishga o'tganida eng kami avval ajratilgan chastotalarning 3/4 polosasi bo'shaydi va umumiy miqdorda DMT dapazoni xalqaro taqsimlashda 294MGs gachani tashkil etishi mumkin. Bu, albatta, juda yuqori bahoga ega bo'lgan ulkan chastota diapazoni hisoblanadi.

Albatta, bu o'rinda bo'shatilgan chastotalarni qay tarzda to'g'ri taqsimlash masalasi o'rta qo'yiladi. Bu masala oddiy emas, chunki bu polosalarga da'vogarlar ko'p: birinchidan, yangi telekanallarni, HDTV ni ishga tushirish va portativ uskunalar-da qabul qilish uchun mobil TVni taqdim etish mumkin bo'lgan teleuzatish xizmatlari, ikkinchidan, kam aholilik hududlarni keng qamrab olish uchun ular ishlatishi mumkin bo'lgan, masalan, 3G, 4G kabi mobil tarmoqlar va boshqa keng polosali simsiz ulanishli aloqa uchun bu chastotalarning juda istiqbolli ekanligi va, nihoyat, mazkur chastotalar operativ radioaloqani tashkillashtirishda davlat xizmatlari uchun ham manfaatlidir.

Chastotani qayta taqsimlash masalasi 2006-yilda Jeneva (Shvetsariya) shahrida Mintaqaviy radioaloqa konferensiyasida hal etildi. Konferensiyada televideni "raqamlashtirish" natijasida bo'shatilgan chastotalar, avvalo, televidenie uchun ishlatilishi kerakligi haqida qaror qabul qilindi va har bir davlat bu chastota to'liqlarini qo'shni davlatlarga halal bermasdan erkin ishlatishi kerakligi ta'kidlandi. Amalda shunday bo'ldiki, qaror qabul qilingan bo'lsa-da, uning amalda qo'llanishi 2015-yilgacha, ya'ni ko'pchilik Yevropa davlatlari raqamli televideniaga to'liq o'tgunga qadar qoldirildi.

Boshqa xizmatlar tomonidan bo'shatilgan televizion spektrdan foydalanishning texnik detallarini ishlab chiqish masalalari 2007-yilda navbatdagi Butunjahon radioaloqa konferensiyasi (BRK)da muhokama etilgan. 4-avlod mobil aloqa xizmatlari ham DMT diapazoniga faol da'vogarlik qilgan. Avval ta'kidlab o'tilganidek, bu xizmatlar IMT-2000 va IMT Advanced dasturlarini o'z ichiga olgan IMT dasturiga kiritilgan. Bunday tarmoqlar uchun chastotalar diapazonini HTIga muvofiq holda butun dunyo bo'yicha taqsimlash yoki hech bo'lmaganda hududlar darajasida garmonizatsiyalash tavsiya etilgan. Jonli bahslar natijasida BRK-07 da IMT ro'yxatiga kiradigan mobil telekommunikatsion ilovalar uchun Yevropada va Afrikada spektrning 790....862MGs qismini berish mumkinligi haqida qaror qabul qilingan.

Shunday qilib, "raqamli dividend"ning o'zlashtirish masalasi global darajadagi strategik masalalar toifasiga kirdi va hozirgi vaqtda kun tartibidagi ancha o'tkir masala bo'lib turibdi. Xususan, bu masala BRK-11 konferensiyasida faol muhokama etildi va hozirda ko'pchilik davlatlarda bu muammoni yechish bo'yicha ishlanmalar mavjud.

Masalan, AQSHda 2005-yilning o'zidayoq raqamli televidenienni rivojlantirish dasturi qabul qilingan va unga muvofiq barcha Amerika telekompaniyalari 2009-yilning 17-fevraligacha analog uzatishdan raqamli uzatishga o'tishni yakunlashi kerak deb tayinlangan. Bu esa boshqa radiostansiyalar xizmatlari uchun 700MGs diapazonining bo'shatilishini ko'zda tutar edi. Ushbu tijorat diapazoniga ruxsatnomalar 2008-yilning aprelida auksionda sotilgan. Sotuvga 5 blokka bo'lingan 62MGs lik polosa qo'yilgan, jumladan: A pastki (12MGs), V pastki (12MGs), E pastki (juft bo'lmagan 6MGs); S yuqoridagi (22MGs) va D yuqoridagi (10MGs). Bu polosalarda ajratilgan resursdan samarali foydalanishga erishish mumkin, chunki past chastotali signallar zich inshootlar bo'lmagan va yuqori uzatish tezliklari talab qilinmagan joylarda o'z afzalliklarga ega. Yuqoridagi S blokka nisbatan "umumiy ulanish" qoidasi o'rantiilgan. Bu qoida shuni bildiradiki,

aloqa operatorining ularga ajratilgan chastotalar polosasini “to’liq egallash” yoki “bloklash”ga haqqi yo’q. Shunday qilib, litsenziya egasi bo’lgan operatorlar har qanday moslashgan va tarmoqning ishiga zarar etkazmaydigan uskunaga (yani, polosani “to’liq egallashsiz”) hamda kontentlar, ilovalar yoki tarmoq xizmatlarini uzatishga cheklashlar qo’ymagan holda (ya’ni, polosani “bloklamasdan”) tarmoqqa ulanishni taqdim etishi kerak.

21.2. 900MGs diapazonining qayta taqsimlanishi

900MGs diapazoni deganda global darajada GSM tarmoqlarini ishlatish uchun ajratilgan chastota polosalarini, ya’ni 880—915MGs va 925—960MGs polosalarni tushunish kerak. Bugungi kunga kelib ushbu diapazon mobil aloqa tizimlari uchun dunyo miqyosida ruxsat etilgan chastotalar diapazonlari orasida eng keng tarqalgan va garmonizatsiyalangan diapazon hisoblanadi. U, shuningdek aloqaning uzoqligi va tarmoqlarni qurish xarajatlari ni barqaror qisqartirish kabi radiochastota diapazonlarini strategik jihatdan muhim qiladigan bir qator afzalliklarga ega. Bundan tashqari, 900MGs diapazoni binolar ichiga kirish bo’yicha yaxshi ko’rsatkichlarga ega va, ayniqsa, aholisi zich bo’lmagan olis hududlarda keng polosali aloqani tashkil etishga mos keladi.

Dunyoning 150 dan ortiq davlatlarida davom etayotgan foydalanuvchilarning 2G (GSM) tarmoqlaridan 3G (UMTS) tarmoqlariga “migratsiya” (asta-sekin o’tish) jarayoni bosqichma-bosqich GSM-900 tarmoqlarida yuklamani kamaytirib, bu diapazondagi spektrni bo’shata boshlaydi. Natijada, ko’plab operatorlar bu chastotalar polosasida UMTS (xususan, NSRA/NSRA+) tarmoqlarining istiqboli haqida o’ylamoqdalar. Biroq amalda shunday holat yuz bermoqdaki, bugungi kunga kelib mazkur diapazonda LTE tarmoqlarini qurish afzalroq va istiqbolliroq bo’lishi mumkin. NSRA/NSRA+ tarmoqlariga qaraganda LTE tizimi, kutilayotgandek, abonent terminali unumdorligini va sektorlar sig’imini sezilarli darajada oshiradi, abonent sathida abonent javobi vaqtini

qisqartiradi va bu bilan foydalanuvchi interfeysini ancha yaxshilangan shaklini taqdim etadi. Bundan tashqari, UMTS tizimlari 5MGs dan kam bo'lmagan polosalarda ishlasa, LTE tarmoqlarini ilk tashkil etish uchun 1,4MGs lik polosa bo'lishi yetarlidir. Yana shuni ham eslab ketish kerakki, 900MGs diapazonida ishlay oladigan UMTS abonent uskunalari faqatgina 2010-yildan paydo bo'la boshladi va hozirgacha bozorda yetarli darajada tarqalgan emas. Ushbu barcha omillarni hisobga olib, ko'plab operatorlar LTE tarmoqlarini qurish uchun 900MGs diapazonidagi polosalarni zaxiralash variantini jiddiy o'ylab ko'rmoqdalar.

Haqiqatan ham, LTE tizimlarining har hil chastota polosalarida moslashuvchanlik bilan ishlash qobiliyati GSM tarmoqlaridan bo'shayotgan polosalarni egallashga ajoyib imkoniyatlar yaratadi va qo'shimcha chastota polosalari bo'shatilishiga qarab tarmoq ko'lamini kengaytirishga imkon yaratadi. LTE tizimlarining yaxshilangan spektral samaradorligi tufayli ularning 900MGs diapazonida tashkil etilishi tarmoqlarning eng yuqori sig'imini ta'minlaydi. Shuningdek, operatorlarga katta hududlarda yuqori sifatli keng polosali xizmatlarni taqdim etish tufayli yuqoriroq chastotalardagi sarflarga nisbatan sezilarli ravishda kamroq sarflar bilan LTE tarmoqlarini yaratish imkonini beradi.

Nihoyat, LTE tarmoqlarining 900MGs diapazonida tashkil etilishi orqali xarajatlar va logistika bo'yicha qo'shimcha yutuqlar keltirishi kutiladi, binobarin, LTE tayanch stansiyalarini mavjud GSM saytlariga joylashtirish mumkin, chunki mazkur diapazonda GSM va LTE tarmoqlarining radioqamrov hududlari taxminan bir xil bo'ladi. Lekin bunda shu ko'zda tutiladiki, Yevropa sotali aloqa operatorlari yaqin oralarda GSM tarmoqlari ishini to'xtatmaydilar, chunki ular (GSM tarmoqlar) hali ham mobil tovush aloqasi va "global rouming" xizmatlarini asosini tashkil etadilar. Aslida esa EDGE (yoki uning yangilangan E-EDGE) texnologiyasi qo'llaniladigan GSM tarmoqlari yana ancha vaqt xizmatda qolishi va LTE tarmoqlariga asta-sekin o'tishni ta'minlashi mumkin. Shunga ko'ra rivojlanish ehtimolining katta ssenariysi

shunday ko'rinadiki, LTE tarmoqlarining GSM tarmoqlari bilan 900MGs diapazonida birgalikda ishlashi yana 5–10 yil davom etadi va faqat shundan keyingina GSM tizimlarining ishlatilishi to'liq to'xtatilishi mumkin. 900MGs diapazonining keyingi taqsimlanishi ko'p jihatdan Yevropa Ittifoqi darajasida o'tkaziladigan muzokaralar va qabul qilinadigan qarorlarga bog'liq.

21.3. AWS — ilg'or simsiz xizmatlar

AWS (*ingl. Advanced Wireless Services*) — ilg'or simsiz xizmatlar AQSHda ishlatiladi va ular uchun “yuqoriga” yo'nalishda 1710—1755MGs va “pastga” yo'nalishda 2110—2555MGs polosalari ajratilgan. Umumiy 90MGs lik chastota polosasi A dan F gacha oltita chastota bloklariga bo'lingan bo'lib A, V va F bloklari 20MGs lik polosalarga, S, D va E bloklari esa 10MGs lik polosalarga ega.

2006-yilning sentyabrida AQSH Federal aloqa komissiyasi (FSS) tomonidan AWS xizmatlari litsenziyalariga aukcion o'tkazildi va unda yutgan qatnashchilar umuman olganda 1087 ta litsenziyalar yutdi. Amerika hukumatining erkin bozor siyosati ruhida FSS ma'lum chastota diapazoniga ma'lum texnologiyani qat'iy biriktirmadi. Shuni asosida AWS litsenziyalari egalari istalgan texnologiyalarni, shu jumladan, 2G, 3G va LTE tizimlarini qurish uchun ajratilgan resursni ishlatishlari mumkin.

FSS 2100MGs diapazonida AWS xizmatlari uchun chastota polosalarini aniqlashda ularni Yevropada UMTS tizimlari bilan maksimal garmonizatsiyalashtirish ustida ham ish olib bordi. Biroq, UMTS uchun ajratilgan 2100MGs diapazonining pastki qismi “amerikalik” RSS (GSM-1900) tizimlarining polosalari ustiga to'liq tushib qoldi va shu bilan to'liq garmonizatsiya imkonini yo'q qildi. Shunga qaramay, FSS, bu cheklovni hisobga olgan holda, dunyoning boshqa hududlarida AWS xizmatlari uchun spektrni garmonizatsiyalashga urindi. Natijada, endi AWS polosasining yuqori qismi Yevropadagi UMTS tizimining asosiy polosasiga, pastki qismi esa, 1800MGs diapazonidagi GSM tizimlarining pastki qismiga mos keladigan bo'ldi.

IMT kengaytirilgan diapazoni

2001-yilda Radioaloqa bo'yicha umumjahon konferensiyasi 2500—2690MGs diapazonida IMT-2000 yer sirti radioaloqa xizmatlarini rivojlantirish uchun uchta qo'shimcha chastota polosalarini aniqlagan edi. Unga muvofiq 2008-yildan boshlab Yevropada bosqichma-bosqich FDD dupleksli IMT-2000 (hozirgi kunda IMT-Advanced ham) tizimlari uchun 140MGs lik umumiy polosa ajratilmoqda. Bunda "yuqoriga" yo'nalishda 2500—2570MGs, "pastga" yo'nalishda esa 2620—2690MGs polosalari egallanmoqda. TDD duplexi asosida juft bo'lmagan kanallar yaratish uchun 50MGs lik qo'shimcha polosa ajratilgan (2570—2620MGs). Dunyoning barcha hududlari uchun bu chastota polosalarining taqsimlanishini garmonizatsiyalash tufayli ishlab chiqarish hajmini oshirish va shuni hisobiga tejamkorlikka erishish va "global roaming"ni ta'minlash ko'zda tutiladi. Taxmin qilinishicha, LTE tarmoqlari, birinchi navbatda, FDD juft polosalaridan foydalanib, aynan shu polosalarda quriladi (hozircha bu LTE tijorat tarmoqlarini 2009—2011-yillarda tatbiq etilishi bilan tasdiqlanib kelmoqda). Bundan tashqari, aynan shu diapazon 20MGs kenglikdagi kanallarni ta'minlash hisobiga LTE tarmoqlarini "to'laqonli" ishlatishga imkon beradigan kamyob diapazonlar sarasiga kiradi. Shu munosabat bilan, mobil aloqa operatorlari keng polosali va yuqori tezlikli aloqa xizmatlarini taqdim etish uchun, avvalo 20MGs lik kanallarni sinashi va zaxiralashi tabiiydir.

21.4. LTE tarmoqlarini qurishda da'vogar (nomzod) boshqa polosalar. GSM-1800 diapazoni

Bu diapazonga (1710—1785MGs va 1805—1880MGs) qiziqishni (LTE tizimlari uchun uni qayta rejalashtirish (*ingl. re-farming*) nuqtayi nazaridan, avvalo, mavjud GSM tarmoqlaridan LTE tarmoqlariga o'tish variantini ko'rayotgan, Janubiy va Shimoliy Amerika, Osiyo-Tinch okeani (OTO) hamda Yevropa,

Yaqin Sharq va Afrika (YeYaShA) hududlarining ko'plab davlatlari namoyon etmoqda.

UMTS tarmoqlarining asosiy diapazoni

Bu polosalar (1920—1980MGs va 2110—2170MGs) YeYaShA va OTO hududlarida 150 dan ortiq davlatlarda UMTS tarmoqlarini qurish uchun ajratilgan. Bu diapazonda ko'plab operatorlar ikki, uch, ba'zi hollarda esa, to'rttadan 5MGs lik polosalarga ega. Ulardan ko'plari hozirgacha faqatgina bir 5MGs lik polosani ishlatsada, ammo ma'lumot almashuvi bo'yicha mobil xizmatlarning o'sishi va UMTS/HSPA tarmoqlari tomon rivojlanish jadallashishi hisobiga hozircha bu diapazonlarda LTE tarmoqlarini qurish uchun qanday va qancha polosalar bo'shatilishi aniq emas.

RSS-1900 diapazoni

Bu AQSH da va qisman OTO hududida ishlatiladigan (YeYaShA hududida ishlatilmaydi) alternativ diapazon (1850—1910MGs va 1930—1990MGs) hisoblanadi. Uni 700MGs diapazonidagi va AWS xizmatlari polosalari to'lib bo'lganidan keyingina o'zlashtirish mumkin.

850MGs diapazonidagi sotali tarmoqlar polosalari

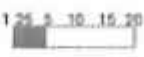
Bu diapazon (824—849MGs va 869—894MGs) cheklangan xarakterga ega, ya'ni kam davlatlarda ishlatiladi (masalan, AQSHda).

U ham 700MGs diapazondagi va AWS xizmatlari polosalari to'lganidan keyin da'vogar polosa sifatida ko'riladi.

Yuqorida berilgan ma'lumotga yakun yasab, LTE tarmoqlarini qurish uchun ko'rib chiqilgan barcha potensial chastotalar diapazonlari 21.1-jadvalda ko'rsatilgan.

LTE tarmoqlarini qurish uchun da'vogar chastota diapazonlari

Diapazon	"Yuqoriga" yo'nalish- dagi kanal (MGs)	"Pastga" yo'na- lishdagi kanal (MGs)	Eltuvchi chastotalar polosa keng- ligi (MGs)	Izoh
700MGs	746—763	776— 793		Raqamli dividend. AQSHda ushbu diapazon taqsimlan- gan. Yevropada endi ko'rib chiqiladi.
IMTdiapa- zoni (juftli)	2500— 2570	2620— 2690		Avvaliga G'arbiy Yev- ropada taqsimlanadi. 20MGslik polosalar mavjud bo'lgan qulay diapazon.
IMTdiapa- zoni (juftsiz)	2570—2620			Yevropa va OTR da LTE-TDD uchun potensial polosalar.
GSM-900	880—915	925—960		Zamonaviy tex- nologiyalar uchun qayta taqsimlanmoq- da (2009-yildan boshlab).
UMTS, aso- siy diapazoni	1920— 1980	2110— 2170		Yevropa va OToda WCDMA tarmoq- lari qo'llanilmagan hududlarda.
GSM-1800	1710— 1785	1805— 1880		Yevropa va OToda GSM-900 polosala- ri bilan birgalikda ishlatilmaydigan po- losalarda foydalanish mumkin.

PCS-1900	1850— 1910	1930— 1990		700MGs polosala- ri va AWS larning to'lganidan keyin qayta taqsimlanishi mumkin.
850MGs da sotali tarmoqlar	824—849	869— 894		700MGs polosala- ri va AWS larning to'lganidan keyin qayta taqsimlanishi mumkin.

Nazorat savollari:

1. LTE texnologiyasi haqida umumiy ma'lumotlarni keltiring. LTE tizimlari xarakteristikalariga asosiy talablar qanday bo'lgan?
2. LTE standartining asosiy texnik xarakteristikalarini keltiring.
3. LTE tizimida ma'lumot uzatish tayanch tarmog'ining yangi arxitekturasida qanday nom oldi? Uning asosiy vazifalari qanday?
4. LTE/SAE arxitekturasida qaysi bo'limlar asosiy hisoblanadi? LTE/SAE umumiy arxitekturasining soddalashtirilgan sxemasini chizing.
5. E-UTRAN tarmog'ining tuzilmasi va funksiyalarini bayon eting.
6. MME, S-GW va P-GW tarmoq tugunlarining funksiyalarini bayon eting.
7. GSM va WCDMA/HSPA tarmoqlari LTE/SAE tarmoqlariga qanday ulanadi?
8. EPS nimtizimining vazifasi qanaqa? SI-flex mexanizmi nimaga xizmat qiladi? Tarmoqni birgalikda ishlatish qanday amalga oshiriladi?
9. LTE/SAE arxitekturasida boshqaruv va abonent sathlarida protokol steklarini keltiring.

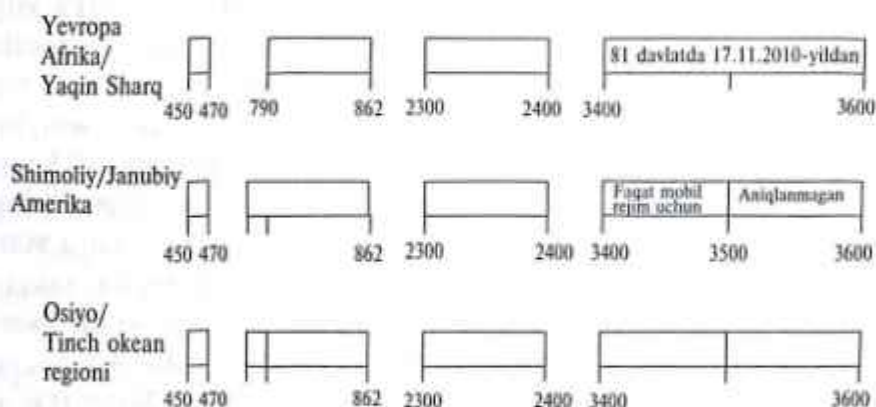
22-bob. LTE TIZIMLARDA XIZMAT KO'RSATISH SIFATINI TA'MINLASH

22.1. O'zbekistonda 4G texnologiyalarini rivojlantirish uchun RCHS holati

M.2078-sonli ITU-R hisoboti IMT-2000 tizimlari va keyingi IMT-Advanced dasturini rivojlanishi uchun spektrga bo'lajak talablarni o'z ichiga oladi. Bu hisobotga muvofiq 2020-yilga kelib HTIning barcha hududlarida 500MGs dan 1GGs gacha kenglikdagi polosalarni ajratish zarur bo'ladi. Bu hisobotda taxmin qilinadiki, 2010-yilda Yevropada trafik hajmi 2008-yildagi ko'rsatkichlarga nisbatan 2—3 martagacha ortgan va 2015-yilga kelib IMT xizmatlarini rivojlantirish uchun ajratilgan chastotalar pollosasi yetishmaydi. Bozor esa bu vaqtga kelib keng pollosali xizmatlarni taqdim etish bo'yicha tarmoqlarning yanada katta imkoniyatlarini talab qiladi. Shunga ko'ra, 2007-yildagi BRKning (BRK-2007) bosh masalalaridan biri sifatida ishlab chiqarish hajmi hisobiga tejash uchun "global rouming" va uskunalarni standartlashtirish talablarini hisobga olgan holda, qo'shimcha, xalqaro miqyosda gormonizatsiyalangan polosalarni aniqlash bo'ldi. Natijada, BRK-2007 IMT tizimlarini (IMT-2000 va IMT-Advanced) rivojlantirish uchun butun dunyo darajasida 2300—2400MGs va 450—470MGs pollosalarini, shuningdek turli mintaqalar va davlatlar darajasida ularning o'ziga xosliklarini hisobga olgan holda 698—862MGs va 3400—3600MGs pollosalari yoki pollosalar qismlarini ajratdi. Bu 22.1-rasmda keltirilgan.

Shunday qilib, BRK-07 LTE tarmoqlarini bo'lajak rivojlantirish uchun zarur chastota pollosalarini bo'shatish va tayyorlashga ulkan qadamlar qo'ydi. Xususan, mobil radioxizmatlar uchun 698—806MGs pollosasidagi spektrni bo'shatish jarayoni boshlandi. Keyingi qadam butun dunyo bo'ylab milliy yoki regional darajalarda garmonizatsiya maqsadida RCHSning taqsimlanishini tizimlashtirish bo'yicha alohida davlatlar bilan ishlash bo'ladi.

So'ng radiochastota spektrini taqsimlashni global darajada gormonizatsiyalash ustida ishlar olib boriladi. Shuni ham ta'kidlaymizki, hozirgi vaqtda ishlatilayotgan radiochastota polosalarining qayta taqsimlanishi bilan birga yangi posalar ajratilishi bu LTE istiqbolli tarmoqlarini muvaffaqiyatli qurish yo'lida muhim omillardir. LTE tizimlar uskunalarining xarakteristikalarini va funksional imkoniyatlarini takomillashtirilishi ishlab chiqarishning ortishi hisobiga tejamlarga olib keladi va mobil aloqa tizimlarining rivojlanishida yangi uflarni ochadi. Bu jarayonda bozorda LTEning funksional va qimmat bo'lmagan abonent va infratuzilma uskunalarini tezroq paydo bo'lishi muhim ahamiyatga ega bo'ladi.



Belgilanishlar:

- 61 davlatda to'liq ishlatilmoqda, 6 davlatda qisman. Barcha davlatlarda to'liq ravishda 17.06.2015-yildan boshlab ishlatiladi.
- 14 davlatda faqat mobil rejimi uchun
- 9 davlatda aniqlangan
- 10 davlatda aniqlangan
- 9 davlatda aniqlangan + faqat rejimi uchun barcha davlatlarda

22.1-rasm. *Dunyoning turli hududlarida LTE tarmoqlarini qurish uchun BRK-07 aniqlagan chastotalar polosalari.*

Shuni quvunch bilan ta'kidlashimiz mumkinki, O'zbekiston LTE tarmog'ini tijorat maqsadida ishga tushirgan MDHdagi birinchi va dunyodagi uchinchi davlat bo'ldi. 2010-yil 28-iyulda mamlakatda birinchi LTE tarmog'ini ishga tushirganligini haqida "MTS-O'zbekiston" kompaniyasi xabar qildi. Dastlab tarmoq 2600MGs diapazonidagi polosadan foydalanadi, keyinchalik 700MGs va 800MGs diapazonlaridagi polosalardan foydalanish ko'zda tutilgan. "MTS-O'zbekiston" tarmog'i 100Mbit/sek gacha tezlikda ma'lumot uzatish xizmatlarini taqdim etish uchun mo'ljallangan. Kompaniya 2015-yilga kelib butun O'zbekiston bo'ylab tarmoq qamrovini tarqatishni rejalashtirilgan. Tizim uskunalari Xitoyning Huawei Technologies kompaniyasi yetkazib berdi.

Kechroq, 2010-yil 29-avgustida O'zbekistonning ikkinchi operatori — Ucell kompaniyasi o'zining LTE tarmog'ini ishga tushirganligi haqida rasmiy e'lon qildi. U ham 100Mbit/sek gacha tezlikda mobil keng polosali ulanish xizmatlarini taqdim etishini ma'lum qildi. Tarmoq 2,6GGs chastota diapazonida qurilmoqda va keyinchalik 700MGs diapazonida ham polosalar olish ko'zda tutilgan. Ucell kompaniyasi LTE tarmog'ini jahonda birinchi bo'lib 2009-yilning dekabrda Stokgolm (Shvetsiya) va Oslo (Norvegiya) shaharlarida ishga tushirgan Telia Sonera korporatsiyasining "qiz" kompaniyalaridan biri hisoblanadi. O'zbekistonda Ucell kompaniyasi uchun tayanch uskunalarini Xitoyning ZTE korporatsiyasi yetkazib berdi.

22.2. Raqamli dividend

Raqamli yer sirti uzatish xizmatini 174—230MGs va 470—862MGs polosalarida rejalashtirish bo'yicha Regional bitimga ("Jeneva-06 rejasi") va unga bog'liq raqamli va analog rejalariga muvofiq O'zbekiston quyidagi ajratishlarga ega:

- "Jeneva-06" rejasining raqamli qismi hisoblangan raqamli TV uchun 817 ta chastota ajratishlar, shu jumladan, diapazonlar bo'yicha:

III diapazon 174–230MGs	IV va V diapazonlar 470–582MGs, 582–862MGs	Jami
142	675	817

• “Jeneva-06” rejasining analog qismi hisoblangan analog TV uchun 1213 ta chastota ajratishlar.

Raqamli uzatishni rejalashtirishda boshqa birlamchi xizmatlarga 27 ta chastota ajratishlar ham hisobga olindi. O‘zbekiston aloqa ma‘muriyatining raqamli uzatish bo‘yicha arizalari BRK-06 konferensiyasida 100% qondirildi.

2008-yilda Toshkent va Buxoro shaharlarida raqamli TV uzatkichlarini tajriba ishlatish hududlari tashkil etildi. 2010-yildan bu shaharlarning aholisi to‘lig‘icha raqamli teleuzatishga o‘tdi. Raqamli TVga butun mamlakat miqyosida o‘tish bo‘yicha ishlar 2015-yilda tugatilishi rejalashtirilgan.

Shuni ta’kidlash joizki, kelajakda 1GGs dan past radiochastota polosalarida raqamli teleuzatishni joriy etilishi davlatning 30% gacha radiochastota resursini bo‘shatish imkoniyatini berish kutilmoqda.

22.3. DMT va O‘YUCH diapazonlarida radiochastotalar taqsimlanishi

To‘rtinchi avlod mobil keng polosali aloqa texnologiyalarining rivojlantirishga qo‘llasa bo‘ladigan 450MGs dan 10GGs gacha diapazonda radiochastotalarni taqsimlash haqida umumiy ma’lumotlar 22.1-jadvalda keltirilgan.

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, “PR” belgilari mavjudligiga qaramasdan, O‘zbekistonda keng polosali mobil texnologiyalarining yangi avlodlari uchun zarur polosalarni ajratish imkoniyati amalda bor. Ma’lumki, 4G tarmoqlarning kengayishi bilan radiochastotalarga ehtiyoj ham ortadi. Buning uchun milliy regulyator,

agar RCHS ni boshqaruv tizimida, xususan, spektrni iqtisodiy boshqaruv usullarini joriy etishda davom etsa ham vaqt, ham imkoniyatlar bor, ya'ni mobil keng polosali texnologiyalarning kutilayotgan keskin rivojlanishiga davlatimiz tayyor bo'ladi, deb o'ylashga asos bor.

22.4.DMT va O'YUCH diapazonlarida radiochastotalar taqsimlanishi. Xizmat ko'rsatish sifati tushunchasi

Aloqa tarmoqlarida xizmat ko'rsatish sifati QoS (*ingl. Quality of Service*) deb nomlangan ko'rsatkich orqali aniqlanadi. QoS aloqa tarmog'ini taklif etiladigan aloqa xizmatlarining sifati haqida berilgan kelishuvga moslik darajasini aniqlaydi. Ko'p holatlarda aloqa sifati to'rt parametr orqali aniqlanadi:

- **O'tkazish polosasi** (*ingl. Bandwidth*) — axborot uzatish tizimining nominal o'tkazish qobiliyatini tavsiflaydi, bit/sek kbit/sek va Mbit/sek larda o'lchanadi;

- **Paket jo'natishda ushlanish** (*ingl. Delay*) — ya'ni axborot paketini jo'natuvchidan oluvchigacha yetib borish vaqtini aniqlaydi, millisekundlarda (ms) o'lchanadi;

- **Djitter** (*ingl.-n Jitter*) — paket jo'natishdagi ushlanish vaqtining nostabilligi, millisekundlar yoki Gerslarda o'lchanadi;

- **Paketlar yo'qolishi** (*ingl. Packet loss*) — uzatish vaqtida yo'qolgan paketlar miqdorini aniqlaydi, uzatilgan paketlarning umumiy soniga nisbatan foizlarda o'lchanadi.

Soddaroq qilib aytganda, aloqa kanalini quvur ko'rinishida, uning o'tkazish qobiliyatini esa quvurining kengligi va uzunligi sifatida tasavvur etish mumkin. Ma'lumot uzatish jarayoni marshrutizatorlarda "shisha idish bo'g'zi" muammosi bilan to'qnashgan holatlarda oddiy FIFO (*ingl. First In — First Out* — "birinchi kelgan — birinchi ketadi") usuli ishlatiladi. Ammo intensiv trafik sharoitlarida bu usul muammoni juda sodda hal qiladi: navbati kelmagan barcha paketlar marshrutizator tomonidan rad etiladi va so'ngra butunlay yo'qotiladi.

**4G texnologiyalarini rivojlantirish uchun qo'llasa bo'ladigan
chastotalarning taqsimlanishi**

Chastotalar diapazoni	Radiochastota polosasi, MGs	Polosa kengligi	Izoh
450...800 MGs	450—470	20	Bu polosada SDMA-450 tarmog'i ishlatilmoqda ("UzMobile")
	470...862	392	HTI tadqiqot komissiyalari tomonidan boshqa birlamchi xizmatlarining ishlayotgan RETlari bilan EMMni ta'minlash sharoitlarida va bu polosa ni yuklanishini detali tahlil qilish asosida radioaloqaning istiqbolli tizimlarini joriy etish uchun 790—862 MGs radiochastotalar polosasidan foydalanish imkoniyatlarini aniqlash bo'yicha ish olib borilmoqda. 824,04—834,99MGs polosasi "MTS-O'zbekiston" kompaniyasiga LTE tarmog'ini rivojlantirish uchun ajratilgan. "Ucell" kompaniyasi ham shu diapazonda polosalar olishni rejalashtirmoqda. 835,2—844,98MGs polosasida CDMA 2000-1x tarmog'i ishlaydi ("Perfectum Mobile").
900MGs	890—915 935—960	25 25	GSM tarmoqlari faol ishlatilmoqda. Kelajakda GSM diapazonlari 4G tarmoqlari uchun ishlatilishi mumkin.
1800MGs	1710—1785 1805—1880	75 75	GSM tarmoqlari faol ishlatilmoqda. Kelajakda bu polosalar ham 4G tarmoqlari uchun ishlatilishi mumkin.

2GGs	1920—1980	60	Bu polosalar UMTS tarmoqlari uchun ajratilgan va faol ishlatilmoqda.
	2110—2170	60	
	2100—2300	200	Hukumat tashkilotlari uchun xizmat qiluvchi RETlarga ajratilgan.
	2300—2400	100	Bu polosa fuqarolarga harakatdagi aloqa xizmatlarini ko'rsatish uchun ajratilgan. 2301—2327MGs polosasida MMDS tarmog'i qurilgan. WiMAX tarmog'i qurilgan (IEEE 802.16e)
Wi-Fi	2400—2480	80	2400—2483,5MGs polosasi Wi-Fi tarmoqlari uchun ajratilgan
IMT-FDD IMT-TDD	2500—2570 2620—2690	70 70	“MTS-O'zbekiston” va “Ucell” kompaniyalari LTE tarmoqlarini qurishgan. “Beeline” kompaniyasi ham o'z LTE tarmog'ini qurishni rejalashtirmoqda.
	2570—2620	50	Bu polosa LTE TDD uchun ruxsat etilgan
3,5GGs	3300—3400	100	Hukumat tashkilotlari uchun xizmat qiluvchi (PR toifasidagi) RETlarga ajratilgan.
	3400—3600	200	Fuqarolarga harakatdagi radioaloqa xizmatlari ikkilamchi asosda ko'rsatilishi mumkin. WiMAX tarmog'i qurilgan.
5GGs	5150—5350	200	5250—5350MGs polosasi Wi-Fi tarmoqlari uchun ajratilgan
	5470—5725	255	Bu polosa PR toifasiga kiradi
	5725—5850	125	Bu polosa PR toifasiga kiradi
10GGs	10150—10300 10500—10650	150 150	Fuqarolarga harakatdagi radioaloqa xizmatlari birlamchi asosda ko'rsatilishi mumkin.

Bundan ongliroq usul bu paketlarga taqdim etiladigan servis turi ToS (*ingl. Type of Service*)ga qarab ularni ustuvorlik (prioritet)larini o'rnatish va shunga qarab "aqlli" navbatlar tuzishdir. Faqat bunda "aqlli" navbatlarni yaratish uchun paketlar o'zlari bilan servis turi ishorasiga ega bo'lishlari zarur bo'ladi. Masalan, FTR yoki SMTP paketlariga nisbatan vaqtga sezgir bo'lgan tovush paketlariga (VoIP) uzatishda ustuvorlikni berish mantiqan to'g'ri bo'ladi. Amaliyotda xuddi shunday ustuvorlik prinsipida faoliyat olib boruvchi QoS atamasi kengroq tarqalgan. Xizmat ko'rsatish sifati bir qancha QoS modellariga asoslangan bo'ladi va ulardan ayrimlari quyidagilardir:

- **"Kafolatlanmagan xizmat"** modeli (*ingl. Best Effort Service* — *"Imkon qadar xizmat"*) "nozik" rostdash mexanizmi hisoblanmaydi, trafikni rostdashsiz va alohida sinflarga ajratishsiz faqat o'tkazish qobiliyatini oshiruvchi model;

- **"Jamlangan xizmat"** modeli (*ingl. Integrated Service* — *Inf-Serv*) signalning butun marshruti davomida zarur o'tkazish qobiliyatini kafolatlash bilan boshidan oxirigacha (*ingl. End to end*) bir xil xizmat sifatini ta'minlaydi;

- **"Ajratilgan xizmat"** modeli (*ingl. Differentiated Service* — *Diff-Serv*) talab etilgan xizmatlarni ko'rsatish maqsadida tarmoqning yadrosida resurslarni taqsimlash va tarmoq chegaralarida ma'lum klassifikatorlar va cheklashlar o'rnatish hamda ularni kombinatsiyalari asosida QoS ni kerakli darajasini ta'minlaydi. Bu modelda trafikni sinflarga bo'lish va ularni har biri uchun QoS darajasini aniqlash kiritiladi. DiffServ trafik shakllanishini boshqarish (paketlarni sinflarga bo'lish, belgilash, intensivlikni boshqarish) va siyosatni boshqarish (resurslarni taqsimlash, paketlarni o'chirish siyosati) funksiyalaridan tashkil topgan. DiffServ trafik ustuvorliklarini "aqlli" boshqarishni yorqin misoli bo'la oladi.

22.5. LTE tizimlarda xizmat ko'rsatish sifati

Yuqorida ta'kidlanganidek, 3GPP loyihasi ko'p sonli ulanish texnologiyalarini bir qatorini o'rganib chiqib, LTE tizim-

lari uchun "pastga" kanalda OFDM, "yuqoriga" kanalda esa SC-FDMA texnologiyalarini tanladi. Bu tanlov nafaqat spektrning moslashuvchanligini, balki kanallarni o'tkazish qobiliyatiga, spektral samaradorlikka, shuningdek, QoS sifatiga qo'yilgan qat'iy talablarni qoniqtiradi.

GSM va W-CDMA tizimlarida ishlatiladigan QoS konsepsiyasi murakkabligi sababli LTE tizimining ishlab chiquvchilari teskari moslashuvchanlikni qo'llab-quvvatlagan holda oddiy va ixcham ulanishni o'ziga birlashtira oladigan QoS konsepsiyasini tadbqiq etishga harakat bo'ldi. LTE tizimida sinflarga asoslangan xizmat ko'rsatish sifati konsepsiyasi ishlatildi. U operatorlarga turli paketli xizmatlarni differensiyalash uchun oson va samarador yechimni taqdim etadi.

3GPP ishlanmalarida katta e'tibor xizmat ko'rsatish sifatini ta'minlash, tarmoqni tanlash va indentifikatsion ma'lumotlardan foydalanishga qaratilgan. Masalan, Wi-Fi va sotali tarmoqlarda ishlashga mo'ljallangan qo'p rejimli terminallarning paydo bo'lishi turli radioulanish texnologiyalarida abonentlarga xizmat ko'rsatish imkonini yaratadi. Shu munosabat bilan LTE tizimida abonentga zarur bo'lgan xizmatlarni taqdim etish uchun qulayroq infratuzilmani tiklash mexanizmi ko'zda tutilgan. Manzillashtirish, mobillikni ta'minlash, bog'lanishlarning uzluksizligini ta'minlash, ma'lumotlarni himoyalash va boshqa maqsadlarda ishlatiladigan abonent va tarmoq uskunalari uchun identifikatorlar tanlashda spetsifikatsiya mualliflari katta yondashuvchanlikni namoyon etdilar. Shunday qilib yangi tarmoqlarda ham GSM va UMTS tarmoqlarida qo'llaniladigan identifikatorlardan, ham E-UTRAN tarmoqlarida yangi funksiyalarni paydo bo'lishini aks ettirgan identifikatorlardan foydalanish ruxsat etilgan. Bundan tashqari, 3GPP ning 8 chi relizida yangi avlod mobil aloqa tarmoqlarida axborot xavfsizligi darajasini oshirishga yo'naltirilgan qator imkoniyatlar ham paydo bo'ldi.

LTE tizimi ishlab chiquvchilari ta'kidlashlaricha, ular taqdim etgan arxitekturaviy o'zgarishlar VoIP yoki interaktiv onlayn

o'yinlar kabi ilovalar uchun muhim bo'lgan ma'lumot uzatish ushlanishlarini sezilarli darajada kamaytirishga imkon beradi. Masalan, LTE tarmog'ida qisqa IP-paketlar uzatishda va uncha katta bo'lmagan tarmoq yuklamasi holatida 5MGs o'tkazish polosasida paketni umumiy ushlanishi 5ms ni, undan kichikroq polosalarda esa 10ms dan ortiqroqni tashkil etishi kerak. Bu qiymatlar esa bugungi 3G tarmoqlarining eng ilg'orlarining ko'rsatkichlaridan ham kamida 50 foizga yuqoriroqdir.

Ulanish o'rnatishdagi ushlanishlarni qisqartirishga qaratilgan talablar operatorlarga QoS ni nazorat qilish uchun sodda va samarador mexanizmlarini taqdim etadigan 3GRR xizmatlar sifatining bugungi konsepsiyasini rivojlanishini ta'minlaydi. LTE tarmoqlarda mantiqiy ulanish o'rnatilgan QoS darajasiga bog'liq (bunday ulanishni "tunnel" deyish mumkin) bo'ladi. Abonent turli QoS darajalari asosida ko'plab tunnellarga ega bo'lishi mumkin (zamonaviy 3G tarmoqlarida bunday tunnel PDP kontekst va radioulanish kanalidan (*ingl. Radio Access Bearer, RAB*) tashkil topgan). Ulanish o'rnatilishida ushlanishlarni qisqartirish mumkin, agarda tunnellar oldindan o'rnatilgan bo'lsa (ya'ni ushbu tunnelga bog'langan aloqa sessiyasi boshlangunicha). Tunnelni oldindan o'rnatish tufayli aloqa sessiyasini o'rnatish uchun kam tizim signallarini talab qiladi va shu tufayli ushlanish vaqtini qisqartiradi. Binobarin, tunnellar ni AU yoqilishi bilan o'rnatish imkon mavjud. Bunday yondashuvni VoIP xizmatlari kabi GB (*ingl. Guaranteed Bandwidth*) ma'lumot uzatishni kafolatlangan tezligini talab qiladigan xizmatlarga bog'liq tunnellar uchun ham ishlatish mumkin. Oldindan o'rnatilgan tunnellar amaliy va samarali bo'lishi uchun quyidagi jarayonlarni bajarish talab qilinadi:

- Ulanishlar boshqaruvi (*ingl. Admission control*) va tunnel o'rnatish funksiyalarini ikkita alohida jarayonlarga ajratish, chunki aks holda tunnellar oldindan o'rnatilib, resurslar zaruratsiz zaxiralangan bo'lib qoladi;
- Oldindan o'rnatiladigan tunnellarga tayinlangan xizmatlar sifati darajalarini operatorlar tomonidan yaxshiroq nazorat

imkonini ta'minlash. Buni tunnellarini o'rnatish uchun tarmoq tomonidan boshqariladigan maxsus jarayonlar tufayli amalga oshirish mumkin;

- Oldindan o'rnatiladigan tunnellarda ilovalarni zichlashtirilgan oqimlari ustidan operatorlar tomonidan yaxshiroq nazorat imkonini ta'minlash. Buni faqatgina yuklamani turli tunnellarga taqsimlovchi (*ingl. mapping*) paketlar filtrlari ustidan nazorat ruxsati tarmoqqa berilgan holda amalga oshirish mumkin.

Xizmatlar sifatining bunday arxitekturasini operatorlarga har bir alohida tunnelga bog'liq bo'lgan QoS darajalari ustidan, alohida tunnellar o'rnatish vaqtlarini aniqlash ustidan va alohida tunnellarga bog'lanadigan ilovalar oqimlari ustidan to'liq nazorat qilishni ta'minlaydi. Shunday qilib, LTE tizimida xizmatlar sifatini nazorat qilishning samarali mexanizmini yaratish mumkin.

Nazorat savollari:

1. LTE tizimlarini rivojlantirish uchun boshqa qanday chastotalar diapazoni nomzod hisoblanadi va IMT-2000 va IMT Advanced tizimlarini rivojlantirish uchun qanday bo'lajak radiochastotalarga zarurat mavjud?

2. QoS aloqa sifati ko'p hollar uchun qanday parametrlar orqali aniqlanadi?

3. Aloqa va AT sohalarida qanday QoS modellari qo'llaniladi?

4. Kafolatlangan QoS darajasini ta'minlash uchun LTE tizimida qanday yondashuvdan foydalanilgan?

5. LTE tarmog'ining turli elementlariga va turli darajalarida xavfsizlikka qanday tahdidlar mavjud?

6. Abonent uskunasi, tayanch stansiya, mobillikni boshqarish tizimi, "so'nggi milya" transport kanallariga qanday tahdidlar mavjud?

7. LTE tizimida AUni kuzatish tahdidi qaysi parametrlar bo'yicha bo'lishi mumkin?

23-bob. LTE TARMOQLARIDA XAVFSIZLIKKA TAHDIDLAR

23.1. Abonent uskunasi uchun tahdidlar

LTE tizimida tarmoqning turli elementlari hamda turli darajalaridagi xavfsizlikka tahdidlar bo'lishi mumkin. Masalan, tahdidlar abonent uskunalari, ba'zaviy stansiyalar, MME tugunlari, shuningdek umuman mobillikni boshqaruv tizimiga nisbatan bo'lishi mumkin. Quyida shular atroflicha ko'rib chiqiladi.

Mobil abonentning xalqaro identifikatori — IMSI (*ingl. International Mobile Subscriber Identity*) xalqaro davlat identifikatsiya kodi — MCC (*ingl. Mobile Country Code*), operator tarmog'i kodi — MNC (*ingl. Mobile Network Code*) va mobil abonent identifikatori — MSIN (*ingl. Mobile Subscriber Identification Number*) lardan iborat. IMSIning umumiy uzunligini 15 ta raqamni tashkil qiladi, ulardan 3 tasi MSSga va foydalanish joyiga qarab, 2 yoki 3 ta raqam MNSga ajratiladi.

Qolgan raqamlar MSINGa aloqador. Abonent tarmoqqa himoyalangan holda ulanishi uchun u o'z IMSIni jo'natishi kerak. Biroq IMSIni o'zi ochiq ravishda yuboriladi, va shundan kelib chiqadiki, ushbu identifikatorni ilib olish va keyingi hujumlar maqsadida yoki abonentning harakatlari va foydalanayotgan xizmatlari haqida analitik axborotni yig'ish uchun ishlatish mumkin.

Bu tahdidni oldini olish uchun AU ishonchsiz tarmoqlarga ochiq IMSIning uzatilishini nazorat qilish imkoniyatiga ega bo'lish kerak. Bunga umumiy yoki simmetrik kalit bilan shifrlashni qo'llash hisobiga erishish mumkin.

23.2. AUni kuzatish tahdidlari

LTE tizimida quyidagi parametrlar bo'yicha AUni kuzatish tahdidlari bo'lishi mumkin:

- TMSI (*ingl. Temporary Mobile Subscriber Identity*) — vaqtinchalik identifikatorlar bo'yicha kuzatuv. Bunda hujum qiluvchi

AUning TSlar orasidagi harakatlarini kuzatib (va yozib) boradi, lekin hozircha ushbu AUni uning asosiy foydalanuvchi IMSIsi bilan identifikatsiya qila olmaydi (ya'ni, taqqoslay olmaydi). Lekin, keyinchalik, hujum qiluvchi, yashirincha Web-xizmati orqali surov yuborib, AUni IMSIsini bilib olishi mumkin.

- **IMSI/TMSI identifikatorlari va radio tarmoqning vaqtinchalik identifikatori** – *RNTI* (ingl. *Radio Network Temporary Identifier*) larni oshkora bo'lishi tufayli kuzatuv. 2G/3G tarmoqlarining zaifligi shundaki, TS (shu jumladan, "soxta" TS ham) AU ni har gal qayd etishda ("xendover" paytida yoki TMSI yo'qolganda) undan o'z IMSI sini taqdim etishini talab qiladi. Shu sabab, LTE tarmog'i aralash rejimda ishlaganida AU ning IMSI sini oshkora qilish tahdidi paydo bo'ladi. Lekin LTE tarmog'i aralashmagan rejimda ishlaganda ham AU ning "noaktiv LTE" holatidan "aktiv LTE" holatiga har bir o'tishida TS abonentni TSMIsi va IMSIsi bir-biriga mos tushishini talab qiladi va shu bilan abonentni oshkora qiladi.

- **IP-manzil yo'qolishi tufayli kuzatuv.** Abonent sathida shifrlash tarmoq darajasida (IP-darajada) amalga oshirilishi tufayli AU uchun mo'ljallangan IP manzillar ma'lumot uzatish jarayoni boshlanishidan oldin ko'rsatilishi kerak. Va, agar abonentning IP-manzili ancha o'zoq vaqt saqlansa, u holda TMSI identifikatorlarini va IP-manzillar bilan taqqoslash ko'rinishida passiv hujum qilish xavfi paydo bo'ladi.

- **"Xendover"ning signal xabarlariga asoslangan kuzatuv.** "Xendover" jarayonida "uy" eNB mehmon eNB bilan "xendover" haqida xabarlar almashadi. O'z navbatida, AU mehmon eNB ga "xendover" haqida tasdiqlovchi xabar jo'natadi. Demak, passiv hujum qiluvchi AU o'z sotasini almashtirgani haqida axborot oladi.

- **Kanal holati haqida hisobotlarga asoslangan kuzatuv.** RRS darajasida AU muayyan ravishda eNB ga radiokanalning holati haqidagi hisobot (CQI)larni jo'natib turadi. Bu hisobotlarni ushlagan passiv hujum qiluvchi ancha yuqori aniqlik bilan AUning harakatlarini kuzatishi mumkin.

Bunday turdagi tahdidlarga qarshi turish uchun standartda NAS darajasidagi barcha signallarni shifrlash tavsiya etiladi. Agar bun-

day shifrlash qo'llanmasa, u holda muqobil choralar sifatida ochiq xabarlarni uzatish jarayoni boshlanishidan oldin umumiy kalitlar ishlatilishi tavsiya etiladi.

23.3. Majburiy "xendover"

Bu hujum aktiv xarakterga ega va sezilarli oqibatlariga olib kelishi mumkin. Majburiy "xendover" hujumi ham aralashmagan LTE tarmoqlari ichida, ham boshqa 3GPP texnologiyalari bilan aralashgan tarmoqlarda amalga oshirilishi mumkin. LTE tarmog'i ichida bunday hujumni amalga oshirish uchun dastlabki tayyorgarlik zarur, xususan, hujum qiluvchi eNBning bir yoki bir nechta tugunlarining ochilishi hisobiga RRC darajasidagi kalitlarni bilishi kerak. U holda "ochilgan" eNB orqali "xendover" jarayonini o'tkazish va ma'lum bir abonentni yoki hatto abonentlar guruhini o'ziga ulab, keyinchalik ularni aloqasini uzish ham mumkin. Aralash tarmoqlarda hujum qiluvchi yuqori darajada himoyalangan tarmoqdan (LTE) pastroq darajada himoyalangan tarmoq (masalan, GSM) tomoniga "xendover"ni amalga oshiradi va "kuchsiz" tarmoqning TSni "buzib" ("ochib") AUga turli hujumlar qilishi mumkin. Majburiy "xendover" tahdidlariga qarshi turish uchun NAS darajasida signalizatsiyani shifrlash, shuningdek umumiy kalitlardan foydalanish mumkin.

Shuningdek, keng miqyosda va ko'p sonli uzatish xabarlarini almashtirish bilan bog'liq tahdidlar mavjud, lekin bu yerda ular haqida atroflicha to'xtalmagan.

23.4. Tayanch stansiyalar va "so'nggi milya" transport kanallariga tahdidlar

Bu tahdidlar shunga bog'liqki, mobil aloqa tarmoqlarining rivojlanishi sari miniatyurizatsiya (kichiklashtirish) va arzonroq infratuzilma vositalaridan foydalanish an'analari kuchliroq kuzatilmoqda va bu TSlarning sezilarli zaiflashuviga va transport

kanallarining kamroq ishonchliligiga olib kelmoqda. TSga nisbatan ham xuddi AUdagi abonent va boshqaruv sathidagi hujumlar ajratiladi.

Abonent sathida paketlarni joriy etish asosidagi hujum.

Hujumning ma'nosi bepul xizmat olish uchun turli paketlar ketma-ketligiga qo'shimcha ma'lumot paketlarini joriy etishdan iborat. Bunday paketlarning joriy etilishi TS (eNB) darajasida, "oxirgi milya" kanallari darajasida, hamkorlik tarmoqlari orqali yoki abonent uskunasi almashtirish hisobiga amalga oshiriladi. Bu tahdidlardan himoya qilish uchun AU va eNB, shuningdek eNB va S-GW oralaridagi abonent sathidagi trafikni shifrlashni qo'llash mumkin.

Abonent sathida paketlarni o'zgartirish bilan bog'liq hujum.

Bunday hujumdan maqsad aloqa sifatini tushirish yoki abonent bilan aloqani uzishdir — DoS (*ingl. Denial of Service*). Paketlarni almashtirish jarayonini eNB darajasida va "oxirgi milya" kanallarida amalga oshirish mumkin. Bunday hujumlarga qarshi AU va S-GW oralig'ida abonent sathidagi trafikning butunligini himoyalash vositalari hisobiga kurashish mumkin.

Abonent sathida paketlarni ushlab olish hujumi.

Hujum qiluvchi AU va S-GW orasidagi yoki hatto "buzilgan" ("ochilgan") eNBdagi interfeyslardan istagancha paketlarni ushlab olishi mumkin. Bunday hujumdan maqsad identifikatorlar, marshrutlash xaritalarini va h.k.larni ichiga oladigan xizmat axborotlarini ushlab olish yoki trafik konfidensialligini buzish hisoblanadi. Bu yerda qarshi chora sifatida OTO^{*} modelining pastroq darajalarida trafik konfidensialligini ta'minlash uchun shifrlash qo'llanilishi mumkin, ya'ni agar paketlarni siqish PDCP darajasida amalga oshirilsa, u holda shifrlash pastroq darajalarda (masalan, RLCda) amalga oshirilishi kerak.

Tayanch stansiyalarga jismoniy hujum.

Shifrlangan axborotlarga va kalitlarga ruxsat olish uchun eNBni jismoniy buzish imkoniyati nazariy jihatdan mavjud, chunki eNBda shunday nuqtalar bo'lishi mumkinki, ularda shifrlangan axborot tun-

nellari orasida shifrlanmagan axborotlar o'tadi. Hujum qiluvchi buning hisobiga umumiy maxfiy kalitlarni olishi va tarmoqqa boshqa eNB tugunini qo'shishi mumkin bo'ladi. Shunday qilib, hujum qiluvchi abonentlarga qarshi DoS hujumini amalga oshirib, ularni soxta AUlar bilan almashtirishi mumkin bo'ladi. Hattoki, eNBni keyingi g'arazli maqsadlarda ishlatish uchun demontaj (buzib olish) xavfi ham mavjud. Bunday hujumlarga qarshi kurashish uchun, birinchidan, eNB joylashgan joylarni jismoniy himoyalash zarur (signalizatsiya, qo'riqlash va boshqalar), ikkinchidan, kalitlarning saqlanishini himoyalash kerak (masalan, o'qib bo'lmaydigan smartkartalarda) va nihoyat, agar bit-ta kalit ochilgan taqdirida ham tizimning umumiy konfidensialligini saqlash uchun assimetrik kalitlardan foydalanish kerak bo'ladi.

Tarmoq tomonidan eNBga qarshi DoS hujumi.

Bu holda hujum qiluvchi qo'lga kiritgan tarmoq tuguni tomonidan ma'lum komandalar paketlarini yuborish hisobiga bir yoki bir nechta eNBga mantiqiy DoS hujumini amalga oshiradi. Agar bunda ko'p sonli uzatishlar ishlatilsa, bunday hujumlardan ko'rildigan zarar juda katta bo'lishi mumkin. Bunday hujumdan maqsad oddiy eNBni ishdan chiqarish yoki uni soxta eNB bilan almashtirish bo'lishi mumkin. Bunday hujumlarga qarshi turish uchun eNBlarda autentifikatsiya choralari ko'rish kerak, ya'ni bir eNB mos autentifikatsiyasiz boshqa eNBga bog'lanmasligi kerak.

AU tomonidan eNBga qarshi DoS hujumi.

Hujum qiluvchi qo'lga olingan AUdan eNBga mos paketlarni yuboradi va boshqa AUlar uchun eNBning ishini bloklay (to'sib) qo'yadi, yoki ma'lum bir eNBning signalini so'ndiradi. Bunday hujumning maqsadi huddi oldingi hujumnikidek. Bu hujumlarga qarshi turish uchun autentifikatsiya jarayoniga qo'shimcha trafik butunligini himoyalashni qo'llash tavsiya etiladi. Shuningdek, AU va eNBlarni o'zaro autentifikatsiya qilish uchun eNBda o'rnatilgan session (vaqtinchalik) kalitlar qo'llanilishi mumkin. Radio-signalning so'ndirilishiga kelsak, bunday hujumga qarshi turish oson emas, lekin bunday hujumlarni nisbatan tez topish va bartaraf etish mumkin.

23.5. MMEga tahdidlar.

Radioulanish tarmog'i tomonidan MMEga qarshi DoS hujumi

Bunda hujum qiluvchi radioulanish tarmog'i tomonidan boshqaruv komandalaridan foydalangan holda (masalan, tarmoqqa ulanish uchun birlamchi autentifikatsiya so'rovini yuborib), MMEga qarshi mantiqiy DoS hujumini amalga oshiradi. Bunday hujumlardan maqsad tarmoqda uzilishlarga erishish yoki qandaydir eNBlarni almashtirish hisoblanadi. Bunday hujumlarga tarmoq tugunlarini autentifikatsiyalash bilan birga boshqaruv komandalari butunligini himoyalashdan foydalanish hisobiga qarshi turish mumkin. Shuningdek, AUning gumonli harakati sezilganda ma'lumot uzatish tezligini kamaytirish choralaridan foydalanish ham mumkin.

23.6. Mobillikni boshqaruv tizimiga tahdidlar

Bu hujum ham mobillikni boshqaruv protokoliga, ham arxitekturasiga tegishli bo'lib, bunda avvalambor AU va tarmoqlar orasidagi "xendover"ni boshqaruv tushuniladi. Bunday turdagi hujumlar va tahdidlar bir necha turlarga bo'linadi.

Boshqaruv sathidagi ma'lumotlarga ruxsatsiz ulanish.

Mobillikni boshqaruv trafikiga ruxsatsiz ulanish hisobiga abonentlar va tarmoq provayderlari haqida "ta'sirchan" ma'lumotlarga ega bo'lish mumkin va bu bilan tizimning konfidentsialligi buzish mumkin. Boshqaruv sathidagi ma'lumotlarni ushlab olish mumkin qachonki, ular hech qanday himoyalangan bo'lsa yoki agar ular himoyalangan bo'lsa ham, shifrlash boshlanadigan tugunni buzish, aldash yoki niqoblash usullari hisobiga. Trafikning ushlab olinishiga qarshi shifrlashdan, buzishdan himoyalash uchun esa kalitlar saqlanadigan tarmoq tugunlarini jismoniy muhofaza qilish hamda ulanishni autentifikatsiyalash va avtorizatsiyalashdan foydalanish mumkin.

Shaxsiy ma'lumotlarning maxfiyligi.

Mobillikni boshqaruv xizmat trafigini kuzatish va tahlil qilish hisobiga shaxsiy ma'lumotlarning maxfiyligini buzish mumkin (masalan, abonentning joylashgan o'rnini aniqlash mumkin). Bunga qarshi turish vositalari yuqoridagi hujumdagidek bo'lishi mumkin va, shuningdek, shifrlash bilan birga xeshlash ishlatilishi ham mumkin.

23.7. LTE tarmoqlarida axborot xavfsizligini tashkil etilishi

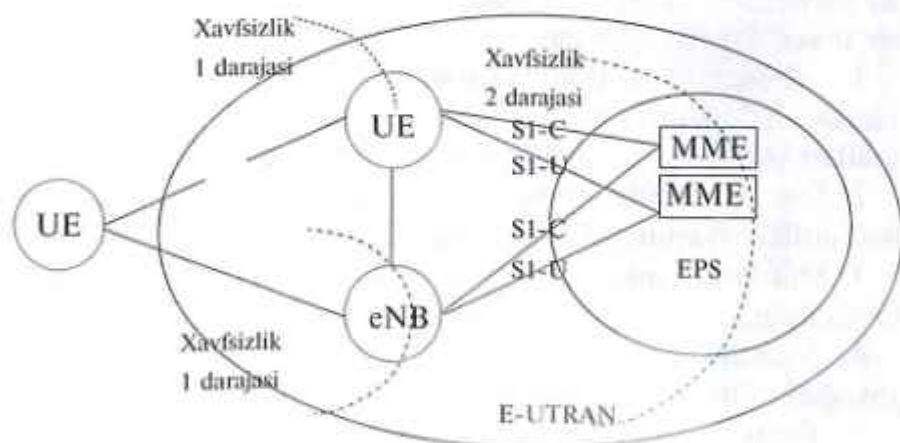
LTE tarmoqlarida axborot xavfsizligini tashkil etishning asosiy prinsipi bu ulanish darajasi — AS (eNB dagi RRS darajasi) va ulanishga javob bermaydigan daraja — NAS orasidagi boshqaruv signallarini himoyalash choralarining ajratilishi bo'ldi. Shuningdek, abonent sathidagi xavfsizlik jarayonlarini eNBdan yuqoriroqda bajarish hamda radioulanish va tayanch tarmoqlari uchun turli shifrlash kalitlaridan foydalanishga qaror qilindi. Natijada, LTE tarmoqlari UTRAN tarmoqlarida ishlatiladigan bir darajali perimetr bo'yicha himoyalash tizimidan farqli o'laroq ikki darajali himoyalash tizimiga ega bo'ldi. Ushbu tizimning birinchi darajasi E-UTRAN radioulanish tarmog'i xavfsizligini ta'minlasa (RRC xavfsizligi va abonent sathini himoyalash), ikkinchi daraja esa EPC tayanch tarmog'ini himoya qiladi (NAS signallarining xavfsizligi).

Ishlab chiquvchilarning maqsadi radioulanish darajasidagi (1-daraja) buzilishlarning EPC darajasiga (2-daraja) ta'sirini minimallashtirish bo'ldi. Bu yondashuv tarmoqning umumiy xavfsizligini kuchaytirdi va eNB tugunlarini, tarmoqning umumiy xavfsizligini pasaytirmagan holda kamroq ishonchli joylarga joylashtirishga ham imkon berdi. Shuningdek, bunday yechim hatto tayanch tarmog'i turli radioulanish texnologiyalari bilan ishlagan hollada ham tarmoq xavfsizligi holatini tahlil qilish va baholash imkoniyatini soddalashtiradi. Lekin bu shuni ham bildiradiki, endi S1-C (*ingl. S1-Control*) va S1-U (*ingl. S1-User*) deb belgilangan

boshqaruv va abonent sathlaridagi 1- va 2-darajalar orasidagi interfeyslarni tashkil qilishga alohida e'tibor talab etiladi.

Xatto agar hujum qiluvchi 1-darajadagi himoyani buza olsa ham, 2-daraja buzilmagan qoladi. Biroq bunda buzilishning ta'sirini minimallashtirish va uni ajratib qo'yish uchun 1-darajadagi buzilishning butun LTE/SAE tizimiga qanday ta'sir ko'rsatishini baholash zarur bo'ladi.

Shunday qilib, S1-C va S1-U lardan tashkil topgan S1 interfeysi xavfsizlik ikki darajasining o'zaro hamkorlik tayanch nuqtasi bo'lib qoladi va shu sabab ishlab chiqarishda alohida e'tibor talab qiladi (23.1-rasm). ENB tugunlari va EPC tarmoqlari orasidagi barcha xizmat ma'lumotlari xavfsizlik nuqtayi nazaridan qat'iy nazorat qilinishi ham katta ahamiyatga ega.



23.1-rasm. *LTE tarmog'ida xavfsizlik darajalari.*

3GPP ning 3.3.401 Texnik spetsifikatsiyasida besh guruh xavfsizlik funksiyalari ta'riflangan (23.2-rasm).

1. Tarmoqqa xavfsiz ulanish abonentlarni mobil aloqa xizmatlariga xavfsiz ulanishlarini ta'minlaydi va ulanish interfeyslariga hujumlardan himoya qiladi.

2. Tarmoq domeni xavfsizligi tarmoq tugunlari orasida boshqa-

ruv va abonent ma'lumotlarining xavfsiz almashuvini ta'minlaydi va simli tarmoqlarga qaratilgan turli hujumlardan himoya qiladi.

3. Foydalanuvchi domeni xavfsizligi abonent uskunalarining xavfsiz ulanishini ta'minlaydi.

4. Ilovalar domeni xavfsizligi abonent va operator domenlaridagi ilovalar orasida xavfsiz ma'lumot almashuvini ta'minlaydi.

5. Xavfsizlik tizimining ko'rgazmaliligi va sozlanuvchanligi foydalanuvchiga xavfsizlik funksiyalari faolligini kuzatish hamda xizmatlarga ulanishning qaysi holatlarida xavfsizlik funksiyalari qo'llanishi kerakligini bilish imkonini beradi.

Xavfsizlikning har bir funksiyasi o'z ichiga yoki qo'shimcha xizmatlarni, yohud bir yoki bir nechta mobil aloqa xizmatlarini taqdim etuvchi tarmoq funksiyalarini oladi. LTE/SAE tarmoqlarida xavfsizlikni ta'minlash funksiyalari qo'llanishida quyidagi asosiy masalalar hal qilinadi:

1. Abonentni autentifikatsiyalash va so'ralgan xizmatlarni ko'rsatish imkoniyatini tasdiqlash yordamida LTE tarmog'i xizmatlaridan ruxsatsiz foydalanish holatlaridan himoyalaniish.

2. Davriy identifikatorlar va shifr kalitlari yordamida abonent autentifikatsiyasining himoyalanganligini ta'minlash.

3. Shifrlash yordamida abonent ma'lumotlarining maxfiyligini ta'minlash.

4. Signalizatsiya xabarlaridagi ma'lumotlarni autentifikatsiyalashni ta'minlash.

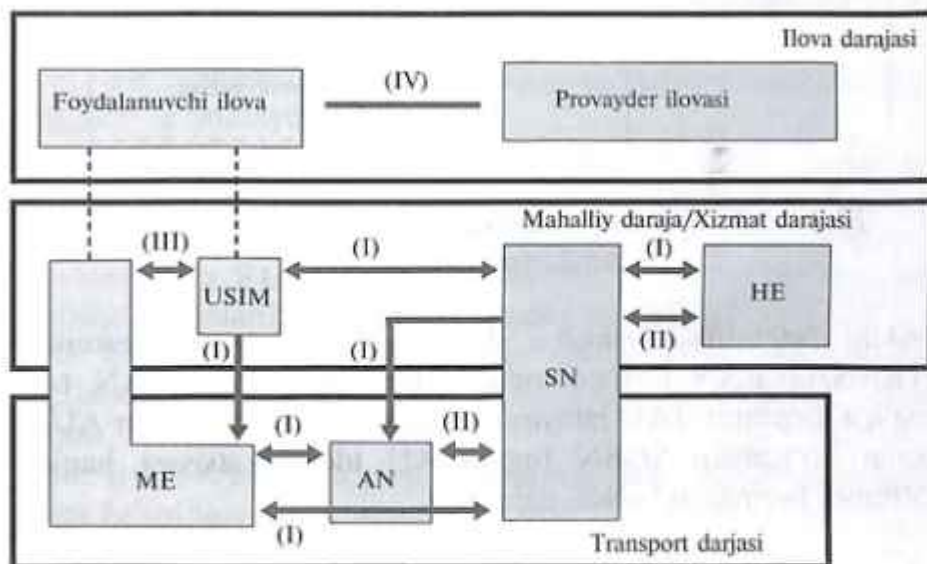
5. Tarmoqlarni mobil terminallari tomonidan autentifikatsiyalashni ta'minlash.

6. Mobil terminallarni identifikatsiyalash.

Ushbu masalalarning oxirgisini batafsilroq ko'rib chiqamiz:

Mobil terminalni (abonent uskunasi) identifikatsiyalash mobillikni boshqaruv moduli – MME yoki “uy” abonentlar serveri – HSS va/yoki uskunani identifikatsiyalash registri – EIR (*ingl. Equipment Identity Register*) yordamida P-GW shlyuzi tomonidan bajariladi va ishlatilayotgan abonent uskunasi aslligini (ishonchliligini) tekshirish uchun keraklidir. AUni aslligini

tekshirish tarmoqqa o'g'irlangan yoki buziq AUning ulanishini oldini oladi. AUning identifikatsiyasi uni aslligini tekshirish uchun mobil terminal identifikatori IMEIni EIR registriga jo'natish yo'li bilan MME modulida amalga oshiriladi. So'ng munosib buyruq berilishi uchun EIR registrining javobi tahlil qilinadi (masalan, agar EIR registri AUni "qora ro'yxatda"ligini aniqlasa, "aloqani uzish" buyrug'i jo'natiladi).

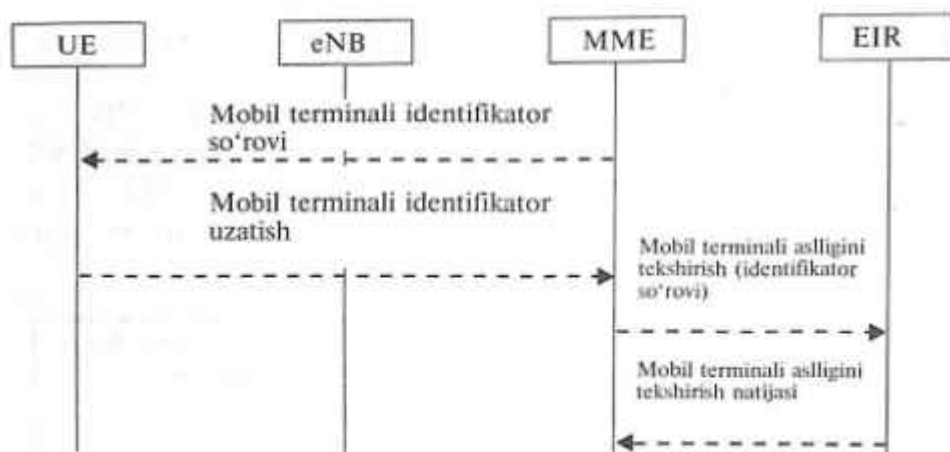


23.2-rasm. LTE/SAE tarmog'ida axborot xavfsizligining tashkil etilishi.

AUni aslligini tekshirish jarayoni 23.3-rasmda ko'rsatilgan.

"Rouming" holatida AUni identifikatsiya qilish xususiyatlarini ko'rsatib o'tamiz.

AU identifikatsiyasi "uy" tarmog'ining EIR registri yordamida quyidagi holatlarda amalga oshiriladi: mehmon tarmoq AU dan dastlabki ulanish (*ingl. Initial Attach*)ga talab olgan hollarida, faqat bu talab "xendover" jarayonini bajarish uchun dastlabki ulanish hollaridan tashqari.



23.3-rasm. *Abonent uskunasi (mobil terminal) aslligini tekshirish jarayoni.*

AUni identifikatsiyalash, shuningdek, abonent uskunasi UTRAN/GERAN tarmoqlarida bo'lib, so'ng E-UTRAN tarmog'iga kirganida TAU jarayoni amalga oshirilganda, agar AUga xizmat ko'rsatgan SGSN tuguni AU identifikatsiyasi haqida ma'lumot bermagan bo'lsa, bajariladi.

Nazorat savollari:

1. LTE texnologiyasi haqida umumiy ma'lumotlarni keltiring. LTE tizimlari xarakteristikalariga asosiy talablar qanday bo'lgan?
2. LTE standartining asosiy texnik xarakteristikalarini keltiring.
3. LTE tizimida ma'lumot uzatish tayanch tarmog'ining yangi arxitekturasida qanday nom oldi? Uning asosiy vazifalari qanday?
4. LTE/SAE arxitekturasida qaysi bo'limlar asosiy hisoblanadi? LTE/SAE umumiy arxitekturasining soddalashtirilgan sxemasini chizing.
5. E-UTRAN tarmog'ining tuzilmasi va funksiyalarini bayon eting.

6. MME, S-GW va P-GW tarmoq tugunlarining funksiyalarini bayon eting.

7. GSM va WCDMA/HSPA tarmoqlari LTE/SAE tarmoqlariga qanday ulanadi?

8. EPS nimitizimining vazifasi qanaqa? S1-flex mexanizmi nimaga xizmat qiladi? Tarmoqni birgalikda ishlatish qanday amalga oshiriladi?

9. LTE/SAE arxitekturasida boshqaruv va abonent sathlarida protokol steklarini keltiring.

10. RLC darajasi ma'lumot uzatishning qanday ishonchlilik rejimlarini ta'minlaydi?

11. LTE tizimida ishonchlilikni ta'minlash uchun qanday paketlarni takroriy uzatish mexanizmlaridan foydalaniladi?

12. 3GPP loyihasi doirasida "xendover" da AU uchun kontekstni uzatishda RLC darajasi kontekstini uzatish va RoHC jaryonidan foydalanish masalalari qanday yechilgan?

13. E-UTRA tarmog'ida "pastga" va "yuqoriga" yo'nalishlarda qanday kanallarni ajratish texnologiyalari tanlangan? Nima uchun?

14. E-UTRA texnologiyasining asosiy miqdoriy xarakteristikalarini keltiring.

15. E-UTRA freymining tuzilmasini keltiring.

16. OFDM texnologiyasiga qisqacha tavsif bering va uning asosiy afzalliklarini sanab o'ting.

17. E-UTRA tarmoqlarida ko'p antennali tizimlar nima sababdan va nima uchun ishlatiladi?

24-bob. KENG POLOSALI SIMSIZ ALOQA TIZIMLARINING RIVOJLANISHI

24.1. Keng polosali simsiz ulanish (KSU) texnologiyalari

Keng polosali simsiz ulanish (KSU) texnologiyalari infokomunikatsion texnologiyalarning nimsinfi hisoblanadi va bir-biridan olisdagi ikki va undan ortiq obyektlar oralig'ida simli ulanishsiz axborot uzatish uchun ishlatiladi. Simsiz aloqa uchun radioto'lqinlar, infraqizil, optik yoki lazerli nurlanishlar ishlatilishi mumkin. Hozirgi vaqtda foydalanuvchilarga Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, RFID, ZigBee kabi "tijorat" nomlari bilan ma'lum bo'lgan ko'plab simsiz texnologiyalar mavjud. Ularni har biri o'zining qo'llanish sohasini aniqlaydigan ma'lum xarakteristikalar to'plamlariga ega.

Keng polosali simsiz ulanish texnologiyalari simsiz va tarmoq texnologiyalari sinergiyasini namunasi hisoblanadi va juda katta rivojlanish istiqboliga ega. Shu sabab keng polosali simsiz texnologiyalar tarixining boshlanishi deb, qaysidur ma'noda, ilk radioaloqa paydo bo'lishini hisoblash mumkin. Ma'lumki, radioaloqaning birinchi omadli sinovlari 1893-yilda serb olimi Nikola Tesla, keyinchalik 1895-yilda A.S.Popov va italiyalik Guglielmo Markoni (Guglielmo Marconi) tomonlaridan bir-birlaridan mustaqil ravishda amalga oshirildi. Bu kashfiyotlar birinchi marta simsiz axborot uzatish imkoniyatini ko'rsatdi va bu bilan aloqa rivojlanishi tarixida yangi erani boshladi. Keyin esa insoniyat qadamma-qadam simsiz aloqa va axborot uzatish tizimlarida yanada katta yutuqlarga erishdi, xususan:

- XX asrning 20-yillarida amplitudaviy modulyatsiyaning birinchi tijorat radiobloklari paydo bo'ldi;
- 1933-yilda chastotaviy modulyatsiyali radio kashf qilindi va televidenie paydo bo'ldi;
- 1946-yilda AT&T va Bell Systems (AQSH) kompaniyalari bo'lajak sotali tizimlarning timsoli bo'lgan harakatdagi telefon aloqa tajriba tizimini (*ingl. MTS*) ishga tushirishdi;

- 70-yillarning oxirlarida sotali aloqaning birinchi avlodi — 1G tizimlari ishga tushirildi;

- 1973-yilda lokal kompyuter tarmoqlarning birinchi protokoli — Ethernet ishlab chiqildi (keyinchalik u IEEE 802.3 statusini oldi);

- 80-yillarda ma'lumot uzatish bo'yicha harbiy tizim — ARPANET dastlab milliy, keyin esa xalqaro miqyosdagi umumiy foydalanish tarmog'i — INTERNETga aylandi.

- XX asrning 90 yillarining boshida ma'lumot uzatish tarmoqlariga keng polosali simsiz ulanish usulining birinchi ishlanmalari paydo bo'ldi.

Shunday qilib, simsiz (avvalambor, sotali) texnologiyalar simli (tarmoq) texnologiyalarning shiddatli rivojlanishi bilan chambarchas holda hamda kompyuter va Internet texnologiyalarining ommaboplashishi tufayli hayotimizga uzluksiz holda kirib kelmoqda va tezkor rivojlanib, o'zlari ham yangi xizmatlar va uskunalarni yaratishiga zamin bo'lmoqda.

Shu munosabat bilan simsiz texnologiyalarining lokal (WLAN), o'rta va qisqa masofalardagi (WPAN) va shahar va tuman ko'lamlaridagi (WMAN) tarmoqlarini rivojlanishi istiqbolli hisoblanadi.

Simsiz texnologiyalar standartlarini ishlab chiqishning boshlang'ich nuqtasi sifatida 1989-yilda IEEE (Elektronika va elektrotexnika bo'yicha muxandislar instituti) qoshida 802.11 qo'mitasi tashkil etilishi hisoblanadi. Ko'mita birinchi navbatda kichik (lokal) o'lchamlardagi simsiz tarmoqlarni ishlab chiqish bilan shug'ullandi va shu asno Wi-Fi tizimlari paydo bo'ldi. Ushbu g'oya asta-sekin "so'nggi milya" aloqasi va shahar hamda hududiy tarmoqlar uchun ham qo'llana boshladi va bu o'tgan asrning 90-yillari oxirlarida IEEE 802.16 (WiMAX) standartlar guruhining paydo bo'lishiga olib keldi.

Hozirgi vaqtda Wi-Fi va WiMAX tizimlari yanada ommabop bo'lmoqda. Simsiz texnologiyalar foydalanuvchilarining eng o'suvchi segmenti sifatida korporativ mijozlar (ya'ni tashkilot ishchilari) bo'lmoqdalar. Ma'lumotlarni simsiz uzatish xizmati

muhim strategik vosita bo'lib qolmoqda: u mehnat unumdorligini oshirmoqda (xizmatchilar korporativ axborotlarga har doim va har joyda ulana olishadi, yangiliklar haqida tezroq xabardor bo'lishadi), mijozlarga ko'rsatilayotgan xizmatlar sifatini oshirmoqda (mijozlar talablarini tezroq qabul qilib, ularni tezroq qondirish mumkin) va raqobatli afzalliklarni yaratmoqda (axborot almashuvi tezligini oshirish va shu bilan qaror qabul qilish tezligini ham oshirish mumkin).

Simsiz texnologiyalarning rivojlanishida uy foydalanuvchilari-ning ahamiyati katta. Uy tarmog'ida qancha ko'p uskuna bo'lsa, ularni bog'laydigan simlar ham uyni shunchalik kuchli o'rab oladi. Va bu simsiz texnologiyalarga o'tishga sabab bo'ladi. Zamonaviy uyning komfortlik (qulaylik) darajasini oshirish, ya'ni uning barcha tuzilmalari va obyektlarini (kompyuterlar, televizor, raqamli fotokamera, uy musiqiy markazi, qo'riqlash tizimi, iqlim tizimi, maishiy texnika va boshqalar) bir tizimga birlashtirish – bu "aqlli uy" g'oyasining asosidir va bunda simsiz texnologiyalardan foydalanish ko'zda tutilgan.

Bu yerda shuni ta'kidlab ketish zarurki, keng polosali simsiz texnologiyalarning rivojlanishi axborot xavfsizligini ta'minlash masalalarini yanada dolzarb qiladi. Simsiz tarmoqlar ishlatilganda asosiy tahdidlar xabarlarni, parollarni, kredit kartochkalar nomerlarini ilib olish, to'langan ulanish vaqtini o'g'irlash, kommunikatsion markazlar ishiga aralashish va boshqalar hisoblanadi. Bu muammolar aloqa standartlarini takomillashtirish jarayonida hal qilinadi.

24.2. Keng polosali simsiz texnologiyalarning klassifikatsiyasi (sinflarga bo'lish) bo'yicha yondashuvlar

Simsiz texnologiyalar nazariyasida ularni sinflarga bo'lishda turli yondashuvlar mavjud. Jumladan, raqamli va analog, tor va keng polosali texnologiyalar ajratiladi. Bu ajratishlarga aniqlik kiritish uchun bir qancha tushuntirishlarni keltiramiz.

Raqamli texnologiyalar haqida gap ketganda ko'pincha signal ham raqamli (diskret) shaklga ega bo'lishi tushuniladi. Bu tushuncha ko'proq simli tarmoqlar uchun to'g'ri bo'ladi. Simsiz tarmoqlarda esa "raqamli" belgisi radiokanal orqali uzatiladigan axborotlarga tegishli, ammo radiosignalni o'zi esa hali ham garmonika shaklidagi modulyatsiyalangan analog signali bo'ladi.

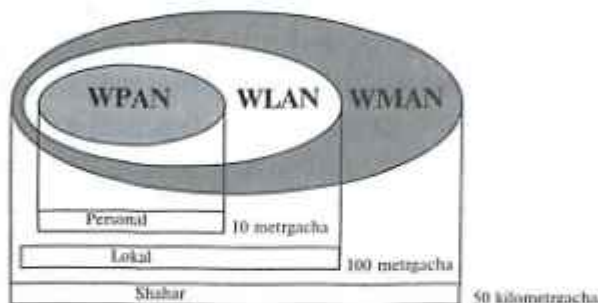
Tor va keng polosali tizimlar orasidagi farqni ham oson aniqlab bo'lmaydi (ular orasidagi chegara ham texnologiyalar rivojlangan sari yuqoriga siljimoqda). Shuningdek, bu belgiga nisbatan ham simli va simsiz texnologiyalarda qabul qilingan tushunchalar orasida farq kuzatiladi. Masalan, simli tarmoq texnologiyalarida ma'lumotni tor polosada (*ingl. baseband*) uzatish deganda raqamli uzatish shakli tushuniladi (ya'ni diskret elektr yoki optik impulslar vositasi bilan). Va aksincha, keng polosa (*ingl. broadband*) sifatida elektron yoki optik to'lqinlarni ishlatadigan analog kanallar nazarda tutiladi. Simsiz tarmoqlarda nazariy qabul qilinishicha, ishchi polosasining kengligi F bu polosaning markaziy chastotasi f_c dan ancha kam (ya'ni, $F/f_c \ll 1$) bo'lgan tizim tor polosali hisoblanadi. Aks holda, tizim keng polosali hisoblanadi. Amalda esa hozirgi vaqtda 1,25MGs dan 40MGs gacha kenglikdagi kanallarni ishlatadigan texnologiyalar keng polosali tizimlar turkumiga kiritiladi. Shuningdek, keng polosali texnologiyalar yuqori ma'lumot uzatish tezligini (1Mbit/sekdan past emas) ta'minlaydi. Mazkur qo'llanmada keng polosali simsiz raqamli tizimlar sinfiga kiradigan texnologiyalar yoritiladi va ularni sinflarga bo'lishda ko'pincha quyidagi yondashuvlar ishlatiladi:

1. Aloqaning uzoqligi bo'yicha tarmoqlar quyidagi sinflarga ajratiladi:

- Bir necha detsimetrlardan bir necha dekametrlargacha radioqamrovga ega simsiz personal tarmoqlar (*ingl. Wireless Personal Area Networks — WPAN*). Periferiya uskunalari, turli hisoblagichlar, xabarchilar (*rus. датчик*) va boshqalar bilan aloqa uchun mo'ljallangan. Bu texnologiyalar misollari: Bluetooth, RFID, ZigBee lardir.

- Bir necha yuzlab metrlargacha ta'sir etish radiusili simsiz lo-
kal tarmoqlar (*ingl. Wireless Local Area Networks — WLAN*). Ular
ofis (tashkilot) ichidagi (ba'zan ofislararo) aloqani tashkil etish
uchun mo'ljallangan. Ular qatoriga Wi-Fi, DECT, Femto-sota
kabi texnologiyalarni qo'shish mumkin.

- Bir necha, hatto o'nlab kilometrlargacha qamrov radiusi-
ga ega shahar (hudud) ko'lamidagi simsiz tarmoqlar (*ingl. Wire-
less Metropolitan Area Networks — WMAN*). Yirik shahar atrofida
yoki tumanlarda xizmat ko'rsatadigan tarmoqlarni yaratish uchun
mo'ljallangan tizimlar. Ular sifatida WiMAX va WiBro texnologi-
yalari, sotali va trunking, shuningdek radio va teleuzatish tizimlari
misol bo'lishi mumkin (24.1-rasmga qarang).

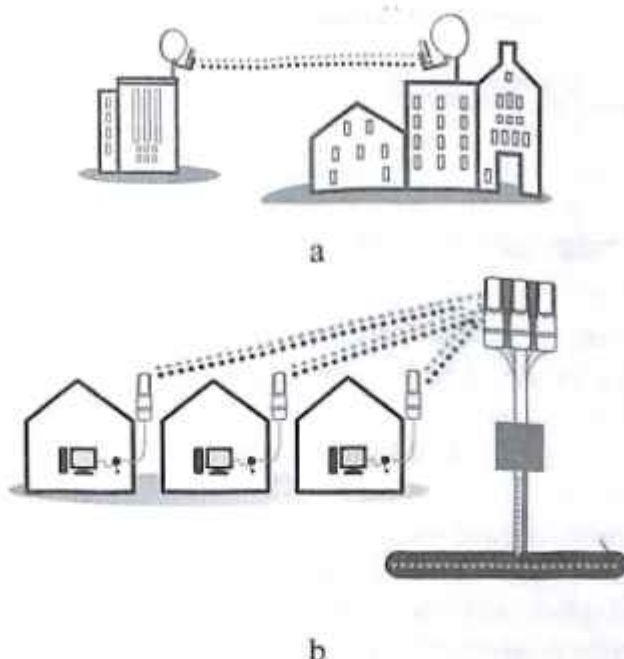


24.1-rasm. Aloqaning uzatish bo'yicha simsiz texnologiyalarning sinflarga bo'linishi.

Shuningdek, ba'zan global ko'lamdagi simsiz tarmoqlar (*ingl. Wireles World wide Area Networs — WWAN*) ham alohida ajratiladi. Ular qatoriga avvalambor yo'ldoshli aloqa tizimlari, shuningdek "global rouming" tufayli sotali aloqa tizimlari ham kiritiladi.

2. Tarmoqlar topologiyasi bo'yicha quyidagi ulanish rejimlari ajratiladi:

- tarmoqning ikki tuguni bevosita ulanadigan "nuqta-nuqta" rejimi.
- bir ulanish nuqtasi (tayanch stansiya) ko'p sonli abonent uskunalari bilan ulanadigan "nuqta-ko'p nuqta" rejimi (24.4-rasmga qarang, mos ravishda a va b).



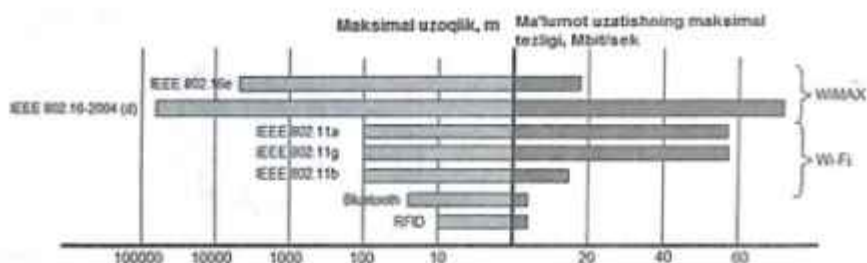
24.2-rasm. *Tarmoq topologiyasi bo'yicha simsiz texnologiyalarning sinflarga bo'linishi.*

3. Qo'llanish turi bo'yicha simsiz tarmoqlar quyidagilarga bo'linadi:
- o'z zarurlari uchun tashkilotlar va kompaniyalar tomonidan yaratiladigan korporativ tarmoqlar;
 - tijorat xizmatlarini ko'rsatish uchun aloqa operatorlari tomonidan yaratiladigan tarmoqlar.

4. Shuningdek, qisqa va sig'imli klassifikator sifatida KSU texnologiyalarning ikki eng muhim xarakteristikalarini bir vaqtda taqqoslab ko'rsatish ham mumkin. Bular quyidagilardir:

- ma'lumot uzatishning maksimal tezligi;
- maksimal aloqa uzoqligi (24.3-rasmga qarang).

Xulosa qilib shuni ta'kidlash lozimki, keng polosali simsiz aloqa tizimlarini sinflarga bo'lishga yondashuvlarda (boshqa murakkab va rivojlanayotgan tizimlardagi kabi) klassifikatsiya mezonlarining o'zi ham bir xil emasligini va o'zgaruvchanligini hisobga olish zarur.



24.3-rasm. Ma'lumotlarni uzatish tezligi va aloqaning uzoqligi bo'yicha simsiz texnologiyalarning sinflarga bo'linishi.

24.3. Wi-Fi texnologiyasining tahlili

Wi-Fi texnologiyasi haqida axborotlar yetarlicha ko'pligini hisobga olgan holda mazkur qo'llanmada u qisqacha bayon etilgan. Shuningdek, WLAN sinfidagi texnologiyalarga alohida kitob bag'ishlanishi rejalashtirilgan.

Wi-Fi (ingl. *Wireles Fidelity* — boshlanishida “simsiz aniqlik” deb ifodalangan) texnologiyasi deb Wi-Fi Alliance konsorsiumi tomonidan ishlab chiqilgan WLAN sinfiga qarashli va IEEE institutining 802.11 standartlar turkumiga kirgan tizim hisoblanadi. Ushbu texnologiya yuqori sifatli ovoz yozish va eshitirish standarti **Hi-Fi** (ingl. *High Fidelity* — “yuqori aniqlik”)ga o'xshatib nomlangan.

Wi-Fi tarmoqlaridan foydalanish simli tarmoqlar qurish mumkin bo'lmagan yoki iqtisodiy tarafdin maqsadga muvofiq bo'lmagan joylarda tavsiya etiladi. Hozirgi vaqtda Wi-Fi tarmoqlari ham korporativ, ham xususiy foydalanuvchilar tomonidan keng ishlatilmoqda. Zamonaviy Wi-Fi tizimlarida ma'lumot uzatish tezligi muayyan sharoitlarda 600Mbit/sek largacha yetadi. Wi-Fi tarmoqlarida aloqaning turg'un va mobil rejimlari qo'llab-quvvatlanadi. Abonent qabul qilgich/uzatkich uskunasini — “Wi-Fi adapteri” bilan jihozlangan mobil terminallar (cho'ntak kompyuterlari, smartfonlar va noutbuklar) lokal tarmoqlarga va ulanish nuqtasi yoki “xot-spot” deb nomlangan nuqtalar orqali Internetga ulanishi mumkin.

24.3.1. Wi-Fi texnologiyasining rivojlanish tarixi

Yuqorida aytib o'tilganidek, WLAN sinfidagi tarmoqlarning yagona standarti ustida ishlar IEEE instituti qoshida yaratilgan 802.11 ishchi guruhi doirasida boshlangan edi. Wi-Fi texnologiyasining ilk namunasi 1991-yilda Nivegeyn shahrida (Niderlandiya) NCR Corporation/AT&T (keyinchalik Lucent va Agere Systems) kompaniyasi tomonidan ishlab chiqildi. Uskuna dastlab kassa apparatlarida ishlatish uchun mo'ljallangan va bozorga WaveLAN nomida chiqarilgan edi. O'shandayoq bu uskunalar 1 dan 2Mbit/sek gacha ma'lumot uzatish tezligini ta'minlay olardi. Wi-Fi texnologiyasini asosiy ishlab chiquvchisi — janob *Vik Keyz (Vic Hayes)* "Wi-Fi otasi" degan nom oldi va keyingi IEEE 802.11b, 802.11a va 802.11g standartlarini ishlab chiqishda qatnashgan jamoaning a'zosi bo'ldi [34].

1997-yilda IEEE 802.11 belgisini olgan birinchi Wi-Fi standarti paydo bo'ldi. Bu standart radiochastota va infraqizil to'lqinlarida ishlashga mo'ljallangan bo'lib, 1 va 2 Mbit/sek ma'lumot uzatish tezliklarini taqdim etdi. Radiochastota kanalida chastotalarda sakrash (*rus. nepeckok*) hisobiga spektrni kengaytirish (*ingl. Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS*) va to'g'ri ketma-ketlik hisobiga spektrni kengaytirish (*ingl. Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS*) usullari ishlatildi.

Ammo, hatto 1997-yil uchun ham 1–2Mbit/sek tezliklar yetarli bo'lmadi va 802.11 guruhi yangi yuqoriroq tezliklarni taqdim etadigan standartlarni ishlab chiqish ustida harakatlar boshladi. Bu vaqtga kelib ko'plab davlatlarda Wi-Fi tarmoqlari uchun HTI tomonidan tavsiya etilgan 2400–2483,5MGs va 5150–5350MGs diapazonlaridagi polosalarga ruxsat berildi va har ikkala diapazonlarda standartlar yaratish ustida parallel ishlar olib borildi.

Dastlab 1999-yilning 16-sentyabirida 2,4GGs diapazoniga mo'ljallangan va ma'lumot uzatish tezligini nazariy jihatdan 33Mbit/sekga oshirgan IEEE 802.11b standarti paydo bo'ldi. Ishlatilgan asosiy modulyatsiya/kodlash SSK (*ingl. Complementary Code Keying*) usuli 11 Mbit/sek gacha tezlikni ta'minladi va

qo'shimcha PBCC (*ingl. Packet Binary Convolutional Coding*) paketli binar o'rashli kodlash (*rus. сверточное кодирование*) usuli tezlikni 22 va 33Mbit/sek gacha oshirdi.

5Gs diapazoni uchun mo'ljallangan IEEE 802.11a standarti "11b" versiyasidan keyinroq, ya'ni 1999-yilning sentyabrida, paydo bo'lsa-da, lekin xarakteristikalarini bo'yicha undan o'zib ketdi. U 54Mbit/sek gacha ma'lumot uzatish tezligiga erishdi. Bunga o'sha paytda prinsipial yangi bo'lgan OFDM mexanizmidan foydalanish tufayli erishildi.

2003-yil iyunida IEEE 802.11b standartining takomillashtirilgan versiyasi —IEEE 802.11g paydo bo'ldi. U "11b"ning chastota diapazonida ishlar edi, va "11a"ning tezligini (ya'ni 54 Mbit/sek) ta'minlar edi.

Nihoyat 2009-yilning 11-sentyabrida uzoq kutilgan IEEE 802.11n standarti dunyoga keldi. Uni paydo bo'lishi Wi-Fi texnologiyalarida yangi "sakrash" bo'ldi. "11n" standartida MIMO texnologiyasi, MAS-paketlarni agregatsiyalash usuli, 40MGs chastotalar polosasidan foydalanish kabi ko'plab texnologik yangiliklar qo'llanildi va birgalikda bu standartdagi yuqori ma'lumot uzatish tezligini ta'minladi (nazariy jihatdan 600Mbit/sek gacha). "11n" standarti avvalgi barcha standartlar (ya'ni, "a", "b" va "g" versiyalari) bilan moslasha oladi va bugungi kunga kelib (2011-yilning boshi) dunyoda eng ko'p tarqalgan Wi-Fi standarti bo'lib qoldi [35].

Hozirgi vaqtda o'zining xarakteristikalarini bo'yicha 4G texnologiyalari talablariga mos bo'la oladigan standartning keyingi versiyasi, xususan IEEE 802.11ac standarti ustida ishlar olib borilmoqda.

24.4. Wi-Fi texnologiyasining ishlash prinsiplari

Odatda, Wi-Fi tarmog'ining tuzilmasi kamida bitta ulanish nuqtasi (UN) va kamida bitta abonent uskunasi — Wi-Fi adapterdan iborat bo'ladi. Shuningdek, UN ishlatilmaganda ikkita adapterni "nuqta-nuqta" rejimida ulash mumkin va bunda abonent uskunalarini bir-biri bilan Wi-Fi-adaptinglar orqali "to'g'ridan to'g'ri" ulanadi. Ulanish

nuqtasi o'z tarmoq identifikatorini (*ingl. Service Set Identifier, SSID*) maxsus signalli paketlar yordamida har bir 100 ms da 0,1Mbit/sek tezlikda uzatadi (demak, Wi-Fi tizimlari uchun ma'lumot uzatish tezligining eng kichik ko'rsatkichi 0,1Mbit/sek hisoblanadi). Tarmoq SSIDsin bilgan adapter bu UN ga ulanish mumkinligini aniqlashi mumkin. Bir xil SSID li ikkita UN ning ta'sir etish zonasiga tushganda adapter signal darajasiga asoslanib ulardan birini tanlashi mumkin. Wi-Fi standarti abonent uskunasi ga UN bilan ulanish va "rouming" uchun mezonlarni tanlashda to'la erkinlikni beradi.

24.5. Tarmoqning asosiy elementlari

Simsiz tarmoqni qurish uchun Wi-Fi adapterlar va ulanish nuqtalari ishlatiladi.

Adapter (24.4-rasm) PCI, PCMCIA, Compact Flash kengaytirish slotlari va USB 2.0 porti orqali ulanadigan uskuna hisoblanadi. Wi-Fi-adapter simli tarmoqdagi tarmoq kartasi (rus. *сетевая карта*) kabi funksiyalarni bajaradi, ya'ni foydalanuvchi kompyuterini simsiz tarmoqqa ulash uchun xizmat qiladi.

Intel ning Centrino platformasi tufayli barcha zamonaviy noutbuklar ko'plab Wi-Fi standartlari bilan moslasha oladigan adapterlar bilan jihozlangan. Wi-Fi adapterlari bilan hozirgi kunda barcha zamonaviy KPK (cho'ntak personal kompyuterlari) va smartfonlar ham jihozlangan va bu ham o'z o'rnida texnologiyani ommaviy bo'lishiga xizmat qiladi.



24.4-rasm. Wi-Fi adapterlar.

Simsiz tarmoq tashkil etish uchun Wi-Fi adapter boshqa adapterlar bilan to'g'ridan to'g'ri aloqa o'rnatishi ham mumkin. Bunday tarmoq "bir darajali" yoki "Ad Hoc" (*ingl. "ushbu holat uchun"*) deyiladi. Adapter shuningdek, UN orqali aloqa o'rnatishi ham mumkin, u holda bunday rejim "infratuzilmali" deyiladi. Ulash uslubini tanlash uchun adapter Ad Nos yoki infratuzilmali rejimlardan biriga sozlanishi kerak.

Ulanish nuqtasi deb (24.5-rasm) ichiga o'rnatilgan mikro-kompyuter va qabul qilgich/uzatkichdan iborat bo'lgan avtonom modul nomlanadi.

Ulanish nuqtasi orqali adapterlar orasida simsiz axborot almashuvi va o'zaro hamkorligi, shuningdek, tarmoqning simli segmenti bilan aloqa amalga oshiriladi. Shunday qilib, ulanish nuqtasi kommutator rolini o'ynaydi. UN tarmoq interfeysiga (*ingl. up-link port*) ega va uni yordamida u oddiy simli tarmoqlarga ulanishi mumkin. Aynan mana shu interfeys orqali UNni sozlash ham mumkin. UN ham abonentlar (Wi-Fi-adapter) bilan ulanish uchun (tayanch rejim), ham simsiz taqsimlangan tarmoq — WDS (*ingl-n Wireless Distributed System*) yaratish maqsadida boshqa UNlar bilan ulanish uchun ishlatilishi mumkin. O'z navbatida WDS rejimi "nuqta-nuqta", "nuqta-ko'p nuqta", "simsiz kliyent" va "takrorlagich" turlaridagi aloqani tashkil etish uchun ishlatiladi.



24.5-rasm. Ulanish nuqtasi.

Tarmoqqa ulanish efigra keng qamrovli signallarni uzatish yo'li bilan ta'minlanadi. Bunda Wi-Fi-adapter bir necha UNlar qamrov zonasida bo'lib, ulardan signallar olishi mumkin. Adapter olinadigan signallarni filtrlash va ulardan o'ziga tegishli UNni ajratishi uchun xizmat ko'rsatish zonasi identifikatori SSID (*ingl. Service Set Identification*)dan foydalanadi. Xizmat ko'rsatish guruhi (*ingl. Service Set — SS*) deb simsiz tarmoqda ulanishni ta'minlaydigan (odatda, Ad Hoc rejimida) mantiqiy guruhlantirilgan uskunalari aytiladi. Tayanch xizmat ko'rsatish guruhi deb (*ingl. Basic Service Set, BSS*) UNlar orqali bir-birlari bilan bog'langan abonent stansiyalari to'plami aytiladi. Bunda ikki rejim ajratiladi: bevosita BSS va ESS (*ingl. Extended Service Set*). BSS rejimida barcha tarmoq tugunlari faqat bitta UN orqali o'zaro ulanishlari mumkin. Bunda UN, shuningdek, tashqi tarmoqlar bilan ko'priklarni ham bajarishi mumkin. Kengaytirilgan — ESS rejimida esa simsiz tarmoq bir necha BSS-tarmoqlar infratuzilmadan tashkil topgan bo'lib, UNlar bir-birlari bilan o'zaro bog'lanishadi va bu bir BSS-dan boshqasiga trafik uzatish imkoniyatini beradi. Bunda UNlarni o'zaro ulanishi kabel liniyalari yoki radioko'priklar orqali amalga oshiriladi.

24.5.1. Wi-Fi texnologiyasining afzalliklari va kamchiliklari

Wi-Fi texnologiyasining asosiy afzalliklari sifatida quyidagilarni keltirish mumkin:

- zamonaviy tarmoqlarning tezligi ancha yuqori (300Mbit/sek va undan ham yuqori) bo'lib, bu juda keng masalalarda ulardan foydalanish imkoniyatini beradi;
- Wi-Fi standartlarining ochiqligi turli ishlab chiqaruvchilar jihozlarning o'zaro moslashuvini ta'minlaydi, natijada jihozlarni narxini kamaytirishga olib keladi;
- Wi-Fi texnologiyasi kabel o'rnatish samarali bo'lmagan yoki xat-to mumkin bo'lmagan joylarda aloqa o'rnatish imkoniyatini beradi;
- tarmoqlarni kabel o'tkazmay yaratish imkoniyati ularni qurish

va kengaytirishga sarflanadigan xarajatlarni kamaytirishga olib keladi;

- tarmoqlarni tezkor ravishda tashkil qilish imkoniyati masofali konferensiyalar o'tkazishda yoki ofisdan tashqarida ishlashda juda qo'l keladi;

- ulanish nuqtalari orasida abonent uskunalarining harakatlanish imkoniyatini beradigan "roaming" xizmatini qo'llab-quvvatlanishi;

- global darajada yagona standartlashtirishning mavjudligi tufayli butun dunyo bo'ylab turli davlatlarda Wi-Fi jihozlarining ishlatilishi imkoniyati.

Wi-Fi texnologiyasining kamchiliklariga quyidagilarni kiritish mumkin:

- Wi-Fi tizimlari cheklangan ishlash radiusiga ega (oddiy uy Wi-Fi marshrutizatori 802.11b yoki 802.11g standartida binoni ichida 45 m gacha va bino tashqarisida 90 m gacha ishlash radiusiga ega);

- real vaqt masshtabida ishlaydigan ilovalar uchun kam yaroqliligi (masalan, IP-telefonida qo'llaniladigan RTP protokoli uchun). Media oqimning sifatini oldindan aytib bo'lmaydi chunki foydalanuvchiga bog'liq bo'lmagan qator omillar sababli (atmosfera xalaqitlari, landshaft va foydalanilgan chastotalar) ma'lumot uzatishda ko'p yo'qotishlar bo'lishi mumkin;

- hatto bexato konfiguratsiyada ham WEP shifrlash algoritmi buzilishi nisbatan oson (shifrlash kalitining kuchsizligi tufayli). Yangi abonent uskunolari takomillashtirilgan WPA-2 shifrlash protokolini qo'llab-quvvatlasada, ko'plab eski UNlar uni "tan olmaydi" va WEPga almashtirilishini talab qiladi;

- chastota diapazonlari va ishlash bo'yicha cheklashlar turli davlatlarda bir xil emas (masalan, Yevropadagi bir qancha ajratilgan chastotaviy kanallar AQSHda taqiqlangan. Italiyada va ko'plab Yevropa hamda MDH davlatlarida bino tashqarisida ishlaydigan barcha Wi-Fi tarmoqlarni yoki bevosita Wi-Fi operatorlarni qayd qilish talab qilinadi);

- turli ishlab chiqaruvchilarning uskunolari orasida to'liq moslashuv yo'qligi yoki ularni standartga to'liq muvofiq emasligi tu-

fayli ulanish imkoniyatlari cheklanishi yoki aloqa tezligi kamayishi mumkin;

- bir xil kanalda yoki qo'shni kanallarda ishlaganda yopiq yoki shifrlashni ishlatadigan UN va ochiq UN signallarining ustma-ust tushishi ochiq UNGa xalaqit qilishi mumkin (bu muammo UN larning katta zichligida, masalan, katta ko'p xonadonli uylarda vujudga kelishi mumkin);

- boshqa standartlarga qaraganda ko'proq energiya iste'mol qilinishi batareyalarning ishlash vaqtini kamaytiradi va uskuna-niing haroratini oshiradi.

24.5.2. Xavfsizlikni ta'minlash masalalari

Simsiz texnologiyalar uchun axborot xavfsizligini ta'minlash masalalari juda muhim hisoblansada, birinchi Wi-Fi standartlari zaif himoya tizimlariga ega bo'lgan yoki umuman ega bo'lmagan. Bunga sabab dastlab mazkur texnologiyalar-niing bunchalik ommaviylashishi va muvofiq ravishda xavf-sizlik muammolarining bunday keskin bo'lishi kutilma-ganligidir. Birinchi WEP (*ingl. Wired Equivalent Privacy* – *simli tarmoqlardagi xavfsizlik darajasiga teng*) shifrlash protokoli 1999-yilda joriy etilgan va "11b" standartida ishlatilgan edi. WEP protokoli simmetrik (uzatkich va qabul qilgichda bir xil) statik (o'zgarmaydigan) 64 bit uzunlikdagi kalitlarni (aslida 40 bitlik kalitga, 24 bitlik initsializatsiya vektori qo'shiladi) ishlatadi va bu kalitlarni birma-bir tanlash yo'li bilan bir necha sekundlarda aniqlab olish mumkin. Bunday zaiflik WEP yordamidagi shifr-lashni samarasiz qildi. WEP protokolida dinamik (o'zgaruvchan) shifrlash kalitlaridan foydalanish ham muammoni faqat qisman-gina hal etdi. Shuning uchun WEP zaifligini to'liq tuzatish uchun kalitni va shifrlash algoritmini kuchaytirish talab etildi.

Bu maqsadda IEEEning standartlar bo'yicha qo'mitasi Wi-Fi texnologiyasi uchun xavfsizlik tizimini yangitdan ishlab chiqishga qaror qildi. Natijada 2004-yilning iyunida Wi-Fi Alliance guruhi

tomonidan ishlab chiqilgan, shuningdek WPA-2 protokoli sifatida ma'lum bo'lgan yangi IEEE 802.11i standarti paydo bo'ldi [37]. IEEE 802.11i standarti simsiz tarmoqlarning xavfsizligi uchun uzoq muddatli va kengaytirilgan yechim hisoblanadi va WEP kamchiliklaridan xoli bo'lgan tamomila yangi xavfsizlik tizimi deb ataladi. IEEE 802.11i standarti simsiz uskunalar xavfsizligi bo'yicha qo'shimcha imkoniyatlar ta'minlashni ko'zda tutgan "kuchaytirilgan tarmoq xavfsizligi" — RSN (*ingl. Robust Sekurity Network*) konsepsiyasini ishlatadi. Bu esa apparat qismida va dasturiy ta'minotda o'zgarishlarni talab qiladi va shu bilan RSNGa to'liq moslashadigan tarmoqlarni WEP protokolini ishlatadigan mavjud jihozlar bilan moslashmaydigan qilib qo'yadi. Shunday qilib, bir qancha vaqt ham RSN, ham WEP jihozlari qo'llab-quvvatlanadi, keyinchalik esa WEPli uskunalar ishlatishdan umuman chiqarib tashlanadi.

Nazorat savollari:

1. LTE texnologiyasi haqida umumiy ma'lumotlarni keltiring.
2. LTE tizimida ishonchlilikni ta'minlash uchun qanday paketlarni takroriy uzatish mexanizmlaridan foydalaniladi?
3. "Yuqoriga" va "pastga" yo'nalishlarda aloqa uchun 2-darajaning tuzilmasini keltiring.
4. LTE tizimidagi mantiqiy kanallarni va ularning vazifalarini sanab o'ting?
5. LTE tizimidagi transport kanallarni va ularning vazifalarini (qo'llanishini) sanab o'ting?
6. LTE tizimida mantiqiy kanallar transport kanallarga qanday taqsimlanadi?
7. Mobillik nuqtayi nazaridan abonent uskunasi qanday holatlarda bo'lishi mumkin?

25-bob. Wi-Fi VA WIMAX TARMOG'INI TASHKIL ETISHNING O'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI

25.1. Wi-Fi tarmoqlaridan foydalanish

Hozirgi vaqtda Wi-Fi tarmoqlari dunyoda juda keng tarqalgan. Wi-Fi asosidagi xizmatlarga hozirgi kunda istalgan ommaviy joyda: o'quv maskanlarida, kutubxona, kafe, aeroport va mehmonxonalarda ulanish mumkin. Lekin baribir bunday tarmoqlarning qamrov zonalarini sotali tarmoqlarnikiga nisbatan epizodik (parcha-parcha) bo'lib qolmoqda.

Bugungi kunga kelib dunyoda eng yirik va ahamiyatli Wi-Fi tarmoqlari safiga quyidagilarni kiritish mumkin:

- 2007-yilda Earthlink kompaniyasi (AQSH) Filadelfiya shahrini Internetga simsiz tarmoq asosida to'liq ulagan va shu bilan uni Wi-Fi bilan qamrab olingan AQSHdagi birinchi shahar — megapolisga aylantirgan.

- AQSH va Buyuk Britaniyada Starbucks restoranlar tarmog'i uchun xot-spotlar ishlashini, shuningdek Germaniyada 7500 dan ortiq xot-spotlar ishini ta'minlagan T-Mobile kompaniyasi tarmog'i.

- Golden Telecom kompaniyasi tomonidan Moskvada yaratilgan dunyodagi eng katta shahar Wi-Fi tarmog'i. Bu tarmoq, shuningdek, Yandex — Wi-Fi loyihasini ishlatish uchun o'z aloqa kanallarini taqdim etadi.

- Fransiyadagi Ozone va Ozone Paris tarmoqlari. 2003-yilda Ozone kompaniyasi Parij shahrini to'liq qamraydigan markazlashtirilgan Wi-Fi tarmog'ini yaratish maqsadida Ozone Paris tarmog'ini qurishni boshlagan.

Hozirgi kunda ko'plab guruhlar, jamoalar, shaharlar va, hatto, xususiy shaxslar umumiy "piring kelishuvidan" foydalangan holda, tarmoqlar bir-biri bilan erkin ishlay olishi uchun ochiq Wi-Fi tarmoqlarini qurishmoqda. Ochiq Wi-Fi tarmoqlarini kengaytirish maqsadida ko'plab shahar ma'muriyatlari mahalliy jamoalar

bilan birlashmoqdalar. Ko'pchilik guruhlar ko'ngilli yordamlarga va homiyar ko'maklariga to'liq asoslangan holda Wi-Fi tarmoqlarini qurishmoqda.

Uncha katta bo'lmagan ba'zi davlatlar (masalan, Tonga qirolligi va Estoniya) va shaharlar aholi yashash joylaridan Wi-Fi xot-spotlariga bog'lanish orqali Internetga erkin ulanishni barchaga taqdim etmoqda. Masalan, Parijda Ozone Paris Wi-Fi tarmog'ini o'rnatishda o'zining uyini tomini foydalanishga berganlarga Internetga cheklanmagan ulanish taqdim etilmoqda.

Ko'plab universitetlar o'z talabalari, tashrif buyuruvchilar va universitet hududidagi barcha shaxslar uchun Wi-Fi tarmog'i orqali Internetga erkin ulanishni ta'minlamoqda. Bunday tarmoqlar Toshkent axborot texnologiyalari universitetida va Toshkent temiryo'l transporti muhandislari institutida ham ishlab turibdi.

Shuningdek, erkin ulanishni faqat o'z a'zolariga taqdim etadigan va a'zo bo'lmaganlarga ulanishni to'lov asosida beradigan jamoalar va tashkilotlar yaratgan boshqa toifadagi tarmoqlar ham ko'pgina. Bunday variantga Finlandiyaning Sparknet tarmog'i misol bo'lishi mumkin. Sparknet tizimi foydalanuvchilar o'z ulanish nuqtalarini tarmoqqa qo'shib, bundan ma'lum bir foyda olish imkonini beradigan Open Sparknet loyihasini ham qo'llab-quvvatlaydi.

25.1.1. WiMAX tarmog'ini tashkil etishning o'ziga xos xususiyatlari

Aytib o'tilganidek, IEEE802.16 standarti shahar va rayonlar masshtabidagi simsiz tarmoqlarda keng polosali aloqa tashkil qilish mo'ljallangan (WMAN). Standartning boshqa vazifasi lokal, hududiy va global tarmoqlar o'rtasida o'zaro aloqani ta'minlash hisoblanadi. Bu tarmoqlar shuningdek simsiz shaxsiy tarmoqlar bilan ham birgalikda ishlaydi va simli va simsiz tarmoqlar orasida protokollararo iyerarxik bog'lanishni ta'minlovchi simsiz ko'priklarni vujudga keltiradi.

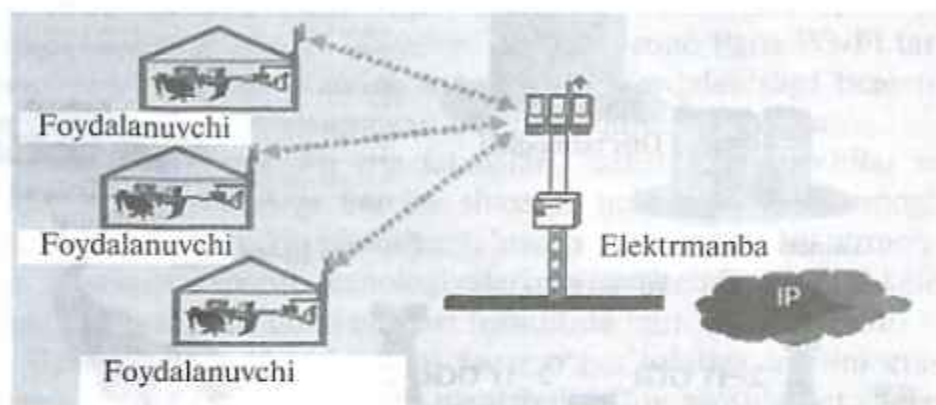
Bu vazifalarni bajarish uchun WiMAX tarmog'ini tashkil etishning turli variantlari ko'rib chiqilgan. Umumiy holatda WiMAX tarmog'i topologiyasi quyidagi ko'rinishda tasvirlanadi (25.1-rasm).



25.1-rasm. *WiMAX tarmog'i topologiyasi.*

WiMAX tizimlarida avval magistral liniyalarni tashkil etish uchun 10–66MGs chastota diapazonidan foydalanish ko'zda tutilgan, hozirgi foydalaniladigan versiyalarida esa 2 dan 11 MGs chastota diapazonida 3,5; 5; 7,5; 8,75 va 10 MGs kanal kengligida ishlaydi. Bunda $\pm 10^{-6}$ chegarada chastota barqarorligini ta'minlash zarur. Tarmoq tayanch stansiyalari binolar tomlarida yoki machtalarda joylashtiriladi. Shuningdek, turli baland inshootlardan, simyog'ochlardan va, hattoki, daraxtlardan tayanch

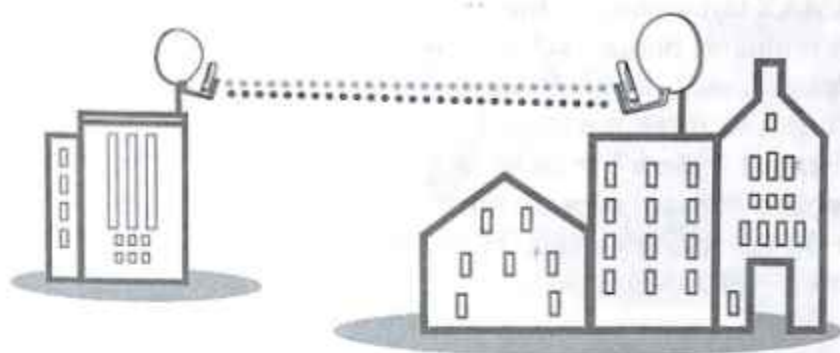
stansiyalarni o'rnatishda foydalanish mumkin. Biror hududdagi ko'p sonli abonentlarga keng polosali simsiz ma'lumotlar uzatish xizmatini taqdim etish uchun WiMAX tayanch stansiyalari abonent uskunolari bilan "nuqta-ko'p nuqta" topologiyada aloqani amalga oshiradi (25.2-rasm).



25.2-rasm. *"Nuqta-ko'p nuqta" rejimida WiMAX tarmog'i topologiyasi.*

Bu chizma bo'yicha TS WiMAX abonentlari uskunolari yordamida foydalanuvchilar bilan bog'lanadilar, keyin signal Ethernet-kabel standarti bo'yicha yoki to'g'ridan to'g'ri aniq kompyuterga, yoki IEEE 802.11 (Wi-Fi) ulanish nuqtasi orqali qabul qilinadi. Bu WiMAX orqali kabelli ulanishdan simsiz ulanishga o'tishda mavjud hudud yoki ofis tizimidagi lokal tarmoqlarning infrastrukturasi saqlab qolish imkonini beradi. Bundan tashqari kompyuterlar ulanishi uchun standart texnologiyalardan foydalanuvchi tarmoqlarni yoyishni maksimal darajada kengaytirish imkonini beradi.

Uzoqlashtirilgan obyektlar orasida keng polosali simsiz aloqani tashkil qilish uchun "nuqta-nuqta" rejimidan foydalaniladi (25.3-rasm).



25.3-rasm. *“Nuqta-nuqta” rejimidagi WiMAX tarmog‘ining topologiyasi.*

“Nuqta-nuqta” rejimida turli tarmoq ko‘rinishlari va ularning kombinatsiyalaridan foydalaniladi. 25.4-rasmda WiMAX tizimi uchun qo‘llaniluvchi turli ko‘rinishdagi tarmoq topologiyalari tasvirlangan.



Yulduzsimon topologiya



Halqa topologiya “Kolso”



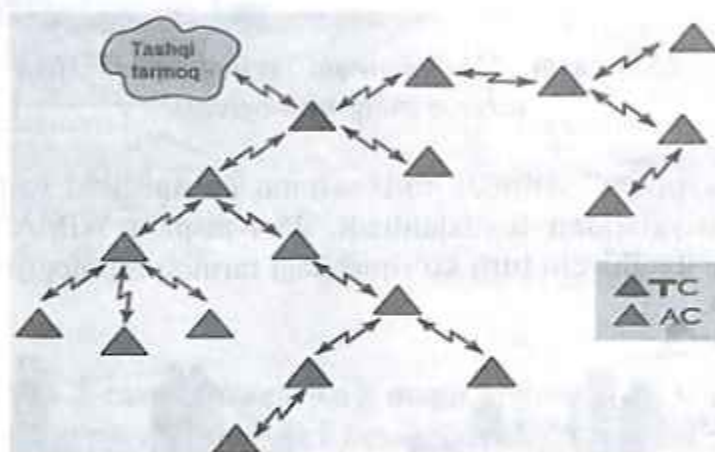
Simsiz ko‘prik



Chiziqli topologiya

25.4-rasm. *“Nuqta-nuqta” rejimidagi WiMAX tarmog‘ining ko‘rinishlari.*

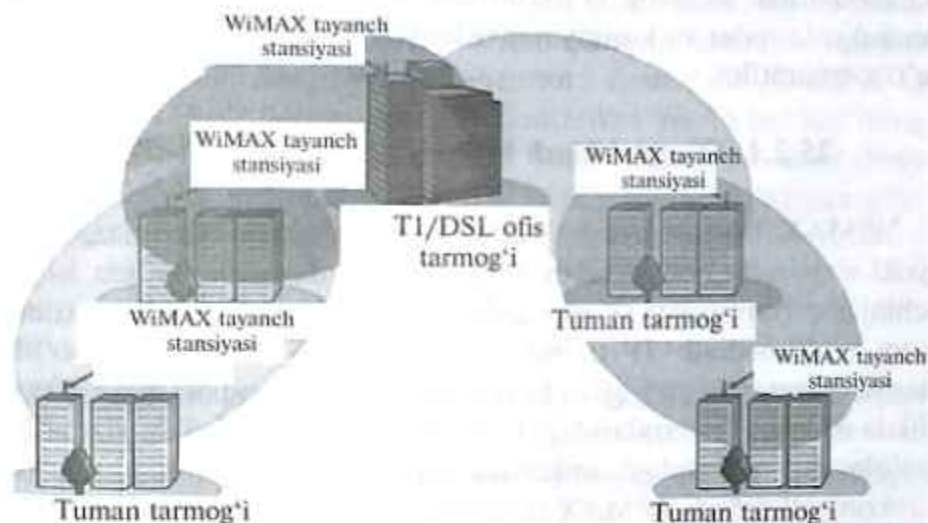
WiMAX tarmoqlarida shuningdek “mesh” rejimida aloqa tashkil qilish mumkin, bunda AU to‘g‘ridan to‘g‘ri bir-biri bilan aloqani amalga oshiradi, tayanch stansiyasi esa asosiy tarmoqlar infrastrukturasi va mesh tarmoqlari o‘rtasida kommutator hisoblanadi. (25.5-rasm) “Mesh” rejimini qo‘llash natijasida tarmoqning radioqoplam zonasi yuqori tezlikda ma‘lumot uzatishni ta‘minlash bilan 50 km gacha oshadi, bu holda bitta TSning oddiy holdagi radiusi 5–10 km ni tashkil etadi.



25.5-rasm. “Mesh” rejimida WiMAX tarmog‘i topologiyasi.

WiMAX tarmoqlari “ko‘p nuqta-ko‘p nuqta” rejimida qurilishi mumkin, shuningdek u “nuqta-ko‘p nuqta” rejimini ham ta‘minlaydi (25.6-rasm).

Bunda TS lokal trafikni tashkil qilish uchun radioterminal yoki takrorlagich bo‘lishi mumkin. Ma‘lumotlar oqimi abonentga yetib borguncha, bir necha takrorlagichlardan o‘tishi mumkin. Bu holatda antenna masofadan sozlanadigan tor yo‘nalishda signal uzatuvchi antenna bo‘ladi. Takrorlagichlar aloqa qilinuvchi nuqtalar orasida to‘g‘ridan to‘g‘ri aloqa o‘rnatish imkoni bo‘lmagan vaziyatlarda qo‘llaniladi. Ular TS dan bir yoki bir necha abonent uskunalariga signal uzatadi.



25.6-rasm. *“Ko‘p nuqta-ko‘p nuqta” rejimidagi WiMAX tarmog‘ining topologiyasi.*

WiMAX tizimlari uskunalari o‘z ichiga abonent terminallari, asosiy tarmoq uskunalarini, tugunlararo kanallarni va takrorlagichlarni oladi.

25.2. Abonent uskunalari

WiMAX tarmoqlarida foydalanish uchun abonent uskunalari turli ishlab chiqaruvchilar tomonidan ishlab chiqariladi va binolar ichida va binolar tashqarisida (noutbuk kabilar) joylashtirilishi mumkin. Shuni alohida ta’kidlash kerak-ki, binolar ichida joylashtirishga mo‘ljallangan va aloqa o‘rnatishda kasbiy malaka talab qilmaydigan uskunalar TSdan uncha katta bo‘lmagan masofalarda ishlash qobiliyatiga ega. Shuning uchun binolar ichida o‘rnatilgan uskunalar tarmoq infrastrukturasini rivojlantirishda ancha katta investitsiya talab qiladi, ularda TSlarni ko‘proq qo‘llashga to‘g‘ri keladi. “Mobil WiMAX”ning paydo bo‘lishi bilan uning

tarmoqlarida aloqani ta'minlovchi maxsus telefon apparatlari, mobil uskunalar va kompyuter uskunolari ishlab chiqarishga katta e'tibor qaratildi.

25.2.1. O'zaro ishlash imkoniyatlari va ishlash sifati

WiMAX texnologiyasi katta sonli an'anaviy tizimlar, simli yoki simsiz tarmoqlar bilan aloqani ta'minlash maqsadida ishlab chiqilgan (tarmoqlar IP ga asoslangan). Ko'p hollarda bu arxitektura multimediali IP tizimlariga (yoki IMS) asoslangan bo'lib, tarmoqlararo "rouming"ni ta'minlash, 3G tarmoqlari bilan birgalikda ishlash, IP darajasidagi tarmoqlarda aloqa sifati va xizmatlar to'plamini ta'minlash imkonini beradi. IP tarmoqlariga ulanish imkoniyati tufayli WiMAX texnologiyasi boshqa tarmoqlarni kengaytirish "choksiz mobillik" prinsipi bo'yicha ularni qurish imkoniyatini beradi.

WiMAX texnologiyasi simli tarmoq operatorlariga uzoqlashtirilgan hududlarga ulanish uchun "oxirgi mil" muammolarini hal qilish imkoniyatini beradi, uzoq masofalarga kabel yotqizish kabi ortiqcha xarajatlarni kamaytiradi. IEEE 802.16e standarti mobil aloqa operatorlari xarajatlarini kamaytirishni taklif etadi, mobil aloqa operatorlariga 2G va 3G darajasidagi xizmatlarni, keng polosali ma'lumot uzatish xizmatlarini va eng zamonaviy raqobatlashuvchi simsiz tarmoq xizmatlarini ta'minlashni qo'shishni ta'minlaydi. WiMAX tarmog'ini qurishning moliyaviy xarajatlari an'anaviy sotali ikkinchi va uchinchi avlod tarmoqlarinikidan kamroq bo'ladi, asosiy xarajatlar TS stansiyalari infratuzilmasini yaratish va qurilish montaj ishlarini olib borish uchun sarflanadi. IP protokolida qurilgan WiMAX arxitekturasini keng polosali multimediali ilovalardan foydalanishda eng yaxshi imkoniyatlar taqdim etadi, shuningdek, IP-asosida qurilgan mobil tarmoqlarda qo'llaniluvchi ovozli va qisqa xabarlarini mobil uzatishni ta'minlaydi.

Tarmoqlarning aksariyat qismi ochiq kodli dasturiy ta'minot asosida yoki ochiq litsenziyalik e'lon qilingan sxemalar asosida qurilmoqda. Masalan, "Wi-Fi Liberator" dasturi MAC OS X va Wi-Fi moduli o'rnatilgan istalgan noutbukni Wi-Fi tarmog'ining ochiq tuguniga aylantiradi. OLSP (*ingl. Optimized Link-State Routing*) ochiq tarmoqlarni yaratish uchun foydalaniladigan protokollardan biri hisoblanadi.

Nazorat savollari:

1. Simsiz aloqa tizimlarining qisqacha rivojlanish tarixini bayon eting.
2. Raqamli va analog, tor polosali va keng polosali texnologiyalar qanday farqlanadi?
3. Aloqaning uzoqligi bo'yicha simsiz aloqa tizimlarini sinflarga bo'ling.
4. Tarmoqlarning topologiyasi bo'yicha simsiz aloqa tizimlarini sinflarga bo'ling.
5. Qo'llanilishi bo'yicha simsiz aloqa tizimlarini sinflarga bo'ling.
6. Wi-Fi tizimlariga umumiy tavsif bering.
7. Wi-Fi tizimlarining qisqacha rivojlanish tarixini bayon eting.
8. Wi-Fi tarmoqlarining asosiy elementlari va ishlash prinsipi qanday?
9. Wi-Fi tizimlarining asosiy afzalliklari nimada?
10. Wi-Fi tizimlarining asosiy kamchiliklari nimada?
11. Wi-Fi tizimlarida xavfsizlik qanday ta'minlanadi?
12. Dunyodagi Wi-Fi tijoriy tarmoqlariga misollar keltiring.
13. Wi-Fi notijoriy tarmoqlari qanday prinsiplar asosida quriladi?

26-bob. WiMAX TEXNOLOGIYASI HAQIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR

26.1. WiMAX tizimining tavsifi

Hozirgi kunda keng polosali simsiz aloqa tizimlari inson hayoti faoliyatining barcha sohalariga kirib bormoqda va butun dunyoda: rivojlangan davlatlarda ham, rivojlanayotgan davlatlarda ham insonlarning yashash sifatini oshirishga xizmat qilm-oqda. Ushbu tizimlar yordamida turli xil vazifalarni yechish mumkin: multimedia, interaktiv va personal kontentlarga tezkor va qulay ulanish, an'anaviy nutq aloqasini ta'minlash yoki mahalliy va global jamoalar doirasida axborot almashinuvini amalga oshirish mumkin. IEEE 802.16 (qo'proq, WiMAX sifatida ma'lum bo'lgan) standartlar oilasi deb nomlangan keng polosali simsiz aloqa tizimlari IMS (yangi avlod IPga asoslangan multimedia nimtizimlari) asosida keng polosali tarmoqlar uchun yaratilgan xizmatlar hamda tezkor Internet kanallarini tashkil etish vositalari bilan birgalikda foydalanuvchilarga (xususan Internetdan) keng polosali simsiz ulanishning prinsipial yangi imkoniyatlarini taklif etadi.

IEEE 802.16 standartini paydo bo'lgunicha Internetga ulanish ancha turg'un bo'lgan, ya'ni foydalanuvchi ish joyidagi kompyuterga yoki juda bo'lmaganda Wi-Fi ulanish nuqtasi doirasidagi noutbukka bog'liq bo'lgan. WiMAX tizimlari keng polosali tarmoqlarga va Internetga ulanishni yanada mobil, yanada ommabop va yanada keng tarqalgan qilmoqda. Buni uchun turg'un, ko'chma va mobil abonentlarga xizmat ko'rsatadigan keng polosali simsiz tarmoqlar yaratilmoqda. Shunday qilib, Internet va uning barcha ilovalariga, ya'ni axborotlar, xizmatlar va aloqaga har doim va hamma yerda ulanish muhiti shakllantirilmoqda. Bunda WiMAX tizimlariga katta mas'uliyat ajratilmoqda.

WiMAX tizimining Wireless MAN simsiz tarmoqlar tizimiga kiradi. WiMAX atamasi inglizcha "Worldwide Interoperability for Mic-

rowave Access” nomini qisqartirishdan kelib chiqadi, bu soʻzma soʻz tarjima qilganda “Mikrotoʻlqinli radioaloqa (OʻYUCH) asosidagi tarmoqlarga ulanish uchun butun dunyo oʻzaro taʼsirlashish”ni bildiradi.

Mazkur texnologiya har xil turdagi uskunalar uchun (avtomatlashtirilgan ishchi stansiyalari va portativ kompyuterlardan tortib mobil telefonlargacha) katta masofalarga yuqori tezlikli simsiz universal aloqani taqdim etish maqsadida ishlab chiqilgan. WiMAX atamasi IEEE 802.16 standartlar atamasini ommalashtirish maqsadida 2001-yil iyunida asos solingan sohaviy forum (WiMAX Forum) tomonidan taklif etilgan [38].

IEEE 802.16 standartlarining ilk versiyalarida 10GGs dan 66GGs gacha boʻlgan yuqori chastotali diapazonlarda toʻgʻri koʻrinish hududida (*ingl. Line of Sight, LOS*) ishlaydigan tizimlar tavsiflangan. Keyinchalik 2GGs dan 11GGs gacha diapazonlarda toʻgʻri koʻrinish boʻlmagan hududlarda ham (*ingl. None Line of Sight, NLOS*) ishlaydigan tizimlarni qoʻllab-quvvatlaydigan standartlar qoʻshimchalarini ishlab chiqishga urgʻu berilgan.

IEEE 802.16-2004 (shuningdek IEEE 802.16d yoki qisqartirib “16d”) nomi bilan maʼlum boʻlgan standartni yaratishda standartning avvalgi versiyalaridagi barcha ishlanmalardan foydalanilgan. Bu tadbirlar binolar ichida radioqamrovni yaxshilashga imkon berdi va, oʻz navbatida, stol ustida ishlatiladigan abonent uskunalarini yaratishga imkon berdi.

2005-yilning dekabrda IEEE 802.16e (“mobil WiMAX” yoki “16e versiyasi”, baʼzi hollarda “IEEE 802.16-2005”) sifatida maʼlum boʻlgan standart ustida ishlar yakunlandi va hozirgi kunda u IEEE 802.16 standartlar oilasida eng dolzarb standart boʻlib qoldi. Hozirda telekommunikatsiyalar bozorida yuqorida koʻrsatilgan WiMAX standartlarining asosan ikkitasi, yaʼni faqat turgʻun terminallar bilan ishlaydigan IEEE 802.16d standarti va turgʻun, koʻchma va mobil abonentlar bilan aloqa oʻrnata oladigan IEEE 802.16e standarti namoyon etilgan. 2012-yilda WiMAXning yangi standarti — IEEE 802.16m tasdiqlanishi kutilmoqda.

26.2. WiMAX tizimi va IMT-2000 dasturi

Ma'lumki, Xalqaro telekommunikatsiya ittifoqi (HTI) 3G — uchinchi avlod mobil aloqa tarmoqlarini uyg'unlashtirish maqsadida, ya'ni mobil aloqa standartlarini ko'p sonli bo'lib ketishini oldini olish va ularning global miqyosda o'zaro ishlay olishi uchun IMT-2000 dasturini joriy etgan edi. 2006-yilning noyabrida IEEE 802.16 standartlarining asosi hisoblangan yangi IP-OFDMA radiointerfeysining ushbu dasturga qo'shish haqida (ITU-R WP8F/ITU-R Pro.WP/ 1065) IEEE tomonidan taklif kiritilgan [39]. 2007-yilda HTI IMT-2000 dasturi doirasida to'rtta turli ulanish texnologiyalari (FDMA, TDMA, CDMA va OFDMA)ga asoslangan oltita radiointerfeyslarni o'z tarkibida tasdiqlagan. Bularga quyidagi radiointerfeyslar kiradi:

- *CDMA-Direct Spread* — spektrni to'g'ridan to'g'ri kengaytirish asosida ishlaydigan CDMA texnologiyasi. UTRA radiointerfeysi, shuningdek, W-CDMA texnologiyasi sifatida ma'lum. UMTS va FOMA standartlarida qo'llaniladi.

- *CDMA-Multi Carrier* — bir nechta eltuvchilar asosida ishlaydigan CDMA texnologiyasi. CDMA-2000 standartlar oilasida qo'llaniladi.

- *CDMA-TDD* — vaqt bo'yicha dupleks asosida ishlaydigan CDMA texnologiyasi. UTRA TDD radiointerfeysi. TD-SCDMA standartida qo'llaniladi.

- *TDMA-Single Carrier* — bir eltuvchi asosida ishlaydigan TDMA texnologiyasi. UWC-IS-136 standarti qo'llanilishi ko'zda tutilgan.

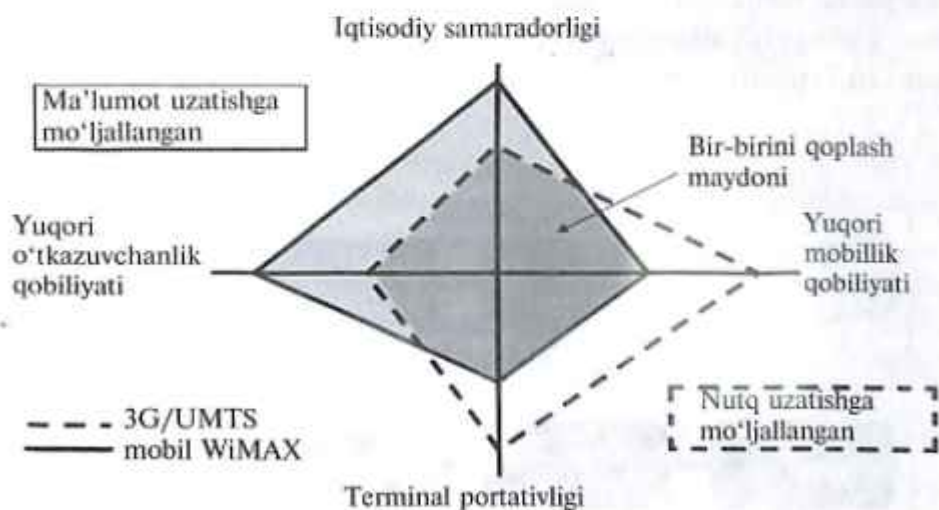
- *FDMA-TDMA* — FDMA va TDMA texnologiyalarining qo'shilishi. DECT standartida qo'llaniladi.

- *IP-OFDMA* — IP protokolini qo'llab-quvvatlaydigan bir necha ortogonal eltuvchilar asosida ko'p sonli ulanish texnologiyasi. FDD chastota bo'yicha dupleks asosidagi OFDMA radiointerfeysi. WiMAX va LTE standartlarida qo'llaniladi.

OFDMA kanallarni ajratish texnologiyasi WiMAX standar-

tini mobil versiyasining asosi sifatida qabul qilingan. OFD-MAning afzalligi yana shundaki, u istiqbolli MIMO, STC va yo'naltirish diagrammalarini shakllantirish kabi samarali antenna texnologiyalarini qo'llab-quvvatlashi tufayli yangi mobil va keng polosali simsiz aloqa tizimlarini yaratish uchun asos hisoblanadi.

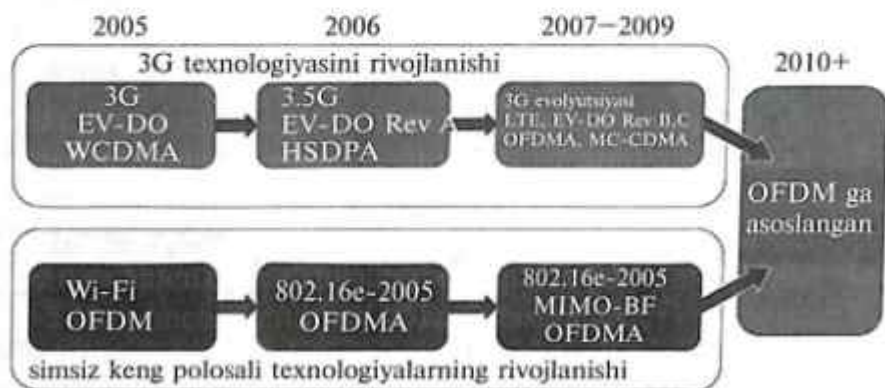
Eslatib o'tish kerakki, WiMAX tizimi avvalambor ma'lumot uzatishga asoslangan keng polosali simsiz ulanish texnologiyalarining rivoji hisoblanadi, aksincha, LTE tizimi esa dastlab ovoz uzatishga asoslangan sotali aloqa texnologiyalariga qarashlidir. Lekin bu jarayonda borgan sari keng polosali va mobil aloqa tizimlarining konvergensiya (bir-biriga yaqinlashishi) yanada yaqol kuzatilmoqda, xususan, WiMAX texnologiyasi katta mobillikka intilmoqda, LTE tizimi esa o'ta yuqori tezlikda ma'lumot uzatish imkoniyatlari tomon rivojlanmoqda (26.1-rasm).



26.1-rasm. Keng polosali va mobil aloqa tizimlarining konvergensiya.

WiMAX tizimlarining kelgusi rivoji IEEE 802.16 guruhidagi yangi standartlarning paydo bo'lishi bilan bog'liq deb hisoblanmoqda. IEEE 802.16 ishchi guruhi doirasida standartni takomillashtirish bo'yicha ko'p sonli tadqiqotlar o'tkazilmoqda va hozirgi vaqtda eng istiqbolli deb IEEE 802.16m standardi loyihasi ko'rilmqda. U ko'zda tutilganidek, IMT Advanced sifatida ma'lum bo'lgan (ya'ni IMT-2000 dan keyingi) tizimlarni tavsiflaydi. WiMAX forumi IEEE 802.16m standartini WiMAX tizimlarini boshqa mobil texnologiyalar bilan konvergensiya (birlashishining) asosi sifatida baholamoqda. IEEE 802.16m standartining paydo bo'lishi 2012-yilga to'g'ri kelgan.

IMT Advanced dasturi IMT-2000 tizimlarida erishilmagan yanada yuqori ma'lumot uzatish tezligiga, yanada katta mobillikka va funktsionallikka ega tizimlarni yaratishga qaratilgan. Bundan ko'zda tutiladiki, IMT Advanced texnologiyalari yuqori mobillikda 100Mbit/sek gacha va past mobillikda va turg'unlikda 1Gbit/sek gacha tezliklarni ta'minlaydi va shu sabab bu texnologiyalarni mobil aloqa tizimlarining to'rtinchi avlodi — 4Gga kiritish mumkin (26.2-rasm).



26.2-rasm. Keng polosali va mobil aloqa tizimlari evolyutsiyasi.

WiMAX tizimining bosh xarakteristikalarlari orasida javob kechikishining kam vaqti, yuqori axborot xavfsizligi, yuqori aloqa sifati — QoS va radiochastota spektri uyg'unlashtirilgan holda "global rouming" imkoniyatlari ta'kidlanadi. WiMAX forumining "rouming" bo'yicha ishchi guruhi ham WiMAX tarmoqlari orasida, ham IMT-2000 standartlariga asoslangan boshqa tarmoqlar orasida "rouming" tashkil etishni spetsifikatsiyalarini va biznes-modelini e'lon qilmoqchi. Shuningdek, WiMAX forumi simli va simsiz interfeyslar bazasida operatorlarga bir turkum va sifat darajasida xizmatlar taklif etishga imkon beradigan WiMAX tarmoqlari bilan mavjud ma'lumot uzatish tarmoqlari va IMS ning yangi arxitekturasini qo'llab-quvvatlashni ta'minlashida o'zining faol vazifasini bajarmoqda.

Keyinchalik esa, mobil va keng polosali simsiz aloqa tizimlarining konvergensiya an'anasi davom etaversa, global miqyosda umumqamrov aloqani ta'minlashga qodir yangi, chinakamiga universal standart paydo bo'lsa ajab emas.

26.3. WiMAX tizimi va "raqamli tengsizlik"

(ingl. Digital Gap) muammosi

Axborotlarga ega bo'lishlik jamiyatning kengroq iqtisodiy va ijtimoiy rivojlanishiga imkon yaratishi hech kimga sir emas. 1984-yildan boshlab dunyo hamjamiyati rivojlanayotgan mamlakatlarda telekommunikatsiyalar infrotuzilmasi qoloqligi ularning iqtisodiy o'sishi uchun to'siq bo'layotganligini ta'kidlay boshladi. 1996-yilda HTI BMT boshchiligidagi rivojlanayotgan davlatlarda axborot va kommunikatsion texnologiyalar (AKT) ning asosiy xizmatlariga umumiy ulanishni taqdim etishga va "axborot kambag'alligi" ta'sirini qisqartirishga yo'naltirilgan "Aloqaga huquq" (*ingl. "The Right to Communicate"*) deb nomlangan loyihani olg'a surdi. Ushbu maqsad hozirgi kunda axborot hamjamiyati masalalari bo'yicha Butundunyo samiti — WSIS (*ingl.-n World Summit on the Information Society*)

ning barcha rejalarini asosi bo'lib qoldi. 2003-yilning dekabrda Jeneva shahrida o'tkazilgan WSIS ning birinchi sammitida "Raqamli tengsizlik" deb axborot va kommunikatsion texnologiyalarga tengsiz ulanish imkoniyatlari nazarda tutildi. AKTga tengsiz ulanish deganda, birinchi navbatda davlatlar orasidagi farq (xalqaro raqamli tengsizlik), masalan, rivojlangan va rivojlanayotgan mamlakatlar yoki hududlar orasidagi farq tushuniladi. Shuningdek tengsiz ulanish davlatlar miqyosidagi (milliy raqamli tengsizlik) jarayon sifatida ham aniqlanadi va bunda qishloq va shahar orasidagi, oliy ma'lumotli va kam ma'lumotlilar orasidagi, aholining kambag'al va boy qatlamlari orasidagi farq tushuniladi [40].

Provayderlar va Internetdan foydalanuvchilar soni yoki turg'un va mobil telefonlar soni kabi oldindan aniqlangan mezonlar asosida o'tkazilgan tadqiqotlar natijasida, shuningdek, rivojlangan va rivojlanayotgan davlatlarda so'nggi yillarda bo'layotgan o'zgarishlarning tahlili asosida bu masalaning hozirgi ahvoriga turlicha baholar berildi. Bir tarafdin, ham davlatlararo, ham davlatlar miqyosidagi "Raqamli tengsizlik" o'sib bormoqda, degan fikrlar bo'lsa, boshqa tarafdin, aksincha boy va kambag'al davlatlar orasida "Raqamli tengsizlik" qisqarmoqda, degan fikrlar bo'ldi. Turli xalqaro tashkilotlar (HTI yoki Jahon banki guruhi) e'lon qilgan rasmiy hisob-kitoblarga murojaat qilinsa ma'lum bo'ladiki, rivojlangan va rivojlanayotgan davlatlar orasida AKTga ulanishdagi tengsizlik mavjud va hali ham jiddiy muammo bo'lib turibdi.

O'zicha asosli bo'lgan bunday qarama-qarshi fikrlarning mavjudligiga qaramasdin, ulanish imkoni borligi va uning sifati, ya'ni aloqa infratuzilmasini yaratilishi har xil davlatlarda AKT ni tezkor va ishonchli rivojlanishiga asosiy omillar deb hisoblanadi. 2005-yilda HTI "Raqamli tengsizlik"ni qisqartirish uchun hamkorlikni rivojlantirish maqsadida WSIS doirasida global darajada ko'plab tashkilotlar tomonidan birgalikda o'tkaziladigan "Olamni ulaylik" (*ingl. Connect the World*) deb nomlangan tashabbusni boshladi.

Bu tashabbusning maqsadi hozirgi vaqtda hatto oddiy telefon aloqasiga ulanishga ham ega bo'lmagan insonlarga AKT – xizmatlarini taqdim etishdan iboratdir.

Shu munosabat bilan WiMAX forumi ming yillik rivojlanish maqsadlariga erishish uchun barcha talablarga javob beradigan yangi simsiz aloqa standartlarini qisqa vaqtda ishlab chiqishga kirishgan. Bu maqsadlar qatoriga “Taraqqiyot uchun global hamkorlikni rivojlantirish” (*ingl. Develop a Global Partnership for Development*) ham kiradi [41]. Ushbu maqsad har bir inson axborotlar va bilimlardan foydalanish, ularni yaratish, ularga ulanish va ular bilan almashish imkoniyatiga ega bo'lishi hisobiga jamoalar va xalqlarning salohiyatini to'liq ro'yobga chiqarish va ularning turmush darajasini oshirishga imkon beradi. Shu munosabat bilan WiMAX texnologiyasi 2015-yilga borib WSIS ning quyidagi vazifalarini bajarishga chaqirilgan:

- **1-sonli masala:** rivojlanayotgan davlatlarda 1,5 million qishloqlar hatto telefon tarmoqlariga ham ulanmaganligini hisobga olgan holda, qishloq hududlarida AKT xizmatlariga ulanishni ta'minlash;
- **10-sonli masala:** 2002-yilda Internet foydalanuvchilarining umumiy soni 600 millionligini yoki dunyo aholisining 10 foizini tashkil etganligini hisobga olgan holda, dunyo aholisining yarmidan ko'piga AKT xizmatlariga ulanishni ta'minlash.

Ko'rinib turganidek, WiMAX texnologiyasining zimmasiga (boshqa simsiz va tarmoq texnologiyalari bilan bir qatorda) “Raqamli tengsizlik” muammosini yechishda o'ta muhim vazifa yuklangan va bu tizim rivojlangan va rivojlanayotgan davlatlarda AKT xizmatlari va infrotuzilmalariga ommaviy, umumqamrovli, teng huquqli va ishonchli ulanishni ta'minlashga chaqirilgan.

WiMAX tarmoqlari dunyoda keng tarqalmoqda. WiMAX Forumining ma'lumotlariga ko'ra 2011-yilning fevral oyiga qadar dunyoning 150 mamlakatida 583 ta faoliyat ko'rsatayotgan tarmoqlar mavjud bo'lgan (ma'lumot uchun, ushbu ko'rsatgich 2009-yilning fevral oyiga qadar 139 ta mamlakatda 468 ta tarmoqni tashkil etgan). Min-taqalar kesimida ushbu tarmoqlar 26.1-jadvalda aks ettirilgan [42].

WiMAX tarmoqlarining hududlararo taqsimlanishi

№	Mintaqa	Tarmoqlar soni	Mamlakatlarning soni
1.	Afrika	117	43
2.	Markaziy va Lotin Amerikasi	120	33
3.	Osiyo-Tinch okeani	98	23
4.	Sharqiy Yevropa	86	21
5.	G'arbiy Yevropa	77	18
6.	Shimoliy Amerika (AQSH, Kanada)	56	2
7.	Yaqin Sharq	29	10

Hozircha bozorda "turg'un WiMAX" tarmoqlari yetakchilik qilmoqda (2011-yilning boshida 60% tashkil qilgan). Biroq IEEE 802.16e standarti tobora ko'payib bormoqda va uning asosida ko'p sonli tarmoqlar ishlamoqda. Shular orasiga AQSHning Sprint-Nextel, Clearwire, AT&T va NextWave Broadband, Yevropada Vodafone va Orange, Pokistonning davlatni deyarli to'liq hududini qamrab olgan Wateen Telekom milliy operatori, Rossiyaning Yota va boshqa operatorlar tarmoqlari kiradi. Bugungi kunga kelib Pokiston milliy ko'lamdagi jahonda eng katta to'liq funksional WiMAX tarmoqlaridan biriga ega.

WiMAX uskunalarining eng yirik ishlab chiqaruvchilari safiga Airspan Networks, Alkatel-Lucent, Alvarion, Cisco Systems, Fujitsu, Huawei Technologies, Intel Corporation, Motorola Solutions, Samsung va ZTE Corporation kabi kompaniyalarni kiritish mumkin.

Nazorat savollari:

1. Qo'llanilishi bo'yicha simsiz aloqa tizimlarini sinflarga bo'ling.
2. WiMAX tizimlariga umumiy tavsif bering.
3. WiMAX tizimlarining qisqacha rivojlanish tarixini bayon eting.
4. WiMAX tarmoqlarining asosiy elementlari va ishlash prinsipi qanday?
5. WiMAX tizimlarining asosiy afzalliklari nimada?
6. OFDMA kanallarni ajratish texnologiyasi WiMAXni o'rni.
7. Keng polosali va mobil aloqa tizimlarining konvergentsiyasini tushuntirub bering.
8. Keng polosali va mobil aloqa tizimlari evolyutsiyasi.
9. WiMAX tarmoqlarining hududlararo taqsimlanishi.
10. WiMAX uskunalarini eng yirik ishlab chiqaruvchilari haqida ma'lumot bering.

27-bob. WiMAX TIZIMINING AFZALLIKLARI VA KAMCHILIKLARI

27.1. WiMAX tizimining afzalliklari

WiMAX tizimining afzalliklariga quyidagilar kiradi:

- IP protokoli asosida ishlashga optimallashtirilgan yuqori samarador 802.16e radiointerfeysi;
- mobil tizimlarga yaxshi to'g'ri keladigan OFDMA kanallarini ajratish va taqsimlash takomillashtirilgan texnologiyalar turi (OFDM texnologiyasiga nisbatan);
- noutbuklarga, telefonlarga va maishiy texnikaga WiMAX adapterlarini qulay o'rnatish imkoniyati;
- sotali aloqa tarmoqlariga o'xshash yirik tarmoqlarni yaratish uchun yetarli bo'lgan keng chastotalar polosasi;
- MIMO va STC antenna-fider uskunalari sohasida progressiv ishlanmalarni qo'llab-quvvatlash;
- IP tarmoqlar uchun standart tarmoq uskunalaridan foydalanish;
- foydalanuvchilarning ulkan o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olinganida QoS xizmati ko'rsatish sifatini boshqarishning universal vositalari;
- abonentlarga telefoniya xizmatlari, keng polosali ulanish, mobil aloqa va boshqalarni taklif etish imkoniyatini beradigan multiservisli tarmoq platformalari.

27.1.1. WiMAX tizimlarining kamchiliklari

WiMAX tizimlarining kamchiliklariga va rivojlanishini saqlab turuvchi omillarga quyidagilar kiradi:

- standart hali ham sinov bosqichida va xizmatlar provayderlari ishlatayotgan qimmat uskunalarni yangilariga almashtirishga shoshilmayapti yoki bu uskunalarni ko'tarish va sarflangan vositalar tezda o'zini oqlash imkoniyatisiz sezilarli sarflarni talab qiladi;

- oldin Internetga ulanish imkoni bo'lmagan joylarda WiMAX tarmoqlarini qurishga zarur uskunalarni yoki uni sotib olishga mablag' vositalariga ega samarali bo'lmagan potensial foydalanuvchilar soni muammosiga duch kelishga to'g'ri keladi;

- ko'p sonli mutaxassislar to'g'ri ko'rinishdagi O'YuCh kanallardan foydalanish inson salomatligi uchun zararli deb hisoblashadi;

- "turg'un WiMAX" uskunalari mobil rejimni qo'llab-quvvatlaydi va tarmoqlarning keyingi WiMAX standartiga o'tkazishda uskunalarning qismlarini yangilash talab qilinadi;

- va, nihoyat, WiBro (quyida yoritiladi) radiochastotalarga yaqin diapazonlariga yaqin foydalanadigan keng polosali aloqaning raqobatli standarti shuningdek, mobil aloqaning raqobatli, xususan LTE texnologiyalarining mavjudligi.

Shunday qilib, WiMAX standartining ko'rinib turgan afzalliklarida texnologiyaning total joriy etilishi yoki hatto unga ommaviy o'tish va majud tarmoqlardan voz kechish imkoniyati haqida hali gapirish erta. IEEE 802.16e standartining litsenziyalangan tijorat maqsadida ishlatilishi natijalarini olish, keyin esa uning rivojlanish istiqbollari baholash zarur. Lekin, shuni ta'kidlash joizki, 802.16 oilasidagi standartlarni takomillashtirish borasida ishlar davom etmoqda. 2009-yilda IEEE 802.16-2009 nomini olgan standartning yangi versiyasi paydo bo'ldi, lekin u IEEE 802.16m standartining paydo bo'lgunigacha bo'lgan oraliq xarakterga ega bo'ldi. IEEE 802.16m standarti statsionar abonent uskunasini bilan 1Gbit/sek gacha, mobil abonent uskunasini bilan esa 100Mbit/sek gacha tezlikda ma'lumotlar uzatishga erishishi kerak. Keyin yangi standartlar qo'llab-quvvatlaydigan uskunalarni litsenziyalanishi, uskunalarni ishlab chiqarish bozoriidagi raqobat va WiMAX tizimi orqali ulanish xizmatlarini va boshqalarni kutish mumkin. U holda bu texnologiyalarning alternativlariga taqqoslanganda afzalliklari va kamchiliklari haqida gapirish mumkin bo'ladi.

27.1.2. WiMAX va Wi-Fi tizimlarini taqqoslash

WiMAX va Wi-G'i tizimlarining taqqoslanishi yangilik emas, shuning uchun atamalarining nomlanishi o'xshash, bu texnologiyalar asoslangan standartlarning nomlanishi ham o'xshash (IEEE standartlari, har ikkalasi 802 dan boshlanadi), shuningdek, ikkala texnologiyalar keng polosali simsiz ulanish turkumiga kiradi. Lekin shunga qaramasdan bu texnologiya turli masalalarni yechishga yo'naltirilgan (27.1-jadvalga qarang).

WiMAX — bu odatda provayderga, oxirgi foydalanuvchiga Internet tarmog'iga "nuqta-nuqta" turi yordamida ulanishni ta'minlash uchun foydalaniladigan bo'shliq masofalarni qamrab oladigan uzoq masofali ishlaydigan aloqa tizimidir. 802.16 oilasining turli standartlari, turg'un to mobilgacha turli ulanish rejimlarini ta'minlaydi.

Wi-G'i — bu Internetga chiqish va Internetga chiqmasdan qisqa masofalarda lokal tarmoqni tashkil etish uchun foydalaniladigan tizimdir.

27.1-jadval

Keng polosali simsiz aloqa standartlarini taqqoslash jadvali

Texnologiya	Standart	Sinfi	O'tkazish qobiliyati	Qamrov hududi	Chastota diapazoni
Wi-G'i	802.11 a	WLAN	54 Mbit/sek	100 m gacha	5 GGs
Wi-G'i	802.11 b	WLAN	11 Mbit/sek	100 m gacha	2.4 GGs
Wi-G'i	802.11 g	WLAN	54 Mbit/sek	100 m gacha	2.4 GGs
WiMAX	802.16 d	WMAN	73 Mbit/sek	6–10 km	1.5–11 GGs
WiMAX	802.16 c	Mobil WMAN	30 Mbit/sek	1–5 km	2–6 GGs

WiMAX va Wi-Fi tizimlari umuman turli QoS xizmat ko'rsatish mexanizmlariga ega, WiMAX tizimi tayanch stansiya va abonent uskunasi orasidagi har bir bog'lanishga yagona QoS darajasini o'rnatishga asoslangan mexanizmdan foydalanadi. WiMAX tizimida har bir bog'lanish uchun yuqori QoS darajasini kafolatlaydigan maxsus rejalashtirish algoritmligiga asoslaniladi. Wi-Fi o'z navbatida har bir paket turli QoS darajasini oladigan Ethernet tarmoqlarida ishlatiladigan QoS mexanizmidan foydalanadi. Shunday qilib, Wi-Fi tizimida har bir bog'lanish uchun bir xil QoS darajasi kafolatlanmaydi. Nisbatan past narxi va o'rnatishda soddaligi tufayli Wi-Fi tizimlari mijozlarga Internetga tez ulanishni taqdim etish uchun ishlatiladi, masalan, ko'plab kafelarda, mexmonxonalarda, vokzallar va aeroportlarda bepul Wi-Fi ulanish nuqtalarini uchratish mumkin.

27.2. WiMAX standartlari (IEEE 802.16).

WiMAX standartlarining qisqacha rivojlanish tarixi

IEEE 802.16 standartlarini ishlab chiqish ustida asosiy ishlar 2001-yilda boshlandi. Shu yilning iyunida 802.16 oilasidagi standartlar asosida jihozlarni ishlab chiqarish bo'yicha tavsiyalarni ishlab chiqish uchun sohaviy konsorsium — "WiMAX Forumi" ga asos solindi. 2001-yilning dekabridayoq yangi keng polosali simsiz aloqa tizimi IEEE 802.16-2001 standarti paydo bo'ldi [43].

Standart shahar — "megapolis" ko'lamida (*ingl. Metropolitan Area Network, MAN*) statsionar simsiz tarmoqlarni tavsifladi va shu sababli standartning dastlabki nomi Wireless MAN (WiMAN) bo'ldi.

Yangi standartning topologiyasi faqat "nuqta-ko'p nuqta" rejimini taqdim etdi, fizik darajada esa bir eltuvchi chastotadan foydalanish ko'zda tutildi (*ingl. Single-Carrier, SC*). Shuning uchun protokolning nomlanishiga SC ni qo'shiladigan bo'ldi (Wireless MAN-SC). Ishchi chastotalar sifatida 10GGs dan 66GGs gacha diapazondan foydalanish va standart faqat to'g'ri ko'rinish (LOS)

sharoitlarida ishlashi ko'zda tutildi. Natijada, bu ilk 802.16-2001 standarti uskunalari keng tarqala olmaganiga sabab bo'ldi. Yana bir sabab yuqori chastotalarda ishlaydigan apparatura bazasi kamligi bo'ldi. Bu omillarni hisobga olib 2003-yilning yanvarida yangi 2GGs dan 11GGs gacha chastota diapazonidan foydalanish ko'zda tutilgan. Shu bois IEEE 802.16a-2003 kengaytirilgan standarti qabul qilindi. Mazkur standart ham megapolis ko'lamida statsionar simsiz tarmoqlarni yaratishga yo'naltirilgan edi. U "so'nggi milya" muammosini an'anaviy kabelli modemlar, xDSL va T1/E1 kanallar orqali ulanishning alternativ keng polosali yechimi bo'ldi. Bundan tashqari, IEEE 802.16a tarmoqlari Wi-Fi 802.11 b/g/a standartlarining ulanish nuqtalarini Internetga ulash uchun qo'shimcha texnologiya sifatida foydalanish uchun rejalashtirildi. Lekin "16a" standartining zaif joyi bino ichida yomon aloqa sifati bo'lib qoldi.

IEEE 802.16a standartining mantiqiy davomi IEEE 802.16d standarti bo'ldi. U bino ichida turg'un ulanish imkoniyatini ko'zda tutdi. Tamomila IEEE 802.16d standarti 2004-yilning iyulida qabul qilindi va "IEEE 802.16-2004" nomini oldi. "D" versiyasining paydo bo'lishi bilan IEEE 802.16a va IEEE 802.16d standartlarining alohida rivojlanishi zaruriyati qolmadi, chunki IEEE 802.16d standartining yakuniy versiyasi oldingi standartlarning barcha imkoniyatlarini qamrab olgan edi. Lekin standartlarni ishlab chiqish bo'yicha ishlar to'xtab qolmadi, chunki bosh maqsad, ya'ni KSU tizimlarida mobillikni ta'minlash hali erishilmagan edi. 2005-yilning dekabrda IEEE 802.16e (shuningdek "IEEE 802.16e-2005" deb nomlanadi), ko'proq "mobil WiMAX" sifatida ma'lum bo'lgan standart qabul qilindi. Shu yilning o'zida Setekom (Ispaniya) kompaniyasi qoshida WiMAX jihozlarini sertifikatlashtirish uchun mo'ljallangan birinchi laboratoriya ochildi.

Ta'kidlash kerakki, Yevropaning ETSI instituti qoshidagi BRAN (*ingl. Broadband Radio Access Networks*) texnik qo'mitasi-ning parallel ishlanmasi – "HyperMAN" standarti ham 2005-yilda

yaratildi [44]. Standart 2GGs — 11GGs chastotalar diapazonidan foydalanishga, Yevropa davlatlarida ishlatishga va foydalanuvchilarga turg'un va ko'chma ish rejimlarida keng hududda Internetga keng polosali simsiz ulanishni taqdim etish uchun mo'ljallangan edi. Shunday qilib, HiperMAN WiMAX tizimlariga (yoki IEEE 802.16 standartlariga), shuningdek, Koreyaning ishlanmasi — WiBro tizimiga (u haqda quyida batafsilroq keltirilgan) nisbatan alternativ standart hisoblanadi. Shunga qaramay, HiperMAN standarti IEEE 802.16 ishchi guruhi bilan uzviy hamkorlikda ishlab chiqildi va shuning uchun HiperMAN va IEEE 802.16a-2003 standartlari orasida "uzluksiz rouming" qo'llab-quvvatlanadi. Shuningdek, HiperMAN va IEEE 802.16 ning yangi standartlari orasida o'zaro ishlashni ta'minlash bo'yicha ishlar olib borilmoqda [45].

2006-yil IEEE 802.16 standarti asosidagi jihozlarni birinchi namunalarning paydo bo'lishi bilan tarixga kirdi, va bu bilan "turg'un WiMAX"ni faol joriy etilishi boshlandi. WiMAXning turg'un va mobil versiyalari o'zaro moslashmaydigan bo'lib qolgani, ya'ni ular raqobatchiga aylangani sababli "turg'un WiMAX" jihozlarini ishlab chiqaruvchilari va operatorlarining strategik vazifasi bo'lib "mobil WiMAX" mahsulotlari paydo bo'lgunicha KSU tizimlari bozorini tezroq va kengroq o'zlashtirish bo'lib qoldi.

Shuni ham yodlab o'tish lozimki, 2006-yilning o'zidayoq Koreyada birinchi WiBro tarmoqlari ishga tushirildi va bu Janubiy Koreya telekommunikatsion va AT sanoatining yetakchilari bo'lmish Samsung, LG, Korean Telecom va South Korea Telecom kompaniyalarining davlat qatnashuvidagi ko'p yillik faol mehnatlarining natijasi bo'ldi [46]. WiBro tizimi ham o'ziga xos tarixga ega. 2002-yil fevralida Janubiy Koreya aloqa ma'muriyati (regulyatori) WiBro tizimini rivojlantirish uchun 2,3—2,4GGs diapazonda 100 MGs radiochastota polosasini ajratdi. 2004-yilning oxirida WiBro birinchi fazasi davlat standartlashtirilishidan o'tdi va 2005-yilning oxirida HTI WiBro texnologiyasini IEEE 802.16e standarti sifatida tan oldi. Nihoyat, 2006-yilning iyuni-

da ikki operator — Korean Telecom va South Korean Telecom, WiBro tarmoqlarini tijoriy ishga tushirdi. Shunday qilib, WiBro asosida IEEE 802.16e (“mobil WiMAX”) standartiga mos keladigan KSU texnologiyasini tushunish zarur. WiBro tizimi 8.75MGs polosali OFDMA radio ulanish texnologiyasidan va TDD dupleksidan foydalanadi. Abonent uskunolari tayanch stansiya bilan 1km dan 5km gacha masofalarda 30—50Mbit/sek ma’lumotlarni uzatish tezliklarida bog’lanishlari mumkin. Tarmoq 120km/soat tezlikda harakat qilayotgan abonentlar bilan aloqa o’rnatish qobiliyatiga ega.

Bu jarayonda “mobil WiMAX” ishlab chiqaruvchilari ham orqada qolmadi. 2007-yilda IEEE 802.16e standarti asosidagi birinchi jihozlarni sertifikatlash muvaffaqiyatli o’tdi va WiMAX bozorida ikki raqobat qiluvchi lagerlar, ya’ni standartning turg’un va mobil versiyalari tarafdorlari paydo bo’ldi. Shu munosabat bilan WiMAX standartining bu versiyalarini atroflicha ko’rib chiqish va ularning xarakteristikalarini taqqoslash maqsadga muvofiq bo’ladi.

27.2.1. IEEE 802.16 standartlari oilasining tavsifi

IEEE institutining standartlar bo’yicha qo’mitasi simli va simsiz keng polosali aloqa standartlarini ishlab chiqish bilan shug’ullanadi. Ethernet (802.3) va Wi-Fi (802.11) kabi tarmoq texnologiyalari sohasidagi standartlarning ishlab chiqaruvchisi hisoblangan 802 qo’mita, shuningdek WiMAX (802.16) texnologiyasining standartlar to’plamini chiqardi.

Yuqorida ta’kidlanganidek, WiMAX Forumi — bu 802.16 oilasidagi standartlarni o’zaro moslashuvchanligini ta’minlash maqsadida WiMAX profillari asosida jihozlarni ishlab chiqarish bo’yicha tavsiyalarni ishlab chiquvchi sohaviy konsorsium. Yangi standartlarni ishlab chiqishda hamda ular asosida jihozlarni yaratishda ko’plab infokommunikatsion mahsulot ishlab chiqaruvchilari qatnashmoqda. Hozirgi kunda WiMAX forumi xizmat ko’rsatuvchilar (servis provayderlar) (50% atrofida), jihozlar va komponentlar

ishlab chiqaruvchilari, shuningdek, mazmun taqdim etuvchilar (kontent provayderlar)dan iborat 500 tadan ortiq a'zolari bir-lashtiradi [47].

Yuqorida ta'kidlanganidek, hozirgi vaqtda WiMAX nomi bilan quyidagi ikkita keng polosali simsiz aloqa standarti (versiyalari) rivojlanmoqda:

- "16d" versiyasi (standartning rasmiy nomi — IEEE 802.16-2004) faqat turg'un terminallarda ishlash uchun mo'ljallangan;
- "16e" versiyasi (standartning rasmiy nomi — IEEE 802.16-2005) turg'un, portativ va mobil aloqa turlari uchun mo'ljallangan va takomillashtirilgan radiointerfeysni qo'llab-quvvatlaydi.

Umumiy holda bu ikki WiMAX versiyalarining tizim jihozlari o'zaro moslashmaydi, shuningdek, "16d" versiyaning abonent uskunalari "16e" versiyadagi tarmoqlarda ishlay olmaydi. Bu moslashmaslik sababli va "16e" versiyasi ma'qulroq ekanligi uchun ko'pchilik ishlab chiqaruvchilar "16d" versiyaga vaqt sarflamasdan "16e" versiyani qo'llab-quvvatlashga qaror qabul qilmoqdalar.

27.2.2. IEEE 802.16 standartining turg'un va mobil versiyalari

WiMAX oilasiga mansub ba'zi umumiy xususiyatlar bo'lsada, standartning versiyalari bir-birlaridan sezilarli farq qiladi. Standartni ishlab chiqaruvchilar ham turg'un, ham mobil ravishda qo'llanilishi uchun optimal yechimlarni qidirdilar, lekin bir standart doirasida barcha talablarni moslashtirishga erisha olmadilar. Shunga qaramay, IEEE 802.16d va IEEE 802.16e standartlari umumiy xususiyatlarga ega.

Avvalo bu butun dunyoda standartlashtirilgan ochiq spetsifikatsiyali va yagona IP platformada qurilgan texnologiyalardir. Har ikkala standartga tayanch stansiyalarning katta xizmat ko'rsatish hududi va tarmoqning yuqori o'tkazish qobiliyati xosdir. Texnologiyalar talab qilingan xizmat ko'rsatish sifati (QoS)ni qo'llab-quvvatlashi, radiokanal orqali ma'lumot uzatishda javob ushlanish vaqti qisqaligi, tayanch stansiyalar va

abonent uskunalari orasida aloqani to'g'ri ko'rinish bo'lganda ham (*ingl. LOS*), bo'lmaganida ham (*ingl. NLOS*) o'rnatilishi kiradi. Standartlar yuqori spektral samaradorlik bilan keng chastotalar diapazonidan foydalanishi mumkin. Qator asosiy talablar mos kelsada texnologiyaning turli bozor munosabatlari-ga yo'naltirilganligi standartning ikkita alohida versiyalarining yaratilishiga olib keldi (to'g'rirog'i, ularni ikki turli standartlar deb hisoblash mumkin). WiMAXning har bir spetsifikatsiyasi o'zining ishchi chastotalar diapazonini, polosasining kengligi, nurlanish quvvatini, uzatish va ulanish usullarini, signalni modulyatsiyalash va kodlash usullarini, radiochastotalardan qayta foydalanish prinsiplarini va boshqa ko'rsatkichlarni aniqlaydi. Shuning uchun IEEE 802.16e va IEEE 802.16d standartlar versiyalariga asoslangan WiMAX tizimlari deyarli bir-biri bilan moslashmaydi. Bu standartlarni atroflicha o'rganamiz.

27.3. IEEE 802.16-2004 standarti

Standartda ortogonal chastotaviy multiplekslash (OFDM) ishlatiladi va to'g'ri ko'rinish bo'lgan va bo'lmagan hududlarda turg'un ulanish qo'llab-quvvatlanadi. Abonent uskunalari ham bino ichida, ham bino tashqarisida o'rnatish uchun mo'ljallangan statsionar modemlar hamda noutbuklar uchun RSMSIA yoki USB kartalar shaklida ishlanadi. Ko'p davlatlarda bu texnologiyalarga 3,5GGs yoki 5 GGs chastotalar diapazoni ajratilgan. Shu kunda, WiMAX Forumi ma'lumotlariga ko'ra, turg'un versiyada ishlayotgan tarmoqlar soni 175 tani tashkil qiladi [48]. Ko'plab tahlilchilar bu standartni DSL keng polosali simli ulanish texnologiyasiga raqobatchi sifatida ko'rishmoqda.

27.3.1. IEEE 802.16-2005 standarti

Mobil foydalanuvchilar uchun optimallashtirilgan standartning "16e" versiyasi "xendover" va "rouming" kabi qator maxsus funk-

siyalarni qo'llab-quvvatlaydi. Unda OFDMA asosidagi (S-OFDMA) o'zgaruvchan (masshtablanuvchi) ulanish qo'llaniladi, shuningdek tarmoq to'g'ri ko'rinish bo'lgan va bo'lmagan hol-larida ham ishlashi mumkin. "Mobil WiMAX" tarmoqlari uchun 2,3GGs; 2,5GGs; va 3,4–3,8GGs chastotalar diapazonlari-dan foydalanish rejalashtirilgan. Hozirgi vaqtda dunyoda IEEE 802.16e standarti asosidagi bir necha loyihalar, shu jumladan, milliy ko'lamdagi 10 ga yaqin tarmoqlar ishlamoqda [48]. 802.16e ning raqobatchilari barcha uchinchi va to'rtinchi avlod mobil tex-nologiyalari (masalan, EV-DO, HSPA va LTE) hisoblanadi.

27.3.2. IEEE 802.16-2004 va IEEE 802.16-2005 standartlarini taqqoslash

Keng polosali simsiz tarmoqlarni yuqori ishlash xarakteristikala-riga va maqbul narxiga talabchan operatorlarda WiMAX standart-larining paydo bo'lishi katta qiziqish uyg'otdi. Biroq, ikkita o'za-ro moslashmaydigan WiMAX standartlarining (IEEE 802.16e va IEEE 802.16d) mavjudligi bu texnologiyalarga investitsiyalar kiritish masalasini murakkablashtirdi. Ma'lumki, IEEE 802.16d stan-darti "turg'un", IEEE 802.16e standarti esa "mobil" deyiladi. O'z yo'lida IEEE 802.16e standarti ham turg'un, ham portativ, ham mobil abonentlarga to'liq xizmatlar to'plamini taqdim etishi mum-kin. Yuqorida ko'rilganidek, IEEE 802.16d standarti qo'llab-quv-vatlaydigan birinchi mahsulotlar 2006-yilda, IEEE 802.16e stan-darti qo'llab-quvvatlaydigan birinchi mahsulotlar esa 2007-yilning boshida bozorda paydo bo'ldi. Shunday qilib bu mahsulotlarning chiqishi orasidagi vaqt oralig'i juda kam bo'ldi va avvalroq pay-do bo'lgan mahsulotlari bilan bog'liq IEEE 802.16d standartining afzalliklari deyarli sezilmadi. Natijada uskunalar va vositalarga in-vestitsiya kiritish bo'yicha qaror qabul qilmoqchi bo'lgan operator-lar jiddiy tanlov qarshisida bo'lib qolishdi va bu standartlarning har birining sifatini taroziga tortib ko'rishlari va ko'p muddatli istiqbol-da ularning roliga e'tibor qaratishlari kerak bo'ldi.

Xo'sh, "turg'un" va "mobil WiMAX" oralaridagi farq nimalardan iborat ekan?

Ko'rinib turibdiki, ikki texnologiya orasidagi asosiy farq shundaki, "mobil WiMAX" nafaqat statik abonentlarga, balki yuqori tezliklarda (120 km/soat gacha) harakatlanuvchi mobil foydalanuvchilarga ham xizmat ko'rsatish imkoniyatiga ega. Bunda mobillik "rouming" va "xendover" xizmatlari mavjudligini, ya'ni abonent tayanch stansiyalar orasida harakatlanganda uzluksiz ulanish (xuddi sotali aloqa tizimlaridagidek) mavjudligini bildiradi. Ma'lumki, "mobil WiMAX" turg'un foydalanuvchilarga xizmat ko'rsatish uchun ham qo'llanilishi mumkin.

Ikkinchi farq shundaki, IEEE 802.16e standarti IEEE 802.16d standarti bilan o'zaro ishlay olmaydi. Garchi IEEE 802.16d standarti jihozlarini ba'zi ishlab chiqaruvchilari IEEE 802.16e standartiga o'tishga imkon beruvchi qo'shimcha apparat yoki dasturiy vositalar bilan jihozlangan tayanch stansiyalarni taklif etsalarda, bunday o'tish ishlatilayotgan "16d" abonent terminallariga taalluqli bo'lmaydi. Tayanch stansiyalarning modernizatsiyalash ham sezilarli qo'shimcha xarajatlarga olib kelishi mumkin. Ko'plab qurilayotgan IEEE 802.16d tarmoqlarida FDD dupleks ishlatiladi. IEEE 802.16e standartining istiqbolli profillari uchun TDD dupleks qo'llanilishi kutilmoqda. Bu esa bir standartdan boshqasiga o'tishni murakkablashtiradi, chunki TDD va FDD ning bir chastota diapazonida bir vaqtda ishlatilishi xalaqitlarning paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin. Bundan tashqari IEEE 802.16d standartida ishlayotgan va ma'lum bir vaqtdan so'ng IEEE 802.16e standartiga o'tmoqchi bo'lgan operatorlar o'zlarining mavjud chastotalarini ikki standartlar orasida bo'lishlariga yoki yangi chastotalar olishlariga to'g'ri keladi.

Standartlar orasidagi sezilarli farqlar radiointerfeysni ishlatilishida ham bordir. Dastlab "16d" versiyasida ham 256 elementli Fure tezkor o'zgartirishi (256 FFT)lik OFDM multiplekslash, ham 2048 ta nimeltuvchilik (ya'ni 2048 elementli FFT) OFDMA radio ulanish texnologiyasi qo'llab-quvvatlanar edi. Ammo keyin-

chalik IEEE 802.16d standartining fizik darajasi profilida WiMAX Forumi 2048 FTT lik OFDMA dan emas 256 FTT lik OFDM dan foydalanishga qaror qildi. IEEE 802.16e standartini ishlab chiqishda esa o'zgaruvchan S-OFDMA (*ingl. Scalable – OFDMA*) usulini ishlatib fizik darajada takomillashtirish kiritilgan. IEEE 802.16e standarti doirasida qo'llanilgan OFDMA texnologiyasi-ning afzalliklaridan biri shundaki kanalning kengligi o'zgaruvchan bo'ladi, shu bilan birga kanalning kengligi va OFDM simvollar-ni diskretlash chastotasi orasidagi munosabati o'zgarmas qoladi. FTT massivlarining bir necha: 128, 512, 1024 va 2048 o'lchamlari ko'zda tutilgan va bu turli radiokanal kengliklarini (5MGs; 7MGs; 8,75MGs; 10MGs, 20MGs) ishlatishga imkon beradi. Bundan tashqari IEEE 802.16e standartidagi OFDMA texnologiyasi aloqa uzoqligi va tarmoq sig'imi bo'yicha har xil talablarni qondirish maqsadida tarmoqning ishchi xarakteristikalarini optimallashtirish uchun subkanallarni tashkil etilishini bir necha usullarini ishlatishga imkoniyat beradi. Fizik darajada OFDM-simvollar va nimeltuvchilar chastotaviy rejalashtirish yordamida alohida mantiqiy va fizik subkanallarga ajratiladi. Chastotaviy rejalashtirish chastota-taqsimlash yoki chastota-ajratish asoslarida amalga oshirilishi mumkin.

Chastota-taqsimlash usuli har bir subkanalga mo'ljallangan nimeltuvchilarni psevdotasodifiy holda mavjud subkanallar orasida taqsimlaydigan usulni ko'zda tutadi. Bu usul chastotalar xilma-xilligi hisobiga turli aloqa sharoitlarida kanal resursidan optimal foydalanishga imkon beradi, shuningdek, tayanch stansiyaning qamrov hududini kengaytirishni va tarmoqning sig'imini oshirishni ta'minlaydi.

Chastota-ajratish usuli adaptiv modulyatsiya va kodlash (*ingl. AMS*) rejimida qo'llab-quvvatlanadi va bevosita bir-birlari bilan yaqin joylashgan (yoki, qo'shni) nimeltuvchilarning qo'llanilishi orqali subkanallarni tashkil etishga imkon beradi. Bu usul tarmoqning sig'imini 30% gacha oshirishiga olib kelishi mumkin. Usulning kamchiligi bu xizmat ma'lumotlari hajmini ortishidir.

OFDM texnologiyasi (IEEE 802.16d standarti) abonentlar orasida kanal resurslarini taqsimlashda kamroq erkinlikka ega, chunki unda bir simvolni faqat bir abonentga taqsimlash mumkin. OFDMA texnologiyasi esa katta erkinlikka ega va chastota resurslarni bir simvol uzunligida bir necha abonentlar orasida taqsimlashga imkoniyat beradi. Shunday qilib, kanalni kengaytirish imkoniyati va subkanallarini turlicha tashkil etish usullaridan foydalanish hisobiga IEEE 802.16e standartidagi OFDMA fizik interfeysi IEEE 802.16d standartidagi OFDM ga nisbatan sezilarli afzalliklarga ega.

Har ikkala standartlarda radiointerfeysni tashkil etishga turli talablar qo'yilgan va IEEE 802.16e standartida bu talablar qo'shimcha kengaytirilgan edi va ishlab chiqaruvchilarga tarmoq sig'imini, aloqa uzoqligini, terminallarning energiya iste'molini va xizmat ko'rsatish sifatini yanada yaxshilash, shuningdek, IP protokoli asosida ishlaydigan multimediali va boshqa xizmatlarni qo'llab-quvvatlash imkoniyatlari tavsiya etilgan edi. IEEE 802.16d va IEEE 802.16e standartlari aloqaning ishonchliligini oshirishga qaratilgan xatolarni oldindan tuzatish (*ingl. FEC*) bo'yicha turli algoritmlarni qo'llab-quvvatlaydi. Oddiy o'ramli kodlardan va ARQ mexanizmidan foydalanish majburiy deb, qo'shimcha vositalar sifatida esa o'ramli turbokod va HARQ — gibrid aks aloqa kabi samarador usullar qo'llanilishi nazarda tutilgan. Biroq, bu yuqori samarador xato tuzatish vositalari IEEE 802.16d standartining birinchi avlod jihozlarida ishlatilishini ehtimoli kam. IEEE 802.16e standartida esa birinchi mahsulotlardayoq LDPC (*ingl. Low Density Parity Check*) kamzichlik juftlikka tekshirish va STS kabi takomillashgan kodlash usullari qo'llaniladi.

Tarmoqning qamrov hududini oshirishga qaratilgan qo'shimcha yechimlar ikkala standartda ham ko'zda tutilgan. Bular orasida antennalarni fazoviy-vaqtli kodlash (*ingl. STS*) asosida fazoviy yoyish usuli qo'llaniladigan MIMO texnologiyasi bordir. Bu choralar IEEE 802.16e standartida yanada rivoj topdi, bunda antennalarni yoyish usullariga va adaptiv antennalarni ishlatishga katta

e'tibor qaratildi. TS uzatkichlarida ko'p antennali konfiguratsiyalarni qo'llab-quvvatlash, shu jumladan, takomillashtirilgan antenna nimtizimi rejimi AAS, teskari aloqasiz fazoviy-vaqtli kodlash rejimlari (2–4 uzatuvchi antennalar uchun va teskari aloqali MIMO rejimlari) ishlatilgan.

IEEE 802.16e standartida elektr energiyasini tejashni va AQ ni avtonom uzoqroq ishlash vaqtini ta'minlaydigan energiya iste'molini boshqarishning qator funksiyalari ("uyqu" va "kutish" rejimlari) tavsiflanadi. AQning mobillik qismiga IEEE 802.16e standartiga kiritilgan yangi qo'shimchalar hatto yuqori tezliklarda harakatlenganda ham jihoz ishlashi sifatini keyingi oshirilishiga olib keladi. Bunga yaxshilangan "xendover" jarayoni, qo'shni sotalar signallari parametrlarini nazorat qilish shuningdek "uxlash" rejimida mobillikni qo'llab-quvvatlash hisobiga erishiladi, bu abonent uskunasi energiya iste'molining kamayishini ta'minlaydi.

IEEE 802.16e standartida real vaqtda kanalni ilg'or taqdim etilishining takomillashtirilgan algoritmi (*ingl. Extended Real Time Polling Service, ERTPS*) kiritilmoqda. Bu algoritmdan foydalanish aniqlikning ushlanishi va uning notekisligi (djitter) ko'rsatkichlarini yaxshilash imkoniyatini beradi. Shu sababli IEEE 802.16e standarti tizimi trafikni uzatish tizimini va boshqa uning parametrlarini samarali boshqarishga qodir. QoS ta'minlash vositalaridan foydalanish, ayniqsa, IP protokoli bo'yicha (VoIP) nutq uzatilgan holda muhimdir.

Shuningdek, IEEE 802.16e standarti guruhli (ko'p manzilli) va keng uzatishli uzatish imkoniyatini ko'zda tutadi. OFDMA dan foydalanish hatto sotalar chegaralarida ham ma'lumotlarini yuqori uzatish tezligida guruhli va keng uzatishli uzatish imkoniyati multimedia tizimlariga (videoni paketli uzatish qo'llaniladigan, masalan IP-TV, IP protokoli bo'yicha katta trafik hajmi bilan xarakterlanadigan) o'tkazish polosasidan foydalanishni va kontentning yetkazilishini sezilarli optimallashtirishga imkon beradi.

Va nihoyat, u yoki bu standartning mahsulotlari narxlarining o'zgarishlariga taxminlarda farqlar mavjud. KSU tizimlari bozori

o'sishda davom etmoqda va shuning uchun ularning narxi ommaviy joriy etilishi va ishlab chiqarish ko'lamlari hisobiga iqtisod qilish natijasida kelajakda kamayishi kerak. AKT induksiyasidagi tajribalarning ko'rsatishicha, portativ va mobil uskunalarining tarqalishi ko'pincha ham abonent, ham infratuzilma jihozlari-ni ishlab chiqarish hajmlarini tez o'sishiga olib keladi. Shuning uchun IEEE 802.16e standarti mobil uskunalarining rivojlanishi IEEE 802.16d standartidagiga qaraganda arzon bo'lishiga imkon beradi. Shu bilan birga yirik chipsetlar ishlab chiqaruvchilari (Intel, FUJITSU kabi) rasman bildirishdiki, IEEE 802.16e standarti WiMAX tizimlarining asosiy standarti bo'lib qoladi. Lekin agar "turg'un WiMAX" ham afzalliklari keltirilmasa taqqoslash to'liq bo'lmaydi. Bu avvalo foydalaniladigan signalni modulyatsiyalash va kodlash turlari hisobiga yuqori o'tkazish qobiliyati hisoblanadi. Bu o'tkazish polosasiga qat'iy talablarni qo'yadigan va turg'un modemni o'rnatish imkoniyatiga ega bo'lgan korporativ foydalanuvchilar uchun muhim. "turg'un WiMAX" uchun standartning avvalroq paydo bo'lishi hisobiga tayyor jihozlarni yetkazib beruvchilarning katta tanlash mavjud va bu jihozlar endi o'zaro moslashishga testlangan va WiMAX Forumi sertifikatlari bilan tasdiqlangan.

IEEE 802.16d va IEEE 802.16e standartlarini ko'rib chiqishni yakunlash bilan 27.2-jadvalga kiritilgan bu standartlarning xarakteristikalarini umumlashtirilgan taqqoslashni, shuningdek 27.3-jadvalda bu standartlar taqdim etiladigan xizmatlar klassifikatsiyasini keltiramiz.

27.2-jadval

IEEE 802.16d va IEEE 802.16e standartlarini taqqoslash

	IEEE 802.16 -2004(d)	802.16e
Ko'plab ulanish usuli	OFDM/OFDMA	S-OFDMA

O'tkazish polosasi-ning kengligi (MGs)	1,75/3/3,5/5,5/7 (OFDM) 1,25/3,5/ 7/14/28 (OFDMA)	1,25/2,5/5/10/20 1,75/3/3,5/5,5/7
FFT massivning o'lchami	256 (OFDM) /2048 (OFDMA)	128; 256; 512; 1024; 2048
Nimeltuvchilar orasi-dagi surilish (kGs)	22,5 (OFDM 5MGs) 2,8 (OFDMA 5MGs)	Istalgan o'tkazish oralig'i kengligi uchun 11.2
Dupleksirlash usuli	FDD/TDD/FDD2 yarim dupleks	FDD/TDD/FDD yarim dupleks
Kadrning uzunligi (ms)	2,5; 4; 5; 8; 10; 12,5; 20	2; 2,5; 4; 5; 8; 10; 12,5; 20
Kanal koderi	Sistematik kaskadli svertkali rekursiv kod (RSCCC), Block TS, STSZ	Sistematik kaskadli svertkali rekursiv kod (RSCCC), Block TS, STS, LDPC
Nimkanallar ("past-ga")	FUSC/PUSC/Band AMS	FUSC/PUSC/Band AMS
Nimkanallar ("yuqoriga")	PUSC/Optional PUSC	PUSC/Optional PUSC
HARQni qo'llab-quvvatlash	Bor (faqat 2048 OFDMA)	Bor
SQI tezkor aks aloqa	Bor (faqat 2048 OFDMA)	Bor
AAS	Bor	Bor
STCni qo'llab-quvvatlash	Bor	Bor
Chastotalarni ko'p marta ishlatilishi	2/4 antennalar	2/3/4 antennalar
Mobillik/aloha seansini uzatish	1 sota doirasida ishlatilmaydi	1 sota doirasida ishlatish mumkin

“Uyqu” rejimi	Yo‘q	Bor
Zondlash kanali	Yo‘q	Bor
Guruhli/keng qamrovli uzatish	Yo‘q	Bor

27.3-jadval

Mavjud va paydo bo‘ladigan servislarning misoliy klassifikatsiyasi

Uzatiladigan ma’lumotlar turi	Xizmatlar toifasi	“turg’un WiMAX”	“mobil WiMAX”
Axborotlar	Internet-ulanish, e-mail	++	++
	VPN	++	++
	Ma’lumotlar bazasiga portallarga ulanish	+	++
	Ma’lumotlarni to‘plash	+	++
	Telemetriya	++	+
	Aktivlar us-tidan nazorat		+
Tovush	VoIP	++	++
	PTT (guruhli chaqirish)	—	++
	FMC	—	++
Video	Radiochaqiruv	+	++
	Videokonferensiya		

Joylashgan o'rin	Axborot xizmatlari	—	++
	Xodimlar va texnikani boshqaruv	—	+
	Chaqiruvlarni adaptiv marshrutlashtirish	—	++

++ xizmatlar yaxshi qo'llanilgan; + xizmatlar o'rtacha qo'llanilgan;

— qo'llanilmagan.

Nazorat savollari:

1. WiMAX tizimlarining asosiy afzalliklari nimada?
2. WiMAX tizimlarining asosiy kamchiliklari nimada?
3. WiMAX tizimlarida xavfsizlik qanday ta'minlanadi?
4. Dunyodagi WiMAX korporativ tarmoqlariga misollar keltiring.
5. WiMAX tarmoqlari qanday prinsiplar asosida quriladi?
6. WiMAX va Wi-Fi tizimlarini taqqoslash.
7. Keng polosali simsiz aloqa standartlariga misollar keltiring.
8. IEEE 802.16 standartlari oilasining tavsifi.
9. IEEE 802.16 standartining turg'un versiyasi.
10. IEEE 802.16 standartining mobil versiyasi.

28-bob. WiMAX TIZIMI ARXITEKTURASINING ASOSIY PRINSIPLARI

28.1. WiMAX tarmog'ining tayanch modeli (NRM)

WiMAX tizimining arxitekturasiga nisbatan IEEE instituti PHY fizik va MAC darajalardagi asosiy talablarni aniqladi. O'z vaqtida bunday yondashuv Ethernet va WI-FI texnologiyalarga qo'llanishda o'z samaradorligini ko'rsatdi. Ularda TCP/IP, SIP, VoIP va IP-SEK turdagi yuqori darajalardagi protokollar va boshqa sohaviy tuzilmalar, bu holda IETF (*ingl. Internet Engineering Task Force – Internet tarmog'ini loyihalashtirish bo'yicha maqsadli guruh*) guruhi tomonidan qabul qilingan. Lekin, PHY va MAC darajalarda radio-interfeysga umumiy talablar ishlanmasidan tashqari, xalqaro darajada moslashtirish zarur bo'lgan masofalar to'plami mavjud. Xususan, bir xil jinsli, ham "turli jinsli" (ya'ni boshqa texnologiyalarga kiradigan) tarmoqlar bilan WiMAX tizimlarining o'zaro ta'sirlashishini ta'minlash bo'yicha talablarni aniqlash zarur. Misol uchun mobil aloqalar uchun bu masalalar bilan 3GPP va 3GPP-2 dasturlari shug'ullanadi. Ular interfeyslar va protokollar keng to'plam bo'yicha standartlarni o'rnatadi. Chunki bu faqat umumiy radiointerfeys bo'yicha o'zaro ta'sirlashish uchun emas, balki turli ishlab chiqaruvchilar jihozlarida qurilgan turli tarmoqlar orasida o'zaro ta'sirlashish va "rouming" uchun zarur bo'ladi. Shunga o'xshash IEEE 802.16 oilasidagi standartlar uchun protokollar va interfeyslarni ishlab chiqish bilan WiMAX forumi shug'ullanadi. Xususan, forum doirasida ikki ishchi guruh tashkil etildi. Statsionar, ko'chma, portativ va mobil ish rejimlari uchun yuqori darajalar tayyorlashda maxsuslashtirilgan tarmoqlarni tashkil etish bo'yicha guruh (*ingl. Network Working Group*) tarmoqqa ulanishni taqdim etish bo'yicha talablarni aniqlagan va ularni ishlatishga tarmoqlarni tashkil etish bo'yicha guruhga yordam bergan xizmatlarni tashkil etish bo'yicha guruh (*ingl. Service Network Working Group*) tashkil etildi. Bu guruhlar o'z ishida quyidagi asosy tarmoqlarni qurish prinsiplariga asoslandi:

1. WiMAX tizimi arxitekturasini bevosita IEEE 802.16 standarti, shuningdek, IETF va Ethernet standartlari aniqlagan kommutatsiya jarayoni qo'shilganda paketni kommutatsiya asosida qurilishi kerak.

2. Arxitektura kommutatsiya darajasidan ulanish darajasini ajratish kerak. Ya'ni, tarmoqning kommutatsiya darajasi elementlari IEEE standartlarining qo'llanilgan radioulanish texnologiyalariga bog'liq bo'lmasligi kerak.

3. Tizimning arxitekturasini tarmoqlarni qurish va kengaytirishning turli variantlarini qo'llab-quvvatlash uchun modulli va ixcham bo'lishi kerak. Xususan, ularga quyidagilar kiradi:

- Kichik o'lchamlardagi tarmoqlardan katta o'lchamli tarmoqlarga o'tish;
- Shahar, shahar atrofi va qishloq sharoitlaridagi radio-to'lqinlarni tarqalishida ishlash;
- Litsenziyalangan litsenziyalanmagan ishchi chastotalardan foydalanish;
- Iyerarxik, bir darajali va o'zi shakllanadigan tarmoqlar topologiyalari va ularning kombinatsiyalari;
- Turg'un ko'chma, portativ va mobil terminallarda birgalikda ishlash.

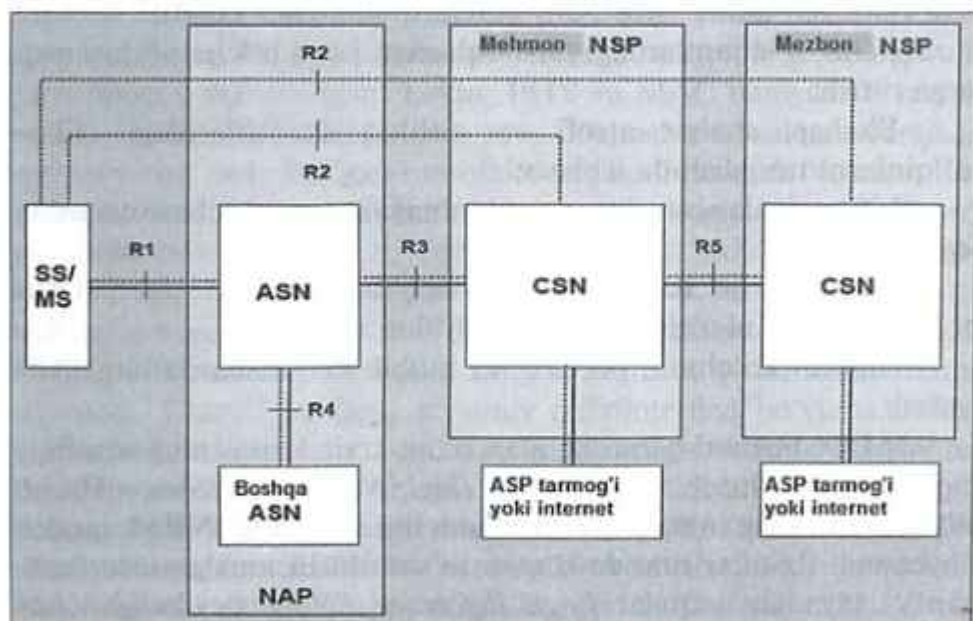
WiMAX Forumi qatnashchilari tizim arxitekturasining mantiqiy taqdim etilishi hisoblangan NRM (*ingl. Network Reference Model*) WiMAX tarmog'ining tayanch modelini aniqladi. NRM modeli funksional tizimlar orasida o'zaro ta'sirlashishi amalga oshiriladigan va tayanch nuqtalar (*ingl. Reference Points*) deyiladigan tarmoqning funksional tugunlarini tavsiflaydi. WiMAX tarmog'ining tayanch modeli umumiy ko'rinishda 28.1-rasmda keltirilgan.

Tizimning bunday arxitekturasini turli tarmoqlarni qurish modullarini va terminallarning ish rejimlarini qoniqtiradigan funktsionallikni ta'minlash maqsadida taklif etilgan. WiMAX Forumi WiMAX tarmoqlar ishlashining ko'plab aspektlarini aniqlaydigan arxitekturani ishlab chiqdi:

- boshqa tarmoqlar bilan o'zaro ta'sirlashish;

- tarmoq manzillarini taqsimlash;
- mobillikni boshqarish;
- autentifikatsiya va ko'plab boshqalar.

WiMAX tarmog'i arxitekturasining bosh o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, u qandaydir ma'lum konfiguratsiya bog'lanmagan va yuqori ko'lamlikka va ixchamlikka ega. Masalan, WiMAX tarmog'i turli funksional imkoniyati AQLarni va mikrosotalarni va makrosotalardan boshlangan hamda pikosotalar va femsotalarda tugagan o'zgaruvchan qamrash hududli TSlarni qo'llab-quvvatlashi mumkin.



28.1-rasm. *WiMAX tarmog'ining tayanch modeli (NRM).*

WiMAX Forumi R1-R5 (asosiy) va R6-R8 (yordamchi) belgilanishlarni olgan tayanch nuqtalari bo'lgan bir necha tugunlararo ulanishlar bilan birga tarmoqning tugunlar tarkibini aniqladi.

28.1-rasmdan ko'rinib turibdiki, WiMAX tarmog'ining asosiy tugunlari quyidagilar hisoblanadi:

- SS/MS (*ingl. Subscriber Station/Mobile Station*) — abonent uskunasi/mobil stansiya;
- ASN(*ingl. Access Service Network*) — ulanishni taqdim etish;
- BS (*ingl. Base Station*) — tayanch stansiya (ya'ni "ulanish nuqtasi nomiga ega"), ASN tuzilmasiga kiradi;
- ASN-GW (*ingl. ASN Geteway*) — ASN shlyuzi, u ham ASN tuzilmasiga kiradi;
- CSN (*ingl. Connectivity Service Network*) — kommutatsiya tarmog'i;
- HA (*ingl. Home Agent*) — uy agenti, CSN tuzilmasiga kiradi;
- AAA Server (*ingl. Authentication, Authorization and Accounting Server*) — autentifikatsiyalashtirish, avtorizatsiya va qayd etish serveri, u ham GSN tarkibiga kiradi;
- NAP (*ingl. Network Access Provider*) — tarmoqqa ulanish provayderi;
- NSR (*ingl. Network Service Provider*) — tarmoq xizmatlari provayderi.

Tarmoq tugunlariga bo'lish mantiqiy darajada va har bir mantiqiy tugunlarda amalga oshirilgan. MS, ASN va CSN guruhli funktsionallikdan iborat bo'lishi mumkin. Bunda tarmoq funksiyalari funktsiyalarga bo'lingan ham bir necha apparatlarida ishlatilishi mumkin. Uskunada funktsiyalarni bo'lish yoki birlashtirish tizimni integratsiya modeli bilan aniqlanadigan yoki tizimning xarakteristikalariga qo'yiladigan talablarni tanlash hisoblanadi. Tizim ichida o'zaro ta'sirlashish tarmoqning funktsional tugunlari orasidagi o'zaro ta'sirlashish protokollarini aniqlashda quriladi.

28.2. WiMAX tarmog'i tugunlarning funktsionalligi

Abonent uskunalari.

Abonent uskunalari WiMAX tarmog'iga va tashqi IP tarmoqlarga tayanch stansiyalarga radiokanal bo'yicha ulanish orqali ulanish oladi. Ular statsionar, ko'chma va mobil rejimlarda ishlatilishi mumkin va mos ravishda ham bino ichida, ham bino tash-

qarisida ishlatish uchun mo'ljallangan. Bino ichida foydalanishga mo'ljallangan AQLar tashqi uskunalarga qaraganda TSdan sezilarli kichik masofalarda ishlashga qodir va shuning uchun tarmoq infratuzilmasida ko'p sonli TSlardan foydalanishni ko'zda tutadi. "Mobil WiMAX" paydo bo'lishi bilan yo'nalish (urg'u) mobil smartfonlar, USB modullar va PC kartalar ko'rinishida mobil AQLarni ishlab chiqarishga qaratiladi.

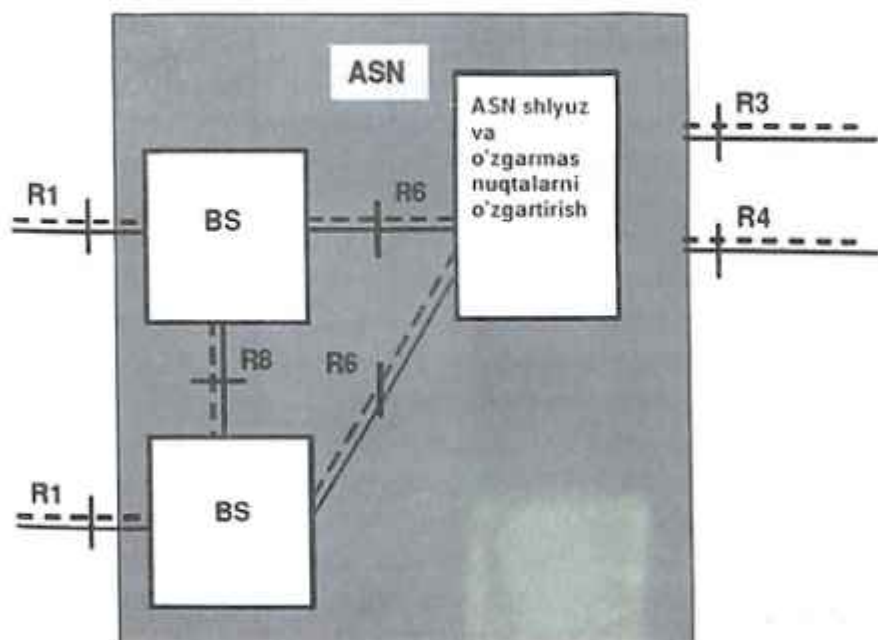
ASN ruxsat olishni taqdim etish tarmog'i

ASN tuguni kommutatsiya darajasi va ulanishni taqdim etish darajasini mantiqiy chegarasini aniqlaydi va ulanishni taqdim etishga javob beradigan funksional tugunlar orasida o'zaro ta'sirlashish va xabarlarni almashtirishning qulay usulini taklif qiladi. ASN bir yoki bir necha mijozlar bilan bir yoki bir necha TSlardan iborat. ASN mijozlar CSN kommutatsiya tarmog'i bilan u orqali boshqa transport IP tarmoqlar bilan aloqani ta'minlaydi. Faktik bu tugun IEEE 802.16 radio ulanish tarmog'ini tashqi IP tarmoqlar bilan bog'laydi. NRM modelida o'rnatilishlarga muvofiq ASN tarmoqlari chegaralarida funksional va mantiqiy kommutatsiya turli usullarda amalga oshirilishi mumkin. Xususan ASN — shlyuz bir necha TS lar ishini boshqarishi mumkin, lekin har bir TS ham bir emas, bir necha ASN-shlyuzlarga bog'langan bo'lishi mumkin.

Bundan tashqari, TS ham, ASN shlyuzlar ham to'g'ridan to'g'ri bir-birlariga bog'langan bo'lishi mumkin. WiMAX Forumi ishlab chiqaruvchilar jihozlarning xilma-xilligini qo'llab-quvvatlash va ularni o'zaro ta'sirlashish imkoniyatlarini hisobga olganda tarmoqning spetsifikatsiyasini aniqlaydi. ASN tuzilmasi 28.2-rasmda keltirilgan.

ASN tuguni AQLari bilan ulanish uchun R1 tayanch nuqtasidan, CSN tugun bilan ulanish uchun R3 tayanch nuqtasidan, boshqa ASN tugunlar bilan ulanish uchun R4 tayanch nuqtasidan foydalanadi. Bevosita ASN tuguni TS lar va ularga ulangan ASN shlyuzlardan iborat (28.2-rasm).

ASN tuguni elementlarining o'zaro ta'sirlashishi R6, R7 va R8 maxsus interfeyslarini tayanch nuqtalari sifatida ishlatishi hisobiga amalga oshiriladi. Agar ASN tuguni bir necha ASN shlyuzlar-ni ishlatgan holda, unda boshqarish signallarini almashtirish R4 tayanch nuqtasi orqali amalga oshiriladi. TS IEEE spetsifikat-siyalarida aniqlangan parametrlar bo'yicha mos hisoblanadigan abonent uskunalariga va Internetga simsiz ulanishni ta'minlaydi. TS AU va Internet tarmog'i orasida IP trafikni WiMAX standarti radiointerfeys orqali marshrutlashtiradi.

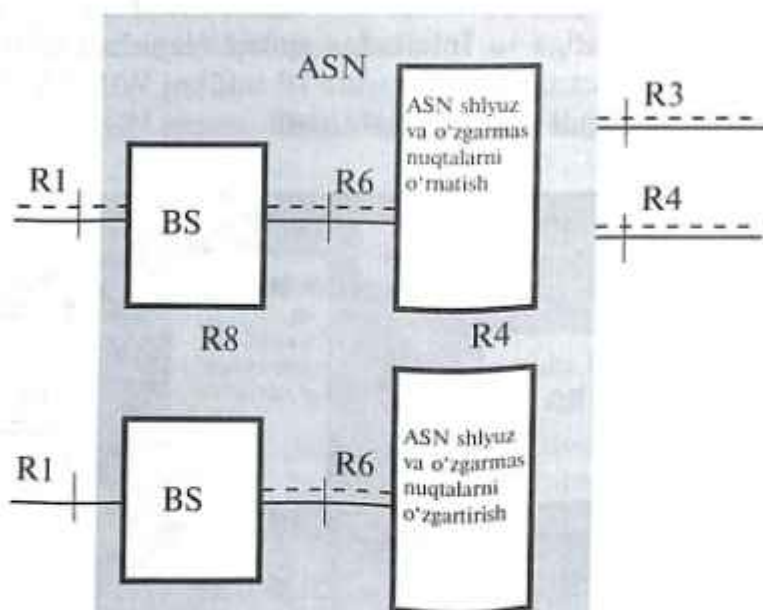


28.2-rasm. ASN tuzilmasi.

Tayanch stansiya tavsifi.

WiMAX Tayanch Stansiyasi (ba'zan "ulanish nuqtasi" sifa-tida belgilanadi) bu IEEE 802.16 standartga muvofiq PHY va MAC darajalariga munosabatga ega mantiqiy uskunadir. Bu shuni bildiradiki, turli BSlar turli funksiyalarga ega bo'lishi mumkin.

WiMAX tarmog'idan mantiqiy TS o'z chastota resursini bir ma'lum sektor hisoblanadi. Ya'ni real TS bir nechta mantiqiy TS lar bilan birlashmasidan iborat. Yuklamani bir tekis taqsimlash yoki TS tizimining to'lib qolishi uchun TS bir necha ASN shlyuzlar orqali ulanishi mumkin.



28.3-rasm. ASN tayanch nuqtalari.

ASN shlyuz tavsifi.

ASN shlyuz mazkur mantiqiy uskunalarning qismini o'ziga olish bilan ASN va CSN tugunlar orasida o'zaro ta'sirlashishni bo'yicha funksiyalarni bajaradigan mantiqiy uskuna hisoblanadi. Shuningdek, ASN shlyuz bir ASN tuguni TSni boshqa ASN tugunlar va CSN tugun bilan bog'laydi. Bunda aloqa ham trafik kanallari darajasida ta'minlanadi. Yuklamani bir tekis taqsimlash va tarmoqning ishonchliligini ta'minlash uchun ASN tugunda bir necha ASN shlyuzlar bo'lishi mumkin.

ASN shlyuzning funksionalligi.

ASNning funksionallik imkoniyatlari asosan ASN shlyuzga qo'yilgan, u opsional jihatdan ikkita DP (*ingl. Decision Point*) qarorni qabul qilish va EP (*ingl. Enforcement Point*) bajarish darajasiga bo'linishi mumkin. Bunday bo'linish tarmoqqa ASN shlyuzlarni qulay joriy etish uchun maxsus qilingan. DP va EP darajalar R7 tayanch nuqtasidan orqali bir-birlari bilan ta'sirlashadi. Bunda DP daraja bittadan ortiq EP darajalar bilan (ya'ni ASN shlyuz bilan) o'zaro ta'sirlashishi mumkin. EP daraja trafikni uzatish funksiyasini, DP daraja esa boshqarish funksiyasini bajaradi. R3, R4, R6 tayanch nuqtalarga qo'yilgan ASN shlyuzlar funksiyalari 28.4-rasmda keltirilgan.



28.4-rasm. ASN shlyuzning tayanch nuqtalari.

Misol uchun, R6d va R6e tayanch nuqtalari TS va ASN shlyuzning DP va EP darajalari orasidagi interfeys hisoblanadi. TS va ASN shlyuzlar orasida funksiyalarni taqsimlanishi ASN profillar (A, B va C profillar) tomonidan aniqlanadi.

28.3. CSN kommutatsiya tarmog'i

CSN tuguni ham WiMAX tarmog'i ichida, ham tashqi IP tarmoqlar bilan abonentlarga aloqa xizmatlarini taqdim etadigan bevosita WiMAX operatori tarmog'i hisoblanadi. CSNda IP marshrutlashtirish, RCRF va abonentlar prodgillarini saqlash, ASN tugunlar bilan trafikni almashtirish AIS ASN hududi chegaralaridan chiqqanda mobillikni boshqarish, "rouming"da turli CSN tugunlari orasida trafikni tunnellashtirish, "billing" va "rouming" hisoblari, multimedia servislari, qonuniy ushlarish (rus. "Законный перехват") va boshqalar kabi ko'p sonli funksiyalar ishlatiladi. CSN tugun marshrutizatorlar, AAA proksi-serverlar, abonentlar ma'lumotlari bazasi va o'zaro ta'sirlashish shlyuzlari kabi tarmoq elementlarini o'z ichiga olishi mumkin. CSN tuguni yana yaratiladigan tarmoq yoki mavjud WiMAX xizmatlari provayderi tarmoqlari qismi sifatida ishlatilishi mumkin.

IEEE 802.16 standartiga mobillikni kiritilishi bilan NRM tayanch modelga NSP (*ingl. Home NSP va Visited NSP*) tarmoq xizmatlari provayderining uy va mehmon tugunlari kiritildi. Uy HSP bu AUga aloqa xizmatlarini taqdim etadigan operator, mehmon HSP esa AUga "rouming" xizmatlarini taqdim etadigan operatoridir. Buning uchun uy va mehmon HSP o'zaro "rouming" haqida shartnoma imzolaydi. Ham uy va ham mehmon HSP AAA funksiyalarini bajaradi. AUga tarmoqning yozilgan xizmatlariga taqdim etishni taqdim etadi, lekin "billing" va abonent to'lovini hisob-kitobi uy NSP orqali amalga oshiriladi. "Rouming"da AU uchun trafikni marshrutlashtirish ham uy NSP orqali, ham to'g'ridan to'g'ri mehmon NSP orqali amalga oshirilishi mumkin.

Tayanch nuqtalarining funksiyalari.

Tayanch nuqtasi ikki turli tarmoqlar guruhlarida joylashgan ikkita funksional tugunlar orasida o'zaro ta'sirlashish nuqtasi hisoblanadi.

Bunda quyidagi shartlar to'g'ri:

- mazkur tayanch nuqtasining protokollari doim ham bir funksional guruhga birlashtirilmagan;
- tayanch nuqtasi orqali birlashtirilgan ikkita tugun turli funksional guruhlarda bo'ladi.

R1 tayanch nuqtasi.

R1 tayanch nuqtasi IEEE 802.16 standarti spetsifikatsiyasi bo'yicha radiointerfeys orqali AU va ASN tuguni orasidagi protokollar va jarayonlardan tashkil topgan R1 tayanch nuqtasi boshqarish rejasiga muvofiq qo'shimcha protokollarni o'z ichiga olishi mumkin.

R2 tayanch nuqtasi.

R2 tayanch nuqtasi NSP uy tarmog'i bilan ta'sirlashadigan AU va SSN tuguni orasidagi protokollar va jarayonlardan tashkil topgan R2 autentifikatsiyalash, avtorizatsiya va IP-konfiguratsiyalash funksiyalarini bajaradigan mantiqiy interfeys hisoblanadi.

R3 tayanch nuqtasi.

R3 tayanch nuqtasi AAA xizmatlarni, boshqarish siyosati va mobillikni boshqarish qo'llab-quvvatlash uchun ASN va SSN tuguni orasidagi nazorat protokoli to'plamidan iborat. U shuningdek, ASN va SSN tugunlar orasida trafikni uzatish funksiyasini bajaradi.

R4 tayanch nuqtasi.

R4 tayanch nuqtasi nazorat va xizmat protokollari hamda ASN ishiga bog'liq turli funksional jarayonlardan tashkil topgan va ASN mijozlar orqali ASN tugunlar orasida o'zaro ta'sirlashishni ta'minlaydi. Binobarin R4 tayanch nuqtasi orqali bir jinsli (geterogen) ASN tugunlar orasidagi o'zaro ta'sirlashish protokolini ta'minlaydi.

R5 tayanch nuqtasi.

R5 tayanch nuqtasi uy va mehmon NSP provayder tarmoqlariga kiradigan SSN tugunlar orasidan nazorat protokollari to'plamidan iborat.

ASN tayanch nuqtalari. R6 tayanch nuqtasi.

R6 tayanch nuqtasi TS va ASN shlyuz orasida o'zaro ta'sirlashishi uchun nazorat va bir tomonga yo'nalgan kanallardan tashkil

topgan. Teskari aloqa kanali TS va ASN shlyuz orasida ASN tuguni kanali ichidagi axborotni kanali hisoblanadi. Nazorat matritsasi axborot kanalini tashkil etish protokollari, mobil abonentlar AUlari uchun nazorat kanalini taqdim etish va o'zgartirishni o'z ichiga oladi. **R6 R4** bilan kombinatsiyada **R8** nuqta orqali almashtirish imkoniyatiga ega bo'lmagan tayanch stansiyalar orasida MAS holatlarni almashtirish uchun "tunnel bo'lib" xizmat qilishi mumkin.

R7 tayanch nuqtasi.

R7 tayanch nuqtasi ASN shlyuzdagi boshqarish siyosati va AAA funksiyalar uchun nazorat protokollari opsional matritsasidan tashkil topgan.

R8 tayanch nuqtasi.

R8 tayanch nuqtasi AU xizmat ko'rsatishni tez va sezilarsiz uzatilishi bo'lgan "xendover" uchun TS orasida trafikni uzatish opsional interfeysi va boshqaruvchi xabarlar va oqimlar interfeyslaridan tashkil topgan.

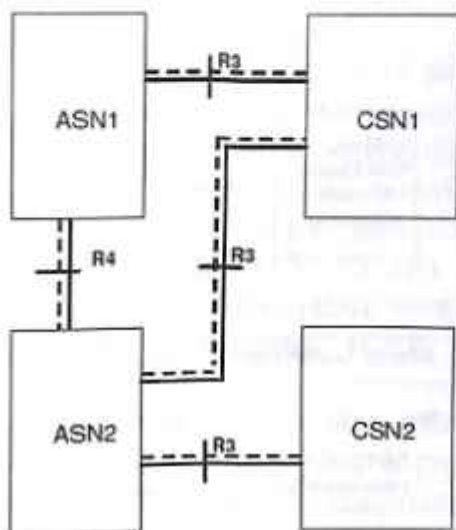
28.4. Radioulanish tarmog'i va kommutatsiya tarmog'ining o'zaro ta'sirlashishi. WiMAX tizimi arxitekturasining boshqa o'ziga xos xususiyatlari

28.5-rasmda ASN va CSN tugunlar bir operatorga tegishli bo'lmagan holda ularning o'zaro ta'sirlashishi mumkin va aksincha, bir nechta CSN tugunlari bitta ASN tuguniga ko'rinadigan bo'lishi mumkin.

WiMAX tizimi arxitekturasida bir tarmoq platformasida IP va Ethernet xizmatlarini taqdim etishga imkoniyat beradi. WiMAX-WiMAX tarmoq komponentlarini ixchamligi va moslashuvchanligi operatorlarga, shuningdek, aralash tarmoqlarda ham tashkil etish uchun turli ishlab chiqaruvchilarning foydalanish qulayligini beradi.

WiMAXWiMAX arxitekturasining universalligi quyidagi turli xizmatlar va ilovalarni qo'llab-quvvatlashga imkon beradi:

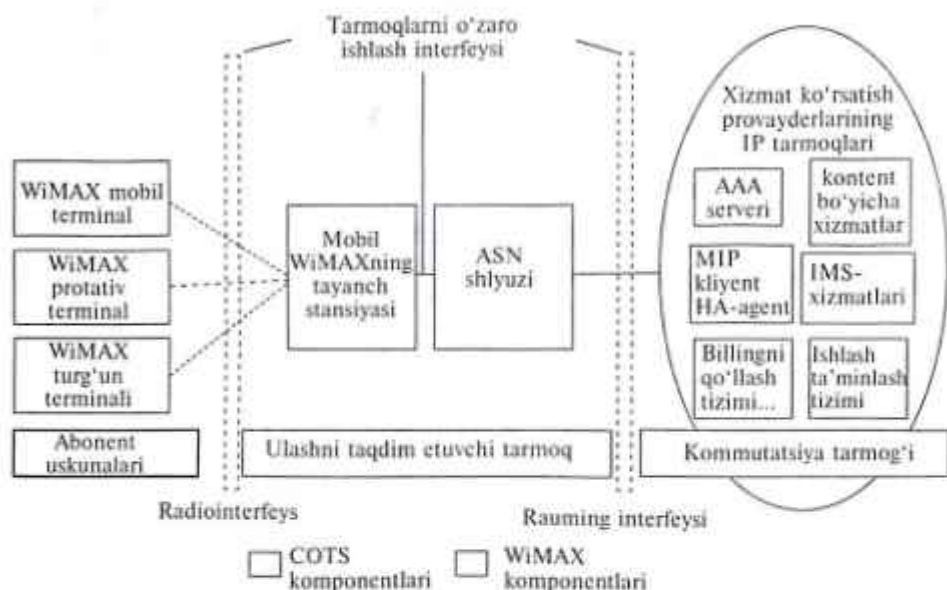
- tovush va multimedia ilovalari, shuningdek, avariya chaqiruvlari va qonuniy ushlash turlaridagi majburiy xizmatlar;
- turli xizmat ko'rsatish tarmoqlariga mustaqil ulanish;
- IP bo'yicha tovushga asoslangan mobil tovushli aloqa (VoIP);
- IP bo'yicha SMS, IP buyicha MMS va boshqa xizmatlar;



28.5-rasm. *WiMAX tayanch tarmog'i tugunlarining o'zaro ta'sirlashishi.*

• Guruhli va keng uzatishli aloqa o'zaro ta'sirlashish va "rouming" xizmatlari i WiMAXWiMAX tarmoqlarining muhim funksionalligi hisoblanadi. Xususan, WiMAXWiMAX tarmoqlari 3GPP va 3GPP-2 simsiz tarmoqlar, shuningdek, IETF protokollari asosidagi DSL va MSO simli tarmoqlar bilan o'zaro ta'sirlashishi mumkin. WiMAXWiMAX tarmoqlari bilan "global rouming" xizmatlari o'sha bir AU identifikatorlaridan foydalanish imkoniyatlarini AAA va "billing" yagona funksiyalarini, "nom/parol" birlashmasi, raqamli sertifikatlar, SIM-kartalar, universal USIM-kartalar va RUIM (ingl. Removable User Identify Module) abonentni identifikatsiyalashning olinadigan modullari kabi

turli autentifikatsiyalash formatlarini qullab-quvvatlash imkoniyatlarini o'z ichiga oladi. Ko'p darajali tuzilmali WiMAXWiMAX tizimi arxitekturasining modeli 28.6-rasmda keltirilgan.



28.6-rasm. IP asosidagi WiMAXWiMAX tarmog'i arxitekturasini.

Nazorat savollari:

1. Simsiy aloqa tizimlarining qisqacha rivojlanish tarixini bayon eting.
2. Raqamli va analog, tor polosali va keng polosali texnologiyalar qanday farqlanadi?
3. Aloqaning uzoqligi bo'yicha simsiy aloqa tizimlarini sinflarga bo'ling.
4. Wi-Fi tizimlarida xavfsizlik qanday ta'minlanadi?
5. Dunyodagi Wi-Fi tijoriy tarmoqlariga misollar keltiring.
6. Wi-Fi notijoriy tarmoqlari qanday prinsiplar asosida quriladi?

29-bob. WiMAX IEEE 802.16 STANDARTI TARMOG'I FIZIK DARAJASINING TAVSIFI VA WiMAX WIRELESSMAN-SC REJIMIDAGI FIZIK KANALDA KADRNING TUZILMASI

29.1. WiMAX IEEE 802.16 standarti tarmog'i fizik darajasining tavsifi

Avval ta'kidlaganimizdek, IEEE 802.16 standarti WiMAX-WiMAX tarmoqlari uchun fizik va MAS darajalarni tavsiflaydi. Bu sathlarda radiointerfeyslar texnologiyalari, kanallarga ulanish va modulyatsiya usullari, oqimlarni bajarish tizimlari, uzatiladigan axborotlar tuzilmasi, yuqori darajalar ma'lumotlarni uzatish protokollarini (avvalo ATM va IR) WiMAXWiMAX tarmoqlarining pastki (fizik) darajalari protokollari uyg'unlashtirish mexanizmlari aniqlanadi. IEEE 802.16 standarti 29.1-jadvalda keltirilgan.

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, faqat bitta eltuvchidan foydalanadigan WirelessMAN-SC (*ingl. Wireless Metropolitan Area Network-Single Carrier*) rejimi 10-66GGs diapazonda ishlash uchun mo'ljallangan va 25MGs kanal kengligida va 120Mbit/sek ma'lumotlarni uzatish tezlikli to'g'ri ko'rinish sohasida ishlaydigan magistral tarmoqlarga yo'naltirilgan (mo'ljallangan). Qolgan rejimlar 11GGs dan past diapazonlar uchun ishlab chiqilgan. WirelessMAN-SCa bu WirelessMAN-SC rejimining "past chastotali" versiyasidir (qator qo'shimcha mexanizmli, xususan, 256-QAM kvadraturali-amplitudaviy modulyatsiyaga ruxsat etiladi).

WirelessHUMAN (*ingl. High Speed Unlicensed Metropolitan Area Network*) rejimi litsenziyasiz diapazonlarda ishlash uchun mo'ljallangan (bunday diapazonlar AQSHda va qator Yevropa davlatlarida ko'zda tutilgan). WirelessHUMAN rejimining o'ziga xos xususiyatlari faqat TDD, DFS (*ingl. Dynamic Frequency Selection*) chastotalarni dinamik taqsimlash funksiyasidan va chastota kanallarini nashrlashtirish mexanizmidan foydalanish hisoblanadi.

29.2. IEEE 802.16 standartining asosiy rejimlari

Rejim	Chastota diapazoni, GGs	Opsiyalar	Duplekslash usuli
Wireless-MAN-SC	10–66		TDD/FDD
Wireless-MAN-SCa	< 11	AAS/ARQ/STC	TDD/FDD
Wireless-MAN-OFDM	< 11	AAS/ARQ/STC/Mesh	TDD/FDD
Wireless-MAN-OFDMA	< 11	AAS/ARQ/STC	TDD/FDD
WirelessHUMAN	<11, litsenziyalashtirilmaydigan diapazon*	DFS/AAS/ARQ/Mesh/STC	TDD/FDD
* AQSh va Yevropada			

WirelessMAN-OFDM va WirelessMAN-OFDMA kanallarni ortogonal bo'lishga asoslangan va IEEE 802.16-2001 standartiga nisbatan prinsipial yangi usullardir. Oldin bu rejimlar IEEE 802.16a standartiga kirgan, lekin qator o'zgartirishlarga uchradi va natijada IEEE 802.16d standart IEEE 802.16e standartlariga kirdi.

11GGs dan past diapazonlardagi barcha rejimlarda o'ta takomillashtirilgan signalni qayta ishlash texnologiyalari qo'llaniladi:

- ARQ — takroriy uzatishni avtomatik so'rov mexanizmi;
- AAS — adaptiv antenna tizimlari bilan ishlashni qo'llab-quvvatlash;

- AAS tizimlari bilan ishlashda STC — fazoviy-vaqtli kodlash. Shuningdek, WirelessMAN-OFDM rejimida “nuqta-ko‘p nuqta” markazlash turiga topologiyasiga qo‘shimcha rejimda mesh-tarmoq arxitekturasini qo‘llab-quvvatlash ko‘zda tutilgan (tarmoq terminal-lari faqat AU funksiyalarini bajarishdan tashqari, trafikni retranslyat-siyalanishi mumkin bo‘lgan markazlashtirilmagan topologiya).

29.3. IEEE 802.16 standarti tarmog‘i fizik darajasining tavsifi

IEEE 802.16 standartining fizik darajasi WiMAXWiMAX tizim-lari turli ish rejimlarining qo‘llab-quvvatlashini hisobga olib ish-lab chiqilgan va shu maqsadda uchiga prinsipial farqli signallarni qayta ishlash usullarini ko‘zda tutadi:

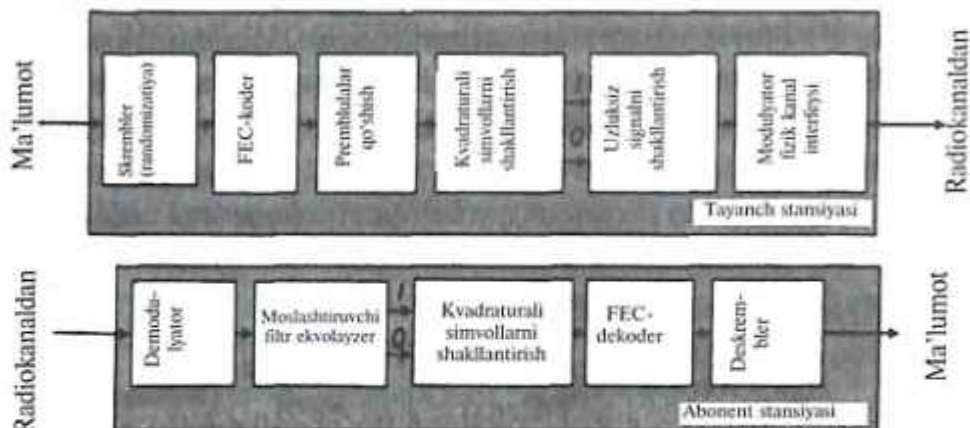
- SC-FDMA bir eltuvchili modulyatsiya usuli (Wireless-MAN-SC va WirelessMAN-SCa rejimlari);
 - OFDM ortogonal eltuvchilar orqali multipleksorlash usuli (WirelessMAN-OFDM va WirelessHUMAN rejimlari);
 - OFDMA ortogonal eltuvchilar orqali ko‘plab ulanish usuli.
- Bu usullarni atroflicha ko‘rib chiqamiz.

SC-FDMA bir eltuvchili modulyatsiya usuli

SC-FDMA usuli WirelessMAN-SC va WirelessMAN-SCa re-jimlari qo‘llanilgan. “Yuqoriga” va “pastga” liniyalar uchun Wire-lessMAN-SC rejimida signalni qayta ishlash jarayoni bir necha operatsiyalardan tashkil topgan va 29.1-rasmda ko‘rsatilganidek, ko‘rinishda bo‘ladi.

Kirish ma’lumotlari oqimi dastlab randomizatsiyaga uchray-di. Randomizatsiya (shuningdek, “скремблирование” atamasi qo‘llaniladi) — bu usul orqali qabul qilingan ma’lumotlar tasodi-fiyga o‘xshaganga o‘zgartiriladi. Bunga ma’lum matematik mexa-nizm bo‘yicha PTK generatori ishlab chiqaradigan qandaydir psevd tasodifiy ketma-ketlikka ma’lumotlar oqimini kengaytirish hisobiga erishiladi.

Keyin skremblangan ma'lumotlar FEC (*ingl. Forward Error Correction*) xatoliklar tuzatish usulidan foydalanib xalaqitbardosh kodlar yordamida himoya qilinadi. WirelessMAN-SC rejimida ikkita FEC kodlash algoritmi majburiy algoritmi hisoblanadi:



29.1-rasm. *WirelessMAN-SC rejimida signalni qayta ishlash trakti.*

Galua FEC GF(256) maydonidagi simvollarini Rida-Solomon kodlashli va Rid-Solomon tashqi kodli kaskadli kod va ichki svertkali kod ($k = 7$ kodli cheklashli, $2/3$ kodlash tezligi) va Viterbi algoritmi bo'yicha dekodlash. Opsional ravishda boshqa ikkita algoritmi qo'llanilishi mumkin: Rida-Solomon tashqi kodli va juftlikka tekshirilishi ichki kodli kaskadli kod (8,6,2) va blokli turbo kod.

Skremblash mexanizmlari va kaskadlash algoritmlari haqida axborotlar kadr preambulasiga kiritiladi va keyin modulyatsiya uchun yo'naltiriladi. WirelessMAN-SC usulida uch turdagi QPSK va 16-QAM (majburiy), shuningdek, 64-QAM (opsional) kvadraturali modulyatsiyadan foydalaniladi. Kodlangan bitli ketma-ketlik modulyatsion simvollariga o'zgartiriladi (har bir 2/4/6 bit QPSK/16-QAM/64-QAM bir simvolini aniqlaydi). 2/4/6 bitdan iborat har bir guruhga mos ravishda sinfaz (**I**) va kvadraturali

(Q) koordinatalar qo'yiladi. Keyin I va Q kanallardagi diskret qiyamatlar ketma-ketligi SQRT-filtr (*ingl. Square-root Raised Cosine Filter-ACHX kosinusoidal silliqylanishli filtr*) yordamida uzluksiz signallarga o'zgartiriladi. I(t) va Q(t) filtrlangan oqimlar to'g'ridan to'g'ri kvadraturali modulyatorga beriladi. Uning chiqishida quyidagi chiqish signali shakllanadi:

$$S(t) = I(t) \cos(2\pi f_c t) - Q(t) \sin(2\pi f_c t),$$

bu yerda, f_c – eltuvchi chastota.

Keyin signal kuchaytiriladi va efirga uzatiladi. Qabul qilish tomonida barcha jarayonlar teskari tartibda bo'lib o'tadi. Natijada, kanalning kengligiga va modulyatsiyalash usuliga bog'liq ravishda ma'lumotlarni turli uzatish tezliklari shakllanadi (29.2-jadval).

29.2-jadval

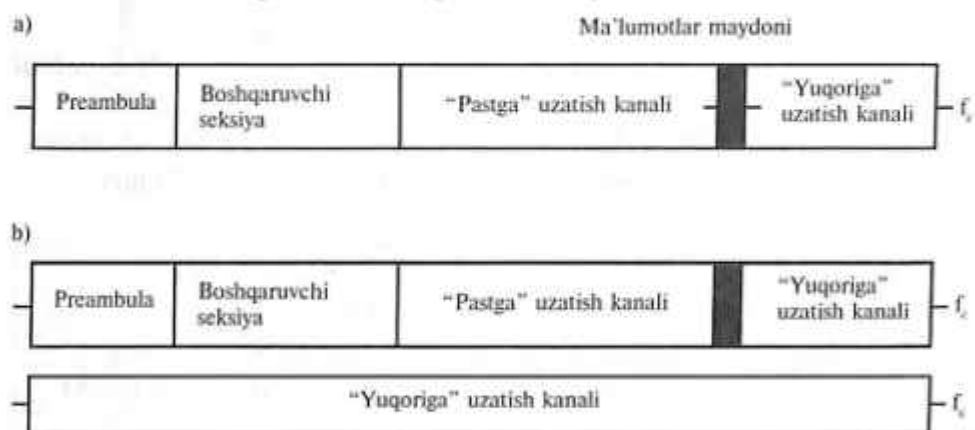
WirelessMAN-SC rejimida kanalning kengligi va modulyatsiya turiga bog'liq ravishda ma'lumotlarni uzatish tezliklari

Kanalning kengligi, MGs	Simvollar tezligi, Mbod	Fizik ma'lumotlar oqimi tezligi, Mbit/sek		
		QPSK	16-QAM	64-QAM
20	16	32	64	96
25	20	40	80	120
28	22,4	44,8	89,6	134,4

29.4. WirelessMAN-SC rejimidagi fizik kanalda kadrning tuzilmasi

WirelessMAN-SC rejimida fizik darajada ma'lumotlarni uzatish uzluksiz ketma-ketlikdagi kadrlar yordamida amalga

oshiriladi. Kadrlar 0,5; 1 va 2 ms turg'un uzunliklarga ega bo'lishi mumkin. Kadrlarning preambulasi (32 QPSK – simvollardagi sinxron ketma-ketlikdagi uzunlikda), boshqaruvchi seksiya va ma'lumotlar maydonidan iborat. Preambula va boshqaruvchi seksiyalar xabarlar har doim QPSK-modulyatsiya yordamida uzatiladi, ma'lumotlar maydoni uchun esa yuqorida ko'rsatilgan uchta modulyatsiya usullaridan biri qo'llanilishi mumkin. Vaqtli va chastotaviy dubleksirlash usullarida kadrlarning tuzilmasi sezilarsiz farq qiladi. TDD rejimida kadr "pastga" va "yuqoriga" subkadrlarga bo'linadi, ular orasida esa maxsus interval qoldiriladi. "Pastga" va "yuqoriga" subkadrlar orasidagi munosabat zarur o'tkazish polosasiga bog'liq ravishda ixcham o'zgarishi mumkin. FDD rejimida "pastga" va "yuqoriga" kanallar bir-birlaridan ajratilgan eltuvchi chastotalardan foydalaniladi (5.10-rasm).



29.2-rasm. Kanallarni vaqtli (a) va chastotaviy (b) dublekslashli tizimlar uchun IEEE 802.16a standartidagi kadrlar tuzilmasi.

OFDM ortogonal eltuvchilar yordamida multiplekslash usuli

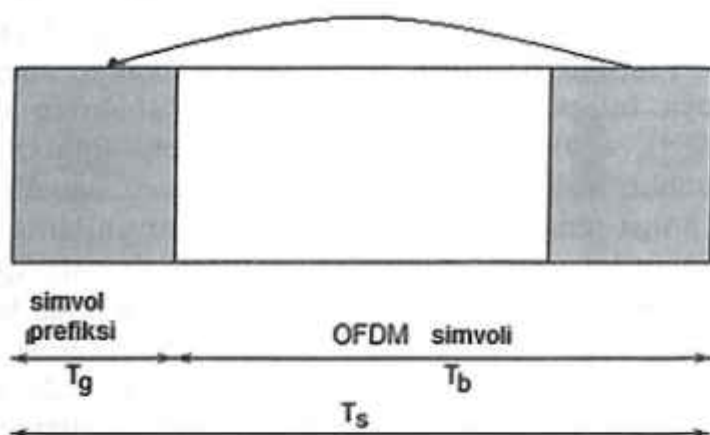
OFDM bu ko'p sonli ortogonal qisqa polosali nimeltuvchi chastotalarga bo'lingan bir keng polosali chastotaviy kanalda

ma'lumotlar oqimini multipleksorlash texnologiyasidir. Ortogonal eltuvchilar orasidagi masofa OFDM simvolning T_s uzunligi hisoblanadi. OFDM simvolga shuningdek, T_d uzunlikdagi SR (siklik prefiks) himoya intervali qo'shiladi, unda OFDM simvolning umumiy uzunligi $T_s = T_b + T_d$ ni tashkil etadi (29.5-rasm). SR himoya intervali simvolning oxirgi fragmenti nusxasi hisoblanadi va uning T_d uzunligi T_b dan 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 qismini tashkil etishi mumkin.

Har bir nimeltuvchi mustaqil ravishda fazaviy yoki kvadraturali amplitudaviy modulyatsiya yordamida modulyatsiyalanadi va umumiy signal teskari Fure tezkor o'zgartirish usuli bilan hisoblanadi. IEEE 802.16d standartida OFDM rejimi uchun $N=200$ nimeltuvchilar soni va mos ravishda $N_{OBPF}=256$ ga teng bo'lgan razryadlar soni ko'zda tutilgan. Ulardan 55 tasi ($k = -128 \dots -101$ va $101 \dots 127$) chastota kanali chegaralarida himoya intervallarini tashkil etadi. Kanalning markaziy chastotasi ($k = 0$) va himoya intervallari chastotalari signalni uzatish uchun ishlatilmaydi (ya'ni, ularga mos signallar amplitudalari nolga teng). Qolgan 200 ta nimeltuvchilarda sakkizta chastota pilot ($\pm 88, \pm 63 \pm 38, \pm 13$ indeksarli) qolganlari 12 ta nim eltuvchilardan iborat 16 ta subkanallarga bo'linadi, ularning har birida chastotalar bir tartibda joylashmagan. Masalan, 1-subkanalni -100, -99, -98, -37, -36, -35, 1, 2, 3, 64, 65, 66 indeksli nimeltuvchilar tashkil etadi. Subkanallarga bo'lish zarur, chunki WirelessMAN-OFDM rejimida (opsional) barcha 16 ta subkanallarda emas, balki 1, 2, 4, 8 subkanallarda ishlash imkoniyati ko'zda tutilgan. Buning uchun har subkanal va har bir subkanallar guruhi o'z indekslariga ega bo'ladi (0 dan 31 gacha). OFDM simvolning foydali qismini T_b uzunligi kanal polosasining uzunligiga va tizimiy takt chastotasiga (diskretlashtirish chastotasi) bog'liq.

OFDM multiplekslashda SR himoya intervalidan foydalanish shahar sharoitlaridagi qayta jipslanishlar va signalning ko'p nurli tarqalishi natijasida vujudga keladigan SAI (simvollara-

ro interferensiyadan) qutqaradi. Biroq, bu mexanizm OFDM simvol T_b foydali qismi uzunligining chegaralarida fazaviy kechikish bilan keladigan o'sha bir simvoldagi signallarning ustma-ust tushishi bo'lgan ichki simvolli interferensiyani (ISI) oldini ololmaydi. Natijada axborot to'liq buziladi. Yoki butunlay yo'qoladi (masalan, 1800 ga fazaviy surilishda). ISI ga qarshi turish va alohida simvollar yoki ularning fragmentlari yo'qotilganda ma'lumotlarni yo'qotilishining oldini olish uchun IEEE 802.16 standartida kanalli kodlashning samarador vositalari qo'llaniladi. Fizik darajada ma'lumotlarni kodlash uchta randomizatsiya, xalaqitbardosh kodlash va o'rin almashtirish bosqichlarini o'z ichiga oladi.



29.3-rasm. OFDM simvolning tuzilmasi.

Randomizatsiya ma'lumotlar blokini PTKK generatori shakllantiradigan psevd tasodifiy ketma-ketlikka ko'paytirish yo'li bilan amalga oshiriladi. Bu jarayon bilan "ma'lumotlar oqimini oqartirish" deyiladi.

Qabullash tomonida keyin dastlabki tuzilmalashtirilgan ketma-ketlikni olish maqsadida bu tasodifiy ketma-ketlikni teskari o'zgartirish bajariladi.

Ma'lumotlarni kodlash Rid-Solomon tashqi koderi va ichki svertkali kodyerdan iborat ikkita bosqichdagi kaskadli kodlarning qo'llanilishini ko'zda tutadi. Rid-Solomon koderi BPSK ikki pozitsiyali modulyatsiya bilan va OFDM subkanallari ishlatiladigan hollarda qo'llanilmaydi. Tavsiflangan kodlash mexanizmidan tashqari, standart blokli turbokodlarni (Xemming kodlariga va juftlikni nazorat qilishga asoslangan) va svertkali turbokodlarni opsional qo'llanilishini ko'zda tutadi.

Kodlashdan keyin o'rin almashtirish jarayoni (shuningdek, "interliving" atamasi qo'llaniladi) keladi. Bu OFDM simvolga mos keladigan ma'lumotlarni kodlash bloki chegaralarida bitlarni o'rin almashtirishi hisoblanadi. Bu operatsiya ikkita bosqichda amalga oshiriladi. Dastlab qo'shni bitlar qo'shni bo'lmagan eltuvchilarga tarqatiladi, keyin esa qo'shni bitlar turli yarim ketma-ketliklarga tarqatiladi. O'rin almashtirishdan maqsad shundaki, simvoldagi guruhli xatoliklarda qo'shni bo'lmagan bitlar zararlansin va shunday qilib, bitlarni qayta tiklanish darajasi ortsin.

O'rin almashtirishdan keyin modulyatsiya bosqichi boshlanadi. Tanlangan modulyatsiya sxemasidan (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM) kelib chiqib, blok modulyatsion simvollarga mos ravishda bitlar guruhlari ketma-ketligidan (1/2/4/6 bitlar) iborat bo'ladi.

29.3-jadval

Qo'llab-quvvatlanadigan kodlash va modulyatsiya usullari

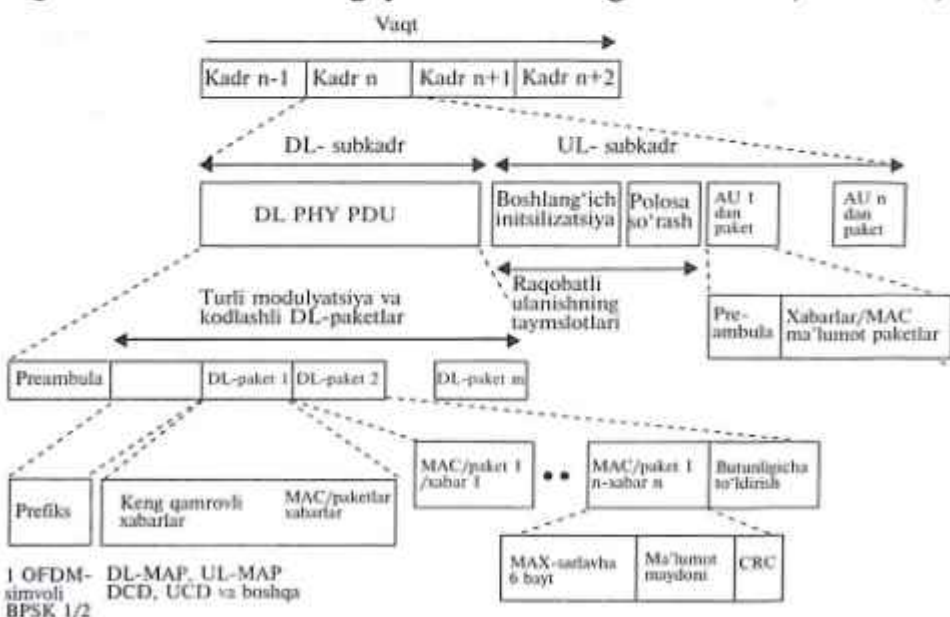
		"Pastga"	"Yuqoriga"
Modulyatsiya		QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Kodlash tezligi	CC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	CTC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	Qaytarilish	x2, x4, x6	x2, x4, x6

Har bir guruhga keyinchalik ular eltuvchini bevosita modulyatsiyalashda ishlatiladigan Grey vektor diagrammalaridan mos ravishdagi Q va I qiymatlar qo'yiladi. Kvadraturali simvollar amplitudalarini o'rtachalashtirish uchun Q va I me'yorlashtirilgan qiymatlar ishlatiladi (ya'ni, s koeffitsientlarga ko'paytirilgan: QPSK- uchun $s = 1/\sqrt{2}$, 16-QAM uchun $s = 1/\sqrt{10}$, 64-QAM uchun $s = 1/\sqrt{42}$).

TFTO⁴ mexanizmidan foydalanib modulyatsion simvollar aniqlanganidan keyin radiosignalning o'zi hisoblanadi va uzatkichga uzatiladi. Qabullashda barcha jarayonlar teskari tartibda amalga oshiriladi.

29.5. WirelessMAN-OFDM rejimidagi kadrning tuzilmasi

OFDM rejimida fizik darajada "nuqta-ko'p nuqta" arxitekturali tarmoqlar uchun kadrli uzatish tuzilmasi WirelessMAN-SC rejimidan prinsipial kam farq qiladi. Axborotlarni almashtirish ham FDD yoki TDD asosida "pastga" va "yuqoriga" subkadrlarga bo'lindigan kadrlar ketma-ketligi yordamida amalga oshiriladi (5.12-rasm).



29.4-rasm. TDDli OFDM kadrning tuzilmasi.

“Pastga” subkadr preambula, kadr sarlavhasini boshqaruvchi (*ingl. Frame Control Header, FCH*) va ma’lumotlar paketlari ketma-ketligini o’z ichiga oladi. Preambula “pastga” kanalda ikki OFDM simvollaridan iborat (uzun preambula), kadrlarni sinxronlashtirishga mo’ljallangan va QPSK yordamida modulyatsiyalanadi. Preambuladan keyin standart kodlash sxemasini BPSK yordamida modulyatsiyalanadigan va bitta OFDM simvoldan iborat kadr sarlavhasini boshqaruvchi keladi. Sarlavha DL subkadrda birinchi paket (yoki bir necha boshlang’ich) uzunligini va profilini tavsiflaydigan “pastga” kanal kadri-ning prefiksidan (*ingl. Downlink Frame Prefix, DLFP*) iborat. Birinchi paketga keng uzatishli xabarlar, “pastga” va “yuqoriga” liniyalarda paketlarning joylashish xaritasi (DL-MAP/UL-MAP) “pastga”/“yuqoriga” kanallar diskriptorlari va boshqa xizmat axborotlari kiradi.

“Pastga” subkadr AU boshlang’ich initsializatsiyalash uchun (tarmoqqa ulanishni olish uchun) va uzatishga kanalga so’rov uchun davrlarni o’z ichiga oladigan raqobatli ruxsat intervalidan iborat. Keyin TS ma’lum AUlarga uzatish uchun tayinlangan vaqt intervallari keladi. Bu intervallarning taqsimlanishi haqida axborotlar (boshlanish nuqtalari haqida) UL-MAP xabarlarida joylashadi. AU o’z vaqt intervalida qisqa preambulani (bitta OFDM simvol) uzatish bilan translyatsiyani boshlaydi, undan keyin MAS darajada shakllantirilgan axborot paketi uzatiladi. OFDM kadrlarining uzunliklari 2,5; 4; 5; 8; 10; 12,5; va 20 ms larni tashkil etishi mumkin. TS belgilangan kadrlarni qurish davrini o’zgartirib bo’lmaydi, chunki bu holda barcha AU larni resinxronlashtirish talab qilinadi. Ulanishlarni o’rnatilishiga so’rov umumiy qabul qilingan IEEE 802.16d standartidan farq qilmaydi. Lekin, OFDM rejimida kanal resursi faqat vaqt sohasida emas, balki chastota sohasida ham TS va AU bunday imkoniyatlarni qo’llab-quvvatlaydigan sharoitlarda, ya’ni alohida kubkanallarda taqdim etilishi mumkin.

29.5.1. OFDMA ortogonal eltuvchilar yordamida ko’plab ulanish usuli

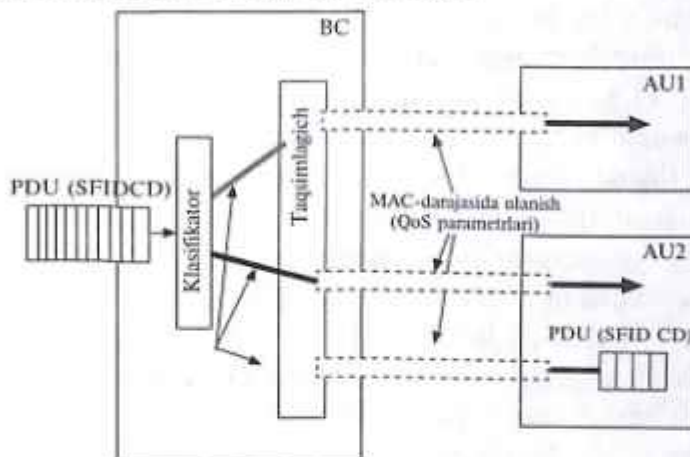
Modulyatsiya simvollarining shakllanishi nuqtayi nazaridan WirelessMAN-OFDM va WirelessMAN-OFDMA rejimlari bir

xil. Farq kanallarni ajratish mexanizmlaridan iborat (ko'p sonli ulanish). OFDMAda mantiqiy kanal fizik kanalning barcha ruxsat etiladigan chastotalar diapazoniga taqsimlangan eltuvchilarni tanlash (to'plami) bilan tashkil qilinadi. OFDM rejimida esa bu mexanizm soddalashtirilgan ko'rinishlarda opsional foydalaniladi, unda kanalni 16 ta subkanallarga bo'lish amalga oshiriladi.

OFDMAda fizik kanalning kengligi me'yorlashtirilmagan bo'lsa-da, real tarmoqlarda 5MGs dan past chastotali kanallar samarador bo'lmaydi. OFDMAda eltuvchilar soni 2048 tagacha bo'lishi mumkin, mos ravishda subkanallar soni tarmoqning ishini tashkil etishi uchun yetarli bo'lib qoladi. Turli rejimlarda ular 32 tadan 70 tagacha, har birida esa 24 yoki 48 tadan nimeltuvchilar bo'lishi mumkin. Bunda tizim takt chastotasi kanal kengligining 8/7 qismini tashkil etadi. Signalni shakllantirish usuli, OFDM simvollar tuzilmasi va kanalni kodlash mexanizmi OFDM va OFDMA rejimlarida deyarli bir xil. Randomizatsiyalash usuli faqat PTK generatorining initsializatsiyalovchi vektorini shakllantirish usuli bilan farqlanadi. Va OFDMAdagi xalaqitbardoshli kodlar majburiy sifatda faqat bitta kodlash bosqichini svertkali koddan foydalanishni ko'zda tutadi (OFDMdagi kabi kodlash tezliklari to'plami bilan).

OFDM va OFDMA rejimlaridagi modulyatsiya sxemalari deyarli mos tushadi, farq shundaki, OFDMAda ko'zda tutilgan usullar to'plami 1/2 va 3/4 kodlash tezliklari QPSK va 16-QAM, opsional esa 1/2, 2/3 va 3/4 kodlash tezlikli 64-QAM usullarini o'z ichiga oladi. Shuningdek, OFDMA rejimida kvadraturali modulyatsiya simvollar shakllantiradigan va ularning amplitudalari o'rtachalashtirilganidan keyin har bir eltuvchidagi simvollar ketma-ketligi OFDM rejimida generatsiyalanganidek binar PTKga W_k ga ko'payadi. Har bir k-nimeltuvchi $1-2 W_k$ qiymatga ko'payadi (ya'ni, agar $W_k = 0$) u holda $1-2W_k=1$ va simvol o'zgarmaydi; agar $W_k=1$, u holda simvol -1 ga ko'payadi. Pilot nimeltuvchilar simvollar VPSK usulida modulyatsiyalanadi, ularning qiymatlari ham $S_k=1-2W_k$ orqali hisoblanadi, lekin pilot nimeltuvchilar signallari quvvati, axborotlar nimeltuvchilari o'rtacha quvvatidan 2,5dB ga ortiq bo'lishi kerak, u holda S_k qiymat qo'shimcha 4/3 ga ko'paytiriladi.

Mobillik va “rouming” imkoniyatlarining paydo bo‘lishi bilan IEEE 802.16e standartida “global servis sinfi” tushunchasi kiritildi. Mavjud servis sinfi tushunchasidan u shunday farqlanadiki, global servis sinfi nomi barcha TSlar uchun yagona va o‘zgarmas bo‘lib qoldi va hech qanday alohida TS global servis sinfi bu global tarmoq doirasidani o‘zgartira olmaydi.



29.5-rasm. IEEE standartida QoSni qo‘llab-quvvatlash.

QoSni boshqarish quroli yoki bir necha tarmoqlarni birlashtirilishda hisoblanadi. Global servis sinfi nomi 32 bit uzunlikdagi sakkizta parametrlar (yana bitta zaxirada) to‘plami hisoblanadi.

Nazorat savollari:

1. Wi-Fi tizimlarining qisqacha rivojlanish tarixini bayon eting.
2. Wi-Fi tarmoqlarining asosiy elementlari va ishlash prinsipi qanday?
3. Wi-Fi tizimlarining asosiy afzalliklari nimada?
4. Wi-Fi tizimlarining asosiy kamchiliklari nimada?
5. Wi-Fi tizimlarida xavfsizligi qanday ta‘minlanadi?
6. Dunyodagi Wi-Fi tijoriy tarmoqlariga misollar keltiring.
7. Wi-Fi notijoriy tarmoqlari qanday prinsiplar asosida quriladi?

30-bob. WIRELESSMAN-OFDMA REJIMI UCHUN RNY DARAJASINING ASOSIY KO'RSATKICHLARI

30.1. WirelessMAN-OFDMA rejimidagi kadrning tuzilmasi

WirelessMAN-OFDMA rejimidagi kadrning tuzilmasi ko'p jihatdan yuqorida ko'rib chiqilgan kadrlar tuzilmalariga o'xshash, lekin o'zining farqlariga ham ega. Kadrning uzunliklari 2; 2,5; 4; 5; 8; 10; 12,5; va 20 ms larni tashkil etishi mumkin. OFDMA kadri subkanallar to'plamini o'z ichiga oladigan OFDMA simvollar ketma-ketligidan iborat. OFDMA simvollardan iborat ma'lumotlar paketlari turli subkanallarda bir vaqtda uzatilishi mumkin. Subkanallar bo'yicha nimeltuvchilarni taqsimlash (ya'ni bir subkanalga nimeltuvchilarni taqsimlash) uzatish yo'nalishga va nimeltuvchilarni taqsimlash usuliga bog'liq. IEEE 802.16 standarti ham "pastga", ham "yuqoriga" kanalda nimeltuvchilarni taqsimlashning bir necha usullarini tavsiflaydi. Prinsipial jihatdan ular FUSC (*ingl. Full Usage of the Subchannels*) TS uzatkichi tomonidan to'liq ishlatiladigan va RUSC (*ingl. Partial Usage of the Subchannels*) subkanallar qisman, ya'ni butun ruxsat etiladigan diapazon to'liqsiz ishlatiladigan turlarga ajratiladi. RUSC va FUSC usullarida (va ularning variatsiyalarida) har bir subkanalga barcha ruxsat etiladigan fizik kanal bo'yicha bir tekis taqsimlangan nimeltuvchilar taqdim etiladi. Lekin boshqa yondashuv subkanallarda ketma-ket (qo'shni) nimeltuvchi chastotalar to'plamidan foydalanishdan foydalaniladi. Bunday yondashuv adaptiv antenna tizimlarida ishlash uchun mo'ljallangan AMS (*ingl. Adaptive Modulation and Coding*) uslubida ishlatilgan. AMS usulida ham 2048 ta nimeltuvchi ishlatiladi, ulardan 160 tasi pastki va 159 tasi himoya intervallarini tashkil etadi, markaziy chastota esa ishlatilmaydi. Qolgan nimeltuvchilar har biri 9 ta nimeltuvchidan bo'lgan 192 ta chastota guruhlariga (*ingl. bin*) ketma-ket bo'lib chiqiladi. Har bir guruhdagi markaziy (beshinchi) nimeltuvchi pilot hisoblanadi. AMS rejimida subkanal bir chastota guruhini vaqt bo'yicha oltita ketma-ket OFDM sim-

vollarni yoki ikki chastota guruhini va uchta OFDMA simvollarni ishlatadi. AMS subkanallarning tuzilmasi “pastga” va “yuqoriga” subkadrldarda bir xil. Bunda nimeltuvchilarni qayta oʻrnatish subkanal chegaralarida amalga oshiriladi.

Taʼkidlaymizki, bitta subkadr chegaralarida subkanallar boʻyicha nimeltuvchilarni taqsimlash turli RUSC, FUSC, AMS va boshqa taqsimlash mexanizmlaridan foydalanish mumkin. Standartda “qayta oʻrnatish hududlari” chegaralari (*ingl. Permutation Zone*) DL-MAP va UL-MAP subkadrldar kartalarida aniqlanadi.

OFDMA rejimida maʼlumotlarni uzatish uchun minimal resurs “slot” hisoblanadi. Slot bir subkanalni va bittadan oʻrtacha OFDMA simvollar ketma-ketligini egallaydi. “Pastga” subkadrda slotning uzunligi FUSC rejimda bir simvolga RUSC rejimda esa ikkita simvolga teng. “Yuqoriga” subkadrda slotning uzunligi doimo uchta OFDMA simvollarga teng. WirelessMAN-OFDMA rejimi uchun RNY darajasining asosiy koʻrsatkichlari 30.1-jadvalda keltirilgan.

30.1-jadval

WirelessMAN-OFDMA rejimi uchun RNY darajasining asosiy koʻrsatkichlari

Parametrlar	“Pastga”	“Yuqoriga”	“Pastga”	“Yuqoriga”
Kanal kengligi	5MGs		10MGs	
FFT soni	512		1024	
Nol nimeltuvchilari	92	104	184	184
Pilot nimeltuvchilari	60	136	120	180
Maʼlumot nimeltuvchilari	360	272	720	560
Subkanallar	15	17	30	35

Simvol davri, Ts	102,9 mikrosekund				
Kadr vaqti	5 millisekund				
OFDM simvollar/ kadrda	48				
Ma'lumot OFDM simvollar	44				
Modulyatsiya turi	Kodlash tezligi	5MGs li kanal		10MGs li kanal	
		"Pastga" uzatish tezligi, Mbit/sek	"Yuqo- riga" uzatish tezligi, Mbit/sek	"Past- ga" uzatish tezligi, Mbit/ sek	"Yuqo- riga" uzatish tezligi, Mbit/ sek
QPSK	1/2 CTC, 6x	0,53	0,38	1,06	0,78
	1/2 CTC, 4x	0,79	0,57	1,58	1,18
	1/2 CTC, 2x	1,58	1,14	3,17	2,35
	1/2 CTC, 1x	3,17	2,28	6,34	4,70
	3/4 CTC	4,75	3,43	9,50	7,06
16-QAM	1/2 CTC	6,34	4,57	12,67	9,41
	3/4 CTC	9,50	6,85	19,01	14,11
64-QAM	1/2 CTC	9,50	6,85	19,01	14,11
	2/3 CTC	12,67	9,14	25,34	18,82
	3/4 CTC	14,26	10,28	28,51	21,17
	5/6 CTC	15,84	11,42	31,68	23,52

"Mobil WIMAX" boshlang'ich versiyalarida faqat TDD vaqtli dupleks qo'llab-quvvatlaydi. WIMAX Forumi IEEE 802.16 standartining versiyalarida TDDdan foydalanish taqiqlangan yoki FDDning qo'llanilashi afzalroq bo'lgan bozorlarni o'zlashtirish

maqsadida FDD uslubini kiritish istaldi. TDD usuli ishlatishda murakkab hisoblansada (chunki u barcha tizim chegaralarida vaqtli sinxronlashtirishni talab qiladi), baribir u quyidagi sabablar bo'yicha afzal bo'lib qoladi:

- TDD “pastga” va “yuqoriga” kanallar munosabatlarini dinamik boshqarish imkoniyatini beradi va buning hisobiga asimmetrik trafikni samarali qo'llab-quvvatlaydi. FDD esa “pastga” va “yuqoriga” turg'un kanallar bilan ishlaydi, shunga ko'ra simmetrik trafikka ega.

- TDD teskari aloqani talab qiladigan MIMO va boshqa takomillash antenna texnologiyalari, kanallar moslashishini qo'llab-quvvatlash uchun kanalning parametrlari bo'yicha eng yaxshi teskari aloqani ta'minlaydi.

- Juft chastota kanallari talab qilinadigan FDD dan farqli ravishda TDD usuli “pastga” va “yuqoriga” kanallari uchun bir chastota kanalidan foydalanadi, mos ravishda, ega bo'lgan radiochastota resursiga nisbatan ixcham hisoblanadi.

- TDD usuli uchun tayanch stansiya konstruktiv jihatdan kamroq murakkab va mos ravishda arzon turadi.

30.1-rasmda TDD usuli ishlatilgan OFDM kadrining tuzilmasi keltirilgan.

Har bir kadr “pastga” va “yuqoriga” liniyalari orasida kolliziyalarning oldini olish uchun bir-birlari bilan himoyaviy vaqt intervallari bilan ajratilgan “pastga” va “yuqoriga” subkanallarga (uzatish va qabullash rejimlarining belgilanishi uchun mos ravishda TTG va RTG).

Kadrda tizimning optimal ishlashini ta'minlash uchun quyidagi boshqarish maydonlari ishlatiladi:

- Preamble — OFDM kadrining birinchi simvoli hisoblanadi va kadrlarni sinxronlashtirish uchun ishlatiladi.

- FSN kadrni boshqarish sarlavhasidan keyin keladi va o'zida MAR xabarning uzunligi, kodlash sxemasi va bo'sh subkanallar nomerlari va boshqalar kabi kadr konfiguratsiyasi haqida axborotni tashiydi.

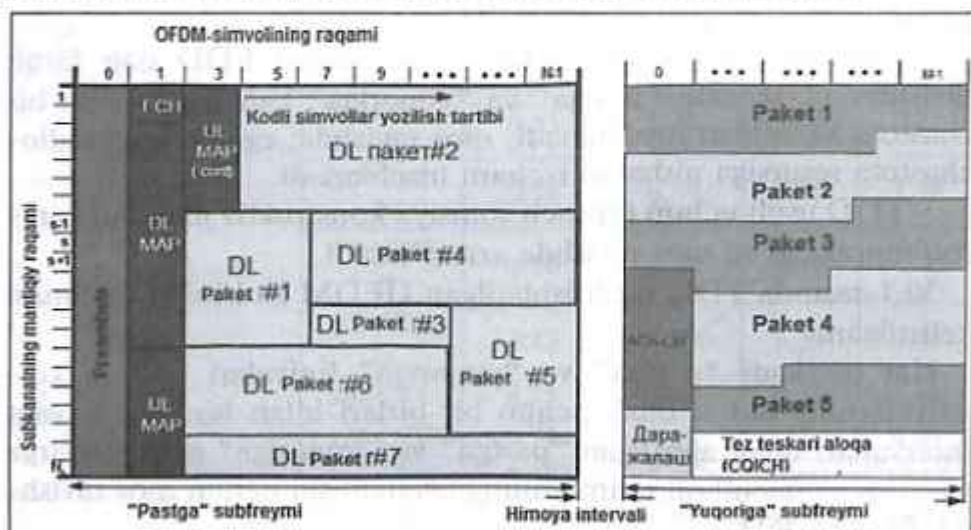
- DL-MAP “pastga” va UL-MAR “yuqoriga” kanallar sub-

kadrlari kartalarining xabarlarini — mos subkadrilar uchun DL-MAP, UL-MAR subkanallarini va boshqa nazorat axborotlarining taqsimlanishini ta'minlaydi.

- “yuqoriga” signali ishlov berish maydoni (*ingl. UL Ranging*). UL Ranging maydoni vaqt, chastota va signal quvvati bo'yicha o'rnatishlarni bajarish, shuningdek, berk aloqa rejimida o'tkazish polosasiga so'rov uchun AUGa ajratiladi.

- Kanal sifati indikator “yuqoriga” kanal (*ingl. ULSQICH*) — radiokanalning holatini baholash bo'yicha TS bilan teskari aloqa uchun AUGa ajratilgan.

- “Yuqoriga” kanalni taqsimlash maydoni (*ingl. UL ASK*) — paketning olinganligini tasdiqlash uchun AUGa ajratilgan.



30.1-rasm. TDD usuli ishlatilgan OFDM kadrining tuzilmasi.

IEEE 802.16-2005 standarti ko'lamlashtirilgan OFDMA(S-OFDMA) texnologiyalariga asoslangan. Bunday tanlash S-OFDMA texnologiyasi turli o'tkazish polosalarini qo'llab-quvvatlash mumkinligi tufayli amalga oshirilgan, bu AUNing turli ish rejimlariga ixcham xizmat ko'rsatish va mavjud chastota resurslari-

ga mos kelishi uchun zarur bo'ladi. Texnologiyaning ko'lamligiga nimeltuvchi chastota kengligi turg'un va 10,94 kGs teng qolganda massivni FTTO o'zgartirilishi hisobiga erishiladi.

Nimeltuvchi kengligi va OFDM simvol davomiyligi o'zgarmas qolishi hisobiga kanalni o'tkazish polosasining ko'lamlashtirishida yuqoriroq darajalarga ta'sir etish minimal bo'lib qoldi. S-OFDMA parametrlari 30.2-jadvalida keltirilgan.

30.2-jadval

Ko'lamlashtirilgan OFDMA parametrlari

Parametrlar	Qiymatlar			
Kanal kengligi (MGs)	1,25	5	10	20
Diskretizatsiya chastotasi (F_p , MGs da)	1,4	5,6	11,2	22,4
FFT soni (N_{FFT})	128	512	1024	2048
Subkanallar soni	2	8	16	32
Nimeluvtichilarning polosa kengligi	10,94 kGs			
Simvolning foydali vaqti ($T_b=1/f$)	91,4 mikrosekund			
Himoya intervali ($T_g=T_b/8$)	11,4 mikrosekund			
OFDMA simvolining vaqti ($T_s=T_b+T_g$)	102,9 mikrosekund			
Kadrda OFDMA simvollar soni	48			

30.2. MAS darajasining ishlatilishi

Yuqorida ko'rganimizdek, IEEE 802.16 standartining fizik darajasi radiokanal bo'yicha TS va AU orasida ma'lumotlarni almashtirish vazifasini bajaradi. MAS-darajada bu ma'lumotlarning tuzilmasini shakllantirishga bog'liq funksiyalar,

shuningdek, WiMAXWiMAX tizimi ishini boshqarish ishlatiladi. IEEE 802.16 standarti jihozi turli ilovalar (servislar) uchun transport muhitini shakllantirishga chaqirilgan, shuning uchun standartdagi birinchi yechiladigan masala bu yuqori darajalar xilma-xil servislarini qo'llab-quvvatlash mexanizmi bo'ldi. Shuning uchun standartni ishlab chiquvchilar vazifasi barcha ilovalar uchun fizik darajaning qurilishini o'ziga xos bo'lgan xususiyatlariga bog'liq bo'lmagan MAS darajasining yagona protokolini yaratish bo'ldi.

O'z navbatida IEEE 802.16 standartining MAS darajasi uchta nimdarajaga bo'linadi (chiquvchi bo'yicha):

- SS (*ingl. Convergence Sublayer*) — servisni o'zgartirish nimdarajasi;

- CPS (*ingl. Common Part Sublayer*) — asosiy nimdaraja;

- PS (*ingl. Privacy Sublayer*) — himoya nimdarajasi.

SS nimdarajada IEEE 802.16 tarmog'i orqali uzatish uchun yuqori darajadan ma'lumotlar oqimlarini transformatsiyalash amalga oshiriladi. IEEE 802.16 standartida hozircha ikkita servis pultlari turlari ATM va paketli uzatish (IP, Ethernet, virtual-VLAN) tavsiflangan. SS nimdarajaning maqsadi bu xususiyatlari hisobga olinganda yuqori daraja ilovalarini uzatishni optimallashtirishdir. Shuning uchun SS nimdarajasining muhim vazifasi paketlar klassifikatsiyasi hisoblanadi. SRS asosiy nimdarajaning asosiy vazifasi yagona uzatish muhiti-radioefirga ko'plab foydalanuvchilarga ulanishni ta'minlash hisoblanadi. Bunda 2 ta topologiya ishlatilishi mumkin:

- faqat TS-AU aloqasi mavjud bo'lgan "nuqta-ko'p nuqta topologiyasi";

- TS-AU aloqasidan tashqari, AU-AU to'g'ridan to'g'ri aloqa mavjud bo'lgan "mesh-topologiya" topologiyasi.

PS himoya nimdarajasida ma'lumotlarni kriptohimoyalash funksiyasi va sanksiyalanmagan ulanishni autentifikatsiyalash/oldini olish mexanizmlari ishlatiladi.

IEEE 802.16 standartida "servis oqimi" tushunchasi va unga bog'liq bo'lgan "ulanish", "ulanish identifikatori" va "servis sin-

fi" tushunchalari ishlatiladi. IEEE 802.16 standartida servis oqimi deganda ma'lum ilovaga (servisga) bog'liq bo'lgan ma'lumotlar oqimi tushuniladi. Mos ravishda servis oqimiga QoS bo'yicha, ya'ni kanalning talab etiladigan o'tkazish qobiliyatiga, ilg'orlik darajasiga (1 dan 7 gacha), javonning ulanish vaqtiga darajasiga talablar qo'yiladi. Tarmoqdagi har bir servis oqimi maxsus servis oqimiga bog'liq bo'lgan zarur ulanish parametrlarini TS-AU o'rnatishiga asoslanib o'z SFID (*ingl. Service Flow ID*) 32 razryadli identifikatoriga ega bo'ladi.

IEEE 802.16 terminologiyasida "ulanish" tushunchasi (shuningdek, "transport ulanish" atamasini ishlatiladi) servis oqimini uzatish uchun MAS-dalajada mantiqiy aloqaning o'rnatilishini bildiradi. Har bir ulanish turi va xarakteristikasi bog'liq bo'lgan o'z SID (*ingl. Connection ID*) 16 razryadli identifikatoriga ega bo'ladi. Har bir AUGa tarmoqdagi boshlang'ich initsializatsiyada uchta darajadagi xizmat xabarlar uchun uchtdan SID tayinlanadi. Shunday qilib AU turli ilovalar uchun (masalan, telefoniya, televideniya, Internetga ulanish yoki korporativ tarmoq uchun) ko'plab turli ulanishlarni o'rnatish mumkin. Bu ilovalardan har birini QoS ma'lumotlarini uzatish tezligiga SID orqali o'z talablarini qo'yadi va TS mos SFID tarmoq oqimini tashkil etadi.

Tarmoqdagi ishini umumiy standartlashtirish uchun "servis sinfi" tushunchasidan, standart ilovalar, masalan, E1 telefon kanallarini translyatsiyalash uchun parametrlar barqaror foydalanishidan foydalaniladi. Servis oqimining parametrlarini ularning ma'lum servis sinfiga tegishlilikini ko'rsatish bilan berish mumkin.

IEEE 802.16 standarti to'lig'icha paketli kommutatsiyaga asoslangan. CPS asosiy nimdarajada MAC PDU (*ingl. MAC Protocol Data Unit* – *MAC protokoli ma'lumotlari bloki*) ma'lumotlar paketlari shakllantiriladi. Keyin ular fizik darajaga uzatiladi, fizik paketlarga inkapsulyatsiyalanadi va radiokanal orqali translyatsiyalanadi (uzatiladi). MAC PDU paketi (keyinchalik PDU) umumiy sarlavha va ma'lumotlar maydonini (u bo'lmasligi ham mumkin) o'z ichiga oladi, ulardan keyin CRC nazorat yig'indisi kelishi mumkin (30.2-rasm).

Umumiy MAS sarlavha	Ma'lumotlar maydoni	CRC nazorat yig'indisi
------------------------	------------------------	---------------------------

30.2-rasm. IEEE 802.16 ning MAS-darajali paketi.

PDU sarlavha 6 baytni egallaydi va ikki turda umumiy va o'tkazish oraliq'ini so'rov sarlavhasi (O'OSS) bo'lishi mumkin. Umumiy sarlavha ma'lumotlar maydoni bo'lgan paketlarda ishlatiladi. Bu sarlavha CID ulanish identifikatori, sarlavhaning turi va nazorat yig'indisi ko'rsatiladi, shuningdek, ma'lumotlar maydonida nimsarlavhalar va ARQ teskari aloqa xabarlar mavjudligi haqida axborotlar keltiriladi.

O'OSS AU BSdan "yuqoriga" kanalda o'tkazish polosasini ajratish yoki oshirish haqida so'ralgan hollarda qo'llaniladi. Bunda sarlavha CID va talab qilinadigan polosaning o'lchami (fizik paketlar sarlavhalarini hisobga olmasdan, baytlarda) ko'rsatiladi.

Ma'lumotlar maydoni MAS nimsarlavhalari, boshqaruvchi xabarlar va CS nimdarajada o'zgartirilgan yuqori darajalar ilovalari ma'lumotlaridan iborat. MAS nimdarajalari beshta turda qadoqlash, fragmentatsiya, kanalning taqdim etilishini boshqarish, shuningdek, Mesh — tarmoq nimsarlavhalari va tez teskari aloqa kanali (*ingl. Fast Feedback*) bo'lishi mumkin. Boshqaruvchi xabarlar bu IEEE 802.16 tizimini asosiy boshqarish mexanizmi hisoblanadi. Ular orqali barcha boshqarish, ruxsat etishni taqdim etish, so'rov va tasdiqlash (masalan, paketlar trafiklari tavsifi, ruxsat etishni boshqarish, kriptohimoya mexanizmlari, tizim ishini dinamik o'zgartirish va boshqalar) ishlatiladi. "pastga"/"yuqoriga" kanallar kartalari ham (UL-MAP/DL-MAP) boshqaruvchi xabarlar hisoblanadi. Umuman 256 turdagi boshqaruvchi xabarlar zaxiralangan, ulardan 48 tasi ishlatiladi. Boshqaruvchi xabarlar formati oddiy bo'lib, u xabar turi maydoni (1 bayt) va ixtiyoriy uzunlikdagi ma'lumotlar (parametrlar) maydonidan iborat.

IEEE 802.16 standartida so'rov bo'yicha kanalga ruxsat etishni taqdim etish uslubi ishlatiladi (*ingl. Demand Assigned Multiple Access, DAMA*). Bunda kanalga ruxsat etish AUdan oldindan so'rov

bo'yicha faqat tayanch stansiya tomonidan taqdim etildi. Bunda TS AAUga "yuqoriga" kanalda vaqt intervalini ajratadi va uning UL-MAP kartadagi joylashishini ko'rsatadi, AUning boshlang'ich initsializatsiyasi va kanalga so'rov aniq ruxsat etish mexanizmi asosida ular uchun maxsus ajratilgan vaqt intervallarida amalga oshadi. TS AUga SFID servis oqimi turiga bog'liq ravishda kanalga ruxsat etish vaqtini va davomiyligini tayinlaydi. AU ham kanaldagi ma'lum polosa o'lchamini so'rashi, ham unga berilgan kanal resursini o'zgartilishi haqida so'rashi mumkin. Aniq AUning kanal resursi AU tomonidan maxsus boshqaruvchi xabarlar yordamida yoki kanal resurslariga barcha AUlardagi zarurat borligiga TS tomonidan so'rovlar (*ingl. polling*) orqali navbatdagi ulanishda o'zgarishi mumkin.

Standartda ikkita har bir alohida bog'lanish uchun va ma'lum AUning barcha ulanishlar uchun ruxsat etish rejimlari ko'zda tutilgan. Birinchi rejimda kanal resurslaridan foydalanishda katta ixchamlik va tejamkorlik ta'minlanadi. Ikkinchi rejim xizmat axborotlari sig'imini sezilarli kamaytiradi va alohida AU uchun QoS yagona darajasini kafolatlaydi.

30.3. QoS — xizmat ko'rsatish sifati

IEEE 802.16 standartida QoS parametrlari ma'lumotlarni uzatish bo'yicha ma'lum xizmat ko'rsatish darajalari bilan (*ingl. Data Delivery Service, DDS*) asoslanadi. DDS darajalari quyidagilarga bo'linadi:

- servisni so'zsiz taqdim etish (*ingl. Unsolicited Grant Service, UGS*) ma'lum davriylik shakllantirilgan turg'un o'lchamlardagi paketlardan iborat ma'lumotlar paketlarini real vaqt rejimida uzatish uchun mo'ljallangan (masalan, T1/E1 tovush kanallari yoki "IP bo'yicha tovushlar" (VoIP) kanallari);

- real vaqt ko'lamida servisni taqdim etish (*ingl. Real Time Variable Rate, RT-VR*) ma'lum davriylikda shakllantirilgan o'zgaruvchan o'lchamli paketlarning uzatilishini ko'zda tutadi;

- shuningdek, "Real vaqt ko'lamida servislarni kengaytirilgan taqdim etish" (*ingl. Extended Real-Time Variable-Rate, ERT*)

– VR) qo'shimcha darajasi mavjud. ERT–VR darajasi UGS va RT–VR xizmatlarning kombinatsiyasi hisoblanadi. Uning vazifasi kafolatlangan uzatish tezliklari va kechikish vaqti qiymatlarini talab qiladigan, lekin o'zgaruvchan tezlik bilan xarakterlanadigan yuqori ilg'or ilovalar hisoblanadi (masalan, IP telefoniya);

- real bo'lmagan vaqt ko'lamida servisni taqdim etish (*ingl. Non Real-Time Variable-Rate*) minimal uzatish tezliklarini talab qiladigan va o'zgaruvchan o'lchamlarni paketlarga ega bo'lgan, vaqt kechiktirishlariga kritik bo'lmagan ma'lumotlarni uzatish uchun foydalaniladi (masalan, FTP fayllari);

- “Imkoniyat bo'yicha” servis (*ingl. Best Effort, BE*) kafolatlangan uzatish kanallarini talab qilmaydigan va ularni bo'sh slotlar paydo bo'lishi bo'yicha uzatish mumkin bo'lgan ma'lumotlar oqimini uzatish uchun mo'ljallangan.

IEEE 802.16 standarti “mobil” versiyasining paydo bo'lishi WiMAX tarmoqlarida o'z talablarini va QoS xizmat ko'rsatish sifatiga talablarni aniqlashtirdi. Radioruxsat etish tarmog'i yuqori o'tkazish qobiliyati, asimmetrik “pastga”/“yuqoriga” trafik xizmat ko'rsatish imkoniyati, kanallarni kasrlashtirilgan tuzilmasi va kanal resurslarini taqsimlashning ixcham mexanizmi turli ilovali va servisli “mobil WiMAX”ning samarali ishlashini ta'minlaydi.

IEEE 802.16e standartida QoS xizmat ko'rsatish sifati MAS darajadagi servis oqimlari hisobiga ham ta'minlanadi.

Nazorat savollari:

1. Aloqaning uzoqligi bo'yicha simsiz aloqa tizimlarini sinflarga bo'ling.

2. Tarmoqlarning topologiyasi bo'yicha simsiz aloqa tizimlarini sinflarga bo'ling.

3. Qo'llanilishi bo'yicha simsiz aloqa tizimlarini sinflarga bo'ling.

4. Wi-Fi tizimlariga umumiy tavsif bering.

5. Wi-Fi tizimlarining qisqacha rivojlanish tarixini bayon eting.

6. Wi-Fi tarmoqlarining asosiy elementlari va ishlash prinsipi qanday?

31-bob. MOBILLIKNI BOSHQARISH

31.1. "Mobil" WiMAXda energiyani tejash

Ko'rinib turibdiki, mobillikni boshqarish funksiyasi faqat IEEE 802.16e standarti uchun dolzarb emas. Abonent qurilmalarining mobillik deganda ko'pincha "xendover"ni tashkil etish bo'yicha choralar va AU batareyalarining xizmat muddatini oshirish tushuniladi.

"Mobil" WiMAXda energiyani tejash nuqtayi nazaridan ikkita uxlash (*ingl. Sleep Mode*) va kutish (*ingl. Idle Mode*) rejimlarini qo'llab-quvvatlaydi.

1) Uyqu rejimi har bir TSni qo'llab-quvvatlash uchun majburiy va AU uchun opsional. Uyqu rejimida TS bilan moslashtirilgan AU vaqt intervalida BSdan uziladi (bunda TS da ro'yxatdan o'tgan holda qoladi), bu radiointerfeys resurslarini va AU batareyasi energiyasini tejashga imkon beradi. Bunda AUda ma'lum davriy jarayonlarga ruxsat etiladi, masalan, ishlov berish (aloqa kanalidagi sharoitlarni va mos parametrlar bo'lgan kechikish vaqti, nurlanish quvvati va boshqalarni aniqlash). Uyqu rejimida yetish (*ingl. Unavailability Interval*) etmaslik interval bilan (*Availability Interval*) va bu intervallarda AUning o'zini tutishi uning ishlashi oddiy rejimdan hech qanday farq qilmaydi (31.1-rasm). Yetmaslik intervalida AU BSdan hech qanday ma'lumotlarni olmaydi, bu davrda kelgan ma'lumotlar esa o'chiriladi yoki AUning yetish davrigacha keyingi uzatish uchun BSda o'zgartiriladi. Yetmaslik intervali o'z navbatida navbat almashadigan eshitish (*ingl. Listen Window*) va uyqu (*ingl. Sleep Window*) oynalaridan iborat. Listen va Sleep oynalarining navbat almashishi parametrlari PSC (*ingl. Power Saving Class*) energiyani tejash sinflari bilan xarakterlanadi. Har bir aktiv ulanish uchun o'z PSC sinfi tayinlanadi. Quyidagi uchta PSC sinfi qo'llaniladi:

• **1-sinf** BE, NRT-VR QoS darajalar bilan ulanish uchun tavsiya qilinadi. 1-sinfda Sleep oynasi har bir bilan oshadi (masalan, ikkilanadi), lekin ma'lum chegaradan ortmaydi. Listen oynasi vaqtida TS AUga uzatishni kutayotgan unga manzillashtirilgan ma'lumotlarning mavjudligi xabar qiladi. AU bunday xabarni qabul qilib TS ga BR (*ingl. Bandwidth Request*) kanalini ajratilishiga so'rovni yuboradi.

• **2-sinf** UGS, RT-VR QoS darajalar bilan ulanish uchun tavsiya qilinadi. Unda ketma-ket navbat almashadigan Sleep va Listen oynalari doimo bir xil uzunlikka ega. 1-sinfdan farqli ravishda bu sinfda AU Listen oynasi vaqtida ma'lumotlarni olishi va uzatishi mumkin.



MCning umumiy holati



31.1-rasm. Ikkita energiyani tejash sinflarini AUni ishlashiga misol.

• **3-sinf.** Guruhli uzatish uchun (multicast), shuningdek, davriy ishlov berish boshqaruvchi xabarlar va xizmatlarni dinamik o'zgartirish va boshqalar uchun tavsiya qilinadi. Masalan, agar TS guruhli ko'rsatish uchun ma'lumotlarni kelish davriyligini bilsa, u holda butun bu davr mobaynida TS AUga 3-sinfdagi uxlash rejimini tayinlaydi.

Har bir AU bir necha PSC sinflari bilan bir vaqtda ulanishni qo'llab-quvvatlaydi. Agar AUda o'rnatilgan ulanish hech qanday PSC sinfiga tegishli bo'lmasa, u holda bu ulanish doimo aktiv hisoblanadi (ya'ni unda Sleep oynasi bo'lmaydi). Uxlash rejimini aktivlashtirish (shuningdek, noaktivlashtirish) PSC sinfi va uning parametrlari ko'rsatilgan AUdan xabar orqali amalga oshiriladi. Javob xabarida TS uxlash rejimini aktivlashtirish haqida xabarga (manfiy va salbiy javob bilan) javob beradi va, shuningdek, uning parametrlarini aniqlaydi. Uxlash rejimidan chiqish ma'lum hodisalar (masalan, TSdan signalni maksimal qiymatini detektorlash) yoki jadval bo'yicha maxsus boshqarish xabari orqali bo'lishi mumkin.

2) Ma'lumotlarni almashtirish bo'lmaganida AU **kutish rejimiga** o'tishi mumkin (AUni bu rejimni qo'llab-quvvatlashi majburiy bo'lmasada). Bu rejimda AU faqat keng uzatishli kanaldan TSdan keladigan axborotlarni davriy ravishda eshitadi. Bunda AU uchun u joylashgan ta'sir etish (ishlash) zonasida (hududida) BSda ro'yxatdan o'tkazishga zarurat yo'q. Masalan, AU ko'p sonli BSlarni uzun hududda harakatlanganida axborotlarni uzatmasligi va TS uning manziliga trafik kelgan haqida maxsus xabar bilan uni chaqirmaguncha massiv kelishi mumkin.

Bu "xendover" jarayonini bo'lmasligini va aktiv bo'lmagan rejimda joylashgan abonent qurilmalarining radioresurslarni ishlatishini kamaytirish imkoniyatini beradi.

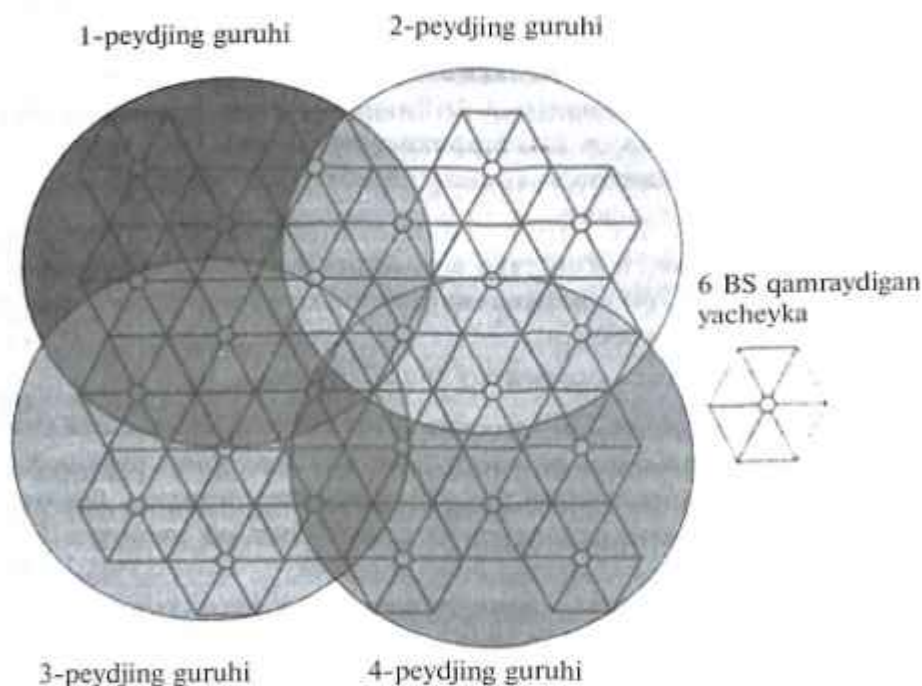
31.2. BSni peydjing guruhlariga bo'linishi

AU uchun ma'lumotlar kelganida TS "peydjing" (*ingl. Paging*) keng uzatishli kanal bo'yicha xabar yuboradi. Kutish rejimini ishlatish uchun barcha TSlar ma'lum mintaqani radioqamrab olishni ta'minlaydigan o'z IDlarli (*LTE tizimidagi Tracking Area kabi*) peydjing guruhlariga mantiqiy birlashtiriladi (31.2-rasm).

Bunda AUni chaqirish peydjing guruhga kiradigan barcha TSlarda amalga oshiriladi. Peydjing guruh AU uning chegaralari-da qanchalik uzoq qolishi uchun yetarlicha katta va guruhlar-

ni o'zaro qoplashi ortiqcha bo'lmisligi uchun yetarlicha kichik bo'lishi kerak. Kutish rejimida bo'lgan AU davriy ravishda TSdan peydjing uchun intervalni eshitadi.

Peydjing intervallari peydjing uchun yetarli bo'lmagan interval-lar bilan almashadi. U davomida AU ta'minotni kamaytirishi yoki qo'shni TSlarni skanerlashi yoki ishlov berishni amalga oshiri-shi mumkin. AU harakatlanganida radiokanalning yaqin RSCI, CINP xarakteristikalarini TSni tanlashni amalga oshiradi.



31.2-rasm. BSni peydjing guruhlarga bo'linishi.

AU kutish rejimida bo'lganida o'zi joylashgan o'rni haqida xabar qiladi (*ingl. Location Update*) yoki o'z xohishiga ko'ra, yoki quyidagi hollarda:

- AU joylashgan TS ta'sir etish (ishlash) hududi yangi peydjing guruhiga tegishliligi aniqlansa;

- kutish rejimining tugashi bo'yicha (4096 sekund);
- chaqiruvlar guruhidan AU haqida axborotlar o'chirilganda AUNing o'chirilishida;

- bu AUga tegishli bo'lmagan TS tomonida peydjning chaqiruvlari soni bo'yicha chegaralarga yetganida (*ingl. "MAC hash skip threshold" deb nomlangan jarayoni*).

IEEE 802.16e standartida AU joylashgan o'rni haqida ma'lumotlarni ikkita yangilanishi turini qo'llaydi (*ingl. Location Update, LU*):

- himoyalangan — TS va AU orasidagi xizmat axborotlarini himoyalash aktivlashtirilgan;

- himoyalanmagan — TS va AU kontekstni aktiv himoyalashga ega emas yoki TS u yoki bu sabablarga ko'ra LU himoyalangan turni tanlaydi.

Tarmoqda kutish rejimini qo'llab-quvvatlashning barcha funksiyalarini maxsus tugun bo'lgan peydjning nazoratchisi bajaradi. Nazoratchi (kontroller) barcha BS'larga kutish rejimida bo'lgan AUlar ro'yxati bo'lgan maxsus xabarlarini yuboradi, uni aktiv rejimga tez qaytarish uchun ma'lum vaqt intervalida AUlar haqida ma'lumotlarni saqlaydi, shuningdek, tarmoqning boshqa nuqtasida AUni qayta ro'yxatdan o'tgani haqida TSga xabar qiladi.

IEEE 802.16e standartida tarmoqning tayanch modeli mobillikni boshqarishni ikki turini qo'llab-quvvatlaydi:

- ASN (*ingl. ASN anchored mobility*) boshqaradigan mobillik;

- CSN (*ingl. CSN anchored mobility*) boshqaradigan mobillik.

ASN boshqaradigan mobillik bitta ASN shlyuz bilan boshqariladigan AU TSlar chegaralarida harakatlanadigan hollarda qo'llaniladi (ya'ni "mikromobillik"). Bunda "xendoverni" ta'minlash bo'yicha funksiya ikkita TS orasida ma'lumotlarni marshrutlashtirish, "xendover" jarayonini boshqarish, kontekstni uzatish/yangilash, ma'lumotlarni buferlashtirish va boshqalarni qo'shganda ASN darajada bajariladi. CSN tuguni bu jarayonda hech qanday ishtirok etmaydi va AU IP manzili o'zgarmasdan qoladi. Qoidaga ko'ra, mobillikni bunday boshqarish turi ko'pincha bo'lib o'tadi.

CSN boshqaradigan mobillik turli ASN shlyuzlar bilan boshqariladigan TSlar orasida AU harakatlanganida ishlatiladi. Bu turning ma'nosi bir R3 tayanch nuqtasidan boshqasiga ma'lumotlarni marshrutlashtirishdan iborat. Bunda MIP (*ingl. Mobile IP*) protokoli qo'llaniladi. U IP manzillar o'zgartirilishsiz tarmoqlar orasida AUni harakatlanishini qo'llab-quvvatlaydi. Bunda AU axborotlarni almashtiradigan qurilmalar uning harakatini payqamaydi. MIP protokoli quyidagi funksional komponentlardan foydalanadi:

1) **MIP** mijoz (*ingl. MIP client*). MIP mijozning joylashishiga bog'liq u ikki turga bo'linadi:

— MIP protokolini qo'llab-quvvatlaydigan MIP mijoz AUda ishlatilgan CMIP (*ingl. Client MIP*);

— MIP protokolini qo'llab-quvvatlash talab qilinmaydigan MIP mijoz ASN tugunida joylashgan va AU nomidan harakat qiladigan PMIP (*ingl. Proxy MIP*).

2) **FA** (*ingl. Foreign Agent*) — mehmon tarmog'i agenti, ASN tugunda joylashgan va uning tarmog'ida joylashgan barcha AUlar haqida axborotlarga ega bo'ladi.

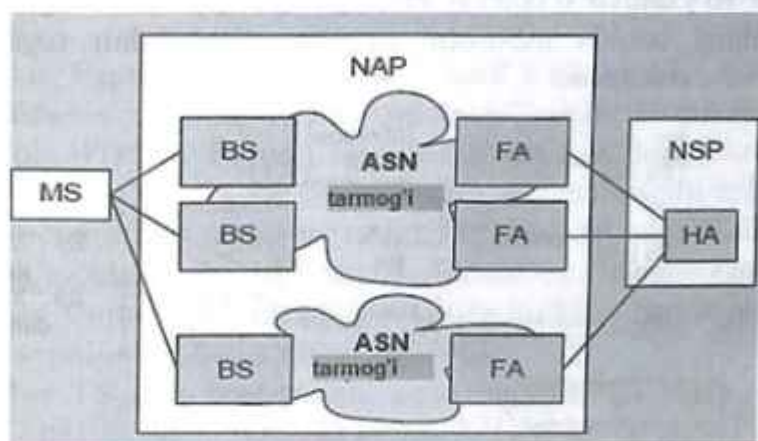
3) **HA** (*ingl. Home Agent*) — uy tarmog'i agenti, SSN tugunda joylashgan va SSN boshqaradigan mobillikda yakor (bog'lovchi markaz) hisoblanadi. NA tugun u kiradigan FA tugun IP manzili-ga AUning IP manzilining moslik jadvaliga ega bo'ladi. Shunday qilib, NA bu AUga mo'ljallangan paketlarni qayerga (qaysi FA ga) yuborish haqida axborotga ega bo'ladi.

31.3. WiMAX tarmog'ida MIP protokolining shakllantirilishi

31.3-rasmda WiMAX tarmog'ida MIPning shakllantirilishi keltirilgan.

NA tugunga kelgan AU uchun mo'ljallangan paketlar ularni AUga qayta yuboradigan mos FA tugunga qayta yuboriladi. AU yangi ASNgaga, ya'ni yangi FA tugunga o'tganida qayta ro'yxatdan o'tkazish jarayoni amalga oshiriladi. Yangi ASN tugunning MIP

mijozi ro'yxatga olishni amalga oshiradi, natijada NA tugundagi jadval yangilanadi. Endi AU manziliga yangi FA tugunning manzili mos keladi. NA tugun AUGa mo'ljallangan paketlarni yangi FA tugunga qayta yuboradi.



31.3-rasm. *WiMAX tarmog'ida MIPning shakllantirilishi.*

SSN va ASN tarmoqlarga bog'liq mobillikni boshqarish turlarining o'zaro ta'sirlashishi 31.3 va 31.4-rasmlarda ko'rsatilgandek, ketma-ket va aralash bo'lishi mumkin.

Ketma-ket o'zaro ta'sirlashishda AU bir ASN tarmog'idan boshqa ASN tarmog'iga harakatlanganida dastlab ASN ichida "xendover" bajariladi, keyin SSN turi bo'yicha ASN tarmog'idan boshqa ASN tarmog'iga R3 interfeysi qayta ulanishi amalga oshiriladi. Bu afzal usul hisoblanadi.

Aralash o'zaro ta'sirlashishda AU bir ASN tarmog'idan boshqa ASN tarmog'iga harakatlanganda R3 tayanch nuqtalarining qayta ulanishi ASN boshqaradigan turlarning jarayonini bajarilishi jarayonida, masalan, ya'ni ASN tugunda "xendover"ga komandalarni olishda amalga oshiriladi.

IEEE 802.16e standarti “xendover” jarayonini ishlatilishining uchta uslubini qo‘llab-quvvatlaydi.

- “dag‘al xendover” (*ingl. Hard Handoff, HHO*);
- TSni tez qayta ulanishi (*ingl. Fast Base Station Switching, FBSS*);
- makroajratishli “xendover” (*ingl. Macro Diversity Handover, MDHO*).

Ulardan faqat “dag‘al xendover” usuli majburiy, TS tez qayta ulanishi va makroajratishli “xendover” usullari opsional hisoblanadi. WiMAX Forumi tomonidan IEEE 802.16e standarti spetsifikatsiyalari doirasida “dag‘al xendover” jarayonini optimallashtirish uchun bir necha mexanizmlar ishlab chiqildi. Takomillashtirish avvalo 50 ms dan kam “xendover”da 2-darajada javobni ushlanishi vaqtini qisqartirish maqsadida bo‘ldi. “Dag‘al xendover” jarayonini atroflicha ko‘rib chiqamiz.

AU bir TS dan boshqasiga qayta ulanishidan oldin, unga yangi TSni topishi va tanlashi kerak. AU uchun qo‘shni TS larni qidirishini osonlashtirish uchun mobillikni qo‘llab-quvvatlaydigan har bir TS qo‘shnilarni taqdim etish bo‘yicha maxsus xabarni davriy ravishda yuboradi (*ingl. Neighbor Advertisement*). Bu xabarda barcha qo‘shni TSlar va ularning profili, ish rejimlarini (masalan, OFDM yoki OFDMA texnologiyasi, FTO massivi o‘lchami, polosa kengligi, kanalning tartib raqami, chastotalar to‘plami, antenنادagi ekvivalent quvvat va boshqalar), har bir TS uchun “xendover” jarayonining o‘ziga xos xususiyatlari, qo‘llab-quvvatlanadigan QoS sinflari va boshqalar sanab o‘tiladi. AU so‘rovi bo‘yicha xizmat qiladigan TS unga “xendover” uchun AU qo‘shni TSlarni skanerlash davomlilikiga bo‘lgan maxsus vaqt intervallarini (ya‘ni, skanerlash intervallarini) tayinlaydi. Skanerlash intervallari normal ishlash intervallari bilan navbat almashishi mumkin. Skanerlash intervallarini so‘rashda AU TSlarni (masalan, xizmat ko‘rsatuvchi TS ro‘yxatidan) ular bilan aloqa shartini u tahlil qiladiganlarini sanab o‘tishi mumkin.

Skanerlashda assotsiatsiyalash jarayoni bo'lishi mumkin. Bu opsional funksiya bo'lib AUga TS so'raydigan QoS fizik parametrlarini va xossalarini olish va saqlashga imkon beradi. Standart uchta assotsiatsiyalash turlarini aniqlaydi:

0 daraja bu oddiy (koordinatsiyalanmagan) ishlov berish. AU skanerlash intervallari vaqtida TS ularga o'zining xabari bilan javob beradigan maxsus test xabarlarini qo'shni TSlarga yuborish bilan ishlov berish jarayonini bajaradi. Bunda AU kanaldagi signal/shovqin nisbatini qabul qilingan signalning quvvatini, javobni ushlanish vaqtini va boshqalarni aniqlaydi. Tayanch stansiyalarga so'rov raqobat asosida berilgan so'rov intervallarida beradi.

1-daraja bu xizmat qiladigan TS skanerlashda qatnashishi ko'zda tutiladigan koordinatsiyalangan assotsiatsiyalash. Ham AU dan so'rov bo'yicha, ham TSning o'zi tayinlangan AUda ishlatilishi mumkin. Xizmat ko'rsatadigan TS qo'shni TSlardan ular uchun qulay vaqtni ishlov berishga so'raydi. Qo'shni TSlar javoban xizmat ko'rsatadigan TSga ishlov berishga so'rov va so'rovni uzatish sharti uchun ulkan CDMA-kodni uzatadi. Bu shartlar va CDMA-kodlarni xizmat ko'rsatadigan TS AUga xabar qiladi va buning o'zi berilgan vaqtda qo'shni TSlar bilan aloqa qiladi.

2-daraja bu tarmoq bo'yicha bildirishli assotsiatsiyalash bo'lib, u koordinatsiyalangan assotsiatsiyalashga o'xshash, lekin ishlov berishda AUga faqat CDMA-kodni uzatish yetarliligi va qo'shni TSlardan javobni kutishning kerak emasligi bilan farq qiladi. Barcha qo'shni TSlar so'rovni olib xizmat ko'rsatadigan TS AUdan aloqa kanalining fizik parametrlari haqidagi axborotlarni uzatadi, xizmat ko'rsatadigan TS bu axborotlarni to'playdi va AUga bitta xabarda uzatadi.

Skanerlash va assotsiatsiyalash jarayonlari bevosita "xendover"ga olib keladi va qo'shni TS lar ro'yxatini shakllantirishga va navbatdagi ulanish uchun ulardan birini tanlashga imkon beradi. "Xendover" jarayonining o'zi bir necha bosqichlarni o'z ichiga oladi:

- bevosita skanerlash va assotsiatsiyalash asosida yacheykani tanlash;

- “xendover” boshlanishi haqida qaror va dasturni ishga tushirish;
- tanlangan TS bilan sinxronlashtirish;
- tanlangan TS bilan bog‘lanishni o‘rnatish (ro‘yxatdan o‘tkazish);
- xizmat ko‘rsatadigan TS bilan bog‘lanishni uzish.

AU “xendoverning” tugatilishini maxsus final xabari bilan tasdiqladi, lekin final xabarini yuborishgacha istalgan momentda “xendover” jarayonini uza olmaydi. “Xendover” jarayonining boshlanishi haqidagi qarorni AU, xizmat ko‘rsatadigan TS yoki tarmoqning boshqarish tizimi qabul qilishi mumkin. TS zarur AU kanal resurslari va QoS darajasini baholash asosida “xendover”ni amalga oshirishi mumkin. AUga bu talablar xizmat ko‘rsatadigan va qo‘shni TS imkoniyatlariga kiradi. Agar xizmat ko‘rsatadigan TSning o‘z resurlari yetishmasa, ular qo‘shni TSda bo‘lsa, u holda u AU ni qo‘shni TSga qayta ulanishiga majburlaydi.

31.4. Guruhli va keng-qamrovli uzatish

IEEE 802.16e standartida guruhli uzatish (kam hollarda, ko‘p nuqtali yoki ko‘p uzatishli) tushunchasi (*ingl. Multicast*) va keng-qamrovli uzatish tushunchasi (*ingl. Broadcast*) kiritilgan. Standartda bu tushunchalar birlashtirilgan va yagona MBS (*ingl. Multicast and Broadcast Service*) atamasi ishlatiladi. U guruhli va keng-qamrovli uzatish xizmatlarini aniqlaydi. MBS xizmatlari ikkita bir saytli MBS (bir TSdan uzatish) yoki guruhli MBS (bir necha TSlardan uzatish) rejimlarida SFID taqdim etilishi mumkin va AU har ikkala rejimlarni qo‘llab-quvvatlashi kerak. MBS uzatishlar uchun ARQ teskari aloqa mexanizmi ko‘zda tutilmagan. Oldindan berilgan trafik xossalari va QoSli MBS transport oqimlariga servis oqimlari SFID va mos ravishda bog‘lanishlar CID identifikatorlari beriladi. Bu identifikatorlar bo‘yicha AU MBS xizmatlarni taniydi. Bunda agar guruhli uzatish xabarlarini

bir necha AUlar inkor qila olsa, u holda keng uzatishli uzatish xabarlarini barcha AUlar qo'llab-quvvatlashi kerak. MBS xabarlarni AU "uyqu" va "kutish" rejimlarida ham qabul qila olish muhim hisoblanadi.

Guruhli MBS rejimida bir necha TSlar maxsus guruhni zonani (hududni) tashkil qiladi, uning barcha TSlariga MBS zonasining identifikatori beriladi. MBS zonasidagi barcha TS va AUlar yagona CID dan foydalanadi va barcha TSlar bir chastota kanalida MBS xabarlarni sinxron translyatsiya qiladi (LTEdan SFN bir chastotali tarmoqlarga o'xshash). Bir saytli MBS rejimida MBS servisni olish uchun AU TSda ro'yxatdan o'tkazilishi kerak. Guruhli MBS rejimida esa bunday ro'yxatdan o'tkazish talab qilinmaydi. Bundan tashqari AU MBS zonasidagi hech bir TSda ro'yxatdan o'tkazilmasligi mumkin va bunda bu servisni olishi mumkin. Bunda AU tarmoqda bu servisni oluvchi sifatida ro'yxatdan o'tkazilishi yetarli bo'ladi. AU haqidagi axborot tarmoq infratuzilmasi orqali tayanch stansiyalarga uzatiladi. Bunda MBS xizmatlarni oluvchini ro'yxatdan o'tkazish tarmoq darajasida amalga oshiriladi.

Nazorat savollari:

1. WiMAX tizimlariga tavsif bering va WiMAX tizimlarining qisqacha rivojlanish tarixini bayon eting.
2. WiMAX tizimi va IMT-2000 dasturi o'zaro ta'sirlashadimi?
3. WiMAX va Wi-Fi tizimlarining farqi qanday?
4. WiMAX tizimlarining asosiy xarakteristikalarini keltiring. WiMAX tizimlarining qo'llanilish sohalarini bayon eting. WiMAX tizimlarining qanday asosiy afzalliklari va kamchiliklari mavjud?
5. HiperMAN va WiBro standartlari haqida so'zlab bering.
6. IEEE 802.16d standartiga qisqacha xarakteristika (tavsif) bering.

32-bob. WiMAX TARMOG'INI TASHKIL QILISHNING O'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI, ISHLASH REJIMLARI VA PROFILLARI

32.1. WiMAX profillari

Umumiy holatda WiMAX tarmog'i tayanch stansiyasi va abonent uskunasi, shuningdek o'zaro va boshqa umumiy ulanish tarmoqlari bilan aloqa qiluvchi tayanch stansiyalaridan iborat bo'ladi. TS va AU orasida ulanish bir necha rejimda amalga oshiriladi: doimiy (fiksatsiyalangan aloqa), seansli, ko'chma va mobil. WiMAX tizimi "oxirgi milya" muammolarini hal qilish uchun va uzoqlashtirilgan obyektlar o'rtasida keng polosali simsiz aloqani ta'minlash uchun qo'llaniladi. Tarmoqda hech bo'lmaganda bitta TS simli umumiy foydalanish tarmog'iga chiqish imkoniga ega bo'lsa, BSlar o'rtasida aloqa o'rnatiladi. IEEE 802.16 standartlar oilasining tarmoq tuzilishi an'anaviy GSM tarmoqlarinikiga o'xshash bo'ladi. TS o'n kilometr masofagacha signal uzatishni amalga oshiradi, TSlarni o'rnatish uchun baland ustun (*рус. вышка*) zarur emas – TSlarni uylarning tomiga bir-biriga to'g'ridan to'g'ri ko'rinib turadigan qilib o'rnatish mumkin.

WiMAX standarti fizik pog'onasiga tegishli barcha talablarga muvofiq ravishda amaliyotda "WiMAX profili" atamasi qo'llaniladi. Quyidagi rasmda ko'rsatilgandek, bir necha WiMAX profillari o'zaro farqlanadi.

Bundan tashqari, sertifikatlangan profillar ham mavjud bo'lib, standartlar talablariga mos ravishda har xil uskunalarni sertifikatlash maqsadida foydalaniladi. Bunda "Plagfest" (*ingl. Plug-fest*) deb nomlanuvchi uskunadan foydalanib sertifikatlangan profillardan biri asosida WiMAX standartiga qo'yilgan talablarga mos holda WiMAX Forum laboratoriyalarida uskunalarni testlash amalga oshiriladi. Vaqt o'tishi bilan WiMAX standartiga tegishli bo'lgan profilar takomillashib bormoqda.

32.2. WiMAX standartining sertifikatlash profilari

2007-yil boshida quyidagi sertifikatlash profilari tavsiflab berildi: 5 profil doimiy aloqali WiMAX uchun va 13 profil “mobil WiMAX” uchun. Profillardan baʼzilari 32.1-jadvalda keltirilgan.

32.1-jadval

WiMAX profilari parametrlari

	“turgʻun WiMAX”	Evolutsion WiMAX	“mobil WiMAX”	
Standart	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.16e-2005	
Multiplekslash	OFDM	OFDM	OFDMA	
Nimeltuvchilarning nominal soni	256	256	512, 1024	
Dupleks rejimi	TDD, FDD, HFDD	TDD, FDD, HFDD	TDD	
Modulyatsiya	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM (opsional)	QPSK, 16-QAM, 64-QAM (“yuqoriga” kanalida-opsional)	
Quvvat sinflari, dBm	0–14	0–14	16-QAM	QPSK
	14–17	14–17	18–21	20–23
	17–20	17–20	21–25	23–27
	20–23	20–23	25–30	27–30
	23 dan yuqori	23 dan yuqori	30 dan yuqori	30 dan yuqori

WiMAX standartining sertifikatsiyalangan profillari

WiMAX tizimlari	Sertifikatsiyali profillar			
	Nomi	Chastota diapazoni, GGs	Dupleks	Kanal kengligi, MGs
“turg‘un WiMAX” (IEEE 802.16-2004, OFDM)	Air1	3,4–3,6	TDD	3,5
		3,4–3,6	TDD	7
	Air2	3,4–3,6	FDD	3,5
		3,4–3,6	FDD	7
		5,725–5,850	TDD	10
Evolutsion WiMAX (IEEE 802.16e-2005, OFDM)	ETG8	4,935 – 4,990	TDD	5
“mobil WiMAX” (IEEE 802.16e-2005, OFDMA)	1B	2,3–2,4	TDD	5 va 10
	1A	2,3–2,4	TDD	8,75
	3A	2,496–2,690	TDD	5 va 10
	5AL	3,4–3,6	TDD	5
	5BL	3,4–3,6	TDD	7

32.3. WiMAX tarmog‘ining ishlash rejimlari

Avval aytib o‘tilganidek, hozirgi kunda keng tarqalgan va asosiy standart hisoblanuvchi WiMAX standartining ikkita versiyasi

mavjud: IEEE 802.16d va IEEE 802.16e IEEE 802.16d standarti fiksatsiyalangan (*rus. фиксированный*) aloqali simsiz ulanishni tavsiflaydi va uzoqlashtirilgan statsionar abonentlar ulanishi uchun mo'ljallangan. O'z texnik xarakteristikasiga ko'ra (o'tkazish polosasi 20MGs chastota polosasida 75Mbit/sek gacha yetadi, aloqa masofasi 50km gacha), bu standart turli variantdagi simli keng polosali abonent ulanish usullarining alternativ varianti hisoblanadi.

IEEE 802.16e standarti harakatdagi foydalanuvchilar uchun keng polosali "mobil" xizmatlarni ko'rsatish uchun mo'ljallangan. Ushbu standartda maksimal ma'lumot uzatish tezligi 5MGs chastota polosasida 20Mbit/sekni tashkil etadi, aloqa masofasi – 5–10km ga teng. IEEE 802.16e standarti TS va AU orasida bog'lanishda mobillik (harakatchanlik) jihatdan ayniqsa takomillashgan hisoblanib, shuningdek avvalgi barcha standartlarning imkoniyatlarini ham o'z ichiga oladi va quyidagi rejimlarda ishlaydi:

- Fiksatsiyalangan aloqali (bir joydan qo'zg'almay yoki statsionar holatda) ulanish (*ingl. Fixed WiMAX*);
- Seansli ulanish (*ingl. Nomadic WiMAX*);
- Ko'chma yoki siljish rejimidagi ulanish (*ingl. Portable WiMAX*);
- Mobil ulanish (*ingl. Mobile WiMAX*).

WiMAX tarmog'i ishlash rejimlarini batafsil ko'rib chiqamiz.

32.3.1. Fiksatsiyalangan ulanish

Fiksatsiyalangan ulanish o'z tuzilishiga ko'ra keng polosali simli texnologiyalarga (xDSL, T1/E1, optik tolali texnologiyalar) o'xshash bo'ladi. Dastlab IEEE 802.16 standarti 10–66GGs chastota diapazonida ishlash uchun mo'ljallangan. Ushbu chastota diapazoni radioaloqaning asosiy muammolaridan biri bo'lgan – radioto'lqinlarning ko'p nurli (ko'p tashkil etuvchili) tarqalishidan saqlanish imkonini beradi.

Ushbu chastota diapazonida bu aloqa kanali kengligi bilan 120Mbit/sek dan ortiqroq tezliklarda ma'lumot uzatishga erishish mumkin. Fiksatsiyalangan ulanish rejimi IEEE 802.16d-2004 standarti bilan tavsiflangan. Shuni alohida ta'kidlash lozimki, fiksatsiyalangan ulanish rejimida xizmat ko'rsatuvchi ko'pchilik operatorlar to'liq mobil rejimga o'tishni yoki ikkala standartni ham bir vaqtda qo'llashni loyihalashtirmoqdalar.

Seansli ulanish

Seansli ulanish mavjud fiksatsiyalangan ulanish rejimli WiMAX ga seans tushunchasini qo'shdi. Seansning mavjud bo'lishi turli tayanch stansiyalari orqali ulanishni o'rnatish va ma'lum bir davr orasida AUni erkin ko'chishiga imkon beradi. Ushbu rejim asosan portativ uskunalar (masalan, noutbuk, cho'ntak kompyuterlari) uchun ishlab chiqilgan va portativ uskunalar uchun juda muhim bo'lgan AU energiya iste'molini kamaytirish imkonini beradi.

Ko'chma ulanish

Bu rejimda ulanish uchun biror WiMAX tayanch stansiyasidan boshqa tayanch stansiyasiga aloqani yo'qotmagan holda abonentni avtomatik ulashni amalga oshirish imkoniyati qo'shilgan ("rouming"). Lekin ushbu rejim uchun AU harakatlantirish tezligi 40km/soat dan oshmasligi kerak. Shunday bo'lsa ham, ushbu rejimdan AU avtomobilda, velosipedda va yayov holatda chegaralangan tezlik bilan harakatlantirishda foydalanishi mumkin. Ushbu rejimga kirish smartfon, kommunikator va cho'ntak kompyuterlari uchun WiMAX texnologiyasidan foydalanishga mos ravishda amalga oshirilgan. Bunday ko'chma ulanishli WiMAX rejimida ishlovchi uskunalarining chiqishi 2006-yildan boshlandi.

Mobil ulanish

Ma'lumki, ushbu rejim IEEE 802.16e standartida ishlab chiqilgan va AU si 120km/soat tezlikkacha harakatlanganda barqaror aloqani ta'minlash imkonini berdi. "Mobil WiMAX"ning asosiy ustunliklari va kamchiliklariga quyidagilar kiradi:

1. Signalning ko'p nurli tarqalishiga va shaxsiy xalaqitlarga bardoshliligi;

2. Kanal o'tkazish qobiliyatining kengayuvchanligi;

3. Asimmetrik oqimni tashkillashtiruvchi va antenna tizimlarini samarali boshqarishda foydalanuvchi vaqt bo'yicha signal tarqatishi duplexi (TDD);

4. Xizmat ko'rsatish sifati QoSda HARQ texnologiyasidan foydalanilib, AU harakat chog'ida o'z yo'nalishini o'zgartirganda aloqani ishonchli saqlab turish imkonini beradi;

5. Kutish rejimlarida AU energiya ta'minotini tejaydi, batareyaning ishlash muddatini cho'zadi;

6. AU qayta ulanishini optimallashtirilgan texnologiyasi — HHO kanallar orasida ulanish vaqtini 50ms gacha qisqartirish imkonini beradi;

7. MBS guruhli va keng polosali xizmat ko'rsatish xizmatlarini ta'minlaydi:

- bitta chastotada ko'plab foydalanuvchilarga signal uzatishni ta'minlash orqali tarmoqning yuqori samaradorligiga erishish;
- tarmoqning radiochastota resurslaridan samarali foydalanish;
- abonent uskunasiining elektr sarfini kamaytirish;
- kanallar orasida tezkor ulanishlarni amalga oshirish.

8. Chastotani takrorlash usullari minimal yo'qotishlar bilan chastotadan foydalanish uchun kanallarni ustma-ust qo'yish/kesishtirishni boshqarish imkonini beradi;

9. MAC-kadr o'lchami 5ms da kichik paketlardan foydalanib ma'lumot uzatish ishonchliligi va paketlar sonini ko'paytirish xarajatlari orasida o'zaro kelishuvni ta'minlaydi.

WiMAX tarmoqlariga mobil holatda ulanish turli darajadagi mobillikni ta'minlovchi har xil abonent uskunolari bilan ta'minlanadi. Ularga quyidagilar kiradi:

- binolar ichida qo'llanilish uchun uskunalar, shuningdek ular kliyent uskunolari (*ingl. Customer Premises Equipment, CPE*) deb nomlanadi;

- Binolar tashqarisida qo'llash uchun uskunalar, masalan, tashqi WiMAX antennalari;

- Portativ kompyuterlarga o'rnatiladigan PC-kartalar;

- Portativ kompyuterlar ichiga joylashtirilgan WiMAX modullari;

- WiMAX interfeysiga ega cho'ntak kompyuterlar va kommunikatorlar.

WiMAX tarmog'ining har xil ishlash rejimlari asosiy xarakteristikalarini 32.3-jadvalda keltirilgan.

32.3-jadval

WiMAX tarmoqlarining ishlash rejimlari

Ulanish turi	Uskuna turi	Uskunalar soni/ abonent harakati tezligi	"Xen- dover"ni qo'llab- quvvat- lash	802.16- 2004 stan- darti	802.16a standarti
Turg'un ulanish	Tashqarida va ichkarida joylashgan "xotspot"lar	Yakka uskuna/ turg'un abonent	Yo'q	Ha	Ha
Ko'ch- ma ulanish	Ichkarida joylashgan "xotspot"lar, portativ SHK lar uchun PC- MCIA-adap- terlar	Ko'p sonli uskunalar/abonent turg'un	Yo'q	Ha	Ha
Portativ ulanish	Portativ SHK lar uchun PC- MCIA-adap- terlar, kichik adapterlar	Ko'p sonli uskunalar/piyoda tezligi	Dag'al "xendo- ver"	Yo'q	Ha

Asosan mobil ulanish	Portativ SHK lar uchun PC-MCIA-adap-terlar, kichik adapterlar, cho'ntak kompyuterlari, smartfonlar	Ko'p sonli uskunalar/kichik tezlikda harakat-lanuvchi transport vositasi	Dag'al "xendo-ver"	Yo'q	Ha
To'liq mobil ulanish	Portativ SHK lar uchun PC-MCIA-adap-terlar, kichik adapterlar, cho'ntak kompyuterlari, smartfonlar	Ko'p sonli uskunalar/katta tezlikda harakat-lanuvchi transport vositasi	Yum-shoq "xendo-ver"	Yo'q	Ha

WiMAX texnologiyasi haqida umumiy tushunchalar

Hozirgi kunda keng polosali simsiz aloqa tizimlari inson hayoti faoliyatining barcha sohalariga kirib bormoqda va butun dunyoda: rivojlangan davlatlarda ham, rivojlanayotgan davlatlarda ham insonlarning yashash sifatini oshirishga xizmat qilmoqda. Ushbu tizimlar yordamida turli xil vazifalarni yechish mumkin: multimedia, interaktiv va personal kontentlarga tezkor va qulay ulanish, an'anaviy nutq aloqasini ta'minlash yoki mahalliy va global jamoalar doirasida axborot almashinuvini amalga oshirish mumkin. IEEE 802.16 (ko'proq, WiMAX sifatida ma'lum bo'lgan) standartlar oilasi deb nomlangan keng polosali simsiz aloqa tizimlari IMS (yangi avlod IP ga asoslangan multimediya nimitizimlari) asosida keng polosali tarmoqlar uchun yaratilgan xizmatlar hamda tezkor Internet kanallarini tashkil etish vositalari bilan birgalikda foydalanuvchilarga (xususan Internetdan) keng polosali simsiz ulanishning prinsipial yangi imkoniyatlarini taklif etadi.

IEEE 802.16 standartini paydo bo'lgunicha Internetga ulanish ancha turg'un bo'lgan, ya'ni foydalanuvchi ish joyidagi kompyuterga yoki juda bo'lmaganda Wi-Fi ulanish nuqtasi doirasidagi noutbukka bog'liq bo'lgan. WiMAX tizimlari keng polosali tarmoqlarga va Internetga ulanishni yanada mobil, yanada ommabop va yanada keng tarqalgan qilmoqda. Buni uchun turg'un, ko'chma va mobil abonentlarga xizmat ko'rsatadigan keng polosali simsiz tarmoqlar yaratilmoqda. Shunday qilib, Internet va uning barcha ilovalariga, ya'ni axborotlar, xizmatlar va aloqaga har doim va hamma yerda ulanish muhiti shakllantirilmoqda. Bunda WiMAX tizimlariga katta mas'uliyat ajratilmoqda.

- IEEE 802.16 standartlarining ilk versiyalarida 10GGs dan 66GGs gacha bo'lgan yuqori chastotali diapazonlarda to'g'ri ko'rinish hududida (*ingl. Line of Sight, LOS*) ishlaydigan tizimlar tavsiflangan. Keyinchalik 2GGs dan 11GGs gacha diapazonlarda to'g'ri ko'rinish bo'lmagan hududlarda ham (*ingl. None Line of Sight, NLOS*) ishlaydigan tizimlarni qo'llab-quvvatlaydigan standartlar qo'shimchalarini ishlab chiqishga urg'u berilgan.

IEEE 802.16-2004 (shuningdek IEEE 802.16d yoki qisqartirib "16d") nom bilan ma'lum bo'lgan standartni yaratishda standartning avvalgi versiyalaridagi barcha ishlanmalardan foydalanilgan. Bu tadbirlar binolar ichida radioqamrovni yaxshilashga imkon berdi va, o'z navbatida, stol ustida ishlatiladigan abonent uskunalarini yaratishga imkon berdi.

2005-yilning dekabrda IEEE 802.16e ("mobil WiMAX" yoki "16e versiyasi", ba'zi hollarda "IEEE 802.16-2005") sifatida ma'lum bo'lgan standart ustida ishlar yakunlandi va hozirgi kunda u IEEE 802.16 standartlar oilasida eng dolzarb standart bo'lib qoldi. Hozirda telekommunikatsiyalar bozorida yuqorida ko'rsatilgan WiMAX standartlarining asosan ikkitasi, ya'ni faqat turg'un terminallar bilan ishlaydigan IEEE 802.16d standarti va turg'un, ko'chma va mobil abonentlar bilan aloqa o'rnatadigan IEEE 802.16e standarti namoyon etilgan.

WiMAX tizimining Wireless MAN simsiz tarmoqlar tizimiga kiradi. WiMAX atamasi inglizcha "*Worldwide Interoperability for Microwave Access*" nomini qisqartirishdan kelib chiqadi, bu so'zma-so'z tarjima qilganda "Mikroto'laqinli radioaloqa (O'YUCH) asosidagi tarmoqlarga ulanish uchun butun dunyo o'zaro ta'sirlashish"ini bildiradi.

Mazkur texnologiya har xil turdagi uskunalar uchun (avtomatlashtirilgan ishchi stansiyalari va portativ kompyuterlardan tortib mobil telefonlargacha) katta masofalarga yuqori tezlikli simsiz universal aloqani taqdim etish maqsadida ishlab chiqilgan. WiMAX atamasi IEEE 802.16 standartlar atamasini ommalashtirish maqsadida 2001-yil iyunida asos solingan sohaviy forum (*WiMAX Forum*) tomonidan taklif etilgan.

WiMAX tizimi va IMT-2000 dasturi

Ma'lumki, Xalqaro telekommunikatsiya ittifoqi (HTI) 3G – uchinchi avlod mobil aloqa tarmoqlarining uyg'unlashtirish maqsadida, ya'ni mobil aloqa standartlarining ko'p sonli bo'lib ketishini oldini olish va ularning global miqyosda o'zaro ishlay olishi uchun IMT-2000 dasturini joriy etgan edi. 2006-yilning noyabrida IEEE 802.16 standartlarining asosi hisoblangan yangi IP-OFDMA radiointerfeysining ushbu dasturga qo'shish haqida (*ITU-R WP8F/ITU-R Pro.WP/1065*) IEEE tomonidan taklif kiritilgan [39]. 2007-yilda HTI IMT-2000 dasturi doirasida to'rtta turli ulanish texnologiyalari (FDMA, TDMA, CDMA va OFDMA)ga asoslangan oltita radiointerfeyslarni o'z tarkibida tasdiqlagan. Bularga quyidagi radiointerfeyslar kiradi:

- *CDMA-Direct Spread* – spektrni to'g'ridan to'g'ri kengaytirish asosida ishlaydigan CDMA texnologiyasi. UTRA radiointerfeysi, shuningdek, W-CDMA texnologiyasi sifatida ma'lum (yuqorida batafsilroq berilgan). UMTS va FOMA standartlarida qo'llaniladi.

- *CDMA-Multi Carrier* — bir nechta eltuvchilar asosida ishlaydigan CDMA texnologiyasi. CDMA-2000 standartlar oilasida qo'llaniladi.

- *CDMA-TDD* — vaqt bo'yicha dupleks asosida ishlaydigan CDMA texnologiyasi. UTRA TDD radiointerfeysi. TD-SCDMA standartida qo'llaniladi.

- *TDMA-Single Carrier* — bir eltuvchi asosida ishlaydigan TDMA texnologiyasi. UWC-IS-136 standarti qo'llanilishi ko'zda tutilgan.

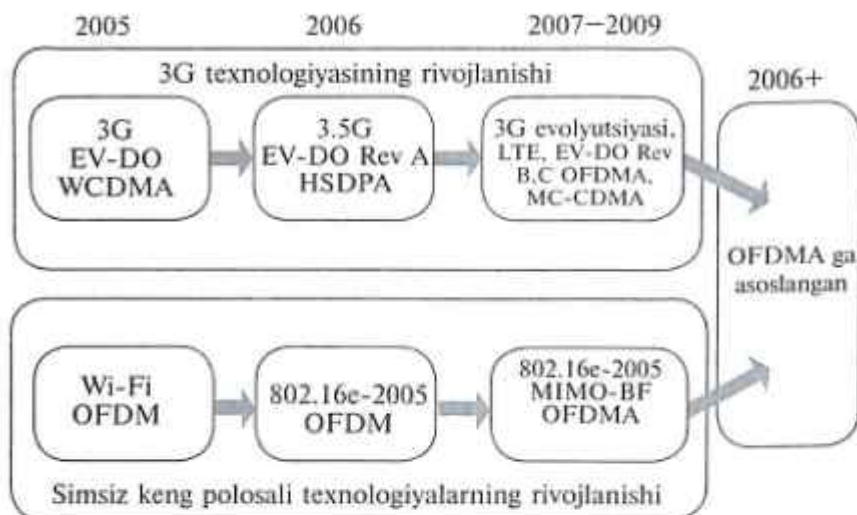
- *FDMA-TDMA* — FDMA va TDMA texnologiyalarining qo'shilishi. DECT standartida qo'llaniladi.

- *IP-OFDMA* — IP protokolini qo'llab-quvvatlaydigan bir necha ortogonal eltuvchilar asosida ko'p sonli ulanish texnologiyasi. FDD chastota bo'yicha dupleks asosidagi OFDMA radiointerfeysi. WiMAX va LTE standartlarida qo'llaniladi.

- WiMAX tizimlarining kelgusi rivoji IEEE 802.16 guruhidagi yangi standartlarning paydo bo'lishi bilan bog'liq deb hisoblanmoqda. IEEE 802.16 ishchi guruhi doirasida standartni takomillashtirish bo'yicha ko'p sonli tadqiqotlar o'tkazilmoqda va hozirgi vaqtda eng istiqbolli deb IEEE 802.16m standarti loyihasi ko'rilmogda. U ko'zda tutilganidek, IMT Advanced sifatida ma'lum bo'lgan (ya'ni, IMT-2000 dan keyingi) tizimlarni tavsiflaydi. WiMAX forumi IEEE 802.16m standartini WiMAX tizimlarini boshqa mobil texnologiyalar bilan konvergentsiyasining (birlashishining) asosi sifatida baholamoqda. IEEE 802.16m standartining paydo bo'lishi 2012-yilga to'g'ri kelgan.

- IMT Advanced dasturi IMT-2000 tizimlarida erishilmagan yanada yuqori ma'lumot uzatish tezligiga, yanada katta mobillikka va funksionallikka ega tizimlarni yaratishga qaratilgan. Bundan ko'zda tutiladiki, IMT Advanced texnologiyalari yuqori mobillikda 100Mbit/sek gacha va past mobillikda va turg'unlikda 1Gbit/sek gacha tezliklarni ta'minlaydi va shu sabab bu texnologiyalarni mobil aloqa tizimlarining to'rtinchi avlodi — 4G ga kiritish mumkin (32.1-rasm).

- Eslatib o'tish kerakki, "IMT-2000" va "IMT Advanced" dasturlari hozirgi vaqtda yagona "IMT" dasturiga birlashtirilgan.



32.1-rasm. Keng polosali va mobil aloqa tizimlari evolyutsiyasi.

WiMAX tizimi va “raqamli tengsizlik” (*ingl. Digital Gap*) muammosi

- Axborotlarga ega bo'lishlik jamiyatning kengroq iqtisodiy va ijtimoiy rivojlanishiga imkon yaratishi hech kimga sir emas. 1984-yildan boshlab dunyo hamjamiyati rivojlanayotgan mamlakatlarda telekommunikatsiyalar infratuzilmasi qoloqligi ularning iqtisodiy o'sishi uchun to'siq bo'layotganligini ta'kidlay boshladi. 1996-yilda HTI BMT boshchiligidagi rivojlanayotgan davlatlarda axborot va kommunikatsion texnologiyalar (AKT)ning asosiy xizmatlariga umumiy ulanishni taqdim etishga va “axborot kambag'alligi” ta'sirini qisqartirishga yo'naltirilgan “Aloqaga huquq” (*ingl. “The Right to Communicate”*) deb nomlangan loyihani olg'a surdi. Ushbu maqsad hozirgi kunda axborot hamjamiyati masalalari bo'yicha Butundunyo Sammiti – WSIS (*ingl.-n World Summit*

on the Information) 2003-yilning dekabrda Jeneva shahrida o'tkazilgan WSIS ning birinchi Sammitida "Raqamli tengsizlik" deb axborot va kommunikatsion texnologiyalarga tengsiz ulanish imkoniyatlari nazarda tutildi. AKT ga tengsiz ulanish deganda, birinchi navbatda davlatlar orasidagi farq (xalqaro raqamli tengsizlik), masalan, rivojlangan va rivojlanayotgan mamlakatlar yoki hududlar orasidagi farq tushuniladi. Shuningdek tengsiz ulanish davlatlar miqyosidagi (milliy raqamli tengsizlik) jarayon sifatida ham aniqlanadi. Bunda qishloq va shahar orasidagi, oliy ma'lumotli hamda kam ma'lumotlilar orasidagi, aholining kambag'al va boy qatlamlari orasidagi farq tushuniladi [40].

Provayderlar va Internetdan foydalanuvchilar soni yoki turg'un va mobil telefonlar soni kabi oldindan aniqlangan mezonlar asosida o'tkazilgan tadqiqotlar natijasida, shuningdek, rivojlangan va rivojlanayotgan davlatlarda so'nggi yillarda bo'layotgan o'zgarishlarning tahlili asosida bu masalaning hozirgi ahvoriga turlicha baholar berildi.

Bir tarafdin, ham davlatlararo, ham davlatlar miqyosidagi "Raqamli tengsizlik" o'sib bormoqda, degan fikrlar bo'lsa, boshqa tarafdin, aksincha boy va kambag'al davlatlar orasida "Raqamli tengsizlik" qisqarmoqda, degan fikrlar bo'ldi. Turli xalqaro tashkilotlar (HTI yoki Jahon banki guruhi) e'lon qilgan rasmiy hisob-kitoblarga murojaat qilinsa ma'lum bo'ladiki, rivojlangan va rivojlanayotgan davlatlar orasida AKT ga ulanishdagi tengsizlik mavjud va hali ham jiddiy muammo bo'lib turibdi.

O'zicha asosli bo'lgan bunday qarama-qarshi fikrlarning mavjudligiga qaramasdan, ulanish imkoni borligi va uning sifati, ya'ni aloqa infratuzilmasining yaratilishi har xil davlatlarda AKT ni tezkor va ishonchli rivojlanishiga asosiy omillar deb hisoblanadi. 2005-yilda HTI "Raqamli tengsizlik"ni qisqartirish uchun hamkorlikni rivojlantirish maqsadida WSIS doirasida global darajada ko'plab tashkilotlar tomonidan birgalikda o'tkaziladigan "Olamni ulaylik" (*ingl. Connect the World*) deb nomlangan tashabbusni boshladi.

WiMAX tizimining bosh xarakteristikalarlari orasida javob kechikishining kam vaqti, yuqori axborot xavfsizligi, yuqori aloqa sifati – QoS va radiochastota spektri uyg'unlashtirilgan holda "global rouming" imkoniyatlari ta'kidlanadi. WiMAX forumining "rouming" bo'yicha ishchi guruhi ham WiMAX tarmoqlari orasida, ham IMT-2000 standartlariga asoslangan boshqa tarmoqlar orasida "rouming" tashkil etishni spetsifikatsiyalarini va biznes-modelini e'lon qilmoqchi. Shuningdek, WiMAX forumi simli va simsiz interfeyslar bazasida operatorlarga bir turkum va sifat darajasida xizmatlar taklif etishga imkon beradigan WiMAX tarmoqlari bilan mavjud ma'lumot uzatish tarmoqlari va IMS ning yangi arxitekturasini qo'llab-quvvatlashni ta'minlashida o'zining faol vazifasini bajarmoqda.

Keyinchalik esa, mobil va keng polosali simsiz aloqa tizimlarining konvergensiya an'anasi davom etaversa, global miqyosda umumqamrov aloqani ta'minlashga qodir yangi, chinakamiga universal standart paydo bo'lsa ajab emas.

WiMAX tizimi va "raqamli tengsizlik" **(*ingl. Digital Gap*) muammosi**

Axborotlarga ega bo'lishlik jamiyatning kengroq iqtisodiy va ijtimoiy rivojlanishiga imkon yaratishi hech kimga sir emas. 1984-yildan boshlab dunyo hamjamiyati rivojlanayotgan mamlakatlarda telekommunikatsiyalar infratuzilmasi qoloqligi ularning iqtisodiy o'sishi uchun to'siq bo'layotganligini ta'kidlay boshladi. 1996-yilda HTI BMT boshchiligidagi rivojlanayotgan davlatlarda axborot va kommunikatsion texnologiyalar (AKT)ning asosiy xizmatlariga umumiy ulanishni taqdim etishga va "axborot kambag'alligi" ta'sirini qisqartirishga yo'naltirilgan "Aloqaga huquq" (*ingl. "The Right to Communicate"*) deb nomlangan loyihani olg'a surdi. Ushbu maqsad hozirgi kunda axborot hamjamiyati masalalari bo'yicha Butundunyo Sammiti – WSIS (*ingl.-n World Summit on the Information*) 2003-yilning dekabrda Jeneva shahrida

o'tkazilgan WSISning birinchi Sammitida "Raqamli tengsizlik" deb axborot va kommunikatsion texnologiyalarga tengsiz ulanish imkoniyatlari nazarda tutildi. AKT ga tengsiz ulanish deganda, birinchi navbatda davlatlar orasidagi farq (xalqaro raqamli tengsizlik), masalan, rivojlangan va rivojlanayotgan mamlakatlar yoki hududlar orasidagi farq tushuniladi. Shuningdek tengsiz ulanish davlatlar miqyosidagi (milliy raqamli tengsizlik) jarayon sifatida ham aniqlanadi. Bunda qishloq va shahar orasidagi, oliy ma'lumotli hamda kam ma'lumotlilar orasidagi, aholining kambag'al va boy qatlamlari orasidagi farq tushuniladi [40].

Provayderlar va Internetdan foydalanuvchilar soni yoki turg'un va mobil telefonlar soni kabi oldindan aniqlangan mezonlar asosida o'tkazilgan tadqiqotlar natijasida, shuningdek, rivojlangan va rivojlanayotgan davlatlarda so'nggi yillarda bo'layotgan o'zgarishlarning tahlili asosida bu masalaning hozirgi ahvoriga turlicha baholar berildi.

Bir tarafdin, ham davlatlararo, ham davlatlar miqyosidagi "Raqamli tengsizlik" o'sib bormoqda, degan fikrlar bo'lsa, boshqa tarafdin, aksincha boy va kambag'al davlatlar orasida "Raqamli tengsizlik" qisqarmoqda, degan fikrlar bo'ldi. Turli xalqaro tashkilotlar (HTI yoki Jahon banki guruhi) e'lon qilgan rasmiy hisob-kitoblarga murojaat qilinsa ma'lum bo'ladiki, rivojlangan va rivojlanayotgan davlatlar orasida AKT ga ulanishdagi tengsizlik mavjud va hali ham jiddiy muammo bo'lib turibdi.

O'zicha asosli bo'lgan bunday qarama-qarshi fikrlarning mavjudligiga qaramasdan, ulanish imkoni borligi va uning sifati, ya'ni aloqa infratuzilmasining yaratilishi har xil davlatlarda AKT ni tezkor va ishonchli rivojlanishiga asosiy omillar deb hisoblanadi. 2005-yilda HTI "Raqamli tengsizlik"ni qisqartirish uchun hamkorlikni rivojlantirish maqsadida WSIS doirasida global darajada ko'plab tashkilotlar tomonidan birgalikda o'tkaziladigan "Olamni ulaylik" (*ingl. Connect the World*) deb nomlangan tashabbusni boshladi.

WiMAX tizimining tavsifi

WiMAX tizimining Wireless MAN simsiz tarmoqlar tizimiga kiradi. WiMAX atamasi inglizcha "*Worldwide Interoperability for Microwave Access*" nomini qisqartirishdan kelib chiqadi, bu so'zma-so'z tarjima qilganda "Mikroto'lqinli radioaloqa (O'YuCh) asosidagi tarmoqlarga ulanish uchun butun dunyo o'zaro ta'sirlashish"ini bildiradi.

Mazkur texnologiya har xil turdagi uskunalar uchun (avtomatlashtirilgan ishchi stansiyalari va portativ kompyuterlardan tortib mobil telefonlargacha) katta masofalarga yuqori tezlikli simsiz universal aloqani taqdim etish maqsadida ishlab chiqilgan. WiMAX atamasi IEEE 802.16 standartlar atamasini ommalashtirish maqsadida 2001-yil iyunida asos solingan sohaviy forum (*WiMAX Forum*) tomonidan taklif etilgan [38].

IEEE 802.16 standartlarining ilk versiyalarida 10GGs dan 66GGs gacha bo'lgan yuqori chastotali diapazonlarda to'g'ri ko'rinish hududida (*ingl. Line of Sight, LOS*) ishlaydigan tizimlar tavsiflangan. Keyinchalik 2GGs dan 11GGs gacha diapazonlarda to'g'ri ko'rinish bo'lmagan hududlarda ham (*ingl. None Line of Sight, NLOS*) ishlaydigan tizimlarni qo'llab-quvvatlaydigan standartlar qo'shimchalarini ishlab chiqishga urg'u berilgan.

IEEE 802.16-2004 (shuningdek IEEE 802.16d yoki qisqartirib "16d") nomi bilan ma'lum bo'lgan standartni yaratishda standartning avvalgi versiyalaridagi barcha ishlanmalardan foydalanilgan. Bu tadbirlar binolar ichida radioqamrovni yaxshilashga imkon berdi va o'z navbatida, stol ustida ishlatiladigan abonent uskunalarini yaratishga imkon berdi.

2005-yilning dekabrda IEEE 802.16e ("mobil WiMAX" yoki "16e versiyasi", ba'zi hollarda "IEEE 802.16-2005") sifatida ma'lum bo'lgan standart ustida ishlar yakunlandi va hozirgi kunda u IEEE 802.16 standartlar oilasida eng dolzarb standart bo'lib qoldi. Hozirda telekommunikatsiyalar bozorida yuqorida ko'rsatilgan WiMAX standartlarining asosan ikkitasi, ya'ni faqat

turg'un terminallar bilan ishlaydigan IEEE 802.16d standarti va turg'un, ko'chma va mobil abonentlar bilan aloqa o'rnatiladigan IEEE 802.16e standarti namoyon etilgan. 2012-yilda WiMAX ning yangi standarti – IEEE 802.16m tasdiqlanishi kutilmoqda.

Nazorat savollari:

1. IEEE 802.16d va IEEE 802.16e standartlarining qanday umumiy xossalari va asosiy farqlari mavjud?
2. WiMAX tarmoqlarini qanday asosiy qurish prinsiplari mavjud? WiMAX (NRM) tarmog'i tayanch modeliga tavsif bering. WiMAX tarmoqlari tugunlarining tarkibini keltiring.
3. ASN ruxsat etishni taqdim etish tarmog'i va CSN bog'lanishlar tarmog'ining ishlashini bayon eting.
4. WiMAX tayanch tarmog'i tugunlarining o'zaro ta'sirlashishi qanday amalga oshadi? Tayanch nuqtalarning funksiyalarini qisqacha bayon eting.

33-bob. WiMAX TARMOQLARINI LOYIHALASHTIRISH VA TASHKIL QILISH

33.1. Yo'naltirish diagrammasini adaptiv shakllantirish texnologiyasining qo'llanilishi

2006-yil oxirida IEEE 802.16e standarti mobil profilini yaratish ustida olib borilgan ishlar yakunlandi. Hozirgi kunda standart radioulalanish interfeyslarining ko'plab turlari mavjud, lekin aynan IEEE 802.16e standartini ishlab chiqishda quyidagi algoritmlar va uskunalaridan qo'llash imkoniyati yaratilgan: adaptiv antenna tizimlari — AAS va murakkab antenna tizimlari — MIMO, ular turli zichlikda tashkil topgan ko'plab qayta akslanuvchi signallarni ishlashni ta'minlaydi. WiMAX tizimlarida yo'naltirish diagrammalarini adaptiv shakllantirish texnologiyasi — Beamformingning qo'llanilishi — (AAS elementi sifatida) tizimlar o'tkazish qobiliyatini oshirish va aloqa masofasini kengaytirish va interferensiya darajasini pasaytirish imkonini beradi [50]. Bu makrosot prinsipi bo'yicha tarmoqlarni qurish holatlarida xizmat ko'rsatish maydonlarining kengayishiga olib keladi. Boshqa tomondan, MIMO texnologiyasi mikro-, piko- va femtotuzilishlarda ham o'tkazish qobiliyatini oshirishni ta'minlaydi. AAS va MIMO texnologiyalarining birgalikda qo'llanilishi bir-birini to'ldiruvchi sifatida ma'lumot uzatish tezligi va aloqa sifati bo'yicha yetarlicha ustunlik olish imkonini beradi. Bu texnologiyalarni to'liq ko'rib chiqamiz.

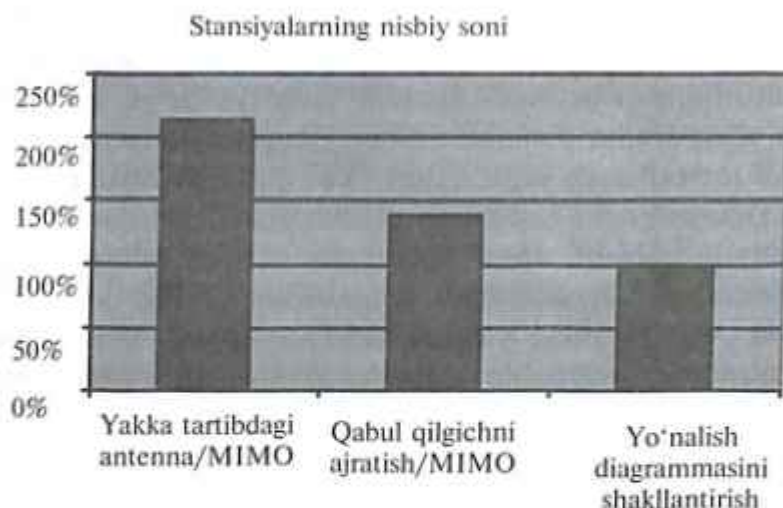
Yo'naltirish diagrammasining adaptiv shakllantirish texnologiyasidan foydalanishda (keyinchalik AAS) TS antenasining elektr maydoni uzoq zonada AU holati o'zgarganida yo'naltirish xususiyatlarini o'zgartirish imkoniyatini AU tomonga yo'naltiradigan tor yo'naltirilgan bosh yaproqcha ko'rinishida shakllantiriladi. Amalda bir sota ta'siridagi chegaralarda ko'p sonli abonentlar bo'lganida ko'p yaproqchali diagrammalarni shakllantirish (yaproqchalar har bir abonentga yoki abonentlar gu-

ruhiga yo'naltiriladi) amalga oshiriladi. Bunga vaqt bo'yicha va OFDM eltuvchi chastotalar bo'yicha kliyentlarni ajratish tufayli erishiladi. Bunday ko'p nurli diagrammani shakllantirish uchun TS tarkibidagi alohida qabul qilgich-uzatkichlar signalni ko'p elementli antenna panjarasi orqali qabul qiladi va uzatadi (4 elementli antenna panjaralari), bunda bunday panjaraning har bir element, har bir vaqt momentida boshqalariga nisbatan ma'lum fazaviy surilishga ega bo'ladi. Natijada tarkibidagi nurlantirgichning yo'naltirish diagrammalarini (YD) kombinatsiyalanishi tufayli yaxshilangan yo'naltirilganlik xususiyatlariga ega bo'lgan yig'indi diagramma shakllantiriladi (yuqori kuchaytirish koefitsientli torroq bosh yaproqcha). Xalaqitlar manbalari yo'nalishida YDda nolinchi tashkil etuvchilar shakllantiriladi, bu istalmaydigan yo'nalishli interferensiyani deyarli to'liq so'ndirish imkoniyatini beradi. Binobarin, bu konsepsiya har ikkala BSdan AUga va AUdan BSga yo'nalishlarda ishlaydi. Bunda AUdan qabul qilinadigan signallar ularning joylashgan o'rnini aniqlash uchun va keyin "pastga" kanalda YDni shakllantirish uchun ishlatilishi mumkin.

YDni shakllantirish g'oyasi yangi hisoblanmaydi va adaptiv antennalar tizimi yoki "intelektual antennalar" konsepsiyasi boshqa radiotizimlar standartlarida ko'p yillardan buyon ishlatib kelinmoqda. Bu texnologiya asosan BSda ishlatiladi va oxirgi foydalanuvchi qurilmalarni sezilarli o'zgartirilishini talab qilmaydi. Shunga mos ravishda WiMAX uchun sertifikatlashtirilgan abonent qurilmalari operator qurilmalarining imkoniyatlarini cheklab qo'ymasligi uchun AAS texnologiyasini qo'llab-quvvatlashi kerakligi qarori qabul qilindi. TS uchun bunday imkoniyat qo'shimcha, lekin majburiy emas hisoblanadi. AAS texnologiyasidan foydalanishni musbat tomonlari quyidagicha.

Birinchidan, turli uzatkichlar energiyasi va turli qabul qilgichlar sezgirliklari tezroq nurga konsentratsiyalanadi, u holda TSning ta'sir etishi zonasi kengayadi. Bu hal qiluvchi va "yuqoriga" aloqa liniyasiga tegishli bo'ladi. 33.1-rasmda YDni shakllantirilish-

ning talab qiladigan BSlar soniga ta'siri keltirilgan. Diagrammada ko'rinib turibdiki, bir xil qamrash zonasini ta'minlash uchun bittalik antennali TSdan foydalanilganda va MIMO texnologiyasi qo'llanilganda AASdan foydalanilganligiga nisbatan 2.13 marta ko'p stansiyalar talab qilinadi. Faqat faziviy surilgan qabul qilgichlardan foydalanilganda esa farq 1.39 martani tashkil etadi.



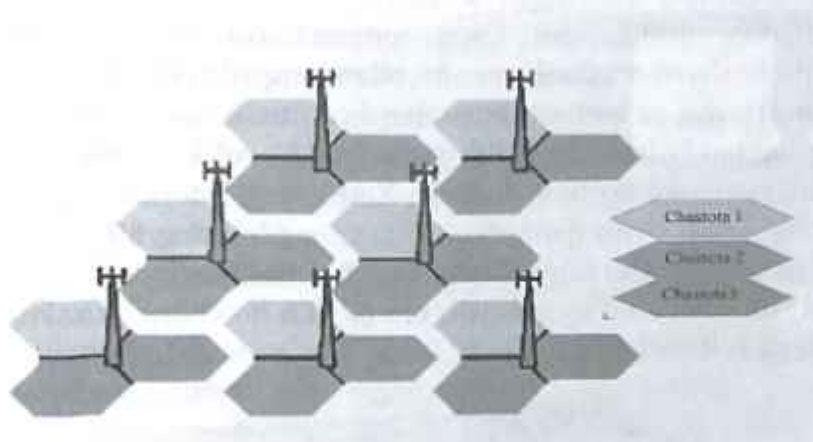
33.1-rasm. AASdan foydalanishga TS sonining bog'liqligi.

Shunday qilib, surilgan qabul qilgichlardan yoki faqat MIMOdan foydalaniladigan tizimga taqqoslaganda AAS texnologiyasi minimum 40% baziviy stansiyalar sonini kamaytirilishini ta'minlaydi.

Ikkinchidan, signal energiyasi faqat individual abonentlarga yo'naltiriladi, u holda bu tarmoqning qo'shni sektorlaridagi boshqa abonentlarga yo'naltiriladigan yoki qabul qilinadigan energiya miqdori kamayadi, shunga ko'ra signal — xalaqit holati sezilarli yaxshilanadi. Bu konsepsiya ham "pastga", ham "yuqoriga" aloqa liniyalarida ishlaydi.

Boshqa obyektни ko'rib chiqamiz va uning muhimligini baholaymiz. WiMAX radiotarmog'i sektorli arxitekturali aloqa tarmoqlari hisoblanadi. O'xshash qo'shni TSLar ta'sir etish zonalarida maxsus chastotalardan foydalaniladi.

WiMAX tarmoqlar uchun ko'pincha 1:3 chastotalardan takroriy foydalanish sxemasi qo'llaniladi, bu TSLarning uchta sektorli konfiguratsiyasi ishlatilganda barcha qo'shni TSLar sektorlarida o'sha bir chastotalar takroriy ishlatilishini bildiradi (33.2-rasm).



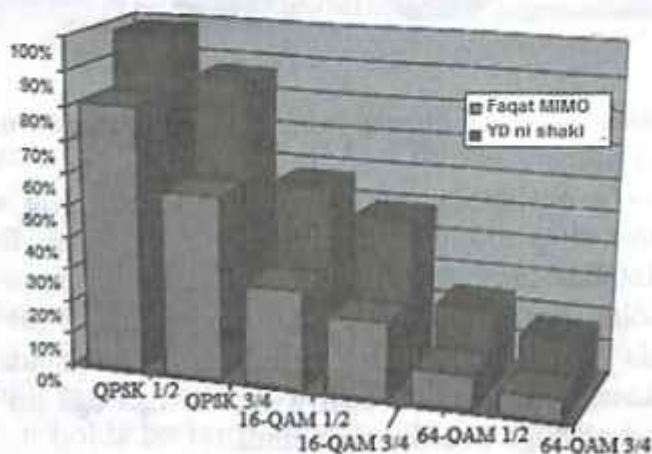
33.2-rasm. *WiMAX tarmog'ining sektorli arxitekturası.*

Bu esa o'z navbatida, radioto'lqinlar sektorining shartli chegaralaridan tashqarida ham tarqalishi tufayli qo'shni BSlarga uzatishga xalaqitlar hosil qilishini bildiradi. Bu ayniqsa TS antenlari binolar tomlari sathidan yuqorida joylashganida yoki TS va AU orasida fazoviy bo'shliq bo'lganida kritik hisoblanadi. Bunday hollarda kanallararo interferensiya o'z o'rniga ega bo'ladi va signalning tarqalishiga kuchli ta'sir etadi.

Bunga qarshi turish uchun WiMAX tizimi AMS modulyatsiya usullarini va kodlash sxemalarini adaptiv o'zgartirilishini ta'minlaydi. Masalan, QPSK 1/2 modulyatsiya+xalaqitbardosh kodlash aloqa sifati bo'yicha yaxshi (a'lo) natijalarni beradi, lekin bunda

ma'lumotlarni uzatish tezligi bo'yicha yutqazishga to'g'ri keldi. Ya'ni, hatto, yomon radioaloqa sharoitlarida ham ishonchli radioaloqa ta'minlanadi, lekin bunda kanalning o'tkazish qobiliyati kamayadi. Adaptiv antenna qo'llanilmaganda bu sxema AU BSning bevosita yaqinida bo'lganida yoki CINR darajaning ideal sharoitlarida ishlatilishi mumkin. Bunda BSning quvvatini oshirilishi yordam bermaydi, aksincha xalaqit beradi, chunki bu yerda qo'shni sektorlardagi interferensiya darajasi ortadi.

33.3-rasmda keltirilgan sxemadagi AASli tizim MIMO texnologiyasi qo'llanilgan faqat antennalarni fazoviy surilishini ta'minlaydigan o'xshash yechim bilan taqqoslanadi. Grafik har xil modulyatsiya va kodlash sxemalarida qamrab olinadigan hududga bog'liqlikni ko'rsatadi. Ko'rinib turibdiki, AAS texnologiyasining afzalligi yaqqol ko'rinib turibdi. Xatto, eng ishonchli QPSK 1/2 sxema AASli tizim qamrab oladigan maydonning 80% da barqaror ish qobiliyatini ta'minlaydi. Qo'shni BSlar miqdorini o'rnatish vaziyatni tubdan o'nglamaydi, chunki TS qo'shimcha xalaqitlarni yuzaga keltiradi.



33.3-rasm. Har xil modulyatsiya va kodlash sxemalari turlarida ASS va MIMO texnologiyalari qo'llanilganda qamrab olinadigan hudud foizi.

Shuningdek, AAS texnologiyasi qo'llanilib qurilgan makrosotali arxitekturalar holatida foydalanish mumkin bo'lgan yuqoriroq darajadagi boshqa sxemalar ham bor. Ular spektral samaradorlikni sezilarli oshirilishini ta'minlaydi, bu esa yakunda har bir abonent uchun ma'lumotlarni uzatish tezligini oshirilishiga va o'sha bir o'tkazish qobiliyatida abonentlar sonini oshirilishiga olib keladi.

AAS texnologiyasini qo'llanilishining mobil abonentli aloqa tizimi xarakteristikalariga ta'siri darajasini aniqlash uchun baholashni abonentlar harakatlanishining turli tezliklarida ko'p nurli kanallarning na'munaviy modellaridan foydalanib bajarish zarur. Natijada past mobillikli abonentlar uchun (ya'ni 30 km/soat gacha tezlikda harakatlanadigan) aloqaning ishchi xarakteristikalari o'zgarmaydi. Faqat AUning yuqori harakatlanish tezliklarida yutuq biroz kamayadi, lekin hatto bunda ham adaptiv algoritmlar ishlatilmaydigan tizimlardagiga qaraganda tizimning ish xarakteristikalari yaxshiroq bo'ladi.

AAS texnologiyasining qo'llanilishi afzalliklaridan yana biri xalaqitlarni so'ndirishli algoritimli AAS kombinatsiyalanganida chastotalardan takroriy foydalanish koeffitsientini 1 qiymatgacha yetishi mumkin. Bu barcha BSlarda barcha mavjud chastotalar polosasi ishlatilishi mumkinligini bildiradi. Bu tizimning spektral samaradorligini qo'shimcha oshirish, shuningdek, hatto chastota resursi cheklanganida WiMAX tarmog'ini ishlatilishiga imkon beradi.

Shunday qilib, TS tarkibida AAS texnologiyasini ishlatilishi o'tkazish qobiliyatini deyarli 40% ga oshirilishiga olib keladi, bunda har IR kanalning spektral samaradorligi 2,1 bit/sek/Gs/sek ga yetadi.

33.2. MIMO texnologiyasining qo'llanishi

Yuqorida ta'riflaganimizdek, ko'p uzatgich va ko'p qabul qilgichli uzatish asosida (MIMO) signallarni qayta ishlash an-

cha istiqbolli texnologiya hisoblanadi. Bu texnologiya keng polosali simsiz tarmoqlarda sotalarning o'tkazish qobiliyatini va ma'lumot uzatish tezligini oshirishni ta'minlaydi. Juda zich joylashgan shahar sharoitlari mikrosotalar, pikosotalar yoki femtosotalarda TS va AU orasida signalni ko'p marta aks ettirish imkonini beradi. Buni maksimal darajada ta'minlash uchun uzatilayotgan oqimlarni bir vaqtda ko'p marotaba yuqori darajada dekorrelyatsiyalashni ta'minlash kerak. Bu texnologiya sxemalari antennalar ichiga joylashtirilishi yoki turli turdagi qutblanish antennalaridan foydalanishi mumkin. MIMODA signalni dekodeqlash oddiy holatda amalga oshirilmagani sababli abonent uskunasi ham murakkabligini oshirishni talab etadi.

WiMAX tizimlarida MIMODan foydalanish quyidagi ikkita asosiy ustunlikni ta'minlaydi:

- **Aloqa ishonchliligini oshirish.** MIMODan foydalanuvchi va foydalanmaydigan uskunalarni taqqoslanganda "yuqoriga" liniyada ishlash sifatining yaxshilanishi kuzatiladi. Radioto'lqinlarning kuchli sochilishi holatlarida ma'lumot uzatishda ancha ishonchlik va barqarorlikni ta'minlaydi.

- **Kanalning o'tkazish qobiliyatini oshirish.** Yuqori darajadagi modulyatsiyalash imkoni mavjudligi sababli va bir vaqtda bir necha mustaqil oqimlarni uzatishi sababli MIMO tizimlari bitta antennali sxemalar bilan taqqoslanganda, quyidagicha o'tkazish qobiliyatini oshirishni ta'minlaydi: makrosotalarda 30% gacha va mikrosotalarda 100% gacha.

Shuningdek, MIMO texnologiyasining ustunligi sifatida an'anaviy antenna tizimlariga qaraganda ishchi xarakteristikalarining barqarorligini ta'kidlab o'tish zarur. Abonent 3km/soat dan 120km/soat gacha tezliklarda harakatlanganda aloqaning yomonlashish xarakterlari kuzatilmaydi. MIMOLI tizimlarning jiddiy kamchiligi signalni qayta akslantirish holatlarida sifat xarakteristikalari yo'qolishi hisoblanadi.

33.3. AAS va MIMO texnologiyalarini solishtirish. TS xizmat ko'rsatish zonasi

MIMO uchun ikki qabul qilib uzatuvchi antennali element va AAS uchun 4 antennali 4 ta uzatgichdan foydalanib, maksimal xizmat ko'rsatish masofasi AAS va MIMO texnologiyalarini solishtirish quyidagi natijalarni beradi (33.1-jadval).

33.1-jadval

AAS va MIMO texnologiyalaridan foydalanishda antenna tizimlarining kuchaytirish koeffitsienti qiymatlari

	CPE alohida blok ko'rinishida		CPE PCMCIA platasi ko'rinishida	
	MIMO	Yo'naltirish diagrammalirini shakllanishi	MIMO	Yo'naltirish diagrammalirini shakllanishi
Tizimning kuchaytirish koeffitsienti	157,7 dB	162,7 dB	153,3dB	157,9dB

Jadval natijalari "pastga" va "yuqoriga" aloqa liniyalarining maksimal resurslaridan foydalanganda, aloqa kanalining aniq energetik imkoniyati uchun mos keladi. Jadvaldan ko'rinadiki, AAS texnologiyasi MIMO texnologiyasi bilan solishtirganda 5 dBga kuchaytirish koeffitsientini oshirishni ta'minlaydi, bu nazariy holatda xizmat ko'rsatish masofasi 100% gacha ortishiga olib keladi.

Tarmoqning o'tkazish polosi

AAS texnologiyasi bu ko'rsatkich bo'yicha MIMOga qaraganda yuqori natijalar beradi. Bir tipdagi tarmoqlar uchun har bir sektorda chastota spektridan foydalanish samaradorlik ko'rsatkichlari quyida keltirilgan (33.2-jadval).

Natijalar ko'rsatadiki, AAS texnologiyasidan foydalanish bilan tarmoqning xizmat ko'rsatish aloqa sifatini 90% gacha oshirishni ta'minlash mumkin.

MIMO texnologiyasi mikrosotali tizimlarda juda yuqori o'tkazish qobiliyatini ta'minlaydi, lekin bunga abonent uskunalarini qo'shimcha murakkablashtirish hisobiga erishiladi. Yana, eslatib o'tish kerakki, TS va AU bevosita ko'rinish holatlarida MIMOli sxema yomon ishlaydi.

33.2-jadval

AAS va MIMO texnologiyalaridan foydalanishda tarmoq spektral samaradorlik ko'rsatkichlari

Sxema	Sotaning maydoni bo'yicha o'rtalashtirilgan spektr samaradorligi
Yo'naltirish diagrammasini shakllantirish	2,1 bit/sek/Gs
MIMO	1,7 bit/sek/Gs
Yo'naltirish diagrammasini shakllantirish + MIMO	2,5 bit/sek/Gs

Bu kamchilik ikki texnologiyani birlashtirish bilash tuzatilishi mumkin, bu tarmoqni yoyishning barcha shartlarida optimal yechim olish imkonini beradi. AAS texnologiyasining qo'llanili-

shi WiMAX tarmoqlarini birlamchi yoyish darajasiga mos keladi. MIMOning qo'shilishi mikro va piko sotali tarmoqlarda yuqori abonentlar sig'imini talab qiladigan tarmoqlarda amalga oshiriladi. AAS va MIMOning birlashishi bitta umumiy antenna tizimlari yordamida ta'minlanishi mumkin, bu holatda TS ni oddiy dasturiy ta'minotni yuklash orqali modernizatsiyalash imkoniyati bo'ladi.

AAS va MIMO texnologiyalarini birlashtirish imkoniyati.

Hozirgi kunda amaliyotda qo'shimcha imkoniyatlar olish uchun AAS va MIMO texnologiyalarini birlashtirish bo'yicha qilingan ishlar mavjud. Lekin bunda bir necha qiyinchiliklar yuzaga keladi, masalan, antennalarni joylashtirish bo'yicha talablar. AAS texnologiyasini qo'llaganda antennalar bir-biriga yetarlicha yaqin joylashishi kerak (odatda, nurlanuvchi to'lqinning yarim uzunligi hisobida), antenna elementlari uchun MIMO sxemalar qo'llanganda esa antennalar bir-biridan uzoqlikda joylashishi lozim yoki qutblanishlari turlicha bo'lishi kerak. Yuqoridagilarga bog'liq holda, bu texnologiyalarni ikki jihat bo'yicha birlashtirish imkoniyati mavjud:

- bir-biriga yaqin bo'lgan optimal masofalarda AASli tizimlarda MIMOni qo'llash.

- Har bir panel elementlari orasidagi masofa yetarlicha kichik bo'lganda, ikki elementli antenna panellari juftliklarini qo'llash.

Birinchi variant aloqa kanallari energetik imkoniyatlarini oshirishda katta foyda beradi. Uni tatbiq qilish uchun tayanch stansiyalari standart to'rt elementli antenna panellaridan foydalanish hisobi yetarlicha oson ishlab chiqilgan bo'lishi mumkin, ular tizimni keyinchalik almashtirishni talab qilmaydi. "AAS+MIMO" texnologiyalarini birlashtirish TSda dasturiy ta'minotni yuklash orqali amalga oshirilishi mumkin.

Ikkinchi variantda eng yaxshi ishchi xarakteristikalariga erishiladi. AAS hisobi bo'yicha olingan aniq talablarga bog'liq ravishda 30% gacha kanalning o'tkazish qobiliyatini oshirish mumkin. Bu sxema mavjud apparat bazasida yetarlicha oddiy holatda amalga oshiriladi.

WiMAX tarmoqlarini yoyishning qiyinchiliklari

To'rtinchi avlod tarmoqlariga qo'yiladigan talablarga mos ravishda WiMAX tizimlariga aloqa seanslarini qayta ishlash dinamik algoritmlarini ta'minlash, radioefir shartlariga mos ravishda signal qayta ishlash usullarini soddalashtirish kabi talablar qo'yiladi.

Agar WiMAX tizimlari "signal-shovqin" nisbatining yuqori ko'rsatkichiga va ishonchli signalga ega bo'lsa, yuqori tezlikli uzatish rejimini tanlash mumkin, bunda signal qabul qilgichlarda oson va aniq dekodlanadi. Radiomuhitning yomon parametrlari holatlarida tizim ancha chidamli chignal qayta ishlash usullarini tanlaydi (masalan, OFDM simvolidan foydalanib kam bitli yuqori quvvatli signal chiqarish), bu esa signalni aniqroq dekodlash imkonini beradi. Shuning uchun WiMAX tarmoqlarini yoyish bir qator murakkabliklarga ega, bunda nafaqat signal pog'onasi va CINR koeffitsientlari hisobga olinadi, shuningdek Abonent uskunalari uchun kanal resurslarini dinamik taqsimlash mexanizmlari bilan aniqlanadi. Ko'plab aloqa tizimlari 2–3 profildagi aloqa seanslariga ega, shuningdek WiMAX tizimlarida bir vaqtda 7 tagacha profil mavjud bo'lishi mumkin, lekin WiMAX tizimlarida signalni qayta ishlash algoritmlari boshqa simsiz tizimlarga nisbatan ancha murakkabroq bo'lib tuyiladi.

33.4. WiMAX tarmoqlarida radiochastota diapazonidan foydalanish. WiMAX tizimlari uchun radiochastotalarni taqsimlashda butun dunyo an'analari

WiMAX bu keng polosali simsiz ulanish (KSU) tarmoqlarini yaratish uchun ishlab chiqilgan texnologiya bo'lib, ular an'aviy sotali aloqa tizimlari ishlatmaydigan chastotalar polosasida, ya'ni 2GGs dan yuqori diapazonda ishlaydi. WiMAX tarmoqlari ishlatadigan chastotalar spektri 2,3GGs va 2,7GGs orasidagi diapazondagi polosani (Shimoliy Amerikada foydalaniladigan), turg'un xizmatlar uchun 3,3GGs va 3,8GGs orasidagi diapazondagi polosani, shuningdek,

Wi-Fi va simsiz telefoniyada foydalaniladigan "litsenziyalanmagan" 2,4GGs va 5,8GGs polosani o'z ichiga oladi. Zamonaviy IEEE 802.16 standartlari 2GGs va 6GGs orasidagi butun chastotalar diapazonini qo'llab-quvvatlasada, WiMAX forumi 2,5GGs, 3,5GGs va 5,8GGs polasalarda sertifikatlarni olishga yo'naldi. Qurilgan WiMAX tarmoqlarining asosiy ulushi 3,5GGs diapazonga to'g'ri keladi, bu yerda butun dunyoda o'rnatilgan uskunalarning 40 foiziga to'g'ri keldi, keyin 5GGs; 5,2GGs; 5,4GGs; 5,6GGs; 5,8GGs diapazonlar keladi. KSU jahon bozorining 85 foizi atrofida operator tarmoqlari tashkil etadi, qolgan qism esa xususiy korporativ tarmoqlarga to'g'ri keladi [51].

Lekin, bunda WiMAX tizimlari uchun alohida radiochastotalar polosasi ajratilmadi. WiMAX uchun 2,5GGs yoki 3,5GGs chastotalar diapazonidagi "biriktirilgan" spektr haqida gapirilganda ham bu diapazonlarda chastotalar polosasining turliliga ega bo'linadi. Masalan, AQSH, Kanada va Lotin Amerikasining bir necha davlatlarida KSU tizimlari uchun spektr 2,3GGs polosalarda va 2,5GGs hamda 2,7GGs orasidagi diapazonda ruxsat etiladi, u holda Wi-Fi tizimlari va simsiz telefonlar uchun 2,4GGs polosa ishlatilayotgani bois, unga ruxsat etilmaydi. Chastotalarni taqsimlashda 3,5GGs polosada va 3,3GGs va 3,8GGs orasidagi diapazonda murakkab vaziyat vujudga keldi.

Bosh muammo shundaki, ko'zda tutilgan polosalar turli tarqalish xarakteristikali turli diapazonlar qismlaridan, uzatkichlar quvvatlariga talablar va uskunalarni ishlatilishi imkoniyatlaridan iborat. Vaziyat yanada murakkablashadiki, keng polosali simsiz ulanishga taqsimlangan spektr hatto alohida olingan kontinentlarda ham deyarli garmonlashtirilmagan. Lekin, hatto prinsipial umumiy spektr texnik ajratilishi mumkin bo'lgan joylarda ham siyosiy reja muammosi vujudga keladi, chunki turli davlatlarda radiochastota spektrini ishlatish bo'yicha turli talablar amal qiladi. Natijada, xalqaro va milliy spektrdan foydalanish qoidalari labirintida WiMAX tizimlarini rivojlantirish uchun yo'llarni qo'yish oson bo'lmaydi va katta kuchlarni talab qiladi.

33.5. WiMAX tizimlari uchun spektrni ajratishga bog'liq muammolar

Avval ko'rsatilganidek, IEEE 802.16 standarti spetsifikatsiyalari keng chastotalar diapazonida ishchi polosalarni aniqlaydi, shuning uchun WiMAX tizimlari nazariy jihatdan 66 GGsdan kam bo'lgan istalgan chastotalarda ishlashi mumkin. WiMAX Forumi WiMAX tarmoqlarini qurish uchun uchta 2,5GGs, 3,5GGs va 5,8GGs chastotalar oraliqlarini aniqlagan bo'lsada, amalda bu masalada hozircha global ko'lamda birlik yo'q. Bunday gormonlashtirish esa, avvalo oxirgi uskunaning narxini kamaytirish uchun zarur. Mur qonuni deyiladigan qonun (yoki ishlab chiqarishning ishirilishi hisobiga tejash qonuni) WiMAX uskunalarini ishlab chiqarish (mobil terminallar yoki o'rnatiladigan WiMAX kartalar) ommaviy bo'lishi uchun mahsulot birligining tannarxi kamaytirilishi (v mos ravishda oxirgi narx) kerakligini nazarda tutadi. Binobarin, narxni tashkilashtirishning bunday konsepsiyasi tayanch uskunalar uchun ham to'g'ri bo'ladi.

Shunday qilib, dunyoning turli regionlarida WiMAX tarmoqlarini qurish uchun turli chastotalar polosalariga ruxsat etiladi, lekin ilg'orlik WiMAX Forumi aniqlaydigan polosalarga beriladi. Yevropada, masalan, WiMAX tizimlari uchun sezilarli chastota resurslari 3,5GGs dipazonda ruxsat etiladi. AQSHda eng katta ruxsat etiladigan polosa 3,5GGs dipazonda joylashgan va endilikda asosan Sprint Nextel va Clearwire kompaniyalari orasida taqsimlangan. Janubiy-sharqiy regionda ko'rinib turibdiki boshqa diapazonlarga ham ruxsat etilsada, 2,3GGs diapazon ommaviy bo'lib qoladi. Hindiston va Indoneziyada 2,5GGs va 3,3GGs diapazonlardagi polosalar ishlatiladi, Pokistonning milliy WiMAX operatori esa 3,5GGs diapazonda ishlaydi.

Analog televidenie diapazoni (700MGs) WiMAX tarmoqlarini qurish uchun ruxsat etilishi mumkin, lekin, birinchidan, to'liq raqamli televidenienga o'tilishni kutish zarur, ikkinchidan, bu diapazon uchun boshqa texnologiyalar ham da'vogarlik qilmoq-

da. 2008-yilda AQSHda bu spetрни taqsimlash bo'yicha aukcion o'tkazildi va natijada spektrning eng katta ulushlari Verizon Wireless va AT&T kompaniyalarga ajratildi. Va bu har ikkala kompaniyalar bevosita WiMAX tizimlariga raqobatda bo'lgan LTE tarmoqlarini qurishda o'zlarining istaklarini bildirishdi. Yevrokomissiya esa, WiMAXni qo'shganda simsiz aloqa tizimlari uchun 500–800MGs diapazondagi spektrni qayta taqsimlash masalasini ko'rib chiqmoqda. Yevropada eng istiqbolli 770–862MGs polosasi hisoblanadi, u birinchi navbatda analog teleuzatishda bo'shatiladi. Shuningdek, Yevroittifoq WiMAX texnologiyalari ham ular qatoriga kiradigan HSPA va EVDO texnologiyalari kabi istiqbolli keng polosali tarmoqlari uchun 900MGs diapazondan foydalanishni ma'qullaydi.

Ta'kidlash kerakki 2007 yilning oktyabrida HTI radioaloqa Sektori (ITU-R) qabul qilgan WiMAX texnologiyalarining IMT-2000 standartlar oilasiga kiritilishi haqidagi qarori shunga olib keladiki, "mobil WiMAX" uskunolari (xususan, bugungi kunda 2,5–2,69GGs diapazonda) yanada unifikatsiyalanadi va uni IMT-2000 dasturini tan oladigan dunyoning istalgan mamlakatida ishlatish mumkin bo'ladi.

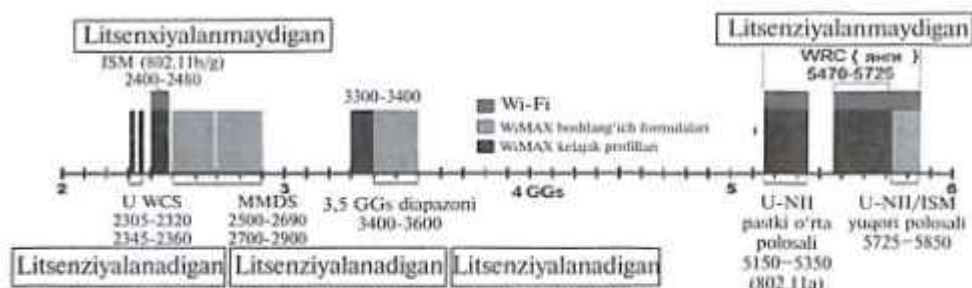
Nazorat savollari:

1. IEEE 802.16d standartiga qisqacha xarakteristika (tavsif) bering.
2. IEEE 802.16e standartiga qisqacha xarakteristika (tavsif) bering.
3. IEEE 802.16d va IEEE 802.16e standartlarining qanday umumiy xossalari va asosiy farqlari mavjud?
4. Tayanch stansiya va ASN shlyuzning ishlashini bayon eting.
5. WiMAX tayanch tarmog'i tugunlarining o'zaro ta'sirlashishi qanday amalga oshadi? Tayanch nuqtalarning funksiyalarini qisqacha bayon eting.
6. IEEE 802.16 standartining beshta ish rejimlarini bayon eting.

34-bob. TURLI CHASTOTALAR DIAPAZONLARIDA VA DUNYONING TURLI DAVLATLARIDA SPEKTR TAQSIMLANISHINING O'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI

34.1. Litsenziyalanmaydigan chastotalar polosasi

Litsenziyalanadigan deyilganda qoidaga ko'ra, rostlovchiga bu chastotalar polosasini ishlatgani uchun to'laydigan foydalanuvchilarga (operatorlarga, tashkilotlarga, kompaniyalarga) "qat'iy biriktiriladigan" chastotalar polosasi tushuniladi. Litsenziyalanmaydigan polosalar bepul asosda istalgan foydalanuvchi uchun ruxsat etiladigan polosalar hisoblanadi. IEEE 802.11a/b/g/n (Wi-Fi) standartlari, masalan, litsenziyalanmaydigan polosalarga asoslangan va bunda u bu chastotalar doirasida raqobat qiladigan texnologiyalardan yetarlicha "himoyalangan" bo'lib qoladi. Bunda shuni ta'kidlaymizki, "litsenziyalanmaydigan chastotalar" tushunchasi yetarlicha o'ziga xos va faqat Yevropaning bir necha davlatlari va AQSH uchun xarakterlidir. Boshqa davlatlarda esa, barcha foydalanishga ruxsat etiladigan chastotalar litsenziyalanadi.



34.1-rasm. 2GGsdan 6 GGsgacha diapazonda KSU tizimlari uchun ruxsat etiladigan chastotalar polosasi.

Litsenziyalanmaydigan chastotalar polosasi (qayerda ularga ruxsat etilsa) avvalo, KSU xizmatlari uncha katta bo'magan kompaniya-provayderlari uchun o'ziga tortadi, chunki ular tarmoq-

larni qurishda vaqtni va mablag'ni tejaydi. So'nggi hisobda, bu oxirgi foydalanuvchiga xarajatlarni kamaytiradi va keng polosali ulanishning alternativ simli uzatish xizmatlariga raqobatbardosh bo'lib qoladi.

Litsenziyalanmaydigan spektr ayniqsa AQSHda o'ziga tortgan, chunki u yerda 2GGs dan 6GGs gacha diapazondagi litsenziyalanadigan chastotalardagi kamchiliklar sinalmoqda. Boshqa tomondan, litsenziyalanadigan chastotalar polosasiga "ega" bo'lgan yirik operatorlar "VIP-sinf" kabi xizmatlarni taqdim etishi mumkin, shuning uchun ularning xizmatlari ishonchli va sifatli bo'ladi va bu ularning raqobatli afzalligini oshirishga xizmat qiladi.

34.1.1. 33,5GGs diapazoni

Bu diapazon litsenziyalanadigan chastotalar polosasi diapazoniga kiradi va Yevropa, Lotin Amerikasi va Osiyoning ko'plab davlatlarida KSU tarmoqlarini qurish uchun ruxsat etiladi. Diapazon global masshtabda "o'ta yuklangan" KSU tarmoqlari hisoblanadi. Umumiy 300MGs (3,3GGs dan 3,6GGs gacha) polosasi simsiz WAN tarmoqlar uchun magistral liniyalarni qurish bo'yicha keng imkoniyatlarni ta'minlaydi. Bu diapazonning bunday ommaviyligi ko'p sonli uskunalarning paydo bo'lishi va WiMAX tizimlarining ishlab chiqaruvchilari va operatorlari orasida sog'lom raqobatni vujudga kelishiga olib keladi. 34.1-rasmda KSU tizimlari uchun 3,5GGs diapazondagi chastotalar polosasi ruxsat etiladigan dunyoning turli regionlaridagi davlatlarning ro'yxati keltirilgan.

34.1.2. 5GGs diapazoni

Bu diapazonda dunyoning turli regionlarida KSU tizimlari uchun ajratilgan chastotalar polosalarining bir-birlarini yopib qolish holati vujudga keldi. Butundunyo radioaloqa konferensiyasi tomonidan KSU tarmoqlari ishlatishi uchun qo'shimcha 5470–

5725MGs diapazondagi chastotalar polosasi ajratilgan. Bevosita WiMAX tarmoqlari diapazonning yuqori polosasida, ya'ni 5725–5850MGs chastotalardagi diapazonda qurilmoqda, chunki bu yerda raqobat qiladigan texnologiyalar va interferensiyalar kam (masalan, Wi-Fi tarmoqlardan), tashqi antenning ruxsat etiladigan quvvati esa 2–4Vt ni (bu diapazonning pastki va o'rta polosalaridagi 1Vt dan farqli ravishda) tashkil etadi. Wi-Fi tarmoqlari U-NII pastki va o'rta polosalarida ishlaydi, ular KSU tarmoqlari uchun o'z samaradorligini ko'rsatdi.

Dunyoda 3,5GGs diapazonining keng ishlatilishi

Yevropa davlatlari

Chexiya Respublikasi, Fransiya, Germaniya, Vengriya, Gretsiya, Irlandiya, Norvegiya, Polsha, Ruminiya, Rossiya, Ispaniya, Shveysariya, Buyuk Britaniya, Isroil, Turkiya, Nigeriya, Mali.

Amerika

Argentina, Braziliya, Kanada, Chili, Kolumbiya, Kosta-Rika, Ekvador, Meksika, Peru, Urugvay, Venesuela

Osiyo Tinch okean davlatlari

Avstraliya, Xitoy, Indoneziya, Hindiston (3,3–3,4GGs), Yaponiya, Malayziya, Yangi Zelandiya, Tayvan, Xitoy 3400–3430 va 3500–3530 boshlanishi uchun Gong-Kong va Singapurda diapazon sun'iy yo'ldoshli aloqa uchun ajratilgan.

34.2-rasm. *Dunyoning har xil davlatlarida KSU tizimlari uchun 3,5GGs diapazonda ruxsat etiladigan chastotalar polosasi.*

Bu diapazonning "litsenziyalanmaydigan" xarakteri sababli operatorlar tarmoqlari uchun uni kompaniyalar bosqichma-bosqich o'zlashtirishi ko'zda tutilmoqda (magistral tarmoqlardan tashqari).

Boshqa tomondan, 4G darajadagi xizmatlarni taqdim etishga qodir bo'lgan chastotalar polosasiga (ya'ni 10MGs va 20MGs

kenglikdagi polosalar) aynan yuqori diapazonlarda (ya'ni, 2GGs-dan yuqori) ruxsat etiladi. Shuning uchun faqat past chastotali diapazonlarni o'zlashtirish tarmoqlarning o'tkazish qobiliyati bo'yicha talablarni qoniqtira olmaydi va amalda turli diapazonlardagi chastotalar polosalarini ishlatadigan kombinatsiyalangan tarmoqlar o'z o'rniga ega bo'lishi kutilmoqda.

34.1.3. 2,5GGs diapazoni

Bu diapazonda KSU tarmoqlarini qurish uchun AQSH alohida qiziqish bildirilmoqda va bir necha nimdiapazonlar ajratilmoqda.

WCS nimdiapazoni — bu WCS (*ingl. Wireless Communications Service*) simsiz aloqa xizmatlari uchun ajratilgan 15MGs kenglikdagi 2305MGs–2320MGs va 2345MGs–2360MGs diapazonlardagi chastotalar polosalari juftligidir.

Bu polosalar orasidagi 25MGs interval KSU tarmoqlari uchun potensial interferensiya muammosi bo'lgan raqamli radioeshittirishga (*ingl. Digital Audio Radio Service, DARS*) ajratilgan. Bu diapazonda oshirilgan spektral samaradorlikli texnologiyalar mavaffaqiyatli bo'lishi mumkin. Ular OFDM multiplekslash hamda adaptiv modulyatsiya va kodlash asosidagi texnologiyalar hisoblanadi. AQSHda bu diapazondagi asosiy litsenziya egalari Verizon, BellSouth, AT&T va Metricom kompaniyalari hisoblanadi.

ISM nimdiapazoni — ISM (*ingl. Industrial, Scientific and Medical services*) sanoat, ilmiy va meditsina ilovalari uchun polosada, AQSHda ajratilgan va litsenziyalanmaydigan hisoblanadi. Nimdiapazon KSU tarmoqlarini qurish uchun 2400...2480MGs polosada taxminan 80MGs kenglikka ega. Bu polosada WLAN sinfidagi tarmoqlar uchun yaxshi "yaroqlilikni" namoyon qilgan Wi-Fi tarmoqlari ishlaydi. Wi-Fi va WiMAX tarmoqlarining o'zaro ta'sirlashish imkoniyatlarini aniqlaydigan bo'lajak WiMAX profillari bu ikki texnologiyani birlashtira olishi mumkin va buning hisobiga KSU xizmatlarining qoplash zonasini kengaytirishi mumkin.

MMDS nimdiapazoni 2500MGs dan 2690MGs gacha diapazondagi (IMT kengaytirish diapazoni) 6MGs dan kenglikdagi 31 ta kanalni o'z ichiga oladi va shuningdek, o'z tarkibida qayd etilagan interaktiv televidenie (*ingl. Instructional Television Fixed Service, ITFS*) xizmatlariga ega bo'ladi. Dastlab bu spektr yetarlicha o'zlashtirilmagan edi, chunki televizion yo'nalishga ega bo'lgan va AQSHda KSU tarmoqlarini rivojlantirish uchun ham ajratilgan. Bu diapazonda asosiy chastota foydalanuvchilari Sprint va Nextel kompaniyalari hisoblanadi. Yaqin bir necha yillarda tahlilchilar bu diapazonda KSU bozorining o'sishini aytishmoqda.

WiMAX Forumi o'z qiziqishlarini litsenziyalanadigan 3,5GGs polosalariga va litsenziyalanmaydigan U-NII 5GGs yuqori polosalariga yo'naltirmoqda. Bu yerda interferensiya sathi past, signalning ruxsat etiladigan quvvatlari yuqori va o'tkazish qobiliyati keng bo'ladi. Bu butun dunyoda WiMAX standartining yuqori o'sish sur'atlarini ta'minlaydi, shuning uchun bu polosalar potensialroq bozorlar bo'ladi va ishlab chiqarishning oshirilishi hisobiga iqtisod qilishni ta'minlashga qodir bo'ladi.

34.2. WiMAX uchun qo'shimcha chastotalar polosalari

WiMAX tarmoqlarini va boshqa KSU tizimlarini qurish uchun dunyoning turli regionlarida hozirgi vaqtda qo'shimcha chastotalar polosalari ko'rib chiqilmoqda. Masalan, Yaponiyada 4,9GGs–5,0GGs polosa 2007-yildan ruxsat etilgan, 5,47GGs–5,725GGs polosa esa kelajak uchun zaxira sifatida ko'rib chiqilmoqda. Bunda birinchi polosada TSni qurish uchun litsenziyalash talab qilinadi va 5MGs, 10MGs va 20MGs kengliklardagi polosalar qo'llab-quvvatlanadi, shu bilan bir vaqtda ikkinchi polosada litsenziyalash talab qilinmasligi mumkin va 20MGs kenglikdagi polosa qo'llab-quvvatlanadi. Shimoliy Amerika bozori dastlab jamoat xavfsizligi xizmatlari uchun polosa hisoblangan 4,9GGs diapazonida WiMAX tarmoqlarini qurishga qiziqish bildirmoqda. Hatto WiMAX tarmoqlari va shunga o'xshash xizmatlar uchun pastroq 800MGs lit-

senziyalanadigan diapazon va 915MGs litsenziyalanmaydigan kabi chastotalar polosalaridan foydalanishga qandaydir qiziqish bor. WiMAX standarti tovushlarni va katta hajmlardagi ma'lumotlarni uzatish xizmatlaridagi, mobillikda foydalanuvchilarning ehtiyojlarini qoniqtirishga qodir uzoq kutilgan spektral samaradorlikka va yuqori o'tkazish qobiliyatiga olib kelishga "va'da" bermoqda. Bu to'g'ri ko'rinish bo'lmaganida ishlashga qodirligi tufayli ko'proq foydalanuvchilarni jalb qilishga, qurishga kam xarajatlarga katta aloqa masofasiga (uzoqligiga) va standartlashtirish hamda o'zaro ta'sirlashish hisobiga arzon abonent uskunolari bozoriga ommaviy kirib borishga imkon beradi. Ko'rinib turibdiki, bu keng polosali mobillikka va 4G tizimlarni shakllantirishga yo'l hisoblanadi.

34.3. Yevropada WiMAX tizimlari uchun chastotalarning ajratilishi (1-rayon)

2008-yilning mayida EI komissiyasi Yevroittifoq a'zolari davlatlarida 3400–3800MGs diapazondagi radiochastota spektridan foydalanishni garmonlashtirish bo'yicha qaror qabul qildi. Qabul qilingan qaror Yevropa WiMAX-operatorlariga pozitiv ta'sirga ega bo'ldi, ulardan ko'pchiligi spektrning aynan bu polosasidagi chastotani ishlatadi. Bu qarorga muvofiq, Yevroittifoqqa kiradigan davlatlar "turg'un, ko'chma va mobil radioaloqa tarmoqlarini" yaratish uchun bu polosadagi chastotalarni ishlatishga ruxsat berishi kerak.

Ta'kidlaymizki, hozirgi vaqtda Yevropada 3,5GGs diapazon uchun deyarli barcha litsenziyalar mobillik bo'yicha cheklanishga ega va faqat turg'un simsiz ulanish yoki cheklangan mobillikli ("portativ") tarmoqlarni yaratishga huquq beradi. Bu chastotalar polosalarida mobil KSU xizmatlarini taqdim etish imkoniyati hozircha cheklangan davlatlarda mavjud, qator davlatlar esa endi mos ulanishni berilishini rejalashtirmoqda. EI komissiyasi texnologiyalarni va xizmatlarni tanlashga nisbatan betaraflik prinsipini ishlatadi va radiospektrdan foydalanishning ixcham imkoniyatlarini taqdim etilishiga xayrixoh, demak, operatorlar ko'p hollarda mobil rejimli ulanish tarmoqlarini yaratadi.

O'zbekistonda WiMAX tizimlari uchun chastotalarning ajratilishi

O'zbekistonda zamonaviy keng polosali simsiz tarmoqlarni joriy etish jarayoni O'zbekiston aloqa va axborotlashtirish agentligi (O'zAAA) tomonidan faol qo'llab-quvvatlanmoqda va ular uchun chastotalarni ajratish imkoniyati deyarli barcha uchta 2,5GGs, 3,5GGs va 5GGs diapazonlarda ko'zda tutilgan. 34.1-jadvalda O'zbekistonda 2010-yilning oxiri holatigacha chastotalarga ruxsat etilishi darajasi keltirilgan.

34.1-jadval

O'zbekistonda WiMAX tizimlari uchun chastotalarga ruxsat etilishi

Diapazon	Ruxsat etilishi darajasi
2,3GGs	WiMAX tarmog'i qurilgan (IEEE 802.16e standarti)
2,4GGs	Wi-Fi (b/g/n) tarmoqlari foydalanishi uchun ajratilgan
2,5GGs	"MTS-Uzbekistan" kompaniyasi LTE tarmog'ini qurmoqda. Harakatdagi aloqa fuqaro xizmatlari foydalanishi mumkin.
3,5GGs	Harakatdagi fuqaro xizmatlari ikkilamchi asosda foydalanishi mumkin. WiMAX tarmog'i qurilgan (IEEE 802.16d standarti)
5,15GGs – 5,25GGs	Harakatdagi fuqaro xizmatlari ikkilamchi asosda foydalanishi mumkin.
5,25GGs – 5,35GGs	Wi-Fi (a/n) tarmoqlari foydalanishi uchun ajratilgan
5,7GGs – 5,8GGs	Umuman olganda hukumatga mo'ljallangan diapazon, lekin unda qo'shma foydalanish uchun polosalar mavjud

2,5GGs diapazon (2,3GGs–2,7GGs keng intervalda) hozir ayniqsa shaharlarda o'ta yuklangan, chunki unda hozirda Wi-Fi xot-spotlar ishlamoqda va LTE keng polosali tarmoqlarni (ya'ni, 10MGs va 20MGs polosalarli) qurish rejalashtirilmoqda. Shuning uchun WiMAX tarmoqlarini qurish uchun 3,4GGs–3,6GGs diapazon ma'qulroq bo'lib qoladi, yetiladigan uskunalar paydo bo'lganidan keyin esa 5GGs diapazon o'zlashtirishi mumkin. Umuman olganda shuni tasdiqlash mumkinki, O'zbekistonda WiMAX tarmoqlarini qurish uchun chastotalarning ajratilishi muammosi hal etiladigan masala.

Bunga qaramasdan 2011-yilning boshiga kelib mamlakatda ham turg'un, ham "mobil WiMAX" xizmatlarini taqdim etadigan faqat bitta operator (EVO savdo markali Super iMax kompaniyasi) ishlamoqda. 2010-yilning oxiriga kelib EVO 9 ta viloyatni qamrab oldi va o'z abonentlari sonini 13000 kishigacha yetkazdi. EVO tarmog'i ikkita WiMAX standartidan (IEEE 802.16d va IEEE 802.16e), ikkita chastota diapazonidan (mos ravishda 3,5GGs va 2,3GGs) foydalanadigan kombinatsiyalangan tarmoq namunasi hisoblanadi.

Yangi WiMAX tarmoqlariga kelsak, 2011-yilning boshiga kelib O'zAAA ning ma'lumotlariga ko'ra, 2010-yilda WiMAX tarmoqlarini qurish va tizimlarini ishlatishga ega bo'lgan 2 ta sotali operator va 4 ta Internet-provayder bunday tarmoqlarni qurish rejalari haqida bildirmadi.

Bu yerda ta'kidlash joizki, umumiy foydalanishdagi aloqa tarmoqlari (ularga WiMAX tarmoqlari ham kiradi) doimo ularning tijoriy foydaliligiga asoslanadi. Mos ravishda operatorlarga, avvalo, shaharlar va zich joylashgan hududlar qiziqarli (manfaatli). Lekin yirik shaharlarda WiMAX texnologiyasi simli ulanish texnologiyalari va sotali aloqa tizimlari tomonidan katta raqobatga duchor bo'ladi. Shuning uchun ko'plab mutaxassislar WiMAX texnologiyasiga simli ulanish va mobil aloqa murakkab yoki mumkin bo'lmagan joylarda qo'llanilishini tavsiya qilish bilan an'anaviy simli ulanish va mobil tarmoqlarga to'ldirish yoki zaxira rolini berishmoqda.

Umumiy foydalanishdagi tarmoqlardan farqli ravishda korporativ aloqa tarmoqlari hamma vaqtlarda ham zich joylashgan hududlarda (energetiklar shaharchasi, neft-gaz majmuasi korxonalari ishchilari va boshqalar) qurilavermaydi. Olisdagi joylardagi radiochastota spektri nisbatan bo'sh va 20 MGs gacha kenglikdagi chastotalar polosasini ajratish ajratish mumkin. Shuning uchun yirik shaharlardan olisdagi korporativ tarmoqlardan WiMAX texnologiyalari imkoniyatlarining maksimal ishlatilishini kutish kerak. Shu bilan birga, bunday tarmoqlar dastlab asosiy qo'llanilishi bo'yicha o'ziga yetarli (qo'shimcha bo'lmagan) tarzda qurilishi mumkin.

WiMAX texnologiyalarining qo'llanilishiga olib keladigan korporativ tarmoqlarning yana bir o'ziga xos xususiyatlaridan biri ko'plab korporatsiyalarda abonent terminallarni sotib olish uchun moliyaviy vositalarning mavjudligi hisoblanadi (hozirda umumiy foydalanishdagi aloqa tarmoqlari abonentlari uchun terminallar narxi juda qimmat bo'lgan holda).

Boshqa davlatlardagi holat

Biz uchun avvalo, yaqin xorij davlatlari, birinchi navbatda Rossiya tajribasi qiziqarli bo'ladi. Rossiyada KSU tizimlarini rivojlantirish uchun ham uchta 2,5GGs, 3,5GGs, 5,8GGs chastotalar diapazonlari muhokama qilinmoqda [53].

2,4GGs diapazoni (aniqrog'i 2,400GGs–2,483GGs) shaharlarda kuchli band va shahar tarmoqlari boshqa diapazonlarda qurilmoqda. WiMAX tarmoqlari uchun bu diapazondan foydalanish deyarli mumkin emas.

3,4GGs–3,6GGs diapazonda ham muammolar mavjud, chunki u sun'iy yo'ldoshli aloqa uchun aktiv ishlatiladi. O'tkazilgan tadqiqotlar ma'lumotlarni uzatishga diapazondan foydalanish bo'yicha cheklanishni o'rnatdi va hozir bu diapazonda faqat 500MGs polosaga ruxsat etiladi. Bunda sun'iy yo'ldoshli segment ortadi, chunki u orqali boshqa aloqa turlariga yetarli bo'lmagan Rossiyaning regionlari bilan strategik aloqa amalga oshiriladi.

Shunday qilib, 5GGs (5,250GGs; 5,250GGs–5,350GGs va 5,725GGs–5,850GGs nimdiapazonlar) Rossiyada eng o'zlashtiriladigan diapazon. Aynan shu yerda bu polosalarda boshqa xizmatlar ham (masalan, 5,725GGs–850GGs diapazondan radiorelestansiyalari foydalanadi) ishlashiga qaramasdan KSU tarmoqlari sonining maksimal o'sishi kutilmoqda. 6GGs (5,900GGs–6,400GGs) diapazonni o'zlashtirish sekin ketmoqda.

Ma'lumki, to'g'ri ko'rinish zonasidan tashqarida aloqani ta'minlashga yo'naltirilgan 802.16d standartiga nisbatan ilgari surilgan yondashuv qiziqarli hisoblanadi. Bu standart uchun hozir ishchi chas-totaning pastki chegaralarini 1800MGs gacha yoki hatto 700MGs gacha kamaytirish ko'rib chiqilmoqda, shuningdek, kanal ichida nimdiapazonni tanlash imkoniyati qo'llanilgan, ya'ni AU kichik nimkanallarda ishlashi mumkin (1,25MGs minimal kenglik).

34.4. WiMAX tarmoqlarida axborot xavfsizligi masalalari

IEEE 802.16 standartiga asoslangan WiMAX keng polosali simsiz ulanish tarmoqlari bugungi kunda istiqbolli, tez rivojlanayotgan aloqa texnologiyasi hisoblanadi. Ularda Wi-Fi (IEEE 802.11 standart) tarmoqlaridagi kabi simli tarmoqlardagiga qaraganda nisbatan oson hujum qilinishi sababli axborot xavfsizligi masalasi o'tkir bo'lib turibdi. Shuning uchun WiMAX tizimlarida xavfsizlik masalalari va ularni mumkin yechimlarini aniqlash oldindan birinchi darajada turdi. Wi-Fi tarmoqlarini ishlatishdan tajribalaridan olingan saboqlar IEEE 802.16 standartida hisobga olindi va standartning taalluqli spetsifikatsiyalarida yoritib o'tildi [54].

Axborot xavfsizligi deganda axborot munosabatlari subyektlariga, shu jumladan, axborotlar egalariga va foydalanuvchilarga, qo'llab-quvvatlovchi infratuzilmaga tuzatib bo'lmas zarar yetkazishi mumkin bo'lgan tabiiy yoki sun'iy xarakterdagi o'ylangan va tasodifiy ta'sirlardan axborotlarning va quvvatlovchi infratuzilma himoyalanganligi tushuniladi.

Qanday tarmoqda bo'lsa ham axborot xavfsizligi tizimini rejali tashkil etish uchun xavfsizlik mezonlarini aniqlash zarur. Bu mezonlar risklar va tahdidlar asosida, shuningdek ham tarmoq operatorlari, ham foydalanuvchilarining xavfsizligi talablarini hisobga olib aniqlanadi. Axborot tizimlaridan foydalanishga bog'liq subyektlar manfaatlari spektrini umumiy ko'rinishda quyidagi toifalarga bo'lish mumkin: foydalana olishlikni (доступность) ta'minlash, axborot resurslarining va qo'llab-quvvatlovchi infrazuzilmaning butunligi va konfidensialligi.

- Foydalana olishlik bu ma'qul vaqtda talab qilinadigan axborot xizmatini olish imkoniyati.

- Butunlik deganda axborotning aktualligi va zidma-zid emasligi, buzilishdan va sanksiyalanmagan o'zgartirishdan himoyalanganligi tushuniladi.

- Konfidensiallik bu axborotga sanksiyalanmagan ulanishdan himoya.

Xususiy holda tarmoq operatori shunga amin bo'lishni istaydiki, uning tarmog'iga ulangan foydalanuvchilar va uskunalar, haqiqatan ham, ularni (to'g'ri hujumlarni yoki foydalanuvchilarning almashtirilishini oldini olish uchun); abonentlar ruxsat etilgan o'sha servislarga ulanish olishyapti; ular ishlatgan xizmatga o'rnatilgan haqni to'layaptimi va hokazo. O'z navbatida, foydalanuvchi esa shunga amin bo'lishni istaydiki, uning xususiy axboroti himoyalangan; u qabul qilayotgan va uzatayotgan ma'lumotlarning butunligi buzilmagan; u yozilgan servislarga doimo ulanishni olishi mumkin va hokazo. Shuningdek, tarmoqning xavfsizligi uchun risklar va tahdidlar tuzilmasini tushunish, xavfsizlik tizimini adekvat shakllantirish va yangi tavakallar va tahdidlardan bu tizimni nazorat qilish va korrektsiyalash bo'yicha tadbirlarni rejalashtirish uchun tarmoqning zaifligini o'z vaqtida topish juda muhim. Xavfsizlik dasturi va siyosatini ishlab chiqish risklarni tahlil qilishdan boshlanadi, o'z navbatida, uning birinchi bosqichi eng ko'p tarqalgan hujumlar va tahdidlar bilan tanishish hisoblanadi. Simsiz WiMAX tarmoqlarida tarmoqqa turli hujum-

lar bo'lishi mumkin va turli zaifliklar aniqlangan bo'lib, ularning quyidagi guruhlariga birlashtirish mumkin [55]:

- Radiosignalni bo'g'ilishi kabi fizik darajadagi hujumlar ulanishni buzilishiga (*ingl. Denial of Service*) yoki kadrlarni ko'ch-kisimon chaplanishiga (*ingl. Flooding*) olib keladi va AU akkumulyatorining resursini tugatish maqsadiga ega bo'ladi. Bunday hujumlarga qarshi turish juda qiyin va bugungi kunga kelib bunday hujumlar bilan samarali kurash usullari o'ylab chiqilmagan.

- "Kishi o'rtada" (*ingl. Man In The Middle, MITM*) turidagi hujumlarga kiradigan tayanch stansiyaning almashtirilishi. Zaiflik telekommunikatsiya tarmoqlari uchun an'anaviy bo'lgan autentifikatsiya jarayonining asimmetrikligiga bog'liq (ya'ni TSni emas abonentni autentifikatsiyalash bajariladi).

- Avtorizatsiya kalitlarini generatsiyalashning tasodifiy bo'lmagan xarakteri.

- Shifrlash kalitlarining takroran ishlatilishi imkoniyati. Bu hujum shifrlash kalitining indeksini maydonining kichik o'lchamiga asoslangan.

- Shifrlashning kuchsiz algoritmlaridan (DES kabi) foydalanish. Kalit hayotining yetarlicha katta vaqtida va xabarlar intensiv almashtirilganda shifrnı buzish mumkin bo'lib qoladi va xavfsizlikka real tahdid bo'ladi.

Nazorat savollari:

1. IEEE 802.16d standartiga qisqacha xarakteristika (tavsif) bering.
2. IEEE 802.16e standartiga qisqacha xarakteristika (tavsif) bering.
3. Tayanch stansiya va ASN shlyuzning ishlashini bayon eting.
4. WiMAX tayanch tarmog'i tugunlarining o'zaro ta'sirlashishi qanday amalga oshadi? Tayanch nuqtalarning funksiyalarini qisqacha bayon eting.
5. IEEE 802.16 standartining beshta ish rejimlarini bayon eting.
6. IEEE 802.16 standartida fizik darajada qanday ma'lumotlar-ni uzatish usullari ko'zda tutilgan?
7. Wireless MAN-OFDM usulining ishlashini bayon eting.

35-bob. IEEE 802.16 STANDARTIDA XAVFSIZLIK TIZIMINI TASHKIL ETISH

35.1. Kanal darajasida xavfsizlik funksiyalari

Axborot xavfsizligi tizimini tashkil etish masalasini tarmoqning turli darajalarida ko'rib chiqamiz. Tarmoqning xavfsizligi funksiyasi 35.1-jadvalda keltirganidek, turli MVOS modellari darajalariga kiritilishi mumkin.

35.1-jadval

OTO⁴ modelining turli darajalarida xavfsizlik funksiyalari

OTO'M darajasi	Xavfsizlik funksiyalari
Ilovalar darajasi	Raqamli imzolar, raqamli sertifikatlar, "p2p" skvoz shifrlash
Transport darajasi	TLS protokollar
Tarmoq darajasi	PSek, AAA, RADIUS infratuzilmalar
Kanal darajasi	AES, PKI, X.509
Fizik daraja	WiMAX PHY

IEEE 802.16e aniqlagan xavfsizlik nimdarajasi faqat kanalli darajada mavjud. Kanalli darajani autentifikatsiyalash va avtorizatsiya tarmoqqa faqat qonuniy huquqi bor abonentlarga ulanishni ta'minlaydi. Kanalli darajani shifrlash xususiy axborotni butunligini va konfidensialligini ta'minlaydi va trafikni ushlab olinishidan himoya qiladi.

Tarmoq darajasi vositalari tarmoq filtrlari va AAA serverlardan foydalanish orqali himoyani ta'minlaydi. AAA funksiyalari uchun eng keng qo'llaniladigan protokol RADIUS protokoli hisoblanadi. WiMAX tarmoq arxitekturasida bu texnologiyalar "rouming" funksiyasini ishlatish uchun foydalaniladi.

Transport darajasi va ilovalar darajasi tarmoq operatori, servis-provayder yoki oxirgi foydalanuvchini o'zining istagiga ko'ra qo'shimcha himoya choralari ta'minlaydi.

WiMAX tizimi kanalli darajasida va qisqacha tarmoq darajasida bajariladigan xavfsizlik funksiyalarini atroflicha ko'rib chiqamiz.

35.2. Kanal darajasida xavfsizlik

Kanalli daraja xavfsizligi algoritmlari AU va TS orasida IEEE 801.16e interfeysi orqali amalga oshiriladigan muhim autentifikatsiyalash, avtorizatsiya va shifrlash funksiyalarini bajaradi. Bu funksiyalarni xavfsizlik uyushmasidan (assotsiatsiyasidan) tushunchasini tushuntirishdan boshlab atroflicha ko'rib chiqamiz.

Xavfsizlik uyushmasi

Xavfsizlik uyushmasi — SA (*ingl. Sekurity Association*) WiMAX radio ulanish tarmog'i orqali himoyalangan ulanishni ushlab turish uchun TS va unga ulangan bir yoki bir necha AUlar orasida ajratilgan himoyalangan axborotlar to'plami sifatida aniqlanadi.

SA xavfsizlik uyushmasi ikki turga bo'linadi:

I. ASA (*ingl. Authorization Sekurity Association*) — avtorizatsiya uchun xavfsizlik uyushmasi.

II. DSA (*ingl. Data Sekurity Association*) — ma'lumotlar uchun xavfsizlik uyushmasi.

I. ASA avtorizatsiya uchun xavfsizlik uyushmasi TS va AU uchun bir vaqtda ishlatiladi, ya'ni TS va AU ni bir ASA ajratib turadi. TS ASAni keyingi DSAni konfiguratsiyalash uchun ishlatadi.

II. DSA ma'lumotlar uchun xavfsizlik uyushmasi uch turga bo'linadi:

- birlamchi DSA (*ingl. Primary DSA*);
- statik DSA (*ingl. Static DSA*);
- dinamik DSA (*ingl. Dynamic DSA*).

Birlamchi DSA AUga initsializatsiya jarayoni vaqtida (ya'ni, birlamchi autentifikatsiyalash va muallashtirishda) o'rnatiladi. Abonent uskunasi muvaffaqiyatli initsializiyalangandan keyin TS unga statik DSAni taqdim etadi. Dinamik DSA ma'lumotlar oqimlari uchun zarurat bo'yicha o'rnatiladi va o'chiriladi. Har bir AU har bir vaqt davrida bir necha ma'lumotlar oqimlariga va mos ravishda bir necha dinamik DSAlarga ega bo'lishi mumkin. AUni avtorizatsiyada tayanch stansiya mos DSAlar so'raladigan servislar turlari bilan mosligiga ishonadi.

35.3. Autentifikatsiya

Autentifikatsiya axborotni jo'natuvchi va oluvchining shaxsini tasdiqlash vositasi sifatida xizmat qiladi. IEEE 802.16e standartida PKM (*ingl. Privacy and Key Management*) kalitlarni boshqarish va konfidensialligi protokoli qo'llangan. U quyidagi uchta turdagi autentifikatsiyani qo'llab-quvvatlaydi:

- RSA (yaratuvchilarning inglizcha familiyalaridan Rivest, Shamir i Adleman) ochiq kalitli kriptografik algoritmiga asoslangan autentifikatsiya, raqamli sertifikatlarni, X.509 protokolni va bevosita RSA- shifrlashni ishlatadi;

- kengaytiriladigan EAP (*ingl. Extensible Authentication Protocol*) protokolga asoslangan autentifikatsiya. Opsional qo'llaniladi:

- EAP protokoli qo'llanilganidan keyin RSA algoritmi ishlatilishiga asoslangan autentifikatsiya.

PKM protokoli avtorizatsiya kaliti (MK) deyiladigan umumiy kalitni TS va AU orasiga o'rnatadi. TS va AU orasida umumiy MK o'rnatilishi bilanoq, kalitlarni shifrlash kaliti (KSHK) foydalanishdan chiqariladi va trafikni shifrlash kalitlarini (TSHK) keyingi almashtirilishida shifrlash uchun qo'llaniladi. Autentifikatsiya ochiq kalitlarni almashtirish protokolidan foydalanish yo'li bilan ishlatiladi, bunda faqat autentifikatsiya emas, shifrlash kalitlarini yaratish ham ta'minlanadi. Ochiq kalitlarni almashtirish sxemalarida har bir qatnashuvchi ochiq va xususiy (yopiq)

kalitlarga ega bo'lishi kerak. Ochiq kalit barchaga ma'lum, xususiy kalit esa maxfiy saqlanadi.

RSA algoritmiga asoslangan autentifikatsiyada TS AUni uni ishlab chiqaruvchisi yaratgan X.509 protokoli ulkan raqamli sertifikat bo'yicha autentifikatsiyalaydi. Bu sertifikat AU ochiq kaliti va uning MAS manzilidan tashkil topgan. MKga zarurat bo'lganda AU o'z raqamli sertifikatini TSga yuboradi, TS sertifikatni tekshiradi va haqiqiyliги tasdiqlansa, MKni shifrlash uchun tekshirilgan ochiq kalitni qayta AUga uzatadi. RSA autentifikatsiyadan foydalanadigan barcha tayanch stansiyalar zavodda o'rnatilgan xususiy/ochiq kalitlar juftligiga (yoki bu kalitlarni dinamik generatsiyalash uchun algoritmga) va X.509 raqamli sertifikatga ega bo'ladi.

EAP protokoliga asoslangan autentifikatsiyadan foydalanishda AU operator ulkan faktori (omili), masalan SIM-karta orqali yoki yuqorida bayon etilganidek, X.509 raqamli sertifikat orqali autentifikatsiyalanadi. EAP autentifikatsiyalash protokoli simsiz tarmoq infratuzilmasi elementlarini va foydalanuvchilarini shifrlash kalitlarini dinamik generatsiyalash imkoniyatli markazlashtirilgan autentifikatsiyani qo'llab-quvvatlaydi.

Autentifikatsiyalashtirish usulini tanlash quyidagi tarzda operator tomonidan EAP protokolini tanlashga bog'liq:

- EAP-AKA (*ingl. Authentication and Key Agreement*) – kalitlarni autentifikatsiyalash va moslashtirish, SIM-kartalardan foydalanishga asoslangan;

- EAP-TLS (*ingl. Transport Layer Security*) – transport darajasidagi xavfsizlik, X.509 raqamli sertifikatlari asosida autentifikatsiyalash uchun foydalaniladi;

- EAP-TTLS (*ingl. Tunneled Transport Layer Security*) – transport darajasidagi tunellashtirilishli xavfsizlik, MS-CHAPv2 (*ingl. Microsoft-Challenge Handshake Authentication Protocol*) protokolidan foydalanishga asoslangan.

Keyin TS mos abonentga (va AUga) xizmatlarni qo'yadi va mos ravishda abonentga ruxsat etilgan xizmatlar ro'yxatini aniqlaydi. Shunday qilib, KA orqali almashtirish bilan TS abonentni va

uning uchun ruxsat etilgan xizmatlarni identifikatsiyalaydi.

Autentifikatsiya ikki turda mavjud:

- bir tomonlama autentifikatsiya, bunda TS faqat AUni autentifikatsiyalaydi;
- ikki tomonlama autentifikatsiya, ham TS, ham AU bir-birlarini autentifikatsiyalaydi.

WiMAX tizimlari uchun majburiy talab bir tomonlama autentifikatsiyani ishlatish hisoblanadi. Lekin, bunda tajribalar shuni ko'rsatdiki, ikki tomonlama autentifikatsiya tarmoq xavfsizligi darajasini sezilarli oshiradi.

35.4. Avtorizatsiya

Autentifikatsiyalash bosqichidan keyin avtorizatsiya bosqichi boshlanadi. AU tayanch stansiyaga avtorizatsiyaga so'rov (*ingl. Authorisation Request*) jo'natadi. U MK avtorizatsiya kaliti yoki SAID (*ingl. SA Identification*) xavfsizlik uyushmasini identifikatsiyalashga so'rov bo'lishi mumkin (35.1-rasmga qarang).

1. AU uni ishlab chiqaruvchining X.509-sertifikatiga ega so'rovni jo'natadi. Odatda bu sertifikat faqat ishonchli ishlab chiqaruvchilar AUlarini avtorizatsiya uchun TSni sozlash mumkin bo'lsada, u hech qanaqasiga ishlatilmaydi.

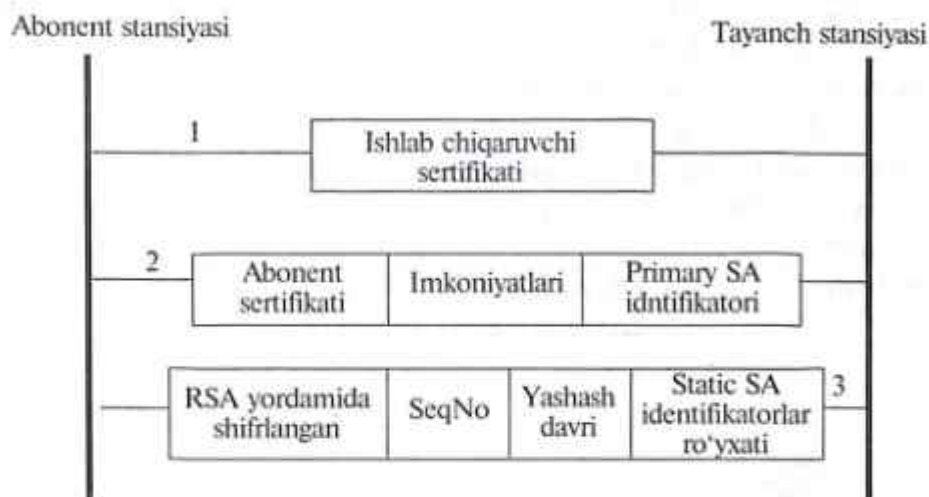
2. Birinchi xabardan keyin, AU o'zining X.509-sertifikati, uning kriptiografik imkoniyatlari va birlamchi DSA indikatoridan tashkil topgan xabarni jo'natadi.

3. TS AUning sertifikati bo'yicha mos servislarni taqdim etish uchun mualliflashtirilganligini aniqlaydi (AAA serverni so'rash bilan). Musbat natija bo'lganida TS AUGa avtorizatsiya javobini (*ingl. Authorization Reply*) yuboradi. Bu javob shifrlangan MK, bu MK ning ketma-ket nomeri (*ingl. SeqNo*), uning hayot vaqti, shuningdek, abonent mualliflashtirilgan statik DSA (SAID) identifikatorlar ro'yxatidan tashkil topadi.

Binobarin, birinchi avtorizatsiya jarayonidan keyin AAA server TS

orqali davriy ravishda AUni takroriy avtorizatsiya jarayonini o'tkazadi.

Autentifikatsiyalash va avtorizatsiya jarayonlari uzunligi 160 bitga teng bo'lgan MK avtorizatsiya kalitidan foydalanadi.



35.1-rasm. IEEE 802.16 standartidagi avtorizatsiya jarayoni.

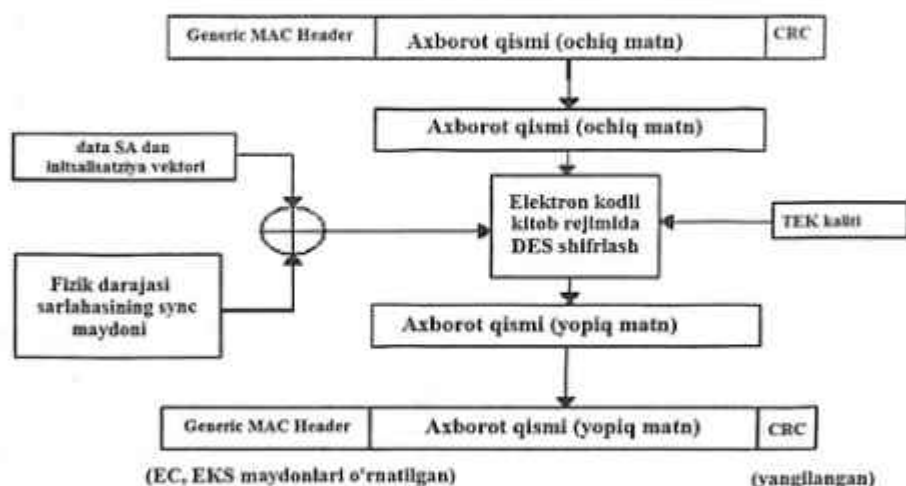
Kalitni shifrlash kaliti (KSHK) bevosita MKdan shakllantirildi, uning uzunligi 128 bitni tashkil etadi va u faqat MKni shifrlangan uzatish uchun foydalaniladi. Trafikni shifrlash uchun trafikni shifrlash kaliti (TSHK) talab qilinadi, u shifrlash kaliti sifatida KSHK ishlatiladigan TSHKni shifrlash algoritmidan foydalanishli tasodifiy ketma-ketlik sifatida TS ga generatsiyalanadi.

35.5. Trafikni shifrlash

Trafikni shifrlash uchun IEEE 802.16 standarti ma'lumotlar blokli shifrlar bloki ulanish rejimida DES algoritmidan foydalanadi. Lekin ta'kidlaymizki, hozirgi vaqtda DES algoritmi yetarli xavfsiz hisoblanmaydi va shuning uchun IEEE 802.16e standartiga AES algoritmi qo'shilgan. Bu algoritmlarni atroflicha ko'rib chiqamiz.

DES shifrlash algoritmi

DES (*ingl. Data Encryption Standard*) – IBM kompaniya-si tomonidan ishlab chiqilgan va AQSH hukumati tomonidan 1977-yilda rasmiy standart (FIPS 46-3) sifatida tasdiqlangan blok shifrlash simmetrik algoritmi. DES algoritmi 64 bitdan bloklarni va Feystel tarmog'ining 16-siklli tuzilmasidan foydalanadi. Shifrlash uchun 56 bit uzunlikdagi kalit ishlatiladi. Agar xabarning hajmi 64 bitdan ortiq bo'lsa (odatda bo'lib turadi), unda u 64 bitdan bloklarga bo'linadi, keyin esa ma'lum tarzda birlashtiriladi. Bunday birlashtirish quyidagi to'rtta usullardan biri orqali amalga oshiriladi:



35.2-rasm. DESda ma'lumotlarni shifrlash jarayoni.

- Elektron kodli kitob usuli (*ingl. Electronic Code Book, ECB*);
 - Shifrlar blokining ulanish usuli (*ingl. Cipher Block Chaining, CBC*);
 - x-bitli shifrlangan teskari aloqa usuli (*ingl. Cipher FeedBack, CFB-x*);
 - chiqish teskari aloqa usuli (*ingl. Output FeedBack, OFB*).
- DESda ma'lumotlarni shifrlash jarayonini quyidagi tarzda

bo'lib o'tadi (35.2-rasm).

DSA xavfsizlik uyushmasidan initsializatsiyalash vektori (*ingl. Initialization Vector, IV*) va PHY kadr sarlavhasining sinxronlashtirish maydoni 2 modul bo'yicha (inkor qiluvchi "YOKI" operatsiyasi (*ingl. XOR*)) bitlab qo'shiladi va SVS shifrlar bloki ulanish rejimida DES algoritmini initsializatsiyalash uchun uzatiladi. Shuningdek, DES sxemasi kirishiga TSHK kalit (*ingl. TEK*) va xabarning ochiq matni beriladi.

Bunda MAS daraja sarlavhasida (*ingl. Generic MAC Header, GMH*) ES maydonda (*ingl. Encryption Control*) bir o'rnatiladi, chunki ma'lumotlar shifrlangan, ikki bitli EKS (*ingl. Encryption Key Sequence*) maydonda esa bunda foydalanilgan TSHK kalit turadi. CRC kadri tugaganidan keyin, agar u bo'lsa, shifrlangan matn ostida o'zgaradi.

Nazorat savollari:

1. Fizik darajada ma'lumotlarni kodlash o'z ichiga qanday bosqichlarni oladi?
2. WirelessMAN-OFDM rejimida qanday modulyatsiya sxemalaridan foydalaniladi?
3. WirelessMAN-OFDM rejimida TDDli OFDM tuzilmasini bayon eting. MAS nimdarajada ma'lumotlar paketlari qanday shakllantiriladi?
4. S-OFDMA texnologiya asosidagi WirelessMAN-OFDMA usulining ishlashini bayon eting.
5. WirelessMAN-OFDMA rejimida TDDli OFDM tuzilmasini bayon eting.
6. Ma'lum WiMAX profillarini bayon eting.
7. IEEE 802.16d va IEEE 802.16e standartlarida qanday ruxsat etish usullari amalga oshiriladi?
8. WiMAX tarmog'idagi turg'un, seansli va ko'chma ruxsat etish rejimlarini bayon eting.
9. WiMAX tarmog'idagi mobil ruxsat etish rejimini bayon eting.

10. WiMAX tarmog'i topologiyasi umumiy ko'rinishda qanday ko'rinadi? WiMAX tarmog'i topologiyasining modifikatsiyasini keltiring?

11. WiMAX tarmog'i Mesh rejimda qanday tashkil etiladi?

12. WiMAX tarmoqlarini qurishga bog'liq qanday murakkabliklar mavjud?

13. Nurlarni shakllantirilishi usulini (beamforming) bayon eting. Nurlarni shakllantirilishi usulini qo'llanilishining qanday ijobiy tomonlari mavjud.

14. Nurlarni shakllantirilishi usuli tayanch stansiyalar sonini qanday qisqartirish beradi?

15. Nurlarni shakllantirilishi usulidan foydalanish hisobiga tarmoqning o'tkazish qobiliyatini qanchalik oshirilishiga erishiladi.

16. Nurlarni shakllantirilishi usulidan foydalanish hisobiga qanday chastotadan takroran foydalanish koeffitsientiga erishish mumkin?

17. WiMAX tarmoqlarida MIMO texnologiyalardan foydalanishning qanday asosiy avzalliklari mavjud?

18. Nurlarni shakllantirilishi usuli va MIMO texnologiyalarni birlashtirishda qanday murakkabliklar mavjud?

19. Nurlarni shakllantirilishi usuli va MIMO texnologiyalarni birlashtirishda qanday yutuqqa erishiladi?

20. WiMAX tizimlari uchun radiochastotalarni taqsimlashda qanday butundunyo an'analari mavjud?

21. WiMAX tarmoqlari uchun spektrni taqsimlash qanday muammolarga bog'liq?

22. Litsenziyalanadigan va litsenziyalanmaydigan chastotalar polosalari qanday farqlanadi?

23. 3,5GGs diapazonda spektrni taqsimlanishining qanday o'ziga xos xususiyatlari mavjud?

24. 5GGs diapazonda spektrni taqsimlanishining qanday o'ziga xos xususiyatlari mavjud?

25. 2,5GGs (WCS, 2,4GHz ISM va MMDS) diapazonda spek-

trni taqsimlanishining qanday o'ziga xos xususiyatlari mavjud?

26. WiMAX tarmoqlari uchun qanday qo'shimcha chastotalar polosasi ko'zda tutilgan?

27. WiMAX tarmoqlari uchun Yevropada spektrni taqsimlanishining qanday o'ziga xos xususiyatlari mavjud?

28. WiMAX tarmoqlari uchun Rossiyada spektrni taqsimlanishining qanday o'ziga xos xususiyatlari mavjud?

29. Xavfsizlik assotsiatsiyalariga tavsif bering va ularning qanday turlari mavjud?

30. Ma'lumotlar uchun qanday xavfsizlik assotsiatsiyalari mavjud va ular qanday tashkil etuvchilardan tashkil topgan?

31. Avtorizatsiya uchun xavfsizlik assotsiatsiyalarining qanday tashkil etuvchilari mavjud?

36-bob. AES SHIFRLASH ALGORITMI

36.1. AES shifrlash algoritmi

AES (*ingl. Advanced Encryption Standard*) — 128 bit o'lchamli bloklar va 128/192/256 bit uzunlikdagi kalitlardan foydalanadigan, shuningdek, Reyndal (Rijndael) algoritmi sifatida ma'lum bo'lgan blokli shifrlashning simmetrik algoritmi. AES algoritmi yaxshi testlangan va hozirgi vaqtda simmetrik shifrlashning eng keng tarqalgan algoritmlaridan biri hisoblanadi. Misol uchun, algoritm AQSH hukumati tomonidan shifrlash standarti sifatida qabul qilingan va Intel kompaniyasi tomonidan Intel® Core™ protsessorlar oilasiga kiritilgan.

802.16e standarti quyidagi to'rtta usullardan biri qo'llaniladigan AES algoritmidan foydalanishni aniqlaydi:

- shifrlar blokining ulanish usuli — CBC;
- hisoblagichning shifrlash usuli (*ingl. Counter Encryption, CTR*);
- CCM (*ingl. Counter Encryption with Cipher Block Chaining message authentication code*) shifrlar blokining ulanish usuli orqali olingan autentifikatsiya kodi bilan hisoblagichning shifrlash usuli. CTR usulidan farqli ravishda bu yerda shifrlangan xabarning haqiqiylikini tekshirish imkoniyati mavjud.

- TShK trafikning kalitlarini shifrlash uchun foydalaniladigan ECB elektron kodli kitob usuli.

Takomillashtirilganroq sifatida SSM usuli qo'llaniladigan AES rejimini ko'rib chiqamiz. Shifrlash jarayoni bir necha bosqichlarda bo'lib o'tadi. Foydali axborotni shifrlash uchun dastlab uzatuvchi stansiya har bir paketga 12-baytli Nonce ketma-ketligini generatsiyalaydi (36.1-rasm). Nonce ketma-ketligining birinchi 5 ta bayti GMH kadrining boshlanishi hisoblanadi. Keyin nolli qiymatlarga ega bo'lgan 4 ta zaxiralangan bayt keladi. Keyin bu DSA xavfsizlik uyushmasida PN paketning 4 baytli nomeri (*ingl. Packet Number*) keladi. PN qiymat yangi DSA yoki yangi TShK o'rnatilganda 1 ga teng qo'yiladi.

0	4	5	8	9	12
Generic MAC Header maydonning birinchi beshta bayti			0x00000000		Paket raqami

36.1-rasm. *Nonce ketma-ketligi.*

Keyin Nonce ketma-ketligi qo'llanilib CBC va CTR bloklar shakllantiriladi. SVS bloki 0001100 qiymatga ega bo'lgan bir baytli bayroqchaga, Nonce ketma-ketligiga va xabarning axborot qismining uzunligini ko'rsatadigan maydondan tashkil topgan (36.2-rasm).

0	1	13	14	15
(0x19 bayroq)	Nonce		Xabarni axborot qismining uzunligi	

36.2-rasm. *CBC bloki.*

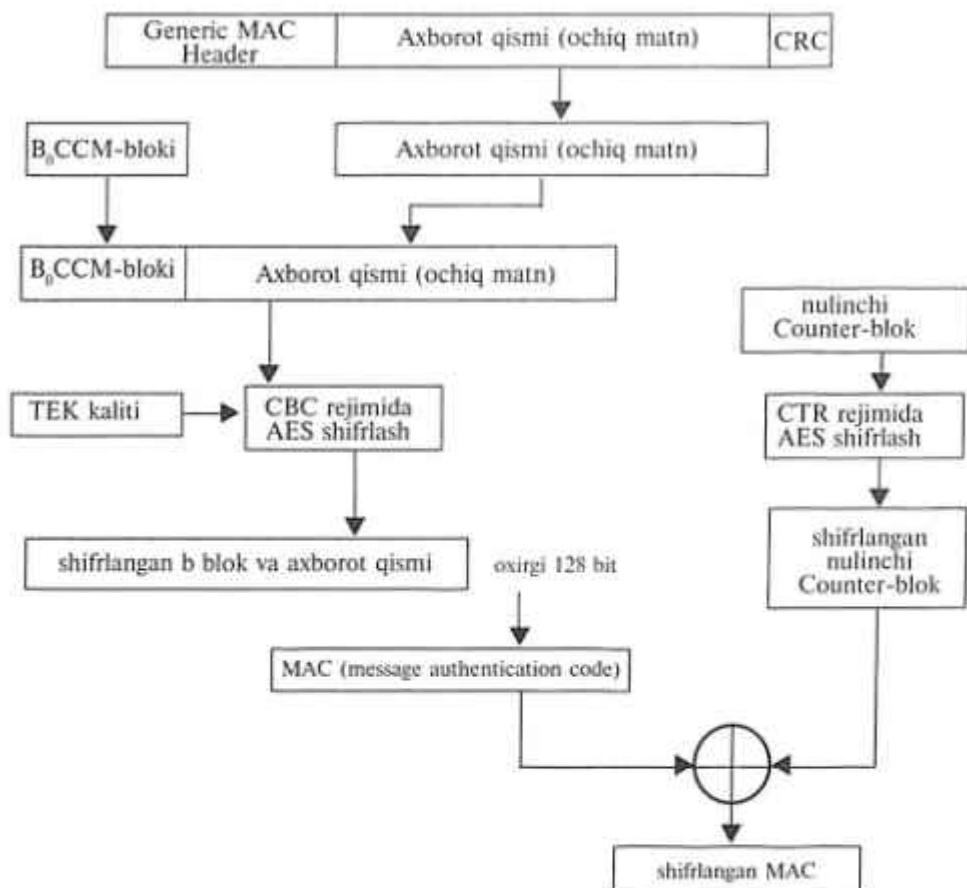
CTR bloki 0000001 qiymatga ega bo'lgan bir baytli bayroqchaga, Nonce ketma-ketligiga va CTR blokning nomeridan iborat maydondan tashkil topgan (36.2-rasm).

0	1	13	14	15
(0x1 bayroq)	Nonce		Counter i blokni navbat soni	

36.3-rasm. *CBR bloki.*

i nomer 0 dan n gacha o'zgarishi mumkin, bu yerda n butun xabarni va xabarni autentifikatsiyalash kodi MAC kodni (*ingl. Message Authentication Code*) qamrash uchun zarur bo'lgan CTR bloklar soni.

Keyin MAS kod yaratiladi, buning uchun xabarning axborot qismi boshlanishiga IV initsializatsiyalash vektori o'rniga boshlang'ich (nolinchi) SVS blok qo'yiladigan modifikatsiyalangan SVS usulidan foydalaniladi (36.3-rasm).

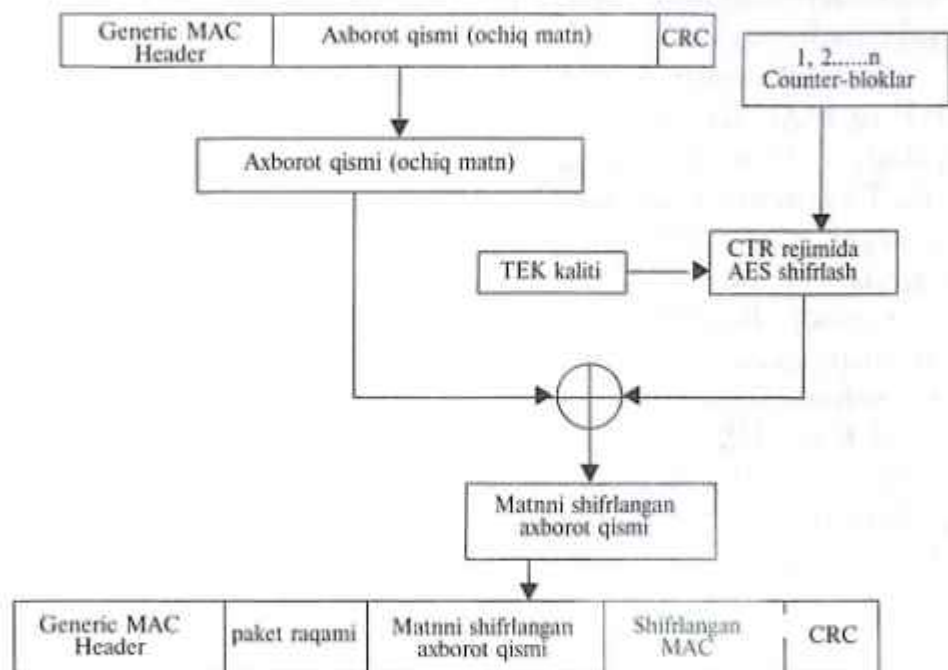


Rasm. 36.4. *AES-CCM rejimida MAS-kod yaratish va shifrlash.*

Keyin bu juftlik SVS usuli va TSHK kaliti qoʻllaniladigan AES algoritmi bilan shifrlanadi. Shifrlangan matnning oxirgi 128 biti MAS kod sifatida olinadi. Keyin MAS kod AES-CTR rejimda shifrlangan boshlangʻich (nolinni) CTR blok bilan (yoki Counter-blok bilan) “XOR” qoʻshishga olib kelinadi.

36.2. Xabarni axborot qismini shifrlash

Yakunda qolgan CTR bloklardan har bir n bloklar (nolinchi MAS kodni shifrlashda ishlatilgan) TSHK kalit qo'llaniladigan AES-CTR rejimda shifrlanadi. Keyin natija xabarning axborot qismidan "XOR" operatsiyada qo'shiladi (36.4-rasm).



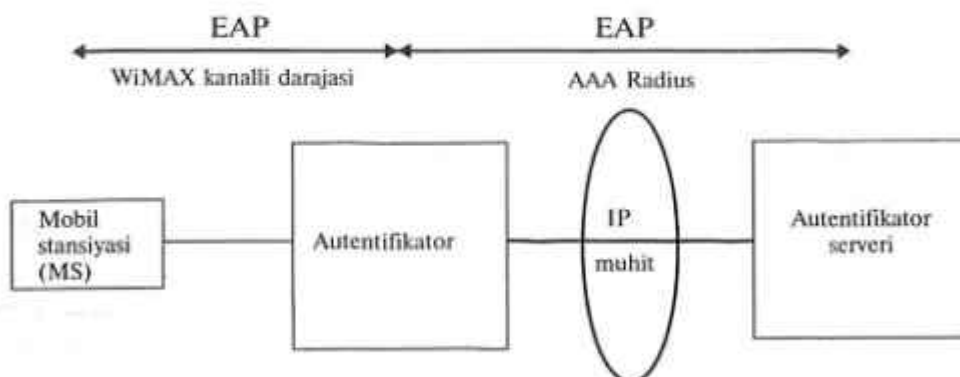
36.5-rasm. Xabarni axborot qismini shifrlash.

Shifrlangan MAS-kodli, ma'lumotlar paketi nomerli, GMH sarlavhali va CRC nazorat yig'indili shifrlangan matn PHY fizik darajaga jo'natiladi. Bunda DESdagi kabi GMH sarlavhada ES maydanda 1 o'rnatiladi, EKS maydonda esa foydalanilgan TSHK kalitning (*ingl. TEK*) indeksi ko'rsatiladi.

Xavfsizlikning tarmoq aspektlari

Tarmoq darajasida bo'lib o'tadigan xavfsizlik funksiyalarini ko'rib chiqamiz. 36.6-rasmda ulanishni nazorat qilishning arxitekturasi ketirilgan.

EAP kengaytirilgan autentifikatsiyalash protokoli oxirgi foydalanuvchi va autentifikator orasida murakkab autentifikatsiya protokollarini almashtirishga imkon beradigan ixcham karkas hisoblanadi. WiMAX (IEEE 802.16e) tizimlarida TS va AU orasida EAP protokol PKMv2 protokolidan foydalanish bilan PHY va MAC darajalarning ustida ishlaydi. Agar autentifikatsiyalash funksiyasi TSning o'zida ko'zda tutilmagan bo'lsa, unda TS autentifikatsiyalash protokolini autentifikatorga (ASN shlyuzga) qayta yuboradi. Autentifikatordan EAP protokoli RADIUS protokoli bo'yicha autentifikatsiyalash serveriga uzatiladi. RADIUS protokoli keng foydalaniladigan standart hisoblanadi, "klijent-server" arxitekturaga ega va UDP protokoldan foydalanadi. Shunday qilib, autentifikatsiyalash serveri RADIUS server hisoblanadi, autentifikator esa RADIUS klijent rolini bajaradi. Autentifikatsiyalashga qo'shimcha ravishda RADIUS server avtorizatsiya va hisobga olish funksiyalarini qo'llab-quvvatlaydi.



36.5-rasm. Ulanishni nazorat qilishning arxitekturasi.

ASN profillari va xavfsizlik

NWG tarmog'ini tashkil etish bo'yicha ishchi guruh tomonidan mos ravishda A, B va S deyiladigan ASN ulanish tarmog'ining uchta profili aniqlandi. Uskunalar ishlab chiqaruvchilari va xizmatlar provayderlari bu profillardan birini tanlashi mumkin. A va S profillar markazlashtirilgan ASN shlyuzlardan foydalanadi, bunda S profilda tayanch stansiyalar RRM radio-resurslarni boshqarish va "xendover" funksiyalarini ishlatilishiga bevosita javobgar hisoblanadi. B profil tayanch stansiyalar darajasida ASN tarmog'ining kalit funkcionalligini bajaradi, bu markazlashtirilgan ASN-shlyuzning zaruratini olib tashlaydi. Shuningdek, ta'kidlaymizki, so'nggi vaqtlarda faqat V va S profillarni qo'llash bilan A profildan foydalanish ko'pincha inkor qilinmoqda.

S profil qo'llaniladigan xavfsizlik funksiyalarini bajarilishini ko'rib chiqamiz.

36.2-jadvalda S profil ishlatilganda TS va ASN shlyuz orasida ASN tarmog'i funksiyalarining (xavfsizlik funksiyasi qo'shilganda) bo'linishi keltirilgan.

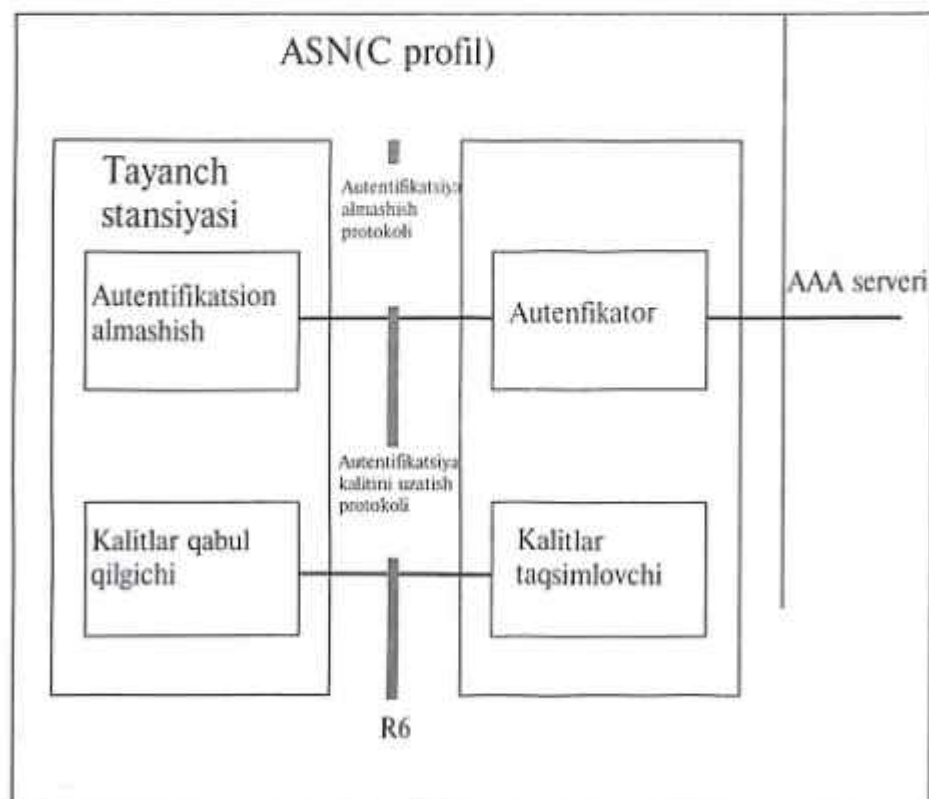
S profil uchun ASN tarmog'i xavfsizligi arxitekturasida 36.9-rasmda ko'rsatilganidek, tayanch stansiya va ASN shlyuz orasida R6 tayanch nuqtasi orqali o'zaro ta'sirlashishga asoslangan.

Yuqorida bayon etilganidek, CSN kommutatsiya tarmog'i WiMAX tarmog'i yadrosi hisoblanadi va ASN tarmog'ini boshqaradi va AAA, DHCP server va boshqa funksiyalarni bajaradi. CSN shuningdek, boshqa operatorlar tarmoqlari bilan ulanishga, shuningdek, operator tarmog'i ichida va turli operatorlar tarmoqlari orasida "rouming"ni ta'minlashga javobgar.

36.7-rasmda WiMAX tarmog'ida AAA funksiyalarni bajarilishi uchun protokollar steki keltirilgan. EAP protokoli R1/R3/R5 tayanch nuqtalari ustida, AKA va TLS/TTLS kabi EAP protokollari esa R2 tayanch nuqtasi ustida ishlaydi.

Ham AUni, ham foydalanuvchining o'zini autentifikatsiyalash talab qilingan hollarda va bunda autentifikatsiya AAA serverga

bog'langan bo'lsa, bir necha PKMv2 usullari o'zaro autentifikatsiyalashdan mustaqil ravishda EAP-TTLS dan foydalanadi. Ikkilangan autentifikatsiyada oldin AU autentifikatsiyalanadi, keyin foydalanuvchini EAP autentifikatsiyalash bo'lib o'tadi, undan keyin AU IP xizmatlarga ulanishni oladi. EAP-TTLS autentifikatsiyada ikkilangan autentifikatsiya mos AAA serverga tunnellashtirishsiz bo'lib o'tadi (har ikkala holda o'sha bir AAA serverdan foydalaniladi), buning natijasida autentifikatsiya jaryoni tezlashadi.



36.7-rasm. S profili uchun ASN tarmog'i xavfsizligi arxitekturası.

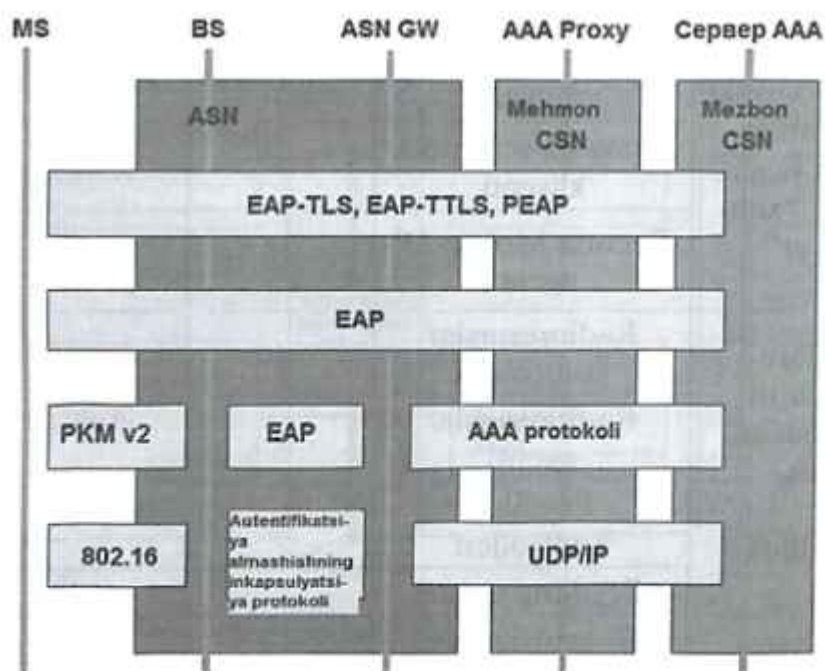
S profil ishlatilganda ASN tarmog'i funksiyalarining bo'linishi

Toifa	Funksiya	ASN tarmog'i – S profili	
		TS	ASN shlyuz
Xavfsizlik	Autentifikator		+
	Autentifikatsiyani kechiktirish	+	
	Kalitlar taqsimlagichi		+
	Kalitlar oluvchisi	+	
Foydalanuvchi tayanch stansiyalar orasida harakatlanganida boshqarish, "xendover"	Ma'lumotlar yo'llari funksiyasi	+	+
	Harakatda nazorat qilish	+	
	Kontekst serveri va kliyenti	+	+
	Begona Mobile IP agenti		+
Radioresurslarni boshqarish	Radioresurslar kontrolleri	+	
	Radioresurslar agenti	+	
Peydjing	Peydjing kontrolleri	+	
	Peydjing agenti		+
Xizmat ko'rsatish sifati	SF avtorizatsiya		+
	SF menejer	+	

36.3. Servis oqimlarga qo'llaniladigan boshqarish va avtorizatsiya funksiyalari

SFM (*ingl. Service Flow Management*) servis oqimlarni boshqarish va SFA (*ingl. Service Flow Authorisation*) servis oqimlarni avtorizatsiya bu QoS xizmat ko'rsatish sifati bog'liq va ASN tarmog'ida joylashgan mantiqiy funksiyalardir. ASN tarmog'ining S profili TSda SFM funksiyani, SFM funksiya esa ASN shlyuzda bajarilishini reglamentlaydi.

SFM tuguni IEEE 802.16e standarti servis oqimlarini yaratish, ulanish, aktivlashtirish, modifikatsiyalash va o'chirishga javobgar. U AC (*ingl. Admission Control*) ulanishni nazorat qilish funksiyasi, ma'lumotlar yo'llari funksiyalari va assotsirlangan lokal resurslar haqida axborotlardan iborat.



36.8-rasm. WiMAX tizimida AAA uchun protokollar steki.

IEEE802.16. standartida xavfsizlik talablarini ta'minlash

Ishtirokchi	Xavfsizlik aspekti	Sharhlar	WiMAX tizimida qo'llanilgan usul
Tarmoq abonent	Xususiy ma'lumotlarning daxlsizligi	"Eshitishga" hujumdan himoya	RSA, EAP-TLS shifrlash, PKM protokol
	Ma'lumotlarning butunligi	Uzatish jarayonida ma'lumotlarni almashtirishdan himoya	RSA, EAP-TLS shifrlash, PKM protokol
	Foydalana olishlik	Abonent aniq huquqlarga ega	X.509, EAP
	Ko'rsatilgan xizmatlarga to'g'ri hisob	Aniq va samarali qayd etish	AAA-funksiyalar arxitekturas
Tarmoq operatori	Foydalanuvchilarni autentifikatsiyalash	Abonentning haqiqiylikini tekshirish	X.509, EAP-TTLS
	Uskunani autentifikatsiyalash	AUning haqiqiylikini tekshirish	X.509, EAP-TTLS
	Avtorizatsiya	Servislarni olish uchun abonengtlarni obuna qilish	RSA, EAP shifrlash, PKMv2 protokol
	Ulanishni nazorat qilish	Faqat mualliflashtirilgan abonentlarga ulanishni taqdim etish	RSA, EAP shifrlash, PKMv2 protokol

SFM tuguni abonent QoS profiliga nisbatan istalgan servis so'rovlarini baholashga javobgar. Agar abonent QoS profili mavjud bo'lsa, SFA ularga baholash uchun foydalaniladi. Agar abonent QoS profili mavjud bo'lmasa, u holda SFA qaror qabul qilish uchun siyosat funksiyasiga (*ingl. Policy Function, PF*) so'rov jo'natadi. Siyosat funksiyasi WiMAX-WiMAX tarmog'i taqdim etadigan turli xizmatlar uchun ilovalarning

bajarilishi ssenariylaridan iborat ma'lumotlar bazasi hisoblanadi. Siyosat funksiyasi va unga mos baza CSNda ham uy tarmog'i, ham mehmon tarmog'i uchun qo'llab-quvvatlanadi.

WiMAX tarmoqlarida axborot xavfsizligi masalalariga bag'ishlangan nimsarlavhaga yakun yasab, yagona 36.2-jadvalga IEEE 802.16 standartida foydalaniladigan axborot xavfsizligi bo'yicha qo'yiladigan talablarni qoniqtirish uchun usullarni kiritamiz.

Bobni tugashida ta'kidlaymizki, WiMAXWiMAX katta imkoniyatlarni, yuqori aloqa sifatini va xavfsiz ulanishni taqdim etishga qodir keng polosali simsiz ulanishning to'laqonli vakili hisoblanadi. Bularning barchasi bu standartning keyingi rivojlanishini va uning amalda keng tarqalishini ko'zda tutishga asos bo'ladi.

Lekin, shu bilan birga WiMAX tizimlarining kelajagi mavjud va pessimistik taxminlar, avvalo, LTE mobil aloqa tizimlari bilan boshlangan raqobatga urinishga bog'liq. Haqiqatan, LTE tarmoqlarining keng qurilishi faqat 2010-yilning oxirida boshlandi, shuning uchun aniqlash kerakki, qaysi bir texnologiya ko'proq "yashovchanlikka" egaligini nomoyon etadi.

Nazorat savollari:

1. WiMAX tizimlariga tavsif bering va WiMAX tizimlarining qisqacha rivojlanish tarixini bayon eting.
2. WiMAX tizimi va IMT-2000 dasturi qanday o'zaro ta'sirlashadi?
3. WiMAX Wi-Fi tizimlarining farqi qanday?
4. WiMAX tizimlarining asosiy xarakteristikalarini keltiring. WiMAX tizimlarining qo'llanilish sohalarini bayon eting. WiMAX tizimlarining qanday asosiy afzalliklari va kamchiliklari mavjud?
5. HiperMAN va WiBro standartlari haqida so'zlab bering.
6. IEEE 802.16d va IEEE 802.16e standartlarining qanday umumiy xossalari va asosiy farqlari mavjud?
7. WiMAX tarmoqlarini qanday asosiy qurish prinsiplari mavjud? WiMAX (NRM) tarmog'i Tayanch modeliga tavsif bering. WiMAX tarmoqlari tugunlarining tarkibini keltiring.
8. ASN ruxsat etishni taqdim etish tarmog'i va CSN bog'lanishlar tarmog'ini ishlashini bayon eting.

**“RAQAMLI MOBIL ALOQA VOSITALARI” fani bo‘yicha
GLOSSARIY**

Atamaning o‘zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanish	Atamaning rus tilida nomlanish	Atamaning ma’nosi
Adaptiv antenna tizimi – AAS	Adaptive Antenna System ili Advanced Antenna System	Адаптивная антенная система или Advanced антенная система	Adaptiv antenna tizimi yoki yaxshilangan antenna tizimi
Tasdiqlash – ACK	Acknowledgement	Подтверждение	Tasdiqlash kvitansiyasi
Yaxshilangan shifrlash standarti – AES	Advanced Encryption Standard	Улучшенный шифрованный стандарт	Yaxshilangan shifrlash standarti
Avtorizatsiya kaliti – AK	Authorization Key	Ключ авторизации	Avtorizatsiya kaliti
Autentifikatsiya va kalitlar haqida muvofiqlashtirish – AKA	Authentication and Key Agreement	Аутентификация и согласование ключей	Autentifikatsiya va kalitlar haqida muvofiqlashtirish
Adaptiv modulyatsiya va kodlash – AMC	Adaptive Modulation and Coding	Адаптивная модуляция и кодирование	Adaptiv modulyatsiya va kodlash
Amerika National standarti –ANSI-41	American National Standards Institute-41	Американский институт-41 Национальные стандарты	AMPS, D-AMPS, CDMA-ONE va CDMA-2000 standartlaridagi sotali aloqa tizimlarida foydalaniladigan telefonli signalizatsiya standarti

Avtomatic sorov – ARQ	Automatic Retransmission Request	Автоматический запрос повторной передачи	Qayta uzatishga avtomatik so'rov
Serverni haqqoniligini tekshirish – AS	Authentication Server	Проверка подлинности сервера	Autentifikatsiya serveri
Xizmatlarni autentifikatsiyalash – ASA	Authentication and Service Authorization	Аутентификация и авторизация служба	Xizmatlarni autentifikatsiyalash va avtorizatsiya
Ruxsat etish tarmog'i – ASN	Access Service Network	Доступ к сетевой службы	WiMAX ruxsat etish tarmog'i
Uzatish asinxron rejimi – ATM	Asynchronous Transfer Mode	Асинхронный режим передачи	Ulardan 5 bayti sarlavha sifatida ishlatiladigan turg'un o'lchamli sotalar (cell) ko'rinishida ma'lumotlarni uzatishga asoslangan yuqori unumdor tarmoq kommutatsiya va multiplekslash texnologiyasi-asinxron uzatish rejimi
Blokli svertkali kod – BCC	Block Convolutional Code	Блок сверточного кода	Blokli svertkali (o'ralgan) kod
Eng yaxshi kanal – BE	Best Effort	Лучшее усилие	Kafolatlanmagan tezlikli, lekin bo'lishi mumkin bo'lganlardan eng yaxshi kanal (QoS daraja)

Xatolik koef- fitsienti – BER	Bit Error Ratio	Коэффици- ент ошибки	Simvolda xato- lik koefitsienti (chastota, ehti- mollik)
So'rov – BR	Bandwidth Request	Полоса пропускания Запрос	Polosaga so'rov
Tayanch stant- siya – BS	Base Station	Базовая станция	Tayanch stansiya
Tayanch stansi- ya identifikatori – BSID	Base Station Identifier	Идентифи- катор базо- вой станции	Tayanch stansiya identifikatori
Blokli turbokod – BTC	Block Turbo Code	Турбокодный блок	Blokli turbokod
Otkazuchanlik qobiliyati – BW	Bandwidth	Пропускная способность	Chastotalar polosasi
Keng polosali simsiz ulanish – BWA	Broadband Wireless Access	Широко- полосного беспро- водного доступа	Keng polosali simsiz ulanish (KSU)
Eltuvchi – $C/(I+N)$	Carrier-to/(In- terference plus Noise) ratio	Несущей к /(помехи плюс шум) отношение	Eltuvchi/ (xalaqitlar plyus shovqin) nisbati
Eltuvchi/ shovqin nisbati – C/N	Carrier-to- Noise ratio	Отношение несущая/ шум	Eltuvchi/shovqin nisbati
Sertifikatlash- tirish markazi – CA	Certification Authority	Центр сер- тификации	Sertifikatlashtirish markazi
Shifrlash blokla- rini zanjirlash – CBC	Cipher Block Chaining	Цепочка цифровых блоков	Shifrlash bloklari- ni zanjirlash

Xabarni autentifikatsiyalash kodi uchun shifrlash bloklarini zanjirlash – CBC-MAC	Cipher Block Chaining Message Authentication Code	Аутентификация кода сообщений блок цепочки шифризации	Xabarni autentifikatsiyalash kodi uchun shifrlash bloklarini zanjirlash
Kanallararo interferensiya – CCI	Co-Channel Interference	Помех в совмещенном канале	Kanallararo interferensiya (KAI)
Xabarni autentifikatsiyalash kodi uchun shifrlash bloklarini zanjirlash hisoblagichi – SSM	Counter with Cipher-block chaining Message authentication code	Счетчик с Cipher-блочного кода аутентификации сообщений цепочки	Xabarni autentifikatsiyalash kodi uchun shifrlash bloklarini zanjirlash hisoblagichi
Kodli ajratishli ko'p-sonli ulanish texnologiyasi – CDMA	Code Division Multiple Access	Кодовым разделением множественного доступа	Kodli ajratishli ko'p-sonli ulanish (KAKU) texnologiyasi
Chop ulanish kodi – CDMA-2000	Code Division Multiple Access-2000	Код множественного доступа с разделением –2000	3GPP-2 ishlab chiqqan uchinchi avlod sotali aloqa standarti
Aloqa va pochta ma'muriyatlari Yevropa konferensiyasi – SYeRT	Conference of European Postal and Telecommunications Administrations	Конференция европейских администраций почт и электро-связи	Aloqa va pochta ma'muriyatlari Yevropa konferensiyasi
SID	Connection Identifier	Идентификаторы соединения	Bog'lanishlar indikatori

CINR	Carrier to Interference and Noise Ratio	Отношения несущего к помехам и шумам	Eltuvchi/xalaqitlar va shovqin nisbati
SMAS	Block Cipher-based Message Authentication Code	Блок шифра на основе аутентификационного кода сообщения	Blokli shifrga asoslangan xabarning autentifikatsion kodi
CMIP	Client Mobile IP	Мобильный IP клиента	Mobil IP-mijoz CP
CP	Cyclic Prefix	Циклического префикса	Siklik prefiks
CPS	Common Part Sublayer	Общая часть подуровня	MAS – darajaning umumiy nimdarajasi
CQI	Channel Quality Indicator (Index)	Индикатор качества канала (Индекс)	Kanalning sifat indikatori
CQICH	Channel Quality Information Channel	Информация о качестве канала	Kanalning sifatini baholash uchun axborot kanali
CRC	Cyclic Redundancy Check	Циклическая проверка избыточности	Siklik ortiqcha tekshirish
CS	Convergence Sublayer	Подуровень конвергенции	MAS – daraja konvergensiyasi (o'zgartirilishi)
CSCF	Centralized Scheduling Configuration	Централизованная настройка расписания	Markazlashtirilgan rejalashtirishli konfiguratsiya

CSCH	Centralized Schedule	Централизованное расписание	Markazlashtirilgan rejalashtirish
CSN	Connectivity Service Network	Связь Сеть обслуживания	WiMAX ulanish tarmog'i
CTC	Convolutional Turbo Code	Сверточный турбо-код	Svertkali (o'ramli) turbokodlar
CTR	Counter Mode Encryption	Счетчик Режим шифрования	Hisoblagich rejimidagi shifrlash
DCD	Downlink Channel Descriptor	Дескриптор Канала Downlink	"Pastga" kanalning deskriptori
DES	Data Encryption Standard	Стандарт шифрования данных	Ma'lumotlarni shifrlash standarti
DFS	Dynamic Frequency Selection	Динамический выбор частоты	Chastotani dinamik tanlash
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	Динамическая конфигурация протокола	Tugunni dinamik konfiguratsiyalash protokoli (xost-mashina)
diffserv	Differentiated services	Дифференцированные услуги	Differensial xizmat ko'rsatish (QoS daraja)
DL	Down Link	Исходящая линия	"Pastga" yo'nalishdagi kanal
DNS	Domain Name Service	Служба доменных имен	Domen nomlari xizmati

DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	Спецификация Интерфейс передачи данных по кабелю Сервис	Koksial (tele-vizion) kabellar bo'yicha ma'lumotlarni uzatish protokoli
DoS	Denial of Service	Отказ в обслуживании	Xizmat ko'rsatishni rad etish
DP	Decision Point	Этап принятия решения	Qarorni qabul qilish nuqtasi
DSA	Dynamic Service Addition	Динамическая служба сложение	Xizmatlarni dinamik qo'shish
DSC	Dynamic Service Change	Динамическое изменение службы	Xizmatlarni dinamik o'zgartirish
DSCH	Distributed Schedule	Распределенная расписание	Taqsimlangan katalog
DSL	Digital Subscriber Line	Цифровая абонентская линия	Raqamli abonent liniyasi
DVB	Digital Video Broadcast	Передачи цифровой видео	Raqamli video-uzatish standarti
E-UTRA	Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access	Evolved-UMTS наземного радиодоступа	LTE standarti-da qo'llanilgan radio ruxsat etish texnologiyasi

E-UTRAN	Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network	Evolved-UMTS наземная сеть радиодоступа	LTE standartida radio ruxsat etish tarmog'i
E2E	End-to-End	Концы с концами	Oxiridan oxiriga uzluksiz
EAP	Extensible Authentication Protocol	Расширяемый протокол аутентификации	Kengaytiriladigan autentifikatsiya protokoli
EAR-AKA	EAP Authentication and Key Agreement	Аутентификация EAP и согласование ключей	USIM li foydalanish uchun kalit haqida muvofiqlashtirish va YeAR-autentifikatsiya
EAP-PSK	Extensible Authentication Protocol Pre Shared Key	Первый начальный протокол код аутификации	Dastlabki kalitli YeAR
EAP-SIM	EAP Subscriber Identity Module	Модуль идентификации абонента EAP	YeARli SIM-karta
ECB	Electronic Code Book	Электронная книга Код	Elektron kodli kitob
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power	Эффективная изотропная излучаемая мощность	Samarador izotrop nurlantiriladigan quvvat
EPC	Evolved Packet Core	Усовершенствованный опорный пакет	Takomillashtirilgan paketli LTE tayanch tarmog'i

EPS	Evolved Packet Subsystem	Evolved Packet Subsystem	LTE tayanch tarmog'ining ishlashini qo'llab-quvvatlovchi nimitizim
ErtPS	Extended Real-Time Polling Service	Extended Service опросом в режиме реального времени	Real vaqtni kengaytirilgan polling-xizmati (QoS daraja)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Евро-пейский институт телекоммуникационных стандартов	Aloqa sohasida Yevropa standartlari instituti
EUI	Extended Unique Identifier	Расширенная уникаль-ный идентификатор	Kengaytirilgan unikal (ulkan) identifikator
FA	Foreign Agent	Иностран-ный агент	Tashqi agent
FCH	Frame Control Header	Заголовок кадра управ-ления	Kadrni boshqa-rish sarlavhasi
FDD	Frequency Division Duplex	Frequency Division Duplex	Chastotaviy dupleks
FDMA	Frequency De- vision Multiple Access	Частота Devision множествен-ного доступа	Chastotaviy ajratishli ko'plab ruxsat etish (ChAKRE) texnologiyasi

FEC	Forward Error Correction	Коррекция ошибок	Xatoliklarni tuza-tishli kodlash
FFT	Fast Fourier transform	Быстрое преобразование Фурье	Fure tezkor o'zgartirish (FTO') usuli
FUSC	Fully Used Sub-Carrier	Полностью используемой поднесущей	Nimeltuvchilar-dan to'liq foyda-lanish
GMH	Generic MAC header	Заголовок Generic MAC	Umumiy MAC sarlavha
GPRS	General Packet Radio Services	Пакетной радиосвя-зи общего назначения услуги	Umumlashtiril-gan paketli radio xizmatlar, 2,5G texnologiya
GPS	Global Positioning Service	Global Positioning Service	Joy tanlash global xizmati
GS	Guard Symbol	Guard Symbol	Himoya simvoli
GSA	Group Sekurity Association	Ассоциа-ция групп Sekurity	Guruhli xavfsizlik assotsiatsiyasi
GSM	Global System for Mobile communication	Глобальная система мобильной связи	Mobil aloqa glo-bal tizimi. 2-av-lod sotali aloqa standarti
GW	Gateway	Шлюз	Shlyuz
HA	Home Agent	Домашний агент	Uy agenti
HARQ	Hybrid Auto-matic Repeat reQuest	Гибридный автоматический запрос повторной передачи	Takroriy uzatishni avtomatik tarzda so'rovchi gibrid tizim

HDTV	High Density Television	Телевидение высокой плотности	Yuqori aniqlikda-gi televidenie
NYeS	Header Error Check	Проверка ошибки заголовка	Sarlavha xato-liklarini tekshirish
H-FDD	Half-duplex FDD	Полудуплексная FDD	Chastotaviy surilishli yarimdupleks Boshqarishni qat'iy estafetali uzatish
HHO	Hard Hand-Off	Hard Hand-Off	Boshqarishni qat'iy estafetali uzatish (xendover)
Hiper MAN	High Performance Metropolitan Area Network	High Performance Metropolitan Area Network	Yuqori unumdor shahar (yoki mintaqaviy) tarmog'i
HO	Hand-Off ili Hand Over	Рука-Офф Иле сдай	Boshqarishni yoki xizmat ko'rsatishni uzatish (xendover yoki xendoff)
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access	Высокоскоростной пакетный доступ	"Pastga" kanalda yuqori tezlikli paketli ruxsat etish, 3,5G texnologiya
HTTP	HyperText Transfer Protocol	Протокол передачи гипертекста	Gipermatnni uzatish protokoli
HUMAN	High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network	Высокоскоростной сеть Нелицензированные Metropolitan Area	Litsenziyalanmaydigan chastotalardagi yuqori tezlikli shahar (yoki regional) tarmog'i

I	In-phase	В фазе	Sinfaz
IASA	Inter Access System Anchor	Между доступными-стемаанкер	LTE tarmog'ida yagona shlyuz sifatida S-GW va P-GW shlyuzlarining birlashtirilgan taqdim etilishi shlyuza
IANA	Internet Assigned Numbers Authority	Internet Assigned Numbers Authority	Internetda raqamli manzillar bo'yicha vakolatli organ
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Институт инженеров электротехники и электроники	Elektrotexnika va elektronika bo'yicha muhandislar instituti
IEEE 802.3	IEEE standard specification for Ethernet	IEEE стандарт спецификации для Ethernet	Ethernet uchun IEEE standarti spetsifikatsiyasi
IETF	Internet Engineering Task Force	Целевая группа Internet Engineering	Internetni ishlab chiqish ishchi guruhi
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform	Обратное быстрое преобразование Фурье	Teskari Fure tezkor o'zgartirish (TFTO') usuli
IMS	IP Multimedia Subsystem	IP Multimedia Subsystem	Multimediyali IP nimitizim
IMSI	International Mobile Subscriber Identity	Международный идентификатор мобильного абонента	Mobil abonentni xalqaro identifikatsiyalash

IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000	Международная мобильная телекоммуникационная-2000	Xalqaro telekommunikatsiya ittifoqi (HTI) taklif etgan uchinchi avlod mobil aloqa moslashadigan texnologiyalari-ning "yagona oila" konsepsiyasi).
IP	Internet Protocol	Протокол Интернета	Internet-protokol
IPsek	IP Sekurity	IP Sekurity	IP-xavfsizlik
IPv4	Internet Protocol Version 4	Протокол Интернета версии 4	Internet-protokol, 4-versiya
IPv6	Internet Protocol Version 6	Протокол Интернета версии 6	Internet-protokol, 6-versiya
ISI	Inter-Symbol Interference	Межсимвольной интерференции	Simvollararo interferensiya
ISDN	Integrated Services Digital Network	Интегрированная цифровая сеть услуги	Integratsiyalangan xizmat ko'rsatish raqamli tarmog'i (IXKRT)
ITU	International Telecommunications Union	Международный союз электросвязи	Xalqaro telekommunikatsiya ittifoqi (HTI)
KEK	Key Encryption Key	Ключ шифрования	Kalitni shifrlash kalit (KShK)
LAN	Local Area Network	Локальная сеть	Lokal tarmoq

LBS	Location Based Services	Location Based Services	Foydalanuvchini joylashgan o'rnini aniqlashga asoslangan xizmatlar
LDPC	Low-Density-Parity-Check	Low-Density-Parity-Check	Kichik zichlikli juftlikka tekshirish (kodlash usuli)
LLC	Logical Link Control	Управление логическим каналом	Mantiqiy bog'lanishni boshqarish (OTO'M kanal daraja nimdara-jasi)
LOS	Line of Sight	Поле зрения	To'g'ri ko'rinish
MAC	Medium Access Control	Управление доступом к среде передачи	Muhitga ruxsat etishni boshqarish (OTO'M kanal daraja nimdara-jasi)
MAN	Metropolitan Area Network	Столичная общегородская сеть	Shahar yoki regional tarmoq
MAP	Media Access Protocol	Протокол доступа к СМ	Muhitga ruxsat etish protokoli
MBMS	Multimedia Broadcast/Multicast Service	Мульти-медийного широко-вещательного / многоадресного обслуживания	Multimediyali keng uzatishli/ ko'p manzilli xizmatlar
MBS	Multicast and Broadcast Service	Multicast и Broadcast Service	Ko'p manzilli va keng uzatishli xizmatlar
MCC	Mobile Country Code	Мобильный код страны	Davlatning mobil kodi

MIC	Message Integrity Check	Проверка целостности сообщений	Xabarning butunligini tekshirish
MIMO	Multiple Input-Multiple Output	Multiple Output Input-Multiple	Ko'plab qibul qilish-ko'plab uzatish (antenna texnologiyasi)
MIP	Mobile IP	Мобильный IP	Mobil IP (IPv4 va IPv6 ga kiradi)
MM	Mobility Management	Управление мобильностью	Mobillikni boshqarish
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service	Служба рассылки многоканальная многоточечная	Ko'p kanalli ko'p nuqtali uzatish xizmati
MMS	Multimedia Message Service	Служба мультимедийных сообщений	Multimediali xabarlar xizmatlari
MNC	Mobile Network operator Code	Сети оператора мобильной связи код	Mobil tarmoq operatori kodi
MPEG	Moving Pictures Experts Group	Движение Pictures Experts Group	Harakatdagi tasvirlar ekspert guruhi
MPLS	Multi Protocol Label Switching	Мульти Этикетка протокола Переключение	Belgilar asosidagi multiprotokolli kommutatsiya
MS	Mobile Station	Мобильная станция	Mobil stansiya
MESH	Mesh	Меш	Mesh-tarmoq

MSID	Mobile Station Identifier	Идентификатор мобильной станции	Mobil stansiya identifikatori
MSK	Master Session Key	Key Master Session	Sessiyali Master-kalit
NACK	Not Acknowledge	Не признайте	Tasdiqlamaslik xabari
NAP	Network Access Provider	Сеть провайдер доступа	Ruxsat etish tarmog'i provayderi
NAS	Non-Access Stratum	Non-Access Stratum	Ruxsat etishni taqdim etishga bog'liq daraja
NLOS	Non Line Of Sight	Non Line Of Sight	To'g'ri ko'rinishning bo'lmasligi
NMS	Net work Management System	Чистая работа системы управления	Tarmoqni boshqarish tizimi
NRM	Network Reference Model	Сеть Эталонная модель	WiMAX tarmog'ining etalon modeli
nrtPS	non-real-time Polling Service	Услуга опроса не в реальном масштабе времени	Real vaqt ko'lamida bo'lmagan polling xizmati (QoS daraja)
NSP	Network Service Provider	Сеть Провайдер услуг	Tarmoq servis-provayderi
O&M	Operations and Maintenance	Эксплуатация и техническое обслуживание	Tarmoqni ishlatish va texnik xizmat ko'rsatish

Ortogonal chastotaviy multiplekslash – OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов	Ortogonal chastotaviy multiplekslash
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	С ортогональным частотным разделением множественного доступа	Ortogonal chastotaviy ajratishli ko'plab ruxsat etish (OChAKRE) texnologiyasi
OSI-ISO tashkiloti qabul qilgan etalon o'zaro ta'sirlashish modeli	Open System Interconnection	Взаимодействия открытых систем	1978-yilda standartlashtirish bo'yicha Xalqaro ISO tashkiloti qabul qilgan etalon o'zaro ta'sirlashish modeli
PA – Peydjing agenti	Paging Agent	Пейджинг Агент	Peydjing agenti
Birlamchi avtorizatsiya kaliti – RAK	Primary Authorization Key	Первичный ключ авторизации	Birlamchi avtorizatsiya kaliti
Maksimal (pik) quvvatni o'rtacha quvvatga nisbati – PAPR	Peak to Average Power Ratio	Пик к средней мощности	Maksimal (pik) quvvatni o'rtacha quvvatga nisbati
Ajratilib bo'lingan polosaga qo'shishga so'rov – PBR	PiggyBack Request	Контрейлерных запрос	Ajratilib bo'lingan polosaga qo'shishga so'rov
Paketli ma'lumotlar tarmog'i – PDN	Packet Data Network	Packet Data Network	Paketli ma'lumotlar tarmog'i

P-GW, PDN GW—tarmog'i paketli ma'lumotlar tarmog'i shlyuzi	Packet Data Network Gateway	Packet шлюз сети передачи данных	LTE/SAE tarmog'i paketli ma'lumotlar tarmog'i shlyuzi
Paketli ma'lumotlar birligi – PDU	Packet Data Unit	Блок передачи пакетных данных	Paketli ma'lumotlar birligi (pastroq OTO'M darajadan qabul qilish yoki uzatish uchun shakllantirilgan paket)
Himoyalangan o'stiriladigan autentifikatsiyalash protokoli – PEAP	Protected EAP	Protected EAP	Himoyalangan o'stiriladigan autentifikatsiyalash protokoli
Paketlar xatoligi ehtimolligi – PER	Packet Error Rate	Packet Error Rate	Paketlar xatoligi ehtimolligi
Siyosat funksiyasi – PF	Policy Function	Политика Функция	Siyosat funksiyasi (WiMAXWiMAX tarmog'i taqdim etadigan turli xizmatlar uchun ilovalarni bajariishi ssenariylaridan iborat ma'lumotlar bazasi)
Peydjing guruhi – PG	Paging Group	Группа оповещения по громкой связи	Peydjing guruhi
Ma'lumotlar maydonidan sarlavhalarni o'chirish – PHS	Payload Header Suppression	Payload Заголовок Подавление	Ma'lumotlar maydonidan sarlavhalarni o'chirish (ularning takrorlanadigan qismlarini)

Ma'lumotlar maydonidan sarlavhalarni o'chirish indeksleri – PHSI	Payload Header Suppression Index	Полезная нагрузка Индекс подавления заголовка	Ma'lumotlar maydonidan sarlavhalarni o'chirish indeksleri (sarlavhalardan qaysi baytlar o'chirilishi, qaysilari o'chirilmasligini ko'rsatuvchi 8-razryadli maska)
Ma'lumotlar maydonidan sarlavhalarni o'chirish maskasi – PHSM	Payload Header Suppression Mask	Payload – Заголовок Подавление маски	Ma'lumotlar maydonidan sarlavhalarni o'chirish maskasi
Baytlarni o'chirish amalga oshiriladigan sarlavhalar maydoni o'lchami – PHSS	Payload Header Suppression Size	Полезная нагрузка заголовка Suppression – Размер Сьон	Baytlarni o'chirish amalga oshiriladigan sarlavhalar maydoni o'lchami (shuningdek, PHSF maydon o'lchami ham)
Uzatuvchi uskunaga bildiradigan bayroqcha – PHSV	Payload Header Suppression Valid	Payload Заголовок Подавление Действительно	O'chirilishi kerak bo'lgan sarlavhaning barcha baytlarini verifitsirovat zarurati haqida uzatuvchi uskunaga bildiradigan bayroqcha
Fizik darajasi – PHY	Physical layer	Физический слой	OTO'M fizik darajasi
Xususiy kalitni boshqarish – PKM	Privacy Key Management	Управление ключами конфиденциальности	Xususiy kalitni boshqarish

Uzatish muhitiga bog'liq nimdara- ja – PMD	Physical Medi- um Dependent	Физические зависимости от среды	Uzatish muhitiga bog'liq nimdara- ja (OTO'M fizik darajaning qismi)
“Nuqta-ko'p nuqta” to- pologiyasi – PMP	Point-to-Multi- Point	Точка- многоточка	“Nuqta-ko'p nuqta” topologiyasi
“Nuqta-nuqta” protokoli – PPP	Point-to-Point Protocol	Протокол “точка-точ- ка”	“Nuqta-nuqta” protokoli
Dastlabki tas- diqlangan kalit – PSK	PreShared Key	Предвари- тельный ключ	Dastlabki tas- diqlangan kalit
Umumiy foy- dalanishdagi telefon tarmog'i – PSTN	Public Switched Telephone Network	Public Switched Телефон Сеть	Umumiy foyda- lanishdagi telefon tarmog'i (TFuF)
Bitta tug- mani bosish bilan aloqani o'rnatish xiz- mati tushuni- ladi – PTT	Push To Talk	Нажми чтобы говорить	PMR radiostant- siya tangentlari tugmasi. Shuning- dek, sotali aloqa tizimlarida RTT atamasi deganda bitta tugmani bo- sish bilan aloqani o'rnatish xizmati tushuniladi
Bir rangli tar- moq-Ptp (p2p)	Peer to Peer	Вглядывать- ся к взгляды- ваться	“Har biri har biri bilan” nuq- ta-nuqta yoki tu- gun-tugun ulanish rejimi, ya'ni bir rangli tarmoq

Nimeltuvchilarning qis- midan foydala- nish – PUSC	Partially Used Sub-Carriers	Частично использо- ванные Sub – Носители	Nimeltuvchilar- ning qismidan foydalanish
Q	Quadrature	Квадратура	Kvadratura (kvadraturali koordinata)
Kvadraturali amplitudaviy modulyatsiya – QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Квадратур- ная ам- плитудная модуляция	Kvadratura- li amplitudaviy modulyatsiya (KAM)
Xizmat ko'rsatish sifati – QoS	Quality of Ser- vice	Качество обслужи- вания	Xizmat ko'rsatish sifati, uzatish sifa- tini va xizmatlar- ga ulanishni aks ettiradigan uzatish tizimining unum- dorligi chorasi sifatida aniqlanadi
Kvadraturali fazaviy modul- yatsiya – QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying	Квадратур- ная фазовая манипуляция	Kvadraturali faza- viy modulyatsiya (FM-4)
Tarmoq pro- tokoli – RADIUS	Remote Access Dial In User Service	Диск уда- ленного дос- тупа пользо- вателей	Tarmoqning barcha uskunalari uchun markaz- lashtirilgan AAA jarayonlarni ta'minlaydigan tarmoq protokoli
“Sarlavhalarni mustahkam siqish” usuli – RoHC	Robust Header Compression	Прочные сжатие заго- ловков	“Sarlavhalarni mustahkam siqish” usuli
RP	Reference Point	Ориентир	Tayanch nuqtasi (tarmoq interfeys- lari)

Radioresurslar kontrolleri – RRC	Radio Resource Controller	Контроллер радиоресурсами	Radioresurslar kontrolleri
Radioresurslarni boshqarish – RRM	Radio Resource Management	Управление радиоресурсами	Radioresurslarni boshqarish
Qabul qilinadigan signal sathi indikator – RSSI	Received Signal Strength Indicator	Поступило Индикатор силы сигнала	Qabul qilinadigan signal sathi indikator
Qabul qilish va uzatish subkadrari orasidagi interval – RTG	Receive/Transmit Transition Gap	Приема/передачи Переход Gap	Qabul qilish va uzatish subkadrari orasidagi interval
Real vaqtdagi polling xizmati – rtPS	Real-time Polling Service	Услуга опроса в реальном времени	Real vaqtdagi polling xizmati (QoS darajasi)
Foydalanuvchining almashtiriladigan identifikatsion moduli – RUIM	Removable User Identity Module	Модуль идентификации пользователя съемный	Foydalanuvchining almashtiriladigan identifikatsion moduli, CDMA (IS-95) standarti telefonlaridagi SIM-kartaning analogi
Qabul qilish – Rx	Reception	Прием	Qabul qilish
Xavfsizlik parametrlari to'plami – SA	Sekurity Association	Ассоциация Sekurity	Himoyalangan ulanishni qo'llab-quvvatlaydigan TS va unga bog'langan AU uchun xavfsizlik parametrlari to'plami

Tizim arxitekturasining evolyutsiyasi – SAE	System Architecture Evolution	Архитектура системы Эволюция	Tizim arxitekturasining evolyutsiyasi (LTE tarmog'ining arxitekturasini)
Xavfsizlik parametrlarini tanlash identifikatori – SAID	Sekurity Association Identifier	Идентификатор Секurity ассоциации	SA xavfsizlik parametrlarini tanlash identifikatori
Servis ruxsat etish nuqtasi – SAP	Service Access Point	Сервис Точка доступа	Servis ruxsat etish nuqtasi
Yakka eltuvchi – SS	Single Sarrier	Одноместный arrier S	Yakka eltuvchi
Chaqiruvlar va seanslarni boshqarish serveri IMS tarmog'ining markaziy tuguni – S-CSCF	Serving-Call Session Control Function	Обслуживание-Call Session Control Function	Chaqiruvlar va seanslarni boshqarish serveri IMS tarmog'ining markaziy tuguni
Sinxron raqamli iyerarxiya – SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Синхронная цифровая иерархия	Sinxron raqamli iyerarxiya
Fazoviy ajratishli (yoki surilishli) ko'plab ruxsat etish – SDMA	Space (or Spatial) Division (or Diversity) Multiple Access	Пространство (или Пространственное) Отдел (или Diversity) множественного доступа	Fazoviy ajratishli (yoki surilishli) ko'plab ruxsat etish

Ma'lumotlar servis bloki – SDU	Service Data Unit	Устройство обслуживания данных	Ma'lumotlar servis bloki (OTO'M yuqori darajasiga uzatiladigan yoki yuqori darajadan qabul qilinadigan paket)
Kengaytirish koeffitsienti – SF	Spreading Factor	Фактор распространения	Kengaytirish koeffitsienti
Servis oqimi – SF	Service Flow	Поток обслуживания	Servis oqimi
Servis oqimi identifikatori – SFID	Service Flow Identifier	Идентификатор потока службы	Servis oqimi identifikatori
Servis oqimini boshqarish – SFM	Service Flow Management	Управление потоком службы	Servis oqimini boshqarish
Bir chastotali tarmoq – SFN	Single Frequency Network	Одночастотной сети	Bir chastotali tarmoq
Abonentlariga xizmat ko'rsatish tuguni – SGSN	Serving GPRS Support Node	Обслуживающий узел поддержки GPRS	GPRS abonentlariga xizmat ko'rsatish tuguni
tarmog'ida xizmat ko'rsatuvchi shlyuz –S-GW	Serving Gateway	Обслуживающий шлюз	LTE/SAE tarmog'ida xizmat ko'rsatuvchi shlyuz
Sektorlar va bazalar orasidagi yumshoq qayta ulanish – SHO	Soft Hand Off	Soft Hand Off	Sektorlar va bazalar orasidagi yumshoq qayta ulanish (yumshoq xendover)

Foydalanuvchilarning bir turliligi – SI	Subscriber Identity	Идентификации абонента	Foydalanuvchilarning bir turliligi
Operatorlar foydalanadigan foydalanuvchini identifikatsiyalash moduli – SIM	Subscriber Identity Module	Модуль идентификации абонента	GSM-operatorlar foydalanadigan foydalanuvchini identifikatsiyalash moduli
Yakkalik qabul qilish — ko'plab ruxsat etish – SIMO	Single Input Multiple Output	Single Input Multiple Output	Yakkalik qabul qilish — ko'plab ruxsat etish
Signal/(xalaqitlar+shovqin) nisbati – SINR	Signal to Interference + Noise Ratio	Сигнал к помехам + шуму	Signal/(xalaqitlar+shovqin) nisbati
Signal/xalaqitlar nisbati – SIR	Signal-to-Interference Ratio	Отношение сигнал / помеха	Signal/xalaqitlar nisbati
Fazoviy multiplekslash – SM	Spatial Multiplexing	Пространственное мультиплексирование	Fazoviy multiplekslash
Qisqa xabarlar xizmati – SMS	Short Message Service	Сервис коротких сообщений	Qisqa xabarlar xizmati
Oddiy pochta transport protokoli – SMTP	Simple Mail Transport Protocol	Транспортный протокол Simple Mail	Oddiy pochta transport protokoli
Signal/ (shovqin + xalaqitlar) nisbati – SNIR	Signal to Noise + Interference Ratio	Отношение сигнал – шум + помеха	Signal/ (shovqin+xalaqitlar) nisbati

Signal/shovqin nisbati – SNR	Signal-to-Noise Ratio	Отношение сигнал шум	Signal/shovqin nisbati
Ortogonal chas-totaviy ajratishli masshtab-lashtiriladi-gan-S – OFD-MA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access	Масшта-бируемость с ортого-нальным частотным разделением множествен-ного доступа	Ortogonal chas-totaviy ajratishli masshtablashtiri-ladigan (ko'lam-lashtiriladigan) ko'plab ruxsat etish
Abonent stansi-yasi – SS	Subscriber Station	Станция подписчика	Abonent stansiyasi
Signalizatsiya tizimi – SS7	Signaling Sys-tem 7	Signaling System 7	OKS-7 signalizat-siya tizimi
Abonent stan-tsiyasi identi-fikatori – SSID	Subscriber Station Identi-fication (MAC address)	Абонентская станция иденти-фикации (MAC-адрес)	Abonent stansi-yasi identifikatori (MAS-manzil)
Ulanishlar xavf-sizligi darajasi – SSL	Sekure Sockets Layer	Sekure Sock-ets Layer	Ulanishlar xavf-sizligi darajasi
Fazoviy-vaqtli kodlash – STC	Space Time Coding	Простран-ственно-временного кодирования	Fazoviy-vaqtli kodlash
Uzatish kon-vergent nimda-rajasi – TS	Transmission Convergence sublayer	Подуровень конверген-ции пере-дачи	Uzatish konver-gent nimdarajasi (OTO'M fizik darajasi qismi)
Uzatishni bosh-qarish protokoli – TCP	Transmission Control Protocol	Протокол управления передачей	Uzatishni bosh-qarish protokoli
Vaqtli dupleks – TDD	Time Division Duplex	Time Divi-sion Duplex	Vaqtli dupleks

Vaqtli multiplekslash – TDM	Time Division Multiplex	Мультиплексирование с временным разделением	Vaqtli multiplekslash
Vaqtli ajratishli ko'plab ruxsat etish – TDMA	Time Division Multiple Access	Отдел множественного доступа с временным	Vaqtli ajratishli ko'plab ruxsat etish (VAKRE) texnologiyasi
Terminal uskuna – TYe	Terminal Equipment	Терминальное оборудование	Terminal uskuna
Trafikni shifrlash kaliti – TYeK	Traffic Encryption Key	Ключ шифрования трафика	Trafikni shifrlash kaliti
Telekommunikatsiya sanoati assotsiatsiyasi – TIA	Telecommunications Industry Association	Ассоциация телекоммуникационной промышленности	Telekommunikatsiya sanoati assotsiatsiyasi (uyushmasi) (AQSH)
Transport darajasi xavfsizligi – TLS	Transport Layer Sekurity	Транспортный уровень Sekurity	Transport darajasi xavfsizligi (SSL variant kabi)
Qabul qilish va uzatish subkadrlari orasidagi interval – TTG	Transmit/Receive Transition Gap	Передача/прием перехода Gap	Qabul qilish va uzatish subkadrlari orasidagi interval
Vaqtincha uzatish intervali – TTI	Transmission Time Interval	Интервал времени передачи	Vaqtincha uzatish intervali
Nimkanallardan “mozaik foydalanish” – TUSC	Tile Usage of SubChannels	Плитка Использование подканалов	Nimkanallardan “mozaik foydalanish” (rus. “Мозаичное использование”)

Uzatish—Tx	Transmission	Коробка передач	Uzatish qutisi
“Yuqoriga” kanal deskriptori—UCD	Uplink Channel Descriptor	Дескриптор канала восходящей линии	“Yuqoriga” kanal deskriptori
Foydalanuvchi uskunasi-UE	User Equipment	Оборудование пользователя	Foydalanuvchi uskunasi
Kanalga so‘zsiz ruxsat etish-UGS	Unsolicited Grant Service	Нежелательные служба Грант	Kanalga so‘zsiz ruxsat etish (QoS daraja)
Foydalanuvchi identifikatori — UID	User-Identity	User-Идентичность	Foydalanuvchi identifikatori
“Yuqoriga” yo‘nalishdagi kanal — UL	Uplink	Хакеры	“Yuqoriga” yo‘nalishdagi kanal (AUdan TSga)
Universal mobil telekommunikatsion tizim-UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Универсальная система мобильной связи	Universal mobil telekommunikatsion tizim (3G avlod standarti)
Litsenziyalanmaydigan chastotalar bo‘yicha milliy axborot infratuzilmasi—U—NII	Unlicensed — National Information Infrastructure	Нелицензированные Национальная информационная инфраструктура	Litsenziyalanmaydigan chastotalar bo‘yicha milliy axborot infratuzilmasi
Abonentning universal identifikatsion moduli—USIM	Universal Subscriber Identity Module	Универсальный модуль идентификации абонента	Abonentning universal identifikatsion moduli (UMTS—operatorlar foydalalanadigan intellektual kartalar)

Virtual lokal tarmoq	-VLAN Virtual LAN	Виртуальная локальная сеть	Virtual lokal tarmoq
VoIP – protokol bo'yicha tovushlarni uzatish	Voice over Internet Protocol	Передача голоса по Интернет-протоколу	IR protokol bo'yicha tovushlarni uzatish
Tarmog'i bo'yicha tovushlarni uzatish – VoLTE	Voice over LTE	Передача голоса по LTE	LTYe tarmog'i bo'yicha tovushlarni uzatish
Virtual xususiy tarmoq – VPN	Virtual Private Network	Виртуальная частная сеть	Virtual xususiy tarmoq
Vertikal fazoviy multiplekslash – VSM	Vertical Spatial Multiplexing	Вертикальное пространственное мультиплексирование	Vertikal fazoviy multiplekslash
Simsiz ilovalar protokoli–WAP	Wireless Application Protocol	Протокол беспроводных приложений	Simsiz ilovalar protokoli
Ko'plab ruxsat etish–DMA	Wideband Code-Division Multiple Access	С кодовым разделением каналов множественного доступа	Radioruxsat etish texnologiya-si-kodli ajratishli ko'plab ruxsat etish
Simliga tarmoqlardagiga ekvivalent konfidensiallik–WEP	Wired Equivalent Privacy	Wired Equivalent Privacy	Simliga tarmoqlardagiga ekvivalent konfidensiallik
Simsiz keng polosali–WiBro	Wireless Broadband (Service)	Беспроводной широкополосный (Услуги)	Simsiz keng polosali (Samsung kompaniyasi standarti)

Simsiz aniqlik— Wi-Fi	Wireless Fidelity	Wireless Fidelity	Simsiz aniqlik (IEEE 802.11 a/b/g/n standart- larining tijoriy nomlanishi)
Yuqori chas- totali ruxsat etishda butund- unyo mos- lashuvchanligi — WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access	Во всем мире взаи- мдействие для микро- волнового доступа	Yuqori chasto- tali ruxsat etish- da butundunyo moslashuvchanligi (IEEE 802.16 d/e/m standart- larining tijoriy nomlanishi)
Simsiz lokal tarmoq—WLAN	Wireless Local Area Network	Беспро- водной локальной сети	Simsiz lokal tarmoq
Wi-Fi tar- moqlaridagi himoyalangan ruxsat etish — WPA	Wi-Fi Protect- ed Access	Wi-Fi Pro- tected Access	Wi-Fi tarmoqla- ridagi himoyalan- gan ruxsat etish
Butunjahon radioaloqa konferensiyasi — WRC	World Radio Conference	Всемирная конфе- ренция по радио	Butunjahon ra- dioaloqa konfe- rensiyasi (BRK)
Keng hududga taqsimlangan simsiz tarmoq — WWAN	Wireless Wide Area Network	Беспрово- дная сеть Wide Area	Keng hududga taqsimlangan simsiz tarmoq

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR VA MANBALAR

1. Андрианов В.И., Соколов А.В. Средства мобильной связи. — БНВ-Санкт-Петербург, 1998, —256 с.
2. Аболищ А. Персональная спутниковая связь. —PC Week/RE, 1997.
3. Антонян А.Б. Подвижная сотовая связь в России на пороге третьего тысячелетия. Технологии и средства связи. —1997, № 5, с.44–48.
4. Андрианов В.И., Соколов А.В., Средства мобильной связи. —БХВ-Санкт-Петербург, 1999.
5. Быховский М.А. Методика расчета абонентской емкости в сетях сухопутной стационарной радиотелефонной связи на основе технологии CDMA. Мобильные системы. 1998, №3, с.27–29.
6. Невдяев Л. CDMA: IS-95. Сети, 2000, № 3.
7. Невдяев Л. Стандарты 3G. Сети, 2000, № 6.
8. Ибрагимов Р.Р. Мобильные системы связи. Учеб. пос. — ТУИТ, 2004.
9. Спутниковая связь и вещание. /Под общ.ред. Л.Я.Кантора. —М.: Радио и связь, 1997.
10. Ратинский М.В. Основы сотовой связи. —М.: Радио и связь. 2002.
11. Ибрагимов Р.Р. Системы с подвижными объектами. —Т.: ТУИТ.
12. Махмудов М.М., Шегай А.П. и др. Принцип построения и проектирования систем сотовой связи. —2000.
13. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. —М.: Эко-Тренд Ко, 1997. —238 с.
14. Невдяев Л. Спутниковые системы. <http://www.osp.ru/>
15. Замарин А.И. и др. Спутниковые сети VSAT. —Информация и космос № 3,2004.
16. Овчинников А.М. Сравнение стандартов цифровой транкинговой радиосвязи. [st.ess.ru/publications/articles/ ovchinkv2/ovchkv2.htm](http://st.ess.ru/publications/articles/ovchinkv2/ovchkv2.htm).
17. Ворсано Д. Кодирование речи в цифровой телефонии. — Сети и системы связи. — 1996, № 1, с.84–87.
18. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. — М.: Эко-Трендз, 1997, 238 с.
19. Невдяев Л. CDMA: IS-95. Сети, 2000, № 3.
20. Невдяев Л. CDMA: Архитектура радиointерфейса. —Сети, 2000, №1, с.32–33.

21. Невдяев Л. CDMA: канальная структура. —Сети, 2000, № 2.
22. Невдяев Л. CDMA: расширение спектра. —Сети, 2000, № 5.
23. Невдяев Л. CDMA: управление мощностью. —Сети, 2000, № 4, с.18–19.
24. Невдяев Л. Стандарты 3G. Сети, 2000, № 6.
25. Ратынский М.В. Основы сотовой связи. Под ред. Зимина Д.Б. — М.: Радио и связь, 1998. —248 с.
26. Толмачев Ю.А. Универсальные мобильные системы связи. Перспективы развития. —Электросвязь, 1999, №4. —с. 4–5.
27. EN 300 95 European Standard: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Modulation (GSM 05.04, version 8.1.2, Release 1999). —ETSI, 2001.
28. Картьяну Г. Частотная модуляция. 2 ое изд. —Бухарест: Меридиане, 1964.
29. Fague D., Othello™: A New Direct-Conversion Radio Chip Set Eliminates IF Stages. Analog Dialogue. —1999, Vol. 33. №10.
30. Голуб В. Система ФАПЧ и её применения. —Chip News. 2000. №4.
31. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. 5 ое изд. —М.: Эко-Трендз, 1998.
32. Gentile K. Digital Upconverter IC Tames Complex Modulation. —Microwaves & RF. August 2000.
33. Зуев С. Основы GSM. Радиоаматор. 1998, № 9–10, 1999, №1–2.
34. Шахнович И. Сотовый телефон третьего поколения: Super Homodyne versus Super Heterodyne. —Электроника: НТБ, 2001, №3.
35. Громаков Ю.А. Сотовые системы подвижной радиосвязи. Технологии Электронных коммуникаций. Том 48. —“Эко-Тренд”. Москва. 1994.
36. Громаков Ю.А. Структура TDMA кадров и формирование сигналов в стандарте GSM. —“Электросвязь”. №10, 1993. —с. 9–12.
37. Диффи У. Хелтан Н. Защищенность и имитостойкость: введение в криптографию. —ТИИЭР 1979, т. 67. №3. с. 71–109.
38. Месси Л. Введение в современную криптографию. ТИИЭР. 1988. т. 76. №5. с.24–42.
39. Диффи У. Первые десять лет шифрования с открытым ключом. —ТИИЭР. 1988. т. 76, №5. с. 55–74.
40. Халиков А.А., Умаров Ф.Ф. Радиотехник тизимлар назарияси асослари. —Тошкент: “Ўзбекистон” нашриёти, 2004 й. —152 б.

41. Колесников И.К., Халиков А.А., Каримов Р.К. Электромагнитные поля и волны. —Ташкент: Янги аср авлоди", 2008 й. —218 б.
42. Халиков А.А. Электрон, аналогли ва рақамли схемотехника. Тошкент: "Темирйўлчи" 2002 й. —160 б.
43. Айнакулов Э.Б., Халиков А.А. Многоканальная связь. —Ташкент: "Илм Зиё" 2007. —368 б.
44. Halikov A.A., Umarov F.F., Tursunbayev A. Radiotexnika asoslari. —Toshkent: "IQTISOD-MOLIYA", 2013. —192 b.
45. Кривопишню В.А., Халиков А.А. Теория передачи электрических сигналов. —Ташкент: "Ворис нашриёт", 2007. —с.400
46. Halikov A.A. Raqamli sxemotexnika. —Toshkent: "YANGI NASHR" 2007. —214 b.
47. Кривопишин В.А., Халиков А.А. Станционная и поездная радиосвязь. — Ташкент: Издательство "Янги аср авлоди", 2007. — 308 с.
48. Горелов Г.В., Кудряшов В.А., Шмыгинский В.В. др. Телекоммуникационные технологии на железнодорожном транспорте. /Под ред. Горелова Г.В. — М.: УМК МПС России, 1999. — 416 с.
49. Волков В.М., Головин Э.С., Кудряшов В.А. Электрическая связь и радио на железнодорожном транспорте. — М.: Транспорт, 1991. — 311 с.
50. Дагаева Н.Х., Клеванский Ю.И. Радиосвязь на железнодорожном транспорте. — М.: Транспорт, 1991. — 311 с.
51. Ваванов Ю.В. Технологическая железнодорожная радиосвязь. — М.: Транспорт, 1985. — 182 с.
52. Ваванов Ю.В., Доценко Н.Е., Малявко В.Е., Тропкин С.И. Связь с подвижными объектами на железнодорожном транспорте: Справочник. — М: Транспорт, 1984. — 320 с.
53. Волков А.А. Радиопередающие устройства. — М.: Издательство "Маршрут", 2002. — 359с.
54. P. Vander. Arend Security Aspects and the Implementation in the GSM-System. —Conference Proceedings DCRC, 12–14 October 1988. Hagen FRG.p.p.4a/1–4a/7.
55. V. Michel. The Security Features in the GSM-System. 6-th World Telecommunication Forum Proceedings. —Geneva, 10–15 October, 1991. Part 2. p.p. 385–389.
56. W. Heger. GSM vs. CDMA. GSM Global System for Mobile Communications. Proceedings of the GSM Promotion Seminar 1994

GSM MoU Group in Cooperation with ETSI GSM Members. 15 December 1994. p.p.3.1-1 – 3.1-18.

57. A. Mehrotra. Cellular Radio: Analog and Digital Systems. – Artech House, Boston-London. 1994. p.p. 460.

58. Othello One™ Single-Chip Direct-Conversion GSM/GPRS/EDGE RFIC. – Analog Devices (<http://www.analog.com/>).

59. Wireless Communications: TCS1100 GSM Solution / TCS2100 GPRS Solution / TRF6053 RF Transceiver and TRF2253 RF Synthesizer/ TRF6150 RF Transceiver. – Texas Instruments (<http://www.ti.com/>).

60. Infineon Technologies AG – Solutions – GSM / GPRS / DECT (<http://www.infineon.com/>).

61. M.Mouly, M.B.Pautet. The GSM System for Mobile Communications. –1992. p.p. 702.

62. GSM, GPRS and EDGE Performance. Evolution Towards 3G/UMTS. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ. –England. 2003.

63. Introduction To Digital Mobile Communication. Second Edition. –Yoshihiko Akaiwa, Kanada. 2015.

64. <http://www.nwgs.com/mozaika/stand GSM.cfm>

65. <http://www.ziyo.edu.uz>

66. <http://www.tsue.fan.uz>

67. <http://www.twirpx.com>

68. <http://www.knigi.ru>

69. <http://allgsm.chat.ru/>

70. <http://www.mts.ru/>

MUNDARIJA

SO'ZBOSHI	3
KIRISH	5

1 bob. GSM EDGE RADIO TO'RI RADIOALOQANI TASHKIL ETISH NEGIZLARI

1.1. Radio aloqani tashkil etish negizlari va axborot uzatish texnologiyalari.....	9
1.2. 4G avlodini tashkil etuvchi texnologiyalar	15
1.2.1. LTE texnologiyasi	16
1.2.2. WiMAX texnologiyasi	16
1.3. GERAN, 3GPPda standartlash.....	18
1.3.1. LTE texnologiyasining yaqin yillardagi rivojlanish istiqbollari	19
1.3.2. WiMAX texnologiyasining yaqin yillardagi rivojlanish istiqbollari	21

2-bob. GPRS UMUMIY PAKETLI RADIOALOQA TIZIMLARI

2.1. Harakatdagi radioaloqa GPRS tizimlari rivojlanishining tavsifi va tarixi.....	26
2.1.1. Professional mobil aloqa tizimlari	27
Mobil aloqa tizimlarni klassifikatsiyasi.....	27
2.1.2. Sotali aloqa tizimlari	33
2.2. Harakatdagi radioaloqa tizimlarining klassifikatsiyasi.....	35

3-bob. UMTS MOBIL ALOQA UNIVERSAL TIZIMI

3.1. Peydjing terminali va protokollari	37
3.1.1. 3,5G avlod standartlari.....	39
3.2. 3,75G avlod standartlari.....	40
3.3. 3,9G yoki Pre 4G avlod standartlari	41
3.4. 3G uchinchi avlod sotali aloqa tizimlari	43
UMTS va GSM tarmoqlarining o'zaro ishlashi	47
UMTS standartining kamchiliklari	48

4-bob. MOBIL STANSIYALARINING JOYLASHUVI

4.1. Mobil stansiyalarining joylashuvi va 3G tizimlarining qurilish prinsiplari	50
--	----

4.2. 3G standartlari	52
4.2.1. UMTS standarti.	52
UMTS standartining xarakteristikalari	52
4.3. UMTS standarti radiointerfeysi texnologiyasi	54
4.3.1. UMTS standartida tarmoq arxitekturasini	56
4.3.2. CDMA-2000 standarti	63

5-bob. GSM RADIO TIZIMI

5.1. GSM radioaloqa asoslari va spektral	68
foydali ish koeffitsienti	68
5.2. Sotali aloqa interfeyslari	70

6-bob. KPI UYALI TARMOQ SAMARADORLIK KO'RSATKICHI

6.1. Signallarni raqamli uzatishda modulyatsiyalash usullarini tanlash mezonlari. KPI uyali tarmoq samaradorlik ko'rsatkichi	82
6.2. Ikkinchi va uchinchi avlod sotali aloqa standartlarida qo'llaniladigan modulyatsiya usullari	87
6.3. Kodlar va xalaqitga chidamli kodlash to'g'risidagi umumiy ma'lumotlar	94

7-bob. 4G AVLOD TEXNOLOGIYALARINING RIVOJLANISHI UCHUN SHART-SHAROITLAR

7.1. To'rtinchi avlod mobil va keng polosali aloqa tizimlarining rivojlanish tarixi	106
7.2. GSM standartida signallarni kodlash va oralatish	112

8-bob. HARAKATDAGI RADIOALOQA TIZIMLARI RIVOJLANISHINING TAHLILI

8.1. Harakatdagi radioaloqa tizimlari rivojlanishining tavsifi va tarixi	119
8.2. Simsiz telefoniya tizimlari	132
8.3. Yo'ldoshli aloqa tizimlari	133

9-bob. HRTNING VAZIFASI VA XIZMAT KO'RSATISH ZONASINING O'LCHAMI

9.1. Kanallarni chastota bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanish KCHAKF(FDMA)	136
--	-----

9.2. Kanallarni vaqt bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanish KVAKF(TDMA)	138
9.3. Kanallarni kod bo'yicha ajratish bilan ko'p marta va ko'p stansiyali foydalanish KKAKF(CDMA)	141
9.4. Mobil aloqa tizimlarida sota ko'lamidagi foydalanuvchilar sonini aniqlash	144
9.5. Sotali mobil aloqa tizimlarning real abonent sig'imi.....	147
9.6. Mobil aloqa tizimlarda dupleks rejimni tashkil qilish.....	148

10-bob. SOTALI ALOQA TIZIMLARINING EVOLYUTSIYASI

10.1. Tranking radioaloqa tizimlari	154
10.1.1. Radioaloqa tranking tizimiga qo'yiladigan asosiy talablar	164
10.1.2. Tranking radioaloqa tizimlaridagi standartlar.....	169

11-bob. 3G – UCHINCHI AVLOD STANDARTLARI

11.1. IMT-2000 radiointerfeyslari	177
11.2. 2G avlodidan boshlab sotali aloqa tizimlarining standartlari...	179
11.3. 3,5G avlod standartlari.....	180
11.4. 3,75G avlod standartlari.....	181
11.5. 3,9G yoki Pre 4G avlod standartlari	182
11.6. 4G — to'rtinchi avlod standartlari	183
11.7. 3G — uchinchi avlod sotali aloqa tizimlari.....	184
11.7.1. 3G tizimlarining rivojlanish tarixi.....	186

12-bob. 3G STANDARTLARI CDMA STANDARTI

12.1. KSAT 3G konsepsiyasining asosiy nizomlari	190
12.2. Kanallarni kod bo'yicha ajratish bilan ko'p stansiyali foydalanish. CDMA standarti	192

13-bob. UMTS VA GSM TARMOQLARINING O'ZARO ISHLASHI

13.1. UMTS standartining kamchiliklari.....	208
13.2. CDMA-2000 standartining tizim arxitekturasini	218
13.3. CDMA-2000 standarti uchun radiochastota spektri.....	220
13.4. FOMA standarti.....	221
13.5. TD-SCDMA standarti	222

14-bob. LTE STANDARTINING RIVOJLANISH TARIXI

14.1. 3GPP Long Term Evolution (LTE).....	225
14.2. LTE standarti haqida umumiy ma'lumotlar.....	227
14.3. LTE tizimi arxitekturasida	230
14.3.1. LTE tizimlari funktsionalligiga qo'yiladigan talablar	231
14.3.2. LTE/SAE tizimi arxitekturasining asosiy tashkil etuvchilari	234
14.3.2.1. E-UTRAN — takomillashtirilgan radioulanish tarmog'i...	235
14.3.2.2. EPC — takomillashtirilgan paketli tayanch tarmog'i....	235

15-bob. MOBILLIKNI BOSHQARISH MODULI — MME

15.1. Mobillikni boshqarish moduli — MME.....	237
Yo'ldoshli aloqa tizimlarida ko'p stansiyali foydalanish.....	237
15.2. ESY aloqa tizimlaridagi bort va yerdagi apparatlar	242

16-bob. EMM DARAJASIDA AU NING MOBILLIK HOLATLARI

16.1. EMM darajasida AUning mobillik holatlari.	249
Noaktiv holatdagi mobillik.....	249
16.2. Noaktiv holatdagi mobillik.....	252
16.2. Aktiv holatdagi mobillik	256

17-bob. LTE TARMOQLARIDA “ROUMING” XIZMATINI TASHKIL ETISH

17.1. “Rouming” xizmatlariga ta'rif.....	263
17.2. LTE tarmoqlarida “rouming” asoslari.....	265

18-bob. LTE TARMOQLARIDA “BILLING” XIZMATINI TASHKIL ETISH

18.1. Hisob-kitob operatsiyalari	274
18.2. Hisob-kitob operatsiyalari	275
18.3. LTE tarmoqlarida “billing”ni tashkil etish asoslari	277
18.4. LTE tarmog'ida tarifikatsiya va siyosatni boshqarish.....	279

19-bob. ADAPTIV VA KOP ELEMENTLI ANTENNA TIZIMLARI

19.1. MIMO texnologiyasining tavsifi.....	286
---	-----

19.2. MIMO texnologiyasining tavsifi.....	286
19.3. MIMO texnologiyasining asoslari.....	288
19.4. Fazoviy ajratish rejimi.....	291
19.4.1. Fazoviy multiplekslash rejimi.....	292
19.4.2. Fazoviy-vaqtli kodlash.....	293
19.5. Adaptiv antenna tizimlari.....	294
19.6. LTE tizimining radiointerfeysining tashkil etilishi.....	297

20-bob. “YUQORIGA” YO‘NALISHDAGI KANALNI TASHKIL ETILISHI

20.1. “Pastga” va “yuqoriga” kanallarda OFDM texnologiyasining qo‘llanilishi.....	301
20.2. “Yuqoriga” yo‘nalishdagi kanalni tashkil etilishi.....	307

21-bob. LTE TIZIMLARI UCHUN RADIOCHASTOTA SPEKTRI

21.1. Radiochastota spektri (RCHS).....	313
21.1.1. LTE tizimlari uchun potensial spektr.....	314
21.1.2. 700 MGs diapazoni.....	314
21.2. 900MGs diapazonining qayta taqsimlanishi.....	318
21.3. AWS — ilg‘or simsiz xizmatlar.....	320
21.4. LTE tarmoqlarini qurishda da‘vogar (nomzod) boshqa polosalar. GSM-1800 diapazoni.....	321

22-bob. LTE TIZIMLARDA XIZMAT KO‘RSATISH SIFATINI TA‘MINLASH

22.1. O‘zbekistonda 4G texnologiyalarini rivojlantirish uchun RCHS holati.....	325
22.2. Raqamli dividend.....	327
22.3. DMT va O‘YUCH diapazonlarida radiochastotalar taqsimlanishi.....	328
22.4. DMT va O‘YUCH diapazonlarida radiochastotalar taqsimlanishi. Xizmat ko‘rsatish sifati tushunchasi.....	329
22.5. LTE tizimlarda xizmat ko‘rsatish sifati.....	332

23-bob. LTE TARMOQLARIDA XAVFSIZLIKKA TAHDIDLAR

23.1. Abonent uskunasi uchun tahdidlar.....	336
---	-----

23.2. AUni kuzatish tahdidlari.....	336
23.3. Majburiy “xendover”	338
23.4. Tayanch stansiyalar va “so‘nggi milya” transport kanallariga tahdidlar.....	338
23.5. MMEga tahdidlar.....	341
23.6. Mobillikni boshqaruv tizimiga tahdidlar.....	341
23.7. LTE tarmoqlarida axborot xavfsizligini tashkil etilishi.....	342

24-bob. KENG POLOSALI SIMSIZ ALOQA TIZIMLARINING RIVOJLANISHI

24.1. Keng polosali simsiz ulanish (KSU) texnologiyalari	348
24.2. Keng polosali simsiz texnologiyalarning klassifikatsiyasi (sinflarga bo‘lish) bo‘yicha yondashuvlar	350
24.3. Wi-Fi texnologiyasining tahlili	354
24.3.1. Wi-Fi texnologiyasining rivojlanish tarixi	355
24.4. Wi-Fi texnologiyasining ishlash prinsiplari.....	356
24.5. Tarmoqning asosiy elementlari.....	357
24.5.1. Wi-Fi texnologiyasining afzalliklari va kamchiliklari	359
24.5.2. Xavfsizlikni ta‘minlash masalalari.....	361

25-bob. Wi-Fi VA WIMAX TARMOG‘INI TASHKIL ETISHNING O‘ZIGA XOS XUSUSIYATLARI

25.1. Wi-Fi tarmoqlaridan foydalanish	363
25.1.1. WiMAX tarmog‘ini tashkil etishning.....	364
o‘ziga xos xususiyatlari.....	364
25.2. Abonent uskunalari	369
25.2.1. O‘zaro ishlash imkoniyatlari va ishlash sifati.....	370

26-bob. WiMAX TEXNOLOGIYASI HAQIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR

26.1. WiMAX tizimining tavsifi	372
26.2. WiMAX tizimi va IMT-2000 dasturi.....	374
26.3. WiMAX tizimi va “raqamli tengsizlik”	377
(ingl. Digital Gap) muammosi.....	377

27-bob. WiMAX TIZIMINING AFZALLIKLARI VA KAMCHILIKLARI

27.1. WiMAX tizimining afzalliklari	382
---	-----

27.1.1. WiMAX tizimlarining kamchiliklari	382
27.1.2. WiMAX va Wi-Fi tizimlarini taqqoslash	384
27.2. WiMAX standartlari (IEEE 802.16) WiMAX standartlarining qisqacha rivojlanish tarixi	385
27.2.1. IEEE 802.16 standartlari oilasining tavsifi.....	388
27.2.2. IEEE 802.16 standartining turg'un va mobil versiyalari ..	389
27.3. IEEE 802.16-2004 standarti.....	390
27.3.1. IEEE 802.16-2005 standarti	390
27.3.2. IEEE 802.16-2004 va IEEE 802.16-2005	391
standartlarini taqqoslash.....	391

28-bob. WiMAX TIZIMI ARXITEKTURASINING ASOSIY PRINSIPLARI

28.1. WiMAX tarmog'ining tayanch modeli (NRM).....	400
28.2. WiMAX tarmog'i tugunlaring funksionalligi	403
28.3. CSN kommutatsiya tarmog'i.....	408
28.4. Radioulanish tarmog'i va kommutatsiya tarmog'ining o'zaro ta'sirlashishi. WiMAX tizimi arxitekturasining boshqa o'ziga xos xususiyatlari.....	410

29-bob. WiMAX IEEE 802.16 STANDARTI TARMOG'I FIZIK DARAJASINING TAVSIFI VA WiMAX WIRELESSMAN-SC REJIMIDAGI FIZIK KANALDA KADRNING TUZILMASI

29.1. WiMAX IEEE 802.16 standarti tarmog'i fizik darajasining tavsifi	413
29.3. IEEE 802.16 standarti tarmog'i fizik darajasining tavsifi....	415
29.4. WirelessMAN-SC rejimidagi fizik kanalda kadrning tuzilmasi.....	417
29.5. WirelessMAN-OFDM rejimidagi kadrning tuzilmasi.....	422
29.5.1. OFDMA ortogonal eltuvchilar yordamida	423
ko'plab ulanish usuli	423

30-bob. WIRELESSMAN-OFDMA REJIMI UCHUN RNY DARAJASINING ASOSIY KO'RSATKICHLARI

30.1. WirelessMAN-OFDMA rejimidagi kadrning tuzilmasi	426
30.2. MAS darajasining ishlatilishi.....	431
30.3. QoS — xizmat ko'rsatish sifati	435

31-bob. MOBILLIKNI BOSHQARISH

31.1. "Mobil" WiMAXda energiyani tejash	437
31.2. BSni peydjig guruhlarga bo'linishi.....	439
31.3. WiMAX tarmog'ida MIP protokolining shakllantirilishi	442
31.4. Guruhli va keng-qamrovli uzatish	447

32-bob. WiMAX TARMOG'INI TASHKIL QILISHNING O'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI, ISHLASH REJIMLARI VA PROFILLARI

32.1. WiMAX profillari	449
32.2. WiMAX standartining sertifikatlangan profillari	450
32.3. WiMAX tarmog'ining ishlash rejimlari	451
32.3.1. Fiksatsiyalangan ulanish	452

33-bob. WiMAX TARMOQLARINI LOYIHALASHTIRISH VA TASHKIL QILISH

33.1. Yo'naltirish diagrammasini adaptiv shakllantirish texnologiyasining qo'llanilishi	466
33.2. MIMO texnologiyasining qo'llanilishi	471
33.3. AAS va MIMO texnologiyalarini solishtirish	473
TS xizmat ko'rsatish zonasi	473
33.4. WiMAX tarmoqlarida radiochastota diapazonidan foydalanish WiMAX tizimlari uchun radiochastotalarni taqsimlashda butun dunyo an'analari	476
33.5. WiMAX tizimlari uchun spektrni ajratishga bog'liq muammolar ..	478

34-bob. TURLI CHASTOTALAR DIAPAZONLARIDA VA DUNYONING TURLI DAVLATLARIDA SPEKTR TAQSIMLANISHINING O'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI

34.1. Litsenziyalanmaydigan chastotalar polosasi	480
34.1.1. 3,5GGs diapazoni	481
34.1.2. 5GGs diapazoni	481
34.1.3. 2,5GGs diapazoni	483
34.2. WiMAX uchun qo'shimcha chastotalar polosalari	484
34.3. Yevropada WiMAX tizimlari uchun chastotalarning ajratilishi (1-rayon)	485
34.4. WiMAX tarmoqlarida axborot xavfsizligi masalalari	489

35-bob. IEEE 802.16 STANDARTIDA XAVFSIZLIK TIZIMINI TASHKIL ETISH

35.1. Kanal darajasida xavfsizlik funksiyalari	492
35.2. Kanal darajasida xavfsizlik.....	493
35.3. Autentifikatsiya.....	494
35.4. Avtorizatsiya.....	496
35.5. Trafikni shifrlash	497
DES shifrlash algoritmi.....	498

36-bob. AES SHIFRLASH ALGORITMI

36.1. AES shifrlash algoritmi	502
36.2. Xabarni axborot qismini shifrlash.....	505
36.3. Servis oqimlarga qo'llaniladigan boshqarish va avtorizatsiya funksiyalari	510

GLOSSARIY.....	513
----------------	-----

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR VA MANBALAR	543
---	-----

Xaliqov Abdulxak Adulxairovich
Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich
Karbonov Janibek Fayzullayevich

RAQAMLI MOBIL ALOQA VOSITALARI

Muharrir *M. Tursunova*
Musahhih *M. Turdiyeva*
Dizayner sahifalovchi *X. Abdullayev*

“Faylasuflar” nashriyoti.
100029, Toshkent shahri, Matbuotchilar ko'chasi, 32-uy.
Tel.: 239-88-61.

Nashriyot litsenziyasi: AI №225, 16.11.2012.

Bosishga ruxsat etildi 25.10.2018 y. “Uz-Times” garniturası. Ofset usulida chop etildi. Qog'oz bichimi 60x84 $\frac{1}{16}$. Bosma tabog'i 34,75. Nashr hisob tabog'i 35.0. Adadi 400 nusxa. Buyurtma № 23.

“AVTO-NASHR” XK bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Toshkent shahri, 8-mart ko'chasi, 57-uy.