

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ

AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ

YÜKSƏK TƏHSİL İNSTİTUTU

Elyanə Rəhimova Sahib qızı

Rəfi Şahnamazzadə Zaur oğlu

**MOBİL RADİORABİTƏ SİSTEMLƏRİNİN SİQNALLARININ
KOOPERATİV ÖTÜRÜLMƏSİ ZAMANI MANEYƏDAVAMLILIĞIN
ARTIRILMASI ÜSULLARININ TƏHLİLİ**

mövzusunda

MAGİSTRİK DİSSERTASİYASI

İxtisas: 060627 – Elektronika, telekommunikasiya və radiotexnika mühəndisliyi

İxtisaslaşma: Şəbəkələr, rabitə sistemləri və informasiyanın paylanması

Elmi rəhbər: t.e.d., professor İbrahimov Bayram Qənimət oğlu

BAKİ-2024

AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ
YÜKSƏK TƏHSİL İNSTİTUTU

MAGİSTRANTIN ANDI

“ Mobil radorabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədavalılığının artırılması üsullarının təhlili” mövzusunda təqdim etdiyimiz magistrlik dissertasiyasını elmi tədqiqat normalarına və istinad qaydalarına tam riayət etməklə və istifadə etdiyim bütün mənbələri ədəbiyyat siyahısında əks etdirməklə yazdığımı and içirik və magistrlik dissertasiyasının AzTU Kitabxana İnformasiya Mərkəzində saxlanması, həmin mərkəz tərəfindən AzTU Rəqəmsal Repozitoriyasına daxil edilərək repozitoriyanın veb saytında yerləşdirilməsinə icazə veririk.

Adı, Soyadı , imza

Elyanə Rəhimova Sahib qızı

Adı, Soyadı, imza

Rəfi Şahnamazzadə Zaur oğlu

Tarix

MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ	4
I FƏSİL. NAQİLSİZ RABİTƏ TEXNOLOGİYALARI BAZASINDA GSM RABİTƏ SİSTEMLƏRİNİN TƏHLİLİ	11
1.1. Naqilsiz rabitə texnologiyaları bazasında mobil rabitə xidmətlərinin təhlili.....	11
1.2. Mobil rabitə şəbəkələrində GSM sisteminin texniki xarakteristikalarının təhlili.....	16
II FƏSİL. 5G/6G KOMÜNİKASIYA ŞƏBƏKƏLƏRİNİN ARXİTEKTURASI, XİDMƏTLƏRİ VƏ ƏSAS KONSEPSİYASI	28
2.1. 5G Mobil Şəbəkələr və onların ümumi xüsusiyyətləri.....	28
2.2. Mobil radio rabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədaşılığının tədqiqi.....	35
III FƏSİL. MOBİL RADİORABİTƏ SİSTEMLƏRİNDƏ SİQNALLARIN KOOPERATİV ÖTÜRÜLMƏSİ ZAMANI MANEƏDAVALILIĞIN ARTIRILMASI ÜSULLARIN TƏDQIQI	41
3.1. Mobil radiorabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədaşılığın göstəricilərinin tədqiqi.....	41
3.2. Mobil rabitə sistemlərində yeni texnologiyası bazasında maneəyə dayanıqlığın tədqiqi	50
3.3. Mobil radiorabitə sistemlərində siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədaşılığın üsulun tədqiqi.....	53
NƏTİCƏ	63
İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT	64

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Qlobal telekommunikasiya şəbəkəsi insan cəmiyyətinin yaşamasını təmin etmək üçün böyük texniki obyektidir. Bu şəbəkə, şəbəkə üzərindən ötürülən nəhəng, daim artan həcmdə informasiyanı ötürmək, saxlamaq və emal etmək üçün insanın ehtiyaclarına uyğun olaraq daimi inkişaf və təkmilləşdirmə tələb edir. Telekommunikasiya şəbəkəsinin fəaliyyəti trafik axınlarının xidmət keyfiyyətinə (QoS, Xidmətin Keyfiyyəti) və istifadəçi tərəfindən təqdim olunan xidmətlərin qəbul edilən keyfiyyətinə (QoE, Təcrübənin Keyfiyyəti) birbaşa təsir göstərir (Məmmədov, 2012 & İbrahimov, 2016).

Müasir telekommunikasiya texnologiyalarının inkişafı və telekommunikasiya sistemlərinin inkişafı şəbəkələrin layihələndirilməsi, qurulması və istismarı proseslərindən qabaqdadır və bu mərhələlərdə istifadəçilərə xidmətin keyfiyyəti ilə bağlı problemlər aşkarlanır. Bu səbəbdən, demək olar ki, texnologiyaların yaradılması ilə paralel olaraq tədqiqatlar aparılır, sistem modelləri hazırlanır, texnologiyaların istifadəsi üçün mümkün şəbəkə ssenariləri qiymətləndirilir, yeniləri yaradılır, mövcud metodlar və hətta nəzəriyyələr hazırlanır və dəyişdirilir. Yeni şəbəkələrin və rabitə xidmətlərinin performansının modelləşdirilməsi və təhlili (İbrahimov, 2012 & İbrahimov, 2021).

2020-ci ilin əvvəllərində beynəlxalq standartlar təşkilatı 5-ci nəsil şəbəkə standartlarının (5G, 5-ci Nəsil, Generation) hazırlanmasını başa çatdırdılar. İstehsalçılar avadanlıq və proqram təminatı istehsal etdilər və operatorlar şəbəkələrin kommersiya istismarına başladılar. Son onillikdə elmi ictimaiyyət intensiv tədqiqatlar aparmış və yeni telekommunikasiya sistemlərinin işini təhlil etmək üçün model və metodlar işləyib hazırlamışdır.

Mobil rabitə nəsillərinin texnoloji dövrü təxminən 10 il nəzərdə tutulmuşdur. 2020-2021-ci illərdə kommersiya 5G şəbəkələrinin kütləvi şəkildə istifadəyə verilməsi məqsədi ilə təxminən 2011-ci ildən bütün dünyada 5G simsiz texnologiyalarını inkişaf etdirmək üçün çoxlu sayda təşkilat və konsorsiumlar yaradılmışdır və 2021-ci ildən 6-cı nəslin inkişafı ilə eyni proses baş verir. Mobil

texnologiyalar (6G). Bu dissertasiya işində 6G şəbəkələrinin qurulmasının əsas problemləri və xüsusiyyətləri təsvir edilmişdir. Sonuncu hissəsi mühüm aspektlərdən birinə, yəni terahertz tezlik diapazonunda 6G şəbəkələrinin radio çıxışına həsr olunub (Məmmədov, 2012 & Zhang; Gursoy, 2009 & Zhang; Cui, 2010).

Finlandiyanın Tampere Texnologiya Universitetinin (indiki Tampere Universiteti, TAU) rabitə mühəndislərindən və Rusiyanın Xalqlar Dostluğu Universitetinin (RUDN) tətbiqi riyaziyyatçılarından ibarət alim və ekspertlər qrupunun rəhbərlik etdiyi komanda 5G/6G simsiz şəbəkələr sahəsi haqqında araşdırmalar aparırdı. Bu müddət ərzində tədqiqat mövzusu üzrə komanda üzvləri elmi dərəcə almaq üçün dörd doktorluq və ondan çox, elmlər namizədi alimlik dərəcəsi və texnika elmləri doktoru alimlik dərəcəsi almaq üçün dörd doktorluq dissertasiyası və ondan artıq dissertasiya müdafiə etmişlər (Склярин, 2015 & Зайцев; Петров, 2014).

JCR - Science Edition impakt faktoruna görə birinci, ən yüksək kvartildə (Q1) yer alan elmi jurnallarda yüzdən çox məqalə dərc olunub (onlardan tam yüzünü istinad siyahısına daxil etdik), iyirmidən çox tədqiqat layihəsi var. bu sahədə nəşr edilmişdir. 4G/5G/6G şəbəkələri tətbiq edilib. Kitab RUDN, HSE (Ali İqtisadiyyat Məktəbi) və TAU (Tampere Universiteti)-də müəlliflər tərəfindən tədris olunan simsiz texnologiyalar və 5G şəbəkələri üzrə müxtəlif ixtisaslaşdırılmış kursların mühazirə bölmələrini əhatə edir (Федоров; Михайлов, 2015 & İbrahimov, 2021].

Müxtəlif nəşrdə praktiki məşğələlər və laboratoriya işləri üçün metodik materiallar və dərsliklər yoxdur və yalnız bu səbəbdən müəlliflər onu tam hüquqlu dərslik kimi yerləşdirmirlər.

Tədqiqatda göstərilən simsiz şəbəkələrin səmərəlilik göstəricilərinin tədqiqi prosesi aydın şəkildə təkrarlanır və aşağıdakı şəkildə təqdim olunur.

Əvvəlcə simsiz texnologiyayı təhlil etmək təklif edildi. Onun tətbiqi üçün xüsusi, həm də çox ümumi ssenarini araşdırıldı. Bir tərəfdən, ssenari istifadəçilərin şəbəkə resurslarına gələcək ehtiyaclarını əks etdirməlidir, əks halda bu, aktual olmazdı, digər tərəfdən isə hələ öyrənilməmiş 5G şəbəkələri haqqında məlumatı mümkün qədər özündə çox əks etdirməlidir. Hələ həyata keçirilməmiş və ya demək

olar ki, heç vaxt görülməmiş, yəni tədqiqatda həll olunan problemlər yeni olmalıdır və ya əvvəllər heç vaxt ifadə edilməmişdirsə, o zaman, necə deyərlər, ultranova.

Ssenari qərarlaşdırıldıqdan sonra, ikinci addım olaraq signalın yayılması modeli, mərhələli massiv antena modeli, görmə xəttinin bloklanması modeli və rabitə kanalı kimi ssenariyə uyğun gələn 5G şəbəkələrinin komponentlərini özündə birləşdirən sistem modeli yaradılır (Məmmədov, 2012 & Башарин, 2019 & Гайдамака, 2020).

Baxılan parametrlər modeli, giriş modeli, abunəçi xidməti modeli və bəlkə də digər modellər. Mümkünsə, hazır modellər əsas götürülür, lakin davam edən vacib olan çox vaxt müstəqil dəyərə malik sistem modelinin hazırlanmasıdır. Sistem modelinin performans göstəricilərini təhlil etmək üçün ehtiyacdən asılı olaraq üç əsas modelləşdirmə metodundan istifadə olunur (İbrahimov, 2016):

- Analitik və ya statistik (Monte Karlo üsulu) modelləşdirmə;
- Simulyasiya modelləşdirməsi.
- Laboratoriya avadanlıqlarından istifadə edərək ölçmələrin yerinə yetirilməsi.

Disertasiya işində biz real şəraitdə tam miqyaslı təcrübəni əhatə etmirik, nadir hallarda ölçmələrə toxunur və əsasən analitik, statistik və simulyasiya modellərini əhatə edirik.

Nəhayət, üçüncüsü, tədqiq olunan ssenariyə və işlənib hazırlanmış sistem modelinə uyğun olaraq simsiz texnologiyadan istifadə üçün modellərin yaradılması, onların təhlili və maraq doğuran xüsusiyyətlərin hesablanması üsullarının işlənib hazırlanması mərhələsi gəlir.

İstifadəçi sorğu axınlarının təsadüfi xarakterinə, istifadəçi seanslarının təsadüfi müddətlərinə və işğal edilmiş şəbəkə resurslarının təsadüfi miqdarına görə modelləşdirmə əksər hallarda ehtimal nəzəriyyəsinin müxtəlif hissələrinin aparatlarına, ilk növbədə növbə nəzəriyyəsinə və Markov nəzəriyyəsinə əsaslanır.

Təsadüfi proseslər, nöqtə təsadüfi proseslər və stoxastik həndəsə üsulları Model təhlili üsulları xətti cəbrin matris üsulları da daxil olmaqla digər riyazi fənlər tərəfindən istifadə olunur. Tədqiqatlar göstərdi ki, növbə nəzəriyyəsi baxımından resurs növbə sistemləri adlanan modellər tələb olunur. Bu sistemlər, məsələn, 5G

New Radio (5G NR) standartının şəbəkələrində radio resurslarının təmin edilməsi və bölünməsi proseslərini optimal şəkildə müəyyən etməyə imkan verir (Agiwal et al., 2021 & David; Berndt, 2020 & Ericson et al., 2021).

Şəbəkə texnologiyalarının inkişafı ilə bağlı proqnozlar modellərə gələcəkdə tələbat olacağını göstərir və bunun üçün teletrafikanın riyazi nəzəriyyəsi üzrə mütəxəssislər artıq quyruq resurs sistemləri nəzəriyyəsinin əsaslarını qoyublar. Bu modellərə kosmosda istifadəçilərin və cihazların yerləşməsi, onlar arasında ixtiyari məsafələr, antenaların və qurğuların konfigurasiyası, yüksək tezlikli texnologiyalar olduqda, ötürülməyə mane olan maneələrin konfigurasiyası (blokatorlar adlanır) və digər modelləşdirmə daxildir.

Təhlil edilən parametrlər digər mənbələrdə göstərildiyi kimi, cisimlərin təsadüfi düzülüşü nəzərə alınmaqla həndəsi və stoxastik həndəsə baxımından müəyyən edilə bilər. Beləliklə, simsiz şəbəkələrin stoxastik təhlili nəzəriyyəsi adlandırdığımız və onun 5G/6G şəbəkələrinə tətbiqinin müxtəlif aspektlərini göstərən yeni bir intizam yaranır (Prinima et al., 2016 & Mohammad et al., 2022 & Lu et al., 2019).

Beləliklə, disertasiya işi: 5G/6G şəbəkələrinin əsas texnologiyaları üçün əlçatan bələdçi, digər tərəfdən isə konkret ssenarilər və sistem modelləri çərçivəsində onların xüsusiyyətləri ilə bağlı fəaliyyət göstəricilərinin təhlili və hesablanması üsullarının ardıcıl təqdimatı təmsil edir. Eyni zamanda simsiz şəbəkələrin stoxastik modelləşdirmə nəzəriyyəsinin tətbiqinin əsas texnikaları və prinsipləri haqqında məlumat verilir.

Yuxarıda aparılmış təhlilləri nəzərə alaraq, qeyd etmək olar ki, mobil radorabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədavalılığının artırılması üsullarının təhlili idarəetmə sistemlərində, telekommunikasiya şəbəkələrində və informasiya sistemlərində böyük aktuallığa malikdir.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri – işin əsas məqsədi mobil radorabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədavalılığının artırılması üsullarının təhlili və tədqiqəndən ibarətdir.

Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı əsas **vəzifələr** müəyyən edilmişdir:

1. Mobil rabitə sistemlərində şanverici və qəbuledici qurğuların parametrlərinin tədqiqi;
2. Naqilsiz rabitə texnologiyaları bazasında kanalların tezlik xarakteristikalarının tədqiqi;
3. Naqilsiz rabitə texnologiyalarında istifadə olunan modulyasiya tiplərinin seçilməsi və tədqiqi;
4. Mobil radiorabitə sistemlərində siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədaşılığının artırılması üsulları tədqiqi və hesablama üsulunun hazırlanması.

Xüsusi ilə qeyd etmək lazımdır ki, dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş iki vacib kompleks məsələnin birgə həlli və onların vəhdəti, həmçinin Rabitə üzrə Beynəlxalq Telekommunikasiya İttifaqının (ITU-T), elmi-tədqiqat institutlarının qarşısında duran daima və strateji planda nəzərdə tutulan global və mürəkkəb problemlə məsələlərdən hesab edilir.

Tədqiqatın obyekt - mobil rabitə sistemlərinin kanalları, verici və qəbuledici qurğularıdır.

Tədqiqatın predmeti mobil rabitə sistemlərində siqnalların qəbulu zamanı maneəyədavamlılığının yüksəldilməsi üsulları və vasitələridir.

Tədqiqatın nəzəri-metodoloji əsasları. Mobil radiorabitə sistemlərində siqnalların birgə qəbulu üçün uzun müddət aparılmış ədəbiyyat araşdırmalarının nəticəsi göstərir ki, dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş və həlli tələb olunan problem - naqilsiz rabitə texnologiyaları bazasında çoxxidmətli telekommunikasiya sistemlərində iki vacib kompleks məsələnin qarşılıqlı əlaqəli və vəhdət şəklində həlli istiqaməti ilə sıx bağlıdır:

- Simsiz rabitə texnologiyaları əsasında mobil radiorabitə sistemlərində siqnalların kooperativ qəbulu zamanı maneəyədayanıqlığın yüksəldilməsi üsullarının tədqiqi və hesablama üsulunun hazırlanması;

- Xarici və daxili maneə mənbələrinin təsirini nəzərə almaqla mobil radiorabitə sistemlərində siqnalların kooperativ qəbulu zamanı siqnal-küy nisbətinin və səhv ehtimalının qiymətləndirilməsi üçün planlaşdırma məsələlərinin təhlili.

Aparılmış tədqiqat və təhlillər nəticəsində aşkar olunan hər iki məsələnin qarşılıqlı və effektiv həlli üçün mobil çoxxidmətli telekommunikasiya sistemlərində geniş spektrə malik rəqəmli çoxmövqeli faza və kvadratik amplitud modulyasiya sxemlərinin seçilməsi və yüksək maneəyədavamlı korreksiyaedici kodlama üsullarının və imtinaya qarşı dayanıqlı hesablama üsullarının işlənməsi qarşıda duran perspektiv və mühüm istiqamətlərdən biri hesab edilir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

1. Mobil radiorabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədavalılığının artırılması üsulları təhlil edilərək, maneə mənbələri tədqiq edilmişdir;

2. Xarici və daxili maneə mənbələrinin təsirini nəzərə almaqla, mobil radiorabitə sistemlərində siqnalların qəbulu zamanı kanalın çıxışında siqnal-küy nisbəti və səhv ehtimalının qiymətləndirilməsi üçün hesablama üsulunun işlənilməsi.

Nəticələrin elmi-praktiki əhəmiyyəti. Naqilsiz rabitə texnologiyası bazasında mobil şəbəkələrinin maneəyədayanıqlığının tədqiqi üsul və vasitələri, siqnalların qəbulu zamanı demodulyatorun çıxışında siqnal-küy nisbəti və səhv ehtimalının qiymətləndirilməsi üçün hesablama üsulu Elm və Təhsil Nazirliyinin müvafiq informasiya və telekommunikasiya texnologiyaları yönümlü universitetlərin tədris prosesində və uyğun dərslərin, dərslər vəsaitlərin hazırlanmasında istifadə oluna bilər, həmçinin tədqiqat işinin nəticələri rabitə və idarəetmə sistemlərinin problemləri ilə məşğul olan tədqiqatçılar üçün faydalı ola bilər.

Dissertasiya işinin praktiki nəticələrini xidmət sferasında paket kommutasiyalı mobil telekommunikasiya sistemləri və şəbəkələrinin abunəçilərə göstərdikləri multimedialı xidmətlərin keyfiyyət göstəricilərini

təhlil və qiymətləndirmək üçün geniŐ istifadə oluna bilər.

Dissertasiya iŐinin strukturu və həcmi. Dissertasiya giriŐ,    fəsil, nəticə, istifadə edilmiŐ  d biyyat siyahısından ibarətdir.

FƏSİL 1. NAQİLSİZ RABİTƏ TEXNOLOGİYALARI BAZASINDA GSM RABİTƏ SİSTEMLƏRİNİN TƏHLİLİ

1.1. Naqilsiz rabitə texnologiyaları bazasında mobil rabitə xidmətlərinin təhlili

Mobil Rabitə üçün Qlobal Sistem qısaldılmış GSM rəqəmsal mobil rabitə sistemidir. O, mobil rabitə üçün ümumi Avropa standartı yaratmaq məqsədi ilə hazırlanıb, lakin tezliklə bütün dünyada qəbul olunub. GSM istifadəçilərə analoq mobil şəbəkələrdə mövcud olan geniş çeşidli xidmətlər və funksiyalar təqdim etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur və mənim vəziyyətimdə, köhnə ictimai kommunikasiya edilmiş telefon şəbəkələrini (PSTN) xeyli üstələyir. Rəqəmsal ötürmə ilə yanaşı, GSM digər GSM şəbəkələri üzərindən dünya miqyasında roaming kimi bir çox qabaqcıl xidmət və funksiyaları özündə birləşdirir.

GSM tərəfindən göstərilən xidmətlərlə tanış olaq (Agiwal et al., 2021).

GSM-də xidmətlər dörd sinfə bölünə bilər:

- Daşıyıcı xidmətləri
- Telexidmətlər
- Əlavə xidmətlər
- Əlavə Dəyərli Xidmətlər

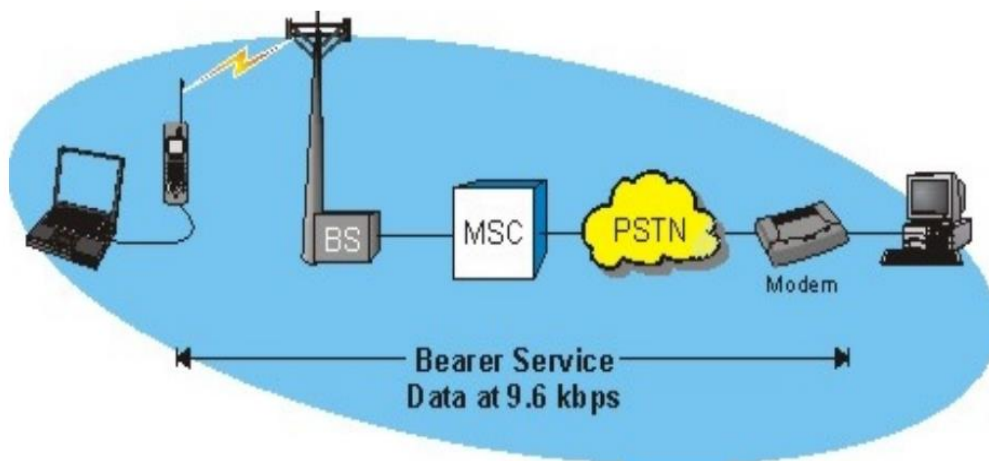
Media istifadəçi məlumatlarını ötürmək və iki avadanlıq arasında siqnalları idarə etmək üçün istifadə olunan telekommunikasiya xidmətləridir. Media xidmətləri aşağı sürətli mesajlardan (300 bps) çox yüksək sürətli məlumat siqnallarına (10+ Gbps) qədər dəyişə bilər. Daşıyıcı xidmətlər ümumiyyətlə məlumat ötürmə xüsusiyyətlərinə, xidmətə çıxış üsullarına, qarşılıqlı fəaliyyət tələblərinə (digər şəbəkələrlə) və digər ümumi xüsusiyyətlərinə görə təsnif edilir. İnformasiya xassələrinə verilənlərin sürəti, məlumat axınının istiqamət(ləri), məlumat ötürülməsi

növü (kanal və ya paket) və digər fiziki xassələr daxildir. Giriş üsulları media xidmətinin sistem administrasiyasının hansı hissələrinə təsir edə biləcəyini müəyyən edir (Məmmədov, 2012, s. 24-26).

Bəzi nəqliyyat xidmətləri müxtəlif növ şəbəkələrdən keçməlidir (məsələn, simsiz və simli) və məlumat və nəzarət məlumatı şəbəkənin növündən asılı olaraq tənzimlənməlidir. Digər ümumi xüsusiyyətlər xidmətin minimum keyfiyyət səviyyəsini və ya müdaxilə səbəbindən xidmət dayandırıldıqdan sonra daşıyıcı xidmətinin avtomatik bərpası kimi xüsusi şərti prosedurları müəyyən edə bilər.

Telefon sistemi vasitəsilə mövcud olan bəzi daşıyıcı xidmətləri kateqoriyalarına sinxron və asinxron məlumat, paket məlumatı və alternativ səs və məlumat daxildir.

İndi isə transfer xidməti əməliyyatına baxaq və tanış olaq. Əyani təsvir kimi ilk növbədə şəkil 1.1 - də qeyd olunan transfer xidmətinin istismarını təhlil edək (İbrahimov, 2012 & Zhang; Cui, 2010).



Şəkil 1.1. Transfer xidmətinin istismarı.

Bu rəqəm məlumat xidmətini göstərir. Bu sxemdə müştəri ümumi telefon şəbəkəsinə qoşulmuş kompüterə (ofisdə) məlumat faylı göndərmək qərarına gəlir. Bu misalda media xidməti 9.6 kbps-də dövrə dəyişdirilmiş məlumatdır. Müştəri laptopunu telefon şəbəkəsinə uyğunlaşdırmaq üçün modemdən istifadə edir. Noutbuk

modem vasitəsilə ofis kompüterinin telefon nömrəsini yığır. Telefon sistemi bu zəngi ofis kompüterini telefon şəbəkəsinə birləşdirən modemə yönləndirir.

Ofis kompüterinin modemi zəng qəbul etdikdə, müştərinin modemi 28,8 kbps kanalı üzərindən birbaşa telefon xətti ilə məlumat ötürməyə başlayır. Telefon sisteminin məlumat xidməti məlumatı yalnız 9,6 kbps sürətlə çatdırdığından, uç-to-end ötürülməsi 9,6 kbps-ə təyin ediləcək.

Teleservis məlumatların daşınması üçün nəqliyyat xidmətinin imkanlarından istifadə edir, hansı imkanların tələb olunduğunu və onların necə konfigurasiya edilməli olduğunu müəyyən edir.

GSM tərəfindən dəstəklənən ən əsas TV xidməti telefondur. Buraya 13Kbps tam sürətli nitq və üç rəqəmi yığmaqla ən yaxın təcili xidmət təminatçısını xəbərdar edən təcili zənglər daxildir. Təcili yardım xidmətinin ən sadə nümunəsi ABŞ-da mövcud olan 911 xidmətidir (Məmmədov, 2012, s. 6-10).

Mobil rabitə üçün video transkript və faks nəzərdən keçirək.

Telexidmətlərin digər qrupuna video mətnə çıxış, telemekst ötürülməsi, alternativ danışmaq və 3-cü qrup faks, avtomatik qrup 3 faks və s. ehtiva edir.

SMS (Qısa Mesaj Xidməti) GSM mobil telefonu vasitəsilə mətn mesajları göndərməyə və qəbul etməyə imkan verən qısa mesaj xidmətidir. İstifadəçi tərəfindən yaradılan sadə mətn mesajlaşma xidmətlərindən əlavə, bu gün dünyanın bir çox GSM şəbəkələrində mövcud olan xidmətlərə xəbərlər, idman, maliyyə, dil və geolokasiya xidmətləri, həmçinin səhmlər və birja qiymətləri kimi mobil ticarətin ilk nümunələri daxildir. mobil bankçılıq və əyləncə sifariş xidmətləri.

Əlavə xidmətlər TV və ya operator xidmətlərinə əlavə olaraq təqdim edilir və bunlara zəng edənin identifikatoru, zəng yönləndirilməsi, zəng gözləməsi, çoxtərəfli zənglər və gedən (beynəlxalq) zənglərin bloklanması kimi funksiyalar daxildir, lakin bunlarla məhdudlaşmır. Əlavə xidmətlərin qısa təsviri burada təqdim olunur:

Çoxtərəfli xidmət və ya konfrans zəngi. Çoxtərəfli xidmət mobil abunəçiyə çoxtərəfli söhbət etməyə imkan verir. Bu, üç və ya daha çox abunəçi arasında konfrans zəngi təşkil etmək üçün eyni vaxtda edilən zəngdir. Bu xidmət yalnız müntəzəm olaraq mövcuddur telefon.

Zəng Gözləmə: Bu xidmət mobil abunəçiyə zəng zamanı daxil olan zəng barədə bildiriş almağa imkan verir. Abunəçi gələn zəngə cavab verə, rədd edə və ya rədd edə bilər. Zəng gözləməsi dövrəli keçiddən istifadə edən bütün GSM telekommunikasiya xidmətlərinə aiddir.

Zəngin saxlanması: Bu xidmət abunəçiyə daxil olan zəngi gözləməyə almağa və sonra həmin zəngi davam etdirməyə imkan verir. Zəng gözləmə xidməti yalnız adi telefon rabitəsi üçün mövcuddur.

Zəngin yönləndirilməsi. İsteğe bağlı zəng yönləndirmə xidməti ilkin alıcıdan başqa nömrəyə zəngləri yönləndirmək üçün istifadə olunur və adətən abunəçi tərəfindən konfigurasiya edilir. Abunəçi mobil stansiyadan abunəçiyə əlçatmaz olduqda zəngləri yönləndirmək üçün ondan istifadə edə bilər və bununla da zənglərin tərk edilməməsini təmin edə bilər. Tipik ssenari: Satıcı alıcılarla görüşərkən mobil telefonunu söndürür, lakin o, mövcud olmadığı müddətdə potensial müştərilərini itirmək istəmir.

Zəngin bloklanması. Müəyyən növ axtarışların qadağan edilməsi konsepsiyası xidmətdən daha çox əlavə pislilik kimi görünə bilər. Bununla belə, abunəçinin mobil stansiyanın faktiki istifadəçisi olmadığı və nəticədə hesablanmış xərcləri məhdudlaşdırmaq üçün onun funksionallığını məhdudlaşdırmaq istəyə biləcəyi vəziyyətlər var. Alternativ olaraq, əgər abunəçi və istifadəçi eyni istifadəçidirsə, zənglərin bloklanması zənglərin beynəlxalq istiqamətlərə yönləndirilməsini dayandırmaq üçün faydalı ola bilər. Çünki beynəlxalq zənglərin marşrutunun dəyişdirilməsi üçün çəkilən xərclərin rouminq abunəçisi tərəfindən ödənilməsi gözlənilir. Beləliklə, GSM abunəçiyə zəngləri şərti olaraq bloklamağa imkan verən çevik xidmətlər hazırlayıb.

Nömrənin identifikasiyası: Nömrənin eyniləşdirilməsi ilə bağlı aşağıdakı əlavə xidmətlər mövcuddur (İbrahimov, 2016, s. 5-10):

Zəng edənin Xətti ID Görünüşü. Bu xidmət haqqında Zəng edənin telefon nömrəsinin təqdimatı. İdeya ondan ibarətdir ki, bu nömrə telefon zənginin əvvəlində göstərilir ki, zəng edən şəxs cavab verməzdən əvvəl kimin zəng etdiyini müəyyən edə bilsin. Xidmətə qoşulan şəxs zəng edənin telefon nömrəsini alır.

Zəng xəttinin identifikasiyası məhdudiyyəti: Bu xidmət nömrəsinin başqaları tərəfindən bilinməsini istəməyən şəxs tərəfindən qeydiyyatla alınır. Tipik olaraq tənzimləmə xidməti çatdırılma xidmətinə üstünlük verir.

Qoşulmuş Xəttin İdentifikasiyası Təqdimatı: Bu xidmət zəng edən tərəfə qoşulduğu şəxsin telefon nömrəsini təqdim etmək üçün təqdim olunur. Bu qəribə görünə bilər, çünki zəng edən şəxs zəng edilən nömrəni bilməlidir, lakin qoşulmuş nömrənin zəng edilən nömrə ilə eyni olmadığı hallar var (məsələn, zəng yönləndirilməsi). Xidmətə abunə olan şəxs zəng edən tərəfdir.

Qoşulmuş Xəttin İdentifikasiyası Məhdudiyyəti: Zəng edən şəxsin nömrəsinin verilməsini istəmədiyi və ona görə də həmin kontakta abunə olduğu vaxtlar olur. Bu, adətən təqdimat xidmətini ləğv edir.

Zərərli zənglərin müəyyən edilməsi. Zərərli Zənglərin İdentifikasiyası Xidməti ədəbsiz və ya zəhlətökən zənglərin yayılması ilə mübarizə aparmaq üçün təqdim olunur. Qurban bu xidmətə abunə olmalıdır, sonra sadə bir əmrlə o, GSM şəbəkəsində məlum zərərli zəngləri aşkarlaya biləcək. Bu müəyyən edilmiş nömrə daha sonra fəaliyyət üçün müvafiq orqanla paylaşıla bilər. Bu xidmətin tərifi qərarlıdır.

Xərc haqqında bildiriş (XQB): Bu xidmət abunəçiyə xidmətlərdən istifadə zamanı onların dəyəri haqqında məlumat vermək üçün nəzərdə tutulub. Bundan əlavə, öz abunəçi identifikasiya modulu (SİM) olmayan abunəçilərə icarə xidmətləri təklif etmək istəyən xidmət təminatçıları bu xidmətdən bir qədər fərqli şəkildə istifadə edə bilərlər. Data zəngləri üçün XQB zaman ölçülərinə uyğun olaraq verilir.

Qapalı İstifadəçi Qrupları (QİB): Bu, GSM-də abunəçi qruplarına yalnız bir-birinə zəng etmək imkanı verən xidmətdir. Bu xidmət növü xüsusi endirimlə təklif olunur və yalnız bir-biri ilə ünsiyyət qurmaq istəyən üzvlər üçün nəzərdə tutulub.

1.2. Mobil rabitə şəbəkələrində GSM sisteminin texniki xarakteristikalarının təhlili

Müasir dövrdə yeni NGN və gələcək nəsil FN rabitə şəbəkələrinin arxitektura konsepsiyasının sürətli inkişafına olan təlabatı nəzərə alan ITU-T məlum olduğu kimi XXI əsr informasiya texnologiyaları və bütövlükdə informasiyalaşdırma əsr kimi qiymətləndirmişdir. Çünki informasiya cəmiyyətinin bütövlükdə dinamik inkişafı rabitə sahəsində yeni və innovativ telekommunikasiya texnologiyalarının işlənilməsi və tətbiqi olmadan təsəvvür edilə bilməz.

Məhz buna görə həm dünyada, həm də Respublikamızda Rəqəmli iqtisadiyyata transformasiya olunan telekommunikasiya, radiotexnika, kompüter və informasiya texnologiyalarının inkişafına xüsusi diqqət yetirilir. Bunların arasında xüsusi çəkiyə malik olanı- telekommunikasiya GSM (Global System for Mobile Communications) sistemləri və texnologiyaları hesab olunur (David et al., 2020).

Vahid informasiya infrastrukturunun yaradılmasında telekommunikasiya sistemləri və naqilsiz rabitə texnologiyaları həlledici bölmə (məqə) olub və Rəqəmli iqtisadiyyata keçid və strateji “Yol xəritəsinin” hazırlanmasında mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Telekommunikasiya sistemlərində naqilsiz rabitə texnologiyalarını aşağıdakı əsas əlamətlərə görə təsnif etmək olar (Məmmədov, 2012, s. 18-21):

- İlkin informasiyanın emalı üsuluna görə;
- Veriliş kanalının zolağının genişliyinə görə;
- Abunəçilərin yerləşməsinə görə;
- Ölcüsünə görə və ötürülən informasiyanın tipinə görə.

İndi isə GSM sisteminin xüsusiyyətləri və mobil şəbəkə üçün texniki xarakteristikaları nəzərdən keçirək:

şəbəkəsi üçün sistem xüsusiyyətləri:

Tezlik diapazonu: Uplink: 890-915 MHz

Aşağı keçid: 935–960 MHz

Təkmilləşdirilmiş GSM: Uplink: 880–890 MHz

Aşağı əlaqə: 925-825MHz

Dupleks məsafəsi: 45 MHz

Operator bölgüsü: 200 kHz (ilk karyera 890,2 MHz)

Modulyasiya: KAM, QPSK

Havadan ötürmə sürəti: 270 Kbps.

Giriş üsulu: TDMA

Nitq kodlayıcısı: RPE-LTP-LPK (Nəbz muntəzəm stimullaşdırılması)

-Uzunmüddətli proqnoz

-Xətti proqnozlaşdırıcı kodlayıcı)

DCS şəbəkələri üçün sistem spesifikasiyası tezlik diapazonu və dupleks məsafəsi istisna olmaqla eynidir. Yuxarı əlaqə 1780-1785 MHz, aşağı əlaqə isə 1805-1880 MHz olaraq qeyd edilmişdir. Dupleks məsafəsi 95 MHz-dir. Rəqəmsal sistemin yaradılmasına qərar verildikdə, GSM qrupu giriş metodu və bant genişliyi barədə qərar verməli idi.

Rəqəmsal sistem TDMA-dan (Time Division Multiple Access) istifadə etdi, burada hər bir daşıyıcı səkkiz vaxt intervalına bölünür. Səyyar stansiya eyni vaxt intervalında ötürür və qəbul edir. Bu o deməkdir ki, bir mühitdə səkkiz eyni vaxtda söhbət aparıla bilər.

Rəqəmsal sistemlərdə davamlı ötürmə lazım deyil, çünki istifadəçilər həmişə ayrılmış bant genişliyindən istifadə etmirlər. Belə hallarda TDMA FDMA-ya pulsuz giriş üsuludur. Mobil Rabitə üçün Qlobal Sistemlər (GSM) TDMA metodundan istifadə edir. TDMA-da bütün bant genişliyi istifadəçi üçün əlçatandır, lakin məhdud müddətə. Əksər hallarda, mövcud bant genişliyi FDMA ilə müqayisədə daha az kanala bölünür və istifadəçilərə bütün kanal genişliyinin onlar üçün əlçatan olduğu vaxt intervalları ayrılır (İbrahimov, 2012).

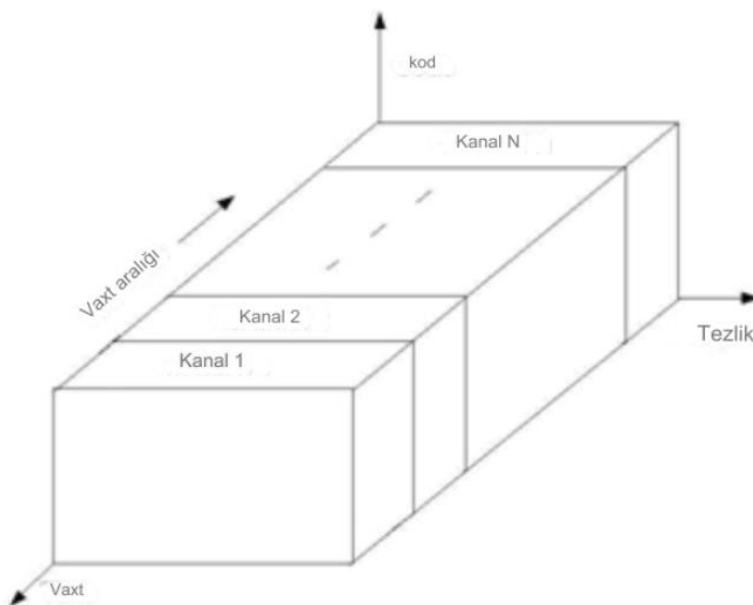
TDMA diqqətli vaxt sinxronizasiyasını tələb edir, çünki istifadəçilər bir domen üzrə bant genişliyini paylaşirlar. Kanalların sayı azdır və kanallar arasında müdaxilə demək olar ki, yoxdur. TDMA ötürmə və qəbul üçün müxtəlif vaxt intervallarından istifadə edir. Bu tip ikiistiqamətli rabitəyə vaxt bölgüsü dupleksi (TDD) deyilir.

TDMA-nın xüsusiyyətlərinə aşağıdakılar daxildir:

TDMA, hər bir istifadəçi üst-üstə düşməyən vaxt intervallarından istifadə etməklə, birdən çox istifadəçi ilə bir daşıyıcı tezliyini paylaşır. Çərçivədəki vaxt intervallarının sayı, modulyasiya üsulu, mövcud bant genişliyi və s. kimi müxtəlif amillərdən asılıdır (Адамы, 2010).

TDMA-da məlumatların ötürülməsi fasiləsiz deyil, partlayışlarda baş verir. Abunəçi ötürücü istifadə edilmədikdə söndürülə bildiyi üçün bu, aşağı batareya sərfiyyatı ilə nəticələnir. TDMA-da fasiləli ötürmə sayəsində abunəçi blokunun təhvil-təslim prosesi xeyli sadələşir, çünki o, boş fasilələr zamanı digər baza stansiyalarını dinləyə bilər.

TDMA ötürmə və qəbul üçün müxtəlif vaxt intervallarından istifadə edir, ona görə də dupleksləyicilərə ehtiyac yoxdur. TDMA-nın üstünlüyü ondan ibarətdir ki, müxtəlif istifadəçilərə hər kadrda fərqli sayda vaxt dilimləri ayrıla bilər. Bu yolla, prioritet əsasında vaxt intervallarını birləşdirərək və ya yenidən təyin etməklə, bant genişliyi tələb əsasında müxtəlif istifadəçilərə təqdim edilə bilər (İbrahimov, 2012 & Agiwal et al., 2021).



Şəkil 1.2. TDMA-nın əsas konsepsiyası.

Daha əvvəl müzakirə edildiyi kimi, GSM Avropada və dünyanın digər yerlərində geniş istifadə olunur. GSM, FDD ilə birlikdə TDMA-nın variasiyasından istifadə edir. GSM məlumatları rəqəmləşdirir və sıxışdırır və sonra onu hər biri öz vaxt intervalında olan iki istifadəçi məlumat axını ilə birlikdə kanal üzərindən göndərir. 900 MHz və ya 1800 MHz tezlik diapazonunda işləyir.

Bir çox GSM şəbəkə operatorlarınının xarici operatorlarla rouminq müqavilələri olduğundan, istifadəçilər müxtəlif ölkələrdə səyahət edərkən tez-tez mobil telefonlarından istifadə etməyə davam edə bilirlər.

Seçilmiş modulyasiya üsulu GMSK (Gaussian Minimum Shift Anahtaring) rəqəmsal siqnalların modulyasiyası ilə bağlı ən qabaqcıl texnologiyadır. Modulyasiya metodu haqqında ətraflı məlumat üçün digər ədəbiyyata müraciət olunur.

GSM texniki xüsusiyyətləri GSM şəbəkəsini təşkil edən müxtəlif bölmələrin funksiyalarını və interfeys tələblərini təsvir edir.

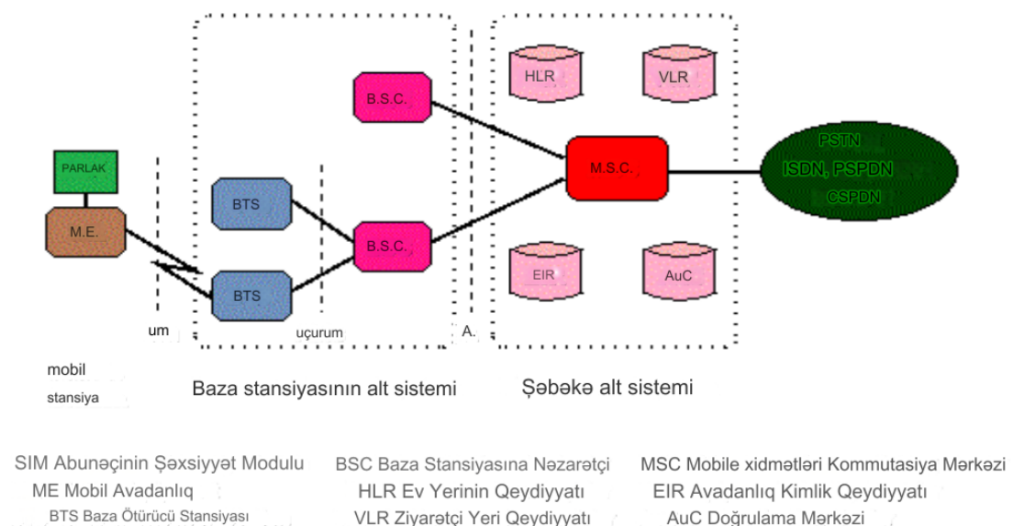
GSM şəbəkəsini dörd əsas hissəyə bölmək olar (İbrahimov, 2016).

Səyyar stansiya (MS)

Baza Stansiyası Abunəçisi (BSS)

Şəbəkə və Kommutasiya Alt Sistemi (NSS)

Əməliyyatlar və Dəstək Alt Sistemi (OSS)



Şəkil 1.3. GSM şəbəkəsinin arxitekturası və şəbəkə alt sistemləri

Mobil stansiya telefon, mobil cihaz, portativ terminal və ya mobil avadanlıq (ME) adlandırıla bilər. O, həmçinin adətən çıxarıla bilən və iki ölçüdə təqdim olunan Abunəçinin Şəxsiyyət Modulu (SIM) daxildir.

Hər bir SIM kartın IMSI (International Mobile Subscriber Identity) adlı unikal identifikasiya nömrəsi var. Bundan əlavə, hər bir MS-ə IMEI (Beynəlxalq Mobil Avadanlıq Kimliyi) adlı unikal aparat identifikatoru təyin edilir. Bəzi yeni proqramlarda (xüsusilə məlumat kommunikasiyalarında) MS, məsələn, GSM interfeysi kimi fəaliyyət göstərən terminal də ola bilər. noutbuk üçün. Bu yeni tətbiqdə MS normal GSM telefonu kimi görünür.

Cib telefonunun zahirən aşağı qiyməti məhsulun keyfiyyətsiz olması (yanlış) təəssüratı yarada bilər. Səs və məlumatların ötürülməsi və qəbulu üçün ötürücüdən (TRX) istifadə etməklə yanaşı, mobil telefon autentifikasiya, ötürmə, kodlaşdırma və kanalların kodlaşdırılması kimi çoxsaylı mürəkkəb işləri də yerinə yetirir.

Baza Stansiyasının Alt Sistemi (BSS) Baza Stansiyasının Alt Sistemi (BSS) Baza Stansiyasına Nəzarətçi (BSC) və Baza Ödənişçi Stansiyasından (BTS) ibarətdir. Baza Ötürücü Stansiyası (BTS): GSM mobil telefonları mobil şəbəkəyə qoşmaq üçün BTS adlı bir sıra radio ötürücülərdən istifadə edir. Onun vəzifələrinə kanalın kodlaşdırılması/şifrəsinin açılması və şifrələmə/şifrənin açılması daxildir. BTS radio ötürücü və qəbuledicilərdən, antenalardan, PCM cihazı ilə interfeysdən və s. ibarətdir (Mohammad et al., 2022).

BTS lazımi zənglərin işlənməsini təmin etmək üçün bir və ya bir neçə ötürücü daxil edə bilər. tutumu. Hüceyrələrin bir bölgəsi çoxşaxəli ola bilər və ya adətən üç yollu hüceyrələrə bölünə bilər. Baza Stansiyasına Nəzarətçi (BSC): BTS qrupu onlar üçün radio resurslarını idarə edən xüsusi BSC-yə qoşulur. Bugünkü yeni və ağıllı BTS, əvvəllər BSC tərəfindən yerinə yetirilən vəzifələrin əksəriyyətini öz üzərinə götürdü (Agiwal et al., 2021).

BSC-nin əsas funksiyası peyjinq xidmətidir. Mobil stansiyalar adətən hər 480 ms-dən bir BSC-yə qəbul edilmiş siqnal gücü hesabatını göndərirlər. Bu məlumatdan istifadə edərək, BSC digər hüceyrələrə ötürülməyə başlaya, BTS ötürücü gücünü dəyişdirə və s. qərar verir.

1. Mobil Kommutasiya Mərkəzi (MSC): Sabit şəbəkədə standart stansiya kimi çıxış edir və həmçinin mobil abunəçiyə xidmət göstərmək üçün tələb olunan bütün funksiyaları təmin edir (Lu et al., 2019). Əsas funksiyalar qeydiyyat, autentifikasiya, yerin yenilənməsi, həmçinin rouming abunəçisinə zənglərin ötürülməsi və yönləndirilməsidir. Şəbəkə altsistemində funksional obyektlər (registrlər) arasında siqnalizasiya 7 (SS7) siqnal sistemindən istifadə edir. Əgər MSC-nin digər şəbəkələrlə əlaqə saxlamaq üçün şlüz funksiyası da varsa, o, gateway MSC (GMSC) adlanır.

2. Ev Yerinin Reyestri (HLR): Mobil telefon abunəçilərini idarə etmək üçün istifadə olunan verilənlər bazası. Beynəlxalq Mobil Abunəçi İdentifikasiyası (IMSI), Mobil Stansiya ISDN Nömrəsi (MSISDN) və cari Ziyarətçi Yeri Qeydiyyatı (VLR) ünvanını saxlayır. Burada saxlanılan əsas məlumat hər bir mobil stansiyanın yerləşdiyi yerə aiddir; zəngləri hər bir HLR tərəfindən idarə olunan mobil abunəçilərə yönləndirmək. HLR həmçinin hər bir MS ilə əlaqəli xidmətləri dəstəkləyir. Bir HLR çoxlu MSC-yə xidmət göstərə bilər (İbrahimov, 2012).

3. Doğrulama Mərkəzi (AuC): Hər bir abunəçinin SIM kartında saxlanılan və simsiz autentifikasiya və şifrələmə üçün istifadə edilən şəxsi açarın surətini ehtiva edən təhlükəsiz verilənlər bazası.

4. AuC fırıldaqçılıqdan əlavə qorunma təmin edir. O, adətən GSM şəbəkəsindəki hər HLR-nin yanında yerləşir.

5. Equipment Identity Register (EIR): EIR, şəbəkədəki bütün aktiv mobil stansiya avadanlıqlarının siyahısını ehtiva edən verilənlər bazasıdır və hər bir mobil stansiya Beynəlxalq Mobil Avadanlıq İdentifikasiyası (IMEI) ilə müəyyən edilir. EIR üç verilənlər bazasına malikdir: ± Ağ siyahı: bütün tanınmış yaxşı IMEI-lər üçün. ± Qara siyahı: sınımış və ya oğurlanmış telefonlar üçün. ± Boz siyahı: naməlum nömrələri olan telefonlar/IMEI (Гайдамака, 2020).

OMC, GSM funksional bloklarına nəzarət edən idarəetmə sistemidir. OMC şəbəkə operatoruna GSM şəbəkəsinin qənaətbəxş işləməsini təmin etməyə kömək edir. Avadanlıq ehtiyatı və ağıllı səhv aşkarlama mexanizmləri şəbəkə kəsilmələrinin qarşısını almağa kömək edir. OMC, MSC, BSC və BTS-nin monitorinqi və

saxlanmasına cavabdehdir. O, bütün İctimai Yerüstü Mobil Şəbəkəyə (PLMN) və ya PLMN-nin yalnız hissələrinə cavabdeh ola bilər.

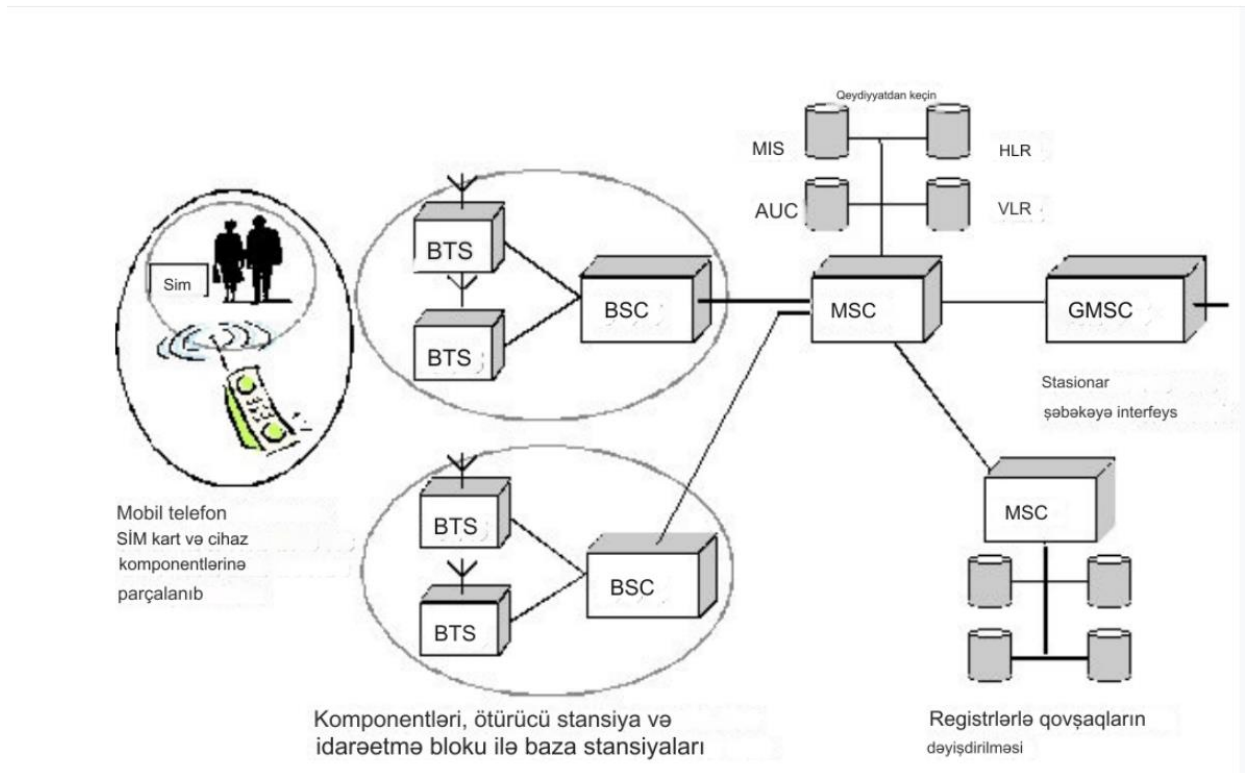
Radio kanalı üzərindən səs və ya məlumat ötürülməsinin keyfiyyətinin təmin edilməsi mobil mobil şəbəkənin funksiyalarının yalnız bir hissəsidir. GSM mobil telefonu ölkə daxilində və xaricdə problemsiz hərəkət edə bilər, bu da GSM şəbəkələrində standart zəng yönləndirmə və məkan yeniləmə funksiyalarını tələb edir. Xalq rabitə sistemi, həmçinin üçüncü tərəflər tərəfindən sui-istifadənin qarşısını almaq üçün güclü təhlükəsizlik mexanizmlərinə ehtiyac duyur. Doğrulama, şifrələmə və Müvəqqəti Mobil Abunəçi İdentifikatorlarının (TMSI) istifadəsi kimi təhlükəsizlik xüsusiyyətləri tamamilə vacibdir (Сластухина, 2021).

GSM mobil şəbəkədir, yəni mobil telefonlar yaxınlıqdakı hüceyrələrə zəng edərək ona qoşulur. GSM şəbəkəsində beş fərqli hüceyrə ölçüsü var: makro, mikro, piko, femto və çətir hüceyrələri. Hər hüceyrənin əhatə dairəsi ondan asılı olaraq dəyişir tətbiq mühiti.

Makro hüceyrələr baza stansiyasının antenasının dirəyə və ya orta dam səviyyəsindən yuxarı bir binaya quraşdırıldığı hüceyrələr kimi düşünülə bilər. Mikroelementlər antenanın hündürlüyü orta dam səviyyəsindən aşağı olan hüceyrələrdir; Onlar ümumiyyətlə şəhər yerlərində istifadə olunur. Piko hüceyrələri bir neçə on metr əhatə dairəsi olan kiçik hüceyrələrdir; Onlar əsasən qapalı yerlərdə istifadə olunur.

Femtocells evlərdə və ya kiçik biznes obyektlərində istifadə üçün nəzərdə tutulmuş hüceyrələrdir və genişzolaqlı İnternet bağlantısı vasitəsilə xidmət provayderinin şəbəkəsinə qoşulur. Umbrella hüceyrələri kiçik hüceyrələrin kölgəli sahələrini örtmək və bu hüceyrələr arasındakı örtük boşluqlarını doldurmaq üçün istifadə olunur.

GSM-də istifadə olunan modulyasiya Gauss minimum shift keying (GMSK), fasiləsiz faza tezliyi keçidinin bir növüdür. GMSK-da daşıyıcıda modulyasiya edilmiş siqnal tezlik modulyatoruna verilməzdən əvvəl əvvəlcə Gauss aşağı keçid filtrindən istifadə edərək hamarlanır; Bu, qonşu kanal müdaxiləsini (bitişik kanal müdaxiləsi) əhəmiyyətli dərəcədə azaldır (Agiwal et al., 2021).



Şəkil 1.4. Mobil şəbəkələrdə siqnalların zəng axınının struktur sxemi

Üçüncü nəsil (3G) telekommunikasiya şəbəkələri ən azı 200 Kbit/s məlumat ötürmə sürətini təmin edən xidmətləri dəstəkləyir. Bununla belə, 3G kimi reklam edilən bir çox xidmətlər 3G xidmətinin minimum texniki tələblərindən yüksək sürət təmin edir. Tez-tez 3.5G və 3.75G olaraq adlandırılan 3G-nin ən son versiyaları, həmçinin smartfon və noutbuklarda mobil modemlərə çox Mbit/s mobil genişzolaqlı çıxışı təmin edir.

3G simsiz səsli telefoniya, mobil İnternetə çıxış, sabit simsiz İnternetə çıxış, video zənglər və mobil TV proqramlarını tapır.

Simsiz şəbəkə texnologiyasının növbəti nəslə portativ qurğulara yüksək sürətli bant genişliyi (yüksək məlumat sürəti) təmin edən 3G-dir. Yüksək məlumat sürəti 3G şəbəkələrinə səs və məlumatları birləşdirən multimedia xidmətləri təqdim etməyə imkan verəcək (Abdel Hakeem et al., 2022).

Xüsusilə, 3G simsiz şəbəkələri aşağıdakı maksimum məlumat ötürmə sürətlərini dəstəkləyir:

- Sabit cihazlara 2,05 Mbit/s.

- Gedən istifadəçinin daşdığı telefon kimi yavaş hərəkət edən cihazlar üçün 384 Kbps.
- Hərəkət edən nəqliyyat vasitələrində cib telefonları kimi sürətli hərəkət edən cihazlar üçün 128 Kbps.

Bu məlumat sürətləri mütləq maksimumdur. Məsələn, sabit vəziyyətdə 2,05 Mbit/s sürət baza stansiyasının tam gücündən istifadə edən istifadəçiyə uyğundur. Səs trafiki olduqda bu məlumat sürəti xeyli aşağı olacaq (faktiki məlumat sürəti davam edən zənglərin sayından asılı olacaq).

Mobil cihazlar üçün maksimum məlumat ötürmə sürəti 128 Kbit/s, mövcud 2G simsiz şəbəkələrindən təxminən on dəfə sürətlidir. 3G şəbəkələrindən fərqli olaraq, 2G şəbəkələri məlumatı deyil, səsi daşımaq üçün nəzərdə tutulub.

3G simsiz şəbəkələri birləşdirilmiş səs və məlumat xidmətlərini təmin etmək üçün kifayət qədər gücə malikdir. 3G xidmətləri üstün səs keyfiyyətini, yüksək sürətli mobil IP xidmətlərini, informasiya texnologiyalarını, multimedia imkanlarını mükəmməl birləşdirəcək və müxtəlif məzmun təqdim edəcək.

Təklif olunan 3G xidmətlərinin bəzi xüsusiyyətləri bunlardır:

- Həmişə bağlıdır. 3G şəbəkələri paket əsaslı IP bağlantısından istifadə edir.
- Audio və video axınını daxil edən multimedia xidmətləri.
- PowerPoint faylları kimi tam əlavələri olan e-poçtlar.
- Video/audio kliplərlə ani mesajlaşma.
- Faks və PowerPoint faylları kimi böyük faylları sürətlə endirin.
- Korporativ proqramlara giriş.

3G texnologiyasının qısa təsviri və bəzi texniki xarakteristikaları.

Genişzolaqlı CDMA-da texnologiya konvergensiyası

□ CDMA 2000

◦ IS-95-in CDMA varisi, 4 əsas standart – 1xRTT, 1x EV-DO, 1x EV-DV, 3xRTT

◦ 1xRTT IS-95-dən iki dəfə çox səs tutumu və ən sürətli məlumat sürətini təmin edir 144 kbit/s

- EV-DO Rev A 3.1 aşağı keçid / 1.8 yuxarı bağlantı (adətən 800 Kb/s) yüksək məlumat sürətini təmin edir.

UMTS

- CDMA şəbəkəsində siqnal-mancə nisbəti, $SNR(E_b, P_s) = 3.5, \dots, 6.0$ dB.
- 1920 kbps-ə qədər yüksək məlumat sürəti (adətən 384 kbps)
- 14,4 Mbit/s-ə qədər ən sürətli HSDPA məlumat sürəti.

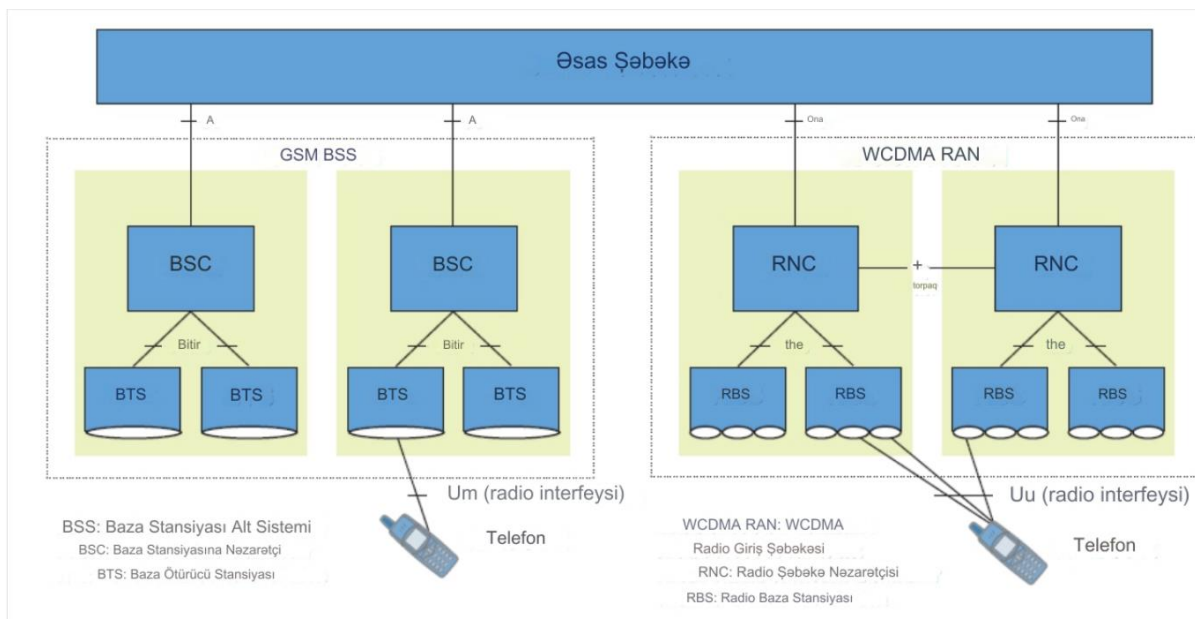
Təbii ki, WCDMA və GSM sistemləri arasında çoxlu fərqlər olsa da, oxşar cəhətlər də çoxdur. GSM Baza Stansiya Alt Sistemi (BSS) və WCDMA Radio Giriş Şəbəkəsi (RAN) telefona radio bağlantısı təmin etmək üçün GSM Əsas Şəbəkəsinə qoşulur.

Beləliklə, texnologiyalar eyni əsas şəbəkədən istifadə edə bilər. Bundan əlavə, GSM BSS və WCDMA RAN sistemləri mobil radio sisteminin prinsiplərinə əsaslanır. GSM Baza Stansiya Nəzarətçisi (BSC) WCDMA Radio Şəbəkə Nəzarətçisinə (RNC) uyğundur.

GSM radio baza stansiyası (RBS) uyğun gəlir WCDMA RBS və GSM A interfeysi, əsasən WCDMA-nın təklif etdiyi yeni xidmətlərin daxil edilməsi ilə seçilən WCDMA Iu interfeysinin inkişafı üçün əsas təşkil etmişdir.

GSM BSC ilə GSM Abis interfeysi arasında bir çox provayderlə uyğunluğu təmin etmək üçün kifayət qədər dəqiqləşdirilməmiş interfeysin olmaması ilə yanaşı, əsas fərqlər olduqca sistem xarakterlidir. GSM sistemi TDMA (Time Division Multiple Access) texnologiyasından istifadə edir.

Saat qurşağının idarə edilməsinə əsaslanan çoxsaylı radio funksiyaları ilə. WCDMA sistemi isə aşağıda izah edildiyi kimi CDMA-dan istifadə edir, yəni həm aparat, həm də idarəetmə funksiyaları fərqlidir. WCDMA-ya xas xüsusiyyətlərə misal olaraq sürətli enerji nəzarəti və yumşaq ötürmə daxildir.



Şəkil 1.5. GSM/WCDMA Memarlığı.

3G-nin texniki üstünlükləri və mənfi cəhətlərini nəzərdən keçirək (Costanzo et al., 2018).

3G şəbəkələri istifadəçilərə aşağıdakı üstünlükləri təklif edir:

- Mövcud sistemlərdə tıxacları azaltmaq üçün yeni radio spektri.
- Daha yüksək səmərəlilik, təhlükəsizlik və etibarlılıq.
- Xidmət təminatçıları arasında qarşılıqlı əlaqə.
- Sabit və dəyişən məlumat sürətləri.
- Asimmetrik məlumat sürətləri.
- Cihazların mövcud şəbəkələrlə geriyə uyğunluğu.
- Həmişə onlayn cihazlar. 3G IP bağlantısından istifadə edəcək, IP paket əsaslıdır (sxem əsaslı deyil).

- Zəngin multimedia xidmətləri.

3G tətbiq edərkən bəzi çətinliklər var:

- Baza stansiyalarının və mobil infrastrukturun 3G-yə təkmilləşdirilməsinin dəyəri çox yüksəkdir.

- Müxtəlif telefonlara ehtiyac var və telefon tapmaq problemi var. 3G telefonları mürəkkəb bir məhsul olacaq. Rouming və data/səs əməliyyatı hələ sübut olunmayıb. Bundan əlavə, daha yüksək güc tələbləri:

- Baza stansiyaları bir-birinə daha yaxın olmalıdır (daha bahalı).
- Spektr lisenziyalarının böyük dəyəri, şəbəkənin yerləşdirilməsi xərcləri, abunəçilərə mobil telefon subsidiyaları və s.
- Almaniya və İngiltərədəki tenderlərdə spektr lisenziyalarını qazanan simsiz xidmət təminatçıları onlar üçün astronomik qiymətlər ödəyiblər. Nəticə etibarlı ilə onların infrastruktur qurmaq üçün pulları azdır. Nəticədə, Almaniya və Böyük Britaniyada 3G-nin tətbiqi gecikəcək (Banafaa et al.,2023).

II FƏSİL. MOBİL RADİO RABİTƏ SİSTEMLƏRİNİN XİDMƏTLƏRİ VƏ SİQNALLARININ KOOPERATİV ÖTÜRÜLMƏSİ ZAMANI MANEƏDAVALILIĞININ TƏDQIQI.

2.1. Mobil rabitə sistemlərində 5G şəbəkələrinin ümumi xüsusiyyətlərinin tədqiqi

Təqdim olunan fəsilin məqsədi beşinci və altıncı nəsil simsiz şəbəkələrin ümumi anlayışları ilə tanış etməkdir. Paraqraf 1.1 istifadə üçün mövcud tezlik spektrini, habelə bu şəbəkələrin dəstəkləməli olduğu xidmətlər toplusunu müəyyən edən 5G şəbəkələrinin ümumi təsvirini təqdim edir.

1.2-ci bənd 5G şəbəkələrinin əsaslarını - "Yeni Radio" (NR, Yeni Radio) radio giriş texnologiyasını əhatə edir. Millimetr dalğa spektrində 5G-dən istifadənin xüsusiyyətləri 1.3-də müzakirə olunur. 5G şəbəkə arxitekturasının spesifik funksionallığı - seqmentləşdirmə (bundan sonra "dilimləmə" termini kimi istifadə ediləcək), şəbəkə funksiyalarının proqramlaşdırılması və virtuallaşdırılması - 1.4 və 1.5-ci bəndlərdə təsvir edilmişdir (Lu et al.,2019).

Əşyaların İnterneti və onu dəstəkləyən simsiz texnologiyalar 1.6-da təqdim edilmişdir. Bölmə 1.7 5G/6G şəbəkələrində mühüm rol oynaması gözlənilən birbaşa cihaz texnologiyasına diqqət yetirir. 1.8-ci bənd heterojen radio giriş şəbəkələrini əhatə edir. Nəhayət, 6G 1.9 terahertz radio çıxışı üçün istifadə hallarını təmin edir.

Beşinci nəsil simsiz şəbəkələrin vəzifəsi (5G, 5-ci Nəsil) hökumətlərin, biznes qurumlarının və ayrı-ayrı vətəndaşların artan mobil rabitə ehtiyaclarını ödəməyi hədəfləyir. 5G texnologiyalarının şəhərlərin ağıllı şəhərlərə çevrilməsində mühüm rol oynaması, vətəndaşlara və ümumilikdə cəmiyyətə rəqəmsal iqtisadiyyatın gətirdiyi sosial-iqtisadi faydalardan yararlanmağa imkan verməsi gözlənilir.

5G texnologiyası gigabit məlumat sürətində yeni tətbiqlər və xidmətlər təklif etməklə son istifadəçi təcrübəsini yaxşılaşdırmaq məqsədi daşıyır. 5G şəbəkələri yeni xidmətlər və yeni biznes modelləri təqdim etməklə cəmiyyəti dəyişdirərək əvvəlki

nəsil mobil şəbəkələrin uğurlarına əsaslanacaq. Simsiz operatorlar aşağıdakı imkanlara malikdirlər: təkcə yeni xidmətlər təklif etmək deyil, həm də iqtisadiyyatın müxtəlif sahələrində istehlakçılar və sənaye üçün sərfəli qiymətlərlə öz yeni həllərimizi və xidmətlərimizi inkişaf etdirməkdir. 5G şəbəkələri simli və simsiz birləşmiş şəbəkələrin tətbiqidir və həmçinin şəbəkə idarəetmə sistemlərinin inteqrasiyası imkanını təklif edir (Смирнов et al., 2013).

Kommersiya 5G şəbəkələri işə düşdükdən sonra 2020-ci il standartlaşdırma prosesinin beynəlxalq səviyyədə tamamlandığı ildir. GSM (Mobil Rabitə üçün Qlobal Sistem) Assosiasiyası 5G qoşulmalarının sayının 1,1 milyarda çatacağını və ümumi mobil qoşulmaların təxminən 12%-ni təşkil edəcəyini, operatorların ümumi gəlirlərinin isə orta hesabla 2,5% artaraq 1,3 trilyon ABŞ dollarına çatacağını proqnozlaşdırır.

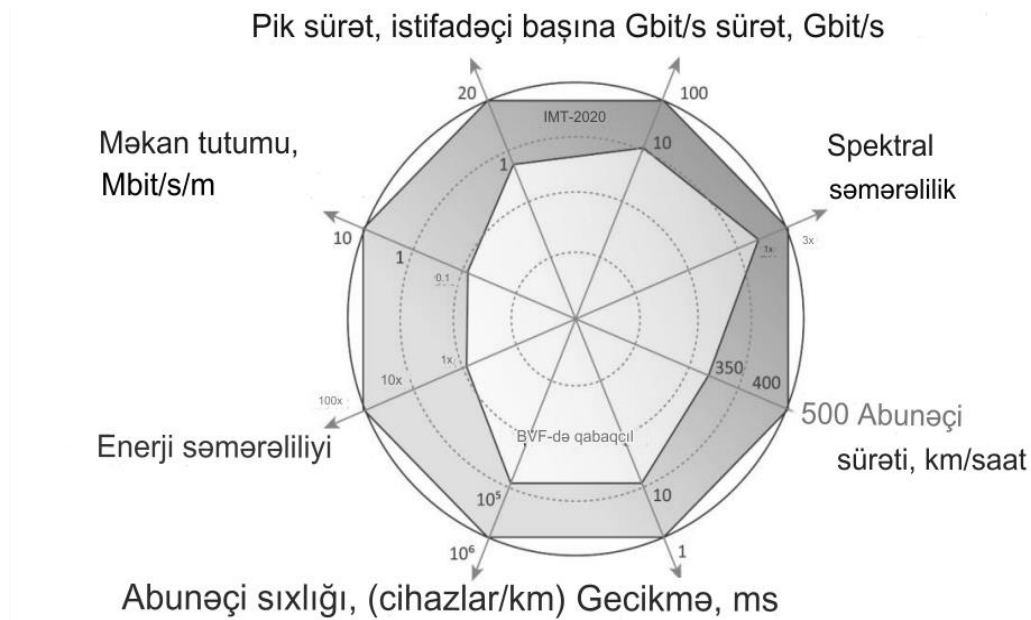
5G texnologiyasının əvvəlki nəsil şəbəkələrlə müqayisədə məlumat ötürmə sürətini əhəmiyyətli dərəcədə artıracağı və gecikmə müddətini (simsiz şəbəkənin sonunda 1 ms-dən az) azaltacağı proqnozlaşdırılır. Bu tələb verilənlərin zamana həssas olduğu kritik xidmətlər üçün lazımdır. 5G şəbəkələri yüksək sürətli genişzolaqlı xidmətlərin geniş spektrini təqdim edə və son mil radio giriş şəbəkələrinə alternativ təklif edə bilər (Banafaa et al., 2023).

ITU-R M.2083 tövsiyəsinə əsasən (Şəkil 2.1), 5G radio giriş şəbəkələrində ən yüksək məlumat ötürmə sürəti 10 Gbit/s-ə çatmalıdır. Bununla belə, müəyyən şərtlərdə 20 Gbit/s-ə qədər pik sürət tələb olunur.

Şəbəkələrin böyük ərazilərdə (məsələn, şəhər və şəhərətrafi ərazilərdə) istifadə edildiyi hallarda istifadəçi üçün məlumat ötürmə sürəti 100 Mbit/s-ə qədər olmalıdır. Həddindən artıq tələbat olan ərazilərdə istifadəçi tərəfindən gözlənilən məlumat ötürmə sürətləri daha yüksək dəyərlərə çata bilər (məsələn, daxili məkanda 1 Gbps-ə qədər).

Spektr səmərəliliyinin 4G şəbəkələrindən üç dəfə yüksək olacağı gözlənilir. 5G şəbəkələrinin şəhər meydanları, stadionlar və ticarət mərkəzləri kimi yüksək tələbatlı ərazilərdə 10 Mbps/m²-ə qədər məkan tutumu təmin edəcəyi gözlənilir.

IMT-2020) dördüncü nəsil 4G şəbəkələrindən yüksək olmamalıdır. Buna görə də, inkişaf mərhələsində həm baza stansiyalarının (BS), həm də abunəçi bloklarının (UE) enerji istehlakı səmərəliliyi ən azı 4G-də olduğu qədər artırılmalıdır (Ni et al., 2019).



Şəkil 2.1. Təvsiyə ITU-R M.2083 5G radio giriş şəbəkələri üçün tələblər

Yüksək abunəçilərə dəstək də təmin edilməlidir. Hərəkətlilik 500 km/saat sürətə malik olsa da, lazımi xidmət keyfiyyəti parametrləri pozulmamalıdır. Bu cür xidmətlər xüsusilə sürətli qatarlar üçün nəzərdə tutulub. Nəhayət, 5G radio giriş şəbəkələri, məsələn, ultra sıx maşından maşına ssenarilərdə 106/km²-ə qədər abunəçi sıxlığını dəstəkləməlidir.

Telekommunikasiya ictimaiyyəti həyat keyfiyyətimizi yaxşılaşdırmaq üçün çox işlər görüb. Teleqrafın inkişafından bəri rabitə öz imkanlarını daim təkmilləşdirmiş və insanlar üçün yeni üfəqlər açmışdır. Bu fayda bütün dünyada yüksək qiymətləndirilmişdir;

Dünyanın demək olar ki, hər bir ölkəsinin öz telekommunikasiya infrastrukturunu, telekommunikasiya operatorları və avadanlıq istehsalçıları var. Bu kontekstdə rabitə sistemləri üçün vahid qaydaların işlənilib hazırlanması zərurəti yarandı, çünki ayrı-ayrı telekommunikasiya şəbəkələri ayrı qala bilər və ya onların

integrasiyası çox mürəkkəb və bahalı prosesə çevrilə bilər. Buna görə də, 20-ci əsrin ortalarında rəbinin təşkili və qarşılıqlı əlaqəsi üçün vahid norma və qaydalar hazırlayan standartlaşdırma təşkilatları meydana çıxmağa başladı (Ni et al., 2019).

Müxtəlif beynəlxalq təşkilatlar 5G radio giriş şəbəkəsi standartlarının işlənilməsinə böyük rol oynadı. Bunlara həm bütövlükdə sistem üçün spesifikasiyaların hazırlanması ilə məşğul olan rəsmi təşkilatlar, həm də müəyyən sahədə də təcrübəyə malik ixtisaslaşmış sənaye birlikləri daxildir.

Təşkilat və idarəetmə sistemi ilə əlaqədar olaraq, qruplaşmanın idarə edilməsinə icazə verilir.

5G/6G radio giriş şəbəkələrinin standartlaşdırılması cari və əvvəlki nəsillə mobil rabitə texnologiyaları üçün standartların işlənilməsinə və saxlanmasına cavabdeh olan 3GPP (3-cü Nəsil Tərəfdaşlıq Layihəsi) konsorsiumu tərəfindən həyata keçirilir. 3GPP-də standartlaşdırma işləri texniki spesifikasiyaya qruplarına bölünür: radio giriş şəbəkələri, xidmətlər, əsas şəbəkə və abunəçi bloku (UE). 3GPP standartları müəyyən etmək üçün mərhələli yanaşmadan istifadə edir. Xidmətin tərifinə, arxitekturasına və ətraflı interfeys spesifikasiyasına diqqət yetirən standartlaşdırmanın üç mərhələsi var.

Bu gün standartlaşdırma orqanları yalnız standartların və qaydaların nəşrinə cavabdeh deyillər. Onların diqqəti bütün maraqlı tərəflər arasında açıq dialoqun davam etdirilməsinə yönəlib: avadanlıq istehsalçıları, hökumət tənzimləyiciləri, şəbəkə operatorları, xidmət təminatçıları və s. Bunu edərkən mütəmadi olaraq görüşlər keçirin, mübahisəli məsələləri həll edin, həmçinin hər bir dövlətdə bütün qaydaları və qanuni tələbləri nəzərə alın (Banafaa et al., 2023).

Bəzi təşkilatların missiyası texnologiyayı populyarlaşdırmaqdır; Məqsəd istehlakçıya yeni inkişafın üstünlüklərini və onların istifadəsindən əldə ediləcək faydaları çatdırmaqdır.

İstiqamətləndirilmiş anten massivləri olan şəbəkələrə müdaxilə sistemini tədqiq edək (Məmmədov, 2012).

Millimetr tezlik diapazonunda işləyən giriş şəbəkələrində müdaxilənin ilk anlarının qiymətləndirilməsi metodunu nəzərdən keçirək. Biz ikiölçülü ssenarini

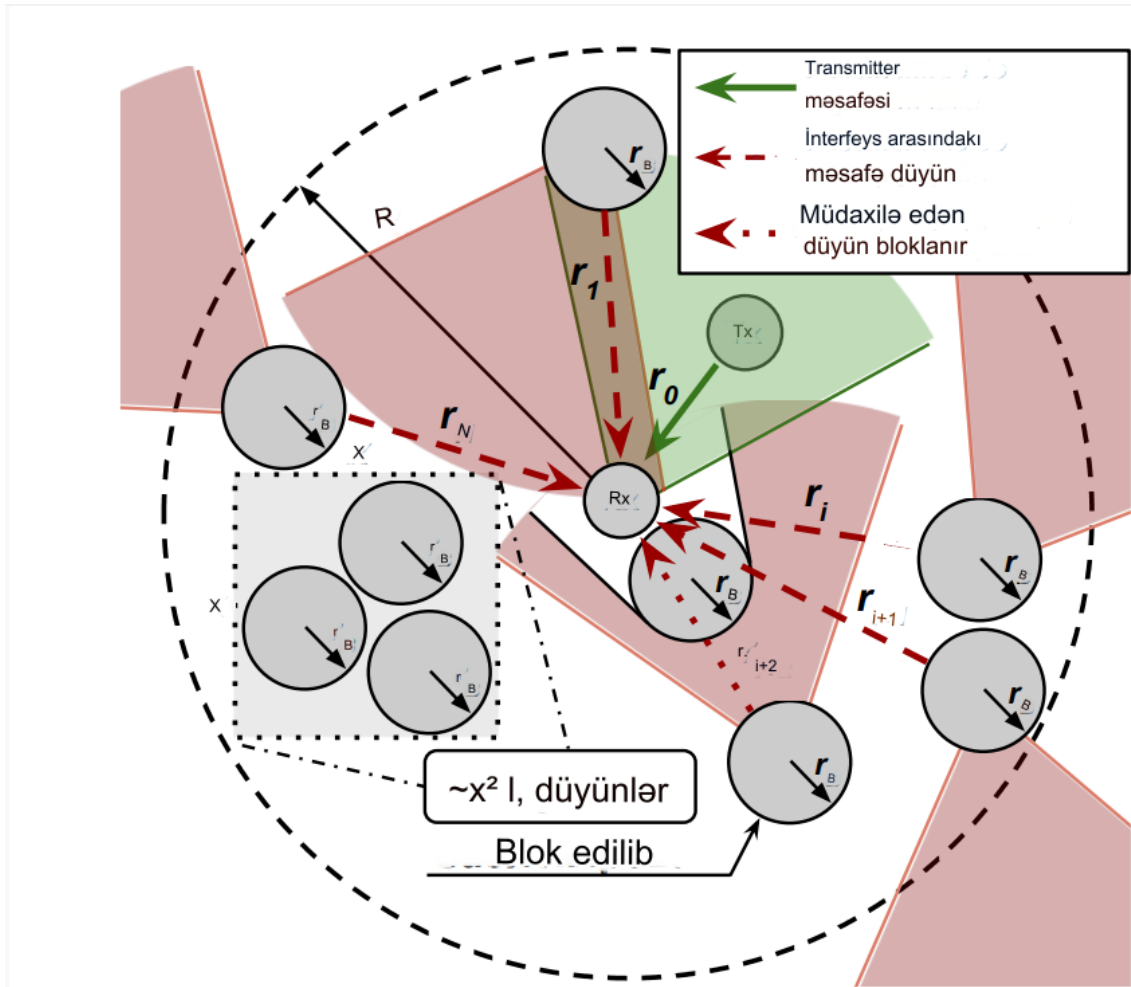
ətraflı müzakirə edəcəyik və sonra üçölçülü ssenarinin təhlilini qısaca yekunlaşdıracağıq. Xatırladaq ki, sistem komponenti modelləri 2-ci Fəsildə təqdim edilmişdi və təhlildə 3-cü Fəsildə təqdim olunan Kempbell teoremindən istifadə edilmişdir. Axtarılan əsas metrik, müdaxilə gücü belə yazıla bilər (İbrahimov, 2012):

$$I = A \sum_{i=1}^N d_i^{-\zeta}, \quad (2.1)$$

burada A - ötürücünün gücündən asılı olaraq müəyyən bir əmsaldır, antenna ötürmə və qəbul istiqamətlərində qazanır və bəzi digər sabitlər;
 d – müdaxilə edən ötürücülərlə qəbuledici arasındakı məsafə; ζ – müdaxilə edən ötürücülərin sayı. Müdaxilə gücü, qeyd edək ki, onun xüsusiyyətləri analitik üsullar da daxil olmaqla müəyyənləşməyə məruz qalır.

R.v-nin ilkin anlarını tapmaq üsulunu nəzərdən keçirək. Yan və arxa loblarda signal itkisi olmayan antena modelindən istifadə edən iki ölçülü modelin müdaxilə nümunəsi. Bunun üçün Şəkil 2.2 -də göstərilən giriş şəbəkəsi qovşaqlarının yerləşmə modelini nəzərdən keçirək. Modeldə başlanğıcda yerləşən qəbuledici və müdaxilə edən qovşaqların təsadüfi sahəsi daxildir (Agiwal et al., 2021).

Ehtimal olunur ki, araya girən qovşaqların yeri müəyyən sıxlığa malik PPP tərəfindən müəyyən edilir λ . Radiasiya sxemlərinin oriyentasiyası $[0; 2\pi)$. Düyünlərin hər biri insan bədəninin proyeksiyasını modelləşdirir (məsələn, AU ilə şəbəkə istifadəçisi) radiusu r_B olan silindr şəklində malikdir. Maraq qəbuledicisinin ətrafındakı müstəvidə radius R dairəsini təyin edəcəyik; bu dairə elə hesablanır ki, həmin dairədən kənarında qovşaqların müdaxiləsi istilik səs-küy həddindən az olsun.



Şəkil 2.2. 2D yerləşdirmə ssenarisi modelinin təsviri

İstiqamətli antenaların istifadə edilib-edilməməsinə diqqət yetirin tənhalıq üzündən tənhalıq və tənhalıq üzündən tənhalıq. Akseptorun R radiusu iki halda gündəliyə müdaxilə yaratmayacaq: a) Donorun südü qəbul etmir və ya akseptor tərəfi müdaxilə etmir və b) Tutaq ki, blokerlər və vasitəçilər bloklanır. Son hadisənin baş vermə ehtimalı bloklanma ehtimalı ilə müəyyən edilir, p_B . Birinci hadisənin baş vermə ehtimalı p_C və ikinci hadisənin p_B ehtimalı blok ehtimalı adlanacaq.

Birinci növ radiasiya nümunəsi üçün məruz qalma ehtimalı düsturla müəyyən edilə bilər (Адаму, 2010):

$$p_c = \frac{\alpha x}{2\pi x} = \frac{\alpha}{2\pi}, \quad (2.2)$$

Hədəf alıcı və bəzi düz artımı nəzərdən keçirin dr . PPP müdaxilə qovşaqlarının yaranması prosesi adi olduğundan, dairə artımında (dr) bir neçə ötürücünün eyni anda görünməsi mümkün deyil. Buna görə də, müdaxilə edənin qəbuledicidən r -məsafədə yerləşməsi ehtimalı dr - dəyərinə mütənasibdir. Sonra halqanın böyüməsi düsturla müəyyən edilə bilər (İbrahimov, 2012).

$$\pi(r + dr)^2 - \pi r^2 = 2\pi r dr + O(1), \quad (2.3)$$

Buradan belə çıxır ki, halqada müdaxilə mənbəyinin tapılma ehtimalı (r , $r + dr$) $2\pi\lambda I r dr$ -ə bərabərdir; burada λI müdaxilə mənbələrinin məkan sıxlığıdır.

Əgər qəbuledicidən r məsafədə yerləşən müdaxilə bloklanmayıbsa və qəbuledici müdaxilə diapazonundadırsa, bu düyünün qəbuledicidəki müdaxiləyə töhfəsi $A r^{-2} e^{-Kr}$ burada e^{-Kr} atmosferin udulmasının təsirini nəzərə alan komponentdir. Bunu nəzərə alaraq qəbuledicidə $E [I]$ müdaxilənin orta qiyməti düsturla hesablanıla bilər:

İkinci növ radiasiya modeli üçün müdaxilə belə olar (Mohammad et al., 2022).

İkinci növün (konusun) radiasiya nümunəsi olduğunu xatırlayaq. plus sferası (bax. Fəsil 2, Şəkil 2.2) yan müdaxiləni nəzərə alır və əvvəlki bölmənin nəticələrini aydınlaşdırmağa imkan verir. Bu halda üç vəziyyəti ayırd etmək lazımdır.

1. Qəbuledici ilə müdaxilə edən qovşaq arasında bloklanır
2. Qəbuledici ilə müdaxilə edən qovşaq arasında bloklanmır və qəbuledici müdaxilə edən düyünün əsas lobunda yerləşir.

Qəbuledici ilə müdaxilə edən qovşaq arasında bloklanmayıb və qəbuledici müdaxilə edən düyünün əsas lobunda yerləşməyib. İlk hadisənin baş vermə ehtimalını (r) ilə işarə edirik.

Nəhayət, sonuncu hadisənin baş vermə ehtimalı $(1 - p_C)(1 - p_B(r))$ bərabərdir və müdaxilə mənbəyinin qəbuledicidəki ümumi tükə verdiyi töhfə $A_2 r^{-2} e^{-Kr}$ -ə bərabərdir, burada A_2 antenanın yan və arxa lobları istiqamətində qazanandır. Müdaxilənin başlanğıc anlarını hesablamaq üçün yuxarıda təklif olunan yanaşma molekulyar səs-küyün təsirini nəzərə almaq üçün dəyişdirilə bilər.

Müdaxilə edən mənbələrin ötürülməsi nəticəsində yaranan molekulyar səs-küy də qəbuledici müdaxiləyə kömək edə bildiyindən, bu təsir orta dəyərin qiymətləndirilməsi zamanı nəzərə alınmalıdır.

Mobil radiorabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədalılığın tədqiqidir (Mohammad et al., 2022).

2.2. Mobil radio rabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədalılığının tədqiqi

Mobil radiorabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədalılığın tədqiqi üçün məlumat mübadiləsi zamanı rabitə kanallarında ötürülən siqnallar müxtəlif maneələrin təsirinə məruz qalır. Bu maneələr rabitə kanallarında real zamanda daima mövcuddur. MM kanalların aşağıdakı göstəricilərinə mənfi təsir göstərir (David et al., 2020):

- a) qəbulda siqnalların informasiyaya görə səhv ehtimalı (məsələn, sənədli məlumat mübadiləsində $P_{\text{səhv}}$ böyük əhəmiyyət kəsb edir);
- b) kanalların maksimum buraxma qabiliyyəti - C_{max} ;
- c) siqnalın və maneənin gücü - P_s, P_m ;
- d) kanalların tezlik zolağının eni - ΔF ;
- s) rabitə kanallarında 1 km-ə düşən sönmənin qiyməti - $\Delta \alpha_s$.

Mobil radiorabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədalılığın tədqiqi üçün rabitə kanallarında faydalı siqnallara aşağıdakı MM təsir edir (İbrahimov, 2021).

1. Xarici MM; 2. Daxili MM:

- additiv və multiplekativ maneələr;
- atmosfer maneələri (radiokanallarda);
- sənaye maneələri;
- rabitə avadanlıqlarının kənar radiostansiyaların yaratdığı maneələr və s.
- impuls, fluktuasiya və simvollararası maneələr (simvollararası interferensiya da deyilir).

Mobil radiorabitə sistemlərində Baxılan maneələr arasında rabitə xətlərində additiv maneələrin aşağıdakı tipləri də mövcuddur: harmonik, fluktuasiya, impuls və Hauss maneələri. Eyni zamanda optik diapazonda optik RK-a MM kimi kvant küyləri də təsir edir. Bu optik siqnalların diskret təbiəti ilə bağlıdır.

RK-da faydalı signala $S[u(t)]$ MM-in $N_m(t)$ təsiri operator formasında aşağıdakı kimi yazılır:

$$z(t) = L[S(u(t), N_m(t))]. \quad (2.4a)$$

Xüsusi hal kimi operatoru jəmlə ifadə edərixsə, (1.7a) belə yazılar:

$$z(t) = S[u(t)] + N_m(t). \quad (2.4b)$$

Bu halda maneə additiv maneə hesab olunur $N_m(t) = N_{m.a}(t)$.

Əgər, MM multiplekativ xarakterli olarsa, $z(t) = s(t) = N_{m.m}(t) \cdot u(t)$ olar. Real RK-a hər iki MM-si təsir, onda (2.4b) ifadəsi belə formada yazılar:

$$s(t) = z(t) = N_{m.m}(t) \cdot U(t) + N_{m.a}(t).$$

Mobil radiorabitə sistemlərində məlumdur ki, elektrik fasiləsiz, diskret və rəqəm siqnallarının rabitə kanalları vastəsilə ötürülməsi zamanı additiv maneələr toplusu geniş təsir edir.

RK-in keyfiyyət göstərijilərinin geniş aspektdə öyrənilməsi üçün ilk növbədə ötürülən məlumata təsir edən maneə mənbəələrini tədqiq etmək vəzib məsələlərdən biri hesab olunur. RK-da elektrik siqnallarının verilməsi və ötürülməsi zamanı additiv maneələri daima müxtəlif formalarda olurlar (İbrahimov, 2021).

Additiv maneələri üç əsas sinfə ayırmaq olar:

1. Fluktasiya (zamana və tezliklər üzrə paylanmış) maneələri (kosmik maneələri göstərmək olar);
2. Tezliklər üzrə yığılmış (jəmləşmiş) maneələr (sənaye və təbii maneələri, donmaları göstərmək olar);
3. İmpuls maneələri və ya zamana görə yığılmış maneələr (atmosfer, sənaye və s. maneələr).

Ümumilikdə additiv maneələrə RK-ın elementlərində gedən proseslərə təsir kimi də baxılır (kosmik şüalanmalar, ildırım çaxması, maqnit təsirləri, sənaye avadanlıqların təsiri, elektrik ötürmə xətləri, radiostansiyalar və s. təsiri). Çünki baxılan məsələnin həlli rəabitə kanallarının riyazi modellərinin və əsas xarakteristikalarının öyrənilməsi ilə sıx bağlıdır.

Mobil radiorabitə sistemlərində şəbəkələrin effektiv qurulması üçün ilk növbədə real rabitə kanalları və onların riyazi modelləri məlum olmalıdır. Riyazi model RK-ın real olaraq iş alqoritmini, təsir edən maneə mənbələrini və veriliş prosesini xarakterizə edən çoxluqlar sistemi kimi qəbul edilir və aşağıdakı kimi yazılır (Смирнов et al., 2013):

$$Y(t) = L\{X(t)\}, \quad S(t,b) = \{U(t,b), N_m(t)\}. \quad (2.5)$$

Operator L formasında təsvir olunmuş RK-ın girişində $x(t)$ və çıxışında olan prosesi xarakterizə edən riyazi ifadə çoxluqda ifadə olunmuşdur. RK riyazi modelini hazırlamaq üçün ilk növbədə kanala xətti və qeyri-xətti rabitə sistemi kimi baxılır.

Mobil radiorabitə sistemlərində eyni zamanda kanalda gedən determinə olmuş və təsadüfi proseslər nəzərə alınır. Ötürülən məlumat və onun tipləri, forması və onlara təsir edən maneələr və təhriflər riyazi modeldə öz əksini tapmalıdır.

Rabitə sistemlərində və kanallarında real olaraq additiv maneələr daima mövjudur. Additiv maneələr elektrik və statistik xarakterinə görə RK-a üç formada təsir göstərilir: fluktasiya, kvaziharmonik və impuls maneələri.

RK-da fluktasiya maneəsinə təsadüfi proses kimi baxılır və güğün spektral sıxlığı ilə belə qiymətləndirilir (Zhang et al., 2010):

$$G_m(f) = 0,5hf \left[\exp\left(\frac{hf}{kT} - 1\right) \right]^{-1}, \quad (2.6)$$

burada h - Plank sabiti ($h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ C·san);

k – BolSman sabiti ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{C}{\text{dər}}$);

T - maneə mənbəyinin mütləq temperaturu; f - tezlikdir.

TS-də radiotezliklər və səs siqnalları üçün $hf \ll kT$ olduğu üçün (3.8) ifadəsini sıraya ayırmaqla aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$= \frac{k \cdot T}{2} = \frac{N_0}{2}$$

$$G_m(f) \quad , \quad (2.7)$$

burada N_0 - birtərəfli müsbət tezlikdə maneənin spektral sıxlığıdır (Vt).

Fluktasiya maneələrinə orta qiyməti sıfıra bərabər olan stasionar Gauss təsadüfi proses kimi də baxılır.

RK-da geniş təsir dairəsinə malik maneələrdən biri də impuls maneəsidir. İmpuls maneələrinə təsadüfi və genişzolaqlı proses kimi baxılır və zamana görə paylanmış olurlar. İmpuls maneəsinin xarakteri loqonormal qanunla yazılır və aşağıdakı kimi ifadə olunur (İbrahimov, 2021):

$$W(\rho) = \frac{1}{\beta \sqrt{2\pi\beta^2}} \exp\left[-\frac{(\rho - a)^2}{2\beta^2}\right],$$

$$W(A) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\beta^2}} \exp\left[-\frac{(\ln A - a)^2}{2\beta^2}\right], \quad (2.8)$$

burada a , β^2 - təsadüfi proseslərin $\rho = \ln A$ çevrilməsində riyazi gözləmə və dispersiyasıdır.

Yuxarıda göstərilmiş maneələrin xarakteri məlum olduğdan sonra onlara qarşı müəyyən edilmiş metodlarla müəbArizə aparmaqla təhrifləri minimallaşdırmaq mümkündür.

RK-da siqnalların spektrlərinin təhrifə uğraması bəzən əlavə maneələrin yaranmasına səbəb olur. Məsələn: RK-da siqnalın ötürmə əmsalının təsadüfi dəyişməsi, fiziki aralıqları xarakterinə görə və siqnalların interferensiyası hesabına

multiplikativ maneələrin təsiri genişlənir. Multiplikativ maneələr iki yerə ayrılır, yavaş-yavaş təsir edən maneə kimi baxılır:

$$(\Delta\tau_k/\Delta\tau_s) \gg 1, \quad (\Delta\tau_k/\Delta\tau_s) \ll 1, \quad (2.9)$$

burada $\Delta\tau_k$ – təsadüfi prosesin kanalda korrelyasiya intervalı; $\Delta\tau_s$ – determinik hal kimi baxılan zaman signalın davam etmə müddəti hesab olunur.

Multiplikativ maneələr $\Delta\tau_k$ və $\Delta\tau_s$ münasibətindən asılı olaraq ümumi və seçimli olurlar. Bu zaman multiplikativ maneələr – signalın donması, sabit qalmasına çevrilirlər. Signalın parametrlərinin eyni dəyişməsi $(\Delta\tau_k/\Delta\tau_s) = \text{const}$, $k = 1, 2, \dots$ signalın donması kimi, sabit qalması kimi baxılır və ümumi multiplikativ maneə hesab olunur.

Maneələr və küylər – telekommunikasiya texnikasında fundamental olaraq tamamilə aradan qaldırılmayan faktorlar hesab olunur. Onlar bütün TS və T-da öyrənilən şantipli mobil rabitə sistemlərində (GSM) uzaq məsafəyə rabitənin təşkilini məhdudlaşdırır, radiorabitədə antenaların ölçülərini və radiovericilərin tələb olunan gücünü təyin edir.

Mobil radiorabitə sistemlərində küy şüalandırıcıların mənbələrini aşağıdakılar hesab etmək olar:

- sistemin qəbuledici terminallarında istilik küyləri;
- detektorların, generatorların, gücləndiricilərin və s. parçalanma küyləri;
- kosmik fəzanın və atmosferin küy şüalandırıcıları;
- sənaye maneələri.

RK-da küy gərginliklərin jəmi Hauss paylanması sıklıq ehtimalı ilə aşağıdakı kimi qiymətləndirilir (İbrahimov, 2016):

$$W(u) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2.10)$$

burada u – küyün ani gərginliyi; σ^2 – küy fluktuasiyasının dispersiya və ya gücü ($P_{\text{küy}} = \sigma^2$) olub, kanalın razılaşdırılmış süzgəcinin çıxışında belə təyin edilir:

$$P_{\text{küy}} = P_s \cdot \left(\frac{2E_b}{N_0}\right)^{-1}, \quad P_s = 0,5U_s^2, \quad (2.11)$$

burada P_s – faydalı siqnalın gücü; (E_b/N_0) – keyfiyyət göstərijisi olub, siqnal-küy nisbəti hesab olunur.

Yuxarıda öyrənilən parametrlər məlum olduqdan sonra TS -in keyfiyyət göstəricilərini qiymətləndirmək olar.

Mobil radiorabitə sistemlərində istifadə olunan kanallara təsir edən maneə və küylərin xarakteri məlum olduqdan sonra onların riyazi modeli hazırlanır və parametrlərin hesabı yerinə yetirilə bilər.

III FƏSİL. MOBİL RADİORABİTƏ SİSTEMLƏRİNDƏ SİQNALLARIN KOOPERATİV ÖTÜRÜLMƏSİ ZAMANI MANEƏDAVALILIĞIN ARTIRILMASI ÜSULLARIN TƏDQIQI

3.1. Mobil radorabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədavaliliğin göstəricilərinin tədqiqi

Mobil radorabitə sistemlərinə və elektrik rabitə sistemlərinə xüsusi informasiya veriliş sürətini yüksəltmək (β , (bit/s)/Hz) məqsədi ilə çoxdəfəli modulyasiyalardan istifadə olunur. Yəni, mobil radorabitə sistemlərinə informasiya mübadiləsində çoxmövqəli kodlardan istifadə edilir və hər bir informasiya elementi $I \geq 1$ bit məlumat daşıyır və $V_m \leq 2\Delta F_k$.

Bunların arasında böyük tətbiq sahəsi tapmış modulyasiya üsullarından biri də ikiqat və dördqat NFM (İNFM-2, DNFM-2) hesab olunur (Zhang et al., 2010).

Belə tip modulyasiya kodundan istifadə etməklə ikinci kod ardıcılığı olan $\{a_i\}$ ardıcıl siqnal $\{b_{i,k}(t)\}$ kimi təsvir olunur. Məsələn İNFM-2-də iki elementli kod (uzunluğu m olarsa, kod kombinasiyalar 2^m olar) koddan istifadə edilir və $2^m = 2$, $m = 2$ olur. İNFM-2 formalaşması alqoritmi aşağıdakı kimidir

$$\begin{aligned} 00 \rightarrow \Delta\varphi = 25^\circ; \quad 01 \rightarrow \Delta\varphi = 135^\circ; \\ 11 \rightarrow \Delta\varphi = 225^\circ; \quad 10 \rightarrow \Delta\varphi = 315^\circ. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Şəkil 3.1-də dördqat NFM-2 (DNFM-2) bazasında modulyatorun funksional sxemi verilmişdir (İbrahimov, 2016).

Mobil radorabitə sistemlərinə funksional sxemin girişinə bipolyar ikili siqnal $B = 1/\tau_0$ (τ_0 -vahid ikili siqnalın davam etmə müddəti) veriliş sürəti ilə daxil olur. Ardıcıl kodu paralel koda çevirən qurğu ikili informasiya selini iki paralel informasiya selinə ayırır və $B/2$ veriliş sürəti ilə sinfaz və kvadratik kanallara ötürür.

Cəmləyicinin çıxışında ω_s tezlikli sabit amplitudalı yekun gərginlik aşağıdakı kimi təyin olunur (İbrahimov, 2012):

$$U_{\text{çix}} = \sqrt{2}U_0\sin[\omega_s t + \varphi(t)] = U_s\sin[\omega_s t + \varphi(t)], \quad (3.2)$$

burada $\varphi(t) = 25^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$ ola bilər. Aparişi tezlik $F_a = 1800$ Hz olur. Mobil rədiarabitə sistemlərində demodulyatorun funksional sxemi də analoci olaraq qurulur və işləyir. Burada maneəyədavamlılığı yüksəltmək üçün həlledici qurğudan istifadə edilmişdir. Həlledici qurğunun (HQ) sinfaz kanalının çıxışında parametrlər aşağıdakı kimi qiymətləndirilir (Баширин et al., 2019):

$$P_s = U_0^2, \sigma_x^2 = \frac{2N_0}{2\tau} = \frac{N_0}{2\tau_0} = \frac{BN_0}{2}, \tau = 2\tau_0. \quad (3.3)$$

HQ-nin girişində güjə görə siqnal-maneə nisbəti belə təyin edilir:

$$\frac{P_s}{\sigma_x^2} = \frac{P_s}{0,5BN_0} = 2\frac{P_s}{N_0}\tau_0 = 2k^2, B = V_m. \quad (3.4)$$

Mobil rədiarabitə sistemlərində DNFМ-2 bazasında istifadə olunan modemlərin köməyi ilə təşkil olunan KYS-də ötürülən məlumatın tezlik effektivliyi isə aşağıdakı kimi təyin edilə bilər (Адаму, 2010):

$$\beta_D = \frac{B}{\Delta F} \cdot \frac{\text{bit}}{Hz}, \Delta F = \frac{1}{2\tau_0}, \beta = 2\frac{\text{bit}}{Hz}. \quad (3.5)$$

Mobil rədiarabitə sistemlərində, amma İNFМ-2 bazasında hazırlanan modemlərdə isə tezlik effektivliyi belə təyin edilir (Zhang et al., 2009):

$$B = \frac{1}{\tau_0} \cdot \Delta F = \frac{1}{\tau_0} \cdot \beta_x = \frac{B}{\Delta F} = 1\frac{\text{bit}}{Hz}. \quad (3.6)$$

Baxılan modulyasiya proseslərində siqnalın amplitudası və başlanğıc fazaları ayrıja dəyişməklə yaranan modulyasiyalarına baxılmışdır. Lakin bu iki parametri eyni vaxtda dəyişməklə, eyni vaxtda iki siqnalın RK-ya ötürülməsi mümkünlüyü əldə olunur və aşağıdakı kimi yazılır

$$U_{AF}(t) = U(t) \cdot \cos[\omega_0 t + \varphi(t)]. \quad (3.7)$$

Mobil rədiarabitə sistemlərində belə modulyasiyaları amplitud-faza modulyasiyası adlandırılır (AFM) və onların bazasında yaradılan yüksək maneəyədavamlılığa malik olan kvadratik amplitud modulyasiyası və s. geniş istifadə olunur.

Mobil rədiarabitə sistemlərində geniş istifadə olunan kvadratik amplitud modulyasiyasını nəzərdən keçirək.

Qeyd edək ki, AFM-da bəzən elə olur ki, iki modullayıcı siqnallar və ya faydalı siqnallar «eynigüclü» olurlar. Belə ki, onlar tamamilə müxtəlif aparıcı siqnalları modullayırlar, yəni, idarə edirlər.

Amma elə etmək olar ki, bu şəraitdə simmetrikiyə yaxın olsunlar və asanca baxılan siqnalların formasını çevirmək mümkün olsun. Əvvəlcə, (3.7) ifadəsində cəmin kosinusunu açaq:

$$U_{AF}(t) = U(t) \cdot \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] = U(t) \cdot \cos(\omega_0 t) \cdot \cos\varphi(t) - U(t) \cdot \sin\omega_0 t \cdot \sin\varphi(t). \quad (3.8)$$

Alınmış siqnal ifadəsi olan (2.29) iki AM siqnalın cəmindən ibarətdir. Onların aparıcı siqnalları $\cos(\omega_0 t)$ və $\sin(\omega_0 t)$ bir-birinə nəzərən 90° fazaca sürüşdürülmüş, amplitudaları isə $U(t)\cos\varphi(t)$ və $-U(t)\sin\varphi(t)$ bərabərdir.

Belə olan halda siqnalların amplituda funksiyalarını uyğun olaraq belə əvəz etsək:

$$U(t) \cdot \cos\varphi(t) = a(t), \quad c(t) = -U(t)\sin\varphi(t). \quad (3.9)$$

Onda (3.10) yeni keyfiyyətdə iki cüt faydalı siqnal kimi yazmaq olar

$$U_{KAM}(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_0 t) + c(t)\sin(\omega_0 t). \quad (3.10)$$

Axırınjı ifadə, baxılan hal üçün kvadrat amplitud modulyasiya (KAM) hesab olunur. KAM-da iştirak edən iki ədəd modullayıcı və ya faydalı siqnallar tamamilə eyni hüquqludur və eynigüclüdür.

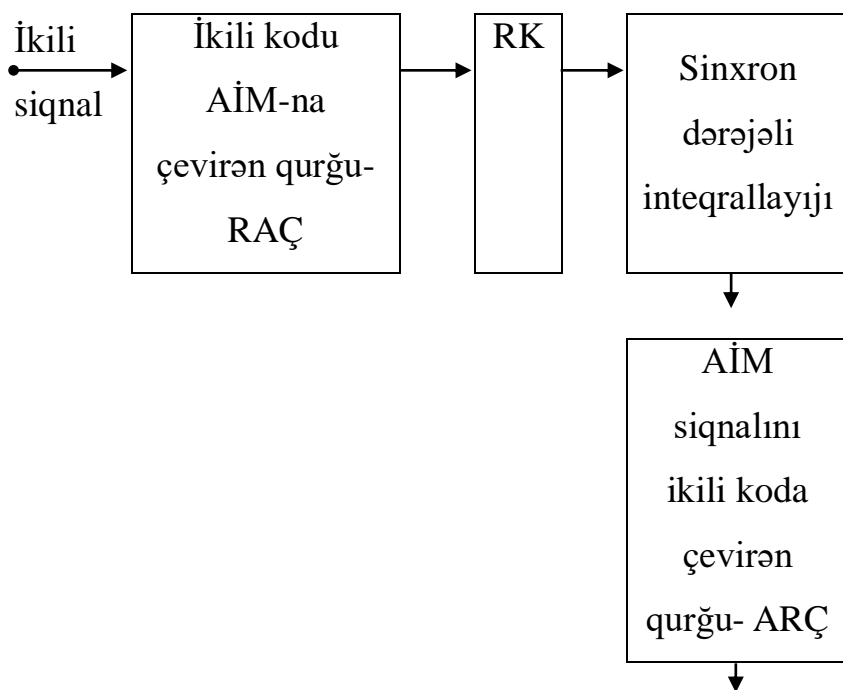
Abunəçi modemlərdə veriliş sürətlərini, tezlik effektivliyini yüksəltmək və tezlik zolağının enini ΔF minimallaşdırmaq üçün kvadratik amplitud modulyasiyasından istifadə olunur.

Mobil radorabitə sistemlərində KAM-ın kod kombinasiyasının uzunluğu $m = 16$ (KAM-16) götürülməklə amplitudaya görə ümumi siqnalların ansambli L_k^2 təşkil edir və tezlik zolağının eni isə sistemin tezlik effektivliyi ilə qiymətləndirilir və aşağıdakı kimi müəyyən edilir (Lu et al., 2019):

$$\beta_k = \log_2 L_k^2 = 2\log_2 L_k. \quad (3.11)$$

Əgər, $L_k = 2$ olarsa (KAM-16), onda $\beta_k = 2$ bit/(Hs·san) olar; əgər, $L_k = 8$ olarsa (KAM-62), onda $\beta_k = 6$ bit/(Hs·san) olar. Şəkil 3.1-də KAM-in bazasında təşkil olunmuş RK-nin funksional sxemi göstərilmişdir.

Mobil radorabitə sistemlərində funksional sxem amplitud impuls modulyasiyalı (AİM) siqnalların vasitəsi ilə impulsların RK-ile ötürülməsini xarakterizə edir. RK-da düzbucaqlı impulsların verilişi algoritmi belədir. Girişdə ikili informasiya seli τ_0 - müddətinə ayrılmaqla bloklar yaradılır və hər bir blokda k simvolları yerləşdirilir. Onda, blokun uzunluğu $k \cdot \tau_0$ olar. Kod kombinasiyaları isə davam etmə müddətləri $T_k = k \cdot \tau_0$ olan düzbucaqlı impulslara çevrilirlər.



Şəkil 3.1. KAM-nın bazasında təşkil olunmuş RK-nın funksional sxemi

Bu zaman onların amplitudası aşağıdakı mümkün olan diskret qiymətlərdən birini qəbul edir (Molisch, 2011):

$$\pm \frac{\Delta t_k}{2}; \pm \frac{3\Delta t_k}{2}; \pm \frac{(2i-1)(\Delta t_k)}{2}; \dots; \pm \frac{(L_k-1)\Delta t_k}{2}, i = 1, 2, \dots, \frac{L_k}{2}, \quad (3.12)$$

burada $L_k = 2^n$ siqnalın amplitud səviyyələrinin mümkün olan qiymətidir (L_k - kvantlama səviyyəsinin göstərişi); Δt_k - kvantlama və ya diskretləşmə addımıdır (iki qonşu amplitud səviyyələrinin fərqi).

Mobil radorabitə sistemlərində modulyatorun çıxışında alınan AİM siqnalların orta gücü aşağıdakı kimi qiymətləndirilir (Zhang et al., 2010):

$$P_s = \frac{2}{L_k} \sum_{i=1}^{L_k} \left[\frac{(2i-1)(\Delta t_k)}{2} \right]^2 = \frac{\Delta t_k^2 (L_k^2 - 1)}{12} . \quad (3.13)$$

Bu ifadədən görünür ki, P_s AİM siqnalların parametrləri olan L_k və Δt_k - dan asılıdır. Burada diskretləşmə addımı, P_s - əsasən belə təyin oluna bilər (Баширин et al., 2019):

$$\Delta t_k^2 = \frac{12P_s}{L_k^2 - 1} . \quad (3.14)$$

Axıncı ifadələr qəbul prosesində demodulyatorun maneəyədavamlılığına təsir edir. Qəbulda səhv o zaman baş verir ki, sinxron dərəcəli inteqrallayıcının çıxışında küy gərginliyinin $U_{küy} = U_k$ qiyməti aşağıdakı şərti ödəsin:

$$U_k \geq \pm 0,5\Delta t_k . \quad (3.15)$$

Mobil radorabitə sistemlərində demodulyasiya prosesi zamanı qəbulun səhv ehtimalı Hauss küyü üçün (Hauss küyünün gücü $P_k = \sigma_k^2$) aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$P_{səhv} = 2 \int_{\frac{\Delta t_k}{2}}^{\infty} \frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_k^2}\right) dx = 1 - \Phi\left(\frac{\Delta t_k}{2\sigma_k}\right) , \quad (3.16)$$

burada $\frac{\Delta t_k}{4\sigma_k^2} = \frac{\Delta t_k}{4N_0 \cdot \Delta F}$ kimi təyin edilir və $F(\cdot)$ -isə normallaşmış Laplas inteqralıdır (Баширин, 2019).

Axıncı ifadəyə əsasən tələb olunan siqnal-maneə nisbəti belə təyin olunur:

$$SNR(E_b, L_k) = \frac{E_b}{N_0} = \frac{\frac{\Delta t_k^2}{4\sigma_k^2}}{\frac{6 \log_2 L_k}{L_k^2 - 1}} . \quad (3.17)$$

Qəbulda ikili informasiya seli üçün k - bitlərin paylanma ehtimalını bərabər ölçülü qəbul etsək, onda bitə görə səhv ehtimalı belə təyin olunur:

$$(3.18)$$

Əgər, $P_b = 10^{-6}$ olarsa, onda $\frac{\Delta t_k}{2\sigma_k} = 2,8$ olar. Yekun olaraq, siqnal-maneə nisbəti belə ifadə olunur:

$$\frac{E_b}{N_0} = 3,84 \frac{L_k^2 - 1}{\log_2 L_k} . \quad (3.19)$$

Axırıncı ifadə KAM-ın bazasında olan modemlərin keyfiyyətli işləməsini xarakterizə edir.

KAM-ın bazasında hazırlanan modemlərin tezlik effektivliyi β_k belə bir düsturla təyin oluna bilər:

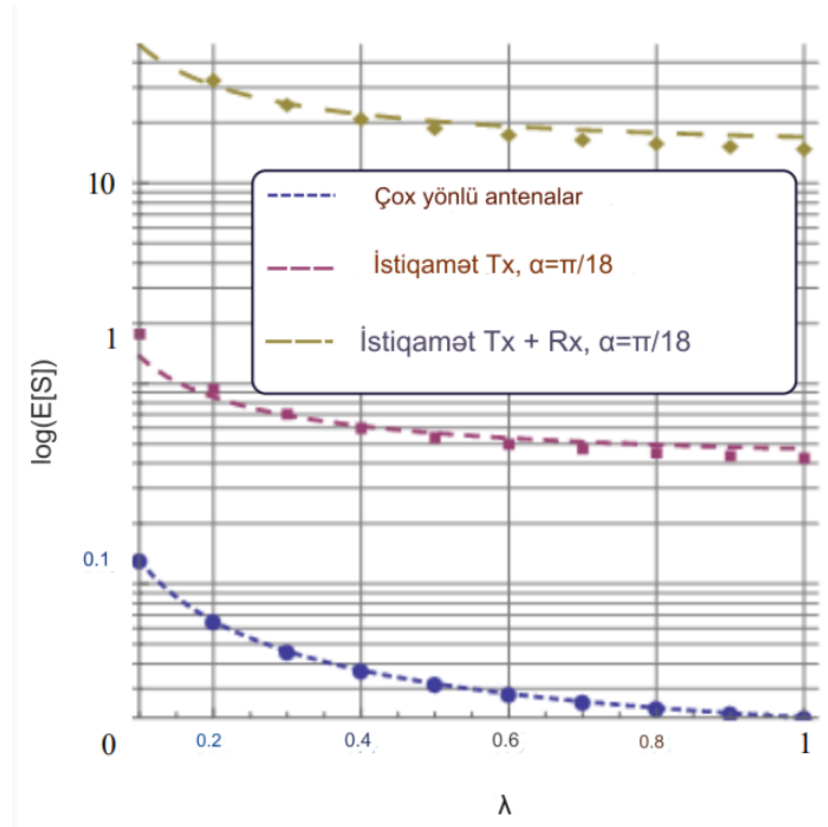
$$\beta_k = 2\log_2 L_k. \quad (3.20)$$

Aparıcı tezliyi $F_a = 1800$ hs olan modemlərdə maneəyədavamlılığı yüksəltmək üçün KAM-2, KAM-2, KAM-16 ilə yanaşı ($V_m \geq (2,2 \div 9,6)$ kbit/s) 32-mövqeli koddan ibarət TJM-dən istifadə olunur (TJM-Trellis Code Modulation).

T-BRI V.32 bis təklifinə əsasən, TJM-16, TJM-32, TJM-62 və TJM-128 geniş istifadə olunur. Uyğun olan veriliş sürəti $V_m \geq (9,6 \div 12,2)$ kbit/s və V.32 bis protokoldan istifadə edilir.

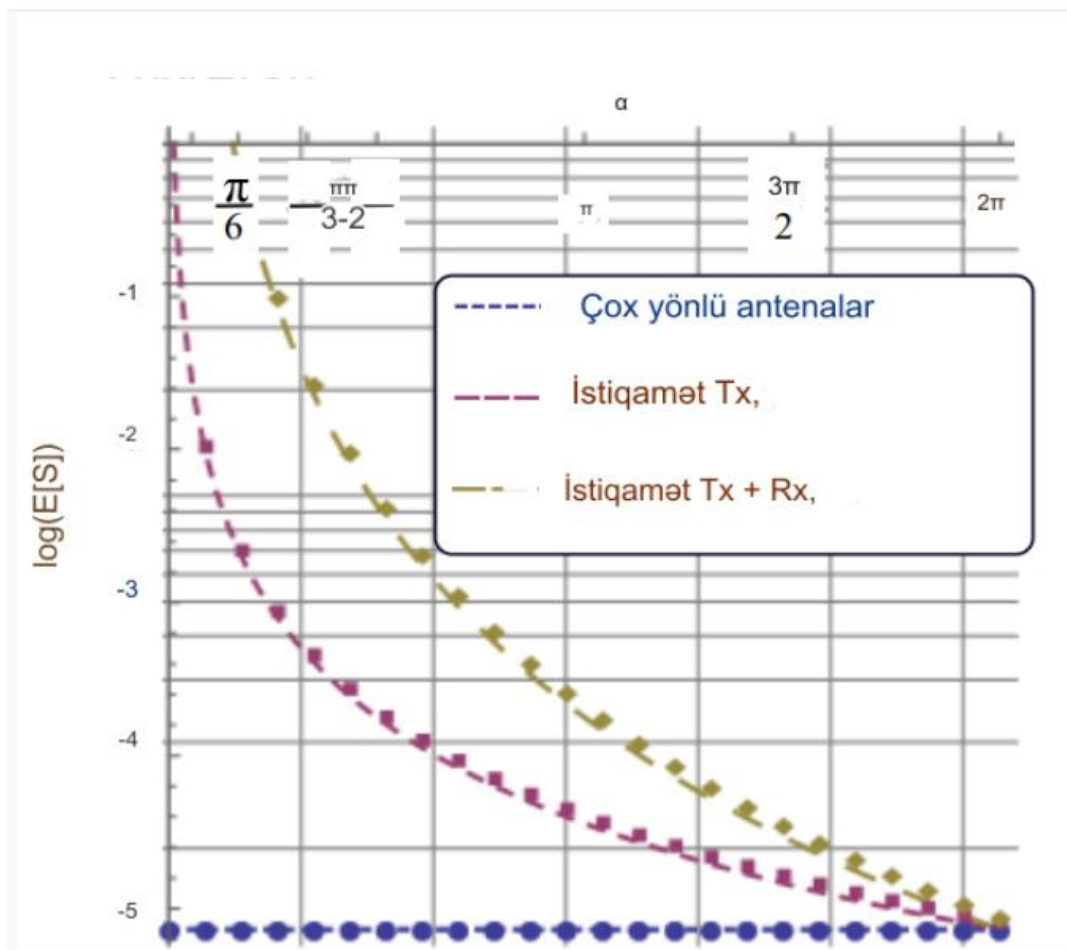
Hal-hazırda İnternetə qoşulmaq üçün KAM bazasında V.32, V.56 və V.90 modemlərindən ($V_m \geq 28,8 \div 56$ kbit/s) və ADSL-dən ($V_{ADSL} \geq 6,1$ Mbit/s) geniş istifadə olunur.

Şəkil 3.2 bloklanmanın mövcudluğunda SNR-nin müdaxilə edən qovşaqların sıxlığından asılılığını göstərir. Həm ötürücüdə, həm də qəbuledicidə yoxlanılan bütün antenna növləri üçün müdaxilə edən qovşaqların sayı artdıqca SNR dəyəri azalır. Qeyd edək ki, yönləndirilmiş antenalar müdaxilə edən qovşaq sıxlıklarının bütün diapazonunda SNR dəyərinə güclü təsir göstərir (David, 2020).



Şəkil 3.2 SNR-nin müdaxilə edən düyünlərin sıxlığından asılılığı

Şəkil 3.3 göstərir ki, şüa bucağı azaldıqca SNR əhəmiyyətli dərəcədə artır. Başqa sözlə, daha yüksək istiqamətli antenna sistemlərindən istifadə qəbulədicidə SNR-ni əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırma bilər. Oxşar asılılıqlar inhibe olmadıqda müşahidə olunur (Смирнов et al., 2013).



Şəkil 3.3 SNR-nin radiasiya nümunəsinin bucağından asılılığı

Şək. 3.1-3.3 orta SNR dəyərlərini göstərir iki parametrdən asılı olaraq müxtəlif növ modellər üçün: ötürücü antenaların şaquli oriyentasiyası və qarşılıqlı əlaqə quran cihazların cütlərinin sıxlığı (sıxlığı). Şəkil 3.2-dəki qrafiklərdən aydın olur ki, nəzərdən keçirilən bütün modellərin artan sıxlığı ilə və bütün λ dəyərlər diapazonunda sadələşdirilmiş modellərin heç biri qarşılıqlı əlaqədə olan cütlər üçün SNR dəyərinin orta SNR dəyərinə yaxınlaşmasını təmin etmir.

İmkan verən iki ölçülü modelə diqqət yetirək. Bütün sistem parametrləri diapazonunda SNR-in yuxarı həddinin yaxşı qiymətləndirilməsini əldə edin. Qeyd edək ki, hündürlükləri məlum olan model, şaquli istiqaməti nəzərə almasa da, həmişə SNR dəyərlərinin aşağı həddi haqqında təxmin verir. İki belə model arasındakı SNR fərqi 60 dB-ə çata bilər. Buna görə də heç bir model SNR üçün dəqiq proqnoz verə

bilməz. Sabit hündürlüyü və şaquli istiqaməti olan bir model ağlabatan bir səhv əldə etməyə imkan verir, lakin bəzi parametr diapazonları üçün SNR-də sapma 10 dB-dən çox ola bilər (Prinima et al., 2016).

Rəqəmsal təhlilin təqdim olunan nəticələri bir-birini tamamlayır orta səs-küyün dəyərinin sistem parametrlərindən asılılığına dair bu bölmənin əvvəlki bəndlərindəki nəticələr.

Xüsusilə, radiasiya nümunəsinin bucağı azalarsa, orta müdaxilə dəyəri artır. Bu nəticələr antenanın istiqamətləndirilməsi artdıqca orta SNR-nin monotonik azalmasına səbəb olmalıdır. Bununla belə, təhlil onu da göstərdi ki, iki və üç ölçülü paylama ssenarilərində millimetr və terahertz siqnallarının yayılma effektləri müdaxilədən daha çox istənilən siqnala təsir edir və bu, SNR-nin artmasına səbəb olur (Адамы et al., 2010).

KAM-ın bazasında hazırlanan modemlərin tezlik effektivliyi β_k belə bir düsturla təyin oluna bilər:

$$\beta_k = 2\log_2 L_k. \quad (3.21)$$

Aparıcı tezliyi $F_a = 1800$ hs olan modemlərdə maneəyədavamlılığı yüksəltmək üçün KAM-2, KAM-2, KAM-16 ilə yanaşı ($V_m \geq (2,2 \div 9,6)$ kbit/s)) 32-mövqeli koddan ibarət TJM-dən istifadə olunur (TJM-Trellis Code Modulation).

Mobil radorabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı T-BRİ V.32 bis təklifinə əsasən, TJM-16, TJM-32, TJM-62 və TJM-128 geniş istifadə olunur. Uyğun olan veriliş sürəti $V_m \geq (9,6 \div 12,2)$ kbit/s və V.32 bis protokolundan istifadə edilir (Abdel Hakeem et al., 2022).

Hal-hazırda İnternetə qoşulmaq üçün KAM bazasında V.32, V.56 və V.90 modemlərindən ($V_m \geq 28,8 \div 56$ Mbit/s) və ADSL-dən ($V_{ADSD} \geq 6,1$ Mbit/s) geniş istifadə olunur.

3.2. Mobil rabitə sistemlərində yeni texnologiyasi bazasında maneəyə dayanıqlığın tədqiqi

Müasir dövr üçün mobil radiorabitə sistemlərinin informasiya, kompüter və telekommunikasiya texnologiyalarının imkanlarından geniş və səmərəli istifadə etməklə dinamik inkişaf edən Azərbaycan Respublikasının Silahlı Qüvvələrinin prioritet istiqaməti – maneəyədayanıqlı, effektiv, təhlükəsiz və etibarlı hərbi təyinatlı yeni nəsillik optik -lifli rabitə şəbəkələrinin yaradılmasını tələb edir.

Mobil radiorabitə sistemlərinin siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədalılığının artırılması üsullarının təhlili və gələcək nəsillik şəbəkələrin FN (Future Network) rəqəmli texnologiyalardan istifadə etməklə, optik telekommunikasiya sistemlərində hərbi təyinatlı müxtəlif rabitə xidmətlərinin göstərilməsi üçün NGN (Next Generation Network) arxitektura konsepsiyalarına əsaslanan çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkəsinin fasiləsiz işləməsinin mümkünlüyünü təmin etmək lazımdır (Costanzo et al., 2018).

Mobil radiorabitə sistemlərində müasir texnologiyalara ilk növbədə SDN (Proqram təminatı ilə müəyyən edilmiş Şəbəkə), NFV (Şəbəkə Funksiyalarının Virtuallaşdırılması), IMS (İnternet Protokolu Multimedia Alt Sistemi), süni intellekt, WDM & DWDM (Dalğa Uzunluğu Bölməsi Multipleksləmə və Sıxlaşdırma WDM), bulud kimi paylanmış rabitə şəbəkələrinin hesablanması, mobil LTE (Long Term Evolution), IoT (Internet of Think) və kvant texnologiyaları daxildir (Ni et al., 2019).

Qeyd edək ki, NGN və FN əsasında artan məhsuldar multiservisli optik rabitə şəbəkələrinin qurulması üçün sadalanan qabaqcıl texnologiyalar arasında kommutasiyalı SDN texnologiyaları xüsusi yer tutur. SDN texnologiyası Optik-lifli rabitə xətlərindən istifadə etməklə, çoxxidmətli optik şəbəkələrin təkamülündə FN standartlaşdırma prosesini yeni istiqamətə yönəldən əsas amil və istiqamət kimi seçilmişdir.

Mobil radiorabitə sistemlərində hal-hazırda SDN texnologiyası - proqram təminatı ilə müəyyən edilmiş şəbəkənin idarəetmə dövrəsini və məlumatların ötürülməsi sistemini ayıraraq məlumat axınının idarə edilməsində yüksək çevikliyi

təmin edən rəqəmli şəbəkələrin inkişafı üçün perspektivli sahələrdən biri hesab edilir.

Eyni zamanda, şəbəkə məsələlərinin həllərinin natamam uyğunluğu və şəbəkə operatorlarının ənənəvi optik telekommunikasiya şəbəkələrində mövcud olan şəbəkə, kommutasiya, kanal və terminal avadanlıqlarının istehsalçılarından asılılığı problemlərini geniş aspektdə həll edir.

Yuxarıda qeyd olunanlarla yanaşı, onu da nəzərə almaq lazımdır ki, hazırda optik nəqliyyat rabitə şəbəkələrində qovşaqlara çevrilmiş məlumatların emalı mərkəzləri əsasında “bulud” hesablamaların təşkilinə tələbatda sürətlə artır. Eyni zamanda, müasir “bulud” hesablamaları məlumat mərkəzlərinin sayının artmasına geniş töhfə verir və müasir magistral optik telekommunikasiya şəbəkələrinin ötürmə qabiliyyətinin artırılmasını tələb edir.

Mobil radiorabitə sistemlərində SDN texnologiyasından istifadə etməklə optik rabitə şəbəkələrində hərbi təyinatlı multimedia xidmətlərinin təşkili və göstərilməsi çox aktualdır. SDN-dən istifadə edən şəbəkədə multimedia xidmətləri müəyyən sayda optik alt daşıyıcılardan ibarət superkanal təşkil etməklə texniki cəhətdən həyata keçirilə bilər. Proqram təminatı ilə müəyyən edilmiş optik şəbəkələrdə xidmətlərin keyfiyyətinə çoxservisli rabitə şəbəkəsinin strukturunda böyük təsir göstərir.

Bu şərtlər daxilində tələb olunan optik sistemin magistral tutumun yüksək səviyyədə əldə edilməsi mühüm bir vəzifə kimi çox aktualdır və hesablama yükünü və məlumat mərkəzləri arasında məlumat miqrasiyasını balanslaşdırmaq üçün proqram təminatı ilə müəyyən edilmiş optik şəbəkələrdə “Bandwidth on Demand” xidməti böyük əhəmiyyət kəsb edir (İbrahimov, 2021).

Mobil radiorabitə sistemlərində əsas tutumu riyazi olaraq aşağıdakı kimi ifadə edilir (Ni et al., 2019):

$$E_{ME}(t, \lambda_i) = N_k \cdot V_b(t, \lambda_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad (3.22)$$

burada $E_{ME}(t, \lambda_i)$ – verilmiş t zamanı anında dalğa uzunluğu nəzərə alınmaqla λ_i , müəyyən bir vaxtda optik rabitə sistemlərinin magistral tutumudur, $i = \overline{1, n}$; N_k – SDN texnologiyasından istifadə edərkən "Bandwidth on Demand" xidmətinin

göstərilməsi üçün optik kanalların sayıdır və belə təyin edilir: $N_k = \frac{P_M}{P_{EX}}$ - bu isə o deməkdir ki, optik kanalda siqnalın böyük gücündə qeyri-xətti təhriflər baş verir; $V_b(t, \lambda_i)$ - dalğa uzunluğunu nəzərə alınmaqla t zamanı anında optik siqnalların ötürülməsinin bit sürəti $\lambda_i, i = \overline{1, n}$.

Mobil radiorabitə sistemlərində təklif olunan (1) ifadəsi də ki, N_k parametri optik çoxkanallı telekommunikasiya sistemlərinin mühüm xarakteristikalarından biridir. Burada P_M kəmiyyəti eksperimental olaraq müəyyən edilir. Bununla birlikdə, standart tək modlu lifdə $V_b(t, \lambda_i) = 10\text{Gbps}$ olduqda, tipik güc kəmiyyəti $P_M \cong 15\text{dBm}$ olur. Bu göstəricilər optik telekommunikasiya sistemlərinin keyfiyyətinə maksimal qiymətinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir (David et al., 2020).

Qeyd etmək lazımdır ki, P_M artanda və $OSNR$, azalan zamanı səhv əmsalı

$$P_{BER} \leq 10^{-12} \leq P_{BER}^{all}$$

olan optik siqnalın qəbulu üçün qəbulediciyə tələb olunan kəmiyyət, əvvəlcədən müəyyən edilmiş bəzi səviyyələri aşmayan $OSNR_T(P_S)$ və küy- faktorunu NF (küy- faktorunu gücləndiricinin spontan şüalanmasının gücü olub, F ilə ölçüsüz kəmiyyətlərdə, NF loqarifmik qiymətlərlə işarələnir və təyin edilir) 3 dB olduqda kaskadın uzunluğu 1,4 dəfə artır. Burada fərq bu şərtlə bağlıdır

,

hansı ki, optik lifli kabellərdə qeyri-xətti təsirlərlə üst-üstə düşür.

Bu halda, xəttin maksimal uzunluğu əsasən gücləndiricinin küyü, qeyri-xətti effektlər və polyarizasiyalı mod dispersiyası ilə məhdudlaşaraq aşağıdakı funksional asılılıqla təsvir olunur:

$$L_{\max}(\lambda_i) = W[L_m^o(\lambda_i), P_{\phi}^o, A_{fy}(\lambda_i), D_p(\lambda_i, \tau_d)] \quad , \quad i = \overline{1, n} \quad (3.23)$$

burada $L_m(\lambda_i)$ - dalğa uzunluğu nəzərə alınmaqla gücləndiricilər arasında icazə verilən maksimum məsafə $\lambda_i, i = \overline{1, n}$; $P_{\text{gücl}}^y$ - gücləndiricinin küyünün gücü; mobil radiorabitə sistemlərində qeyri-xətti liflərin səmərəliliyini nəzərə alan funksiya və işığın kiçik bir sahədə cəmlənməsi və bu yüksək işıq konsentrasiyasının optik lifli kabellərin bir çox kilometrində saxlanması ilə əlaqədardır.

3.3. Mobil radiorabitə sistemlərində siqnallarının kooperativ ötürülməsi zamanı maneədavamlılığın üsulun tədqiqi

Mobil radiorabitə sistemlərində siqnallarının kooperativ ötürülməsi tədqiq edilən paraqraf 2.4. yeni nəsillə rabitə şəbəkələrində maneəyədavamlılıq məsələlərinin təhlili və tədqiqinə həsr edilmişdir. Təklif olunan məqalədə telekommunikasiya şəbəkələrində siqnalların maneəyədavamlılıq problemlərinə baxılmışı və qəbul zamanı onların göstəricilərinin yaxşılaşdırılması üsulları geniş təhlil edilmişdir.

Mobil radiorabitə sistemlərində tədqiqat işinin məqsədi yeni nəsillə rabitə şəbəkələrində maneəyədavamlılıq məsələlərinin təhlili və tədqiqindən ibarətdir. Məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı vəzifələr qoyulmuşdur: məsələnin qoyuluşunun məqsəd funksiyası, rabitə kanallarına təsir edən maneə mənbələrinin ümumi təhlili, impuls maneə mənbələrini nəzərəalan rabitə kanalının riyazi modelinin işlənilib hazırlanması və bitə görə səhv ehtimalının tədqiqi və qiymətləndirilməsi.

Mobil radiorabitə sistemlərində problemi həll etmək üçün aşağıdakı tədqiqat üsullarından istifadə olunur: riyazi modelləşdirmə, maneəyədavamlılıq və siqnalların rəqəmsal emalı üsullarıdır (Смирнов et al., 2013).

Müasir dövrdə rəqəmsal texnologiyaların imkanlarından effektiv istifadə etməklə, hərbi təyinatlı yeni və gələcək nəsillə rabitə şəbəkələrinin arxitektura konsepsiyaları bazasında elektrik və optik sistemlərin sürətli inkişafı, qeyri-bircins trafiklər sellərinin müxtəlif rabitə kanalları vasitəsi ilə maneəyədayanıqlı ötürülməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Maneələrə qarşı sistemin dayanıqlılıq məsələləri mobil radiorabitə sistemlərində siqnallarının kooperativ ötürülməsi üçün şəbəkələrində və

radiotexniki komplekslərdə ən vacib və aktual problemlərindən biri kimi qəbul edilir və tədqiqat obyektinə hesab edilir.

Mobil radiorabitə sistemlərində siqnallarının kooperativ ötürülməsi və radiotexniki komplekslərdə maneələrə qarşı dayanıqlıq məsələləri müxtəlif elmi nəşrlərdə ətraflı şərh edilmiş və siqnalların etibarlı qəbulu üçün onların keyfiyyət göstəriciləri təhlil və tədqiq edilmişdir.

Mobil radiorabitə sistemlərində siqnallarının kooperativ ötürülməsi təhlil edilən bu elmi məqalələrdə isə qəbul zamanı siqnal-küy nisbəti, veriliş sürəti və səhv ehtimalları tədqiq edilmişdir. Lakin baxılan ədəbiyyat icmallarında müxtəlif maneə mənbələrinin təsiri, fiziki aralıqların riyazi modeli və keyfiyyət göstəriciləri kompleks təhlil və tədqiq edilməmişdir (İbrahimov, 2021).

Baxılan məqalə mobil radiorabitə sistemlərində siqnallarının kooperativ ötürülməsi Mobil radiorabitə sistemlərində siqnallarının kooperativ ötürülməsi yeni və gələcək nəsillər rabitə şəbəkələrində müxtəlif maneə mənbələrinin təsirini, maneəyə davamlılıq məsələlərinin təhlili və qəbul prosesinin keyfiyyət göstəricilərinin tədqiqinə həsr edilmişdir.

İlkin olaraq, təklif olunan məqalənin məqsədinə uyğun olaraq, maneəyə davamlılıq məsələlərinin təhlili və tədqiq üçün məlumatın ötürülməsi zamanı veriliş, rabitə kanalı və qəbul prosesinin keyfiyyət göstəriciləri arasında funksional asılılığı nəzərdən keçirək.

Baxılan funksional asılılıq kəmiyyət və keyfiyyət göstəricilərini nəzərə almaqla aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər (İbrahimov, 2016):

$$Q_{KG}(t, \lambda_i) = W[C(\lambda_i), P_{BER}, T_{BBX}(t, \lambda), SNR(P_S), N_m(t)] \quad , \quad (1)$$

burada $C(\lambda_i, \Delta F_k)$ - verici və qəbuledici üçün fiziki aralıqın tezlik zolağının eni ΔF_k və daxil olan sellərin intensivliyini nəzərə almaqla sistemin buraxma qabiliyyəti hesab edilir, bps ; P_{BER} - veriliş traktında qəbuledici sistemə rabitə kanalından daxil olan qarışıq siqnalların bitə görə səhv ehtimalı hesab olunur;

$T_{BBX}(t, \lambda_i)$ - faydalı və xidməti trafik paketlərinin verilmiş t anında ötürülməsi zamanı daxil olan məlumat sellərinin intensivliyini λ_i nəzərə alaraq yeni və gələcək nəsillər

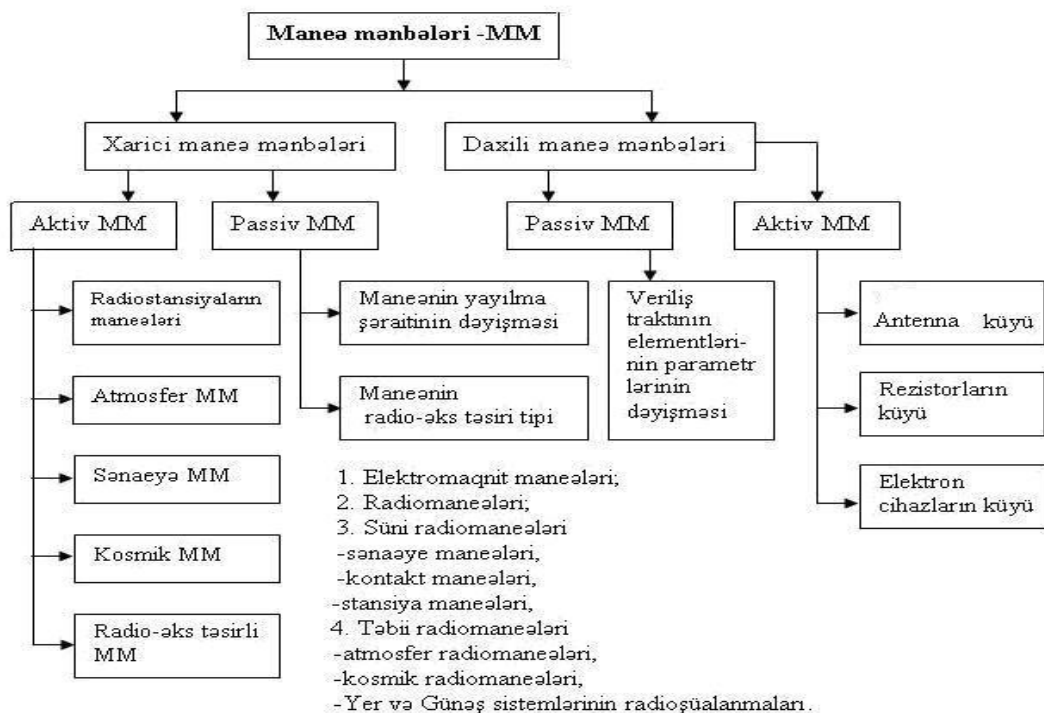
rabitə şəbəkələrinin ehtimal-zaman xüsusiyyətlərinin göstəricilərini nəzərə alan funksiya hesab olunur;

$SNR(P_S)$ – faydalı siqnalın veriliş gücünü P_S nəzərə almaqla, siqnal-küy nisbəti olub, fiziki aralıqların keyfiyyət parametri hesab edilir, dB; $N_m(t)$ – verilmiş t zaman anında müxtəlif maneə mənbələrinin siqnal formasında rabitə strukturlarına təsir formasını göstərir.

Təklif olunmuş (1) ifadəsi ümumi formada yeni və gələcək nəsil mobil radorabitə sistemlərində siqnallarının kooperativ ötürülməsi və radiotexniki komplekslərdə siqnalların maneəyədayanıqlı qəbulunun xarakterizə edən riyazi ifadə olub, kəmiyyət və keyfiyyət kriteriyaları ilə təyin olunub.

Məlumat mübadiləsi zamanı sistemin bütün veriliş traktında olduğu kimi, mobil rabitə kanallarında da qarışıq siqnalların ötürülməsi zamanı, onlara müxtəlif maneə mənbələri $N_m(t)$ təsir etməsi nəzərdə tutulur (Смирнов et al., 2013).

Mobil rabitə kanallarına təsir edən maneə mənbələrinin ümumi təsnifatı sxemi şəkil 1- də geniş aspektdə verilmişdir.



Şəkil 3.4. Mobil rabitə sistemlərində maneə mənbələrinin ümumi təsnifatı

Mobil rabitə sistemlərində maneə mənbələrinin bazası xarici MM , $N_m^x(t)$ və daxili MM, $N_m^d(t)$ ilə təyin olunması şəkil 3.4 də geniş şərh edilmişdir.

Mobil rabitə sistemlərində yeni nəsil rabitə şəbəkələrinin işləmə xarakterinə uyğun olaraq, yuxarıda qeyd olunanlarla yanaşı çoxlu elmi məqalələrdə (Федоров et al., 2015) və araşdırmalarda daxili və xarici maneə mənbələrinin rabitə kanalına geniş spektrdə təsirini nəzərə alan bir sıra çatışmazlıqlar aşkar edilmişdir. Bu problemlərin həlli üzərində geniş tədqiqat işləri və təhlillər hələdə davam etdirilir.

Mobil rabitə sistemlərində maneə mənbələrinin ümumi təsnifatını nəzərə almaqla (Şəkil 1), MM riyazi modelinin təsviri haqqında məsələyə baxmaq məqsədə uyğun olar. Bunun üçün, ilk növbədə nəzərə almaq lazımdır ki, maneə zamanın təsadüfi funksiyası kimi təsəvvür olunur, diskret vaxtın təsadüfi funksiyası - təsadüfi ardıcılıq kimi təyin edilir.

Bu zaman mobil rabitə sistemlərində fasiləsiz vaxtın təsadüfi funksiyasını - təsadüfi proses adlandırmaqla $P[m \leq x, N(t)]$, təsadüfi funksiyaların paylanma funksiyaları ilə $F_m[x, N(t)]$ xarakterizə olunur:

$$F_m[x, N(t)] = P[m \leq x, N(t)], N(t) = W[N_m^x(t), N_m^d(t)] , \quad (3.24)$$

Baxılan (2) ifadəsi, həmçinin rəqəmsal xüsusiyyətlər nəzərə alınmaqla, paylama funksiyaları şəklində də istifadə olunur. MM riyazi modelini hazırlamaq üçün stasionar və qeyri stasionar təsadüfi proseslərdə nəzərə alınır.

Təsadüfi maneə mənbələrinin siqnalların X paylanma funksiyası $F(x)$, verilmiş ehtimala uyğun olaraq $X < x$, yəni

$$F(x) = P(X < x)$$

yazılır. Burada ehtimal olunur ki, təsadüfi siqnalın X ədədi qiyməti x bir çox qiymətlərindən kiçik olacaqdır.

Qeyd edək ki, bütün təsadüfi proseslər arasında normal paylama prosesi - Hauss prosesi xüsusi yer tutur. Fakt budur ki, təsadüfi proseslərin təcrübəsindən elmə məlum olan çoxlu sayda təsadüfi proseslər, məhz Hauss paylanma funksiyası ilə ifadə olunur:

(3.25)

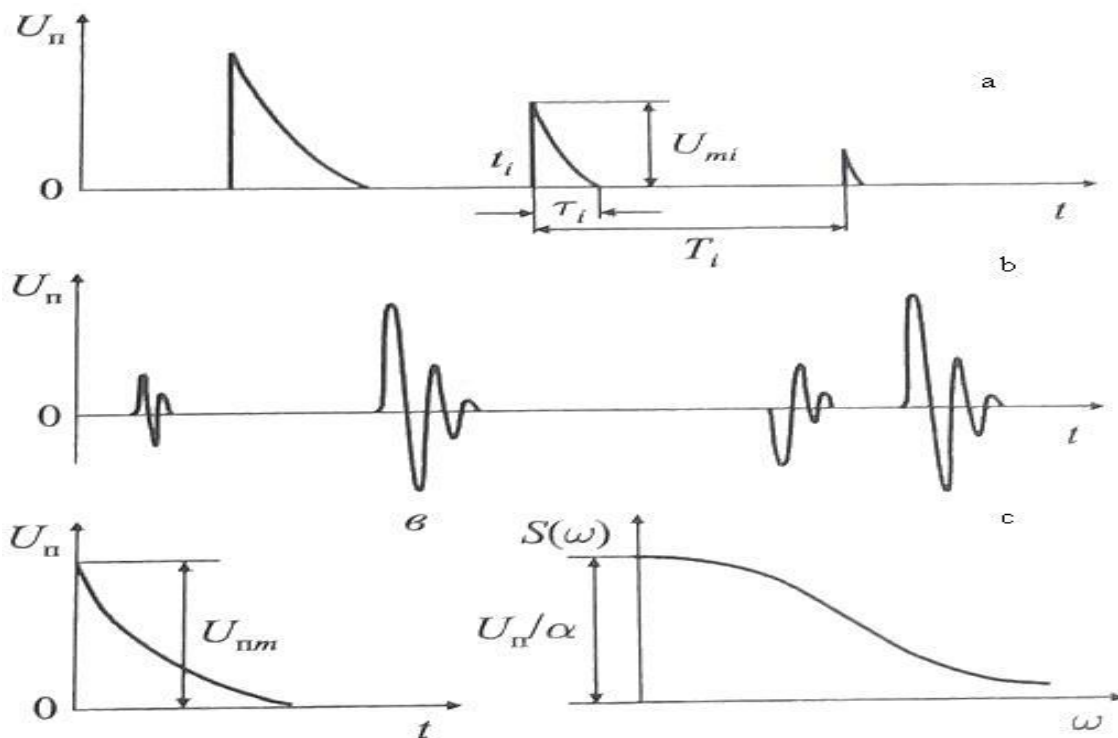
burada x - təsadüfi kəmiyyət, a , σ - funksiyanın parametrləridir.

Sonuncu (3) ifadəsi, baxılan hal və vəziyyətlər üçün tanınmış Lyapunov teoremi ilə izah olunur, ona görə müstəqil təsadüfi dəyişənlərin cəminin paylanması - bəzən kifayət qədər geniş şərtlərin paylanmasının xarakterindən asılı olmayaraq normala yaxınlaşır.

Mobil rabitə sistemlərində Hauss prosesi də riyazi (3) baxımdan çox diqqətə layiq xüsusiyyətlərə malikdir. Bu xüsusiyyətlər ehtimal nəzəriyyəsi və təsadüfi proseslər nəzəriyyəsi üzrə əsərlərdə də ətraflı təsvir edilmişdir.

Mobil rabitə şəbəkələrinə təsir edən maneə mənbələrindən biridə - impuls maneəsi hesab edilir. İmpuls maneəsi fərdi impulsları və ya fərdi video və ya radio impulslarının müntəzəm, tez-tez qeyri-stasionar təsadüfi ardıcılığını təmsil edir. Şəkil 2 (a, b, c) də impuls maneələrinin təsir formaları, zaman və tezlik diaqraması təsvir olunmuşdur (İbrahimov, 2012).

Mobil rabitə sistemlərində Təsvir forması bütün hallarda impuls maneəsinin funksiyası ilə verilmişdir: $U_n = F(t)$ və $S(\omega) = F(\omega)$



Şəkil 3.5. Mobil rabitə sistemlərində impuls maneələrinin təsir formaları,
zaman və tezlik diaqraması

Təklif olunmuş şəkil 3.5 (a, b, c) təyinatları, zaman və tezlik diaqraması t_i -ci impulsun yaranma vaxtı, τ_i – davamlılıq, T_i - izləmə intervalı və $U_{max\ i}$ – i -ci implusu üçün maksimum gərginliyin qiyməti hesab olunur.

Şəkil 3.5 zaman və tezlik diaqramasına uyğun olaraq, aşağıdakı bərabərsizlikləri - ümumi impuls maneə mənbələri üçün xarakterik hesab etmək olar:

$$, \quad (3.26)$$

burada - impuls maneəsinin təsirinə məruz qalan dövrənin qurulmasına sərf olunan zamandır; τ_c - signalın elementar göndərilməsinin müddəti.

Mobil rabitə sistemlərində impuls maneəsi əsasən, sənaye və atmosfer maneə mənbələrinin təsirindən yaranır. Təsadüfi impuls prosesinin həyata keçirilməsinin analitik ifadələri aşağıdakı formada ifadə edilərək, yazılır (David et al., 2020):

$$u_n(t) = \sum_{i=1}^n U_{ni} \cdot \phi(t - t_i, \tau_i). \quad (3.27)$$

Sonuncu (5) ifadəsinə görə baxılan proses parametrləri həm təsadüfi, həm də müntəzəm ola bilər.

Bərabərsizliklər toplusu olan (3.27), impuls təsirini üst-üstə düşən döyünmə - fluktuasiya müdaxiləsindən əsaslı şəkildə fərqlənən tək bir impulsun təsiri kimi nəzərdən keçirməyə imkan verir.

Mobil rabitə sistemlərində impuls maneəsinin riyazi ifadəsi, tipik eksponensial funksiya şəklində aşağıdakı kimi göstərilə bilər (şəkil 1 də olduğu kimi):

$$u_0(t) = \begin{cases} U_{nm} \exp(\alpha \cdot t), & t \geq 0, \\ 0, & t < 0. \end{cases} \quad (3.28)$$

harada α - maneələrin aşağı düşmə sürətini xarakterizə edən əmsal.

Furye çevirmələrinə uyğun olaraq impuls maneəsinin amplitudlarının spektral sıxlığı belə təyin edilir (İbrahimov, 2021):

$$S(j\omega) = \int_0^{\infty} u_n(t) e^{j\omega t} dt = \int_0^{\infty} U_{nm} e^{\alpha t} e^{-j\omega t} dt = \int_0^{\infty} U_{nm} \exp(\alpha - j\omega) t dt, \quad (3.29)$$

harada

$$S(j\omega) = \frac{U_{nm}}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}, \quad (3.30)$$

Axırıncı (7) və (8) ifadələri impuls maneəsi, tezliklə azalan genişzolaqlı spektr ilə xarakterizə olunur.

Mobil rabitə sistemlərində impuls maneəsinin təsir müddəti nə qədər qısa olarsa, yəni, α əmsalı nə qədər yüksək olarsa, tezlik spektri bir o qədər geniş və bərabər ölçülü olar və ümumi formada aşağıdakı kimi yazılır (İbrahimov, 2016):

$$W(U_{nm}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left[-\left(\frac{\lg^2 U_{nm}}{2\sigma_n^2}\right)\right], \quad \sigma_n^2 = \overline{\lg^2 U_{nm}}. \quad (3.30)$$

burada σ_n^2 - təsadüfi impuls maneəsinin dispersiyası olub, belə təyin edilir:

$$\sigma_n^2 = \overline{\lg^2 U_{nm}} = D_n[x] \quad (3.31)$$

Lakin, uzun müddət aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, zamana görə impulsların paylanması funksiyası Puasson paylanma qanuna yaxın hesab edilir və riyazi olaraq, belə ifadə olunur:

$$F(k, \theta) = \left[\frac{\left(\frac{\theta}{T_{cp}}\right)^k}{k!} \right] e^{-\frac{\theta}{T_{cp}}}, \quad \frac{\theta}{T_{cp}} = \lambda t, \quad (3.32)$$

burada $F(k, \theta)$ -vaxt ərzində k impulsların görünmə ehtimalı hesab edilir; θ ; T_{cp} - impuls maneənin izlənməsinin orta dövrüdür.

Əgər, biz $\frac{\theta}{T_{cp}} = \lambda t$ əvəzlənməsini qəbul edərixsə, klassik ehtimal sıxlıq Puasson paylanma funksiyasını almış olarıq. Yəni,

$$P(k, t, \lambda) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \exp(-\lambda t). \quad (3.33)$$

Sonuncu (3.32) və (3.33) ifadələri mobil rabitə sistemlərində təsadüfi impuls maneələrinin paylanma və ehtimal sıxlıq funksiyaları olub, təsadüfi impuls maneə mənbələrinin ehtimal xarakteristikalarını hesablamaq və rabitə kanalının riyazi modeli yaratmaq olar.

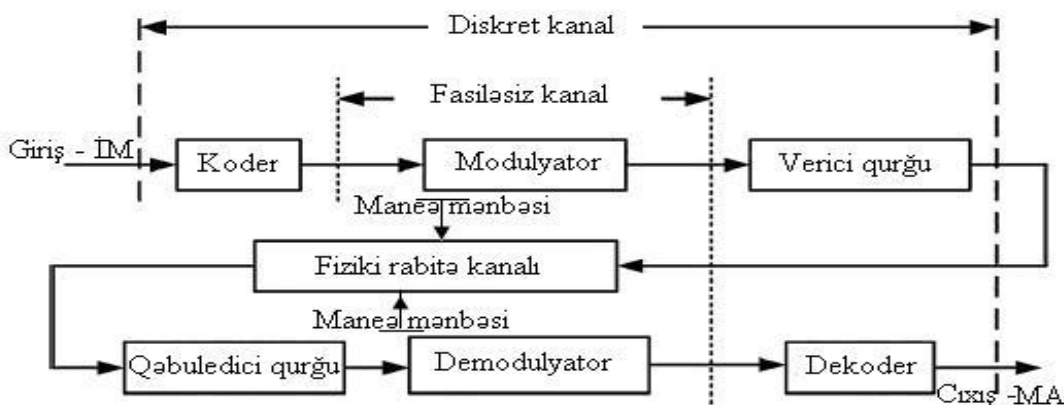
Mobil rabitə sistemlərində və multiservisli telekommunikasiya şəbəkələrində mənyədavamlığın yüksəldilməsi probleminin real həll yollarından biri verilmiş sistemlərinə ciddi riyazi modelləşdirmə metodlarının geniş tətbiqidir.

Bunların arasında dominant yerli şəbəkələrdə qəbuledici sistemlərin demodulyatorunun sintezi və siqnalların optimal qəbulu nəzəriyyəsi, koherent və qeyri-koherent qəbul üsulları hesab edilir.

Mobil rabitə sistemlərində şəkil 3 də diskret siqnalların verilişi zamanı düzgün ötürülməsi üçün işləyən veriliş sistemi və rabitə kanalının təklif edilən struktur sxemi olub, tədqiqat obyektini hesab olunur və aşağıdakı kimi göstərilmişdir. Struktur sxem əsasən aşağıdakı idarəedici bloklardan ibarətdir (Ericson et al., 2021):

-Diskret və fasiləsiz kanallar, fiziki rabitə kanalı;

-Giriş-informasiya mənbəyi (İM), çıxış məlumat alan (MA), son ünvan, maneə mənbəsi (MM).



Şəkil 3.6 Mobil rabitə sistemlərində məlumat siqnallarının düzgün ötürülməsi üçün veriliş sisteminin və rabitə kanalının struktur sxemi

Mobil rabitə sistemlərində şəkil 3 əsasən, məlumatların rabitə kanalı vasitəsilə müstəqil simvollar ardıcılığı şəklində ötürüldüyü zaman hesabi ifadə $\{a_i\}$, $i = 0, 1, \dots, k - 1$ olunur və takt T intervalı nəzərə alınmaqla aşağıdakı kimi yazılır (İbrahimov, 2016):

$$S(t, b) = N_m(t) + \sum_{i=0}^{k-1} a_i \cdot g(t - i \cdot T) \quad (3.34)$$

Sonuncu (12) ifadəsi qəbuledicinin girişində impuls ardıcılığını və riyazi modelin (RM) yekun ifadəsini xarakterizə edir.

Demodulyatorun sintez məsələsini nəzərə almaqla, RM bazasında bəzi vacib göstəricilərin təyin olunma alqoritminin təhlilinə baxaq.

1. Mobil rabitə sistemlərində ikili rabitə kanalında amplitud, tezlik və faza modulyasiyasından istifadə etdikdə, səhv ehtimalı belə təyin edilir:

$$P_{BER} = 1 - F \left[\left(\frac{E_0}{2N_0} \right)^{0.5} \right] = 1 - F \left\{ \left[\frac{E_0 + E_1 + 2E_{0,1}}{2N_0} \right]^{0.5} \right\}, \quad (3.35)$$

burada E – uyğun olaraq ikili siqnalın enerjisi hesab olunur, $E \in b_i \in \{0,1\}$, $E = (E_0, E_1)$;

N_0 – maneə siqnalının gücünün spektral sıxlığı hesab edilir, $\frac{Vt}{HS}$.

2. Mobil rabitə sistemlərində ikili rabitə kanalında demodulyatorun çıxışında siqnal-küy nisbəti (SNR, Signal Noise- to Rate) isə $SNR(P_S)$ belə ifadə olunur:

$$SNR(P_S) = 10 \lg \left[\left(\frac{P_S}{N_0} \right) \cdot T \right], \quad dB, \quad T = \frac{1}{\Delta F}, \quad (3.36)$$

burada ΔF – demodulyatorunda razılaşdırıcı süzgəcin tezlik zolağının enidir.

3. Mobil rabitə sistemlərində demodulyatorun çıxışında diskret siqnalların qəbulu ehtimalı belə təyin edilir:

$$P_{ds} = 1 - \sum_{i=1}^t C_N^{N-i} \cdot (1 - P_{te})^{N-i} P_{te}^i, \quad (3.37)$$

burada P_{te} – ikili siqnal məlumatların veriliş sistemində ötürülməsi zamanı təhrif olunma ehtimalı;

C_N^{N-i} – burada $N - 1$ üzrə binomial əmsalın N elementi;

t – Rida-Solomona kodunun düzəldici qabiliyyəti hesab edilir, kod ardıcılığının uzunluğu N və kod sürəti nəzərə alınmaqla belə təyin edilir:

$$t = 0,5N \cdot (1 - R_k) = 0,5(k + r)(1 - R_k), \quad (3.38)$$

burada R_k – Rida-Solomona kodunun sürəti olub, belə ifadə olunur $R_k = \left(\frac{k}{N} \right) < 1$.

4. Mobil rabitə sistemlərində Viterbi alqoritmi əsasında qurulmuş qəbuledicinin mürəkkəbliyini və Rida-Solomona kodunun kod məsafəsini nəzərə almaqla diskret siqnalların optimal qəbulu usulundan istifadə etməklə, bitə görə səhv ehtimalının yekun ifadəsi belə təyin olunur (İbrahimov, 2012):

$$P_{BER} = K \left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}} \cdot d_{\min(\square)} \right)_{\min \square}, \quad (3.39)$$

harada K_{\min} minimum məsafədə yerləşən siqnalların və onların fərqləndiyi simvolların sayından asılı olaraq təyin edilmiş bir sabitdir;

d_{\min} kod məsafəsi olub, ötürülə bilən siqnallar arasındakı minimum Evklid məsafəsində hesab edilir;

E_b – bir bit məlumatın ötürülməsinə sərf olunan enerji; $Q(x)$ –

Mobil rabitə sistemlərində Qauss funksiyasının səhv inteqralı hesab olunur və belə təyin edilir:

$$Q(\cdot) = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{0.5} \cdot \int_0^{\infty} \exp(-0.5u^2) du \quad (3.40)$$

Alınmış sonuncu (3.36),..., (3.40) ifadələri rabitə kanalının riyazi modelinin bazasında alınmış analitik ifadələr toplusu olub, maneəyə davamlılığını xarakterizə edən parametrləri hesablamaq üçün ifadələr toplusu hesab olunur.

Aparılmış tədqiqatlar əsasında müəyyən edilmişdir ki, baxılan problemin həlli zamanı əsas maneə veriliş sistemlərində siqnalların rəqəmsal emalı proseslərinin kifayət qədər adekvat riyazi modellərinin və qəbulunun maneəyə davamlılığını xarakteristikalarının effektiv ədədi analizi və optimallaşdırılması alqoritmlərinin olmamasıdır.

NƏTİCƏ

Dissertasiya işi üzrə aşağıdakı nəticələr əldə olunmuşdur:

1. Mobil rabitə sistemlərinin riyazi modelinin bazasında maneəyədayanıqlığı təhlil etmək üçün veriliş sisteminin fiziki aralıqlarının struktur sxemi və məlumat siqnallarının etibarlı ötürülməsi üsulu seçilmiş, elektrik və optik siqnalların qəbulu zamanı kanalların keyfiyyət göstəriciləri tədqiq olunmuşdur.

2. Mobil rabitə sistemlərində riyazi modelinin bazasında sistemin maneəyədayanıqlıq göstəricilərini qiymətləndirmək üçün aşağıdakı analitik ifadələr alınmışdır.

3. Mobil rabitə sistemlərində ikili rabitə kanallarında amplitud, tezlik və faza modulyasiyasından istifadə etməklə bitə görə səhv ehtimalı, demodulyatorun çıxışında siqnal-küy nisbəti, Viterbi alqoritmi əsasında Rida-Solomona kodundan istifadə etməklə, diskret siqnalların optimal qəbulu üçün bitə görə səhv ehtimalı.

4. Tədqiq edilən yeni yanaşmanın bazasında rabitə sistemlərinə maneə mənbələrinin təsirini nəzərə alan diskret rabitə kanalının riyazi modeli işlənilib hazırlanmışdır

5. Mobil rabitə sistemlərində koherent və qeyri-koherent qəbul alqoritmlərini, modulyasiya və maneəyədayanıqlı kodlama üsullarını tədqiq etməklə, keyfiyyətli qəbul prosesini təmin etmək üçün effektiv yeni yanaşma təklif olunmuşdur.

İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT

Abdel Hakeem S.A., Hussein H.H., Kim H. (2022) Vision and research directions of 6G technologies and applications // Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, no.34, pp.2419–2442.

Agiwal M., Roy A., Saxena N. (2021) Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol.18, iss.3, pp. 1617-1655.

Banafaa M., Shayea I., Din J., Azmi H.M., Alashbi A., Daradkeh Y.I., Alham madi A. (2023) 6G Mobile Communication Technology: Requirements, targets, applications, challenges, advantages, and opportunities // Alexandria Engineering Journal, vol.64, pp.245-274.

Costanzo A., Masotti D. (2018) Energizing 5G: Near and far-field wireless energy and data transfer as an enabling technology for the 5G IoT // IEEE Microwave Magazine, vol.18, no.3, pp.125–136.

David K., Berndt H. (2020) 6G vision and requirements: Is there any need for beyond 5G? // IEEE Vehicular Technology Magazine, vol.13, no. 3, pp.72–80.

Ericson M., Condoluci M., Rugeland P., Wänstedt S., Abad M.S., Haliloglu O., Feltrin L. (2021) 6G Architectural Trends and Enablers // IEEE 4th 5G World Forum, pp.406-411.

İbrahimov B.Q. (2012) Terminal qurğular və kanalyaradan sistemlər. Ali məktəblər üçün dərslik. Bakı -256 s.

İbrahimov B.Q. (2016) Elektrik rabitə nəzəriyyəsi. Ali məktəblər üçün dərslik. AzTU, Bakı, -382s.

İbrahimov B.Q. (2021) Telekommunikasiya sistemləri və texnologiyaları. Bakı, AzTU, -354 s.

İbrahimov B.Q. (2021) Telekommunikasiya sistemləri və texnologiyaları. Bakı, AzTU,354 s.

Lu X., Wang P., Niyato D., Kim D.I., Han Z. (2019) Wireless networks with RF energy harvesting: A contemporary survey // *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol.17, no.2, pp.757–789.

Məmmədov İ.Ə., Gözəlov E.B., Məmmədov Ə.A.. (2012) Naqilsiz rabitə texnologiyaları AzTU. Bakı. -614 c.

Mohammad M.M., Sumit K. (2022) Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G // *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, vol.6, iss.3, pp.2545-2551.

Molisch, A. F. (2011). *Wireless Communications*. Wiley. pp. 234-240.

Ni Y., Liang J., Shi X., Ban D. (2019) Research on Key Technology in 5G Mobile Communication Network // *International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City*, pp.199-201.

Prinima D., Pruthi D.J. (2016) Evolution of Mobile Communication Network: From 1G to 5G//*International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, no.4, pp.224–227.

Zhang, X., & Gursoy, M. C. (2009). "Collaborative relay beamforming for wireless ad hoc networks with limited feedback." *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 8(5), 2350-2361.

Zhang, R., & Cui, S. (2010). "Cooperative interference management with MISO beamforming." *IEEE Transactions on Signal Processing*, 58(10), 5450-5458.

Адаму А. (2010) Анализ производительности одной схемы многоканальной передачи потоковых данных в одноранговых сетях / А. Адаму, Ю.В. Гайдамака, А.К. Самуйлов // *Т–Comm – Телекоммуникации и Транспорт*. – № 7. – С. 14-18.

Башарин Г.П. (2019) Алгоритм расчета вероятностных характеристик функционирования оптических абонентских узлов в пассивной оптической сети / Г.П. Башарин, Ю.В. Гайдамака, Н.В. Русина // *Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика»*. – М.: Изд–во РУДН. – № 2. – С. 28–32.

Гайдамака Ю.В. (2020) Метод расчета характеристик интерференции двух взаимодействующих устройств в беспроводной гетерогенной сети / Ю.В.

Гайдамака, А.К. Самуйлов // Информатика и ее применения – Т. 9. – Вып. 1. – С. 9–14.

Зайцев, Д. А., & Петров, К. Н. (2014). "Методы улучшения помехоустойчивости в беспроводных сетях// Вопросы радиоэлектроники, 12(2), 56-62.

Олейникова А.В., Нуртай М.Д., Шманов Н.М. (2021) Перспективы развития связи 5G//Современные материалы, техника и технологии, № 2, с.233-235.

Петухов, А. В., & Иванов, С. И. (2012). "Кооперативные технологии в системах мобильной связи." Вестник РАН, 82(3), 145-157.

Склярин, Г. М. (2015). Беспроводная связь: основы и технологии. М.: Горячая линия – Телеком.

Сластухина В.И. (2021) Технологии для реализации сети нового поколения 5G // Экономика и качество систем связи, №4, с.42-49.

Смирнов, В. В., & Николаев, И. В. (2013). "Анализ помехоустойчивости в кооперативных MIMO системах." Телекоммуникации, 8(4), 28-34.

Федоров, Е. А., & Михайлов, Ю. П. (2015). Использование многоантенных систем для повышения помехоустойчивости//Радиотехника, 10(5), 41-47.