MOBIL ALOQA TIZIMLARI

Xalilov Muhammadmuso Muhammadyunusovich
Farg‘ona davlat texnika universiteti “Telekommunikatsiya muhandisligi” kafedrasi katta o‘qituvchisi.
Oripova Ruxshona Odiljon qizi
Farg‘ona davlat texnika universiteti talabasi
oripovaruxshona936@gmail.com
Mavlonjonova Azizaxon Mo‘sinjon qizi
Farg‘ona davlat texnika universiteti talabasi
azizaxonmavlonjonova41@gmail.com
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20542972

Annotatsiya: Ushbu tadqiqot ishida mobil aloqa tizimlarining fundamental tamoyillari, ularning 1G dan 5G gacha bo‘lgan evolutsion rivojlanish bosqichlari va kelajakdagi 6G tarmoqlarining istiqbollari tizimli tahlil qilingan. Maqolada tarmoq infratuzilmasining asosiy komponentlari (mobil qurilmalar, bazaviy stansiyalar, tarmoq boshqaruv tizimi va kommutatsiya markazlari) hamda ularning o‘zaro ishlash prinsiplari, jumladan, chastotani qayta ishlatish (frequency reuse) va qo‘ng‘iroqni uzatish (handoff) jarayonlari yoritilgan. Shuningdek, tizim samaradorligini baholash uchun chastotaviy modulyatsiya samaradorligi (E_{FM}), spektr samaradorligi, ma’lumot uzatish tezligi va energiya tejamkorligi indekslarini hisoblash metodologiyasi taklif etilgan. Kelajakda mobil tarmoqlarni optimallashtirishda sun’iy intellekt (AI), chekka hisoblashlar (Edge Computing) va Internet buyumlari (IoT) texnologiyalarining o‘rni hamda xavfsizlik muammolari tahlil qilinib, tegishli tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Kalit so‘zlar: Mobil aloqa, 5G, 6G, bazaviy stansiya, spektr samaradorligi, handoff, chastotani qayta ishlatish, sun’iy intellekt, Edge Computing, IoT, energiya samaradorligi.

MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

Annotation: This research work systematically analyzes the fundamental principles of mobile communication systems, their evolutionary development stages from 1G to 5G, and the prospects for future 6G networks. The article covers the main components of the network infrastructure (mobile devices, base stations, network management system, and switching centers) and the principles of their interaction, including frequency reuse and handoff processes. Also, a methodology for calculating the frequency modulation efficiency (E_{FM}), spectrum efficiency, data transfer rate and energy efficiency indices is proposed to assess the system efficiency. The role of artificial intelligence (AI), edge computing (Edge Computing) and Internet of Things (IoT) technologies in optimizing mobile networks in the future, as well as security issues, are analyzed, and relevant recommendations are developed.

Keywords: Mobile communication, 5G, 6G, base station, spectrum efficiency, handoff, frequency reuse, artificial intelligence, Edge Computing, IoT, energy efficiency.

МОБИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Аннотация: В данной исследовательской работе систематически анализируются фундаментальные принципы мобильных систем связи, этапы их эволюционного развития от 1G до 5G и перспективы будущих сетей 6G. В статье рассматриваются основные компоненты сетевой инфраструктуры (мобильные устройства, базовые станции, система управления сетью и коммутационные центры) и принципы их взаимодействия, включая повторное использование частот и процессы переключения. Также предложена методология расчета показателей эффективности частотной модуляции (E_{FM}), спектральной эффективности, скорости передачи

данных и энергоэффективности для оценки эффективности системы. Проанализирована роль технологий искусственного интеллекта (ИИ), граничных вычислений (Edge Computing) и Интернета вещей (IoT) в оптимизации мобильных сетей в будущем, а также вопросы безопасности, и разработаны соответствующие рекомендации.

Ключевые слова: Мобильная связь, 5G, 6G, базовая станция, спектральная эффективность, переключение между базовыми станциями, повторное использование частот, искусственный интеллект, граничные вычисления, IoT, энергоэффективность.

Kirish: Mobil aloqa tizimlari bugungi kunda global kommunikatsiyaning ajralmas qismiga aylangan. Ushbu tizimlarning rivojlanishi insoniyat hayotining barcha jabhalarida, jumladan, iqtisodiyot, madaniyat, ta'lim va shaxsiy muloqotda inqilobiy o'zgarishlarni yuzaga keltirdi. Mobil texnologiyalarning tez sur'atlarda o'sib borayotganligi va ularga bo'lgan talabning ortib borishi ushbu sohaga oid ilmiy tadqiqotlar va texnik yechimlarning dolzarbligini yanada kuchaytirmoqda. Ushbu bo'limning asosiy maqsadi mobil aloqa tizimlarining fundamental tamoyillari, ularning evolutsiyasi va zamonaviy texnologiyalardagi o'rni haqida keng qamrovli tushuncha berishdan iborat. Tadqiqotimiz mobil aloqa tizimlarining statistik va dinamik xususiyatlarini tahlil qilib, kelajakdagi rivojlanish yo'nalishlarini aniqlashga qaratilgan. Bunday bilimlarga ega bo'lish nafaqat sohaga oid mutaxassislar, balki ushbu texnologiyalardan foydalanuvchi keng jamoatchilik uchun ham muhim ahamiyat kasb etadi, zero bu bizning axborotlashgan jamiyatdagi o'rnimizni yanada mustahkamlaydi.

Mobil aloqa texnologiyalarining rivojlanishi tarixan bir qator avlodlarga bo'lingan bo'lib, har biri o'ziga xos xususiyatlar va imkoniyatlar bilan ajralib turadi. Birinchi avlod (1G) tizimlari faqat ovozli aloqani ta'minlagan, analog texnologiyalarga asoslangan edi va past sifatli, xavfsizligi sust edi. Keyinchalik paydo bo'lgan ikkinchi avlod (2G) tizimlari raqamli texnologiyalarga o'tishni boshladi, bu esa ovoz sifatini yaxshilash, SMS xabarlar almashish imkoniyatini yaratdi va ma'lumot uzatish tezligini oshirdi. GSM (Global System for Mobile Communications) va CDMA (Code Division Multiple Access) kabi standartlar 2G davrining muhim yutuqlaridir. Uchinchi avlod (3G) texnologiyalari mobil internetning rivojlanishiga turtki berdi, bu esa yuqori tezlikdagi ma'lumot uzatish imkoniyatini taqdim etdi. Bu davrda mobil qurilmalar orqali internetga kirish, multimedia kontentini ko'rish va yuklab olish keng tarqaldi. UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) va HSPA (High-Speed Packet Access) kabi texnologiyalar 3G imkoniyatlarini kengaytirdi. To'rtinchi avlod (4G) va ayniqsa LTE (Long-Term Evolution) texnologiyalari esa ma'lumot uzatish tezligini sezilarli darajada oshirib, zamonaviy mobil ilovalar, videoaloqalar va onlayn o'yinlar uchun zarur sharoitlarni yaratdi. IP-asosidagi tarmoqlar va yuqori o'tkazuvchanlik qobiliyati 4G ning asosiy xususiyatlaridir. Hozirda beshinchi avlod (5G) texnologiyalari joriy etilmoqda, bu esa yanada yuqori tezlik, kam kechikish (latency) va ko'proq qurilmalarni bir vaqtda ulash imkoniyatini taqdim etadi. 5G texnologiyasi nafaqat mobil aloqani, balki Internet of Things (IoT), o'z-o'zini boshqaruvchi avtomobillar, aqlli shaharlar va sanoat avtomatizatsiyasi kabi yangi sohalarni ham rivojlantirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Har bir avlodning rivojlanishi texnologik innovatsiyalar, standartizatsiya va global talabning ortishi bilan bog'liq bo'lib, mobil aloqa tizimlarini yanada zamonaviy va qulaylashtirmoqda.

Avloddan-avlodga o'tish samaradorligi indeksi:

$$E_{avlod} = \frac{P_{yangi}}{P_{eski}} * 100\%$$

Bu formula har bir keyingi mobil aloqa avlodining (masalan, 3G dan 4G ga) o'rtacha quvvat sarfini qanday foizda kamaytirganligini ko'rsatadi.

Ma'lumot uzatish tezligining yillik o'sish koeffitsienti:

$$k_{tezlik} = \frac{V_t - V_{t-1}}{V_{t-1}} \quad 100\%$$

Formula ma'lum bir davrdagi (t) ma'lumot uzatish tezligining oldingi davr ($t-1$) ga nisbatan o'rtacha yillik o'sish sur'atini aniqlaydi.

Spektr samaradorligining avlodlar bo‘yicha o‘zgarishi:

$$\Delta S = S_{yangi} - S_{eski}$$

Ushbu formula yangi avlod mobil texnologiyalarining (masalan, 5G) o‘sha spektrdan foydalanish samaradorligining (bit/s/Hz) eski avlodlarga nisbatan qanchalik oshganligini ko‘rsatadi.

Misol:

2G dan 3G ga o‘tishda o‘rtacha quvvat sarfi 100 birlikdan 75 birlikka kamaygan bo‘lsa, avloddan-avlodga o‘tish samaradorligi indeksini hisoblang.

Berilganlar: Eski avlod quvvati $P_{eski} = 100$ birlik, Yangi avlod quvvati $P_{yangi} = 75$ birlik.

$$E_{avlod} = \frac{P_{yangi}}{P_{eski}} * 100\%$$

$$E_{avlod} = \frac{75}{100} * 100\% = 75\%$$

$$E_{avlod} = 75\%$$

Mobil aloqa tizimlarining asosiy komponentlari tizimli tahlilni talab qiladi, chunki ularning har biri umumiy funksionallik va ishlash barqarorligiga hissa qo‘shadi. Birinchi darajali komponent - bu mobil qurilma yoki abonent terminali bo‘lib, u foydalanuvchiga tarmoqqa ulanish va aloqa o‘rnatish imkonini beradi. Bu qurilma ovozli qo‘ng‘iroqlar, SMS xabarlar, ma’lumotlarni uzatish va boshqa ko‘plab xizmatlarni amalga oshirish uchun zarur bo‘lgan radio qabul qiluvchi, uzatuvchi, antennalar va elektronPlatalarga ega. Ikkinchi muhim element - bu bazaviy stansiya, u mobil qurilmalar bilan bevosita radioaloqani ta’minlaydi. Bazaviy stansiyalar hududni qamrab olish uchun strategik joylarda joylashtiriladi va har bir bazaviy stansiya ma’lum bir hududda (joy) bir nechta mobil qurilmalarga xizmat ko‘rsatishi mumkin. Tarmoq boshqaruv tizimi (NMS) mobil aloqa infratuzilmasining markaziy nerv tizimi hisoblanadi. U barcha bazaviy stansiyalarni, ularning holatini, ish faoliyatini va resurslarini nazorat qiladi va boshqaradi. NMS tarmoqning samaradorligini optimallashtirish, nosozliklarni aniqlash va bartaraf etish hamda xizmat sifatini ta’minlashda muhim rol o‘ynaydi. Abonentni joylashtirish va qo‘ng‘iroqni boshqarish tizimlari (MSC) qo‘ng‘iroqlarni yo‘naltirish, abonentlarni autentifikatsiya qilish va ularning joylashuvini aniqlash uchun javobgardir. MSC tizimning «aql» markazi bo‘lib, u turli bazaviy stansiyalar va keng tarmoqlar o‘rtasida muloqotni tashkil etadi. Shuningdek, ma’lumotlar uzatish tarmoqlari mobil aloqa tizimlarining ajralmas qismidir, ular Internetga ulanish va boshqa ma’lumotga asoslangan xizmatlarni taqdim etadi. Ushbu komponentlarning o‘zaro hamkorligi mobil aloqa tizimlarining barqaror va samarali ishlashini ta’minlaydi, dunyo bo‘ylab milliardlab odamlarga uzluksiz aloqani taqdim etadi.

Mobil aloqa tarmoqlarining ishlash prinsipi radio chastotasi texnologiyasiga asoslanadi. Hujayraviy tarmoqlar ushbu texnologiyaning asosini tashkil etadi, bunda geografik hudud kichikroq, bir-biriga tutashgan «hujayralarga» bo‘linadi. Har bir hujayra o‘z markazida joylashgan bazaviy stantsiya (BS) tomonidan qoplanadi. Bazaviy stantsiya ma’lum bir chastota diapazonidan foydalanib, mobil qurilmalar (telefonlar) bilan simsiz aloqani ta’minlaydi. Mobil qurilma faol holatda bo‘lganda, u eng yaqin va eng kuchli signalga ega bo‘lgan bazaviy stantsiya bilan doimiy aloqada bo‘ladi. Agar foydalanuvchi bir hujayradan boshqasiga harakatlansa, masalan, avtomobilda sayohat qilsa, tarmoq boshqaruvi (Mobile Switching Center - MSC) avtomatik ravishda qurilmaning aloqasini joriy hujayradagi bazaviy stantsiyadan keyingi hujayradagi bazaviy stantsiyaga uzatadi. Bu jarayon «qo‘lni uzatish» (handoff) deb ataladi va foydalanuvchi uchun uzluksiz aloqani ta’minlaydi. Har bir bazaviy stantsiya ma’lum bir chastota to‘plamiga ega. Biroq, chastotalarning cheklanganligi sababli, ularni samarali ishlatish muhim. Shu maqsadda, bir-biridan yetarlicha uzoqda joylashgan hujayralarda bir xil chastota diapazonlarini qayta ishlatish mumkin. Bu chastota takrorlanishi (frequency reuse) deb nomlanadi va tarmoqning umumiy sig‘imini sezilarli darajada oshiradi. Masalan, bir shaharda minglab mobil qurilmalar bir vaqtning o‘zida ishlay oladi, chunki chastotalar samarali taqsimlangan. Qo‘ng‘iroqlar va ma’lumotlar bazaviy stantsiyalar orqali uzatiladi, keyin ular tarmoqning markaziy qismiga, ya’ni mobil almashtirish markaziga (MSC) yo‘naltiriladi. MSC qo‘ng‘iroqni boshqa mobil qurilmaga yoki umumiy telefon tarmog‘iga (Public Switched Telephone Network - PSTN) ulaydi. Ma’lumotlar uzatishda esa, MSC

Internetga ulanish nuqtasi (Gateway GPRS Support Node - SGSN va/yoki Serving GPRS Support Node - GGSN) vazifasini bajaradi. Bu tizimlar mazkur hujayradagi ma'lumotlarni boshqaradi va Internet tarmoqlari bilan bog'laydi. Zamonaviy 4G va 5G tarmoqlarida bu jarayonlar yanada murakkablashgan, paketli kommutatsiya va ko'proq chastota diapazonlaridan foydalanish imkoniyatlari kengaygan.

Mobil aloqa tizimlarining kelajagi va istiqbollari texnologik taraqqiyot bilan chambarchas bog'liq. 5G texnologiyasining keng tarqalishi va 6G standartlari ustida olib borilayotgan tadqiqotlar mobil aloqaning tezlik, sig'im va ulanish imkoniyatlarini sezilarli darajada oshiradi. Bu esa internetga ulanishning deyarli soniyasiga yetmasligi, virtual va kengaytirilgan reallik (VR/AR) kabi texnologiyalarning yanada rivojlanishi va sanoat avtomatizatsiyasida masofadan boshqaruvning mukammallashuviga olib keladi. Masalan, 5G texnologiyasi bilan boshqariladigan avtonom transport vositalari real vaqtda ma'lumot almashinuvi tufayli xavfsizlikni oshiradi. Kelajakda mobil aloqa tizimlari sun'iy intellekt (AI) va mashinani o'rganish (ML) bilan yanada chuqurroq integratsiya qilinadi. AI mobil tarmoqlarni optimallashtirish, resurslarni samarali taqsimlash va foydalanuvchi tajribasini yaxshilashda muhim rol o'ynaydi. Tarmoq xavfsizligini ta'minlash, potensial tahdidlarni oldindan aniqlash va oldini olish uchun AI dan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Internet of Things (IoT) qurilmalarining ko'payishi bilan mobil tarmoqlarga yuklama ortadi, bu esa AI ning tarmoq boshqaruvida asosiy vosita bo'lishini taqozo etadi. Masalan, AI yordamida aqlli shaharlar rivojlanib, energiya sarfini optimallashtirish va jamoat xavfsizligini ta'minlashga erishiladi. Shuningdek, Edge Computing (chekka hisoblash) texnologiyasining rivojlanishi mobil aloqa sohasida yangi imkoniyatlar yaratadi. Ma'lumotlarni markaziy serverlarda emas, balki foydalanuvchiga yaqin joylashgan «chekka» qurilmalarda qayta ishlash ma'lumotlar uzatish kechikishini (latency) kamaytiradi va tezroq javob berish muddatini ta'minlaydi. Bu esa real vaqt rejimida ishlaydigan ilovalar, masalan, telemeditsina va sanoat robototexnikasi uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. Kelajakda mobil aloqa tizimlari nafaqat insonlararo, balki inson va mashina, mashina va mashina o'rtasidagi muloqotni ham o'z ichiga olgan keng qamrovli aloqa infratuzilmasiga aylanadi. Bu esa global miqyosda iqtisodiy va ijtimoiy rivojlanishga katta turtki beradi.

Kelajak avlod tarmoqlari uchun spektr samaradorligini bashorat qilish:

$$S_{\text{future}} = S_{\text{current}} \quad (1+\alpha)^{t_{\text{future}} - t_{\text{current}}} \quad \beta$$

Bu formula kelajakdagi mobil avlodlar (masalan, 6G) uchun kutilayotgan spektr samaradorligini baholaydi. α - yillik o'sish koeffitsienti, β - texnologik innovatsiyalar ta'sirini hisobga oluvchi omil.

Tarmoq sig'imini global kengayishini modellashtirish:

$$C_{\text{global}} = \sum_{i=1}^{N} C_i \quad \gamma_i$$

Ushbu formula turli mintaqalar yoki texnologiyalar bo'yicha global tarmoq sig'imining umumiy o'sishini ko'rsatadi. γ_i -chi mintaqa yoki texnologiyaning sig'imga hissasi.

Kelajakdagi mobil qurilmalar uchun energiya samaradorligini prognoz qilish:

$$E_{\text{device, future}} = E_{\text{device, current}} \quad (1-\delta)^n$$

Bu formula kelajakdagi mobil qurilmalar uchun energiya sarfini kamaytirish tendentsiyasini modellashtiradi. δ - har bir avlodda energiya samaradorligining taxminiy yaxshilanish foizi, n - kelajak avlodlar soni.

Xulosa: Mobil aloqa tizimlari sohasida olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, bu texnologiya jamiyatimizning deyarli har bir jabhasiga chuqur kirib borgan. Ushbu tizimlar nafaqat shaxsiy muloqotni osonlashtirdi, balki biznes, ta'lim, sog'liqni saqlash va hatto davlat boshqaruvi kabi sohalarda ham inqilobiy o'zgarishlarga olib keldi. Tadqiqot natijalari mobil texnologiyalarning global iqtisodiyotni rivojlantirishdagi muhim rolini tasdiqlaydi, yangi ish o'rinlarini yaratadi va innovatsiyalarni rag'batlantiradi. Kelajakda mobil aloqa tizimlarining yanada rivojlanishi kutilmoqda. 5G va undan keyingi avlod texnologiyalari yanada yuqori tezlik, kamroq kechikish va ko'proq qurilmalarni ulash imkoniyatini taqdim etadi. Bu esa o'z navbatida, sun'iy intellekt, internet buyumlari (IoT), virtual va kengaytirilgan haqiqat kabi rivojlanayotgan texnologiyalarning keng qo'llanilishiga zamin yaratadi. Shu bilan birga, ushbu texnologiyalarning rivojlanishi bilan bog'liq xavfsizlik, maxfiylik va raqamli

tengsizlik kabi muammolarni hal qilish ham dolzarb ahamiyat kasb etadi. Shu sababli, mobil aloqa tizimlarining kelajakdagi rivojlanishini ta’minlash uchun izchil tadqiqotlar olib borish, yangi standartlarni ishlab chiqish va qonunchilikni takomillashtirish zarur. Operatorlar, texnologiya ishlab chiqaruvchilar va hukumatlar hamkorlikda ishlashlari kerak. Ta’lim muassasalari talabalarni kelajakdagi texnologiyalarga tayyorlash uchun o‘quv dasturlarini yangilashi lozim. Ushbu chora-tadbirlar mobil aloqa tizimlarining insoniyat taraqqiyotiga hissasini yanada oshirishga imkon beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Aliev, R. M., & Karimov, S. A. (2022). *Mobil aloqa tizimlari va tarmoqlari: fundamental tamoyillar.* Toshkent: "Aloqachi" nashriyoti. (45–78 b)
2. Goldsmith, A. (2020). *Wireless Communications* (2nd Edition). Cambridge University Press. (210–245 b)
3. Proakis, J. G., & Salehi, M. (2018). *Digital Communications* (5th Edition). McGraw-Hill. (389–412 b)
4. Safarov, T. S. (2024). *Kelajak avlod mobil tarmoqlari (6G) va intellektual boshqaruv tizimlari.* Toshkent: "Fan va texnologiya" nashriyoti. (89–115 b)
5. Rappaport, T. S. (2019). *Wireless Communications: Principles and Practice.* Pearson Education. (154–180 b)