

MOBIL ALOQA TARMOQLARI(2G, 3G, 4G,5G)

MADAMINOV M.R., MUHAMMADVALIEV A.A.

Farg'ona davlat texnika universiteti o'qituvchisi, beysavash@gmail.com

Farg'ona davlat texnika universiteti talabasi, beysavash@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada mobil aloqa texnologiyalarining paydo bo'lishi va texnologik bosqichlari - 2G, 3G, 4G hamda 5G avlodlari misolida atroflicha tahlil qilingan. Tadqiqotda har texnologik avlodning texnik parametrlari, ma'lumot yo'nalishlari, kanal sig'imini spektral darajani ko'rib chiqish usullari, multimedia xizmatlarining ishlashi (3G), yuqori tezlikdagi mobil internetning ommabop vositalari (IoT) va internet vositalari (IoT) ultra hammada kechikish qobiliyatini yaratgan 5G ning ijtimoiy-iqtisodiy ahamiyati. Maqola so'ngida 6G aloqa tizimlariga o'tish istiqbollari va mavjud infratuzilmani ta'minlash masalalari bo'yicha ishlab chiqarilgan.

Kalit so'zlar: Mobil aloqa, 2G (GSM), 3G (UMTS), 4G (LTE), 5G, GPRS, EDGE, Massiv MIMO, ma'lumot uzatish, kechikish (latency), interneti (IoT).

Kirish: Mobil aloqa texnologiyalari zamonaviy jamiyatning ajralmas qismiga aylandi, aloqa, iqtisodiyot va ijtimoiy munosabatlarda tub o'zgarishlarga olib keldi. Dastlabki 2G tarmoqlaridan hozirgi 5G avlodigacha bo'lgan bu texnologiyalarning evolyutsiyasi insoniyatning tezkor va samarali aloqaga bo'lgan doimiy intilishini aks ettiradi. Ushbu tadqiqot mobil aloqa tarmoqlarining rivojlanish bosqichlarini, ya'ni 2G, 3G, 4G va 5G texnologiyalarini tahlil qilishga qaratilgan. Bunda har bir avlodning o'ziga xos xususiyatlari, texnik imkoniyatlari va jamiyatga ta'siri ko'rib chiqiladi. Mavzuning dolzarbligi shundaki, mobil aloqa texnologiyalari nafaqat shaxsiy muloqotni, balki sanoat, ta'lim, sog'liqni saqlash kabi sohalarni ham jadallik bilan rivojlantirmoqda. Ushbu tahlil mobil aloqa texnologiyalarining kelajakdagi yo'nalishlarini tushunish va ularning ijtimoiy-iqtisodiy ahamiyatini baholash uchun muhim asos yaratadi. Maqsad, ushbu tarmoqlarning texnik taraqqiyotini o'rganish va ularning inson hayotidagi o'rnini belgilashdir.

Avlod	Davr	Texnologiya	Asosiy xizmatlar	Tezlik	Xususiyati
1G	1980-yillar	Analog (AMPS, NMT)	Faqat ovozli aloqa	2,4 kbit/s	Analog signal, o'tgan.

Avlod	Davr	Texnologiya	Asosiy xizmatlar	Tezlik	Xususiyati
2G	1990-yillar	Raqamli (GSM, CDMA)	Ovoz, SMS, GPRS/EDGE	50 - 250 kbit/s	Raqamli kodlash, SMS inqilobi, SIM karta.
3G	2000-lar	UMTS, WCDMA	Mobil internet, videoqo'ng'iroq	2 - 42 Mbit/s	Keng polosali internetga kirish.
4G	2010-yillar	LTE, WiMAX	HD video, onlayn o'yinlar	100 Mbit/s - 1 Gbit/s	Past kechikish (latency), butunlay IP-ga raqobat.
5G	2020-yilgi	5G NR (Yangi radio)	IoT, aqlli shahar, AI	10 - 20 Gbit/s	Ultra past kechikish, massiv qurilma ulanishi.

Ikkinchi avlod (2G) mobil aloqa tarmoqlari telekommunikatsiya tarixida muhim bosqich bo'lib, analog aloqa (1G) davridan raqamli aloqaga o'tishni belgiladi. Bu avlod 1990-yillarning boshlarida joriy etilgan bo'lib, asosan GSM (Global System for Mobile Communications) standarti orqali keng tarqaldi. 2G texnologiyasining asosiy afzalligi ovozli aloqani raqamli kodlash va uzatish imkoniyati edi, bu esa signal sifati va xavfsizligini sezilarli darajada yaxshiladi. Raqamli uzatish fon shovqinini kamaytirib, suhbat aniqligini oshirdi. 2G tarmoqlari nafaqat ovozli aloqani, balki cheklangan ma'lumotlar uzatish xizmatlarini ham taqdim etdi. Eng muhim qobiliyatlardan biri qisqa xabarlar xizmati (SMS) bo'lib, u mobil aloqaning ijtimoiy va iqtisodiy ahamiyatini tubdan o'zgartirdi. SMS orqali foydalanuvchilar qisqa matnli xabarlarni tez va samarali ravishda almashish imkoniyatiga ega bo'ldilar, bu esa yangi turdagi kommunikatsiya modelini yaratdi. Shuningdek, 2G texnologiyasi SIM kartalarining (Subscriber Identity Module) joriy etilishiga olib keldi, bu esa abonentlarning o'z telefon raqamlarini qurilmalardan mustaqil ravishda ishlatishiga imkon berdi. Bu esa mobil qurilmalar va xizmatlar o'rtasida o'zaro almashinuvchanlikni oshirdi. GPRS (General Packet Radio Service) va EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)

kabi kengaytmalar 2G tarmoqlarining ma'lumotlar uzatish tezligini oshirdi, bu esa mobil internetning dastlabki shakllarini, masalan, WAP (Wireless Application Protocol) orqali veb-sahifalarni ko'rish kabi imkoniyatlarni yaratdi. Garchi bu tezliklar hozirgi standartlarga nisbatan juda past bo'lsa-da (GPRS 50 kbit/s gacha, EDGE 236 kbit/s gacha), ular mobil ma'lumotlar xizmatlarining asosini qo'ydi va kelgusi avlod tarmoqlarining rivojlanishi uchun zamin yaratdi. 2G tarmoqlari global miqyosda mobil aloqaning ommalashishida hal qiluvchi rol o'ynadi va mobil ekotizimning poydevorini shakllantirdi.



2G ovozli kodlash samaradorligi (GSM EFR):

$$E_{\text{ovoz}} = \frac{R_{\text{kodlangan}}}{R_{\text{umumiy}}}$$

Bu formula 2G tarmog'ida ovozli ma'lumotlarning siqish va kodlash samaradorligini ifodalaydi. $R_{\text{kodlangan}}$ - kodlangan ovoz bit tezligi, R_{umumiy} - umumiy kanal bit tezligi.

2G kanal sig'imi (TDMA slot):

$$C_{\text{slot}} = N_{\text{bit}} \times \frac{1}{T_{\text{slot}}}$$

Ushbu formula 2G TDMA (Time Division Multiple Access) texnologiyasida bitta vaqt oralig'ining (*slot*) nazariy sig'imini hisoblaydi. N_{bit} - bitta slotdagi bitlar soni, T_{slot} - bitta slotning davomiyligi.

2G ma'lumot uzatish tezligi (GPRS va EDGE gacha):

$$R_{\text{ma'lumot}} = N_{\text{kanal}} \times R_{\text{bir_kanal}} \times K_{\text{kodlash}}$$

Bu formula 2G tarmog'ida (GPRS va EDGE texnologiyalari joriy etilgunga qadar) ma'lumot uzatishning nazariy maksimal tezligini ko'rsatadi. N_{kanal} - foydalanilgan kanal soni, $R_{\text{bit_kanal}}$ - bittakanalning bit tezligi, K_{kodlash} - kodlash koeffitsienti.

Misol: GSM tarmog'ida bitta TDMA slotida 156.25 bit uzatilsa, slot davomiyligi 0.577 ms bo'lsa, ushbu slotning kanal sig'imini hisoblang. Natijani kbit/s da ifodalang.

$$N_{\text{bit}} = 156.25 \text{ bit}, T_{\text{slot}} = 0.577 \text{ ms} = 0.577 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Topish kerak: C_{slot}

$$C_{\text{slot}} = N_{\text{bit}} \times \frac{1}{T_{\text{slot}}}$$

$$C_{\text{slot}} = 156.25 \text{ bit} \times \frac{1}{0.577 \times 10^{-3} \text{ s}}$$

$$C_{\text{slot}} \approx 270797.22 \text{ bit/s}$$

$$C_{\text{slot}} \approx \frac{270797.22}{1000} \text{ kbit/s} \approx \mathbf{270.8 \text{ kbit/s}}$$

Natija: 270.8 kbit/s

Uchinchi avlod mobil aloqa tarmoqlari (3G) 2000-yillarning boshlarida joriy etilib, mobil aloqa sohasida inqilobiy o'zgarishlarni keltirib chiqardi. Bu texnologiya asosan yuqori tezlikdagi ma'lumotlar uzatish imkoniyatini ta'minlab, mobil internetning keng tarqalishiga zamin yaratdi. 2G tarmoqlari asosan ovozli qo'ng'iroqlar va qisqa xabar almashish (SMS) uchun mo'ljallangan bo'lsa, 3G multimedia xizmatlari, masalan, video qo'ng'iroqlar, mobil televidenie va kengroq ma'lumotlar talab qiladigan ilovalar uchun zarur bo'lgan tarmoq o'tkazish qobiliyatini taklif etdi. 3G texnologiyasining asosiy standartlari UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) va CDMA2000 bo'lib, ular 2G texnologiyalariga nisbatan sezilarli darajada yuqori ma'lumotlar uzatish tezligini ta'minladi. Masalan, UMTS dastlabki versiyalarida 384 kbit/s gacha tezlikni ta'minlagan bo'lsa, HSPA (High-Speed Packet Access) kabi keyingi takomillashtirishlar bu tezlikni bir necha Mbit/s ga oshirdi. Bu esa mobil qurilmalar orqali veb-sahifalarni tezroq yuklash, elektron pochta xabarlarini samaraliroq boshqarish va hatto onlayn o'yinlar o'ynash

imkonini berdi. Multimedia xizmatlarining rivojlanishi 3G ning asosiy yutuqlaridan biri bo'ldi. Video qo'ng'iroqlar, ya'ni bir-biriga qo'ng'iroq qilayotgan shaxslarning bir-birini ko'rish imkoniyati ilk bor 3G bilan realistik tus oldi. Shuningdek, mobil televidenie, ya'ni telekanallarni mobil telefon orqali tomosha qilish imkoniyati ham 3G tarmog'ining keng tarqalishi bilan bog'liq. Bu xizmatlar mobil aloqaning shunchaki aloqa vositasi emas, balki keng ko'lamli axborot va ko'ngilochar platformaga aylanishida muhim rol o'ynadi. 3G mobil qurilmalarning funkcionalligini oshirishga va smartfonlarning paydo bo'lishiga ham yo'l ochdi, chunki bu qurilmalar yuqori tezlikdagi internetga bog'liqlikni talab qilar edi. Natijada, 3G mobil aloqa sohasida tub o'zgarishlarni keltirib chiqardi va keyingi avlod tarmoqlarining rivojlanishi uchun mustahkam poydevor yaratdi.

4G mobil aloqa texnologiyasi 2000-yillarning oxirida paydo bo'lib, mobil internet tezligi va imkoniyatlarida sezilarli sakrashni ta'minladi. Bu avlodning asosiy maqsadi foydalanuvchilarga yuqori tezlikdagi ma'lumotlar uzatish va keng polosali mobil aloqani ta'minlash edi, bu esa 3G tarmoqlarining cheklovlarini bartaraf etdi. 4G texnologiyasining asosiy standartlari LTE (Long Term Evolution) va WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) bo'lib, ulardan LTE kengroq tarqalgan. LTE texnologiyasi IP (Internet Protocol) asosiga qurilgan bo'lib, bu barcha aloqa turlarini, shu jumladan ovozli qo'ng'iroqlarni ham paketli ma'lumotlar sifatida uzatish imkonini berdi. 4G tarmoqlarida ma'lumot uzatish tezligi nazariy jihatdan sekundiga 100 megabit (Mbps) dan oshadi va ba'zi hollarda gigabit tezliklarga ham erishishi mumkin. Bu esa HD sifatli videolarni mobil qurilmalarda uzluksiz tomosha qilish, onlayn o'yinlar o'ynash va katta hajmdagi fayllarni tez yuklab olish yoki yuklash imkoniyatini yaratdi. Qo'shimcha ravishda, 4G tarmoqlari kechikish (latency) darajasini ham sezilarli darajada kamaytirdi, bu esa real vaqt rejimida ishlaydigan ilovalar va xizmatlar uchun muhim ahamiyatga ega. Masalan, videokonferensiyalar va masofaviy ish dasturlari samaradorligi oshdi. 4G texnologiyasining keng qo'llanilishi mobil qurilmalar va mobil internetga bo'lgan talabni oshirdi, bu esa smartfonlarning kundalik hayotimizdagi markaziy rolini mustahkamladi. Ushbu avlod tarmoqlarining

rivojlanishi mobil ilovalar ekotizimining kengayishiga ham xizmat qildi, chunki ishlab chiquvchilar tezkor va barqaror internetga tayanib, yanada murakkab va funksional ilovalar yaratish imkoniyatiga ega bo'ldilar. 4G global miqyosda raqamli infratuzilmaning muhim qismiga aylanib, iqtisodiy o'sish va ijtimoiy rivojlanishga katta hissa qo'shdi.

5G texnologiyasi mobil aloqa evolyutsiyasining navbatdagi bosqichi bo'lib, avvalgi avlodlarga nisbatan misli ko'rilmagan tezlik, minimal kechikish va ulkan ulanish imkoniyatlarini taqdim etadi. Ushbu avlodning asosiy afzalligi gigabit tezlikdagi ma'lumot uzatish imkoniyatidir, bu esa real vaqt rejimida katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash va uzatishni ta'minlaydi. Masalan, 4K yoki hatto 8K sifatli videolarni uzluksiz striming qilish, virtual va kengaytirilgan reallik (VR/AR) ilovalarini qulay ishlatish imkoniyati yaratiladi. Bu imkoniyatlar masofaviy ta'lim, telemeditsina va real vaqtda hamkorlik qiluvchi sanoat ilovalarida inqilobiy o'zgarishlarga olib keladi. 5G ning yana bir muhim xususiyati uning ultra past kechikishidir, bu esa bir millisekunddan kamroq vaqtni tashkil qiladi. Bunday kechikish avtonom transport vositalarida, masofadan turib boshqariladigan robototexnika tizimlarida va sanoat avtomatizatsiyasida hal qiluvchi ahamiyatga ega. Misol uchun, avtonom mashinalar yo'l harakati haqida real vaqtda ma'lumot olib, xavfsizroq va samaraliroq harakatlanish imkoniyatiga ega bo'ladi. Bu esa inson xatosi tufayli yuzaga keladigan avariylar sonini sezilarli darajada kamaytiradi. Bundan tashqari, 5G Internet of Things (IoT) uchun mustahkam asos yaratadi. U bir vaqtning o'zida milliardlab qurilmalarni ulash imkoniyatini taqdim etadi, bu esa aqlli shaharlar, aqlli uylar va aqlli sanoat tizimlarini rivojlantirishga olib keladi. Har bir sensor, kamera va boshqa aqlli qurilma markaziy tizimga ulanib, ma'lumot almashishi mumkin, bu esa resurslardan samaraliroq foydalanish va operatsion xarajatlarni kamaytirish imkonini beradi. Masalan, aqlli shaharlarda transport oqimini optimallashtirish, energiya sarfini kamaytirish va chiqindilarni boshqarish kabi vazifalar avtomatlashtirilishi mumkin. 5G ning bu imkoniyatlari hozirda mavjud bo'lmagan yangi biznes modellarini va xizmatlarni yaratishga zamin yaratadi.

Massiv MIMO orqali spektral samaradorlikni oshirish:

$$R_{MIMO} = B \log_2 \left(1 + \frac{P_t \mathbf{H} \mathbf{H}^H}{N_0} \right)$$

Bu formula 5G ning Massiv MIMO texnologiyasi orqali erishiladigan spektral samaradorlikni (bit/s/Hz) ifodalaydi. Bu yerda B – o‘tkazish qobiliyati, P_t – uzatish quvvati, H – kanal matritsasi, N_0 – shovqin quvvat zichligi.

Ultra past kechikish va ulanish zichligi:

$$\tau_{5G} = \frac{1}{R_{URLLC}} + \frac{L_{eMBB}}{N_{dev}}$$

Bu formula 5G tarmoqlarida ultra past kechikish (URLLC) va yuqori ulanish zichligini ifodalaydi. R_{URLLC} – URLLC xizmatlari uchun ma’lumot uzatish tezligi, L_{eMBB} – keng polosali mobil aloqa uchun yuklama, N_{dev} – ulangan qurilmalar soni.

Tarmoq bo‘laklash (Network Slicing) daromadi:

$$\eta_{slice} = \sum_{i=1}^{N_{slices}} \frac{R_i}{C_i}$$

Ushbu formula 5G ning tarmoq bo‘laklash (Network Slicing) texnologiyasi orqali erishiladigan umumiy samaradorlikni (daromad/xarajat) ko‘rsatadi. Bu yerda R_i – i -chi bo‘lakdan olinadigan daromad, C_i – i -chi bo‘lakning xarajati, N_{slices} – jami bo‘laklar soni.

Misol: 5G Massiv MIMO tizimida 100 MHz o‘tkazish qobiliyati, 100 mW uzatish quvvati va 10 dB signal-shovqin nisbati (SNR) bilan maksimal spektral samaradorlikni hisoblang. Kanal matritsasining o‘rta kvadrati 1 ga teng deb hisoblang.

$$B = 100 \text{ MHz}, P_t = 100 \text{ mW}, SNR = 10 \text{ dB}, \| H \|^2 = 1, R_{MIMO}$$

$$SNR_{in} = 10^{\frac{SNR_{dB}}{10}} = 10^{\frac{10}{10}} = 10$$

$$N_0 = \frac{P_t}{SNR_{in} \times \| H \|^2} = \frac{100 \text{ mW}}{10 \times 1} = 10 \text{ mW}$$

$$R_{MIMO} = B \log_2 \left(1 + \frac{P_t \| H \|^2}{N_0} \right)$$

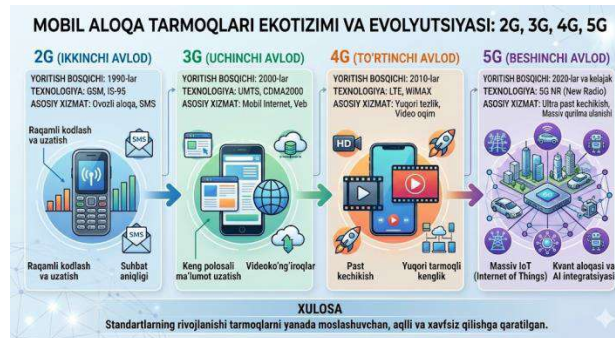
$$R_{MIMO} = 100 \times 10^6 \times \log_2 \left(1 + \frac{100 \text{ mW} \times 1}{10 \text{ mW}} \right)$$

$$R_{MIMO} = 100 \times 10^6 \times \log_2(1 + 10)$$

$$R_{MIMO} = 100 \times 10^6 \times \log_2(11)$$

$$R_{MIMO} \approx 100 \times 10^6 \times 3.459 \text{ bit/s/Hz}$$

Natija: Taxminan 345.9 Mbit/s spektral samaradorlikka erishiladi.



Xulosa: Mobil aloqa tarmoqlari 2G dan 5G gacha bo‘lgan evolyutsiyasi bugungi kunda jamiyat hayotining ajralmas qismiga aylandi. Har bir avlod o‘ziga xos imkoniyatlar bilan aloqa sifatini, tezligini va ishonchliligini oshirdi. Bugungi kunda 4G texnologiyasi keng tarqalgan bo‘lib, mobil internetga yuqori tezlikda ulanish imkonini bermoqda. 5G texnologiyasi esa yanada yuqori tezlik, past kechikish va kengroq o‘tkazish qobiliyatini ta’minlab, sun’iy intellekt, narsalar interneti va avtonom transport kabi sohalar uchun yangi imkoniyatlar ochmoqda. Kelajakda mobil aloqa tarmoqlari yanada rivojlanib, real vaqt rejimida yanada murakkab va integratsiyalashgan xizmatlarni taqdim etishi kutilmoqda. 6G va undan keyingi avlodlar mobil aloqani kengroq spektrlar, kvant hisoblash va sun’iy intellektning chuqur integratsiyasi orqali inson va mashina o‘rtasidagi o‘zaro aloqani tubdan o‘zgartirishi mumkin. Bu rivojlanishlar iqtisodiyotning turli sohalarida samaradorlikni oshirishga, yangi sanoat tarmoqlarini yaratishga va inson hayotini yanada qulay va samarali qilishga xizmat qiladi. Biroq, bu texnologiyalarning joriy etilishi infratuzilmani yangilash, xavfsizlikni ta’minlash va teng foydalanish imkoniyatlarini yaratish kabi muammolarni ham o‘z ichiga oladi. Shuning uchun, mobil aloqa kelajagi

texnologik innovatsiyalar bilan birga ijtimoiy va iqtisodiy jihatlarni ham hisobga olgan holda rejalashtirilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Xolmatov SK Mobil aloqa texnologii va hujjat tatbiqi masalalari // Telekommunikatsiyalar va axborot texnologiyalari. 2023. No 2. 45-52-betlar.
2. Sobirov FU Mobil aloqa kompaniyalari boshqaruv tendensiyalari. Toshkent: “Adabiyot uchqunlari”, 2022.
3. Raximov A.E. Simsiz aloqa texnologiyalari. Toshkent: Tafakkur qanoti, 2019.
4. Karimov BM, Saidov DN Raqamli telekommunikatsiya aloqalarining umumiy tuzilishi. Toshkent: O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi Davlat ilmiy nashriyoti, 2020.
5. Azimov AA Mobil aloqa tizimlari asoslari. Toshkent: Fan nashriyoti, 2018.