

Four evolutionary phases — rule-based systems, statistical machine learning, deep learning, and generative AI — have progressively expanded AI's transformative scope. Three original data visualizations (Figures 1–3) and three analytical tables quantify this trajectory and its sectoral manifestations. Future prospects — including autonomous AI agents, quantum-AI convergence, edge intelligence, and the EU AI Act governance framework — indicate that AI's role in digital transformation will intensify substantially over the coming decade.

For researchers, this paper establishes an empirically grounded baseline for comparative analysis and identifies the persistent gap between AI deployment and value realization as a priority research agenda. For practitioners, the evidence on AI high performers provides actionable strategic guidance: scale AI across functions, invest proportionally, and embed governance from the outset. The organizations that will define the digital economy of 2030 are, with high probability, those investing now in the organizational capabilities — not just the algorithms — that translate AI potential into sustained transformation.

References

- [1] McKinsey & Company. (2025). The State of AI: Global Survey 2025. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai>
- [2] World Economic Forum. (2025). AI in Action: Beyond Experimentation to Transform Industry. <https://doi.org/10.1177/12.3093084>
- [3] Zhu, Y. (2025). Artificial intelligence, digital financial development, and innovation performance. *Finance Research Letters*, 68, 101894. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.101894>
- [4] World Bank. (2025). Digital Progress and Trends Report 2025: AI Foundations. <https://www.worldbank.org/en/publication/dptr2025-ai-foundations>
- [5] CoreSite. (2025). The Multifaceted Impact of Artificial Intelligence in 2024 and 2025. <https://www.coresite.com/blog/the-multifaceted-impact-of-artificial-intelligence-in-2024-and-2025>
- [6] Grand View Research. (2025). Digital Transformation Market Size | Industry Report, 2033. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-transformation-market>
- [7] BCG. (2026). Retail Rewired: How AI Is Reshaping the Retail Business Model. <https://www.bcg.com/publications/2026/how-ai-is-reshaping-the-retail-business-model>
- [8] Emerald Insight. (2025). Impact of digital transformation on financial performance: a case study on India's listed companies. *Digital Policy, Regulation and Governance*. <https://doi.org/10.1108/DPRG-04-2025-0085>
- [9] Springer. (2024). Digital Transformation of Industry Through Using AI: A Bibliometric Analysis. https://doi.org/10.1007/978-3-032-00118-4_2

5G UYALI ALOQA TARMOQLARIDA QURILMALARARO ALOQA INTEGRATSIYASINI TAHLILI

*A.N.Nizamov, A.M.Diyorov, T.A.Jumaboyev, M.A.Axmadjonova, B.T.Toshpulatov, A.F.Rustamov.
akram_nizamov60@gmail.com*

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Samarqand filiali

Annotatsiya: Ushbu ishda 5G uyali aloqa tarmoqlarida qurilmalararo aloqa (Device-to-Device, D2D) texnologiyasining integratsiyasi tahlil qilinadi. Zamonaviy axborot-kommunikatsiya tizimlarida qurilmalar sonining keskin ortishi va yuqori tezlik hamda past kechikishga bo'lgan talabning oshishi an'anaviy tarmoqlar uchun yangi muammolarni yuzaga keltirmoqda. Qurilmalararo aloqa texnologiyasi yaqin joylashgan qurilmalar o'rtasida to'g'ri dan to'g'ri ma'lumot almashishni ta'minlab, tarmoq yuklamasini kamaytiradi, spektr samaradorligini oshiradi va kechikishni qisqartiradi.

Mazkur tadqiqotda D2D aloqaning 5G tarmoqlariga integratsiyalashuvi, uning arxitekturaviy xususiyatlari va ishlash tamoyillari ko'rib chiqiladi. Shuningdek, resurslarni samarali taqsimlash, interferensiya boshqarish, xavfsizlik masalalari hamda xizmat sifati (QoS)ni ta'minlash muhim jihatlari sifatida tahlil etiladi. D2D texnologiyasining buyumlar interneti (IoT), aqlli shaharlar, avtonom transport tizimlari kabi zamonaviy sohalaridagi ahamiyati ham yoritib beriladi.

Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, qurilmalararo aloqa integratsiyasi tarmoqning umumiy samaradorligi va ishonchliligini sezilarli darajada oshiradi. Shu bilan birga, ushbu texnologiyani joriy etish yangi texnik va boshqaruv muammolarini keltirib chiqaradi. Xulosa qilib aytganda, D2D aloqa 5G va kelajak tarmoqlarining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi.

Kalit so'zlar: 5G uyali aloqa, qurilmalararo aloqa (D2D), tarmoq integratsiyasi, past kechikish, yuqori tezlik, spektr samaradorligi, resurslarni taqsimlash, interferensiya boshqaruvi, xizmat sifati (QoS), tarmoq sig'imi, IoT (buyumlar interneti), aqlli shaharlar, avtonom transport, xavfsizlik, energiya samaradorligi, mobil tarmoqlar, simsiz aloqa texnologiyalari.

Mamlakatimizda zamonaviy telekommunikatsiya infratuzilmasi va yangi avlod aloqa tizimlarini rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biriga aylangan.

Aloqa vositalari takomillashib borgan sari insonlar o'rtasidagi muloqot doirasi kengaydi, axborotni uzatish jarayoni soddalashdi, iqtisodiyotning deyarli barcha tarmoqlarida raqamli boshqaruv usullari joriy etildi.

5G tarmoqlarining mohiyati faqat uzatish tezligini oshirishdan iborat emas. Ushbu texnologiya turli talablarga ega bo'lgan xizmatlarni yagona tarmoq asosida boshqarish imkonini beradi. Bir tomondan, foydalanuvchilarga juda yuqori tezlikdagi keng polosali xizmatlar zarur bo'lsa, ikkinchi tomondan, sanoat boshqaruvi yoki tibbiy tizimlar uchun juda kichik kechikish bilan ishlaydigan ishonchli ulanish lozim bo'ladi. Yana bir tomondan, ko'plab sensor va oddiy qurilmalar past quvvat sarfi bilan uzoq muddat ishlashi kerak. Demak, 5G tarmog'i bir vaqtning o'zida tezlik, ishonchlilik, ulanish zichligi, energiya samaradorligi va moslashuvchan boshqaruv kabi ko'plab talablarni qondiruvchi murakkab tizimdir.

5G tarmoqlarining yana bir muhim xususiyat juda ko'p sonli qurilmalarni ulash imkoniyatidir. Ilgari asosiy e'tibor odamlar foydalanadigan telefon va planshetlarga qaratilgan bo'lsa, hozir tarmoqqa turli maqsadlarda xizmat qiluvchi aqlli hisoblagichlar, ekologik kuzatuv datchiklari, ishlab chiqarish sensorlari, sog'liqni nazorat qiluvchi vositalar, maishiy texnika

elementlari va boshqa qurilmalar bir vaqtda tarmoqda faol bo'lishi mumkin. Bunday sharoitda tarmoq faqat yuqori tezlikli emas, balki katta ulanish zichligiga ham ega bo'lishi zarur.

Zamonaviy uyali aloqa tarmoqlarining takomillashuvi natijasida aloqa jarayonini tashkil etishning yangi yondashuvlari shakllanmoqda. Ana shunday istiqbolli yo'nalishlardan biri qurilmalararo aloqa, ya'ni *device to device* (D2D) aloqa hisoblanadi. Ushbu yondashuvda bir biriga yaqin joylashgan ikki foydalanuvchi qurilmasi ma'lumotni bazaviy stansiya orqali bilvosita emas, balki bevosita o'zaro uzatadi. An'anaviy uyali tarmoqda hatto ikki foydalanuvchi bir necha metr masofada turgan bo'lsa ham, ular orasidagi axborot odatda avval bazaviy stansiyaga, keyin esa qabul qiluvchiga yetkaziladi. Qurilmalararo aloqada uzatish yo'li qisqaradi, tarmoqning ayrim yuklamalarini markaziy infratuzilmadan foydalanuvchi qurilmalarining o'ziga ko'chiradi va umumiy samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi.

Qurilmalararo aloqa faqat ikki telefonning o'zaro ma'lumot almashinuvi emas, balki uyali tarmoq ichida foydalanuvchi qurilmalarini aloqa infratuzilmasining faol elementiga aylantirish g'oyasidir. Bunday yondashuvda qurilmalar nafaqat axborotni qabul qiluvchi yoki jo'natuvchi vosita bo'lib qoladi, balki ayrim vaziyatlarda tarmoq yuklamasini kamaytiruvchi, ma'lumot uzatishni tezlashtiruvchi va tarmoqni moslashuvchan ishlashiga yordam beruvchi funksional tuguna aylanadi.

Qurilmalararo aloqaning ishlashida yaqinlik omili markaziy o'rin tutadi. Ikki qurilma bir biriga qancha yaqin bo'lsa, signal yo'li shuncha qisqa bo'ladi. Bu holat bir necha ijobiy natijani keltirib chiqaradi. Birinchidan, uzatish uchun talab qilinadigan quvvat kamayadi. Ikkinchidan, signalning so'nishi nisbatan kichik bo'ladi va qabul sifati yaxshilanadi. Uchinchidan, tarmoqdagi magistral resurslarga bo'lgan ehtiyoj kamayadi. To'rtinchidan, ma'lumotning yetib borish vaqti qisqaradi. Shu bois yaqin masofadagi foydalanuvchilar o'rtasida D2D aloqa an'anaviy uyali uzatishga nisbatan ko'proq samaradorlik berishi mumkin.

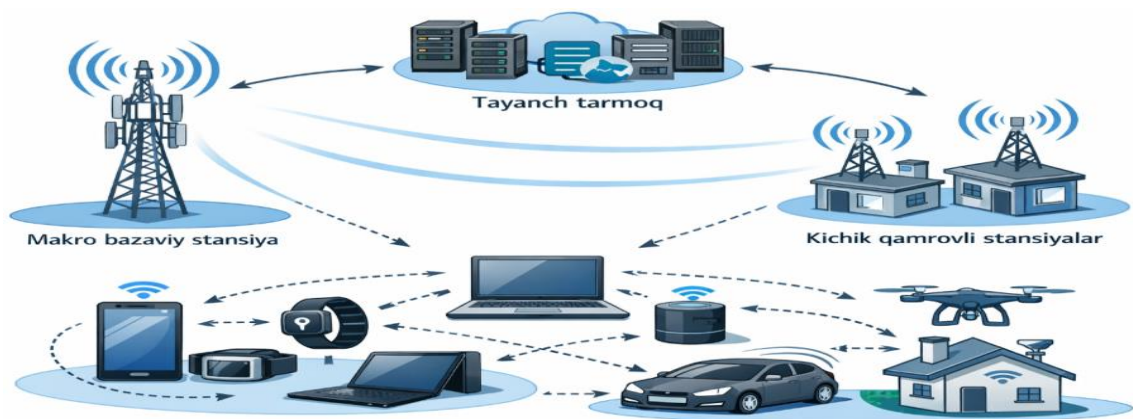
Qurilmalararo aloqa va uyali foydalanuvchilar o'rtasidagi xalaqitni kamaytirishda xizmat sifati cheklovlarini saqlash juda muhimdir. Tarmoqdan xalaqitlar ma'lum me'yordan oshmasligi, uyali foydalanuvchining minimal tezlik talabi va D2D juftlikning aloqa sifati saqlanishi talab etiladi. Shu sababli ko'plab mexanizmlar optimallashtirish muammosi ko'rinishida ifodalanadi. Bunday muammoning soddalashtirilgan ko'rinishi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\max \sum_{l \in L} R_l \text{ cheklovlar: } R_c \geq R_c^{\min}, \quad \forall c \in C \text{ va } I_c \leq I_c^{\max}, \quad \forall c \in C$$

bu yerda R_l D2D juftlik tezligini, $R_c^{\min}$ uyali foydalanuvchi uchun minimal ruxsat etilgan tezlikni, $I_c^{\max}$ esa ruxsat etilgan maksimal xalaqitni bildiradi.

Qurilmalararo aloqa texnologiyasini uyali tarmoqqa integratsiyalash masalasi zamonaviy mobil aloqa tizimlarining eng muhim ilmiy va amaliy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Yangi avlod uyali tarmoqlari ayrim vaziyatlarda yaqin joylashgan qurilmalar o'rtasida bevosita aloqa kanalini tashkil etish, bazaviy stansiya yuklamasini kamaytirish, radioresurslardan samaraliroq foydalanish va xizmat ko'rsatish sifatini yaxshilash imkonini beradi.

Qurilmalararo aloqani integratsiyalashda asosiy maqsad yaqin masofadagi qurilmalar o'rtasidagi uzatishni tarmoq manfaatlariga mos holda tashkil etishdan iborat bo'ladi. Agar barcha qurilmalar mustaqil ravishda istalgan paytda to'g'ridan to'g'ri uzatishni boshlasa, radio muhitda xalaqitlar ko'payadi, uyali foydalanuvchilarning xizmat sifati buziladi va umumiy tarmoq samaradorligi pasayadi.



1-rasm. Uyali tarmoqqa integratsiyalashgan qurilmalararo aloqa arxitekturas

Bazida bitta ko'rsatkichni maksimal qilish boshqasiga salbiy ta'sir ko'rsatishi sababli D2D aloqani baholashda ko'p mezonli yondashuv talab etiladi. Bunda umumiy maqsad funksiyasi tarmoq unumdorligini oshirish, spektr samaradorligini yaxshilash va energiya sarfini pasaytirishni bir vaqtda hisobga oladi. Buni shartli ravishda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\max F = \alpha \sum R + \beta \sum \eta + \gamma \sum \xi$$

bu yerda α , β va γ koeffitsiyentlar mos ravishda tezlik, spektr va energiya samaradorligi ko'rsatkichlarini ifodalaydi. Bundan ko'rinadiki, D2D tizimlarini baholash faqat bitta ko'rsatkichga emas, balki kompleks natijaga asoslanadi.

Qurilmalararo aloqa joriy etilganida lokal darajadagi trafikning bir qismini bazaviy stansiyadan chetlashtirish mumkin bo'ladi. Shu sababli optimallashtirishning maqsadi faqat bazaviy stansiya yuklamasini kamaytirish emas, balki butun tarmoq bo'yicha yukni muvozanatlashdan iborat bo'ladi.

Tahlillar shuni ko'rsatdiki, qurilmalararo aloqa tarmoqning umumiy yig'indi tezligini oshirish, bazaviy stansiyalarning ortiqcha yuklanishini kamaytirish va radiochastota resurslaridan takror foydalanish orqali spektr samaradorligini yaxshilash hamda energiya tejamkorligini oshirish imkonini beradi. Biroq mazkur ijobiy natijalarga faqatgina resurslar oqilona taqsimlanganda, xalaqit darajasi nazorat qilinganda va foydalanuvchilar tarmoqqa maqbul tarzda birlashtirilganda erishish mumkinligi aniqlandi. Demak, D2D aloqaning samaradorligi uning oddiy mavjudligiga emas, balki uni boshqarish sifatiga bog'liqdir.

Resurs taqsimoti va tarmoq yuklamasini optimallashtirish tahlillari asosida D2D muhitida markazlashgan optimallashtirish, evristik algoritmlar, ikki bosqichli yondashuvlar, hududiy resurs taqsimoti va virtualizatsiyalashgan boshqaruv usullari istiqbolli degan xulosaga kelinadi. Ularning har biri amaliy sharoitga qarab tanlanishi lozim. Ayniqsa 5G tarmoqlarida foydalanuvchilar soni va trafik hajmi yuqori bo'lgani sababli, hisoblash murakkabligi past, lekin amaliy samaradorligi yuqori bo'lgan evristik algoritmlar muhim ahamiyatga ega. Shu bois kelgusida real vaqt rejimiga yaqin ishlovchi, ko'p mezonli va moslashuvchan boshqaruv usullarini ishlab chiqish zarur bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. Raqamli O'zbekiston - 2030 strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida: PF-6079-son Farmon. – Toshkent, 2020.
2. Vlachos, C. Integrating Device-to-Device Communications in 5G Cellular Networks : PhD thesis / King's College London. – London, 2018. – 178 p.