

SIMSIZ ALOQA UCHUN SIGNAL O'TKAZUVCHANLIGIDAN SAMARALI FOYDALANISH IMKONINI BERUVCHI ASOSIY TEXNOLOGIYALAR.*Jo'raboyeva Hurixon Axmadjon qizi**hurixonjoraboyeva07@gmail.com**Jo'raboyeva Bibifotima Arabboy qizi**joraboyevabibifotima@gmail.com**Dalibekov Lochinbek Rustambekovich**O'qituvchi***Annotatsiya**

Simsiz aloqa tizimlarida radiochastota spektrining cheklanganligi va foydalanuvchilar hamda xizmatlar sonining tez sur'atlarda ortib borishi signal o'tkazuvchanligidan samarali foydalanishni muhim ilmiy-amaliy masalaga aylantirmoqda. Mazkur ishda spektr samaradorligini oshirishga xizmat qiluvchi asosiy multiplekslash va ko'p foydalanuvchili kirish texnologiyalari — FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA, NOMA hamda MIMO yondashuvlari tahlil qilinadi. Tadqiqot metodologiyasi nazariy tahlil va simulyatsion baholashga asoslanib, AWGN va ko'p yo'lli kanal modellari sharoitida spektr samaradorligi, kechikish darajasi, energiya samaradorligi va hisoblash murakkabligi kabi ko'rsatkichlar bo'yicha taqqoslash amalga oshiriladi. Olingan natijalar an'anaviy ortogonal texnologiyalar soddaligi bilan ajralib tursa-da, zamonaviy yuqori zichlikdagi tarmoqlarda OFDMA va NOMA yechimlari spektrdan foydalanish darajasini sezilarli oshirishini ko'rsatadi. OFDMA resurslarni moslashuvchan taqsimlash orqali kengbant xizmatlar uchun barqaror ishlashni ta'minlasa, NOMA yuqori foydalanuvchi zichligi va IoT muhitlarida ustunlikka ega ekanligi aniqlanadi. Tadqiqot xulosalari amaldagi 4G/LTE, 5G va Wi-Fi 6/7 standartlari bilan bog'liq holda talqin qilinib, simsiz aloqa tizimlarini loyihalash va optimallashtirish uchun amaliy tavsiyalar ishlab chiqiladi.

Kalit so'zlar: Simsiz aloqa, radiochastota spektri, signal o'tkazuvchanligi, spektr samaradorligi, multiplekslash, multiple access, OFDMA, NOMA, MIMO

Annotation

The limited radio frequency spectrum in wireless communication systems and the rapid increase in the number of users and services make the efficient use of signal bandwidth an important scientific and practical issue. This work analyzes the main multiplexing and multi-user access technologies that serve to increase spectrum efficiency - FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA, NOMA and MIMO approaches. The research methodology is based on theoretical analysis and simulation evaluation, and comparisons are made in terms of indicators such as spectrum efficiency, latency, energy efficiency and computational complexity under AWGN and multipath channel

models. The results obtained show that, although traditional orthogonal technologies are characterized by simplicity, OFDMA and NOMA solutions significantly increase the level of spectrum utilization in modern high-density networks. It is found that OFDMA provides stable performance for broadband services through flexible resource allocation, while NOMA has advantages in high user density and IoT environments. The research findings will be interpreted in relation to current 4G/LTE, 5G, and Wi-Fi 6/7 standards, and practical recommendations will be developed for the design and optimization of wireless communication systems.

Keywords: Wireless communication, radio frequency spectrum, signal throughput, spectrum efficiency, multiplexing, multiple access, OFDMA, NOMA, MIMO

Аннотация

Ограниченный радиочастотный спектр в беспроводных системах связи и быстрый рост числа пользователей и услуг делают эффективное использование полосы пропускания сигнала важной научной и практической задачей. В данной работе анализируются основные технологии мультиплексирования и многопользовательского доступа, которые способствуют повышению эффективности использования спектра: FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA, NOMA и MIMO. Методология исследования основана на теоретическом анализе и имитационной оценке, а сравнения проводятся по таким показателям, как эффективность использования спектра, задержка, энергоэффективность и вычислительная сложность в условиях аддитивного белого гауссова шума (AWGN) и многолучевого распространения сигнала. Полученные результаты показывают, что, хотя традиционные ортогональные технологии характеризуются простотой, решения OFDMA и NOMA значительно повышают уровень использования спектра в современных сетях высокой плотности. Установлено, что OFDMA обеспечивает стабильную работу широкополосных услуг за счет гибкого распределения ресурсов, в то время как NOMA имеет преимущества в средах с высокой плотностью пользователей и в среде Интернета вещей (IoT). Результаты исследования будут интерпретированы в контексте современных стандартов 4G/LTE, 5G и Wi-Fi 6/7, а также будут разработаны практические рекомендации по проектированию и оптимизации беспроводных систем связи.

Ключевые слова: Беспроводная связь, радиочастотный спектр, пропускная способность сигнала, спектральная эффективность, мультиплексирование, множественный доступ, OFDMA, NOMA, MIMO

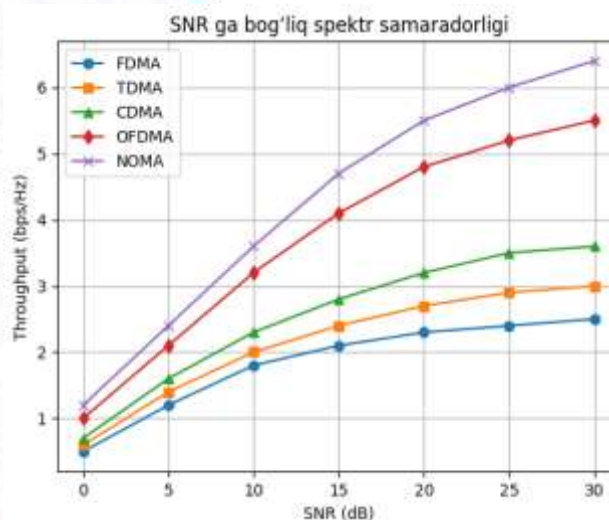
Kirish

Simsiz aloqa tizimlarining jadal rivojlanishi fonida radiochastota spektri cheklangan va yuqori talabga ega bo'lgan strategik resursga aylanib bormoqda, chunki mobil qurilmalar sonining keskin ortishi, IoT tizimlarining keng joriy etilishi, shuningdek, yuqori tezlik va past kechikishni talab qiluvchi multimedia, AR/VR va real vaqt servislarining rivoji mavjud spektrdan yanada samarali foydalanishni taqozo etadi [2], [3], [9]. Mavjud sharoitda asosiy muammo signal o'tkazuvchanligini oshirish bilan birga interferensiyani kamaytirish, xizmat sifati (QoS)ni barqaror saqlash va energiya samaradorligini ta'minlashdan iborat bo'lib, bu masalalarni hal etishda multiplekslash hamda ko'p foydalanuvchili kirish texnologiyalari muhim o'rin egallaydi [1], [7]. FDMA, TDMA va CDMA kabi an'anaviy yondashuvlar ma'lum afzalliklarga ega bo'lsa-da, zamonaviy tarmoqlarda OFDMA va NOMA kabi ilg'or texnologiyalar yuqori spektr samaradorligi va foydalanuvchi zichligini qo'llab-quvvatlash imkonini bermoqda [4], [5], [6]. Shu sababli, qaysi multiple-access va multiplekslash texnologiyalari ma'lum aloqa sharoitlarida eng samarali ekanini aniqlash, ularning spektr samaradorligi, kechikish darajasi, hisoblash murakkabligi va energiya sarfi nuqtai nazaridan afzalliklari hamda cheklovlarini tahlil qilish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi [2], [8]. Ushbu ishning asosiy hissasi turli texnologiyalarni yagona mezonlar asosida nazariy va empirik jihatdan solishtirish, amaliy simsiz tizimlar va amaldagi standartlar bilan bog'liq holda xulosalar chiqarish hamda spektrdan samarali foydalanish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iboratdir [3], [5], [6].

Tadqiqot metodologiyasi nazariy va empirik yondashuvlar uyg'unligiga asoslanib, simsiz aloqa tizimlarida signal o'tkazuvchanligidan samarali foydalanishni baholashga qaratildi. Nazariy tahlil jarayonida aloqa kanali AWGN va tasodifiy ko'p yo'lli (multipath) modellari asosida ko'rib chiqilib, Shannon sig'imi hamda spektr samaradorligini aniqlovchi asosiy matematik ifodalar qo'llanildi, shuningdek MIMO va beamforming texnologiyalarining o'tkazuvchanlikka ta'siri hisobga olindi [2], [3], [9]. Texnologiyalarni taqqoslash uchun spektr samaradorligi (bps/Hz), qamrov va ulanish zichligi (foydalanuvchi/km²), kechikish (latency), energiya samaradorligi, hisoblash murakkabligi va amaliy implementatsiya talablari asosiy mezonlar sifatida belgilandi [1], [7]. Tahlil qilinadigan texnologiyalar qatoriga FDMA, TDMA, CDMA, OFDM va OFDMA asosidagi multiplekslash, power-domain NOMA hamda MIMO qo'shimchalari kiritilib, har biri uchun resurslarni taqsimlash mexanizmlari va interferensiyaga chidamlilik darajasi alohida ko'rib chiqildi [4], [5], [6]. Empirik baholash doirasida urban, sub-urban va IoT-low-rate senariylarida turli SNR diapazonlari uchun simulyatsiya protokollari shakllantirildi, bunda OFDMA uchun subcarrier va resurs birliklari, TDMA uchun vaqt uyalar, CDMA uchun kodlar hamda umumiy chastota band kengligi parametrlari tanlandi; modulyatsiya va kodlash sxemalari sifatida QPSK, 16-QAM va 64-QAM variantlari hamda turli MIMO

konfiguratsiyalari qo'llanildi [2], [7]. O'lchov va hisoblash bosqichida spektr samaradorligi, umumiy o'tkazuvchanlik, kechikish va energiya-per-bit ko'rsatkichlari hisoblanib, olingan natijalar jadval va grafiklar orqali vizual tarzda taqdim etildi [8]. Yakuniy bosqichda esa tahlil natijalari amaldagi real tizimlar va standartlar — LTE/4G tizimlarida OFDMA, 5G tarmoqlarida NOMA yo'nalishlari hamda Wi-Fi 6/7 texnologiyalaridagi OFDMA va resurs birliklari konsepsiyalari bilan bog'liq holda talqin qilinib, texnologiyalarni amaliy jihatdan solishtirish imkonini berdi [4], [5], [6].

O'tkazilgan nazariy va simulyatsion tahlillar simsiz aloqa tizimlarida signal o'tkazuvchanligidan foydalanish darajasi tanlangan multiple-access texnologiyasiga bevosita bog'liq ekanini ko'rsatdi. Nazariy hisob-kitoblar Shannon sig'imi asosida SNR oshishi bilan barcha texnologiyalarda spektr samaradorligi ortishini tasdiqladi, biroq ortogonal resurs taqsimotiga asoslangan FDMA va TDMA sxemalarida interferensiya past bo'lishiga qaramay, spektrdan foydalanish darajasi nisbatan cheklangan bo'lib qoldi [2], [9]. CDMA texnologiyasi kod bo'yicha ajratish hisobiga foydalanuvchi zichligini oshirish imkonini berdi, ammo yuqori yuklama sharoitida ko'p foydalanuvchili interferensiya samaradorlikni pasaytirishi kuzatildi [8]. OFDMA asosidagi tizimlar subcarrier va resurs birliklarining moslashuvchan taqsimoti tufayli o'rta va yuqori SNR diapazonlarida sezilarli darajada yuqori o'tkazuvchanlikni namoyon etdi va bu xususiyat LTE/4G hamda Wi-Fi 6/7 standartlarida keng qo'llanilishini asoslaydi [4], [6]. NOMA texnologiyasi esa quvvat domenida bir nechta foydalanuvchini bir xil chastota va vaqt resurslarida uzatish imkonini berib, ayniqsa zich IoT va yuqori foydalanuvchi soniga ega senariylarda eng yuqor spektr samaradorligini ta'minladi, biroq qabul qiluvchi tomonda signallarni ajratish murakkabligi oshishi kuzatildi [5]. Case-study natijalari shuni ko'rsatdiki, zich IoT muhitida NOMA va OFDMA yechimlari ustun bo'lsa, kengbant video va multimedia uzatishda OFDMA va MIMO kombinatsiyasi optimal muvozanatni ta'minlaydi [3], [5]. Umuman olganda, natijalar spektr samaradorligi, kechikish va murakkablik o'rtasida muayyan kompromiss mavjudligini tasdiqlab, texnologiyani tanlash amaliy senariy va xizmat talablari bilan bevosita bog'liq ekanini ko'rsatadi [1], [7].

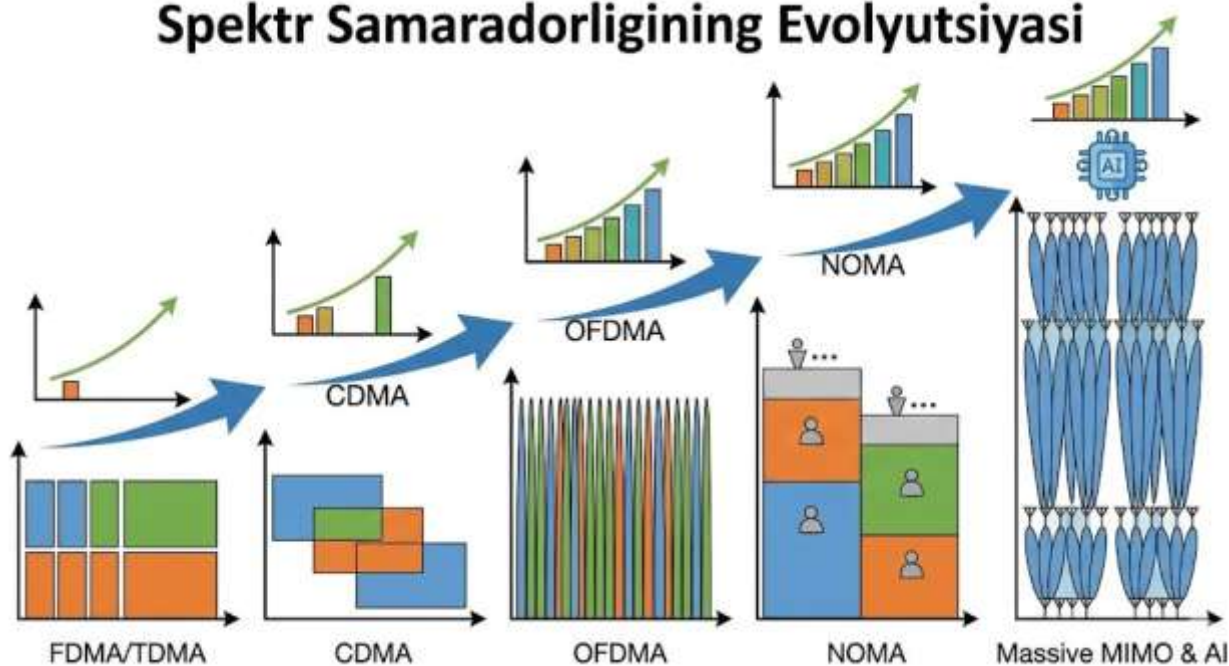


Xulosa

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, simsiz aloqa tizimlarida signal o'tkazuvchanligidan samarali foydalanish tanlangan multiple-access texnologiyasiga va amaliy ish sharoitlariga bevosita bog'liqdir. FDMA va TDMA texnologiyalari

arxitektura jihatdan sodda va barqaror bo'lsa-da, foydalanuvchilar soni ortgan sari spektrdan foydalanish darajasi keskin cheklanadi, bu esa ularni yuqori zichlikdagi zamonaviy tarmoqlar uchun kamroq mos qiladi [2], [9]. CDMA foydalanuvchi zichligini oshirish imkonini bergan holda, ko'p foydalanuvchili interferensiya va qabul qiluvchi tomondagi murakkablik tufayli yuqori yuklama sharoitida samaradorlikni yo'qotishi mumkin [8]. OFDMA texnologiyasi resurslarni moslashuvchan taqsimlash va interferensiyaning kamaytirish xususiyati orqali 4G/LTE va Wi-Fi 6/7 standartlarida optimal yechim sifatida tanlangan bo'lib, u kechikish darajasi va spektr samaradorligi o'rtasida muvozanatni ta'minlaydi [4], [6]. NOMA esa quvvat domenida bir nechta foydalanuvchini bir vaqtning o'zida qo'llab-quvvatlab, ayniqsa zich IoT va mMTC senariylarida yuqori spektr samaradorligini namoyon etadi, biroq bu yondashuv signallarni ajratish algoritmlarining murakkablashuvi va fairness masalalarini keltirib chiqaradi [5]. Standartlar nuqtai nazaridan 3GPP va IEEE tashkilotlari amaliy implementatsiya, orqaga moslik (backward compatibility) va signallash overheadini

Spektr Samaradorligining Evolyutsiyasi



hisobga olgan holda OFDMA asosidagi yechimlarni asosiy texnologiya sifatida qabul qilgan, NOMA esa asosan tadqiqot va istiqbolli yo'nalish sifatida rivojlanmoqda [3], [4], [6]. Bundan tashqari, spektrni tartibga solish, dinamik spektrdan foydalanish, xavfsizlik va ko'p texnologiyali muhitda birgalikda ishlash (co-existence) masalalari kelajak tarmoqlar uchun dolzarb bo'lib qolmoqda; massiv MIMO, grant-free multiple access va AI asosidagi spektr boshqaruvi kabi yo'nalishlar esa keyingi tadqiqotlar uchun muhim istiqbollarni belgilab beradi [2], [5], [7].

Foydalanilgan adabiyotlar

- 1 **Radioaloqa asoslari** : o'quv-uslubiy qo'llanma. — Toshkent : __, 20 y. — __ b. (8-m.RADIOALOQA.docx hujjati asosida)

- 2 Tse D., Viswanath P. **Fundamentals of Wireless Communication.** — Cambridge : Cambridge University Press, 2005. — 585 p.
- 3 Goldsmith A. **Wireless Communications.** — Cambridge : Cambridge University Press, 2005. — 732 p.
- 4 3GPP TS 36.211. **E-UTRA; Physical Channels and Modulation.** — 3GPP Technical Specification, Release 15, 2018.
- 5 Liu Y., Qin Z., Elkashlan M., Ding Z., Nallanathan A., Hanzo L. **Non-Orthogonal Multiple Access for 5G and Beyond** // *Proceedings of the IEEE.* — 2017. — Vol. 105, No. 12. — P. 2347–2381.
- 6 Bellalta B. **IEEE 802.11ax: High-Efficiency WLANs** // *IEEE Wireless Communications.* — 2016. — Vol. 23, No. 1. — P. 38–46.
- 7 van Nee R., Prasad R. **OFDM for Wireless Multimedia Communications.** — Boston : Artech House, 2000. — 258 p.
- 8 Verdú S. **Multiuser Detection.** — Cambridge : Cambridge University Press, 1998. — 475 p.
- 9 Rappaport T. S. **Wireless Communications: Principles and Practice.** — 2nd ed. — New Jersey : Prentice Hall, 2002. — 736 p.