

MIMO TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA KO‘P TOMONLAMA  
ULANISHLARNING SAMARADORLIGI VA MUAMMOLARI

**Yaxyoyev A. A.,**

O‘R QK BSH Telekommunikatsiya infratuzilmalarini rivojlantirish bo‘limi  
boshligi, texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)

**Mulladjanov A. R.,**

O‘R QK BSH Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini  
rivojlantirish boshqarmasi bo‘lim boshlig‘i

**Qurbaniyazov A.S.**

Toshkent axborot texnologilari universiteti, Telekommunikatsiyalarining  
injinering yo‘nalishi, 1-kurs magistiri

**Egamov X. N.,**

Toshkent axborot texnologilari universiteti, Telekommunikatsiyalarining  
dasturiy ta‘minoti yo‘nalishi, 2-kurs magistiri

**Annotatsiya-**maqolada MIMO (Multiple Input Multiple Output), texnologiyalari asosida ko‘p tomonlama ulanishlarning samaradorligi, qo‘llash imkoniyatlari va muammolari tahlil qilingan. Ushbu texnologiyalar zamonaviy simsiz aloqa tizimlarida ma‘lumot uzatish samaradorligini oshirishda muhim rol o‘ynaydi. Tadqiqotda ulanishlarning kechikishi, resurslar taqsimoti, signallar aralashuvi va chastotali band kengligidan samarali foydalanish muammolari yoritilgan. Natijada texnologiyalarni takomillashtirish bo‘yicha tavsiyalar keltirilgan.

**Kalit so‘zlar:** MIMO, MU-MIMO, BEAMFORMING, OFDMA, router, modem, internet, tarmoq, **simsiz aloqa tarmoqlari.**

**Ключовые слова:** MIMO, MU-MIMO, BEAMFORMING, OFDMA, интернет, сеть, беспроводные сеть.

**Key words:** MIMO, MU-MIMO, BEAMFORMING, OFDMA, internet, network, wireless network.

Hozirgi kunda simsiz aloqa texnologiyalari jadal rivojlanmoqda, ulardan MIMO, MU-MIMO, Beamforming va OFDMA zamonaviy tarmoqlarning ajralmas qismi hisoblanadi.

Bu texnologiyalar ma'lumot uzatish tezligi va sifatini oshirishda muhim omil bo'lib, 5G va keyingi avlod tarmoqlarining asosiy elementlari sifatida foydalaniladi. Shu bilan birga, ushbu texnologiyalarni qo'llashda signal aralashuvi, quvvatni boshqarish va resurslarni samarali taqsimlash kabi muammolar mavjud. Ushbu maqolada bu texnologiyalar samaradorligi va ulanishdagi muammolar batafsil tahlil qilinadi.

Wi-Fi tarmoqlari zamonaviy texnologiyalar yordamida ma'lumot uzatish tezligi va samaradorligini oshirishga qaratilgan. Quyida MIMO texnologiyasining Wi-Fi tarmoqlarida qanday qo'llanilishi va ularning afzalliklari ko'rib chiqiladi.

MIMO (Multiple Input Multiple Output) — bu aloqa tizimlarida bir vaqtning o'zida bir nechta antennalar orqali ma'lumotlarni uzatish va qabul qilish texnologiyasidir (1-rasm). U simsiz aloqalarda ma'lumot uzatish tezligini oshirish, signal sifatini yaxshilash va spektr samaradorligini oshirish uchun qo'llaniladi. [1]

MIMO bir nechta antennalar orqali ma'lumotlarni almashish

### **MIMO texnologiyasining asosiy prinsiplari:**

*Ko'p antennali tizimlar:* MIMO tizimida bir necha antenna bir vaqtning o'zida ma'lumotlarni uzatadi (inglizcha *Input*) va qabul qiladi (*Output*). Masalan, 4×4 MIMO tizimi 4 ta uzatuvchi va 4 ta qabul qiluvchi antennaga ega.

*Ma'lumotlarni taqsimlash:* Ma'lumotlar kichikroq qismlarga bo'linib, turli antennalar orqali uzatiladi. Bu ma'lumotlar bir vaqtning o'zida turli signal yo'llari (kanallar) orqali qabul qilinadi. Signallarni qayta ishlash: Qabul qiluvchi tomonda

antennalar ma'lumotlarni yig'ib, maxsus algoritmlar orqali qayta ishlanadi. Bu shuni ta'minlaydiki, signallarning yomonlashuvi yoki xalaqitlar minimal ta'sir qiladi [2].

**MIMO texnologiyasining afzalliklari:**

*Tezlikning oshishi:* MIMO ma'lumot uzatish tezligini antennalar soniga mutanosib ravishda oshiradi;

*Signal sifati:* Ko'p antennali tizimlar xalaqitlar va shu kabi muammolarni kamaytiradi;

*Hajmni oshirish:* Bir vaqtning o'zida ko'proq miqdorda ma'lumot uzatish imkonini beradi;

*Spektr samaradorligi:* Radiochastotadan yanada samaraliroq foydalanish imkonini yaratadi.

**Qo'llanilish sohalari:**

*5G va 4G LTE aloqa tizimlari:* Simsiz aloqa tarmoqlarida MIMO orqali yuqori tezlikdagi internetga kirish imkoni ta'minlanadi;

*Wi-Fi tarmoqlari:* MIMO 802.11n va 802.11ac standartlarida qo'llaniladi, bu esa simsiz internet sifatini yaxshilaydi;

*Radar va sputnik aloqalari:* Yaqinlashuv va obyektlarni aniqroq lokalizatsiya qilish uchun qo'llaniladi.

**MIMO turlari:**

*SU-MIMO (Single-User MIMO):* Bir foydalanuvchi uchun bir vaqtda ko'p antennadan ma'lumot uzatishni qo'llab-quvvatlaydi.

**MU-MIMO (Multi-User MIMO):** Bir vaqtning o'zida bir necha foydalanuvchilarga ma'lumot uzatishni ta'minlaydi.

**Massive MIMO:** Ko'plab antennalari bo'lgan tizim, asosan 5G texnologiyasida qo'llaniladi. MIMO texnologiyasi zamonaviy aloqa tizimlarining sifatini va samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega.

Wi-Fi tarmoqlarida MIMO texnologiyasini ishlatishning matematik modeli asosan uzatuvchi signallarni, kanalning fazoviy xarakteristikalarini va qabul qiluvchi signallarni formallashtirishga asoslanadi. Bu model Wi-Fi tarmoqlarida signal uzatish va qabul qilish jarayonlarini aniqlash uchun qo'llaniladi [3-4].

Wi-Fi MIMO tizimida signal uzatish va qabul qilish tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$y = H \cdot x + n \quad (1.1)$$

Bu yerda:

$y \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$  : qabul qilingan signallar vektori ( $N_r$  - qabul qiluvchi antennalar soni).

$H \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t}$  : Wi-Fi tarmog'ining MIMO kanal matritsasi ( $N_t$  - uzatuvchi antennalar soni).

$x \in \mathbb{C}^{N_t \times 1}$  : uzatilayotgan signallar vektori.

$n \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$  : qabul qilingan signallarga qo'shilgan shovqin (termal shovqin yoki halaqit).

$\mathbb{C}$ : kompleks sonlarning fazosi.

### Matritsalarining tavsifi

Kanal matritsasi ( $H$ ) Wi-Fi tarmog'idagi har bir uzatuvchi antenna ( $N_t$ ) va qabul qiluvchi antenna ( $N_r$ ) o'rtasidagi aloqaning xarakteristikalarini aks ettiradi. Matritsa elementlari:

$$h_{ij} = |h_{ij}| e^{j\phi_{ij}} \quad (1.2)$$

Bu yerda:

$|h_{ij}|$ :  $i$ -chi qabul qiluvchi antenna va  $j$ -chi uzatuvchi antenna o'rtasidagi signal kuchayish koeffitsiyenti.

$e^{j\phi_{ij}}$  : fazaviy qism, kanalning fazasi.

Kanal matritsasiga fazoviy kanallashtirish (spatial multiplexing), ko'p yo'lli tarqalish (multipath propagation), va xalaqitlar ta'sir ko'rsatadi.

Uzatuvchi signal ( $x$ ):

Uzatuvchi signal vektori quyidagi ko‘rinishdagi ma’lumotlarni o‘z ichiga oladi:

$$\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_{N_t}]^T \quad (1.3)$$

Bu yerda har bir  $x_i$  signali uzatuvchi antennadan chiqadigan ma’lumotni ifodalaydi.

Qabul qilingan signallar ( $y$ ) quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:



(1.4)

Bu yerda har bir  $y_i$   $i$ -chi qabul qiluvchi antennada qabul qilingan signalni aks ettiradi.

**Wi-Fi MIMO modelining to‘liq nazariy jihatlar:**

*Spatial Multiplexing (Fazoviy kanallashtirish)*–MIMO orqali ma’lumotlar mustaqil oqimlarga bo‘linadi va har bir oqim o‘z yo‘lidan uzatiladi. Har bir fazoviy kanal:

$$r_i = h_{i1}x_1 + h_{i2}x_2 + \dots + h_{iN_t}x_{N_t} + n_i \quad (1.5)$$

Bu yerda  $r_i$ -chi qabul qiluvchi antennaga yetib kelgan oqimni aks ettiradi.

***Beamforming (Yo‘naltirilgan signal uzatish):***

Uzatuvchi signallarni yo‘naltirish uchun kanal matritsasining inversidan foydalaniladi. Bu holda:

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \mathbf{y} \quad (1.6)$$

Bu yerda  $\hat{\mathbf{x}}$  uzatuvchi tomondan tiklangan signal vektori.

**Multi-User MIMO (MU-MIMO):**

MU-MIMO bir vaqtda bir nechta foydalanuvchilarga ma’lumot uzatishni qo‘llab-quvvatlaydi.

Uning matematik modeli quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$y_k = H_k x_k + \sum_{j=k} H_k x_j + n_k \quad (1.7)$$

Bu yerda:

$y_k$ :  $k$ -chi foydalanuvchi qabul qilgan signal.

$H_k$ :  $k$ -chi foydalanuvchiga mos keluvchi kanal matritsasi.

$\sum_{j=k} H_k x_j$ : boshqa foydalanuvchilardan kelgan xalaqit.

**Massiv holatlar uchun hisoblash,**

*Massive MIMO:*

Wi-Fi 6 va Wi-Fi 7 standartlarida Massive MIMO qo‘llaniladi. Bu holda kanal matritsasi katta o‘lchamga ega bo‘ladi ( $N_t \gg N_r$ ) va hisoblash qiyinchiliklari ko‘payadi. Algoritmilar asosida ma’lumot uzatish va tiklash quyidagi usullar orqali amalga oshiriladi:

Zero-Forcing Detection:

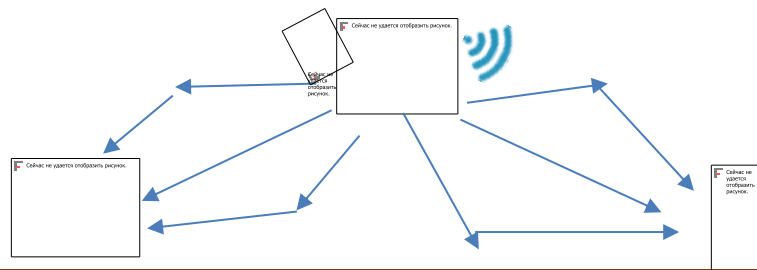
$$\hat{x} = (H^H H)^{-1} H^H y \quad (1.8)$$

Minimum Mean Square Error (MMSE):

$$\hat{x} = (H^H H + \sigma^2 I)^{-1} H^H y \quad (1.9)$$

Wi-Fi tarmoqlaridagi MIMO texnologiyasining matematik modeli fazoviy kanallashtirish, signal qayta ishlash va xalaqitlarni boshqarishga asoslanadi. Bu model yuqori tezlik, sifat va foydalanuvchi miqdorini oshirishda asosiy omil hisoblanadi.

MIMO texnologiyasini real uskunalar yordamida sinovdan o‘tkazish jarayoni amalga oshirildi (4-rasm).



2-rasm. MIMO texnologiyasini asosida Wi-Fi tarmog‘i

Bunda, MIMO texnologiyasini qo‘llab-quvvatlovchi Wi-Fi 5 yoki Wi-Fi 6 router (masalan, TP-Link Archer seriyasi yoki ASUS RT-AX seriyasi)lar qo‘llaymiz.

Oxirlovchi qurilmalar Laptop yoki telefonlar (Wi-Fi 6 ni qo‘llab-quvvatlovchi qurilmalar) orqali Wi-Fi tarmog‘iga ulanamiz.

Vositalarini tahlil qilish uchun iPerf3 yoki NetSpot ilovalari throughput va signal sifati o‘lchash uchun ishlatamiz. O‘lchangan ko‘rsatkichlar Throughput (Mbps), Latency (Kechikish), Millisekund (ms)lardir (1-jadval).

Packet Loss: Yuborilgan paketlar soniga nisbatan qabul qilinmagan paketlar ulushi.

1-jadval

Qurilma	Masofa (m )	Throughput (Mbps)	Kechikish (ms)	Paket yo‘qolishi (%)
Laptop	5	100	2	0.5
Telefon	10	85	4	1

### O‘rganish va tadqiqotlar natijasida quyidagi muammolar aniqlandi.

*Signal aralashuvi:* Bir nechta foydalanuvchilar ulanishida signal o‘zaro xalaqitlar mavjud;

*Kechikish:* Yuqori yuklama ostida paketlar kechikishi ortish kuzatildi;

*Tarmoq resurslarini boshqarish:* Foydalanuvchilar soni ko‘payganda resurslarni samarali taqsimlash qiyinlashish.

Qayd etilgan muammo va tadqiqot hamda izlanishlar natijasida MIMO texnologiyalarini takomillashtirish uchun quyidagi **takliflar** ishlab chiqildi:



Adaptiv signal boshqaruv algoritmlari: Signal aralashuvini kamaytirish uchun beamformingni qo'llash va adaptiv texnologiyalarni tatbiq etish;

Dinamik sharoitlarda samaradorlikni oshirish uchun sun'iy intellekt algoritmlarini qo'llash;

Massive MIMO tizimlarini kengroq tatbiq etish.

Xulosa qilib shuni aytish kerakki, MIMO texnologiyasining samaradorligi yuqori bo'lsa-da, uni optimallashtirish va yanada kengroq tatbiq etish uchun qo'shimcha tadqiqotlar talab etiladi. Ushbu metodologiya mavjud muammolarni hal qilish va yangi texnologiyalarni rivojlantirish uchun yo'nalish ko'rsatuvchi amaliy qo'llanma sifatida xizmat qiladi.

#### **FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR**

1. D. Aditya, M. Kamesh, P. Arogyaswami, Receive Antenna Selection in MIMO Systems using Convex Optimization, 2008, pp. 115–120.

2. Ахмедов, Б. А. (2021). Задачи обеспечения надежности кластерных систем в непрерывной образовательной среде. *Eurasian Education Science and Innovation Journal*, 1(22), 15-19.

3. P. Arogyaswami, R. Vwani, Communications, Computation, Control, And Signal Processing, Springer Netherlands, 1993, pp. 550–608.

4. M.C. Popescu, L. Popescu, N. Mastorakis, "Applications of Genetic Algorithms", WSEAS Transactions on Information Science and Applications, Issue 11, Vol.6, pp. 1782-1791, November 2009, Available: <http://www.worldses.org/journals/information/information-2009.htm>

5. Chatzimisios P., Vitsas V., Boucouvalas A., Tsoulfa M. Achieving performance enhancement in IEEE 802.11 WLANs by using the DIDD backoff mechanism international journal of communication systems Int. J. Commun. Syst. 2007; 20:23–41 Published online



16 May 2006 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI:  
10.1002/dac.811.

6. GSM technology revolutionizes auto industry. NEWSWAVE. Special  
issue. October 2001.

7. Halsall F. Data Communications, Computer Networks and Open Systems.  
Addison-Wesley, 1996.-907pp.

8. Jumbo frame [Электронный ресурс]. — Страница в интернете. —  
Режим доступа:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Jumbo\\_frame#Error\\_detection](https://en.wikipedia.org/wiki/Jumbo_frame#Error_detection) , свободный.

9. Koopman P. The Effectiveness of Checksums for Embedded Control  
Networks Theresa C. IEEE Transactions On Dependable And Secure Computing,  
Vol. 6, No. 1, January-March 2009.

10. Koopman. P. 32-Bit Cyclic Redundancy Codes for Internet Applications //  
The International Conference on Dependable Systems and Networks. — iyun  
2002. — S. 459. — DOI:10.1109/DSN.2002.102893.

11. RFC 793: Transmission Control Protocol [Elektronnyy resurs]. —  
Страница в интернете . — Rejim dostupa: <http://www.ietf.org/rfc/rfc793.txt>,  
svobodnyy.

12. RG 8/U Коакциальный кабель ҳелукабел [Электронный ресурс] —  
Режим доступа: [http://www.tk-neva.ru/catalog/\\_item295.html/](http://www.tk-neva.ru/catalog/_item295.html/), svobodnyy. -  
Загл. с экрана.