ZAMONAVIY TELEKOMMUNIKATSIYADA KENG POLOSALI UZATISH TEXNOLOGIYALARI

Turanova Dilnoza Abdubannon qizi
Farg‘ona davlat texnika universiteti
Email: dilnozaturanova28@gmail.com

Tursunov Muhriddin Umidjon o‘g‘li
Farg‘ona davlat texnika universiteti
tmuhriddin@gmail.com

Annotatsiya. Zamonaviy telekommunikatsiya tizimlarining rivojlanishi bilan birga, chekli chastota resurslari orqali ko‘plab foydalanuvchilarga bir vaqtda sifatli xizmat ko‘rsatish imkoniyati asosiy muammo bo‘lib qolmoqda. Ushbu tadqiqot maqolasida kod bo‘linishiga asoslangan multiplekslash (CDM — Code Division Multiplexing) va ortogonal chastota bo‘linishi multiplekslashi (OFDM — Orthogonal Frequency Division Multiplexing) usullari chuqur tahlil qilinadi. CDM usuli har bir foydalanuvchiga noyob psevdotasodifiy tarqatish kodi (spreading code) tayinlash orqali ishlaydi va bu texnologiya ayniqsa 3G UMTS, CDMA2000 hamda harbiy kommunikatsiya tizimlarida keng qo‘llaniladi. OFDM usuli esa chastota spektrini bir-biriga ortogonal bo‘lgan ko‘plab tor subchastotali kanallarga bo‘lish orqali ko‘p yo‘llilik interferensiyasiga (multipath fading) samarali kurash olib boradi va bugungi kunda 4G LTE, 5G NR, Wi-Fi 6 (802.11ax) va raqamli televideniye uzatish tizimlarida asosiy modulyatsiya texnologiyasi sifatida qo‘llaniladi.

Tadqiqot jarayonida ikkala usulning matematik asoslari, spektral samaradorligi, energetik tavsifi, ko‘p foydalanuvchili muhitdagi xulq-atvori va amaliy qo‘llanish sohalari IEEE hamda 3GPP standartlari asosida qiyosiy tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, CDM va OFDM usullari bir-birini to‘ldiruvchi xususiyatlarga ega bo‘lib, zamonaviy 5G NR standartida DFT-Spread-OFDM texnologiyasi shaklida ularning optimal kombinatsiyasidan foydalanilmoqda.

Kalit so‘zlar: multiplekslash, CDM, OFDM, CDMA, LTE, spektral samaradorlik, telekommunikatsiya, simsiz aloqa.

Kirish

Hozirgi kunda insoniyat tarixida misli ko‘rilmagan darajada raqamli ma’lumot almashinuvi kuzatilmoqda. Cisco kompaniyasining hisobotlariga ko‘ra, 2023-yilda global mobil ma’lumot trafigi yiliga 77 eksabaytdan oshdi va bu ko‘rsatkich har yili taxminan 26% ga o‘sib bormoqda. Ushbu muazzam o‘sish fonida cheklangan elektromagnit spektr resurslari tobora qimmatbaho boylikka aylanib bormoqda.

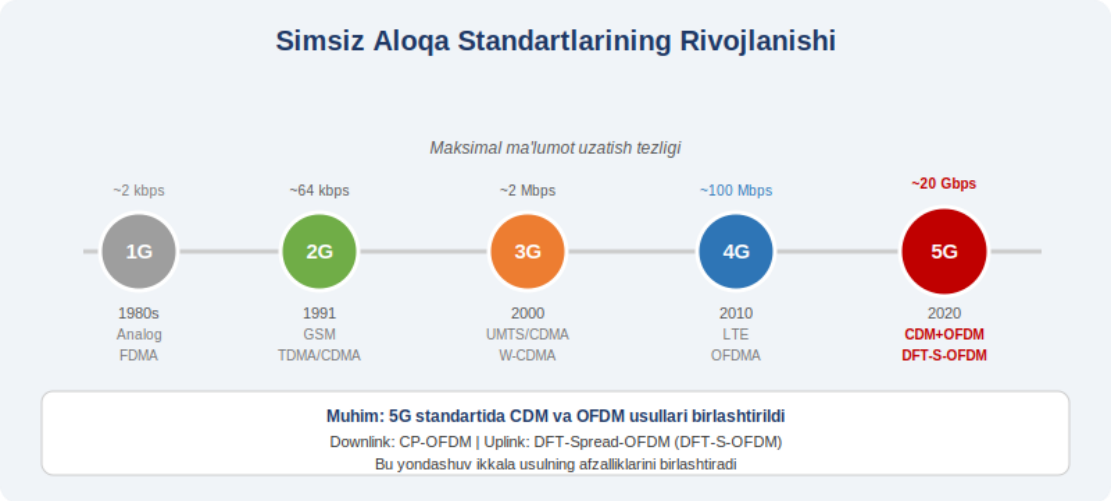
Multiplekslash — bir xil fizik muhit (kabel, efir) orqali bir vaqtda bir nechta mustaqil axborot kanallarini tashkil etish usuli sifatida telekommunikatsiyaning asosi hisoblanadi. Bu texnologiyaningg ilk ko‘rinishlari 19-asrning oxirida telegraf tizimlarida paydo bo‘lgan bo‘lsa, bugungi kunda u butunlay boshqa darajaga ko‘tarilgan. Zamonaviy spektr bo‘linishi usullari nafaqat ko‘p foydalanuvchiga xizmat ko‘rsatish, balki kanalning sig‘imini, uzatish ishonchliligini va energetik samaradorligini bir vaqtda optimallashtirish masalasini ham hal etadi.

Multiplekslashning asosiy turlari quyidagilardan iborat: chastota bo‘yicha bo‘linish (FDM — Frequency Division Multiplexing), vaqt bo‘yicha bo‘linish (TDM — Time Division Multiplexing), to‘lqin uzunligi bo‘yicha bo‘linish (WDM — Wavelength Division Multiplexing, optik tolalar uchun), kod bo‘yicha bo‘linish (CDM) va ortogonal chastota bo‘yicha bo‘linish (OFDM). Har bir usulning o‘z fizikaviy asosi, matematik modeli va qo‘llanish sohasi mavjud.

Ushbu maqolada CDM va OFDM usullariga alohida e’tibor qaratiladi. Buning asosiy sababi shuki, bu ikki usul zamonaviy simsiz aloqa tizimlarining — 3G, 4G, 5G va Wi-Fi ning asosini tashkil etadi. CDM usuli 1990-yillarda Qualcomm kompaniyasi tomonidan IS-95 standarti shaklida tijorat miqyosiga olib chiqildi va keyinchalik 3GPP tomonidan WCDMA (Wideband CDMA) nomi bilan 3G UMTS standartiga kiritildi. OFDM esa oldin raqamli audio (DAB) va video uzatish (DVB-T) tizimlarida qo‘llanildi, so‘ngra Wi-Fi 802.11a standarti orqali simsiz tarmoqlarga, keyin esa 4G LTE orqali mobil aloqaga kirib keldi.

Maqolaning maqsadi — ushbu ikkita muhim multiplekslash texnologiyasini qiyosiy tahlil qilish, ularning afzallik va kamchiliklarini aniqlash, shuningdek zamonaviy 5G tizimida ularning qanday birlashtirilganini ko‘rsatish. Tadqiqot

natijalari telekommunikatsiya muhandislari, magistratura talabalari va soha mutaxassislari uchun amaliy ahamiyat kasb etadi.



1-rasm. Simsiz aloqa standartlarining rivojlanishi va multiplekslash usullarining o‘zgarishi

Nazariy Asoslar va Metodologiya

CDM usulida har bir foydalanuvchi ma’lumoti alohida keng polosali kodlash orqali uzatiladi. Asosiy matematik model quyidagicha ifodalanadi:

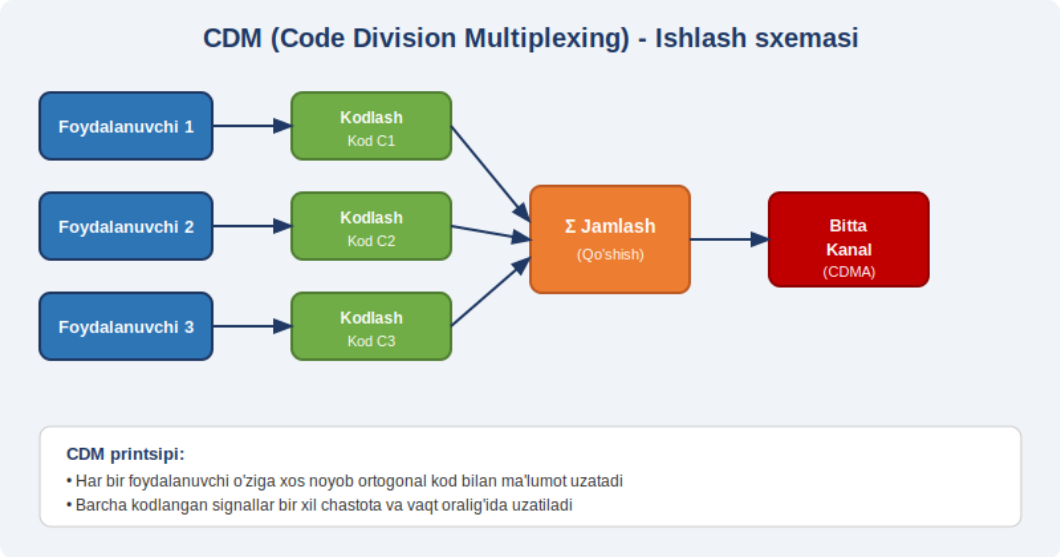
$$S_k(t) = d_k(t) \times c_k(t)$$

Bu yerda *S_k(t)* — k-inchi foydalanuvchining uzatiladigan signali, *d_k(t)* — ma’lumot signali (odatda ±1 qiymatlari), *c_k(t)* — k-inchi foydalanuvchiga tayinlangan noyob psevdotasodifiy tarqatish kodi (chip ketma-ketligi). Qabul qiluvchi tomonda signal xuddi shu kod bilan ko‘paytiriladi va integral hisoblanadi:

$$d_k = \int_0^T R(t) \times c_k(t)\, dt$$

Bu yerda *R(t)* — qabul qilingan umumiy signal (barcha foydalanuvchilarning kodlangan signallarining yig‘indisi). Ortogonallik sharti bajarilganda, ya’ni *c_k(t)* × *c_j(t)* integrali nolga teng bo‘lganda (k ≠ j), har bir foydalanuvchi o‘z ma’lumotini to‘g‘ri tiklashi mumkin. Tarqatish koeffisienti (SF — Spreading Factor) ma’lumot belgisi vaqtida nechta chip bo‘lishini ko‘rsatadi. SF qancha katta bo‘lsa, interferensiyaga chidamlilik shuncha yuqori, lekin spektral samaradorlik past bo‘ladi.

CDM tizimlarida foydalaniladigan kodlar turli xil bo‘lishi mumkin: Walsh-Hadamard kodlari (sinxron CDM uchun ideal ortogonallikni ta’minlaydi), Gold kodlari (asinxron uzatish uchun yaxshi kross-korrelyatsiya xususiyatiga ega), Kasami kodlari (yuqori darajadagi ma’xfiylik uchun) va Barker kodlari (radar tizimlarida keng qo‘llaniladi).



2-rasm. CDM usulining ishlash sxemasi: har bir foydalanuvchi noyob kod bilan kodlanadi

OFDM Usulining Matematik Asosi

OFDM usulida mavjud chastota polosasi N ta ortogonal subchastotaga bo‘linadi. Har bir subchastota f_k = f_0 + k/T chastotada joylashgan bo‘lib, T — bir OFDM belgisi davomiyligi. Ortogonallik quyidagi integral shart orqali ta’riflanadi:

$$\int_0^T e^{j2\pi f_i t} \times e^{-j2\pi f_k t}\, dt = \delta(i-k)$$

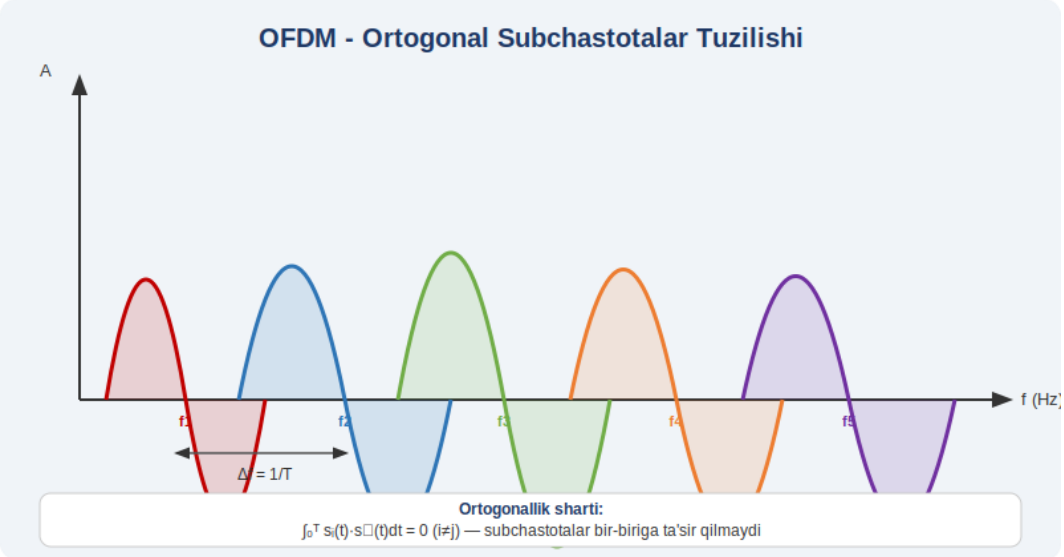
Bu yerda *δ(i-k)* — Kroneker deltasi (*i=k* bo‘lganda 1, aks holda 0). Amaliyotda OFDM signali Teskari Diskret Furye Almashtirishi (IDFT) yordamida hosil qilinadi:

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{j\frac{2\pi nk}{N}}$$

Bu yerda *X[k]* — k-inchi subchastotada uzatiladigan murakkab simvol (QPSK, 16-QAM, 64-QAM yoki 256-QAM formatida). Qabul qiluvchi tomonda DFT (Diskret Furye Almashtirishi) orqali simvollar tiklanadi. Amaliyotda IDFT va DFT o‘rniga

IFFT va FFT (tez Furye almashtirishi) algoritmlaridan foydalaniladi, bu esa hisoblash murakkabligini N^2dan $N \times log_2(N)$ gacha kamaytiradi.

Ko‘p yo‘llilik interferensiyasidan (ISI — Inter-Symbol Interference) himoyalanish uchun har bir OFDM belgisiga sikllik prefiks (CP — Cyclic Prefix) qo‘shiladi. CP — bu OFDM belgisining so‘nggi qismini oldiniga nusxa ko‘chirish usuli bo‘lib, u kanal impuls javobining maksimal kechikishidan (τ_max) uzun bo‘lishi kerak. CP oraligi foydali vaqt T_s ning odatda 1/4 yoki 1/8 qismini tashkil etadi.



3-rasm. OFDM subchastotalarining ortogonal tuzilishi va chastota spektridagi joylashuvi

Tadqiqot Metodologiyasi

Ushbu tadqiqotda quyidagi metodologik yondashuvlardan foydalanildi: birinchidan, tahliliy uslub — har bir usulning nazariy asoslarini matematik modellar orqali o‘rganish; ikkinchidan, qiyosiy uslub — ikkala usulning parametrlarini standartlashtirilgan mezonlar bo‘yicha solishtirish; uchinchidan, tizimli tahlil — CDM va OFDM usullarini zamonaviy aloqa tizimlarining bir tarkibiy qismi sifatida ko‘rish.

Asosiy manballar sifatida IEEE Xplore ma’lumotlar bazasi, 3GPP TS 36.211 (LTE fizik qatlam spetsifikatsiyasi), 3GPP TS 38.211 (5G NR fizik qatlam), ITU-T tavsiyanomalari va Proakis & Salehi "Digital Communications" (5-nashr) ilmiy kitobi ishlatildi. Qiyosiy mezonlar sifatida spektral samaradorlik (bit/s/Hz), energetik

samaradorlik (Eb/N0), PAPR koeffisienti, ko‘p yo‘llilik chidamliligi va ko‘p foydalanuvchili qobiliyat tanlab olindi.

Muhokama va Tahlil Natijalari

CDM texnologiyasining eng muhim xususiyati — uning tabiatdan ko‘p foydalanuvchili bo‘lishi. An’anaviy FDM yoki TDM usullarida har bir foydalanuvchiga chastota kanali yoki vaqt uyasi qat’iy ajratiladi. CDM da esa barcha foydalanuvchilar bir xil chastota va bir xil vaqtda uzatadilar, ularni farqlash uchun noyob kodlar ishlatiladi. Bu yondashuv "erkin kirish" (random access) imkoniyatini kengaytiradi va tizim sig‘imini dinamik boshqarish imkonini beradi.

CDM ning eng muhim afzalligi — interferensiyaga nisbatan yuqori chidamliligi. Signal keng chastota polosasiga tarqatilganligi sababli, tor polosali shovqin yoki ataylab qo‘yilgan to‘siq (jamming) faqat kichik bir qismga ta’sir qiladi. Bu xususiyat CDM ni harbiy aloqa tizimlarida qimmatbaho qiladi. Bundan tashqari, CDM signali shovqinga o‘xshash bo‘lgani uchun uchinchi shaxslar uchun "ko‘rinmas" — bu DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) texnologiyasining maxfiylik afzalligidir.

"Soft handoff" (yumshoq qo‘l uzatish) CDM ning yana bir noyob xususiyatidir. Mobil qurilma bir bazaviy stansiyadan ikkinchisiga o‘tish jarayonida ikkala stansiyadan bir vaqtda signal qabul qiladi. Bu TDM yoki FDM tizimlardagi "hard handoff" (qo‘ng‘iroq qisqa muddatga uzilishi) dan tubdan farq qiladi va aloqa sifatini sezilarli yaxshilaydi. 3G UMTS tarmoqlarida bu xususiyat qo‘ng‘iroq sifati ko‘rsatkichlarini 15-20% ga yaxshilagan.

CDM ning asosiy kamchiligi — "yaqin-uzoq muammosi" (near-far problem). Agar bazaviy stansiyaga yaqin joylashgan foydalanuvchi kuchli signal yuborsa, uning signali uzoqdagi foydalanuvchining signalini bosib ketishi (masking) mumkin. Bu muammo murakkab quvvat nazorati (power control) tizimlari orqali hal etiladi. Masalan, 3G UMTS tizimida har bir sekunda 1500 marta quvvat darajasi qayta sozlanadi (closed-loop power control). Biroq bu qo‘shimcha murakkablik va ulanish kechikishiga olib keladi.

CDM ning yana bir cheklovi — ortogonallik buzilishi. Asinxron uzatish sharoitida (masalan, foydalanuvchilar bazaviy stansiyadan turli masofalarda

joylashganda) kodlar orasidagi ortogonallik kafolatlana olmaydi, bu esa o‘zaro interferensiyani (MAI — Multiple Access Interference) keltirib chiqaradi. MAI to‘g‘ridan-to‘g‘ri tizim sig‘imini cheklaydi. Nazariy jihatdan K foydalanuvchili CDM tizimidagi SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) quyidagi formula bilan ifodalanadi: SINR ≈ SF / (K-1), ya’ni foydalanuvchilar soni oshishi bilan sifat pasayadi.

OFDM Usulining Batafsil Tahlili

OFDM ning asosiy kuchi — ko‘p yo‘llilik (multipath) kanallariga chidamliligi. Shahar muhitida, binolar ichida va to‘siqlar ko‘p bo‘lgan joylarda radio to‘lqinlar bir nechta yo‘l bilan tarqaladi — to‘g‘ridan-to‘g‘ri, binolardan qaytib, yerdan qaytib va hokazo. Bu holda qabul qiluvchiga bir xil signal bir necha millisekund farq bilan kelib, o‘zaro interferensiya (ISI) hosil qiladi. OFDM bu muammoni ikkita mexanizm orqali hal etadi: birinchidan, belgisi davomiyligi T_s katta bo‘lgani sababli, kechikish τ nisbatan kichik bo‘ladi; ikkinchidan, sikllik prefiks qo‘shilishi ISI ni butunlay bartaraf etadi.

OFDM ning yana bir katta afzalligi — adaptiv modulyatsiya va kodlash (AMC — Adaptive Modulation and Coding). Har bir subchastota uchun kanal holati alohida baholanadi va unga mos modulyatsiya turi tanlanadi. Kanal sifati yaxshi bo‘lganda (SNR yuqori) 256-QAM yoki 1024-QAM ishlatiladi (har bir simvol 8-10 bit), kanal sifati past bo‘lganda esa QPSK (2 bit/simvol) ishlatiladi. Bu mexanizm LTE tizimida har 1 millisekunda bajariladi va ulanish sifatini optimallashtiradi. Natijada spektral samaradorlik teorik chegaraga (Shennon limiti) yaqinlashadi.

OFDM ning asosiy kamchiligi — yuqori PAPR (Peak-to-Average Power Ratio). Ortogonal subchastotalar ayrim paytlarda bir fazada qo‘shilishi mumkin va bu holda quvvat piki o‘rtacha quvvatdan N marta (dB da $10\log_{10}(N)$) katta bo‘lishi mumkin. Masalan, 1024 subchastota uchun nazariy PAPR 30 dB ga yetishi mumkin. Bu holat kuchaytirgich (PA — Power Amplifier) ning chiziqli bo‘lmagan (nonlinear) sohada ishlashiga olib kelishi va signal buzilishiga (clipping) sabab bo‘lishi mumkin.

Kuchli, chiziqli kuchaytirgichlar esa qimmat va energiya ko‘p sarflaydi. Ushbu muammo hal etish uchun turli algoritmlar qo‘llaniladi: signal kliplingi va filtrlash, PTS (Partial Transmit Sequence), SLM (Selected Mapping), kompandirlik va boshqalar.

OFDM ning yana bir kamchiligi — chastota offsetiga sezgirlik. Uzatuvchi va qabul qiluvchidagi generatorlar orasidagi chastota farqi subchastotalar orasidagi ortogonallikni buzishi va ICI (Inter-Carrier Interference) hosil qilishi mumkin. Bu muammo ayniqsa tez harakatlanuvchi ob’ektlarda (poyezdlar, avtomobillar) kuchayadi, chunki Doppler effekti ham chastota o‘zgarishiga olib keladi. Shuning uchun OFDM tizimlari aniq chastota va vaqt sinxronizatsiyasini talab qiladi — bu esa murakkab pilot-signal mexanizmlari ishlatishni taqozo etadi.

CDM va OFDM Qiyosiy Ko'rsatkichlari

Parametr	CDM	OFDM
Spektral samaradorlik	O'rtacha	Yuqori □
Interferensiya chidamliligi	Yuqori □	Yuqori □
Xavfsizlik darajasi	Juda yuqori □	O'rtacha
PAPR (quvvat nisbati)	Past □	Yuqori (kamchilik)
Ko'p foydalanuvchi	Tabiiy qo'llab-quvvat □	OFDMA bilan □
Qo'llanish standarti	CDMA, 3G, UMTS	4G LTE, 5G, Wi-Fi

4-rasm. CDM va OFDM usullarining asosiy ko‘rsatkichlari bo‘yicha qiyosiy tahlil

Ko‘p Foydalanuvchili Tizimlarda Qiyoslash

Ko‘p foydalanuvchili muhitda CDM va OFDM ning xulq-atvori tubdan farq qiladi. CDM da ko‘p foydalanuvchili kirish CDMA (Code Division Multiple Access) orqali amalga oshiriladi — har bir foydalanuvchiga noyob tarqatish kodi ajratiladi.

Tizim sig‘imi "ortotomik cheklov" bilan belgilanadi: barcha foydalanuvchilarning interferenciyalari tolerable darajada saqlanishi uchun ularning umumiy soni Spreading Factordan oshmasligi kerak. Amalda, kanal shovqini va ortogonallik buzilishlari hisobga olinganda, CDM tizimining amaldagi sig‘imi nazariy chegaraning 40-60% ini tashkil etadi.

OFDM tizimlarda ko‘p foydalanuvchili kirish OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) orqali amalga oshiriladi. Ushbu usulda chastota spektri

"resurs bloklari" (Resource Blocks) ga bo‘linadi va har bir foydalanuvchiga u foydalanadigan vaqt-chastota resurslari dinamik ravishda ajratiladi.

LTE tizimida 1 ta resurs bloki 12 ta subchastota va 1 ms vaqt uyasini egallaydi. Bu usul chastota va vaqt bo‘yicha ikkiyoqlama muhit multiplekslashni (Time-Frequency Domain Multiplexing) amalga oshiradi va kanallarni optimal taqsimlash imkonini beradi.

5G NR standartida OFDMA asosiy kirish usuli sifatida tanlab olingan, lekin downlink (yuklash) va uplink (yuklash) uchun farqli yondashuv qo‘llaniladi. Downlink uchun standart CP-OFDM ishlatiladi, uplink uchun esa DFT-Spread-OFDM (DFT-S-OFDM) qo‘llaniladi. DFT-S-OFDM — bu aslida CDM va OFDM ning birlashmasi: birinchi bosqichda ma’lumot DFT orqali chastota sohasiga o‘tkaziladi (CDM elementini o‘z ichiga oladi), ikkinchi bosqichda esa subchastotalarga tarqatiladi va IFFT orqali vaqt sohasiga o‘tkaziladi. Bu yondashuv OFDM ning spektral samaradorligi va CDM ning past PAPR xususiyatini bir vaqtda ta’minlaydi.

Xavfsizlik va Energetik Tahlil

Xavfsizlik nuqtayi nazaridan CDM aniq ustunlikka ega. Tarqatish kodi noma’lum bo‘lgan tomon uchun CDM signali shunchaki shovqin ko‘rinishida bo‘ladi. Harbiy standartda foydalaniladigan FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) va DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) texnologiyalari ataylab to‘siq qo‘yishga (jamming) ham chidamli. Biroq zamonaviy OFDM tizimlari ham kriptografik protokollar (AES-256, WPA3, 5G SUPI) bilan himoyalanganligi sababli, amaliy xavfsizlik darajasi jihatidan farq unchalik katta emas.

Energetik samaradorlik jihatidan ham farqlar mavjud. CDM tizimlari barcha chastota polosasiga tarqalgan signal yuboradilar, bu esa ma’lum ma’noda energiyani to‘g‘ridan-to‘g‘ri yo‘naltirish imkonini bermaydi. OFDM tizimlari esa OFDMA rejimida faqat zarur subchastotalarga energiya yo‘naltiradi va shuning uchun energetik jihatdan samaraliroq bo‘lishi mumkin. Biroq PAPR muammosi tufayli OFDM kuchaytirgichlari past samaradorlikda ishlashi kerak bo‘ladi, bu esa energiya isrofiga olib keladi. Masalan, CDM kuchaytirgichlari 30-35% samaradorlikda ishlasa, OFDM kuchaytirgichlari ko‘pincha 15-20% samaradorlikda ishlaydi.

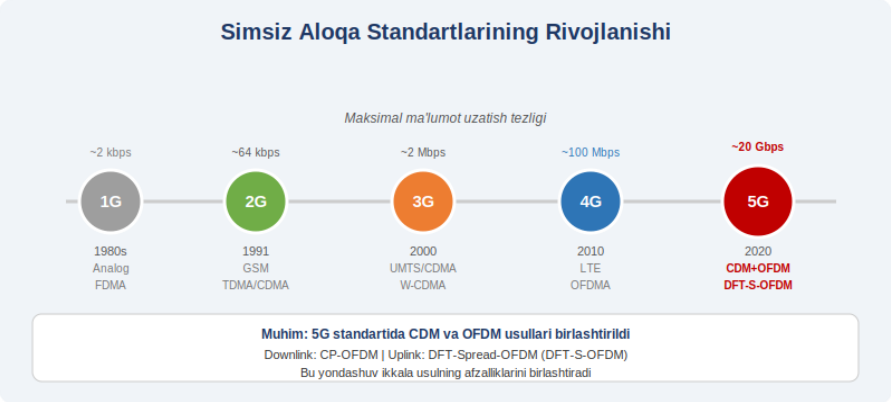
Xulosa

Ushbu tadqiqot natijasida CDM va OFDM usullarining fundamental farqlari, afzalliklari va cheklovlari aniqlandi. CDM usuli o‘zining keng polosali tarqatish prinsipi orqali interferensiyaga va eshitishga yuqori chidamlilik, tabiiy ko‘p foydalanuvchili qo‘llab-quvvatlash va "soft handoff" imkoniyatlarini taqdim etadi. Ushbu xususiyatlar CDM ni 3G UMTS tarmoqlari va harbiy aloqa tizimlarida almashinmas texnologiyaga aylantirdi.

OFDM usuli esa o‘zining ortogonal subchastotali tuzilishi orqali ko‘p yo‘llilik interferensiyasiga chidamliligi, yuqori spektral samaradorligi, adaptiv modulyatsiya imkoniyati va FFT/IFFT asosidagi samarali raqamli amalga oshirilishi bilan zamonaviy simsiz aloqa tizimlarining asosiga aylandi. 4G LTE va Wi-Fi 6 standartlarida OFDM ning ustunligi yaqqol ko‘rinadi: Shanon limiti bo‘yicha teorik samaradorlikning 90% va undan ko‘prog‘iga erishildi.

Eng muhim xulosa shuki, bu ikki usul raqib emas, balki bir-birini to‘ldiruvchi texnologiyalardir. 5G NR ning uplink yo‘nalishidagi DFT-S-OFDM texnologiyasi buning yaqqol dalilidir. Kelgusi 6G standartlari ishlab chiqishda ham ushbu ikki usulning yanada takomillashtirilgan birlashmalari ko‘rib chiqilmoqda. Masalan, OTFS (Orthogonal Time Frequency Space) modulation — bu CDM va OFDM g‘oyalarini vaqt-chastota fazosida birlashtirgan yangi texnologiya bo‘lib, tez harakatlanuvchi ob’ektlar uchun (poyezdlar, samolyotlar) yuqori samaradorlikni ta’minlaydi.

Tavsiyalar sifatida quyidagilar ilgari suriladi: birinchidan, qurilma ishlab chiqaruvchilar uchun — DFT-S-OFDM ni keng qo‘llash orqali UE (User Equipment) batareyasini tejash; ikkinchidan, tarmoq operatorlari uchun — OFDMA resurs bloklar taqsimotini sun’iy intellekt algoritmlari yordamida optimallash; uchinchidan, tadqiqotchilar uchun — OTFS va ISAC (Integrated Sensing and Communications) texnologiyalarini 6G uchun rivojlantirish zarurati. Multiplekslash texnologiyalarining rivojlanishi raqamli inqilobning asosiy harakatlantiruvchi kuchlaridan biri bo‘lib qolishda davom etadi.



5-rasm. 1G dan 5G gacha bo‘lgan rivojlanish va har bir standartda qo‘llaniladigan multiplekslash usullari

Xulosa qilib aytganda, CDM va OFDM usullarini chuqur bilish va ularning imkoniyatlaridan to‘liq foydalanish zamonaviy va kelajakdagi telekommunikatsiya tizimlarini loyihalashda hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi. Ushbu sohadagi tadqiqotlar nafaqat akademik, balki katta ijtimoiy-iqtisodiy ahamiyatga ham egadir, chunki sifatli aloqa tizimlariga bo‘lgan jamiyat ehtiyoji yil sayin ortib bormoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Rustambekovich, D. L. (2025). Raqamli tasvirlarni qayta ishlashda shovqinni kamaytirish usullar. Tadqiqotlar, 76(4), 347-352.
2. Khalilov, M. M. (2023). Effect of heat treatment on the photosensitivity of polycrystalline PbTe films and PbS. Al-Farg‘oniy avlodlari, 1(4), 218-221.
3. Dalibekov, L. R. (2025). Raqamli signallarni qayta ishlashda filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini tahlil qilish. Zamonaviy taraqqiyot va fan: 21-asr yondashuvlari, 1(1), 194-206.
4. Dalibekov, L., & Dalibekova, D. (2025). Telemedicine–a new direction in modern medicine. Engineering problems and innovations, 3(1), 30-35.
5. Iskandarov, U. U., Makhmudov, I. A., & Iskandarov, N. U. (2026). Анализ развития структур технологий облачной среды. Строительство и образование, 5(1), 139-144.
6. Iskandarov, U. U., & Iskandarov, N. U. Study OF the Mechanism OF Voltage Generation in the Order OF 12-24 V Potential by Means OF Thermo Emf Based on the Seebeck Effect. American Journal of Technology and Applied Sciences, 34, 32-36.
7. Turgunov, B., Juraev, N., Toshpulatov, S., Abdullajon, K., & Iskandarov, U. (2021, November). Researching of the degradation process of laser diodes used in optical transport networks. In 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) (pp. 1-4). IEEE.
8. Jo‘rayev, N. (2023). Ta’lim jarayonlari raqamli transformatsiyasining moxiyati va axamiyati. Engineering problems and innovations.

9. Muxammadyunusovich, X. M., Rustamovich, D. L., & Qizi, M. R. A. (2024). Optik tolalarda signallarni yo‘qolishini oldini olish va axborot xavfsizligi ta’minlash. Al-Farg‘oniy avlodlari, (2), 129-131.

10. Komilov, A. O. (2025). Оптоэлектронный датчик для контроля геотермальных газов. Строительство и образование, 4(3), 295-300.

11. Komilov, A. O. (2018). Selection of the composition and structure of the energy complex. Математическое и информационное моделирование: сборник научных трудов.–Тюмень, 2018.–Вып. 16.

12. Rayimjonova, O. S. (2022). Investigation of cluster-type inhomogeneity in semiconductors. American Journal Of Applied Science And Technology, 2(06), 94-97.

13. Iskandarov, U. U., Ergasheva, M. F., & Madaminov, M. R. (2025). “O‘zbekiston pochtasi” aj Farg‘ona filialida “smart logistics” tizimini joriy qilish mexanizmlarini ishlab chiqish. Строительство и образование, 4(3), 248-252.

14. Khusanova, S. S., Tajibayev, I. B., & Tillaboyev, M. G. (2023). How to connect two or more tvs to a digital set-top BOX. International Journal of Advance Scientific Research, 3(10), 109-116.

15. G‘anijonovich, T. M. (2025). Mikroprotsessorning registrlari va ularning assemblerda qo‘llanilishi. Ustozlar uchun, 85(4), 138-145.

16. Абдусаматов, Д. А., Рахимова, К. Н., Эргашев, С., Хусанова, С., & Тиллабоев, М. Г. Исследование фотоэлектрических свойств афн-пленоктеллурида кадмия с серебром. Журнали, 233.

17. Кулдашов, О., & Тиллабоев, М. (2023). Контроль качества и прогнозирование срока службы ик-светодиодов. Engineering problems and innovations, 1(2), 3-10.

18. Juraev, N., & Toshpulatov, S. (2025). Design of an optical–digital system for noninvasive detection of myeloblasts. Collection of scientific papers «SCIENTIA», (October 17, 2025; London, England, UK), 264-271.