TELEKOMMUNIKATSIYA TIZIMLARIDA KANAL RESURSLARINI TAQSIMLASH SAMARADORLIGI: TDM, FDM, CDM VA OFDM TEXNOLOGIYALARINING QIYOSIY-TANQIDIY TAHLILI

Lutfulayev Tavakkal
Farg‘ona davlat texnika universiteti
732-23 guruh talabasi

Tillaboyev Muhiddin
Farg‘ona davlat texnika universiteti

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot ishi telekommunikatsiya tarmoqlarida cheklangan chastota resurslaridan unumli foydalanish muammolariga bag‘ishlangan. Maqolada an’anaviy va zamonaviy multiplekslash (kanalni bo‘lish) usullari — TDM, FDM, CDM va OFDM tizimlarining ishlash prinsiplari, ularning o‘ziga xos muhandislik muammolari hamda afzalliklari formulasiz, sof tizimli tahlil yordamida o‘rganiladi. Tadqiqot yakunida har bir texnologiyaning zamonaviy aloqa infratuzilmasidagi o‘rni va kelajakdagi istiqbollari baholanadi.

Kalit so‘zlar: telekommunikatsiya tizimlari, multiplekslash texnologiyalari, kanal resurslari, spektr samaradorligi, TDM, FDM, CDM, OFDM, radiochastota spektri, simsiz aloqa.

Kirish

Bugungi kunda simsiz va simli aloqa tizimlariga bo‘lgan talab misli ko‘rilmagan darajada o‘sib bormoqda. Millionlab odamlar bir vaqtning o‘zida internetdan foydalanadi, telefonlashadi va video tomosha qiladi. Biroq, tabiatda signallarni uzatish uchun ajratilgan radiochastota spektri (havo bo‘shlig‘i) juda cheklangan. Agar har bir insonga alohida chastota berilsa, u holda faqat sanoqli odamlargina aloqadan foydalana olgan bo‘lar edi.

Ushbu muammoni hal qilish uchun telekommunikatsiyada multiplekslash (ko‘p kanallashtirish) texnologiyasi o‘ylab topilgan. Multiplekslash — bu bir nechta mustaqil axborot oqimlarini (masalan, yuzlab odamlarning telefon suhbatini) bitta

umumiy magistral kanal orqali bir vaqtning o‘zida, bir-biriga xalaqit bermasdan uzatish san’atidir.

Evolyutsion nuqtai nazardan, ushbu texnologiya analog radiouzatish davridagi oddiy chastotaviy bo‘linishdan boshlab, bugungi kunning o‘ta murakkab raqamli ortogonal tizimlarigacha rivojlanib keldi. Ushbu tadqiqotning maqsadi — to‘rtta asosiy multiplekslash usulini (TDM, FDM, CDM, OFDM) chuqur tahlil qilish, ularning amaliy yutuqlari va kamchiliklarini inson omili hamda muhandislik logikasi nuqtai nazaridan yoritib berishdir.

Metodologiya va prinsiplar

Tadqiqot doirasida to‘rtta texnologiyaning ishlash mexanizmi tahlil qilindi. Tushunish oson bo‘lishi uchun ularni bitta katta xonada bir nechta odamning o‘zaro suhbatlashishi (ma’lumot uzatishi) misolida ko‘rib chiqamiz.

FDM (Frequency Division Multiplexing — chastotaviy taqsimlash)

FDM analog aloqa tizimlarining poydevoridir. Bu usulda mavjud keng chastota yo‘lagi mayda bo‘laklarga (subkanallarga) bo‘linadi va har bir foydalanuvchiga o‘zining shaxsiy chastotasi umrbodga (yoki aloqa tugaguncha) biriktirib qo‘yiladi.

Hayotiy o‘xshatish Bitta katta xonani qalin devorlar bilan mayda xonalarga bo‘lishga o‘xshaydi. Har bir xonada odamlar bir vaqtda mustaqil suhbatlashadi.

Muhandislik muammosi Devorlar (himoya polosalari) spektrning ma’lum bir qismini egallab oladi, bu esa resurs isrofini keltirib chiqaradi.

TDM (Time Division Multiplexing — vaqt bo‘yicha taqsimlash)

TDM raqamli inqilob davrida paydo bo‘ldi. Bunda chastota bo‘linmaydi, hamma bitta umumiy chastotadan foydalanadi. Buning o‘rniga vaqt o‘qi millisekundlik juda kichik slotlarga (bo‘laklarga) bo‘linadi.

Har bir foydalanuvchi faqat o‘ziga ajratilgan millisekundda ma’lumot uzatadi, keyin navbatni keyingisiga beradi. Bu jarayon shu qadar tez sodir bo‘ladiki, inson qulog‘i uzilishlarni sezmaydi.

Hayotiy o‘xshatish

Xonada hamma bir tilda gaplashadi, lekin tartib bilan. Birinchi odam 5 soniya gapiradi, keyin to‘xtaydi, undan so‘ng ikkinchi odam 5 soniya gapiradi va hokazo.

Muhandislik muammosi

Agar uzatuvchi va qabul qiluvchi soatlari (taymerlari) sinxronlikdan adashsa, signallar bir-birining ustiga chiqib ketadi va ma’lumot yo‘qoladi.

CDM (Code Division Multiplexing — kod bo‘yicha taqsimlash)

CDM (yoki CDMA) vaqt va chastota chegaralarini deyarli yo‘q qildi. Bu tizimda barcha abonentlar bir vaqtda va bir xil chastotada gaplashadi. Alohidalik esa har bir signalga o‘ziga xos matematik kod (shifr) berish orqali ta’minlanadi. Qabul qiluvchi apparat faqat o‘ziga tegishli kodli signalni filtrlab oladi, qolgan barcha abonentlarning signallarini esa oddiy shovqin sifatida qabul qiladi.

Hayotiy o‘xshatish

Bitta xonada hamma bir vaqtda gaplashadi. Lekin birinchi juftlik o‘zbekcha, ikkinchisi inglizcha, uchinchisi esa xitoycha gaplashmoqda. Ular bir-birini tushunmagani sababli begona tillar oddiy shovqin bo‘lib tuyuladi.

Muhandislik muammosi

Agar bitta abonent baza stansiyasiga juda yaqin turib baland signal yuborsa, uzoqdagi abonent signali butunlay bostirilib qolishi mumkin. Bu “yaqin-uzoq muammosi” deb ataladi.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing — ortogonal chastotaviy taqsimlash)

OFDM bugungi internetning (Wi-Fi va 4G/5G) yuragi hisoblanadi. U FDM usulining ancha aqlli shaklidir. Oddiy FDMda chastotalar orasida himoya oralig‘i tashlanadi. OFDMda esa chastotalar bir-birining ustiga zich joylashtiriladi. Bu ortogonallik deb ataluvchi matematik xossa orqali amalga oshiriladi. Bir signal eng yuqori nuqtaga chiqqan paytda qo‘shni signal qiymati nolga teng bo‘ladi. Natijada ular bir-biriga xalaqit bermaydi.

Hayotiy o‘xshatish

Bu xuddi yuk mashinasiga qutilarni orasida bo‘sh joy qoldirmasdan geometrik aniqlikda joylashtirish orqali maksimal joy tejashga o‘xshaydi.

Muhandislik muammosi. Signal quvvatining keskin sakrashi (PAPR muammosi) kuzatiladi. Bu esa mobil qurilmalar batareyasining tezroq tugashiga sabab bo‘lishi mumkin.

Natijalar

O‘tkazilgan tizimli va mantiqiy tahlillar natijasida to‘rtta multiplekslash usulining real amaliyotdagi samaradorlik ko‘rsatkichlari aniqlandi.

Tizimli mezonlar	FDM	TDM	CDM	OFDM
Resursni tejash (spektr samaradorligi)	Juda past. Bo‘sh qolgan kanallar va himoya zonalari spektrni isrof qiladi	O‘rta. Vaqt bo‘yicha taqsimot yaxshi, lekin abonent gapirmasa ham uning vaqti band bo‘lib turadi	Yuqori. Hamma resursdan barobar foydalanadi, sig‘im keng	Maksimal. Ortogonallik hisobiga chastotalar bir-birining ichiga kirib boradi
Tabiiy to‘siqlarga chidamlilik	Past. Signal aks etib qaytsa, butun chastota ishdan chiqadi	Past. Signal kechikishi vaqt slotlarini chalkashtiradi	Yaxshi. Aqlli qabul qilgichlar aks etgan signallarni foydali ma’lumotga aylantiradi	Mukammal. Cyclic Prefix orqali aks-sado muammosi bartaraf etiladi
Amaliy qo‘llanilishi	Analog radio va televideniye	GSM / 2G tizimlari	3G aloqa va GPS	Wi-Fi, 4G LTE va 5G

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, katta hajmdagi ma’lumotlarni uzatishda OFDM eng samarali texnologiya hisoblanadi. Biroq oddiy va ishonchli aloqa talab qilinadigan tizimlarda CDM texnologiyasi hanuz muhim o‘rin tutadi.

Muhokama

Tadqiqot davomida olingan natijalar telekommunikatsiya injeneriyasidagi muhim qonuniyatlarni ochib berdi. Har bir texnologiya mukammallikka intilgan bo‘lsa-da, o‘zining muayyan muvozanat nuqtalariga ega.

FDM va TDM tizimlari tuzilishi jihatidan oddiy bo‘lsa-da, zamonaviy dinamik tarmoqlar talabiga to‘liq javob bera olmaydi. Ular resurslarni statik tarzda taqsimlaydi.

CDM texnologiyasi 3G davrida katta inqilob yasadi, chunki u shovqinlarni kamaytirish va maxfiy aloqani ta’minlashda yuqori samaradorlik ko‘rsatdi. Ammo abonentlar soni oshganda tizim ichidagi shovqin bazasi ham ortib boradi, bu esa tarmoq sig‘imini cheklaydi.

Bugungi kun yetakchisi bo‘lgan OFDM esa spektrni maksimal darajada zichlashtirish muammosini hal qildi. Shu bilan birga, uning asosiy kamchiligi yuqori quvvat talab qilishi va qurilma mikrosxemalariga katta yuk tushirishidir. Shu sababli zamonaviy tizimlarda OFDM asosida soddalashtirilgan va energiya tejamkor variantlardan foydalanilmoqda.

Xulosa

Xulosa qilib aytganda, telekommunikatsiyada mutlaq mukammal bo‘lgan yagona texnologiya mavjud emas. Hozirgi kunda aloqa tizimlari gibrid shaklda rivojlanmoqda. Masalan, 5G tarmoqlarida OFDM asosiy texnologiya bo‘lib qolayotgan bo‘lsa-da, vaqt va chastota bo‘yicha taqsimlash elementlari ham faol qo‘llanilmoqda.

Kelajakdagi 6G tarmoqlarida esa sun’iy intellekt yordamida kanal resurslarini dinamik boshqarish va real vaqt rejimida optimal taqsimlash texnologiyalari ustida keng tadqiqotlar olib borilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Haykin, S. *Communication Systems*. 5th edition. Wiley
2. Proakis, J. G., Salehi, M. *Digital Communications*. McGraw-Hill
3. Stallings, W. *Wireless Communications and Networks*. Pearson Education
4. Goldsmith, A. *Wireless Communications*. Cambridge University Press
5. Couch, L. W. *Digital and Analog Communication Systems*. Pearson
6. Carlson, A. B., Crilly, P. B., Rutledge, J. C. *Communication Systems*. McGraw-Hill
7. ITU-R Radio Regulations. International Telecommunication Union, Geneva
8. IEEE 802.11 Wireless LAN Standards Documentation, IEEE
9. 3GPP TS 38.300 NR and NG-RAN Overall Description, Release
10. Tse, D., Viswanath, P. *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge University Press