

“ICHKI KASALLIKLARNING SPEKTRAL DIAGNOSTIKASI UCHUN YUQORI TARMOQLI KENGLIKKA EGA OPTIK-KANAL KODLASH PROTOKOLLARINI ISHLAB CHIQISH”

*Xalilov Muhammadmuso Muhammadyunusovich
Raxmatxonov Boboxo'ja Shukurulloxon o'g'li
Farg'ona Davlat Texnika Universiteti talabasi*

Annotatsiya: Ushbu maqola ichki kasalliklarning spektral diagnostikasi uchun yuqori tarmoqli kenglikka ega bo'lgan optik-kanal kodlash protokollarini ishlab chiqish masalasiga bag'ishlanadi. Tadqiqotda tibbiy tasvirlar, laborator biomarkerlar va spektral ma'lumotlarning real vaqt rejimida uzatilishi uchun optik tolali aloqa tizimlarining o'tkazuvchanligi, kechikish darajasi va signal-barqarorligi baholandi. Taklif etilgan kodlash protokoli ma'lumotlar siqilishi, xatolarni tuzatish, spektral selektiv modulyatsiya va shifrlash mexanizmlarini integratsiyalab, diagnostik ma'lumotlarning aniqligi va xavfsizligini oshirdi. Optik tarmoqlarni klinik telemeditsina platformalariga moslashtirish ichki kasalliklarni erta aniqlash imkoniyatini sezilarli kengaytirishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: optik aloqa, spektral diagnostika, ichki kasalliklar, kodlash protokoli, tarmoqli kenglik, telemeditsina, optik tolalar, ma'lumot uzatish, modulyatsiya, xavfsizlik.

Kirish. Zamonaviy tibbiyotda ichki kasalliklarni erta aniqlash, klinik xavflarni baholash va individual davolash strategiyalarini shakllantirishda spektral diagnostika texnologiyalarining roli ortib bormoqda. Spektral tahlil usullari qon, to'qima, gormonlar, metabolitlar va organ funksiyalarining optik xususiyatlari asosida patologik jarayonlarni aniqlash imkonini beradi. Ayniqsa endokrin buzilishlar, yurak-qon tomir kasalliklari, jigar, buyrak, oshqozon-ichak tizimi kasalliklarini tasniflashda yuqori aniqlik, invaziv bo'lmaganlik va tezkorlik ustunlik hisoblanadi. Spektral diagnostika katta hajmdagi yuqori chastotali tasvir va biosignal oqimini generatsiya qiladi, ularni masofaviy klinik markazlarga uzatish, saqlash, tahlil qilish va telekonsiliumlarda qo'llash uchun yuqori tarmoqli kenglikka ega, barqaror va xavfsiz uzatish kanallari talab etiladi. Mavjud tarmoq infratuzilmalari bu yuklama uchun yetarli emas, ayniqsa real vaqt monitoringi, sun'iy intellekt asosidagi diagnostika va multimodal tibbiy ma'lumotlarni integratsiyalash jarayonida kechikish, signal yo'qotilishi, kodlash samaradorligi va ma'lumot sifati sezilarli muammoga aylanadi. Shu sababli optik aloqa tizimlari uchun maxsus moslashtirilgan kodlash protokollarini ishlab chiqish dolzarb ilmiy vazifa hisoblanadi.

Tadqiqot qismi. Ushbu tadqiqot ichki kasalliklarning spektral diagnostikasida hosil bo'ladigan yuqori hajmli tibbiy ma'lumotlarni optik aloqa tizimlari orqali uzatishda samaradorlikni oshirishga qaratilgan. Dastlab mavjud ilmiy adabiyotlar, telemeditsina infratuzilmalari, optik tarmoqlar arxitekturasini, spektral tasvirlash texnologiyalari va ma'lumot kodlash standartlari tahlil qilinib, ularning cheklovlari aniqlandi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, spektral diagnostika ma'lumotlarining o'rtacha oqim tezligi 12–38 Gbit/s ni tashkil qilishi, mavjud sog'liqni saqlash tarmoqlarida esa o'tkazuvchanlik diagnostika uchun yetarli emasligi aniqlangan. Raman, giperspektral va infraqizil tasvirlashda kanallar soni ko'pligi ma'lumot yuklamasini keskin oshiradi. Shu bois tadqiqotning markaziy vazifasi — optik aloqa tizimlariga moslashtirilgan, tarmoqli kenglikni tejovchi, xatoga chidamli va xavfsiz kodlash protokollarini ishlab chiqishdan iborat bo'ldi. Buning uchun optik-kanalning fizik xususiyatlari, dispersiya, signal susayishi, shovqin, paket yo'qotilishi, jitter va kechikish ko'rsatkichlari chuqur o'rganildi. Optik tolali aloqa modellashirishida DWDM, OFDM, 16-QAM modulyatsiya formatlari hamda EDFA kuchaytirgichlari bilan ishlash ssenariylari sinovdan o'tkazildi. Tibbiy ma'lumotlarning maxfiylik talablari, HIPAA va mahalliy sog'liqni saqlash axborot standartlari bilan muvofiqlik ham tadqiqot mezoniga kiritildi. Tadqiqot jarayonida ikkita uzatish modeli solishtirildi: an'anaviy TCP/IP asosidagi standart tibbiyot tarmog'i va yangi taklif etilgan optik-kanal kodlash protokoli. Diagnostik ma'lumotlar oqimi real klinik yuklamaga moslashtirilgan holda Raman spektrlar, jigar, qalqonsimon bez, qandli diabetga oid giperspektral tasvirlar, laborator spektral bioindikatorlar asosida shakllantirildi. Har bir uzatish tajribasi 20 km uzunlikdagi yagona rejimli optik tolada 1550 nm to'lqin uzunligida amalga oshirildi. Monitoring uchun Keysight va Yokogawa optik spektr analizatorlari ishlatildi. Tadqiqotda taklif etilgan protokol uch komponentli bo'lib, diagnostik jihatdan muhim piksel va spektral diapazonlarni aniqlovchi kontekstual siqish, LDPC asosidagi xato tuzatish va AES-GCM 256-bit shifrlash kombinatsiyasidan iborat. Ma'lumotlar uzatilishidan oldin tibbiy tasvirlarning redundant qismlari aniqlanib, o'tkazuvchanlikni oshirish maqsadida optimallashtirildi. Statistik ishonchlilikni baholash uchun ANOVA testi, tarmoq barqarorligi uchun SNR, BER, throughput va latency parametrlaridan foydalanildi. Natijada yaratilgan model spektral diagnostika uchun optik tarmoqlarni moslashtirishning ilmiy asoslangan mexanizmini taqdim etdi va klinik telemeditsina uchun amaliy qo'llash imkoniyatini ko'rsatdi.

Materiallar va usullar. Tadqiqot 2024-yil yanvar–iyul oylarida Toshkent Tibbiyot Akademiyasi diagnostika laboratoriyasi va optik aloqa texnologiyalari markazi hamkorligida olib borildi. Ma'lumotlar bazasiga ichki kasalliklar bilan aniqlangan 312 nafar bemor spektral diagnostika natijalari kiritildi. Ulardan 118 tasi qandli diabet, 64 tasi qalqonsimon bez patologiyalari, 51 tasi jigar yetishmovchiligi,

79 tasi yurak-qon tomir kasalliklariga ega bo'lgan. Har bir bemordan olingan biomateriallar — qon zardobi, to'qima biopsiyasi va metabolit namunalaridan Raman, infraqizil va giperspektral tasvirlar ishlab chiqarildi. O'rtacha fayl hajmi 145–680 MB oralig'ida bo'lib, spektral kanallar soni 1200–2400 ni tashkil etdi. Tibbiy ma'lumotlarni uzatish uchun 20 km uzunlikdagi, 9/125 μm parametrlarga ega yagona rejimli optik tolali aloqa liniyasi qo'llandi. Tizim 1550 nm markaziy to'lqin uzunligida ishlovchi Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) platformasiga ulandi. Kanalning o'tkazuvchanlik quvvati 40 Gbit/s, signal kuchaytirgichi sifatida Erbiy-doplangan optik kuchaytirgich (EDFA) ishlatildi. Optik yo'qotish ko'rsatkichi 0,21 dB/km, umumiy kechikish esa 4,9 ms bo'ldi. Real vaqtli monitoring uchun Keysight N1092A analizatori va Yokogawa AQ6370 optik spektr analizatori qo'llanildi. Taklif etilgan kodlash protokoli uch bosqichdan iborat: (1) diagnostik ahamiyatga ega spektral diapazonlarni aniqlovchi kontekstual ma'lumot siqish algoritmi; (2) xatolarni tuzatish uchun LDPC (Low-Density Parity Check) kodlash; (3) tibbiy maxfiylikni ta'minlash uchun 256-bitli AES-GCM kriptografik himoyasi. Modulyatsiya formatida 16-QAM va OFDM kombinatsiyasi sinovdan o'tkazildi. Boshqaruv, kodlash va dekodlash jarayonlari Python, MATLAB R2023b va OptiSystem 19.0 dasturiy paketlarida modellashtirildi. Har bir test 30 martadan takrorlanib, o'rtacha qiymatlar olingan. Baholash mezonlariga o'tkazuvchanlik (Gbit/s), kechikish (ms), paket yo'qotilishi (%), signal-to-shovqin nisbati (dB), diagnostik aniqlik (%) va tarmoqli kenglik tejalishi (%) kiritildi. Nazorat guruhida TCP/IP asosidagi standart uzatish protokoli, tajriba guruhida esa yangi optik-kanal kodlash protokoli qo'llandi. Statistik tahlil uchun ANOVA testi va 95% ishonch oralig'i ishlatildi. Barcha ma'lumotlar anonimlashtirilib, bioetika talablariga muvofiq qayta ishlangan. Ushbu metodologiya spektral diagnostika ma'lumotlarini real klinik yuklamaga yaqin sharoitlarda sinovdan o'tkazish va optik aloqa tizimlari uchun amaliy samaradorlikni aniqlash imkonini berdi.

Natijalar va muhokama. Tajriba davomida taklif etilgan optik-kanal kodlash protokoli spektral diagnostika ma'lumotlarini uzatishda sezilarli ustunlik ko'rsatdi. 312 bemorga oid 1,8 TB hajmdagi spektral tasvir va laborator ma'lumotlar oqimi sinovdan o'tkazildi. Standart TCP/IP asosidagi uzatish protokoli bilan o'rtacha o'tkazuvchanlik 21,4 Gbit/sni tashkil etgan bo'lsa, yangi protokol qo'llanganda bu ko'rsatkich 34,6 Gbit/sgacha oshdi, ya'ni 61,7% samaradorlik kuzatildi. Raman va giperspektral tasvirlar uzatishda tarmoqli kenglik tejalishi 38–56% diapazonda qayd etildi, bu diagnostik tasvirlarni telekonsultatsiya platformalarida real vaqtda ko'rish imkonini berdi. Kechikish bo'yicha ham sezilarli farqlar kuzatildi. Standart uzatishda o'rtacha 4,9 ms bo'lgan kechikish yangi protokol bilan 3,5 ms gacha kamaydi (28,6%). Bu, ayniqsa, yurak-qon tomir kasalliklari bilan bog'liq giperspektral signallarni monitoring qilishda klinik qarorlarni tezlashtirdi. Paket yo'qotilish darajasi 0,84% dan 0,19%

gacha kamaydi, bu esa LDPC xato tuzatish algoritmining samaradorligini tasdiqladi. Signal-to-shovqin nisbati EDFA qo'llanilgan holatda 28,7 dB darajasida saqlanib, diagnostik ma'lumot sifati yo'qolmaganini ko'rsatdi. Ma'lumot xavfsizligi ham alohida baholandi. AES-GCM 256-bitli shifrlash bilan uzatilgan ma'lumotlarda buzilish yoki ruxsatsiz kirish holatlari aniqlanmadi. Tizim HIPAA va mahalliy tibbiy axborot himoyasi talablariga mos kelishi qayd etildi. Telemeditsina platformalarida 42 ta masofaviy konsilium o'tkazilib, spektral diagnostika asosida davolash strategiyasi aniqlangan, ulardan 11 tasi gormon buzilishlari, 9 tasi diabetik nefropatiya, 7 tasi jigar yetishmovchiligi bilan bog'liq bo'lgan. O'tkazuvchanlik, kechikish va paket yo'qotilishi bo'yicha farqlar ANOVA testida $p < 0,05$ qiymati bilan ishonchli deb topildi. Klinik mutaxassislar so'rovnomasiga ko'ra, 87% shifokorlar spektral tasvirlarning uzatish tezligi va sifatining avvalgiga nisbatan yaxshilanganini tasdiqladi. Umuman olganda, taklif etilgan kodlash protokoli ichki kasalliklar diagnostikasida qo'llanadigan yuqori hajmli spektral ma'lumotlarni uzatish samaradorligini oshirdi, tarmoq yuklamasini kamaytirdi va real vaqt rejimida klinik qarorlarni qo'llab-quvvatladi. Optik aloqa tizimlarini spektral diagnostika uchun standartlash va yaqin yillarda teleendokrinologiya, kardiologiya hamda gastroenterologiya infratuzilmasiga integratsiyalash imkonini ko'rsatadi.

1-jadval.

Ko'rsatkich	Standart uzatish protokoli	Taklif etilgan kodlash protokoli
O'rtacha o'tkazuvchanlik (Gbit/s)	21,4	34,6
Kechikish (ms)	4,9	3,5
Paket yo'qotilishi (%)	0,84	0,19
Tarmoqli kenglik tealishi (%)	—	38–56
Signal-to-shovqin nisbati (dB)	27,9	28,7
Shifrlash darajasi	Standart TLS	AES-GCM 256-bit
Real vaqt uzatish muvaffaqiyati (%)	71	93

Xulosa. Ushbu tadqiqot ichki kasalliklarning spektral diagnostikasi uchun tibbiy ma'lumotlarni masofaviy uzatishda optik aloqa tizimlarining samaradorligini oshirishga qaratilgan bo'lib, yangi optik-kanal kodlash protokoli yuqori klinik va texnik natijalarni ko'rsatdi. Tadqiqot davomida Raman, infraqizil va giperspektral diagnostika ma'lumotlari katta hajmli, yuqori chastotali oqimga ega ekanligi, mavjud optik tarmoq infratuzilmasi esa ularni real vaqt rejimida uzatishda kechikish, paket yo'qotilishi va tarmoqli kenglik yetishmovchiligi bilan yuzlashishini tasdiqladi. Taklif

etilgan kodlash protokoli adaptiv modulyatsiya, ma'lumotlarni kontekstual siqish, LDPC xato tuzatish va AES-GCM shifrlash mexanizmlarini integratsiyalagan holda o'tkazuvchanlikni 60% gacha oshirdi, kechikishni kamaytirdi va diagnostik ma'lumotlarning yaxlitligi hamda maxfiyligini ta'minladi. Ishlab chiqilgan model nafaqat optik tarmoqlarni tibbiy diagnostika talablariga moslashtiradi, balki telemeditsina platformalari, markazlashgan tibbiy ma'lumotlar markazlari, sun'iy intellekt yordamida klinik qarorlarni qo'llab-quvvatlash tizimlari uchun ham texnologik asos yaratadi. Tibbiyot muassasalari o'rtasida tezkor axborot almashinuvining shakllanishi endokrin, yurak-qon tomir, metabolik, jigar va boshqa ichki kasalliklarni erta aniqlash va monitoring qilish imkoniyatini kengaytiradi. Optik tarmoqlarni spektral diagnostika uchun standartlash, milliy sog'liqni saqlash infratuzilmasiga joriy etish, qishloq hududlarda tibbiy xizmat tengligini ta'minlash bo'yicha qo'shimcha izlanishlar zarur. Taklif etilgan optik-kanal kodlash protokoli zamonaviy klinik diagnostikada samarali, xavfsiz va istiqbolli yechim sifatida baholanishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Agrawal, G. P. *Fiber-Optic Communication Systems*. 5th ed. Wiley, 2021.
2. Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. *Fundamentals of Photonics*. 3rd ed. Wiley, 2019.
3. Lu, G., & Fei, B. "Medical hyperspectral imaging: a review." *Journal of Biomedical Optics*, 19(1), 2014.
4. Vo-Dinh, T. (Ed.). *Biomedical Photonics Handbook*. CRC Press, 2020.
5. Koch, M. et al. "Infrared spectroscopy in clinical medicine." *Physics in Medicine & Biology*, 66(10), 2021.
6. Smith, R., & Dent, G. *Modern Raman Spectroscopy: A Practical Approach*. Wiley, 2019.
7. Gallager, R. "Low-density parity-check codes." *IRE Transactions on Information Theory*, 8(1), 1962.
8. ITU-T Recommendation G.694.1. "Spectral grids for WDM applications." International Telecommunication Union, 2020.
9. U.S. Department of Health and Human Services. *HIPAA Security Rule and Telehealth Guidance*, 2023.
10. World Health Organization. *Global Strategy on Digital Health 2020–2025*. WHO, 2021.
11. American Diabetes Association. "Standards of Medical Care in Diabetes." *Diabetes Care*, 47(S1), 2024.
12. Pan, C., He, Y., & Zheng, N. "Optical fiber networks for telemedicine applications." *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25(2), 2023.