OPTIK ABONENT KIRISH TARMOQLARINING EVOLYUTSIYASI: GPON TEXNOLOGIYASIDAN XGS-PON VA 50G-PON STANDARTLARIGA O'TISHNING TEXNIK-IQTISODIY VA ARXITEKTURA TAHLILI

Ismoilov Nizomjon A'zamjon o'g'li

Farg'ona davlat texnika universiteti

ismoilovnizomjon895@gmail.com

Xalilov Muhammadmuso Muhammadyunusovich

Ilmiy rahbar, FDTU, ATT fakulteti, Telekommunikatsiya muhandisligi kafedrasi katta o'qituvchisi

musohon078@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu tezisda zamonaviy keng polosali abonent kirish tarmoqlarining (Access Networks) asosini tashkil etuvchi passiv optik tarmoqlar (PON) evolyutsiyasi tadqiq etilgan. Mis kabel asosidagi xDSL texnologiyalarining cheklovlari va FTTx (Fiber to the x) arxitekturasining afzalliklari yoritilgan. Asosiy e'tibor keng tarqalgan GPON (ITU-T G.984) standartidan simmetrik 10 Gbit/s tezlikni ta'minlovchi XGS-PON (ITU-T G.9807.1) hamda yangi avlod 50G-PON (ITU-T G.9804) texnologiyalariga bosqichma-bosqich migratsiya qilish usullariga qaratilgan. To'lqin uzunliklari bo'yicha ko'paytirish (WDM) asosida bitta optik tolada bir nechta PON avlodlarining birgalikda ishlashi (Coexistence) va optik byudjet hisob-kitoblari tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: Abonent kirish tarmoqlari, FTTx, GPON, XGS-PON, 50G-PON, OLT, ONT, optik splitter, WDM, optik quvvat byudjeti.

Kirish

Abonent kirish tarmog'i ("so'nggi mil" – Last Mile) telekommunikatsiya infratuzilmasining eng katta kapital xarajat talab qiluvchi va foydalanuvchi bilan bevosita bog'lanuvchi qismidir. Yuqori aniqlikdagi striming, bulutli xizmatlar, aqlli uy (IoT)

ekotizimlari hamda 5G bazaviy stansiyalarini transport tarmog‘iga ulash (5G Fronthaul/Backhaul) ehtiyojlari abonent liniyalarining o‘tkazuvchanlik qobiliyatiga bo‘lgan talabni keskin oshirdi. An’anaviy mis juftliklari (ADSL/VDSL2) elektromagnit xalaqitlarga moyilligi va masofa ortishi bilan signalning keskin so‘nishi tufayli bu talablarga javob bera olmay qoldi. Shu sababli, FTTH (Fiber to the Home) konsepsiyasi doirasida PON (Passive Optical Network) texnologiyasi global standartga aylandi.

PON tarmog‘i "nuqta-ko‘p nuqta" (Point-to-Multipoint – P2MP) topologiyasiga asoslangan bo‘lib, uning asosiy afzalligi stansiya va abonent oralig‘ida elektr ta’minotini talab qiluvchi faol qurilmalarning yo‘qligidir. Tarmoq uchta asosiy elementdan tashkil topadi: OLT (Optical Line Terminal): Operatorning markaziy tugunida o‘rnatiladigan faol qurilma. U magistral tarmoqdan kelayotgan trafikni optik signalga aylantirib, tarqatish tarmog‘iga uzatadi va barcha abonent terminallarining vaqtinchalik slotlarini boshqaradi. ODN (Optical Distribution Network): Passiv optik taqsimlash tarmog‘i. U bir modali optik tolalar (ITU-T G.652.D / G.657.A1), optik krosslar va passiv optik splitterlardan (ajratgichlardan) iborat. Splitter bitta kiruvchi optik signalni 1:32, 1:64 yoki 1:128 nisbatda abonentlar o‘rtasida taqsimlaydi. ONT / ONU (Optical Network Terminal / Unit): Abonent xonadonida yoki binosida o‘rnatiladigan qurilma bo‘lib, optik signalni elektr signaliga aylantiradi va Ethernet, Wi-Fi 6/7, VoIP interfeyslarini taqdim etadi. PON tarmoqlarida pastga yo‘nalgan oqim (Downstream: OLT → ONT) barcha abonentlarga keng eshittirish (Broadcast) rejimida uzatiladi va AES-128 algoritmi bilan shifrlanadi. Yuqoriga yo‘nalgan oqimda (Upstream: ONT → OLT) esa signallar to‘qnashuvining oldini olish uchun TDMA (Time Division Multiple Access) va DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) mexanizmlari qo‘llaniladi.

Tarmoq operatorlari uchun mavjud ODN kabel infratuzilmasini qaytadan yotqizmasdan, faqat OLT va ONT qurilmalarini yangilash orqali tezlikni oshirish iqtisodiy jihatdan eng maqbul yo‘ldir. Bu jarayon WDM (Wavelength Division

Multiplexing) — turli avlod texnologiyalariga alohida to‘lqin uzunliklarini ajratish orqali amalga oshiriladi.

Texnik parametr	**GPON (ITU-T G.984)**	**XGS-PON (ITU-T G.9807.1)**	**50G-PON (ITU-T G.9804)**
Downstream tezligi	2.488 Gbit/s	9.953 Gbit/s	49.766 Gbit/s
Upstream tezligi	1.244 Gbit/s	9.953 Gbit/s (Simmetrik)	12.44 / 24.88 / 49.76 Gbit/s
Downstream to‘lqin uzunligi	1490 nm	1577 nm	1342 nm
Upstream to‘lqin uzunligi	1310 nm	1270 nm	1286 nm (yoki 1300 nm)
Bo‘linish koeffitsiyenti (Split)	1:64 / 1:128	1:128 / 1:256	1:64 / 1:128
Maksimal masofa	20 km (mantiqiy 60 km)	20 km (mantiqiy 60 km)	20 km

Coexistence (Birgalikda ishlash) mexanizmi: Yuqoridagi jadvaldan ko‘rinib turibdiki, GPON (1490/1310 nm), XGS-PON (1577/1270 nm) va 50G-PON (1342/1286 nm) spektral diapazonlari bir-biri bilan kesishmaydi. Markaziy stansiyada CEx (Coexistence Element) nomli maxsus WDM-multipleksor o‘rnatish orqali bitta optik tolada bir vaqtning o‘zida ham eski GPON abonentlariga, ham yangi XGS-PON yoki 50G-PON abonentlariga xizmat ko‘rsatish mumkin. Bunda eski abonentlarning ONT

qurilmalarini almashtirish shart emas, faqat yuqori tezlikka ehtiyoji bor korporativ yoki VIP abonentlar yangi ONT ga o‘tkaziladi.

Abonent kirish tarmog‘ini loyihalashda optik quvvat byudjeti (Class B+: 28 dB; Class C+: 32 dB) qat’iy hisoblanishi lozim. Bunda tolalardagi so‘nish (≈ 0.35 dB/km 1310 nm da), splitterlardagi yo‘qotishlar (1:64 splitterda ≈ 20.5 dB) hamda payvandlash (splicing) va konnektorlardagi yo‘qotishlar yig‘indisi tanlangan sinf chegarasidan oshmasligi kerak. 50G-PON texnologiyasiga o‘tishda 50 Gbit/s tezlikdagi optik signallarda xromatik dispersiya (Chromatic Dispersion) va nochiziqli effektlar keskin kuchayadi. Shu sababli, 50G-PON tizimlarida an’anaviy NRZ (Non-Return-to-Zero) modulyatsiyasi o‘rniga raqamli signallarni qayta ishlash (DSP – Digital Signal Processing) va yuqori sezgirlikka ega APD (Avalanche Photodiode) fotodiodlaridan foydalanish talab etiladi.

Xulosa

Abonent kirish tarmoqlarining GPON dan XGS-PON va 50G-PON standartlariga evolyutsiyasi mavjud passiv optik infratuzilmadan maksimal darajada samarali foydalanish imkonini beradi. Spektral moslik (WDM Coexistence) tamoyili operatorlarga tarmoqni bosqichma-bosqich, abonentlar xizmatini uzmagan holda modernizatsiya qilish hamda kelajakda 5G/6G transport tarmoqlari va sanoat interneti (IIoT) uchun zarur bo‘lgan ultra-keng polosali ulanishni ta’minlash uchun mustahkam poydevor yaratadi.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. ITU-T Recommendation G.9807.1. 10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGS-PON). Geneva, 2020.
2. ITU-T Recommendation G.9804.1. Higher speed passive optical networks – Requirements. Geneva, 2021.
3. Lam C. F. Passive Optical Networks: Principles and Practice. Academic Press.
4. Hood D., Trojer E. Gigabit-capable Passive Optical Networks. WileyIEEE Press.