KATTA MASSHTABLI KORPORATIV VA OPERATOR TARMOQLARIDA MPLS TRAFFIC ENGINEERING VA SEGMENT ROUTING (SR-MPLS/SRV6) TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA MARSHRUTIZATSIYANI OPTIMALLASHTIRISH

Ismoilov Nizomjon A‘zamjon o‘g‘li
Farg‘ona davlat texnika universiteti
ismoilovnizomjon895@gmail.com
Maxmudov Isroilov A.
Ilmiy rahbar, FDTU, ATT fakulteti, Telekommunikatsiya muhandisligi kafedrasi katta o‘qituvchisi

Annotatsiya: Ushbu tezisda zamonaviy magistral va korporativ tarmoqlarda ma’lumotlar oqimini boshqarishning ilg‘or usullari — ko‘p protokolli belgilar bo‘yicha kommutatsiya (MPLS) hamda dasturiy boshqariluvchi tarmoqlarga moslashgan Segment Routing (SR) texnologiyalari tadqiq etilgan. An’anaviy IP-marshrutizatsiya protokollarining (OSPF, IS-IS) eng qisqa yo‘l (SPF) algoritmiga asoslanganligi sababli yuzaga keladigan tarmoq resurslarining notekis yuklanishi muammosi ko‘rib chiqilgan. MPLS-TE va SRv6 texnologiyalarining arxitektura farqlari, boshqaruv tekisligini (Control Plane) soddalashtirish hamda TI-LFA (Topology Independent Loop-Free Alternate) mexanizmi yordamida 50 millisekunddan kam vaqt ichida zaxira yo‘lga o‘tish (Fast Reroute) imkoniyatlari tahlil qilingan.
Kalit so‘zlar: Kommutatsiya, marshrutizatsiya, MPLS-TE, Segment Routing, SRv6, OSPF, IS-IS, BGP, Fast Reroute, trafik muhandisligi.

Kirish

Telekommunikatsiya tarmoqlarida trafik hajmining eksponensial o‘sishi kommutatsiya va marshrutizatsiya tizimlariga yuqori tezlik, ishonchlilik va moslashuvchanlik talablarini qo‘ymoqda. An’anaviy IP-tarmoqlarda har bir marshrutizator kelayotgan paketning IP-sarlavhasini tahlil qilib, marshrutizatsiya jadvali (RIB/FIB) asosida mustaqil qaror qabul qiladi. OSPF va IS-IS kabi ichki shlyuz protokollari (IGP) faqat metrika (masalan, kanal o‘tkazuvchanligi) bo‘yicha eng qisqa yo‘lni tanlaydi. Natijada, asosiy magistral kanallar 90–100% yuklama bilan ishlab tiqilinch hosil qilgan bir paytda, muqobil zaxira kanallar bo‘sh qoladi. Ushbu muammoni hal etish uchun tarmoq muhandisligida (Traffic Engineering) paketlarni belgilangan trayektoriya bo‘ylab yo‘naltirish imkonini beruvchi MPLS va uning zamonaviy evolyutsiyasi bo‘lgan Segment Routing texnologiyalaridan foydalanilmoqda.

MPLS (Multiprotocol Label Switching) tarmoqning 2-pog‘onasi (Data Link) tezligi va 3-pog‘onasi (Network) intellektini birlashtiruvchi texnologiyadir. MPLS tarmog‘iga kiruvchi chekka marshrutizator (LER – Label Edge Router) paketni tasniflaydi va unga 32-bitli qisqa belgi (Label) biriktiradi. Oraliq tugunlar (LSR – Label

Switch Router) esa murakkab IP-jadvallarni qidirib o‘tirmasdan, faqat belgini almashtirish (Label Swapping) orqali paketni tezkor kommutatsiya qiladi.

MPLS Traffic Engineering (MPLS-TE) qo‘shimcha imkoniyatlar beradi: CSPF (Constrained Shortest Path First): Marshrutni hisoblashda nafaqat kanal metrikasini, balki bo‘sh o‘tkazuvchanlik qobiliyati, kechikish va ma’muriy cheklovlarni ham hisobga oladi. RSVP-TE protokoli: Tarmoq bo‘ylab belgilangan tunnel (LSP – Label Switched Path) bo‘yicha resurslarni band qilish va belgilarni tarqatish uchun xizmat qiladi. Biroq, MPLS-TE ning jiddiy kamchiligi — tarmoq masshtabi kengaygan sari har bir tugunda minglab RSVP-TE holatlarini (state) saqlab turish zarurati va LDP (Label Distribution Protocol) kabi qo‘shimcha signalizatsiya protokollarining murakkabligidir.

Segment Routing (SR) — bu manba marshrutizatsiyasi (Source Routing) prinsipiga asoslangan zamonaviy arxitektura bo‘lib, u tarmoqning boshqaruv tekisligini tubdan soddalashtiradi. SR texnologiyasida tarmoq orqali o‘tish yo‘li ketma-ket segmentlar (SID – Segment Identifier) ro‘yxati ko‘rinishida bevosita paketning sarlavhasiga yoziladi. Natijada, tarmoq o‘zagidagi (Core) marshrutizatorlarda har bir oqim uchun alohida tunnel holatini saqlashga hojat qolmaydi. Segment Routing ikki xil ma’lumotlar tekisligida (Data Plane) amalga oshiriladi: SR-MPLS: Mavjud MPLS infratuzilmasidan foydalanadi, bunda segmentlar MPLS belgilari steki ko‘rinishida uzatiladi. LDP va RSVP-TE protokollari tarmoqdan chiqarib tashlanadi, segment ma’lumotlari esa bevosita OSPF yoki IS-IS kengaytmalari orqali tarqatiladi. SRv6 (Segment Routing over IPv6): MPLS belgilaridan butunlay voz kechib, 128-bitli IPv6 manzillaridan segment identifikatori sifatida foydalanadi. IPv6 sarlavhasiga SRH (Segment Routing Header) qo‘shiladi. SRv6 nafaqat tarmoq tugunlarini, balki bulutli serverlardagi virtual mashinalar va konteynerlarni ham yagona IPv6 manzillash makonida birlashtiradi.

Xususiyatlar	An’anaviy MPLS-TE	Segment Routing (SR-MPLS / SRv6)
Signalizatsiya protokollari	IGP + LDP + RSVP-TE	Faqat IGP (OSPF/IS-IS) yoki BGP
Tarmoq yadrosidagi holat (State)	Har bir LSP uchun saqlanadi ($O(N^2)$)	Mavjud emas (Stateless Core)
Masshtablanuvchanlik	Cheklangan (signalizatsiya yuklamasi yuqori)	O‘ta yuqori (SDN kontrollerlar bilan mos)
Himoya mexanizmi (FRR)	Link/Node protection (murakkab sozlash)	TI-LFA (100% topologiyani qamrab oladi)

Magistral tarmoqlarda kanal yoki tugun ishdan chiqqanda trafik yo‘qolishini oldini olish uchun TI-LFA (Topology Independent LoopFree Alternate) texnologiyasi qo‘llaniladi. An’anaviy LFA mexanizmi barcha tarmoq topologiyalarida zaxira yo‘lni kafolatlay olmas edi. TILFA esa Segment Routing imkoniyatlaridan foydalanib, tarmoqning istalgan nuqtasida uzilish yuz berganda, paketni qisqa segmentlar ro‘yxati orqali halqa (routing loop) hosil qilmasdan zaxira yo‘lga yo‘naltiradi. Ushbu jarayon apparat darajasida 50 millisekunddan kam vaqt ichida bajariladi, bu esa ovozli va video aloqa sessiyalarining uzilmasligini ta’minlaydi.

Xulosa

Kommutatsiya va marshrutizatsiya tizimlarining evolyutsiyasi tarmoq boshqaruvini soddalashtirish va dasturlash (programmability) darajasini oshirishga qaratilgan. Segment Routing (xususan SRv6) texnologiyasining joriy etilishi tarmoq operatorlariga RSVP-TE va LDP kabi murakkab protokollardan voz kechish, SDN (Software-Defined Networking) kontrollerlari orqali trafik oqimlarini markazlashgan holda optimallashtirish hamda TI-LFA yordamida maksimal ishonchlilikka erishish imkonini beradi.

Adabiyotlar ro‘yxati:

1. Filsfils C. et al. Segment Routing Architecture. IETF RFC 8402, 2018.
2. Doyle J., Carroll J. Routing TCP/IP, Volume 1 & 2. Cisco Press.
3. Gredler H., Goralski W. The Complete IS-IS Routing Protocol. Springer.
4. RFC 8986. Segment Routing over IPv6 (SRv6) Network Programming. IETF, 2021.