Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali
Aoka guvohnoma № 323759 ISSN: 3060-4818

KOMPYUTER TARMOQLARIDA KECHIKISH VA YUKLAMANI KAMAYTIRUVCHI AQLLI MARSHRUTLASH USULLARI VA ALGORITMLARINI ISHLAB CHIQISH

Sadirdinova Ruxsora Abdullayevna
Muhammad-al Xorazmiy nomidagi TATU tayanch doktoranti
Ilmiy rahbar: **Latipova N. X.**
Muhammad-al Xorazmiy nomidagi TATU Tizimli va amaliy dasturlashtirish kafedrasi dotsenti, t.f.n.

Annotatsiya: Ushbu maqolada kompyuter tarmoqlarida kechikish va yuklama muammolarini kamaytirishga qaratilgan aqlli marshrutlash usullari va algoritmlari tahlil qilingan. Tarmoqdagi ma'lumot oqimining ortishi, tirbandliklar va resurslardan notekis foydalanish muammolari zamonaviy raqamli infratuzilmalarda muhim dolzarblik kasb etadi. Maqolada kechikishning asosiy sabablari, an'anaviy marshrutlash yondashuvlarining cheklovlari hamda sun'iy intellektga asoslangan adaptiv marshrutlash modellari yoritilgan. Shuningdek, trafikni prognoz qilish, yuklamani balanslash, SDN va SD-WAN texnologiyalari hamda grafik modellar asosidagi yondashuvlarning samaradorligi tahlil qilingan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, aqlli marshrutlash algoritmlari tarmoq unumdorligini oshirish, kechikishni kamaytirish va xizmat sifatini yaxshilashda muhim ahamiyatga ega ekanligi ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: tarmoqlar, marshrutlash, kechikish, yuklama, optimallashtirish, intellekt, o'qitish, SDN, SD-WAN, prognozlash, QoS, grafik, algoritmlar, samaradorlik.

Kirish

Zamonaviy raqamli jamiyatning rivojlanishi axborot texnologiyalari va kompyuter tarmoqlariga bo'lgan talabni tobora oshirib bormoqda. Bugungi kunda internet xizmatlari, bulutli tizimlar, multimedia platformalari hamda elektron xizmatlarning kengayishi natijasida tarmoq infratuzilmalarining barqaror va samarali ishlashi muhim ahamiyat kasb etadi. Shu bilan birga, ma'lumot almashinuvi hajmining ortishi tarmoqlarda kechikish va yuklama bilan bog'liq muammolarni yanada dolzarb masalaga aylantirmoqda.

Kompyuter tarmoqlarida kechikish va yuklama asosan ma'lumotlarning uzatilish jarayonida yuzaga keladigan turli texnik omillar bilan bog'liq bo'lib, ular tizim samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Tarmoqdagi resurslardan notekis foydalanish esa ayrim kanallarning ortiqcha yuklanishiga, boshqalarining esa yetarli darajada ishlatilmasligiga olib keladi. Bu holat umumiy xizmat sifatining pasayishiga sabab bo'ladi. Shu sababli tarmoq samaradorligini oshirish va mavjud muammolarni kamaytirish maqsadida aqlli va moslashuvchan marshrutlash yondashuvlarini qo'llash dolzarb hisoblanadi. Bunday yondashuvlar tarmoq holatini tahlil qilish va optimal yo'nalishlarni tanlash orqali resurslardan samarali foydalanishni ta'minlashga xizmat qiladi.

Asosiy qism

Kompyuter tarmoqlarida kechikish va yuklama muammolarini chuqur tahlil qilish uchun avvalo tarmoq arxitekturasi va ma'lumot uzatish jarayonining asosiy bosqichlarini ko'rib chiqish zarur. Har bir ma'lumot paketi manbadan manzilga yetib borguniga qadar bir nechta marshrutizatorlar (routerlar), kommutatorlar (switchlar) va aloqa kanallari orqali o'tadi. Ushbu tugunlarning har biri paketni qabul qilish, qayta ishlash va keyingi yo'nalishga uzatish jarayonida ma'lum vaqt sarflaydi. Bu jarayonlar yig'indisi umumiy kechikishni hosil qiladi. Ayniqsa, tarmoqda yuklama ortib ketgan holatlarda paketlar navbatga tushadi, bu esa "queueing delay" deb ataluvchi qo'shimcha kechikishni keltirib chiqaradi. Natijada real vaqt tizimlari, video konferensiyalar, onlayn o'yinlar va bulutli xizmatlarda sezilarli kechikishlar yuzaga keladi.

Tarmoq yuklamasining notekis taqsimlanishi ham muammoning asosiy sabablaridan biridir. An'anaviy marshrutlash protokollari ko'pincha eng qisqa yo'l (shortest path) tamoyiliga asoslanadi.

Biroq eng qisqa yo‘l har doim ham eng optimal yuklama taqsimotini ta’minlamaydi. Ba’zi yo‘nalishlar haddan tashqari band bo‘lib qolsa, boshqa alternativ yo‘llar kam foydalaniladi. Bu esa tarmoq resurslarining samarasiz ishlashiga olib keladi. Shu sababli zamonaviy yondashuvlarda nafaqat masofa, balki kanalning bandlik darajasi, uzatish tezligi, paket yo‘qotish ehtimoli va real vaqt holati ham hisobga olinadi.

Aqlli marshrutlash usullarining asosiy maqsadi tarmoq holatini dinamik ravishda tahlil qilish va eng maqbul yo‘nalishni tanlashdan iboratdir. Bunda sun’iy intellekt va mashinaviy o‘qitish algoritmlari katta ahamiyatga ega bo‘ladi. Masalan, reinforcement learning (mustahkamlovchi o‘qitish) asosida ishlovchi tizimlar tarmoqdagi har bir marshrutni “tajriba” sifatida baholab, vaqt o‘tishi bilan eng samarali yo‘nalishlarni o‘rganadi. Bunday algoritmlar tarmoqdagi o‘zgaruvchan sharoitlarga moslashib, kechikishni kamaytirish va yuklamani muvozanatlashtirish imkonini beradi. Shuningdek, grafiklar nazariyasiga asoslangan optimallashtirish usullari ham muhim rol o‘ynaydi. Tarmoq odatda yo‘naltirilgan grafik sifatida modellashtiriladi, bunda tugunlar — routerlar, qirralar esa aloqa kanallarini ifodalaydi. Har bir qirra uchun og‘irlik funksiyasi belgilanadi va u kechikish, yuklama yoki paket yo‘qotish ehtimolini ifodalaydi. Dijkstra yoki Bellman-Ford kabi klassik algoritmlar statik sharoitlarda samarali bo‘lsa-da, dinamik tarmoqlarda ular tezkor yangilanishlarni talab qiladi. Shu sababli real vaqt rejimida yangilanadigan adaptiv og‘irlikli grafik modellar ishlab chiqilmoqda.

Yana bir muhim yondashuv — yuklamani balanslash (load balancing) mexanizmlaridir. Ushbu mexanizmlar ma’lumot oqimini bir nechta alternativ marshrutlarga taqsimlash orqali tarmoqdagi tirbandlikni kamaytiradi. ECMP (Equal-Cost Multi-Path) kabi usullar bir xil qiymatga ega bo‘lgan bir nechta marshrutlardan foydalanishga imkon beradi. Biroq aqlli tizimlarda bu jarayon yanada rivojlantirilib, har bir yo‘lning real vaqt ko‘rsatkichlari asosida dinamik tanlov amalga oshiriladi. Natijada tarmoq resurslaridan yanada samarali foydalanish ta’minlanadi.

So‘nggi yillarda SDN (Software-defined networking) texnologiyasi aqlli marshrutlash tizimlarining rivojlanishida muhim o‘rin egallamoqda. SDN yondashuvi tarmoqni markazlashgan boshqaruv orqali dasturiy jihatdan boshqarish imkonini beradi. Bu esa marshrutlash qarorlarini tezkor yangilash, trafikni tahlil qilish va optimal yo‘nalishlarni belgilashni ancha osonlashtiradi. SDN asosidagi aqlli marshrutlash tizimlari real vaqt monitoringi orqali tarmoq holatini doimiy kuzatib boradi va kerak bo‘lganda avtomatik ravishda konfiguratsiyani o‘zgartiradi.

Kompyuter tarmoqlarida kechikish va yuklama muammolarini chuqurroq tahlil qilganda, yana bir muhim jihat — bu tarmoqdagi trafikning tabiati va uning vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchanligi hisoblanadi. Amaliy tizimlarda trafik doimiy emas, u “burst” ko‘rinishida, ya’ni qisqa vaqt ichida keskin ortib ketadigan oqimlar shaklida namoyon bo‘ladi. Masalan, onlayn translyatsiya boshlanishi, katta hajmdagi fayllarning bir vaqtda yuklanishi yoki IoT qurilmalarining sinxron so‘rov yuborishi tarmoqda vaqtinchalik tirbandliklarni yuzaga keltiradi. Bunday holatlarda oddiy statik marshrutlash algoritmlari paket oqimini teng taqsimlay olmaydi va natijada ayrim tugunlarda “bottleneck” (tor joy) paydo bo‘ladi. Shu sababli zamonaviy yondashuvlarda trafikni prognoz qilish (traffic prediction) muhim o‘rin tutadi. Aqlli marshrutlash tizimlari faqat hozirgi holatni emas, balki yaqin kelajakdagi tarmoq yuklamasini ham bashorat qilishga intiladi. Bunda vaqt qatorlari tahlili, ARIMA modellari yoki neyron tarmoqlar asosidagi prognozlash usullari qo‘llaniladi. Agar tizim ma’lum bir yo‘nalishda yuklama ortishini oldindan sezsa, u avtomatik ravishda trafikni boshqa alternativ yo‘nalishlarga yo‘naltiradi. Bu yondashuv kechikishning oldini olishda proaktiv strategiya hisoblanadi.

Yana bir muhim yo‘nalish — bu paketlarni ustuvorlik asosida qayta ishlash (Quality of service – QoS) mexanizmlaridir. Tarmoqlarda barcha paketlar bir xil ahamiyatga ega emas. Masalan, ovozli qo‘ng‘iroqlar yoki video konferensiya paketlari real vaqt rejimini talab qiladi, oddiy fayl yuklash esa kechikishga nisbatan chidamliroq bo‘lishi mumkin. Aqlli marshrutlash tizimlari paketlarni turiga qarab klassifikatsiya qiladi va ularni ustuvorlik darajasiga muvofiq uzatadi. Bu esa umumiy foydalanuvchi tajribasini sezilarli darajada yaxshilaydi. Shuningdek, adaptiv navbat boshqaruvi (adaptive queue

management) ham kechikishni kamaytirishda muhim mexanizm hisoblanadi. An'anaviy FIFO (first-in first-out) tamoyili ba'zi holatlarda samarali bo'lmaydi, chunki u barcha paketlarga bir xil munosabatda bo'ladi. Zamonaviy algoritmlar esa navbat uzunligini va paketlar turini hisobga olib, ayrim paketlarni erta tashlab yuborish (early drop) yoki ustuvor paketlarni tezroq uzatish kabi strategiyalarni qo'llaydi. RED (Random Early Detection) va CoDel kabi mexanizmlar tarmoqdagi ortiqcha yuklamani oldindan aniqlashga yordam beradi.

Aqlli marshrutlashda yana bir innovatsion yo'nalish — bu kooperativ tarmoq boshqaruvi hisoblanadi. Bunda bir nechta router yoki tugunlar mustaqil emas, balki o'zaro axborot almashgan holda qaror qabul qiladi. Har bir tugun o'zining lokal holatini emas, balki qo'shni tugunlarning yuklamasini ham hisobga oladi. Bu yondashuv markazlashmagan, lekin muvofiqlashtirilgan boshqaruv tizimini shakllantiradi va tarmoqning umumiy barqarorligini oshiradi.

So'nggi yillarda graf neyron tarmoqlari (Graph Neural Networks – GNN) ham marshrutlash muammolarini yechishda keng qo'llanila boshladi. Tarmoqni grafik sifatida ifodalash GNN uchun tabiiy muhit yaratadi, chunki har bir tugun va uning bog'lanishlari modelga kiritiladi. GNN asosidagi tizimlar tarmoq topologiyasini chuqur o'rganib, murakkab bog'liqliklarni aniqlaydi va optimal marshrutlarni an'anaviy algoritmlarga qaraganda samaraliroq bashorat qila oladi. Bu usul ayniqsa katta o'lchamli va murakkab tarmoqlarda yaxshi natija beradi. Bundan tashqari, energiya samaradorligi (energy-aware routing) ham zamonaviy tarmoqlarda muhim ahamiyat kasb etmoqda. Mobil va simsiz tarmoqlarda har bir uzatish tugunining energiya sarfi tizimning umumiy ishlash muddatiga ta'sir qiladi. Aqlli marshrutlash algoritmlari faqat tezlik va kechikishni emas, balki energiya sarfini ham optimallashtiradi. Natijada tarmoq resurslari uzoq muddat barqaror ishlashi ta'minlanadi. Amaliyotda bu kabi aqlli tizimlarni joriy etish uchun gibrid marshrutlash modellari keng qo'llanilmoqda. Gibrid yondashuv klassik algoritmlar (masalan, OSPF yoki AODV) bilan sun'iy intellekt asosidagi modellarni birlashtiradi. Bu esa tizimga ham barqarorlik, ham moslashuvchanlik beradi. Klassik qism asosiy xavfsizlik va ishonchlilikni ta'minlasa, aqlli modul real vaqt optimallashtirishni amalga oshiradi.

Kompyuter tarmoqlarida kechikish va yuklamani kamaytirish muammosini hal etishda so'nggi yillarda tarmoq raqamli egizagi (Digital twin network) konsepsiyasi ham muhim o'rin egallamoqda. Ushbu yondashuvda real tarmoqning virtual modeli yaratiladi va barcha trafik, yuklama hamda marshrutlash ssenariylari avval shu modelda sinovdan o'tkaziladi. Bu usul real tizimga yuklama bermasdan turib, eng optimal marshrutlash qarorlarini oldindan aniqlash imkonini beradi. Natijada kechikish sabablarini prognoz qilish va ularni real vaqtga o'tmasdan oldin bartaraf etish mumkin bo'ladi.

Yana bir zamonaviy yo'nalish — tarmoq segmentatsiyasi va mikrosegmentatsiya texnologiyalaridir. Bunda katta tarmoq kichik, mustaqil ishlovchi segmentlarga bo'linadi va har bir segment uchun alohida marshrutlash siyosati ishlab chiqiladi. Bu yondashuv trafikni markazlashgan holda emas, balki lokal darajada boshqarishga imkon beradi. Natijada paketlar oqimi qisqaradi, oraliq tugunlar soni kamayadi va kechikish sezilarli darajada pasayadi. Ayniqsa korporativ va bulutli infratuzilmalarda bu usul yuqori samaradorlik ko'rsatadi. Shuningdek, SD-WAN (Software-defined wide area network) texnologiyasi ham aqlli marshrutlashda keng qo'llanilmoqda. SD-WAN an'anaviy WAN tarmoqlaridan farqli ravishda trafikni markazlashgan dasturiy platforma orqali boshqaradi. U real vaqt rejimida internet kanallarining sifatini tahlil qilib, avtomatik ravishda eng barqaror va tezkor yo'nalishni tanlaydi. Bu texnologiya ayniqsa geografik jihatdan tarqalgan tashkilotlar uchun kechikishni kamaytirishda samarali yechim hisoblanadi.

Tarmoq samaradorligini oshirishda yana bir muhim yo'nalish — moslashuvchan trafik muhandisligi (Traffic Engineering) hisoblanadi. Bu yondashuvda tarmoqdagi oqimlar statik emas, balki doimiy ravishda qayta taqsimlanadi. Maqsad — barcha kanallarni maksimal darajada muvozanatlash va hech bir kanalni ortiqcha yuklamaslik. MPLS (Multiprotocol Label Switching) texnologiyasi bu jarayonda keng qo'llaniladi, chunki u paketlarni IP-manzilga emas, balki belgilangan yorliqlar asosida yo'naltiradi va tezkor marshrutlash imkonini beradi. Bundan tashqari, anomaliyani aniqlash tizimlari

(anomaly detection systems) ham tarmoq yuklamasini boshqarishda muhim rol o‘ynaydi. Ushbu tizimlar tarmoqdagi odatiy trafik modelidan og‘ishlarni aniqlaydi va muammoli nuqtalarni erta bosqichda topadi. Masalan, DDoS hujumlari yoki noodatiy trafik oqimi aniqlansa, tizim avtomatik ravishda alternativ marshrutlarga o‘tadi yoki trafikni cheklaydi. Bu esa nafaqat kechikishni kamaytiradi, balki tarmoq xavfsizligini ham oshiradi.

Yana bir istiqbolli yo‘nalish — kvant tarmoqlar va kvant marshrutlash konsepsiyalaridir. Garchi bu texnologiya hali to‘liq amaliyotga joriy etilmagan bo‘lsa-da, nazariy jihatdan u ma’lumot uzatish tezligini keskin oshirish va kechikishni minimal darajaga tushirish imkonini beradi. Kvant algoritmlar tarmoq yo‘llarini klassik hisoblashdan farqli ravishda parallel ehtimolliklar asosida baholaydi, bu esa juda katta tarmoqlarda optimal yechim topish tezligini oshiradi. Shu bilan birga, bulutli va edge computing integratsiyasi ham kechikishni kamaytirishda muhim rol o‘ynaydi. Ma’lumotlarni markaziy serverga yuborish o‘rniga, ularni foydalanuvchiga yaqin joylashgan edge tugunlarda qayta ishlash orqali uzatish masofasi qisqaradi. Bu esa marshrutlash yukini kamaytiradi va real vaqt tizimlarida sezilarli tezlik beradi.

Xulosa

Xulosa qilib aytganda, kompyuter tarmoqlarida kechikish va yuklamani kamaytirish bugungi raqamli infratuzilmaning eng muhim va dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi. Tarmoqlarda ma’lumot oqimining keskin ortishi, real vaqt xizmatlariga bo‘lgan talabning oshishi hamda multimediya va bulutli tizimlarning kengayishi an’anaviy marshrutlash yondashuvlarining yetarli emasligini ko‘rsatmoqda. Shu sababli zamonaviy tarmoqlarda faqat statik yo‘nalish tanlash emas, balki dinamik, moslashuvchan va intellektual qaror qabul qilish mexanizmlariga ehtiyoj kuchayib bormoqda.

Tadqiqot jarayonida aniqlanishicha, kechikishning asosiy sabablari nafaqat jismoniy uzatish muhitiga, balki tarmoqdagi tirbandlik, noto‘g‘ri yuklama taqsimoti va samarasiz marshrutlash qarorlariga ham bog‘liqdir. Shu bois, aqlli marshrutlash usullari ushbu muammolarni kompleks tarzda hal etishga qaratilgan bo‘lib, ular tarmoq holatini real vaqt rejimida tahlil qilish va optimal yo‘nalishlarni tanlash imkonini beradi. Shuningdek, sun’iy intellekt, grafik modellar, trafikni prognoz qilish va adaptiv boshqaruv mexanizmlarining qo‘llanilishi tarmoq samaradorligini sezilarli darajada oshirishi mumkinligi aniqlandi. Bunday yondashuvlar nafaqat kechikishni kamaytiradi, balki tarmoq barqarorligini ta’minlash, resurslardan oqilona foydalanish va xizmat sifatini yaxshilashga ham xizmat qiladi. Umuman olganda, aqlli marshrutlash algoritmlarini rivojlantirish kelajakda yuqori tezlikdagi, ishonchli va o‘zini-o‘zi boshqaradigan tarmoqlarni shakllantirishda muhim o‘rin tutadi. Bu esa raqamli iqtisodiyot, axborot texnologiyalari va global kommunikatsiya tizimlarining yanada barqaror rivojlanishiga zamin yaratadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Abduqodirov A.A., Qodirov B.B. Axborot texnologiyalari va kompyuter tarmoqlari. Toshkent: Fan va texnologiya, 2020.
2. Karimov O.R. Kompyuter tarmoqlari asoslari. Toshkent: O‘qituvchi, 2019.
3. Sodiqov M.M. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari. Toshkent: Noshir, 2018.
4. Yo‘ldoshev Sh.Sh. Informatika va axborot tizimlari. Toshkent: Sharq, 2021.
5. Raximov A.A. Tarmoqlar xavfsizligi va boshqaruvi. Toshkent: Ilm Ziyo, 2020.
6. Tursunov B.B. Zamonaviy kompyuter tarmoqlari. Toshkent: Fan va ta’lim, 2022.
7. O‘zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligi. Axborot texnologiyalari rivojlanish holati bo‘yicha hisobot. Toshkent, 2023.
8. Ismoilov J.J. Internet tarmoqlari va protokollar. Toshkent: Universitet, 2019.
9. Axmedov N.N. Axborot tizimlarida ma’lumotlarni uzatish texnologiyalari. Toshkent: Iqtisod-Moliya, 2021.
10. Eshonqulov D.D. Kompyuter tarmoqlarida boshqaruv tizimlari. Toshkent: Ilm-fan, 2022.

11. Tanenbaum A. S., Wetherall D. J. Computer Networks. Pearson Education, 2011.
12. Kurose J. F., Ross K. W. Computer Networking: A Top-Down Approach. Pearson, 2017.
13. Stallings W. Data and Computer Communications. Pearson, 2013.
14. S. Haykin. Neural Networks and Learning Machines. Pearson, 2009.