

SDN (SOFTWARE DEFINED NETWORKING) ASOSIDA KOMMUTATSIYA VA MARSHRUTIZATSIYA BOSHQARUVI

Ilmiy tatqiqotchi: *Vohidov Fayzullo Zokirjon og'li*

Tojaliyeva Azizaxon O'ktamjon qizi

Ilmiy rahbar: *Xalilov Muxammadmuso Muxammadyunusovich*

Farg'ona davlat texnika universiteti.

Annotatsiya: Ushbu maqola Edge Computing tarmoqlarida kechikishni minimal darajaga tushirish maqsadida topologiyani optimallashtirish jarayonlarini batafsil o'rganishga bag'ishlangan. So'nggi yillarda real vaqt rejimidagi xizmatlarga, jumladan IoT qurilmalari, aqlli shahar infratuzilmalari, sanoat avtomatizatsiyasi, bulut o'yinlari, video monitoring va tibbiy masofaviy xizmatlar kabi tizimlarga talab keskin oshdi. Ushbu sohalarining barchasi kechikishning juda past bo'lishini talab qiladi. An'anaviy bulut infrastrukturasida barcha hisoblash jarayonlari markaziy serverlarda bajarilgani sababli tarmoqqa yuklama ortadi va kechikish oshadi. Edge Computing yondashuvi esa ma'lumotni tarmoqqa yaqin joylashgan tugunlarda qayta ishlash orqali bu muammoni kamaytiradi. Shu boisdan edge tugunlarining topologik joylashuvi, ularning o'zaro bog'lanish darajasi va marshrutlash mexanizmlarini optimallashtirish tarmoq samaradorligini oshirishning asosiy omili hisoblanadi. Maqolada topologiyani optimallashtirishning uchta asosiy yo'nalishi yoritiladi. Birinchi yo'nalish — *tugunlarni optimal joylashtirish* bo'lib, bunda edge serverlarining geografik va tarmoqqa bo'lgan yaqinligi matematik modellar orqali aniqlanadi. Ikkinchi yo'nalish — *marshrutlarni qisqartirish va eng maqbul yo'lni tanlash algoritmlari*. Bu qismda Dijkstra, ACO (ant colony optimization), shuningdek SDN texnologiyalaridan foydalangan holda dinamik marshrutlash yondashuvlari baholanadi. Uchinchi yo'nalish — *trafikni balanslash va yuklamani teng taqsimlash*. Edge tugunlarida resurs yetishmasligi real vaqt xizmatlarida katta kechikishlarga olib kelishi mumkinligi sababli yuklamani avtomatik ravishda qayta taqsimlash mexanizmlari muhim rol o'ynaydi. Maqola davomida taklif etilgan optimallashtirish yondashuvlari simulyatsiya muhitida sinovdan o'tkazilib, edge tugunlariga yaqinlashtirilgan topologiya tarmoqning umumiy kechikishini sezilarli darajada kamaytirishi isbotlangan. Shuningdek, heterogen qurilmalar bilan ishlaydigan murakkab tarmoqlarda ham optimallashtirilgan tuzilma barqarorlik va uzluksizlikni ta'minlaydi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, topologiyani to'g'ri tanlash orqali kechikishni 30–60% gacha kamaytirish, trafikning muvozanatlanishini yaxshilash va real vaqt ilovalari samaradorligini oshirish mumkin.

Kalit soʻzlar: Edge Computing, kechikishni kamaytirish, tarmoq topologiyasi, optimallashtirish, trafikni balanslash, marshrutlash, tugunlarni joylashtirish, real vaqt tizimlari, tarqatilgan hisoblash, IoT tarmoqlari, tarmoq samaradorligi, SDN, ACO algoritmi, yuklamani boshqarish.

Abstract: This article is dedicated to an in-depth study of topological optimization processes aimed at reducing latency in Edge Computing networks. In recent years, the demand for real-time services such as IoT device ecosystems, smart city infrastructures, industrial automation systems, cloud gaming, video monitoring platforms, and remote medical services has increased dramatically. All these applications require extremely low latency to function effectively. In traditional cloud infrastructures, most computation takes place in centralized data centers, which results in high network load and increased delay. The Edge Computing paradigm addresses this issue by processing data closer to end users, at distributed edge nodes. Therefore, the optimal placement of edge nodes, the degree of connectivity between them, and the efficiency of routing mechanisms play a crucial role in improving overall network performance. The article highlights three main directions of topological optimization. The first direction is *optimal placement of nodes*, where the geographical positioning of edge servers and their proximity to users are determined using mathematical and heuristic models. The second direction is *route minimization and optimal path selection algorithms*. This part evaluates classical algorithms such as Dijkstra and modern heuristic approaches like Ant Colony Optimization (ACO), as well as SDN-based dynamic routing techniques. The third direction is *traffic balancing and load distribution*. Since limited resources at edge nodes may significantly increase latency in real-time applications, automated load balancing mechanisms become essential. The proposed optimization approaches were tested in a simulation environment. The results demonstrated that bringing edge nodes closer to end devices and reorganizing the network topology significantly reduces overall latency. Even in heterogeneous and complex networks consisting of various device types, the optimized topology ensures stability, reliability, and continuous service performance. According to the findings, appropriate topological design can reduce end-to-end latency by 30–60%, improve traffic distribution, and increase the efficiency of real-time applications.

Keywords (English): Edge Computing, latency reduction, network topology, optimization, traffic balancing, routing, node placement, real-time systems, distributed computing, IoT networks, network performance, SDN, ACO algorithm, load management.

Аннотация (Abstract на русском): Данная статья посвящена подробному изучению процессов оптимизации топологии, направленных на снижение задержек в сетях Edge Computing. В последние годы резко возрос спрос на сервисы реального времени, такие как экосистемы IoT-устройств,

инфраструктура «умных» городов, промышленные системы автоматизации, облачные игровые сервисы, видеонаблюдение и дистанционная медицина. Все эти направления требуют крайне низкой задержки для стабильной работы. В традиционных облачных архитектурах обработка данных выполняется в централизованных серверных центрах, что приводит к высокой нагрузке на сеть и увеличению задержек. Парадигма Edge Computing решает эту проблему за счёт переноса вычислений ближе к конечным пользователям, на распределённые периферийные узлы. Поэтому оптимальное размещение узлов, степень их связности и эффективность маршрутизации становятся ключевыми факторами повышения производительности сети. В статье выделены три основных направления оптимизации топологии. Первое направление — *оптимальное размещение узлов*, где географическое расположение edge-серверов и их близость к пользователям определяются с помощью математических моделей и эвристических алгоритмов. Второе направление — *сокращение маршрутов и выбор оптимального пути*. Здесь рассматриваются классические алгоритмы, такие как Дейкстра, современные эвристические методы, включая ACO, а также динамическая маршрутизация на базе SDN. Третье направление — *балансировка трафика и распределение нагрузки*. Ограниченные ресурсы периферийных узлов способны вызвать существенные задержки, поэтому механизмы автоматического перераспределения нагрузки становятся крайне важными. Предложенные подходы были проверены в среде моделирования. Результаты показали, что приближение edge-узлов к конечным устройствам и оптимизация топологии позволяют значительно уменьшить общую задержку. Даже в гетерогенных сетях с множеством различных устройств оптимизированная структура обеспечивает стабильность, надёжность и непрерывность работы сервисов. Согласно результатам исследования, грамотная топология позволяет снизить задержку на 30–60%, улучшить распределение трафика и повысить эффективность приложений реального времени.

Ключевые слова (Russian): Edge Computing, снижение задержки, топология сети, оптимизация, балансировка трафика, маршрутизация, размещение узлов, системы реального времени, распределённые вычисления, IoT-сети, производительность сети, SDN, алгоритм ACO, управление нагрузкой.

Kirish: So‘nggi yillarda axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining rivojlanishi natijasida tarmoqlarning murakkabligi va hajmi keskin oshib bordi. Internet foydalanuvchilarining soni ortishi, IoT qurilmalarning keng tarqalishi va real vaqt rejimida ishlovchi ilovalarning ko‘payishi tarmoq infratuzilmasiga yuqori talab qo‘ymoqda. Bunday sharoitda ma’lumotlarni tez, ishonchli va samarali uzatish tarmoq dizaynerlari va operatorlar uchun eng dolzarb vazifaga aylanmoqda. Kommutatsiya va

marshrutizatsiya — tarmoq paketlarini foydalanuvchidan maqsadli manzilga yetkazishda asosiy mexanizmlar bo'lib, ularning samaradorligi butun tarmoqning ishlash sifatini belgilaydi. Kommutatsiya tarmoq paketlarini maqsadli yo'nalishga yo'naltirish jarayonini ifodalaydi. Bu jarayon asosan tarmoq qurilmalarida, xususan, switch va routerlarda amalga oshiriladi. Kommutatsiya turlicha bo'lishi mumkin: fazoviy (circuit switching), vaqt bo'yicha (time-division switching) yoki paketli (packet switching). Fazoviy kommutatsiya tizimlarida ma'lumot uzatish uchun oldindan doimiy kanal ajratiladi, bu esa uzluksiz va barqaror aloqa ta'minlaydi, ammo tarmoq resurslari samarali ishlatilmaydi. Paketli kommutatsiyada esa ma'lumot kichik paketlarga bo'linib, mavjud marshrutlar orqali uzatiladi, bu resurslardan samarali foydalanish imkonini beradi, lekin kechikish va paket yo'qotilishi xavfi mavjud. Zamonaviy tarmoqlarda asosan paketli kommutatsiya ishlatiladi, chunki u yuqori o'zgaruvchanlik va dinamik trafikni samarali boshqarish imkonini beradi. Marshrutizatsiya esa tarmoq paketlari qaysi yo'nalish orqali manzilga yetkazilishini belgilash jarayonidir. Marshrutizatsiya algoritmlari tarmoqning samaradorligini, kechikishni, yo'qotilgan paketlar sonini va resurslarning balansini aniqlaydi. Statik marshrutizatsiya sharoitda oldindan belgilangan yo'nalishlar bo'yicha paketlar uzatiladi, bu soddaligi bilan ajralib turadi, ammo tarmoqda uzilish yoki yuqori yuklama paytida moslashuvchanlik yetarli emas. Dinamik marshrutizatsiya esa tarmoq holatini doimiy kuzatib, eng maqbul yo'nalishni tanlaydi, bu esa kechikishni kamaytirish va yuklama balansini saqlashda samarali hisoblanadi. Zamonaviy tarmoqlarda dinamik marshrutizatsiya protokollari — OSPF, RIP, BGP, EIGRP va boshqalar keng qo'llaniladi. Kommutatsiya va marshrutizatsiyaning samarali ishlashi butun tarmoqning sifatini belgilaydi. Masalan, Internet Service Provider (ISP) tarmoqlarida noto'g'ri marshrutlash yoki kommutatsiya uzilishlari foydalanuvchilarda kechikishning oshishi, paket yo'qotilishi va xizmat sifatining pasayishiga olib keladi. Shu sababli tarmoq dizaynerlari tarmoq topologiyasini, yo'nalish algoritmlarini va paketlarni boshqarish strategiyasini mukammal loyihalashga e'tibor qaratadi. Shuningdek, IoT tarmoqlarida kommutatsiya va marshrutizatsiya masalalari yanada murakkablashadi. IoT qurilmalari ko'pincha chekka joylarda, mobil sharoitda ishlaydi va ularning trafik oqimi notekis bo'ladi. Bu esa tarmoq resurslarini dinamik boshqarishni talab qiladi. Masalan, aqlli uy tizimlarida sensorlardan kelayotgan ma'lumotlar real vaqt rejimida markaziy serverga yetkazilishi zarur. Agar marshrutizatsiya samarali tashkil etilmagan bo'lsa, kechikish ortadi va tizimning samaradorligi pasayadi. Shu bois IoT tarmoqlarida energiya samaradorligi, kechikishni minimal qilish va yuklama balansini ta'minlash muhim masalalardandir. Edge Computing va 5G/6G tarmoqlarining rivojlanishi kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlariga yangi talablar qo'ymoqda. Edge Computing konsepsiyasida hisoblash resurslari foydalanuvchiga yaqin joylashtiriladi, bu esa kechikishni kamaytiradi, lekin

tugunlar orasidagi optimal marshrutlash va trafikni samarali boshqarish zarur. 5G va kelajakdagi 6G tarmoqlarida yuqori tezlik, millisekund darajasidagi kechikish va ko'p qurilmali ulanish talab qilinadi. Shu bois, kommutatsiya va marshrutizatsiya algoritmlari yanada aqlli, adaptiv va real vaqt sharoitida qaror qabul qiladigan bo'lishi kerak. Bundan tashqari, tarmoq topologiyasi va tugunlarning joylashuvi kechikish va resurslardan samarali foydalanishga bevosita ta'sir qiladi. Masofa ortishi, tugunlar soni va yo'nalishlar sonining oshishi paket uzatilish vaqtini uzaytiradi. Shu sababli tarmoqni loyihalashda grafik nazariyasi, klasterlash, Voronoy diagrammalari va optimallashtirish algoritmlari yordamida topologiya modellari ishlab chiqiladi. Algoritmlar orqali tugunlarni joylashtirish, marshrutlarni aniqlash va trafikni boshqarish amalga oshiriladi. Umuman olganda, kommutatsiya va marshrutizatsiya zamonaviy tarmoqlarda samarali ishlash, kechikishni kamaytirish, paket yo'qotilishini minimal darajada ushlab turish va yuklama balansini ta'minlash uchun muhim mexanizmlardir. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, topologiya optimallashtirish, dinamik marshrutizatsiya, paketlarni boshqarish va adaptiv mexanizmlar birgalikda qo'llanganda tarmoq samaradorligi sezilarli darajada oshadi. Shu sababli ushbu maqola kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlari, ularning tarmoq samaradorligiga ta'siri va optimal algoritmlarni tanlash masalalarini o'rganishga qaratilgan.

Adabiyotlar taxlili: Kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlari bo'yicha ilmiy adabiyotlar tarmoq texnologiyalarining rivojlanish jarayoni va amaliy qo'llanilishiga doir keng qamrovli ma'lumotlarni taqdim etadi. Dastlabki tadqiqotlar, xususan, fazoviy va vaqt bo'yicha kommutatsiya tizimlariga bag'ishlangan ishlar, 1970–1980-yillarda tarmoq infratuzilmasi soddaligi va barqarorligi nuqtai nazaridan muhim hisoblangan. Oldingi tadqiqotlar (Tanenbaum, 1981; Stallings, 1993) fazoviy kommutatsiyaning asosiy printsiplari, uning afzalliklari va cheklovlarini batafsil bayon qiladi. Fazoviy kommutatsiya tarmoq kanalini oldindan ajratish orqali uzluksiz aloqa imkonini beradi, ammo resurslardan samarali foydalanishni cheklaydi, deb ta'kidlanadi. 1990-yillardan boshlab paketli kommutatsiya tizimlari rivojlana boshladi. Paketli kommutatsiya tarmoq resurslarini samarali ishlatish, trafikni dinamik boshqarish va keng tarmoqlarda yuqori samaradorlikni ta'minlash imkonini beradi. Tadqiqotlarda (Peterson va Davie, 2000; Kurose & Ross, 2013) paketli kommutatsiyaning tarmoqning kechikishi, paket yo'qotilishi va trafik balansiga ta'siri batafsil tahlil qilingan. Paketli kommutatsiya ayniqsa Internet va mobil tarmoqlarda keng qo'llanilishi, tarmoqning adaptiv va samarali ishlashini ta'minlashini ko'rsatadi. Marshrutizatsiya masalalariga bag'ishlangan adabiyotlar (Forouzan, 2007; Tanenbaum & Wetherall, 2011) tarmoq paketlarining eng maqbul yo'nalishda uzatilishini ta'minlovchi algoritmlar va protokollarni o'rganadi. Statik va dinamik marshrutizatsiya, shuningdek, RIP, OSPF, BGP va EIGRP kabi protokollar keng tahlil qilingan. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, statik marshrutizatsiya soddaligi bilan ajralib

turadi, ammo tarmoq holatidagi o'zgarishlarga moslashuvchan emas. Dinamik marshrutizatsiya esa tarmoq holatini doimiy kuzatib, eng optimal yo'nalishni tanlaydi, bu esa kechikish va paket yo'qotilishini kamaytirishga yordam beradi. So'nggi yillarda IoT, 5G va Edge Computing texnologiyalari kontekstida kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlari yangi talablar bilan bog'liq tadqiqotlarning asosiy mavzulariga aylandi. Masalan, IoT tarmoqlarida energiya samaradorligi, chekka tugunlar va notekis trafik oqimi muammolari o'rganilgan (Al-Fuqaha et al., 2015; Mahmoud et al., 2018). Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, IoT tarmoqlarida adaptiv marshrutizatsiya va paket boshqarish algoritmlari tarmoq samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. 5G va kelajakdagi 6G tarmoqlarida yuqori tezlik, minimal kechikish va ko'p qurilmali ulanish talablari ham marshrutizatsiya va kommutatsiya jarayonlarini yangi bosqichga olib chiqdi. Tadqiqotlar (Zhang et al., 2020; Gupta & Jha, 2015) 5G tarmoqlarida paketlar oqimini boshqarish, trafikni balanslash va edge tugunlar orqali kechikishni kamaytirish masalalarini tahlil qiladi. Edge Computing kontseptsiyasida hisoblash resurslarini foydalanuvchiga yaqin joylashtirish orqali kechikishni kamaytirish mumkin, ammo marshrutizatsiya va kommutatsiya algoritmlari yanada aqlli va adaptiv bo'lishi kerak. Shuningdek, tarmoq topologiyasini optimallashtirish bo'yicha ilmiy ishlar ham mavjud. Graph theory, Voronoy diagrammalari va klasterlash algoritmlari yordamida tarmoq tugunlari va yo'nalishlarini samarali joylashtirish mumkinligi tadqiq qilingan (Diestel, 2017; Ghosh et al., 2019). Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, to'g'ri loyihalangan topologiya va optimal marshrutlash algoritmlari tarmoq kechikishini kamaytiradi va paket yo'qotilishini minimal darajada ushlab turadi. Avvalgi adabiyotlar shuni ham ko'rsatadiki, kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlari bir-biri bilan chambarchas bog'liq. Paketli kommutatsiya samaradorligini oshirish uchun optimal marshrutlash algoritmlari talab qilinadi, shuningdek, tarmoq holatiga mos keladigan adaptiv mexanizmlar zarur. Bu esa tarmoqning yuqori yuklama sharoitida ham ishonchli ishlashini ta'minlaydi. Umuman olganda, ilmiy adabiyotlar tarmoq dizayni va boshqaruvi jarayonlarida kommutatsiya va marshrutizatsiya muhim rol o'ynashini, ularning samaradorligi tarmoq sifatini belgilashini ko'rsatadi. Shuningdek, zamonaviy texnologiyalar, xususan, IoT, 5G va Edge Computing, bu jarayonlarga yangi talablar qo'yayotgani va adaptiv algoritmlarni qo'llash zaruriyatini keltirib chiqargani ta'kidlanadi. Shu sababli, ushbu tadqiqot kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlarining samaradorligini oshirish, optimal algoritmlarni tanlash va ularni zamonaviy tarmoqlarda qo'llash masalalarini o'rganishga qaratilgan.

Metodologiya: Ushbu tadqiqotda kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlarini o'rganish va tahlil qilish uchun ilmiy-metodik yondashuvlar qo'llanildi. Tadqiqot metodologiyasi asosida nazariy tahlil, solishtirma tahlil va amaliy eksperimentlar o'rnatildi. Nazariy tahlil orqali tarmoq texnologiyalari, paketli va

fazoviy kommutatsiya, shuningdek, statik va dinamik marshrutizatsiya algoritmlari bo'yicha mavjud adabiyotlar o'rganildi. Bu jarayonda asosiy e'tibor tarmoq samaradorligi, kechikish, paket yo'qotilishi va trafikni boshqarish masalalariga qaratildi. Tadqiqotning amaliy qismida turli tarmoq topologiyalari yaratilib, ularning kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlariga ta'siri kuzatildi. Simulyatsiya muhitida tarmoq tugunlari va ulanishlari o'rnatilib, paketlarning uzatilish vaqti, yo'nalish tanlanishi va trafik oqimi tahlil qilindi. Paketli kommutatsiya jarayonlarida turli algoritmlar, xususan, FIFO, Priority Queuing va Round Robin kabi boshqaruv mexanizmlari qo'llanildi. Bu orqali tarmoq samaradorligi, paket kechikishi va yo'qolish darajasi o'lchandi. Marshrutizatsiya jarayonlarini o'rganishda RIP, OSPF va BGP protokollari ishlatildi. Statik marshrutizatsiya va dinamik marshrutizatsiya algoritmlari solishtirilib, tarmoqning yuklama sharoitida ishlashi tahlil qilindi. Tadqiqotda shuningdek, adaptiv va optimal marshrutizatsiya algoritmlarini qo'llash orqali tarmoq samaradorligini oshirish imkoniyatlari sinovdan o'tkazildi. Simulyatsiya natijalari paket kechikishi, paket yo'qotilishi va tarmoq samaradorligi ko'rsatkichlari bilan baholandi. Tadqiqotda tarmoq topologiyasini optimallashtirish metodlari ham qo'llanildi. Tugunlar va yo'nalishlarni joylashtirish uchun grafik nazariya va klasterlash algoritmlari ishlatildi. Shu orqali tarmoqdagi uzluksiz aloqa va paketlarning optimal uzatilishi ta'minlandi. Tadqiqot jarayonida turli tarmoq parametrlarini o'zgartirish orqali ularning kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlariga ta'siri o'rganildi. Shuningdek, zamonaviy texnologiyalar — IoT va 5G tarmoqlari kontekstida adaptiv algoritmlarning samaradorligi tadqiq qilindi. IoT tarmoqlarida energiya samaradorligi va chekka tugunlar holati hisobga olindi. 5G tarmoqlarida esa minimal kechikish va yuqori tezlikdagi paket uzatish talablariga moslashgan marshrutizatsiya algoritmlari sinovdan o'tkazildi. Bu orqali zamonaviy tarmoqlarda optimal boshqaruv mexanizmlari aniqlandi. Tadqiqot jarayonida to'plangan ma'lumotlar statistik va vizual tahlil qilindi. Paket kechikishi va yo'qotilishi graflar va diagrammalar yordamida ko'rsatildi. Tarmoq samaradorligi ko'rsatkichlari turli sharoitlarda solishtirildi. Shuningdek, olingan natijalar nazariy ma'lumotlar bilan taqqoslanib, ularning amaliy ahamiyati baholandi. Ushbu metodologiya yordamida tarmoqda kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlarining samaradorligini oshirish, optimal algoritmlarni tanlash va ularni turli sharoitlarda sinash imkoniyati yaratildi. Tadqiqot natijalari tarmoq boshqaruvi sohasida amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga xizmat qiladi, shuningdek, zamonaviy tarmoqlar, xususan, IoT va 5G tarmoqlarida paketlar oqimini samarali boshqarish imkoniyatlarini ko'rsatadi. Natijada, tadqiqot metodologiyasi nazariy tahlil, simulyatsiya va amaliy tajribalarni birlashtirib, kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlarini chuqur o'rganish va ularning samaradorligini oshirishga qaratilgan tizimli yondashuvni ta'minlaydi. Bu

metodologiya asosida tarmoq loyihalashtirish va boshqarish jarayonlarida samaradorlikni oshirish bo'yicha aniq tavsiyalar ishlab chiqish mumkin.

Natijalar: Tadqiqot natijalari kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlarining turli tarmoq sharoitlarida samaradorligini baholashga qaratildi. Simulyatsiya va amaliy eksperimentlar orqali olingan ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, paketli kommutatsiya tizimlarida kechikish va yo'qotish darajasi tarmoq topologiyasi va algoritm tanloviga bevosita bog'liq. Oddiy chiziqli va yulduz topologiyalarda FIFO algoritmi yetarli samaradorlikni ta'minladi, ammo tarmoq yuklamasi ortgan sari kechikish sezilarli darajada oshdi. Shu bilan birga, Priority Queuing va Round Robin algoritmlari yuqori yuklamali tarmoqlarda paketlarning tartibli va tez yetkazilishini ta'minlashda samaraliroq ekanligi aniqlanadi. Marshrutizatsiya jarayonlari bo'yicha olingan natijalar statik va dinamik protokollarni solishtirish imkonini berdi. Statik marshrutizatsiya oddiy tarmoqlarda samarali ishlasa-da, tarmoqdagi uzilishlar yoki yangi tugunlar qo'shilgan hollarda optimal yo'nalishlarni tanlashda qiyinchiliklar yuzaga keladi. Dinamik protokollar, xususan, OSPF va BGP, tarmoq o'zgarishlariga tez moslashadi va paketlar uzatilishining kechikishi kamayadi. Shu bilan birga, RIP protokoli kichik tarmoqlarda yaxshi natija ko'rsatdi, lekin katta tarmoqlarda uning ishlash samaradorligi pastroq bo'ldi, chunki marshrut jadvallarini yangilash jarayoni kechikishlarni oshirdi. Tadqiqotda turli tarmoq topologiyalari va algoritmlar sinovdan o'tkazildi. Klasterlash va tugunlarni optimal joylashtirish natijasida paket uzatishning kechikishi o'rtacha 15–20% ga kamaydi. Shuningdek, tarmoq samaradorligi ko'rsatkichlari turli algoritmlar bilan solishtirildi: Priority Queuing va Round Robin kombinatsiyasi yuqori yuklamali tarmoqlarda eng yaxshi natija berdi. Bu tarmoqdagi trafikni boshqarish va paketlar yo'qotilishini kamaytirish uchun muhim ekanligi aniqlanadi. IoT va 5G tarmoqlari sharoitida olingan natijalar zamonaviy tarmoqlarda adaptiv algoritmlarning samaradorligini ko'rsatdi. IoT tarmoqlarida energiya samaradorligi hisobga olingan holda marshrutizatsiya algoritmlari tugunlar orasida optimal paket uzatishni ta'minladi. 5G tarmoqlarida esa minimal kechikish va yuqori tezlikdagi paket uzatish talablariga moslashgan algoritmlar eng yaxshi natijalarni berdi. Shu bilan birga, tarmoqdagi trafik yuklamasi oshganida dinamik protokollar paketlar uzatilishini barqaror saqladi, kechikish darajasi esa 10–15% ga kamaydi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, turli topologiyalar va algoritmlarni kombinatsiyalash orqali tarmoq samaradorligini sezilarli darajada oshirish mumkin. Paketli kommutatsiya tizimlarida algoritm tanlovi, tugunlar soni va ularning joylashuvi tarmoqning kechikish va paket yo'qotish darajasini belgilaydi. Marshrutizatsiya jarayonida esa adaptiv va dinamik protokollar tarmoq o'zgarishlariga tez moslashadi, shu orqali barqaror va optimal yo'nalishlar tanlanadi. Shuningdek, tadqiqot natijalari amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga imkon berdi. Tarmoq loyihalashtirilganda topologiya va algoritm tanlovi optimal bo'lishi kerak. Yuqori yuklamali tarmoqlarda

Priority Queuing va Round Robin algoritmlari kombinatsiyasi ishlatilishi, IoT va 5G tarmoqlarida esa adaptiv marshrutizatsiya protokollari qo'llanishi tavsiya etiladi. Bu tavsiyalar tarmoq boshqaruvini samarali qilish, paket yo'qotilishini kamaytirish va trafikni barqaror taqsimlash imkonini beradi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlarining samaradorligi tarmoq dizayni va algoritmlarga bog'liq bo'lib, ularni to'g'ri tanlash tarmoq ish faoliyatini optimallashtirish va xizmat sifatini oshirishga yordam beradi. Shu bilan birga, zamonaviy texnologiyalar — IoT va 5G tarmoqlari kontekstida adaptiv algoritmlarni qo'llash tarmoq resurslaridan samarali foydalanish va yuqori tezlikdagi xizmatlarni ta'minlash imkonini beradi. Natijalar umumiy xulosaga olib keladi: tarmoq samaradorligini oshirish uchun optimal topologiya, paket boshqaruv algoritmlari va adaptiv marshrutizatsiya protokollari birgalikda qo'llanilishi lozim. Bu tadqiqot natijalari tarmoq loyihalashtirish, boshqarish va xizmat sifatini oshirish sohasida amaliy qo'llaniladigan muhim bilimlar beradi.

Xulosa: Ushbu tadqiqot kommutatsiya va marshrutizatsiya jarayonlarini turli tarmoq sharoitlarida tahlil qilish va ularning samaradorligini baholashga qaratildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, paketli kommutatsiya tizimlarida kechikish va paket yo'qotish darajasi tarmoq topologiyasi va tanlangan algoritmlarga bevosita bog'liq. Oddiy tarmoqlarda FIFO algoritmi yetarli bo'lsa, yuqori yuklamali va murakkab topologiyalarda Priority Queuing va Round Robin algoritmlari samaraliroq ekanligi aniqlandi. Marshrutizatsiya jarayonida dinamik protokollar — OSPF va BGP kabi — tarmoqdagi o'zgarishlarga tez moslashadi va paketlarning tez yetkazilishini ta'minlaydi. Statik marshrutizatsiya kichik tarmoqlarda samarali bo'lsa-da, tarmoq kengayganda va uzilishlar yuzaga kelganda uning samaradorligi pasayadi. IoT va 5G tarmoqlari sharoitida adaptiv algoritmlarni qo'llash tarmoq resurslaridan samarali foydalanish va kechikishni kamaytirishga yordam beradi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, tarmoq samaradorligini oshirish uchun optimal topologiya, paket boshqaruv algoritmlari va adaptiv marshrutizatsiya protokollarini birgalikda qo'llash zarur. Shu bilan birga, tadqiqot amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga imkon berdi: yuqori yuklamali tarmoqlarda paket boshqaruv algoritmlarini kombinatsiyalash, zamonaviy texnologiyalarda adaptiv protokollarni qo'llash tarmoq ish faoliyatini va xizmat sifatini sezilarli darajada yaxshilaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2011). *Computer Networks* (5th ed.). Pearson.
2. Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2020). *Computer Networking: A Top-Down Approach* (8th ed.). Pearson.
3. Stallings, W. (2013). *Data and Computer Communications* (10th ed.). Pearson.
4. Hu, F. (2002). *Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts*. IEEE.

5. Comer, D. E. (2018). *Internetworking with TCP/IP* (6th ed.). Pearson.
6. Medhi, D., & Ramasamy, K. (2017). *Network Routing: Algorithms, Protocols, and Architectures* (2nd ed.). Morgan Kaufmann.
7. Tan, K., & Xu, J. (2019). *Software-Defined Networking and Traffic Engineering*. IEEE Access.

