IQRO JURNALI , IQRO JOURNAL, ИКРО ЖУРНАЛИ
ISSN:2181-4341| wordlyknowledge.uz/index.php/iqro
Volume 22 Issue 01 IYUN 2026

FOG COMPUTING YORDAMIDA REAL VAQTLI TARMOQDA KECHIKISHLARNI KAMAYTIRISH TEXNOLOGIYALARINI TADQIQ QILISH

Axmedov Farxodjon Jumaboyevich
Vatan universiteti Raqamli texnologiyalar fakulteti, Telekommunikatsiya injiniringi mutaxasisligi magistranti
Ilmiy rahbar: **Tajiyev J.A.**
DSc, O‘z RHX va M universiteti AKT va HA instituti Uchuvchisiz uchish apparati va ularga qarshi kurash sikli boshlig‘i

Annotatsiya: Mazkur maqolada real vaqtli tarmoqlarda kechikishlarni kamaytirishda Fog Computing texnologiyasining o‘rni va ahamiyati tadqiq etilgan. Tarmoq infratuzilmalarida ma’lumotlar hajmining ortishi, IoT qurilmalarining keng tarqalishi hamda past kechikish talab qiluvchi xizmatlarning rivojlanishi sharoitida an’anaviy bulutli hisoblash tizimlarining imkoniyatlari tahlil qilingan. Fog Computing arxitekturasining ishlash tamoyillari, uning bulutli hisoblash tizimlaridan farqli jihatlari, ma’lumotlarni foydalanuvchiga yaqin joylarda qayta ishlash mexanizmlari hamda tarmoq samaradorligiga ta’siri yoritilgan. Shuningdek, resurslarni dinamik taqsimlash, trafikni boshqarish, keshlash texnologiyalari, SDN va NFV yechimlari, mikroxizmatlar arxitekturasi hamda sun’iy intellekt asosidagi boshqaruv usullarining kechikishlarni kamaytirishdagi roli tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar: Fog Computing, kechikish, bulut, Edge, IoT, SDN, NFV, trafik, resurslar, mikroxizmatlar, konteynerlashtirish, keshlash, intellekt, QoS, 5G, 6G, optimallashtirish, samaradorlik.

KIRISH

Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida zamonaviy jamiyatda ma’lumotlarni uzatish, saqlash va qayta ishlash hajmi yildan-yilga ortib bormoqda. Raqamli texnologiyalarning turli sohalarga keng joriy etilishi tarmoq infratuzilmalariga bo‘lgan talabning oshishiga sabab bo‘lmoqda. Bugungi kunda turli qurilmalar, axborot tizimlari va xizmatlar o‘zaro bog‘langan holda faoliyat yuritib, katta hajmdagi ma’lumotlarni uzluksiz almashmoqda. Bunday sharoitda tarmoqning samaradorligi, ma’lumotlarni qayta ishlash tezligi va xizmat ko‘rsatish sifati muhim omillardan biri hisoblanadi.

Zamonaviy tarmoqlarda ma’lumotlar oqimining ortishi bilan bir qatorda, real vaqt rejimida ishlovchi ilovalarga bo‘lgan ehtiyoj ham kuchayib bormoqda. Ayniqsa, sanoat boshqaruvi, transport tizimlari, sog‘liqni saqlash, masofaviy monitoring va boshqa ko‘plab sohalarda ma’lumotlarni tezkor qayta ishlash talab etiladi. Bunday tizimlarda yuzaga keladigan kechikishlar xizmatlarning samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shu sababli tarmoq kechikishlarini kamaytirish va ma’lumotlarni qayta ishlash jarayonlarini optimallashtirish zamonaviy tadqiqotlarning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

An’anaviy bulutli hisoblash texnologiyalari katta hajmdagi ma’lumotlarni saqlash va qayta ishlash imkoniyatini yaratgan bo‘lsa-da, ayrim hollarda ma’lumotlarning uzoq masofalarga uzatilishi qo‘shimcha vaqt sarflanishiga olib keladi. Bu esa real vaqt talab qiluvchi ilovalarda muayyan muammolarni yuzaga keltiradi. Mazkur muammolarni bartaraf etish maqsadida ma’lumotlarni foydalanuvchiga yaqin joylarda qayta ishlashga asoslangan yangi yondashuvlar ishlab chiqilmoqda. Shunday texnologiyalardan biri Fog Computing bo‘lib, u hisoblash resurslarini tarmoqning chekka qismlariga yaqinlashtirish orqali ma’lumotlarni tezkor qayta ishlash imkoniyatini yaratadi.

Fog Computing texnologiyasi tarmoq yuklanishini kamaytirish, ma’lumotlarni uzatish vaqtini qisqartirish, xizmat ko‘rsatish sifatini oshirish hamda real vaqtli ilovalarning samarali ishlashini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu texnologiyaning rivojlanishi zamonaviy tarmoq infratuzilmalarining samaradorligini oshirish va yangi avlod axborot tizimlarini yaratishda muhim omillardan biri sifatida qaralmoqda.

ASOSIY QISM

Fog Computing texnologiyasi zamonaviy tarmoq infratuzilmalarida yuzaga kelayotgan muammolarni bartaraf etishning samarali vositalaridan biri sifatida e’tirof etilmoqda. Raqamli iqtisodiyotning rivojlanishi, IoT qurilmalarining son jihatdan ortishi hamda real vaqt rejimida ishlovchi xizmatlarning keng tarqalishi natijasida tarmoqlarda kechikish, paketlarning yo‘qolishi va ma’lumotlarni qayta ishlashdagi samaradorlik masalalari dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. An’anaviy bulutli hisoblash arxitekturasida barcha ma’lumotlar uzoq masofadagi ma’lumotlar markazlariga uzatiladi va qayta ishlanadi. Bunday yondashuv katta hajmdagi hisoblash resurslarini taqdim etsa-da, ma’lumotlarning uzatish jarayonida qo‘shimcha vaqt sarflanishiga olib keladi. Natijada real vaqtli ilovalar uchun muhim hisoblangan javob qaytarish tezligi pasayadi. Fog Computing esa hisoblash resurslarini foydalanuvchiga yaqin joylashtirish orqali ushbu muammoni sezilarli darajada kamaytiradi.

Fog Computing arxitekturasi odatda uchta asosiy qatlamdan tashkil topadi: oxirgi qurilmalar qatlami, fog qatlami va bulut qatlami. Oxirgi qurilmalar qatlami sensorlar, aqlli qurilmalar, mobil terminallar va sanoat uskunalaridan iborat bo‘lib, ular ma’lumotlarni hosil qiladi. Fog qatlami esa marshrutizatorlar, shlyuzlar, mikroserverlar va lokal hisoblash tugunlaridan tashkil topgan bo‘lib, ma’lumotlarni dastlabki qayta ishlash, filtrlash va tahlil qilish vazifalarini bajaradi. Bulut qatlami esa uzoq muddatli saqlash va murakkab hisoblash amallarini amalga oshiradi. Ushbu qatlamlar o‘rtasidagi vazifalarning oqilona taqsimlanishi tarmoq samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Ayniqsa, ma’lumotlarning katta qismi fog tugunlarida qayta ishlanishi natijasida markaziy serverlarga yuboriladigan trafik hajmi kamayadi va tarmoqning umumiy yuklanish darajasi pasayadi.

Real vaqtli tarmoqlarda kechikishlarni kamaytirishning asosiy mexanizmlaridan biri hisoblash vazifalarini optimal joylashtirish hisoblanadi. Fog Computing muhitida vazifalar tarmoq holati, tugunlarning yuklanish darajasi, hisoblash quvvati va foydalanuvchi joylashuviga qarab dinamik ravishda taqsimlanadi. Agar ma’lumotni qayta ishlash uchun katta hisoblash quvvati talab qilinmasa, u holda vazifa fog tugunida bajariladi. Murakkab hisoblash operatsiyalari esa bulutli markazlarga yo‘naltiriladi. Bunday yondashuv ma’lumotlarni qayta ishlash vaqtini qisqartirib, xizmatlarning tezkorligini oshiradi. Shu bilan birga, resurslardan samarali foydalanish imkonini ham yaratadi.

Tarmoq kechikishlarini kamaytirishda ma’lumotlarni lokal qayta ishlash texnologiyasi muhim o‘rin tutadi. IoT qurilmalaridan kelayotgan axborot oqimining katta qismi real vaqt rejimida qaror qabul qilish uchun zarur bo‘ladi. Masalan, aqlli transport tizimlarida yo‘l harakati haqidagi ma’lumotlarni markaziy serverga yuborib, keyin javob kutish transport xavfsizligi uchun salbiy oqibatlarga olib kelishi mumkin. Fog tugunlari ma’lumotlarni lokal darajada qayta ishlab, kerakli qarorlarni bir necha millisekund ichida shakllantirish imkonini beradi. Natijada tizimning javob qaytarish tezligi ortadi va xizmat sifati yaxshilanadi.

Fog Computing asosida trafikni boshqarish texnologiyalari ham kechikishlarni kamaytirishda muhim ahamiyatga ega. Zamonaviy tarmoqlarda trafik hajmi doimiy ravishda o‘zgarib turadi va ayrim davrlarda tarmoq segmentlarida yuklanish keskin ortishi mumkin. Fog tugunlari trafik oqimlarini kuzatib boradi, ma’lumotlarni ustuvorlik darajasiga ko‘ra saralaydi hamda resurslarni dinamik ravishda taqsimlaydi. Natijada muhim xizmatlarga ustuvor xizmat ko‘rsatish imkoniyati yaratiladi. Masalan, videokonferensiya, sanoat boshqaruvi yoki tibbiy monitoring kabi ilovalarga oddiy ma’lumot uzatish xizmatlariga nisbatan yuqoriroq ustuvorlik

berilishi mumkin. Bu esa kechikishlarni kamaytirish va xizmat ko‘rsatish sifatini yaxshilashga yordam beradi.

Dasturiy ta’minot orqali boshqariladigan tarmoqlar (Software defined networking – SDN) va tarmoq funksiyalarini virtualizatsiyalash (Network function virtualization – NFV) texnologiyalarining fog computing bilan integratsiyasi ham samaradorlikni oshiruvchi muhim omillardan biridir. SDN tarmoq boshqaruvini markazlashtirish imkonini berib, trafik oqimlarini real vaqt rejimida boshqarishga yordam beradi. NFV esa an’anaviy apparat qurilmalarida bajariladigan tarmoq funksiyalarini virtual muhitga ko‘chirish orqali resurslardan yanada samarali foydalanish imkoniyatini yaratadi. Ushbu texnologiyalar birgalikda qo‘llanilganda tarmoqning moslashuvchanligi ortadi, xizmatlarni joylashtirish jarayoni tezlashadi va kechikishlar sezilarli ravishda kamayadi.

5G va kelajakdagi 6G aloqa tarmoqlarining rivojlanishi fog computing texnologiyalarining ahamiyatini yanada kuchaytirmoqda. Yuqori tezlikdagi ma’lumot almashinuvi, millionlab qurilmalarning bir vaqtning o‘zida ulanishi va ultra past kechikish talablarining paydo bo‘lishi hisoblash resurslarini tarmoq chekkasiga yaqinlashtirish zaruratini tug‘dirmoqda. Fog tugunlari bazaviy stansiyalar va foydalanuvchi qurilmalari orasida joylashgan holda ma’lumotlarni tezkor qayta ishlash imkoniyatini yaratadi. Bu esa sanoat avtomatlashtirish tizimlari, masofaviy jarrohlik operatsiyalari, avtonom transport vositalari va virtual reallik ilovalarining samarali ishlashini ta’minlaydi.

Fog Computing texnologiyasining amaliy qo‘llanilish sohalari juda kengdir. Aqlli shaharlar konsepsiyasida transport oqimlarini boshqarish, energiya iste’molini monitoring qilish va xavfsizlik tizimlarini nazorat qilishda fog tugunlaridan foydalaniladi. Sanoat korxonalarida ishlab chiqarish uskunalarining holatini real vaqt rejimida kuzatish va nosozliklarni oldindan aniqlash imkoniyati yaratiladi. Tibbiyot sohasida esa bemorlarning hayotiy ko‘rsatkichlarini uzluksiz monitoring qilish hamda favqulodda holatlarda tezkor ogohlantirishlarni shakllantirish imkoniyati kengayadi. Ushbu imkoniyatlar real vaqtli xizmatlarning samaradorligini oshirib, tarmoq kechikishlarini minimal darajaga tushirishga xizmat qiladi.

Fog Computing muhitida xizmat ko‘rsatish sifatini (Quality of service – QoS) ta’minlash real vaqtli tarmoqlarning asosiy talablaridan biri hisoblanadi. Zamonaviy ilovalar turli xil xizmat ko‘rsatish parametrlariga ega bo‘lib, ulardan ayrimlari juda past kechikish vaqtini talab etsa, boshqalari yuqori o‘tkazuvchanlik yoki ishonchlilikni talab qiladi. Fog tugunlari xizmatlarning ustuvorlik darajasini aniqlash orqali tarmoq resurslarini mos ravishda taqsimlaydi. Bunda paketlarni rejalashtirish algoritmlari, navbatlarni boshqarish mexanizmlari va trafikni shakllantirish usullari qo‘llaniladi. Natijada xizmatlarning ishlash sifati yaxshilanib, tarmoqning ortiqcha yuklanishi oldi olinadi. Ayniqsa, kritik infratuzilmalar va sanoat tizimlarida QoS ko‘rsatkichlarining barqaror saqlanishi ishlab chiqarish jarayonlarining uzluksizligini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Fog Computing tizimlarida konteynerlashtirish va mikroxizmatlar arxitekturasi keng qo‘llanilmoqda. An’anaviy monolit dasturiy ta’minotlardan farqli ravishda mikroxizmatlar mustaqil modullar sifatida ishlaydi va tarmoqning turli fog tugunlarida joylashtirilishi mumkin. Bu esa tizimning moslashuvchanligini oshiradi hamda xizmatlarni foydalanuvchiga eng yaqin joyda ishga tushirish imkonini yaratadi. Konteyner texnologiyalari hisoblash resurslaridan samarali foydalanish, xizmatlarni tezkor migratsiya qilish va uzluksiz ishlashni ta’minlashga yordam beradi. Natijada xizmatlarni joylashtirish va ishga tushirish uchun sarflanadigan vaqt qisqaradi, bu esa umumiy kechikish ko‘rsatkichlarining pasayishiga olib keladi.

Tarmoqda kechikishlarni kamaytirishning yana bir muhim usuli ma’lumotlarni keshlash (caching) mexanizmlaridan foydalanishdir. Fog tugunlari tez-tez murojaat qilinadigan ma’lumotlarni lokal xotirada saqlab, ularni qayta-qayta markaziy serverlardan olish zaruratini bartaraf etadi. Bu ayniqsa video oqimlari, multimedia xizmatlari va kontent yetkazib berish

tarmoqlarida katta samara beradi. Foydalanuvchilarning so‘rovlariga eng yaqin fog tugunidan javob qaytarilishi natijasida xizmatlarning javob berish vaqti sezilarli darajada qisqaradi. Shu bilan birga, magistral tarmoqlardagi trafik hajmi ham kamayadi va umumiy tarmoq unumdorligi ortadi.

Sun’iy intellekt va mashinaviy o‘qitish algoritmlarining fog computing muhitiga integratsiyasi kechikishlarni boshqarishning yangi imkoniyatlarini yaratmoqda. Intellektual algoritmlar tarmoq holatini doimiy ravishda tahlil qiladi, trafik oqimlaridagi o‘zgarishlarni oldindan prognozlaydi va resurslarni optimal taqsimlash bo‘yicha qarorlar qabul qiladi. Masalan, neyron tarmoqlar asosidagi bashoratlash modellari tarmoqdagi yuklanishning ortishini oldindan aniqlab, hisoblash vazifalarini boshqa tugunlarga ko‘chirish imkonini beradi. Bu esa ortiqcha yuklanish tufayli yuzaga keladigan kechikishlarning oldini olishga xizmat qiladi. Bunday yondashuv o‘z-o‘zini boshqaruvchi va moslashuvchan tarmoq infratuzilmasini shakllantirish uchun muhim texnologik asos hisoblanadi.

Energiya samaradorligi ham fog computing tizimlarining muhim afzalliklaridan biridir. Markaziy ma’lumotlar markazlariga doimiy ravishda katta hajmdagi ma’lumotlarni uzatish sezilarli energiya sarfini talab qiladi. Fog tugunlarida ma’lumotlarni dastlabki qayta ishlash va saralash natijasida faqat muhim axborot bulutli markazlarga yuboriladi. Bu esa nafaqat tarmoq yuklanishini kamaytiradi, balki energiya sarfini ham optimallashtiradi. Ayniqsa, sensor tarmoqlari va uzoq hududlarda joylashgan IoT qurilmalarida energiya samaradorligi tizimning ishlash muddatini uzaytirishda muhim rol o‘ynaydi.

Fog Computing muhitida xavfsizlik va maxfiylik masalalari ham alohida e’tibor talab qiladi. Ma’lumotlarning foydalanuvchiga yaqin joylarda qayta ishlanishi xavfsizlikning yangi talablarini yuzaga keltiradi. Shu sababli fog tugunlarida autentifikatsiya, shifrlash, kirishni nazorat qilish va ishonchli identifikatsiya mexanizmlaridan foydalaniladi. Bundan tashqari, ma’lumotlarni lokal darajada qayta ishlash foydalanuvchi ma’lumotlarining markaziy serverlarga uzatilishini kamaytirib, maxfiylik darajasini oshiradi. Bu ayniqsa tibbiyot, moliya va davlat boshqaruvi kabi sohalarda muhim ahamiyatga ega.

Kelajakda fog computing texnologiyalarining rivojlanishi tarmoq arxitekturalarining yanada decentralizatsiyalashuviga olib kelishi kutilmoqda. 6G aloqa tizimlari, raqamli egizaklar (digital twin), kengaytirilgan reallik (AR), virtual reallik (VR) va sanoat interneti kabi yangi texnologiyalar ultra past kechikish talablarini qo‘ymoqda. Ushbu talablarni qondirish uchun fog computing tugunlarining soni va funksional imkoniyatlari yanada kengayadi. Natijada ma’lumotlarni qayta ishlash jarayoni foydalanuvchi qurilmalariga maksimal darajada yaqinlashtiriladi va real vaqtli xizmatlarning samaradorligi yangi bosqichga ko‘tariladi.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, zamonaviy axborot-kommunikatsiya tizimlarining rivojlanishi tarmoq infratuzilmalariga bo‘lgan talabni sezilarli darajada oshirmoqda. Ma’lumotlar hajmining ortishi hamda real vaqt rejimida ishlovchi xizmatlarning kengayishi tarmoq samaradorligi va tezkorligini ta’minlash masalasini dolzarb yo‘nalishga aylantirmoqda. Shu sharoitda an’anaviy yondashuvlar ayrim texnik cheklovlarga ega bo‘lib, ular real vaqt talab qilinadigan jarayonlarda to‘liq samaradorlikni ta’minlay olmaydi. Fog Computing texnologiyasi esa ma’lumotlarni qayta ishlash jarayonini markaziy tizimlardan chekka tarmoqlarga yaqinlashtirish orqali kechikishlarni kamaytirish va xizmat sifatini oshirish imkonini beradi. Ushbu yondashuv tarmoq resurslaridan yanada oqilona foydalanish, ma’lumotlar oqimini optimallashtirish hamda tizimlarning moslashuvchanligini oshirishga xizmat qiladi. Natijada real vaqtli ilovalar uchun zarur bo‘lgan tezkor javob qaytarish darajasi yaxshilanadi. Shuningdek, fog computing texnologiyasi zamonaviy tarmoq yechimlari, jumladan SDN, NFV, mikroxizmatlar va intellektual boshqaruv tizimlari bilan uyg‘unlashgan holda yanada samarali natijalarni taqdim etadi. Bu esa nafaqat kechikishlarni kamaytirish, balki umumiy tarmoq barqarorligi va xizmat ko‘rsatish sifatini

oshirishga ham yordam beradi. Umuman olganda, fog computing kelajakda raqamli infratuzilmalarning muhim tarkibiy qismi sifatida rivojlanib boradi va yuqori tezkorlik, ishonchlilik hamda samaradorlik talab qilinadigan tarmoqlarda asosiy yechimlardan biri bo‘lib qoladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Maraximov A.R., Tojimuhamedov J.X., Fayziyev T.M. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari. – Toshkent: Cho‘lpon, 2018. – 432 b.
2. Aripov M.M., Imomov M.E., Haydarov A.A. Informatika va axborot texnologiyalari. – Toshkent: Tafakkur-Bo‘stoni, 2019. – 456 b.
3. Aripov M.M. Hisoblash tizimlari va tarmoqlari. – Toshkent: O‘zbekiston Faylasuflari Milliy jamiyati nashriyoti, 2020. – 384 b.
4. Qodirov T., Xudoyberdiyev A. Kompyuter tarmoqlari va ularning administratsiyasi. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2021. – 320 b.
5. Ahmedov B.A., Taylaqov N.I. Raqamli iqtisodiyot va zamonaviy axborot texnologiyalari. – Toshkent: Iqtisodiyot, 2022. – 286 b.
6. Yuldashev Z.M. Telekommunikatsiya tarmoqlari va tizimlari. – Toshkent: Voris-Nashriyot, 2020. – 352 b.
7. G‘ulomov S.S., Shermuhamedov A.T. Axborot xavfsizligi asoslari. – Toshkent: Fan, 2021. – 288 b.
8. Nuraliyev F.R., Ergashev O.X. Bulutli hisoblash texnologiyalari va ularning qo‘llanilishi. – Toshkent: Innovatsion rivojlanish nashriyoti, 2023. – 248 b.