BULUTLI VA EDGE HISOBLASH TEXNOLOGIYALARINI AQLLI SHAHAR TIZIMIGA INTEGRATSIYA QILISH

Masharipov Sanatbek Atanazarovich[1], Axmedova Xolisxon Ilxomovna[2]

[1]Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti
[2]O'zbekiston xalqaro islomshunoslik akademiyasi
Email: xolisa9029@mail.ru
Orcid: 0000-0002-9828-1650

KEYWORDS

Aqlli shahar, edge hisoblash, cloud hisoblash, Internet of Things

ABSTRACT

Hozirgi kunda smart texnologiyalar ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega. Shunday texnologiyalarni shaharlarga joriy etish bilan "Aqlli shahar" ni yaratish mumkin. Aqlli shaharning yaratilishi ko'plab resurslarni ortiqcha sarfini saqlab qolish, ularga sarflanadigan mablag'larni ham iqtisod qilish, ko'plab xavflarni bashorat qilish, tirbandliklarni oldini olish, shaharlarni ozodaligini ta'minlash, aholini xavfsizlini baholash va ta'minlash kabi ko'plab imkoniyatlarga ega bo'lish imkoniyatini beradi. Jahonning ko'plab rivojlangan davlatlarida Aqlli shahar infratuzilmasi ishlab chiqilgan. Aqlli shahar infratuzilmasini ishlab chiqishda edge-cloud hisoblash texnologiyasidan foydalanish maqsadga muvofiq. Edge hisoblash texnologiyasidan foydalanish ko'plab imkoniyatlarni beradi. Ma'lumotlar oqimini saralab cloudga kerakli ma'lumotlarni uzatish bilan so'rovga mos natijalarni tez va yuqori aniqlikda foydalanuvchiga taqdim etish imkonini beradi.

Kirish

Cloud hisoblashning 2005-yildan boshlab mashhurlikka erishishi ma'lumotlarni qayta ishlash va boshqarish iqtisodiyotini tubdan o'zgartirdi. Shu bilan birga, Narsalar Interneti (IoT) obyektlarni chiplar va sensorlar o'rnatish orqali "aqlli" qurilmalarga aylantirishni maqsad qiladi. Bulut texnologiyalari bilan birga ushbu rivojlanish uy avtomatlashtirish, sog'liqni saqlash, transport va boshqa ko'plab ilovalarning paydo bo'lishiga olib keldi. Biroq, IoT qurilmalari tomonidan yaratiladigan katta hajmdagi ma'lumotlar (taxminan 500 zettabayt deb baholanadi) mavjud bulut yechimlarini cheklab qo'ymoqda va hatto tarmoqlarga salbiy ta'sir ko'rsatib, kechikish (latency) darajalarini oshirishi mumkin. Shuning uchun, Edge hisoblash (EC) hisoblash va ma'lumotlarni saqlashni foydalanuvchiga yaqinlashtiradi va shu orqali bulut tizimining samarasiz jihatlarini bartaraf etadi [1].

Asosiy shahar ehtiyojlari va ijtimoiy rivojlanishga qaratilgan, barqarorlik imkoniyatlarini ta'minlovchi ilg'or *smart city* loyihalari energiya iste'moli bo'yicha milliardlab real vaqt ma'lumotlarini samarali qayta ishlash uchun IoT ni Edge Hisoblash bilan birgalikda qo'llaydi. Deep Reinforcement Learning (DRL) kabi sun'iy intellekt texnologiyalarini joriy etish tizimni faqat eski ma'lumotlar bilan to'ldirish emas, balki faol boshqaruv orqali Aqlli shaharlarni yanada takomillashtirish imkonini beradi. IoT funksionalligiga ega aqlli shahar tizimlariga Edge hisoblash qo'shilishi past darajadagi operatsiyalarni bajaradigan turli qurilmalar uchun hisoblash quvvati talablariga oid muammolarni hal qiladi. Ushbu maqolaning maqsadi IoT asosidagi mavjud energiya boshqaruvi *aqlli shahar* yechimlarini yaxshilashda *cloud* va *edge* hisoblash integratsiyasi qanday yordam berishini o'rganishdir [2].

Integratsiyaga ehtiyoj

Ma'lumotlarni qayta ishlash muammolari. Aqlli shaharlar tobora ko'proq IoT qurilmalarini joriy etar ekan, ular bulutli hisoblashning o'zi bilan samarali hal qilib bo'lmaydigan jiddiy

© S.A. Masharipov, X.I. Axmedova

ma’lumotlarni qayta ishlash muammolariga duch kelmoqda. Ushbu qurilmalar tomonidan yaratiladigan ulkan hajmdagi ma’lumotlar markazlashgan bulut infratuzilmalarini haddan tashqari yuklab yuborishi mumkin, bu esa samarasizlik va qayta ishlash vaqtlarining kechikishiga olib keladi. Yuqori kechikish (latency) muhim muammo bo‘lib, ma’lumotlarni bulutga uzatish va qaytarib olish uchun ketadigan vaqt real vaqt ilovalari — masalan, transportni boshqarish va favqulodda holatlarga javob berish — uchun zarur bo‘lgan tezkorlikni cheklaydi. Bundan tashqari, katta hajmdagi ma’lumotlarni uzatish uchun talab qilinadigan sezilarli tarmoq kengligi (bandwidth) tarmoq resurslarini zo‘riqtiradi, natijada tirbandlik va xizmat sifati pasayishiga olib keladi. Maxfiylik va xavfsizlik masalalari ham bulutli hisoblashga tayanishni yanada murakkablashtiradi, chunki IoT qurilmalari tomonidan to‘plangan sezgir ma’lumotlar markazlashgan joylarda saqlanganda kiberhujumlarga nisbatan zaif bo‘ladi. Shuning uchun edge hisoblashni cloud yechimlari bilan integratsiya qilish ushbu muammolarni kamaytirish uchun muhim bo‘lib, lokal darajada ma’lumotlarni qayta ishlashni ta’minlaydi, bu esa tezkorlikni oshiradi, bandwidthdan foydalanishni kamaytiradi va aqlli shahar tizimida umumiy ma’lumot xavfsizligini yaxshilaydi [3].

Edge hisoblash integratsiyasining afzalliklari

Aqlli shahar muhitida *edge* hisoblashni *cloud* yechimlari bilan integratsiya qilish an’anaviy bulutli hisoblashning o‘zi keltirib chiqaradigan muammolarni bartaraf etuvchi ko‘plab afzalliklarni taqdim etadi. Asosiy ustunliklardan biri ma’lumot kechikishining kamayishidir, chunki edge hisoblash ma’lumotlarni manbaga yaqin joyda lokal qayta ishlash imkonini beradi. Bu yaqinlik ma’lumotlarni uzatish uchun zarur bo‘lgan vaqtni sezilarli darajada qisqartiradi va transportni boshqarish hamda jamoat xavfsizligi ilovalari uchun muhim bo‘lgan real vaqt rejimidagi qayta ishlash imkoniyatlarini ta’minlaydi. Bundan tashqari, edge hisoblash ma’lumotlarni lokal qayta ishlab, faqat tegishli yoki umumlashtirilgan axborotni bulutga uzatish orqali *bandwidth* dan foydalanishni kamaytiradi. Edge hisoblash mehanizmini 1-rasmda ko‘rish mumkin.

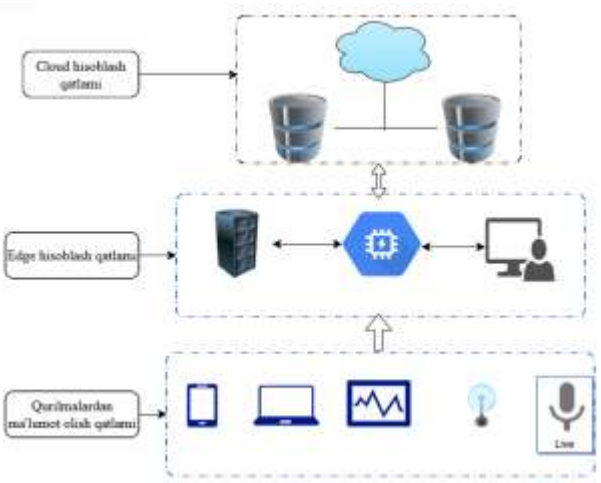


Figure 1: Edge hisoblash mehanizmi

Ma’lumotlar uzatilishining kamayishi tarmoq tirbandligini yengillashtiradi va butun tizim bo‘ylab resurslardan foydalanishni optimallashtiradi. Ma’lumotlar maxfiyligi va xavfsizligining yaxshilanishi ham muhim afzalliklardan biri bo‘lib, sezgir axborot “*edge*” darajasida qayta ishlanishi va saqlanishi mumkin, bu esa uni markazlashgan bulut serverlariga uzatish jarayonida oshkor bo‘lish xavfini kamaytiradi. Umuman olganda, edge hisoblash integratsiyasi yanada samarali, tezkor va xavfsiz “Aqlli shahar” infratuzilmasini shakllantiradi, bu esa shahar resurslarini yaxshiroq boshqarish va aholining hayot sifatini oshirish imkonini beradi [4]. O’zbekistonda ham “Aqlli shahar” tizimi ishlab chiqilgan bo’lib, unda quyidagi modular ish faoliyatini olib bormoqda. “Aqlli shahar” loyihasida bir nechta modular ishlab chiqilmoqda.

Asosiy qism

Smart City tizimidagi asosiy modular.

Transport – edge hisoblash smart city operatsiyalarini sezilarli darajada yaxshilashi mumkin bo‘lgan muhim sohalardan biridir. Lokal qayta ishlash imkoniyatlaridan foydalangan holda, edge-ga asoslangan tizimlar real vaqt rejimida transport oqimini kuzatishi va boshqarishi mumkin, bu esa tirbandlikni kamaytiradi va shahar harakatchanligini yaxshilaydi.

Ushbu ilovalar nafaqat aholining hayot sifatini yaxshilaydi, balki energiya iste’molining kamayishiga va chiqindilar (emissiyalar)ning pasayishiga ham hissa qo‘shadi, bu esa aqlli shaharlarning barqarorlik maqsadlariga mos keladi [5], [6].

© S.A. Masharipov, X.I. Axmedova

AI obodon– turli manbalardan olingan ma’lumotlarni tartiblash, tahlil qilish, yuzaga kelgan muammolarni aniqlash, muammo yuzasidan sodir bo’lishi mumkin bo’lgan holatlarni tahlil qilish, sharoitga ko’ra muammoning optimal yechimlarini taklif qilish kabi imkoniyatlarga ega bo’lish mumkin



Figure 2: Aqlli shahar loyihasining modullari

Termo 24 – moduli isitish qozonxonalari bilan o’zaro bog’langan bo’lib, haroratni meyorida ushlab turish va ortiqcha yonilg’i isrofini kamaytirish, shuningdek davlat budjetini samarali boshqarish maqsadida ishlab chiqilgan. Bu modul shifoxona, bolalar bog’chasi, ko’p qavatli uylar va hokimiyat binolarini o’z ichiga olgan bo’lib isitish qozonxonalari avtonom yoki markaziy ekanligini ko’rsatadi va haroratni termo dachchikdan kelgan ma’lumotlarga aoslangan holda ko’rsatadi. Bundan tashqari modul kichik qismlar ya’ni xonalarga ajratilgan bo’lib, har bir termo dachchik qo’yilgan xona ma’lumotlarini kuzatib boradi va harorat keskin ortib ketishi yoki tushib ketishi xavfi tug’ilganda tegishli joylarga AI orqali xabar yuboradi.

AI ekonom – investitsiya va moliyaviy bozorlarni tahlil qilib, risklarni aniqlaydi va eng foydali imkoniyatlarni aniqlashga yordam beradi.

AI kengash – tashkilot va korxonalar uchun strategik qarorlarni qo‘llabquvvatlaydi, turli variantlarni tahlil qilib maslahat beradi.

AI patrul – shahar yoki hududdagi xavfsizlikni monitoring qiladi, xavfli vaziyatlarni aniqlaydi va tegishli choralarni tavsiya qiladi.

Murojaat 24 – moduli asosan murojatchilar tomonidan kelib tushgan ma’lumotlarni ko’rib chiqish va muammolarni hal etishga mo’ljallangan bo’lib, unga qo’shimcha ravishda Termo24 moduli va Osuda vatan ma’lumotlari ham kiritilgan. Bundan kelibchiqib shuni aytish mumkinki, bu modulda faqat murojaatlar ko’rib chiqilibgina qolmay nazoratga olindan Termo24 modul tizimlarini ham muammolari bu modulga ko’rsatilishi mumkin va u asosan issiqlik ortishi yoki kamayishi natijasida amalga oshadi. Modul holatiga ko’ra qismlarga ajratilgan bo’lib tushinish juda oson kechadi.

Smart clean - moduli chiqindilar tozalanganlik holatlarini kuzatish maqsadida ishlab chiqilgan bo’lib, asosan transportlar harakati va bajargan ishlarini kuzatish, rasmga olish orqali tozalanganligini nazorat qilish, shuningdek statistikani belgilash va hid dachchiklari orqali hududlarda ifsoslanish darajalarini kamaytirishga qaratilgan.

Undan tashqari Aqlli shahar loyihasi doirasida yani bir muhim modul bor. Bu modul *chaqiruv yozib olish* kabi nomlanib, unda fuqarolar tomonidan amalga oshirilgan telefon chaqiruvlarini yozib olish, saqlash va tahlil qilish uchun mo‘ljallangan. Modul chaqiruvlarning vaqti, davomiyligi, murojaat mavzusi hamda qaysi hududdan kelib tushganligini aniqlab, yagona tizimda jamlaydi. Chaqiruv yozuvlari *Murojaat 24* moduli bilan integratsiya qilingan bo‘lib, kelib tushgan muammolar tezkor ravishda tegishli bo‘limlarga yo‘naltiriladi va ijro holati nazoratga olinadi. Sun’iy intellekt yordamida chaqiruvlar avtomatik tarzda matnga aylantiriladi.Bundan tashqari, modul chaqiruvlar statistikasi asosida eng ko‘p takrorlanayotgan muammolarni aniqlaydi, mavsumiy yuklama va operatorlar faoliyatini baholash imkonini beradi. Zarurat tug‘ilganda, favqulodda yoki keskin muammolar bo‘yicha mas’ul tashkilotlarga avtomatik ogohlantirishlar yuboriladi. Ushbu modul aholining murojaatlarini shaffof, tezkor va samarali ko‘rib chiqishga xizmat qiladi.

© S.A. Masharipov, X.I. Axmedova

Arxitektura komponentlari

Edge qatlami. IoT asosidagi tizimlarda edge qatlami smart shahar ilovalarining samaradorligi va tezkorligini oshirish uchun muhim ahamiyatga ega. Ushbu qatlam atrof-muhitdan real vaqt rejimida ma'lumotlarni doimiy yig'ib boradigan IoT qurilmalari tarmog'ini o'z ichiga oladi, bu esa samarali boshqaruv uchun zarur bo'lgan muhim ma'lumotlarni taqdim etadi. Lokal qayta ishlash uchun edge hisoblash integratsiya qilish orqali tizim ma'lumotlarni darhol tahlil qila oladi, bu esa tezkor qaror qabul qilishni ta'minlaydi hamda an'anaviy bulutga (cloud) yo'naltirilgan yondashuvlarga nisbatan kechikish va tarmoq kengligi sarfini kamaytiradi. Edge hisoblash oraliq bo'g'in sifatida xizmat qiladi, IoT qurilmalari va bulut o'rtasida xavfsiz aloqa o'rnatishni ta'minlaydi va ma'lumotlarning uzluksiz uzatilishini kafolatlaydi. Bundan tashqari, edge darajasida lokal ma'lumot saqlash imkoniyatlarini joriy etish muhim axborotni saqlab turishga yordam beradi, bu esa zarurat tug'ilganda tezkor kirish va qayta ishlashni ta'minlaydi. Ushbu edge hisoblash qatlami komponentlarining barchasi birgalikda Aqlli shahar infratuzilmasining umumiy ishlash samaradorligini sezilarli darajada oshiradi, shahar muhitining dinamik muammolariga o'z vaqtida javob berish imkonini yaratadi va resurslarni barqaror boshqarish amaliyotlarini qo'llab-quvvatlaydi. Ushbu integratsiya oxir-oqibat aholisi uchun yanada bardoshli va yashashga qulay shaharlarni yaratishga hissa qo'shadi.

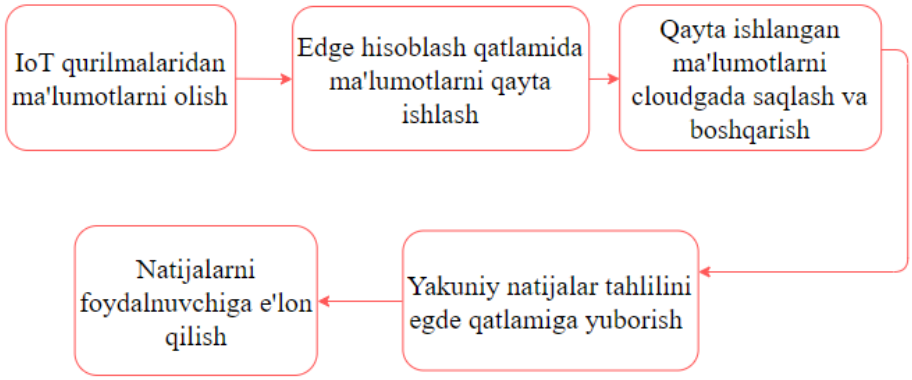


Figure 3: Edge hisoblash ma'lumotlar oqimi diagrammasi

Bulut qatlami aqlli shahar IoT yechimlarida muhim bo'lib, IoT qurilmalari tomonidan yaratiladigan ulkan hajmdagi ma'lumotlar uchun markazlashgan saqlashni ta'minlaydi. Bu shahar rivojlanishi va jamoat sog'lig'i bo'yicha strategik rejalashtirish va qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlaydigan tarixiy ma'lumotlarga kirishni imkonini beradi. Shuningdek, bulut o'zining hisoblash quvvatidan ilg'or tahlillar uchun foydalanadi, bu esa shaharlarga katta ma'lumotlar to'plamidan amaliy natijalar chiqarishga yordam beradi, natijada transport oqimini optimallashtirish, jamoat xavfsizligini yaxshilash va energiya samaradorligini oshirish mumkin bo'ladi. Bulut, shuningdek, vazifalarni edge qurilmalari va bulut o'rtasida taqsimlashni boshqarish orqali xizmatlarni muvofiqlashtirishni osonlashtiradi, bu esa samarali qayta ishlashni ta'minlaydi va kechikishni kamaytiradi. Umuman olganda, bulut qatlami edge hisoblash imkoniyatlarini kengaytiradi, barqaror shahar boshqaruvini qo'llab-quvvatlaydi va aqlli shaharlarda aholining hayot sifatini yaxshilaydi.

Asosiy xususiyatlar. Aqlli shahar tizimining asosiy xususiyatlari *joylashuvni aniqlash va past kechikishdan* iborat bo'lib, ularni nazorat qilish va aniqlash tizimda modular faoliyatini yaxshilashga xizmat qiladi.

Joylashuvni aniqlash aqlli shahar xizmatlari uchun muhim bo'lib, geografik asoslangan ma'lumot yig'ishni ta'minlaydi, bu esa shahar dinamikasiga kontekstga mos ma'lumotlarni beradi. Edge hisoblashdan foydalangan holda joylashuvga xos ma'lumotlarni lokal qayta ishlash real vaqt rejimida ma'lumotlarni tahlil qilishni imkonini beradi, kechikishni kamaytiradi va xizmatlarning tezkorligini oshiradi. Ushbu imkoniyat transport oqimini optimallashtirish va atrof-muhit sharoitini monitoring qilish kabi

© S.A. Masharipov, X.I. Axmedova

shahar muammolariga tezkor yechimlar topishga yordam beradi. Shuningdek, kontekstga mos xizmatlar foydalanuvchi ehtiyojlariga moslashib, joylashuv ma’lumotlaridan foydalanib shaxsiy tavsiyalar, ogohlantirishlar va real vaqt yangilanishlarini taqdim etishi mumkin. Umuman olganda, joylashuvni aniqlash va edge hisoblash integratsiyasi smart city ilovalari samaradorligini oshiradi, bu esa aholining hayot sifatini yaxshilaydigan va resurslardan samarali foydalanishni rag‘batlantiradigan xizmatlarni yaratadi.

Past kechikish aqlli shahar xizmatlarining muhim jihati bo‘lib, ayniqsa tezkor javob talab qiladigan ilovalar uchun zarurdir. Ma’lumotlarni uzatish va qayta ishlash kechikishini minimallashtirish orqali muhim ilovalar samarali ishlashi mumkin, bu esa shoshilinch vaziyatlarga tezkor javob berishni ta’minlaydi. Edge hisoblash tomonidan ta’minlangan real vaqt ma’lumotlarini qayta ishlash imkoniyati IoT qurilmalari tomonidan yaratilgan ma’lumotlarni darhol tahlil qilishni imkonini beradi. Bu shaharlarga transport tirbandligi yoki favqulodda hodisalar kabi dinamik sharoitlarga tezkor javob berishga yordam beradi, jamoat xavfsizligi va operatsion samaradorlikni oshiradi.

Bundan tashqari, past kechikish manfaatdor tomonlarga vaqtida ma’lumotlar va amaliy tavsiyalarni taqdim etib, darhol qaror qabul qilishni qo‘llab-quvvatlaydi. Ushbu imkoniyat smart traffic management tizimlari kabi ilovalar uchun juda muhim bo‘lib, ular real vaqt ma’lumotlariga tayangan holda transport oqimini optimallashtirish va avariyalarni kamaytirish imkonini beradi. Xulosa qilib aytganda, past kechikish smart city tashabbuslarining muvaffaqiyati uchun asosiy omil bo‘lib, tezkor, samarali va samarali shahar boshqaruvini ta’minlaydi.

Muammolar va yechimlar. Aqlli shahar tizimini ishlab chiqish va uni amaliyotga tadbiq etishda bir qator muammolarnga duch kelish mumkin. Ushbu muammolarni ikki guruhga ajratish mumkin: *ma’lumotlar xavfsizligi* va *resurslarni boshqarish bilan bog’liq muammolar.*

Ma’lumotlar xavfsizligi aqlli shahar muhitida, ayniqsa tarqatilgan tizimlar va IoT qurilmalariga tobora ko‘proq tayanilganda, juda muhimdir. Maxfiy ma’lumotlarni buzilishlardan va ruxsatsiz kirishdan himoya qilish jamoat ishonchini saqlash va shahar xizmatlarining yaxlitligini ta’minlash uchun zarurdir.

Ushbu muammolarni hal qilishda edge darajasidagi xavfsizlik protokollarini joriy etish muhimdir. Ma’lumotlarni edge hisoblash qatlamida, ya’ni u yaratiladigan va qayta ishlanadigan joyda himoya qilish orqali shaharlar uzatish jarayonida yuzaga keladigan xavflarni minimallashtirishi, xavfsizlik va tezkorlikni oshirishi mumkin. Shuningdek, ma’lumotlarni shifrlash maxfiy ma’lumotlarni himoya qilishda muhimdir, chunki agar ular ushlansa ham, ruxsatsiz foydalanuvchilar uchun o‘qilmas holatda qoladi. Bundan tashqari, qat’iy kirish nazorati mexanizmlari faqat ruxsat berilgan xodimlarga ma’lumotlarga kirish imkonini berishi kerak. Qattiq autentifikatsiya va avtorizatsiya protokollaridan foydalangan holda shaharlar ichki tahdidlar va ruxsatsiz ma’lumot manipulyatsiyasini kamaytirishi mumkin.

Resurslarni boshqarish -aqlli shahar muhitida muhim muammo bo‘lib, ayniqsa turli ilovalar va xizmatlar talablariga javob berish uchun hisoblash resurslarini samarali taqsimlashda dolzarbdir. Samarali resurs taqsimoti shaharlar ko‘plab IoT qurilmalarini va edge hisoblash yechimlarini joriy qilganda optimal ishlash uchun zarurdir.

Ushbu muammoni hal qilish uchun, vazifalarning shoshilinchligi va ahamiyatiga ko‘ra resurslarni taqsimlaydigan prioritetga asoslangan xizmat boshqaruvi joriy etilishi mumkin. Bu shoshilinch ilovalar, masalan, favqulodda vaziyatlarga javob tizimlari va real vaqt transport boshqaruvi, zarur hisoblash quvvatiga ega bo‘lishini ta’minlaydi.

Resurslarni optimallashtirish algoritmlari resurslardan maksimal foydalanishni ta’minlash uchun muhimdir. Ushbu algoritmlar joriy ish yuklarini tahlil qiladi va resurs taqsimotini dinamik tarzda sozlaydi, tarmoq tiqilishining oldini oladi. Bundan tashqari, yukni muvozanatlashtirish (load balancing) texnikalari ish yuklarini mavjud resurslar bo‘ylab teng taqsimlaydi, biror resursning ortiqcha yuklanishini oldini oladi va tizimning umumiy ishlash samaradorligini oshiradi.

(cc) BY © S.A. Masharipov, X.I. Axmedova

Smart shaharlarning afzalliklari. Aqlli shahar tizimining barcha modular bir biriga integratsiya qilingan. Ishlab chiqilgan har bir modul Aqlli shahar tizimida muhim ahamiyat kasb etadi. 4-rasmda shahar obodonlashtirish boshqarmasi hududlarida tuproq namligi va mineral holatini aniqlash hamda AI asosida tahlil qilish tizimining faoliyatini ko’rish mumkin.



Figure 4: Aqlli shahar tizimi modullarida ma’lumotlarni tahlil qilish

Operatsion samaradorlik. Aqlli shaharlarda, ayniqsa operatsion samaradorlik nuqtayi nazaridan, sezilarli afzalliklar mavjud. Ilg‘or texnologiyalar va ma’lumotlarni tahlil qilishdan foydalanish qayta ishlash vaqtini kamaytiradi, bu esa transport boshqaruvi va favqulodda vaziyatlarga javob berish sohalarida xizmat ko‘rsatishni yaxshilaydi. Shuningdek, smart shaharlarda IoT qurilmalari va aqlli infratuzilma orqali resurslardan foydalanish yaxshilanadi, bu esa suv taqsimoti kabi resurslarni yaxshiroq kuzatish va boshqarish imkonini beradi. Natijada, mahalliy hokimiyatlar uchun xarajatlar kamayadi va atrof-muhitga ta’sir minimal darajada bo‘lib, barqarorlikni rag‘batlantiradi. Umuman olganda, smart shaharlarning operatsion samaradorligi xizmat ko‘rsatish va ishlashni yaxshilaydi, bu esa yanada barqaror va yashashga qulay shahar muhitini yaratishga hissa qo‘shadi [5].

Xarajat samaradorligi. Aqlli shaharlarda turli strategiyalar orqali sezilarli moliyaviy samaradorlikka erishiladi, bu esa xarajatlarni kamaytiradi. Muhim jihatlardan biri tarmoq kengligi xarajatlarini kamaytirishdir, chunki smart texnologiyalar ma’lumotlarni uzatish va kommunikatsiyani samarali qiladi. Infratuzilmani optimallashtirish orqali shaharlar mavjud resurslarning qiymatini maksimal darajada oshiradi, qimmat kengayishlar yoki yangilanishlarga bo‘lgan ehtiyojni kamaytiradi [9].

Shuningdek, aqlli shaharlarda energiya iste’molini kamaytirishga e’tibor qaratiladi. Aqlli energiya boshqaruvi tizimlarini joriy etish energiya sarfini yaxshiroq kuzatish va nazorat qilish imkonini beradi, natijada kommunal xizmatlar uchun to‘lovlar kamayadi va karbon izini qisqartiradi. Bu esa mahalliy hokimiyatlar uchun to‘g‘ridan-to‘g‘ri moliyaviy tejashni ta’minlaydi va barqarorlik maqsadlarini qo‘llab-quvvatlaydi.

Aqlli shaharlarda foydalanuvchi tajribasi tezkor javoblar va ishonchli xizmatlar bilan yaxshilanadi, bu esa fuqarolarning qoniqishini sezilarli darajada oshiradi. Jamoat transporti, favqulodda vaziyatlarga javob va kommunal xizmatlarni samarali ishlashda, aholiga shahar tizimlari bilan o‘z vaqtida va ishonchli aloqada bo‘lish imkoniyati beriladi.

Shuningdek, yuqori xizmat sifati shahar tizimlariga ishonchni mustahkamlaydi. Fuqarolar

(cc) BY © S.A. Masharipov, X.I. Axmedova

barqaror va samarali xizmatlarni boshdan kechirgan sari shahar ularning ehtiyojlarini qondira oladi degan ishonchi ortadi. Ushbu ishonch jamoatchilikni jalb qilish va aqlli shahar tashabbuslarida ishtirok etishga rag‘batlantirish uchun muhimdir.

Xulosa

Aqlli shahar IoT yechimlarida bulut va edge hisoblashni integratsiya qilish shahar xizmatlarini boshqarish uchun samarali, xavfsiz va skalalanadigan arxitekturani ta’minlaydi. Ushbu gibrid yondashuv edge hisoblashda real vaqt rejimida ma’lumotlarni qayta ishlash imkonini beradi, shu bilan birga bulutni keng saqlash va ilg‘or tahlillar uchun ishlatadi. Ma’lumotlar maxfiyligi va tizim murakkabligi kabi mavjud muammolarga qaramay, ushbu integratsiya smart shaharlarning kelajakdagi rivojlanishi uchun muhimdir. Bu aqlli shahar ilovalari uchun mustahkam ramkani yaratadi, kechikish va tarmoq kengligi cheklovlari kabi asosiy masalalarni hal qiladi va fuqarolar uchun xizmat sifatini oshiradi. Ushbu integratsiyalashgan yondashuv barqaror shahar muhitlarini rivojlantirish imkonini beradi.

Adabiyotlar

1. Gershenfeld N., Krikorian R., Cohen D. The internet of things // *Scientific American*. – 2004. – Vol. 291, No. 4. – P. 76–81. – URL: https://www.jstor.org/stable/26060727
2. Arulkumaran K., Deisenroth M. P., Brundage M., Bharath A. A. Deep reinforcement learning: A brief survey // *IEEE Signal Processing Magazine*. – 2017. – Vol. 34, No. 6. – P. 26–38. – DOI: 10.1109/MSP.2017.2743240
3. Silva B. N., Khan M., Han K. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities // *Sustainable Cities and Society*. – 2018. – Vol. 38. – P. 697–713. – DOI: 10.1016/j.scs.2018.01.053
4. Baktir A. C., Ozgovde A., Ersoy C. How can edge computing benefit from software-defined networking: A survey, use cases, and future directions // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. – 2017. – Vol. 19, No. 4. – P. 2359–2391. – DOI: 10.1109/COMST.2017.2717482
5. Khan L. U., Yaqoob I., Tran N. H., Kazmi S. M. A., Dang T. N., Hong C. S. Edge-computing-enabled smart cities: A comprehensive survey // *IEEE Internet of Things Journal*. – 2020. – Vol. 7, No. 10. – P. 10200–10232. – DOI: 10.1109/JIOT.2020.2987070
6. Mittal S., Negi N., Chauhan R. Integration of edge computing with cloud computing // *Proceedings of the International Conference on Emerging Trends in Computing and Communication Technologies (ICETCCT)*. – IEEE, 2017. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/ICETCCT.2017.8280340
7. Blogs F. I. Smart transportation: A key building block for a smart city. – 2018. – URL: https://b2n.ir/n78115
8. Scuotto V., Ferraris A., Bresciani S. Internet of things: applications and challenges in smart cities: a case study of IBM smart city projects // *Business Process Management Journal*. – 2016. – Vol. 22, No. 2. – P. 357–367. – DOI: 10.1108/BPMJ-05-2015-0074
9. Belanche D., Casaló L. V., Orús C. City attachment and use of urban services: benefits for smart cities // *Cities*. – 2016. – Vol. 50. – P. 75–81. – DOI: 10.1016/j.cities.2015.08.016
10. Minoli D., Occhiogrosso B. Practical aspects for the integration of 5G networks and IoT applications in smart cities environments // *Wireless Communications and Mobile Computing*. – 2019. – Vol. 2019, No. 1. – Article ID 5710834. – DOI: 10.1155/2019/5710834
11. Mohapatra H., Rath A. K. An IoT-based efficient multi-objective real-time smart parking system // *International Journal of Sensor Networks*. – 2021. – Vol. 37, No. 4. – P. 219–232. – DOI: 10.1504/IJSNET.2021.119483
12. Mohapatra H., Rath A. K. IoT-based smart water // *IoT Technologies in Smart Cities: From Sensors to Big Data, Security and Trust*. – 2020. – P. 63–82. – DOI: 10.1049/PBCE128E

© S.A. Masharipov, X.I. Axmedova