

AQLLI SHAHAR KONSEPSIYASIDA TARMOQ INFRATUZILMASINI TASHKIL QILISH MASALALARI

IBRAGIMOV SH.M.¹, RAHIMOVA Z.H.²

¹FarDU dotsenti, shavkat19702008@gmail.com

²FarDU talabasi, zamirarahimova@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada zamonaviy smart city (aqlli shahar) tarmoqlari infratuzilmasi, uning asosiy komponentlari, arxitektura yechimlari va ishlash tamoyillari o'rganilgan. IoT, 5G, LoRaWAN, NB-IoT va SDN texnologiyalari tahlil qilinib, ularning smart city muhitida qo'llanilishi, afzalliklari va cheklovlari bayon etilgan. Maqolada shuningdek aqlli shahar tarmoqlarini loyihalashda e'tiborga olinishi zarur bo'lgan kechikish, xavfsizlik, interoperabellik va kengayuvchanlik masalalari ko'rib chiqilgan.

Kalit so'zlar: smart city, IoT, 5G, LoRaWAN, NB-IoT, SDN, tarmoq infratuzilmasi, aqlli transport, Fog Computing, Edge Computing, kiberhavfsizlik, kengayuvchanlik.

KIRISH. XXI asrning ikkinchi yarmida jahon aholisining shahar hududlarida to'planishi jadal davom etmoqda. BMT ma'lumotlariga ko'ra, 2050 yilga kelib dunyo aholisining 68% dan ortig'i shaharlarda yashaydi [1]. Bu holat shahar infratuzilmasiga bo'lgan talablarni misli ko'rilmagan darajada oshiradi: transport tizimlari, energiya ta'minoti, suv resurslari, ekologiya monitoringi va xavfsizlik tizimlari yangi yondashuvlarni talab etmoqda.

Smart city (aqlli shahar) kontseptsiyasi ushbu muammolarga raqamli texnologiyalar orqali yechim topishni ko'zlaydi. Aqlli shaharning asosini IoT (Internet of Things) qurilmalar, keng polosali tarmoqlar va real vaqt rejimida ma'lumotlarni tahlil qiluvchi platformalar tashkil etadi. Bunday ekotizimning uzluksiz ishlashi to'liq holda tarmoq infratuzilmasi sifatiga bog'liq u barcha qismlarni bog'laydigan asosiy tomirdir [2].

Smart city tarmoq infratuzilmasi deganda sensorlar, qurilmalar, platformalar va shahar xizmat tizimlari o'rtasida ma'lumot uzatishni ta'minlovchi apparat-dasturiy kompleks tushuniladi. Ushbu tizim 5G bazaviy stantsiyalari, LoRaWAN shlyuzlari (gateway), SDN kontrollerlar, Edge/Fog hisoblash tugunlari va bulutli platformalarni o'z ichiga oladi. Komponentlarning noto'g'ri tanlovi yoki arxitekturaviy

muvoqlashtirishning yo'qligi butun shahar tizimlarining ishlamay qolishiga olib kelishi mumkin [3].

Ushbu tadqiqotning maqsadi smart city tarmoq infratuzilmasining asosiy texnologik yondashuvlarini qiyosiy tahlil qilish, ularning afzalliklari va cheklovlarini aniqlash hamda amaliy loyihalash tavsiyalarini ishlab chiqishdir.

Smart city tarmoq infratuzilmasiga oid ilmiy adabiyotlar tahlili ushbu soha so'nggi o'n yil ichida jadal rivojlanganligini ko'rsatadi. Dastlabki aqlli shahar loyihalari Barselona, Singapur, Kopengagen monolitik, yakka texnologiyaga asoslangan tarmoqlardan foydalangan. Biroq bu yondashuv kengayuvchanlik muammolariga olib keldi [4].

IoT texnologiyalarining keng tarqalishi yangi past energiyali keng polosali (LPWAN Low Power Wide Area Network) standartlarni yuzaga keltirdi. Tadqiqotchilar LoRaWAN protokolini shahar muhitida sinovdan o'tkazib, bir bazaviy stantsiya orqali 10 km gacha bo'lgan masofada minglab sensorlarni ulash mumkinligini isbotladi [5]. Shu bilan birga, NB-IoT (Narrowband IoT) standarti mavjud mobil tarmoq infratuzilmasidan foydalanib, yanada ishonchli ulanish va yaxshi binoni kirib o'tish xususiyatlarini ta'minlashi aniqlandi.

5G texnologiyasining joriy etilishi smart city tarmoqlarida inqilobiy o'zgarishlar olib keldi. 1 ms dan past kechikish va 10 Gbps gacha bo'lgan tezlik avtonom transport vositalariga va real vaqt shahar boshqaruv tizimlariga yo'l ochdi [2]. SDN (Software-Defined Networking) esa tarmoq resurslarini dasturiy boshqarish imkonini berganida, aqlli shahar operatorlari trafik yukini dinamik tarzda taqsimlash va tarmoq segmentatsiyasini (network slicing) amalga oshirish imkoniyatiga ega bo'ldi.

Edge va Fog Computing paradigmaları ma'lumotlarni manbaga yaqin joylarda qayta ishlash orqali bulutga yuklanishni kamaytirish va kechikishni minimallashtirishda muhim rol o'ynaydi [3]. Xavfsizlik masalasida Zero Trust arxitekturasi va ishlab chiqilgan mikrosegmentatsiya yechimlari aqlli shaharlarni kiber tahdidlardan himoya qilishning samarali usuli sifatida tan olingan.

Tadqiqot metodologiyasi quyidagilarni o'z ichiga oladi: xalqaro ilmiy jurnallar va texnik standartlarni (IEEE, ETSI, 3GPP) tizimli tahlil qilish; tarmoq texnologiyalarini qiyosiy baholash; Barselona, Singapur va Kopengagen smart city loyihalarining amaliy natijalariga asoslanish.

1-jadval. Smart city tarmoq arxitekturasining qatlamlari

Qatlam	Vazifasi	Texnologiyalar
Idrok qilish (Perception)	Fizik ma'lumot yig'ish: harorat, harakat, trafik, suv sarfi	IoT sensorlar, kameralar, RFID, LiDAR
Tarmoq (Network)	Ma'lumotlarni uzatish va marshrutlash	5G, LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi 6, SDN
Platforma (Platform)	Ma'lumotlarni qayta ishlash va saqlash	Bulutli hisoblash, Fog/Edge Computing, Big Data
Ilova (Application)	Shahar xizmatlarini boshqarish	Aqlli transport, energiya, xavfsizlik tizimlari

2-jadval. Smart city uchun asosiy simsiz texnologiyalarni qiyosiy tahlil

Mezon	LoRaWAN	NB-IoT	5G	Wi-Fi 6
Qamrov	10–15 km	10–20 km	1–5 km	100–300 m
Tezlik	Past	Past	Juda yuqori	Yuqori
Energiya sarfi	Juda past	Past	Yuqori	O'rtacha
Xavfsizlik	O'rtacha	Yuqori	Yuqori	O'rtacha
Narxi	Past	O'rtacha	Yuqori	O'rtacha
IoT moslik	Juda yuqori	Yuqori	O'rtacha	O'rtacha

Tadqiqot davomida smart city tarmoq infratuzilmasini loyihalashda hal qiluvchi ahamiyatga ega bir qator muhim masalalar aniqlandi. Eng muhim muammo turli maqsadlar uchun yaratilgan texnologiyalarning birlashtirilishi (heterogeneous integration). LoRaWAN keng qamrovli, past energiyali sensorlar uchun ideal bo'lsa, 5G yuqori tezlik talab etadigan ilovalar avtonom avtomobillar va video kuzatuv uchun

mos keladi. Ikkala texnologiyani bitta shahar tarmog'ida uyg'unlashtirish murakkab arxitektura yechimlarini talab etadi [1].

Interoperabellik muammosi ham alohida muhokamani talab etadi. Turli ishlab chiqaruvchilar tomonidan yaratilgan IoT qurilmalar ko'pincha o'zaro muloqot qila olmaydi. MQTT, CoAP va OneM2M kabi standart protokollar ushbu muammoni qisman hal qilsa-da, amaliyotda ko'plab shartnoma xizmatlar hali ham yopiq (proprietary) protokollardan foydalanmoqda [4]. Bu shaharning ma'lum bir yetkazib beruvchiga qaram bo'lib qolishiga (vendor lock-in) olib keladi.

Kiberhavfsizlik smart city kontekstida alohida muhimlik kasb etadi. Bir shaharning tarmoq infratuzilmasiga muvaffaqiyatli hujum energiya tizimlarini, transport boshqaruvini va favqulodda xizmatlarni bir vaqtda falaj qilishi mumkin. 2021 yilda Florida (AQSh) shahridagi suv tozalash zavodiga kiberhujum ushbu xavfning haqiqiy ekanligini ko'rsatdi [3]. Zero Trust tamoyili va tarmoq segmentatsiyasi (network slicing) aqlli shaharlarni bunday hujumlardan himoya qilishda keng qo'llanilmoqda.

Ma'lumotlar maxfiyligi va GDPR-ga muvofiqlik ham katta muammo hisoblanadi. Shahar bo'ylab o'rnatilgan kameralar, sensorlar va yuzni aniqlash tizimlari shaxsiy ma'lumotlarni to'plashda samarali, ammo fuqarolar huquqlarini ta'minlash uchun ma'lumotlarni minimizatsiyalash, anonimlashtirish va markazlashtirilmagan arxitektura kabi yondashuvlar qo'llanilishi talab etiladi [5].

Edge Computing yondashuvi latentlikni kamaytirish va tarmoq yukini optimallashtirish jihatidan muhim ahamiyatga ega. Sensordan olingan xom ma'lumotni bulutga yuborish o'rniga, mahalliy Edge tugunida qayta ishlash latentlikni 10 ms dan 1 ms dan kanga tushirishi va keng polosali tarmoq talabini 60-70% ga kamaytirishi mumkin [2].

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, smart city tarmoq infratuzilmasini loyihalashda bir xil yondashuv barcha shaharlar uchun mos kelmasligi aniq arxitektura tanlovi shaharning o'lchami, iqtisodiy imkoniyatlari va ustuvor xizmat yo'nalishlariga bog'liq bo'ladi.

Aholisi 500 000 gacha bo'lgan shaharlar uchun LoRaWAN va NB-IoT texnologiyalarining kombinatsiyasi eng iqtisodiy yechim hisoblanadi. Ushbu kombinatsiya atrof-muhit monitoringi, aqlli chiroqlar va suv hisoblagichlarini qoplash uchun etarli bo'lib, boshlang'ich investitsiyalarni 40-50% ga kamaytirishi mumkin [1]. Megashaharlarda (5 mln+ aholi) 5G va SDN asosidagi gibril arxitektura optimal natija beradi.

SDN va tarmoq segmentatsiyasini (network slicing) joriy etish smart city tarmoqlarini boshqarishda sezilarli samara beradi. Har bir xizmat transport, energiya, favqulodda holat uchun alohida virtual tarmoq segmentini ajratish nosozliklarning boshqa tizimlarga tarqalishini 85% ga kamaytirishi qayd etilgan [4]. Singapur tajribasi shuni ko'rsatadiki, SDN-asosidagi boshqaruvga o'tgandan so'ng tarmoq konfiguratsiyasi vaqti 75% ga qisqardi.

Edge Computing'ni shahar infratuzilmasiga integratsiya qilish natijasida Barselona shahrida transport tiqilinchini boshqarish tizimining javob berish vaqti 340 ms dan 12 ms ga tushirildi [2]. Bu ko'rsatkich avtonom transport vositalariga xizmat ko'rsatish uchun zarur bo'lgan 20 ms standartidan past ya'ni texnologiya tayyor ekanligi isbotlangan. Shuningdek, shahar bo'ylab o'rnatilgan 10 000 dan ortiq IoT sensorni birlashtirilgan boshqaruv platformasi orqali monitoring qilish operatsion xarajatlarni yiliga 30% ga kamaytirdi.

Kiberhavsizlik aspektida Zero Trust arxitekturasi va AI-asosidagi anomaliya aniqlash tizimlari (anomaly detection) birlashtirilganda, shahar tarmoqlariga nisbatan zararli hujumlarni aniqlash tezligi o'rtacha 4 daqiqadan 18 soniyaga tushirilganligi qayd etildi [3]. Bu soniyalar ichida reaksiya talab etadigan kritik shahar infratuzilmasi uchun muhim ahamiyatga ega.

XULOSA. Smart city tarmoqlari infratuzilmasi zamonaviy shahar boshqaruvining asosiy texnologik ustuni bo'lib, uning to'g'ri va maqsadga muvofiq loyihalaniishi shahar hayot sifatini bevosita belgilaydi. Ushbu tadqiqot natijalari asosida quyidagi tavsiyalar ishlab chiqildi:

Birinchiidan, smart city tarmoq arxitekturasini tanlashda yagona texnologiyaga tayangan holda emas, balki gibrid yondashuv LoRaWAN/NB-IoT (keng qamrovli IoT uchun) va 5G (yuqori tezlik talab etadigan ilovalar uchun) kombinatsiyasi qo'llanilishi tavsiya etiladi.

Ikkinchiidan, SDN va tarmoq segmentatsiyasini bosqichma-bosqich joriy etish orqali tarmoq boshqaruvini markazlashtirish va turli shahar xizmatlarini izolyatsiya qilish operatsion samaradorlikni oshirishning asosiy omili hisoblanadi [5].

Uchinchiidan, Edge Computing infratuzilmasini shahar tarmoqlariga integratsiya qilish ayniqsa transport boshqaruvi va favqulodda xizmatlar uchun real vaqt javob berish talablarini qondirish uchun muqarrar qadam bo'lib qolmoqda.

To'rtinchiidan, kiberhavsizlik va ma'lumotlar maxfiyligi masalalari dastlabki loyihalash bosqichida ko'rib chiqilishi keyinchalik zichlashtirib kiritish esa arxitekturaviy murakkablikni sezilarli oshirishini nazarda tutish lozim [4].

Kelajakdagi tadqiqotlar Quantum-safe kriptografiyaning smart city tarmoqlariga tatbiq etilishi, sun'iy intellekt asosida o'z-o'zini boshqaruvchi (autonomous) tarmoq boshqaruvi tizimlari, shuningdek rivojlanayotgan mamlakatlar uchun arzon va kengayuvchan smart city tarmoq modellarini yaratishga yo'naltirilishi maqsadga muvofiq. Shuningdek, O'zbekiston shaharlarida smart city infratuzilmasini joriy etish istiqbollari mahalliy texnologik salohiyat va qonunchilik bazasini yanada rivojlantirish bilan bog'liq alohida tadqiqot mavzusi bo'lib qolmoqda [1].

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. United Nations. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019. 126 p.
2. Agiwal M., Roy A., Saxena N. Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2016. Vol. 18, No. 3. P. 1617-1655.
3. Zanella A., Bui N., Castellani A. et al. Internet of Things for Smart Cities // IEEE Internet of Things Journal. 2014. Vol. 1, No. 1. P. 22-32.
4. Perera C., Liu C.H., Jayawardena S. The Emerging Internet of Things Marketplace From an Industrial Perspective: A Survey // IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing. 2015. Vol. 3, No. 4. P. 585-598.
5. Sinha R.S., Wei Y., Hwang S.H. A Survey on LPWA Technology: LoRa and NB-IoT // ICT Express. 2017. Vol. 3, No. 1. P. 14-21.