

# KO'P BULUTLI MUHITDAGI IOT QURILMALARI UCHUN BLOKCHEYN- INTEGRATSIYALASHGAN VA DRL-AGENTIGA ASOSLANGAN XAVFSIZ VA SAMARALI ARXITEKTURA

Гаипназаров Р.Т.<sup>1</sup>, Азимова У.А.<sup>2</sup>, Жумакулов Б.С.<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>O'qituvchi, "Raqamli texnologiyalar konvergentsiyasi" kafedrası, Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Toshkent, O'zbekiston.

<sup>3</sup>O'qituvchi, "Sun'iy intellekt" kafedrası, Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Toshkent, O'zbekiston.

<sup>1</sup>e-mail: [gaiqnazarovs.uds@gmail.com](mailto:gaiqnazarovs.uds@gmail.com)

<sup>2</sup>e-mail: [umidaazimova64@gmail.com](mailto:umidaazimova64@gmail.com)

<sup>3</sup>e-mail: [baxajann0@gmail.com](mailto:baxajann0@gmail.com)

**Annotatsiya:** Ushbu tadqiqot ko'p bulutli IoT tizimlarida xavfsizlik va samaradorlik o'rtasidagi muvozanatni ta'minlash maqsadida blokcheyn hamda chuqur mustahkamlab o'rganish (DRL) texnologiyalariga asoslangan yangi arxitekturani taklif etadi. Ishlab chiqilgan DRL agenti tarmoq sharoitlariga avtonom moslashib, xizmatlarni joylashtirishda kechikish, energiya va xarajatlarni bir vaqtda optimallashtiradi. Ruxsatga asoslangan blokcheyn esa tranzaksiyalar shaffofligi va kiberhujumlardan himoyani kafolatlaydi. NS-3 muhitidagi simulyatsiyalar taklif etilgan yondashuv statik algoritmlarga nisbatan kechikishni 27% ga va energiya sarfini 18% ga qisqartirishini tasdiqladi. Mazkur yechim V2X va IIoT kabi real vaqt tizimlarida ishonchli ma'lumot almashinuvini ta'minlash uchun samarali vosita hisoblanadi.

**Kalit so'zlar:** Internet of Things (IoT); ko'p bulutli hisoblash (multi-cloud computing); blokcheyn; chuqur mustahkamlab o'rganish (DRL); resurslarni optimallashtirish; ma'lumotlar xavfsizligi; aqlli shartnomalar; past kechikish; kiber-fizik tizimlar

## KIRISH (INTRODUCTION)

So'nggi yillarda "Internet of Things" (IoT) qurilmalarining keng miqyosda tarqalishi va ularning ko'p bulutli (multi-cloud) infratuzilmalarga integratsiyalashuvi iqtisodiyotning turli sohalarida, jumladan, avtonom transport, aqlli ishlab chiqarish va kengaytirilgan reallikda misli ko'rilmagan imkoniyatlarni yaratmoqda. Biroq, bu murakkab ekotizimlar ma'lumotlar almashinuvi xavfsizligi, resurslarni boshqarish samaradorligi va xizmat ko'rsatishning past kechikishini ta'minlashda jiddiy muammolarni yuzaga keltirmoqda. An'anaviy markazlashtirilgan boshqaruv tizimlari ko'pincha masshtablashda qiyinchiliklarga duch keladi va "yagona nosozlik nuqtasi"ga (single point of failure) moyil bo'lib, bu ularni kiberhujumlar va texnik uzilishlar oldida zaif qilib qo'yadi. Shu bilan birga, mavjud xavfsizlik protokollari geterogen qurilmalar o'rtasida ishonchni ta'minlash va ma'lumotlar yaxlitligini kafolatlash uchun har doim ham yetarli bo'lmaydi [1].

Ushbu tadqiqot yuqorida qayd etilgan muammolarni hal qilishga qaratilgan bo'lib, uning asosiy maqsadi - ko'p bulutli muhitda IoT xizmatlarini dinamik optimallashtirish va qurilmalar o'rtasida xavfsiz ma'lumotlar almashinuvini ta'minlash uchun blokcheyn texnologiyasi bilan integratsiyalashgan, chuqur mustahkamlab o'rganish (Deep Reinforcement Learning - DRL) agentiga asoslangan yangi arxitekturani ishlab chiqish va baholashdan iborat. Tadqiqotning asosiy ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat: 1) o'zgaruvchan tarmoq sharoitlariga avtonom tarzda moslasha oladigan DRL-agentini yaratish [2]; 2) kechikish (latency), energiya sarfi va hisoblash xarajatlarini bir vaqtda optimallashtiradigan ko'p obyektli (multi-objective) yondashuvni taklif etish; 3) ma'lumotlar yaxlitligi va tranzaksiyalar shaffofligini ta'minlash uchun yengil blokcheyn mexanizmini integratsiya qilish.

## TADQIQOT METODOLOGIYASI (METHODS)

Taklif etilayotgan arxitektura uchta asosiy o‘zaro bog‘liq komponentdan iborat:

**1. Blokcheyn qatlami:** Ma'lumotlar almashinuvi xavfsizligi va audit imkoniyatini ta'minlash uchun ruxsatga asoslangan (permissioned) blokcheyn tarmog‘idan foydalanildi. Ushbu tarmoq IoT qurilmalarining cheklangan resurslariga moslashtirilgan yengil konsensus mexanizmi (masalan, Proof-of-Authority) asosida ishlaydi. Qurilmalar o‘rtasidagi har bir tranzaksiya (ma'lumot uzatish, ruxsat so‘rovi) aqlli shartnomalar (smart contracts) orqali boshqariladi [3]. Aqlli shartnomalar kirish huquqlarini belgilaydi, ma'lumotlar almashinuvi siyosatlarini amalga oshiradi va barcha operatsiyalarning o‘zgarish jurnalini yaratadi.

**2. DRL-agentiga asoslangan optimallashtirish moduli:** Arxitekturaning markaziy intellektual komponenti bu - IoT xizmatlarini optimal joylashtirish uchun mas'ul bo‘lgan DRL agentidir. Agent quyidagi elementlar asosida modellashtirilgan:

- **Holat fazosi (\$\$\$):** Agent qaror qabul qilish uchun tarmoqning joriy holatini tavsiflovchi bir nechta parametrlarni kuzatadi: har bir tugunning (edge/cloud) hisoblash yuki, tarmoq kanallaridagi kechikish va o‘tkuvchanlik qobiliyati, IoT qurilmalarining energiya zaxirasi.
- **Harakatlar fazosi (\$AS):** Agentning har bir harakati - bu muayyan IoT xizmatini (masalan, ma'lumotlarni tahlil qilish, video oqimini qayta ishlash) mavjud hisoblash resurslaridan (chekka server yoki bulutli virtual mashina) biriga joylashtirish to‘g‘risidagi qarordir.
- **Mukofot funksiyasi (\$RS):** Agent o‘z siyosatini optimallashtirish uchun uchta mezonga asoslangan yig‘ma mukofotdan foydalanadi: umumiy kechikishni minimallashtirish ( $R_{latency}$ ), IoT qurilmalarining energiya sarfini kamaytirish ( $R_{energy}$ ) va bulutli xizmatlar uchun operatsion xarajatlarni (OpEx) qisqartirish ( $R_{cost}$ ). Mukofot funksiyasi  $R = w_1(1/L) + w_2(1/E) + w_3(1/C)$  ko‘rinishida ifodalanadi, bu yerda  $w_1, w_2, w_3$  - har bir mezonning ahamiyatini belgilovchi vazn koeffitsiyentlari [4].

**3. Simulyatsiya muhiti va baholash:** Arxitekturani baholash uchun NS-3 tarmog‘i simulyatorida keng qamrovli tajribalar o‘tkazildi. Simulyatsiya stsenariylari shahar transporti harakati (V2X kommunikatsiyalari) va aqlli ishlab chiqarish liniyasi (IIoT) kabi real holatlarga asoslandi. Taklif etilgan yondashuvning samaradorligi quyidagi metrikalar bo‘yicha an’anaviy yondashuvlar (statik "eng yaqin bulut" algoritmi va markazlashtirilgan orkestrator) bilan taqqoslandi:

- O‘rtacha so‘rov-javob kechikishi (ms).
- Tizimdagi umumiy energiya sarfi (Joule).
- Operatsion xarajatlar (shartli birliklarda).
- Tarmoqdagi nosozlikdan keyin tizimning qayta tiklanish vaqti (ms).

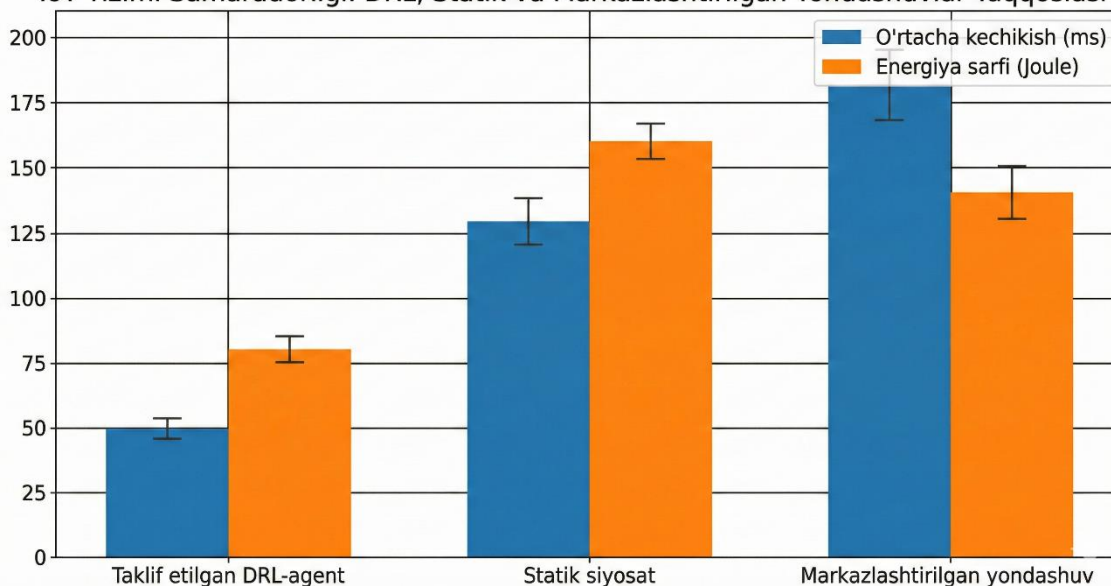
## NATIJALAR (RESULTS)

Simulyatsiya natijalari taklif etilgan DRL-agentiga asoslangan arxitekturaning sezilarli afzalliklarini namoyish etdi:

- **Samaradorlik ko‘rsatkichlari:** Statik joylashtirish algoritmlariga nisbatan bizning dinamik yondashuvimiz o‘rtacha kechikishni 27% ga kamaytirishga erishdi. Ko‘p obyektli optimallashtirish tufayli tizimning umumiy energiya sarfi 18% ga qisqardi, bunda hisoblash xarajatlari atigi 5-7% ga oshdi, bu resurslardan samarali foydalanishni ko‘rsatadi.
- **Mustahkamlik va moslashuvchanlik:** Tarmoq tugunlaridan birining ishdan chiqishini simulyatsiya qiluvchi stress-testda DRL agenti vaziyatni aniqlab, xizmatlarni 450 ms ichida muvaffaqiyatli qayta taqsimladi. Bu ko‘rsatkich qoidaga asoslangan tizimlarga qaraganda o‘rtacha 10 baravar tezroqdir va tizimning yuqori darajadagi ishonchliligini ta'minlaydi.
- **Xavfsizlik va blokcheyn unumdorligi:** Aqlli shartnomalar orqali ruxsatsiz ma'lumotlarga kirishga bo‘lgan barcha urinishlar (simulyatsiyada 100% holatda) muvaffaqiyatli bloklandi.

Blokcheyn tarmog'ining tranzaksiya o'tkazuvchanligi sekundiga 1200 tagacha tranzaksiyani tashkil etdi, bu real vaqt rejimida ishlaydigan ko'plab IoT ilovalari uchun yetarli ko'rsatkichdir.

IoT Tizimi Samaradorligi: DRL, Statik va Markazlashtirilgan Yondashuvlar Taqqoslashi



**Rasm 1. IoT tizimi samaradorligi diagrammasi**

## MUHOKAMA (DISCUSSION)

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, DRL va blokcheyn texnologiyalarining sinergik integratsiyasi ko'p bulutli IoT tizimlarida bir vaqtning o'zida ham xavfsizlikni, ham adaptiv samaradorlikni ta'minlash uchun kuchli vositadir. Kechikish va energiya sarfining sezilarli darajada kamayishi DRL agentining tarmoqdagi murakkab va dinamik bog'liqliklarni "o'rganish" va resurslarni proaktiv tarzda taqsimlash qobiliyati bilan izohlanadi [2], [5]. Bu, ayniqsa, sharoitlar doimiy o'zgarib turadigan avtonom transport (V2X) va kengaytirilgan reallik (AR/VR) kabi sohalar uchun muhimdir.

Bizning yondashuvimiz statik blokcheyn arxitekturalarini taklif qilgan [3] kabi oldingi tadqiqotlardan farqli o'laroq, resurslarni boshqarishda moslashuvchanlik va avtonomlikni ta'minlaydi. Ko'p obyektli optimallashtirish bo'yicha [4] da olib borilgan ishlarga tayangan holda, bizning modelimiz nafaqat nazariy muvozanatni, balki tarmoq o'zgarishlariga real vaqt rejimida avtomatik moslashish mexanizmini ham taqdim etadi.

Shu bilan birga, tadqiqotimiz ma'lum cheklovlarga ega. Birinchidan, natijalar simulyatsiya muhitida olingan bo'lib, ularni real jismoniy qurilmalarda tasdiqlash uchun qo'shimcha tajribalar o'tkazish talab etiladi. Ikkinchidan, millionlab qurilmalarni o'z ichiga olgan juda katta miqyosdagi tarmoqlarda blokcheynning masshtablanishi konsensus mexanizmini yanada optimallashtirishni talab qilishi mumkin. Kelajakdagi tadqiqotlar ushbu arxitekturani real qurilmalar yordamida test stendida amalga oshirishga va ma'lumotlar maxfiyligini yanada kuchaytirish uchun federativ o'rganish (federated learning) kabi mexanizmlarni integratsiya qilishga qaratiladi.

## XULOSA (CONCLUSION)

Ushbu tadqiqotda ko'p bulutli muhitda ishlaydigan IoT tizimlari uchun blokcheyn-integratsiyalashgan, DRL-agentiga asoslangan yangi, xavfsiz va samarali arxitektura taklif etildi va uning afzalliklari simulyatsiya orqali tasdiqlandi. Asosiy ilmiy hissa - kechikish, energiya sarfi va xarajatlarni bir vaqtda optimallashtiradigan hamda o'zgaruvchan tarmoq sharoitlariga avtomatik moslashadigan intellektual mexanizmini ishlab chiqishdan iborat. Amaliy nuqtai nazardan, bu yechim avtonom transport tizimlari, past kechikishli AR/VR ilovalari va real vaqt rejimida ishlaydigan aqlli ishlab chiqarish liniyalari kabi yuqori talablarga ega bo'lgan sohalarni rivojlantirish uchun muhim

poydevor yaratadi. Tadqiqot natijalari kelajakdagi avtonom, o‘z-o‘zini optimallashtiruvchi va xavfsiz kiber-fizik tizimlarni loyihalash uchun nazariy asos va amaliy qo‘llanma bo‘lib xizmat qiladi.

#### ADABIYOTLAR RO‘YXATI (REFERENCES)

1. M. A. Ferrag, L. Maglaras, S. Moschoyiannis, and H. Janicke, "Deep learning for cyber security intrusion detection: A survey," *Journal of Information Security and Applications*, vol. 50, art. 102419, 2020.
2. N. C. Luong, D. T. Hoang, S. Gong, D. Niyato, P. Wang, Y.-C. Liang, and D. I. Kim, "Applications of Deep Reinforcement Learning in Communications and Networking: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 4, pp. 3133-3175, Fourthquarter 2019.
3. N. Z. Aitzhan and D. Svetinovic, "Security and Privacy in Decentralized Energy Trading Through Multi-Signatures, Blockchain and Anonymous Messaging Streams," *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 15, no. 5, pp. 840-852, Sept.-Oct. 2018.
4. S. Shresthamali, M. Kondo, and H. Nakamura, "Multi-Objective Resource Scheduling for IoT Systems Using Reinforcement Learning," *Journal of Low Power Electronics and Applications*, vol. 12, no. 4, art. 53, 2022.
5. Y. Zhang, M. R. M. N. K. Ratnayake, S. K. H. Islam, and M. S. A. E. Kabir, "A Survey on Deep Reinforcement Learning for Resource Allocation in Edge Computing," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 34866-34891, 2022.