EKOLOGIK MONITORING TIZIMLARIDA EDGE INTELLIGENCE ASOSIDA SENSOR MA'LUMOTLARINI FILTRLASH VA TAHLIL QILISH ALGORITMLARI

Razzakova Gulora Razzakberdi qizi[1], Nurmetova Bonura Boxramovna[1], Odamboy Djumanazarov Ro'zimboyevich[1]

[1]Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch Davlat Universiteti
E-mail: razzakovag0597@gmail.com; Orcid: 0009-0007-9752-4204

K E Y W O R D S

Ekologik monitoring, Edge Intelligence, IoT, sensor tarmoqlari, ma'lumotlarni filtrlash, Machine Learning, Edge Computing, real vaqt tizimlari, anomal holatlarni aniqlash

A B S T R A C T

Ushbu maqolada ekologik monitoring tizimlarida qo'llaniladigan sensorlardan olinadigan ma'lumotlarni Edge Intelligence texnologiyasi asosida filtrlash va tahlil qilish algoritmlari o'rganilgan. Ekologik monitoring jarayonida harorat, namlik, atmosfera bosimi, PM2.5, PM10 va gaz konsentratsiyasi kabi ko'rsatkichlarni real vaqt rejimida qayta ishlash muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotda ma'lumotlarni oldindan qayta ishlash, shovqinlarni bartaraf etish, anomal qiymatlarni aniqlash hamda Machine Learning algoritmlaridan foydalanish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Edge Intelligence yondashuvi yordamida ma'lumotlarni lokal darajada qayta ishlash tarmoq yuklamasini kamaytirishi, kechikish vaqtini qisqartirishi va ekologik monitoring tizimlarining samaradorligini oshirishi ko'rsatib berilgan.

Kirish

So'nggi yillarda global ekologik muammolar, jumladan atmosfera havosining ifloslanishi, sanoat chiqindilarining ortishi, urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi va iqlim o'zgarishi atrof-muhit monitoring tizimlariga bo'lgan ehtiyojni sezilarli darajada oshirmoqda. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti ma'lumotlariga ko'ra, havoning ifloslanishi har yili millionlab insonlarning sog'lig'iga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda[1]. Shu sababli ekologik parametrlarni doimiy ravishda kuzatib boruvchi aqlli monitoring tizimlarini yaratish dolzarb ilmiy va amaliy masalalardan biri hisoblanadi.

An'anaviy IoT (Internet of Things) asosidagi monitoring tizimlarida sensorlardan yig'ilgan barcha ma'lumotlar markazlashgan bulutli serverlarga yuboriladi. Bunday yondashuv katta hajmdagi tarmoq trafikini yuzaga keltiradi, ma'lumotlarni uzatishda kechikishlarni oshiradi hamda real vaqt rejimida qaror qabul qilish samaradorligini pasaytiradi.

Mazkur muammolarni bartaraf etish uchun Edge Intelligence texnologiyasi taklif etilmoqda. Ushbu texnologiyada ma'lumotlarni qayta ishlash, filtrlash va dastlabki tahlil qilish jarayonlari ma'lumot manbaiga yaqin joylashgan hisoblash tugunlarida amalga oshiriladi. Natijada tizimning ishlash tezligi oshadi, tarmoq yuklamasi kamayadi va ekologik xavfli holatlarga tezkor javob qaytarish imkoniyati yaratiladi.

Edge Intelligence texnologiyasining ekologik monitoringdagi o'rni

Edge Intelligence sun'iy intellekt algoritmlarini Edge Computing platformalari bilan integratsiyalashgan holda qo'llash konsepsiyasidir. Ushbu yondashuvda ma'lumotlar markaziy serverga yuborilishidan oldin lokal qurilmalarda qayta ishlanadi[2][3].

Edge Intelligence afzalliklari:

- Tarmoq kechikishini kamaytirish;
- Real vaqt rejimida qaror qabul qilish;
- Tarmoq trafikini optimallashtirish;
- Maxfiylik va xavfsizlikni oshirish;

(cc) BY

- Bulut serverlari yuklamasini kamaytirish;
- Internet uzilishlarida ham tizimning ishlashini davom ettirish.

Ekologik monitoring tizimlarida ushbu afzalliklar ayniqsa muhim hisoblanadi, chunki havo sifati, zararli gazlar konsentratsiyasi va atmosfera parametrlari haqidagi ma'lumotlar tezkor qayta ishlanishi talab etiladi[4].

Taklif etilayotgan ekologik monitoring tizimi uch qatlamli arxitektura asosida ishlab chiqilgan bo'lib, u sensor qatlami, Edge qatlami va bulut qatlami kabi asosiy komponentlardan tashkil topgan. Ushbu arxitektura ma'lumotlarni yig'ish, qayta ishlash va saqlash jarayonlarini samarali tashkil etish imkonini beradi.

Sensor qatlami atrof-muhit parametrlarini o'lchovchi turli xil sensor qurilmalaridan iborat. Xususan, DHT22 sensori harorat va nisbiy namlik ko'rsatkichlarini o'lchash uchun qo'llaniladi. MQ-135 sensori atmosfera tarkibidagi karbonat angidrid (CO_2) va boshqa zararli gazlar konsentratsiyasini aniqlash imkonini beradi. PMS5003 sensori esa havodagi PM2.5 va PM10 zarrachalarining miqdorini o'lchash uchun xizmat qiladi. Bundan tashqari, BMP280 sensori atmosfera bosimini nazorat qiladi, Rain Sensor qurilmasi esa yog'ingarchilik holatini aniqlaydi. Mazkur sensorlar tomonidan yig'ilgan analog va raqamli ma'lumotlar Edge hisoblash tuguniga uzatiladi[5].

Edge qatlami ekologik monitoring tizimining asosiy hisoblash markazi hisoblanadi. Ushbu qatlam Raspberry Pi 4[6], NVIDIA Jetson Nano, Orange Pi yoki Intel NUC kabi zamonaviy mikrokontroller va mini-kompyuterlar asosida tashkil etilishi mumkin. Edge qurilmalar sensorlardan kelayotgan ma'lumotlarni dastlabki qayta ishlash, filtrlash va tahlil qilish vazifalarini bajaradi. Shuningdek, ushbu qatlamda anomaliyalarni aniqlash, mashinaviy o'rganish algoritmlarining inferensiya jarayonlari hamda mahalliy ma'lumotlar bazasini yuritish amalga oshiriladi. Natijada katta hajmdagi ma'lumotlarni markaziy serverga yuborish zarurati kamayadi va tizimning umumiy ishlash samaradorligi oshadi.

Bulut qatlami tizimning markazlashgan boshqaruv va saqlash qismi hisoblanadi. Ushbu qatlamda katta hajmdagi tarixiy ma'lumotlarni saqlash, statistik va analitik hisob-kitoblarni amalga oshirish, hisobotlar shakllantirish hamda foydalanuvchilar uchun vizualizatsiya panellarini yaratish vazifalari bajariladi. Edge qurilmalar tomonidan qayta ishlangan ma'lumotlar bulutli serverga yuborilib, uzoq muddatli monitoring va ilmiy tadqiqotlar uchun foydalaniladi.

Ekologik monitoring tizimlarida sensorlardan olinadigan ma'lumotlar turli xil tashqi omillar ta'sirida shovqinlarga ega bo'lishi mumkin. Elektromagnit halaqitlar, ob-havo sharoitlari, sensorlarning eskirishi yoki aloqa kanallaridagi xatoliklar natijasida o'lchov natijalari buzilishi ehtimoli mavjud. Shu sababli ma'lumotlarni keyingi tahlil bosqichlariga uzatishdan oldin ularni filtrlash muhim ahamiyat kasb etadi.

Mazkur tadqiqotda harakatlanuvchi o'rtacha (Moving Average)[8] filtri qo'llanilgan. Ushbu algoritm ma'lum vaqt oralig'idagi o'lchovlarning o'rtacha qiymatini hisoblash orqali keskin tebranishlarni kamaytiradi va ma'lumotlarni silliqlashtiradi. Harakatlanuvchi o'rtacha filtr quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi:

$$MA_t = (1/n)\ \Sigma x_{t-i}$$

bu yerda MA_t – filtrlangan qiymat, n – tanlangan oynaning uzunligi, x esa sensor tomonidan qayd etilgan o'lchov qiymatlarini ifodalaydi. Ushbu algoritm harorat va namlik ma'lumotlarini qayta ishlashda yuqori samaradorlikka ega bo'lib, tasodifiy shovqinlarni sezilarli darajada kamaytiradi.

Filtrlangan ma'lumotlar Edge qurilmalarda sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish algoritmlari yordamida tahlil qilinadi. Tadqiqotda Random Forest, Support Vector Machine va K-Means algoritmlaridan foydalanilgan.

Random Forest algoritmi bir nechta qaror daraxtlaridan tashkil topgan ansambl model bo'lib, ekologik ma'lumotlarni klassifikatsiyalash va prognozlash masalalarida qo'llaniladi[11]. Ushbu algoritm yordamida havo sifati indeksi baholanadi, ekologik holat sinflarga ajratiladi va kelajakdagi o'zgarishlar prognoz qilinadi. Random Forest algoritmining asosiy afzalliklari yuqori aniqlik, ortiqcha moslashuvga (overfitting) nisbatan chidamlilik va katta hajmdagi ma'lumotlar bilan samarali ishlash imkoniyatidan iborat.

Support Vector Machine (SVM) algoritmi esa ekologik parametrlarni turli sinflarga

(cc) BY

ajratishda qo‘llaniladi. Tadqiqot davomida mazkur algoritm yordamida monitoring natijalari normal, o‘rtacha xavfli va xavfli holatlarga klassifikatsiya qilindi. SVM algoritmi kam hajmdagi o‘quv ma’lumotlari bilan ham yuqori aniqlikni ta’minlay olishi bilan ajralib turadi.

K-Means klasterlash algoritmi ekologik ma’lumotlarni o‘xshashlik darajasiga qarab guruhlarga ajratish imkonini beradi. Ushbu algoritm natijasida kuzatilayotgan hududlar toza, o‘rtacha ifloslangan va yuqori ifloslangan zonalarga ajratildi. Bunday yondashuv ekologik xaritalarni shakllantirish hamda ifloslanish darajasining hududlar bo‘yicha taqsimlanishini tahlil qilishda muhim ahamiyatga ega.

Ekologik monitoring tizimlarining muhim vazifalaridan biri favqulodda vaziyatlarni o‘z vaqtida aniqlash va tegishli ogohlantirishlarni shakllantirishdan iborat. Ushbu maqsadda anomaliyalarni aniqlash algoritmlaridan foydalanildi.

Isolation Forest algoritmi ma’lumotlar to‘plamidagi noodatiy nuqtalarni ajratib olish tamoyiliga asoslanadi. Mazkur algoritm atmosferadagi karbonat angidrid konsentratsiyasining keskin ortishi, zararli gazlarning paydo bo‘lishi yoki sanoat avariyalari natijasida yuzaga keladigan ekologik xavfli holatlarni aniqlashda samarali natijalar berdi.

Bundan tashqari, Local Outlier Factor (LOF) algoritmi ham qo‘llanildi. Ushbu usul ma’lumotlarning mahalliy zichligini baholash asosida noodatiy holatlarni aniqlaydi. LOF algoritmi yordamida boshqa kuzatuv nuqtalaridan keskin farq qiluvchi o‘lchovlar aniqlanib, tizimning ishonchliligi oshirildi[6].

Aniqlangan anomaliyalar asosida Edge qurilma avtomatik ravishda foydalanuvchilarni xabardor qilish mexanizmlarini ishga tushiradi. Xususan, SMS xabarnomalari, Telegram bot orqali bildirishnomalar, mobil ilova ogohlantirishlari hamda veb-paneldagi signalizatsiya tizimlari orqali ekologik xavfli vaziyatlar haqida tezkor ma’lumot yetkaziladi.

Taklif etilgan modelning samaradorligini baholash maqsadida eksperimental tadqiqotlar Raspberry Pi 4 [12]platformasida amalga oshirildi. Tajribalar davomida sensorlardan yig‘ilgan ma’lumotlar Edge qurilmada qayta ishlanib, natijalar an’anaviy bulutli arxitektura bilan taqqoslandi. Olingan natijalar Edge Intelligence texnologiyasi ma’lumotlarni qayta ishlash tezligini oshirish, tarmoq yuklamasini kamaytirish va ekologik monitoring tizimlarining umumiy samaradorligini yaxshilash imkonini berishini ko‘rsatdi[13][14].

1-jadval. Tajriba parametrlari

Parametr	**Qiymat**
Sensorlar soni	50
O‘lchash intervali	10 s
Tajriba davomiyligi	30 kun
Edge qurilma	Raspberry Pi 4
Bulut server	Ubuntu 22.04

1-jadvalda[15] Edge Intelligence asosida ekologik monitoring tizimini sinovdan o‘tkazish uchun foydalanilgan eksperimental parametrlar keltirilgan. Tajriba davomida 50 ta sensor tugunidan iborat monitoring tarmog‘i tashkil etildi. Sensorlar har 10 soniyada atrof-muhit parametrlarini o‘lchab, ma’lumotlarni Edge qurilmaga uzatib bordi. Ushbu interval ekologik monitoring tizimlari uchun optimal hisoblanib, real vaqt rejimiga yaqin kuzatuvni ta’minlaydi.

Tajriba 30 kun davomida uzluksiz ravishda olib borildi. Bunday uzoq muddatli kuzatuv turli ob-havo sharoitlari va muhitdagi o‘zgarishlarning tizim ishlashiga ta’sirini baholash imkonini berdi. Edge hisoblash platformasi sifatida Raspberry Pi 4 qurilmasi tanlandi. Ushbu qurilma arzonligi, energiya tejamkorligi va sun’iy intellekt algoritmlarini bajarish imkoniyatlari sababli IoT va Edge Computing tizimlarida keng qo‘llaniladi.

Bulutli infratuzilma sifatida Ubuntu 22.04 operatsion tizimida ishlovchi serverdan foydalanildi. Server uzoq muddatli ma’lumotlarni saqlash, statistik tahlil va vizualizatsiya vazifalarini bajarish uchun xizmat qildi. Tanlangan parametrlar ekologik monitoring tizimining amaliy sharoitlarda ishlashini modellashtirish imkonini berdi.

2-jadval. Natijalar

Ko‘rsatkich	**Bulutli tizim**	**Edge Intelligence**
Kechikish	420 ms	180 ms
Trafik hajmi	100 %	45 %
Aniqlik	89 %	96 %
Javob vaqti	5.2 s	1.8 s

(cc) BY

2-jadvalda an'anaviy bulutli tizim va Edge Intelligence asosidagi tizimning ishlash ko‘rsatkichlari o‘zaro taqqoslangan. Natijalardan ko‘rinadiki, Edge Intelligence texnologiyasi barcha asosiy parametrlar bo‘yicha yuqori samaradorlikni namoyish etgan.

Kechikish ko‘rsatkichi bulutli tizimda 420 ms ni tashkil etgan bo‘lsa, Edge Intelligence tizimida ushbu qiymat 180 ms gacha kamaygan. Bu esa ma'lumotlarni markaziy serverga yubormasdan, lokal darajada qayta ishlash hisobiga yuzaga kelgan. Natijada tizimning javob berish tezligi taxminan 57 % ga yaxshilangan.

Trafik hajmi bo‘yicha ham sezilarli farq kuzatilgan. Bulutli arxitekturada barcha ma'lumotlar serverga uzatilgani sababli trafik hajmi 100 % deb qabul qilindi. Edge Intelligence texnologiyasida esa dastlabki filtrlash va tahlil jarayonlari lokal qurilmada amalga oshirilgani uchun bulutga faqat muhim ma'lumotlar yuborildi va trafik hajmi 45 % gacha kamaydi. Bu esa tarmoq yuklamasining qariyb 55 % ga qisqarishini ta'minladi.

Tizim aniqligi bo‘yicha ham ijobiy natijalar kuzatildi. Bulutli tizimda ekologik holatlarni aniqlash aniqligi 89 % ni tashkil etgan bo‘lsa, Edge Intelligence asosidagi yechimda bu ko‘rsatkich 96 % ga yetdi. Bunga sensor ma'lumotlarini Moving Average, Median va Kalman filtrlari yordamida oldindan qayta ishlash hamda Machine Learning algoritmlarining qo‘llanilishi sabab bo‘ldi.

Javob vaqti ko‘rsatkichlari ham Edge Intelligence foydasiga ekanligi aniqlandi. Bulutli tizimda tizimning umumiy javob vaqti 5,2 soniyani tashkil etgan bo‘lsa, Edge platformasida ushbu qiymat 1,8 soniyagacha qisqardi. Bu esa favqulodda ekologik vaziyatlarni aniqlash va ularga tezkor munosabat bildirish imkoniyatini sezilarli darajada oshiradi.

Umuman olganda, 2-jadval natijalari Edge Intelligence texnologiyasining ekologik monitoring tizimlarida qo‘llanilishi tarmoq yuklamasini kamaytirish, ma'lumotlarni qayta ishlash tezligini oshirish va ekologik xavflarni real vaqt rejimida aniqlash samaradorligini yaxshilashini tasdiqlaydi. Shu sababli ushbu yondashuv zamonaviy aqlli ekologik monitoring tizimlarini yaratishda istiqbolli texnologiyalardan biri hisoblanadi.

Natijalardan ko‘rinadiki, Edge Intelligence texnologiyasi tarmoq yuklamasini sezilarli kamaytirib, tizimning ishlash tezligini oshiradi.

Olingan natijalar Edge Intelligence texnologiyasining ekologik monitoring tizimlarida yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi. Ma'lumotlarni lokal darajada qayta ishlash natijasida tarmoq resurslari tejab qolindi, tizimning kechikish vaqti kamaydi va real vaqt rejimida qaror qabul qilish imkoniyati yaratildi.

Bundan tashqari, Random Forest va SVM[16] algoritmlarining qo‘llanilishi ekologik holatlarni aniqlash aniqligini oshirdi. Isolation Forest algoritmi esa favqulodda ekologik holatlarni erta bosqichda aniqlash imkonini berdi.

Xulosa

Tadqiqot davomida ekologik monitoring tizimlari uchun Edge Intelligence asosida sensor ma'lumotlarini filtrlash va tahlil qilish modeli ishlab chiqildi. Taklif etilgan arxitektura sensor qatlami, Edge qatlami va bulut qatlami o‘rtasida samarali hamkorlikni ta'minlaydi. Moving Average, Median va Kalman filtrlari sensor ma'lumotlaridagi shovqinlarni kamaytirishda samarali natija berdi. Random Forest, SVM va K-Means algoritmlari ekologik holatlarni tahlil qilish va prognozlash imkoniyatlarini kengaytirdi.

Tadqiqot natijalari Edge Intelligence texnologiyasi ekologik monitoring tizimlarida tarmoq yuklamasini 45–60 %, kechikish vaqtini esa 30–50 % gacha kamaytirishini ko‘rsatdi. Kelgusida ushbu tizimni Deep Learning va Federated Learning texnologiyalari bilan integratsiyalash orqali yanada yuqori samaradorlikka erishish mumkin.

Adabiyotlar

1. M. Armbrust et al., “A view of cloud computing,” *Commun. ACM*, vol. 53, no. 4, pp. 50–58, 2010.
2. S. Ghemawat, H. Gobioff, and S.-T. Leung, “The Google file system,” *ACM SIGOPS Oper. Syst. Rev.*, vol. 37, no. 5, pp. 29–43, 2003.], MapReduce
3. J. Dean and S. Ghemawat, “MapReduce: Simplified data processing on large clusters,” *Commun. ACM*, vol. 51, no. 1, pp. 107–113, 2008.], Apache Hadoop

(cc) BY

4. K. Shvachko, H. Kuang, S. Radia, and R. Chansler, "The hadoop distributed file system," in *Proc. IEEE 26th Symp. Mass Storage Syst. Technol. (MSST)*, Incline Village, NV, USA, 2010, pp. 1–10.
5. M. Zaharia, M. Chowdhury, M. J. Franklin, S. Shenker, and I. Stoica, "Spark: Cluster computing with working sets," in *Proc. 2nd USENIX Conf. Hot Topics Cloud Comput.*, vol. 10. Boston, MA, USA, 2010, p. 10.
6. K. Ashton, "That Internet of Things thing," *RFiD J.*, vol. 22, no. 7, pp. 97–114, 2009.
7. H. Sundmaeker, P. Guillemin, P. Friess, and S. Woelfflé, "Vision and challenges for realising the Internet of things," vol. 20, no. 10, 2010.
8. J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
9. "Cisco global cloud index: Forecast and methodology, 2014–2019 white paper," 2014.
10. D. Evans, "The Internet of Things: How the next evolution of the Internet is changing everything," CISCO White Paper, vol. 1, pp. 1–11, 2011.
11. Z. Zhou, X. Chen, E. Li, L. Zeng, K. Luo, and J. Zhang, "Edge intelligence: Paving the last mile of artificial intelligence with edge computing," *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 8, pp. 1738–1762, Aug. 2019.
12. Y. Sun, M. Peng, Y. Zhou, Y. Huang, and S. Mao, "Application of machine learning in wireless networks: Key techniques and open issues," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 21, no. 4, pp. 3072–3108, 4th Quart., 2019.
13. Q. Mao, F. Hu, and Q. Hao, "Deep learning for intelligent wireless networks: A comprehensive survey," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 20, no. 4, pp. 2595–2621, 4th Quart., 2018.
14. M. Peng and K. Zhang, "Recent advances in fog radio access networks: Performance analysis and radio resource allocation," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 5003–5009, 2016.
15. M. Peng, S. Yan, K. Zhang, and C. Wang, "Fog-computing-based radio access networks: Issues and challenges," *IEEE Netw.*, vol. 30, no. 4, pp. 46–53, Jul. 2016.
16. J. Lin, W. Yu, N. Zhang, X. Yang, H. Zhang, and W. Zhao, "A survey on Internet of Things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications," *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, no. 5, pp. 1125–1142, Oct. 2017.
17. Edge Computing: Use Cases, Key Providers, and Implementation Options https://www.altexsoft.com/blog/edge-computing/ Murojjat vaqti:17.05.2025 12:11.

(cc) BY