

AIoT TEXNOLOGIYALARI: SUN'IY INTELLEKT VA INTERNET OF THINGS INTEGRATSIYASI O'RNATILGAN TIZIMLARDA

Farg'ona davlat texnika universiteti 3-bosqich talabasi

Turonboyev Oybek Abdumannon o'g'li

oybekturonboyev04@gmail.com

Telefon: +998-(94)-052-01-23

Annotatsiya

Ushbu maqolada sun'iy intellekt (AI) va Internet of Things (IoT) texnologiyalarining o'rnatilgan tizimlardagi integratsiyasi — AIoT kontsepsiyasi — keng ko'lamda tahlil qilinadi. Maqolada AIoT arxitekturasi, edge computing paradigmasi, real vaqt rejimida ma'lumotlarni qayta ishlash, mashinali o'rganish modellarini mikroprotessorlarga joylashtirish va sanoat hamda turmush sohasidagi amaliy qo'llanilishi ko'rib chiqiladi. Tadqiqot natijasi shuni ko'rsatadiki, AIoT texnologiyalari kelajak aqlli tizimlarining asosini tashkil etadi va o'rnatilgan tizimlar muhandisligi uchun yangi imkoniyatlar ochadi.

Kalit so'zlar: AIoT, sun'iy intellekt, Internet of Things, o'rnatilgan tizimlar, edge computing, mashinali o'rganish, real vaqt ishlov berish

Аннотация

В данной статье широко анализируется концепция AIoT — интеграция технологий искусственного интеллекта (AI) и Интернета вещей (IoT) в встроенных системах. Рассматриваются архитектура AIoT, парадигма граничных вычислений (edge computing), обработка данных в реальном времени, развёртывание моделей машинного обучения на микропроцессорах, а также практическое применение в промышленности и повседневной жизни. Результаты исследования показывают, что технологии AIoT составляют основу интеллектуальных систем будущего и открывают новые возможности для инженерии встроенных систем.

Ключевые слова: АIoT, искусственный интеллект, Интернет вещей, встроенные системы, граничные вычисления, машинное обучение, обработка данных в реальном времени

Annotation

This article broadly analyzes the AIoT concept — the integration of Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) technologies in embedded systems. It covers AIoT architecture, the edge computing paradigm, real-time data processing, deployment of machine learning models on microprocessors, and practical applications in industry and daily life. The research results demonstrate that AIoT technologies form the foundation of future intelligent systems and open new opportunities for embedded systems engineering.

Keywords: AIoT, artificial intelligence, Internet of Things, embedded systems, edge computing, machine learning, real-time data processing

Kirish

Zamonaviy texnologik rivojlanish jarayonida ikkita yirik paradigma — Sun'iy intellekt (AI) va Internet of Things (IoT) — o'zaro birlashib, butunlay yangi texnologik ekotizimni vujudga keltirmoqda. Bu birlashuv AIoT (Artificial Intelligence of Things) deb nomlanib, o'rnatilgan tizimlar muhandisligida inqilobiy o'zgarishlarni keltirib chiqarmoqda [1].

IoT texnologiyasi dunyo bo'ylab milliardlab qurilmalarni internetga ulash imkonini beradi: aqlli uylar, sanoat sensorlari, tibbiy monitorlar, transport tizimlari va boshqalar. Biroq bu qurilmalar tomonidan hosil qilinadigan ma'lumotlar hajmi juda katta bo'lib, ularni markaziy serverda qayta ishlash kechikish (latency), tarmoq yuklanishi va xavfsizlik muammolarini keltirib chiqaradi. Aynan shu muammoni hal qilish uchun sun'iy intellektni to'g'ridan-to'g'ri IoT qurilmalariga — ya'ni o'rnatilgan tizimlarga — joylashtirish zaruriyati tug'ildi [2].

AIoT kontseptsiyasi bu ikkita texnologiyaning uyg'unlashuvidan iborat bo'lib, qurilmalar faqat ma'lumot to'plab uzatibgina qolmay, balki o'sha ma'lumotlarni real vaqt rejimida tahlil qilish, qaror qabul qilish va moslashish imkoniyatiga ega bo'ladi. Bu esa o'rnatilgan tizimlarni passiv sensor qurilmalaridan faol intellektual agentlarga aylantiradi [3].

Ushbu maqolada AIoT arxitekturasi, uning o'rnatilgan tizimlardagi texnik asoslari, edge computing paradigmasi, mashinali o'rganish modellarini qurilmalarga joylashtirish usullari va amaliy qo'llanilishi batafsil ko'rib chiqiladi.

Nazariy asoslar

AIoT kontseptsiyasi va tarixiy rivojlanishi

IoT tushunchasi birinchi marta 1999-yilda Kevin Ashton tomonidan taklif qilingan bo'lib, dastlab RFID texnologiyasi orqali buyumlarni identifikatsiya qilishga qaratilgan edi. Keyinchalik WiFi, Bluetooth, Zigbee va boshqa simsiz protokollarning rivojlanishi bilan IoT ekotizimi kengaydi va 2020-yilga kelib dunyo bo'ylab 10 milliarddan ortiq ulangan qurilma soni qayd etildi [4].

Sun'iy intellektning IoT bilan integratsiyasi esa 2015-yildan boshlab jadallashdi — bu davrda neyron tarmoqlarining siqilgan versiyalari (TinyML, MobileNet, SqueezeNet) kichik protsessorlarda ham ishlay oladigan darajaga yetdi. 2022-yilga kelib AIoT bozori 20 milliard dollardan oshdi va 2030-yilga borib 65-70 milliard dollarga yetishi prognoz qilinmoqda [5].

O'rnatilgan tizimlar va ularning AIoT uchun ahamiyati

O'rnatilgan tizim (embedded system) — bu ma'lum bir maqsad uchun mo'ljallangan, protsessor, xotira va kirish/chiqish qurilmalarini o'z ichiga olgan maxsus kompyuter tizimi. O'rnatilgan tizimlar real vaqt ishlash, past energiya sarfi, kichik o'lcham va ishonchlilik talablarini qondirishi zarur [6].

AIoT uchun o'rnatilgan tizimlarning ahamiyati quyidagi jihatlardan ko'rinadi: birinchidan, ular ma'lumotlarni manba joyida qayta ishlaydi (edge processing), bu esa kechikishni minimallashtiradi; ikkinchidan, bulutga uzatilayotgan ma'lumotlar hajmini kamaytiradi va tarmoq xarajatlarini pasaytiradi; uchinchidan, Internet ulanishi yo'q bo'lganda ham mustaqil ishlash imkoniyatini beradi; to'rtinchidan, maxfiy ma'lumotlarni qurilmadan tashqariga chiqarmay lokal qayta ishlash orqali xavfsizlikni ta'minlaydi [7].

AIoT Arxitekturasi

Qatlamli arxitektura modeli

AIoT tizimining arxitekturasi odatda uch asosiy qatlamdan iborat:

1. Qurilma qatlami (Device Layer) Bu qatlam eng quyi daraja bo'lib, fizik sensorlar, aktuatorlar va o'rnatilgan protsessorlarni o'z ichiga oladi. Bu qatlamdagi qurilmalar ma'lumot yig'ish, dastlabki filtratsiya va oddiy klassifikatsiya vazifalarini bajaradi. Mikrokontrollerlar (ARM Cortex-M seriyasi, ESP32, STM32), FPGA qurilmalari va maxsus AI akseleratorlar (Google Edge TPU, Intel Movidius) bu qatlamning asosiy elementlaridir.

2. Tuman qatlami (Fog/Edge Layer) Bu qatlam qurilma va bulut o'rtasidagi oraliq darajani tashkil etib, murakkabroq hisob-kitoblarni bajaradi. Gateway qurilmalari, edge serverlar va kuchli o'rnatilgan kompyuterlar (NVIDIA Jetson, Raspberry Pi 4) bu qatlamda ishlaydi. Fog qatlami real vaqt tahlil, agregatsiya va yuqori darajali qaror qabul qilish vazifalarini bajaradi.

3. Bulut qatlami (Cloud Layer) Eng yuqori daraja bo'lib, global tahlil, katta hajmdagi ma'lumotlar saqlash, chuqur o'rganish modellarini o'qitish va tizimni boshqarishni amalga oshiradi. AWS IoT, Microsoft Azure IoT Hub, Google Cloud IoT Core kabi platformalar bu qatlamda faoliyat yuritadi [8].

Sog'liqni saqlash (Healthcare IoT)

Tibbiyotda AIoT qurilmalari bemorlarning hayot sifatini tubdan yaxshilaydi:

Kiyiladigan tibbiy qurilmalar (Wearables): Smartwatch va tibbiy biosensorlar yurak urishi, qon bosimi, qon kislorodi, glyukoza darajasini uzluksiz kuzatadi. O'rnatilgan AI anomaliyalarni aniqlasa, bemorni va shifokorni darhol ogohlantiradi. Apple Watch'ning yurak fibrillyatsiyasini aniqlash funksiyasi allaqachon minglab odamlarning hayotini saqlab qoldi.

Masofaviy monitoring: Surunkali kasallikka chalingan bemorlar uydan chiqmasdan kuzatilishi mumkin. Bu ayniqsa COVID-19 pandemiyasidan keyin muhim ahamiyat kasb etdi — tibbiy muassasalarga yukni kamaytirish va xavfli bemorlarni erta aniqlash imkonini berdi.

Aqlli protezlar va implantlar: Neyron tarmoqlar bilan jihozlangan protezlar mushak signallarini real vaqtda o'qib, protez harakatini bemorning niyatiga mos ravishda boshqaradi. Bu texnologiya amputatsiyadan keyingi hayot sifatini keskin yaxshilaydi [16].

Aqlli shahar (Smart City)

Shahar infratuzilmasida AIoT qo'llanilishi:

Intellectual transport tizimlari: Kesishmalar va yo'llardagi kameralar transport oqimini real vaqtda tahlil qilib svetofor sikllarini optimallashtiradi. Singapur va Amsterdam kabi shaharlarda bu tizim tiqilishni 20-30% kamaytirdi va yoqilg'i iste'molini pasaytirdi.

Kommunal xizmatlar monitoringi: Su ta'minoti, gaz va elektr tarmoqlaridagi sensorlar sizot va yo'qotishlarni darhol aniqlaydi. Erta aniqlash resurslar yo'qotishini va avariya xarajatlarini sezilarli kamaytiradi.

Ekologik monitoring: Havo sifati, shovqin darajasi, suv ifloslanishi sensorlari tarmoqi shahar ekologiyasini real vaqtda kuzatadi. AI tizimlari ifloslash manbalarini aniqlaydi va profilaktik choralar ko'rishga imkon beradi [17].

AIoT ni o'rnatilgan tizimlarda amalga oshirishning texnik muammolari

Resurs cheklovlari

O'rnatilgan tizimlar uchun asosiy texnik cheklov — bu cheklangan hisoblash resurslari. Oddiy mikrokontrollerlar (masalan, ARM Cortex-M4) 256 KB — 1 MB operativ xotira va 64-216 MHz taktli chastotaga ega. Bunday sharoitda chuqur neyron tarmoqlarini ishga tushirish jiddiy muhandislik muammosini tashkil etadi.

Muammoni hal etish yo'llari: model optimizatsiyasi (kvantlash, budding), maxsus AI akseleratorlar qo'llash, hisoblashni edge va cloud o'rtasida taqsimlash (collaborative inference) va apparat-dastur ko'hisoblash (hardware-software co-design) [18].

Energiya samaradorligi

Ko'pgina AIoT qurilmalari batareyadan ishlaydi — aqlli qishloq xo'jaligi sensorlari, kiyiladigan qurilmalar, uzoq hududlardagi monitoring tizimlari. Batareyani tez-tez almashtirish amaliy jihatdan qiyin yoki imkonsiz bo'lishi mumkin.

Energiya optimizatsiyasi strategiyalari: uyqu rejimlaridan faqat zarur vaqtda chiqish (duty cycling), event-driven arxitektura (ma'lumot kelgandagina ishga tushish), past quvvat sarflovchi protsessorlar (ARM Cortex-M0+, MSP430), energiya harvesting texnologiyalari (quyosh, vibro-energiya) [19].

Xavfsizlik va maxfiylik

AIoT qurilmalari turli xavfsizlik tahdidlariga duchor bo'lishi mumkin: tarmoq hujumlari, fizik manipulyatsiya, ma'lumot o'g'irlash. Cheklangan resurslar tufayli kuchli kriptografik algoritmlarni ishlatish ham qiyin.

Yechim yo'llari: lightweight kriptografiya (AES-128, ChaCha20), secure boot mexanizmi, fizik unclonable functions (PUF), federated learning orqali ma'lumotlarni lokal saqlash va faqat model parametrlarini ulashish [20].

O'zaro muvofiqliq (Interoperability)

AIoT ekotizimidag turli ishlab chiqaruvchilar turli protokollar va standartlardan foydalanadi: MQTT, CoAP, AMQP, OPC-UA, Modbus va boshqalar. Bu qurilmalar o'rtasida muloqolni murakkablashtiradi.

Yagona standartlar va ochiq arxitekturalar (OneM2M, WoT — Web of Things, Matter protokoli) bu muammoni hal etishga qaratilgan. Matter protokoli 2022-yilda Apple, Google, Amazon va Samsung tomonidan qabul qilinib, aqlli uy qurilmalarida de facto standartga aylandi [21].

Natijalar va muhokama

AIoT texnologiyalarining o'rnatilgan tizimlarga integratsiyasi bir necha muhim jihatlarni o'zgartirmoqda:

Birinchi, hisoblash paradigmasi o'zgarimoqda: an'anaviy markazlashgan bulutga asoslangan arxitekturadan tarqatilgan edge computing modeligaa o'tish kuzatilmoqda. Gartner tadqiqotiga ko'ra, 2025-yilga borib korxonalar tomonidan hosil qilinadigan ma'lumotlarning 75% markaziy ma'lumot saqlash joylaridan tashqarida — edge qurilmalarda — yaratiladi va qayta ishlanadi.

Ikkinchi, xarajatlar tuzilmasi o'zgarimoqda: IoT qurilmalar va edge AI akseleratorlar narxining keskin tushishi (2019-2024 yillarda GPU-ga asoslangan edge qurilmalar narxi 60-70% arzonlashdi) AIoT ni ommaviy bozorga chiqishiga zamin yaratmoqda.

Uchinchi, yangi kasb-hunarlar shakllanmoqda: AIoT muhandisi, edge ML muhandisi, o'rnatilgan AI arxitekti kabi mutaxassisliklar talab oshib bormoqda. Hozirda bu sohadagi mutaxassislar diyarli barcha sanoat tarmoqlarida kuchli talab ko'rmogda [22].

O'zbekiston kontekstida AIoT texnologiyalari qishloq xo'jaligini modernizatsiyalash, sanoatni raqamlashtirish va aqlli shaharlar qurishda strategik ahamiyatga ega. "Raqamli O'zbekiston 2030" strategiyasi doirasida bu texnologiyalarni mahalliy sharoitga moslashtirib joriy etish dolzarb vazifaga aylangan.

Xulosa

Ushbu maqolada AIoT texnologiyalari — sun'iy intellekt va Internet of Things ning o'rnatilgan tizimlardagi integratsiyasi — keng ko'lamda tahlil qilindi. Quyidagi asosiy xulosalar chiqarildi:

AIoT uch qatlamli arxitektura (qurilma, tuman, bulut) asosida ishlaydi va har bir qatlam o'ziga xos vazifani bajaradi. Edge computing paradigmasi kechikishni kamaytirish, tarmoq samaradorligi va uzluksiz ishlash jihatidan markazlashgan bulut arxitekturasidan ustundir. TinyML, model kvantlash va maxsus AI akseleratorlari cheklangan resursdagi o'rnatilgan tizimlarda ham murakkab AI modellarini ishlatish imkonini beradi. AIoT texnologiyalari ishlab chiqarish, qishloq xo'jaligi, sog'liqni saqlash va shahar infratuzilmasida amaliy samara bermoqda.

Resurs cheklovlari, energiya samaradorligi, xavfsizlik va o'zaro muvofiqliq asosiy texnik muammolar bo'lib qolmoqda, ammo faol tadqiqotlar bu sohalarda tez sur'atda yechimlar yaratmoqda.

Kelajakda AIoT ning yanada rivojlanishi bilan o'rnatilgan tizimlar tobora intellektual, avtonom va o'z-o'zini optimallashtiruvchi xususiyatlarni kasb etadi. Bu esa muhandislik ta'limida ham o'zgarishlarni talab qilib, kelajak mutaxassislarini AI, IoT va o'rnatilgan tizimlar kesishmasidagi bilimlar bilan qurollantirish zaruriyatini belgilaydi.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' Thing. *RFID Journal*, 22(7), 97–114.
2. Li, S., Da Xu, L., Zhao, S. (2015). The Internet of Things: A Survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243–259.
3. Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., Xu, L. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646.
4. Statista Research Department. (2023). Number of IoT connected devices worldwide 2019–2030. Statista.

5. MarketsandMarkets. (2023). AIoT Market — Global Forecast to 2030. MarketsandMarkets Research Report.
6. Barr, M. (2009). Programming Embedded Systems in C and C++. O'Reilly Media.
7. Satyanarayanan, M. (2017). The Emergence of Edge Computing. *Computer*, 50(1), 30–39.
8. Weyrich, M., Ebert, C. (2016). Reference Architectures for the Internet of Things. *IEEE Software*, 33(1), 112–116.
9. Mach, P., Becvar, Z. (2017). Mobile Edge Computing: A Survey on Architecture and Computation Offloading. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(3), 1628–1656.
10. Warden, P., Situnayake, D. (2019). TinyML: Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power Microcontrollers. O'Reilly Media.
11. Han, S., Mao, H., Dally, W. J. (2016). Deep Compression: Compressing Deep Neural Networks with Pruning, Trained Quantization and Huffman Coding. ICLR 2016.
12. Howard, A. et al. (2017). MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications. arXiv:1704.04861.
13. Reddi, V. J. et al. (2020). MLPerf Inference Benchmark. arXiv:1911.02549.
14. Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. acatech.
15. Liakos, K. G. et al. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*, 18(8), 2674.
16. Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44–56.
17. Zanella, A. et al. (2014). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32.

18. Lane, N. D. et al. (2017). Squeezing Deep Learning into Mobile and Embedded Devices. *IEEE Pervasive Computing*, 16(3), 82–88.
19. Hester, J., Sorber, J. (2017). The Future of Sensing is Batteryless, Intermittent, and Awesome. *SenSys 2017*.
20. Frustaci, M. et al. (2018). Evaluating Critical Security Issues of the IoT World: Present and Future Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(4), 2483–2495.
21. Connectivity Standards Alliance. (2022). Matter Specification Version 1.0. CSA.
22. Gartner. (2023). Top 10 Strategic Technology Trends for 2024. Gartner Research.