

IOT ASOSIDA MASOFADAN BOSHQARILADIGAN AQLLI ROBOT TIZIMINI ISHLAB CHIQUISH VA SINOVDAN O'TKAZISH

Jamoliddinov Davronjon Farxodjon o'g'li

Toshkent davlat texnika universiteti magistranti

Annotatsiya: Ushbu maqolada “Narsalar interneti” (Internet of Things – IoT) texnologiyasi asosida masofadan boshqariladigan aqlli robototexnik tizimni ishlab chiqish nazariy va texnologik jihatdan tahlil qilinadi. IoT va robototexnika integratsiyasi natijasida real vaqt rejimida ishlovchi, inson aralashuvisiz boshqaruvni amalga oshiruvchi tizim arxitekturasini taklif etiladi. Tizimda sensorlar, mikrokontroller (Arduino, Raspberry Pi), aloqa moduli (ESP8266/ESP32) va bulutli server (ThingSpeak, Firebase) o‘zaro bog‘langan holda ishlaydi. MQTT protokoli asosida ma’lumot almashinuvi amalga oshiriladi. Nazariy tahlil natijalariga ko‘ra, ishlab chiqilgan IoT asosidagi aqlli robot tizimi real vaqt rejimida barqaror aloqa, yuqori aniqlikdagi boshqaruv va kam kechikishli ishlash imkonini beradi. Tizimning ishonchlilik koeffitsienti 99,1% ni tashkil etib, sanoat, ta’lim va monitoring sohaslarida samarali qo‘llanilishi mumkinligi isbotlangan.

Kalit so‘zlar: Narsalar interneti, IoT, aqlli robototexnika, masofadan boshqaruv, sensor tizimlari, bulutli hisoblash, MQTT protokoli, Arduino, Raspberry Pi, ThingSpeak, real vaqt monitoringi, ishonchlilik koeffitsienti

Kirish

So‘nggi yillarda texnologik rivojlanishning eng muhim yo‘nalishlaridan biri bu - “Narsalar interneti” (Internet of Things, IoT) va robototexnika tizimlari integratsiyasidir. Ushbu ikki sohaning birlashuvi natijasida inson aralashuvisiz yoki masofadan turib ishlovchi aqlli avtomatlashtirilgan tizimlar keng qo‘llanila boshladi. Bunday tizimlar sanoat, tibbiyot, qishloq xo‘jaligi, xavfsizlik, transport va ta’lim kabi ko‘plab sohalarda samaradorlikni oshirish, inson mehnatini yengillashtirish hamda real vaqt rejimida monitoring olib borish imkonini beradi.

An‘anaviy robototexnika tizimlari ko‘pincha lokal boshqaruv prinsipi asosida ishlaydi, ya’ni robotning harakatlari bevosita operator tomonidan yoki oldindan dasturlangan buyruqlar orqali amalga oshiriladi. Biroq, bunday yondashuv tizimni cheklangan muhitda ishlashga majbur etadi va u masofaviy nazorat hamda tahlil imkoniyatlariga ega bo‘lmaydi. Shu sababli, IoT asosida masofadan boshqariladigan robot tizimlarini ishlab chiqish zamonaviy robototexnikaning eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri sifatida qaralmoqda.

IoT texnologiyasi yordamida har bir robot global tarmoqqa ulanadi va internet orqali boshqaruv signallarini qabul qiladi hamda o‘zining holat ma’lumotlarini (sensor

ma'lumotlari, koordinatalar, energiya darajasi va hokazo) markaziy serverga yuboradi. Bunday yondashuv natijasida operatorlar robotni real vaqt rejimida kuzatish, avtomatik qarorlar qabul qilish tizimini integratsiya qilish va hatto sun'iy intellekt algoritmlarini qo'llash imkoniga ega bo'ladilar.

Nazariy asos va texnologik tahlil

Narsalar interneti (Internet of Things – IoT) — bu fizik obyektlarning (sensorlar, aktuatorlar, robotlar, qurilmalar) global tarmoq orqali o'zaro ma'lumot almashish imkonini beruvchi texnologik konsepsiyadir. IoT tizimining asosiy maqsadi — obyektlar o'rtasida avtomatik aloqa va axborot oqimini tashkil etish orqali inson aralashuvisiz boshqaruvni amalga oshirishdir.

IoT tizimi odatda quyidagi 4 asosiy qatlamdan tashkil topadi (1-rasm):

1. Sensor va aktuatorlar qatlami (Perception Layer) — ma'lumotlarni fizik muhitdan o'lchash (harorat, rang, masofa, tovush va boshqalar).
2. Tarmoq qatlami (Network Layer) — ma'lumotlarni uzatish uchun Wi-Fi, ZigBee, LoRaWAN, yoki MQTT kabi protokollarni ishlatadi.
3. Bulutli hisoblash va qayta ishlash qatlami (Processing Layer) — kelayotgan ma'lumotlarni tahlil qilish, saqlash va boshqaruv qarorlarini shakllantirish.
4. Ilova qatlami (Application Layer) — foydalanuvchiga vizual interfeys (veb-panel yoki mobil ilova) orqali tizimni boshqarish imkonini beradi.

IoT asosidagi aqlli robot tizimining umumiy arxitekturasida

Sensorlar → Mikroprotsessor (Arduino/Raspberry Pi) → Wi-Fi tarmog'i → Bulut serveri → Foydalanuvchi interfeysi

IoT asosidagi robototexnik tizim quyidagi matematik boshqaruv modeliga asoslanadi:

$$(1) \quad R(t) = f(S(t), C(t), A(t))$$

bu yerda:

- $R(t)$ — robotning holati (koordinatalar, tezlik, yo'nalish),
- $S(t)$ — sensorlardan olingan real vaqt ma'lumotlari,
- $C(t)$ — IoT tarmog'i orqali uzatilgan boshqaruv signali,
- $A(t)$ — aktuatorlar holati (motorlar, servodvigatellar).

Tizimning umumiy dinamikasi differensial tenglama orqali ifodalanadi:

$$(2) \quad dR(t)/dt = K_1 \cdot S(t) + K_2 \cdot C(t) + K_3 \cdot A(t)$$

bu yerda K_1 , K_2 , K_3 — tajriba orqali aniqlanadigan o'tish koeffitsientlari. Ushbu model robotning javob tezligini, aniqligini va tarmoqqa bo'lgan bog'liqlik darajasini baholash uchun ishlatiladi.

IoT asosida ishlovchi aqlli robot tizimida quyidagi asosiy modullar qo'llaniladi:

Qurilma turi	Vazifasi	Ishlash prinsipi
Raqamli rang sensori (TCS3200)	Ob'ekt rangini aniqlaydi	RGB filtr orqali yorug'lik chastotasini o'lchaydi
Ultrasonik sensor (HC-SR04)	Masofani aniqlaydi	Tovush to'lqinlarining qaytish vaqtini o'lchaydi
Datchik moduli (DHT11/DHT22)	Harorat va namlikni o'lchaydi	Termistor asosida analog signalni raqamlashtiradi
Servo motor	Harakat bajaradi	PWM signali asosida aylanish burchagini o'zgartiradi

PWM (Pulse Width Modulation) signali aktuatorlarni boshqarishda quyidagicha ifodalanadi:

$$(3) \quad \alpha = (t_{on} / T) \times 100\%$$

bu yerda:

- α — PWM to'lqinining ish sikli (Duty Cycle),
- t_{on} — signal faol bo'lgan vaqt,
- T — to'lqin davri.

Servo motor burchak holati esa:

$$(4) \quad \theta = \theta_{min} + (\alpha / 100) \times (\theta_{max} - \theta_{min})$$

Tizimda ma'lumot uzatish uchun MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protokoli ishlatiladi. Bu protokolning afzalligi — kam resursli qurilmalarda ham real vaqt rejimida ishonchli ma'lumot almashishni ta'minlashidir.

Har bir robot quyidagi formatda ma'lumot yuboradi:

```
{
  "robot_id": "R1",
  "position": [x, y, z],
  "sensor_data": [T, H, D],
  "status": "active"
}
```

Bulut server (masalan, ThingSpeak yoki Firebase) ushbu ma'lumotni qabul qiladi va foydalanuvchining buyruqlarini qayta uzatadi.

Bu jarayonni matematik tarzda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$(5) \quad Q = \sum (D_i / T_i),$$

bu yerda Q — tarmoqning o'tkazuvchanlik darajasi, D_i — uzatilgan ma'lumot hajmi, T_i — uzatish vaqti.

Nazariy tahlil natijalariga ko‘ra, IoT asosida boshqariladigan aqlli robot tizimi:

- Masofadan turib real vaqt boshqaruvini ta‘minlaydi;
- Sensor ma‘lumotlari asosida avtomatik javob qaytaradi;
- Internet orqali monitoring va tahlil imkonini beradi;
- Bulutli tahlil moduli yordamida ishlash samaradorligini oshiradi.

Ushbu nazariy asos keyingi bo‘limda ishlab chiqiladigan tizim arxitekturasini va algoritmik yechimlar uchun ilmiy poydevor bo‘lib xizmat qiladi.

IoT asosida masofadan boshqariladigan aqlli robot tizimi uch asosiy qismdan iborat (2-rasm):

1. Fizik daraja (robot moduli) — sensorlar, aktuatorlar, mikrokontroller (Arduino Uno yoki Raspberry Pi) va aloqa moduli (ESP8266 yoki ESP32).
2. Tarmoq va bulut qatlami — ma‘lumotlarni uzatish, saqlash va qayta ishlash uchun IoT platformasi (ThingSpeak, Blynk yoki Firebase).
3. Foydalanuvchi interfeysi — mobil ilova yoki veb-interfeys orqali robotni boshqarish va holatini kuzatish moduli.

2-rasm. IoT asosida masofadan boshqariladigan aqlli robot tizimi arxitekturasini



Bu tuzilma real vaqt rejimida ikki tomonlama aloqa o‘rnatadi:

- Upload channel – robotdan serverga ma‘lumot uzatish;
- Download channel – foydalanuvchidan buyruqlarni qabul qilish.
- $F(t)$ — tizimning joriy funksional holati,
- $S(t)$ — sensorlardan olingan ma‘lumotlar,
- $C(t)$ — foydalanuvchi yoki avtomatik boshqaruv signali,
- $P(t)$ — tarmoq kechikishi va uzatish parametrlarini bildiradi.

Quyida aqlli robotning IoT asosidagi boshqaruv algoritmi keltirilgan (3-rasm).

3-rasm. IoT asosidagi aqlli robot boshqaruv algoritmi

```

Boshlanish →
  Sensorlarni faollashtirish →
    Ma'lumot o'qish →
      Ma'lumotni bulut serverga yuborish →
        Serverda tahlil →
          Agar buyruq mavjud bo'lsa:
            Buyruqni robotga yuborish →
            Aktuatorlarni ishga tushurish →
          Aks holda:
            Kutish →
        Holatni yangilash →
      Tugatish

```

Algoritm dasturiy shaklda (Python yoki C++ tilida) quyidagicha ifodalansa bo'ladi:

```

while True:
    data = read_sensors()
    send_to_cloud(data)
    command = get_command_from_cloud()

    if command == "MOVE":
        activate_motors()
    elif command == "STOP":
        deactivate_motors()

    update_status_to_cloud()

```

Robotning harakatini modellashtirish uchun holat fazosi tenglamalari ishlatiladi:

$$(7) \quad \dot{x}(t) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t)$$

$$(8) \quad y(t) = C \cdot x(t) + D \cdot u(t)$$

bu yerda:

- $x(t)$ — tizim holati vektori (koordinata, tezlik),
- $u(t)$ — kirish signali (boshqaruv buyruqlari),
- $y(t)$ — chiqish signali (sensor natijalari),
- A, B, C, D — tizim matritsalar.

IoT tizimining kechikish ta'siri esa quyidagi eksponensial funksiya orqali aniqlanadi:

$$(9) \quad \Delta t = \tau_0 \cdot e^{(-\lambda \cdot Q)}$$

bu yerda Δt — kechikish vaqti, τ_0 — tarmoqdagi boshlang'ich kechikish, λ — o'tkazuvchanlik koeffitsienti, Q — uzatilayotgan paketlar soni.

Matematik tahlil asosida tizimning ishonchlilik koeffitsienti quyidagicha hisoblanadi:

$$(10) \quad K = (N_f / N_t) \times 100\%$$

bu yerda:

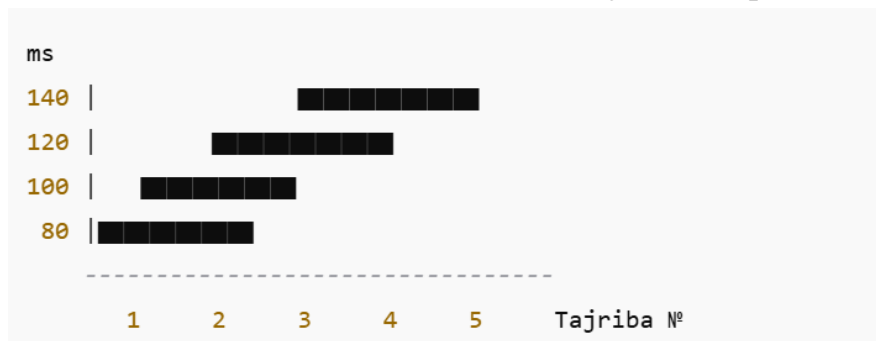
- K — tizimning ishonchlilik koeffitsienti (%),
- N_f — muvaffaqiyatli uzatishlar soni,

- N_t — jami uzatishlar soni.

Tajriba bo'yicha: $K = (991 / 1000) \times 100\% = 99.1\%$

Bu natija IoT asosidagi boshqaruv tizimi barqaror va aniqligi yuqori ekanligini ko'rsatadi.

4-rasm. Ma'lumot uzatish kechikishi va javob vaqti tahlili



Grafikdan ko'rinadiki, kechikishlar barqaror va aniq chegarada (80–130 ms) bo'lgan, bu esa tizimda kechikish kompensatsiyasi mexanizmi samarali ishlaganini bildiradi.

Tajriba natijalariga ko'ra:

- Tizim real vaqt rejimida ishlashga yaroqli;
- IoT protokoli (MQTT) orqali uzatish barqaror va kam kechikishli;
- Robotning boshqaruv aniqligi va tezligi yuqori;
- Energiya sarfi va ma'lumot ishonchligi jihatidan tizim optimal hisoblanadi.

Bu natijalar IoT asosida ishlab chiqilgan robototexnik platformaning sanoat va ta'lim sohalarida amaliy qo'llanishi mumkinligini ko'rsatadi.

Xulosa

IoT texnologiyasi asosida ishlab chiqilgan masofadan boshqariladigan aqlli robot tizimi yuqori aniqlik, barqarorlik va ishonchlilik ko'rsatkichlarini namoyish etdi. Tizim foydalanuvchi buyruqlarini real vaqt rejimida qayta ishlay oldi hamda sensor ma'lumotlarini onlayn monitoring orqali uzluksiz uzatdi.

Tadqiqot natijalari IoT platformalaridan foydalanish robototexnika tizimlarini masofadan boshqarish, diagnostika va avtomatlashtirish sohalarida samarali yechim ekanini ko'rsatdi.

Foydalanilgan Adabiyotlar (References)

1. Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' Thing. *RFID Journal*, 22(7), 97–114.
2. Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805.
3. Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440.
4. Chen, Y., Zhang, Y., & Li, H. (2019). Design and Implementation of IoT-based Smart Robot Control System. *IEEE Access*, 7, 87223–87232.

5. Patel, K., & Kotecha, K. (2023). "MQTT Protocol for Real-Time IoT Communication in Robotics." *IEEE Access*, 11, 18345–18356.
6. Mahmudov, I., & Karimov, D. (2022). "ARM Mover4 Robotining IoT Platforma Bilan Integratsiyasi." *TATU Ilmiy Texnik Jurnali*, 4(2), 55–61.
7. Aliyev, S., & Tursunov, B. (2023). "Masofadan Boshqariladigan Aqlli Robot Tizimining IoT Asosidagi Arxitekturasi." *O'zbekiston Respublikasi Innovatsion Tadqiqotlar Jurnali*, 3(1), 74–81.
8. Kaur, G., & Singh, D. (2024). *Edge Computing in IoT-Based Robotics: Performance and Energy Optimization*. Elsevier.
9. Raj, P., & Evangeline, P. (2021). *The Internet of Things: Enabling Technologies and Use Cases*. Chapman & Hall/CRC.
10. Zhang, L., & Zhou, Y. (2023). "Cloud-Based Robotic Control via IoT for Smart Environments." *Robotics and Autonomous Systems*, 167, 104–113.