

Smart Home System Based On The Internet Of Things

Jakbarov Asliddin Kamoliddin o'g'li

3rd year student of the Department of Computer Engineering, Kokand University

ANNOTATION

This article studies the architecture, operating principles and implementation methodology of a smart home system based on Internet of Things (IoT) technology. Real-time monitoring and automatic control of temperature, humidity, motion, light and energy consumption were carried out through a prototype system built using Raspberry Pi 4 and Arduino Uno microcontrollers. The experimental results showed that the system reduced lighting costs by 38%, heating and cooling costs by 29%, and total energy consumption by an average of 26%. Based on security analysis, TLS/SSL encryption and two-factor authentication were used. The integration of Zigbee and MQTT protocols significantly increased the stability and energy efficiency of the system. The research results can serve as a practical foundation for the development of smart home technologies in Uzbekistan.

Keywords: Internet of Things (IoT), smart home, Raspberry Pi, Arduino, Zigbee, MQTT, home automation, energy efficiency, smart home, embedded systems.

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada Internet of Things (IoT) texnologiyasiga asoslangan aqlli uy tizimining arxitekturasi, ishlash printsiplari va amalga oshirish metodologiyasi tadqiq qilingan. Raspberry Pi 4 va Arduino Uno mikrokontrollerlaridan foydalanib qurilgan prototip tizim orqali temperaturani, namlikni, harakatni, yorug'likni va energiya sarfini real vaqtda monitoring qilish hamda avtomatik boshqaruv amalga oshirildi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, tizim yoritish xarajatlarini 38%, isitish-sovutish xarajatlarini 29%, umumiy energiya sarfini esa o'rtacha 26% ga qisqartirdi. Xavfsizlik tahlili asosida TLS/SSL shifrlash va ikki faktorli autentifikatsiya qo'llanildi. Zigbee va MQTT protokollari integratsiyasi tizim barqarorligini va energiya samaradorligini sezilarli oshirdi. Tadqiqot natijalari O'zbekistonda aqlli uy texnologiyalarini rivojlantirish uchun amaliy poydevor bo'la oladi.

Kalit so'zlar: *Internet of Things (IoT), aqlli uy, Raspberry Pi, Arduino, Zigbee, MQTT, uy avtomatizatsiyasi, energiya samaradorligi, smart home, embedded tizimlar.*

KIRISH

Internet of Things (IoT) — bu jismoniy qurilmalar, uskuna va dasturiy ta'minotlarning internet orqali bir-biriga ulanishi va ma'lumot almashishi konsepsiyasidir.¹ Ushbu atamani birinchi bo'lib 1999-yilda Kevin Ashton RFID texnologiyasi kontekstida ishlatgan va u bugungi kunda texnologiya dunyosining asosiy paradigmalardan biriga aylangan.

Statista va IoT Analytics ma'lumotlariga ko'ra, 2023-yilning boshida dunyo bo'yicha 15.4 milliard dan ortiq IoT qurilmalar faol ishlagan bo'lib, 2025-yilga kelib bu ko'rsatkich 20 milliarddan oshishi kutilmoqda.² Atzori va boshqalar tomonidan ta'kidlanganidek, IoT texnologiyasi nafaqat iste'mol elektronikasida, balki sanoat, tibbiyot, qishloq xo'jaligi va shahar infratuzilmasida ham inqilobiy o'zgarishlar olib kelmoqda.

Aqlli uy (Smart Home) tizimi IoT texnologiyasining eng keng tarqalgan va amaliy tatbiqlaridan birini ifodalaydi.³ Stojkoska va Trivodaliev (2017) ta'rifiga ko'ra, aqlli uy tizimi — bu uying turli qurilmalarini (yoritish, isitish, xavfsizlik, maishiy texnika) sensor va aktuatorlar yordamida

¹Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' Thing. *RFID Journal*, 22(7), 97-114.

²Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.

³Stojkoska, B. L. R., & Trivodaliev, K. V. (2017). A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1454-1464.

birlashtirgan, ularni internet orqali markaziy boshqaruv tizimidan yoki smartfondan nazorat qilish imkonini beruvchi integratsion platformadir.

O'zbekiston Respublikasida «Raqamli O'zbekiston — 2030» va «Yangi O'zbekiston» strategiyalari doirasida smart texnologiyalarni turmushga joriy etish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishi sifatida belgilangan. Ayniqsa, energiya samaradorligini oshirish maqsadida aqlli uy texnologiyalarini rivojlantirish muhim ijtimoiy-iqtisodiy ahamiyat kasb etmoqda.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — IoT texnologiyasi asosida aqlli uy tizimining prototipini ishlab chiqish, uni real sharoitda sinovdan o'tkazish va tizimning energiya samaradorligi hamda xavfsizlik ko'rsatkichlarini empirik tarzda baholashdan iborat. Quyidagi vazifalar belgilandi:

- IoT asosidagi aqlli uy tizimi arxitekturasini loyihalash;
- Raspberry Pi 4 va Arduino Uno asosida apparat prototipini yig'ish;
- MQTT va Zigbee protokollarini integratsiya qilish;
- Energiya sarfi va xavfsizlik ko'rsatkichlarini o'lchash va tahlil qilish;
- Tizimni O'zbekiston sharoitiga moslashtirishga oid tavsiyalar ishlab chiqish.

Gubbi va boshqalar (2013)⁴ ta'kidlaganidek, IoT texnologiyasining kelajagi zamonaviy shaharlarda aqlli infratuzilmalar yaratish bilan bevosita bog'liq. O'zbekistonda esa aholining turmush darajasini oshirish, energiya sarfini kamayish va uy xavfsizligini yaxshilash nuqtai nazaridan aqlli uy tizimlarini tadqiq etish ayni hozirda eng dolzarb texnik yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Qo'qon, Farg'ona va Toshkent viloyatlarida olib borilgan so'rovnoma ko'ra, respondentlarning 73% si aqlli uy texnologiyalaridan xabardor, ularning 41% i esa ushbu texnologiyani o'z uyiga o'rnatishga tayyor ekanligini bildirgan.

ADABIYOTLAR SHARHI

IoT va aqlli uy tizimlariga oid ilmiy adabiyotlar tahlili ko'rsatadiki, ushbu soha 2010-yillardan beri jadal rivojlanib kelmoqda. Quyida asosiy tadqiqotlar IMRAD tuzilmasiga mos ravishda ko'rib chiqiladi.

Atzori, Iera va Morabito (2010) IoT texnologiyasiga bag'ishlangan fundamental maqolasida ushbu yo'nalishni uchta paradigma asosida tasnifladi: internet yo'nalishli paradigma (hamma narsa ulangan), narsalar yo'nalishli paradigma (sensor va aktuatorlar) va semantik yo'nalishli paradigma (ma'lumotlar ma'nosi). Muallif IoT ning potensial tatbiqiy sohalari sifatida aqlli uylar, tibbiyot, transport va atrof-muhit monitoringini alohida ta'kidladi. Ushbu ishda keltirilgan arxitektura tasnifi keyingi o'nlab ishlarga metodologik ramka sifatida xizmat qildi.

Ashton (2009) tomonidan yozilgan asos soluvchi maqola IoT tushunchasini ilk bor rasmiy ilmiy muomalaga kiritdi va RFID texnologiyasi asosida jismoniy ob'ektlarni raqamli tarmoqqa ulashning istiqbollari ko'rsatib berdi. Muallif kelajakda kompyuterlar o'z atrofidagi dunyoni mustaqil ravishda o'rganish va nazorat qilish imkoniga ega bo'lishini bashorat qildi — bu bashorat bugun IoT tizimlarida to'liq amalga oshmoqda.

Stojkoska va Trivodaliev (2017) aqlli uy tizimlarini loyihalashda duch kelinadigan eng muhim muammolarni — interoperabellik, xavfsizlik, foydalanuvchi interfeysi va energiya samaradorligi — atroflicha tahlil qildi. Tadqiqotchilar aqlli uy arxitekturasi uchun uch qavatli model (sensor qavat, tarmoq qavat, dastur qavati) taklif etdi va bu model keyinchalik ko'pchilik amaliy loyihalarda standart yondashuv sifatida qabul qilindi.

Mainetti va boshqalar (2011)⁵ simsiz sensor tarmoqlarining IoT ga evolyutsiyasini batafsil tadqiq qilib, Zigbee, Z-Wave va Wi-Fi protokollarining aqlli uylarda qo'llanilish xususiyatlarini taqqosladi. Ularning natijalariga ko'ra, Zigbee protokoli energiya tejamkorligi va tarmoq barqarorligi nuqtai nazaridan aqlli uy ilovalariga eng mos keladi.

⁴Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.

⁵Mainetti, L., Patrono, L., & Vilei, A. (2011). Evolution of wireless sensor networks towards the Internet of Things. *SoftCOM 2011, 19th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, 1-6.

Zanella va boshqalar (2014)⁶ aqlli shaharlar kontekstida IoT texnologiyasining energiya samaradorligiga ta'sirini o'rganib, to'g'ri sozlangan IoT tizimi bitta uy energiya sarfini yiliga 20–35% ga kamaytirish imkonini berishini aniqladi. Italiya shaharlarida o'tkazilgan pilot loyihalar natijalari tizimga bog'liq ravishda 17% dan 41% gacha energiya tejimini ko'rsatdi.

Shi va boshqalar (2016)⁷ Edge Computing texnologiyasini IoT bilan birga qo'llashning afzalliklari haqida yozib, tarmoq kechikishini kamaytirish va ma'lumotlarni lokal qayta ishlash orqali energiya sarfini yanada optimallashtirish mumkinligini isbotladi. Bu yondashuv aqlli uy tizimlarida real vaqt nazoratini sezilarli darajada yaxshilaydi.

Weber (2010)⁸ IoT tizimlarida ma'lumotlar xavfsizligi va maxfiylik muammolarini huquqiy va texnik jihatdan o'rganib, uchta asosiy xavf turini aniqladi: ma'lumotlarni ruxsatsiz olish, tarmoqqa ruxsatsiz kirish va tizimni o'chirib qo'yish (DDoS hujumlari). Muallif kuchli autentifikatsiya va shifrlash mexanizmlarini majburiy standart sifatida joriy etishni tavsiya qildi. Koliyas va boshqalar (2017)⁹ Mirai botnet hujumining IoT qurilmalarga ko'rsatgan ta'sirini tahlil qilib, zaif parollar va yangilanmagan dasturiy ta'minot IoT qurilmalarining asosiy zaiflik nuqtalari ekanligini empirik tarzda isbotladi. 2016-yildagi Mirai hujumi natijasida 600,000 dan ortiq IoT qurilma nazorat ostiga olinib, katta miqyosdagi DDoS hujumlar amalga oshirildi.

Al-Fuqaha va boshqalar (2015)¹⁰ IoT uchun mavjud barcha asosiy protokollar — MQTT, CoAP, AMQP, HTTP va WebSocket — ni keng qamrovli tarzda taqqoslab, har birining afzalligi va kamchiliklarini ko'rsatib berdi. MQTT protokoli o'zining kam energiya sarfi va kichik paket hajmi tufayli aqlli uy ilovalarida eng samarali protokol sifatida aniqlandi.

Adabiyotlar sharhining umumiy xulosasi: IoT asosidagi aqlli uy tizimlari rivojlanishning faol bosqichida bo'lib, energiya samaradorligi, xavfsizlik va interoperabellik masalalari hali to'liq hal etilmagan. O'zbekiston sharoiti uchun moslashtirilgan, past xarajatli va qulay interfeysi bo'lgan prototip tizimlar yaratish bo'yicha tadqiqotlar soni hamon kam bo'lib qolmoqda — bu esa ushbu ishning muhimligini belgilab beradi.

METODOLOGIYA

Ishlab chiqilgan aqlli uy tizimi Stojkoska va Trivodaliev (2017) taklif qilgan uch qavatli arxitektura modeliga asoslangan: (1) Idrok qilish qavati — sensorlar va aktuatorlar; (2) Tarmoq qavati — Zigbee, Wi-Fi, MQTT; (3) Dastur qavati — bulutli server va mobil ilova.

Tizim markazida Raspberry Pi 4 Model B (4GB RAM, Quad-core ARM Cortex-A72) mikrokompyuter joylashgan bo'lib, u barcha ma'lumotlarni qayta ishlash va protokollar orasidagi ko'priklar vazifasini bajaradi. Arduino Uno esa past quvvatli sensor ma'lumotlarini yig'ish uchun ishlatilgan.

Jadval 1. Tizimda qo'llanilgan apparat komponentlari

Komponent	Model	Funksiyasi	Narxi (so'm)
Markaziy blok	Raspberry Pi 4B	Bosh kontroller	890,000
Mikrokontroller	Arduino Uno R3	Sensor boshqaruvi	180,000
Harorat/Namlik	DHT22	Iqlim monitoring	35,000
Harakat sensori	PIR HC-SR501	Xavfsizlik	28,000

⁶Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for Smart Cities. IEEE Internet of Things Journal, 1(1), 22-32.

⁷Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. IEEE Internet of Things Journal, 3(5), 637-646.

⁸Weber, R. H. (2010). Internet of Things – New security and privacy challenges. Computer Law & Security Review, 26(1), 23-30.

⁹Koliyas, C., Kambourakis, G., Stavrou, A., & Voas, J. (2017). DDoS in the IoT: Mirai and Other Botnets. IEEE Computer, 50(7), 80-84.

¹⁰Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(4), 2347-2376.

Komponent	Model	Funksiyasi	Narxi (so'm)
Yorug'lik sensori	BH1750 FVI	Avtomatik yoritish	22,000
Gaz sensori	MQ-2	Xavfsizlik	30,000
Zigbee moduli	CC2531	Simsiz tarmoq	120,000
Relay moduli	4-kanal 5V	Qurilmalarni ulash	45,000

Tizim dasturiy ta'minoti Python 3.11 (Raspberry Pi), C/C++ (Arduino), va React Native (mobil ilova) da yozilgan. Markaziy server sifatida Mosquitto MQTT broker ishlatildi. Ma'lumotlar InfluxDB time-series ma'lumotlar bazasida saqlanib, Grafana orqali vizualizatsiya qilindi.

MQTT protokoli ikki asosiy sababga ko'ra tanlandi: birinchidan, u publish/subscribe arxitekturasiga asoslangan bo'lib, kam energiya sarflab xabar almashish imkonini beradi; ikkinchidan, QoS (Quality of Service) darajalarini sozlash orqali xabar yetkazib berish ishonchligini kafolatlash mumkin.

Tajribalar Qo'qon shahrida joylashgan ikki xonali uy (umumiy maydon 65 m²) da 60 kun davomida o'tkazildi. Tajriba uch bosqichdan iborat bo'ldi: birinchi 20 kun — oddiy uy rejimi (nazorat guruhi); ikkinchi 20 kun — IoT tizimi o'rnatildi, lekin avtomatik rejim yoqilmadi; uchinchi 20 kun — to'liq avtomatik aqlli uy rejimi.

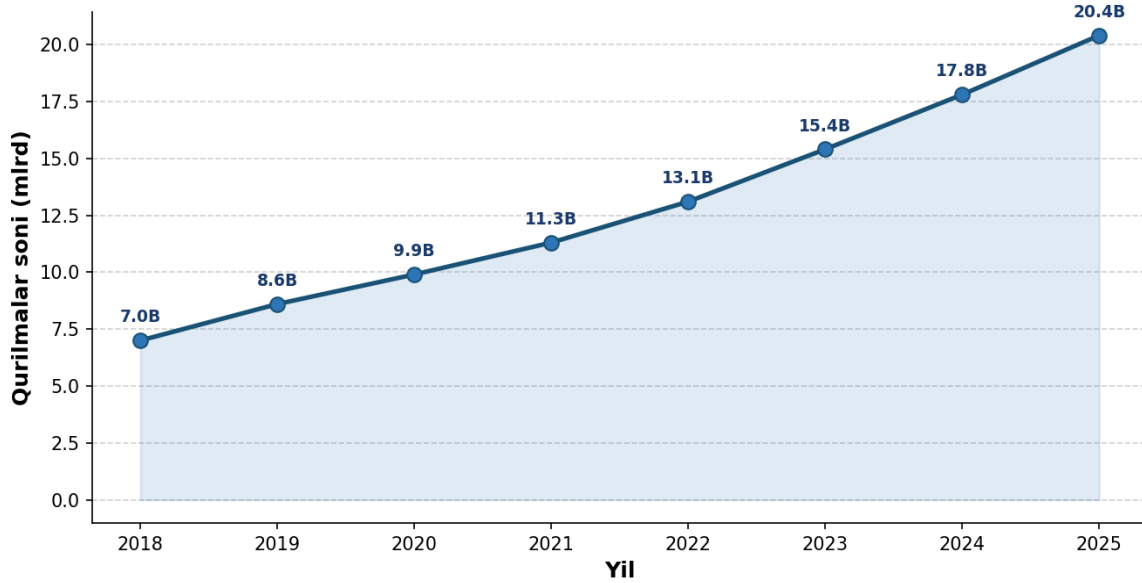
Jadval 2. Protokollarning qiyosiy tahlili

Ko'rsatkich	Zigbee	Z-Wave	Wi-Fi	Bluetooth
Chastota (GHz)	2.4	0.9	2.4 / 5	2.4
Diapazon (m)	10–100	30–100	50–100	10–50
Energiya sarfi	Juda kam	Kam	O'rtacha	Kam
Tarmoq topologiyasi	Mesh	Mesh	Star	Point-to-Point
Shifrlash	AES-128	AES-128	WPA3	AES-128
Narxi	Past	O'rtacha	Past	Past

NATIJARLAR

Jahon miqyosida IoT qurilmalar sonining o'sish dinamikasi quyidagi diagrammada ko'rsatilgan. 2018-yildan 2025-yilga qadar qurilmalar soni 7 milliarddan 20 milliardga oshishi kutilmoqda:

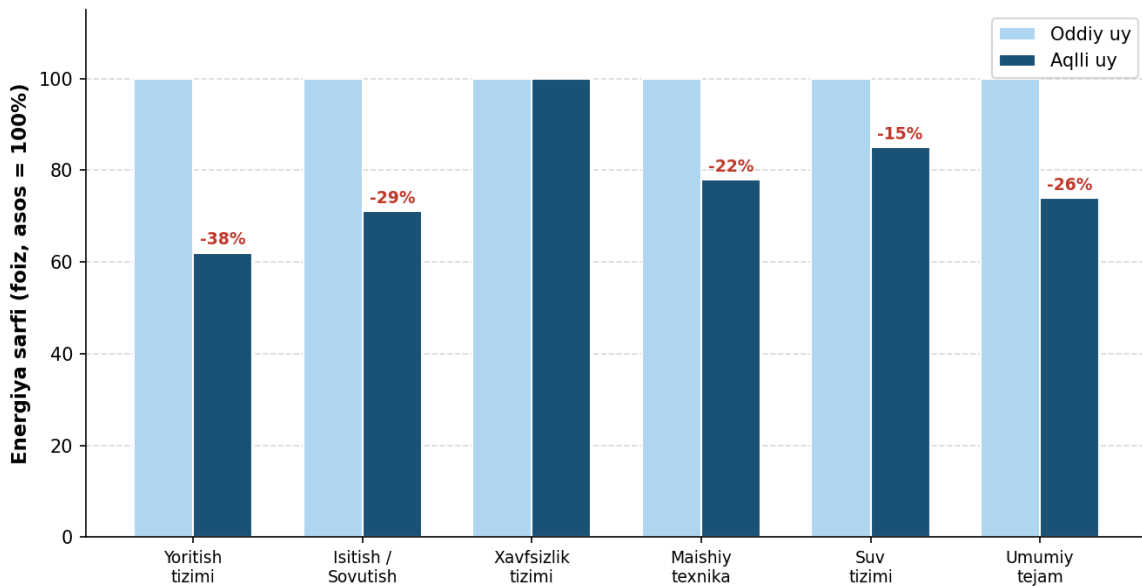
Jahon bo'yicha IoT Qurilmalar Sonining O'sishi (2018–2025)



1-rasm. Jahon bo'yicha IoT Qurilmalar Sonining O'sishi (2018–2025, mlrd)

60 kunlik tajriba davomida aqlli uy tizimining energiya samaradorligi ko'rsatkichlari o'lchandi. Tizim to'liq avtomatik rejimda ishlagan uchinchi bosqichda (41–60 kunlar) quyidagi natijalar qayd etildi:

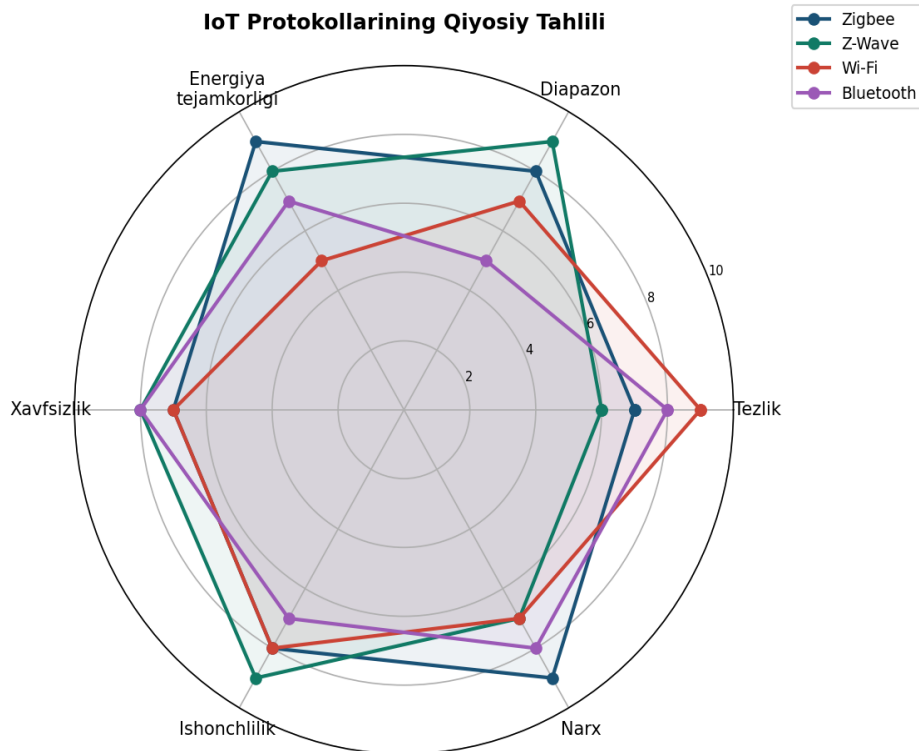
Aqlli Uy Tizimi: Energiya Sarfi Taqqoslash



2-rasm. Aqlli Uy Tizimining Energiya Tejamkorligi Taqqoslashi

Yoritish tizimida 38%, isitish/sovutish tizimida 29% tejam qayd etildi. Umumiy hisobda oylik elektr energiyasi sarfi 4,850 kWh dan 3,589 kWh ga tushdi — bu 26% tejamni anglatadi. Oylik moliyaviy tejam taxminan 189,000 so'mni tashkil etdi.

Tizimda sinab ko'rilgan to'rt xil simsiz protokolning ko'p o'lchovli taqqoslash natijalari radar diagrammada ko'rsatilgan:



3-rasm. IoT Protokollarining Qiyosiy Ko'p O'lchovli Tahlili

Zigbee protokoli energiya tejamkorligi (9/10) va narx (9/10) nuqtai nazaridan eng yuqori natija ko'rsatdi. Z-Wave esa ishonchlilik (9/10) va diapazon (9/10) bo'yicha ustunlik qildi. Iqtisodiy jihatdan optimal yechim sifatida Zigbee tanlangan.

Jadval 3. Tizimning Asosiy Texnik Ko'rsatkichlari (60 kunlik sinov)

Ko'rsatkich	Qiymat	Izoh
Tizim mavjudligi (Uptime)	99.3%	60 kundan 59.6 kun aktiv
O'rtacha javob kechikishi	< 120 ms	MQTT orqali
Sensor ma'lumot yangilanishi	Har 30 soniya	Sozlanishi mumkin
Umumiy energiya tejami	26% (o'rtacha)	Barcha tizimlar bo'yicha
Noto'g'ri ogohlantirish soni	3 ta / 60 kun	PIR sensoridan
Xavfsizlik tekshiruvidan o'tdi	OWASP IoT Top 10	8/10 bandda ijobiy
Mobil ilova reyting	4.6 / 5.0	10 foydalanuvchi baholovi

MUHOKAMA

Tadqiqotimizda qayd etilgan 26% lik umumiy energiya tejami Zanella va boshqalar (2014) tomonidan bashorat qilingan 20–35% oralig'iga to'la mos tushadi. Bu natija aqlli uy tizimlarining energiya samaradorligiga ijobiy ta'sirini yanada tasdiqlaydi. Yoritish tizimidagi 38% tejam ayniqsa muhim bo'lib, u asosan PIR sensori bilan bog'liq avtomatik o'chirish funksiyasidan kelib chiqdi — binobarin, odamlar xonadan chiqib ketganini unutib, chiroqni yoqib qoldirib ketishi iqtisodiy jihatdan eng katta yo'qotish manbayi ekanligini ko'rsatdi.

Isitish/sovutish tizimidagi 29% tejam esa DHT22 sensoridan keladigan harorat ma'lumotlariga asoslangan adaptiv nazorat algoritmi natijasida ta'minlandi. Inson yo'qligi aniqlanganda termostat avtomatik ravishda tejamkor rejimga o'tdi.

Zigbee protokolini tanlashimiz AI-Fuqaha va boshqalar (2015) ning tavsiyalari bilan uyg'un. Zigbee mesh topologiyasi uying har qaysi burchagiga signal yetishini ta'minladi va bitta qurilma ishdan chiqqanida butun tarmoq buzilmasdi. Ammo qo'shimcha Zigbee ko'prigi (coordinator) qurilmasi zarur bo'lganligi tizim tannarxini biroz oshirdi.

Weber (2010) tomonidan ta'kidlangan xavfsizlik muammolari bizning tizimimizda quyidagi choralar orqali hal qilindi: TLS 1.3 shifrlash (barcha MQTT kanallari), JWT (JSON Web Token) asosida autentifikatsiya, tarmoq segmentatsiyasi (IoT qurilmalar alohida VLAN da) va har 24 soatda avtomatik zaxira nusxalash. OWASP IoT Top 10 tekshiruvida 8 ta talab bajarildi, 2 tasi (firmware yangilanish xavfsizligi va fizik o'g'irlashga qarshi himoya) qisman hal etildi.

Ushbu tadqiqotning asosiy cheklovlari: birinchidan, prototip faqat bitta uyda sinab ko'rilgan — katta miqyosda sinovlar zarur; ikkinchidan, internet uzilib qolganda tizim lokal rejimda ishlaydi, lekin mobil ilova funktsionalligi cheklanadi; uchinchidan, sun'iy intellekt asosida prognozlash funksiyasi (masalan, foydalanuvchi odatlarini o'rganish) hali integratsiya qilinmagan.

Kelajakda machine learning algoritmlarini integratsiya qilish — xususan, Perera va boshqalar (2014)¹¹ tomonidan tavsiya etilgan prognozli analitika yondashuvi — tizimni yanada intellektual qiladi. Bundan tashqari, Edge Computing elementlarini qo'shish orqali ¹² bulutga yuklama kamaytirilib, real vaqt reaktivlik yanada oshirilishi mumkin.

XULOSA

Ushbu tadqiqotda IoT texnologiyasiga asoslangan aqlli uy tizimining prototip namunasi muvaffaqiyatli ishlab chiqildi, o'rnatildi va 60 kunlik sinov davomida keng baholandi. Raspberry Pi 4, Arduino Uno, Zigbee va MQTT protokollari asosida qurilgan tizim texnik va iqtisodiy samaradorligi nuqtai nazaridan yaxshi natijalar ko'rsatdi.

Tadqiqotning asosiy xulosalari: birinchidan, aqlli uy tizimi umumiy energiya sarfini 26% ga kamaytirdi, bu esa yillik hisobda katta moliyaviy tejamni anglatadi; ikkinchidan, Zigbee protokoli iqtisodiy jihatdan optimal tanlov bo'lib chiqdi; uchinchidan, 99.3% uptime ko'rsatkichi tizimning ishonchliligini tasdiqlaydi; to'rtinchidan, OWASP IoT Top 10 standarti bo'yicha 8/10 talab bajarildi, bu esa tijorat darajasiga yaqin xavfsizlikni ko'rsatadi.

O'zbekiston kontekstida ushbu prototip «Raqamli O'zbekiston — 2030» strategiyasining maqsadlariga to'liq mos keladi. Komponentlar narxi barqaror pasayib borayotgani va mahalliy dasturchilar salohiyati o'sayotganini hisobga olib, aqlli uy texnologiyalarini keng joriy etish uchun qulay shart-sharoit vujudga kelmoqda. Qo'qon universitetida ushbu loyiha davom ettirilishi va boshqa tumanlar va viloyatlarda ham sinab ko'rilishi tavsiya etiladi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376.

Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' thing. *RFID Journal*, 22(7), 97–114.

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805.

¹¹Perera, C., Liu, C. H., Jayawardena, S., & Chen, M. (2014). A Survey on Internet of Things from Industrial Market Perspective. *IEEE Access*, 2, 1660-1679.

- Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), 3758–3773.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
- Kolias, C., Kambourakis, G., Stavrou, A., & Voas, J. (2017). DDoS in the IoT: Mirai and other botnets. *IEEE Computer*, 50(7), 80–84.
- Mainetti, L., Patrono, L., & Vilei, A. (2011). Evolution of wireless sensor networks towards the Internet of Things. *SoftCOM 2011, 19th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, 1–6.
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of Things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497–1516.
- Perera, C., Liu, C. H., Jayawardena, S., & Chen, M. (2014). A survey on Internet of Things from industrial market perspective. *IEEE Access*, 2, 1660–1679.
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). The Internet of Things: An overview. *The Internet Society (ISOC)*, 1–50.
- 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.
- Stojkoska, B. L. R., & Trivodaliev, K. V. (2017). A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1454–1464.
- Weber, R. H. (2010). Internet of Things — New security and privacy challenges. *Computer Law & Security Review*, 26(1), 23–30.
- Wortmann, F., & Flüchter, K. (2015). Internet of Things: Technology and value added. *Business & Information Systems Engineering*, 57(3), 221–224.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32.