

KO'CHA INTELLEKTUAL YORITISH TIZIMLARINI ISHLAB CHIQISH

Nabiyeva Fazilatoy

Andijon davlat texnika instituti

Intellectual muhandislik tizimlari

yo'nalishi 4-bosqich talabasi

Ilmiy rahbar: Toshmatov Shunqor

+998937917581

Annotatsiya: Mazkur maqola ko'cha yoritish tizimlarida zamonaviy intellektual boshqaruv yechimlarini ishlab chiqish va joriy etish masalalarini yoritadi. An'anaviy ko'cha yoritish tizimlari energiya sarfining yuqoriligi, moslashuvchanlikning pastligi va markazlashtirilgan monitoring yo'qligi bilan tavsiflangan muammolarga duch kelmoqda. Tadqiqotda IoT (Internet of Things) texnologiyalari, harakat sezgichlari (PIR sensori), yorug'lik darajasi sezgichlari (BH1750), mikrokontrollerlar (ESP32) va MQTT protokoli asosida intellektual ko'cha yoritish tizimi ishlab chiqildi. Ishlab chiqilgan tizim yorug'likni real vaqtda sozlash, markazlashtirilgan masofaviy monitoring va nosozliklarni avtomatik aniqlash imkoniyatlarini ta'minlaydi. Tajriba natijalari tizimning an'anaviy yoritish tizimlariga nisbatan elektr energiya sarfini 47.3 foizga kamaytirish va yoritish sifatini 34.8 foizga yaxshilash imkonini berishini ko'rsatdi. Taklif etilgan yechim "Raqamli O'zbekiston-2030" va "Yashil iqtisodiyot" strategiyalari doirasida shaharlarni aqlli boshqarish konsepsiyasiga to'liq mos keladi.

Kalit so'zlar: intellektual yoritish tizimi, IoT, ESP32, PIR sensori, MQTT protokoli, smart city, energiya samaradorligi, LED yoritish, masofaviy monitoring, avtomatik boshqaruv, ko'cha yoritish, aqlli shahar

Abstract: This article covers the development and implementation of modern intelligent control solutions for street lighting systems. Traditional street lighting systems face problems characterized by high energy consumption, low adaptability, and lack of centralized monitoring. In the study, an intelligent street lighting system was developed based on IoT (Internet of Things) technologies, motion sensors (PIR sensor), light level sensors (BH1750), microcontrollers (ESP32), and MQTT protocol. The developed system provides capabilities for real-time light adjustment, centralized remote monitoring, and automatic fault detection. Experimental results showed that the system can reduce electricity consumption by 47.3% and improve lighting quality by 34.8% compared to traditional lighting systems. The proposed solution fully aligns with the concept of smart city management within the framework of the 'Digital Uzbekistan-2030' and 'Green Economy' strategies.

Keywords: intelligent lighting system, IoT, ESP32, PIR sensor, MQTT protocol, smart city, energy efficiency, LED lighting, remote monitoring, automatic control, street lighting, smart city

KIRISH

Zamonaviy shaharlarda energiya iste'molining katta qismi ko'cha yoritish tizimlariga to'g'ri keladi. Jahon energetika agentligi (IEA) ma'lumotlariga ko'ra, ko'cha yoritish uchun sarflanadigan elektr energiyasi shaharlarning umumiy elektr iste'molining 19-38 foizini tashkil etadi (IEA, 2022). O'zbekistonda ham bu ko'rsatkich shaharlar bo'yicha o'rtacha 22-31 foizni tashkil etib, muhim energetik muammo hisoblanadi. Andijon shahrida o'tkazilgan dastlabki tahlil natijasida mavjud ko'cha yoritish tizimlarining asosiy muammolari aniqlandi: energiya sarfining haddan ziyod yuqoriligi, yoritish darajasining harakatlanuvchi transport va piyodalar oqimiga moslashmasligi, nosozliklarni vaqtda aniqlash va bartaraf etishning qiyinligi hamda markazlashtirilgan real vaqtli monitoring mexanizmining yo'qligi.

An'anaviy natriy bug'i (HPS) va simob bug'i (MH) lampalaridan iborat ko'cha yoritish tizimlari energiya samaradorligi past bo'lib, kalit parametrlarni — yorug'lik intensivligini — real vaqtda sozlash imkoniyatiga ega emas. Bunday tizimlar odatda qo'lda yoki oddiy vaqt taymerlari orqali boshqariladi, natijada yarim tunda deyarli bo'sh ko'chalarda to'liq quvvat bilan yonib turgan chiroqlar katta energiya isrofiga olib keladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, optimal intellektual boshqaruv joriy etilganda energiya sarfini 40-60 foizga kamaytirish mumkin (Leccese va boshq., 2014).

Narsalar interneti (IoT) texnologiyalarining rivojlanishi va LED yoritish texnologiyasining narxining pasayishi intellektual ko'cha yoritish tizimlarini keng joriy etish uchun qulay sharoit yaratdi. ESP32 kabi arzon, lekin kuchli mikrokontrollerlar, MQTT kabi yengil kommunikatsiya protokollari va bulut platformalar yordamida kichik byudjet bilan ham samarali intellektual yoritish tizimini qurish mumkin bo'lmoqda. Garcà-Manche va boshq. (2020) tomonidan o'tkazilgan tadqiqot Ispaniya shaharlaridan birida IoT asosidagi yoritish tizimi joriy etilgandan so'ng energiya sarfi 52 foizga kamayganini va xizmat ko'rsatish xarajatlari 23 foizga tushganini ko'rsatgan.

O'zbekiston hukumatining "Raqamli O'zbekiston-2030" strategiyasi va "Yashil iqtisodiyot" konsepsiyasi doirasida shaharlarni aqlli boshqarish (smart city) yo'nalishiga katta e'tibor berilmoqda. Mazkur tadqiqot ushbu davlat siyosatiga muvofiq ravishda Andijon sharoitida samarali, arzon va kengaytiriladigan intellektual ko'cha yoritish tizimini ishlab chiqish va uni empirik jihatdan baholashga bag'ishlangan.

Tadqiqotning asosiy maqsadlari: (1) mavjud ko'cha yoritish tizimlarining muammolarini tizimli tahlil qilish; (2) IoT asosidagi intellektual yoritish tizimining arxitekturasini loyihalash; (3) tizimni ESP32, PIR va BH1750 sezgiclari yordamida apparat darajasida amalga oshirish; (4) MQTT va bulut platforma yordamida

markazlashtirilgan monitoring tizimini yaratish; (5) tizimning energiya samaradorligi va ishonchliligini tajriba orqali baholash.

ASOSIY QISM

Tizim arxitekturasini va loyihalash tamoyillari.

Ishlab chiqilgan intellektual ko'cha yoritish tizimi uch qatlamli arxitekturaga asoslanadi. Birinchi qatlam — Sezgichlar va ijro etuvchi qurilmalar qatlami: har bir chiroq ustuniga o'rnatilgan ESP32 mikrokontrolleri, PIR harakat sezgichi (Passive Infrared Sensor), BH1750 yorug'lik intensivligi sezgichi (0-65535 lyuks), PWM (Pulse Width Modulation) orqali boshqariladigan LED drayveri, oqim va kuchlanish o'lchagichi (ACS712), harorat sezgichi (DS18B20). Ikkinchi qatlam — Kommunikatsiya va ma'lumot uzatish qatlami: MQTT protokoli, Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n) va LoRaWAN (uzoq masofali tarmoqlar uchun). Uchinchi qatlam — Boshqaruv va monitoring qatlami: MQTT broker (Mosquitto), Node-RED vizual dasturlash muhiti, InfluxDB vaqt qatorlari ma'lumotlar bazasi, Grafana monitoring paneli.

Tizimning asosiy ishlash prinsipi quyidagicha: BH1750 sezgichi tashqi muhitdagi yorug'lik darajasini doimiy ravishda o'lchaydi. Agar tabiiy yorug'lik 10 lyuksdan past bo'lsa (qorongu tushganda), tizim avtomatik ravishda ishlashni boshlaydi. PIR sezgichi harakatni aniqlash radiusi 10-12 metr bo'lib, harakatni sezganda chiroqni 100% quvvatga ko'taradi va 3 daqiqa davomida shu darajada ushlab turadi. Harakat sezilmagan hollarda chiroq 20-30% ga tushiriladi (minimal xavfsizlik yoritishi), bu esa katta energiya tejashni ta'minlaydi. Qo'shni chiroqlar o'rtasida "to'lqin" effekti joriy etilgan: bitta chiroqda harakat aniqlanganda, 50 metr radiusidagi qo'shni chiroqlar ham 70% ga ko'tariladi — bu piyoda yoki transport harakatini oldindan kutib olish imkonini beradi.

Apparat qismi va dasturiy ta'minot.

ESP32 mikrokontrolleri asosiy boshqaruv elementi sifatida tanlandi. Tanlash asoslari: ikki yadroli 240 MHz Xtensa LX6 protsessori, 520 KB SRAM, 4 MB flash-xotira, Wi-Fi va Bluetooth 4.2 o'rnatilgan, 38 ta GPIO pin, 12-razryadli ADC va DAC, PWM boshqaruvi uchun LEDC moduli, narxi (3-5 dollar) va keng qo'llab-quvvatlash ekotizimi. PIR sezgichi (HC-SR501) harakatni aniqlash uchun tanilgan: 3-7 metrlik aniqlash masofasi (o'rnatilgan holda 10-12 metrgacha yetadi), qo'zg'atish muddatini (0.5-200 soniya) va sezgirligini sozlash imkoniyati mavjud.

BH1750 raqamli yorug'lik sezgichi I2C interfeysi orqali ESP32 ga ulangan bo'lib, 1-65535 lyuks diapazonida o'lchaydi va 16-razryadli aniqlikni ta'minlaydi. LED drayveri PWM signali yordamida 0-100% oralig'ida chiroq quvvatini muammosiz boshqaradi. ACS712 oqim sezgichi har bir chiroqning quvvat iste'molini real vaqtda o'lchab, markaziy servuga MQTT orqali yuboradi — bu nosozliklarni (lampa yonishi, kabel uzilib qolishi) avtomatik aniqlash imkonini beradi.

Mikrokontroller dasturiy ta'minoti Arduino IDE muhitida C++ tilida yozilgan. Asosiy tsikl quyidagi vazifalarni bajaradi: har 100 ms da sezgichlardan ma'lumot o'qish; harakat va yorug'lik holatiga qarab LED PWM qiymatini hisoblash; har 30 soniyada MQTT brokeriga telemetriya yuborish (yorug'lik darajasi, tok, kuchlanish, harorat, harakat holati, LED quvvati); MQTT-dan boshqaruv buyruqlarini qabul qilish va bajarish. Wi-Fi ulanishi uzilganda ESP32 oxirgi holatni EEPROM da saqlaydi va mustaqil ishlashda davom etadi — bu tizimning ishonchliligini ta'minlaydi.

MQTT va bulut monitoring tizimi.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protokoli IoT qurilmalari uchun eng keng tarqalgan yengil kommunikatsiya protokoli hisoblanadi. Publish/Subscribe arxitekturasida ishladi: har bir chiroq o'z ma'lumotlarini "street/light/{id}/telemetry" mavzusiga (topic) e'lon qiladi (publish), markaziy server esa barcha chiroqlarga oid ma'lumotlarni oladi (subscribe). "street/light/{id}/control" mavzusi orqali individual chiroqni yoki guruhni boshqarish buyruqlari yuboriladi. Mosquitto MQTT broker Raspberry Pi 4 ga o'rnatilgan va 500 ta bir vaqtli ulanishni qo'llab-quvvatlaydi.

Node-RED vizual dasturlash muhiti MQTT brokeridan ma'lumot olib, qoidalar (rules) asosida avtomatik qarorlar qabul qiladi va InfluxDB ga yozadi. Joriy etilgan asosiy avtomatlashtirish qoidalari: agar har qanday chiroqda oqim norma qiymatidan $\pm 20\%$ farq qilsa, xizmat ko'rsatish guruhiga Telegram orqali ogohlantirish yuborish; agar 5 soniya ichida 3 ta qo'shni chiroqda ketma-ket harakat aniqlansa, 200 metr bo'ylab barcha chiroqlarni 80% ga ko'tarish (transport oqimini kutib olish); tong otganda (BH1750 o'rtacha qiymati 500 lyuksdan oshganda) barcha chiroqlarni avtomat o'chirish. Grafana monitoring paneli har bir chiroqning real vaqtdagi holatini, kunlik va oylik energiya iste'molini, nosozliklar tarixini va tejash statistikasini vizual ko'rsatadi.

Tajriba maydoni va sinov metodologiyasi.

Tizim Andijon shahrining Navoiy ko'chasining 800 metrlik bo'limida o'rnatildi. Bu bo'limda 32 ta chiroq ustuni mavjud bo'lib, ulardan 16 tasiga (eksperimental guruh) intellektual boshqaruv tizimi o'rnatildi, qolgan 16 tasi (nazorat guruhi) avvalgi rejimda ishlashda davom etdi. Sinov davri: 2024-yil noyabrdan 2025-yil yanvargacha (3 oy, qish mavsumi). O'lchanadigan parametrlar: kunlik va oylik elektr energiya sarfi (kWt·soat); yoritish intensivligi (lyuks, ko'cha sirtida 5 nuqtada); nosozlik sonlari va bartaraf etish vaqti; tizimning uzluksiz ishlash muddati (uptime). Ma'lumotlar InfluxDB da avtomatik yig'ildi va Grafana orqali tahlil qilindi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Uch oylik sinov natijalariga ko'ra, intellektual yoritish tizimi quyidagi ko'rsatkichlarga erishdi. Energiya samaradorligi: eksperimental guruh (16 ta intellektual chiroq) uch oy davomida 1847 kWt·soat elektr energiya sarfladi, nazorat

guruhi (16 ta an'anaviy chiroq) esa 3,507 kWt·soat sarfladi. Tejash ko'rsatkichi: $(3507-1847)/3507 \times 100\% = 47.3\%$. Soatlik tahlil shuni ko'rsatdiki, eng katta tejash kechki 23:00 dan tong 5:00 gacha (kam harakatli vaqt) kuzatildi — bu davrda intellektual chiroqlar o'rtacha 22% quvvatda ishladi, an'anaviy chiroqlar esa to'liq quvvatda yonib turdi.

Yoritish sifati baholashda IEC 60598 va EN 13201 standartlariga muvofiq ko'cha sirtining 5 nuqtasida (ustun tagida, 5m, 10m, 15m, 20m) lyuksmetr bilan o'lchov o'tkazildi. Harakat aniqlanganida intellektual chiroqlar 100% quvvatda 42-58 lyuks ta'minladi (standart talabi: kamida 30 lyuks), harakatsiz paytda esa 20-30% quvvatda 9-17 lyuks ta'minladi (xavfsizlik minimumi). Yoritish bir xilligi koefficienti (uniformity ratio U0) eksperimental guruhda 0.43 bo'lib, nazorat guruhining 0.32 ko'rsatkichidan 34.4% yuqori. Bu PIR sezgicilari orqali qo'shni chiroqlarni koordinatsiyalangan boshqarish natijasida erishildi.

Nosozliklarni aniqlash tizimi uch oy davomida 7 ta nosozlikni avtomatik aniqladi: 4 ta lampa almashtirish zarurati (oqim anormaliyasi orqali), 2 ta kabel muammosi (tok sifiri), 1 ta LED drayver nosozligi. Barcha hollarda texnik xizmat guruhi 2-4 soat ichida muammoni bartaraf etdi. Nazorat guruhida esa 3 ta nosozlik an'anaviy vizual nazorat orqali (haftalik patrul) aniqlandi va o'rtacha 3.5 kun o'tgach bartaraf etildi — bu ham xavfsizlik, ham energiya tejash nuqtai nazaridan jiddiy farqni ko'rsatadi. Tizimning uzluksiz ishlash ko'rsatkichi (uptime): 99.1% — 3 oyda jami 6.5 soat texnik to'xtash.

Iqtisodiy tahlil: Andijon shahrining joriy elektr energiya tarifi (industrial) — 725 so'm/kWt·soat (2024). 3 oylik tejash: $1660 \text{ kWt} \cdot \text{soat} \times 725 \text{ so'm} = 1,203,500 \text{ so'm}$ (16 chiroq uchun). Yillik hisob: $\sim 4,814,000 \text{ so'm}$ (16 chiroq). Tizimni o'rnatish xarajati: ESP32 (16 ta) — 880,000 so'm, sezgichlar to'plami — 720,000 so'm, LED drayverlar — 1,440,000 so'm, Raspberry Pi server — 1,200,000 so'm, o'rnatish ishlari — 1,600,000 so'm. Jami: $\sim 5,840,000 \text{ so'm}$. O'zini qoplash muddati: ~ 14.5 oy. Butun Andijon shahrida (taxminan 12,000 chiroq) kengaytirish hisobida yillik energiya tejalihi 361,050,000 so'mni tashkil etadi.

Xalqaro tadqiqotlar bilan qiyoslash: Leccese va boshq. (2014) shunga o'xshash IoT asosidagi tizimda 43.2% tejashni; Garcì-Manche va boshq. (2020) 52% tejashni qayd etgan. Bizning 47.3% ko'rsatkichimiz ushbu oraliqda bo'lib, o'rta qishki sharoitda (Andijon — sovuq qish, qisqa kun) erishilgan natija uchun yaxshi hisoblanadi. Yoritish bir xilligida erishilgan 34.4% yaxshilanish esa Rahman va boshq. (2021) tomonidan qayd etilgan 28.6% ko'rsatkichdan yuqori — bu qo'shni chiroqlarni koordinatsiyalangan boshqarish algoritmining samaradorligini isbotlaydi.

Tizimning asosiy cheklovlari: Wi-Fi ulanishi past sifatli hududlarda tizim ishonchliligiga ta'sir qiladi — kelajakda LoRaWAN ulanishi joriy etish tavsiya etiladi; yomg'ir va muzlash sharoitida PIR sezgichining aniqlik ko'rsatkichi 8-12% ga pasaydi; hozirgi tizim bitta serverni ishlatib, nosozlik bo'lsa muammo yuzaga kelishi mumkin

— klasterli arxitektura zarur. Kelajakdagi tadqiqotlar uchun: sun'iy intellekt (LSTM neyron tarmog'i) yordamida harakatlanuvchi transport oqimini bashorat qilish va proaktiv yoritish boshqaruvini amalga oshirish; quyosh energiyasi bilan ishlash imkoniyatini integratsiya qilish.

XULOSA

Mazkur tadqiqotda ko'cha intellektual yoritish tizimini IoT texnologiyalari — ESP32 mikrokontrolleri, PIR va BH1750 sezgichlari, MQTT protokoli va Grafana monitoring paneli — yordamida ishlab chiqish va real sharoitda sinovdan o'tkazishning to'liq ilmiy tsikli amalga oshirildi.

Uch oylik tajriba natijalari quyidagilarni isbotladi: intellektual yoritish tizimi an'anaviy tizimga nisbatan elektr energiya sarfini 47.3 foizga kamaytiradi; yoritish bir xillik koeffitsienti 34.4 foizga yaxshilanadi; nosozliklarni avtomatik aniqlash vaqtini o'rtacha 3.5 kundan 2-4 soatga (20 martadan ko'proq) qisqartiradi; tizimning o'zini qoplash muddati 14.5 oyni tashkil etadi.

Ishlab chiqilgan tizim O'zbekiston shaharlarining iqlim va infratuzilma sharoitiga moslashtirilgan bo'lib, "Raqamli O'zbekiston-2030" va "Yashil iqtisodiyot" strategiyalari doirasida shaharlarni aqlli boshqarish (smart city) konsepsiyasini amaliyotga joriy etishda muhim qadam hisoblanadi. Kelajakda LoRaWAN ulanishi, quyosh batareyasi integratsiyasi va AI asosidagi proaktiv boshqaruv algoritmlarini qo'shish tizimning samaradorligini yanada oshiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Garcè-Manche, A., Berzosa, D., & Hernández, L. (2020). Smart street lighting management system based on IoT. *IEEE Access*, 8, 113095–113108.
2. IEA – International Energy Agency. (2022). *World Energy Outlook 2022*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
3. Leccese, F., Cagnetti, M., & Trinca, D. (2014). A smart city application: A fully controlled street lighting isle based on Raspberry-Pi card, a ZigBee sensor network and WiMAX. *Sensors*, 14(12), 24408–24424.
4. Rahman, M., Islam, M., & Hossain, M. (2021). IoT-based intelligent street lighting system with fault detection and energy monitoring. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12(4), 3521–3532.
5. Talari, S., Shafie-Khah, M., Siano, P., Loia, V., Tommasetti, A., & Catalão, J. (2017). A review of smart cities based on the internet of things concept. *Energies*, 10(4), 421.
6. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktyabrdagi PF-6079-son Farmoni. "Raqamli O'zbekiston-2030" strategiyasini tasdiqlash to'g'risida.
7. Espressif Systems. (2023). *ESP32 Technical Reference Manual*. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf

8. ROHM Semiconductor. (2011). BH1750FVI Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC. Datasheet.
9. Banks, A., & Gupta, R. (2014). MQTT Version 3.1.1. OASIS Standard. <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>
10. Kumar, S., Bhatt, M., & Parmar, G. (2020). IoT based street light monitoring and controlling system. International Journal of Advanced Research in Computer Science, 11(3), 33–38.
11. Qodirov, B., & Yusupov, A. (2023). O'zbekiston shaharlarida aqlli texnologiyalarni joriy etishning dolzarb masalalari. Texnika va texnologiyalar jurnali, 4(2), 12–21.
12. EN 13201-2:2015. Road lighting — Part 2: Performance requirements. European Committee for Standardization (CEN).