

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Иматұлы Сабыржан

«Қалалық инфрақұрылымда IoT арқылы ақылды жарықтандыру жүйелерін
енгізу және тиімділігін бағалау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2025 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

 Е.Таштай

«20» 05 2025 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Қалалық инфрақұрылымда IoT арқылы ақылды жарықтандыру
жүйелерін енгізу және тиімділігін бағалау»

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Орындаған:



С. Иматұлы

Пікір беруші

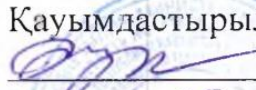
М.Тынышбаев атындағы АЛТ
университеті, PhD, «АКТ»
кафедрасының ассистент
профессоры

 Мәдібайұлы Ж.

«20» 05 2025 ж.

Ғылыми жетекші

ҚазҰТЗУ, ф.м..ғ.к, Электроника,
телекоммуникация және ғарыштық
технологиялар кафедрасының
Қауымдастырылған профессоры

 Жунусов Қ.Х.

«20» 05 2025 ж.

Алматы 2025 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және акпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

6B06201 Телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

Е. Таштай

« 31 » 01 2025 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы *Иматұлы Сабыржан*

Тақырыбы *«Қалалық инфрақұрылымда IoT арқылы ақылды жарықтандыру жүйелерін енгізу және тиімділігін бағалау»*

Университет ректорының «29» қаңтар 2025 ж. №26 П/Ө бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «30» сәуір 2025 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: 1) Негізгі платформа: ESP32 немесе Raspberry Pi. 2) Жарық деңгейін өлшейтін фотодатчик (Light Dependent Resistor – LDR). 3) Қозғалыс датчигі (PIR Motion Sensor). 4) Температура және ылғалдылық датчигі (DHT22). 5) LED шамдары (жарықтандыру элементтері). 6) Wi-Fi немесе LoRa модулі деректерді жіберу үшін. 7) Реле модулі жарықтандыруды басқару үшін. 8) Энергия көзі: Желілік ток көзі (220В) немесе күн батареясы негізінде энергия жинау.

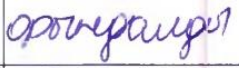
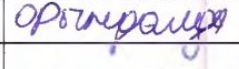
Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі: а) Қалалық инфрақұрылымда жарықтандыру жүйелерін жаңғырту қажеттілігін талдау. б) IoT технологиясын қолдана отырып, ақылды жарықтандыру жүйесінің аппараттық және бағдарламалық бөліктерін әзірлеу. в) Датчиктер мен жарықтандыру элементтерінің жұмыс алгоритмін әзірлеу және тестілеу. г) Жарықтандыру жүйесінің тиімділігін бағалау және энергия тұтынуды талдау. д) Жүйені қалалық инфрақұрылымға енгізу мүмкіндіктерін зерттеу. е) Нәтижелерді талдау және ұсыныстар жасау.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):
Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 1) Monk, S. (2022). *Programming the Raspberry Pi: Getting Started with Python*. McGraw-Hill Education. ISBN: 978-1264257352. 2) Petin, V. "Arduino и Raspberry Pi в проектах Internet of Things. 2-е изд." 3) Виллен М. "IoT-программирование. Создание приложений для интернета вещей." ISBN: 978-5-4461-1477-6. 4) Официальная документация

ESP32, LoRa және датчиктер туралы. 5) Говорун Е. "Интернет вещей: основы и применение." ISBN: 978-5-496-03092-9.

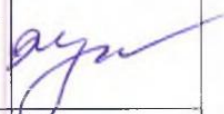
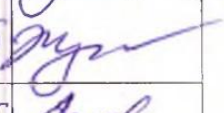
дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2025 - 01.02.2025	
Теориялық ақпарат	01.02.2025 - 01.03.2025	
Жабдықтар жұмысының есебі және жұмысты рәсімдеу	01.03.2025 - 30.05.2025	

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған

қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Жунусов К.Х. ЭТжҒТ каф. қауым.профессоры, ф-м.ғ.к.	13.03.2025	
Теориялық ақпарат	Жунусов К.Х. ЭТжҒТ каф. қауым.профессоры, ф-м.ғ.к.	29.04.2025	
Норма бақылау	Досбаев Ж.М. ЭТжҒТ каф.аға оқытушысы, PhD	19.05.2025	

Ғылыми жетекшісі

 Жунусов К.Х.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

 Иматұлы С.

Күні «02» ақпан 2025 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста қалалық инфрақұрылымда IoT технологияларын қолдану арқылы ақылды жарықтандыру жүйесін енгізу және оның тиімділігін бағалау мәселелері қарастырылды. Жоба шеңберінде макет түріндегі модель жасалып, жол бойындағы жарық бағаналары, орталық басқару нүктесі, жасыл кеңістіктер және жолақтар құрылды. Жүйенің негізгі мақсаты — қоршаған ортаның жарық деңгейіне қарай көше шамдарын автоматты түрде басқару және қашықтан бақылау мүмкіндігін қамтамасыз ету. Жобада ESP8266 модулі, WS2812 NeoPixel жарықдиодтары, LDR сенсорлары және Blynk платформасы қолданылды. Нәтижесінде, энергия үнемдеу және қалалық жарықтандыру тиімділігін арттыру мүмкіндігі көрсетілді.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматриваются вопросы внедрения системы умного освещения в городской инфраструктуре с использованием технологий Интернета вещей (IoT) и оценки её эффективности. В рамках проекта была создана макетная модель, включающая уличные фонари вдоль дорог, центральный управляющий пункт, зелёные зоны и дорожные полосы. Основной целью системы является автоматическое управление уличным освещением в зависимости от уровня окружающего освещения и обеспечение возможности дистанционного контроля. В проекте использовались модуль ESP8266, светодиоды WS2812 NeoPixel, датчики освещённости LDR и платформа Blynk. В результате продемонстрирована возможность энергосбережения и повышения эффективности городской системы освещения.

ABSTRACT

This thesis explores the implementation of a smart lighting system in urban infrastructure using Internet of Things (IoT) technologies and evaluates its efficiency. Within the project, a mock-up model was developed, featuring streetlights along the roads, a central control unit, green spaces, and road lanes. The main objective of the system is to automatically control streetlights based on ambient light levels and provide remote monitoring capabilities. The project utilized an ESP8266 module, WS2812 NeoPixel LEDs, LDR light sensors, and the Blynk platform. As a result, the potential for energy savings and improved urban lighting efficiency was demonstrated.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Ақылды қаланы зерттеуге жүйелі көзқарас	8
1.1 Қазіргі әлемдегі ақылды қалалар	8
1.2 Әлемде ақылды қала концепциясының дамуы	9
1.3 Қазақстандағы ақылды қалалардың эволюциясы	14
1.4 Ақылды қала даму жүйесіндегі цифрландыру: артықшылықтар мен тәуекелдер	20
2 Ақылды қалаларға арналған IoT негізіндегі ақылды жарықтандыру жүйесі	23
2.1 Ақылды қалаларға арналған IoT жүйесін талдау	23
2.2 Ақылды қала экожүйесін құру	25
2.3 Ақылды жарықтандыру жүйелерінде қолданылатын IoT байланыс протоколдары	26
2.4 Ақылды жарықтандыру жүйесінің элементтері	28
2.5 Ақылды жарықтандыру платформалары үшін сенсорлар	29
2.6 Ақылды жарықтандыруға арналған байланыс интерфейстері	30
2.7 Ақылды жарықтандыру жүйесін болашақ зерттеу бағыттары	31
3 IoT платформасына негізделген SMART CITY көше жарықтандыру жүйесі	33
3.1 Ақылды қала дамуының үрдісі	33
3.2 Қалалық интеллектуалды жарықтандыру жүйесі	35
3.3 Қозғалысты анықтау түрлері	38
3.4 Қалалық инфрақұрылымдағы тұрақтылық: LoRaCELL негізіндегі IoT ақылды жарықтандыру жүйелері	41
3.5 Ақылды жарықтандыру жүйелеріне шолу	43
3.6 Эксперименттік орнату және конфигурация	48
3.7 Жіберілетін хабарламаның құрылымы	59
3.8 AWS-MongoDB-Power BI	60
3.9 Жобаның құрылымдық сипаттамасы	63
3.10 Жүйенің техникалық сипаттамасы	67
Қорытынды	69
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	70
Қосымша А	73

КІРІСПЕ

Қалалық инфрақұрылымның дамуы мен жаңғыруы қазіргі таңда заманауи технологияларды қолданумен тығыз байланысты. Әлемнің көптеген мегаполистері мен шағын қалалары тиімділігі жоғары, энергияны үнемдейтін және экологиялық тұрғыда қауіпсіз шешімдерді іздеуде. Бұл контексте "заттар интернеті" (IoT) технологиялары маңызды орын алады. IoT көмегімен қалалық ресурстарды ақылды басқару, деректерді нақты уақыт режимінде жинау және талдау арқылы тиімді шешімдер қабылдау мүмкіндігі артады.

Ақылды жарықтандыру жүйелері - осындай инновациялық бағыттардың бірі. Дәстүрлі көше жарықтандыру жүйелері көбіне тұрақты режимде жұмыс істейді, бұл энергияның артық шығындалуына және қызмет көрсету шығындарының өсуіне әкеледі. Ал ақылды жарықтандыру жүйелері қоршаған ортаның жағдайына сәйкес өз жұмысын бейімдеп, қажетті сәтте ғана жарық беруді қамтамасыз етеді.

Осы дипломдық жұмыстың негізгі мақсаты - IoT технологияларын пайдалана отырып қалалық инфрақұрылымда ақылды жарықтандыру жүйесін құру және оның тиімділігін эксперименттік түрде бағалау. Жобада арнайы макет әзірленді, онда жол бойындағы жарық бағаналары, орталық басқару ғимараты, жасыл кеңістіктер және жолақтар модульдендірілді. Әрбір жарық бағанасына сенсорлар және NeoPixel жарықдиодтары орнатылып, олардың жұмысын ESP8266 модулі және Blynk платформасы арқылы басқару жүзеге асырылды.

Жобаның өзектілігі - энергия үнемдеу, қалалық қауіпсіздікті арттыру және инфрақұрылымды тиімді басқару сияқты мәселелерді шешуде IoT технологияларының маңыздылығын көрсету болып табылады. Сонымен қатар, бұл жұмыс болашақта ақылды қалалар (Smart City) концепциясын жүзеге асыруда қолданылуы мүмкін практикалық шешімдердің негізін қалайды.

1 Ақылды қаланы зерттеуге жүйелі көзқарас

1.1 Қазіргі әлемдегі ақылды қалалар

Қалалану (урбанизация) үдерісі көптеген елдерде белсенді жүріп жатыр және экономикалық өсім қарқынымен оң байланысқа ие. Зерттеушілер бұл екі құбылыстың арасындағы себеп-салдар байланысының бағытына қатысты түрлі көзқарастар ұстанады [Изотов, 2017; Hofmann, Wan, 2013], бірақ мұндай байланыстың бар екенін растайды. Алайда, оң әсерлермен қатар, қалаланудың жағымсыз салдары да бар. Бұл мәселелер әсіресе қалалардың күрт және жоспарланбаған өсуі кезінде, жергілікті биліктің тиісті дайындықсыз болуы жағдайында айқын көріне бастайды [Лимонов, 2019]. Осы дереккөзде қалалық билікке қойылатын келесі экономикалық міндеттер атап өтіледі: қаланың бәсекеге қабілеттілігін арттыру, кәсіпкерлікті қолдау, жұмыспен қамтуға жәрдемдесу, кластерлерді дамыту, мәдени мұраны сақтау және туризмді дамыту. Әлеуметтік мәселелер ретінде адами капиталды жинақтау қажеттілігі, өмір сүру сапасын арттыру, мәдениетті қолдау, кедейлікпен және қылмыспен күресу міндеттері ерекшеленеді. Сонымен қатар, жылжымайтын ресурстардың (су мен жердің) тапшылығы, экологияның нашарлауы, жол қозғалысының қиындауы мен жол-көлік оқиғаларының көбеюі, әлеуметтік теңсіздік, шет аймақтардан адами капиталдың кетуі сияқты мәселелер де жеке көрсетіледі. Бұл тізім толық емес, әрі проблемалар тізімі зерттеушілердің мақсаттарына да байланысты қалыптасады. Мәселен, [Tura, Ojanen, 2002] еңбегінде қалдықтарды өңдеу, ресурстардың тапшылығы, қоршаған ортаның ластануы, жол қозғалысының қиындауы және халықтың қартаюы мәселелері бөлініп көрсетіледі. Басқа зерттеулерде урбанизация проблемаларына мыналар жатады: қауіпсіздік, халықтың шамадан тыс шоғырлануы, көлік қозғалысының ауыртпалығы, әлеуметтік жіктелудің жоғары деңгейі, эпидемиологиялық жағдайдың күрделенуі [Atroub және басқалар, 2016], қолданыстағы инфрақұрылымның өсіп келе жатқан қажеттіліктерге сәйкес келмеуі [Тебекин, 2019], экологиялық мәселелер – ауа, су, топырақтың ластануы, қалдықтарды кәдеге жарату [Ляховенко, 2017], көлік қозғалысының тығыздығы мен автотұрақтардың жетіспеуі [Лопин және басқалар, 2009], тіршілік ету ортасының өзгеруі және соның салдарынан халық денсаулығына зиянды әсер ету, инсоляция (күн сәулесінің жетіспеуі) мәселелері [Муסיнова, 2019], психологиялық және әлеуметтік денсаулықтың нашарлауы, оның ішінде девиантты мінез-құлықтың дамуы [Бобров, 2011], қалпына келмейтін ресурстардың сарқылуы, теңсіздіктің, соның ішінде қоғамдық игіліктерге қол жеткізу теңсіздігінің өсуі және басқа да мәселелер. Бұл зерттеулер қалалардың өсуімен байланысты елеулі проблемалардың бар екенін көрсетеді.

Мұны қоғамдық пікір сауалнамалары да растайды. 2019 жылы Domofond порталы Ресей тұрғындары арасында оларды ең қатты алаңдататын қалалық мәселелер туралы сауалнама жүргізіп, бірнеше нұсқадан таңдау ұсынған. Ең көп наразылық тудырған мәселе жолдардың сапасы және олардың жөнделмеуі

болды (сауалнамаға қатысқандардың 45,5%-ы), сондай-ақ алғашқы бес мәселеге кіргендер: көшелердің ластығы мен дұрыс тазаланбауы (35,7%), инфрақұрылымның жеткіліксіз дамуы (31,6%), жарықтандырудың нашарлығы (29,7%) және мәдени іс-шаралардың жетіспеушілігі (25,7%). Сонымен қатар, ең өзекті мәселелер әр қалада әртүрлі болуы мүмкін.

Қалалардың урбанизацияға байланысты туындайтын мәселелері мен цифрлық технологиялардың (ең алдымен байланыс желілері, заттар интернеті, үлкен деректерді нақты уақыт режимінде жинау және қашықтан басқару мүмкіндігі, үлкен деректерді машиналық оқыту, жасанды интеллект және бұлттық технологияларды қолдана отырып өңдеу, алынған деректер негізінде мониторинг, болжау және басқару жүргізу) белсенді дамуы, сондай-ақ бұл технологияларды енгізудің арзандауы әлемнің әртүрлі қалаларында смарт-қала тұжырымдамасының пайда болып, жүзеге асырылуына алып келді. Бұл тұжырымдама уақыт өте келе технократиялық көзқарастан адамға бағытталған тәсілге ауысты, соның нәтижесінде смарт-қалалар саясатына тұрақты және инновациялық дамуға, адами капиталды дамытуға бағытталған шаралар қосылды.

1.2 Әлемде ақылды қала концепциясының дамуы

Ақылды қала концепциясының дамуына үлкен серпін 2008 жылы IBM компаниясының «Smarter Planet» бағдарламасы аясында берілді. Бұл бағдарлама адамзаттың өсіп-өркендеуіне жаңа интеллектуалды цифрлық жүйелер мен технологиялар, үлкен деректер және заттар интернеті арқылы қол жеткізуге бағытталған жаңа стратегия ретінде ұсынылды. Бағдарламаның бір бөлігі ретінде «Smarter Cities» — ақылды қалаларды құру бастамасы жүзеге асырылды. Бұл қалаларда интеллектуалды көлік жүйелері, қауіпсіз қала жүйелері, энергетика, ресурс тұтыну, денсаулық сақтау, ақылды ғимараттар және басқа да заманауи шешімдер енгізілді. 2009 жылы компания әртүрлі елдерде ақылды қалалар мәселесіне арналған шамамен 100 форум өткізсе, 2010 жылы 800 сарапшысын әлемнің 130 қаласына жіберіп, ақылды қала концепциясын әзірлеу жұмыстарын жүргізді. Мысалы, компания 2014 жылғы футболдан әлем чемпионаты мен 2016 жылғы Олимпиада ойындарына дайындық барысында Рио-де-Жанейрода инфрақұрылымды интеллектуалды технологиялар арқылы цифрландыру бойынша іс-шаралар өткізді.

Сонымен қатар, басқа да технологиялық алыптар, мысалы Cisco («Smart+Connected Communities» бағдарламасы), Accenture («Intelligent Cities» бағдарламасы), Google және басқалары қалыптасып келе жатқан ақылды қала технологиялары нарығының белсенді қатысушылары болды. Негізгі өзара әрекеттесу жергілікті билік пен бизнес арасында жүрді: бір жағында жоғары технологиялық компаниялар болса, екінші жағында оларға түрлі технологиялық шешімдер ұсынылған муниципалитеттер тұрды. Бұл

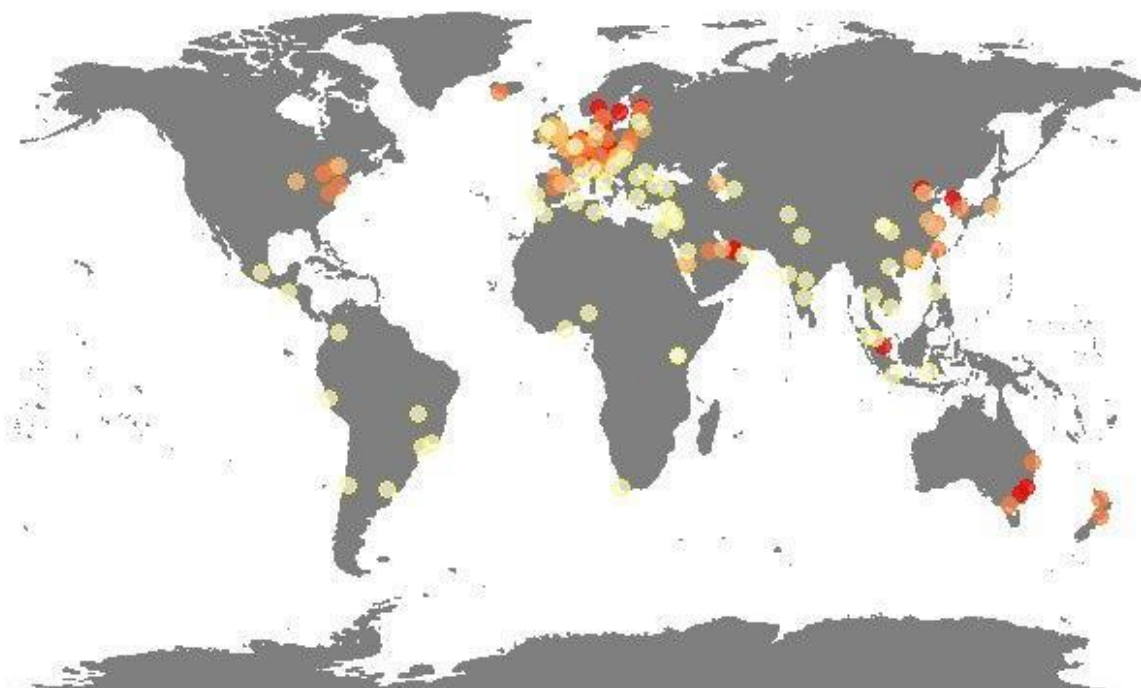
шешімдерді енгізу уақытты, қаражатты және ресурстарды үнемдеуге мүмкіндік беріп, муниципалдық басқару жүйесін жеңілдетті. Осылайша «Ақылды қала 1.0» — техноорталықталған концепциясы қалыптасты.

Дәл осы кезеңде Америка мен Еуразияда (Нью-Йорк, Чикаго, Рио-де-Жанейро, Амстердам, Вена және т.б.) қалаларды цифрландыруға бағытталған көптеген муниципалдық бағдарламалар пайда болды. Сонымен бірге түрлі бірлестіктер құрылды, мысалы, IEEE Smart City Group, DCS (Цифрлық қалаларды зерттеу), ЕМС (Орташа көлемдегі еуропалық ақылды қалалар тобы) және басқалар, олар туралы [Anthopoulos, 2017] зерттеуінде толығырақ баяндалған.

Алайда жеке компаниялардың мақсаттары мен қоғамның мүдделері жиі сәйкес келмеді, қымбат инновацияларды енгізудің артықшылықтары халық үшін түсініксіз болды, бұл техноорталықталған тәсілге сынның көбеюіне әкелді [Greenfield, 2013; Townsend, 2013; Hollands, 2008; Hollands, 2015; Söderström және басқалар, 2014; Vanolo, 2014]. Мысалы, [Hollands, 2008] мақаласында мұндай қалаларды «жекеменшік» немесе «корпоративтік» ақылды қалалар деп атап, оларда қоғамдық мүдделердің ескерілмеуі мен пайда табуға ұмтылыс байқалатынын атап өткен.

Осының салдарынан концепция қайта қаралып, «Ақылды қала 2.0» идеясы қалыптасты. Бұл жаңа тәсіл қаланың тұрғындарының өмір сүру сапасына, қаланың қажеттіліктері мен мақсаттарына, тұрақты қалалық дамуға және қоршаған ортаға қамқорлыққа баса назар аударады. Осыған сәйкес ақылды қала ұғымының өзі өзгерді: бүгінде технологиялар өмір сапасын арттыру құралы ретінде қарастырылады. Жаңа қатысушылар тартыла бастады: қала тұрғындары, инновациялық орта өкілдері, ғылым мен білім беру саласының өкілдері және басқалар.

Егер бастапқыда бастамалар көбінесе жекелеген муниципалитеттерден шыққан болса, кейіннен кейбір мемлекеттер, соның ішінде Үндістан, Қытай және Ресей, ұлттық деңгейде ақылды қалалар бағдарламаларын құра бастады. Бұл қымбат болғанымен, күш-жігерді біріктіруге мүмкіндік берді. 1.1-суретте Smart City Index 2023 нұсқасы бойынша ең ақылды 141 қаланың картасы көрсетілген. Қызыл түспен рейтингтің басында тұрған қалалар белгіленген, ал түсі ашықтаған сайын орын төмендей түседі.



1.1-сурет– Ақылды қалалардың таралу географиясы

Аталған рейтингтің көшбасшылары Цюрих, Осло және Канберра қалалары болды (1.1-кесте). 2021 жылғы шығарылымда Ресейден екі қала – Мәскеу (54-орын) және Санкт-Петербург (79-орын) ұсынылған болатын, ал жаңартылған рейтингте ресейлік қалалар жоқ. Дегенмен, бұл индекс ақылды қалалардың негізгі даму аймақтарын түсінуге мүмкіндік береді: ең тығыз шоғырланған ақылды қалалар Батыс Еуропада, АҚШ-та (АҚШ-тағы 50 ірі қаланың 2/3 бөлігінде ақылды қала стратегиясы бар) және Оңтүстік-Шығыс Азияда орналасқан. Сонымен қатар, ақылды қалалардың басқа да көптеген рейтингтері бар, олардың нәтижелері жиі едәуір өзгеше болады [Каточков және басқалар, 2020].

Кесте 1.1– Smart City Index 2023 көшбасшылары

Рет	Қала	Ел	Рет	Қала	Ел
1	Цюрих	Швейцария	11	Гамбург	Германия
2	Осло	Норвегия	12	Бейжің	Қытай
3	Канберра	Австралия	13	Абу-Даби	БАӘ
4	Копенгаген	Дания	14	Прага	Чехия
5	Лозанна	Швейцария	15	Амстердам	Нидерланды
6	Лондон	Ұлыбритания	16	Сеул	Оңтүстік Корея
7	Сингапур	Сингапур	17	Дубай	БАӘ
8	Хельсинки	Финляндия	18	Сидней	Австралия
9	Женева	Швейцария	19	Гонконг	Гонконг
10	Стокгольм	Швеция	20	Мюнхен	Германия

Ақылды қала технологиялары нарығының жылдам дамуын және оның әр елге тән ерекшеліктерін бөлек атап өткен жөн. Markets & Markets компаниясы бұл нарықтың 2026 жылға дейін жыл сайын 14,9%-ға өсетінін болжайды, ал Frost & Sullivan консалтинг компаниясының болжамы бойынша, оның көлемі 2025 жылы 2,4 триллион долларды құрайды. Сондай-ақ, бұл есепте 2030 жылға қарай ақылды қалаларға арналған шығындардың 70%-ы Батыс Еуропа, АҚШ және Қытай елдеріне тиесілі болады деп көрсетілген. Бұл елдерде 5G, жасанды интеллект, заттар интернеті және т.б. салалардағы инновацияларға белсенді инвестициялар жүргізілуде. Бұл нарықтағы негізгі компаниялар: Cisco (АҚШ), IBM (АҚШ), Siemens (Германия), Microsoft (АҚШ), Hitachi (Жапония), Huawei (Қытай) және тағы басқалар. Сонымен бірге, америкалық компаниялар жаһандық нарыққа шығуға ұмтылса, ірі қытайлық компаниялар (Changdao, SGCC, жартылай Huawei, ZTE) негізінен ішкі нарыққа бағытталған.

Қалаларда азаматтық белсенділік пен тұрғындардың қала басқаруына қатысуы айтарлықтай артып келеді. Бұл кезеңді кейбір зерттеушілер бөлек, ақылды қала 3.0 кезеңі ретінде сипаттайды [Erokhina және т.б., 2019; Yuloskov және т.б., 2021], ал басқалары оны ақылды қала 2.0 кезеңіне жатқызады [Trencher, 2019].

Соңында, ақылды қала 4.0 – бұл көміртегі бейтарап энергия көздеріне көшу, ақылды тұтыну және ресурстарды ұтымды пайдалану арқылы экологиялық және тұрақты дамуға басымдық беретін қала ретінде қарастырылады [Makiela және т.б., 2022].

Жоғарыда сипатталған ақылды қала концепциясының дамуын негізгі кезеңдері мен маңызды оқиғаларды көрсететін схема түрінде ұсынуға болады (1.2-сурет). Мұнда жасыл түспен – жаңа ақылды қалалардың құрылысын бастау, сары түспен – нақты қалалардың цифрландыру бағдарламалары, сұр түспен – ел немесе ұйым деңгейіндегі ақылды қала құру бағдарламалары белгіленген. Бұл схема тек жобалардың аз ғана бөлігін қамтиды және ақылды қала концепциясы мен тәжірибесінің даму тарихы туралы жалпы түсінік береді. Сонымен қатар, кезеңдеу өте шартты болып табылады, себебі әртүрлі типтегі ақылды қалалар бір уақытта және параллель дамуда, көптеген бастамалар 2010 жылдардың басында қала цифрландыру бағдарламалары ретінде басталып, концепцияның дамуына сай трансформацияланып, адам мен тұрақты дамуға бағытталған.



1.2-сурет – Ақылды қала концепциясының уақыт бойынша дамуы

Ақылды қала концепциясының тарихын кезеңдерге бөлудің басқа да баламалы тәсілдері бар. Мысалы, [Головенчик, 2020] еңбегінде келесі тарихи ретроспектива ұсынылған: умды қала 1.0 2001 жылы 11 қыркүйектегі Нью-Йорктегі терактілерден кейін пайда болды, бұл кезде қауіпсіздік және жаңа технологияларды енгізу мәселесі алдыңғы орынға шықты; 2015 жылы БҰҰ-ның Климаттың өзгеруі жөніндегі Негізгі конвенциясы аясында Париж келісімінің қабылдануы көптеген қалалардың умды қала 2.0 кезеңіне өтуіне алып келді — тұрақты даму мақсаттары, төтенше жағдайларға жедел әрекет ету, умды мобильділікке басымдық берілді; ал умды қала 3.0 — тұрғындарды қалалық басқаруға белсенді түрде тарту және инновациялық қалалық экожүйелер құруды білдіреді. Бойд Коэн концепция өзгерісін оны дамытушы күшке байланысты жіктеді: 1.0 — технологиялық компаниялар, 2.0 — мемлекеттік бастама, 3.0 — азаматтар. [Люлько, 2023] зерттеуінде болашақтағы кезеңдерге болжам жасалған: умды қала 4.0 — умды ұлт, ал умды қала 5.0 — «суперумды» қоғам.

Сонымен қатар, қалаларды технологиялармен қамту деңгейіне байланысты жіктеу де ұсынылған: умды қала 1.0 — технологияға бағдарланған қала, 2.0 — жоғары технологиялық басқарылатын қала, 3.0 — жоғары интеллектуалды интеграцияланған қала [Цибарева, 2020; Грибков, Мухин, 2018]. Ұқсас тәсіл 6-шы есепте де көрсетілген: умды қала 1.0 — жеке шешімдердің тиімділігін арттыру, 2.0 — инфрақұрылымның цифрлық үлгілері негізінде қалаларды дамыту және басқару, 3.0 — ортақ көзқарасқа негізделген стратегия және барлық қатысушылар топтарын тарту.

Әрбір қаланың өзіндік экономикалық, әлеуметтік, географиялық, тарихи және мәдени ерекшеліктері болатынын атап өткен жөн, сондықтан умды қалаларды құруда бірыңғай тәсіл жоқ. Жалпы алғанда, умды қала концепциясын енгізудің екі тәсілін атауға болады — жаңа қаланы салу немесе қолданыстағы қалалық жүйеге заманауи цифрлық технологияларды енгізу.

Жаңа қаланы салу соңғы жобалау жетістіктерін, жаңа материалдарды пайдаланып, қазіргі заманғы цифрлық технологиялар мен тұрақты дамуға, экологиялық күн тәртібіне негізделген инфрақұрылым құруға мүмкіндік береді. Бойкова М. және оның әріптестері [Бойкова және т.б., 2016] жаңа қалалардың артықшылығы ретінде олардың орнын экономикалық факторларды ескере отырып таңдауға болатындығын атап өтеді, ал бұрыннан бар қалалар тарихи тұрғыдан қалыптасқан.

Алайда, тәжірибе көрсеткендей, мұндай қалалардың мысалдары – Сонгдо (Оңтүстік Корея), Масдар (БАӘ), Иннополис (Ресей) – бастапқы инвестициялардың орасан зор көлемін, олардың қайтарымдылығындағы қиындықтарды, халықтың аз қоныстануын және әлеуметтік өмірдің дамымауын көрсетеді, сондықтан мұндай қалаларды кейде «цифрлық Чернобыль» деп те атайды. Кейбір жаңа умды қалалар тек қағаз жүзінде ғана қалып қойды, мысалы, PlanIT Valley (Португалия).

Ал қолданыстағы қалаларға жаңа технологияларды енгізу — қаланың тарихи келбетін сақтау, әртүрлі буындағы технологиялардың өзара әрекеті, шешімді қажет ететін барша қалалық мәселелермен күрделене түседі. [Василенко, Егорова, 2019] зерттеуінде пилоттық жобалар негізінде, ең тиімді жол – білімді халқы бар жабық қалаларды умды қалаға айналдыру деген тұжырым жасалған, мысалы, Росатом қалалары. Тағы бір артықшылығы – қала аймақтық астана болса немесе арнайы экономикалық аймақтардың қасында орналасса. Сонымен бірге, кейде кіші қалаларда умды қала салуға кеткен артық шығындар сынға алынады және мұндай жобалар тиімді емес деп есептеледі.

[Caragliu, Del Bo, 2016] еңбегінде умды қаланы бүкіл қалада емес, инновациялық әлеуеті жоғары бір ауданда құру тиімдірек әрі арзанырақ деп саналады. Мысалы, Барселонада 22-кварталдан басталды, онда инновациялық кеңістік құрылып, қалалық жоспарлау мен кәсіпкерлік үшін мүмкіндік жасалды. Сонымен қатар, Smart City Index сияқты рейтингтер көрсеткендей, қолданыстағы қалалардың цифрлық трансформациясы жаңа қалаларды салуға қарағанда әлдеқайда табысты болуда.

1.3 Қазақстандағы ақылды қалалардың эволюциясы

Қазақстан заманауи технологияларды саяси салада қарқынды енгізіп жатқан елдердің қатарына жатады, цифрландыру деңгейі салыстырмалы түрде жоғары, бұл мемлекеттік ашықтық пен есептілікті арттыруға бағытталған.

2017 жылдан бастап Қазақстан Үкіметі «Цифрлық Қазақстан» бағдарламасын іске асырып келеді, ол ақылды қалалар саясатының дамуын белгілі бір дәрежеде айқындайды. Бағдарламаның мақсаттары – экономиканы және мемлекеттік басқаруды цифрландыру, «Цифрлық Жібек жолы» бастамасын дамыту, адами капиталды арттыру және инновациялық экожүйе

құру. Мемлекет осы бағыттардың әрқайсысында дамудың катализаторы ретінде әрекет етеді деп жоспарланған.

Smart City идеяларын жүзеге асыруда қалалардың прогресін халықаралық деңгейде салыстыру мен бағалау үшін Global Smart City, CITYKeys, СКРІ сияқты 30-дан астам тәуелсіз құралдар пайдаланылады. Қазақстанда 11 саладағы 110-нан астам көрсеткішті қамтитын рейтинг қолданылады: денсаулық сақтау, білім беру, қауіпсіздік, көлік, әлеуметтік сала, экология, бизнес пен туризм, коммуналдық қызметтер, құрылыс және ауыл шаруашылығы. Пайдаланылатын көрсеткіштердің тізімі халықаралық практикадағы көрсеткіштермен ішінара сәйкес келеді. Алайда әр блок бойынша 10 көрсеткішке дейін қысқартылған, бұл негізінен техникалық параметрлер тобын салыстыруға мүмкіндік береді.

Қалалардың дамуы туралы деректер оларды әртүрлі параметрлер бойынша жіктеуге, технологиялардың тиімділігін, азаматтардың басқаруға қатысуын және басқа аспектілерді салыстыруға мүмкіндік береді. Smart City-ді енгізу бойынша дамушы елдердегі зерттеулер технологиялардың айтарлықтай өзгермелілігін көрсетеді.

Smart City бағытын таңдаған қалалар жетістіктер деңгейі бойынша едәуір ерекшеленеді. Қазақстандағы ақылды қала тұжырымдамасын енгізу динамикасы 1.2-кестеде көрсетілгендей әртүрлі. Рейтингік бағалау кезеңінде технологиялық шешімдерді енгізу қарқындылығының айтарлықтай өзгеруі байқалады.

Кесте 1.2 – Қазақстан Республикасы қалаларының ішкі рейтингі

Қала	2020 жыл	2021 жыл (100 балдық шкала)	2024 жыл (100 балдық шкала)
Алматы	1 орын	89,7	62
Астана	2 орын	89,6	62
Қарағанды	3 орын	74,5	51
Атырау	4 орын	61,4	28
Өскемен	5 орын	70,9	54
Ақтөбе	6 орын	67,4	37
Орал	7 орын	65,1	50
Қызылорда	8 орын	67,1	36
Талдықорған	9 орын	73,2	36
Көкшетау	10 орын	63,0	46
Қостанай	11 орын	83,7	33
Шымкент	12 орын	55,3	50
Түркістан	13 орын	61,4	47
Петропавл	14 орын	69,8	46
Тараз	15 орын	58,1	45
Ақтау	16 орын	65,4	43
Павлодар	17 орын	61,7	40

Әкімшілік бөлініске сәйкес, Қазақстанда 40 қала республикалық маңызы бар қалалар болып саналады, ал 48 қала облыстық маңызы бар қалалар қатарына жатады (Қазақстан цифрлармен, 2020 жыл). Үш ірі агломерация бөлінеді, олардың жалпы халқы 4,0 миллион адамнан сәл асады:

- Астана (1,1 млн),
- Алматы (1,9 млн),
- Шымкент (1,0 млн).

2020 жылдың басында Қазақстанның қалалық халқы 10,9 миллион адамды немесе 58,7%-ды құрады. Қазақстанның ең ірі қалалары сонымен қатар облыс орталықтары болып табылады, бұл олардың саяси-әкімшілік басқарудағы және даму үшін бюджет қаржысын бөлудегі рөлін анықтайды.

Айта кету керек, 2022 жылғы рейтинг нәтижелері алдыңғы жылдармен салыстырғанда әдістемелік өзгерістерге байланысты ерекшеленеді.

Қалалар бойынша "Ақылды қала" тұжырымдамасын енгізудің негізгі нәтижелері:

Ақтөбе.

- Ситуациялық орталық және халықпен өзара әрекеттесуге арналған бірыңғай байланыс орталығы іске қосылды.

- Мемлекеттік қызметкерлер үшін автоматтандырылған жұмыс орындары құрылды.

- Қоғамдық көлікті бақылау қосымшасы және туристік портал енгізілді.

Ақтау.

- Білім беру саласында mektep.edus қосымшасы арқылы мектептердегі сабаққа қатысуды бақылау жүзеге асырылуда.

- "Indigo" жүйесі арқылы балалар бақшасына жолдама алу қызметтері автоматтандырылды.

- Денсаулық сақтау мекемелерінде PACS электрондық жүйесі енгізілді.

- Қоғамдық көлік жүйесінде электрондық төлем жүйесі бар (7 маршрут, 46 автобус).

- "Ақылды аялдамалар" жобасы жүзеге асырылды (9 аялдама, бейнебақылау, дәретханалар, кондиционерлермен жабдықталған).

- "Smart Caspiy", "Visit Mangystau", "Mangystau.inmap.kz" қосымшалары арқылы ақпараттық қызметтер ұсынылады.

- "Сергек" кешенді жүйесі енгізілді (520 камера, 120 нүктеде).

- 86% тұрғын үйлерге жылу энергиясын есептейтін "ақылды есептегіштер", 16% тұрғын үйлерге су есептегіштері орнатылған.

Алматы.

- "Жол қозғалысы қауіпсіздігі жүйесі" және "Сергек" енгізілді (1936 камера, 404 кешен).

- Велосипедтерді жалға беру жүйесі жұмыс істейді (200 станция, 1760 велосипед) және автокөлік жалға беру қызметі бар.

- Барлық медициналық ұйымдар қағазсыз форматқа көшті.
- Көпқабатты үйлер толық есептегіш құралдарымен жабдықталған.
- 64 су сорғы станциясын басқару мен диспетчерлеудің автоматтандырылған жүйесі жұмыс істейді.

- 2015 жылдан бастап қоғамдық көлікке арналған электрондық төлем және бақылау жүйесі жұмыс істейді.

- "Алматы қаласының Бірыңғай деректер қоймасы" енгізілді, ол аналитика мен қаланы дамыту жоспарлау үшін пайдаланылады.

- IDC халықаралық бағалауы бойынша, Алматы 5 баллдан 2,7 балл жинап, "қайталанатын" (Repeatable) даму деңгейін көрсетті (2021).

Астана.

- Ақпараттық жүйелер: "Қалалық қызметтер порталы" (qalaqyzmet.kz), Ikomek 109, Smart Astana, Damumed, Egov Mobile енгізілді.

- Ақылды жүйелер барлық салаларда қолданылады, мысалы, көліктің өткізу қабілеті 40%-ға артты.

- 62 ашық деректер жинағы жарияланған.

- Негізгі бағыттар: қауіпсіздік, ТКШ, көлік, мемлекеттік қызметтерді автоматтандыру, білім беру және денсаулық сақтау.

- iQala Center арқылы 152 қызмет тәулік бойы қолжетімді.

- Жедел медициналық көмек станциясы толық цифрландырылған, 40 диспетчерлік орын және 80 бригада GPS-трекерлермен жабдықталған.

- Тұрғындар "iKomek109" мониторинг және жедел әрекет ету орталығы арқылы пікір қалдыра алады.

Атырау.

- Электрондық еңбекақы төлеу жүйесі енгізілді.

- Ұлттық ақпараттық жүйелермен интеграция жүргізілді.

Қостанай

- "Smart Qostanai" қосымшасы арқылы 69 қызмет көрсетіледі.

- iKOMEK ситуациялық орталығы қалалық қызметтерді орталықтандырып ұсынады.

Қонаев.

- Қоғамдық көлікте электрондық төлем жүйесі жұмыс істейді.

Көкшетау.

- Ақылды қала жобалары енгізілді:

- Электрондық төлем жүйесі (92% көлік картасы арқылы төлемдер).

- Ашық әкімдік (front-office).

- Кешенді медициналық ақпараттық жүйе (КМИС) және Damumed қосымшасы.

- Бірыңғай бейнемониторинг жүйесі (48 камера, 28 кешен).

- "Электрондық еңбек биржасы" интеграциясы.

- "Әлеуметтік ID карта" (2100 нысан).

- "iKomek-109" жауап беру қызметі.

- "Ашық бюджеттердің интерактивті картасы".

Қызылорда.

- "Smart Qyzylorda" мобильді қосымшасы іске қосылған (78 қызмет).
- Жыл сайын "Smart City Qyzylorda Hackathon", "Inno.Fest" және "Smart Qyzylorda" фестивалі өткізіледі.

Семей.

- Барлық автобустарда электронды билеттендіру жүйесі енгізілген.
- Төлем көлік картасы және мобильді қосымша арқылы жүзеге асырылады.
- Жалпы төлемдердің шамамен 85%-ы мобильді қосымша арқылы жүргізіледі.
- "Infobus mobile" қосымшасы арқылы жолаушылар аялдамада көлікті күту уақытын оңтайландырып, оның келу уақытын бақылай алады.

Тараз.

- "TulparCard" электрондық билеттендіру жүйесі енгізілді.
- Жер қатынастары және сәулет саласында қызмет көрсету үшін өңірлік геоақпараттық жүйе құрылды.
- "Сергек" қоғамдық және жол қауіпсіздігі жүйесі жұмыс істейді.
- Бірыңғай байланыс орталығы "Jardem 109" жұмыс істейді (қоңырау және әлеуметтік желілер арқылы өтініштер қабылданады).
- Қоғамдық көлік қозғалысын бақылау үшін "Ақылды аядамалар" жүйесі енгізілді.
- "SmartTaraz" мобильді қосымшасы әзірленді, ол халыққа онлайн сервистер мен ашық деректерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Талдықорған.

- "Smart Taldyqorgan" жүйесі енгізілді, ақпараттық, интерактивті және транзакциялық қызметтерді ұсынады.
- "Бюджетке халықтың қатысуы" бағдарламасы іске асырылуда, тұрғындарды бюджеттік процестерге тарту көзделген.
- Мектеп оқушылары үшін STEM-зертханалар ашылған.

Павлодар.

- Негізгі назар қауіпсіздік мәселелерін дамытуға бағытталған.
- Әлеуметтік нысандарда электр, су және жылу энергиясын тұтынуды толық бақылау қамтамасыз етілді.
- Әлеуметтік нысандарда электр, су және жылу шығындары 20%-ға азайды.
- ТКШ саласындағы Smart City рейтингінде көрсеткіш 63,7%-ға артты.

Петропавл.

- "Ikomek (109)" қалалық қызметтерге сұранысты басқару жүйесі енгізілді.
- "Е-otinish" мемлекеттік органдармен өзара әрекеттесу жүйесі енгізілді.
- "Бюджетке халықтың қатысуы" арқылы қаланы дамыту, қоғамдық кеңістіктерді жоспарлау мәселелері бойынша тұрғындардың пікірлері ескеріледі.

- "Электрондық төлем жүйесі", "Қоғамдық көлікті диспетчерлеу жүйесі", "Ақылды аялдамалар", "Жол қозғалысын басқару жүйесі", "Жарықты басқару жүйесі", "Қатты тұрмыстық қалдықтарды басқару жүйесі" іске қосылды.

- Бейнемониторинг жүйесі енгізілуде және жол сапасын бақылау жүйесі жоспарланып отыр.

Түркістан.

- Қазақстанда алғаш рет 5G желісі енгізілген қала.

- 2000-нан астам камера орнатылған қалалық бейнебақылау жүйесі жұмыс істейді.

- Біртұтас байланыс орталығы "109" жұмыс істейді.

- Фронт-офистер мен сұраныстарды диспетчерлеу жүйесі енгізілген.

- "AmazingTurkistan" қосымшасы арқылы ақпараттық сервистер ұсынылады.

Орал.

- "iKomek 109" жылдам жауап беру байланыс орталығы және Telegram-арна "Орал Online" арқылы қызметтер ұсынылады.

- Қоғамдық көлікте электрондық билеттендіру жүйесі енгізілді.

- "Smart07" қосымшасы әзірленді.

Өскемен.

- "DigitalEast" мобильді қосымшасы арқылы қаладағы маңызды оқиғалар туралы хабарлама таратылады.

- "Қоғамдық қабылдау" жобасы іске асырылды.

- 26 базалық бастаманың 19-ы жүзеге асырылып жатыр (7 өмірлік сала мен 5 доменді қамтиды).

- Геоақпараттық портал (www.vkomap.kz) 25 ақпараттық қабатпен жұмыс істейді.

- Қоғамдық көлікте электрондық билеттендіру жүйесі іске қосылды (56 маршрут біріктірілген).

- 4000 бейнекамера арқылы қала аумағының толық дерлік бейнемониторингі қамтамасыз етілген.

- "Ашық бюджеттер" порталында 287 бюджеттік бағдарлама жобасы мен 65 бекітілген бағдарлама, сондай-ақ 16 есеп орналастырылған.

Шымкент.

- "109" бірыңғай байланыс орталығы және қоғамдық көліктің "I-kolik", "Tolem" жүйелері жұмыс істейді.

- Әлеуметтік нысандарда электр, су, жылу энергиясын 100% бақылау жүйелері енгізілген.

Қалалар бойынша Қазақстандағы Smart City концепциясының прогресі, елдегі ақылды қалалар эволюциясы Smart City 1.0 моделіне сәйкес келеді. Бұл телекоммуникациялық инфрақұрылымды дамытуға басты назар аударылғанын көрсетеді.

Алайда, Smart City жобаларында өмір сапасының нақты өзгерісін, азаматтардың өзара әрекеттесу деңгейін өлшейтін көрсеткіштер әзірге толық енгізілмеген. Көптеген жоспарлар декларативті сипатта, қосымша құндылықтың нақты бағасы берілмейді.

Сонымен қатар, Қазақстан:

- Республикалық маңызы бар қалалар деңгейінде технологиялар мен әкімшілік шешімдерді таңдау еркіндігіне ие.
- Қалалар басшыларының сайланбалы болуы саяси реформаларды ынталандырады.
- Электронды үкімет, онлайн қызметтер, ашық деректер жүйесін кеңінен енгізуде айтарлықтай жетістікке жетті.
- Азаматтардың қалалық жоспарлауға қатысу деңгейі артып келеді.

Қазақстан Smart City концепциясын дамытудың маңызды зерттеу алаңы ретінде қызмет етеді, себебі ол әлеуметтік қатынастарды дамыту, жаңа әлеуметтік топтар мен институттар қалыптастыру мәселелерін зерттеуге мүмкіндік береді.

Негізгі ерекшеліктер:

- Барлық қалаларда технологиялық шешімдерді көрсету.
- Инфрақұрылымды дамытуға басымдық беру.
- Цифрлық шешімдерді енгізу мақсаттары мен нақты жағдайлар арасындағы үйлесімділік.

1.4 Ақылды қала даму жүйесіндегі цифрландыру: артықшылықтар мен тәуекелдер

Цифрландыру жағдайында және коронавирус пандемиясына байланысты ғаламдық экономикалық дамудың басымдықтарының өзгеруін ескере отырып, ақылды шешімдер тұжырымдамалары (ақылды қала, ақылды үйлер, ақылды тұрғындар және т.б.) айтарлықтай трансформацияға ұшырауда. Анализ нәтижесі көрсеткендей, ең алдымен әлеуметтік және технологиялық шешімдерге бағытталған даму басымдықтары өзгеруде. Бұрынғы перспективаға негізделген жалпы даму бағыттарына қарағанда, нақты өмір сүру жағдайлары бойынша қажеттіліктер алға шыға бастады. Сонымен бірге, уақыт талаптарына сәйкес, адамның өмірлік қызметінің әртүрлі салаларындағы цифрландыру аспектілеріне, әсіресе ақылды жүйелердегі цифрландыруға көбірек көңіл бөлінуде [1–3].

Осы тұрғыда зерттеудің мақсаты – ақылды қала тұжырымдамасындағы цифрландырудың артықшылықтары мен тәуекелдерінің құрылымдық талдауы. Мақсатқа жету үшін цифрландыру тәуекелдерін адамға бағытталған ақылды технологиялар призмасы арқылы зерттеудің әдістемелік тәсілін ұсыну және тәуекелдерді жіктеу міндеттері қойылды.

Құрылымдық талдау ұстанымдарына сүйене отырып, ақылды дамудың әртүрлі аспектілері әлеуметтік, экономикалық, кеңістіктік, технологиялық,

саяси деп бөлінуі мүмкін, бірақ олардың барлығын цифрлық даму тұрғысынан өзгеріс қажеттігі біріктіреді. Осы көзқарас бойынша, артықшылықтармен қатар, цифрлық экономиканың жедел дамуы жағдайында ақылды қалалардың өмір сүруінің маңызды элементтерін анықтайтын тәуекелдер де туындайды.

Алғашында ақылды қала тұжырымдамасы азаматтардың өмір сапасын арттыру негізі ретінде түсіндірілген [4–5]. Мұнда жайлылық, қолайлылық, субъектілер арасындағы өзара іс-қимылды жеңілдету және олардың арасындағы байланысты цифрлық технологиялар арқылы орнату қарастырылады. Сонымен қатар, ақылды дамудың мақсаттары тұрақты даму мақсаттарымен үндеседі.

Ақылды қалалардың тұрақтылығына әсер ететін факторлар жеке зерттеледі, атап айтқанда, материалдық және экологиялық әл-ауқат, ақылды тауарлар мен қызметтер [6], кеңістіктік, технологиялық және әлеуметтік тұрақтылық аспектілері [7], эволюциялық географияның аймақтық ерекшеліктері [8], әлеуметтік кластеризация және қауіпсіздік [5] қарастырылады.

Ақылды іс-әрекеттердің тұрғындар тарапынан қабылдануына, өзгерістердің мақсаттылығына және даму стратегиясына бағдарлануына ерекше назар аударылады [5,9]. Сонымен бірге "ақылды өндіріс" ұғымы енгізіледі [10].

Эксперттік талдаулар негізінде ақылды қала даму стратегияларын қабылдаудың әртүрлі жағдайларға тәуелділігі атап өтіледі. Экономикалық даму деңгейі, құрылымдық өзгермелілік, географиялық орналасу және халық тығыздығы маңызды факторлар ретінде бөлінеді [4]. Қаланың ақылды қала болуға дайындығы мәселесі көтеріледі.

Көршілес аумақтардың даму бағыттары мен ауқымдарын ескеру ұсынылады, өйткені біртұтас тұрақты әлеуметтік кеңістікті құру үшін ортақтық сезімі мен әлеуметтік өзара іс-қимыл қажет [6].

Ақырында, әлеуметтік бағытталған даму стратегияларының технологиялық жобаларға қарағанда басымдығы қажет екендігі дәлелденеді [8].

Зерттеу нәтижелері бойынша, ең бірінші және негізгі тәуекел – мемлекеттердің бар жүйелерін цифрлық трансформациялау негізінде ақылды қала тұжырымдамасын жүзеге асыруға дайындық деңгейінің жеткіліксіздігі болып табылады.

Инновациялық экожүйе қабылданатын параметрлерге сәйкес келуі керек. Бұл үшін жоғары технологиялық өндіріс, ғылым және жоғары білім салалары дамуы қажет, олар адам капиталын инновациялық цифрлық экономикада толық іске асыруға мүмкіндік береді [11].

Екінші тәуекел – жаһандық деректер жинау тәжірибесінің екіұштылығы, оның ішінде ақылды қалалар тұрғындары туралы ақпарат жинау мәселесі. Мүқият зерттеу мынадай тұжырымдарға әкеледі:

- Біріншіден, деректер жинау жаһандық және салалық (өндірістік) деңгейлерде бөлінеді.

- Екіншіден, ақылды жүйелердің жұмыс істеуі үшін жаһандық деректер жинағы қажет емес, нақты жүйелердің цифрлық платформасы негізінде деректер жинау жеткілікті [12].

Сонымен қатар, әлеуметтік желілер мен цифрлық медиа-ресурстарды бақылайтын ірі корпорациялардың қызметі адамды дараламайтын, бірақ жеке деректерді пайдаланатын қызмет ретінде бағаланады. Осыған байланысты цифрлық экономика субъектілері арасындағы қатынастарды қайта қарау қажеттілігі артуда [13].

Үшінші маңызды тәуекел – ақылды қалада тұтынушылар мен өндірушілер арасында цифрлық теңсіздіктің күшеюі. Бұл бір жағынан инфрақұрылым элементтерін цифрландыру мүмкіндігі мен нақты қолданысы арасындағы алшақтықты, екінші жағынан – шешім қабылдау мүмкіндіктерінің шектелуін тудырады [14].

Келесі тәуекел – цифрлық технологияларға шамадан тыс әуестену моральдық және физикалық денсаулыққа зиян келтіруі мүмкін. Коронавирус пандемиясы кезіндегі оқшаулану салдарын талдау бұл қауіптің нақты бар екенін көрсетеді: физикалық белсенділіктің төмендеуі, көру қабілетінің нашарлауы, әлеуметтік оқшаулануға байланысты психологиялық мәселелер [15].

Соңғы тәуекел – тұрғындардың әлеуметтік, шығармашылық және креативті әлеуетінің дамуына кедергі келтіру.

Қарапайым цифрлық құралдарды қолдану қажеттілікті азайтады: ойлану, талдау жасау, жаңа жолдар мен әдістерді табу дағдылары төмендейді. Бұл тәуекелді жалпы адам капиталының төмендеуі тұрғысынан ең қауіпті деп бағалау ұсынылады.

2 Ақылды қалаларға арналған IoT негізіндегі ақылды жарықтандыру жүйесі

Соңғы онжылдықтарда урбанизация қарқыны айтарлықтай өсті. Қалалық тұрғындарға жоғары өмір сапасын қамтамасыз ету үшін жетілдірілген қызметтер мен қосымшалардың кең спектрі қажет болады. "Ақылды қала" термині қалалық қызметтерді жақсарту үшін заманауи цифрлық технологияларды қала ортасына біріктіруді білдіреді. Ақылды қалада ақпараттық-коммуникациялық технологияларды пайдалану нәтижесінде жаңа қызметтер құру және әртүрлі қолданбалы салаларды өзара байланыстыру мүмкіндіктері пайда болады.

Дегенмен, IoT қолдауындағы ақылды қала ортасындағы қызметтер құнды энергия ресурстарын сарқымай жұмыс істеуі үшін барлық қосымшалар минималды деңгейдегі энергиямен қамтамасыз етілуі тиіс. IoT қаланың жарықтандыру жүйесін жақсартып алады, себебі ол басқа қалалық жүйелерге қарағанда көбірек энергия тұтынады. Ақылды қалада жарықтандыру жүйесінің сенсорлары мен байланыс арналары жетілдірілген ақылды мүмкіндіктермен біріктіріледі, бұл Smart Lighting System (SLS) – Ақылды жарықтандыру жүйесін құрайды.

Жарықтандыруды тиімді басқару үшін SLS жүйелері автономды және тиімді болатындай етіп жасалған. Бұл дипломдық жұмыста біз SLS жүйесін қарастырып, IoT қолдайтын бірнеше байланыс хаттамаларын бағалаймыз. Сонымен қатар, біз ішкі және сыртқы SLS жүйелері үшін әртүрлі қолдану сценарийлерін талдап, әртүрлі жағдайларда энергия тұтыну бойынша есеп жасадық. Біздің зерттеу нәтижемізге сәйкес, IoT негізіндегі ақылды жарықтандыру жүйелерін қолдану арқылы энергияны 40%-ға дейін үнемдеуге болады. Соңында, ақылды қалаларды зерттеу жоспарларындағы SLS жүйесін қарастырдық.

2.1 Ақылды қалаларға арналған IoT жүйесін талдау

"Ақылды қала" ұғымы соңғы жылдары кеңінен тарала бастаған жаңа термин болып табылады.

Бұл жаңа парадигманың пайда болуы академиялық орта, өнеркәсіп, үкіметтер мен ұйымдар арасында ынтымақтастықты дамытты, сонымен қатар азаматтардың да қатысуын ынталандырды. [1] дерегінде авторлар "ақылды қаланы" жақсы анықталған географиялық аумақ ретінде сипаттайды, онда ақпараттық-коммуникациялық технологиялар (АКТ), логистика, энергия өндіру және басқа да технологиялар азаматтардың әл-ауқаты, инклюзия және қатысу сияқты мақсаттарға жету үшін үйлесімді жұмыс істейді, сонымен қатар қоршаған ортаның тазалығын қамтамасыз етеді. Бүгінгі таңда ақылды қала идеясының практикалық енгізілуімен қатар, ол көбінесе тек технологияға негізделген, технологиялық компаниялардың мүддесіне бағытталған деп

сыналуда. Бұл жағдай муниципалитеттер мен тұрғындардың мүдделеріне аз көңіл бөлінгенін көрсетеді, сондықтан тұрақты әдістемеге көшу қажеттілігі туындады.

Тұрақтылық ұғымы уақыт өте келе қалыптасып, кең қолдау тапты. Ол үш негізгі элементке негізделген: әлеуметтік әл-ауқат, экологиялық әл-ауқат және қаржылық әл-ауқат. Жақында "тұрақты қала" ұғымына жаңа анықтама ұсынылды [2,3], оған сәйкес қалалар материалдар мен энергия ағымын сіңіріп, қалдықтарды дұрыс басқарып, экожүйеге шамадан тыс жүктеме түсірмей жұмыс істеуі тиіс. Яғни, қала табиғи ресурстарды қорғағысы келсе, пайдаланылатын ресурстардың көлемі қоршаған ортаның қамтамасыз ететін мөлшерінен аспауы тиіс.

Қалалық қызметтің қоршаған ортаға тигізетін әсері ескеріліп, ластану деңгейі экожүйенің ресурстарды тұрғындарға жеткізу қабілетін төмендетпеуі қажет.

Тұрақтылық ұғымы қарапайым әрі айқын болғанымен, ол заманауи қоғамдағы цифрлық белсенділіктің артуы сияқты үрдістермен әрдайым үйлесе бермейді.

Бұл идеялардың дамуы "Ақылды тұрақты қала" (Smart Sustainable City) жаңа парадигмасының пайда болуына алып келді. Бұл парадигма ақылды қалаларды дамытуда тұрақтылық пен ақылды технологияларды бір уақытта ескеру қажеттігін көрсетеді.

Осындай идеяларды күнделікті өмірде қалай қолдану қажеттігін түсіну маңызды.

Бұл стратегияның негізі – IoT құрылғыларының санының көбеюі мен олардың мүмкіндіктерінің өсуіне байланысты.

IoT технологиясы көптеген жағдайларда өзгерістер мен трансформациялардың өзегі болып табылады: ол құрылғылар желісін құру және басқару арқылы физикалық әлем туралы ақпарат жинап, қоршаған ортаның өзгеруіне сәйкес мінез-құлқын өзгертеді.

IoT енгізу арқылы ақылды тұрақты қалалар қоғамдық көлік, жарықтандыру, электрондық үкімет, қоғамдық қауіпсіздік, экологиялық мониторинг және мобильділік сияқты көптеген салаларды жақсарты алады. IoT технологияларын қолдану барлық ресурстарды (электр энергиясы, су, топырақ, адам ресурстары және т.б.) бақылауға, басқаруға және оңтайландыруға мүмкіндік береді [4,5].

Байланыс (connectivity) — ақылды қаланың тірегі әрі қозғаушы күші болып табылады. Ол адамдар мен ұйымдарға түрлі цифрлық және физикалық қызметтерді үздіксіз іске асыруға, деректер алмасуға, ресурстарды тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Ақылды қаланың барлық компоненттері — көлік жүйелері, коммуналдық қызметтер, қоғамдық қауіпсіздік жүйелері, денсаулық сақтау мен білім беру мекемелері — тұрақты әрі сенімді байланысты талап етеді.

Өртүрлі қалалық жағдайларда қолданылатын байланыс технологиялары мен желілік архитектуралар өз ерекшеліктеріне ие болғандықтан, көбіне өртүрлі технологиялар мен архитектуралардың үйлесімділігін қамтамасыз ету

қажеттілігі туындайды. Мысалы, тығыз қоныстанған аудандарда жоғары өткізу қабілеттілігін талап ететін 5G желілері қолданылса, ал шеткері аудандарда энергияны аз тұтынатын LPWAN сияқты шешімдер артықшылыққа ие болады. Бұл үйлесімділіктің қажеттілігі нақты қызметтердің сипаттамаларына, техникалық шектеулеріне, мысалы, қуат көзіне қолжетімділік деңгейіне, құрылғылардың жұмыс қашықтығына және деректерді жеткізу жылдамдығына тікелей байланысты. Сондықтан ақылды қалалар инфрақұрылымын жобалау кезінде әртүрлі желілік шешімдердің интеграциясын мұқият ойластыру қажет, бұл болашақта қаланың тұрақты дамуын және қызметтердің үздіксіз жұмысын қамтамасыз етеді.

Қаласаңыз, бұны ғылыми стильде тағы да бір деңгейге ресмилендіріп жазып бере аламын. Қаласыз ба?

2.2 Ақылды қала экожүйесін құру

Ақылды қала экожүйесін құру үшін технология басты рөл атқаруы керек, бірақ сонымен бірге әлеуметтік және адами капитал факторлары да ескерілуі тиіс.

Қазіргі уақытта көптеген қалалар өздерінің ерекше талаптарына сәйкес арнайы жүйелер мен шешімдерді пайдаланады, бірақ бұл тәсілдер басқа қалалар үшін әрдайым жарамды бола бермейді [6,7]. Әдебиеттерді шолу барысында ақылды қалалардың негізгі кедергілері, мәселелері мен ашық сұрақтары төрт негізгі санатқа бөлінеді:

- Азаматтар
- Мобильділік
- Үкімет
- Қоршаған орта

Ақылды қалалар тұрғындардың өмір сапасын жақсартумен қатар, олардың жеке деректерінің құпиялылығына да ерекше назар аударуы керек. Азаматтар жаңа технологияларды енгізуге күмәнмен қарап, оларды жеке өмірге қол сұғушылық деп қабылдауы мүмкін.

Сонымен бірге, технологиялық жетістіктерден қоғамның барлық мүшелері тең дәрежеде пайда көруі тиіс, ешбір аймақ назардан тыс қалмауы керек [8,9].

Ақылды қала тұжырымдамасының кең мағынасы бойынша, мемлекеттік басқару үлгілерін өзгерту қажет: мемлекеттік саясат пен төменгі деңгейдегі бастамаларды біріктіру, ынтымақтастықты арттыру, түрлі субъектілер арасындағы тиімді коммуникацияны дамыту, қайталанатын және оқшау бастамалардың алдын алу [10].

Мобильді қалаларды дамыту өнімдер мен адамдар үшін тұрақты, инклюзивті және тиімді қозғалыс жүйесін құруды көздейді. Ақылды қала дизайнында жеткілікті зерттелмеген тағы бір сала – қалалық қызметтерге қоршаған ортаны интеграциялау, яғни:

- Су және энергия сияқты ресурстарды тұрақты басқару,
- Ластану деңгейі,
- Қалалық қызметтердің қоршаған ортаға әсері.

2.1-суретте ақылды қалада жұмыс істеу керек негізгі салалар көрсетілген.

Қазіргі кезде көптеген жобалар жеке және оқшауланған шешімдерге негізделгендіктен, интероперабельділік(үйлесімділік) ақылды қалаларды дамытудағы басты кедергілердің бірі ретінде қарастырылады [11,12]. Шығындарды төмендету және нәтижелерді барынша арттыру үшін ашық стандарттарға негізделген құрылғыларды қолдану қажет. Сондай-ақ, көптеген жүйелер арасында деректерді жинау және талдау жұмыстарын үйлестіруді күшейту қажет.



2.1-сурет – Ақылды қаладағы негізгі жұмыс салалары

2.3 Ақылды жарықтандыру жүйелерінде қолданылатын IoT байланыс протоколдары

Ақылды жарықтандыру жүйелерінде (SLS) өлшем мен масштабталу өте маңызды. SLS-тің басты мақсаты — әртүрлі компоненттердің логикалық өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету. Жарықтандыру құрылғысы (LU) мен басқару орталығы (CC) IoT байланыс протоколдар стегі арқылы деректер алмасуы керек. Мұнда IoT негізіндегі SLS байланыс протоколдары келтірілген. SLS қолдану екі түрлі байланыс тәсілін қажет етеді:

- Ұзақ қашықтықтағы байланыс: LCUs (Жергілікті басқару бірліктері) мен CC арасындағы байланысты қамтиды. Әдетте бірнеше LCUs және бір орталық CC болады. LCUs бастапқы деректерді жинап, оны CC-ға жібереді. LCUs бір-бірімен де деректер алмаса алады. Қалалық деңгейде LCUs

пен СС арақашықтығы жүздеген метрден бірнеше жүздеген шақырымға дейін болуы мүмкін. Сондықтан ұзақ қашықтықтағы байланыс протоколдары қажет.

- Қысқа қашықтықтағы байланыс: LU және оған қосылған LCU арасында (100 метрден аз) жүзеге асады. Бұл байланыс үшін қысқа қашықтықтағы сымды немесе сымсыз протоколдар қолданылады, мысалы DALI [13,14] (сымды), ZigBee [15], JenNET-IP [16], 6LoWPAN [17] (сымсыз).

SLS жүйесінде IoT қолданысы артып келе жатқандықтан, бұл дипломдық жұмыста IoT-негізделген байланыс протоколдарына баса назар аударылады. IoT-негізделген SLS жүйесінде қаланың әр жеріне жүздеген LU орнатылады, олар бірге LCUс құрайды.

Байланыс протоколдары көптеген LU және LCU-лармен батареяның қызмет мерзімін сақтай отырып, төмен бағада, аз дерек көлемінде және қарапайымдылықпен жұмыс істеуі тиіс.

Қысқа қашықтықтағы IoT байланыстары сымды және сымсыз әдістерді қолдана алады.

Сымды шешімдер инфрақұрылымды пайдалану арқылы арзанырақ келеді, әсіресе ішкі жарықтандыру үшін (SiLS), ал сыртқы жарықтандыру үшін сымсыз әдістер ұсынылады.

IoT сымсыз байланыс стандарттары ретінде IEEE 802.15.4 (Төмен жылдамдықты жеке сымсыз желі, LR-WPAN) қолданылады. OSI моделінің РНҰ және MAC қабаттары төмен қуатты IoT құрылғылар үшін бейімделген. 802.15.4 негізіндегі кеңінен қолданылатын протоколдар:

- ZigBee: Төмен және орташа ауқымды сымсыз сенсорлық желілерге арналған. Шифрлау, аутентификация, құрылғыларды біріктіру және маршрутизация қызметтерін қолдайды (AODV).

- 6LoWPAN: Интернет хаттамаларының жиынтығына негізделген. Сенсорлық деректер мен басқару хабарламаларын тиімді тасымалдайды. Сымды және сымсыз желілерді біріктіру арқылы орнату шығындарын азайтады.

- JenNET-IP: Jennic компаниясы жасаған. 6LoWPAN-ның жетілдірілген нұсқасы. 1000-нан астам LU қолдай алады, көп секірісті (multi-hop) желілер құруға мүмкіндік береді.

Басқа протоколдар:

- Z-Wave: ZigBee сияқты, бірақ жеке желіден гөрі mesh желілер құруға мүмкіндік береді.

- LoRaWAN: Ұзақ қашықтықтағы кең аумақты желілерге арналған.

- Bluetooth Low Energy (BLE): Бір-бірімен байланысуға арналған, мысалы, жаттығу құрылғыларын бақылау үшін.

Сымды протоколдар:

- DALI (Digital Addressable Lighting Interface): Жарық жабдықтарын автобус немесе жұлдыз тәрізді желі арқылы байланыстырады. Бір DALI шинасында 64 түйінге дейін қолдайды.

- PLC (Power Line Communication): Қуат желісі арқылы деректерді тасымалдайды, алдын ала тартылған желілерді қолдану арқылы шығындарды азайтады. 500 Мбит/с дейінгі деректер тасымалдауды қамтамасыз ете алады.

2.4 Ақылды жарықтандыру жүйесінің элементтері

Ақылды жарықтандыру жүйесінде негізгі компоненттер:

- Сенсорлар (мысалы, қозғалыс сенсорлары, жарық сенсорлары)
- Алгоритмдер (жарық спектрін, күн уақыты мен ғимараттағы адамдардың болуын бағалау үшін)

Алгоритмдер құрылғылардың ішінде немесе бұлтта жұмыс істей алады.

Олар:

- Түрлі түсті шамдарды басқару,
- Реал-таймда жарық түсін өзгерту,
- Энергияны үнемдеу үшін стратегиялар жасау секілді қызметтер атқарады.

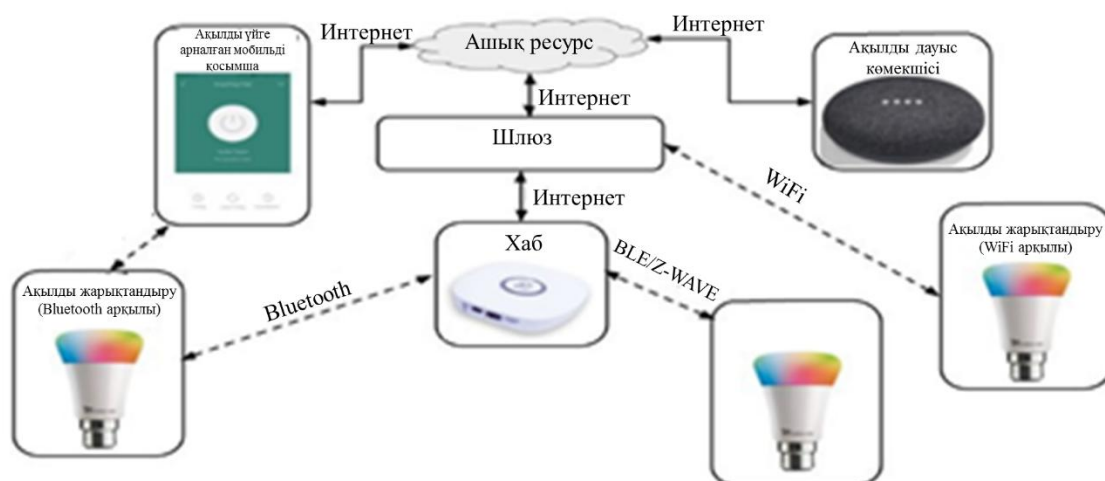
Циркадиялық цикл (биологиялық ырғақ) негізінде жарық үлгілерін жасау кеңінен қолданылады. Жарықтандыру жүйесі адамның биологиялық сағатына (гормондардың бөлінуі, дене температурасы, ояу-болу режимі) әсер етеді.

Физикалық және логикалық деңгейлер:

Желі құрылымында физикалық топологиялар (сақина, жұлдыз, автобус) сенімділікті арттырады және кеңейту мүмкіндігін береді. Желіге сымды немесе сымсыз қосылымдар арқылы кіруге болады.

Жарықтандыру өнімдері мен IoT технологиялары интеграцияланып, көптеген қосымшалар үшін қызмет етеді:

- 0–10V,
- DALI,
- DMX,
- LAN,
- PLC сияқты сымды интерфейстер,
- Инфрақызыл, Bluetooth, және 6LoWPAN сияқты сымсыз технологиялар пайдаланылады.

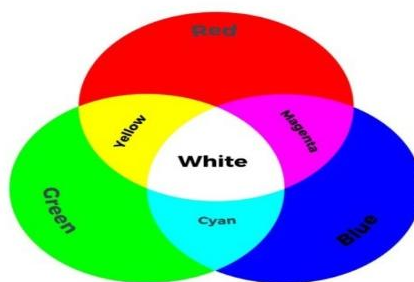


2.2-сурет – Ақылды жарықтандыру жүйелерінің негізгі элементтері [2]

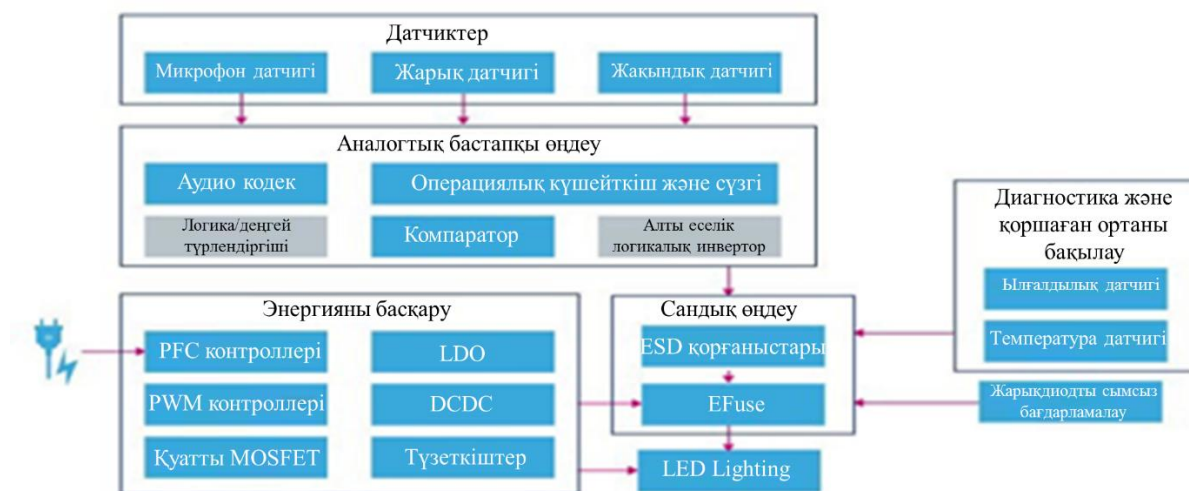
2.5 Ақылды жарықтандыру платформалары үшін сенсорлар

Ақылды жарықтандыру құрылғысының керемет болуының немесе кем дегенде қолжетімді бағамен болуының басты себебі – жұмыс істейтін сенсор технологиялары мен байланыс әдістерінің кең ауқымы. Заманауи IoT қолданбаларында жарықтандыру механизмдерін бейімделгіш басқару үшін сандық сенсорлар қолданылады [16,17]. Мысалы, төмен қарқындылықтағы жарық сенсорлары мен фотодиодтар туралы білсеңіз, олар қараңғы түскенде сізге ескерту бере ала ма? Жарық диодты (LED) және люминесцентті (CFL) жарықтандыруда негізгі түстерді анықтау үшін қызыл, жасыл және көк (RGB) сенсорлары қолданылады. Бұл RGB материалын ішкі орта үшін және оптикалық байланыстар үшін өндіруге мүмкіндік береді, ал сымсыз қосымшалар үшін көрінетін жарықпен байланыс (VLC) технологиясында фотодиодтардың жұмыс істеуі ең маңызды рөл атқарады.

2.3-суретте көрсетілгендей, жеке қызыл, жасыл және көк жарық диодтарын араластыру арқылы ақ жарық жасалады. Егер сіз фотоқарсылықтар (photo resistors) және жарыққа сезімтал ұяшықтар (photosensitive cells) туралы білсеңіз, олар пайдаланушының әрекетіне байланысты жарық ағынын өзгерту үшін аздаған жарық мөлшеріне реакция береді. Спектроскопия – бұл құрылғыларды көрінетін жарық спектрінде жарықты жинау үшін пайдалануға мүмкіндік беретін бірегей және креативті мүмкіндік.



2.3-сурет – Жеке қызыл, жасыл және көк жарықдиодтарды араластыра отырып түс алу тұжырымдамасы



2.4-сурет – Ақылды жарықтандыруға ендірілген сенсорлық технологиялар

Циркадиялық жарықтандыру құрылғысы кез келген жарық спектрін және кез келген қашықтықтағы жарықты жасай алатындықтан, нақты уақытта Түсті Бейнелеу Индексін (CRI) және Түстердің Сәйкестендірілген Температурасын (CCT) реттеу қабілеті өте маңызды. 2.4-суретте ақылды жарықтандыруға ендірілген сенсорлық технологиялар көрсетілген. Жарық тиімділігін оңтайландырумен қатар, сенсорлар мен LED технологиясын пайдаланатын басқару құрылғыларының люминесценция деңгейі уақыт өте келе азаюы немесе жасына қарай жоғалуы мүмкін екені белгілі.

2.6 Ақылды жарықтандыруға арналған байланыс интерфейстері

Кәсіби жарықтандыру жүйесінде әмбебап байланыс болуы тиіс: сымды немесе сымсыз түрде. Маңызды инфрақұрылым мен көше жарықтандыруы үшін DALI, PLC және Ethernet қажет. Маңызды емес инфрақұрылым жарықтандыруында Wi-Fi, ZigBee немесе коммерциялық трафикті басқару жүйелері қолданылуы мүмкін. Ішкі LED жарықтандыру жүйелері әртүрлі

себептермен IEEE 802.15.4, VLC, Bluetooth Low Energy немесе Sub-GHz хаттамаларын артық көреді. ZigBee Light Link және 6WAN екеуі де IEEE802.15.4 медиасына және Super Access Point (AP) қабатына негізделген. Олардың көпшілігінің қауіпсіздігін көрсететін өзіндік код атаулары (кодтау стандарттары) бар [20,21].

Өндірушілер өнімдерді байланыстырған кезде жеңілдетілген стандарттарды, деректер орталығының басқару құралдарын немесе автоматтандыруды (IPv4 және IPv6) пайдалана алады. Еуропадан шыққан Open AIS жобасы IoT платформасына негізделе отырып, әртүрлі жарықтандыру жүйелері үшін бірыңғай құрылымды әзірлеуде. Жарық интерфейсіне арналған стандартталған құрылым және кеңейтілетін API интерфейстері жарық жүйесін әртүрлі ғимарат жүйелерінде және арнайы бұлттық қызметтерге тәуелсіз қолдануға мүмкіндік береді.

Бұл үйлесімділік мәселесін шешудің жауабы – жарықтандыру хаттамаларын стандарттау, бұл ашық экожүйелерде түрлі хаттамалардың бірлесіп жұмыс істеуін жеңілдетеді және жабық экожүйелер мүмкін болмаған жағдайда қолайлы. Мұндай жағдайда Universal Plug and Play (UDP) және TCP сияқты жеңіл хаттамаларды қолдану үйлесімділікті арттыра алады.

2.7 Ақылды жарықтандыру жүйесін болашақ зерттеу бағыттары

IoT негізіндегі ақылды жарықтандыру жүйесі қарқынды дамып келеді, әрі даму қарқыны артып барады. Бұл бөлімде ақылды қала бастамаларын жүзеге асыру және SLS (Smart Lighting Systems) қауіпсіздігіне қатысты ашық мәселелер қарастырылады.

SLS тиімділігін одан әрі арттыру үшін көптеген мәселелер шешуді қажет етеді. Барлық SLS компоненттерін IoT қолдайтын хаттамалар арқылы байланыстыру өте маңызды. Төмен қуатты кең аумақтық желі (LoRaWAN) әртүрлі IoT құрылғылары арасында үлкен географиялық аумақтарда аз деректер жылдамдығымен байланыс орнатуға мүмкіндік береді. Әртүрлі хаттамаларды қолданатын бірнеше SLS бір-бірімен байланысып, орталықтандырылған жарықтандыру жүйесін құруы керек. Әртүрлі қолданбалар домендерін біріктіру үшін "Ақылды қала" ұғымы маңызды рөл атқарады.

SLS жүйелері арқылы қалалық аудандарда жаңа қызметтер ұсынылуы мүмкін, бұл олардың икемділігін арттырады.

SoLS-пен (Smart Outdoor Lighting Systems) бірге ақылды көлік басқару арқылы көлік қозғалысын басқарушылар үшін арзан автономды шешімдер ұсынылуы мүмкін. Сонымен қатар, қоршаған ортаны бақылау үшін жаңбыр, температура және ылғалдылық датчиктері сияқты сенсорлар қолданылады.

SLS қолданатын муниципалды қызметтер басқа қосымшалармен біріктірілсе, арзанырақ және тиімдірек болуы мүмкін.

Жүйенің қауіпсіздігі мәселесі:

SLS орталықтандырылған басқарылатындықтан, шабуылдаушылар оны нысанаға ала алады, бұл басқа қосылған қызметтерге де қол жеткізуге мүмкіндік береді. Бұл жағдай қаланың жарық жүйесін толық бақылауға алуға, әрі үлкен ауқымды шабуылдарға немесе қаланы толық басқаруға әкелуі мүмкін.

Сенсорлар болжанған сипаттама үлгілерін өзгерту үшін пайдаланылуы мүмкін.

Болашақ ақылды жарықтандыру стандарттарын енгізген кезде зерттеушілер көптеген қиындықтарға тап болады. Қазіргі уақытта сенімді кілт беру және жою әдістері жоқ. Қолданушының жеке өмірін қорғау үшін жеке деректерді қорғау механизмдері пайдаланылуы мүмкін, бірақ толыққанды қауіпсіздік жүйесі қолданылмайды. Төмен қуатты және арзан соңғы құрылғылар қолжетімді болғанымен, олардың есебінен қауіпсіздік пен тиімділік төмендеуі мүмкін. Қатаң қауіпсіздік жүйесі жүйенің жұмысын баяулатып, орнату құнын арттыруы мүмкін. Қауіпсіздік шараларының жеткіліксіздігі апатты салдарға әкелуі мүмкін.

Энергия тиімділігі – IoT қолдайтын ақылды қала ортасындағы маңызды мәселе.

Бұл проблема урбанизация деңгейінің алдағы онжылдықтарда өсуіне байланысты өте өзекті.

Бұл дипломдық жұмыста біз ақылды қалалар контекстінде энергия тұтынуды азайту және сенсорлар мен атқарушы құрылғылар арқылы жұмысты ақылды етуге бағытталған IoT негізіндегі Ішкі және Сыртқы Ақылды Жарықтандыру Жүйелерін (SiLS және SoLS) қарастырдық.

Энергия тұтынуы, байланыс және сенімді басқару тұрғысынан әртүрлі IoT хаттамаларын пайдалану арқылы сәтті ақылды жарықтандыру жүйесін жасауға болады.

Ақырында, біз SiLS және SoLS жүйелерінің әртүрлі қолдану жағдайлары мен сценарийлерінде энергия тұтынуын есептеп көрсеттік.

IoT қолдайтын SLS жүйесін дәстүрлі жарықтандыру жүйелерімен салыстырғанда қолдану арқылы ішкі және сыртқы жарықтандыруда энергия тұтынуды 40%-ға дейін азайтуға болады.

Соңында біз SiLS және SoLS жүйелерінің артықшылықтарын және осы бағытта әрі қарай зерттеу жүргізуге қызығушылық танытқан зерттеушілер үшін зерттеу қиындықтарын талқыладық.

3 IoT платформасына негізделген SMART CITY көше жарықтандыру жүйесі

Қалалық ортада жарықтандыруды басқару жүйелері жарықтандыру жүйелерінің энергия тиімділігін арттыруға бағытталған. Мұндай технологияларды енгізу қалалық ортадағы энергия шығынын айтарлықтай азайтады.

Зерттеудің мақсаты – көше жарықтандыру құрылғыларының жарық деңгейін көлік құралдарының және тұрғындардың қозғалыс белсенділігіне байланысты басқарудың оңтайлы шешімін табу және әзірлеу. Материалдар мен әдістер. Ақылды қалалық жарықтандыруды басқару жүйелерін зерттеу үшін ұқсас жүйелерді талдау және синтездеу әдістері, сондай-ақ әзірленген шешімді модельдеу және визуализациялау әдістері қолданылды. Мониторинг аймағындағы көлік қозғалысының белсенділігіне байланысты жарық қарқындылығын реттей алатын ақылды қалалық жарықтандыру жүйесі зерттелді. Ұсынылған жүйе энергия үнемдеу мәселелерін шешу құралы және ақылды қаланы жобалаудың негізі ретінде қарастырылады.

3.1 Ақылды қала дамуының үрдісі

Қазіргі уақытта қалалық ортадағы жарықтандыруды интеллектуалды басқару жүйелері нарығы белсенді дамуда. Аналитикалық агенттіктердің деректері бойынша [1], 2025 жылға дейін әлемде "ақылды қала" бағытына 57 млрд доллардан астам инвестиция салынады, оның ішінде көше жарықтандыруды жарықдиодты шамдарға ауыстыру үшін және 12,6 млрд доллар интеллектуалды басқару платформаларын дамыту үшін жұмсалады.

Өртүрлі бағалауларға сәйкес, көше жарықтандыруды интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу электр энергиясына жұмсалатын шығындарды шамамен 60%-ға азайтуға мүмкіндік береді [1]. Осыған байланысты әлем бойынша дәстүрлі жарық көздері (қыздыру шамдары, сынапты және натрий шамдары) жарықдиодты жарықтандыруға ауыстырылуда. Ең танымал үрдіс – көше шамдарын бірыңғай желіге біріктіру және "ақылды қаланың" негізгі элементі ретінде ақылды жарықтандыру желілерін құру.

"Ақылды қала" – бұл тұрғындардың өмір сүру деңгейін арттыру және олардың экономикалық, әлеуметтік және мәдени қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін Интернет заттары (IoT), жасанды интеллект, виртуалды және толықтырылған шындық (VR/AR), Big Data технологияларын пайдаланатын инфрақұрылым [2].

"Ақылды қаланы" құру үшін өзара әрекеттесе алатын функционалды шешімдер жүйесін құру негізі қажет.

Қазіргі қалалар қажетті инфрақұрылымға ие, сондықтан қосымша инвестицияны қажет етпейді. Қолданыстағы қалалық көше жарықтандыру

желісі интеллектуалды қалалық инфрақұрылымды құруға маңызды алғышарттар жасайды. Дәстүрлі жарықтандыру жүйелеріндегі жарық көздері түнгі уақытта жұмыс істейді және интеллектуалды басқару модульдерінен айырылған, бұл энергия тиімділігін төмендетеді және шектеулі көріну жағдайында қауіпсіздікті қамтамасыз етпейді.

IoT технологияларын интеллектуалды басқару жүйелеріне енгізу келесі "ақылды қала" функцияларын іске асыруға мүмкіндік береді:

- Ақаулар мен өшірулер туралы нақты уақыт режимінде автоматты хабарлау;
- Қаланың қауіпті учаскелерінің жарық картасын модельдеу (мысалы, жолдағы бұрылыстар мен еңістер);
- GPS-датчиктер арқылы "күндіз-түн" көшу функциясы (үлкен өткізу қабілеті бар жолдарда);
- Кенеттен табиғи жарық деңгейінің төмендеуі кезінде жарықтандыруды бақылау (жарықтық сенсорлар арқылы);
- Әрбір жеке жарық нүктесін немесе топтарын қашықтан басқару;
- Қозғалыс датчиктері арқылы жарықтандыруды күңгірттеу (димминг) функциясы.

Бұл "ақылды қала" жарықтандыру функциялары мынадай жаңа мүмкіндіктер береді [3]:

- Көлік қозғалысының қарқындылығын басқару;
- Автотұрақтардың бос орнын бақылау және басқару;
- Қалдықтарды басқару;
- Қалалық жолдардағы көріну деңгейін өлшеу;
- Қоғамдық қауіпсіздікті бақылау;
- Ауаның ластануын, аллергиялар мен зиянды заттардың концентрациясын өлшеу.

"Ақылды қала" тұжырымдамасында жарық көздері нақты уақыт режимінде деректерді өлшейтін, қабылдайтын және беретін тораптарға айналуы мүмкін.

Деректерді жинау және беру стандартталған жабдық және Big Data жүйелері арқылы немесе өзара API арқылы әрекеттесе алатын қосымшалар мен жүйелерді біріктіру арқылы жүзеге асырылады [4]. Нәтижесінде қалалық ортада туындаған нақты мәселелерді шешуге көмектесетін құрылымдық деректер базасы қалыптасады. Сондықтан көше жарықтандыру – ақылды қала инфрақұрылымын құру үшін тамаша мүмкіндік береді [5].

Барлық функциялардың тиімді интеграциясы ашық "ақылды қала" платформасын қалыптастырады, ол көптеген жүйелер мен қосымшаларды біріктіруге мүмкіндік береді.

IoT платформасына негізделген ақылды қалалық жарықтандыру тұжырымдамасы

Ақылды қаланы құру үшін негізгі құрал – IoT платформасы. Интернет заттары (IoT) [6] – бұл бір-бірімен немесе серверлер арқылы нақты уақытта деректер алмасатын көптеген физикалық объектілердің желісі.

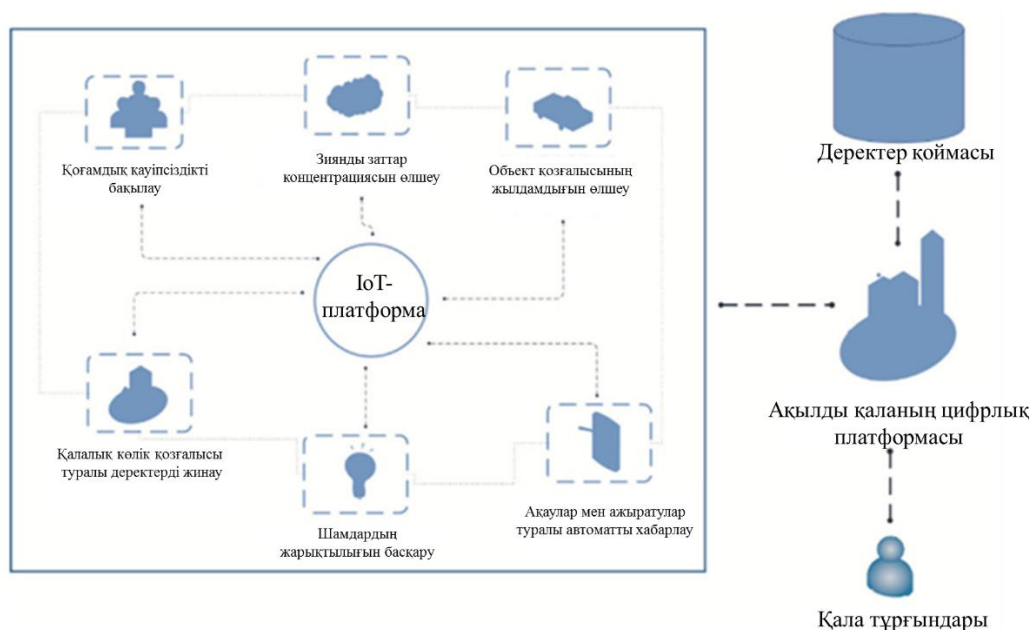
IoT платформасына негізделген ақылды қалалық жарықтандыру тұжырымдамасы Wi-Fi, GSM, ZigBee, LoRaWAN желілерінің техникалық мүмкіндіктерін пайдалана отырып, жарықтандыруды мониторингтеу және басқару жүйесін құруды көздейді. Платформа соңғы құрылғылардың өзара байланысына негізделуі тиіс, олардың деректері өңдеу және талдау үшін алынады және веб немесе мобильді қосымшаларды қамтитын пайдаланушы интерфейстеріне беріледі. Бұл алдыңғы қатарлы сымсыз желілердің функционалды мүмкіндіктерін пайдалануға мүмкіндік береді, бұл инфрақұрылым тұрғысынан "ақылды қала" үшін маңызды алғышарт болып саналады [7].

3.2 Қалалық интеллектуалды жарықтандыру жүйесі

[8] мақалада қалалық интеллектуалды жарықтандыру жүйесі (ҚИЖЖ) зерттелді, ол мониторинг аймағындағы көлік қозғалысының белсенділігіне байланысты жарық қарқындылығын реттей алады. ҚИЖЖ атқарушы механизмдер мен байланыс тораптары арқылы объектілердің қозғалысын анықтайды, объектінің жылдамдығын есептейді және операторға бірыңғай желі арқылы ақпарат береді (3.1-сурет).

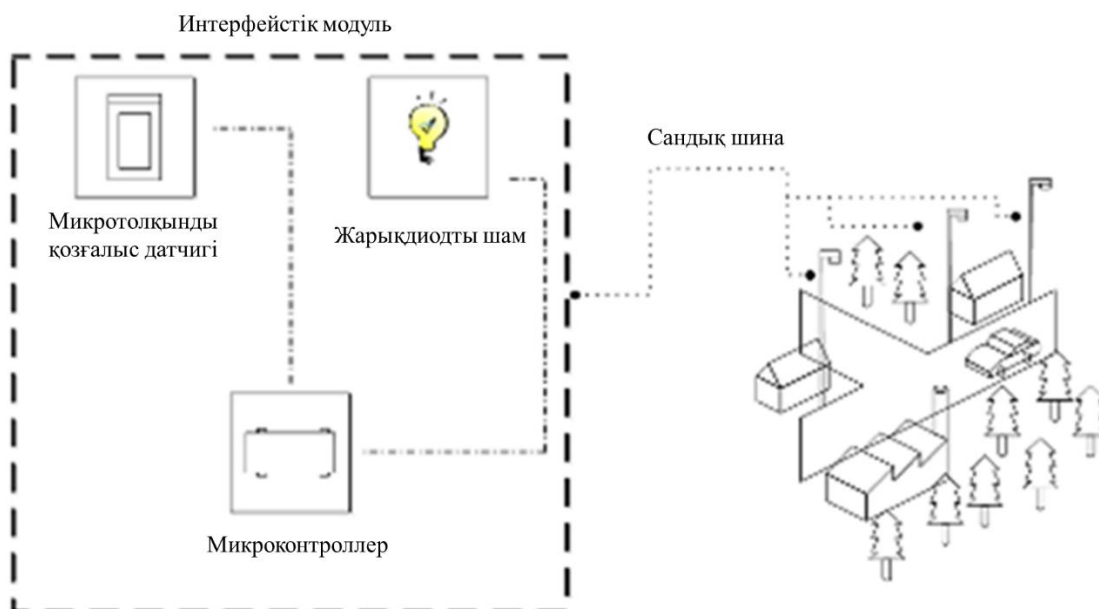
ҚИЖЖ қосымша мүмкіндіктері:

- Қоғамдық қауіпсіздікті бақылау;
- Қалалық көлік қозғалысы деректерін жинау;
- Ауадағы зиянды заттардың концентрациясын өлшеу;
- Нақты уақыт режимінде ақаулар мен өшірулер туралы автоматты хабарлау және т.б.



3.1-сурет – Ақылды қаладағы интеллектуалды көше жарығын басқару жүйесінің сұлбасы

Ақылды қаланың көше жарығын басқару жүйесіндегі әрбір жарық нүктесі – өзіндік бірегей реттік нөмірі бар шағын қосалқы жүйе болып табылады. Бұл қосалқы жүйе микроконтроллерден, микротолқынды қозғалыс детекторынан, жарық шамынан және интерфейстік модульден тұрады. Ақылды қаланың интеллектуалды көше жарығын басқару жүйесіндегі бір жарық нүктесінің түйіндерінің сұлбасы 3.2-суретте көрсетілген.



3.2-сурет – Интеллектуалды жарықтандыруды басқару жүйесі бір жарық нүктесінің сұлбасы

Ұсынылған жүйе келесі түрде жұмыс істейді. Қозғалыс болмаған жағдайда шамдар өз қуатының 20%-ында жұмыс істейді. Егер бір жарық нүктесінің әрекет ету аймағында қозғалатын нысан (адам, көлік құралы және т.б.) пайда болса, микротолқынды қозғалыс датчигі іске қосылып, оның бар екендігін тіркейді және нысан қозғалысының жылдамдығын есептеу үшін параметрлерді өлшейді. Одан әрі бұл ақпарат микроконтроллерге жіберіледі, онда алынған мәліметтер негізінде қозғалыс жылдамдығы, нысанның келесі жарық нүктесіне жету уақыты, жарық нүктелерінің саны және олардың реттік нөмірлері анықталады.

Нысан қозғалысының бағыты бойынша орналасқан шамдар біртіндеп толық қуат режиміне (100%) ауысады. Барлық ақпарат сандық шина арқылы микроконтроллерден интерфейстік модульге және басқа жарық нүктелеріне реттік нөмірімен бірге беріледі. Нысан жарық нүктесінен алыстаған сайын, шам біртіндеп энергияны үнемдеу режиміне оралады.

Ақылды қалада интеллектуалды жарықтандыруды басқару жүйесі жасаудың негізгі аспектісі – IoT құрылғылары үшін Интернет заттар протоколдарын анықтау, яғни оларды қосу және өзара байланыстыру әдістерін таңдау.

Ақылды қала үшін деректерді беру протоколдары

Сымсыз деректерді берудің негізгі әдістеріне мыналар жатады:

- WiFi 802.11ac (WiFi 5),
- 802.11ax (WiFi 6),
- 4G және 5G ұрпақ желілері (WiFi 6 архитектурасына ұқсас),
- Параметрлік деректер үшін Bluetooth, ZigBee және WiFi-дің

ертеректегі нұсқалары (мысалы, WiFi 4) (3.1-кесте) [9].

Кесте 3.1 – Сымсыз технологиялардың салыстырмалы сипаттамасы

Көрсеткіш	IEEE стандарты	Жиілік	Макс. деректер жылдамдығы (Mbit/s)	Номиналды диапазон (м)	Радиоканалдар саны	Желіге қосылатын түйіндер саны	Батарея жұмысының уақыты (күн)
Bluetooth	802.15.1	2.4 GHz	1 Mbit/s	10 м	79	7	1–7
ZigBee	802.15.4	900 MHz / 2.4 GHz	250 Kbit/s	100 м	16	264	100–1000
WiFi 4	802.11n	2.4 GHz / 5.1–5.8 GHz	450 Mbit/s	100 м	24	32	1–5

Wi-Fi, GSM немесе Bluetooth сияқты сымсыз деректерді беру протоколдары ұзақ уақыт жұмыс істейтін және төмен деректер жылдамдығы мен жоғары энергия тиімділігі талап етілетін ақылды қалалық көше жарығы жүйесінде қолдануға жарамсыз [10].

ZigBee – ашық жоғарғы деңгейлі протокол, ол ақылды қалалық жарықтандыру жүйесін құру үшін онтайлы техникалық шешім болып табылады.

ZigBee желісінде байланыс деректер пакеттерін координатор, маршрутизаторлар және соңғы құрылғылар арасында тасымалдау арқылы жүзеге асырылады [9].

Желі ұяшықтық (mesh) жүйесі арқылы жұмыс істейді, яғни егер желінің бір компоненті істен шықса, деректер пакеттері басқа маршрут арқылы жіберіледі, бұл ақпараттық арнаның үздіксіздігін қамтамасыз етеді.

Ақылды қалалық жарықтандырудың соңғы құрылғылары (ақпаратты анықтауға жауапты түйіндер) өзара байланыспаған, сондықтан ақылды қала ұзақ уақыт бойы энергия үнемдеу (ұйқы) режимінде болады. ZigBee протоколы әр құрылғыға 16 биттік мекенжай береді, бұл желіге 65536-ға дейін соңғы құрылғыны қосуға мүмкіндік береді [11].

3.3-суретте ZigBee протоколына негізделген ақылды жарықтандыруды басқару жүйесінің архитектурасы көрсетілген [12].

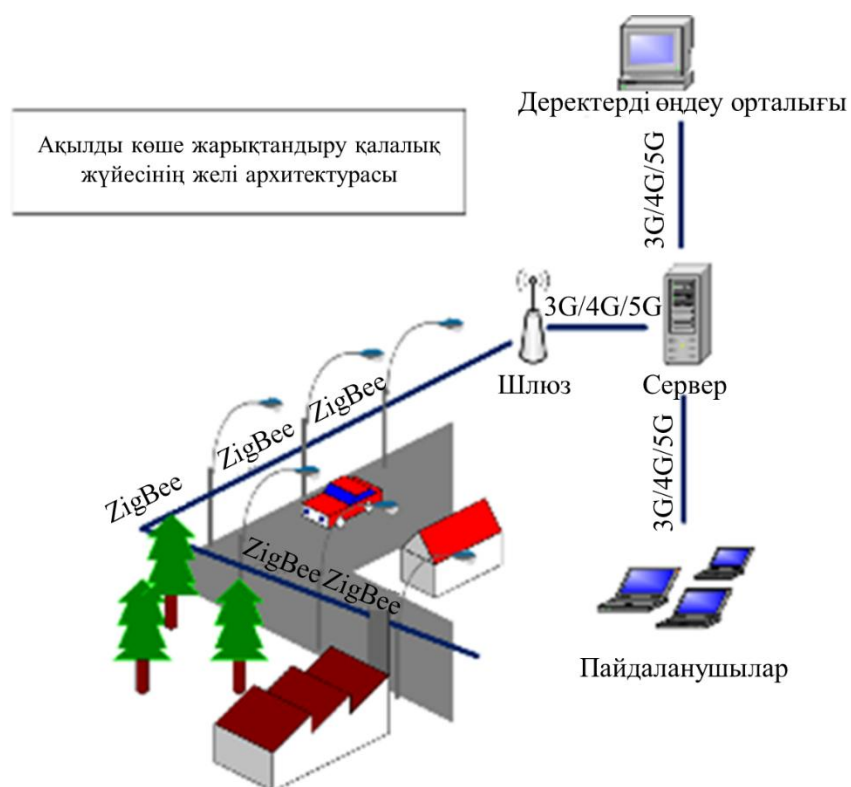
3.3 Қозғалысты анықтау түрлері

Интеллектуалды жарықтандыруды басқару жүйесі жүйесін құру кезінде әрбір жарық нүктесі қозғалысты анықтайтын детектормен жабдықталуы керек. Бүгінгі күні ақпарат алу әдістері бойынша әртүрлі типтегі бірнеше қозғалыс датчиктері белгілі.

Қозғалыс детекторларын жұмыс істеу принципіне қарай екі түрге бөлуге болады [13]:

- Пассивті,
- Активті.

Пассивті қозғалыс датчиктері қосымша қуат көзін қажет етпейді. Пассивті инфрақызыл (ИК) сезімтал элементтер (көбінесе пироэлектрлік элементтер қолданылады, олардың негізіндегі датчиктер – PIR-датчиктер) ұзын және орташа ИК диапазонында (толқын ұзындығы 4–20 мкм) сәулеленуге жауап береді (орташа дені сау адамның денесі шығаратын сәулелерге сезімтал).



3.3-сурет – ZigBee протоколына негізделген интеллектуалды жарықтандыруды басқару жүйесі желісінің архитектурасы

Пассивті қозғалыс датчиктері қосымша энергия көзін қажет етпейді. Пассивті инфрақызыл (ИК) сезімтал элементтер (көбінесе пирозэлектрлік элементтер қолданылады, ал олардың негізіндегі датчиктер — PIR-датчиктер деп аталады) алыс және орта ИК спектрлік диапазонында 4...20 мкм толқын ұзындығында сәулеленуге жауап береді (дені сау адамның денесі шамамен 9 мкм диапазонында сәуле шығарады).

Олардың жұмыс принципі қозғалатын объектінің беткі қабатынан шыққан, қоршаған ортаға таралатын және орташа температурадан жоғары температураға ие сәулелерді анықтауға негізделген, нәтижесінде сенсордың бетінде оптикалық құрылғы арқылы оптикалық контраст түзіледі [14].

Активті қозғалыс датчиктері жұмыс істеуі үшін қосымша сыртқы энергия көзін қажет етеді.

Олардың жұмыс принципі – шағылған электромагниттік толқындарды қабылдауға негізделген.

Активті қозғалыс датчиктерінің негізгі түрлері:

- Доплер эффектісіне негізделген радарлар (микротолқынды диапазонда жұмыс істейтін),
- Ультрадыбыстық датчиктер.

Доплер эффектісіне негізделген радарлар – бұл эталондық сигнал жіберіп, шағылған сигналды қабылдайтын детекторлар. Энергия электромагниттік толқындар түрінде — ультрадыбыстық немесе микротолқынды диапазонда — берілуі мүмкін. Кез келген толқындар

объектіге соқтығысқанда, олардың бір бөлігі шағылады. Егер объект антеннаға қарай немесе антеннадан алыстап қозғалса, шағылған сәуленің жиілігі өзгереді.

- Объект антеннадан алыстаса — шағылған сигналдың жиілігі азаяды,

- Объект антеннаға жақындаса — жиілік артады [15].

Объект детекторға қандай да бір бұрышпен (θ бұрышы) жақындаған кездегі Доплер жиілігін келесі формуламен есептеуге болады:

$$\Delta f = \frac{v}{\lambda_0} \cos \theta,$$

Мұндағы

v – объектінің жылдамдығы;

λ_0 – жіберілетін толқынның ұзындығы;

θ – қозғалыстың нақты бағыты мен байланыс сызығы арасындағы бұрыш.

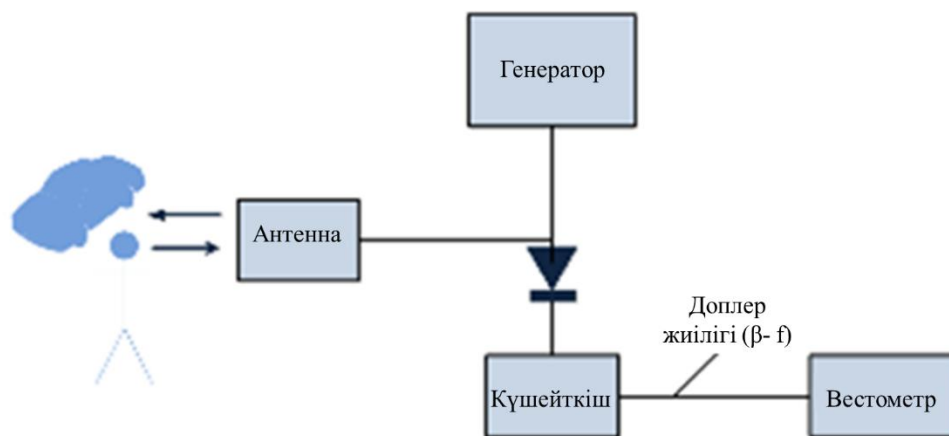
Доплерлік радарларда жиілік объектінің қозғалу жылдамдығына сызықтық пропорционалды болады. Мұндай датчиктерде қозғалу жылдамдығын анықтау үшін Доплер жиілігін және ығысу бағытының фазасын есептеу қажет, бұл жағдайда радиотаратқыш жоғары жиілікті радиосигналды үздіксіз емес, қысқа импульстер түрінде шығарады [16]. Осылайша, қабылдағыш сигналды тек дәл белгіленген уақыт аралығында қабылдайды, ал бұл уақыттық кідіріс антеннадан объектіге дейінгі қашықтыққа пропорционалды болады:

$$t_d = \frac{2D}{c}$$

Мұндағы

c – жарық жылдамдығы.

3.4-суретте микротолқынды қозғалыс детекторының схемасы көрсетілген.



3.4-сурет – Микротолқынды қозғалыс детекторының схемасы

Доплер эффектісіне негізделген микротолқынды радар Доплер эффектісіне негізделген микротолқынды радар қалалық интеллектуалды жарықтандыру жүйесі үшін ең оңтайлы шешім болып табылады, өйткені ол [17]:

- оптикалық компоненттерді қамтымайды және шамның сыртқы түрін өзгертпей-ақ жүйеге кіріктірілуі мүмкін;
- жұмыс температурасының кең диапазонына ие;
- сыртқы ауа райы жағдайлары мен кедергілердің әсеріне сезімтал емес;
- объектінің қозғалыс жылдамдығын және оның детектор қамту аймағында бар-жоғын анықтай алады.

Қарастырылған жүйе көшені интеллектуалды жарықтандыруды басқаруға бағытталған және бақыланатын аумақта қозғалыс белсенділігіне байланысты жарықтандыру қарқындылығын реттеуге қабілетті. Қалалық жарықтандыруды интеллектуалды басқару жүйесі "ақылды қала" және "заттар интернеті" (IoT) тұжырымдамалары негізінде әзірленген және бақылау аймағындағы қозғалыс белсенділігіне сәйкес жарықтандыру деңгейін реттеуге арналған.

3.4 Қалалық инфрақұрылымдағы тұрақтылық: LoRaCELL негізіндегі IoT ақылды жарықтандыру жүйелері

Соңғы жылдары урбанизация деңгейі айтарлықтай артты, бұл өз кезегінде өмір сапасын жақсарту үшін қалалық аймақтарда қызметтер мен қосымшаларға деген сұраныстың өсуіне алып келді. Заттар интернеті (IoT) дәуірінде қалалар ақылды орталықтарға айналууда. Бұл қалаларда қалалық инфрақұрылымды жақсарту мақсатында өзара байланысқан құрылғылар, мысалы, ақылды қоғамдық жарықтандыру жүйелері енгізілуде. Осы дипломдық жұмыста IoT негізіндегі ақылды жарықтандыру жүйесінің қалалық ортадағы трансформациялық әлеуеті зерттеліп, оның қауіпсіздік, экономика

және тұрақтылықты арттырудағы маңызды рөлі атап өтіледі. Осы орайда LoRaCELL (Long-Range Cell) ұсынылады.

LoRaCELL – жарық қарқындылығы, ылғалдылық, температура, ауа сапасы, күн ультракүлгін радиациясы, амперметр және вольтметр деректерін жинау үшін шеткі құрылғыларды пайдаланатын инновациялық жүйе. Бұл ақылды қоғамдық жарықтандыру жүйелері үшін озық шешім ретінде ұсынылады және IoT-қа негізделген қалалық дамуды ілгерілетуге ықпал етеді. Нәтижелер көрсеткендей, ұсынылған жүйе құрылғыларды бір-бірімен сәтті синхрондап, дәстүрлі технологиялармен (мысалы, LoRaWAN) салыстырғанда төмен шығынмен IoT деректерін жіберуге мүмкіндік береді.

Заттар интернетінің (IoT) дамуы арқылы әлемдегі қалалар ақылды қалаларға айналуға, мұнда қалалық инфрақұрылым азаматтардың өмір сапасын және қалалық қызметтердің тиімділігін арттыру мақсатында байланыстырылған құрылғылармен толықтырылуға. Бұл эволюция қалалық инфрақұрылымды жетілдіру арқылы жүзеге асады. Ақылды қаланың негізін салатын маңызды элементтерге әртүрлі датчиктер, қолдаушы технологиялар және қажетті орта жатады. Олар ақылды және жауап беретін қалалық орталарды құрудың іргетасы ретінде қызмет етеді.

Осы өзгерістің пайдасын көрген секторлардың бірі – қоғамдық жарықтандыру. Сенсорлар мен байланыс технологияларының көмегімен көше жарықтарын қашықтан бақылауға және басқаруға болады, бұл энергия тұтынуды оңтайландырып, қоғамдық қауіпсіздікті арттырады [1,2].

Қоғамдық жарықтандыру қалалық инфрақұрылымда маңызды рөл атқарады, тек қаланың эстетикасына ғана емес, сонымен қатар оның қауіпсіздігі мен экономикасына әсер етеді [3,4]. Жақсы жарықтандырылған көшелер қылмыстың алдын алып, жол-көлік оқиғаларының қаупін азайтады. Жаяу жүргіншілер мен жүргізушілер көшелерді қауіпсіз жүріп өту үшін жеткілікті жарыққа тәуелді [5].

Жаһандық тұрақтылық трендін ескере отырып, қалалар экологиялық шешімдерді қабылдауға мәжбүр. Дәстүрлі жарықтандыру жүйелері көп энергия тұтынады және қызмет ету мерзімі қысқа. Энергия үнемдейтін баламаларға, мысалы, жарық диодты (LED) жарықтандыруға көшу қаланың көміртек ізін азайтады және техникалық қызмет көрсету шығындарын төмендетеді [6].

Қоғамдық жарықтандырудың қалаларға әсерін ескере отырып, осы салада бірқатар зерттеулер жүргізілді [7,8,9].

Байланыстырылатын құрылғылар санының өсуіне байланысты олардың байланыс тұрақтылығы маңызды мәселеге айналуға [10]. Соңғы жылдары қоғамдық жарықтандыруды жетілдіру үшін IoT қолдану бойынша бірқатар зерттеулер жүргізілді. Мысалы:

- Leccisi және әріптестері [11] қоғамдық жарықтандыру және қоғамдық ғимараттар сияқты энергия көп тұтынатын инфрақұрылымдардың деректерін жинау және бағалау үшін платформа ұсынды.

- Rossi және әріптестері [12] ұялы желілер мен бұлттық есептеу архитектураларын пайдалану арқылы төмен құнды IoT жарықтандыру жүйесін ұсынды.

- IoT негізіндегі ақылды шам тіректері арқылы экологиялық параметрлер мен бейнелерді нақты уақыт режимінде беру жүзеге асырылды [2,3].

Көптеген зерттеулер IoT арқылы қоғамдық жарықтандыруды жетілдіруге арналған [10]. Бұл жұмыста Long Range Cell (LoRaCELL) ұсынылады, ол IoT-ке негізделген қалалық инфрақұрылымды жетілдіруге бағытталған.

LoRaCELL-дің негізгі ерекшеліктері:

- Барлық құрылғыларға, шеткі құрылғыларға және шлюздерге қолдануға болатын бірегей аппараттық құрал әзірлеу. Бұл архитектура жүйені жеңілдетіп, LoRaWAN серверлерімен үйлесімділікті қамтамасыз етеді.

- Әр аймақта бірнеше шлюздерді қолдау, бұл тығыз қоныстанған аймақтарда деректерді тиімді жіберуге мүмкіндік береді.

- AWS, MongoDB v7.0 және Apache Spark v3.5.0 интеграциялау арқылы деректерді сенімді өңдеу және кеңейтілген аналитика жасау.

- Power BI көмегімен деректерді көрнекі түрде бейнелеу және талдау нәтижесінде қала жоспарлау және шешім қабылдау процестерін деректерге негіздей отырып оңтайландыру.

3.5 Ақылды жарықтандыру жүйелеріне шолу

Ток, кернеу, жарықтандыру, ультракүлгін индексі және дыбыс сияқты әртүрлі дереккөздерді біріктіру үлкен қиындықтар тудырады. Осы мәселелерді шешуге бағытталған бірнеше инновациялық шешімдер ұсынылды [13].

Мысалдар:

- Zhu және әріптестері [14] IoT пен халықтық деректер жинау тәсілін біріктірген гибридті сенсорлық парадигманы зерттеді.

- Anand және әріптестері [15] ақылды қаладағы көше жарығын бақылау үшін федеративті оқытудың (FL) тиімділігін бағалады.

- Жоу және әріптестері [16] деректер алмасуда толық қауіпсіздікті қамтамасыз ететін мобильді халықтық деректер жинау жүйесін ұсынды.

- Mante [17] бірM2M стандарттарына негізделген IoT деректерді өңдеу жүйесін сипаттады [18].

Басқа зерттеулер де IoT және LoRaWAN қосымшаларын дамытуға үлес қосты:

- [19] төрт еуропалық қаладағы LoRaWAN трафигін талдап, қауіпсіздік пен спектр ережелерінің бұзылуы мәселелерін анықтады.

- [20] Wi-Fi HaLow және LoRa технологияларын салыстырып, ақылды энергетикалық желі контекстінде олардың өнімділігін бағалады.

- [21] LoRaWAN арқылы ақылды ғимараттарда ақауларға төзімді өртті анықтау жүйесін ұсынды.

Бұдан басқа:

- [22] LoRaWAN желісін оңтайландыру үшін машиналық оқыту әдістерінің қолданылуына шолу жасады.

- [23] аккумуляторсыз IoT құрылғылар үшін бейімделген беру алгоритмдерін зерттеді.

- [20] LoRa протоколын қолдана отырып, ауаны ластаушы заттарды анықтауға арналған интеллектуалды газ сенсор жүйесін ұсынды.

- [21] шалғай аудандарда жерүсті интернеті жоқ жағдайда LoRa құрылғыларды UAV арқылы синхрондау әдісін ұсынды.

3.2-кесте ұсынылып отырған LoRaCELL жүйесі мен бұрынғы зерттеулер арасындағы айырмашылықтарды көрсетеді және IoT негізіндегі ақылды жарықтандыру мен деректерді біріктіру саласындағы эволюция мен инновацияларға шолу береді.

Кесте 3.2 LoRaCELL жүйесі бойынша зерттеулер

Мақала	Жылы	Әдісі	Ұсыныс
Rossi және т.б.	2016	IoT басқару жүйесі	4G байланысы арқылы энергия үнемдейтін қоғамдық жарықтандыру
Joу және т.б.	2016	Мобильді деректер	Құпиялылықты сақтай отырып деректерді жинау
Gehlot және т.б.	2021	Ұзақ қашықтықтағы IoT	Wi-Fi байланысы мен mesh желісі бар ақылды шам бағандары
Zhu және т.б.	2022	IoT-сезу	IoT-сезу және crowdsensing-ті толықтыра отырып біріктіретін гибриді сезу
Anand және т.б.	2022	Федеративті оқыту (Federated Learning)	Машина оқыту арқылы ақылды көше жарығын бақылау
Mante	2023	oneM2M стандарттары	IoT деректерін өңдеу
Povalac және т.б.	2023	LoRaWAN трафигі	Қауіпсіздік пен нормативтік мәселелерді анықтау
Kane және т.б.	2023	Wi-Fi HaLow vs. LoRa	Wi-Fi HaLow технологиясының үміт күттіретін өнімділігі
Farhad және Pyun	2023	Машиналық оқыту арқылы LoRaWAN	Ресурстарды басқаруда ML әлеуеті
Giuliano және т.б.	2023	Батареясыз LoRa сенсорлары	Адаптивті жіберу алгоритмдері
Kumar және т.б.	2023	LoRa негізіндегі E-Nose	Желіленген газды анықтау жүйесі
Andreadis және т.б.	2023	Шалғай аймақтардағы IoT	Ұшқышсыз ұшу аппараттары (UAV) арқылы синхрондау протоколы

AURORA жүйесі, Rossi және әріптестері ұсынған [12], ұялы байланыс желілеріне тәуелді, алайда бұл желілер қамту аймағы әлсіз жерлерде жеткіліксіз болуы мүмкін. LoRaCELL бұл мәселені шешу үшін кең көлемді

ұялы инфрақұрылымға тәуелді болмайтын LoRa технологиясын қолданады, бұл оны анағұрлым үнемді әрі қарапайым шешімге айналдырады. Zhu және әріптестері [14] мен Anand және әріптестері [15] көрсеткен IoT-сенсорлау және crowdsensing біріктіру тәсілдері деректердің дәлдігі мен қолданушылардың қатысу белсенділігіне қатысты мәселелерге тап болуы мүмкін. Осы жұмыс аясында ұсынылған құрылғы бұл процесті жеңілдетіп, тиімді деректерді жіберуді қамтамасыз етеді және алдыңғы тәсілдерге тән күрделіліктерді болдырмайды.

Joу және әріптестері [16] ұсынған жүйе құпиялықты қорғауға бағытталғанымен, ол күрделілік пен жоғары шығындарды тудыруы мүмкін. Rovalac және әріптестері [19] LoRaWAN трафигінің масштабталу мәселелерін талқылады. LoRaWAN шлюздерінің жоғары бағасы және тығыз қалалық аудандарда сигналдардың бөгелуі жалпы шығындарды арттырады. LoRaCELL тәсілі, арзан шлюздерді қолдану арқылы, шағын аймақтарда ресурстарды тиімді бөлуді және жақсы өнімділікті ұсынады.

Kane және әріптестері [20] ақылды желілердегі Wi-Fi HaLow мен LoRa технологияларын салыстырып, ақылды қала жарықтандыру жүйелері үшін шығын тиімділігіне қатысты мәселелерді атап өтті.

Farhad және әріптестері [22] LoRaWAN-ды машиналық оқыту әдістерімен жетілдіруге тырысты, алайда бұл күрделілік тудырды. Ал LoRaCELL жүйесі қала жарықтандыру жүйелері үшін экономикалық тиімді шешім ұсынады және машиналық оқыту технологияларымен байланысты күрделілік пен шығындардан аулақ болу үшін тікелей LoRa технологиясын қолданады.

LoRaCELL жүйесіндегі негізгі шектеу — бір шлюзге қосылатын құрылғылар санының шектеулігі. Әрбір шлюз, шағын аумақтар үшін жобаланған, 10 шеткі құрылғыны қосуға мүмкіндік береді және әрбір 10 минут сайын деректер жіберіледі.

Бұл құрылым тез немесе нақты уақыттағы деректерді өңдеуді талап ететін қолданбалар үшін шектеу тудыруы мүмкін.

Көріп отырғанымыздай, алдыңғы жұмыстармен салыстырғанда, бұл зерттеу қоғамдық жарықтандыру инфрақұрылымында деректер жинау және біріктірудің жаңа тәсілін ұсынады.

Көптеген зерттеулер белгілі бір сенсор түрлеріне немесе байланыс әдістеріне бағытталған болса, LoRaCELL шеткі құрылғыларды пайдаланып, ток, кернеу, жарықтандыру деңгейі, УК-индекс, дыбыс және тағы басқа параметрлерді қамтитын кең ауқымды деректер жинайды. Сонымен қатар, біздің жүйе LoRa N2P (N to Peer) байланыс әдісі арқылы деректерді Amazon Web Services (AWS) платформасына тиімді түрде жеткізеді, мұнда деректер MongoDB базасына сақталады. Деректерді өңдеу және талдау үшін Apache Spark платформасы қолданылады, бұл жиналған ақпараттан алынатын нәтижелерді жақсартады. Ақырында, Power BI Pro v2.214 құралын қолдана отырып, деректерді

визуализациялау және интерпретациялау жүзеге асырылады, бұл мүдделі тараптарға ыңғайлы және толық интерфейс ұсынады.

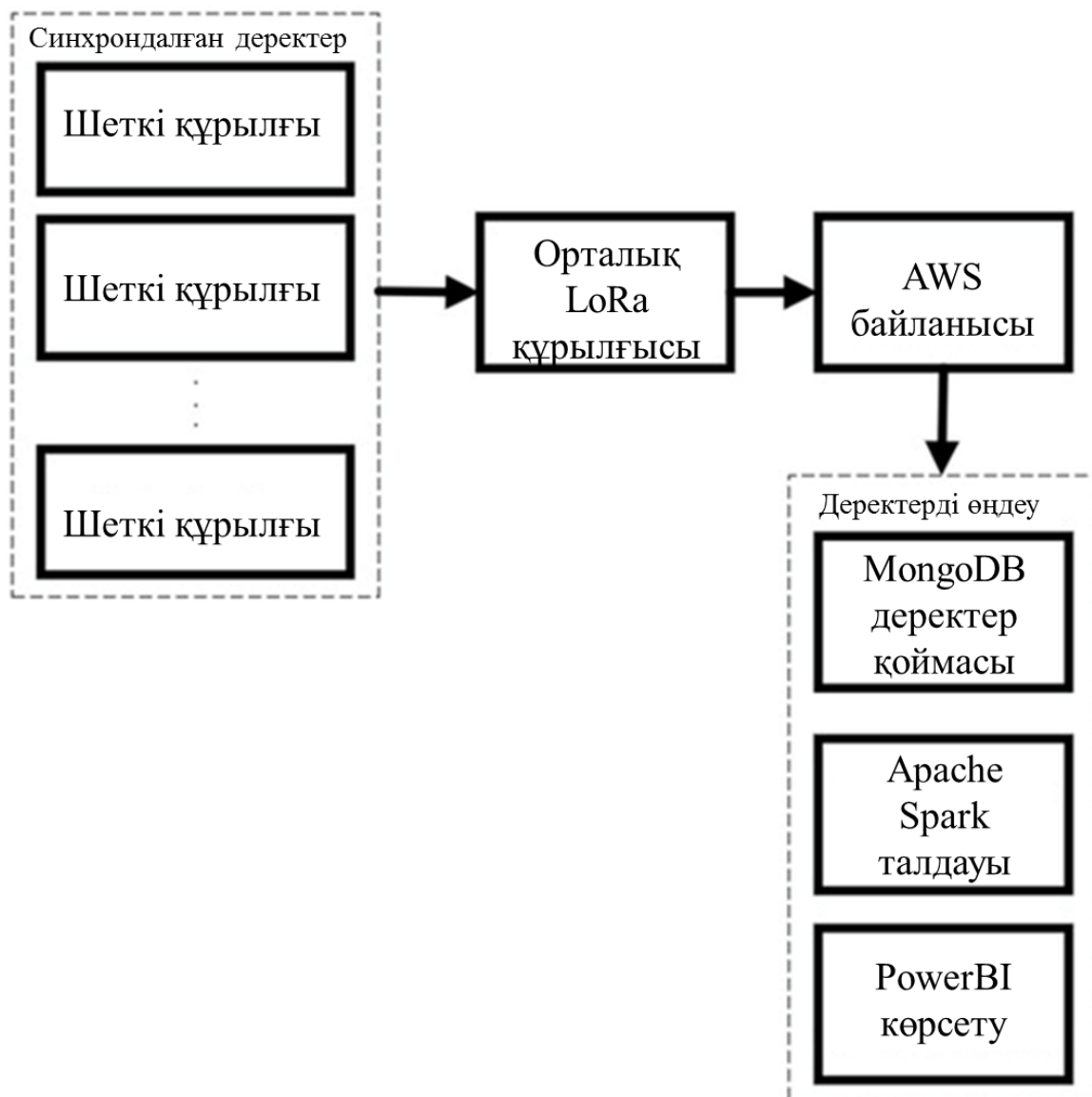
3.5.1 LoRaCELL әдісі

3.5-суретте осы зерттеуде қолданылған әдістеменің сызбалық көрінісі берілген.

Әдістеме деректерді жинау үшін сенсор құрылғыларының (шеттердің) желісіне негізделген. Бұл шеттер деректерді жинап, тарату хабы ретінде қызмет ететін орталық LoRa құрылғысымен байланыстырылған.

Деректер жинаудың сенімділігін қамтамасыз ету және пакет жоғалуын азайту үшін шеттер орталық LoRa құрылғысымен синхрондалады. Бұл синхрондау механизмі әр шеттің деректерді белгіленген аралықпен жіберуін қамтамасыз етеді, соқтығысуды болдырмайды және үздіксіз байланысты қамтамасыз етеді.

Орталық құрылғы әртүрлі шеткі құрылғылардан деректерді жинаған соң, оларды интернет арқылы Amazon Web Services (AWS) платформасына жібереді.



3.5-сурет – LoRaCELL деректерді жинау және өңдеу жұмыс процесінің схемасы.

Деректер AWS-ке (Amazon Web Services) жеткеннен кейін, олар көп функциялы және ауқымды шешім болып табылатын MongoDB мәліметтер базасында сақталады. Бұл орталықтандырылған сақтау деректердің тұтастығын қамтамасыз етеді және оларды тиімді түрде іздеуге әрі талдауға мүмкіндік береді.

Тереңдетілген деректерді өңдеу және талдау үшін Spark Apache фреймворкі қолданылады. Spark Apache-тің таратылған есептеу мүмкіндіктері үлкен деректер жиынтығын өңдеуге мүмкіндік береді, бұл оны осы әдістеме үшін тамаша шешім етеді.

Шикі деректерді нақты іс-әрекеттерге негіз болатын түсініктерге айналдыру үшін Power BI құралдары пайдаланылады. Интерактивті бақылау

тақталары мен егжей-тегжейлі есептер арқылы мүдделі тараптар деректердің үлгілерін, үрдістерін және ауытқуларын айқын көре алады. Бұл визуализация негізделген шешім қабылдауға көмектеседі, осылайша қалалық жоспарлау мен басқару нақты деректерге негізделген түсініктерге сүйене отырып жүзеге асырылады.

3.6 Эксперименттік орнату және конфигурация

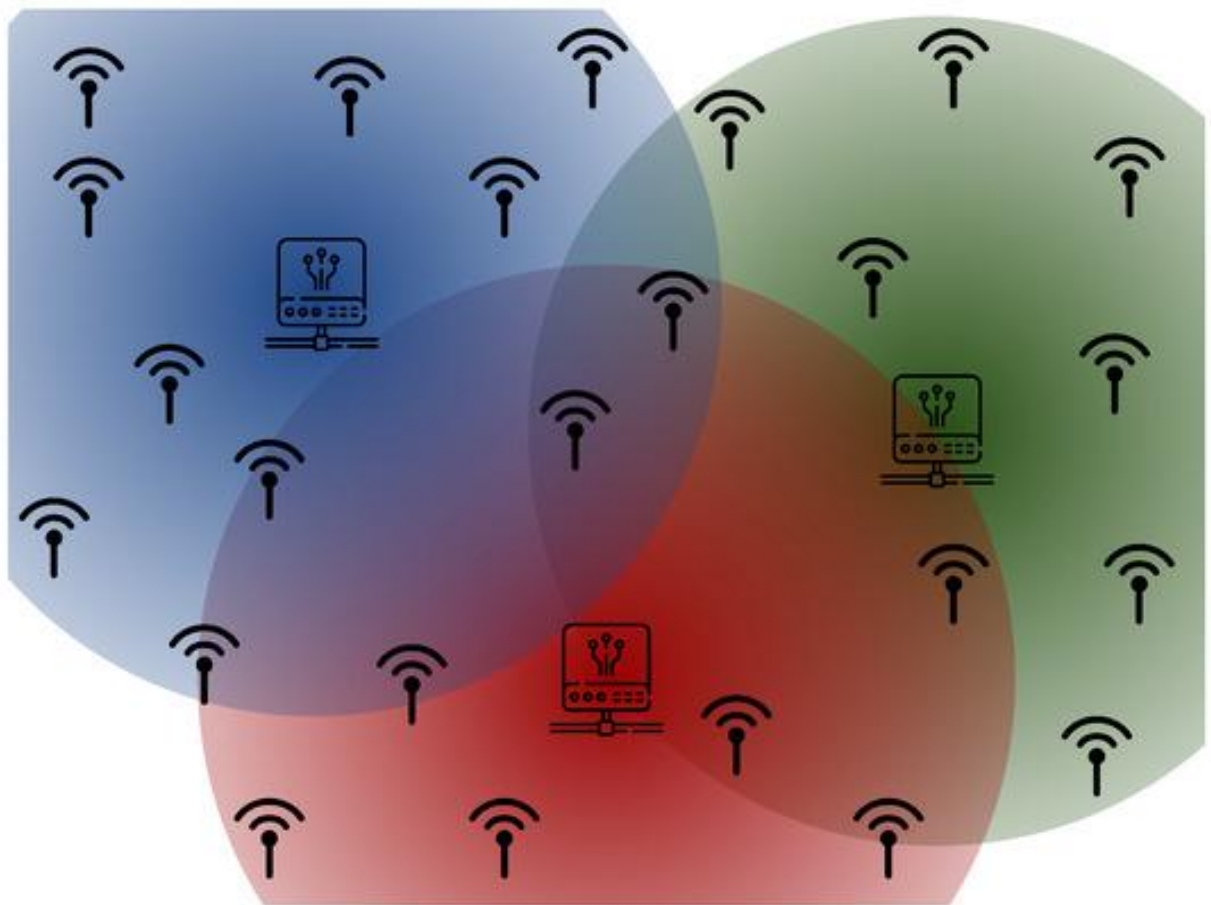
Mini LoRaWAN беру ұяшықтары әдісі стандартты шеттік құрылғыларды қолданады, олардың LoRaWAN протоколының микробағдарламасына аздаған өзгерістер енгізілген, бұл құрылғылардың қарапайым шлюзбен байланыс орнатуына мүмкіндік береді.

Мұндай шлюз әдетте бір ғана байланыс арнасынан құралады және құрылғыларды біріктіру үшін қолданылады. LoRaCELL тұжырымдамасы – бұл N2P негізіндегі жұлдыз тәрізді желі, онда бірнеше өлшеу құрылғысы өз өлшеулерін қарапайым бір арналы шлюзге жібереді, ол оларды біріктіріп, стандартты интернеттегі LoRaWAN серверіне бағыттайды.

Осы конфигурацияның функционалды құрылымын 3.6-суреттен көруге болады.

Әрбір шеттік құрылғы орталық құрылғымен байланысады, мұнда Blue Ray аймағындағы құрылғылар өз өңірлеріндегі шлюзбен байланысады. Шлюз шекараларының қиылысында орналасқан құрылғылар тек бір орталық құрылғымен байланысады, себебі әрбір орталық құрылғы үшін жиілік жолақтары әртүрлі болады.

Бұл тәсіл LoRaWAN протоколының ABP (Activation By Personalization), OTAA (Over-The-Air Activation) сияқты стандартталған функциялары бар жүйелердегі белгілі қауіпсіздік деңгейін қамтамасыз етеді және өнімділікті төмендетпей, бірақ шағын аумақтарда (мысалы, супер-блоктар немесе тұрғын үйлер кешендері сияқты) қолдану үшін қондыру шығындарын едәуір азайтады.

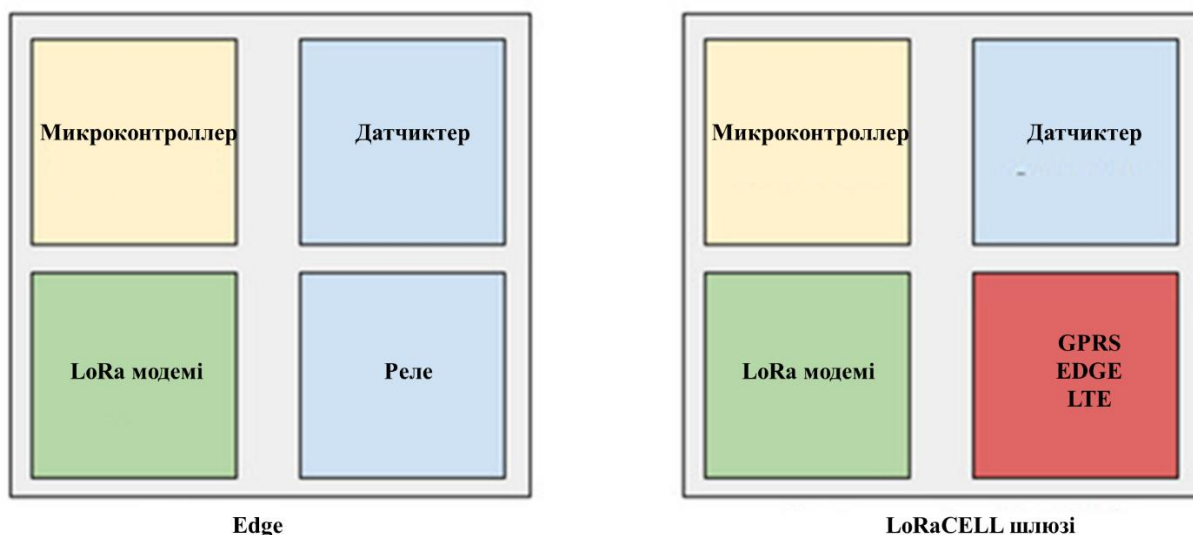


3.6-сурет – LoRaCELL құрылымының негізгі схемасы

Бұл тәсілдің бастапқы LoRaWAN жүйесінен айырмашылығы бар екенін атап өткен жөн: мұнда әр шлюзге тек бір ғана LoRa арнасы бөлінеді, әр шлюзге қосылған шеткі құрылғылар саны шектеулі (әдетте 30-дан аз), және стандартты LoRaWAN тәсілімен салыстырғанда тек 10% аумақты ғана қамтиды.

Сонымен қатар, шлюздің коммерциялық құны айтарлықтай төмендетілген — 100 есеге дейін. LoRaCELL шлюзін жинау құны 30 АҚШ долларынан аспайды, ал Бразилияда 5000 шеткі құрылғы үшін LoRaWAN шлюзінің құны шамамен 3000 АҚШ долларын құрайды.

Осылайша, LoRaCELL жүйесінде құрылғылар үшін тек бір ғана аппараттық модуль бар: шлюз шеткі құрылғы ретінде жұмыс істейді және оған басқа құрылғылардан жиналған деректерді ұялы байланыс желісі арқылы жіберу үшін GPRS, EDGE немесе LTE модулі қосылады. Бұл айырмашылық 3.7-суретте көрсетілген.



3.7-сурет – LoRaCELL технологиясы арқылы шеткі құрылғы мен шлюздің негізгі айырмашылығы

Көше шамдары бақылау аймағы бойынша шеткі құрылғылармен жабдықталады, олар LoRaCELL шлюздеріне қосылады. Осы шлюздер алынған деректерді біріктіріп, оларды ұялы желі арқылы интернетке жібереді. LoRaCELL технологиясының негізгі артықшылықтарын төмендегідей сипаттауға болады:

- Барлық құрылғылар үшін (шеткі құрылғы болсын, шлюз болсын) бірыңғай аппараттық құрал;
- Нарықтағы қолданыстағы LoRaWAN серверлеріне деректерді жіберу үйлесімділігі;
- Аппараттық шығынның төмендігі;
- Тұрғын үй алаптары немесе шағын аудандар сияқты шағын аумақтарда қолдануға қолайлы;
- Аймақ ішінде бірнеше шлюзді қолдайды, ұялы байланыс тұжырымдамасына сәйкес келеді;
- Mesh (торлы) желілерге қарағанда пакеттердің жоғалу деңгейі төмен.

3.6.1. Синхрондау

LoRa қолданатын IoT құрылғыларын синхрондау үшін түрлі әдістер қолданылуы мүмкін. Оларға реттелген беру терезелерін пайдалану, көп рұқсатты қатынау әдістері және басқа тәсілдер кіреді. Бұл әдістер деректер пакеттерінің соқтығысуын болдырмауға және олардың бәрінің сәтті қабылдануына бағытталған.

Уақыт бойынша бөлінген көптік қатынау (TDMA) - арнаны пайдалану әдісі, мұнда уақыт нақты интервалдарға бөлінеді және әр интервал белгілі бір құрылғыға бекітіледі. Бұл әдіс бір уақытта тек бір құрылғының ғана жіберуіне

мүмкіндік береді, осылайша соқтығыстардың алдын алады. Алайда TDMA әдісі құрылғылардың уақыт сағаттарының дәл әрі синхронды болуын талап етеді, әйтпесе беру терезелерінің қабаттасуы салдарынан кедергі және деректер жоғалуы мүмкін.

Бұл деңгейдегі синхрондауды қамтамасыз ету, әсіресе сигнал кешігуі айнымалы мобильді немесе спутниктік байланыс сияқты орталарда қиындық туғызады. Сонымен қатар, желідегі құрылғылар саны артқан сайын синхрондауды сақтау қиындайды, бұл масштабталу мәселелеріне әкелуі мүмкін.

TDMA әдісіне балама ретінде кездейсоқ қатынау алгоритмдерін қолдануға болады, мысалы:

- ALOHA
- CSMA (Carrier Sense Multiple Access).

Бұл алгоритмдер құрылғыларға деректерді жіберу қажеттілігі туындағанда жіберуге мүмкіндік береді, бірақ соқтығыстарды басқару стратегиясымен жұмыс істейді.

Мысалы, ALOHA әдісінде соқтығысқаннан кейін құрылғылар кездейсоқ уақыт аралығын күтіп, қайта жіберуге тырысады, осылайша келесі соқтығысудың ықтималдығы азаяды.

CSMA әдісінде құрылғылар алдымен арнаның бос екенін тексереді, содан кейін ғана жіберуді бастайды, бұл да соқтығыстарды азайтады.

Алайда ALOHA және CSMA қолданылғанда, LoRa Heltec құрылғысы басқа құрылғы хабарлама жіберіп жатқан кезде байланысты үзіп тастайды, нәтижесінде бастапқы да, жаңа пакеттер де жоғалады. Сонымен қатар, кейбір құрылғылар соқтығыстардан кейін қайта жүктеліп, сақталған сенсор деректерін жоғалтады.

Осы себепті соқтығыстарды болдырмайтын және әрбір белгіленген уақыт аралығында сенсор деректерін жіберу талаптарын қанағаттандыратын стратегия қажет.

Шешім ретінде гибриді әдістеме таңдалды:

- TDMA-ның анықталған уақыт интервалындағы қарапайым байланыс сапасын пайдалану;
- Бір уақытта нақты уақыт сағатының болмау мәселесін шешу.

Бұл әдісте кездейсоқ синхрондау кезеңі және хабарламаларды жіберуге арналған нақты уақыт интервалдары бар.

Осы жобада хабарлама жіберетін құрылғылар GPS сенсор сияқты нақты уақыт сағаттарына қол жеткізе алмайды. Сонымен қатар, электр энергиясының үзілуі немесе құрылғының өшірілуі синхрондаудың жоғалуына әкелуі мүмкін. Жобаның басында кездейсоқ қатынау әдісі сыналғанымен, ол жобаның мақсаттарына сәйкес келмейтін тұрақсыз нәтижелер берді.

Сондықтан гибриді синхрондау стратегиясы әзірленді:

- Әр хабарламаның арасында кемінде 28 секундтық интервал болуы тиіс.

- Әр шеткі құрылғы хабарламаны осы интервалдан асыратын уақыт терезесінде жіберуі керек.

Осы кезеңде әрбір орталық құрылғыға бес шеткі құрылғы қосылған, олар өз деректерін әр бес минут сайын жіберуге бағдарланған. Хабарлама жіберу интервалдары — бір минут деп орнатылды, бұл 28 секундтан әлдеқайда жоғары.

Сонымен қатар, LoRa құрылғыларының бір уақытта хабарлама жіберу және қабылдау мүмкіндігінің жоқтығын ескере отырып, келесі байланыс үлгісі әзірленді:

- Орталық құрылғы әрқашан қабылдау режимінде қалады (3.8-сурет - көк түспен көрсетілген).

- Шеткі құрылғылар әр минут сайын жіберу режиміне ауысады (сары түспен көрсетілген) және сенсор жинаған деректерді жібереді.

Барлық құрылғылар қабылдау режимінде хабарламаны қабылдай алғанымен, тек орталық құрылғы хабарламаны өңдейді, өйткені әр хабарламада оны қай құрылғыға бағыттау керектігін көрсететін метадеректер болады.



3.8-сурет – Шеткі құрылғылар мен орталық құрылғылар арасындағы байланыс үлгісі

Алайда бұл синхрондау процесі барлық құрылғылар нақты уақыттан хабардар деп болжайды, ал шеткі құрылғылар үшін бұл дұрыс емес.

Себебі тек орталық құрылғы ғана интернетке қосылған және жаңартылған уақытты алады. Осыған байланысты біз шеткі құрылғылардың синхрондалуын қамтамасыз ету үшін арнайы стратегия әзірледік (3.9-сурет).



3.8-сурет – Шеткі және орталық құрылғылар арасындағы синхрондау

3.8-суретте құрылғылар арасындағы синхрондау үлгісі көрсетілген. Орталық құрылғы Интернетке қосылғандықтан нақты уақытқа қол жеткізе алады. Бес шеткі құрылғы (edge) хабарламаларды кездейсоқ уақыттарда жібереді. Олардың біреуі — орталық құрылғы — хабарлама қабылдап, edge0 құрылғысын шақырады, оған шеткі құрылғының кодын және алғашқы хабарламаны жіберу үшін қажет кідіріс уақытын қайтарады. Егер ол 0 кодын алса, құрылғы 10 минутқа дейін күтуі керек. Келесі хабарлама 40 минутта жіберіледі.

Осыдан кейін қалған төрт шеткі құрылғы да хабарламаларды кездейсоқ уақытта жібереді. Орталық құрылғы оларды қабылдап, edge1 құрылғысын шақырады және оған нақты уақытта оның кодын қайтарады. Егер ол 1 кодын алса, құрылғы 11 минутқа дейін күтеді, содан кейін келесі хабарлама 21 минутта жіберіледі. Бұл процесс барлық құрылғылар синхрондалғанша қайталанады.

Айта кету керек, орталық құрылғы шеткі құрылғының синхрондау хабарламасын қабылдағаннан кейін қысқа уақыт ішінде жіберу режиміне өтеді. Содан соң ол қайтадан қабылдау режиміне ауысып, сенсор деректерін және басқа синхрондау хабарламаларын қабылдайды. Бос уақыт аралығы – синхрондау мен алғашқы хабарламаларды жіберу арасындағы уақыт. Бұл аралық тіпті синхрондау хабарламалары арасында үлкен қақтығыстар болғанның өзінде барлық құрылғылар уақыт өте келе синхрондалуы үшін арнайы жасалған.

- Сары блоктар – құрылғылардың LoRa арқылы хабарлама жіберу уақыттарын көрсетеді,

- Қызғылт сары блоктар – тек хабарлама қабылдауға дайын уақытты білдіреді,

- Көк блоктар – хабарлама жіберуге де, қабылдауға да дайын уақытты білдіреді.

Синхрондау процесі кезінде шеткі құрылғылар сенсор деректерін жібермейді, тек синхрондау үшін қажетті мәліметтерді жібереді және нақты уақытта өздерінің құрылғы кодтарын (0-ден 4-ке дейін) алады. Осы кодты алған соң, құрылғы синхрондалған хабарламаларды жібере бастайды.

Егер орталық құрылғы қандай да бір шеткі құрылғыдан 20 минут ішінде (яғни төрт беріліс циклі ішінде) хабарлама алмаса, онда бұл құрылғы істен шыққан немесе ауыстырылған деп есептеледі. Мұндай жағдайда құрылғының жазбасы орталықтан жойылады және құрылғы қайта синхрондау процесінен өтуі тиіс.

3.6.2. Сенсоринг (Сенсорлық деректерді жинау)

Сенсорлық компоненттер үшін қоршаған орта және электрлік параметрлердің кең ауқымын қамтитын түрлі сенсорлар қолданылды. Бұл сенсорлар өздерінің дәлдігіне, сенімділігіне және LoRa Heltec V3 құрылғыларымен үйлесімділігіне қарай таңдалды. Бірлесіп жұмыс істей отырып, олар жобаның мақсаттары үшін кешенді деректер жинау жүйесін қамтамасыз етеді:

- TSL2561: Көрінетін жарық қарқындылығын өлшеуге арналған жарық сенсоры.

- MQ-135: Әртүрлі газдарды анықтайтын ауа сапасын өлшеу сенсоры.

- DHT22: Ылғалдылық пен температураны өлшейтін сенсор.

- BMP280: Атмосфералық қысымды өлшеуге арналған барометр және температура сенсоры.

- MAX4466: Жаңбыр мен көлік шуын анықтау үшін қолданылған дыбыс сенсоры.

- ZMPT101B: Электрлік кернеуді өлшейтін вольтметр.

- UV ML8511: Күннің ультракүлгін сәулеленуін өлшеуге арналған сенсор.

- ACS712 5A: 5 амперге дейінгі тоқты өлшейтін амперметр.

Бұл жобада қолданылған сенсорлар әр 10 секунд сайын өлшеу жүргізуге конфигурацияланған. Алайда, деректерді жинау сипатын және әр шлюзге он шеткі құрылғы қосылғанын ескере отырып, әрбір жеке өлшеуді бірден жіберу тиімді емес. Сондықтан деректер әр 10 минут сайын беріледі.

10 минуттық интервалдағы сенсорлық өлшемдердің жылжымалы орташа мәні (moving average) есептеліп, осы кезеңдегі деректердің көрнекі түрде ұсынылуы қамтамасыз етіледі.

Жылжымалы орташа дегеніміз – толық деректер жиынтығынан әртүрлі ішкі жиынтықтардың орташа мәндерін есептеу арқылы алынатын

статистикалық көрсеткіш. Ол қысқа мерзімді тербелістерді тегістеп, ұзақ мерзімді үрдістер мен циклдерді анықтауға көмектеседі.

Жылжымалы орташаны есептеу (3.1) формуласы арқылы беріледі.

$$M(A)t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x(t - i) \quad (3.1)$$

Мұнда

$MA(t)$ - уақыттың tt мезетіндегі жылжымалы орташа мән,
 nn - жылжымалы орташаны есептеуде қарастырылатын деректер саны (яғни, 10 минут ішінде алынған өлшемдер саны),

$x(t-i)$ - $t-i$ мезетіндегі сенсор көрсеткіші.

Біздің жобамыздың контекстінде, егер өлшемдер әр 10 секунд сайын 10 минут бойы алынатын болса, онда $n=60$ болады (яғни, бір минутта алты өлшем, 10 минут ішінде 60 өлшем).

Жылжымалы орташа мән осы 60 өлшемнің орташа көрсеткішін білдіреді, осылайша 10 минут аралығындағы өлшемдердің мән-мағынасын сипаттайтын бір дерек нүктесі алынады.

Бұл әдіс шлюзге жіберілетін деректердің нақты қоршаған орта жағдайларын көрсетуін қамтамасыз етеді әрі жіберілетін деректер көлемін оңтайландырады, осылайша өткізу қабілеті мен сақтау ресурстары тиімді қолданылады.

3.6.3. LoRa N2P

LoRa технологиясының негізгі артықшылығы — аз қуат тұтынумен ұзақ қашықтыққа байланыс қамтамасыз ете алуы.

Бұл мүмкіндігі арнайы таралған спектр модуляциясы (spread spectrum modulation) арқылы іске асады, ол тіпті шу деңгейінен төмен сигналдарды қабылдап, үлкен қашықтықта сенімді байланыс орнатуға мүмкіндік береді.

Жұлдыз тәрізді (star network) желі топологиясы — LoRaWAN жүйелерінде ең жиі қолданылатын архитектуралардың бірі. Бұл құрылымда бірнеше соңғы түйіндер (көбіне "құрылғылар" немесе "edge құрылғылар" деп аталады) тікелей орталық шлюзбен байланысады.

Тікелей байланыс арқасында маршруттауға қажеттілік болмайды, бұл желінің қарапайым әрі масштабталғыш болуына ықпал етеді.

N2P (Node-to-Peer) жұлдыз тәрізді желінің нұсқасы кез келген түйіннің (N) өз әріптестерімен (peer) тікелей байланысуын баса көрсетеді. Мұнда "әріптес" ретінде басқа соңғы түйін немесе орталық шлюз қарастырылуы мүмкін.

N2P архитектурасы құрылғылардың тек орталық шлюзге емес, өзара да ақпарат алмасуы қажет болатын қолданбалар үшін өте қолайлы. Бұл әдіс, мысалы, ақпарат орталық серверге жіберілмес бұрын жергілікті шешім қабылдау немесе деректерді біріктіру қажет жағдайларда тиімді қолданылады.

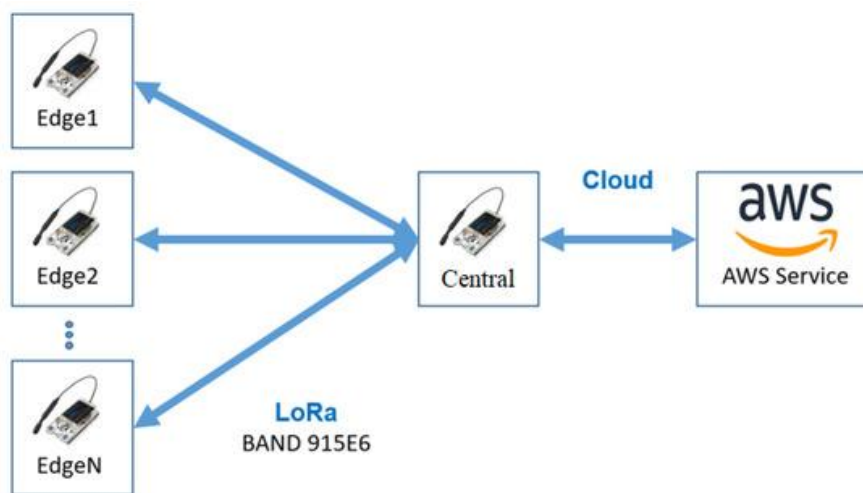
3.9-суретте осы қолданбада LoRa N2P байланыс құрылымы көрсетілген. Онда бірнеше N шеткі құрылғы (edge devices) орталық құрылғыға JSON форматында (JavaScript Object Notation) деректер жібереді. Орталық құрылғы осы деректерді қабылдап, оларды Amazon-ның AWS (Amazon Web Services) қызметіне жібереді.

Шлюз бен AWS арасын байланыстыру үшін таңдалған байланыс әдісі - GPRS.

Басқа байланыс әдістері, мысалы, 4G LTE немесе 5G мүмкін болса да, оларды қолдану тапсырыс беруші үшін келісімшарт құнын арттырып, біздің деректерді жіберу құрылымында елеулі жақсартулар ұсынбас еді.

Деректер (максималды өлшемі 12 кБ болатын JSON файлдары) әр минут сайын шлюз арқылы жіберіледі.

Бұл файлдардың көлемі шағын болғандықтан, GPRS-тың 80 Кбит/с жылдамдығы деректердің уақытылы жеткізілуін қамтамасыз етуге жеткілікті, әрі қосымша шығындарды болдырмайды.



3.9-сурет – LoRa N2P байланысы

LoRa трансиверін (жіберу-қабылдау құрылғысын) баптау — бұл жіберу жиілігін, шығыс қуатын, жолақ енін, тарату (spreading) коэффициентін және кодтау жылдамдығын реттеуді қамтиды. Бұл параметрлер деректерді беру жылдамдығына әсер етеді, ол 253 кбит/с-тан 11 бит/с-қа дейін өзгеруі мүмкін, бұл өз кезегінде байланыс қашықтығы мен шуға төзімділікті анықтайды. LoRa "chirp spread spectrum" модуляциясын қолданады, бұл сигналдың шуға төзімділігін арттырады, әсіресе төмен қуатты берілістер кезінде. Жолақ ені өзгеруі мүмкін, бұл деректерді беру жылдамдығы мен тарату қашықтығына әсер етеді.

Тарату коэффициенті деректерді бірнеше символдар арқылы таратуды қамтамасыз етіп, шуға төзімділікті және қашықтықты арттырады. Кодтау жылдамдығы қате түзету деңгейін анықтайды, деректерді беру жылдамдығы мен сенімділіктің арасындағы тепе-теңдікті реттейді.

Әртүрлі кодтау жылдамдықтары LoRa құрылғыларына әртүрлі кедергілер жағдайында тиімді байланыс орнатуға мүмкіндік береді.

LoRa трансиверін баптау оның жұмыс істеу сипатына айтарлықтай әсер ететін бірнеше негізгі параметрлерді нақты анықтауды талап етеді. Бұл параметрлерге:

- Жіберу жиілігі,
- Шығыс қуаты,
- Жолақ ені,
- Тарату коэффициенті (spreading factor),
- Кодтау жылдамдығы (coding rate) жатады.

LoRa-ның модуляция схемасы икемділікті қамтамасыз етеді: деректерді беру жылдамдығы 253 кбит/с-қа дейін жетуі мүмкін. Алайда белгілі бір параметрлерді өзгерте отырып, бұл жылдамдықты 11 бит/с-қа дейін төмендетуге болады, бұл қабылдағыштың өңдеу күшейтуін арттырып, тарату қашықтығын ұзартады.

LoRa-ның chirp spread spectrum модуляциясы сигналды қажетті мөлшерден кеңірек жолаққа әдейі таратады. Бұл тәсіл жиілік аймағындағы шуға төзімділікті жақсартады, әсіресе төмен қуатты сигналдарда.

LoRa төменгі гигагерц диапазонында 7,8 кГц-тен 500 кГц-ке дейінгі, ал 2,4 ГГц диапазонында 250 кГц-тен 1,6 МГц-ке дейінгі жолақ ендерін қолдайды.

- Әдетте, тар жолақ баяу дерек алмасуды, бірақ ұзақ қашықтықты қамтамасыз етеді;

- Ал кең жолақ жоғары дерек алмасу жылдамдығын, бірақ аз қашықтықты береді.

LoRa-ның chirp spread spectrum әдісі әрбір дерек битін бірнеше символдарға таратып, уақыт аймағындағы шуға төзімділікті арттырады және өңдеу күшейтуін береді.

Тарату коэффициенті (Spreading Factor) дерек битінің уақыттық таралуын анықтайды.

LoRa 5-тен 12-ге дейінгі тарату коэффициенттерін қолдайды, алайда төменгі гигагерц диапазонында тек 6-дан 12-ге дейінгі коэффициенттер қолжетімді.

Ескерту: 6 коэффициентті пайдалану тұрақтылық үшін әдетте TXCO генераторын талап етеді.

Кодтау жылдамдығы (Coding Rate) модуляцияның физикалық параметрлеріне әсер ететін жолақ ені мен тарату коэффициенттерінен айырмашылығы бар.

Кодтау жылдамдығы жіберілетін деректерге қосылатын алдыңғы қатені түзету (FEC) деңгейін анықтайды:

- Жоғары кодтау жылдамдығы кедергілер жағдайында байланыс сенімділігін арттырады,
- Бірақ деректерді беру жылдамдығын төмендетеді.

LoRa төрт түрлі кодтау жылдамдығын қолдайды, әрқайсысы нақты деректер мен қате түзететін деректердің арасындағы қатынасты көрсетеді. Кодтау жылдамдығын таңдағанда деректерді беру жылдамдығы мен сенімділік арасындағы тепе-теңдікті дұрыс бағалау қажет. Ерекше атап өту керек: LoRa трансиверлері әртүрлі кодтау жылдамдықтарымен жұмыс істей алады және бір-бірінің сигналдарын қабылдай алады, бұл әртүрлі кедергі жағдайларында асимметриялық конфигурацияларды қолдануға мүмкіндік береді.

3.3-кесте осы қолданба үшін пайдаланылған параметрлер мәндерін көрсетеді.

Кесте 3.3 Қолданбада пайдаланылған параметр мәндері

Параметр	Мәні
Жолақ ені (Bandwidth)	915.0
Таралу факторы (Spreading Factor)	12
Кодтау жылдамдығы (Coding Rate)	8

Осы параметрлерді конфигурациялау арқылы 7.81 кбит/с деректер жылдамдығына қол жеткізу мүмкін болды. Тарату жылдамдығы салыстырмалы түрде төмен болғанымен, бұл конфигурация құрылғылар арасындағы қашықтыққа қатысты сенімділікті арттырады. Нәтижесінде, бір коммутаторға көбірек көше шамдарын қосу мүмкін болады, дегенмен хабарламалар арасындағы уақыт аралығы басқа жағдайлардағы бір минуттық интервалға қарағанда ұзағырақ болады.

LoRa параметрлерін — жолақ ені, таралу факторы және кодтау жылдамдығын — икемді түрде конфигурациялау мүмкіндігі жүйенің өнімділігін нақты жобалық талаптарға сәйкес оңтайландыруда маңызды рөл атқарады. Бұл икемділік, әсіресе, тарату жағдайлары әртүрлі болатын қалалық ортада ерекше пайдалы.

Мысалы, кодтау жылдамдығын арттырып, байланыс сенімділігін күшейту деректерді беру жылдамдығын барынша арттырудан гөрі жоғары тығыздықтағы немесе кедергілер көп аймақтарда анағұрлым тиімді болуы мүмкін.

Бұл тәсіл көптеген көше шамдарын бір орталық жүйеге қосуға мүмкіндік береді және ұзақ қашықтықта немесе күрделі жағдайларда хабарламалардың сәтті жеткізілуін қамтамасыз етеді.

Сонымен қатар, жолақ ені мен таралу факторының мәндерін дәл реттеу жүйеге әртүрлі қалалық сценарийлерге бейімделуге мүмкіндік береді. Үлкен таралу факторы қашықтығы үлкен құрылғылар орналасқан аумақтарда қамту аймағын кеңейтеді. Ал ықшам аумақтарда төмен таралу деңгейі жоғары деректерді беру жылдамдығын қамтамасыз ете алады.

Бұл икемділік жүйенің жалпы тиімділігін арттырып, желіні әртүрлі қалалық жобалық аймақтардың ерекше талаптарына сәйкес бейімдеуге мүмкіндік береді.

Нәтижесінде, қоршаған ортаның өзгерістеріне және жергілікті талаптарға икемделетін анағұрлым сенімді әрі тиімді жүйе құрылады. Бұл көптеген құрылғыларды, мысалы көше шамдарын, тиімді түрде қосу және бақылау жобасының табысты жүзеге асырылуына ықпал етеді.

3.7 Жіберілетін хабарламаның құрылымы

Жіберілетін хабарламаның құрылымы Equation (3.2) формуласында көрсетілген JSON форматында болады. Шеткі құрылғы (edge device) арқылы берілетін деректер бірнеше өрістерден тұрады, олардың әрқайсысы белгілі бір мақсатты атқарады:

- Алғашқы өрістер құрылғыны сәйкестендіруге арналған,
- Кейінгі өрістер сенсор көрсеткіштеріне қатысты болады.

Өрістер сипаттамасы:

- Name_Edge: Оператор шеткі құрылғыны бірегей анықтау үшін тағайындайтын атау.
- E_ID: Шеткі құрылғының бірегей жабдық идентификаторы (MAC мекенжайы).
- F_ID: Бұл бүтін сан шеткі құрылғының әрдайым белгілі бір орталық құрылғыға байланыс орнатуын қамтамасыз етеді, орталықтың MAC мекенжайын анықтауды қажет етпейді.

Шеткі құрылғының атауы мен MAC мекенжайын біріктіру желі ішіндегі әр құрылғының бірегейлігін және дұрыс сәйкестендірілуін қамтамасыз етеді.

Сенсор деректері келесі өрістерде беріледі:

- T1 және T2: Тиісінше қоршаған ортаның температурасы және шам қондырғысының қалақшасындағы температура.
- U: Қоршаған ортаның ылғалдылығы.
- G: Газ датчиктерінің көрсеткіштері, атап айтқанда көміртек тотығы (CO) деңгейін өлшеу.
- Sound: Микрофон сенсоры арқылы дыбыс деректерін тіркеу. Деректер жылдам Фурье түрлендіруі (FFT) әдісімен белгілі бір жиіліктердегі мәндерді шығару үшін өңделеді.
- Light Sensor: Лампадан шығатын жарық ағынын люкс бірлігімен өлшейді.
- ATM: Атмосфералық қысымды көрсетеді.
- UV: Ультракүлгін сәулелену индексін көрсетеді.
- V және I: Құрылғының сәйкесінше кернеуі (вольтпен) және тогы (миллиампермен).

- lat және lon: Құрылғының географиялық координаталары — ендік және бойлық. Құрылғы қозғалмайтын болғандықтан, бұл мәндер шеткі құрылғыны тіркеу кезінде орнатылады.

Бұл құрылымдалған деректер форматы құрылғыны сәйкестендіру мен сенсор көрсеткіштерінің толық әрі жүйелі көрінісін қамтамасыз етеді, деректерді тиімді өңдеуге және талдауға мүмкіндік береді.

$$\begin{aligned}
 &Name_{Edge} = Edge_0, \\
 &E_{ID}: DC: 54: 75: C7: FD: F0, \\
 &F_{ID}: 0, \\
 &T1: 25.2, \\
 &U: 31.4, \\
 &G: 192, \\
 &Sound: 12.2, \\
 &Json = \{ \quad Light: 530, \quad \} \quad (3.2) \\
 &T2: 28.4, \\
 &ATM: 9200, \\
 &V: 221.1, \\
 &I: 450.1, \\
 &UV: 3.4, \\
 &lat: -21.77784, \\
 &lon: -43.37254
 \end{aligned}$$

3.8 AWS-MongoDB-Power BI

Жобаның бастапқы кезеңінде негізгі қызметтермен байланыс орнатып, қажетті операцияларды орындау үшін Python скрипті әзірленді. Бұл скрипт Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2 [2]) виртуалды машинасы негізінде үздіксіз жұмыс істейді. Мұндай стратегиялық таңдау арнайы физикалық есептеу ресурстарын пайдаланудың қажеттілігін жояды.

Жоба барысында деректер базасын таңдау бойынша маңызды шешім қабылданды. Кең ауқымды зерттеулер жүргізілгеннен кейін, деректердің динамикалық сипатына және әртүрлі деректер түрлерін икемді өңдеу қажеттілігіне байланысты NoSQL архитектурасын қолдану ең дұрыс таңдау болады деген қорытындыға келдік [3].

Бұл шешімді MongoDB [4] деректер базасының Apache Spark [5] және Power BI [6] құралдарымен үйлесімді интеграциялану мүмкіндігі одан әрі қолдады. Бұл интеграция деректерді өңдеу мен визуализацияны оңтайландырып, тиімді деректер басқаруын және нақты уақыт режимінде аналитикалық түсініктер алуды қамтамасыз етті.

Сонымен қатар, Amazon EC2-ны орналастыру ортасы ретінде таңдаудың негізінде AWS-ты ақылды қала шешімінің негізгі құрамдас бөлігі ретінде қолдану тұрды. AWS IoT Core негізгі IoT платформасы ретінде

таңдалғандықтан, Amazon EC2 бұлттық архитектураға оңай интеграцияланып, үйлесімділік пен жүйенің жалпы қарапайымдылығын қамтамасыз етті.

LoRaCELL қосымшасын орналастыру кезінде Amazon Web Services (AWS) таңдалуы екі маңызды факторға негізделді:

- Біріншіден, MongoDB сияқты бар бағдарламалық инфрақұрылымдармен үйлесімді интеграция.

- Екіншіден, шығындарды тиімді басқару моделі.

AWS пен MongoDB арасындағы үйлесімділік дерекқор жүйесінің үздіксіз және тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді, бұл қосымшаның өнімділігі үшін өте маңызды. Сонымен қатар, қаржылық аспект те ерекше рөл атқарды: AWS икемді баға саясатын ұсынады, яғни тұтынылған ресурстар көлеміне пропорционалды төлем жасауға мүмкіндік береді, бұл LoRaCELL жобасының қажеттіліктеріне толық сәйкес келеді.

Әрине, Microsoft Azure және Google Cloud Platform сияқты басқа бұлттық қызметтер де ұқсас мүмкіндіктер ұсынса да, AWS-тің MongoDB-мен интеграциялану мүмкіндігі және тиімді баға құрылымы оны біздің талаптарымызға ең қолайлы таңдау етеді.

Сонымен бірге, болашақта жобаның талаптары мен бюджеттік шарттарына байланысты балама провайдерлерді қарастыру мүмкіндігі сақталады.

MongoDB дерекқоры Power BI бағдарламасымен оңай біріктіріледі, бұл деректерді визуализациялау мүмкіндігін толық пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл байланыс MongoDB-нің "Connector for BI" қызметі арқылы жүзеге асырылады.

Датчиктерден деректер алынғаннан кейін олар Apache Spark платформасы [7] көмегімен өңделеді. Бұл процесс шикі деректерді пайдалы ақпаратқа айналдырып, көше жарықтарының жағдайын бақылауға мүмкіндік береді.

Бұдан бөлек, жобаның мақсаты – қоғамдық қауіпсіздікті, қалалық мобильділікті және халықтың өмір сапасын арттыру үшін осы технологиялық платформаларды пайдалану.

Алғашқы ұсынылған идея нақты электр энергиясын тұтынуды талдау болды — яғни, көше жарықтарының қуат тұтынуын есептеу. Сондай-ақ, жұмыс сағаттарын есептегіш арқылы көше шамдарының қосылып-өшкен уақыттарын бақылау жоспарланған. Егер "күндіз жанып тұру" жағдайы анықталса, яғни токтың болмауы байқалса, жүйе бұл туралы дереу хабарлайды.

Сонымен қатар, көше шамдарының кернеуі ANEEL (Ұлттық электр энергетика агенттігі) белгілеген стандарттарға сәйкес болуын қамтамасыз ету үшін, рұқсат етілген кернеу ауытқулары негізінде бақылау жүргізіледі және кез келген ауытқулар туралы хабарланады. Бұл тәсіл аясында шамдардың қызмет ету мерзімін басқару жүйесі де жобада енгізіледі.

Қоғамның әл-ауқатын ескере отырып, дыбыс және газ датчиктері ауа сапасы туралы маңызды ақпарат жинау үшін бірігіп жұмыс істейтін болады.

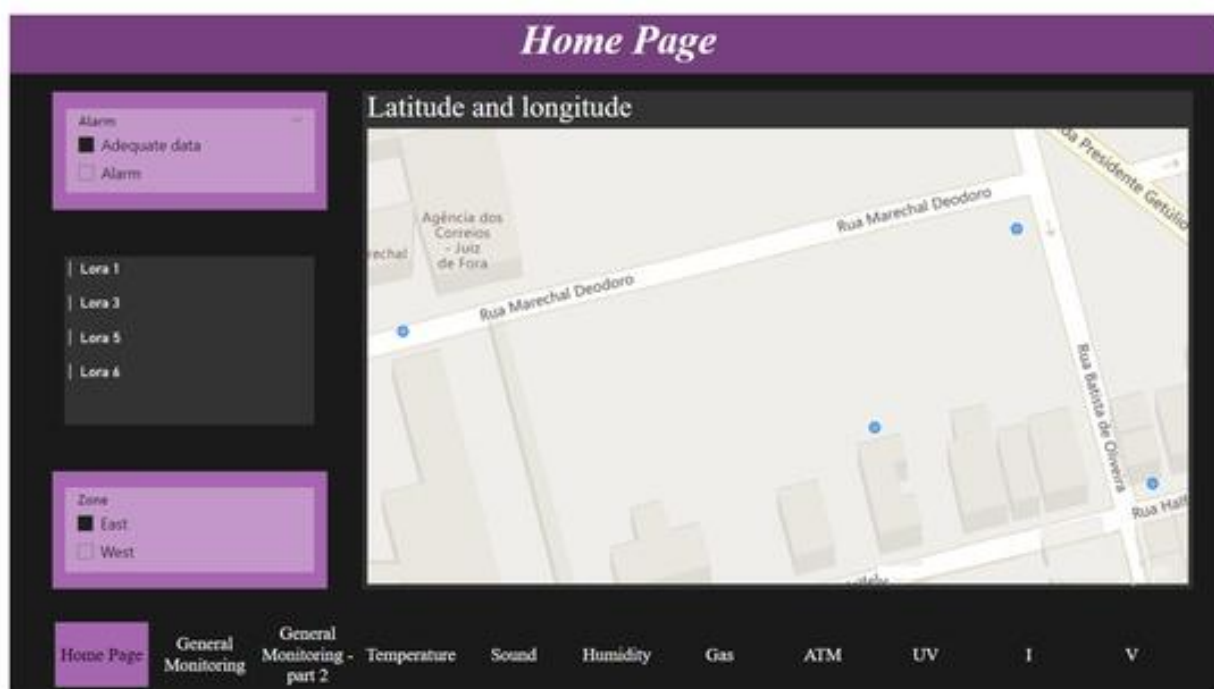
Осы бөлімде аталған барлық қосымшалар туралы толық ақпарат 3.4-кестеде көрсетілген.

Кесте 3.4 – Әрбір қолданба үшін пайдаланылатын әдістер

Қолданба	Әдіс
Нақты электр энергиясын тұтыну	Жалпы энергия (E) =
Сағаттық санауыш (Hour meter)	Егер жарықтылық > 500 люкс болса, онда "көшелік жарық қосулы" деп есептеледі
Күндізгі жану ("Dayburn")	Егер (көшелік жарық қосулы) және (6 < сағат < 18) және (ток > 100 мА) болса, онда "күндізгі жану" тіркеледі
Кернеу өзгерісі (Voltage variation)	Егер кернеу > 220 · 1,005 немесе кернеу < 220 · 0,995 болса, онда "кернеу өзгермеді" деп белгіленеді
Қызмет мерзімін басқару жүйесі (Lifespan management system)	Егер ((жарықтылық < 350 люкс) және (сағат > 18 немесе сағат < 6) және (ток > 400 мА)) болса, онда "шамды ауыстыру керек" деп белгіленеді; Егер ((жарықтылық < 250) және (сағат > 18 немесе сағат < 6) және (ток > 400 мА)) болса, онда "шам жанып кеткен" деп белгіленеді
Ауа және дыбыс ластануы (Air and sound pollution)	Егер (дыбыс деңгейі ≥ 70 дБ) және (газ концентрациясы $\geq 0,5$) болса, онда "ластану" деп тіркеледі

Барлық деректер міндетті түрде Apache Spark арқылы өтпеуі мүмкін. Алайда бұл деректер де, өңделген деректер де Power BI көмегімен жасалған бақылау панелінде (3.10-сурет) көрсетіледі.

Бірінші бетте мәзір беті ұсынылған және көшелік шамдардың орналасқан жері көрсетіледі, нүктелер аймақ бойынша және мәселе туындауына қарай сүзгіленген түрде бейнеленеді. Егер қандай да бір дабыл (тревога) тіркелсе, картадағы нүкте түсі көктен қызылға өзгереді.



3.10-сурет – Power BI платформасындағы бақылау тақтасы

Көк нүктелер LoRaCELL негізіндегі ақылды жарықтандыру жүйесі орнатылған жерлерді көрсетеді.

Сонымен қатар, жиектегі құрылғының сәйкестендіру ақпаратын және оның тиісті сенсорлардан алынған нақты уақыттағы өлшемдерін көрсететін жалпы мониторинг беті де бар. Қалған беттер әрбір дерек нүктесін график түрінде ұсынумен жүзеге асырылған.

Ең бастысы, Apache Spark арқылы алынған аналитикалық мәліметтер бақылау тақтасына біріктірілген, бұл көше жарығының күйі мен қоршаған орта деректерінің кешенді көрінісін қамтамасыз етіп, тиімді шешім қабылдауға мүмкіндік береді.

3.9 Жобаның құрылымдық сипаттамасы

Жобаны дамыту және іске асыруды жақсарту үшін тиімді деректер жинау және байланыс орнатуға арналған әртүрлі материалдар қолданылды. Шеттер (edge) мен шлюздер (gateway) үшін LoRa Heltec V3 құрылғылары таңдалды, өйткені олар IoT жобаларында сенімділігі мен жоғары өнімділігімен танылған.

3.5-кестеде 2023 жылдың қыркүйегіндегі әр өнімнің жеке бағалары көрсетілген.

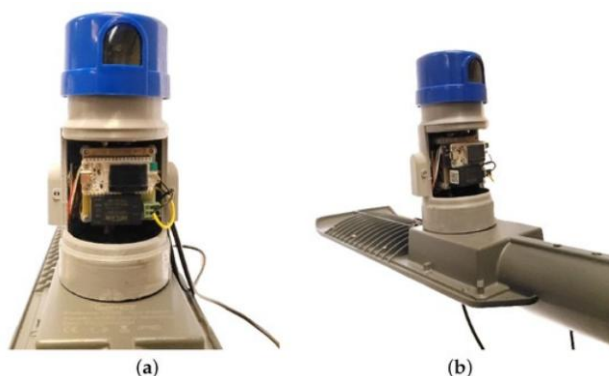
Ескерту: бұл бағалар жеке дана сатып алуға арналған және көлемді сатып алуға арналған жеңілдіктерді қамтымайды. Баға ұсыныстары негізінен Бразилияның Жуис-ди-Фора қаласындағы CurtoCircuito.com.br сияқты онлайн дүкендерден алынған.

Кесте 3.5 - Жобада пайдаланылған жабдықтардың құны

Жабдық	Құны (АҚШ доллары)
LoRa Heltec V3	33.10
TSL2561 (Жарықтылық сенсоры)	33.10
MQ-135 (Ауа сапасын өлшеу сенсоры)	4.01
DHT22 (Температура және ылғалдылық сенсоры)	5.01
Bmp280 (Температура және қысым сенсоры)	1.79
ZMPT101B (Вольтметр)	3.81
UV ML8511 (Ультракүлгін сәулелену сенсоры)	6.62
ACS712 (Амперметр, 5A)	2.71



3.11-сурет – Өнімнің алдыңғы, оң жақ және сол жақ көріністері. (a) Компоненттердің алдыңғы көрінісі. (b) Компоненттердің сол жақ көрінісі. (c) Компоненттердің оң жақ көрінісі.



3.12-сурет – Нақты прототиптің алдыңғы және бүйір көріністері. (a) Прототиптің алдыңғы көрінісі. (b) Прототиптің бүйір көрінісі

Құрылғының төменгі бөлігінде фотоэлектрлік релеге арналған үш бағытты қосқыш бар, ол күнгірттендірусіз (диммингсіз) көптеген шамдармен үйлесімді.

Сонымен қатар, төменгі бөлікте орналасқан екі қуысқа DHT22 (температура және ылғалдылық) және MQ-135 (ауа сапасы) сенсорлары қосылған. Бұл сенсорлар қоршаған орта туралы ақпаратты жаңбыр немесе олардың жұмысына кедергі келтіретін басқа факторлар әсер етпейтіндей етіп жинауға мүмкіндік береді.

Құрылғының сол жағында ML8511 (ультракүлгін) сенсоры орналасқан, ол ультракүлгін индексін өлшейді және оның жұмысына сүйене отырып тәуліктің уақытын анықтауға мүмкіндік береді.

ZMPT101B (вольтметр) және ACS712 5A (амперметр) сенсорлары құрылғының ішкі жағына қосылған, өйткені олар жоғарғы және төменгі үш істікшелі қосқыштар арасындағы кабельдерге жалғанған. Осылайша, кернеу мен токты өлшеу кезінде оқшаулау қамтамасыз етіледі және өлшеу қателіктері болдырмайды.

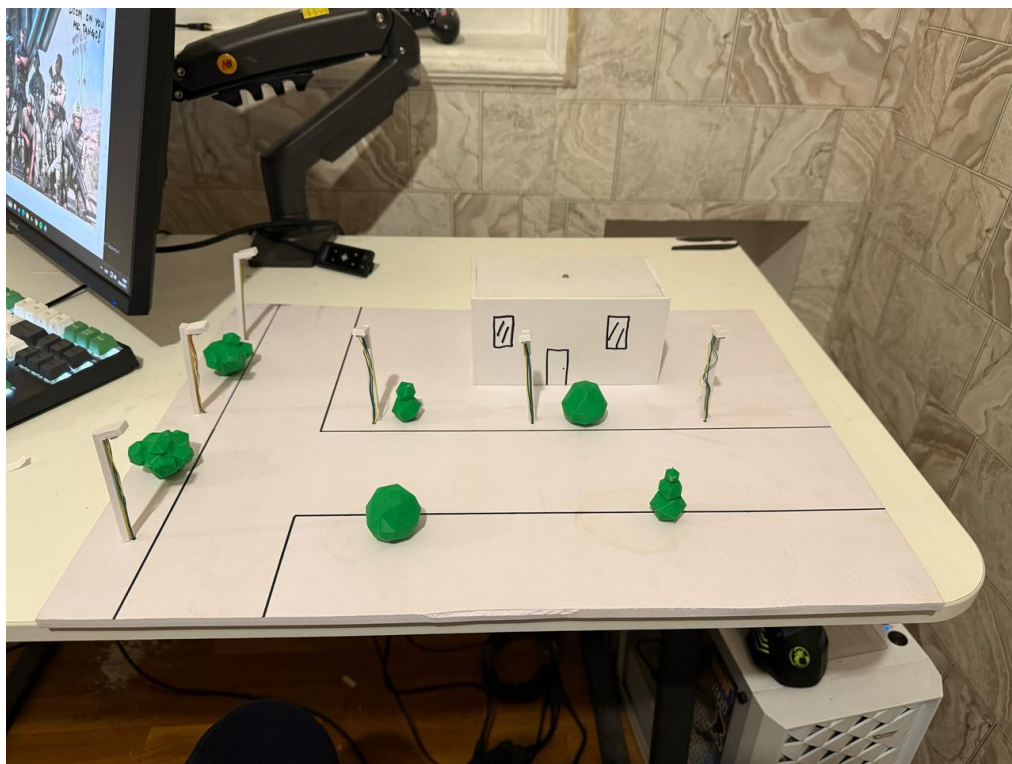
TSL2561 (жарықтандыру) сенсоры шамның төменгі бөлігіне орнатылған, ол шамның жұмыс істеуін және жарық беру мөлшерін тіркеуге мүмкіндік береді.

Vmp280 (температура және қысым) сенсоры шамның жоғарғы қанатына бекітілген, бұл оның температурасының өзгеруін бақылауға және жұмыс температурасы шегінен тыс шыққанда шамның ақауын болжауға мүмкіндік береді.

Құрылғының жоғарғы бөлігінде фотоэлектрлік реле орналасқан, ол шамның жұмысын өлшеу құрылғысынан оқшаулайды. Жаңа үлгілерде шамды қосу функциясы LoRaCELL жүйесіне қосылатын болады.

Берілген жобада қалалық инфрақұрылымда IoT технологияларын пайдалана отырып, ақылды жарықтандыру жүйесін енгізу және оның тиімділігін бағалау мақсат етілді. Жүйе макет ретінде дайындалды және негізгі құрылымдық элементтері 3.13 суретте көрсетілген:

- Жол бойындағы жарық бағаналары (ақылды көше шамдары),
- Орталық басқару нүктесі (ғимарат),
- Жасыл кеңістіктер (ағаштар мен бұталар),
- Жолақтар (қала көшелері).



3.13-сурет – Жобаның макеті

3.9.1 Жарық бағаналары

Жобада әртүрлі биіктіктегі бірнеше көше шамдары орнатылған. Әр шамның үстінде сенсорлар мен жарықдиодты (NeoPixel) модульдер орналасқан.

Әр шам ішкі код арқылы келесі мүмкіндіктерге ие:

- Жарық деңгейіне қарай автоматты түрде қосылып-өшіріледі;
- Қашықтан Blynk қосымшасы арқылы басқаруға болады;
- Әр жарық көзінің жарықтығын жекелей реттеуге мүмкіндік бар.

3.9.2 Басқару орталығы

Ғимарат макетінде жүйенің басқару блогы орналасқан. Ол орталықтандырылған түрде барлық датчиктер мен жарықтандыру құрылғыларынан мәліметтер жинап, Blynk платформасы арқылы пайдаланушыға жеткізіледі.

3.9.3 Жасыл кеңістіктер

Жасыл кеңістіктер (ағаштар, бұталар) қаланың экологиялық құрамдас бөлігі ретінде қарастырылған және ақылды жүйемен бірге қалалық ортаның моделін толықтырады.

3.10 Жүйенің техникалық сипаттамасы

Жүйе LoRaCELL протоколына емес, осы демонстрациялық жобада Wi-Fi желісіне негізделген.

Кесте 3.6 – Жабдықтар сипаттамасы

№	Құрылғы атауы	Мақсаты
1	ESP8266 модулі	Wi-Fi арқылы байланыс және Blynk-пен интеграция
2	WS2812 NeoPixel	Жарықдиодты жарықтандыру (әр жарық көзін жеке басқару)
3	LDR сенсоры	Қоршаған ортаның жарық деңгейін өлшеу
4	Blynk платформасы	Бұлттық бақылау және басқару
5	Қуат көзі	Сенсорлар мен жарықдиодты модульдерге кернеу беру

3.10.1 Жүйенің жұмыс алгоритмі

Жүйенің негізгі алгоритмі келесі түрде іске асырылады:

1. Жарық сенсоры (LDR) қоршаған ортаның жарықтылығын өлшейді.
2. Егер жарық деңгейі 300-ден төмен болса (қараңғы уақыт), барлық шамдар автоматты түрде жанады (255 жарықтық деңгейі).
3. Егер жарық деңгейі 300-ден жоғары болса (күндізгі уақыт), барлық шамдар сөнеді (0 жарықтық деңгейі).
4. Қол режимінде Blynk арқылы әрбір шамды жеке қосуға немесе өшіруге болады.
5. Жүйе барлық өзгерістерді нақты уақыт режимінде бақылайды және көрсетеді. (А қосымшасында көрсетілген)

3.10.2 Жүйенің бағдарламалық қамтамасыз етілуі

Берілген код негізінде келесі функциялар орындалады:

- Автомат режимін қосу/өшіру (autoMode айнымалысы арқылы);
- Әр жарықдиодтың жарықтық деңгейін реттеу (V0-V5 виртуалды түймешіктер арқылы);
- Жарық сенсорынан алынған мәліметтерді Blynk платформасына жіберу (V6 арнасы арқылы);
- Жарықтандыру деңгейін біркелкі өзгерту үшін жұмсақ ауысу алгоритмі (fadeToColor функциясы).

3.10.3 Эксперименттік нәтижелер және аналитикалық есептеулер

Жарық деңгейі бойынша реакция

Жарық сенсорының көрсеткіштері:

- Ашық жарықта (күндіз): LDR мәні $\approx 800-1000$
- Қараңғыда (түнде): LDR мәні $\approx 50-250$

Триггер деңгейі: 300.

Талдау:

- Егер $LDR < 300$, барлық шамдар 255 жарықтылық деңгейіне дейін жанады.

- Егер $LDR > 300$, барлық шамдар сөніп қалады.

Есеп:

Күніне орта есеппен 12 сағат қараңғы уақытта жұмыс істейтін болса, әр шам $12 \text{ сағат} \times 100 \text{ Вт} = 1,2 \text{ кВт/сағ}$ тұтынады. 6 шам үшін: $1,2 \times 6 = 7,2 \text{ кВт/сағ}$ тәулігіне.

Энергия үнемдеу мүмкіндігі — күндізгі уақытта автоматты өшірудің арқасында күн сайын кемінде $7,2 \text{ кВт/сағ}$ электр энергиясы үнемделеді.

3.10.4 Қашықтан басқару тиімділігі

Blynk арқылы:

- Әр жарықты жеке қосу/өшіру мүмкіндігі.
- Автоматтандырылған және қолмен басқару режимдерінің арасында тез ауысу.

Тестілеу кезінде жауап уақыты:

- Blynk платформасынан шамға дейінгі сигнал кешігуі орта есеппен 300-500 мс аралығында болды.

Кесте 3.7 – Әр элементтің сипаттамасы

Элемент	Сипаттамасы
Жарық бағанасы	Әр бағанаға NeoPixel жарықдиодты жолақ және сенсорлар орнатылған.
Орталық ғимарат	Жүйенің логикалық орталығы, байланыс модулі орналасқан.
Жасыл кеңістік	Экологиялық ортаны үлгілеу элементтері.
Жолақтар	Қалалық инфрақұрылымның имитациясы үшін салынған жол белгілері.

Осы жобаның нәтижесінде:

- Қалалық жарықтандыруды автоматты басқару жүйесі құрылды;
- Жүйе энергияны үнемдейді және экологиялық тиімділікті арттырады;

- Қашықтан бақылау мен басқару мүмкіндіктері енгізілді;

- Жарық деңгейіне қарай автоматты реттеу алгоритмі іске қосылды.

Бұл жобаның моделі толық жұмыс істейді және оны әрі қарай нақты қалалық инфрақұрылымдарға масштабтау мүмкіндігі бар.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыста қалалық инфрақұрылымға арналған IoT негізіндегі ақылды жарықтандыру жүйесінің үлгісі сәтті әзірленді және оның жұмыс қабілеттілігі тәжірибе жүзінде тексерілді. Әзірленген жүйе қоршаған ортаның жарық деңгейіне қарай автоматты түрде шамдарды қосып-өшіруді, сондай-ақ Blynk платформасы арқылы қашықтан басқаруды қамтамасыз етеді. Жүйенің техникалық негізін ESP8266 модулі, WS2812 NeoPixel жарықдиодтары және жарық сенсорлары (LDR) құрайды.

Эксперимент нәтижелері жүйенің тиімділігін көрсетті:

- Күніне кемінде 7,2 кВт/сағ энергия үнемдеуге қол жеткізілді;
- Шамдарды қашықтан жеке-жеке немесе топтық режимде басқару мүмкіндігі расталды;
- Автоматтандырылған режим қоршаған ортаның нақты жағдайына бейімделе отырып жұмыс істейді, бұл энергия тұтынуды оңтайландырады;
- Blynk платформасынан құрылғыларға дейінгі байланыс уақыты 300-500 мс аралығында, бұл нақты уақыттағы басқару талаптарына толық сәйкес келеді.

Сонымен қатар, макеттік жоба ақылды қалалар концепциясын енгізу үшін IoT технологияларының әлеуетін көрсетіп берді. Жобаның моделі қарапайым әрі икемді болғандықтан, оны нақты инфрақұрылымға оңай бейімдеуге және масштабтауға болады. Алдағы уақытта жүйенің жұмыс ауқымын кеңейту үшін келесідей бағыттарда жетілдіру ұсынылады:

- LoRaWAN сияқты LPWAN протоколдарын енгізу арқылы жүйенің қашықтықтан басқару мүмкіндіктерін арттыру;
- Жарықтандыруды қозғалыс сенсорларымен үйлестіру арқылы энергияны одан әрі үнемдеу;
- Жинақталған мәліметтерді талдай отырып, жасанды интеллект негізінде адаптивті басқару стратегияларын дамыту.

Осылайша, жұмыс нәтижелері тек теориялық емес, сонымен қатар нақты практикалық маңызға ие, әрі қалалық инфрақұрылымдарды жаңғыртуда пайдалы болуы мүмкін.

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. K. Sikder, A. Acar, H. Aksu, A. S. Uluagac, K. Akkaya and M. Conti, "IoT-enabled smart lighting systems for smart cities," 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), 2018, pp. 639-645, doi: 10.1109/CCWC.2018.8301744.
2. N. Adnan, N. Kamal and K. Chellappan, "An IoT Based Smart Lighting System Based on Human Activity," 2019 IEEE 14th Malaysia International Conference on Communication (MICC), 2019, pp. 65-68, doi: 10.1109/MICC48337.2019.9037601.
3. F. J. Montalbo and E. Enriquez, "An IoT Smart Lighting System for University Classrooms," 2020 International Symposium on Educational Technology (ISET), 2020, pp. 3-7, doi: 10.1109/ISET49818.2020.00011.
4. Mattoo A., Saxena K., Kumar S., Bagwari N. (2021) "Design of IoT-Based Smart Illumination System in Smart Cities". In: Abraham A., Castillo O., Virmani D. (eds) Proceedings of 3rd International Conference on Computing Informatics and Networks. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 167. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9712-1_44.
5. Sharma A., Deopa A., Ahuja A., Goel V., Nath V. (2020) Internet of Things Based Smart Lighting System Using ESP8266 and Zigbee. In: Nath V., Mandal J. (eds) Nanoelectronics, Circuits and Communication Systems. NCCS 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 642. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2854-5_34.
6. Praveen Kumar R., Smys S., Raj J.S. (2021) Ingenious Lighting System (ILS) for Smart Cities Using IoT. In: Raj J.S. (eds) International Conference on Mobile Computing and Sustainable Informatics. ICMCSI 2020. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49795-8_14
7. D. V. Kishore, Shivashankar, A. C. Ramachandra, and C. Pandurangappa, "Optimization of motorcycle pitch with non linear control," in 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology, RTEICT 2016 - Proceedings, 2017, pp. 1656–1660, doi: 10.1109/RTEICT.2016.7808114.
8. Kishore D.V, Shivashankar, and S. Mehta, "MANET topology for disaster management using wireless sensor network," in International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2016, 2016, pp. 0736–0740, doi: 10.1109/ICCSP.2016.7754242.
9. A. C. Ramachandra, M. N. Thippeswamy, C. Pandurangappa, and P. Ramesh Naidu, "Modelling and performance evaluation of anti-lock braking system," Journal of Engineering Science and Technology, vol. 14, no. 5, pp. 3028–3045, 2019.
10. M. Penna, J. J. Jijesh, and Shivashankar, "Design and implementation of automatic medicine dispensing machine," in RTEICT 2017 - 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication

Technology, Proceedings, 2017, vol. 2018-Janua, pp. 1962–1966, doi: 10.1109/RTEICT.2017.8256941.

11. A. C. Ramachandra, M. N. Thippeswamy, C. Pandurangappa, and P. Ramesh Naidu, “Synthesis and modeling of antilock braking system using sliding mode controller,” *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control System*, vol. 10, no. 12, pp. 208–221, 2018.

12. C. A. Varun, Shivashankar, M. Sahana, R. S. Varun, and T. Rajesh, “Implementation of swarm intelligence in obstacle avoidance,” in *RTEICT 2017 - 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology*, Proceedings, 2017, vol. 2018-Janua, pp. 525–528, doi: 10.1109/RTEICT.2017.8256652.

13. S. B. Sridhara, K. B. Naveen, M. Ramesha, and G. N. Pai, “Internet of things: Internet revolution, impact, technology road map and features,” *Advances in Mathematics: Scientific Journal*, vol. 9, no. 7, pp. 4405–4414, 2020, doi: 10.37418/amsj.9.7.11.

14. P. Ramesh Naidu, N. Guruprasad, “Design and implementation of cryptcloud system for securing files in cloud,” *Advances in Mathematics: Scientific Journal*, vol. 9, no. 7, pp. 4485–4493, 2020, doi: 10.37418/amsj.9.7.17.

15. M. Ramesha, Sridhara S.B, Naveena Pai G, “FPGA Implementation of Low Power High Speed BTED Algorithm for 8 Bit Error Correction in Cryptography System,” *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, vol. 8, no. 7, pp. 3893–3897, 2020, doi: 10.30534/ijeter/2020/158872020.

16. P. Ramesh Naidu, N. Guruprasad, “A High-Availability and Integrity Layer for Cloud Storage, Cloud Computing Security: From Single to Multi-Clouds,” *Journal of Physics: Conference Series* 1921(1), <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1921/1/012072>

17. S. B. Sridhara, M. Ramesha, “Recent advances in graph theory and its applications,” *Advances in Mathematics: Scientific Journal*, vol. 10, no. 3, pp. 1407–1412, 2021, doi: [10.37418/amsj.10.3.29](https://doi.org/10.37418/amsj.10.3.29).

18. Ramesha, M., Sridhara, S.B., Pai, G.N., Patil, S.K., “Design of Antilock Braking System Based on Wheel Slip Estimation,” *Journal of Physics:Conference Series* 1706(1),2020, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1706/1/012216>.

19. Pai, G.N., Sridhara, S.B., Shashidhara, K.S., Gangadhara, “Signal Analysis and Filtering using one Dimensional Hilbert Transform,” *Journal of Physics:Conference Series* 1706(1),2020, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1706/1/012107>.

20. M. Ramesha, K. Jeevan and B. M. Sathisha, "Implementation of IoT Based Wireless Electronic Stethoscope," 2020 Third International Conference on Multimedia Processing, Communication & Information Technology (MPCIT), 2020, pp. 103-106, doi: 10.1109/MPCIT51588.2020.9350476.

21. Puneeth Kumar M. V, Naveena Pai G, Vinay Kumar B. C, "Dynamic Analysis and Control Strategies of an Anti-lock Braking System," 2020 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace

Technology (ICECA), 2020, pp. 1677-1682, doi: 10.1109/ICECA49313.2020.9297642.

22. G. Naveena Pai, M. Swathi Pai, M. Shruthi and B. Naveen K, "Internet of Things: A Survey on Devices, Ecosystem, Components and Communication Protocols," 2020 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), 2020, pp. 611-616, doi: 10.1109/ICECA49313.2020.9297458.

23. M. Ramesha, Jeevan K.M, "Study and analysis of bted error correction codes for cryptography applications," International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, vol. 9, no. 5, pp. 8938–8942, 2020, doi.org/10.30534/ijatcse/2020/293952020.

Дипломдық жоба (жұмыс) бойынша

РЕЦЕНЗИЯ

Иматұлы Сабыржан

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: Қалалық инфрақұрылымда IoT арқылы ақылды жарықтандыру жүйелерін енгізу және тиімділігін бағалау

Орындалды:

а) Графикалық бөлім 5 парақтарда
б) түсіндірме жазба 72 беттерінде

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

Берілген дипломдық жұмыс заманауи урбанизацияның негізгі бағыттарының бірі – ақылды технологиялармен жабдықталған қалалық инфрақұрылым саласына арналған. Автор IoT технологияларын пайдалана отырып, қалалық көшелердегі жарықтандыру жүйелерін тиімді басқарудың техникалық шешімін ұсынған.

Зерттеу барысында ESP32 немесе Raspberry Pi платформаларында негізделген басқару блогы құрастырылған. Фотодатчик (LDR), козғалыс сенсоры (PIR), сондай-ақ температура мен ылғалдылық датчиктері арқылы жиналған деректер негізінде жарықтандыруды басқару алгоритмі жасақталған. Жүйе нақты жағдайда энергияны үнемдеуге және тиімділікті арттыруға бағытталған.

Жұмыстың құрылымы логикалық түрде ұйымдастырылған: кіріспе бөлімінде зерттеудің өзектілігі мен мақсаты нақты анықталған, теориялық бөлімде IoT және жарықтандыру жүйелері туралы ғылыми мәліметтер ұсынылған, ал практикалық бөлімде құрастырылған жүйенің жұмыс принципі мен артықшылықтары сипатталған. Сонымен қатар, алынған нәтижелер негізінде тиімділікке баға беріліп, нақты ұсыныстар келтірілген.

Дипломдық жұмыс мазмұны бойынша өзекті, инженерлік тұрғыда құнды әрі зерттеу мен жобалауға қойылатын талаптарға сай келеді. Қойылған мақсат пен міндеттерге толықтай қол жеткізілген.

Жұмысты бағалау

Жалпы, дипломдық жұмысқа «өте жақсы» (95%) деген баға, ал студент Иматұлы Сабыржанды 6B06201 – Телекоммуникация білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар бакалавры» дәрежесіне ұсынамын.

Рецензент

М.Тынышбаев атындағы
АЛТ университеті, PhD,
«АКТ» кафедрасының
ассистент профессоры

Мәдібайұлы Ж.
«20» 05 2025 ж.



Дипломдық жобаға (жұмысқа)

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Иматұлы Сабыржан

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: Қалалық инфрақұрылымда IoT арқылы ақылды жарықтандыру жүйелерін енгізу және тиімділігін бағалау

Берілген дипломдық жұмыс заманауи технологияларға негізделген «ақылды қала» концепциясының маңызды элементтерінің бірі – ақылды жарықтандыру жүйелерін зерттеуге арналған. Студент Иматұлы Сабыржан зерттеу барысында қалалық инфрақұрылымға IoT технологияларын енгізудің теориялық және практикалық негіздерін нақты анықтап, жарықтандыру жүйелерін автоматтандыру үшін ESP32 және Raspberry Pi сияқты микроконтроллерлердің қолдану мүмкіндіктерін қарастырған.

Жұмыста LDR, PIR сенсорлары, температура және ылғалдылық датчиктері көмегімен нақты мәліметтер жинақталып, жарықтандыру деңгейін автоматты реттеу алгоритмдері жүзеге асырылған. Бұл өз кезегінде энергияны үнемдеуді және инфрақұрылымның тиімділігін арттыруды көздейді.

Теориялық материалдар нақты мысалдармен толықтырылған, практикалық бөлімде жүйенің прототипі құрастырылып, оның жұмыс істеу тиімділігі бағаланған. Зерттеу нәтижелері жақсы құрылымдалып, алынған қорытындылар жұмыстың мақсаттары мен міндеттеріне толық сай келеді.

Жалпы, дипломдық жұмыс толық және мазмұнды орындалған. Студент өзін зерттеуші ретінде көрсете алды, техникалық құралдарды игеруде жақсы деңгей танытты.

Студент, Иматұлы Сабыржан дипломдық жұмысты жазу барысында жетекші нұсқаулығымен өз бетінше жұмыс істеу қабілетін көрсетті. Дипломдық жұмыс «95/A/ өте жақсы» деп бағаланды, ал Иматұлы Сабыржанды 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынамын.

Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ каф. қауымдастырылған
профессоры, физика-математика
ғылымдарының кандидаты

 Жунусов Қ.Х.
«05» 05 2025 ж.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Иматұлы Сабыржан

Тақырыбы: Қалалық инфрақұрылымда IoT арқылы ақылды жарықтандыру жүйелерін енгізу және тиімділігін бағалау

Жетекшісі: Канат Жунусов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.2

Дәйексөз (35): 1.3

Әріптерді ауыстыру: 3

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2025-04-28

Күні



Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Иматұлы Сабыржан

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Қалалық инфрақұрылымда IoT арқылы ақылды жарықтандыру жүйелерін енгізу және тиімділігін бағалау

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 2

Коэффициент Подобия 2: 1.2

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 3

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-04-28

Дата



Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Иматұлы Сабыржан

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Қалалық инфрақұрылымда IoT арқылы ақылды жарықтандыру жүйелерін енгізу және тиімділігін бағалау

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 2

Коэффициент Подобия 2: 1.2

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 3

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-04-28

Дата



Сұңғат Марксұлы

проверяющий эксперт