

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розробка інтелектуальної системи управління
освітленням у громадських місцях
(тема)

Виконав: студент IV курсу, групи ІТР-20-1

Плошенко Д.Д.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 126 Інформаційні системи
та технології

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма
Інформаційні технології інтернету речей
(повна назва освітньої програми)

Керівник роботи ст. викл. Алфьоров М.Є.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

В.о.зав. кафедри

(підпис)

Зарудний О.А.

(прізвище, ініціали)

2024

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

(шифр і назва)

Тип програми Освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційні технології інтернету речей

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

студенту Плошенку Денису Денисовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Розробка інтелектуальної системи управління освітленням у громадських місцях

затверджена наказом по університету від " 27 " 05 2024 р. № 500Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10.06.2024

3. Вихідні дані до роботи (проекту) _____

Мікрокомп'ютер

Датчики руху

Мова програмування C++

Середовище розробки Arduino IDE

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

Системи управління освітленням у громадських місцях.

Технологічна реалізація пристрою управління освітленням.

Реалізація схеми пристрою управління освітленням.

Реалізація системи управління пристроєм.

Середовище розробки програмного забезпечення.

Програмування мікроконтролерного пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) 10 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

7. Дата видачі завдання 06.05.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Видача теми проекту, узгодження і затвердження теми	06.05.2024	
2	Аналіз проблемної галузі, постановка задачі, вибір інструментальних засобів	07.05.2024 -10.05.2024	
3	Розробка моделі пристрою керування	10.05.2024 -17.05.2024	
4	Розробка електричної схеми пристрою	18.05.2024 -25.05.2024	
5	Розробка програми для мікроконтролера	25.05.2024 -30.05.2024	
6	Проведення випробування пристрою	31.05.2024 -05.06.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	05.06.2024 -07.06.2024	
8	Перевірка виконаного проекту керівником,	08.06.2024 -10.06.2024	
9	Захист проекту	10.06.2024 -24.06.2024	

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи (проекту) _____
(підпис)

ст. викладач Алфьоров М.Є.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з пояснювальної записки, що містить 78 сторінок тексту, 23 рисунків, 16 таблиць, 17 джерел посилання і 3 додатка.

РОЗУМНЕ ОСВІТЛЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, СИСТЕМА.

Об'єктом дослідження є інтелектуальна система освітлення.

Метод дослідження – описово-аналітичний

Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є проектування інтелектуальної системи освітлення та попереднє дослідження можливостей впровадження інтелектуальної системи освітлення.

В даній роботі проведено огляд і аналіз вимог до інтелектуальних систем освітлення, огляд і аналіз технологій та систем автоматичного освітлення, розроблено структурну схему інтелектуальної системи освітлення, обрано елементну базу для реалізації електронного блоку системи та запропоновано програмне забезпечення управління системою.

ABSTRACT

The qualification work of the bachelor consists of an explanatory note containing 78 pages of text, 23 figures, 16 tables, 17 literary sources and 3 appendices.

SMART LIGHTING, ENERGY EFFICIENCY, SYSTEM.

The object of research is an intelligent lighting system.

The research method is descriptive and analytical.

The purpose of this bachelor's thesis is to design an intelligent lighting system and to preliminarily study the possibilities of implementing an intelligent lighting system.

This work provides an overview and analysis of the requirements for intelligent lighting systems, a review and analysis of technologies and automatic lighting systems, a block diagram of an intelligent lighting system, an element base for the implementation of the electronic unit of the system, and proposed system control software.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	12
1.1 Мета атестаційної роботи.....	12
1.2 Концепція інтелектуальної системи освітлення.....	12
1.3 Постановка задачі для проектування	13
1.4 Історія виникнення інтелектуальних систем управління освітленням ...	15
1.5 Інтелектуальні системи управління освітленням у сучасності	17
2 ОПИС СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ У ГРОМАДСЬКИХ МІСЦЯХ.....	20
2.1 Вимоги до системи	20
2.2 Порівняльний аналіз аналогів	22
3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЙ, ВИКОРИСТАНИХ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ	25
3.1 Мова програмування	25
4 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ У ГРОМАДСЬКИХ МІСЦЯХ.....	29
4.1 Проектування системи детектування.....	29
4.2 Визначення інтенсивності дорожнього руху.....	30
4.3 Порівняльний аналіз наявних датчиків руху.....	30
4.4 Експериментальне дослідження датчиків руху	32
4.5 Результати експериментів та аналіз.....	36
4.6 Визначення зміни погодних умов	38
4.7 Проектування системи комунікації.....	40
4.8 Апаратна частина системи комунікації	41
4.9 Дротові системи комунікації.....	41
5.0 Бездротові системи комунікації	43
5.1 Програмна частина системи комунікації.....	45
5.2 Розробка алгоритму роботи інтелектуальної системи освітлення	48
5.3 Попередні дослідження інтенсивності дорожнього руху	49

5.4 Правові особливості проектування дорожніх просторів	50
5.5 Алгоритм роботи інтелектуальної системи освітлення.....	53
5.6 Обґрунтування впровадження інтелектуальної системи освітлення .	61
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	73
ДОДАТОК А. Реалізація алгоритму роботи.....	69
ДОДАТОК Б. Графічна частина.....	72
ДОДАТОК В. Відомість атестаційної роботи	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

IoT – Internet of Things

ESP8266 – мікроконтролер з підтримкою Wi-Fi

Arduino IDE – інтегроване середовище розробки для мікроконтролерів

LED – Light Emitting Diode

PIR – Passive InfraRed sensor

Wi-Fi – Wireless Fidelity

MCU – Micro Controller Unit

PWM – Pulse Width Modulation

LDR – Light Dependent Resistor

API – Application Programming Interface

MQTT – Message Queuing Telemetry Transport

RTOS – Real-Time Operating System

ADC – Analog to Digital Converter

API – Application Programming Interface

RTC – Real-Time Clock (годинник реального часу)

ВСТУП

У сучасному світі інтелектуальні системи стають невід'ємною частиною нашого життя, значно полегшуючи та оптимізуючи його різні аспекти. Однією з таких інноваційних систем є система управління освітленням у громадських місцях. Завдяки стрімкому розвитку технологій IoT, ця сфера набуває все більшого значення, оскільки вона спрямована на забезпечення комфорту, безпеки та енергоефективності в громадських просторах.

Вуличне освітлення в сучасних містах охоплює як функціональну, так і декоративну функції. В даний час, освітлення вулиць становить 53% від зовнішнього використання освітлення в усьому світі. Крім того, ринок рішень у галузі зовнішнього освітлення продовжує зростати (сукупні щорічні темпи зростання ринку зовнішнього освітлення оцінюють у 42% у період 2011-2020 років. В умовах зростання цін на енергоносії та зростаючої екологічної свідомості, вищезазначені тенденції вимагають підвищення ефективності вуличного освітлення.

Повсюдний розвиток і впровадження в експлуатацію вбудованих систем на основі мікрокомп'ютерів дає змогу впроваджувати сучасні методи автоматизації та управління в різних технічних системах. Таке застосування знаходить себе в інтелектуальних системах освітлення. На відміну від класичних систем освітлення, інтелектуальні системи освітлення дають змогу домогтися зниження споживання електроенергії завдяки адаптивності системи під час зміни зовнішніх умов: інтенсивності дорожнього руху, погодних факторів, часу доби.

Крім зниження витрат електроенергії завдяки високій адаптивності інтелектуальної системи освітлення, ресурсоефективність розроблення може бути забезпечено завдяки використанню світлодіодного освітлення.

Важлива складова під час розроблення інтелектуальних систем освітлення - це баланс між енергоефективністю та безпекою для учасників дорожнього руху,

оскільки освітленість дорожніх просторів впливає як на ймовірність дорожньо-транспортних пригод, так і на загальний рівень злочинності.

Системи управління освітленням у громадських місцях можуть включати в себе різноманітні компоненти та технології, спрямовані на автоматизацію та оптимізацію роботи освітлення з урахуванням різних умов: часу доби, погодних умов, руху людей тощо. Ці системи можуть забезпечувати автоматичне регулювання яскравості освітлення, використання ресурсів енергії з урахуванням показників навколишнього середовища та потреб користувачів. Зокрема, такі системи можуть включати датчики освітленості, датчики руху, програмовані мікроконтролери, а також програмне забезпечення для аналізу даних та прийняття рішень у реальному часі.

Використання інтелектуальних систем управління освітленням має значні переваги. По-перше, це сприяє суттєвій економії енергетичних ресурсів шляхом автоматичного регулювання освітлення відповідно до реальних потреб. По-друге, підвищується рівень безпеки, оскільки освітлення вмикається лише у присутності людей, що запобігає виникненню небезпечних ситуацій у темний час доби. По-третє, покращується комфорт перебування у громадських місцях, оскільки освітлення адаптується під конкретні умови та потреби користувачів.

Ця дипломна робота спрямована на створення ефективних та інтелектуальних рішень, які сприятимуть забезпеченню комфорту та безпеки у громадських місцях, а також ефективному використанню енергетичних ресурсів. Для досягнення цієї мети необхідно ретельно вивчити вимоги до системи, обрати відповідні компоненти та технології, а також правильно реалізувати систему, щоб вона відповідала потребам та вимогам сучасності.

У рамках цієї роботи буде розглянуто такі аспекти: аналіз існуючих рішень та технологій, вибір оптимальних компонентів для реалізації системи, розробка програмного забезпечення для керування освітленням, тестування та впровадження системи у реальних умовах. Особлива увага приділятиметься

питанню забезпечення надійності та безпеки системи, а також її масштабованості та адаптивності до різних умов експлуатації.

У цьому контексті, аналіз та розробка інтелектуальних систем управління освітленням у громадських місцях є актуальною та перспективною задачею, яка має великий потенціал для покращення якості життя людей та оптимізації використання ресурсів. Завдяки інтеграції новітніх технологій та рішень, можна створити ефективну систему, яка відповідатиме вимогам сучасного суспільства та сприятиме сталому розвитку міської інфраструктури.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Мета атестаційної роботи

Метою атестаційної роботи є розробка інтелектуальної системи управління освітленням у громадських місцях. Дана система спрямована на автоматизацію та оптимізацію процесу керування освітленням з урахуванням різноманітних умов, таких як час доби, погодні умови, наявність людей тощо. Це включає розробку системи автоматичного регулювання освітлення на основі даних, отриманих від різних сенсорів, таких як датчики освітленості та руху.

Розробка програмно-апаратного забезпечення системи управління освітленням (СУО) є актуальною науково-технічною задачею. Синтез алгоритмів управління освітленням у вигляді функціональних залежностей, що пов'язують сигнали з сенсорів з параметрами управління освітлювальними пристроями, є невід'ємним етапом розробки цієї системи.

Метою розробки є демонстрація функціонування сучасних мікроконтролерних систем у реальних проектах, які потребують швидкого реагування, прийняття рішень та вирішення проблем. Також важливим аспектом є тестування придатності таких систем для реалізації ефективного управління освітленням у громадських місцях.

1.2 Концепція інтелектуальної системи освітлення

Інтелектуальна система вуличного освітлення - це концепція ефективного розподілу електроенергії в процесі вуличного освітлення. Даний напрямок бурхливо розвивається наразі завдяки орієнтованості суспільства на "зелені" технології, що підтверджується ухваленням важливих регламентувальних документів на державному та міжнародному рівні: зокрема, можна виокремити Кіотський протокол.

Виділяють інтелектуальні системи освітлення двох поколінь. Перше покоління - це системи освітлення на основі світлодіодів. Заміна класичних джерел освітлення на світлодіодні джерела освітлення дає змогу значно збільшити термін експлуатації, уникнути наслідків забруднення довкілля під час утилізації. Також світлодіоди дають змогу налаштовувати рівень освітленості, що застосовують нині в інтелектуальних системах освітлення другого покоління, де реалізують принципи адаптивності та ресурсоефективності.

Наразі проводиться серйозна робота зі стандартизації та розвитку концепції інтелектуального вуличного освітлення. Зокрема, роботу проводять у провідних альянсах і товариствах з інтелектуальних систем освітлення, інтернету речей - IERC, StreetLight Vision, IEEE, OMG, Industrial Internet Consortium тощо.

Дослідження спрямоване на розробку інтелектуальної системи освітлення для муніципалітетів міста.

Проведене дослідження виконується на базі Університету прикладних наук Анхальта і є розвитком і впровадженням технічних рішень, розроблених у рамках проєкту SmartLighting. Проєкт SmartLighting, проведений насамперед на базі лабораторії FILA Університету прикладних наук Анхальта, спрямований на розробку інтелектуальної системи освітлення для пішохідних просторів міста Кетена в землі Саксонія-Ангальт, Німеччина.

1.3 Постановка задачі для проектування

Системи управління освітленням у громадських місцях повинні забезпечувати автоматичне регулювання освітлення відповідно до зовнішніх умов і потреб користувачів. Це дозволяє підвищити енергоефективність, комфорт і безпеку. Для досягнення цих цілей необхідно використовувати сучасні технології та компоненти, які можуть забезпечити надійну і швидку роботу системи.

Основною метою проектування системи є створення інтелектуальної системи управління освітленням, яка автоматично регулює рівень освітленості на основі даних, отриманих від різних сенсорів. Ця система повинна враховувати час доби, погодні умови, наявність людей та інші фактори для забезпечення оптимального освітлення.

Для повноцінної роботи системи потрібні багатofункціональні датчики, які передають дані для оцінки умов навколишнього середовища. Зокрема, необхідно використовувати датчики освітленості, руху, температури та вологості. Дані, зібрані з цих сенсорів, обробляються за допомогою певних алгоритмів, які дозволяють регулювати яскравість освітлення в реальному часі.

Основні компоненти системи включають:

- Датчики освітленості: Для вимірювання рівня природного світла і визначення необхідності додаткового освітлення.
- Датчики руху: Для виявлення присутності людей у зоні освітлення і відповідного регулювання яскравості.
- Мікроконтролери (наприклад, ESP8266): Для обробки даних з сенсорів і управління освітлювальними приладами.
- Освітлювальні прилади (світлодіодні лампи): З можливістю димування для точного регулювання яскравості.

Для реалізації системи управління освітленням необхідно виконати такі задачі:

- Підбір компонентів системи: Вибрати відповідні датчики, мікроконтролери та освітлювальні прилади, які будуть використовуватися у проекті.
- Розробка алгоритму роботи системи: Створити алгоритми, які забезпечать автоматичне регулювання освітлення на основі даних з сенсорів.
- Збірка схеми для тестування: Зібрати і протестувати робочу схему системи, щоб перевірити її ефективність і надійність.

- Аналіз отриманих результатів: Провести аналіз роботи системи в реальних умовах, виявити недоліки та запропонувати шляхи їх усунення.

У ході вибору мікроконтролера повинні бути враховані параметри швидкості обробки, тактової частоти та пам'яті для реалізації необхідних алгоритмів обробки сигналів та управління освітлювальними приладами. Результати досліджень і тестувань дозволять оцінити придатність розробленої системи для використання у громадських місцях і забезпечити її подальше вдосконалення.

Таким чином, інтелектуальна система управління освітленням у громадських місцях є важливим кроком на шляху до створення ефективних і надійних рішень для підвищення енергоефективності, комфорту і безпеки у міському середовищі.

1.4 Історія виникнення інтелектуальних систем управління освітленням

Інтелектуальні системи управління освітленням, також відомі як "розумне освітлення" або "інтелектуальне освітлення", є результатом тривалого розвитку технологій автоматизації та Інтернету речей (IoT). Виникнення цих систем можна простежити від ранніх експериментів з автоматичним управлінням освітленням до сучасних комплексних рішень, які інтегрують різноманітні сенсори, мікроконтролери та програмне забезпечення для забезпечення максимальної ефективності та зручності.

Перші спроби автоматизації освітлення з'явилися на початку ХХ століття, коли механічні таймери використовувалися для включення та вимикання освітлення в певний час доби. Це були прості рішення, які не враховували змінні умови навколишнього середовища, такі як рівень природного освітлення або присутність людей.

З розвитком електроніки та мікропроцесорних технологій у 1970-х та 1980-х роках почали з'являтися перші системи, що використовували датчики для управління освітленням. Наприклад, датчики руху стали використовуватися для

автоматичного ввімкнення світла при вході людини до приміщення та вимкнення після її виходу. Це значно підвищило енергоефективність та зручність використання таких систем.

Справжній прорив у розвитку інтелектуальних систем управління освітленням стався з появою технологій IoT. Інтернет речей дозволив з'єднувати різноманітні пристрої через мережу, забезпечуючи їх взаємодію та централізоване управління. Сучасні інтелектуальні системи включають в себе комплекс датчиків (освітленості, руху, температури тощо), мікроконтролери, комунікаційні модулі та програмне забезпечення для аналізу даних та прийняття рішень.

Однією з важливих віх у розвитку цих систем стала поява мікроконтролерів з вбудованими можливостями бездротового зв'язку, таких як ESP8266. Ці мікроконтролери дозволили створювати компактні, енергоефективні та економічно вигідні рішення для управління освітленням.

Ще одним важливим аспектом сучасних інтелектуальних систем управління освітленням є їх інтеграція з мобільними та веб-додатками. Такі платформи, як Wupk, дозволяють користувачам контролювати та налаштовувати освітлення за допомогою смартфонів та комп'ютерів, що забезпечує додатковий комфорт та гнучкість у використанні системи.

Сьогодні інтелектуальні системи управління освітленням активно впроваджуються у різних сферах – від житлових будинків до комерційних та громадських просторів. Вони не тільки забезпечують оптимальний рівень освітлення, але й сприяють значній економії енергії, знижуючи витрати на електроенергію та зменшуючи викиди вуглекислого газу.

Перспективи розвитку таких систем включають подальше вдосконалення технологій сенсорів, алгоритмів обробки даних та штучного інтелекту, що дозволить створювати ще більш адаптивні та ефективні рішення. Крім того, очікується, що інтеграція інтелектуальних систем управління освітленням з іншими інфраструктурними рішеннями, такими як системи безпеки та

управління будівлями, відкриє нові можливості для покращення якості життя та сталого розвитку міських середовищ.

1.5 Застосування інтелектуальних систем управління освітленням у сучасності

Інтелектуальні системи управління освітленням (ІСУО) дедалі більше набувають популярності у різних сферах життя. Вони забезпечують автоматичне регулювання освітлення залежно від умов навколишнього середовища та потреб користувачів, що сприяє підвищенню комфорту, безпеки та енергоефективності. Завдяки своїм численным перевагам ІСУО знаходять застосування у багатьох галузях, включаючи житлові, комерційні, промислові та громадські об'єкти.

У житлових будинках ІСУО використовуються для створення комфортного та енергоефективного освітлення. Вони забезпечують автоматичне ввімкнення та вимкнення світла залежно від присутності людей, регулюють яскравість освітлення відповідно до часу доби та рівня природного світла. Це не лише підвищує комфорт мешканців, але й дозволяє значно знизити витрати на електроенергію.

У комерційних та офісних будівлях ІСУО сприяють підвищенню продуктивності праці та створенню комфортних умов для співробітників. Вони автоматично регулюють освітлення в робочих зонах, конференц-залах та коридорах, забезпечуючи оптимальне освітлення для виконання різних завдань. Крім того, такі системи дозволяють значно знизити енергоспоживання, що є важливим аспектом для великих офісних комплексів.

На промислових підприємствах ІСУО використовуються для забезпечення безпечних та ефективних умов праці. Вони автоматично адаптують освітлення на виробничих лініях, складах та інших робочих зонах залежно від потреб, що підвищує продуктивність та безпеку працівників. Зниження енергоспоживання також є важливим фактором для зменшення витрат на виробництво.

ІСУО знаходять широке застосування у громадських місцях, таких як парки, вулиці, площі та громадські будівлі. Вони автоматично регулюють освітлення залежно від часу доби, погодних умов та наявності людей, забезпечуючи безпеку та комфорт громадян. Наприклад, у парках освітлення може автоматично збільшуватись у вечірній час або при виявленні руху, що підвищує безпеку відвідувачів.

ІСУО використовуються для освітлення доріг, мостів, тунелів та інших транспортних об'єктів. Вони забезпечують оптимальне освітлення дорожніх покриттів, зменшуючи ризик дорожньо-транспортних пригод та підвищуючи комфорт водіїв. Крім того, автоматичне регулювання освітлення дозволяє значно знизити витрати на обслуговування транспортної інфраструктури.

Новим напрямком використання інтелектуальних систем управління освітленням є освітлені дрони, які використовуються для нічних шоу та рекламних заходів. Такі дрони можуть створювати складні візуальні ефекти та анімації, забезпечуючи унікальні враження для глядачів.

У сільському господарстві ІСУО використовуються для забезпечення оптимального освітлення теплиць та інших сільськогосподарських об'єктів. Вони автоматично регулюють інтенсивність освітлення залежно від потреб рослин, що сприяє підвищенню врожайності та ефективності використання енергоресурсів.

З розвитком технологій IoT та штучного інтелекту перспективи ІСУО стають ще більш захопливими. Очікується, що інтеграція з іншими інтелектуальними системами, такими як системи управління будівлями та безпеки, дозволить створювати комплексні рішення для підвищення комфорту та ефективності у міському середовищі. Крім того, подальший розвиток сенсорів та алгоритмів обробки даних відкриває нові можливості для вдосконалення ІСУО та розширення їх застосування у різних галузях.

Таким чином, інтелектуальні системи управління освітленням відіграють важливу роль у сучасному світі, сприяючи підвищенню якості життя, зниженню витрат на енергію та забезпеченню безпеки у різних сферах діяльності.

2 ОПИС СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ У ГРОМАДСЬКИХ МІСЦЯХ

2.1 Вимоги до системи

Система управління освітленням у громадських місцях повинна забезпечувати ефективне, надійне та автоматизоване регулювання освітлення з урахуванням різних зовнішніх умов та потреб користувачів. Основні вимоги для будь-якої до системи включають:

- Автоматичне зчитування та обробка інформації з датчиків: Система повинна автоматично зчитувати дані з різних датчиків, таких як датчики освітленості, руху, температури та вологості. Це забезпечить можливість коректної оцінки умов навколишнього середовища для подальшого регулювання освітлення.
- Енергоефективність: Система повинна мінімізувати енергоспоживання за рахунок використання енергоефективних світлодіодних ламп та оптимального управління освітленням. Це включає автоматичне зменшення яскравості або вимикання освітлення у відсутності людей чи при достатньому рівні природного світла.
- Комфорт та безпека: Освітлення має бути адаптивним до потреб користувачів, забезпечуючи достатній рівень яскравості для комфортного перебування у громадських місцях у будь-який час доби та за будь-яких погодних умов.
- Надійність та стабільність: Система повинна працювати стабільно та надійно, забезпечуючи безперебійне освітлення навіть у складних умовах експлуатації. Це включає використання резервних джерел живлення та захист від несприятливих умов навколишнього середовища.
- Легкість встановлення та обслуговування: Система повинна бути легкою у встановленні та обслуговуванні. Це включає використання стандартних

протоколів зв'язку та модулів, які можна легко інтегрувати та замінити при необхідності.

- Інтерактивність та можливість налаштування: Користувачі повинні мати можливість дистанційно керувати системою, налаштовувати параметри освітлення та моніторити стан системи через мобільний додаток або веб-інтерфейс.
- Масштабованість та гнучкість: Система повинна бути масштабованою, що дозволить легко розширювати її для покриття нових зон освітлення. Вона також повинна бути гнучкою, щоб адаптуватися до змін умов експлуатації та потреб користувачів.

- Безпека та захист даних: Система повинна забезпечувати високий рівень безпеки для захисту від несанкціонованого доступу та зловмисних дій. Це включає шифрування даних та використання безпечних протоколів зв'язку.

Сучасні інтелектуальні системи управління освітленням у громадських місцях базуються на принципах автоматизації та інтеграції з іншими міськими інфраструктурами. Вони включають різноманітні сенсори для збирання даних про навколишнє середовище та потреби користувачів, а також мікроконтролери для обробки цих даних та прийняття рішень про регулювання освітлення.

Інтелектуальні системи освітлення повинні бути здатні адаптуватися до різних умов, забезпечуючи при цьому енергоефективність та комфорт для користувачів. Вони повинні інтегруватися з існуючими інфраструктурами та використовувати сучасні технології зв'язку для забезпечення надійної та безпечної роботи.

Проектована інтелектуальна система освітлення, що проектується, має задовольняти такі вимоги:

- Система децентралізована, тобто не існує центрального контролюючого елемента.
- Система може бути легко вбудованою в міську систему.

- Стан роботи системи залежить від зовнішніх чинників, таких як інтенсивність дорожнього руху та погодні умови.
- Кожен ліхтар системи працює автономно і не потребує налаштування.
- Рівень загальної освітленості, що забезпечується системою, не повинен виходити за рамки, передбачені вимогами безпеки.

Таким чином, інтелектуальна система освітлення має бути здатна визначати об'єкт руху в зоні контролю та контролювати рівень освітленості залежно від об'єкта руху та характеристик руху - швидкості та напрямку руху (рисунок 2.1).

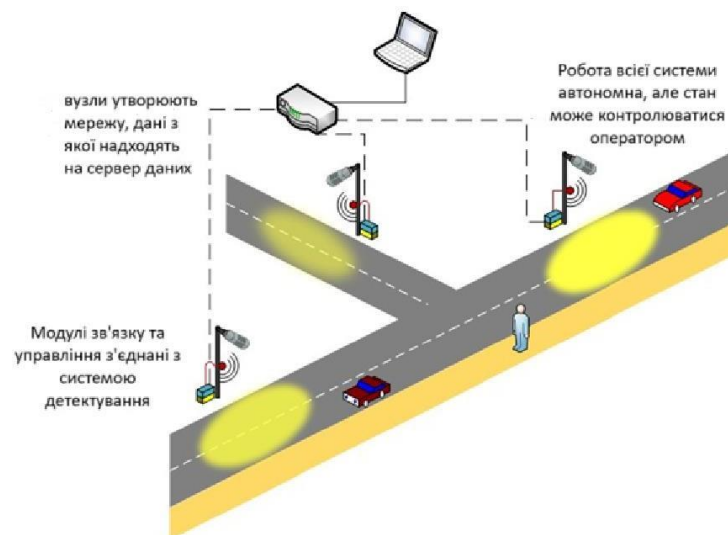


Рисунок 2.1 - Реалізація концепції інтелектуальної системи освітлення

Крім того, має забезпечуватися моніторинг погодних умов і ухвалення відповідних рішень системою в разі зміни погодних умов.

2.2 Порівняльний аналіз аналогів

Нині ринок рішень у сфері інтелектуальних систем освітлення представлений безліччю рішень. Кілька європейських міст повністю замінили міську систему освітлення на користь інтелектуальних систем освітлення. Як приклад можна

навести систему освітлення Лейпцига в Німеччині, Квебека в Канаді.

Для детального розгляду типових використовуваних рішень було обрано 5 інтелектуальних систем освітлення від виробників: OSRAM, Amko Solara, Lux Monitor, Citenergy, Echelon (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Порівняльний аналіз інтелектуальних систем освітлення

Характеристики	OSRAM	Amko Solara	Lux Monitor	Citenergy	Echelon
Технологія зв'язку	PLC ISO14908	PLC ISO14908	Wireless mesh IPv6 6LowPAN	PLC	Wireless mesh IPv6
IPv6	Ні	Ні	Так	Ні	Так
Швидкість передачі даних і пропуск.	5 кб/с	5 кб/с	10 кб/с	15 кб/с	<5 кб/с
Підтримка динаміч. режиму роботи з датчиками руху	Так	Так	Так	Так	Так
Підтримка динамічного режиму роботи з урахуванням трафіку	Так, SLV CMS	Так, SLV CMS	Так, SLV CMS	Ні	Так
Інтерфейс для джерела освітлення	1-10 В, DALI	1-10 В	1-10 В, DALI	1-10 В, DALI	1-10 В, DALI
Дані про неполадки	Так	Так	Так	Так	Так
Примітка: SLV CMS (StreetLight Vision Central Management Software) система програмного управління StreetLight Vision.					

У розглянутих системах освітлення реалізовано світлодіодне освітлення. При цьому адаптивний контроль реалізовано в усіх системах, крім Citenergy. Lux Monitor і Echelon використовують бездротове передавання даних за допомогою mesh-мереж і IPv6. У разі бездротової передачі використовується стандарт 6LowPAN. В OSRAM, Amko Solara і Citenergy використовують технологію power line communication (PLC) - передавання даних за допомогою лінії

електропередач, що ґрунтується на стандарті ISO 14908.

Контроль за джерелами освітлення здійснюється за допомогою Digital addressable lighting interface (DALI) - інтерфейсу, який було розроблено як інтерфейс між логічним і фізичним рівнями контролю світлодіодними ліхтарями. Безпосередній контроль забезпечується системою програмного управління StreetLight Vision, стандартизованим рішенням, яке може об'єднувати інтелектуальні системи освітлення кількох виробників.

Також у всіх системах здійснюється моніторинг на наявність неполадок, що дає змогу оперативно реагувати за наявності останніх.

Для порівняльного аналізу було обрано зарубіжних виробників, оскільки комплексні рішення в галузі інтелектуального освітлення українського походження не було знайдено під час проведення аналітичного огляду. Найпоширенішими в даний час є окремі ліхтарі з датчиками руху, або світлодіодні системи освітлення без адаптивного управління.

Таким чином, згідно з аналізом розроблених інтелектуальних систем освітлення, можна виявити такі тренди і ключові особливості розвитку таких систем:

- розроблювані системи використовують світлодіодне освітлення, що впливає на енергоефективність усієї системи. Наразі основним інтерфейсом для драйверів керування LED є DALI;

- більшість систем адаптуються під зовнішні умови - наявність руху в зоні контролю, інтенсивність дорожнього руху, погодні умови. Забезпечується максимальна автономність систем, але водночас неполадки, що виникають, можуть бути оперативно відстежені й усунені;

- комунікація в інтелектуальних системах освітлення здійснюється на основі mesh-мереж або PLC. Наразі обидві технології активно розвиваються й уніфікуються, що дає змогу використовувати їх у великих масштабах.

Згідно з наведеними трендами можливе проєктування інтелектуальної системи освітлення, що відповідає сучасним вимогам і перевершує аналоги за характеристиками.

3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЙ, ВИКОРИСТАНИХ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

3.1 Мова програмування

C++ — мова програмування високого рівня з підтримкою кількох парадигм програмування: об'єктно-орієнтованої, узагальненої та процедурної. Розроблена Б'ярном Страуструпом (англ. Bjarne Stroustrup) в AT&T Bell Laboratories (Мюррей-Хілл, Нью-Джерсі) 1979 року та початково отримала назву «Сі з класами». Згодом Страуструп перейменував мову на C++ у 1983 р. Базується на мові С. Вперше описана стандартом ISO/IEC 14882:1998, найбільш актуальним же є стандарт ISO/IEC 14882:2014.[5]

У 1990-х роках C++ стала однією з найуживаніших мов програмування загального призначення. Мову використовують для системного програмування, розробки програмного забезпечення, написання драйверів, потужних серверних та клієнтських програм, а також для розробки розважальних програм, наприклад, відеоігор. C++ суттєво вплинула на інші популярні сьогодні мови програмування: C# та Java.

В 1998 році мова C++була стандартизована Міжнародною організацією стандартизації під номером 14882:1998 — Мова Програмування Сі++. Поточний стандарт — C++11, він був прийнятий у 2011 році робочою групою МОС після десятирічної підготовки.

Стандарт C++на 1998 рік складається з двох основних частин: ядра мови і стандартної бібліотеки. Стандартна бібліотека C++ увібрала в себе бібліотеку шаблонів STL, що розроблялася одночасно із стандартом. Зараз назва STL офіційно не вживається, проте в колах програмістів на C++ця назва використовується для позначення частини стандартної бібліотеки, що містить визначення шаблонів контейнерів, ітераторів, алгоритмів і функторів.

Стандарт C++ містить нормативне посилання на стандарт Cі від 1990 року і не визначає самостійно ті функції стандартної бібліотеки, які запозичуються із стандартної бібліотеки Cі.

Поза тим, існує величезна кількість бібліотек Cі++, котрі не входять в стандарт. У програмах на C++ можна використовувати багато бібліотек Cі.

Стандартизація визначила мову програмування Cі++, проте за цією назвою можуть ховатися також неповні, обмежені достандартні варіанти мови. Спочатку мова розвивалася поза формальними рамками, спонтанно, у міру завдань, що ставилися перед ним. Розвиток мови супроводив розвиток кросс-компілятора Cfront. Нововведення в мові відбивалися в зміні номера версії кросс-компілятора. Ці номери версій кросс-компілятора розповсюджувалися і на саму мову, але стосовно теперішнього часу мову про версії мови C++ не ведуть.[5]

Переваги мови C++:

Швидкодія. Швидкість роботи програм на C++ практично не поступається програмам на C, хоча програмісти отримали в свої руки нові можливості і нові засоби.

Масштабованість. Мовою C++ розробляють програми для найрізноманітніших платформ і систем.

Можливість роботи на низькому рівні з пам'яттю, адресами, портами. (Що, при необережному використанні, може легко перетворитися на недолік.)

Можливість створення узагальнених алгоритмів для різних типів даних, їхня спеціалізація, і обчислення на етапі компіляції, з використанням шаблонів.

Підтримуються різні стилі та технології програмування, включаючи традиційне директивне програмування, ООП, узагальнене програмування, метапрограмування (шаблони, макроси).[5]

Недоліки мови C++:

Наявність безліч можливостей, що порушують принципи типобезпеки приводить до того, що в C++ програми може легко закрастися важковловима помилка. Замість контролю з боку компілятора розробники вимушені

дотримуватися вельми нетривіальних правил кодування. По суті, ці правила обмежують C++ рамками якоїсь безпечнішої підмови. Більшість проблем типобезпеки C++ успадкована від C, але важливу роль в цьому питанні грає і відмова автора мови від ідеї використовувати автоматичне управління пам'яттю (наприклад, збірку сміття). Так візитною карткою C++ стали вразливості типу «переповнювання буферу».[5]

Погана підтримка модульності. Підключення інтерфейсу зовнішнього модуля через препроцесорну вставку заголовного файлу (`#include`) серйозно уповільнює компіляцію, при підключенні великої кількості модулів. Для усунення цього недоліку, багато компіляторів реалізують механізм прекомпіляції заголовних файлів (англ. *Precompiled Headers*).

Недостача інформації про типи даних під час компіляції (СТТІ).

Мова C++ є складною для вивчення і для компіляції.

Деякі перетворення типів неінтуїтивні. Зокрема, операція над беззнаковим і знаковим числами видає беззнаковий результат.

Препроцесор C++ (успадкований від C) дуже примітивний. Це приводить з одного боку до того, що з його допомогою не можна (або важко) здійснювати деякі завдання метапрограмування, а з іншого, в наслідок своєї примітивності, він часто приводить до помилок і вимагає багато дій з обходу потенційних проблем. Деякі мови програмування (наприклад, *Scheme* і *Nemerle*) мають набагато могутніші і безпечніші системи метапрограмування (також звані макросами, але макроси C/C++ вони мало нагадують).[5]

З кінця 1990-х в спільноті C++ набуло поширення так зване метапрограмування на базі шаблонів. По суті, воно використовує особливості шаблонів C++ в цілях реалізації на їхній базі інтерпретатора примітивної функціональної мови програмування, що виконується під час компіляції. Сама по собі ця можливість вельми приваблива, але, внаслідок вище згаданого, такий код вельми важко сприймати і зневаджувати. Мови *Lisp/Scheme*, *Nemerle* і деякі інші мають могутніші і водночас простіші для сприйняття підсистеми

метапрограмування. Крім того, в мові D реалізована порівнянна за потужністю, але значно простіша в застосуванні підсистема шаблонного метапрограмування.[5]

Хоча декларується, що C++ мультипарадигмена мова, реально в мові відсутня підтримка функціонального програмування. Частково, даний пропуск усувається різними бібліотеками (Loki, Boost) що використовують засоби метапрограмування для розширення мови функціональними конструкціями (наприклад, підтримкою лямбд/анонімних методів), але якість подібних рішень значно поступається якості вбудованих у функціональні мови рішень. Такі можливості функціональних мов, як зіставлення зі зразком взагалі украй складно емулювати засобами метапрограмування.[5]

4 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ У ГРОМАДСЬКИХ МІСЦЯХ

4.1 Проектування системи детектування

Пропонована структура інтелектуальної системи освітлення (рисунок 4.1) складається з вузлів, що об'єднують мікрокомп'ютер Beaglebone або будь-який інший модуль System-on-Chip, модулі детектування і комунікації та світлодіодний ліхтар.

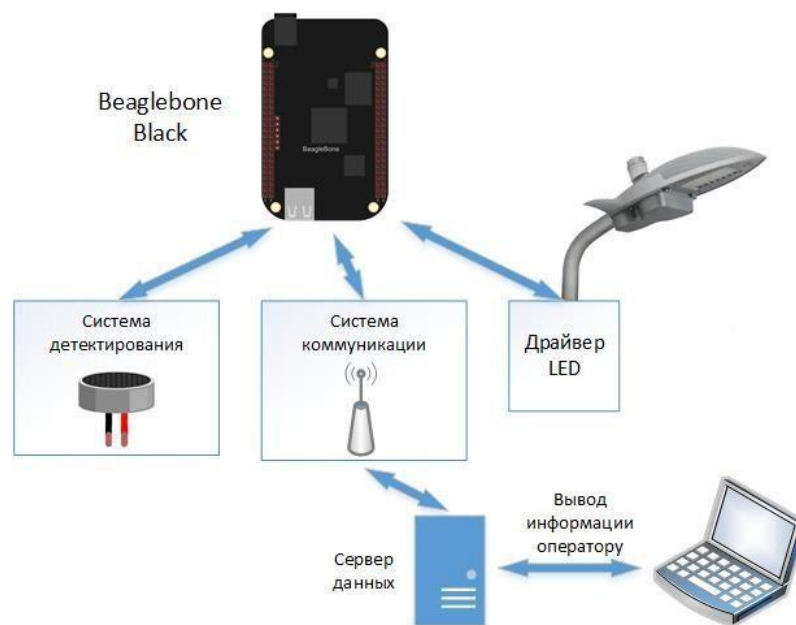


Рисунок 4.1 – Структурна схема інтелектуальної системи освітлення

Як центральний керуючий пристрій для вузла виступає мікрокомп'ютер. Кожній лампі відповідає система комунікації та детектування. Система комунікації служить для зв'язку елементів вузла, а також дає змогу передавати інформацію на інші вузли системи. Система детектування необхідна для визначення інтенсивності дорожнього руху, створеного автомобільними засобами та пішоходами, а також зміни погодних умов.

Принцип роботи інтелектуальних систем освітлення ґрунтується на аналізі подій, що відбуваються в зовнішньому середовищі у зв'язку з тими чи іншими факторами, і відповідному ухваленні рішень для мінімізації енерговитрат. До таких факторів належать інтенсивність дорожнього руху та погодні умови. Для того щоб визначити наявність таких подій, необхідне створення ефективної системи детектування. Таким чином, цей розділ містить попереднє дослідження датчиків різних типів для подальшого застосування в інтелектуальній системі освітлення.

4.2 Визначення інтенсивності дорожнього руху

Аналіз дорожнього руху ґрунтується на визначенні руху транспортних засобів, пішоходів із високою точністю, після чого отримані дані про об'єкт або об'єкти, що рухаються, обробляють, передають каналом зв'язку, визначають об'єкт руху. Залежно від об'єкта руху робляться різні сценарії дії інтелектуальної системи освітлення.

Дані про інтенсивність дорожнього руху, які необхідні для роботи інтелектуальної системи освітлення, - це сам факт руху, що реєструється різними датчиками, які дають змогу визначити учасника руху (автомобіль або пішохід), швидкість руху учасника руху, напрямок руху. При цьому дані, що надходять із датчиків, мають бути інтерпретовані максимально точно.

Розглянемо датчики руху, які можуть застосовуватися в інтелектуальних системах освітлення.

4.3 Порівняльний аналіз наявних датчиків руху

Було детально розглянуто методи виявлення руху, а також присутності. Як основні за фізичним принципом дії можна виділити такі методи контролю руху:

- акустичний (ультразвуковий);

- радіохвильовий (НВЧ);
- інфрачервоний (ІЧ);
- комбінований.

Кожен із цих типів має свої переваги та недоліки. Недоліки, зокрема, пов'язані з нездатністю датчиків виявити людину за певних умов або, навпаки, їх хибними спрацьовуваннями.

Використання сукупності методів контролю та принципів виявлення може значно зменшити ймовірність некоректного спрацьовування датчика. Сигнал тривоги видається тільки в тому разі, якщо одночасно або протягом невеликого інтервалу часу спрацьовують обидва детектори. Для підвищення стабільності роботи системи, використовувані принципи виявлення повинні бути такими, щоб перешкоди, що викликають помилкові спрацьовування, по-різному впливали на кожен детектор, що становить комбінацію. У таблиці 4.1 наведено вплив зовнішніх чинників на роботу датчиків різних типів, де "+" - висока чутливість, "-" - низька чутливість.

Таблиця 4.1 - Чутливість датчиків до заважаючих факторів

Причина некоректної роботи	Інфрачервоний	Мікрохвильовий	Ультразвуковий
Турбулентність повітря	+	-	-
Дощ	-	+	+
Зміни температури	+	-	+
Яскраве світло	+	-	-
Електромагнітні помехи	+	+	-
Увімкнене люмінесцентне освітлення	-	+	-
Вібрації	+	+	+
Переміщення за межами зони контролю	-	+	-
Тварини	+	+	+

З таблиці видно, що більшість змін довкілля по-різному впливають на кожен детектор і в більшості випадків не можуть призвести до одночасного спрацювання всіх сенсорів.

Найбільшого поширення нині набула комбінація мікрохвильового активного та ПЧ-пасивного принципів виявлення. Набагато рідше використовується комбінація ультразвукового та ПЧ детекторів. Існують також окремі зразки датчиків, у яких використовуються три різні фізичні принципи виявлення, однак такі датчики рідко застосовують на практиці.

4.4 Експериментальне дослідження датчиків руху

Найпоширенішими датчиками руху, використовуваними в інтелектуальних системах освітлення, є радіохвильовий, інфрачервоний, ультразвуковий і комбінований типи датчиків.

Було зібрано експериментальну установку згідно зі схемою на рисунку 4.2, що містить систему детектування інтелектуальної системи освітлення.

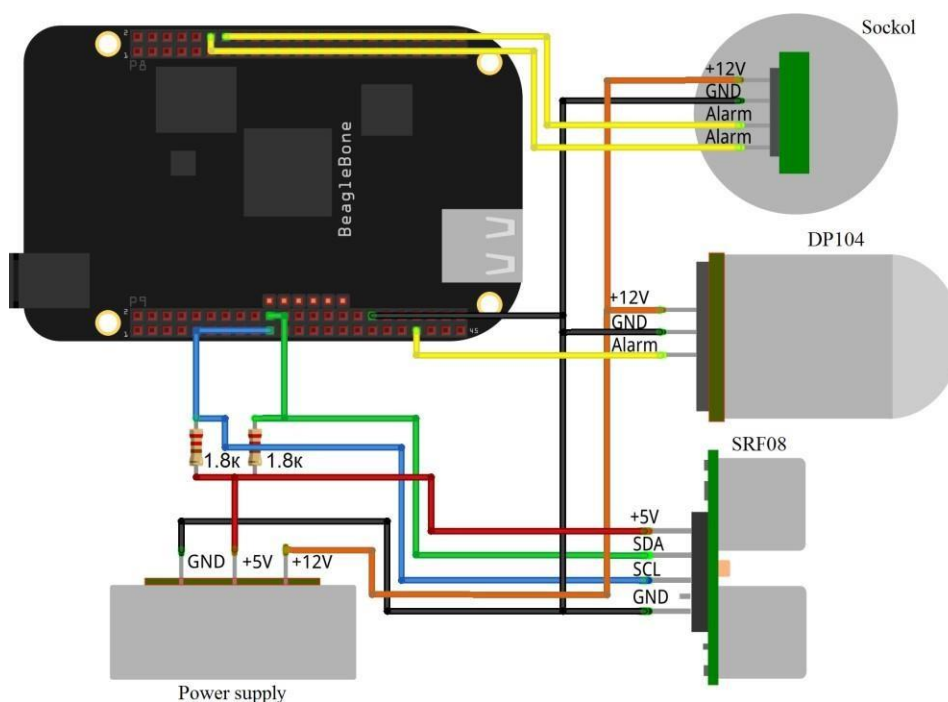


Рисунок 4.2 – Експериментальна установка

Основні елементи експериментальної установки - це мікрокомп'ютер BeagleBone Black, інфрачервоний датчик DP104, ультразвуковий датчик SRF08, комбінований датчик Sockol-3, блок живлення з виводами 5 В, 12 В.

Мікрокомп'ютер BeagleBone Black

Мікрокомп'ютер BeagleBone Black використовується як керуючий пристрій, який виконує програму зчитування інформації з датчиків. Властивості BeagleBone Black наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Специфікація на BeagleBone Black

Процесор	1 ГГц AM335x
Пам'ять	512 Мб DDR3
Пам'ять	On-board 2 Gb eMMC (4 Gb eMMC on the Revision C board) and micro-SD card slot
Підтримка відео	On-board HDMI
Послідовне з'єднання	TTL header present but separate cable Needed
Вхідні/вихідні виводи	GPIO, аналогові виводи, 5 V, 3.3 V, 1.8 V напруга живлення, таймери, шини: I2C, UART, CAN, SPI, GPMC, MMC, LCD, McASP

Зовнішній вигляд BeagleBone Black представлений на рисунку 4.3

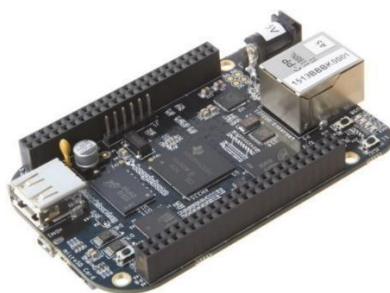


Рисунок 4.3 - Зовнішній вигляд BeagleBone Black

Крім керування датчиками руху, в інтелектуальній системі освітлення мікрокомп'ютер під'єднаний до блоку комунікації, який здійснює зв'язок між вузлами інтелектуальної системи освітлення.

Інфрачервоний датчик руху

Властивості інфрачервоного датчика представлені в таб. 4.3.

Таблиця 4.3 - Специфікації інфрачервоного датчика

Напруга	DC 12 V
Робочий діапазон	6-10 m
Вихідна потужність	Max 100 W LED lamp
Час встановлення	5s~6min
Робочий діапазон для освітленості	2~2000 lux
Матеріал	ABS
Рівень захисту IP	IP65

Зовнішній вигляд інфрачервоного датчика представлений на рисунок 4.4.



Рисунок 4.4 - Інфрачервоний датчик

Ультразвуковий датчик SRF08

Ультразвуковий датчик SRF08 під'єднується до мікрокомп'ютера BeagleBone Black з використанням послідовної шини даних I2C.

На початку роботи мікрокомп'ютер ініціалізує адресу датчика, підключеного за допомогою протоколу I2C. Для виконання сканування датчиком зони контролю, виконується команда, яка відправляє певне значення в командний регістр SRF08.

Наступним етапом є зчитування даних із регістрів датчика. Дані надходять у шістнадцятковому форматі та несуть інформацію про відстань до об'єкта в сантиметрах (рисунок 4.5).

```

0 1 2 3 4 5 6 7
00: 0a f8 00 16 00 47 00 87
10: 01 ca 02 0a 02 4a 02 8d
20: 03 d7 04 1a 1a 1a 1a 1a
30: 1a 1a 1a 1a 1a 1a 1a 1a

```

Рисунок 4.5 - Дані про відстань до об'єкта (координати 0x02 – старший біт і 0x03 – молодший біт), $0x16_{16}=22_{10}$ см.

Властивості ультразвукового датчика SRF08 представлені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Специфікації датчика SRF08

Напруга	5 В
Струм	15 мА, 3 мА у режимі очікування.
Частота	40 кГц
Робочий діапазон	3 см..6 м
Макс. аналог. підсил.	Зміна до 1025 за 32 кроку
Підключення	Шина I ² C

Зовнішній вигляд інфрачервоного датчика представлено на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 - Ультразвуковий датчик

Комбінований датчик Sockol-3

При появі людини в зоні виявлення спрацьовують обидва канали виявлення (в будь-якій послідовності), при цьому видається сповіщення про тривогу шляхом розмикання контактів вихідного реле.

Датчик здійснює постійний контроль за заводовою обстановкою в приміщенні, що охороняється: якщо рівень завад по одному з каналів перевищить допустимий, датчик автоматично змінює алгоритм виявлення. За зміненим алгоритмом виявлення датчик працює протягом 2 хв, через 2 хв датчик

повертається до основного алгоритму виявлення і цикл повторюється. Сповіщення про перехід на інший алгоритм відображається зеленим світловим індикатором. Якщо під час роботи датчика за алгоритмом виявлення в умовах підвищених завад видається сповіщення про тривогу, одразу після його закінчення датчик повертається до основного алгоритму виявлення.

Властивості комбінованого датчика Sockol-3 наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Специфікація датчика Сокіл-3

Типи використовуваних датчиків	СВЧ, інфрачервоний
Напруга	10..15 В
Струм	30 мА
Робочий діапазон	5...10 м
Діапазон робочих температур	-30..+50 °С

Зовнішній вигляд комбінованого датчика представлено на рисунку 4.7.



Рисунок 4.7 - Комбінований датчик

4.5 Результати експериментів та аналіз

Основна мета проведення експериментальних досліджень датчиків руху - порівняльний аналіз наявних датчиків, визначення найоптимальніших варіантів для використання в інтелектуальній системі освітлення на основі мікрокомп'ютера BeagleBone Black. Зовнішній вигляд експериментальної установки представлено на рисунку 4.8.

Мовою С++ було розроблено програму, яка дає змогу отримати інформацію про спрацьовування датчиків у разі руху в зоні контролю датчиків.

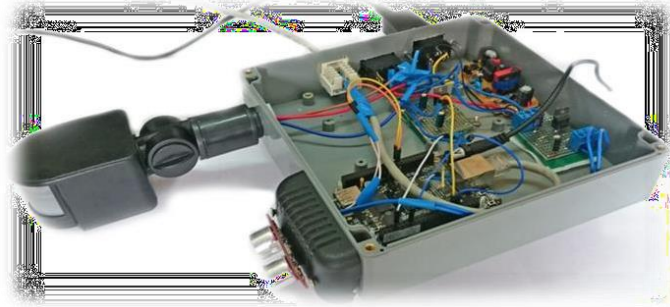


Рисунок 4.8 – Експериментальна установка для дослідження системи детектування

Під час дослідження датчиків різних типів було обрано типових представників кожної категорії. Ці датчики використовувалися в експериментальній установці. Для датчиків руху різних типів було побудовано діаграму, що показує їхні зони дії, знайдені експериментальним шляхом (рис. 4.9). У зоні, яку охоплюють усі датчики, що розглядаються, було проведено експеримент із визначення відгуку кожного датчика на рухи пішохода.

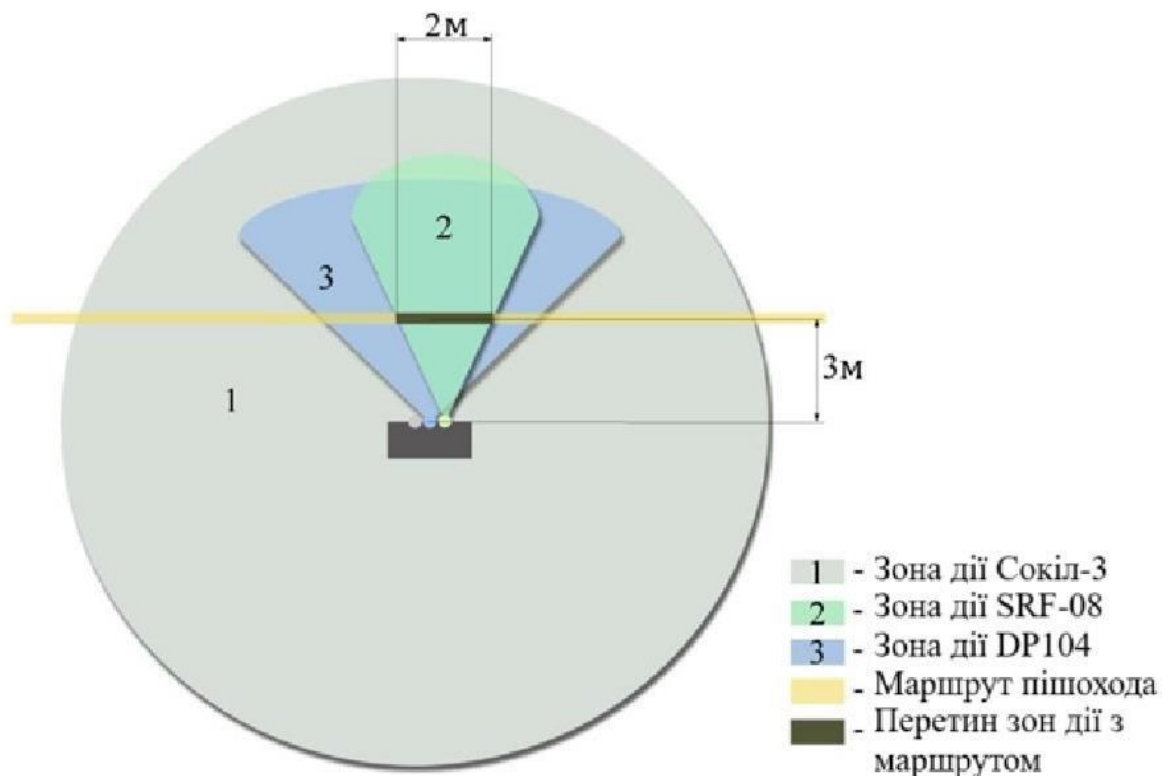


Рисунок 4.9 - Зони детектування для сенсорів та експериментальні умови

Визначення відгуку датчиків на рух пішохода відбувалося за 3 метри від місця розташування датчиків. Результати вимірювань представлено на рисунку 4.10. Відстань руху пішохода в зоні перетину всіх датчиків становить 2 метри, водночас відстань для Sokol-3 і DP104 удвічі більша.

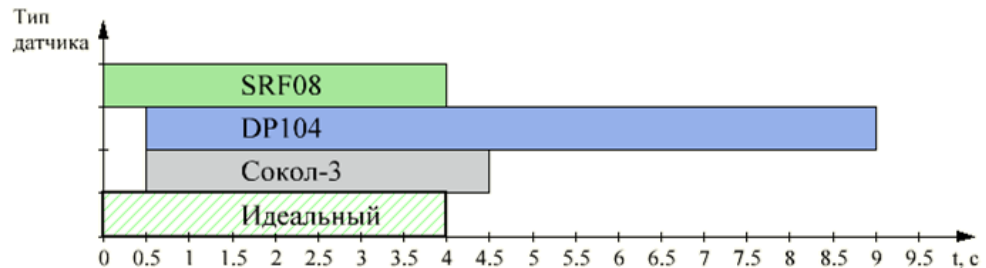


Рисунок 4.10 - Діаграма відгуків датчиків на рух пішоходів

Під час вимірювань було визначено, що найшвидший час відгуку має ультразвуковий датчик SRF08, що становить частки секунди. Затримка під час входження пішохода в зону контролю притаманна інфрачервоному та комбінованому датчикам, що становить 0.5 с. При цьому затримка після виходу пішохода із зони контролю для DP104 становить 5 с., а для Сокол-3 - 0.5 с.

Згідно з результатами, наведеними на рисунках 10 і 11, можемо зробити висновок, що для використання в інтелектуальній системі освітлення найоптимальнішим є комбінований датчик. При цьому використання ультразвукового датчика в таких системах навряд чи можливе через малий кут дії датчика, крім того, цей тип датчиків має високу вартість щодо інших. Також в інтелектуальній системі освітлення можливе використання інфрачервоного датчика, оскільки він володіє великим кутом дії, однак має більшу затримку за часом.

4.6 Визначення зміни погодних умов

Крім залежності від інтенсивності руху, адаптивність інтелектуальної системи освітлення полягає в адекватній реакції на зміні погодних умов. Під погодними умовами насамперед розуміється рівень природного освітлення,

зумовлений світлом Сонця чи Місяця. Для цього завдання можна використовувати фоторезистор, який змінює свій опір під впливом світла.

Як експериментальну установку використовувалося схемне рішення, представлене на рисунку 4.11. Ця експериментальна установка складається з мікрокомп'ютера Beaglebone Black, фоторезистора та резистора на 10 кОм. Фоторезистор і резистор утворюють дільник напруги, який використовується для того щоб перетворити змінну величину опору значення, яке можливо виміряти на аналоговому вході ВВВ, дана величина повинна бути перетворена в напругу від 0 до 1,8 В.

Фоторезистор, що використовується, має темновий опір близько 200 кОм, при яскравому світлі опір падає до 1 або 2 кОм

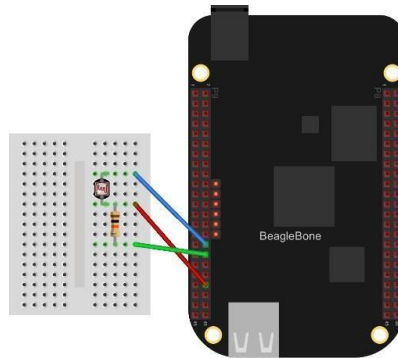


Рисунок 4.11 – Експериментальна установка для вимірювання освітлення

Електрична принципова схема для використовуваної експериментальної установки представлена на рисунку 4.12.

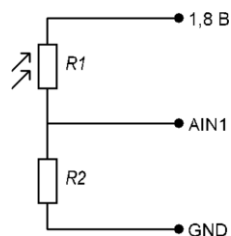


Рисунок 4.12. – Електрична принципова схема підключення фоторезистора

Якщо фоторезистор освітлений, його опір зменшується, так що напруга буде прагнути значення 1,8 В. Навпаки, при зменшенні освітлення опір збільшується, і напруга падає до 0 В.

Далі скористаємося бібліотекою Adafruit_BBIO.ADC для використання висновків BBB та рахуємо значення з висновку AIN1 BBB:

```
>>> import Adafruit_BBIO.ADC as ADC
>>> ADC.setup()
>>ADC.read("P9_40")
0.64435346654646456
>>>ADC.read("P9_40")
0.59456554555552234
```

Далі можливо використовувати отримані дані для перерахунку значення освітленості відповідно до рівняння, що відповідає використаному фоторезистори.

Дана схемне рішення може бути використане як визначення природного освітлення, так визначення стану ліхтаря – за відсутності необхідного освітлення подається сигнал про непрацездатність джерела освітлення.

Також для адекватної роботи системи при використанні НВЧ-датчиків необхідно враховувати наявність дощу та вітру, що можливо, використовуючи дані, що зчитуються з датчиків вологості та вітру. Докладне дослідження впливу додаткових факторів на інтелектуальну систему висвітлення планується надалі.

4.7 Проектування системи комунікації

Система комунікації, реалізована в інтелектуальній системі освітлення, визначає як спосіб комунікації між вузлами системи, а й ефективність всієї системи. Контроль за системою освітлення може бути як централізованим, і розподіленим. В цілому, [29] було показано, що розподілений контроль більш перспективний для використання в інтелектуальних системах висвітлення.

Розвиток розподілених систем призвело до виникнення поняття

міжмашинного взаємодії (M2M), якого відносять як апаратні, і програмні компоненти.

Системи M2M мають три категорії компонентів:

- пристрої, які служать як контрольно-обчислювальні пункти і утворюють фізичний рівень мережі комунікації;
- телекомунікаційні компоненти, у тому числі шлюзи між мережею інтернету та різнорідними мережами (бездротові, PLC);
- домени додатків, що володіють функцією управління.

4.8 Апаратна частина системи комунікації

За фізичним принципом комунікаційні системи можна поділити на:

- передача інформації за допомогою лінії електропередач (PLC);
- передача інформації за допомогою інформаційної шини;
- бездротове передавання інформації (RF).

Передача інформації за допомогою інформаційної шини практично не застосовується через обмеження на топологію мережі – можлива лише фізична топологія шини, а також обмеження на висновки керуючого пристрою та додаткові витрати на дроти. Таким чином розглянемо найімовірніші методи передачі – бездротовий і PLC.

4.9 Дротові системи комунікації

Передача інформації за допомогою лінії електропередач є технологією, призначеною для передачі даних за допомогою силових ліній, що використовуються для передачі електроенергії. Для цього способу передачі не потрібно додаткових виділених ліній, оскільки передача інформації здійснюється по лінії електропередачі. Виділяють два основні типи технологій PLC: вузькосмугові (NB-PLC) та широкосмугові (BB-PLC).

У широкосмуговій технології використовується смуга частот від 1,8 МГц

до 86 МГц та забезпечує швидкість передачі даних у сотні Мбіт/с. Широкопasmова технологія використовується в додатках малої дальності, що визначає високу швидкість передачі даних.

Низькочастотні PLC-системи працюють у смузі частот нижче 500 кГц. У Європі ця смуга обмежена діапазоном частот від 3 кГц до 148,5 кГц та розділена на 4 частотні піддіапазони, що регулюються CENELEC і повністю описані в стандарті EN 50065-1. Дані піддіапазони визначаються як:

- А-діапазон: 3 кГц – 95 кГц – зарезервовані для постачальників енергії для моніторингу або керування розподільних мереж низької напруги.
- В-діапазон: 95 кГц – 125 кГц – може використовуватися споживачами додатків без будь-якого протоколу доступу.
- С-діапазон: 125 кГц – 140 кГц – зарезервовані для домашніх мережевих систем з обов'язковим протоколом доступу CSMA/CA.
- D-діапазон: 140 кГц – 148,5 кГц – використовуються для сигналізації та систем безпеки без будь-якого протоколу доступу.

Основними елементами PLC-мережі є:

- PLC-контролер;
- модулі підключення;
- об'єднавча плата;
- блок живлення;
- програмне забезпечення.

Здійснення передачі полягає у застосуванні методів модуляції. Донедавна вузькосмугові системи були засновані на окремих модуляціях несучих. У такій модуляції дані були отримані шляхом зміни або модуляції параметрів несучої сигналу, наприклад: частоти модуляції (частотна маніпуляція) або фази модуляції (фазова маніпуляція).

До переваг PLC можна віднести:

- можливість швидкої адаптації існуючої мережі електропередач, що знижує витрати на проектування та експлуатацію;

- інтенсивний розвиток, який надає кілька стандартів передачі.

До недоліків можна віднести:

- згасання та спотворення, спричинені електропроводкою та підключеними електроприладами.

Що стосується інтелектуальних систем освітлення, було виявлено, що ртутні лампи негативно впливають на якість передачі даних в PLC-мережах. Цей суттєвий недолік можна уникнути, використовуючи світлодіодне освітлення.

Також використання мереж змінного струму додає гармонійні перешкоди в PLC-мережі та сприяє загасанню сигналу. Проводяться дослідження, що доводять перевагу переходу із мереж живлення змінного струму на мережі з постійним струмом.

Утруднення, пов'язане з використанням PLC-мереж в Росії, пов'язане, мабуть, зі слабким правовим забезпеченням для даної технології стосовно міської інфраструктури.

5.0 Бездротові системи комунікації

Бездротові системи комунікації, що використовуються в системах управління, включають мережі GSM/GPRS, Bluetooth мережі, Wi-Fi, Zigbee, мережі з надширокополосною передачею даних.

За дальністю зв'язку можна класифікувати:

WWAN (Wireless Wide Area Network) - бездротова глобальна обчислювальна мережа, де використовуються такі технології, як UMTS, GPRS, GSM тощо.

WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) – бездротові мережі масштабу міста, такі як WiMAX-мережа, що працює на основі стандарту IEEE 802.16 зі швидкостями 1-10 Мбіт/с у зоні 4-10 км.

WLAN (Wireless Local Area Network) – бездротова локальна мережа з дальністю дії до 100 м. Wi-Fi (IEEE 802.11) – найвідоміший набір стандартів.

WPAN (Wireless Personal Area Network) – бездротова персональна мережа, призначена для передачі даних з низькою швидкістю та частотою передачі 2.4 ГГц. Bluetooth, ZigBee – найвідоміші представники цієї категорії.

Переваги бездротової передачі даних:

- усунення всіх можливих витрат, пов'язаних із фізичним зв'язком елементи системи;
- можливість встановлення з'єднання для пристроїв, які використовують різні протоколи передачі даних від різних виробників;
- можливість автоматично переконфігурувати мережу під час додавання нового елемента.

Було проведено порівняльний аналіз бездротових та PLC-мереж (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 - Порівняльний аналіз бездротових мереж та PLC-мереж

Бездротові мережі	Вузькосмугові PLC-мережі (3-500 кГц)
Вибірковість каналу за часом обумовлена мобільністю вузлів..	Вибірковість у часі обумовлена випадковими перемикаваннями в енергосистемі.
Стохастичний характер зміни часу визначається за допомогою доплерівського спектру.	Зміна в часі, як правило, періодична з періодом, що дорівнює половині від мережі змінного струму з логнормальним селективним завмиранням за часом.
Потужність зменшується згідно $d^{-\eta/2}$, де d – відстань, η – стала поширення.	Потужність зменшується згідно $e^{-\alpha(f)d}$ вздовж лінії електропередачі і далі згасає під час проходження через трансформатори.
Додатковий шум зазвичай є стаціонарним і Гаусовським.	Додатковий шум є не Гауссовським та імпульсним з циклічним компонентом
Середовище поширення сигналів, що динамічно змінюється.	Фіксована топологія мережі забезпечує детермінованість процесу розповсюдження сигналу
Лімітована інтерференція	Потенційна інтерференція обмежена неузгодженими користувачами через збільшення розгортання різних стандартів.
Багатоканальний вхід – багатоканальний вихід (MIMO) широко використовується, наприклад, WiMAX та LTE	MIMO порядку ($\#$ проводів – 1) можлива (як, наприклад, у стандарті G.9964 MIMO для BB-PLC)
Глобальна синхронізація через мережу скрутна	Несучий сигнал змінного струму може спростити синхронізацію

Згідно з порівняльним аналізом на даний момент найперспективнішим варіантом для використання в інтелектуальній системі освітлення є бездротові технології, такі як ZigBee та Wi-Fi, так як вимагають менших витрат на встановлення та експлуатацію. Можливість використання Wi-Fi мереж реалізується зараз у рамках проекту SmartLighting в Німеччині.

Але водночас, згідно з таблиці 4.7 ZigBee передбачає більшу кількість вузлів комунікації та дозволяє економічно витратити електроенергію.

Таблиця 4.7 – Порівняння стандартів передачі інформації

	ZigBee	Wi-Fi	Bluetooth
Стандарт IEEE	802.15.04	802.11 b/g	802.15.01
Призначення	Управління	Широкосмугова мережа	Мобільні пристрої
Кількість пристроїв в мережі	До 65 000	32	7
Робоча зона	100 м	100 м	10 м
Час роботи батареї	100-1000 днів	1-5 днів	1-7 днів

5.1 Програмна частина системи комунікації

Як базові механізми, що використовуються в програмній частині системи комунікації, є:

- загальна пам'ять: загальна область пам'яті встановлюється між процесами взаємного обміну;
- механізм повідомлень: механізм повідомлень є одним із комунікаційних примітивів, що використовуються для зв'язку між процесами. Процеси взаємодіють один з одним, приймаючи та відсилаючи між собою повідомлення;
- конвеєр (pipeline communication): механізм, який виконує перенаправлення введення-виведення, тобто. те, що виводить на потік стандартного виведення попередній процес, потрапляє в потік стандартного введення наступного процесу;

- Сокети: кожна сторона відкриває порт для встановлення сокет-з'єднання, через яке відбувається передача даних.

Інтелектуальна система освітлення, що розробляється, не включає центрального блоку управління. Але це твердження правильне лише щодо апаратної реалізації - немає спеціального пристрою у системі, яке централізовано керує і контролює світильники. Однак якщо розглядати логічні рівні функціональної схеми системи, такий центр існує (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8 – Структура інтелектуальної системи освітлення

Центральний блок управління (Програм. Забезпечення)
Скрипти
Маршрутизація/Рівень комунікації
Середовище передачі / Фізичний рівень
Рівень програмного забезпечення

Центральний блок управління є керуючим елементом системи. Він контролює інші шари, шари, як показано в таблиці 9, отримує сигнали від датчиків, встановлює зв'язок між вузлами і контролює рівень освітленості джерела освітлення. Таким чином, центральний блок керування асоціюється з кожним вузлом інтелектуальної системи освітлення. В ході роботи відбувається комунікація між даними вузлами та реалізація відповідних сценаріїв.

При виявленні руху дані з датчика передаються на центральний блок управління, який, у свою чергу, визначає напрямок, швидкість, момент виявлення руху та географічні або логічні координати, після чого отримана інформація обробляється та видається команда джерелу освітлення. Далі центральний блок управління посилає повідомлення про виявлення руху сусіднім вузлам чи отримує від нього відповідь.

IPv6-автоконфігурація мережі та отримання інформації про комфортну зону освітлення при виявленні руху - сценарії, які запускаються за допомогою центрального блоку управління, коли вони необхідні.

Для виявлення об'єкта, що рухається, і певному напрямку руху необхідно,

щоб кожен ліхтар володів координатами, на основі яких можливе присвоєння кожному ліхтарю унікального розташування. Для цієї мети в інтелектуальній системі освітлення, що розробляється, використовується спеціальна схема адресації (рисунок 4.13).

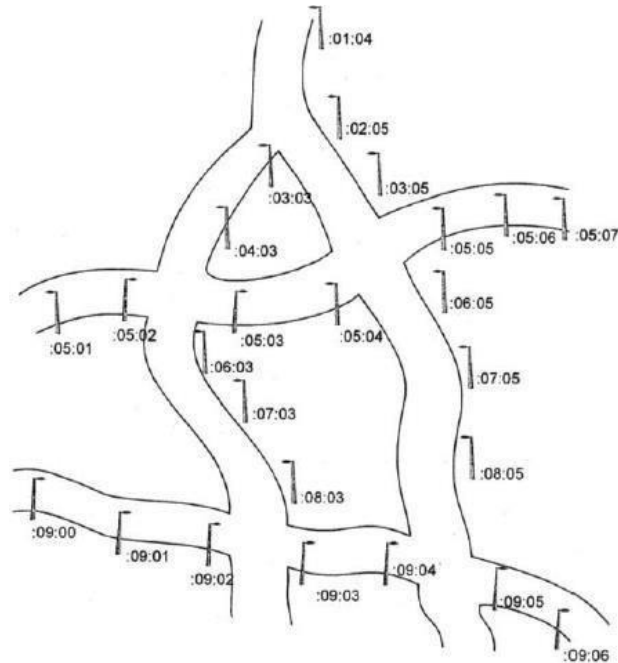


Рисунок 4.13 - Схема адресації, яка використовується інтелектуальні систем освітлення

Таким чином, передбачається використання схеми адресації, заснованої на двовимірній структурі сітки з координатами X і Y . Ці координати кодуються в адресу мережі кожного мережного вузла. Інформація про місцезнаходження є або логічний, заснований на декартовій системі координат з початком координат $(0; 0)$, або абсолютна, на основі абсолютних географічних координат, що включають довготу та широту, отримані за допомогою модуля GPS.

Автоконфігурування IPv6 реалізує кодування розташування в IPv6-адресу кожного мережного вузла, і таким чином позиціонує кожен вузол на сітці. Ця функція є перевагою, оскільки розташування вуличного ліхтаря може бути встановлене за допомогою запиту IP-адреси відповідного вузла.

В якості другої частини автоконфігурування IPv6 відбувається

визначення сусідніх ламп для кожної лампи, таким чином будуючи мережеву топологію ламп, які потім дають можливість відповідним чином реагувати на певний напрямок руху.

Перед включенням відповідних вогнів для учасників дорожнього руху системою визначається зона освітлення лише необхідного простору. Для роботи даного алгоритму необхідні наступні входні параметри: місцезнаходження виявленого об'єкта, напрямок руху та швидкість руху.

5.2 Розробка алгоритму роботи інтелектуальної системи освітлення

Розглянувши можливі технології для реалізації інтелектуальної системи освітлення, було розроблено схему вузла інтелектуальної системи освітлення згідно з рисунком 4.14.

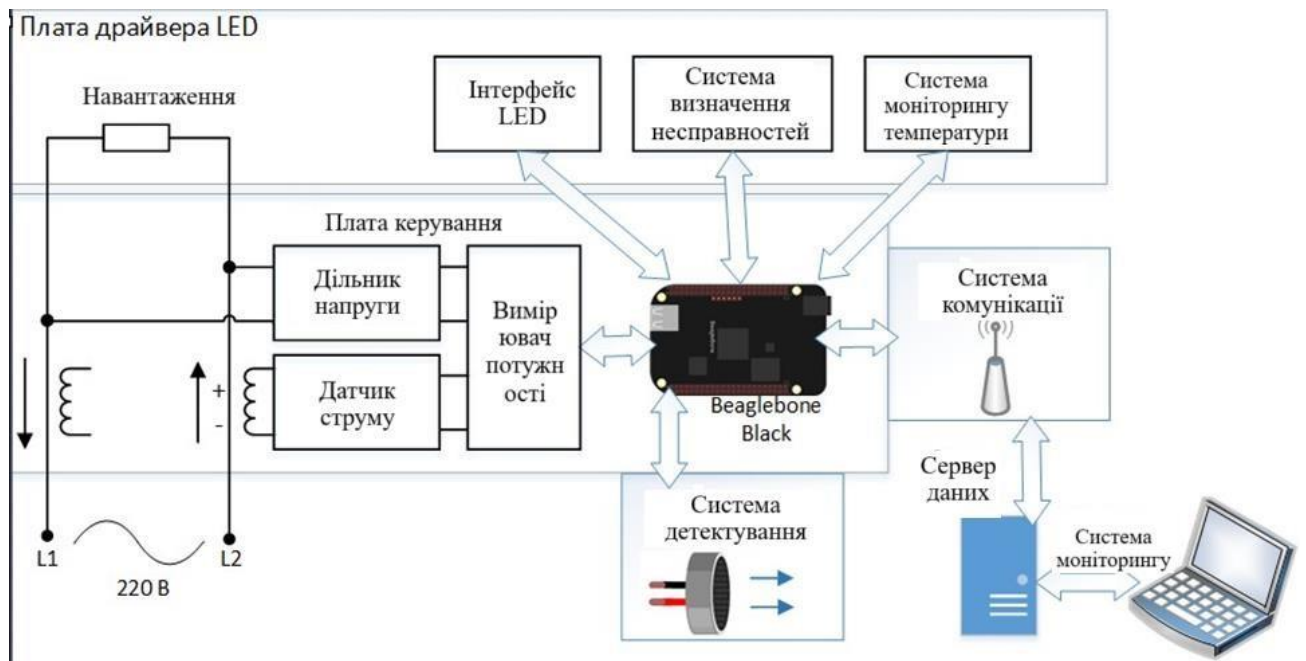


Рисунок 4.14 - Блок-схема вузла інтелектуальної системи освітлення

Як центральний керуючий пристрій обраний мікрокомп'ютер Beaglebone Black, який здійснює управління системами детектування та комунікації, живленням джерела освітлення, платою управління освітленням. Вимірник

потужності дозволяє вимірювати силу струму, потужність, що використовується для подальшого керування освітленістю залежною від поданої напруги. Система детектування визначає зміна зовнішніх умов, з урахуванням чого приймається рішення про рівень освітленості. У плату драйвера LED включені реалізований інтерфейс, необхідний для управління ліхтарем, система визначення несправностей, яка дозволяє оперативно реагувати на несправності, система моніторингу температури, яка необхідна для запобігання перегріву плати, що може призвести до несправності.

Система комунікації включає як функції передачі між рівнозначними вузлами мережі, і функції передачі на сервер даних наступного моніторингу оператором.

Далі для створення повноцінної системи необхідна комбінація вузлів, розглянутих вище, створення програмної частини, налаштування та налагодження системи. Розгляд даних питань зачіпає визначення конфігурації системи, що неможливе без визначення відповідних обмежень та вимог до системи, що розглядається далі.

5.3 Попередні дослідження інтенсивності дорожнього руху

У цьому розділі розглядаються результати досліджень інтенсивності дорожнього руху автомобілів, проведених у місті Київ колективом з Київського державного архітектурно-будівельного університету, та пішоходів, проведених у місті Кетені, земля Саксонія-Анхальт, Німеччина, колективом з лабораторії FPLA Університету прикладних наук Анхальта.

Застосування результатів передбачається використовувати на вулицях Києва - Савіних і Радянська як передбачувані вулиці для тестування інтелектуальної системи освітлення. Таке припущення можливе за рахунок тотожності категорій вулиць, що враховуються в дослідженнях та передбачуваних вулиць для реалізації системи освітлення. На рисунку 4.15 представлені результати дослідження інтенсивності руху автомобілів.

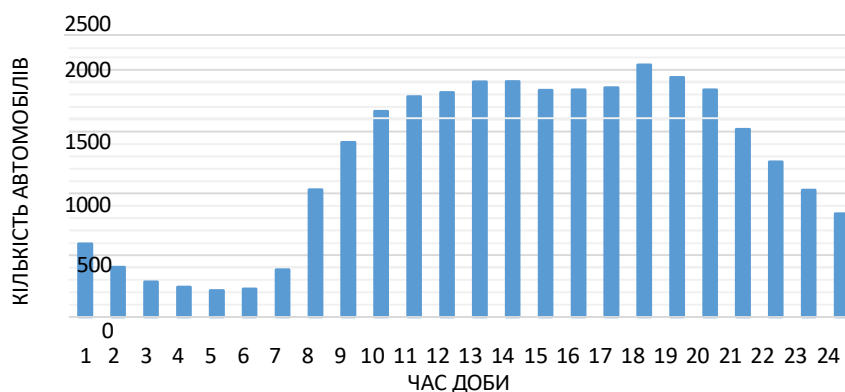


Рисунок 4.15 – Середня інтенсивність руху автомобілів у Києві в залежності від часу доби

Прийmemo, що в середньому потрібний час освітлення – від 20:00 до 5:00. Тоді за цей час інтенсивність руху – від 216 до 1521 од/ч..

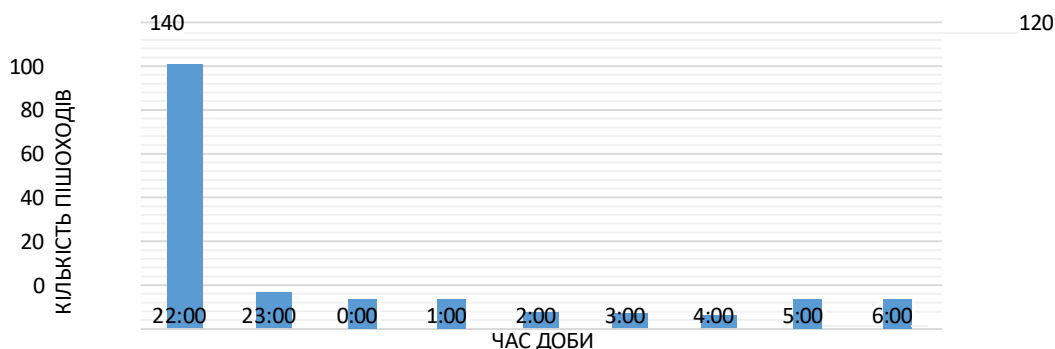


Рисунок 4.16 – Середня інтенсивність руху пішоходів у Кетені в залежності від часу доби

Інтенсивність руху пішоходів у період необхідного освітлення становить від 6 до 120 од./год. Отримані дані використовуються в наступному розділі для визначення категорії доріг для вибору оптимального рівня освітленості.

5.4 Правові особливості проектування дорожніх просторів

Цей розділ висвітлює правові питання проектування вуличних систем освітлення насамперед з погляду норм освітленості та конструкцій елементів освітлення для планування елементів системи освітлення з певною потужністю. Вимоги щодо освітленості дають змогу впровадити відповідні обмеження під час

імплементатії алгоритму роботи інтелектуальної системи освітлення - як в апаратній частині, так і в програмній.

Аналіз документації ґрунтується на ключових документах із проектування вуличного освітлення міст:

- правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Видання сьоме;
- СНиП 3.05.06-85. Електротехнічні пристрої;
- СН 541-82. Інструкція з проектування зовнішнього освітлення міст, селищ і сільських населених пунктів.

Згідно з проведеним дослідженням інтенсивності дорожнього руху, можемо зробити висновок, що категорія розглянутих вулиць належить до В2 (таблиця 4.10) згідно з СП 52.13330.2011.

Таблиця 4.10 – Дані для визначення категорії дороги

Категорія об'єктів		Клас	Основне призначення об'єкта	Транспортна характеристика	Розрахункова швидкість, км/год	Число смуг руху в обох напрямках	Пропуск на спроможність, тис. од/год
Вулиці та дороги місцевого значення	Житлова забудова в центрі міста	В2	Транспортні та пішохідні зв'язки в житлових мікрорайонах, вихід на магістралі	Легковий, спеціальний і вантажний транспорт, що обслуговує, рух регульований, перетинання в одному рівні	60	2-4	1,5-3

Для знайденої категорії визначимо норми освітленості (таблиця 4. 11).

Таблиця 4.11 - Нормовані показники для дороги з регулярним транспортним рухом з асфальтобетонним покриттям

Категорія об'єкта	Клас об'єкта	Середня яскравість дорожнього покриття $L_{ср}$, кд/м,	Загальна рівномірність розподілу яскравості дорожнього покриття $L_{мін} / L_{ср}$,	Поздовжня рівномірність розподілу яскравості дорожнього покриття $L_{мін} / L_{макс}$,	Середня освітленість дорожнього покриття $E_{ср}$, лк, не менше	Рівномірність розподілу освітленості дорожнього покриття $E_{мін} / E_{ср}$, не менше

		не менше	не менше	не менше		
В	В2	0,6	0,4	0,5	10	0,25

Освітлення проїжджої частини ділянок вулиць, доріг і площ міських поселень зі стандартною геометрією з регулярним транспортним рухом слід проектувати виходячи з норм середньої яскравості дорожніх покриттів $L_{\text{ср}}$, сліпучої дії та загальної і поздовжньої рівномірності розподілу яскравості дорожнього покриття $L_{\text{мін}} / L_{\text{ср}}$ и покриття $L_{\text{мін}} / L_{\text{макс}}$ і при цьому середня яскравість або середня освітленість покриття проїжджої частини в межах транспортного перехрещення у двох і більше рівнях на всіх перехрещуваних магістралях має бути як на основній з них, а на з'їздах і відгалуженнях - не менше ніж 1,2 кд/м², або 15 лк.

На вулицях, дорогах і транспортних зонах площ порогове збільшення яскравості не повинно перевищувати 15% у діапазоні 0,4-1,0 кд/м². А також на ділянках міського простору, де нормується освітленість, потрібно обмежити граничну силу світла світильників в установці в напрямку водіїв під кутами 80° і 90° від вертикалі відповідно значеннями 30 і 10 кд на 1000 лм сумарного світлового потоку ламп у світильнику.

Інтелектуальна система освітлення дає змогу знижувати освітленість у разі зменшення інтенсивності дорожнього руху. При цьому необхідне дотримання норм безпеки для запобігання дорожньо-транспортним пригодам, а також збільшення рівня злочинності. Згідно з [53] у нічний час допускається знижувати рівень зовнішнього освітлення міських вулиць, доріг і площ у разі нормованої середньої яскравості понад 0,8 кд/м² або середньої освітленості понад 15 лк:

- на 30 % у разі зменшення інтенсивності руху до 1/3 від максимальної величини;
- на 50 % у разі зменшення інтенсивності руху до 1/5 від максимальної величини.

Також у нічний час не допускається часткове вимкнення світильників за

однорядного їхнього розташування та встановлення по одному світильнику на опорі, а також на пішохідних містках, автостоянках, пішохідних алеях і дорогах, внутрішніх, службово-господарських і пожежних проїздах, а також на вулицях і дорогах сільських поселень. Для надійної орієнтації водіїв і пішоходів світильники повинні розташовуватися таким чином, щоб утворена ними лінія ясно й однозначно вказувала на напрямок дороги.

Крім чисельного значення освітленості необхідно визначити зону освітленості, яка має бути більшою за відстань безпечного гальмування учасників дорожнього руху. У таблиці 4.12 подано залежність цієї відстані від швидкості руху.

Таблиця 4.12 - Відстань безпечного гальмування

Показник	Проектна швидкість руху, км/год				
	40	60	80	100	120
Відстань безпечного гальмування, м	25	55	100	155	220

Під час установлення ліхтарів необхідно враховувати крок світильників - відстань між світильниками або їхніми комплексами в одному ряду за лінією їхнього розташування вздовж вулиці. Відношення кроку світильників до висоти їхнього підвісу на вулицях і дорогах усіх категорій повинно бути не більше ніж 5:1 у разі однобічного, осьового або прямокутного розміщення світильників і не більше ніж 7:1 у разі шахової схеми розміщення.

Таким чином, було розглянуто ключові правові особливості проектування систем освітлення. Ці вимоги включено до доказової бази технічного регламенту, і, відповідно, вони обов'язкові до виконання. Дотримання регламентуючих правил, встановлених у вивченій документації, дасть змогу задовольнити необхідні вимоги безпеки, що є важливою особливістю інтелектуальної системи освітлення.

5.5 Алгоритм роботи інтелектуальної системи освітлення

Крім розглянутих аспектів, що зачіпають обмеження в галузі права, проєктована інтелектуальна система освітлення має такі технічні характеристики, розглянуті раніше:

система є децентралізованою;

- мережевий протокол, який використовується в системі, - IPv6;
- кожен вузол самоналаштовується відповідно до зовнішніх умов;
- система дає змогу використовувати як PLC, так і Wi-Fi, ZigBee.

З урахуванням розглянутих обмежень побудуємо функціональну схему для інтелектуальної системи освітлення (рисунок 4.17).

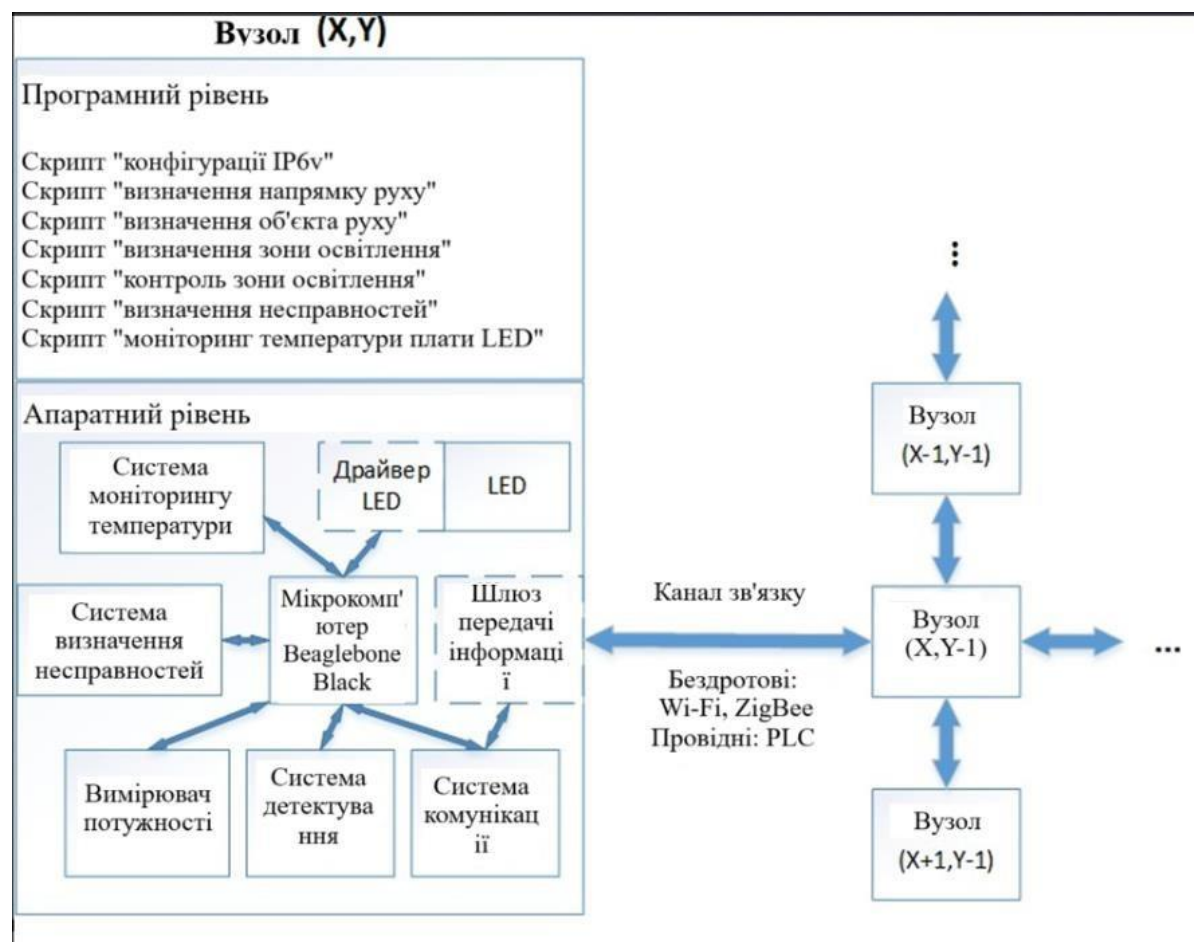


Рисунок 4.17 - Функціональна схема інтелектуальної системи освітлення

Розглянемо алгоритм роботи для інтелектуальної системи освітлення (рисунок 4.18).

Алгоритм роботи інтелектуальної системи освітлення такий:

1. Відбувається ініціалізація системи, запуск скриптів початкового налаштування системи.
 2. Виконується скрипт автоконфігурації вузлів системи для призначення адрес кожному вузлу системи, створюється список сусідніх вузлів для кожного вузла.
 3. Далі в процесі роботи системи одночасно виконуються скрипти керування освітленням, визначення несправностей у системі та моніторингу температури плати LED.
- 3.1 Відбувається постійне опитування стану датчиків.
- 3.1.1 На підставі даних із датчиків виконується визначення об'єкта руху - руху автомобіля, мотоцикла та велосипеда, що належать до категорії транспортних засобів (С), або пішохода (Р), для яких потім виконуються наступні команди.
 - 3.1.2 В іншому разі можливе помилкове спрацювання датчиків через перешкоди - тоді система ігнорує таку подію. За допомогою датчиків визначаються напрямок (за допомогою кута (α) відносно координат розміщення датчика) і швидкість руху (v).

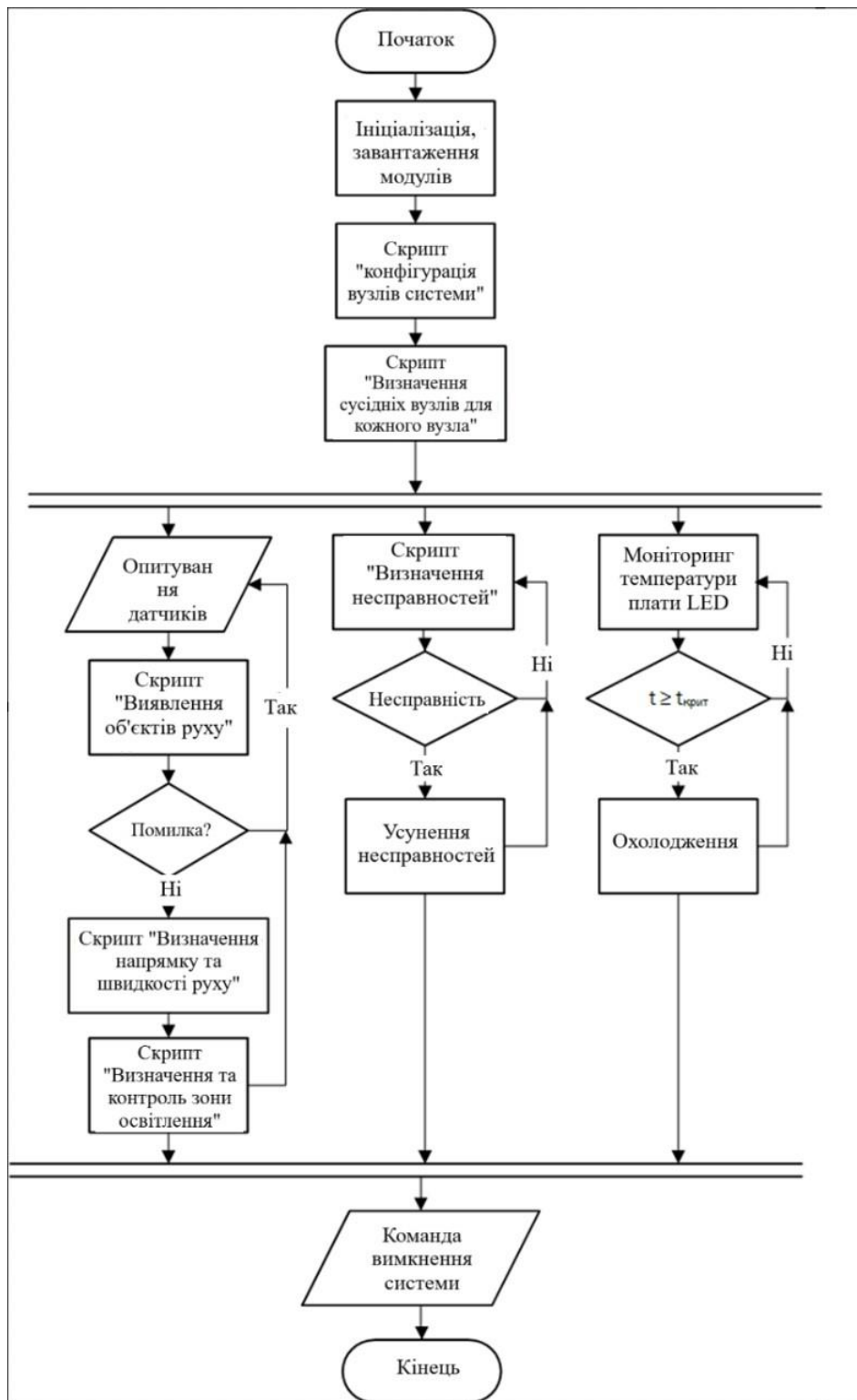


Рисунок 4.18 - Загальний алгоритм роботи інтелектуальної системи освітлення
Можливі події (Е) при визначенні об'єкта руху:

- присутність людей та/або транспортних засобів, що і було виявлено;
- присутність людей та/або транспортних засобів, що не було виявлено;
- відсутність людей та/або транспортних засобів, що було виявлено;
- відсутність людей та/або транспортних засобів, що не було виявлено.

Другий і четвертий сценарії мають бути ідентифіковані системою як помилки і не повинні спричиняти неадекватних дій з боку системи, тобто має відбуватися обробка помилок.

3.1.3 Виконується скрипт з визначення зони освітленості на підставі отриманих даних і виконується контроль рівня освітлення. При видаленні об'єкта із зони освітленості відбувається зниження рівня освітленості до того, що було в стані спокою.

3.2 Виконується скрипт визначення несправностей.

3.3 Виконується моніторинг температури плати LED для запобігання перегріву, що може призвести до несправності ліхтаря та його плати.

4. У разі команди вимкнення системи, відбувається безпечне вимкнення інтелектуальної системи освітлення.

Далі було детальніше розглянуто алгоритми роботи для скрипта "Визначення та контроль зони освітлення". Визначення зони освітленості має відбуватися згідно з вимогами безпеки, які, своєю чергою, залежні від зони видимості, необхідної під час руху з відповідною швидкістю, що описується поліноміальною залежністю другого порядку (рисунок 4.19):

$$s \geq 10,5v^2 - 23,8 + 107,14.$$

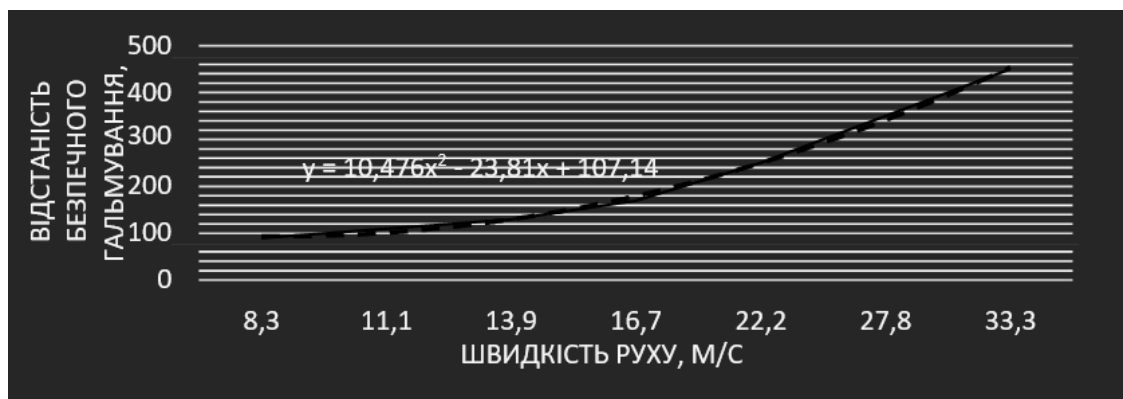


Рисунок 4.19 - Залежність відстані безпечного гальмування від швидкості руху

При цьому зона освітлення попереду має дорівнювати або бути більшою за зону видимості.

З визначених даних, зрозуміло, що можливо знизити рівні освітленості на 30 % і 50 % у разі зменшення інтенсивності руху до 1/3 і до 1/5 від максимальної

величини, відповідно.

Інтенсивність у нашому випадку здебільшого падає до 1/5 від максимальної величини, отже, застосуємо в алгоритмі зниження на 50% освітленості.

Було визначено усереднену залежність світлового потоку від напруги та потужності, що виробляється на лампі (таблиця 4.13). Розгляд значень світлового потоку доречний, оскільки зв'язок між освітленістю і світловим потоком прямо пропорційний.

Таблиця 4.13 - Зв'язок значень світлового потоку і напруги ліхтарів

	1/5	2/5	3/5	4/5	Макс. Рівень
Напруга, В	140	160	180	200	220
Потужність, Вт	199	244	293	345	400
Світловий потік, лм	4774	7498	11165	15941	22000

Залежність світлового потоку від напруги відповідно до рівняння лінії тренду (рисунок 4.20) може бути представлена як:

$$\Phi = 555,64V^2 + 955,64V + 3296,6$$

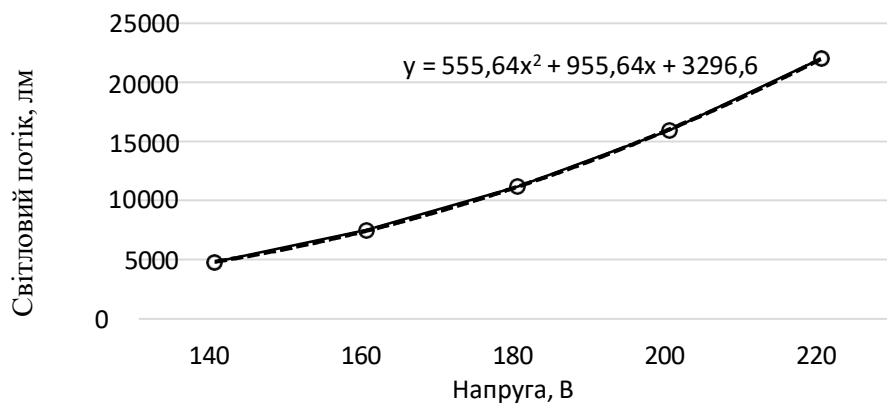


Рисунок 4.20 - Залежність світлового потоку від напруги світлодіодного ліхтаря

Під час проходження людини визначимо значення освітленості як 40 % від максимального значення. Освітленість у темний час доби і в стані спокою падає до 10 % від максимального значення. Увімкнення інтелектуальної системи освітлення доцільне при зниженні природного освітлення до 20 лк, а вимкнення - при його підвищенні до 10 лк.

Таким чином, визначимо сценарії, що визначають різний рівень освітленості (таблиця 4.14)

Таблиця 4.14 - Сценарії різних рівнів освітленості

Сценарій №	Подія: С або Р	Інтенсивність(I)	Природна освітленість,лк	Освітленість (E)
1	Транспортний засіб	$\leq 1/5$	≤ 20	$0,5 \cdot E$
2	Транспортний засіб	$1/5 < I \leq 1/3$	≤ 20	$0,7 \cdot E$
3	Транспортний засіб	$1/3 \leq$	≤ 20	E
4	Пішохід	-	≤ 20	$0,4 \cdot E$
5	-	-	≤ 20	$0,1 \cdot E$
6	Транспортний засіб або пішохід	Будь-яка, але на перехресті	≤ 20	E
7	Транспортний засіб і пішохід при перетині зон освітленості	Будь-яка	≤ 20	E або $0,7 \cdot E$ або $0,5 \cdot E$

На основі розглянутих вхідних даних і сценаріїв побудуємо алгоритм для скрипта "Визначення та контроль зони освітлення" (рисунок 4.21).

Даний алгоритм виконується для одного вузла, в якому виконується ідентифікація об'єкта руху, відбувається визначення зони освітлення і здійснюється контроль рівня освітлення. Потім повідомлення з інформацією про необхідний рівень освітлення передається на всі вузли в зоні освітлення, яка визначається цілим числом від добутку відстані зони освітленості на щільність розміщення вузлів плюс один вузол. На сусідніх вузлах у разі приймання повідомлення автоматично запускається необхідний сценарій. При цьому важливим є виконання одного сценарію для дотримання однорідності освітлення у всій зоні. У разі зміни курсу руху, швидкості або напрямку об'єкта, інформація зчитується на інших вузлах і надсилається на вузли знову, внаслідок

чого відбувається оновлення сценарію.

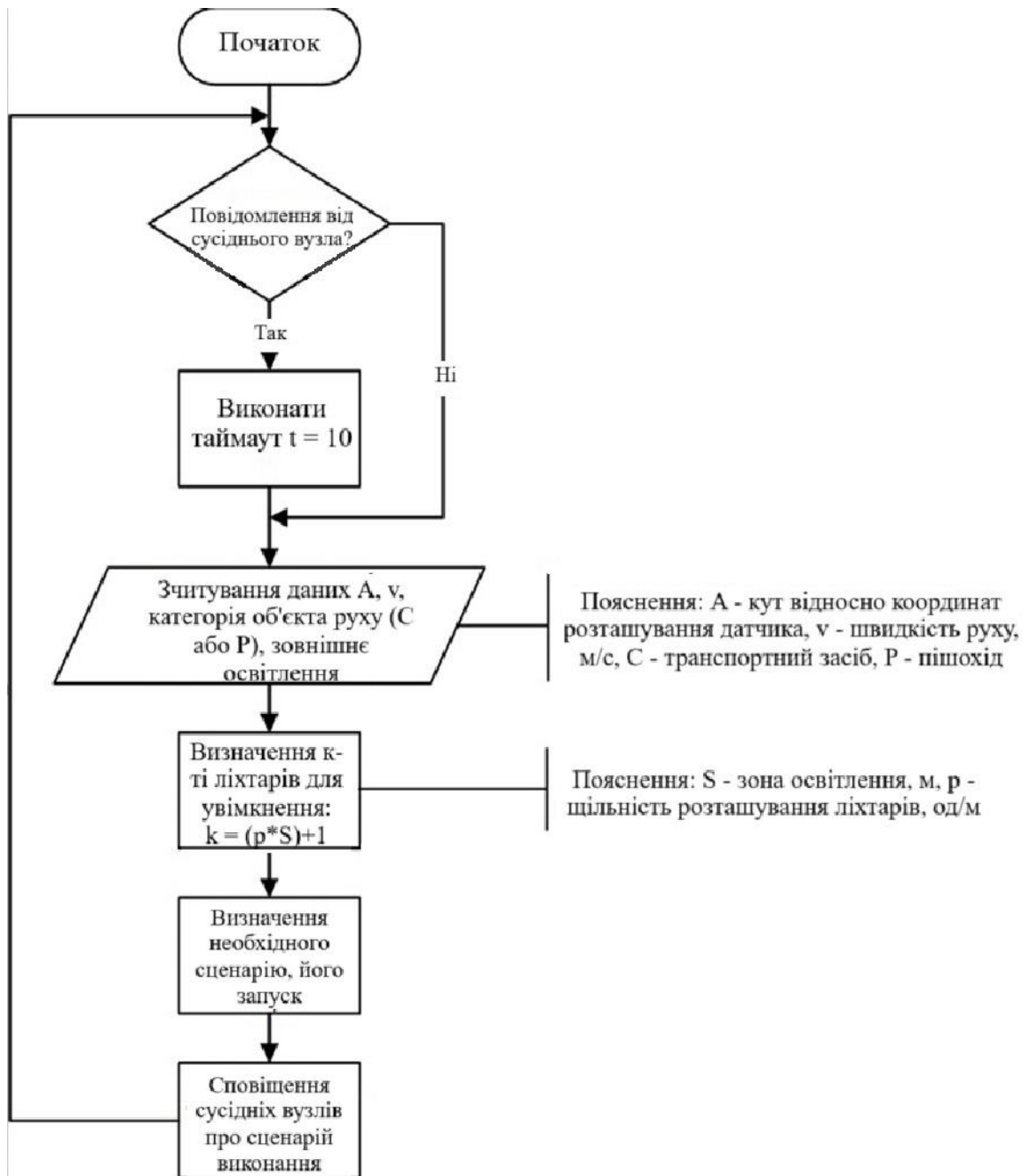


Рисунок 4.21 - Алгоритм роботи скрипта

Визначення зони освітлення залежить як від параметрів, що зчитуються датчиками, так і від структури системи освітлення, розташування ліхтарів на дорожньому просторі: одностороннє, дворядна в шаховому порядку, дворядна прямокутна, осьова, дворядна прямокутна по осях руху, дворядна прямокутна по осі вулиці.

Розглянутий алгоритм може застосовуватися на вулицях Савіних і Радянській (рисунок 4.22). Це можливо, оскільки дотримуються початкові умови щодо інтенсивності руху, категорії доріг.

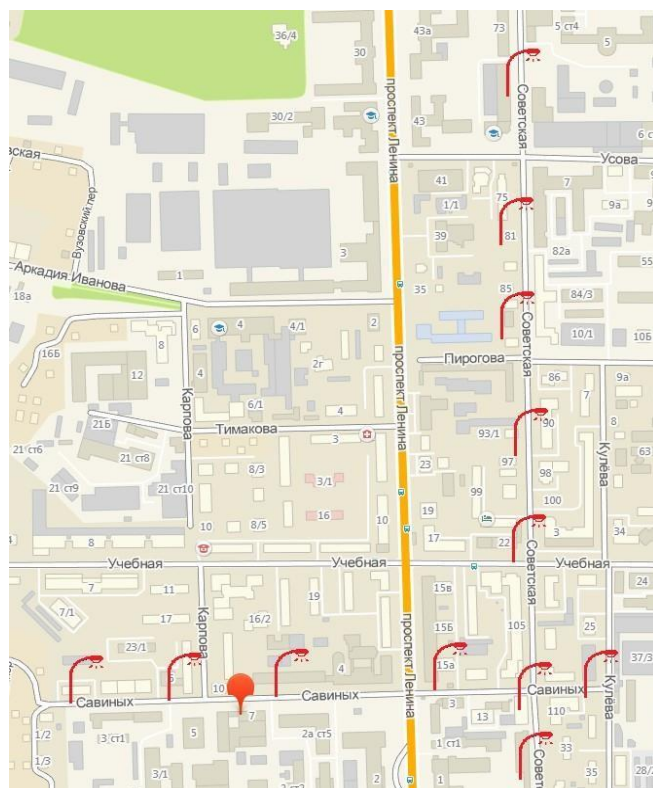


Рисунок 4.22 - Запропонована ділянка дорожньої мережі для застосування інтелектуальної системи освітлення

5.6 Техніко-економічне обґрунтування впровадження інтелектуальної системи освітлення в місті Київ

Обрана конфігурація інтелектуальної системи освітлення, є найбільш оптимальною згідно з попередніми дослідженнями, проведеними в проєкті SmartLighting. Так, якщо порівнювати обрану інтелектуальну систему освітлення з типовою системою освітлення на основі газорозрядних ламп, то економія може становити до 77,93 %. Розглянемо найбільш оптимальне обладнання для цієї конфігурації.

Розрахунок системи проводиться з урахуванням переобладнання наявних ліхтарних стовпів, таким чином їхня кількість залишається такою самою і

становить 46 одиниць, встановлених на розглянутих ділянках вулиць Савіних і Радянська.

Як датчики, що застосовуються в системі, було обрано комбінований датчик руху Сокіл-3, датчик освітленості PDV-P8001. Як систему комунікації, пропонується використовувати модулі XBee ZigBee RF, що працюють на основі стандарту WiMAX. Керуючий модуль обирається з альтернатив згідно з таблицею 4.15.

Таблиця 4.15 - Альтернативи вибору керуючого модуля

	RaspBerry Pi	Arduino	Beaglebone
Ціна, \$	25	35	50
Опер. система	Linux	Виробника	Linux
Підходить для	Проектів з ухилом у програмну сферу	Проектів з ухилом в апаратну сферу	Проектів з ухилом в програмну область
Кількість виводів	8 цифрових	14 цифрових, 6 аналогових	65 цифрових

Оптимальним рішенням за співвідношенням ціни та необхідного функціоналу є використання Raspberry Pi.

Як джерело освітлення було обрано світлодіодні світильники вуличного освітлення SLED-Street-7-40-III-5 [59] і відповідні драйвери 104V300MA. Більш того, необхідні витрати на встановлення та обслуговування, які становлять 1237 грн. за ліхтарний стовп.

Таким чином, необхідне обладнання для реалізації інтелектуальної системи освітлення може бути представлено в таблиці 4.16.

Таблиця 16 - Кошторис витрат на встановлення

Найменування	Кількість	Ціна	Сумма, грн.
Комбінований	46	688 грн.	31648
Датчик руху Сокіл-3	10	0,95 \$ = 39 грн.	390
Датчик освітленості PDV-P8001	46	28,9 \$ = 1175 грн.	54050
Модуль XBee ZigBee RF	46	25 \$ = 1017 грн.	46782
RaspBerry Pi	46	2745,70 грн.	113882
Світлодіодний світильник SLED-Street-	46	290,59 грн.	13367
		566,07 грн.	26036
			286155

Таким чином, витрати на обладнання, установку й обслуговування становлять 286155 грн.

Далі розрахуємо річну економію електроенергії:

$$\mathcal{E}_n = (P_{\text{дрл}} - P_{\text{свд}}) \cdot n \cdot N_{\text{ч}} \cdot K_c,$$

де \mathcal{E}_n - економія електроенергії в натуральному еквіваленті за рік, кВт·год,

$P_{\text{дрл}}$ - установленная мощность используемой в настоящее время ртутной лампы высокого давления, Вт,

$P_{\text{свд}}$ - встановлена потужність світлодіодної лампи, Вт,

n - кількість ламп,

$N_{\text{ч}}$ – середня тривалість годин роботи світильників у році, що визначається як добуток кількості днів роботи ламп у році на кількість годин роботи на день (365 днів * 7 годин на день);

K_c - коефіцієнт використання (на даний момент тільки доступна експертна оцінка на основі розробленого алгоритму, представленого в розділі 5).

$K_c = 0,2 + 0,8 \cdot 0,5 = 0,6$ – розподіл 20 % для освітлення перехресть, де не відбувається зменшення рівня освітленості, і 80 % для освітлення вулиць, де в середньому рівень освітленості становить половину від максимального значення.

Отримуємо річну економію електроенергії:

$$\mathcal{E}_n = 0,25 \cdot 46 \cdot 2555 - 0,04 \cdot 46 \cdot 2555 \cdot 0,6 = 26561,78 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Тоді річна економія в грошовому вираженні дорівнює:

$$\mathcal{E}_{\text{ден}} = \mathcal{E}_n \cdot T_{\text{э}},$$

де $T_{\text{э}}$ – тариф на електроенергію (грн.).

Підставляючи актуальні значення тарифу на електроенергію, отримуємо:

$$\mathcal{E}_{\text{ден}} = 26561,78 \text{ кВт} \cdot \text{год} * 4,30 \text{ грн./кВт} \cdot \text{год} = 114746,88 \text{ грн}.$$

На основі отриманих значень витрат та економії можемо розрахувати простий термін окупності (кількість періодів):

$$PP = \frac{I}{E_t},$$

де I – інвестиції (капітальні витрати) у проект,

E_t – економія в період часу (на етапі t).

Таким чином, знаходимо термін окупності впровадження розробки за поточних рівнів вартості іноземної валюти відносно української гривні (на 31.05.2024):

$$PP = \frac{286\,155 \text{ грн.}}{114\,746,88 \text{ грн.}} = 2,5 \text{ років}$$

ВИСНОВКИ

Під час виконання випускної кваліфікаційної роботи було проведено аналітичний огляд технічних рішень у сфері інтелектуальних систем освітлення, концепції розумного міста. Розглянуто можливі альтернативи для структурних частин інтелектуальної системи освітлення, обрано конфігурацію, що відповідає максимальній ресурсоефективності при створенні та експлуатації системи.

Проведено порівняльний аналіз можливих елементів системи детектування, використовуваної в інтелектуальній системі освітлення для отримання необхідної адаптивності системи залежно від мінливих зовнішніх умов - наявності дорожнього руху та природної освітленості. Використовуючи типові датчики руху і присутності різних типів, було розроблено експериментальну установку, за допомогою якої проведено експериментальні дослідження швидкості реакції датчиків на рух у зоні контролю, під час якої було визначено оптимальні датчики для детектування руху в зоні контролю.

На основі аналітичного огляду можливих технологій комунікації було обрано оптимальні варіанти для використання в проєктованій системі освітлення, а також розглянуто варіанти їхнього поєднання з розробленими рішеннями з автоконфігурування та визначення сусідніх вузлів у межах проєкту SmartLighting.

Було проведено огляд правової інформації з проєктування та розроблення систем вуличного освітлення в Україні, і, використовуючи результати досліджень щодо інтенсивності дорожнього руху, було розроблено алгоритм визначення та контролю зони освітлення.

Проведено техніко-економічне обґрунтування впровадження інтелектуальної системи освітлення в місті Київ на прикладі вулиць Савіних і Радянська, що може бути використано в подальшій імплементації проєкту з розроблення інтелектуальної системи освітлення в Києві.

У дипломній роботі було проведено аналіз економічної ефективності

розроблення інтелектуальної системи освітлення, розроблено план робіт для ефективної реалізації проєкту, а також визначено суму проєкту. Крім того, було розроблено комплекс заходів щодо забезпечення безпеки, як під час розроблення, так і під час експлуатації розроблюваної системи.

Таким чином, отримані результати доповнюють розроблені елементи інтелектуальної системи освітлення науковим колективом лабораторії FPLA Університету прикладних наук Анхальта в рамках проєкту SmartLighting і дають змогу використовувати їх під час впровадження системи в будь-якому українському місті.

Варто зазначити, що отримані результати використовуються в умовах правової невизначеності, оскільки в офіційних державних документах наразі не фігурує термін "інтелектуальна система освітлення".

ПЕРЕЛІК ДЖНРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Алієв, Т. Г., Гурбанова, Л. К. Інтелектуальні системи управління та автоматизації. - К.: Техніка, 2018.
2. Андрієнко, В. А., Іванов, С. В. Системи управління освітленням на основі мікроконтролерів. - Харків: Основа, 2019.
3. Артем'єв, А. І. Сучасні технології автоматизації в громадських місцях. - Донецьк: Видавництво ДонНТУ, 2020.
4. Білінський, О. П., Гаврилук, М. І. Програмування мікроконтролерів для систем управління освітленням. - Львів: Видавництво ЛНУ, 2017.
5. Дмитро Вишневецький. Практичний посібник з програмування на C++. - Харків: Фоліо, 2017.
6. Брайан Оверленд. Зрозуміти і використовувати C++. - Дніпро: Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, 2014.
7. Бондаренко, Ю. В., Гончар, Д. М. Технології автоматизації будівель: теорія та практика. - Київ: Політехніка, 2016.
8. Ковальчук, П. М., Шевченко, І. В. Автоматизація управління освітленням: практичний посібник. - Одеса: Астропринт, 2018.
9. Литовченко, О. М. Основи проектування інтелектуальних систем управління. - Харків: ХНУРЕ, 2020.
10. Мельник, В. І., Костюк, С. О. Використання сучасних мікроконтролерів в автоматизації освітлення. - Вінниця: ВНТУ, 2019.
11. Петров, А. В. Інтелектуальні системи: від теорії до практики. - Запоріжжя: ЗНУ, 2017.
12. Романенко, С. В., Ткаченко, Ю. М. Автоматизовані системи управління освітленням: теоретичні аспекти та практичні реалізації. - Луцьк: Вежа, 2018.
13. Тарасов, Д. С., Куліш, В. П. Системи управління освітленням у громадських місцях на основі мікроконтролерів. - Дніпро: ДНУ, 2021.
14. Устименко, О. І., Пушкарьова, І. В. Мікроконтролери та їх застосування в

- автоматизації будівель. - Київ: Знання, 2019.
15. Харченко, М. П., Поліщук, Р. В. Технології автоматизації управління освітленням. - Чернівці: ЧНУ, 2020.
16. Чумаченко, І. Г., Сидоренко, Л. А. Основи проектування інтелектуальних систем управління освітленням. - Полтава: ПНТУ, 2018.
17. Шаповал, В. І., Кириченко, С. М. Інтелектуальні системи та їх використання в автоматизації громадських місць. - Суми: СумДУ, 2020.