

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень

Кіберфізична система освітлення на основі жестового керування  
Назва теми

КвРКІ 210125.21.01.39 ПЗ  
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»  
Назва

Виконав: студент IV курсу, група K12-21-1

  
Підпис

Артем СІРМАН  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

  
Підпис

Ольга ПАВЛОВА  
Ініціали, прізвище

«02» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА



“ 10 ” 01 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Артему СІРМАНУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система освітлення на основі жестового керування

Керівник проекту (роботи) Тетяна КИСІЛЬ, к.ф.-м.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Кіберфізична система освітлення на основі жестового керування та постановка задачі

Проектування системи освітлення на основі жестового керування

Програмно-апаратна реалізація системи освітлення на основі жестового керування

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Архітектура ПЗ проекту

Архітектура ПЗ для алгоритмів фільтрації

Апаратне забезпечення проекту

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КІС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КІС		

7. Дата видачі завдання

« 10 » 01 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проєктування системи освітлення на основі жестового керування	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проєктування системи освітлення на основі жестового керування	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис





Артем СІРМАН  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Тетяна КИСІЛЬ  
Ініціали, прізвище

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л · л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 210125.21.01.39 ПЗ	Пояснювальна записка	59		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 210125.21.01.39 Е8	Архітектура ПЗ проекту	1		
3		КвРКІ 210125.21.01.39 Е8	Архітектура ПЗ для алгоритмів фільтрації	1		
4		КвРКІ 210125.21.01.39 Е8	Апаратне забезпечення проекту	1		

КвРКІ 210125.21.01.39 ВП					
Зм	Арж	№ докум	Підпис	Дата	
Розробив		Сірман		22.06.25	
Перевір.		Кисіль		22.08.25	
Н. контр.		Кисіль		22.08.25	
Затв.		Павлова		22.06.25	
Відомість проекту					
		Літера		Аркуш	Аркушів
		У		1	1
ХНУ, КІ2-21-1					

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система освітлення на основі жестового керування».

Автор роботи: Артем СІРМАН.

Керівник роботи: Кисіль Тетяна Миколаївна.

Пояснювальна записка: 59 с., 24 рис., 6 табл., 3 дод., 46 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, АРДУІНО, ЖЕСТОВЕ КЕРУВАННЯ  
УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДАЛЕКОМІР, АЛГОРИТМИ ФІЛЬТРАЦІЇ.

Метою дипломної роботи є дослідження умов та особливостей побудови кіберфізичної системи освітлення з використанням технології жестового керування, а також оцінка ефективності взаємодії користувача з системою в режимі реального часу.

Об'єктом дослідження є функціонування кіберфізичної системи освітлення.

Предметом дослідження є методи та режими реалізації жестового керування у системах освітлення.

Під час проведення даного дослідження був використаний метод систематичного огляду літературних джерел для аналізу сучасних підходів до реалізації систем жестового керування та їх застосування в кіберфізичних системах.

  
Підпис студента

22.05.2025  
Дата

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
<b>1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЖЕСТОВОГО КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>5</b>
1.1 Аналіз потреб і вимог до кіберфізичної системи освітлення на основі жестового керування .....	5
1.2 Аналіз наявного програмно-апаратного забезпечення предметної області.....	12
1.3 Аналіз вимог до програмно-технічного засобу та розробка технічного завдання .....	17
1.4 Висновки до першого розділу .....	20
<b>2 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЖЕСТОВОГО КЕРУВАННЯ .....</b>	<b>21</b>
2.1 Визначення апаратної підсистеми програмно-технічного засобу для виявлення жестів .....	21
2.2 Визначення апаратної підсистеми програмно-технічного засобу на базі мікроконтролера.....	27
2.3 Визначення апаратної підсистеми програмно-технічного засобу освітлення.....	32
2.4 Проектування монтажно-ї та електрично-ї принципової схеми.....	37
2.5 Висновки до другого розділу .....	41
<b>3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЖЕСТОВОГО КЕРУВАННЯ .....</b>	<b>42</b>
3.1 Опис структури програмного забезпечення програмно-технічного засобу .....	42
3.2 Алгоритм обробки жестів та фільтрації сигналів.....	48
3.3 Алгоритми обробки режимів роботи освітлення .....	55

КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата	Кіберфізична система освітлення на основі жестового керування	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Артем СІРМАН			22.06.15		у		72
Перевір.	Тетяна КИСЛІТЬ			22.06.15	Пояснювальна записка	ХНУ КІ2-21-1		
Н.контр.	Тетяна КИСЛІТЬ			22.06.15				
Затвер.	Ольга ПАВЛОВА			22.06.15				

3.4. Візуальний зворотний зв'язок .....	57
3.5. Висновки до третього розділу .....	59
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	63
<b>ДОДАТОК А</b> .....	68
<b>ДОДАТОК Б</b> .....	69
<b>ДОДАТОК В</b> .....	70

## ВСТУП

У сучасному світі кіберфізичні системи (КС) швидко стають основою цифрової трансформації в різних сферах діяльності. Вони поєднують фізичні об'єкти з цифровими технологіями, забезпечуючи автоматизацію, контроль та адаптацію процесів у режимі реального часу. Завдяки цьому КС сприяють підвищенню ефективності, безпеки та якості життя.

КС вже активно використовуються в таких напрямках, як розумні будинки, виробництва, транспортні мережі, а також у концепції «розумних міст». Вони дозволяють інтегрувати цифрові інструменти з інфраструктурою для ефективного управління ресурсами та зменшення впливу людського фактору.

З огляду на швидке поширення та значний вплив кіберфізичних систем на ключові аспекти функціонування сучасного суспільства, дослідження в цій сфері є надзвичайно актуальними. Вони дозволяють не лише краще зрозуміти архітектуру та принципи побудови таких систем, але й сприяють пошуку нових рішень для удосконалення технологічних процесів у різних галузях.

У даному дослідженні буде розглянуто один із типів кіберфізичних систем, проаналізовано його структуру, принципи функціонування та можливості застосування в сучасних умовах. Такий підхід дозволить краще зрозуміти потенціал кіберфізичних систем і їхню роль у розвитку технологій майбутнього.

Метою дипломної роботи є дослідження умов та особливостей побудови кіберфізичної системи освітлення з використанням технології жестового керування, а також оцінка ефективності взаємодії користувача з системою в режимі реального часу.

Об'єктом дослідження є функціонування кіберфізичної системи освітлення.

Предметом дослідження є методи та режими реалізації жестового керування у системах освітлення.

					КВРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЖЕСТОВОГО КЕРУВАННЯ

1.1 Аналіз потреб і вимог до кіберфізичної системи освітлення на основі жестового керування

Кіберфізична система (КС) – це технологічне поняття, яке описує інтеграцію обчислювальних потужностей із фізичними об'єктами, що можуть бути як природними, так і створеними людиною. У таких системах обчислювальна частина розподіляється по всій фізичній системі, забезпечуючи взаємодію та синергію між різними її елементами.

Кіберфізичні системи є важливим елементом сучасного технологічного розвитку. Вони об'єднують обчислювальні ресурси з фізичними об'єктами, створюючи інтегровані середовища, де фізичні та цифрові процеси взаємодіють в реальному часі. Ці системи мають на меті забезпечення більш ефективного управління, контролю та автоматизації різноманітних процесів у різних сферах – від виробництва до медицини і транспорту.

Кіберфізичні системи мають здатність до збору, обробки і аналізу даних безпосередньо з фізичних об'єктів, що дає можливість здійснювати високоточні маніпуляції та реагувати на зміни в реальному часі. Вони поєднують в собі апаратну частину (фізичні компоненти) та програмне забезпечення, що здійснює їх інтеграцію в єдину систему.

Термін «кіберфізичні системи» почав використовуватись на початку четвертої промислової революції, коли стали популярними концепції інтернету речей, автоматизованих і адаптивних систем, що об'єднують фізичні та віртуальні елементи. Сучасні кіберфізичні системи активно застосовуються в індустрії 4.0, автоматизованих фабриках, розумних містах, а також в екосистемах, де вимоги до взаємодії фізичного та цифрового середовища стають все більш важливими для оптимізації процесів.

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У сучасному технічному середовищі зростає значення систем, здатних інтегрувати фізичні об'єкти та інформаційні технології. Одним із найбільш динамічно розвинутих напрямів у цій сфері є створення кіберфізичних систем, що знаходять широке застосування у побуті, промисловості, медицині, логістиці, освітньому середовищі. Зокрема, у контексті підвищення комфорту користувача та оптимізації енергоспоживання особливу актуальність набувають системи інтелектуального керування освітленням. Одним із новітніх підходів до реалізації подібних рішень є використання технологій розпізнавання жестів, що дозволяє забезпечити безконтактну взаємодію з електронними пристроями та зробити керування максимально природнім для користувача.

Кіберфізична система у своєму класичному розумінні – це об'єднання обчислювальних компонентів, які безперервно взаємодіють з фізичними процесами за допомогою сенсорів та виконавчих механізмів. У таких системах сенсори зчитують інформацію про стан зовнішнього середовища, після чого відповідне програмне забезпечення виконує аналіз зібраних даних, приймає рішення та передає їх виконавчим пристроям. Таким чином, формується замкнене коло між фізичним середовищем і програмно-логічною частиною. У контексті освітлення, така система складається з сенсорів (камер, датчиків руху, ІЧ-сенсорів), обчислювального модуля (який виконує розпізнавання жестів користувача), а також пристроїв, які безпосередньо змінюють стан освітлення (реле, димери, світлодіоди тощо).

З огляду на стрімкий розвиток систем розумного будинку та розширення концепції Інтернету речей (Internet of Things), впровадження жестового керування стає логічним продовженням еволюції інтерфейсів людино-машинної взаємодії. Класичні методи, такі як натискання кнопок, використання пультів або мобільних додатків, поступово доповнюються більш інтуїтивно зрозумілими та зручними технологіями, що не потребують фізичного контакту. Це особливо важливо для забезпечення гігієнічності, інклюзивності (наприклад, для людей з обмеженими фізичними можливостями), а також у ситуаціях, коли руки користувача зайняті або

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забруднені. Застосування технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту дозволяє надійно розпізнавати жести у реальному часі, з високою точністю інтерпретуючи дії користувача.

Фізична структура кіберфізичної системи освітлення включає у себе кілька взаємопов'язаних компонентів. Сенсорна підсистема здійснює збір даних з фізичного середовища, найчастіше за допомогою відеокамери, яка відслідковує положення рук користувача. Отримане відеообображення передається до обчислювального модуля, який виконує його обробку, виділяє ключові ознаки руху, розпізнає характер жесту та формує відповідну команду. Ця команда передається на керуючий модуль, який реалізує фізичну дію – вмикання, вимикання або регулювання яскравості джерел світла. У деяких реалізаціях система також може містити зворотний зв'язок, наприклад, візуальні або звукові сигнали, що підтверджують розпізнавання команди, або змінюють її за необхідності.

З функціонального погляду система повинна забезпечувати високу точність розпізнавання жестів, мінімальну затримку між дією користувача та відповіддю системи, а також стабільну роботу за різних умов освітлення. Сучасні алгоритми, зокрема нейронні мережі та методи глибокого навчання, дозволяють з високою точністю класифікувати широкий спектр жестів, навіть при неідеальних умовах зйомки або за наявності шумів. Однак на практиці застосовують, як правило, обмежений набір простих жестів – таких як мах рукою вліво або вправо, підняття або опускання долоні, показ пальця – що дозволяє забезпечити баланс між точністю розпізнавання та швидкістю реакції.

Дослідження предметної області вказує на те, що найбільш перспективними є системи, які дозволяють не лише реалізовувати базові команди (увімкнення або вимкнення освітлення), а й адаптувати інтенсивність світла до поточних умов. Наприклад, в умовах достатнього денного освітлення система може зменшувати яскравість штучного освітлення або повністю його вимикати. Така поведінка досягається шляхом інтеграції датчиків освітленості та побудови простих

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

алгоритмів автоматичного регулювання. Додатково можлива інтеграція з годинниковими модулями або інтернет-сервісами, що дозволяє формувати динамічні графіки роботи освітлення.

Серед вже реалізованих аналогів систем жестового керування освітленням варто виділити проекти, виконані на базі мікроконтролерів Arduino або Raspberry Pi із підключеними камерами. Наприклад, у відеоматеріалі, який слугує основою даної кваліфікаційної роботи, було продемонстровано систему на базі Raspberry Pi з використанням комп'ютерного зору, яка здатна розпізнавати жести руки та на їх основі керувати лампою. Подібні рішення демонструють високу ефективність у демонстраційних умовах, однак потребують удосконалення з точки зору стабільності, масштабованості, а також зручності для кінцевого користувача. Тому розробка власної реалізації такої системи є актуальним завданням комп'ютерної інженерії, що вимагає поєднання знань з програмування, електроніки, комп'ютерного зору та побудови інтерфейсів.

Таким чином, аналіз предметної області дозволяє зробити висновок про наявність високого попиту на безконтактні системи керування освітленням, що базуються на розпізнаванні жестів. Основні труднощі полягають у забезпеченні надійної роботи таких систем у реальних умовах експлуатації, однак сучасні апаратні та програмні засоби дозволяють успішно вирішувати ці проблеми. З огляду на це, подальша розробка кіберфізичної системи освітлення з жестовим керуванням є доцільною, перспективною та відповідає сучасним вимогам до автоматизованих систем життєдіяльності.

На основі аналізу предметної області сформульовано перелік основних функціональних вимог до майбутньої системи:

1. Система має здійснювати стабільне розпізнавання принаймні трьох базових жестів: увімкнення, вимкнення та регулювання яскравості освітлення.
2. Повинна забезпечуватись мінімальна затримка між жестом користувача та реакцією системи (близько 500 мс).

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Кінець таблиці 1.1

5.	Відсутність потреби у фізичних перемикачах	– Необхідність вивчити жести та навчитись їх використовувати
----	--	--

Окрім функціональних особливостей, важливу роль у побудові кіберфізичної системи освітлення відіграють питання інтеграції з іншими елементами сучасного інтелектуального середовища. Наприклад, система жестового керування освітленням може бути частиною більших систем розумного будинку, що також включають керування кліматом, мультимедіа, безпековими пристроями. Для забезпечення такої інтеграції передбачено використання стандартних протоколів передачі даних, таких як MQTT або HTTP, що дозволяє системі працювати у складі мережевих об'єднань пристроїв та обмінюватися даними у реальному часі.

Окремо слід розглянути питання адаптивності системи до різних умов експлуатації. Класичні жести, обрані для взаємодії з системою, повинні бути інтуїтивно зрозумілими для широкого кола користувачів незалежно від їхнього віку, фізичних можливостей або культурних особливостей. У цьому контексті доцільно проводити дослідження користувацького досвіду (UX-дослідження) з метою визначення найбільш природних жестів, які легко відтворити і які викликають мінімальне навантаження на когнітивні та фізичні ресурси користувача. Крім того, слід передбачити можливість навчання системи індивідуальним жестам, що дозволить ще більше підвищити зручність її використання та персоналізувати взаємодію.

З технічної точки зору, критичним параметром системи є її здатність до роботи у режимі реального часу. Операційні затримки між розпізнаванням жесту та відповідною реакцією повинні бути мінімізовані, щоб забезпечити відчуття природної безперервності у взаємодії. Оптимальний час відгуку системи не повинен перевищувати 100–200 мілісекунд, що відповідає стандартним вимогам до інтерфейсів реального часу у побутових та промислових системах.

Ультразвукові сенсори, які використовуються в даному проекті, мають свої особливості, що безпосередньо впливають на архітектуру системи. Зокрема, ультразвуковий сенсор забезпечує визначення відстані до об'єкта з достатньою точністю у межах 2–400 сантиметрів, що дозволяє формувати чітко розмежовані зони розпізнавання жестів. Важливою особливістю є те, що такі сенсори нечутливі до умов освітлення, на відміну від оптичних або ІЧ-систем, що значно підвищує стабільність роботи системи у різних середовищах, включаючи затемнені або дуже яскраво освітлені приміщення.

Ще однією важливою характеристикою системи є її надійність та відмовостійкість. Оскільки жестове керування є критичною функцією для комфортної взаємодії користувача з системою, потрібно передбачити механізми виявлення помилок розпізнавання та їх корекції. Одним з можливих шляхів є використання алгоритмів, які потребують підтвердження команди двома однаковими жестами поспіль або з застосуванням тайм-аутів. Це дозволить зменшити ймовірність випадкових або хибних команд, спричинених шумами чи артефактами у роботі сенсорів.

Не менш важливим аспектом проектування системи є врахування її масштабованості та подальшого розвитку. У разі успішної реалізації базового функціоналу система повинна мати можливість подальшого розширення – наприклад, додавання нових типів жестів, розширення функціональності до керування кількома групами світильників, або інтеграції з іншими сенсорними пристроями (наприклад, температурними датчиками, сенсорами вологості тощо). Такий підхід дозволить забезпечити гнучкість системи та її адаптацію до змін потреб користувачів у майбутньому.

Таким чином, аналіз предметної області дозволяє сформулювати основні вимоги до кіберфізичної системи освітлення на основі жестового керування. Вона має бути швидкою, надійною, інтуїтивно зрозумілою у використанні, стійкою до впливу змін навколишнього середовища та забезпечувати мінімальні енергетичні витрати. Використання ультразвукових датчиків як базових сенсорних елементів

					КВРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відкриває широкі можливості для реалізації простої, надійної та доступної системи, придатної як для приватного використання, так і для інтеграції у більш складні інтелектуальні середовища.

## 1.2 Аналіз наявного програмно-апаратного забезпечення предметної області

Ідея управління освітленням за допомогою жестів не є новою та вже має певне технічне втілення в комерційних та академічних розробках. Розглянемо кілька найбільш поширених підходів до реалізації таких систем, зосереджуючи увагу на їх апаратній основі, алгоритмах розпізнавання жестів та можливостях масштабування.

Перш за все, більшість систем керування жестами можна поділити на дві великі категорії:

- системи на основі інфрачервоних або ультразвукових сенсорів;
- системи на основі комп'ютерного зору (камера + обробка зображення).

Перший тип реалізується з використанням простих датчиків (наприклад, IR Proximity Sensors, Ultrasonic Sensors), що реагують на наближення або рух руки. Ці системи здатні виявити прості жести – наприклад, мах руки або утримання її над датчиком. Такі рішення дешеві, проте сильно обмежені в можливостях, мають низьку точність і не розпізнають складні жести, проте цей варіант цілком підходить під задачі кваліфікаційної роботи.

Другий тип, більш складний, використовує відеокамеру для зчитування потоку зображень та алгоритми комп'ютерного зору для виявлення рук та інтерпретації їх рухів. Такі системи мають потенціал розпізнавання широкого спектру жестів, що робить їх універсальнішими. Системи з алгоритми комп'ютерного зору будуть надто складними та не оптимізованими для даної кваліфікаційної роботи. В силу вузького функціоналу кіберфізичної системи, було прийнято рішення вести розробку на основі ультразвукового сенсору.

					КВРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для порівняння можливостей існуючих рішень наведемо огляд трьох найбільш поширених типів систем у табличній формі (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика систем жестового керування освітленням

№	Назва системи	Тип сенсора	Метод розпізнавання	Особливості	Приблизна вартість
1.	IR Gesture Control Lamp	Інфрачервоні датчики	Простий логічний аналіз	Реагує на наближення руки, 1-2 жести	\$5–10
2.	Arduino + APDS-9960	Комбінований датчик	Вбудована сенсорна логіка	Жести вліво, вправо, вверх, вниз	\$10–15
3.	Arduino + HC-SR04	Ультразвуковий датчик	Вимір відстані звуком	Жести вліво, вправо, вверх, вниз	\$10–15
4.	Raspberry Pi + камера + OpenCV	Камера	Комп'ютерний зір, ML-алгоритми	Складні жести, адаптивність	\$30–60

Використання Raspberry Pi та камери з обробкою відео в OpenCV, є найгнучкішим і найперспективнішим підходом, але для виконання менш складних задач, наприклад просте керування без розпізнавання складних жестів підійдуть простіші методи розробки.

У загальному розумінні, це система, яка може розпізнавати та диференціювати певний набір жестів, аналізувати отримані дані й інтерпретувати їх у вигляді команд або іншої інформації, що може бути використана як самою системою, так і зовнішніми системами чи комплексами.

Для кращого розуміння принципу роботи таких систем доцільно навести їх базову функціональну схему. Рисунок (рис. 1.1) відображає послідовність обробки жесту користувача в системі комп'ютерного зору.

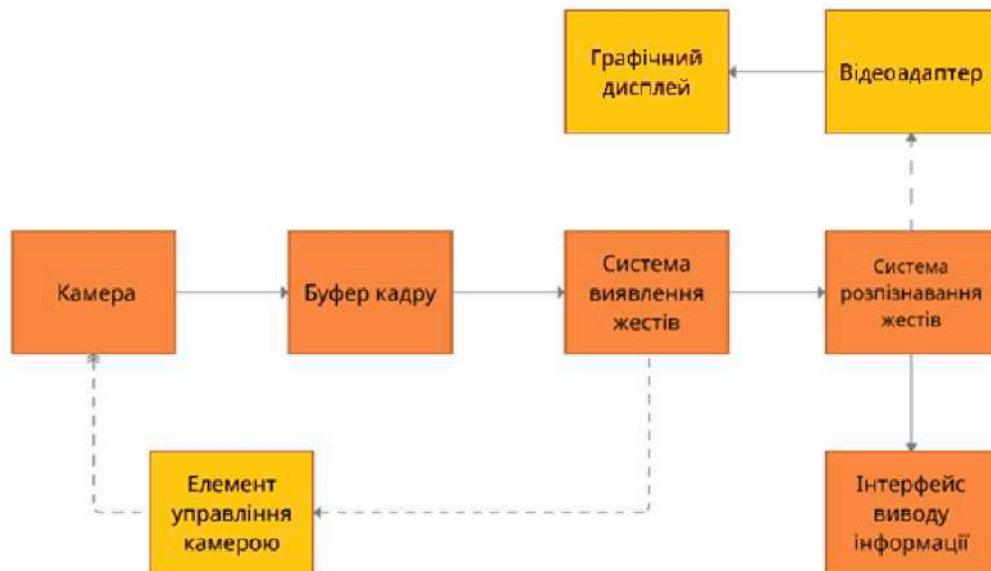


Рисунок 1.1 – Послідовність обробки жесту користувача в системі комп'ютерного зору

Системи на базі комп'ютерного зору зазвичай включають такі програмні компоненти:

- фреймворки комп'ютерного зору (OpenCV, Mediarpipe);
- інструменти глибокого навчання (TensorFlow, PyTorch);
- мови програмування високого рівня (Python, C++, JavaScript).

Усі ці компоненти є частиною системи для розпізнавання рухів та жестів, зазвичай вони позиціонуються як слої системи, кожен з яких виконує свою роботу. Існує багато варіацій як фреймворків комп'ютерного зору, так і інструментів глибокого навчання, вони можуть використовуватись разом, або поокремо.

Розглянемо найбільш популярні з них в таблиці (табл. 1.3)

Таблиця 1.3 – Популярні програмні інструменти для розпізнавання жестів

ПЗ Бібліотека	Призначення	Особливості використання
OpenCV	Обробка зображень та відео	Детекція об'єктів, фільтрація руху
MediaPipe	Розпізнавання рук та обличчя	Вбудовані ML-моделі, висока швидкодія
TensorFlow	Глибоке навчання	Навчання моделей для розпізнавання жестів
PyTorch	Альтернатива TensorFlow	Наукові дослідження, гнучкість реалізації

Розглянемо виявлення руки за допомогою MediaPipe. MediaPipe визначає 20 ключових точок руки (рис. 1.2).

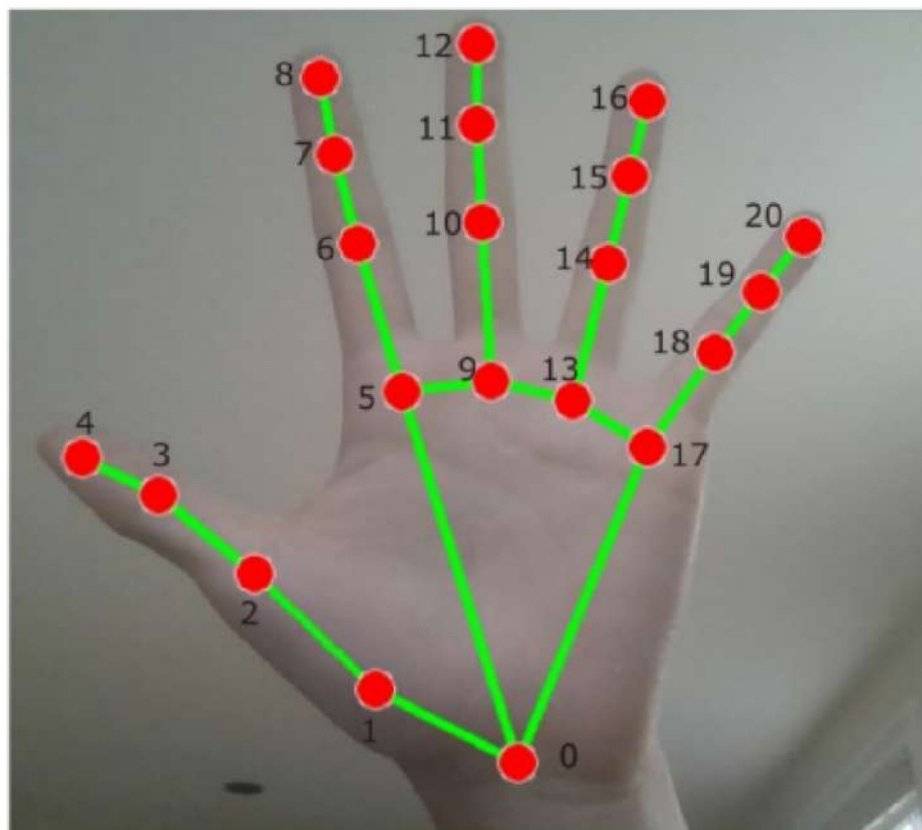


Рисунок 1.2 – Виявлення руки за допомогою MediaPipe

MediaPipe – це кросплатформена фреймворк, розроблена компанією Google, яка використовується для створення мультимодальних машинних моделей обробки медіаданих у реальному часі. Вона дозволяє легко будувати та розгортати рішення комп'ютерного зору для розпізнавання обличчя, відстеження рук і тіла, визначення поз, виявлення об'єктів тощо.

На основі аналізу можна зробити висновок, що програмно-технічні засоби, що використовуються у подібних системах, мають різний ступінь складності та функціональності. Найпростіші реалізації дозволяють обмежене керування, натомість системи на базі камер та комп'ютерного зору забезпечують широку гнучкість, точність і можливість розширення. Разом із тим, такі системи вимагають глибших знань у галузі програмування, обробки зображень і апаратного забезпечення.

У даній роботі розглядається підхід, заснований на використанні ультразвукового датчика для виявлення рухів руки користувача у безконтактний спосіб. Такий підхід є доволі ефективним, простим в реалізації та не потребує значних обчислювальних ресурсів, на відміну від систем комп'ютерного зору.

Основним елементом такої системи є ультразвуковий датчик, зокрема популярна модель HC-SR04. Принцип дії полягає у вимірюванні часу проходження ультразвукового імпульсу до об'єкта та назад. Таким чином, система може визначити наближення або віддалення руки користувача на основі зміни відстані. Жест, наприклад, рух руки зліва направо або наближення долоні, інтерпретується як певна команда: вмикання або вимикання світла.

Для аналізу сучасного стану програмно-технічного забезпечення у цій галузі розглянемо найбільш поширені реалізації систем жестового керування освітленням з використанням ультразвукових сенсорів.

На відміну від відеосистем, ультразвуковий метод є менш залежним від умов освітлення або фону. Його перевагою є простота реалізації, мала затримка реагування та низьке енергоспоживання. До недоліків можна віднести обмежений

					КВРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

набір розпізнаваних жестів (зазвичай один або два), чутливість до звукових перешкод і неможливість точно визначити складні положення руки.

Підсумовуючи, можна сказати, що ультразвукові сенсори є відмінною відправною точкою для побудови жестового керування освітленням. Вони прості у налаштуванні, недорогі, енергоефективні та підходять для побутових систем. Хоча вони поступаються системам на основі комп'ютерного зору в гнучкості та кількості команд, для задач локального освітлення – це оптимальний варіант.

### 1.3 Аналіз вимог до програмно-технічного засобу та розробка технічного завдання

На основі проведеного аналізу предметної області сформульовано вимоги до кіберфізичної системи освітлення з безконтактним жестовим керуванням, що базується на використанні ультразвукового датчика. Такий підхід має низку переваг, зокрема простоту реалізації, високу швидкодію, невисоку вартість компонентів, а також незалежність від зовнішнього освітлення. У порівнянні з оптичними системами, які працюють на базі відеозображення та комп'ютерного зору, ультразвукові рішення більш стійкі до шумів та не залежать від видимості об'єкта керування.

Ультразвуковий датчик, що використовується у проєкті, є сенсорним пристроєм, здатним визначати відстань до об'єкта шляхом випромінювання звукових імпульсів високої частоти та приймання відбитого сигналу. Зміна положення руки користувача в межах діапазону дії датчика інтерпретується як певний жест. Наприклад, швидке наближення долоні до сенсора може означати команду «увімкнути світло», а повільне віддалення – «вимкнути». Інші типи рухів (наприклад, фіксація руки на певній відстані протягом декількох секунд) можуть використовуватись для регулювання яскравості.

Формування технічного завдання на розробку системи передбачає визначення загальних та специфічних функціональних вимог, до яких відносяться:

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- забезпечення надійного розпізнавання основних жестів користувача (увімкнення, вимкнення, зміна яскравості);
- чітке реагування на зміну відстані руки в реальному часі із мінімальною затримкою (до 100 мс);
- робота в умовах змінного освітлення, температури та акустичних перешкод;
- використання бюджетних компонентів та простих інтерфейсів з мікроконтролером;
- низьке енергоспоживання системи у режимі очікування.

До нефункціональних вимог можна віднести:

- ергономічність взаємодії користувача з пристроєм (інтуїтивно зрозуміла схема жестів);
- компактність пристрою;
- захист від хибних спрацьовувань, наприклад, у разі випадкового руху поруч з сенсором;
- масштабованість – можливість введення нових режимів роботи або жестів.

З точки зору апаратного забезпечення, основними компонентами системи є мікроконтролер (наприклад, Arduino Nano або ESP32), ультразвуковий датчик HC-SR04 (або аналог), світлодіодна лампа або реле для комутації освітлювального пристрою, допоміжні елементи (резистори, провідники, макетна плата тощо). У випадку використання ESP32 можлива розширена функціональність, включаючи підключення до Wi-Fi або Bluetooth для віддаленого керування та оновлення прошивки.

Програмна частина системи реалізується у вигляді прошивки для мікроконтролера, яка виконує зчитування сигналів з ультразвукового датчика, інтерпретацію даних за певним алгоритмом (з врахуванням часу та зміни відстані) та генерування відповідних керуючих імпульсів для виконавчих елементів.

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливо передбачити реалізацію фільтрації шумів, обробки граничних значень та запобігання багаторазовому виконанню однієї й тієї ж команди.

Таким чином, технічне завдання на розробку кіберфізичної системи освітлення на основі ультразвукового жестового керування передбачає створення надійної, безпечної, компактною та функціональної системи, здатної до інтуїтивної взаємодії з користувачем, стабільної роботи у побутових умовах, а також можливого розширення функціоналу.

Враховуючи вимоги до вартості системи, важливо зберегти баланс між функціональністю та ціною компонентів. Використання мікроконтролерів початкового рівня, таких як Arduino Nano або ESP8266, дозволяє зменшити габарити пристрою та його собівартість. Ультразвукові датчики HC-SR04, які застосовуються у багатьох DIY-проектах, мають невисоку ціну та добре задокументований інтерфейс, що полегшує інтеграцію. У випадку необхідності підвищення точності та стабільності можна використовувати цифрові датчики нового покоління з розширеним функціоналом, такими як HY-SRF05 або MaxBotix.

Система повинна підтримувати модульну архітектуру, яка забезпечить простоту заміни окремих компонентів у разі їх виходу з ладу або оновлення. Наприклад, якщо потрібно замінити датчик або мікроконтролер на більш продуктивний, це повинно відбуватись без повної реконструкції схеми. Для цього доцільно використовувати стандартні інтерфейси з'єднання (типу Dupont, JST або інші модульні конектори).

Відповідно до вищенаведених міркувань, система повинна бути не лише функціональною, а й зручною в експлуатації, безпечною, економічною та придатною до подальшого розвитку. Технічне завдання, розроблене на основі цих вимог, стане основою для наступного етапу – проектування структури та архітектури системи, а також розробки її програмного забезпечення та апаратної реалізації.

					КВРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 1.4 Висновки до першого розділу

Аналіз предметної області кіберфізичних систем освітлення з жестовим керуванням засвідчив доцільність впровадження безконтактних методів взаємодії, зокрема на базі ультразвукових сенсорів. Сучасний розвиток комп'ютерного зору, сенсорних технологій і мікроконтролерних платформ створив сприятливі умови для реалізації інтуїтивного керування освітленням, що не потребує фізичного контакту з пристроями.

Одним із найперспективніших підходів визначено застосування ультразвукових датчиків, які забезпечують стабільну роботу незалежно від освітлення, є недорогими, енергоефективними та простими в інтеграції. Це особливо важливо для побутових систем та автономних рішень, де критичними є витрати енергії й надійність роботи.

Серед ключових вимог до таких систем виділено точність і швидкодію. Жестове керування повинно реалізовуватись у реальному часі з мінімальними затримками. Також важливою є реалізація фільтрації шумів та верифікації команд для уникнення помилкових спрацювань. Це передбачає врахування як просторових, так і часових характеристик руху об'єкта.

На основі аналізу сформульовано основні вимоги до майбутньої системи: коректне розпізнавання базових жестів (увімкнення, вимкнення, регулювання яскравості), стабільна робота в різних умовах, низьке енергоспоживання, простий зворотний зв'язок для користувача та можливість масштабування без значних змін архітектури.

Таким чином, застосування ультразвукового датчика як основного сенсорного елемента є обґрунтованим. Це дозволяє створити сучасну, зручну й адаптивну систему освітлення, яка відповідає вимогам до автоматизації, інтуїтивності та енергоефективності. Надалі буде виконано проектування архітектури, розробку алгоритмів, програмного забезпечення й тестування прототипу в реальних умовах.

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЖЕСТОВОГО КЕРУВАННЯ

2.1 Визначення апаратної підсистеми програмно-технічного засобу для виявлення жестів

На основі проведеного вище аналізу можна виокремити наступні апаратні види реалізації програмно-технічного засобу виявлення жестів (рис. 2.1.):

- інфрачервоні датчики;
- комбіновані датчики;
- ультразвукові датчики;
- камера.

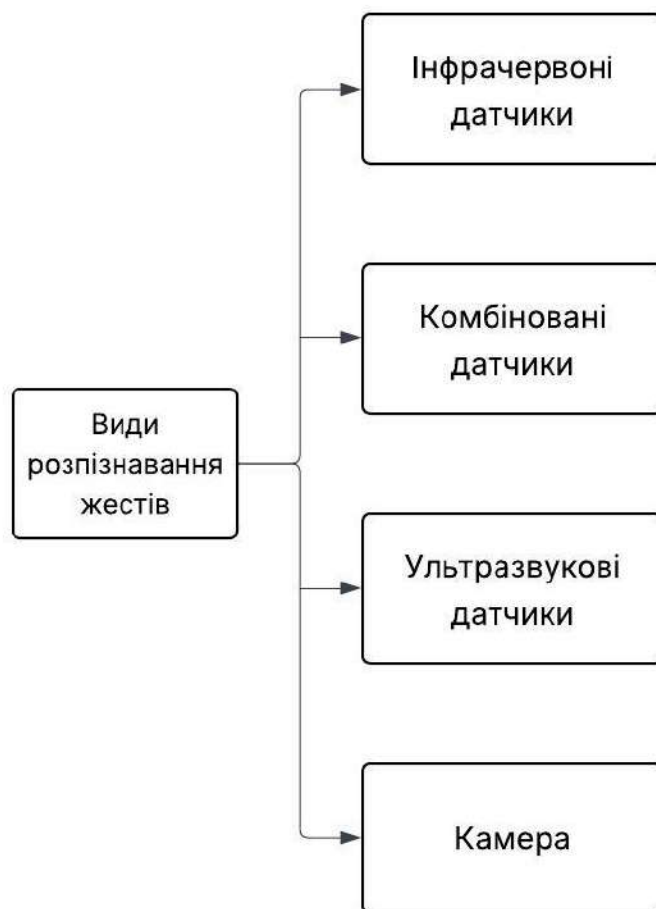


Рисунок 2.1 – Види розпізнавання жестів

Як було встановлено в результаті проведеного аналізу, для реалізації розпізнавання жестів у даному проєкті було обрано найбільш доцільний та ефективний метод – вимірювання відстані за допомогою ультразвукового датчика. Такий підхід дозволяє з високою точністю фіксувати положення об'єктів у просторі, що, своєю чергою, забезпечує надійне та стабільне розпізнавання жестових команд.

Основними перевагами використання ультразвукового датчика є простота інтеграції в апаратну частину системи, низька вартість у порівнянні з альтернативними сенсорними технологіями (наприклад, оптичними або камерними системами), а також висока енергоефективність. Крім того, ультразвукові датчики демонструють стабільну роботу незалежно від рівня освітлення чи фону, що робить їх особливо придатними для використання в умовах змінного навколишнього середовища.

У процесі аналізу існуючих технічних рішень та аналогічних розробок було проведено порівняння різних типів датчиків, які можуть бути використані для розпізнавання жестів. За результатами дослідження було прийнято рішення використовувати далекомір ультразвуковий HC-SR04 (рис. 2.1) як оптимальний варіант для реалізації поставлених завдань. HC-SR04 добре зарекомендував себе в практиці побудови інтерактивних систем керування, що підтверджується його широким застосуванням у подібних проєктах.

Однією з ключових переваг HC-SR04 є здатність точно фіксувати об'єкти на відстані до 4 метрів з мінімальною похибкою, що є критично важливим для коректного розпізнавання жестів. Також важливою є його сумісність з популярними мікроконтролерами, зокрема Arduino та STM32, що спрощує розробку програмного забезпечення. Невеликі габарити та низьке енергоспоживання дозволяють інтегрувати цей сенсор у компактні та мобільні пристрої. Завдяки поєднанню технічних характеристик, надійності та низької вартості, HC-SR04 став найбільш доцільним вибором для реалізації функціоналу розпізнавання жестів у межах даного проєкту.

					КВРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



відбиті хвилі та формує відповідний електричний сигнал. Конструкція модуля також включає мікросхему обробки сигналу, яка формує вихідний імпульс тривалістю, пропорційною до часу проходження хвилі до об'єкта і назад.

HC-SR04 має чотири виводи: VCC (живлення, зазвичай 5 В), Trig (вхід запуску), Echo (вихід прийому) та GND (заземлення). Для роботи модуля потрібно подати імпульс тривалістю щонайменше 10 мкс на пін Trig. Після цього модуль автоматично генерує ультразвуковий імпульс та активує вихід Echo, який переходить у високий рівень до моменту повернення відбитого сигналу. Вимірявши тривалість цього імпульсу, можна легко обчислити відстань за допомогою формули:  $\text{відстань (см)} = \text{тривалість (мкс)} / 58$ .

Було розроблено графік (рис. 2.2), що ілюструє залежність похибки вимірювання ультразвукового датчика HC-SR04 від відстані.

Ось X – похибка (см), ось Y – відстань до об'єкта (см).

Як видно, з ростом відстані похибка поступово збільшується – від приблизно  $\pm 0.2$  см на близьких відстанях до близько  $\pm 3$  см на максимальній дальності (400 см).

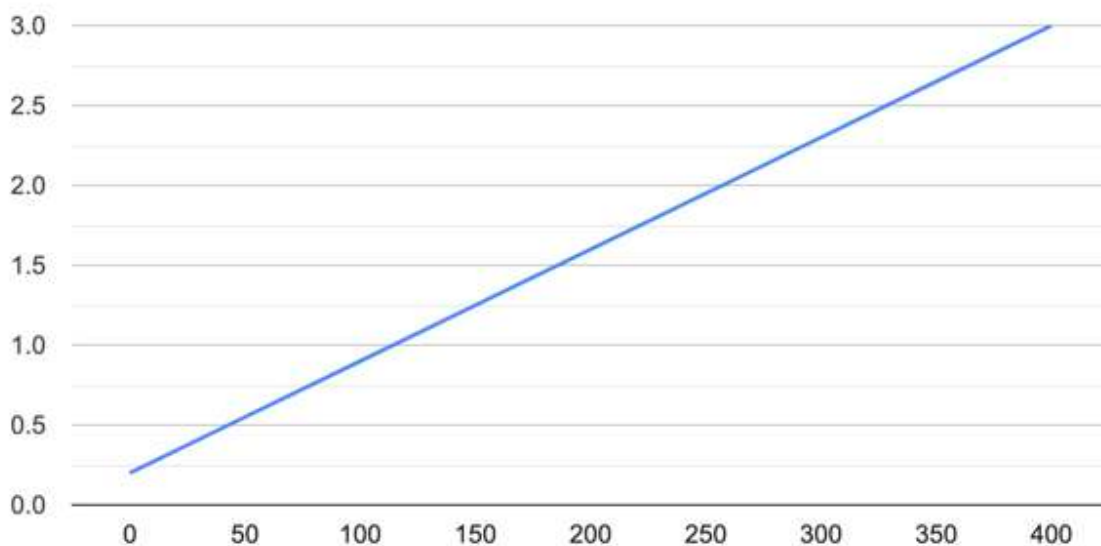


Рисунок 2.2 – Графік залежності похибки від відстані

Завдяки своїй конструктивній простоті та точності, HC-SR04 став надзвичайно популярним серед розробників електронних систем. Його активно застосовують у мобільній робототехніці для уникнення зіткнень, у безконтактних системах вимірювання рівня рідини, в охоронних системах, а також у навчальних проєктах для вивчення основ мікроконтролерного програмування. Схема підключення показана на рисунку нижче (рис. 2.3).

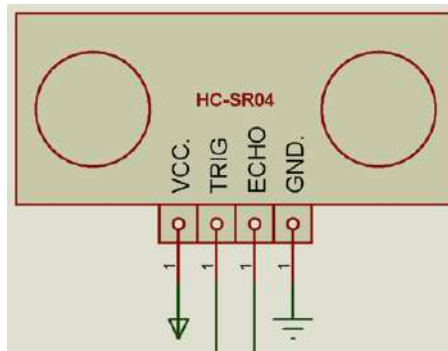


Рисунок 2.2 – Схема підключення HC-SR04

Додатковою перевагою є висока доступність модуля та велика кількість прикладів його використання у відкритих джерелах. Це значно спрощує процес інтеграції в будь-який проєкт, незалежно від рівня підготовки розробника. Крім того, HC-SR04 підтримується практично всіма популярними платформами, зокрема Arduino, ESP8266, STM32, Raspberry Pi, що робить його універсальним інструментом для розробки широкого спектра застосунків.

Принцип дії ультразвукового далекоміра HC-SR04 базується на використанні часу поширення звукової хвилі в повітрі для визначення відстані до об'єкта. Ультразвуковий сигнал генерується передавачем після подачі керуючого імпульсу на вхід Trig. Після генерації імпульсу тривалістю не менше 10 мкс модуль автоматично випромінює серію з восьми ультразвукових хвиль частотою 40 кГц.

Ці хвилі розповсюджуються в повітрі з постійною швидкістю приблизно 343 м/с при температурі +20 °С. Коли хвиля досягає об'єкта, вона відбивається назад до модуля, де її приймає приймач. У момент прийому сигналу на вихід Echo подається

логічний рівень "високо", тривалість якого відповідає часу, що пройшов між передачею і прийомом сигналу.

Контролер або мікропроцесор, з яким підключено датчик, вимірює тривалість імпульсу Echo та обчислює відстань за формулою (формула 2.1):

$$D = \frac{(T \times v)}{2}, \quad (2.1)$$

де D – відстань;

T – час проходження імпульсу в обидва боки;

v – швидкість звуку.

Поділ на два необхідний, оскільки хвиля проходить шлях до об'єкта і назад. При цьому вимірювання відбувається в мікросекундах, що забезпечує високу точність, особливо на невеликих відстанях. Робота датчика є циклічною, і при необхідності можна проводити вимірювання з певною періодичністю – зазвичай кожні 50–100 мс.

Основні технічні характеристики HC-SR04 подані в таблиці (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики HC-SR04

1.	Робоча напруга	5 В
2.	Струм споживання	15–20 мА
3.	Частота ультразвукового сигналу	40 кГц
4.	Мінімальна відстань вимірювання	2 см
5.	Максимальна відстань вимірювання	400 см (4 м)
6.	Точність вимірювання	±3 мм
7.	Ширина діаграми спрямованості	~15 градусів
8.	Вихідний сигнал	Імпульс TTL (логічний рівень 0–5 В)
9.	Час відгуку	<50 мс

## Кінець таблиці 2.1

10.	Розміри модуля	Приблизно 45 мм × 20 мм × 15 мм
11.	Інтерфейс підключення	4 піни (VCC, Trig, Echo, GND)
12.	Робоче середовище	Сухе повітряне середовище

## 2.2 Визначення апаратної підсистеми програмно-технічного засобу на базі мікроконтролера

Для побудови апаратної частини системи освітлення у даному проєкті було використано мікроконтролер Arduino Nano (рис. 2.3) – компактну та функціональну платформу, яка ідеально підходить для невеликих інтерактивних пристроїв. Arduino Nano забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки даних з ультразвукового датчика в режимі реального часу, що є ключовим для точного визначення жестів користувача.

Однією з переваг цієї моделі є її малі розміри, завдяки чому Arduino Nano легко інтегрується у просторово обмежені пристрої або прототипи. Плата має достатню кількість цифрових і аналогових входів/виходів, що дозволяє підключати до неї різноманітні сенсори та виконавчі механізми без необхідності застосування додаткових модулів розширення. Крім того, Arduino Nano базується на мікроконтролері ATmega328P який характеризується низьким енергоспоживанням, що позитивно впливає на загальну автономність системи.

Завдяки підтримці широкого спектра бібліотек і наявності активної спільноти розробників, програмування Arduino Nano є інтуїтивно зрозумілим навіть для початківців. Це значно пришвидшує розробку, налагодження та тестування проєкту. Інтерфейс USB дозволяє зручно завантажувати прошивку та здійснювати моніторинг даних, що надходять від сенсорів.

Стабільна робота Arduino Nano в поєднанні з його доступністю, модульністю та простотою в експлуатації робить цей мікроконтролер оптимальним вибором для створення ефективної системи розпізнавання жестів у рамках даної розробки.

Окрім того, Arduino Nano добре підходить для реалізації переносних систем, оскільки може працювати від зовнішніх джерел живлення, таких як акумулятори чи батареї, що забезпечує автономність роботи пристрою та дозволяє використовувати його в умовах, де немає постійного доступу до електромережі.

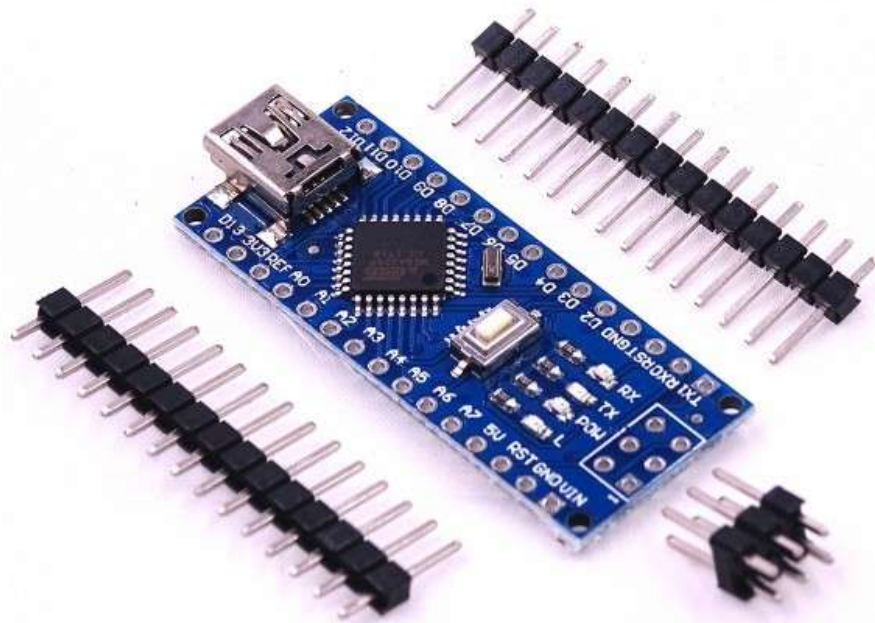


Рисунок 2.3 – Налагоджувальна плата Arduino Nano

Arduino Nano – це компактна мікроконтролерна плата, що входить до складу відкритої апаратно-програмної платформи Arduino. Вона спеціально розроблена для використання в системах з обмеженим простором, де потрібно зберегти функціональність повнорозмірних плат, таких як Arduino Uno, але в значно меншому форм-факторі. Завдяки своїм розмірам, енергоефективності та широкій сумісності з різноманітними сенсорами та модулями, Arduino Nano є одним із найпопулярніших рішень для реалізації мікроконтролерних проєктів.











зручність користування, забезпечує високу гнучкість у візуалізації процесів і робить систему більш інтерактивною та привабливою.

Адресна світлодіодна стрічка на базі WS2812B (рис. 2.7) – це гнучкий модуль освітлення, який поєднує в собі функції RGB-світлодіодів та вбудованих драйверів керування. Основна особливість таких стрічок полягає в тому, що кожен світлодіод є незалежною одиницею, яка може змінювати свій колір, яскравість та анімацію окремо від інших. Завдяки цьому відкриваються широкі можливості для реалізації складних світлових сценаріїв, ефектів синхронізації та інтерактивного освітлення.

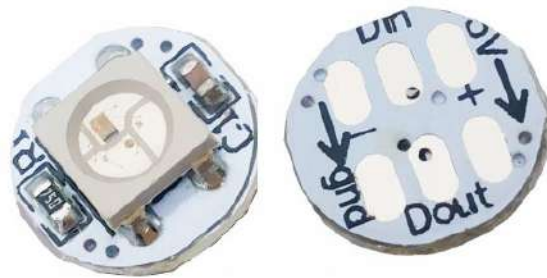


Рисунок 2.7 – Світлодіод WS2812B

Кожен світлодіод WS2812B містить у собі три світлодіоди (червоний, зелений, синій) і спеціальний мікросхемний драйвер, який приймає цифрові сигнали від контролера (наприклад, Arduino Nano), декодує їх і керує яскравістю трьох кольорів за допомогою широтно-імпульсної модуляції (PWM). Передача даних у стрічці відбувається по одному сигнальному дроту, завдяки чому значно спрощується підключення і скорочується кількість необхідних з'єднань.

Однією з ключових переваг WS2812B є послідовна передача даних: кожен світлодіод приймає сигнал, зчитує дані, призначені саме для нього, а решту передає далі по лінії. Така архітектура дозволяє будувати стрічки з будь-якою кількістю

світлодіодів – від кількох одиниць до тисяч, зберігаючи керуваність кожного окремого елемента.

Особливо актуальною ця технологія є в інтерактивних системах, де потрібна миттєва візуальна відповідь на дії користувача. Завдяки високій яскравості та кольоровій гамі, WS2812B можуть не лише сигналізувати про стан пристрою, а й створювати естетично привабливе підсвічування, що підвищує ергономіку системи.

У практичному застосуванні, зокрема в рамках даного проєкту, адресна стрічка використовується як канал виводу для візуального фідбеку. Це дозволяє створити повноцінний візуальний інтерфейс, який доповнює жестове керування, забезпечуючи зворотний зв'язок у зручній та зрозумілій формі.

Принцип роботи WS2812B базується на прийомі і обробці послідовного цифрового сигналу, який передається від контролера (наприклад, Arduino Nano) по одному сигнальному дроту. Кожен світлодіод у стрічці має вбудований контролер, який зчитує 24 біти даних – по 8 біт на кожен канал кольору (червоний, зелений, синій). Суміш цих трьох кольорів визначає відтінок, що випромінюється світлодіодом.

Після прийому даних світлодіод передає решту сигналу наступному в ланцюжку. Кожен наступний елемент виконує аналогічну операцію, зчитуючи "свої" 24 біти та передаючи далі сигнал для інших. Передача відбувається з фіксованою затримкою та високою частотою (~800 кГц), що дозволяє оновлювати стан усіх світлодіодів практично миттєво.

Керування відбувається програмно, зазвичай за допомогою спеціалізованих бібліотек, таких як FastLED або Adafruit NeoPixel, схема підключення (рис. 2.8). Ці бібліотеки забезпечують високу продуктивність, зручний синтаксис та широку функціональність для створення анімацій, ефектів затухання, руху хвиль, блимання тощо.

Оскільки WS2812B працює при напрузі 5 В, особливу увагу слід приділяти живленню – при збільшенні кількості світлодіодів зростає загальний струм

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споживання, тому для довгих стрічок рекомендується використовувати окремий блок живлення із загальним "мінусом" (GND) з Arduino. Щоб уникнути пошкодження першого світлодіода через стартові стрибки напруги, часто застосовується захисний резистор ( $\approx 330$  Ом) на сигнальній лінії та конденсатор на 1000 мкФ на живленні.

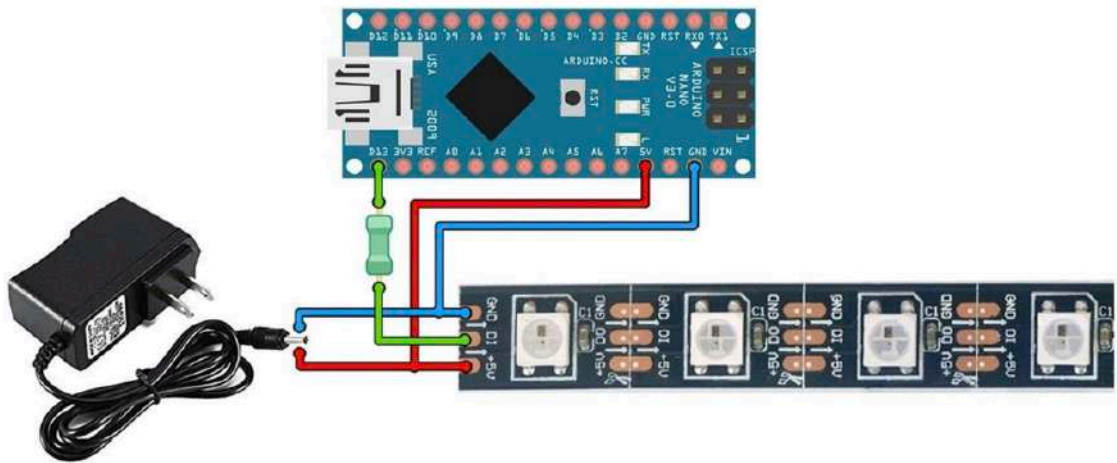


Рисунок 2.8 – Схема підключення світлодіодної стрічки

Основні технічні характеристики адресної світлодіодної стрічки LT WS2815 подані в таблиці (табл. 2.3)

Таблиця 2.3 – Основні технічні характеристики адресної світлодіодної стрічки LT WS2815

1.	Тип світлодіода	WS2812B (SMD 5050 RGB із вбудованим драйвером)
2.	Напруга живлення	5 В
3.	Струм одного світлодіода (макс.)	$\sim 60$ мА (при повній яскравості білого)
4.	Керування	Один цифровий пін (800 кГц)





даних) та GND (загальний провід). Живлення (+5 В) подається безпосередньо від зовнішнього стабілізованого джерела живлення через червоний дріт. Загальний провід (GND) під'єднано до "землі" як джерела живлення, так і мікроконтролера, що забезпечує коректну логіку сигналів; для цього використовується синій дріт. Вхід даних (DIN) підключено до цифрового виходу D6 на Arduino Nano за допомогою зеленого дроту. Така конфігурація дозволяє здійснювати повноцінне керування всією стрічкою лише одним цифровим сигналом.

Оскільки світлодіодна стрічка при високій яскравості або великій кількості елементів може споживати значний струм, живлення для неї подається не з Arduino, а окремо від зовнішнього стабілізованого джерела на 5 В, яке розташоване у правій частині монтажної схеми. Із цього джерела позитивний контакт (+5 В) підключається одночасно до VIN мікроконтролера та до лінії живлення стрічки через відповідні червоні дроти. Негативний контакт (GND) об'єднано з усіма іншими "земляними" точками: Arduino, датчиком і стрічкою, що забезпечує єдину спільну землю й унеможливує помилки логіки. Таке розділення живлення дозволяє уникнути перевантаження вбудованого стабілізатора Arduino, забезпечує стабільну роботу системи й знижує ризик збоїв через можливе просідання напруги.

На основі вище перерахованого було розроблено електрично принципову схему (рис. 2.10)

Додатково, важливо зазначити, що правильне розміщення компонентів суттєво впливає на стабільність та точність роботи системи. Ультразвуковий датчик HC-SR04 слід орієнтувати так, щоб його «очі» були спрямовані перпендикулярно до зони виявлення жестів, що дозволяє досягти максимальної чутливості. При використанні довгих дротів для підключення світлодіодної стрічки рекомендується застосовувати конденсатор на 1000 мкФ між +5V і GND для уникнення стрибків напруги. Також доцільно додати резистор на 330 Ом на лінії даних (DIN), щоб запобігти імпульсним завадам, які можуть призвести до некоректної роботи стрічки. Для забезпечення довговічної роботи всієї системи необхідно слідкувати за тепловими режимами елементів, особливо джерела

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 2.5 Висновки до другого розділу

У процесі розробки та реалізації пристрою було створено функціональну систему, здатну розпізнавати жести користувача за допомогою ультразвукового датчика HC-SR04 та реагувати на них за допомогою адресної світлодіодної стрічки WS2812B. Центральним елементом керування виступає мікроконтролер Arduino Nano, який забезпечує обробку даних, прийнятих із датчика, та формування відповідних керуючих сигналів для виводу зворотного зв'язку.

Ультразвуковий далекомір обрано як доступний та ефективний засіб для безконтактного визначення положення об'єкта в просторі. Його просте підключення та надійна робота дозволили впровадити базову систему розпізнавання жестів без використання складних алгоритмів комп'ютерного зору. Світлодіодна стрічка, у свою чергу, забезпечила як декоративне освітлення, так і наочну індикацію станів системи та прийнятих команд, що значно покращило зручність взаємодії з пристроєм.

Особливістю запропонованої конструкції є її модульність, масштабованість і енергоефективність. Усі компоненти з'єднані за надійною схемою, що гарантує стабільну роботу системи при живленні від зовнішнього джерела. Проєкт демонструє можливість створення інтуїтивного та зручного інтерфейсу користувача на основі простих апаратних засобів і відкритих програмних бібліотек.

Таким чином, поставлені в роботі завдання були успішно виконані, а отриманий результат підтверджує ефективність обраного підходу до розпізнавання жестів та зворотного світлового фідбеку. Запропоновану систему можна легко адаптувати для інших сценаріїв використання – від розумного освітлення до інтерактивного управління різними пристроями в побуті чи освітніх проєктах.

					КВРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЖЕСТОВОГО КЕРУВАННЯ

#### 3.1 Опис структури програмного забезпечення програмно-технічного засобу

Програмна частина кіберфізичної системи освітлення на основі жестового керування реалізована за допомогою мови програмування C++ у середовищі Arduino IDE. Основна мета програмного забезпечення полягає в забезпеченні стабільного, чутливого та інтуїтивно зрозумілого керування світлодіодною стрічкою WS2812B за допомогою жестів, які розпізнаються ультразвуковим датчиком відстані HC-SR04.

Програма має модульну структуру, що дозволяє гнучко змінювати логіку роботи системи без впливу на інші її частини. Обробка жестів реалізована з використанням бібліотеки VirtualButton у поєднанні з власними алгоритмами фільтрації сигналів, що надходять з датчика HC-SR04.

Керування світлодіодною стрічкою здійснюється за допомогою бібліотек FastLED та GRGB, які забезпечують точне відображення кольорових ефектів і дозволяють створювати складні сценарії освітлення. Для підвищення надійності використовуються функції фільтрації, які обробляють «сирі» дані з датчика, мінімізуючи вплив шумів та помилкових спрацювань.

Окрім того, у програмі реалізовано механізм збереження налаштувань у енергонезалежній пам'яті EEPROM, що дозволяє зберегти вибрані режими роботи та рівень яскравості навіть після вимкнення живлення. У системі передбачено кілька ефектів візуалізації, таких як пульсація, ефект «вогню», поступове затемнення та інші, що підвищують інформативність і привабливість візуального зворотного зв'язку.

На початку програми оголошено ключові параметри роботи:

```
#define HC_ECHO 2
#define HC_TRIG 3
#define LED_MAX_MA 1500
```

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
#define LED_PIN 13
```

```
#define LED_NUM 60
```

Ці значення визначають, які саме пінні мікроконтролера використовуються для зчитування сигналів з ультразвукового датчика та для керування адресною світлодіодною стрічкою, що є критично важливим для коректного функціонування всієї системи. Обмеження на максимальний струм, встановлене на рівні 1500 мА, виконує захисну функцію, запобігаючи перевантаженню джерела живлення, що особливо важливо при керуванні великою кількістю світлодіодів або в режимах високої яскравості.

У проєкті реалізовано підтримку низки зовнішніх бібліотек, які значно спрощують розробку та підвищують надійність системи. Бібліотека VirtualButton використовується для розпізнавання простих дій, таких як клацання, утримання або затримка руки перед датчиком, що дозволяє інтерпретувати жести. FastLED забезпечує гнучке та ефективне керування адресними світлодіодами WS2812B, даючи змогу створювати широкий спектр світлових ефектів.

Для більш зручного встановлення кольорів застосовується бібліотека GRGB, яка надає прості функції для роботи з відтінками. Крім того, використано бібліотеку EEPROManager, яка відповідає за збереження налаштувань у енергонезалежній пам'яті EEPROM, забезпечуючи збереження конфігурації системи між сеансами живлення.

Створено структуру Data, що містить усі ключові налаштування, які впливають на поведінку системи:

```
struct Data {  
    bool state = 1;  
    byte mode = 0;  
    byte bright[3] = {30, 30, 30};  
    byte value[3] = {0, 0, 0};  
};
```

Цей підхід дозволяє зручно зберігати та обробляти налаштування для кількох режимів.

Функція `setup()` (рис. 3.1) є ключовим компонентом програми на платформі Arduino, оскільки вона виконується лише один раз при старті мікроконтролера або після його перезавантаження. У межах проєкту система освітлення з жестовим керуванням вимагає попереднього налаштування різноманітних апаратних компонентів і бібліотек, що реалізується саме в цій функції.

У поточній реалізації функція `setup()` виконує кілька важливих завдань, які забезпечують коректну роботу всієї системи. Спершу ініціалізується серійне з'єднання з комп'ютером або іншим пристроєм через інтерфейс UART. Це дозволяє виводити діагностичні повідомлення, налагоджувати систему та аналізувати значення змінних у режимі реального часу. Далі відбувається налаштування вхідного та вихідного пінів для ультразвукового далекоміра HC-SR04: пін `HC_TRIG` конфігурується як вихідний для генерації імпульсу запуску, а пін `HC_ECHO` – як вхідний для прийому відбитого сигналу, що визначає час проходження ультразвукової хвилі до об'єкта та назад.

Після цього ініціалізується бібліотека `FastLED`, яка відповідає за керування адресною світлодіодною стрічкою `WS2812B`. На цьому етапі задається кількість світлодіодів у стрічці (`LED_NUM`), визначається пін керування (`LED_PIN`), встановлюється максимальне споживання струму, що допомагає уникнути перевантаження джерела живлення, а також задається початковий рівень яскравості. Далі створюється об'єкт `GRGB (led)`, який спрощує керування параметрами світлодіодної стрічки, такими як колір, яскравість та динамічні ефекти. До цього об'єкта прикріплюється функція зворотного виклику `setLED()`, яка відповідає за оновлення стану стрічки у режимі реального часу.

Після налаштування світлодіодної частини ініціалізується об'єкт `mem` з бібліотеки `EEManager`, який відповідає за роботу з енергонезалежною пам'яттю `EEPROM`. Завдяки цьому зберігаються параметри користувача, такі як стан увімкнення, обраний режим, яскравість та кольори, навіть після вимкнення живлення.

Завершальним етапом функції `setup()` є виклик функції `applyMode()`, яка зчитує дані зі структури `data` та відповідно до них застосовує заданий режим роботи – встановлює колір, активує візуальний ефект або змінює параметри світіння. Таким чином, уже на етапі запуску мікроконтролера система відразу переходить до роботи у заданому раніше режимі, що підвищує зручність і користувацький досвід.



Рисунок 3.1 – Функція `setup()`

Таким чином, функція `setup()` є фундаментальною для початкової конфігурації системи. Вона готує апаратну платформу до роботи, забезпечує

коректне зчитування жестів та відображення відповідних реакцій на світлодіодній стрічці. Без правильної реалізації цього блоку подальше керування освітленням було б неможливим або нестабільним.

Функція `loop()` (рис. 3.2) у середовищі Arduino є головним циклічним блоком програми, що виконується безперервно протягом усього часу роботи пристрою. У межах розробленої кібервізичної системи освітлення ця функція відповідає за постійне опитування ультразвукового датчика, обробку введення жестів, зміну режимів роботи та генерацію світлових ефектів.

У поточній реалізації логіка функції `loop()` охоплює кілька ключових процесів, які забезпечують стабільну роботу системи жестового керування освітленням у режимі реального часу. Насамперед виконується обслуговування енергонезалежної пам'яті EEPROM через виклик методу `mem.tick()`. Цей метод автоматично оновлює збережені налаштування, якщо виявлено зміни в параметрах користувача, що дає змогу зберігати конфігурацію системи між сеансами живлення без необхідності вручну керувати записом у пам'ять.

У разі якщо увімкнено режим №2 (перевірка умови `data.state == true` і `data.mode == 2`), активується генерація спеціального світлового ефекту "вогонь", що реалізується через функцію `fireTick()`. Цей ефект створює динамічне пульсуюче світло з хаотичними коливаннями яскравості й відтінку, що імітує живе полум'я та значно покращує візуальне сприйняття системи.

Паралельно відбувається циклічне опитування ультразвукового датчика HC-SR04 з інтервалом у 50 мс. Отримане значення відстані до руки користувача обробляється послідовно трьома типами фільтрів. Медіанний фільтр згладжує короточасні викиди та випадкові помилки. Пропускаючий фільтр відсікає коливання, які перевищують заданий поріг, а експоненційний фільтр забезпечує поступову адаптацію до рухів користувача, що дозволяє уникати різких стрибків у даних.

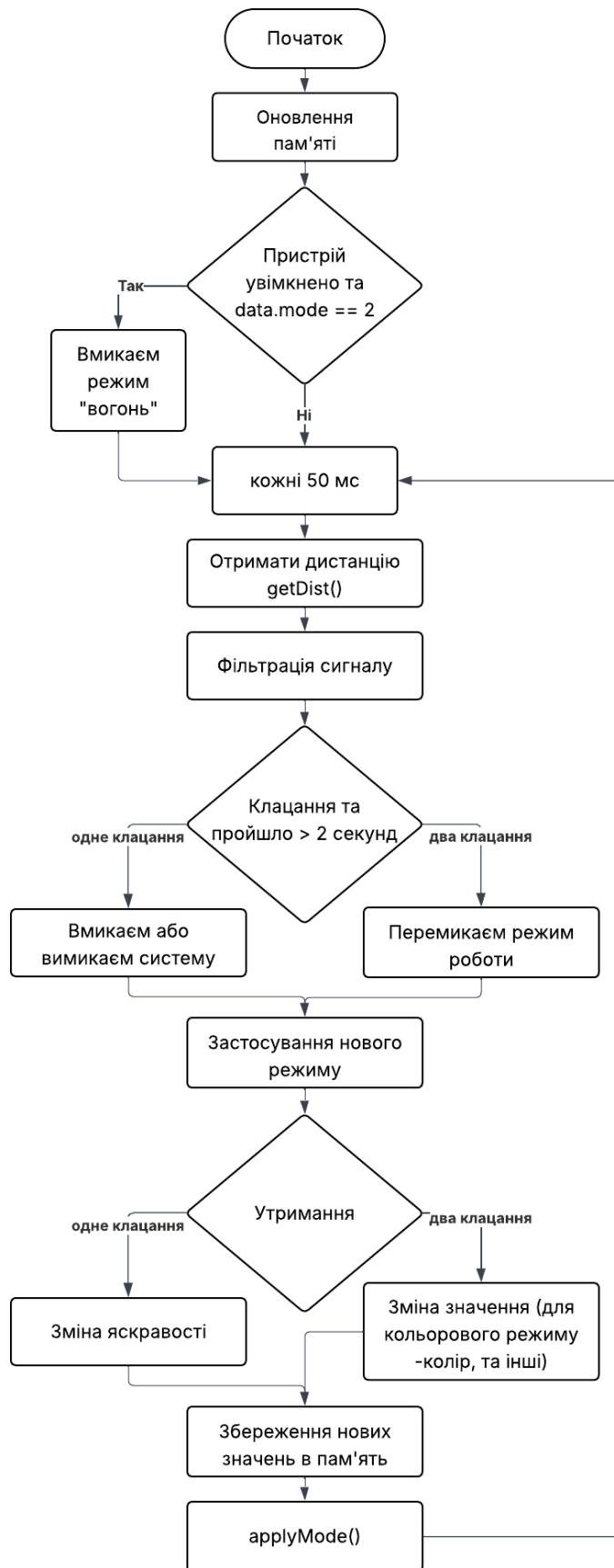


Рисунок 3.2 – Функція loop()

Після фільтрації відстань передається до бібліотеки VirtualButton, яка аналізує характер руху (тривалість, паузи, зміну положення) для визначення типу взаємодії: коротке або подвійне натискання, утримання. Такий підхід дає змогу реалізувати інтуїтивно зрозуміле керування без фізичних перемикачів, лише за допомогою жестів руки.

У разі розпізнавання дії система виконує відповідну реакцію. Одинарне натискання змінює стан освітлення – вмикає або вимикає стрічку. Подвійне натискання перемикає режими, серед яких присутні кольорове підсвічування, тепле світло та ефект "вогню". Утримання руки перед датчиком активує режим налаштування, де за кількістю клацань визначається, який саме параметр змінюється – колір чи яскравість. Подальший рух руки у цьому режимі змінює значення обраного параметра пропорційно зсуву від фіксованої позиції.

Завершальний етап – оновлення виводу світлодіодної стрічки відповідно до змінених налаштувань. Якщо відбулося переключення режиму, зміна кольору або яскравості, викликається функція `applyMode()`, яка адаптує стрічку під нові умови. Для зворотного зв'язку також може бути викликана функція `pulse()`, яка створює короткочасний спалах світла, сигналізуючи про успішне розпізнавання та обробку дії користувача. Такий підхід дозволяє зробити керування максимально природним, з мінімальною затримкою та високою чутливістю.

### 3.2 Алгоритм обробки жестів та фільтрації сигналів

У системі керування освітленням жестовий інтерфейс є ключовим елементом взаємодії між користувачем та пристроєм. Для розпізнавання жестів використовується ультразвуковий далекомір HC-SR04, який дозволяє визначати положення руки користувача відносно пристрою. Основна мета обробки даних з датчика полягає в надійному виявленні та класифікації простих жестів, таких як коротке натискання (`tap`), подвійне натискання (`double tap`), утримання (`hold`) тощо.

					КВРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		







відфільтрованим значенням і новим – із більшим коефіцієнтом ваги для попереднього. Таким чином, раптові зміни ще більше приглушуються, а результат стає максимально стабільним. Такий підхід особливо корисний при інтерпретації повільних або поступових рухів руки, наприклад, коли користувач змінює відстань не різко, а повільно переміщає долоню. У цьому випадку експоненційне згладжування допомагає уникнути "дроблення" жесту на окремі імпульси, забезпечуючи безперервну реакцію системи. Порівняння значень (рис. 3.7).

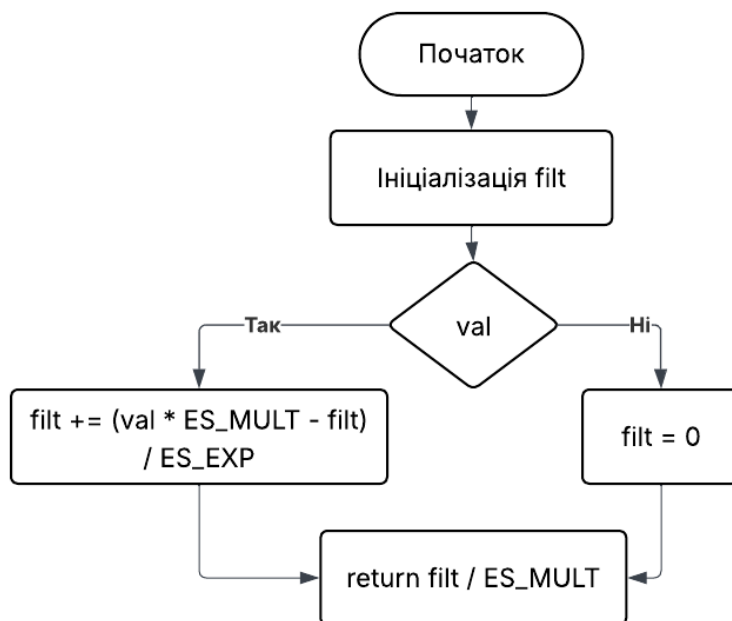


Рисунок 3.5 – Схема експоненційного фільтру

Усі три фільтри працюють послідовно та формують багаторівневу стратегію обробки сигналу, що дозволяє ефективно нівелювати недоліки ультразвукових сенсорів і забезпечити високу точність та чутливість у розпізнаванні жестів. Такий підхід не лише підвищує якість керування, але й робить систему більш передбачуваною та комфортною для користувача.

Після фільтрації значень система обробляє зміни відстані для виявлення жестів. У проєкті використано бібліотеку VirtualButton, яка дозволяє ефективно реалізувати логіку “натискань” без фізичних кнопок, використовуючи лише зміну положення руки.

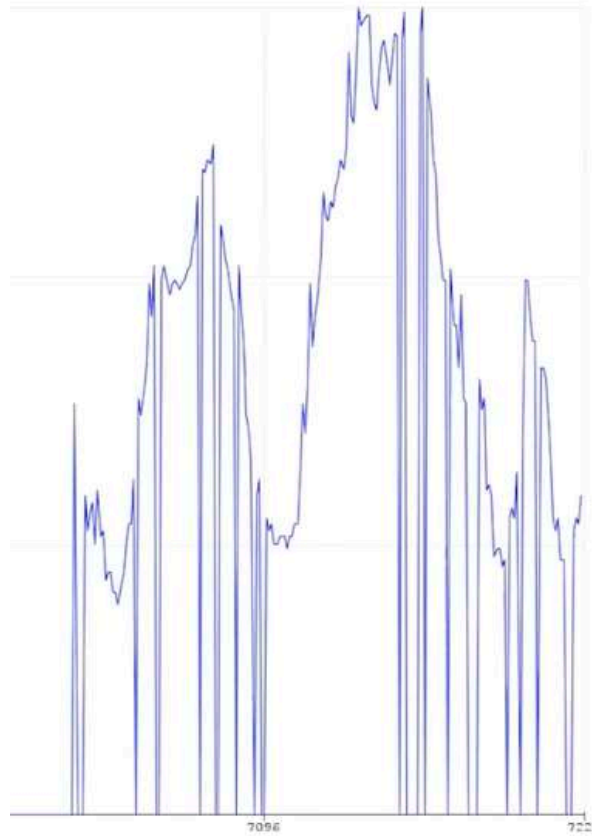


Рисунок 3.6 – Одиничні аномальні значення

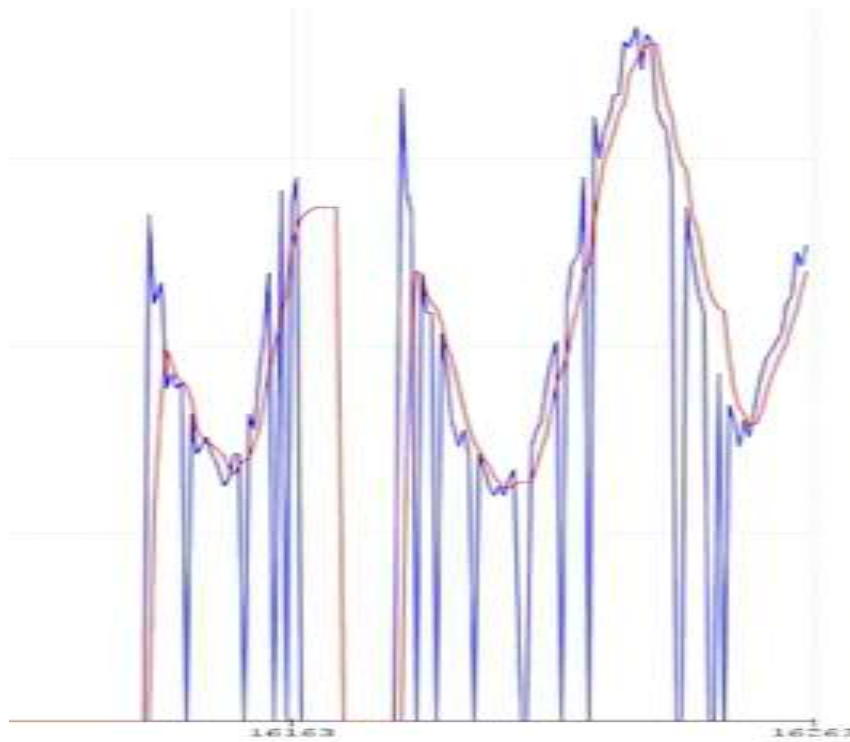


Рисунок 3.7 – Порівняння значень без фільтрів та з фільтрами

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРКІ.210125.21.01.39 ПЗ

Арк.  
53

Система розпізнає кілька ключових типів жестів, які забезпечують інтуїтивне керування освітленням без необхідності фізичних кнопок.

Одинарне натискання, яке виконується коротким змахом руки над датчиком, використовується для базових операцій – вмикання або вимикання світлодіодної стрічки.

Подвійне натискання, що складається з двох швидких змахів поспіль, слугує для перемикання між режимами, наприклад, зміни кольору підсвічування або активації динамічних ефектів.

Утримання руки над пристроєм протягом певного часу активує спеціальний режим налаштування параметрів, у якому користувач може змінювати яскравість чи колір. Якщо під час утримання користувач починає рухати рукою вгору або вниз, система інтерпретує це як команду на зміну значення: віддалення руки збільшує значення параметра (наприклад, яскравість), а наближення – зменшує. Такі жести формують природну мову взаємодії з пристроєм і забезпечують високий рівень зручності у повсякденному користуванні.

Для запобігання помилковому спрацьовуванню між окремими діями використовується таймер затримки, який не дозволяє одразу повторно реагувати на той самий жест. Також система враховує кількість "кліків", які згенеровані бібліотекою VirtualButton, і використовує їх як ключ до вибору дії.

Кожен жест передає системі певну команду. В залежності від поточного режиму (світло одного кольору, тепле світло, анімація “вогню”) обробка відбувається по-різному. Наприклад, жест з одним кліком може викликати зміну яскравості в режимі статичного світла, або змінити тон “вогню” в динамічному режимі.

Також реалізовано механізм підтвердження жесту “pulse()” через коротке миготіння світлодіодної стрічки – це створює ефект зворотного зв’язку та покращує взаємодію з користувачем (рис. 3.8).

Функція pulse() реалізує візуальний ефект миттєвого підсвічування, який виконується шляхом короткочасного підвищення яскравості світлодіодної стрічки,



параметр Hue, що дозволяє вибрати бажаний колір стрічки, утримуючи жест і переміщаючи руку.

У режимі "Тепле світло" імітується класичне тепле освітлення, де змінюється колірна температура від жовтуватого до білого тону, створюючи атмосферу затишку.

Режим "Анімація вогню" реалізує ефект коливань палаючого полум'я, генеруючи динамічні зміни яскравості та кольору для імітації тління вогню. Кожен з цих режимів має свої власні параметри, що зберігаються в енергонезалежній пам'яті мікроконтролера, забезпечуючи збереження налаштувань навіть після вимкнення живлення.

Система зберігає поточний стан, активний режим, яскравість для кожного режиму та значення параметра, що визначає колір або відтінок. Для збереження та відновлення цих параметрів використовуються функції EEPROM-менеджменту, що автоматизують запис і читання даних з пам'яті. Кожне подвійне натискання інкрементує режим, і після досягнення максимального значення, режим повертається до початкового, забезпечуючи зручне циклічне перемикання. Це дозволяє змінювати режими без необхідності у візуальному інтерфейсі.

Плавне регулювання яскравості здійснюється за допомогою програмного циклу, який поступово змінює інтенсивність світла, запобігаючи різким змінам. Також передбачена функція "затухання", яка зменшує яскравість до нуля при вимиканні системи, створюючи візуально приємний ефект. У кольоровому режимі зміна відтінку світла відбувається з плавними переходами, а в теплому режимі користувач може змінювати колірну температуру світла. У режимі "вогонь" створюється ефект палаючого полум'я через генерацію випадкових значень яскравості, що змінюються після згладжування, і відповідно до цього змінюється колір стрічки. Після кожної зміни яскравості або кольору система оновлює дані в EEPROM, але тільки у разі зміни параметрів, що дозволяє зменшити кількість циклів запису та запобігає передчасному зносу пам'яті.



Рисунок 3.9 – Зміна режимів роботи

### 3.4. Візуальний зворотний зв'язок

Візуальний зворотний зв'язок є важливим компонентом будь-якої інтерактивної системи, оскільки дозволяє користувачеві негайно отримувати підтвердження про сприйняття його дій пристроєм. У даному проекті реалізація зворотного зв'язку здійснюється за допомогою адресної світлодіодної стрічки на базі цифрових світлодіодів WS2812B, яка, окрім основного функціонального навантаження, виконує ще й роль комунікатора між пристроєм та користувачем.

```

void pulse() {
  for (int i = prev_br; i < prev_br + 45; i += 3) {
    led.setBrightness(min(255, i));
    delay(10); }
  for (int i = prev_br + 45; i > prev_br; i -= 3) {
    led.setBrightness(min(255, i));
    delay(10);
  }
}
  
```

Інформаційна взаємодія здійснюється шляхом виведення візуальних ефектів, які повідомляють про зміну режиму, реакцію на жести, стан системи, або сигналізують про виконання конкретної дії. Основний принцип полягає у миттєвій зміні кольору, яскравості чи форми анімації у відповідь на розпізнаний жест, що надає користувачеві інтуїтивне розуміння реакції пристрою без необхідності використовувати додаткові інтерфейси (наприклад, дисплеї чи звукові сигнали).

Типи візуального зворотного зв'язку включають різноманітні ефекти, що дозволяють користувачеві зручно і інтуїтивно взаємодіяти з системою освітлення. Першим є підтвердження ввімкнення або вимкнення системи: після виявлення жесту увімкнення світлодіодна стрічка плавно загоряється, починаючи з нижчого рівня яскравості, створюючи ефект "пробудження". Вимкнення освітлення супроводжується плавним затуханням, що надає приємний і зрозумілий перехід між станами.

Другим є сигнал про зміну режиму. Кожен з трьох доступних режимів має свій унікальний короткий анімаційний шаблон. У кольоровому режимі реалізується м'який перехід між кількома відтінками кольору. Для теплого світла використовується імпульс жовтуватого відтінку, що підкреслює атмосферу теплоти. У режимі "вогонь" анімація починається коротким спалахом, який поступово розгортається у вигляді "палаючої" анімації, що допомагає користувачу безпомилково визначити поточний режим роботи системи.

Третім типом є реакція на клік або утримання жесту. Одноразове натискання викликає ефект "пульсу", коли яскравість стрічки миттєво збільшується і потім повертається до попереднього значення, що дає сигнал про те, що жест був успішно зареєстрований. При утриманні руки над датчиком, коли користувач змінює яскравість або колір, зміни миттєво відображаються в реальному часі, надаючи відчуття контролю та точності під час налаштування параметрів.

Четвертим є анімація декоративних ефектів. У режимі "вогонь" генеруються динамічні коливання яскравості та кольору, які імітують реалістичне полум'я. Це створюється за допомогою програмного згладжування випадкових значень, що

забезпечує плавні та органічні зміни кольору і яскравості, надаючи ефект природного вогню.

Для реалізації цих ефектів використовуються функції бібліотеки FastLED, які дають змогу змінювати колір кожного окремого світлодіода або всієї стрічки одночасно, реалізувати поступові зміни параметрів, наприклад, фейдінг (плавне згасання/збільшення яскравості), та створювати ефекти на основі значень, отриманих із сенсора, забезпечуючи високий рівень інтерактивності й комфорту користувача.

Колірне кодування відповідає логіці інтерфейсу: теплі відтінки пов'язані з освітленням, холодні або яскраві кольори – із системними командами чи підтвердженнями. Це дозволяє користувачу інтуїтивно сприймати сигнали навіть без попереднього навчання.

Уся логіка візуального зворотного зв'язку тісно інтегрована з модулем розпізнавання жестів. Результати обробки відстані з ультразвукового сенсора подаються на інтерпретатор жестів, який видає сигнали: клік, утримання, подвійний клік тощо. Залежно від типу дії система генерує відповідний візуальний ефект.

Наприклад, при довгому утриманні руки змінюється яскравість, і користувач одразу бачить результат зміни. Таким чином, реалізована концепція прямого контролю: «жест – результат».

### 3.5. Висновки до третього розділу

У межах третього розділу дипломної роботи було повністю реалізовано програмну частину кіберфізичної системи освітлення з жестовим керуванням. Основна мета цього етапу полягала в розробці надійного, ефективного та гнучкого програмного забезпечення, яке здатне забезпечити точне зчитування жестів, обробку сигналів з ультразвукового сенсора, збереження налаштувань та динамічне керування адресною світлодіодною стрічкою. В результаті вдалося

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створити комплексну систему з високим рівнем інтерактивності, стабільності та зручності у використанні.

Однією з найважливіших частин програмного забезпечення є модуль взаємодії з ультразвуковим сенсором HC-SR04. У ньому реалізовано вимірювання відстані до руки користувача за допомогою імпульсного сигналу та фіксації часу його повернення. Для підвищення точності зчитування впроваджено послідовну фільтрацію: медіанний фільтр дозволяє згладити одиничні шуми, пропускаючий фільтр запобігає різким стрибкам, а експоненційний фільтр дозволяє м'яко реагувати на поступові зміни. Завдяки цьому відстань до об'єкта фіксується стабільно та з високою точністю.

Механізм розпізнавання жестів реалізовано на основі бібліотеки VirtualButton. Вона дозволяє інтерпретувати поведінку руки в зоні датчика як віртуальні натискання або утримування. На практиці це виглядає так: короткочасне проведення руки над датчиком сприймається як одиночне натискання, подвійне проведення – як подвійне натискання, а утримування руки над датчиком – як утримування кнопки. Програма розпізнає не лише сам факт виконання жесту, а й кількість "натискань", що дозволяє реалізувати кілька команд у межах одного інтерфейсу без потреби в додаткових кнопках чи елементах керування.

Логіка програми побудована так, щоб забезпечити простий, інтуїтивно зрозумілий та чіткий зв'язок між діями користувача та реакцією пристрою. Одинарний жест вмикає або вимикає освітлення. Подвійний – перемикає режими роботи. Утримування дозволяє змінювати яскравість або колір у поточному режимі залежно від кількості "натискань", та зміни відстані руки від датчика. Таким чином, користувач має повний контроль над освітленням лише за допомогою жестів, що значно підвищує зручність експлуатації.

Окрема частина програмного коду відповідає за керування адресною світлодіодною стрічкою типу WS2812B. У проєкті використано бібліотеку FastLED, яка надає широкі можливості для індивідуального керування кожним світлодіодом. Через структуру led реалізовано керування кольорами у різних

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

режимах. Наприклад, у режимі «Кольорове світло» змінюється відтінок відповідно до значення по колірному колу. У режимі «Тепле світло» значення конвертується у шкалу Кельвіна. Також реалізовано плавну зміну яскравості, що робить перехід між станами приємним для очей.

Особливу увагу приділено анімаційним ефектам. Зокрема, режим «Анімація вогню» реалізовано у вигляді коливань яскравості та кольору на основі генерації псевдовипадкових значень і подальшої фільтрації. Такий ефект візуально нагадує тремтіння справжнього полум'я, що створює атмосферність та підвищує естетичну цінність системи. Цей режим може бути розширений або адаптований під інші ефекти, що свідчить про гнучкість архітектури коду.

Для покращення взаємодії з користувачем у програму включено візуальний зворотний зв'язок – коротке «блимання» світла, що викликається під час виконання певних дій (функція pulse). Це надає користувачу зрозумілий сигнал про те, що система розпізнала жест або виконала команду. Такий підхід значно покращує UX (досвід користувача), особливо у випадках, коли керування здійснюється без фізичного контакту.

У результаті розроблена програмна частина є добре структурованою, зручною для налагодження та масштабування. Завдяки використанню модульного підходу, основні функціональні блоки чітко розділено: вимірювання відстані, фільтрація, обробка жестів, керування освітленням, ефекти, збереження даних. Це дозволяє легко змінювати або доповнювати окремі частини коду без впливу на загальну логіку системи.

Таким чином, у межах третього розділу було успішно реалізовано повноцінну програмну частину кіберфізичної системи керування освітленням. Система функціонує точно, стабільно та з високим ступенем чутливості до жестів. Її архітектура дозволяє легко адаптувати рішення для інших типів пристроїв або розширити функціонал без радикальних змін.

					КВРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було сформовано концепцію, спроектовано архітектуру та реалізовано програмну частину кіберфізичної системи освітлення на основі жестового керування за допомогою ультразвукового сенсора HC-SR04.

У першому розділі проведено змістовний аналіз предметної області кіберфізичних систем освітлення на основі жестового керування. Було досліджено сучасні технології розпізнавання жестів, особливості різних типів сенсорів, переваги й обмеження ультразвукових методів, а також сформульовано вимоги до майбутньої системи. У результаті обґрунтовано вибір ультразвукового датчика як ключового елемента для зчитування жестів завдяки його стабільній роботі незалежно від умов освітлення, низькому енергоспоживанню, простоті інтеграції та доступності.

У другому розділі проведено розробку та реалізацію апаратної частини пристрою. Визначено основні компоненти системи, їх характеристики та взаємодію. Побудовано монтажну та електрично принципову схеми. У результаті було створено функціональну систему, здатну визначати жести користувача на основі відстані до об'єкта, та відповідно змінювати візуальні ефекти на світлодіодній стрічці.

У третьому розділі реалізовано програмне забезпечення системи, яке забезпечує стабільне функціонування всіх її компонентів. Було створено програмний модуль для зчитування даних з ультразвукового сенсора та їх подальшої обробки із застосуванням медіанного, згладжувального та експоненційного фільтрів. Реалізовано модуль розпізнавання жестів з підтримкою різних типів взаємодії — одинарного жесту, подвійного, наближення та утримування. Архітектура коду побудована за модульним принципом, що полегшує її масштабування, адаптацію до нових вимог і тестування.

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Chen L., Dui H., Zhang C. A resilience measure for supply chain systems considering the interruption with the cyber-physical systems. *Reliability engineering & system safety*. 2020. P. 199.
2. Cabello J. C., Karimipour H., Jahromi A. N., Dehghantanha A., & Parizi R. M. Big-data and cyber-physical systems in healthcare: Challenges and opportunities. *Handbook of Big Data Privacy*. 2020. P. 255-283.
3. Alohalı M. A., Al-Wesabi F. N., Hilal A. M., Goel S., Gupta D., Khanna A. Artificial intelligence enabled intrusion detection systems for cognitive cyber-physical systems in industry 4.0 environment. *Cognitive Neurodynamics*. 2022. Vol. 16(5). P. 1045–1057.
4. Oudah M., Al-Naji A., Chahl J. Hand gesture recognition based on computer vision: a review of techniques. *journal of Imaging*. 2020. Vol. 6(8). P. 73.
5. Mohanty S. P. Advances in Transportation Cyber-Physical System (T-CPS). *IEEE Consumer Electronics Magazine*. 2020. Vol. 9(4). P. 4–6.
6. Як технологія розпізнавання жестів завойовує різні галузі. URL: <https://www.imena.ua/blog/how-gesture-recognition-conquers-different-industries> (дата звернення: 01.05.2025).
7. Hao W., Yang T., Yang Q. Hybrid statistical-machine learning for real-time anomaly detection in industrial cyber–physical systems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2021. Vol. 20(1). P. 32–46.
8. de Araujo-Filho P. F., Kaddoum G., Campelo D. R., Santos A. G., Macêdo D., Zanchettin C. Intrusion detection for cyber–physical systems using generative adversarial networks in fog environment. *IEEE Internet of Things Journal*. 2020. Vol. 8(8). P. 6247–6256.
9. Адресна світлодіодна стрічка. URL: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/adresna-svitlodiodna-strichka-ssho-se> (дата звернення: 01.05.2025).

					КвРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Stellios I., Mokos K., Kotzanikolaou P. Assessing smart light enabled cyber-physical attack paths on urban infrastructures and services. *Connection Science*. 2022. Vol. 34(1). P. 1401-1429.

11. Zhu Q., Xu Z. Cross-layer design for secure and resilient cyber-physical systems : manual. Cham, Switzerland: Springer, 2020. P. 45.

12. Zhou X., Xu X., Liang W., Zeng Z., Shimizu S., Yang L. T., Jin Q. Intelligent small object detection for digital twin in smart manufacturing with industrial cyber-physical systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2021. Vol. 18(2). P. 1377-1386.

13. Barchinezhad S., Haghghi M. S., Puig V. Identification and analysis of stochastic deception attacks on cyber–physical systems. *Journal of the Franklin Institute*. 2024. Vol. 361(8).

14. Zhang Y., Jiang T., Shi Q., Liu W., Huang, S. Modeling and vulnerability assessment of cyber physical system considering coupling characteristics. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2022. Vol. 142.

15. Inderwildi O., Zhang C., Wang X., Kraft M. The impact of intelligent cyber-physical systems on the decarbonization of energy. *Energy & Environmental Science*. 2020. Vol. 13(3). P. 744-771.

16. Tchantchane R., Zhou H., Zhang S., Alici G. A review of hand gesture recognition systems based on noninvasive wearable sensors. *Advanced intelligent systems*. 2023. Vol. 5(10).

17. Qi L., Chen Y., Yuan Y., Fu S., Zhang X., Xu X. A QoS-aware virtual machine scheduling method for energy conservation in cloud-based cyber-physical systems. *World Wide Web*. 2020. Vol. 23. P. 1275-1297.

18. Мікроконтролер Arduino. URL: <https://bitkit.com.ua/shho-take-arduino> (дата звернення: 01.05.2025).

19. Bernardi S., Gentile U., Marrone S., Merseguer J., Nardone R. Security modelling and formal verification of survivability properties: Application to cyber–physical systems. *Journal of Systems and Software*. 2021. Vol. 171.



intelligent cyber–physical systems. *IEEE Internet of Things Journal*. 2021. Vol. 9(22). P. 22095-22108.

30. Rupprecht T., Wang Y. A survey for deep reinforcement learning in markovian cyber–physical systems: Common problems and solutions. *Neural Networks*. 2022. Vol. 153. P. 13-36.

31. Qi J., Jiang G., Li G., Sun Y., Tao B. Surface EMG hand gesture recognition system based on PCA and GRNN. *Neural Computing and Applications*. 2020. Vol. 32. P. 6343-6351.

32. Zampetti F., Tamburri D., Panichella S., Panichella A., Canfora G., Di Penta, M. Continuous integration and delivery practices for cyber-physical systems: An interview-based study. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*. 2023. Vol. 32(3). P. 1-44.

33. Turk M., Athitsos V. Gesture recognition. In *Computer vision: A reference guide*. Cham: Springer International Publishing. 2021. P. 535-539.

34. Qi J., Ma L., Cui Z., Yu Y. Computer vision-based hand gesture recognition for human-robot interaction. *Complex & Intelligent Systems : a review*, 2024. Hebei, China. Vol. 10(1). P. 1581-1606.

35. Схеми підключення адресної світлодіодної стрічки. URL: <https://polum.com.ua/skhemy-pidkliuchennia-adresnoi-svitlodiodnoi-strichky> (дата звернення: 10.05.2025).

36. FastLED Library. URL: <https://fastled.io/docs> (дата звернення: 11.05.2025).

37. Qi W., Ovrur S. E., Li Z., Marzullo A., Song R. Multi-sensor guided hand gesture recognition for a teleoperated robot using a recurrent neural network. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2021. Vol. 6(3). P. 6039-6045.

38. Moin A., Zhou A., Rahimi A., Menon A., Benatti S., Alexandrov G., Rabaey J. M. A wearable biosensing system with in-sensor adaptive machine learning for hand gesture recognition. *Nature Electronics*. 2021. Vol. 4(1). P. 54-63.

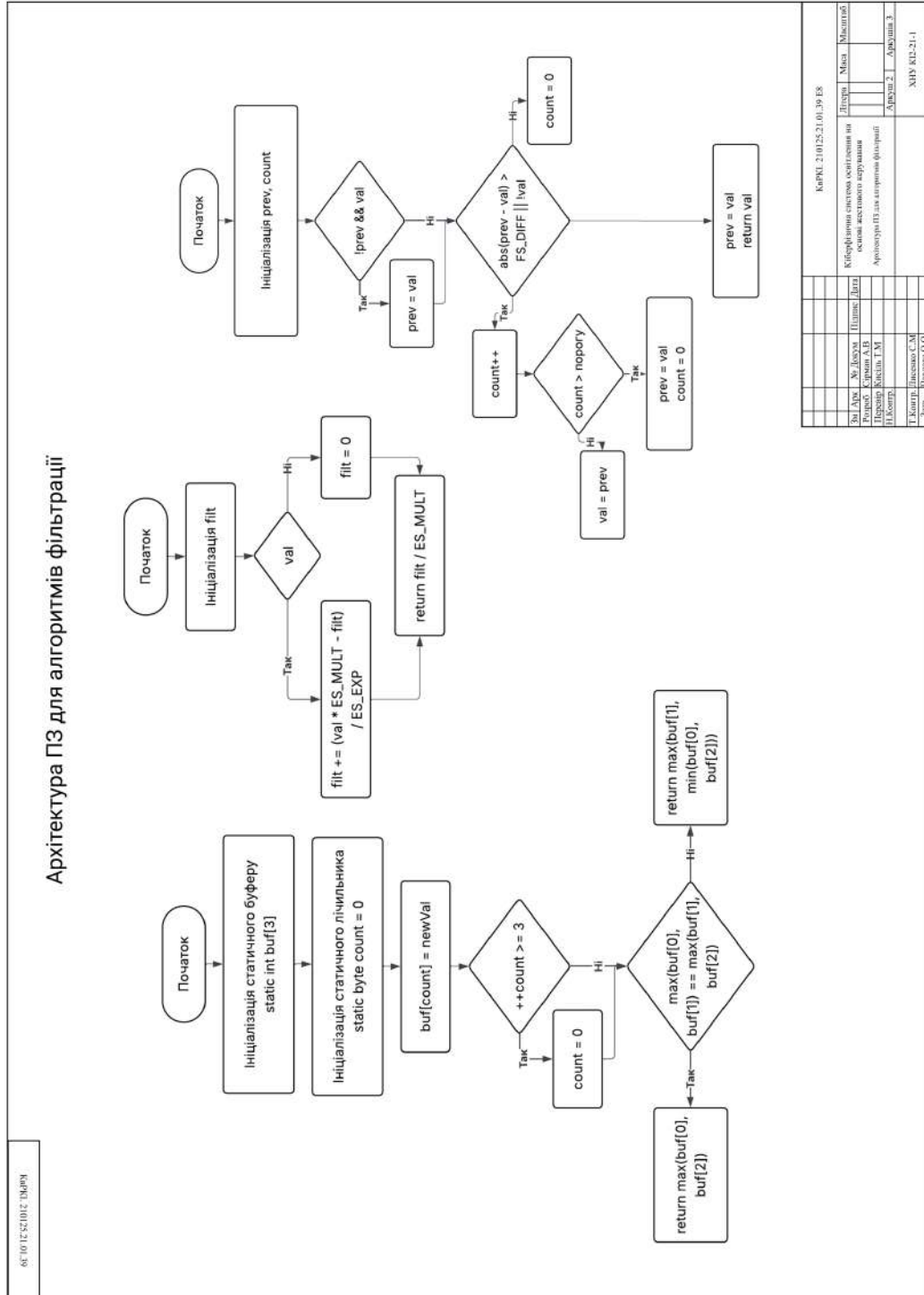
					КВРКІ.210125.21.01.39 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





## Додаток Б (обов'язковий)

### КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АРХІТЕКТУРА ПЗ ДЛЯ АЛГОРИТМІВ ФІЛЬТРАЦІЇ»



Ідентифікатор системи освітлення на основі асистованого керування		Літера	Місяц	Настанова
Знак	№ документа	Підпис	Дата	
Розробник	Керівник А.Б.			
Проєктувальник	В.М.			
Проєктувальник	Г.М.			
Проєктувальник	Д.М.			
Проєктувальник	С.М.			
Проєктувальник	О.О.			
Проєктувальник	С.М.			
Проєктувальник	О.О.			
Ідентифікатор системи освітлення на основі асистованого керування				Місяць
Архітектура ПЗ для алгоритмів фільтрації				Лист 2 з 3
Ідентифікатор системи освітлення на основі асистованого керування				Місяць
Архітектура ПЗ для алгоритмів фільтрації				Лист 2 з 3
Ідентифікатор системи освітлення на основі асистованого керування				Місяць
Архітектура ПЗ для алгоритмів фільтрації				Лист 2 з 3



## Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Артем СІРМАН

Співавтор:

Назва: Сірман\_Кіберфізична система освітлення на основі жестового керування

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:6.9%

Коефіцієнт подібності 2:3.1%

Мікропробіли: 6

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-05-23 19:44:22.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-05-23

Дата




Доцент Андрій Нічепорук

експерт

# Anti-Plagiarism v-15.274 Educational

The maximum coincidence with one document 29.0%

Dictionaries check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Errors in the documents: 11%

ID: 241843 Title: БКР Кіберфізична система освітлення на основі жестового керуванн  Added in a DB: 2025-05-23 Authors: Артем СІРМАН Heads: Артем СІРМАН Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	86333	647	25742 (30%)	192 (30%)

## Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes
240735	Title: Звіт з ПДП Кіберфізична система освітлення на основі жестового керування Added in a DB: 2025-05-01 Authors: Сірман А.В. Heads: Кисіль Т.М. Consultants: Opponents:	24983 (29.0%)	182 (28.0%)

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Сірман Артем Віталійович

Тема: Кіберфізична система освітлення на основі жестового керування

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень  3  Кількість сторінок записки  59

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є дослідження умов та особливостей побудови кіберфізичної системи освітлення з використанням технології жестового керування.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області (проаналізовано існуючі рішення кіберфізичних систем з функціоналом керування жестами, також розглянуто різновиди датчиків для розпізнавання жестів) та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено проектування електрично принципової та монтажної схеми, також розглянуто та визначено апаратні підсистеми програмно-технічного засобу (ультразвуковий далекомір – основний модуль для розпізнавання жестів, Arduino Nano – мікроконтролер для проведення всіх вчислень та керування рештою модулів, адресна світлодіодна стрічка – основний модуль освітлення в кіберфізичній системі). В третьому розділі кваліфікаційної роботи проведено реалізацію програмного забезпечення для кіберфізичної системи освітлення (створено каскад функцій для фільтрування даних з ультразвукового далекоміру, реалізовано логіку та функціонал режимів роботи, розроблено допоміжні функції для запису стану системи в енергонезалежну пам'ять, візуального відгуку на дії) та детально описано принципи роботи.

4. Позитивні сторони роботи: підвищена гігієнічність, можливість адаптації для людей з обмеженими можливостями.

5. Негативні сторони роботи: можливі хибні спрацювання при випадкових рухах рук.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Бедратюк А. Т.

д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри ІПЗ

“28” 05 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КІПС  
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Артема СІРМАНА

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

22.05 2025 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Кіберфізична система освітлення на основі жестового керування  
Автор Артем СІРМАН  
Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування  
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень  
Спеціальність 123– Комп'ютерна інженерія  
Науковий керівник: к.ф.-м.н., доцент, Тетяна КИСІЛЬ

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	Відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	Не виявлено

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 6.93% і адресується до 42 першоджерел; та системою Anti-Plagiarism складає 29%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІІС



Тетяна КИСІЛЬ

Андрій НІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА