

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки

(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

БЕЗДРОТОВИЙ ГЕЙМПАД ПІСТОЛЕТ НА БАЗІ МОДУЛЯ D1 MINI
WIRELESS GAMEPAD GUN BASED ON THE D1 MINI MODULE

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

групи КІс-21

Янко Роман Олександрович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Поліщук Микола Миколайович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

« 07 » червня 2024 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2024 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф. Н.Черняшук

« 10 » 01 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Янку Роману Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Бездротовий геймпад пістолет на базі модуля D1 mini

Керівник роботи к.т.н., доцент Поліщук Микола Миколайович

затверджені наказом закладу вищої освіти від «30» грудня 2023 року № 459/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 11.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи Джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області та різні інтернет-ресурси технічного спрямування

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

Вступ

Теоретичний огляд

Вибір засобів та методів

Розробка геймпад пістолета

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Теоретичний огляд</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Вибір засобів та методів</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Розробка геймпад пістолета</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С.В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		_____ %	
<i>Академічна добросовісність</i>	<i>Міскевич О.І., асистент</i>		

7. Дата видачі завдання 10.01.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розділ 1. Теоретичний огляд</i>	до 15.02.2024 р.	Виконано
2.	<i>Розділ 2. Вибір засобів та методів</i>	до 15.03.2024 р.	Виконано
3.	<i>Розділ 3. Розробка геймпад пістолета</i>	до 04.05.2024 р.	Виконано
4.	<i>Висновки та пропозиції</i>	до 07.05.2025 р.	Виконано
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	до 10.05.2024 р.	Виконано
6.	<i>Формування додатків</i>	до 15.05.2024 р.	Виконано
7.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	до 20.05.2024 р.	Виконано
8.	<i>Нормоконтроль</i>	до 01.06.2024 р.	Виконано
9.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 04.06.2024 р.	Виконано
10.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	до 11.06.2024 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Янко Р.О.

_____ (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Поліщук М.М.

_____ (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Янко Р.О. Бездротовий геймпад пістолет на базі модуля D1 mini. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024. 49 с.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

Перший розділ присвячено огляду предметної області, розглянуто основні поняття, види геймпад пістолетів, еволюцію ігрових контролерів.

В другому розділі здійснено вибір та обґрунтування засобів розробки. Обрано засоби: метод передачі даних, модуль D1 Mini, датчик кольору TCS34725.

Третій розділ присвячено опису роботи світлової зброї, розробки геймпад пістолета та програмної реалізації.

Ключові слова: контролер, комп'ютерна гра, світловий пістолет, модуль D1 mini.

ANNOTATION

Yanko R.O. Wireless gamepad gun based on the D1 Mini module. Manuscript.
Qualifying work of a bachelor of EP «Computer Engineering» specialty 123
Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024. 49 c.

The qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, and a list of used sources.

The first chapter is dedicated to the overview of the subject area, the main concepts, types of gamepad guns, evolution of game controllers are considered.

In the second section, the selection and justification of development tools is carried out. Selected means: data transfer method, D1 Mini module, TCS34725 color sensor.

The third chapter is devoted to the description of the operation of the light weapon, the development of the gun gamepad and software implementation.

Keywords: controller, computer game, light gun, D1 mini module.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	8
1.1 Класифікація ігрових пристроїв.....	8
1.2 Огляд геймпад пістолетів.....	9
1.3 Розвиток бездротових технологій у геймінгу	16
1.4 Сучасні тренди і нововведення в ігрових контролерах	19
РОЗДІЛ 2 ВИБІР МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ	22
2.1 Вибір методів передачі даних	22
2.1.1 Bluetooth	22
2.1.2 WiFi	23
2.1.3 Відмінності між Bluetooth і WiFi.....	23
2.2 Модуль D1 Mini	27
2.3 Датчик кольору TCS34725.....	30
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ГЕЙМПАД ПІСТОЛЕТА.....	34
3.1 Принцип роботи легкої зброї.....	34
3.2 Розробка геймпад пістолета.....	36
3.3 Програмна реалізація	38
ВИСНОВКИ	46
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми полягає в стрімкому розвитку ігрових пристроїв, демонструючи постійне зростання попиту на інноваційні та більш інтерактивні способи взаємодії з ігровими середовищами.

Бездротові геймпади у формі пістолета є особливо цікавими для жанрів ігор, де важлива реалістичність та точність стрільби, наприклад, шутери від першої особи. Такі пристрої не лише підвищують рівень залученості гравця, але й сприяють розвитку нових видів ігрових механік.

Робота над даною темою сприятиме популяризації знань про мікроконтролери та їх застосування у розробці інтерактивних пристроїв, що є важливим для розвитку технічної творчості та інженерних навичок.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у створенні дешевого, функціонального та ефективного бездротового геймпад пістолета для використання в ігрових системах.

Об'єкт дослідження – бездротовий геймпад пістолет.

Предмет дослідження – процес розробки та реалізації бездротового геймпада у формі пістолета на базі модуля D1 mini.

Завдання, які необхідно виконати:

- Виконати огляд геймпад пістолетів.
- Вибір оптимальної технології бездротового зв'язку.
- Розробити апаратної та програмної частини.
- Реалізувати тестування прототипу.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД

У середині-кінці 20 століття поява комп'ютерних ігор ознаменувала початок нового способу ігрової взаємодії. Якщо раніше гра зазвичай включала пряму фізичну взаємодію з її елементами (футбольними м'ячами, більярдом, шаховими фігурами), то в комп'ютерних іграх з'явилася ідея використання апаратних пристроїв введення для виконання ігрової дії, внаслідок чого будь-яке довільне вимірне фізичне введення може бути перетворене для отримання будь-якого довільного ігрового результату. Таким чином, комп'ютерні пристрої введення є новими посередниками в іграх та ігровому процесі.

1.1 Класифікація ігрових пристроїв

Контролер – це електронний пристрій, який використовується як платформа для введення даних користувачем. Ці контролери історично мали форму клавіатури, миші, консолей (таких як Xbox чи Playstation) чи деяких інших типів пристроїв введення. Зазвичай елементи управління у грі визначаються типом платформи, де розроблена гра.

Ігрові контролери суттєво еволюціонували з перших днів відеоігор. Від простих джойстиків до складних багатофункціональних інтерфейсів контролери зіграли вирішальну роль у формуванні ігрового досвіду. У цій кваліфікаційній роботі розглянемо історію ігрових контролерів, досліджуючи їх еволюцію, інновації та вплив на культуру ігор.

На початку ігор джойстики були основними пристроями введення для керування персонажами чи об'єктами на екрані. Ці прості пристрої склалися з палиці, яку можна було нахилити в різних напрямках, щоб рухати персонажа або переміщатися по меню. Джойстики були популяризовані аркадними іграми та першими домашніми ігровими консолями, такими як Atari 2600.

З розвитком ігрових технологій контролери почали включати кнопки для більш точного введення. Nintendo Entertainment System (NES) представила культову D-pad і компоновання кнопок, які стануть стандартними для багатьох майбутніх контролерів. Цей дизайн дозволив створити більш складну механіку ігрового процесу та проклав шлях до появи платформерів, файтингів та інших жанрів.

Поява аналогових джойстиків і тригерів ознаменувала значний стрибок у розробці контролера. Такі системи, як Nintendo 64 і Sony PlayStation, представили контролери з джойстиками, які дозволяли точніше контролювати рухи в грі. Кнопки тригерів надають додаткові функції для таких дій, як стрільба в шутерах від першої особи або прискорення в гоночних іграх, ще більше покращуючи ігрові враження.

З появою технології датчиків руху та сенсорних інтерфейсів ігрові контролери набули нових форм. Пульт Wii Remote від Nintendo зробив революцію в іграх завдяки елементам керування рухом, дозволивши гравцям взаємодіяти з іграми більш інтуїтивно зрозумілим і захоплюючим способом. Подібним чином у смартфонах і планшетах з'явилися ігри з сенсорним екраном, які створили нові типи ігрового процесу та параметри доступності.

Оскільки ігри стали більш різноманітними та інклюзивними, контролери почали пропонувати більше налаштувань і задовольняти конкретні потреби. Спеціальні контролери, такі як бойові палиці для змагальних бойових ігор або адаптивні контролери для гравців з обмеженими можливостями, стають все більш популярними. Крім того, налаштовані контролери зі змінними частинами та програмованими кнопками дозволяють гравцям адаптувати свій ігровий досвід відповідно до своїх уподобань.

1.2 Огляд геймпад пістолетів

Легка зброя у відеоіграх зазвичай створена на основі балістичної зброї (пістолет, але іноді дробовик, снайперська гвинтівка чи автомата) і

використовується для націлювання на об'єкти на екрані. Завдяки зворотному зв'язку легкий пістолет також може імітувати віддачу зброї.

Ця зброя була популярна в аркадних іграх, але не прижилася на ринку домашніх ігрових консолей. Можливо через те, що люди не купували більше ніж один додатковий контролер, не кажучи вже про спеціальний і часто дорогий периферійний пристрій, або тому, що світлові гармати не зручно використовувати з маленькими телевізійними екранами.

Найпопулярнішим прикладом ігрової зброї є Zapper від Nintendo для Nintendo Entertainment System, хоча також існують світлові рушниці для Sony PlayStation, Microsoft Xbox, Magnavox Odyssey та багатьох інших консольних і аркадних систем. Останні відеоігри з легкою зброєю включають Time Crisis 3, Virtua Cop 3 і The House of the Dead III.

Цілі в шутерах зазвичай загрозливі антагоністи, такі як злочинці, терористи чи зомбі [1], або це неживі предмети, такі як яблука чи пляшки. Сюжети таких ігор загальноприйняті, містять теми бойовиків або жахів [1], хоча в деяких пізніших версіях ігор використовуються більш гумористичні, автореферентні стилі.

Легка зброя в шутерах здебільшого спрямована на стрільбу по великій кількості ворогів, які атакують хвилями. Головний герой може захищатися, сховавшись, або стріляти з кинутої зброї, використовувати сокири чи гранати [1]. Гравець також може змагатися з часом, однак у деяких іграх також є битви з босами. Ігри також можуть винагороджувати гравця за точну стрільбу додатковими очками, посиленнями або секретами [1]. Ігри, в яких гравець не протистоїть антагоністам, натомість містять складні виклики, побудовані переважно з неживих об'єктів, перевіряючи швидкість і точність гравця. Більш звичайні ігри можуть містити ці типи викликів як міні-ігри [1].

В шутерах з використанням легкої зброї вносять таке поняття, як рух «по рейках», що не дає гравцеві можливості контролювати напрямок, у якому рухається герой; гравець має контроль лише над прицілюванням і стрільбою. Деякі ігри, однак, можуть дозволити головному герою схватися одним

натисканням кнопки. Інші ігри можуть взагалі уникати руху по рейках і дозволяти гравцеві вільно переміщати головного героя навколо ігрового середовища [2]; ще інші можуть мати статичне середовище. Шутери використовують перспективу від першої особи для прицілювання, хоча деякі ігри можуть дозволити гравцеві переключитися на перспективу від третьої особи, щоб маневрувати головним героєм [2].

Не всі ігри зі зброєю використовують легку зброю для введення. У багатьох аркадних іграх зі зброєю також використовуються позиційні рушниці, прикріплені до шафи за допомогою шарніра, який дозволяє гравцеві прицілюватися. Вони працюють зовсім інакше, ніж оптичні світлові рушниці, які прив'язані та зберігаються у встановленій кобурі. Позиційна гармата – це, по суті, аналоговий джойстик, який записує положення гармати, щоб визначити, куди на екрані цілиться гравець [3, 4]. Аркадні ігри зі зброєю, які використовують позиційну зброю, включають Silent Scope [5], Space Gun [6] і Revolution X [7].

Позиційний пістолет – це, по суті, аналоговий джойстик, який записує положення пістолета, щоб визначити, куди він цілиться. Пістолет необхідно відкалібрувати, що зазвичай відбувається після включення. Крім того, деякі ігри навіть мають встановлені оптичні гармати (наприклад, Exidy's Crossbow), можливо, щоб зробити їх менш привабливими для потенційно деструктивної молоді.

Легка механічна зброя існувала ще до появи електронних відеоігор [8]. Перші механічні світлові гармати з'явилися в 1930-х роках після розробки світлочутливих вакуумних трубок. Невдовзі ця технологія почала з'являтися в аркадних іграх-стрілялках.

Електромеханічна ера (1966-1972)

Найпершою відомою грою з механічною зброєю була Seeburg Ray-O-Lite 1936 року. Ігри з використанням цієї іграшкової рушниці були механічними, у яких рушниця стріляла променями світла по мішенях, підключених датчиками. Ці ігри розвивалися протягом наступних десятиліть, кульмінацією яких стали електромеханічні ігри, такі як Sega's Periscope (перша успішна гра компанії,

випущена в 1966 році), яка вимагала від гравця націлюватися на картонні кораблі. Пізніше Sega випустила ігри зі зброєю, які нагадують відеоігри-шутери з легкою зброєю від першої особи, але насправді це були електромеханічні ігри, які використовували задню проекцію зображення у спосіб, подібний до стародавнього китайського зоотропу, для створення рухомих анімованих цілей на екрані, по яких стріляє світлова зброя. Першою з цих ігор була Duck Hunt [9], яку Sega випустила в 1969 році [10]; гра демонструвала анімовані рухомі мішені на екрані, рахунок гравця та мала звукові ефекти, гучність яких можна було контролювати [9]. Того ж року вони випустили Missile, який містив електронний звук і рухому півку для відображення цілей на екрані, з гарматою, якою керували за допомогою джойстика [11]. Останньою електромеханічною грою Sega (перед переходом до відеоігор) була Killer Shark 1972 року, гра з легкою зброєю, яка була відома своєю появою у фільмі Стівена Спілберга «Щелепи» 1975 року [8, 12]. Протягом 1970-х років механічні аркадні ігри поступово замінювали електронні відеоігри.

Ранні відеоігри (1972-1983)

Світлові пістолети, що використовуються в електронних відеоіграх, працюють протилежно до своїх механічних аналогів: датчик знаходиться в пістолеті, і натискання спускового гачка дозволяє йому отримувати світло від екранних цілей. Комп'ютерні світлові ручки використовувалися в практичних цілях у Массачусетському технологічному інституті на початку 1960-х років [13]. У 1970 році Nintendo випустила першу світлову рушницю на сонячних батареях – Nintendo Beam Gun; це була перша комерційно доступна легка зброя для домашнього використання, вироблена у партнерстві з Sharp.

У 1972 році перша комерційно доступна відеоігрова консоль Magnavox Odyssey мала аксесуар для легкої зброї. Це була перша участь Nintendo у відеоіграх. За словами історика відеоігор Мартіна Пікарда: «у 1971 році Nintendo уклала – ще до виходу на ринок першої домашньої консолі в Сполучених Штатах – альянс з американським піонером Magnavox для розробки та виробництва оптоелектронної зброї для Odyssey (випущеної в 1972 році), оскільки це було

схоже на те, що Nintendo змогла запропонувати на японському ринку іграшок у 1970-х» [14].

Nintendo в 1974 році випустила аркадну гру Wild Gunman, яка використовувала оптичні світлові гармати та відеопроєкцію повного руху з 16-міліметрової плівки для відображення живих стрільців-супротивників на екрані [15]. Приблизно в той же час Sega випустила перші кооперативні відеоігри аркадного шутера Balloon Gun (1974) [16, 1] і Bullet Mark (1975), де гравці використовують легкі рушниці, щоб потравляти з різноманітними рухомими цілями, що відображаються на моніторі, причому менші бали надаються за повільніші цілі, такі як повітряні кулі та танки, і вищі бали за швидші цілі, такі як пірати та реактивні літаки, тоді як бали віднімаються за промахи, які також змінюються залежно від того, які цілі пропущено [17].

Перші ігри зі зброєю, керовані за допомогою позиційної зброї, на відміну від легкої зброї, також почали з'являтися приблизно в той самий час у 1970-х роках. Раннім прикладом була аркадна гра Sega Sea Devil 1972 року, електромеханічна гра, схожа на Killer Shark, але з навісною позиційною гарматою, яка стріляла по рухомих цілях, чий рух та реакції відображалися за допомогою зворотної проєкції зображення на екран [18]. Пізніше позиційна зброя використовувалася у відеоіграх-шутерах, першим прикладом яких був кооперативний шутер Taito Attack у 1976 році [19], за яким у 1977 році пішли Cross Fire Taito [20] та Battle Shark від Nintendo [21].

Популяризація (1984-1993)

Легка зброя вперше стала широко використовуватися у відеоіграх у середині 1980-х років, причому Duck Hunt від Nintendo була дуже популярною грою. Далі з'явилися такі варіанти, як стрілялки з прокручуванням, які використовували позиційну зброю, як-от Taito's Cycle Shooting (1986) [22] і Operation Wolf (1987) [23], і ігри зі стріляниною, що прокручуються вперед, як-от Sega Gangster Town (1987), гра Light Phaser для Master System, яка містила послідовності автомобільних погонь з прокручуванням вперед [24]. StarBlade від Namco (1991) мав 3D-графіку в реальному часі [25, 26].

Taito's Gun Buster (1992) – це унікальна гра зі зброєю в стилі шутер від першої особи, у якій використовується джойстик для переміщення та положення рушниці для прицілювання [27]. Lethal Enforcers – це шутер від Konami 1992 року, випущений для аркад і консолей, який містить ігрову графіку, що повністю складається з оцифрованих фотографій. Це викликало суперечки, оскільки дозволяло гравцям знімати фотореалістичні зображення ворогів.

Золотий вік (1994-1999)

Virtua Cop від Sega, випущена у 1994 році, відкрила новий шлях, популяризувала використання 3D-багатокутників у шутерах і призвела до ренесансу популярності аркадних ігор зі зброєю. На гру вплинув фільм Клінта Іствуда «Брудний Гаррі», а також реклама кави, в якій банка кави збільшувалася в прицілі пістолета; у Virtua Cop гравець мав якнайшвидше стріляти в цілі, що наближалися. Інші внески гри включають позиційно-залежну реакцію влучень і постріли в голову, які згодом мали великий вплив на шутери від першої особи, такі як GoldenEye 007 (1997), який містив функції Virtua Cop, такі як «пістолет, який містить лише 7 куль і кнопка перезавантаження, багато анімацій ударів, залежних від позиції, невинних, яких ви не повинні вбивати, і режим прицілювання» [28].

Відома Time Crisis від Namco, випущена в японських аркадах у 1995 році та на консолі Sony PlayStation у 1997 році, запровадила такі інновації, як імітація віддачі та ножна педаль, яка при натисканні змушувала головного героя ховатися. Контролер легкої зброї в грі GunCop також отримав визнання. Namco випустила Point Blank для PlayStation у 1998 році (раніше була доступна в японських аркадах як Gun Bullet з 1994 року), двовимірну гру на основі спрайтів з унікальною структурою міні-ігри та химерним гумористичним тоном. Гра була схвалена критиками та отримала два продовження, обидва для консолі PlayStation. Gunmen Wars від Namco для аркадної ігрової системи Super System 22 GMEN у 1998 році представляв справжній 3D-шутер від третьої особи на основі легкої зброї, причому камера завжди розташовувалася позаду персонажа гри. Його схема керування була

інноваційною, використовуючи встановлену, обертову, аналогову легку гармату, здатну як наводити зброю, так і переміщати персонажа (включаючи обстріл і обертання).

Після різанини в середній школі Колумбайн у 1999 році в США легка зброя була заборонена на деякий час і пов'язані з нею суперечки щодо відеоігор і злочинів, пов'язаних зі зброєю. З кінця 1980-х років контролери легкої зброї, як правило, виготовляли так, щоб виглядали як іграшки, фарбуючи їх у яскраві кольори. В Японії, де немає злочинів, пов'язаних зі зброєю, як у США, і в якій цивільні особи не можуть легально володіти зброєю, більш реалістична легка зброя широко доступна.

Занепад (2000-2009)

Стрілялки з використанням легкої зброї менш популярні в новому тисячолітті, ніж у 1990-х, а нові ігри в жанрі вважаються «старою школою» [1]. У 2000 році в аркадному шутері з легкою зброєю Police 911 була представлена унікальна система керування з визначенням руху, яка фіксувала рухи тіла, а не вимагала від гравця переміщення окремих елементів керування. Дії гравця в «реальному світі» відображаються персонажем в грі. Він також показав унікальну систему прикриття, коли гравець фізично прихиляється, а не натискаючи кнопку [29].

У 2007 році шутері 2 Spicy з використанням легкої зброї була представлена унікальна система укриттів, у якій гравці використовують педалі для переходу від одного укриття, яке руйнується, до іншого. Це також дозволяє гравцям протистояти один одному за допомогою такої системи прикриття.

Сучасна епоха (2010-теперішній час)

Світлова зброя не сумісна з сучасними телевізорами високої чіткості, що спонукало розробників експериментувати з гібридними контролерами, зокрема з Wii Remote для Nintendo Wii, а також периферійним пристроєм GunCon 3 для PlayStation 3, який використовується з Time Crisis 4.

1.3 Розвиток бездротових технологій у геймінгу

Довгий час стандартні периферійні пристрої входу для відеоігрових консолей були на дротовому з'єднанні. Фізичне підключення забезпечує найменшу затримку введення. Але сьогодні, завдяки сучасним технологіям, бездротові контролери стали нормою. Відтоді геймери, насолоджуються свободою, якої вони завжди прагнули.

У 1981 році винахідники популярної домашньої ігрової консолі Atari 2600 розробляли преміальну модель Stella RC, яка передбачала сенсорні перемикачі вибору ігор, світлодіодні індикатори та вбудовану пам'ять для контролерів. Інженери хотіли звільнити гравців від обмежень та реалізувати дистанційне керування.

Проблема з прототипами полягала в тому, що радіочастотні передавачі в контролерах були достатньо потужними, щоб надсилати сигнал у радіусі 300 метрів і вони створювали перешкоди для ряду дистанційних механізмів. Через наростаючу кількість проблем із створеним продуктом, Atari вирішив відмовитися від проекту Stella RC.

У 1983 році Atari таки вдалося випустити бездротові джойстики. Джойстики дистанційного керування Atari 2600 продавали за рекомендованою роздрібною ціною 69,95 доларів США. Гігантська ціна в поєднанні з ринком відеоігор, призвела до того, що небагато людей змогли його купити. Очевидно, що радіочастотні ігрові контролери просто випередили свій час, в продажі мали бути дешевші альтернативи.

В Японії Nintendo безперервно заробляли гроші, продаючи відеоігри на своїй консолі Famicom. Вони прагнули повторити цей успіх у Північній Америці, представивши оновлену модель Famicom, вона мала вразити технічних спеціалістів, які відвідали її відкриття на виставці побутової електроніки (CES).

Прототип системи отримав назву Nintendo Advanced Video System (AVS). У ньому передбачалася клавіатура, касетний накопичувач і, найголовніше, два бездротові контролери. Контролери використовували інфрачервоний (ІЧ)

зв'язок, а приймач був вбудований у саму консоль. Кожен контролер мав квадратну металеву панель управління та чотири робочі кнопки, які створювали враження матового алюмінію.

Прогрес у технологіях контролерів відеоігор був занадто добрим, щоб бути правдою, тому що вся система була оновлена перед випуском як Nintendo Entertainment System (NES) перед Різдвом. У NES були відсутні клавіатура, стрічковий накопичувач та ІЧ-контролери, а зміна матеріалів навряд чи відображала високоякісну флеш-пам'ять AVS. Усунення ІЧ означало, що пристрій став дешевшим у виробництві. Рішення, яке зрештою допомогло NES досягти успіху, що, у свою чергу, повернуло на ринок спеціальні ігрові консолі.

Конкурентом Nintendo був дистанційний контролер Acclaim. Випущений у 1989 році, мав регульований турбоперемикач, який працював на відстані до 10 метрів через ІЧ-промені. Він працював за умови відсутності перешкод. Через деякий час Nintendo переглядає ідею інфрачервоних контролерів та випускає адаптер NES Satellite. Це був скоріше концентратор бездротового контролера, ніж сам контролер, він працював досить добре, живився від шістьох С-батарей, але вимоги до прямої видимості обмежували. На жаль, протягом наступного десятиліття інфрачервоний зв'язок продовжував бути основою бездротових контролерів (включно з першими ІЧ-контролерами, випущеними для Sega Genesis і Sega Saturn).

Компанія Intel, яка завжди працювала паралельно з іграми, забезпечила новий шлях вперед, коли у 2000 році на виставці CES оголосила про серію бездротових периферійних пристроїв для ПК. Було продемонстровано комбінацію бездротової миші та клавіатури, компанія також показала бездротовий ігровий контролер. Intel завжди була на передовій процесорних технологій, але відеоігри стали «щасливою випадковістю», яка допомогла розвивати їхній основний бізнес.

Усі пристрої бездротової серії підключаються через один USB-приймач, який називається «базова станція» в діапазоні 900 МГц. Одночасно можна було під'єднати до чотирьох пристроїв, що означає, що локальна багатокористувацька

гра нарешті може працювати на ПК. Теоретично налаштування звучало чудово, але було кілька проблем із дизайном геймпада Intel Wireless Series (рис. 1.1).

Декілька років потому Nintendo допрацювала введення контролера спектра УВЧ (ультрависокі частоти). Через рік після запуску консолі GameCube компанія Nintendo випустила у 2002 році контролер WaveBird. Багато геймерів сприйняли це як викриття. Можливість грати в гру з іншого боку стіни, хоч і була непрактичною, але це була свобода, яку мало хто міг запропонувати до випуску цього контролера. Прагнучи забезпечити рівність з іншими платформами, виробники, такі як Logitech, наслідували цей приклад, випустивши власні бездротові контролери.



Рисунок 1.1 – Intel Wireless Series [30]

Запровадження в контролерах спектр дії УВЧ (ультрависокі частоти) було вдосконалено через кілька років компанією Nintendo. Через рік після запуску консолі GameCube компанія Nintendo випустила у 2002 році контролер WaveBird. Багато геймерів сприйняли це як викриття. Можливість грати в гру з іншого боку стіни, хоч і була непрактичною, але це була свобода, яку мало хто міг запропонувати до випуску цього контролера. Прагнучи забезпечити рівність

з іншими платформами, виробники, такі як Logitech, наслідували цей приклад, випустивши власні бездротові контролери.

До цього дня бездротові контролери все ще працюють у діапазоні ISM. Частотний діапазон ISM – частина радіочастотного спектру загального призначення, яка може бути використана без ліцензування [31]. Від Bluetooth-підключення пульта Nintendo Wii до власного протоколу контролера Xbox One Elite, бездротові контролери стануть нормою, а не винятком для домашніх консолей. Зручність, яку вони забезпечують, необхідна для насолоди від ігор. Хоча компанії, яка спочатку займалася бездротовими іграми, більше немає, результат цих робіт залишається.

1.4 Сучасні тренди і нововведення в ігрових контролерах

Світова індустрія відеоігор, вартість якої становить 90 мільярдів доларів, часто є одним із перших місць, де багато людей можуть побачити технологічні тенденції у дії. Це стосується штучного інтелекту (AI), віртуальної та доповненої реальності (VR/AR), блокчейну та, зокрема, найпопулярнішого модного слова сучасності – метавсесвіту.

Відеоігри пройшли довгий шлях від примітивних ігор до реалістичних 3D-світів, де можна взаємодіяти з сотнями чи тисячами інших гравців у режимі реального часу. Інфраструктура, створена розробниками ігор для цього, побудована на найсучасніших технологіях, від надпотужних комп'ютерів до надшвидкісних 5G і хмарних мереж.

Отже, розглянемо найбільш захоплюючі та важливі тенденції, які вплинуть на швидкозмінний світ ігор:

1. Хмарні ігри

Майже всі великі гравці бізнесу відеоігор зараз пропонують свої ігри через хмарні служби підписки, включаючи Microsoft, Sony, Google, Nvidia, Tencent і Amazon. Завдяки цій моделі геймерам не потрібно постійно купувати та оновлювати дороге та енергоємне обладнання, таке як консолі чи графічні

процесори ПК, і тримати їх у своїх домівках – все, що потрібно, – розумні телевізори та легкі потокові пристрої, такі як Chromecast або FireTV. Усе відбувається в хмарному центрі обробки даних, а вихідні дані передаються в домівки у вигляді потокового відео. Крім того, поширення надшвидкісних мереж, таких як 5G, призвело до того, що новий спосіб доставки ігор стане доступним для більшої кількості людей, ніж будь-коли.

2. Віртуальна реальність

Геймери були повністю захоплені віртуальною реальністю задовго до того, як вона увійшла в моду серед агентів з нерухомості, хірургів і військових. Зокрема, за останні п'ять років спостерігалось поступове зростання популярності ігор у віртуальній реальності, завдяки зростанню кількості гучних франшиз, зокрема Grand Theft Auto, Minecraft і Doom, які стали доступними через технології гарнітур. VR збирається забезпечити одні з найзахопливіших ігрових вражень завдяки падінню цін на апаратне забезпечення споживчої гарнітури, такої як Meta Quest 2, що стають дедалі доступнішими. Гарнітура може працювати як автономний пристрій та підключатися до ігрового комп'ютера, щоб скористатися спеціальним апаратним забезпеченням для ще більшого захоплюючого та насиченого графікою досвіду віртуальної реальності. У найближчому майбутньому хмарна віртуальна реальність може стати реальністю.

3. Метавсесвіт

У той час як Facebook і Microsoft широко говорять про плани створити захоплюючі, стійкі онлайн-світи для роботи та відпочинку, мільйони геймерів уже звикли збиратися у віртуальних всесвітах, щоб брати участь у будь-яких формах розваг. У 2022 році ця ідея розширення ігрових світів за рахунок інших форм розваг, таких як музичні концерти у Fortnite або фірмові маркетингові «спливаючі вікна» у надзвичайно популярному всесвіті Roblox, безсумнівно, мала великий вплив на індустрію та культуру гри. Найбільші ігри та франшизи все частіше перепрофільовуватимуть себе як «платформи», забезпечуючи набагато гнучкіший діапазон користувальницького досвіду. Хоча багато хто все

ще може просто захотіти увійти в останню версію Call of Duty, щоб стріляти зі зброї у своїх друзів, інші знайдуть у цих світах місце для спілкування в чаті чи інших форм спільної взаємодії.

4. NFT і блокчейн

Кілька найбільших розробників ігор (таких як Square Enix і Ubisoft) оголосили про намір використовувати невзаємозамінні токени (NFT) у своїх іграх, щоб дозволити гравцям вигравати, заробляти та торгувати унікальними предметами в грі. Ця ідея популярна не у всіх геймерів, особливо тому, що багато хто вважає ці жетони марнотратним використанням енергії. Це пов'язано з великою обчислювальною потужністю, необхідною для виконання алгоритмів блокчейну. Однак, видавці ігор заявляють, що вони бачать майбутнє у конвергенції ігор і NFT, і чітко готові витратити гроші, щоб втілити це в реальність.

Іншу зростаючу тенденцію можна побачити у серії ігор «грай, щоб заробити», які винагороджують геймерів криптовалютою за участь у щоденній грі. Axie Infinity має понад мільйон активних користувачів щодня, причому деякі заробляють понад 250 доларів США на день.

5. Кіберспорт

Кіберспорт відноситься до еволюції відеоігор. Як і у випадку з багатьма формами цифрових розваг, популярність кіберспорту вибухнула під час пандемії Covid-19, уперше протягом 2021 року отримавши понад 1 мільярд доларів доходу. Крім того, 73 мільйони глядачів налаштувалися на перегляд фіналу Чемпіонату світу з гри League of Legends у 2021 році – це на 60% більше, ніж у 2020 році. Це свідчить про те, що ігри справді перетворилися на вид спорту для глядачів, і протягом наступних років ми можемо очікувати збільшення як кількості професійних гравців, так і розміру призових фондів.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ

2.1 Вибір методів передачі даних

У контексті бурхливого розвитку Інтернету речей (IoT) кількість мережевих пристроїв зростає, а технологія бездротового зв'язку відіграє все більш важливу роль. Наразі стандарти технології бездротового зв'язку IoT, які найчастіше використовуються, в основному включають WiFi, Zigbee і Bluetooth, серед яких більшість користувачів найбільше знайомі з WiFi і Bluetooth. Яка різниця між WiFi і Bluetooth, або яка технологія краща чи придатніша?

Bluetooth і WiFi – це технології бездротової передачі даних, які використовуються для з'єднання пристроїв, але вони повністю відрізняються одна від одної. Bluetooth в основному використовується для обміну даними між підключеними пристроями, тоді як WiFi використовується для підключення пристроїв до Інтернету. Щоб краще розрізнити їх, необхідно визначити, як працюють Bluetooth і WiFi.

2.1.1 Bluetooth

Bluetooth широко використовується для передачі даних між електронними пристроями на короткій відстані. Наприклад, ви можете підключити свій телефон до бездротової гарнітури Bluetooth або підключити iPad до бездротової клавіатури. Як і WiFi, Bluetooth забезпечує передачу даних за допомогою радіосигналів і використовує ту саму частоту, що й WiFi, що може створювати перешкоди для пристроїв WiFi.

Зазвичай вам потрібно ввімкнути функцію Bluetooth на пристроях, які потрібно з'єднати, а потім вибрати цей пристрій з іншого пристрою. Наприклад, вам може знадобитися натиснути кнопку сполучення Bluetooth на бездротових навушниках, а потім вибрати гарнітуру зі списку видимих пристроїв Bluetooth на вашому смартфоні.

Технологія Bluetooth завжди відігравала важливу роль у сфері смартфонів, особливо в електронних продуктах. Тепер майже всі бездротові пристрої, які

можна знайти, підтримують Bluetooth, включаючи комп'ютери, ноутбуки, мобільні телефони, клавіатури, планшети, смарт-годинники, ігрові консолі, навушники, динаміки Bluetooth тощо. Якщо ви знайшли на своєму пристрої символ Bluetooth, це означає що ви можете підключити свій пристрій до іншого пристрою з підтримкою Bluetooth без проводів.

2.1.2 WiFi

WiFi – це бездротова технологія, що використовує радіохвилі, яка дозволяє комп'ютерам, ноутбукам, планшетах і смартфонам бездротово підключатися до Інтернету. Найпоширеніший спосіб для пристроїв WiFi для перегляду Інтернету – це підключення до маршрутизатора WiFi. WiFi-роутер встановить з'єднання з інтернет-провайдером, який транслюватиме сигнал WiFi. Пристрої поблизу можуть підключитися до цього сигналу та успішно отримувати доступ до Інтернету. Окрім доступу до Інтернету, ці пристрої також можна налаштувати для зв'язку один з одним і обміну даними шляхом створення мережі.

Сьогодні можна знайти приймачі WiFi у більшості комп'ютерах, смартфонах, iPad, смарт-телевізорах, принтерах, цифрових камерах, роботах-пилососах та інших пристроях розумного дому. Символ WiFi на пристрої означає, що пристрій може підключитися до Інтернету без проводів.

2.1.3 Відмінності між Bluetooth і WiFi

Оскільки технологія IoT проникає в усі сфери життя, WiFi і Bluetooth мають свою точку опори, і вони можуть знайти особливі вимоги, які підходять для певної програми, таким чином встановлюючи диференціацію конкурентних технологій. Розглянемо відмінності між Bluetooth і WiFi:

1. Позиціонування на ринку.

За даними Bluetooth, загальний річний обсяг поставок пристроїв Bluetooth у 2021 році становив 4,7 мільярда, і очікується, що протягом 2021-2026 років він зростатиме на 9% у середньому. Від потокового аудіо до передачі даних із низьким енергоспоживанням, розміщення в приміщеннях і великих мереж пристроїв, Bluetooth швидко розширює сфери застосування.

Майже всі ми використовуємо WiFi у своїх будинках і офісах, а також у громадських місцях, таких як торгові центри та аеропорти. Важко уявити, яким був би світ без бездротових мереж. WiFi є популярною бездротовою технологією на ринку IoT.

2. Потужність споживання (кількість електричної енергії, що споживається за одиницю часу).

З точки зору енергоспоживання, Bluetooth витрачає приблизно в десять разів менше електроенергії, ніж WiFi. Низьке енергоспоживання Bluetooth пояснюється оптимізацією протоколу для передачі великої кількості дуже маленьких пакетів даних. Що стосується WiFi, то це протокол зв'язку з високою пропускнуою здатністю з дуже високими вимогами до потужності. Особливо для пристроїв, що живляться від батареї, високе енергоспоживання є фатальним недоліком технології зв'язку WiFi.

3. Топологія (шаблон, за яким різні пристрої з'єднані один з одним).

Класифікують чотири основні топології: зірка, кільце, шина та сітка. У Bluetooth можна знайти різноманітні мережеві топології, включаючи мережі «точка-точка», ширококомовні та сітчасті мережі, найпоширенішою з яких є топологія «точка-точка». Bluetooth mesh використовує сітчасту топологію, і чим більше пристроїв підключено до мережі, тим ширшим буде діапазон. Якщо є будь-яка сигнальна точка збою, можна використати інший маршрут для перетворення повідомлення.

Зірчаста топологія широко використовується в мережах WiFi, де всі вузли безпосередньо підключені до центрального концентратора, наприклад бездротового маршруту. Хоча додавання та видалення будь-яких пристроїв з мережі не порушить всю структуру, уявіть, якщо концентратор вийде з ладу, то вся мережа вийде з ладу. Традиційні підключення WiFi обмежені відстанню, оскільки для підключення до інших пристроїв потрібен концентратор.

4. Швидкість передачі даних (кількість біт за секунду, що передається через радіосигнал).

Порівняно зі швидкістю передачі даних Bluetooth, швидкість передачі WiFi набагато вища. Bluetooth підтримує передачу невеликих фрагментів даних і ідеально підходить для передачі легких даних, таких як числові значення від датчиків IoT. Пристрої WiFi можуть передавати сотні мегабіт на секунду, і чим новіша версія, тим швидша передача. WiFi більше підходить для надсилання великих файлів даних, таких як відео, фотографії тощо.

5. Діапазон (фізична відстань бездротового зв'язку між двома пристроями).

Бездротові з'єднання на основі Bluetooth мають максимальний радіус дії 30 метрів, а WiFi можна розширити до 150 метрів. Діапазон передачі Bluetooth значною мірою залежить від перешкод, тому він буде відрізнятися в різних контекстах. Якщо ви використовуєте сітчасту мережу Bluetooth, ви можете легко розширити покриття до ширшої сітчастої мережі за допомогою точок ретрансляції. Покриття WiFi чудове, і його можна розширити за допомогою розширювачів сигналу та інших точок доступу.

6. Сумісність зі смартфонами (ступінь взаємної координації між бездротовими протоколами та смартфоном або будь-яким іншим мобільним пристроєм).

На даний момент майже всі нові смартфони iOS і Android підтримують найновіші стандарти Bluetooth і WiFi. Це правда, що Bluetooth і WiFi по-різному покращують роботу пристрою. Bluetooth може допомогти слухати музику без проводів або отримувати дані з будь-якого іншого розумного бездротового пристрою. За допомогою лише однієї мобільної програми користувачі можуть встановити зв'язок із пристроями з підтримкою Bluetooth. На відміну від Bluetooth, WiFi не може безпосередньо спілкуватися зі смарт-пристроями, для зв'язку потрібна мережа та центральна точка доступу.

7. Безпека та цілісність даних (безпечне керування передачею даних через мережу).

У ранньому Bluetooth були серйозні недоліки безпеки, але більшість проблем було вирішено за допомогою нових стандартів. Ці версії пропонують 128-бітне шифрування для забезпечення безпеки даних. WiFi вимагає пароль для

підключення пристрою до мережі, це означає, що з'єднання зазвичай безпечніше, ніж Bluetooth. WiFi використовує 256-бітне шифрування та розробив розширені протоколи безпеки, такі як WEP, WPA, WPA2 і WPA3, серед яких WPA3 ідеально підходить для передачі критичних і конфіденційних даних [32].

На додаток до відмінностей, наведених вище, є ще деякі інші відмінності, такі як авторитет специфікації та рік розробки. В таблиці 2.1 висвітлені додаткові відмінності між Bluetooth і WiFi.

Таблиця 2.1 – Додаткові відмінності Bluetooth і WiFi

	Bluetooth	WiFi
Орган специфікації	Bluetooth SIG	IEEE, WECA
Рік розробки	1994 рік	1991 рік
Діапазон частот	2,4 ГГц	2,4 ГГц, 5 ГГц
Тип модуляції	GFSK	BPSK, QPSK, COFDM, CCK, OFDM
Пропускна здатність каналу	1 МГц	22 МГц
Основна клітина	Piconet	зірка
Максимальна швидкість сигналу	1 Мбіт/с	54 Мбіт/с
Номинальний діапазон	10м	100м
Споживання енергії	Низький	Високий
Безпека	Bluetooth менш безпечний, ніж WiFi	WiFi є більш безпечним, ніж Bluetooth
Простота використання	Він простий у використанні.	Це відносно складно і вимагає налаштування програмного та апаратного забезпечення.

Поява технології Bluetooth робить можливим бездротовий зв'язок малого радіусу дії, але його складний протокол і висока вартість роблять його непридатним для широкого застосування в домашніх мережах.

Енергоефективність, вага ресурсів, вартість та інші обмеження форм-факторів завжди були головними проблемами розгортання Інтернету речей за допомогою WiFi. Висока мобільність WiFi дозволяє користувачам отримати доступ до Інтернету в будь-який час, тому він більше підходить для офісних і домашніх середовищ. WiFi використовує радіочастотну технологію для надсилання та отримання даних по повітрю, які чутливі до зовнішніх перешкод.

Немає однозначної відповіді на питання, яка технологія краще підійде для

проекту IoT. Опираючись на викладену інформацію вище, обираю технологію WiFi, яка забезпечує більш надійну мережу з у 10 разів більшим діапазоном для передачі даних.

2.2 Модуль D1 Mini

Модуль D1 Mini – це міні-плата з WiFi, сумісна з Arduino, із флеш-пам'яттю 4 МБ на основі ESP8266.

Arduino – це лінія розробних плат на основі мікроконтролерів, спочатку вироблених Atmel. Вони дуже доступні для початківців через спрощене середовище розробки – Arduino IDE. Незважаючи на свою простоту, Arduino може виконувати багато завдань контролю та моніторингу.

Існує ряд плат для розробників, які містять мікроконтролери ESP. Найбільш «схожими на Arduino» серед них, мабуть, будуть плати NodeMCU, які, як правило, мають багато контактів у дворядному макеті, тому вони чудово підходять до макетних плат без пайки.

NodeMCU має власне середовище розробки, де сценарії виконуються за допомогою Lua. Але плати NodeMCU можна програмувати через Arduino IDE. Також можна встановити Python (MicroPython) і запрограмувати їх безпосередньо через Python IDE.

Спочатку мікроконтролери ESP використовували, як дешевий і простий спосіб додати WiFi до Arduino. Тепер швидші, мають більше пам'яті та просто потужніші за Arduino. Плати мікроконтролерів ESP часто мають вбудовані інші пристрої, наприклад камери та монітори якості повітря.

Компанія Espressif Systems розробила недорогий мікроконтролер ESP8266EX із низьким електроспоживанням. Він належить до родини мікроконтролерів ESP8266, що складається з різних моделей з різними обсягами флеш-пам'яті та іншими особливостями.

Завдяки своїм перевагам широко застосовується в додатках Інтернет речей (IoT), а саме: низька вартість, невеликий розмір, вбудований WiFi. Він

оснащений 32-розрядним процесором Tensilica L106 RISC, який працює на тактовій частоті до 80 МГц, і має 64 КБ оперативної пам'яті для інструкцій та 96 КБ оперативної пам'яті для даних.

ESP8266 має підтримку різноманітних стандартів WiFi, включаючи 802.11 b/g/n, і може працювати в якості клієнта WiFi або точки доступу WiFi. Крім того, він оснащений різноманітними периферійними пристроями, такими як UART, SPI, I2C, GPIO, що робить його універсальним мікроконтролером для різних цілей.

Espressif Systems пропонує SDK (набір для розробки програмного забезпечення) для ESP8266, що містить широкий набір програмних інструментів і бібліотек, які допомагають розробникам у створенні програм для мікроконтролера. Крім того, існує активна та велика спільнота розробників, що працюють з ESP8266, яка розробила різноманітні сторонні бібліотеки та інструменти для полегшення роботи.

Технічні характеристики модуля D1 Mini NodeMCU (рис. 2.1):

- модуль 802.11b / g / n WiFi SOC;
- мікроконтролер ESP-8266;
- тактова частота 80 МГц/160 МГц;
- 32-розрядний процесор;
- робоча напруга 3,3 В;
- цифрові контакти вводу/виводу 11;
- аналогові входи 1 (макс. вхід: 3,2 В);
- Flash 4 МБ;
- підключення Micro USB;
- сумісний з Arduino;
- сумісний з NodeMCU;
- підтримка бездротового завантаження OTA;
- довжина 34,2 мм;
- ширина 25,6 мм.

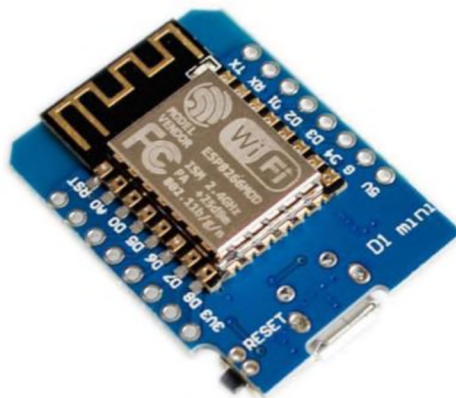


Рисунок 2.1 – Модуль D1 Mini [33]

Модуль має растрові виводи діаметром 2,54 мм, під позолочені гнізда. Нижче наведено опис окремих контактів (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Позначення контактів на D1 mini та ESP8266

D1 MINI	ESP-8266	ФУНКЦІЯ
TX	TXD	Лінія даних інтерфейсу UART-передавач.
RX	RXD	Лінія даних інтерфейсу UART-приймач.
A0	A0	Аналоговий вхід, максимальна напруга 3,3 В
D0	GPIO16	Лінія цифрового введення/виведення.
D1	GPIO5	Лінія цифрового введення/виведення. I2C – тактова лінія шини SCL.
D2	GPIO4	Лінія цифрового введення/виведення. Лінія даних шини I2C-SDA.
D3	GPIO0	Лінія цифрового вводу/виводу з підтягуючим резистором 10 кОм для VCC.
D4	GPIO2	Лінія цифрового вводу/виводу з підтягуючим резистором 10 кОм для VCC. Вбудований світлодіод включений.
D5	GPIO14	Лінія цифрового введення/виведення. SPI – тактова лінія шини SCK.
D6	GPIO12	Лінія цифрового введення/виведення. SPI – лінія передачі даних шини MISO.
D7	GPIO13	Лінія цифрового введення/виведення. SPI – лінія даних шини MOSI.
D8	GPIO15	Лінія цифрового вводу/виводу з підтягуючим резистором до GND 10 кОм SPI – автобусна лінія SS.
G	GND	Маса
5V	-	Вихідна напруга від стабілізатора 5 В.
3V3	3,3 V	Вихідна напруга з контролера 3,3 В.
RST	RST	Скидання модуля.

Ця плата пропонує готове рішення для побудови мереж WiFi, дозволяючи підключатися до мереж як у режимі клієнта, так і точки доступу. Є два способи використання ESP8266:

1. Модуль може бути підключений до існуючого пристрою на базі мікроконтролера, де він виконує роль моста UART-WiFi. Цей варіант ідеально підходить для розширення можливостей наявних проектів та їхнього управління через Інтернет.

2. Також можна створити новий пристрій, де сам чіп ESP8266 виступає як керуючий мікроконтролер. Це дозволяє створювати компактні пристрої, які можуть працювати протягом тривалого часу від акумуляторів або батареї.

2.3 Датчик кольору TCS34725

Датчик розпізнавання кольору на основі TCS34725, який виводить дані RGB та інтенсивність світла через інтерфейс I2C. Його переваги включають високу чутливість, широкий динамічний діапазон, точність вимірювання тощо (рис. 2.2).

Особливості:

- вбудований TCS34725FN, вбудований АЦП, висока чутливість, широкий динамічний діапазон;
- зв'язок I2C використовує кілька контактів;
- інтегрований ІЧ-блокуючий фільтр, мінімізує ІЧ-спектральну складову вхідного світла;
- виводить дані RGB без балансу білого;
- видає інтенсивність світла, відчувайте світло, як людські очі;
- підтримує вихід переривання інтенсивності світла та програмовані верхній і нижній пороги;
- підтримка заповнюючого світла за допомогою вбудованого світлодіода та регулювання яскравості за допомогою ШІМ;

– вбудований транслятор рівня напруги, сумісний з робочою напругою 3,3 В/5 В.

Технічні характеристики:

- датчик: TCS34725;
- інтерфейс зв'язку: I2C;
- робоча напруга: 3,3 В/5;
- розмір: 27 мм × 20 мм;
- роздільна здатність: 4-канальний RGBC, 16-біт на канал;
- рекомендована відстань вимірювання: 2 мм.

Застосування:

- контроль світлодіодного підсвічування RGB;
- вимірювання колірної температури світла;
- розпізнавання навколишнього освітлення для керування підсвічуванням дисплея;
- аналіз рідини та газу;
- перевірка кольору та сортування товару.

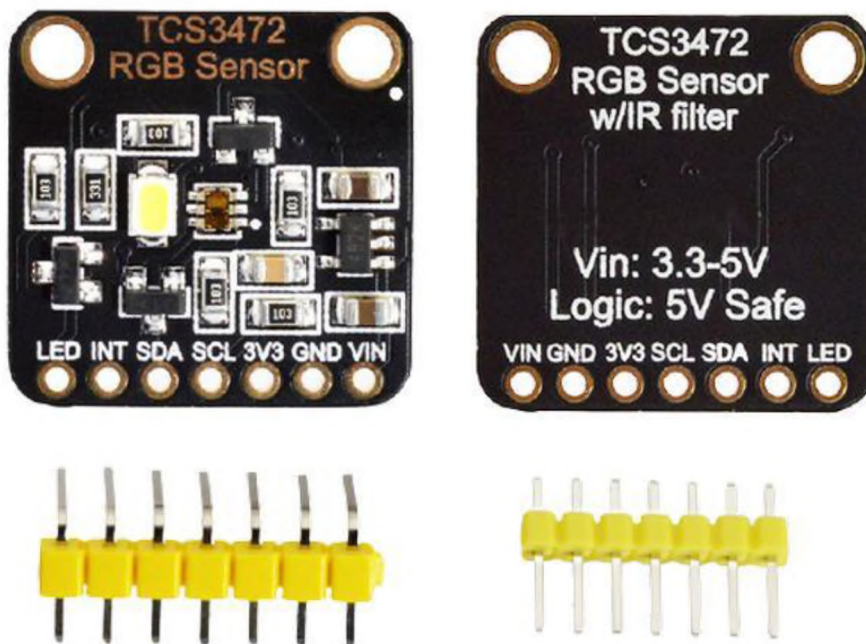


Рисунок 2.2 – Датчик розпізнавання кольору TCS34725 [34]

В таблиці 2.3 подано опис функцій пінів датчика розпізнавання кольору TCS34725.

Таблиця 2.3 – Опис функцій пінів

Pin	Функція
VCC	3.3V/5V
GND	Заземлення електроживлення
SDA	Введення даних I2C
SCL	Вивід годинника I2C
INT	Вихід переривання (вихід з відкритим стоком)
LED	Світловипромінюючий діод

Датчик TCS34725 використовується для визначення кольору. TCS34725 – це кольоровий світло-цифровий перетворювач на основі шини I2C з ПЧ-фільтром, що забезпечує цифрове повернення червоного, зеленого, синього (RGB) і чітких значень світлочутливості.

Протокол зв'язку

Шина I2C має дві лінії, одна є лінією даних (SDA), а інша є лінією блокування (SCL). Існує три типи сигналів під час спілкування: сигнал запуску, сигнал зупинки та сигнал відповіді (рис. 2.3).

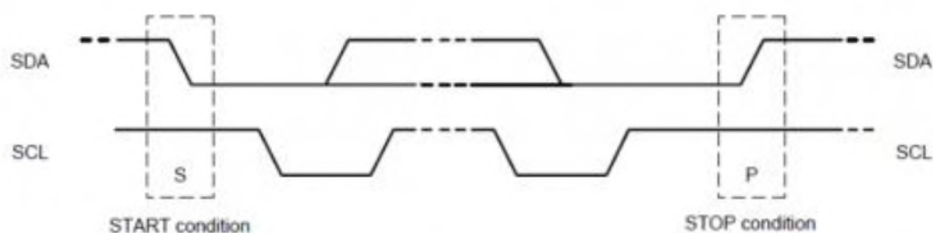


Рисунок 2.3 – Шина I2C [35]

Стартовий сигнал: коли SCL є високим, SDA змінюється з високого на низький, і він починає передавати дані.

Сигнал зупинки: коли SCL має високий рівень, SDA змінюється з низького на високий, і передача припиняється.

Сигнал відповіді: кожного разу, коли ІС повертає певний низький пліс відправнику після отримання 8 біт даних.

Висока чутливість, широкий динамічний діапазон і блокуючий ІЧ-фільтр роблять TCS34725 ідеальним кольоровим датчиком для використання в різних умовах освітлення та за допомогою матеріалів, що послаблюють світло.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ГЕЙМПАД ПІСТОЛЕТА

3.1 Принцип роботи легкої зброї

Світловий пістолет – це контролер для аркадних відеоігор. У ранніх іграх із легкою зброєю використовувалися невеликі мішені (зазвичай рухомі), на які встановлювалася світлочутлива трубка; гравець використовував рушницю (зазвичай гвинтівку), яка випромінювала промінь світла, коли натискали на курок. Якщо промінь потрапляв у ціль, зараховувалося «попадання». Сучасні світлові гармати з екраном працюють за протилежним принципом – датчик вбудовано в саму гармату, і екранна мішень (ціль) випромінює світло, а не гармата (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Світловий пістолет [36]

«Світловий пістолет» отримав таку назву, тому що він використовує світло як метод визначення місця на екрані, куди ви націлили. Назва змушує думати, що сама рушниця випромінює промінь світла, але насправді всі світлові рушниці отримують світло через діод фоторецептора в стволі. Діод використовує прийом світла для націлювання в поєднанні з механізмом синхронізації між спусковим гачком пістолета та деяким досить розумним графічним програмуванням.

Існує дві версії цієї техніки, які зазвичай використовуються, але концепція однакова: коли ви натискаєте на спусковий гачок пістолета, екран гасне до чорного, а діод починає прийом. Весь екран або його частина пофарбовано в білий колір, що дозволяє комп'ютеру визначити, куди спрямовано пістолет, на основі того, коли діод виявляє світло. Користувач світлового пістолета нічого не помічає, тому що період, протягом якого екран порожній, дуже короткий.

Перший метод виявлення, який використовує Zapper, передбачає послідовне малювання кожної цілі в білому світлі після того, як екран затемниться. Комп'ютер знає, що якщо діод виявляє світло під час малювання квадрата (або після оновлення екрана), це є ціль, на яку спрямовано пістолет. По суті, діод повідомляє комп'ютеру, чи влучили ви у щось, а для n об'єктів послідовність малювання цілей повідомляє комп'ютеру, яку ціль ви влучили після оновлення $1 + \text{ceil}(\log_2(n))$ (один із способів визначити якщо взагалі була вражена будь-яка ціль, і $\text{ceil}(\log_2(n))$ для виконання двійкового пошуку враженого об'єкта).

Цікавим побічним ефектом є те, що в погано розроблених іграх гравець часто може направити пістолет на лампочку, натиснути на курок і щоразу влучити в першу ціль.

Другий метод, який використовується Super Scope від Super Nintendo Entertainment System і комп'ютерними світловими пістолетами, є складнішим, але точнішим.

Хитрість цього методу полягає в природі електронно-променевої трубки всередині відеомонітора (він не працює з рідкокристалічними екранами, проекторами тощо). Електронний промінь сканує екран, який рухається починаючи з верхньої частини до кінця, а потім рухається вниз, щоб оновити наступний рядок. Це робиться кілька разів, доки не буде намальовано весь екран, і людське око не помічає, оскільки це відбувається дуже швидко.

Коли гравець натискає на курок, гра освітлює весь екран на частку секунди, а комп'ютер (часто за допомогою схеми дисплея) підраховує, скільки часу потрібно електронному променю, щоб збудити люмінофор у місці, на яке

спрямовано пістолет. Потім він обчислює цільове положення на основі горизонтальної частоти оновлення монітора (фіксований проміжок часу, який потрібен променю, щоб потрапити зліва на праву сторону екрана).

Коли комп'ютер дізнається, куди спрямовано рушницю, він може визначити, збігається вона з цілью чи ні. Однак багато пістолетів цього типу (включаючи Super Scope) ігнорують червоне світло, оскільки червоний має набагато нижчу швидкість розпаду, ніж зелений або синій люмінофор.

Гра, у якій використовується більше ніж одна зброя, постійно зчитує обидва тригери, а потім, коли один гравець натискає на курок рушниці, гра опитує діод цієї зброї, доки не дізнається, який об'єкт було влучено.

3.2 Розробка геймпад пістолета

Як зазначалося раніше, старі світлові пістолети не працюють на нових моніторах. Тому виникла ідея апгрейду геймпад пістолета для старої аркадної гри. За допомогою модуля D1 Mini, який підтримує WiFi зробимо геймпад безпроводним.

Було придбано пістолет Денді з метою використання корпусу. В середині цього пістолета знаходилися кнопка, фотодатчик та плата з одним транзистором.

Вибраний нами датчик кольору TCS34725 не зможе «побачити» що відбувається на екрані здалеку, тому що у нього великий кут огляду, близько 150°. Вже на невеликій відстані від екрану датчик покаже середній колір всього екрану, разом зі стіною або боковий засвіт від вікна. Тому на датчик кольору потрібно прикріпити об'єктив та забезпечити фокусування. Після огляду варіантів на aliexpress вибрав 2,0-мегапіксельний фотооб'єктив HD M12 з кріпленням FL42 мм та ручним фокусуванням, цей об'єктив забезпечує кут огляду 8° для матриці розміром 1/3 дюйма, в нашого датчика розмір матриці в десятки разів менший. В результаті вийде телескоп, що допоможе бачити маленьку ділянку монітора та фокусуватися на цілі (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Фотооб’єктив HD M12 [37]

В датчик вбудовано процесор, АЦП, пам’ять і т.д. Потрібно отримати дані з датчика та через модуль D1 Mini, який підтримує WiFi, відправити ці дані на комп’ютер. Також буду використовувати технологію WebSocket. Відправка даних буде відбуватися після натиснення на «курок» пістолета.

Щоб датчик помістився в дуло пістолета, прийшлося його зменшити та надати округлої форми за допомогою напильника. Центр фотооб’єктива виставляємо на сенсор датчика та прикріплюємо за допомогою гарячого клею.

В якості живлення буду використовувати літійовий акумулятор.

Апаратне підключення до Arduino (рис. 3.2) відбувається через пінні. В таблиці 3.1 описано відповідність пінів на датчику та Arduino для апаратного підключення.

Таблиця 3.1 – Відповідність пінів на датчику та Arduino

Датчик	Arduino	Опис
VCC	5V	Споживана потужність
GND	GND	Заземлення електроживлення
SDA	SDA	Введення даних I2C
SCL	SCL	Вхід годинника I2C
INT	D5	Вихід переривання (вихід з відкритим стоком)
LED	D6	Світловипромінюючий діод

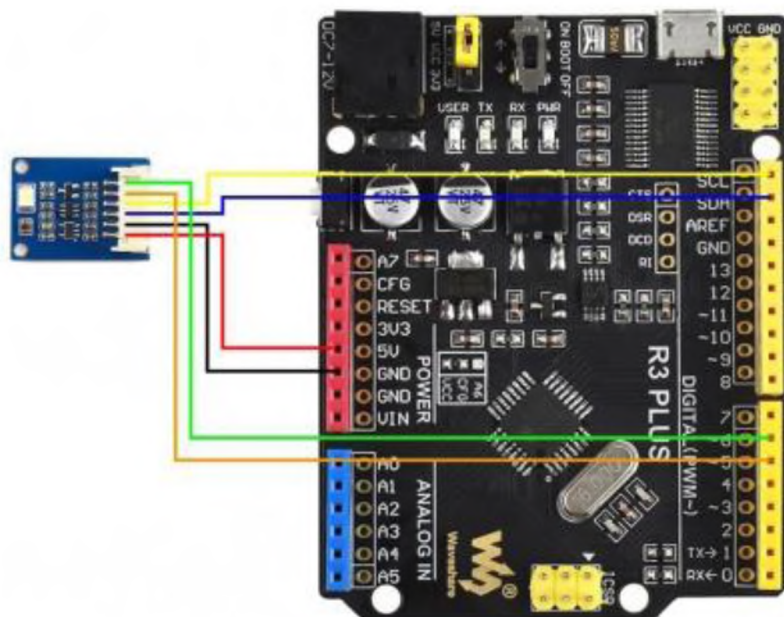


Рисунок 3.2 – Схема підключення датчика розпізнавання кольору до Arduino [38]

Далі необхідно всі комплектуючі з'єднати, як показано на схемі підключення компонентів (рис. 3.3)

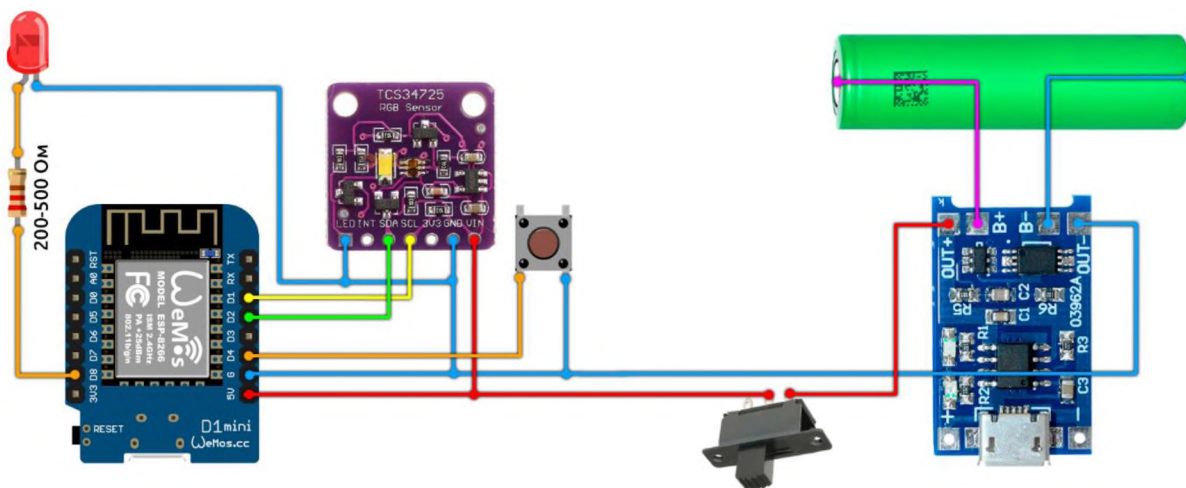


Рисунок 3.3 – Схема підключення компонентів

3.3 Програмна реалізація

Початок роботи з Arduino IDE:

1. Встановити Arduino IDE та драйвери. Якщо це перший раз – бажано не

підключати нічого до нової плати, а завантажити пробну прошивку та переконатися, що все завантажується та працює. Якщо проект заснований не на стандартній платі Arduino, а наприклад, як у нас, на ESP8266 – встановлюємо підтримку цієї плати.

2. Встановити бібліотеки. Вміст папки libraries з архіву поміщаємо в: «Документи/Arduino/libraries/ Встановлення документів».

3. Відкрити файл із програмою. Під час запуску файлу скетчу автоматично відкриється Arduino IDE. Важливо: якщо в папці зі скетчем є кілька файлів – запускаємо будь-який з логотипом Arduino. Інші файли повинні підтягнутися автоматично та утворити вкладки у вікні програми. Якщо запускати скетч прямо з архіву, вкладки не відкриються і скопіювати/завантажити програму буде неможливо.

4. Вибрати плату та порт. Вибираємо в налаштуваннях програми відповідну плату і порт, куди вона підключена: на NodeMCU вибираємо NodeMCU 1.0.

Щоб здійснити апаратне підключення датчика розпізнавання кольору до Arduino потрібно:

- Перейти до TCS34725_Color_Sensor_code/Arduino/Color_Sensor.
- Запустити файл Color_Sensor.ino.
- Вибрати правильну плату та порт (рис. 3.4).

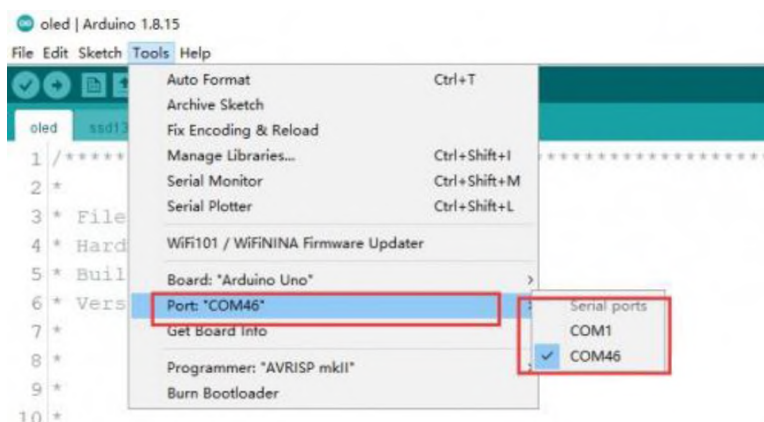


Рисунок 3.4 – Arduino IDE, вибір плати та порту

5. Налаштувати програму. Найчастіше на початку коду моїх програм можна зустріти блок налаштувань. Налаштування зазвичай мають вигляд: `#define SOME_SETTING 1 // 1 включено, 0 виключено`, де цифра відповідає за значення налаштування, міняти потрібно лише цифру згідно з коментарем.

6. Завантажити прошивку. Натискаємо стрілочку в лівому верхньому куті вікна програми та прошивка завантажується. Завантажувати прошивку бажано до підключення компонентів, щоб переконатися, що плата робоча. Після складання можна прошити ще раз, плата має спокійно прошитися.

Код написаний для мікроконтролера ESP8266, використовуючи Arduino IDE. Він реалізує бездротовий геймпад пістолет, що включає підключення до WiFi, обробку кнопки, управління світлодіодом і передачу даних через WebSocket. Давайте розглянемо кожну частину коду.

Для початку підключаємо бібліотеки (рис. 3.5):

- `Arduino.h`: основна бібліотека для роботи з Arduino.
- `ESP8266WiFi.h`: бібліотека для роботи з WiFi на ESP8266.
- `EncButton.h`: бібліотека для роботи з кнопками.
- `WebSocketsServer.h`: бібліотека для роботи з WebSocket сервером.
- `Wire.h`: бібліотека для роботи з I2C протоколом.
- `TCS3472.h`, `config.h`, `led.h`, `tmr.h`: користувацькі бібліотеки для роботи з датчиком кольору TCS3472, конфігурацією, світлодіодом і таймерами відповідно.

```
#include <Arduino.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <EncButton.h>
#include <WebSocketsServer.h>
#include <Wire.h>

#include "TCS3472.h"
#include "config.h"
#include "led.h"
#include "tmr.h"
```

Рисунок 3.5 – Блок підключення бібліотек

Далі необхідно ініціалізувати об'єкти (рис. 3.6):

- `ws`: ініціалізація WebSocket сервера на порту 81.
- `rgb`: ініціалізація об'єкта для роботи з датчиком кольору TCS3472.
- `btn`: ініціалізація об'єкта кнопки з використанням пін-коду `TRIG_PIN`.
- `led`: Ініціалізація об'єкта світлодіода з використанням пін-коду `LED_PIN`.

```

WebSocketServer ws(81, "", "Arduino");
TCS3472 rgb;
Button btn(TRIG_PIN);
Led led(LED_PIN);

```

Рисунок 3.6 – Ініціалізація об'єктів

Далі напишемо код, що виконує початкове налаштування WiFi з'єднання, WebSocket сервера і датчика кольору RGB, а також забезпечує відповідні індикації за допомогою світлодіода.

Розглянемо функцію `setup()`, розбиваючи її на логічні частини та пояснюючи кожен блок коду (рис. 3.7).

```

void setup() {
  // WIFI
  Serial.begin(115200);
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(AP_SSID, AP_PASS);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    led.toggle();
    delay(500);
  }
  led.off();
  Serial.println();
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

```

Рисунок 3.7 – Ініціалізація WiFi з'єднання

1. Ініціалізація серійного з'єднання:

Встановлення швидкості серійного з'єднання на 115200 біт/сек для виведення даних у монітор серійного порту.

2. Налаштування WiFi режиму:

Встановлення режиму WiFi в режим STA (станція), щоб підключитися до існуючої WiFi мережі.

3. Підключення до WiFi мережі:

Ініціалізація підключення до WiFi мережі з використанням SSID і пароля з файлу конфігурації `config.h`.

4. Очікування підключення:

– Перевірка статусу підключення в циклі.

– Під час очікування підключення світлодіод миготить кожні 600 мс.

– Після підключення світлодіод вимикається.

5. Виведення IP адреси:

– Виведення IP адреси, яку отримав пристрій у WiFi мережі, в монітор серійного порту.

Далі необхідно виконати запуск WebSocket сервера. Ініціалізація та запуск WebSocket сервера на порту 81 (рис. 3.8).

```
// WS
ws.begin();
ws.onEvent([](uint8_t num, WStype_t type, uint8_t* data, size_t len) {
    switch (type) {
        case WStype_CONNECTED:
            led.on();
            break;

        default:
            break;
    }
});
```

Рисунок 3.8 – Ініціалізація WebSocket сервера

Обробка подій WebSocket:

- Встановлення обробника подій для WebSocket сервера.
- При підключенні клієнта (`WStype_CONNECTED`) світлодіод вмикається.

- Інші події не обробляються в даному обробнику.

Ініціалізація I2C шини. Ініціалізація I2C шини для взаємодії з датчиком кольору.

1. Перевірка підключення датчика:

- Спроба ініціалізації датчика кольору `rgb` (рис. 3.9).

```
// RGB
Wire.begin();
if (!rgb.begin(&Wire)) {
  Serial.println("sensor error");
  while (1) {
    led.toggle();
    delay(100);
  }
}
rgb.setTime(tcs_time_t::T24);
rgb.setGain(tcs_gain_t::X16);

Serial.println("setup end");
}
```

Рисунок 3.9 – Ініціалізація датчика кольору RGB

- Якщо датчик не підключений або виникла помилка, виводиться повідомлення «sensor error».

- Світлодіод починає швидко миготіти (кожні 100 мс), сигналізуючи про помилку, і мікроконтролер застрягає в нескінченному циклі.

2. Налаштування датчика кольору:

- Встановлення часу інтеграції датчика кольору на 24 мс.
- Встановлення коефіцієнта підсилення датчика на 16х.

3. Завершення налаштування:

– Виведення повідомлення про завершення налаштування в монітор серійного порту.

Тепер потрібно написати код, що забезпечує бездротовий зв'язок, зчитування кольору з датчика та індикацію подій за допомогою світлодіода і кнопки, що робить його ефективним для реалізації геймпада пістолета.

Зчитування кольору з датчика (рис. 3.10):

– Формування рядка з компонентами кольору (r, g, b) та станом пострілу (shot).

– Відправлення сформованого рядка всім підключеним клієнтам через WebSocket.

```
void sendColor(bool shot) {
    tcs_color_t color = rgb.getRaw();
    String s;
    s += color.r;
    s += ',';
    s += color.g;
    s += ',';
    s += color.b;
    s += ',';
    s += shot;
    ws.broadcastTXT((uint8_t*)s.c_str(), s.length());
}
```

Рисунок 3.10 – Функція `sendColor()`

Виклик основного циклу WebSocket сервера для обробки подій. Індикація стану підключення клієнтів відбувається за допомогою миготіння світлодіода (рис. 3.11).

Обробка стану кнопки:

– При натисканні кнопки (`btn.press()`), надсилання кольору зі станом пострілу (`shot = true`).

- При утриманні кнопки (`btn.holding()`), періодичне надсилання кольору (`shot = false`).

```

void loop() {
  ws.loop();
  if (!ws.connectedClients()) {
    static Tmr tmr(250);
    if (tmr) led.toggle();
  }

  btn.tick();
  if (btn.press()) sendColor(true);
  if (btn.holding()) {
    static Tmr tmr(100);
    if (tmr) sendColor(false);
  }
}

```

Рисунок 3.11 – Функція `loop()`

Управління геймпад пістолетом відбувається наступним чином:

1. Налаштувати підключення до WiFi у файлі config.h.
2. Прошити, відкрити монітор порту, дізнатися IP адресу. Або подивитися в панелі керування роутером.
3. Підключитися до програми – кнопка Connect.
4. Вистрілити в білий екран, натиснути на Calibrate (рис. 3.12).

```

function calibrate_h() {
  calibrate.r = packet[0];
  calibrate.g = packet[1];
  calibrate.b = packet[2];
  localStorage.setItem("calibrate", JSON.stringify(calibrate));
}

```

Рисунок 3.12 – Калібрування пістолета по білому екрану

ВИСНОВКИ

Використання модуля D1 mini для створення бездротового геймпада пістолета є перспективним напрямом, оскільки цей модуль відрізняється низькою вартістю, компактними розмірами та широкими можливостями для бездротового зв'язку. Це дозволяє розробити економічно вигідне та функціональне рішення, яке може бути використане як для комерційних продуктів, так і для аматорських проектів.

В результаті проведеного огляду геймпад пістолетів, що існують на ринку, було визначено, що сучасні моделі володіють різноманітними функціональними можливостями, які включають вібраційний відгук, інтегровані сенсори руху та зручні ергономічні форми. Аналіз відгуків користувачів допоміг зрозуміти основні очікування та вимоги до таких пристроїв: висока точність, надійність зв'язку та зручність використання. Огляд дозволив визначити ключові параметри та можливості для вдосконалення, які були враховані при розробці власного прототипу.

Після дослідження різних технологій бездротового зв'язку, таких як Bluetooth, WiFi та RF, було обрано WiFi на базі модуля D1 mini (ESP8266). Це рішення було обґрунтоване стабільністю зв'язку, достатньою дальністю дії та можливістю передачі великого обсягу даних з низькою затримкою. WiFi також забезпечує високу гнучкість в інтеграції з різними ігровими платформами. Вибір цієї технології дозволив створити надійний і ефективний бездротовий геймпад.

На основі обраної технології було розроблено схему з'єднань для геймпада, яка включає модуль D1 mini, датчик кольору, об'єктив, кнопки та тригери.

Прототип геймпада пройшов тестування, що дозволило перевірити його функціональність, стабільність зв'язку та зручність використання.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jeff Haynes. Time Crisis 4 Review, IGN. URL: <https://www.ign.com/articles/time-crisis-4-review> (дата звернення: 02.01.2024).
2. Reed Kristan. Resident Evil Dead Aim, EuroGamer. URL: <https://www.eurogamer.net/r-redeadaim-ps2> (дата звернення: 02.01.2024).
3. Morgan McGuire & Odest Chadwicke Jenkins. Creating Games: Mechanics, Content, and Technology, A K Peters, Ltd. URL: <https://books.google.co.uk/books?id=0G3PKwgvizEC> (дата звернення: 02.01.2024).
4. Yo-Sung Ho & Hyoung Joong Kim. IRED GUN: Infrared LED Tracking System for Game Interface. URL: <https://books.google.co.uk/books?id=z-KQDQ0BtG4C&pg=PA688#v=onepage&q&f=false> (дата звернення: 03.01.2024).
5. Silent Scope. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Videogame/silent-scope> (дата звернення: 03.01.2024).
6. Space Gun. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Videogame/space-gun> (дата звернення: 03.01.2024).
7. Revolution X. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Videogame/revolution-x-aerosmith> (дата звернення: 03.01.2024).
8. D.S. Cohen, Killer Shark: The Undersea Horror Arcade Game from Jaws, URL: <https://www.lifewire.com/game-play-and-streaming-4781449> (дата звернення: 04.01.2024).
9. Sega Duck Hunt (Arcade Flyer) URL: <https://www.pinrepair.com/arcade/sduckhu.htm> (дата звернення: 04.01.2024).
10. Duck Hunt. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Arcade/duck-hunt--sega> (дата звернення: 04.01.2024).
11. Missile. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Arcade/missile> (дата звернення: 06.01.2024).
12. Killer Shark. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Arcade/killer-shark> (дата звернення: 16.01.2024).

13. A History of the Internet. Computer History Museum. URL: <https://www.computerhistory.org/internethistory/> (дата звернення: 10.01.2024).
14. Martin Picard. The Foundation of Geemu: A Brief History of Early Japanese video games. URL: <https://gamestudies.org/1302/articles/picard> (дата звернення: 10.01.2024).
15. Wild Gunman. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Arcade/wild-gunman> (дата звернення: 11.01.2024).
16. Balloon Gun. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Videogame/balloon-gun> (дата звернення: 11.01.2024).
17. Bullet Mark. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Videogame/bullet-mark> (дата звернення: 11.01.2024).
18. Sea Devil. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Arcade/sea-devil--sega> (дата звернення: 12.01.2024).
19. Attack. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Videogame/attack> (дата звернення: 12.02.2024).
20. Cross Fire. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Videogame/cross-fire> (дата звернення: 13.03.2024).
21. Battle Shark. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Arcade/battle-shark> (дата звернення: 13.01.2024).
22. Cycle Shooting. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Videogame/cycle-shooting> (дата звернення: 14.01.2024).
23. Operation Wolf. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Videogame/operation-wolf> (дата звернення: 15.01.2024).
24. Light gun. Allgame via the Wayback Machine. URL: <http://www.allgame.com/game.php?id=12008> (дата звернення: 16.01.2024).
25. Starblade. Museum of the Game. URL: <https://www.arcademuseum.com/Videogame/starblade> (дата звернення: 17.01.2024).
26. The Magic of Early 90s 3D. GameZone. URL: <https://gamezone.com/originals/the-magic-of-early-90s-3d/> (дата звернення: 18.01.2024).

27. Gun Buster. Museum of the Game. URL: <https://www.arcade-museum.com/Videogame/gun-buster> (дата звернення: 18.01.2024).
28. Martin Hollis. The Making of GoldenEye 007. Zoonami. URL: <http://web.archive.org/web/20110718160021/> (дата звернення: 18.01.2024).
29. Police 911. Museum of the Game. URL: <https://www.arcade-museum.com/Videogame/police-911> (дата звернення: 19.01.2024).
30. Wireless-gamepad. URL: <https://www.idsa.org/awards-recognition/idea/idea-gallery/wireless-gamepad/> (дата звернення: 20.01.2024).
31. ISM. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ISM> (дата звернення: 15.02.2024).
32. Bluetooth vs WiFi for Iot-projects. URL: <https://euristiq.com/bluetooth-vs-wifi-for-iot-projects/> (дата звернення: 20.02.2024).
33. Catalog. URL: <https://www.k206.net/catalog/515/22464/> (дата звернення: 25.02.2024).
34. Datchik rozpoznavannya koloru TCS34725. URL: <https://beegreen.com.ua/datchik-rozpoznavannya-koloru-tcs34725-pidtrimka-rgb-i2c-stm32-17860> (дата звернення: 28.02.2024).
35. TCS34725. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1830813/OSRAM/TCS34725.html> (дата звернення: 29.02.2024).
36. Etsy.com URL: https://www.etsy.com/market/nes_zapper?ref=return_to_search (дата звернення: 16.03.2024).
37. Aliexpress.com. URL: <https://www.aliexpress.com/item/1005004768179964.html> (дата звернення: 20.03.2024).
38. TCS34725. URL: https://www.waveshare.com/wiki/File:TCS34725_Arduino_2.jpg (дата звернення: 21.03.2024).