МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Факультет економіки і підприємництва

Кафедра інформаційних технологій

Допущено до захисту

"_____" _____ 2023 р.

Зав. кафедри, к.т.н., доцент

_____ **Ліщук Р.І.**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Мікропроцесорні засоби для визначення кольору об'єктів

Виконав – студент 2 курсу, групи 21м-кн
освітньої програми "Комп’ютерні науки"
спеціальності 122 Комп’ютерні науки
Булах Аріна Ігорівна
Науковий керівник – д.т.н., професор
Кулаков Павло Ігорович

Умань – 2023

Реферат

на кваліфікаційну роботу «Мікропроцесорні засоби для визначення кольору об'єктів»

студентки факультету економіки та підприємництва
Уманського національного університету садівництва
Булах Аріни Ігорівни

Структура та обсяг роботи - пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра складається з 3 розділів, містить 73 сторінки, 11 рисунків, 7 додатків, використано 44 літературних джерела.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена розробці мікропроцесорного засобу для визначення кольору об’єктів. В процесі виконання роботи проведено аналіз сучасних методів автоматичного визначення кольору та аналіз сучасних мікропроцесорних засобів для визначення кольору, обгрунтувано вибір мікропроцесора, засобів розробки, засобів комунікації з зовнішніми пристроями. Розроблено архітектуру мікропроцесорного засобу, розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера, під управлінням якого він працює.

Наукова новизна отриманих результатів кваліфікаційної роботи полягає у тому, що дістав подальшого розвитку колориметричний метод визначення колірних координат, в якому, на відміну від класичного, для освітлення поверхні використовується не біле світло, а світлові потоки, які відповідають кривим додавання, що дозволило не використовувати світлофільтри. Практичне значення одержаних результатів кваліфікаційної роботи полягає в тому, що запропоновані підходи до визначення колірних координат дозволяють спростити та здешевити технічну реалізацію засобу для визначення кольору.

У першому розділі кваліфікаційної роботи магістра проведено аналітичний огляд предметної області, у другому розділі архітектуру мікропроцесорного засобу, у третьому розділі розроблено програмне забезпечення мікропроцесорного засобу.

Анотація

У кваліфікаційній роботі магістра розглянуто принципи побудови мікропроцесорного засобу визначення кольору, проведено аналітичний огляд предметної області, розроблено архітектуру мікропроцесорного засобу та програмне забезпечення для мікроконтролера на мові програмування С++. Проведено аналіз сучасних підходів до визначення кольору, вибрано та проаналізовано існуючі аналоги, розглянуто методи визначення колірних координат, запропоновано ефективну мікропроцесорну реалізацію колориметричного методу, розроблено структурну та функціональну схеми мікроконтролерного засобу. Розроблений мікропроцесорний засіб для визначення кольору об’єктів забезпечує комунікацію з зовнішніми пристроями за допомогою інтерфейсів Bluetooth та USB.

Ключові слова: визначення кольору об’єкту, колірні моделі, колірні координати, колориметричний метод, міікропроцесорний засіб.

Annotation

In the work, the principles of building a microprocessor tool for color determination are considered, an analytical review of the subject area is carried out, the architecture of the microprocessor tool and software for the microcontroller in the C++ programming language are developed. An analysis of modern approaches to color determination was carried out, existing analogues were selected and analyzed, methods of determining color coordinates were considered, an effective microprocessor implementation of the colorimetric method was proposed, and structural and functional schemes of the microcontroller tool were developed. The developed microprocessor tool for determining the color of objects provides communication with external devices using Bluetooth and USB interfaces.

Keywords: determination of object color, color models, color coordinates, colorimetric method, microprocessor.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Факультет економіки і підприємництва
Кафедра _____Інформаційних технологій_____
Освітня програма _____Комп'ютерні науки_____
Спеціальність_____122 Комп'ютерні науки_____
(код, назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ ___Ліщук Р.І._____
(підпис) (ініціали, прізвище)
"_____" _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студенту_____*Булах Аріні Ігорівні*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема проекту___*Мікропроцесорні засоби для визначення кольору об'єктів*___
керівник роботи__*Кулаков Павло Ігорович, д.т.н., професор кафедри*_____
_____*інформаційних технологій*_____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від "28"_квітня_2023 року №_01-06/77__
2. Строк подання студентом роботи_____20.12.2023_____
3. Вихідні дані до роботи ____*Розробити мікропроцесорний засіб для визначення кольору об'єктів на основі спеціалізованого мікроконтролера, забезпечити комунікацію з зовнішніми пристроями за допомогою інтерфейсів Bluetooth та USB, розробити програмне забезпечення для мікроконтролера на мові програмування С++*_____
4. Перелік питань, які потрібно розробити _____*Аналітичний огляд*_____
*предметної області, архітектура мікропроцесорного засобу, програмне*_____
*забезпечення для мікроконтролера мікропроцесорного засобу.*_____
5. Перелік графічного матеріалу _____11 рисунків, 7 додатків, 44 джерела_____
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір теми кваліфікаційної роботи	05.09.2022	
2.	Одержання індивідуального завдання	07.09.2022	
3.	Складання календарного плану написання кваліфікаційної роботи	08.09.2022	
4.	Підготовка до виконання кваліфікаційної роботи - підбір та вивчення літератури - участь у виконанні науково-дослідних робіт - виконання курсових робіт - інші заходи	Впродовж I семестру	
5.	Уточнення теми кваліфікаційної роботи та календарного плану-графіка, виходячи зі специфіки базового підприємства, установи	До початку II семестру	
6.	Підготовка: - першого розділу - другого розділу - третього розділу - висновків	 09.02.2023 23.03.2023 26.04.2023 10.05.2023	
7.	Доопрацювання кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень наукового керівника	18.05.2023	
8.	Написання та оформлення роботи в остаточному варіанті	25.05.2023	
9.	Перевірка роботи на академічний плагіат	12.06.2023	
10.	Одержання відгуку наукового керівника	13.06.2023	
11.	Попередній захист роботи на кафедрі	14.06.2023	
12.	Затвердження роботи завідувачем кафедри	15.06.2023	
13.	Одержання рецензії	16.06.2023	
14.	Захист кваліфікаційної роботи	19-21.06.2023	

Студент_____ **Булах А.І.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ **Кулаков П.І.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ…… .. 7
ВСТУП……..8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ……11
1.1. Аналіз сучасних підходів до визначення кольору ……. 11
1.2. Аналіз мікропроцесорних засобів для визначення кольору ……..19
1.3. Постановка задачі……23
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАСОБУ..25
2.1. Обгрунтування вибору мікропроцесора та засобів розробки.……25
2.2. Засоби комунікації з зовнішніми пристроями ……..……...31
2.3. Розробка структурної схеми мікропроцесорного засобу…….35
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАСОБУ…..……41
3.1. Розподіл ресурсів мікропроцесора…… 41
3.2. Розробка програмного забезпечення мікроконтролера ……..43
3.3. Розробка програмного забезпечення комунікаційної частини……..46
ВИСНОВОК……..50
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……..52
ДОДАТОК А Схема реалізації вдосконаленого колориметричного методу.....57
ДОДАТОК Б Структурна схема мікропроцесорного засобу визначення кольору …….....58
ДОДАТОК В Функціональна схема мікропроцесорного засобу визначення кольору. 59
ДОДАТОК Г Блок-схема алгоритму роботи мікропроцесорного засобу визначення кольору…….. 60
ДОДАТОК Д Лістинг модуля Main.c…….....61
ДОДАТОК Е Лістинг модуля USB.c….. 64
ДОДАТОК Ж Лістинг модуля USART.c.....69

Перелік умовних позначень, скорочень і термінів

ІТ	Інформаційні технології.
МП	Мікропроцесор.
МК	Мікроконтролер.
БД	База даних.
ПЗ	Програмне забезпечення.
ПД	Програмний додаток.
АЦП	Аналого-цифровий перетворювач.

Вступ

Поняття кольору має багато трактувань, але найбільш точне визначає колір як відчуття, що виникає у свідомості людини при дії на її зоровий апарат електромагнітного випромінювання спектрального діапазону від 380 нм до 760 нм. Відповідно до цього колір не є фізичною змінною, а тому не має фізичних одиниць для визначення [1 - 3].

Актуальність теми дослідження обумовлена тим, що точне та незалежне від наших відчуттів визначення кольору набуває сьогодні усе більш важливого значення у багатьох галузях. Зовнішні кольорові характеристики дозволяють визначити ступінь готовності та якість продукції в харчовій промисловості. Тому вони стандартизовані і строго контролюються. Це саме стосується і виробництва косметичної продукції. Особливо це актуально на етапі вибору та роботи з пігментами, які впливають на кінцевий колір виробу [4 - 6].

Аналогічні задачі вирішуються і автомобілебудуванні. Усі елементи кузова повинні мати один і той самий колір, незалежно від складності відтінків та використовуваних матеріалів. При цьому контроль за колірною відповідністю виходить на перший план з огляду на те, що окремі деталі отримуються від різних постачальників, які використовують різні методи фарбування. При ремонті автомобілів, що передбачає фарбування окремих ділянок або елементів кузова, вимагається точне попадання в тон, що не можливо здійснити без спеціальних засобів визначення кольору при невідомому коді фарби або відсутності потрібного зразку у каталозі кольорів [7 - 9].

Точне відтворення кольору є важливим при виробництві паперу, виготовленні будматеріалів, полімерів, в поліграфії, на текстильних підприємствах, при реставраційних роботах. Без визначення кольору неможливо обійтися і у сфері графічного дизайну при застосуванні кольору наявного предмета або зразка у певному проекті або макеті [10 - 11].

Вміння визначати колір надає можливість його контролювати, відтворювати та передавати інформацію про нього. Контроль кольору в різних

галузях забезпечує єдність інформації про колір продукції, переданої між окремими виробниками або різними виробництвами. Особливо це важливо з погляду комп′ютерних технології. Сучасні комп'ютеризовані системи підгонки та розрахунку рецептур кольору стали обов′язковим атрибутом при виробництві та використанні забарвлених матеріалів. Поряд із цим, завдання визначення та перетворення кольору вирішуються і в самих засобах комп′ютерної техніки, зокрема, в моніторах, сканерах і принтерах.

Поряд із цим застосування комп′ютерних технологій для створення кольорових зображень різноманітного призначення не завжди дозволяє отримати очікуваний результат [12]. Це обумовлено фундаментальними відмінностями між характером сприйняття кольору людиною та способом його відтворення сканерами, моніторами, аналоговими та цифровими камерами, а також фарбами при друці, що вимагає незалежного визначення та опису кольору.

Об’єкт дослідження кваліфікаційної роботи магістра — інформатизація процесів взаємодії світла з речовиною.

Предмет дослідження кваліфікаційної роботи магістра — методи та мікропроцесорні засоби визначення параметрів кольору.

Метою дослідження кваліфікаційної роботи магістра є вдосконалення методів визначення кольору об’єктів за рахунок використання сучасних мікропроцесорних технологій.

Задачі дослідження кваліфікаційної роботи магістра:

- аналіз сучасних підходів до визначення параметрів кольору;

- вибір методу визначення кольору та його технічної реалізації;

- визначення структурної та функціональної побудови мікроконтролерного засобу для визначення кольору.

- розробка програмного забезпечення для мікропроцесорного засобу визначення кольору.

Для досягнення поставленої в роботі мети використовуються такі **методи дослідження:**

- системний аналіз;

- методи схемотехнічного проектування.

Наукова новизна отриманих результатів кваліфікаційної роботи магістра полягає у тому, що дістав подальшого розвитку колориметричний метод визначення колірних координат, в якому, на відміну від класичного, для освітлення поверхні використовується не біле світло, а світлові потоки, які відповідають кривим додавання, що дозволило не використовувати світлофільтри.

Практичне значення одержаних результатів кваліфікаційної роботи магістра и полягає в тому, що запропоновані підходи до визначення колірних координат дозволяють спростити та здешевити технічну реалізацію засобу для визначення кольору.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз сучасних підходів до визначення кольору

Під кольором розуміють якісну суб'єктивну характеристику світлового випромінювання, що визначається на підставі викликаного ним зорового відчуття і залежить від певних фізичних, фізіологічних і психологічних факторів. Останні проявляються в тому, що світловий потік того самого спектрального складу викликає різні відчуття у різних людей, тобто сприйняття кольору є індивідуальним для кжної людини.

З іншого боку щось подібне можна зазначити і щодо комп′ютерних засобів введення/виведення зображень. Кожний піксель зображення описується певними числовими параметрами, що визначають його колір. При переміщенні зображення з одного пристрою на інший кольорова палітра зображення може змінитися, оскільки кожен пристрій інтерпретує значення цих числових параметрів відповідно до власного колірного простору. Так, наприклад, неможливо, щоб усі кольори, які відображаються на моніторі, повністю відповідали б кольорам, отриманим у результаті друку [13 - 15]. Незважаючи на те, що не представляється можливим ідеально узгодити усі кольорі на різних пристроях, для забезпечення однаковості кольорів або такого ступеня їх подібності, при якому вони здавалися би однаковими, можна здійснити керування ними. Це можна досягти лише за рахунок представлення кожного кольору якимись кількісними значеннями або математичними виразами. При цьому результати такого представлення повинні бути однозначними.

Кожен колір має кількісні характеристики, такі як колірний тон, яскравість, світлота, насиченість. Колірний тон є тим атрибутом, який дозволяє відрізняти колір від білого та сірого, визначаючи його як червоний, жовтий і т.д.

Яскравість характеризує інтенсивність кольору, те наскільки темним або світлим він виглядає. Чим більша яскравість, тим світліший колір. Яскравість, що є об’єктивною величиною, яку можна виміряти, сприймається як світлота, яка є суб′єктивною величиною, що характеризує світлове відчуття.

Насиченість визначає відмінність кольору від безбарвного (нейтрального) сірого кольору тієї самої яскравості. Чим нижча насиченість, тим більш сірим виглядає колір [16].

Основою математичного опису кольору є експериментально встановлений закон Грассмана, відповідно до якого будь-який колір можна представити у вигляді суми певної кількості трьох лінійно незалежних кольорів - кольорів, жоден з яких не може бути отриманий як лінійна комбінація двох інших. Систем лінійно незалежних кольорів є нескінчена кількість, але широко поширення отримали лише деякі з них. Три вибраних лінійно незалежних кольори називають основним кольорами. Основні кольори утворюють колірну систему координат або тривимірний колірний простір [17 - 19].

Колірний простір є відображенням колірної моделі та характеризується певним охопленням (діапазоном) кольорів. Колірна модель представляє окремий метод опису та класифікації кольору і визначає розподіл кольору на складові. Незалежно від того, що лежить в основі, будь-яка колірна модель повинна відповідати трьом вимогам. Колір моделі повинен бути визначений стандартним способом, що не залежить від можливостей якогось конкретного пристрою. Модель повинна точно визначати гаму, або діапазон кольорів, що задаються. Існує багато різних колірних моделей, але всі вони належать до одного з трьох типів: перцепційні (сприйняття), адитивні (засновані на додаванні) і субтрактивні (засновані на відніманні) [20].

Найбільш простою та очевидною для розуміння є колірна модель RGB (від англ. Red - червоний, Green - зелений, Blue - блакитний), що знаходить застосував в пристроях, в яких відтворення зображення ґрунтується на пропусканні або поглинанні світла: монітори, сканери та цифрові камери. Колірна модель RGB є адитивною, оскільки кольори в ній генеруються додаванням світлових потоків червоного, зеленого та блакитного випромінювань. Тому вторинні кольори завжди мають більшу яскравість, ніж використані для їх отримання основні кольори. Сума основних кольорів

максимальної інтенсивності дає білий колір, нульової - чорний, рівних проміжних значень - нейтральні відтінки сірого [21].

Як основні кольори в моделі RGB використовуються випромінювання з довжинами хвиль R = 700 нм, G = 546,1 нм і B = 435,8 нм. На основі експериментальних даних встановлено, що для отримання білого кольору інтенсивності червоного, зеленого і синього випромінювань повинні відноситися як 1 : 4.59 : 0.06 [22]. На рис. 1.1 представлені криві питомих координат m', n' та p' кольору у моделі RGB (позначені як r', g' та b'), які відображають відносні кількості основних випромінювань цієї системи, при якій їх суміш буде мати колір, аналогічний кольору монохроматичного випромінювання одиничної інтенсивності з довжиною хвилі λ. Ці криві отримали назву кривих додавання.

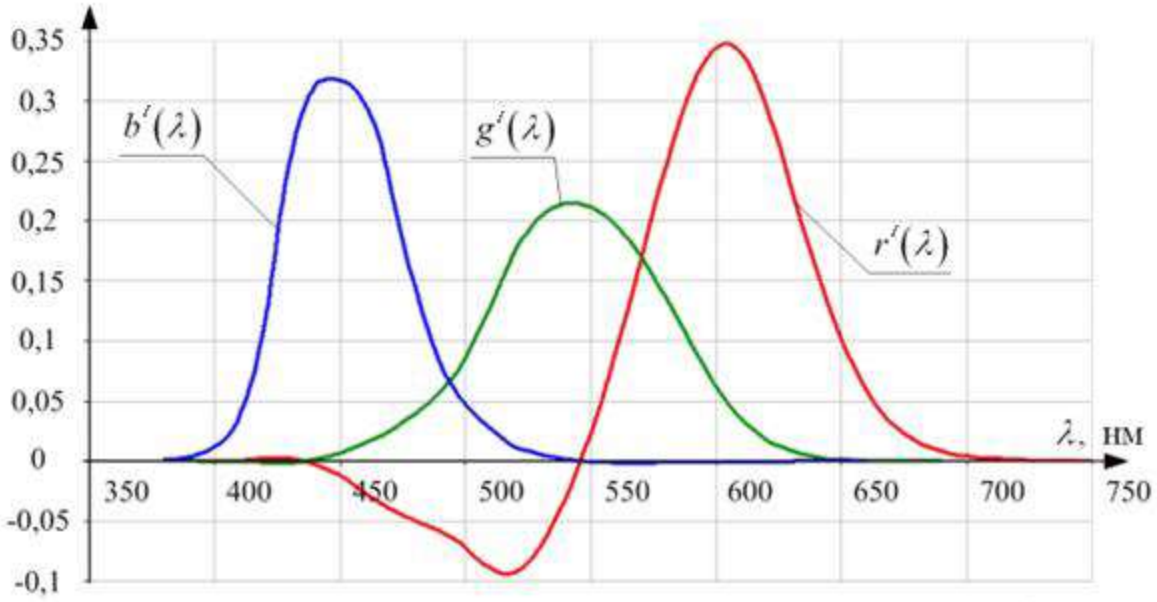


Рисунок 1.1 - Криві додавання системи RGB

З графіків на рис. 1.1 витікає, що модель RGB не дозволяє відтворити деякі кольори. Це кольори, які відповідають випромінюванням з довжинами хвиль в діапазоні приблизно від 440 нм до 550 нм. У цьому діапазоні графік для частки червоної складової знаходиться в області негативних значень, тобто для

отримання зазначених кольорів червону складову треба не додавати, а віднімати, що фізично не реалізуємо. Іншим доволі значним недоліком моделі RGB є необхідність визначення усіх трьох складових кольору для відтворення його яскравість [23].

Зазначених недоліків позбавлена модель XYZ, яка була прийнята майже одночасно з моделлю RGB. В основу моделі XYZ покладено вимогу спрощення колірних розрахунків, для чого були сформульовані такі вимоги:

- усі видимі кольори повинні виражатися лише позитивними компонентами;

- яскравість кольору повинна визначатися лише однією координатою.

За основні кольори в моделі XYZ прийняті не існуючі, більш насичені, ніж реальні кольори. Координатна система XYZ вибрана так, щоб вектори основних кольорів знаходилися у колірному просторі поза межами реальних кольорів. Оскільки основні кольори моделі XYZ в природі не існують, їх назвали X, Y, Z. Якщо проводити аналогію з моделлю RGB, колір X відповідає R, Y - G, Z - B. Відповідно до другої вимоги яскравість кольору визначається координатою Y [24].

Різні пристрої навіть одного і того самого типу, наприклад монітори, один і той самий колір відтворюють по різному, оскільки кожен з них має свої характеристики трьох основних кольорів RGB. Крім того, ці характеристики не є постійними і можуть змінюватися з часом. Оскільки апаратно залежні кольори RGB технічних засобів можуть відрізнятися від кольорів, прийнятих в моделі RGB, відтворювані ними одні і ті самі кольори відрізняються між собою.

Колірна модель XYZ дозволяє точно відтворювати та передавати інформацію про колір. Особливе значення має складова $y'(\lambda)$, форма якої збігається з формою відносної кривої видимості людського ока. На системі XYZ базується усі подальші досягнення науці про колір, наприклад знайома багатьом система Lab. Основним недоліком системи XYZ є нерівномірність, яка проявляється в тому, що однакові зміни колірних координат в різних областях

колірного простору не дають однакові зміни колірних відчуттів, тобто різниця між сусідніми кольорами в одній області колірного простору може бути практично непомітною, тоді як різниця між сусідніми кольорами в іншій - дуже помітною.

Колірна модель Lab заснована на сприйнятті кольору людиною та була створена з метою подолання недоліків інших моделей, зокрема, вона є апаратно незалежною та визначає кольори без врахування особливостей технічних засобів для введення/виведення зображень. На відміну від інших колірних моделей в моделі Lab колір описується з використанням трьох складових, що характеризує зір людини.

Модель Lab заснована на тому, що колір одночасно не може бути зеленим та червоним або жовтим та синім. Атрибути «червоний/зелений» і «жовтий/синій» описуються двома параметрами a та b, відповідно. У цій моделі будь-який колір визначається яскравістю (L-Lightness) і двома хроматичними компонентами: a - це кольори від темно-зеленого через сірий до пурпурового кольору, b - це кольори від синього через сірий до жовтого (рис. 1.2).

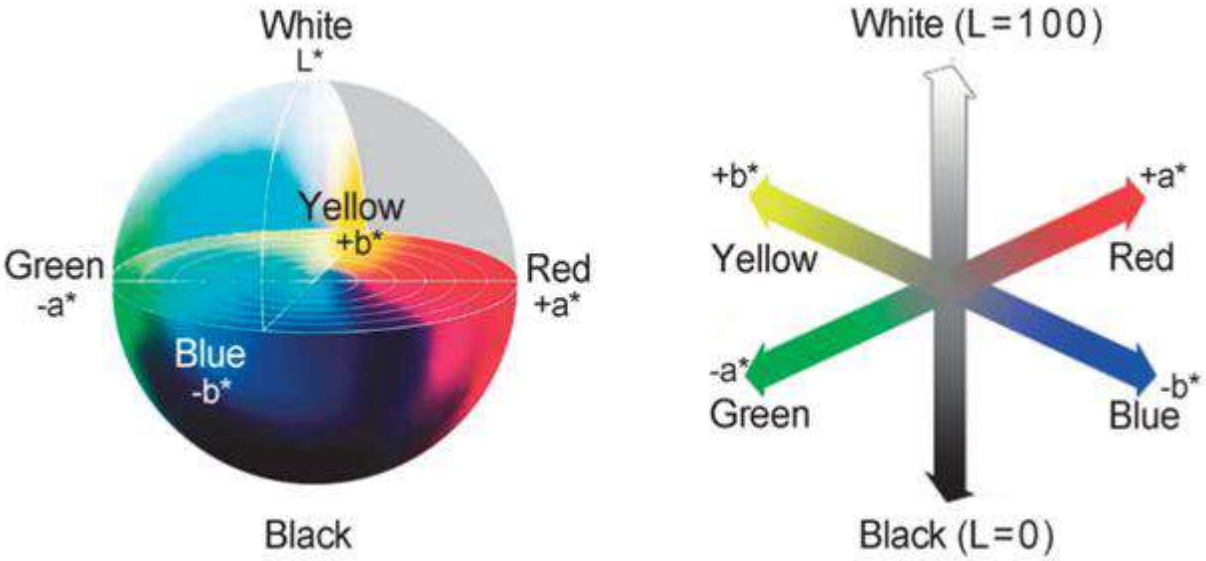


Рисунок 1.2 - Колірна модель Lab

Параметри a та b змінюються від -128 до 127, а параметр L від 0 до 100. Нульове значення колірних компонентів при яскравості 50 відповідає сірому кольору моделі RGB (119,119,119). При значенні яскравості 100 виходить білий колір, при 0 - чорний [25].

Яскравість у системі Lab повністю відокремлена від кольору. Це робить модель зручною для регулювання контрасту, різкості та інших світлових характеристик зображення. При конвертації в Lab усі кольори зберігаються. Можна перевести зображення в режим Lab, виконати корекцію зображення, а потім безболісно перевести результат назад в режим RGB. Колірне охоплення Lab ширше, ніж RGB, тому кожне повторне перетворення з одного режиму в інший досить безпечне. Ця властивість Lab дуже важлива для поліграфії.

Оскільки параметри Lab описують, як виглядає колір, а не скільки конкретної фарби певного пристрою (наприклад, монітору, принтеру або цифровій камері) для відтворення кольорів, Lab вважається апаратно незалежною колірною моделлю. Системи керування кольором використовують Lab як довідник кольорів, щоб отримувати передбачувані результати при перетворенні кольору з одного колірного простору в інший [26].

Моделі XYZ та Lab призначаються для збереження та передавання апаратно-незалежної інформації про колір, а також для перетворення колірних координат колірного простору одного пристрою, в колірні координати колірного простору іншого.

Сьогодні контроль та визначення кольору здійснюється за допомогою різних приладів, основними з яких є денситометри, спектрофотометри та колориметри. Відмінності між ними полягають у різному принципі роботи.

Денситометр є фотоелектричним пристроєм, що визначає оптичну густину або її похідні, де оптична густина є базовою. Зокрема за допомогою денситометра можна визначити, який відсоток світла відбивається або поглинається.

Денситометри використовуються в поліграфії. Вони бувають двох типів: ті

що працюють зі світлом, яке проходить, і ті, що працюють зі світлом, яке відбивається. Перші використовуються при роботі з прозорими матеріалами, другі - з об′єктами, що відбивають та розсіюють світло, наприклад, друковані зображення.

Принцип дії денситометра заснований на вимірюванні інтенсивності світлового потоку, що пройшов або відбився від зразка. При контролі якості друкованого зображення його освітлюють білим світлом, що в ідеалі складається з рівних часток червоного, зеленого та синього. Нанесена фарба містить пігменти, які поглинають одні світлові хвилі та відбиває інші. Денситометр вимірює поглинене світло певного кольору, що дозволяє контролювати оптичну щільність фарби, яка залежить від використовуваного у ній пігменту, його концентрації та товщині шару фарби. Для отримання можливості здійснювати контроль оптичного поглинання окремого кольору, перед фотоприймачем розміщують світлофільтр. Оскільки основними кольорами при друці є кольори моделі CMYK, для контролю якості друкованих відбитків застосовуються світлофільтри для поглинання довжин хвиль, що відповідають блакитному, пурпуровому та жовтому кольорам.

Денситометри надають можливість з високою точністю контролювати параметри зафарбованого шару, але не дозволяють визначити параметри, безпосередньо пов'язані зі сприйняттям кольору людиною.

В основу спектрофотометричних вимірювань покладено принцип, відповідно до якого кожен колір можна описати за допомогою адитивного змішування спектральних кольорів. Яскравість кожної складової кольору визначається за інтенсивністю окремої вузької ділянки видимого спектру. Відповідно до цього спектрофотометри працюють шляхом розкладання світла на вузькі спектральні смуги з подальшим визначенням енергії, що припадає на кожну з них.

Інтенсивність кожної спектральної складової визначається за допомогою матричного фотоприймача, за рахунок чого отримується повна інформацію про

розподіл енергії по всьому спектру випромінювання відбитого, поглиненого або пропущеного зразком. Крім спектральної кривої, будь-який спектрофотометр може подати отримані дані в колірних координатах XYZ або Lab. Оскільки за допомогою спектрофотометра визначається кількість світлової енергії, що проходить через зразок або відбивається від нього одразу у кількох спектральних інтервалах, спектрофотометри надають можливість отримати повну інформацію про колір.

Принцип дії колориметра подібний до сприйняття кольору людиною. Колориметр дозволяє визначити три складові кольору: червону, зелену та синю. Класичний підхід до побудови колориметра передбачає застосування кольорових світлофільтрів. Характеристика пропускання світлофільтрів підбирається так, щоб загальна спектральна характеристика чутливості збігалася з кривими додавання, наприклад, з кривими X, Y та Z. При цьому може використовуватися паралельна схема, з трьом світлофільтрами та трьома фотоприймачами, або послідовна, з одним фотоприймачем та трьома змінними світлофільтрами. У будь-якому випадку на виході формується електричний сигнал пропорційний координатам кольору, що дозволяє перерахувати значення сигналу у колірні координати XYZ або Lab. Існують також інтегральні колориметри, принцип роботи заснований на одночасному перетворенні одним фотоприймачем трьох світлових потоків, отримуваних за допомогою світлофільтрів.

В сучасних колориметрах обробка значень фотоструму здійснюється автоматично, за допомогою мікропроцесору або мікроконтролера. Крім визначення колірних координат як правило підтримується можливість отримання інших додаткових даних інформації, наприклад, значення яскравості, кількість колірних порогів, перерахунок колірних кордит однієї колірної системи в іншу.

Підводячи підсумок проведеному аналізу слід зазначити, за допомогою денситометрів визначити кольорові координати довільного кольору не можливо.

Колориметр краще підходить для визначення різниці кольорів, ніж для повного вимірювання кольору, а спектрофотометри дозволяють визначати колір з більшою точністю та мають більш широкий набір функцій, що функціонально робіть їх більш гнучкими.

1.2 Аналіз мікропроцесорних засобів для визначення кольору

Одними з аналогів розглядуваних засобів є спектрофотометр Genius iQ (Axalta, Німеччина) (рис. 1.3), в якому впровадженні передові технології, зокрема трикутна технологія вимірювання кольору [27].



Рисунок 1.3 - Спектрофотометр Genius iQ

Спектрофотометр Genius iQ у комбінації з програмою Standowin iQ дозволяє здійснити точний підбір кольору, пропонуючи найбільш підходящу формулу з бази даних з понад 200 тисяч кольорів, що постійно оновлюється. У програмі також передбачена функція доколерування формул з бази даних, щоб отримати найкращої відповідності з вимірюваним кольором. Standowin iQ може бути встановлена на будь-який ПК, планшет чи смартфон незалежно від операційної системи. Отримуванні за допомогою спектрофотометра Genius iQ дані про колір передаються у програму через Wi-Fi-підключення. Можливість моментальної передачі вимірів у програму значно економить час, тим самим сприяючи оптимізації робочого процесу загалом. Для організації взаємодії з користувачем спектрофотометр обладнаний повнокольоровим сенсорним екраном [28].

Основні технічні особливості спектрофотометра Genius iQ [28]:

- 3-кутова вимірювальна оптика;

- висока точність та швидкість визначення (підбору) кольору;

- вбудоване джерело денного світла;

- вбудований повнокольоровий сенсорний дисплей високого розрізнення;

- просте та інтуїтивне управління;

- підтримка бездротового підключення Wi-Fi;

- можливість підключення через Wi-Fi та програмне забезпечення Standowin iQ до хмарного середовища;

- підтримка безпосередньої взаємодії із засобом змішування фарб;

- портативний пристрій з живленням від акумуляторної батареї.

Основними недоліками спектрофотометра Genius iQ є висока ціна, яка складає понад 200 тис. грн., та те, що отримуваними результатами є зразок кольору, що міститься в базі даних, а не безпосередньо колірні координати.

Ще одними з аналогів є портативні спектрофотометри X-Rite серії MA9x (X-Rite, США) (рис. 1.4), що дозволяють здійснювати точне визначення кольору різних покриттів та матеріалів, у тому числі зі спеціальними ефектами типу «металік» і «перламутр», а також інших покриттів з особливими властивостями. Прилади забезпечують до 10 кутів вимірювання та 2 кути освітлення для отримання унікального набору параметрів кожного кольору, які використовуються на всіх етапах колірної комунікації: дизайн, розробка колірної рецептури, виробництво та вихідний контроль якості.



Рисунок 1.4 - Спектрофотометри X-Rite серії MA9x

Прилади серії MA9x мають компактну, міцну, ергономічну конструкцію. Координати кольору виводяться для систем вимірювання кольору L*a*b*, ΔL*Δa*Δb*, L*C*h˚, ΔL*ΔC*ΔH*, Flop Index. Для кожного кута визначається спектр відбитого випромінювання з роздільною здатністю 10 нм в спектральному діапазоні від 400 нм до 700 нм. Визначення спектру здійснюється за допомогою 31 світлофільтрів, які під час вимірювання послідовно позиціонуються кроковим двигуном напроти фотоприймача [29].

Основні технічні особливості спектрофотометрів X-Rite серії MA9x:

- в залежності від типу 5, 6 та 10 кутів вимірювання;
- кути освітлення 2° та 10°;
- вбудоване джерело денного світла;
- робочий спектральний діапазон від 400 нм до 700 нм;
- спектральний інтервал 10 нм;
- підтримувані колірні системи L*a*b*, ΔL*Δa*Δb*, L*C*h˚, ΔL*ΔC*ΔH*, Flop Index;
- час вимірювання до 2 с;
- дані, що зберігаються: 250 еталонів та 1000 зразків;
- інтерфейси передачі даних: бездротове підключення Bluetooth та дротове з′єднання USB;
- портативний пристрій з живленням від акумуляторної батареї;
- кількість вимірювань на повній зарядці: до 750 вимірів, для 5-ти кутів (при 10 с інтервалі між вимірами).

Основними недоліками спектрофотометрів X-Rite серії MA9x є висока ціна (понад 120 тис. грн.) та наявність рухомих механічних елементів.

Найбільш близьким до розглядуваних засобів є колориметр NH-310 (Китай) (рис. 1.5), що призначений для вирішення широкого кола завдань з вимірювання кольору. Колориметр NH-310 поєднав у собі найкращі властивості приладів провідних виробників і за цілою низкою параметрів немає аналогів. Вперше у світі в портативному колориметрі застосована відеокамера, для

точного наведення приладу на ділянку, що вимірюється. Завдяки використанню світлодіодного підсвічування зона вимірювання може висвітлюватися безперервно, для покращення візуальної оцінки.



Рисунок 1.5 - Колориметр NH-310

Колориметр NH-310 має низьке енергоспоживання, що на одному заряді акумуляторів дозволяє провести понад 3000 вимірів. Для точного виміру кольору неоднорідних поверхонь передбачено автоматичне усереднення до 30 результатів. Наявний об′єм пам'яті забезпечує зберігання до 20 000 результатів вимірювань. Висока точність вимірювань забезпечується шляхом автоматичного проведення калібрування нуля та білого по вбудованій калібрувальній пластині при включенні приладу. Завдяки великому кольоровому дисплею, прилад має зручне меню з докладними коментарями та ілюстраціями, одночасно відображаються як дані вимірювань цільового кольору та зразка, так і різниця кольорів і колориметричні індекси. Під час увімкнення відеокамери відображається зображення зони вимірювання, яке може бути збережене у вигляді файлу, пов'язаного з даними вимірювань. Для друку результатів вимірювання передбачено підключення принтера. Колориметр може працювати як автономно, і підключатися до комп'ютера через USB. Результати вимірів відображаються в програмі як у вигляді чисельних значень, так і у вигляді графіків, діаграм, трендів, ведеться статистика за різними параметрами, що спрощує роботу з великими об’ємами даних. Результати групуються до стандартних звітів, що дозволяють комплексно описати об'єкти вимірювань [30].

Основні технічні особливості колориметра NH-310:

- джерело світла
- світлодіод;
- підтримувані колірні системи L*a*b*, XYZ, RGB, L*u*v*, L*C*h;
- мінімальний інтервал між вимірами біля 1 с;
- вбудований повнокольоровий рідкокристалічний дисплей (2,8”; 16:9);
- інтерфейс передачі даних: USB;
- можливість безпосереднього підключення до принтера;
- портативний пристрій з живленням від акумуляторної батареї;
- тривалість автономної роботи: біля 3000 вимірювань протягом 8 год.

Основними недоліками колориметра NH-310 є доволі висока вартість (біля 30 тис. грн.) та підтримка лише USB інтерфейса.

З проведеного аналізу аналогів витікає, що розроблювані засоби повинні надавати інформацію про колір у вигляді колірних координат в різних колірних системах, підтримувати USB, Bluethooth або Wi-Fi підключення.

Підводячи підсумки проведеному у даному розділі аналізу зазначимо, що колір – це результат сприйняття світла в нашій свідомості, а не фізична властивість цього випромінювання, тому визначати колір потрібно через визначення якимось чином цього відчуття. Чисельне представленням кольору з врахуванням особливостей колірного сприйняття людини дає система з червоного, зеленого та блакитного випромінювань. Вимірюючи інтенсивності цих складових можна визначити колірні координати кольору.

1.3 Постановка задачі

Ціллю магістерської кваліфікаційної роботи є розробка мікропроцесорного засобу для визначення кольору об'єктів. Для її реалізації небхідно здійснити аналітичний огляд предметної області, розробити архітектуру мікропроцесорного засобу, програмне забезпечення для мікроконтролера мікропроцесорного засобу.

Завдання розробки полягає у аналізі сучасних підходів до визначення параметрів кольору, вибору методу визначення кольору та його технічної реалізації, визначенні структурної та функціональної побудови мікроконтролерного засобу для визначення кольору, розробці програмного забезпечення для мікропроцесорного засобу визначення кольору.

Для реалізації завдань розробки необхідно розробити мікропроцесорний засіб для визначення кольору об’єктів на основі спеціалізованого мікроконтролера, забезпечити комунікацію з зовнішніми пристроями за допомогою інтерфейсів Bluetooth та USB, розробити програмне забезпечення для мікроконтролера на мові програмування C++.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАСОБУ

2.1 Обгрунтування вибору мікропроцесора та засобів розробки

Головним елементом засобу для визначення кольору є мікроконтролер спеціалізований мікропроцесор. Сьогодні на ринку безперервно з'являються нові мікроконтролери, технічні параметри яких постійно вдосконалюються завдяки розвитку інноваційних технологій. Серед великого різноманіттяі сучасних мікроконтролерів можна виділити 8-ми бітні мікроконтролери AVR Atmel та 32-ох бітні ARM Cortex, зокрема STM32.

За технічними характеристиками мікроконтролери AVR програють STM32. Так, наприклад, тактова частота мікроконтролерів AVR нижче 16 МГц проти 72 МГц STM32. Кількість ліній введення/виведення та об'єм пам'яті у STM32 більша. Не можна не відзначити pin-to-pin сумісність різних сімейств STM32 – для заміни одного виробу іншим не потрібно змінювати плату. Крім того, за співвідношенням ціна/якість також виграє STM32 [31].

З врахуванням цього у розроблюваному засобі будемо використовувати мікроконтролер STM32. Серед мікроконтролерів STM32 будемо вибирати мікроконтролер, що дозволить реалізувати функції якомога більшої кількості структурних блоків засобу. При цьому будемо враховувати його ціну та поширеність на ринку, наявність прикладів програмних рішень для нього, тощо. Крім того, при виборі будемо орієнтуватися переш за все на готові модулі, які крім самого мікроконтролера містять додаткові компоненти, необхідні для його функціонування, наприклад, кварцовий резонатор, стабілізатор напруги і т. п. Перевагу будемо віддавати тим варіантам, що мають найменші габаритні розміри.

Відповідно до цього вибираємо модуль STM32F103C8T6 на однойменному мікроконтролері на базі ядра ARM Cortex M3. Модуль має роз'єми та інтерфейси для підключення до комп'ютера та інших пристроїв (датчиків, дисплеїв, модулів,

драйверів, реле тощо). Є можливість перепрограмування через JTAG, UART чи USART інтерфейси. Живлення плати може здійснюватися від USB порту комп'ютера або зовнішнього джерела живлення. Зовнішній вигляд модуля наведений на рис. 2.1 [32]. Основні технічні характеристики модуля STM32F103C8T6 та схема його контактів представлені у табл. 2.1 та рис. 2.2.

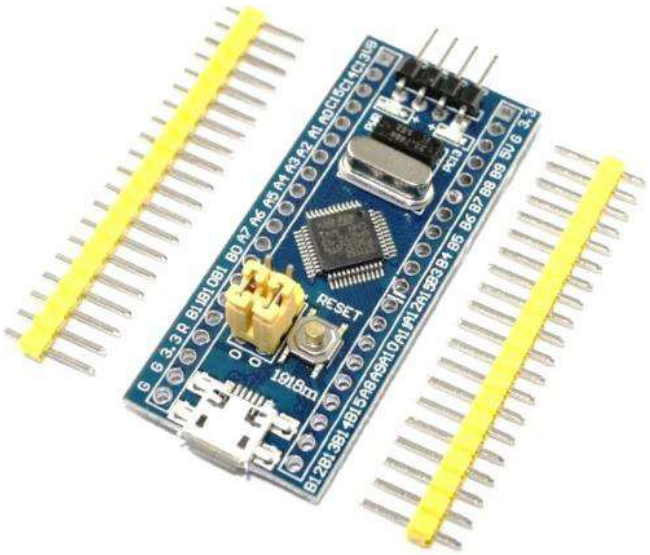


Рисунок 2.1 - Зовнішній вигляд модуля STM32F103C8T6

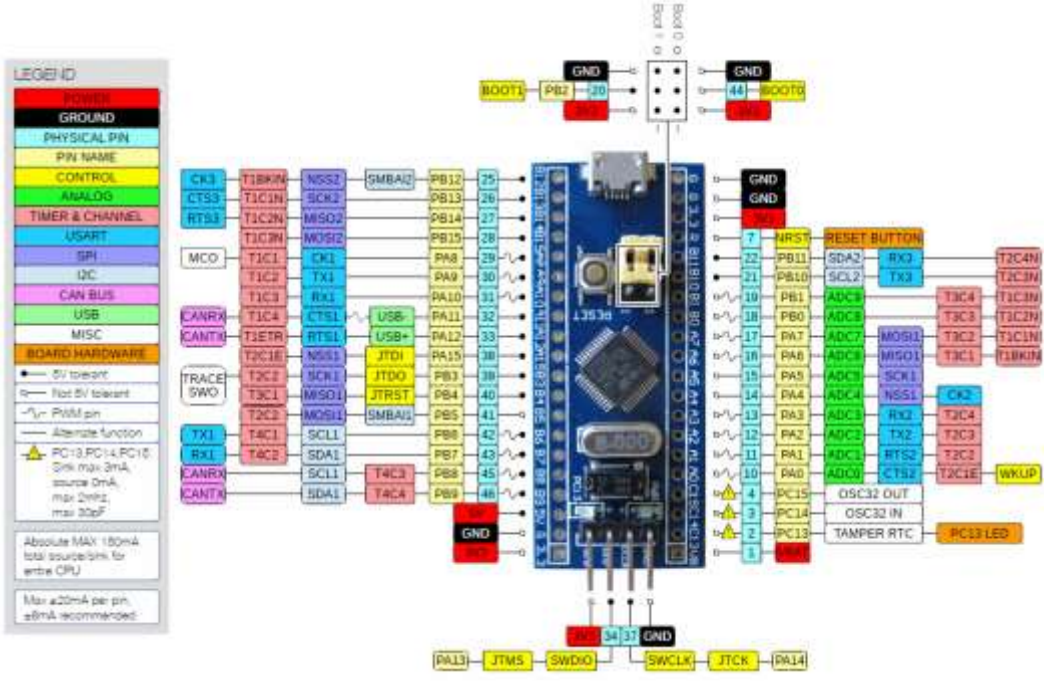


Рисунок 2.2 - Схема контактів модуля STM32F103C8T6

Таблиця 2.1 - Характеристики модуля STM32F103C8T

Параметр	Значення
Мікроконтролер	STM32F103C8T6, ядро ARM Cotrex M3
Максимальна частота	72 МГц
Об'єм пам'яті програм (FLASH)	128 кБайт
Об'єм пам'яті даних (RAM)	20 кБайт
Кількість доступних виводів	37 шт.
Таймери загального призначення	3 шт.
Розширений таймер з ШІМ управління двигуном	1 шт.
Системний таймер	1 шт.
Сторожові таймери	2 шт.
UART	3 шт.
SPI	2 шт.
I2C	2 шт.
CAN	1 шт.
USB	1 шт.
Контролери прямого доступу до пам'яті	7 шт.
АЦП	2 шт., 10 каналів
Годинник реального часу	є
Апаратний модуль розрахунку CRC	є

Мікроконтролер STM32F103C8T має у своєму складі 2 модуля аналого-цифрового перетворення. Тому аналого-цифрове перетворення напруги на виході операційного підсилювача буде здійснюватися безпосередньо мікроконтролером. Основні характеристики модулів АЦП мікроконтролера STM32F103C8T представлені у табл. 2.2 [33 - 35].

Таблиця 2.2 - Характеристики модуля АЦП мікроконтролера STM32F103C8T

Параметр	Значення
Тип АЦП	послідовного наближення
Роздільна здатність	12 біт
Мінімальний час перетворення	1 мкс
Кількість вхідних каналів	16
Режим самокалібрування	є
Джерело опорної	внутрішнє або зовнішнє

Два модуля АЦП можуть працювати у режимі здвоєних перетворень, використовуючи який їх можна перетворити на один АЦП з вищою швидкістю перетворення.

Для забезпечення взаємодії з користувачем при керуванні пристроєм до його складу будуть входити індикатор та дві кнопки. Як було відзначено раніше з сточи зору можливих режимів роботи розроблюваний засіб є порівняно простим, тому інтерфейс користувача не буде складним. Відповідно можна використати порівняно простий індикатор, головне, щоб він був графічним, наприклад TFT-LCD модуль FRD14414B (рис. 2.2), який складається з рідкокристалічної TFT панелі, драйвера та блоку підсвічування. Розмір панелі становить 1,44 дюйми, а роздільна здатність - 128×128. Модуль підтримує функцію часткового відображення екрана, режими сну та очікування. Основні характеристики модуля FRD14414B наведені в табл. 2.3 [36, 37].



Рисунок 2.3 - Рідкокристалічний індикаторний модуль FRD14414B

Таблиця 2.3 - Характеристики TFT-LCD модуля FRD14414B

Параметр	Значення
Режим відображення фону	Нормально білий
Розмір діагоналі	1,44 дюйми
Роздільна здатність	128 × 128
Мікросхема драйвера	ST7735S
Інтерфейс	4SPI
Напруга живлення	3,3 В
Габаритні розміри, Ш × В × Т	29.5 мм × 36.5 мм × 2.2 мм

У якості кнопки вибираємо сенсорний модуль TTP223-BA6 (рис. 2.4), що дозволяє реалізувати 1 сенсорну клавішу та призначений для заміни традиційних кнопкових клавіш. Модуль містить генератор, що змінює частоту при наближені пальця на відстань у кілька міліметрів. Зміна частоти реєструється спеціалізованою мікросхемою.

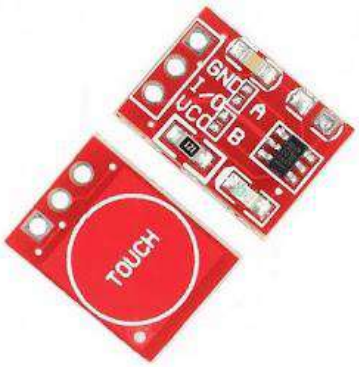


Рисунок 2.4 - Однокнопковий сенсорний модуль TTP223-BA6

Підключення чеез порт USB може бути реалізоване без використання додаткових компонентів, оскільки мікроконтролер STM32F103C8T6 містить у своєму складі USB-контролер, сумісний з повношвидкісним інтерфейсом USB 2.0. Контролер дозволяє реалізувати обмін 12 Мбіт/с функціональний інтерфейс між USB шиною та процесором. Він має параметри кінцевої точки, які можна налаштувати програмно, і підтримує USB функції suspend/resume призупинення/відновлення), які дозволяють зупинити тактування пристрою для зменшення енергоспоживання [38 - 40].

Основні функції та можливості, що підтримуються [41]:

- сумісність із специфікацією USB 2.0 full-speed;
- конфігурована кількість кінцевих точок від 1 до 8;
- генерація/перевірка CRC, кодування сигналу з використанням NRZI та
- підтримка ізохронних (isochronous) транзакцій;
- підтримка подвійної буферизації кінцевих точок bulk/isochronous;
- підтримка операцій USB Suspend/Resume;
- генерація імпульсів синхронізації за кадром (Frame locked clock pulse)

Для підтримання бездротового підключення Bluetooth скористаємося Bluetooth-модулем HC-05 (рис. 2.5), що дозволяє організувати двосторонній зв'язок за протоколом Bluetooth. Підключення модуля до мікрокроконтролера здійснюється з використанням послідовного асинхронного інтерфейсу, що з боку мікроконтролера підтримується універсальним асинхронним приймачем/передавачем UART. Модуль HC-05 може працювати як в режимі зважаючи на це його виходи сумісні з ТТЛ. Основні характеристики Bluetooth-модуля HC-05 представлені в табл. 2.4 [42].



Рисунок 2.5 - Зовнішній вигляд Bluetooth-модуля HC-05

Таблиця 2.4 - Характеристики Bluetooth-модуля HC-05

Параметр	Значення
Робоча напруга	+3,3 В або +5 В
Споживаний струм	50 мА
Основна частота	2,4 ГГц
Антена	Інтегрована
Потужність	≤ 4дБм, клас 2
Чутливість	≤ 84дБм, при 0,1%
Швидкість синхронної передачі даних	1 Мбіт/с
Швидкість асинхронної передачі даних	2,1 Мбіт/с
Захист	Авторизація та шифрування
Розміри (Д × Ш × В)	17 мм × 43 мм × 7,5 мм

Розроблюваний засіб є портативним. Тому живлення його здійснюється від акумуляторної батареї. Для отримання стабілізованої напруги живлення цифрових компонентів схеми скористаємося інтегральним стабілізатором напруги. Напруга живлення мікроконтролерного модуля STM32F103C8T6

складає +5 В. Напруга живлення індикаторного TFT-LCD модуля FRD14414B дорівнює +3,3 В. Решта компонентів допускає живлення як від 3,3 В, так і від +5 В. Мікроконтролерний модуль STM32F103C8T6 містить інтегральний стабілізатор напруги +3,3 В, яка доступна на кількох контактах модуля (рис. 3.3). Тому для живлення індикаторного модуля можна цим скористатися. Тому живлення засобу для визначення кольору будемо здійснювати від напруги +5 В, для отримання якої використаємо підвищувальний DC-DC перетворювач NCP1450ASN50T.

Серія мікросхем NCP1450A є підвищувальними DC-DC ШІМ-контролерами, що спеціально розроблені для живлення портативного обладнання від одно- або двохелементних батарейних блоків. Елементи NCP1450A мають послідовний вихід драйвера (EXT), до якого може бути підключений зовнішній силовий транзистор з низьким опором у відкритому стані для отримання більших вихідних струмів. Пристрій буде автоматично пропускати цикли переключень при малій навантаженні, щоб підтримувати більшу ефективність при невеликому навантаженні. Серія NCP1450A дозволяє просто реалізувати високоефективний перетворювач для додатків з великим вихідним струмом [43, 44].

Елементи серії NCP1450A складається з вбудованого генератора з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), ШІМ-контролера, підсилювача помилок з фазовою компенсацією, пристрою плавного запуску, джерела опорної напруги та драйвера для керування зовнішнім силовим транзистором. Крім того, підтримується функція вимикання для збільшення терміну служби акумулятора.

2.2 Засоби комунікації з зовнішніми пристроями

Для підключення розроблюваного засобу до планшету, ноутбуку або комп′ютеру передбачена можливість використання дротового з′єднання USB або бездротового Bluetooth. Інтерфейс USB (Universal Serial Bus) на сьогодні є одним з найбільш популярних дротових інтерфейсів, що широко використовується для

підключення різноманітних пристроїв до персонального комп′ютера.

На фізичному рівні підключення здійснюється з використанням 4-ох жильного кабелю: один провід живлення +5 В, два сигнальні дроти D+ та D-, та один загальний провід. Основними особливостями інтерфейсу USB, що сприяють його популяризації є: висока швидкість обміну даними (до 480 Мбіт/с), наявність лінії живлення серед інтерфейсних сигналів (5В, 500 мА), - підтримка функції автоматичного визначення зовнішнього пристрою під час підключення (plug-&-play), можливість підключення до шини під час увімкненого живлення (hot plug) [31].

Шина USB є хост-центровою. Серед усіх підключених до неї пристроїв є один головний - хост-контролер, що керує шиною. Будь-які сеанси обміну даними може починати тільки хост-контролер, інші пристрої очікують звернення від нього. Таким чином інтерфейс USB з'єднує між собою хост (host) та кінцеві пристрої. В інтерфейсі USB для кінцевих пристроїв використовується спеціальний термін "функція" - логічно закінчений пристрій, що виконує певну специфічну функцію.

Пристрій-функція або логічний пристрій є набором так званих кінцевих точок (endpoints). Кожна кінцева точка є частиною пристрою USB, що має власний унікальний ідентифікатор. Окрім номера, кожна кінцева характеризується ще й напрямком передачі даних. Будь-який USB пристрій обов’язково має двоспрямовану кінцеву точку з номером 0, яка є службовою та призначається для ініціалізації, конфігурування, настроювання та опитування стану пристрою. Пристрій може мати кілька кінцевих точок. Фізично, кінцеві точки є областями пам'яті USB пристрою, через які відбувається обмін даними з хост-контролером [32].

Дані передаються пакетами. В інтерфейсі USB використовується три типи пакетів:

- пакет-ознака (token packet), що описує тип і напрямок передачі даних, адресу пристрою і порядковий номер кінцевої точки;

- пакет з даними (data packet), що власне і забезпечує передачу даних;

- пакет узгодження (handshake packet), призначений для повідомлення про результати пересилання даних; пакети узгодження бувають кількох типів: ACK, NAK, STALL.

Таким чином, кожна транзакція складається з трьох фаз: фази передачі пакета-ознаки, фази передачі даних та фази узгодження [31].

Розроблюваний засіб при підключенні до USB шини буде використовуватися як логічний пристрій. На фізичному рівні підключення забезпечується USB-модулем. Логічний зв′язок буде здійснюватися програмним забезпеченням мікроконтролера.

Я бездротову альтернативу USB будемо використовувати технологію Bluetooth, яка на сьогодні є однією з найбільш поширених технологій бездротового зв′язку, що широко застосовується для забезпечення взаємодії між різними пристроями, у тому числі і периферійними пристроями комп′ютера. Бездротовий зв′язок Bluetooth здійснюється за допомогою радіохвиль ISM-діапазону (Industry, Science and Medicine), що використовується в різних побутових приладах та бездротових мережах і знаходиться в межах від 2,4 ГГц до 2,4835 ГГц. Це діапазон є вільним для використання, а тому технологія Bluetooth не підлягає ліцензуванню.

У специфікації Bluetooth передбачено три класи прийомо-передавачів, що відрізняються за потужністю, а значить, за ефективним радіусом дії: Class 1 до 100 мВт (до 100 метрів), Class 2 до 2,5 мВт (до 20 метрів) та Class 3 до 1 мВт (до 5 метрів). Найбільш поширеним варіантом, який застосовується в більшості мобільних електронних пристроїв та ПК є прийомо-передавачі Bluetooth Class 2 [33].

За допомогою інтерфейсу Bluetooth можна з'єднати як два, так і кілька пристроїв. У першому випадку підключення здійснюється за симетричною схемою з′єднання тип «точка-точка», у другому - за асиметричною типу «точка-багатоточка». Незалежно від схеми з'єднання один з пристроїв є головним

(master), інші - веденими (slave). Головний пристрій задає шаблон, який використовують усі керовані пристрої, а також синхронізує їх роботу. З'єднані таким чином пристрої утворюють пікомережу (piconet). В рамках однієї пікомережі можуть бути об'єднані один master та до семи slave.

Технологія Bluetooth передбачає два види зв'язку: синхронний - SCO (Synchronous Connection Oriented) та асинхронний - ACL (Asynchronous Connectionless). Перший розрахований на встановлення симетричного з'єднання і використається в основному для передачі мовних повідомлень. Швидкість передачі SCO складає 64 Кбіт/с. Другий ACL, призначений для пакетної передачі даних. Він підтримує симетричні та асиметричні з'єднання. При симетричному з'єднанні швидкість передачі інформації складає 432,6 Кбіт/с в обох напрямках, при асиметричному - 721 Кбіт/с в одному напрямку та 57,6 Кбіт/с в іншому [34]. Можливості взаємодії пристроїв при підключенні за інтерфейсом Bluetooth багато в чому визначаються набором профілів, який підтримує кожен із них. Той чи інший профіль забезпечує підтримку певних функцій, наприклад, передачу файлів або потоку медіаданих, забезпечення мережного з'єднання тощо. Профілі гарантують можливість обміну інформацією між пристроями різних виробників [33], [34].

Однією з основних переваг технології Bluetooth є її високий рівень стандартизації та дуже широке поширення, що обумовило наявність готових технічних рішень для її застосування для різних цілей. Це дозволяє суттєво скоротити часові та фінансові витрати на розробку.

Підключення до бездротового радіоканалу у розроблюваному засобі буде забезпечуватися модулем Bluetooth. Основним завданням модуля є встановлення з′єднання та організація фізичного зв′язку для обміну даними, шляхом перетворення цифрових даних в аналоговий радіосигнал при передачі, і зворотне перетворенні при прийомі. Підключення буде здійснюватися за симетричною схемою типу «точка-точка», а робота засобу буде відбуватися у режимі slave.

2.3 Розробка структурної схеми мікропроцесорного засобу

У теперішній час домінуюча роль у реалізації різноманітних засобів належить цифровим технологіям. Основними перевагами цифрових засобів перед аналоговими є гнучкість, яка проявляється у простоті перебудови алгоритму роботи, висока завадостійкість, стабільність та передбачуваність роботи, відносна простота проектування. Головним чином ці переваги пов′язані з використанням елементів мікропроцесорної техніки: мікропроцесорів та різноманітних мікроконтролерів. Відповідно до цього розроблюваний засіб будемо реалізовувати як цифровий мікропроцесорний пристрій, а тому функції блоку управління буде виконувати мікроконтролер.

Відповідно до вимог до засобу для визначення кольору, крім розрахунку координат кольору поверхні він повинен підтримувати можливість організації взаємодії із засобами комп′ютерної техніки з використанням інтерфейсів USB та Bluethooth. Таким чином приходимо до структурної схеми мікропроцесорного засобу для визначення кольору. Пристрій складається з:

- мікроконтролера;
- блоку світлодіодів;
- фотоприймача;
- аналого-цифрового перетворювача;
- індикатора;
- блоку керування;
- модуля BlueTooth;
- модуля USB;
- блоку живлення.

Мікроконтролер є головним елементом, що забезпечує виконання усіх функцій пристрою. Мікроконтролер керує блоком світлодіодів, обробляє сигнал з фотоприймача, визначає координати кольору відповідно до колірних моделей XYZ та RGB, забезпечує взаємодію зі зовнішніми пристроями, такими як, наприклад комп′ютер, смартфон або планшет.

Керування блоком світлодіодів полягає у забезпеченні послідовного освітлення поверхні світловими потоками, що відповідають кривим додавання $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$. Як було зазначено у підрозділі 2.2 спектральний склад світлових потоків $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$ можна відтворити за допомогою п′яти світлодіодів. Проте для отримання повної відповідності світлових потоків кривим додавання необхідно забезпечити різний режим інтенсивності світіння окремих світлодіодів.

Світловий потік, що випромінюється світлодіодом, визначається значенням прямого струму, що протікає крізь нього, який, у свою чергу, експоненціально залежить від прикладеної напруги. При цьому при незначних струмах залежність між світловіддачею світлодіода та його прямим струмом є майже лінійною. При наближенні струму до максимально допустимого, температура кристалу світлодіода підвищується, а світловіддача зменшується. Тому ефективне керування світловим потоком світлодіода можна досягти лише в лінійній області його випромінювальної характеристики [29], [30].

Забезпечити потрібні режими світіння світлодіодів можна кількома способами. Найпростішим варіантом є формування різних значень прямих струмів для різних світлодіодів за допомогою резисторів. Проте такий спосіб не дозволить корегувати світлові потоки під час експлуатації засобу. Тому найбільш ефективним підходом буде управління режимами світіння світлодіодів з боку мікроконтролера, тобто мікроконтролер повинен не лише вмикати світлодіоди у певній послідовності, а й забезпечувати при цьому потрібне значення світлового потоку.

Основними способами управління світловим потоком світлодіодів є аналоговий та широтно-імпульсна модуляція. Аналоговий спосіб, який є найбільш простим, полягає в управлінні струмом, що протікає через світлодіод, за рахунок зміни прикладеної до нього напруги. При ручному регулюванні це реалізується за допомогою змінного резистора: при зміні опору резистора відбувається перерозподіл напруги живлення між напругою на світлодіоді та

напругою на резисторі.

При реалізації управління за допомогою мікроконтролера аналоговий спосіб є не ефективним, оскільки вимагає використання елементів, які забезпечать зміну напруги у колі керування під впливом вхідного сигналу управління. При мікроконтролерному керуванні потрібне значення напруги задається цифровим кодом. Тому у коло керування потрібно додавати цифро-аналоговий перетворювач. Оскільки у розроблюваному засобі будуть використовуватися п′ять світлодіодів, то для реалізації аналогового керування потрібно буде використати або п′ять цифро-аналогових перетворювачів, або один перетворювач та п′ятиканальний аналоговий мультиплексор.

При керуванні світловим потоком світлодіода за допомогою широтно-імпульсної модуляції світіння світлодіода збуджується імпульсним сигналом. У цьому випадку світлодіод періодично вмикається та гасне. При цьому напруга протягом усього часу світіння залишається постійною, а її усереднене за період значення визначається площею імпульсів. Як правило частота імпульсного сигналу є постійною, а тому управління світловим потоком при широтно-імпульсній модуляції досягається за рахунок скважності імпульсів (рис. 2.1).

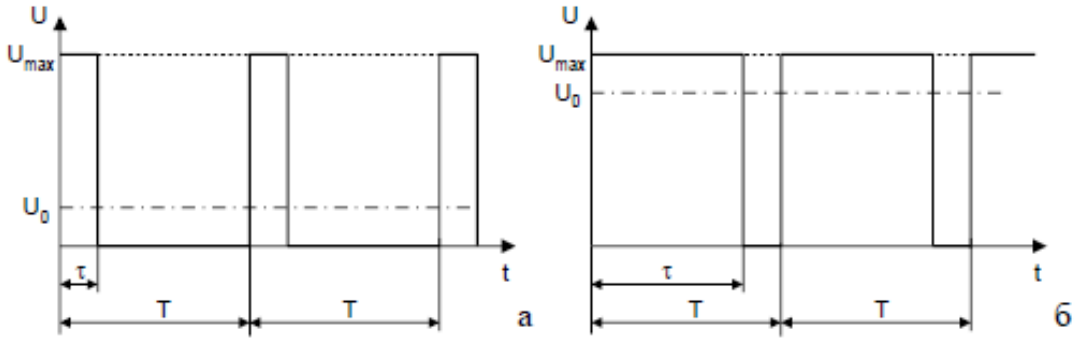


Рисунок 2.1 – Залежність середньої напруги від скважності імпульсів:

а - середня напруга U0 складає 20% від максимальної Umax;

б - середня напруга U0 складає 80% від максимальної Umax.

Середня напруга U_0 - це середнє значення напруги за період, при якому площа прямокутника, що обмежується цією напругою та періодом, дорівнює площі імпульсу.

Світлові потоки $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$, що формуються блоком світлодіодів, після відбивання від поверхні потрапляють на фотоприймач. За допомогою фотоприймача світлове випромінювання перетворюється в електричний сигнал. Оскільки область спектральної чутливості фотоприймача є широкою, його вихідний сигнал буде пропорційний сумі усіх спектральних складових, що містяться у вхідному світловому потоці. Таким чином, на виході фотоприймача будуть формуватися сигнали пропорційні координатам кольору x', y' та z'.

Основним елементом фотоприймача є елемент, який перетворює світлове випромінювання в електричний сигнал: фоторезистор, фотодіод або фототранзистор. Робота фоторезистора заснована на явищі фотопровідності, яке полягає у зменшенні опору під впливом оптичного випромінювання. Основними перевагами фоторезисторів є лінійність вольт-амперної характеристики, різноманітність номіналів опорів та малу вартість. Головні недоліки пов′язані з доволі значною інерційністю, температурною та часовою нестабільністю їх характеристик [30].

Фотодіод, на відміну від фоторезистора, який є напівпровідниковим елементом одного типу провідності, є напівпровідниковим приладом з p-n-переходом. При потраплянні світлового потоку на фотодіод, у ньому виникає електричний струм, який за своїм напрямом співпадає зі зворотним струмом p-n-переходу. Таким чином при освітленні фотодіода, до якого прикладена зворотна напурга, збільшується його зворотний струм. Поряд із цим, при вмиканні фотодіода у пасивне електричне коло (без джерела напруги) на ньому генерується фото-ЕРС, яка створює електричний струм у колі. За порівнянням з фоторезисторами фотодіоди мають більшу чутливість та швидкодію, кращу стабільність характеристик [30].

Фототранзистор є фоточутливим напівпровідниковим приладом, що має структуру звичайного транзистора, а тому забезпечує внутрішнє підсилення сигналу, що є їх головною перевагою. Проте фототранзистори поступаються фотодіодам за температурною стабільністю характеристик [30].

Враховуючи, що фотодіоди за порівнянням з фоторезисторами та фототранзисторами мають більше переваг, у розроблюваному засобі для перетворення світлових потоків, що відбиваються від поверхні, в електричний сигнал будемо використовувати фотодіод.

У результаті фотоелектричного перетворення на виході фотоприймача формується аналоговий електричний сигнал, пропорційний інтенсивності світлового потоку, що потрапляє на нього. Оскільки мікроконтролер є цифровим обчислювальним засобом, для обробки вихідного сигналу фотоприймача мікроконтролером необхідно здійснити цифро-аналогове перетворення. Для виконання останнього до схеми засобу доданий цифро-аналоговий перетворювач (АЦП). За допомогою АЦП будуть отримуватися цифрові значення, пропорційні колірним координатам x', y', z'.

Результати визначення кольору будуть відображатися на індикаторі. Приймемо, що у розроблюваному засобі будуть відображатися лише значення колірних координат x', y', z' та r', g', b', а більш складана обробка та візуалізація отримуваних даних, яка може включати і візуалізацію визначеного кольору, буде відбуватися на зовнішньому пристрої з повнокольоровим графічним дисплеєм, наприклад, планшеті, ноутбуці або комп′ютері. Відповідно до цього у самому засобі можна використати простий індикаторний прилад, що дозволить спростити розроблюваний засіб та зменшити його вартість.

Поряд з відображенням значень визначених колірних координат індикатор разом з блоком керування утворює інтерфейс користувача. З точки зору управління розроблюваний засіб є доволі простим пристроєм. Основними режимами його роботи є: режим визначення кольору, режим передачі результатів на зовнішній пристрій та режим калібрування. Тому він не вимагає складного меню, а вибір режиму можна здійснити за допомогою кнопок. Відповідно до цього блок керування буде утворений двома кнопками: кнопкою «Select» та кнопкою «OK». Кнопка «Select» буде використовуватися для переміщення по пунктам меню. За допомогою кнопки «OK» буде здійснюватися підтвердження

вибраного пункту. Крім того, кнопка «OK» буде використовуватися для вмикання та вимикання пристрою, наприклад, за її довгим натисканням.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАСОБУ

3.1. Розподіл ресурсів мікропроцесора

Основу засобу складає модуль STM32F103C8T6 DD3, головним елементом якого є однойменний 32-ох бітний ARM мікроконтролер STM32F103C8T6. Модуль забезпечує виконання усіх функцій засобу: послідовне формування трьох світлових потоків, що відповідають кривим додавання $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$ колірної моделі XYZ, визначення інтенсивності цих потоків після відбивання від поверхні, розрахунок координат кольоровості x', y', z' та r', g', b', передавання їх значень на зовнішній пристрій, наприклад, комп′ютер, через USB або Bluetooth. Формування світлових потоків $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$ забезпечується за допомогою світлодіодів VD2…VD6. Керування світлодіодами здійснюється сигналами ШІМ, що формуються на виходах PA3, PA6, PA7, PB0 та PB1 мікроконтролера, які використовуються у режимі вихідних каналів таймерів. Сигнали ШІМ будуть отримуватися за допомогою таймерів загального призначення TIM2 та TIM3. Усі таймери загального призначення мікроконтролера STM32F103C8T6 мають чотири незалежні канали. Для керування світлодіодом VD2 використовується канал 4 таймера TIM2, для керування світлодіодами VD3, VD4, VD5 та VD6 □ канали 1, 2, 3 та 4 таймера TIM3, відповідно.

Керування світлодіодами відбувається за допомогою транзисторних ключів на біполярних транзисторах VT1…VT5. Коли ШІМ сигнал на виході мікроконтролера змінює своє значення з логічного нуля на логічну одиницю, підключений до цього виходу транзистор відкривається. Через світлодіод починає текти електричний струм, у результаті чого світлодіод перемикається в режим світіння. При зміні значення ШІМ сигналу з логічної одиниці на логічний нуль, транзистор закривається, і формування світлового імпульсу завершується.

Світловий потік після відбивання від поверхні потрапляє на фотодіод VD1, який разом з операційним підсилювачем DA1 утворює фотоприймальний блок.

Зворотній струм світлодіода пропорційний інтенсивності світлового потоку, що падає на нього. За допомогою операційного підсилювача DA1 фотострум перетворюється в напругу:

Підстроювальний резистор R2 компенсує дрейф нуля операційного підсилювача. Вихід операційного підсилювача підключений до входу PA0 мікроконтролера, який може використовуватися як вхід його аналого-цифрового перетворювача ADC0. За допомогою ADC0 напруга на виході операційного підсилювача $U_ф$ перетворюється у цифровий код.

Сигнали ШІМ подаються на світлодіоди почергово, що забезпечує роздільне послідовне формування світлових потоків $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$. Відповідно до цього за результатами аналого-цифрового перетворення будуть роздільно отримуватися координати кольору X, Y, та Z, які потім перераховуються у координати кольоровості x', y', z' та r', g', b', відповідно.

Керування засобом з боку користувача забезпечується двома сенсорними кнопками Sens1,Sens2 та рідкокристалічним індикаторним модулем HG1. Крім того, індикатор використовується для відображення результатів визначення кольору. Взаємодія мікроконтролера з сенсорними кнопками підтримується за допомогою спеціалізованих детекторів DD1 та DD2, виходи яких підключені до входів PA9 та PA10 мікроконтролера. При піднесенні пальця до контактної площадки сенсора на виході детектора формується сигнал високого логічного рівня.

Відображення даних на рідкокристалічному кольоровому TFT індикаторі забезпечується вбудованим в індикаторний модуль HG1 контролером, взаємодія з яким відбувається за допомогою виходів PB12, PB13, PB15 та PA8 мікроконтролера DD3. Передавання даних від мікроконтролера о контролера індикатора здійснюється через послідовний синхронний інтерфейс, що утворений двома лініями: лінією даних MOSI2 та лінією синхронізації SCK2, які є виходами будованого у мікроконтролер послідовного синхронного передавача SPI2. Виходи MOSI2 та SCK2 модуля SPI2 внутрішньо під′єднані до виходів

PB15 та PB13 мікроконтролера. Високий рівень сигналу на виході PB12, що під′єднаний до входу A індикаторного модуля, супроводжує передавання команди в контролер індикатора. Сигнал низького логічного рівня на вході A формується під час передавання даних, що визначають стан пікселів. Сигнал на лінії PA8 є сигналом скидання.

USB підключення забезпечується вбудованим у мікроконтролер USB-контролером, лінії даних D- та D+ якого підключені до виходів PA11 та PA12 мікроконтролера DD3. Фізичне з′єднання здійснюється через роз′єм X2.

Бездротове з′єднання Bluetooth реалізується за допомогою Bluetooth модуля DA3, підключення якого до мікроконтролера здійснюється через послідовний асинхронний інтерфейс. Обмін даними між мікроконтролером модулем DD3 та модулем DA3 з боку мікроконтролера забезпечується наявним у ньому асинхронним приймачем/передавачем UART1 через лінії послідовних даних Tx1 та Rx1.

Живлення засобу відбувається від акумуляторної батареї, що підключається через роз′єм X1. За допомогою DC-DC перетворювача DA2 напруга акумулятора перетворюється в напругу +5 В, необхідну для живлення цифрових компонентів електричної схеми.

3.2 Розробка програмного забезпечення мікроконтролера

В процесі функціонування мікроконтролер повинен забезпечити взаємодію з користувачем, яка здійснюється шляхом відображення меню на індикаторі та аналізу стану ліній від двох сенсорних кнопок, та визначення параметрів кольору, яке відбувається за рахунок формування сигналів, що послідовно переводять світлодіоди в режим світіння, та виконання аналого-цифрового сигналу з виходу фотоприймального пристрою з подальшим обрахунком колірних ординат.

Розроблена блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера представлена у додатку Г. Першим кроком виконання програми є ініціалізація ресурсів

мікроконтролера, індикатора та комунікаційних модулів. Ініціалізацію портів введеня виведення та модуля тактування самого мікроконтролера здійснюється у головному модулі програми. Ініціалізацію індикатора, аналого-цифрового перетворювача, модуля USB та послідовного приймача/передавача USART1, з використанням якого організовується обмін даними з Bluetooth-модуля здійснюється в інших відповідних програмних модулях.

Після ініціалізації мікроконтролер, в залежності від дій користувача переходить або в режим визначення колірних координат, або в режим передачі результатів через Bluetooth . В режим передачі даних через USB мікроконтролер переходить автоматично при здійсненні фізичного підключення.

В режимі визначення параметрів кольору мікроконтролер забезпечує послідовне формування світлових потоків з подальшим аналого-цифровим перетворюванням сигналів.

Фрагмент лістингу програмного забезпечення мікроконтролера на мові програмування C++ (фрагмент, який відповідає за ініціаліізацію портів введення-виведення), наведений нижче:

```
void MCU_Init(void)
{
//Робимо налаштування системи тактування мікроконтролера
RCC->CR |= (1<RCC_CR_HSEON_Pos); //Запускаємо генератор HSE
//Налаштовуємо PLL. PLL множник дорівнює 9
RCC-> CFGR | = (0x07 << RCC_CFGR_PLLMULL_Pos) | // (0x01
<<RCC_CFGR_PLLSRC_Pos);
//Тактування PLL від HSE
RCC->CR |= (1<RCC_CR_PLLON_Pos); //Запускаємо PLL
//Встановлюємо 2 цикли очікування для Flash
//оскільки частота ядра 48 MHz < SYSCLK <= 72 MHz
FLASH->ACR |= (0x02<<FLASH_ACR_LATENCY_Pos);
//Задаємо дільники
```

```
//Дільник шини APB2 відключений (залишаємо 0 за замовчуванням)
//Дільник шини APB1 дорівнює 2
//Дільник AHB вимкнений (залишаємо 0 за замовчуванням)
RCC->CFGR |= (0x00<<RCC_CFGR_PPRE2_Pos)
| (0x04 <<RCC_CFGR_PPRE1_Pos)
| (0x00 <<RCC_CFGR_HPRE_Pos);
RCC-> CFGR | = (0x02 << RCC_CFGR_SW_Pos); //Перемикаємося на роботу від PLL
//Після переходу на зовнішнє джерело такування відключаємо внутрішній RC-генератор
RCC->CR &= ~(1<<RCC_CR_HSION_Pos);}
//Робимо налаштування портів введенн/виведення
//Вмикаємо тактування порту A
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN;
//Налаштовуємо виводи порта A
//PA0 як аналоговий вхід
GPIOA->CRL &= ~GPIO_CRL_CNF0
//PA9 та PA10 як логічні входи з подтягуванням до +
GPIOA->CRL &= ~(GPIO_CRL_CNF9 | GPIO_CRL_CNF10);
GPIOA->CRL |= (GPIO_CRL_CNF9_1 | GPIO_CRL_CNF10_1);
GPIOA->ODR |= (GPIO_ODR_ODR9 | GPIO_ODR_ODR9);
//PA3, PA6, PA7 та PA8 як логічні виходи
GPIOA->CRL &= ~(GPIO_CRL_CNF3 | GPIO_CRL_CNF6 | GPIO_CRL_CNF7 | GPIO_CRL_CNF6);
GPIOA->CRL |= (GPIO_CRL_ MODE3_0 | GPIO_CRL_ MODE6_0 | GPIO_CRL_ MODE7_0 | GPIO_CRL_MODE6_0);
//Вмикаємо тактування порту B
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPBEN;
//Налаштовуємо виводи порта B
```

```
//PB0, PB1, PB12, PB13 та PB15 як логічні виходи
GPIOB->CRL &= ~(GPIO_CRL_CNF0 | GPIO_CRL_CNF1 | GPIO_CRL_CNF12 |
GPIO_CRL_CNF13 | GPIO_CRL_CNF15);
GPIOB->CRL |= (GPIO_CRL_ MODE0_0 | GPIO_CRL_ MODE1_0 | GPIO_CRL_
MODE12_0 | GPIO_CRL_MODE13_0 | GPIO_CRL_MODE15_0);
```

3.3 Розробка програмного забезпечення комунікаційної частини

Комунікаційна частина розробленого пристрою складається з модулів, які відповідають за обмін даними через порт USB та через Bluetooth. Фрагмент лістингу розробленого модуля USB.c, на мові програмування C++, який відповідає за взаємодію з портом USB, наведено нижче:

```
void USB_Init(void)
{
//включаємо тактування порту та альтернативних функцій
RCC -> APB2ENR | = RCC_APB2ENR_IOPAEN | RCC_APB2ENR_AFIOEN;
//налаштовуємо порти
GPIOA->CRH &= ~GPIO_CRH_CNF11;
GPIOA->CRH | = GPIO_CRH_CNF11_1;
GPIOA->CRH | = GPIO_CRH_MODE11;
GPIOA->CRH &= ~GPIO_CRH_CNF12;
GPIOA->CRH | = GPIO_CRH_CNF12_1;
GPIOA->CRH | = GPIO_CRH_MODE12;
//Вимикаємо дільник usb
RCC->CFGR &= ~RCC_CFGR_USBPRE;
//включаємо тактування usb
RCC -> APB1ENR | = RCC_APB1ENR_USBEN;
//виходимо з power down
USB->CNTR &=~ USB_CNTR_PDWN;
//невелика затримка
```

```
uint32_t temp;
for (temp = 30000; temp! = 0; temp--);
//Скидаємо біт, що скидає usb
USB->CNTR &=~ USB_CNTR_FRES;
//дозволяємо переривання по RESET та CTRM
//(correct transfer interrupt mask)
USB -> CNTR | = USB_CNTR_RESETM | USB_CNTR_CTRM;
//очищаємо прапори переривання
USB -> ISTR = 0;
//Таблиця кінцевих точок починається з адреси 0x40006000
USB -> BTABLE = 0;
//Підтягуємо вивід D+ до живленні
USB_PULL_UP;
//дозволяємо переривання прийому даних
NVIC_EnableIRQ(USB_LP_CAN1_RX0_IRQn);
}
```

Фрагмент лістингу розробленого модуля USART1.c, на мові програмування C++, який відповідає за взаємодію з модулем Bluetooth, наведено нижче:

```
void USART1_Init(void)
{
USART_InitTypeDef USART_InitStructure;
RCC->APB2ENR | = RCC_APB2ENR_USART1EN; // Включаємо тактування
UART1
RCC->APB2ENR | = RCC_APB2ENR_IOPBEN; // дозволяємо тактування порту
GPIOB
// Налаштування TX1 та RX1 на режим альтернативної функції
GPIO_PinAFConfig(GPIOB, GPIO_PinSource5, GPIO_AF_USART1); //PB6 to TX
USART1
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOB, GPIO_PinSource6, GPIO_AF_USART1); //PB7 to RX
USART1
//Заповнюємо поля структури
// PB6 -> TX UART.
GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_6;
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_40MHz;
GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure); //ініціалізуємо
/PB7 -> RX UART.
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_NOPULL;
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_7;
GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);// ініціалізуємо
//Дозволяємо тактування
RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_USART2, ENABLE);
/*Робимо налаштування:
- BaudRate = 9600 baud
- Word Length = 8 Bits
- One Stop Bit
- No parity
- Hardware flow control disabled (RTS and CTS signals)
- Receive and transmit enabled
*/
USART_InitStructure.USART_BaudRate = 9600;// швидкість
USART_InitStructure.USART_WordLength = USART_WordLength_8b; //8 біт
даних
USART_InitStructure.USART_StopBits = USART_StopBits_1; //один стоп біт
```

```
USART_InitStructure.USART_Parity = USART_Parity_No; //парність - ні
USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl =
USART_HardwareFlowControl_None; // Управління потоком - ні
USART_InitStructure.USART_Mode = USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx; //
дозволяємо прийом та передачу
USART_Init(USART2, &USART_InitStructure); //ініціалізуємо
//Робимо налаштування переривань
NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
//Configure the Priority Group до 2 бітів
NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_2); //Конфігуруємо кількість
груп і підгруп переривань (у нас одне переривання)
//Дозволяємо переривання USARTx Interrupt
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = USART1_IRQn; //переривання по uart1
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0; // задаємо
пріоритет у групі
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 0; // задаємо пріоритет у
підгрупі
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE; //дозволяємо
переривання
NVIC_Init(&NVIC_InitStructure); //ініціалізуємо
//Дозволяємо переривання по прийому та передачі
USART_ITConfig(USART1, USART_IT_RXNE, ENABLE);
USART_ITConfig(USART1, USART_IT_TXE, ENABLE);
//Дозволяємо використовувати USART1
USART_Cmd(USART1, ENABLE);
}
```

ВИСНОВОК

В процесі виконання кваліфікаційної роботи магістра розроблено мікропроцесорний засіб для визначення кольору об’єктів. Актуальність теми проведеного дослідження зумовлена тим, що задачі кількісного визначення параметрів кольору набувають сьогодні широкого практичного значення. Серед різних методів оцінювання кольору найбільш простим для реалізації є колориметричний метод. Найбільш однозначною моделлю представлення кольору є апаратно-незалежна модель X-Y-Z, яка дозволяє легко перейти до опису кольору в інших моделях. Технічна реалізація колориметричного методу визначення параметрів кольору вимагає використання світлофільтрів зі складною спектральною характеристикою оптичного пропускання. Це, разом з необхідністю використання джерела білого світла з рівномірним спектром випромінювання у всьому видимому діапазоні, веде до збільшення вартості технічного засобу. Спрощення засобу для визначення параметрів кольору за колориметричним методом можна досягнути за рахунок використання світлодіодних джерел випромінювання зі спектральними характеристиками, що відповідають кривим додавання колірної моделі X-Y-Z.

Запропонований метод та портативний засіб, що його реалізує, може бути використаний для визначення та контролю колірних характеристик не випромінювальних поверхонь у різних сферах.

В процесі виконання кваліфікаційної роботи магістра проведено аналіз сучасних методів автоматичного визначення кольору та аналіз сучасних мікропроцесорних засобів для визначення кольору, обгрунтувано вибір мікропроцесора, засобів розробки, засобів комунікації з зовнішніми пристроями. Розроблено архітектуру мікропроцесорного засобу, розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера, під управлінням якого він працює.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що дістав подальшого розвитку колориметричний метод визначення колірних координат, в якому, на відміну від класичного, для освітлення поверхні використовується не

біле світло, а світлові потоки, які відповідають кривим додавання, що дозволило не використовувати світлофільтри. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані підходи до визначення колірних координат дозволяють спростити та здешевити технічну реалізацію засобу для визначення кольору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи теорії кольору. Навчально-методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня бакалавра спеціальності 186 “Видавництво та поліграфія” усіх форм навчання [Електронний ресурс]/ [упоряд. Т.І. Веретільник, Л.Д. Мисник, Капітан Р.Б., Мамонов Ю.П., Манзюра О.В.] ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2020, 130 с.

2. Гавриляк М.С. Теорія кольору і кольороутворення / автор.: М.С. Гавриляк Чернівці: Чернівец. нац. ун-тет, 2022, с. 263.

3. Аналіз кольору. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.laboratuvar.com/uk/gida-analizleri/fiziksel-analizler/renk-analizi.

4. Спектральні вимірювання кольору предметів та інструментальне визначення різниці кольору. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://colorantlab.com/spot.html.

5. Комп’ютерне кольороутворення. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.koloristika.in.ua/t_kk.php

6. Як ми визначаємо точність кольорів? [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.benq.eu/uk-ua/knowledge-center/knowledge/define-accurate-color.html

7. Колірна модель. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://printservice.pro/model-lab

8. Колірна модель CMY. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://ni.biz.ua/4/4_11/4_119777_tsvetovaya-model-CMY.html

9. Контрольно-вимірювальні прилади комп’ютерно-видавничих систем. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://proizvodim.com/kontrolno-vimiryuvalni-priladi.html

10. Денситометрія. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.az-print.com/FAQ/Heidelberg/HD003.shtml

11. Спектрофотометр або колориметр. Що краще? [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://thermolab.net.ua/ua/a271490-spektrofotometr-ili-kolorimetr.html

12. Прорив у цифровому кольоропідборі. Новий спектрофотометр Genius iQ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://standox.com.ua/blog/proriv-v-cifrovomu-koloropidbori-novij-spektrofotometr-genius-iq

13. Серія спектрофотометрів MA 9x. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://tecsa.com.ua/uk/laboratorne-obladnannya/kontrol-koloru-ta-blysku/kontrol-koloru/bagatokutovyj-spektrofotometr-ma-9h/

14. Колориметр 3nh technology NH-310. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://chemtest.com.ua/ua/kolorimetr_3nh_technology_nh__310

15. Коротко про теорію кольору. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.colorantlab.com/theory.html

16. Капустинська Т. Ф. Світлодіоди, їх види та застосування / Т. Ф. Капустинська, С. І. Лапта // Наумовські читання : матеріали XIV студентської наук.-метод. конф., м. Харків, 24–25 листоп. 2016 р. / Харк. нац. пед. ун-т ім. Г. С. Сковороди, Фізико-мат. ф-т ; відп. за вип. Колгатін О. Г. - Харків : ХНПУ, 2017,С. 78 - 79.

17. Бєляєв О. Є. Чарівні подорожі в блакитне світло /О. Є Бєляєв, В. О. Кочелап // Вісн. НАН України, 2015, № 2, С. 37 - 43.

18. Power LED ROYAL BLUE 1W EPISTAR 440-450nm. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://allegro.pl/oferta/dioda-power-led-royal-blue-1w-epistar-440-450nm-6214168208

19. NCSAE17AT. Specifications for amber LED [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.nichia.co.jp/specification/products/led_spec/NCSAE17ATE(5290).pdf

20. Power LED 1W 45mil GREEN EPISTAR 570nm. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://allegro.pl/oferta/dioda-power-led-1w-45mil-green-epistar-570nm-7298841917.

21. Power LED EPILEDS EP-U4545K-A3_UV_395_405. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://allegro.pl/oferta/dioda-power-led-1w-uv-410-nm-pcb-10755361230.

22. Power LED EPISTAR 1W GREEN 35Mil 520-525 nm. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://allegro.pl/oferta/power-led-epistar-1w-green-35mil-520-525-nm-9980170822

23. Кожем'яко В.П., Павлов С.В., Тарновський М.Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. - 189 с.

24. Інтерфейс USB. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://allegro.pl/oferta/power-led-epistar-1w-green-35mil-520-525-nm-9980170822

25. Г. Г. Бортник, В. М. Кичак, О. В. Стальченко Засоби оргтехніки. Шина USB. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/9bortnyk_zasoby_orgtehniky/44.html

26. Bluetooth: технологія і її використання. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.ixbt.com/mobile/review/bluetooth-2.shtml

27. Все що потрібно знати про технології Bluetooth. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://motorvision.com.ua/vse-shho-potribno-znaty-pro-tehnologiyi-bluetooth/

28. Сімейство мікроконтролерів STM32. Особливості та характеристики. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.fpga.keoa.kpi.ua/other/%D1%81%D1%96%D0%BC%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE-%D0%BC%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B2-stm32-%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B8.html

29. STM32F103C8 плата розробки Bluepill. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uamper.com/STM32F103C8-development-board.

30. BC817 45 V, 500 mA NPN general-purpose transistors. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/BC817_SER.pdf

31. Silicon PIN Photodiode VEMD5510C. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet pdf/view/1013580/VISHAY/VEMD5510C.html

32. Precision Micropower, Low Noise CMOS, Rail-to-Rail Input/Output Operational Amplifiers AD8603/AD8607/AD8609. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8603_8607_8609.pdf

33. STM32F103x8, STM32F103xB. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf

34. 1.44 TFT Barescreen. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/1.44TFTBarescreen.pdf

35. TTP223-BA6, TTP223N-BA6 Key touch pad detector IC. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/TTP223-BA6_C80757.pdf

36. NCP1450A. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/174977/ONSEMI/NCP1450ASN50T1G.html

37. Java: A Beginner's Guide, Eighth Edition / Herbert Schildt – 2018

38. The C++ programming language \ Bjarne Stroustrup – 2013

39. Getting started with WebStorm [Електронний ресурс] : echo / Режим доступу: https://www.jetbrains.com/help/webstorm/getting-started-withwebstorm.html

40. Visual Studio Code Tips and Tricks [Електронний ресурс]. – Режим доступу: до ресурсу: https://code.visualstudio.com/docs/getstarted/tips-and-tricks

41. How to Use Sublime Text: A Quick Overview [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://kinsta.com/blog/how-to-use-sublime-text/

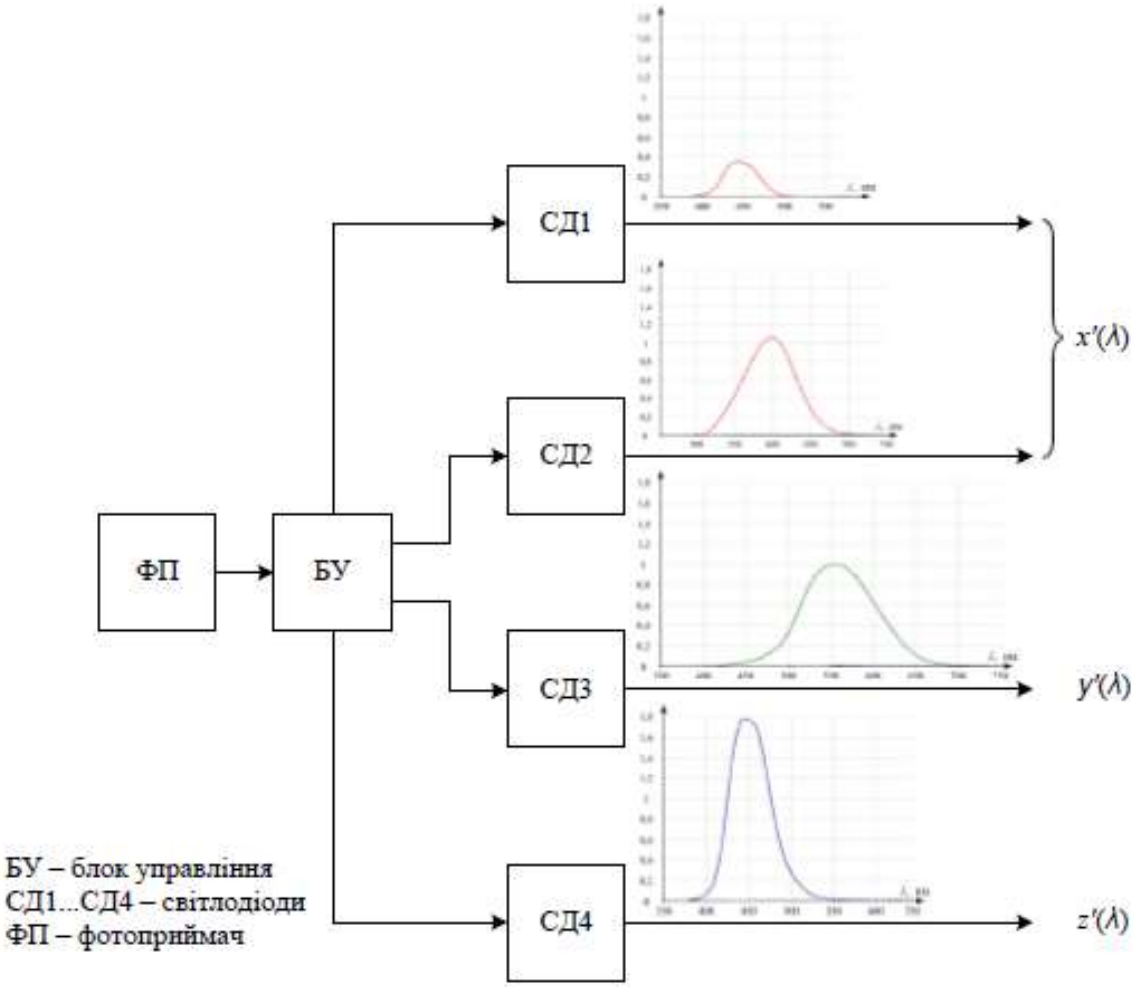
42. Java is a powerful general-purpose programming language. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.programiz.com/javaprogramming

43. «CPU vs. GPU Rendering: Which Should You Choose and Why?». IncrediBuild. https://www.incredibuild.com/blog/cpu-vs-gpu-rendering-whichshould-you-choose-and-why

44. «CPU vs. GPU Renderer: Which is Better?» AcademyOfAnimatedArt. https://academyofanimatedart.com/cpu-vs-gpu-renderer-which-isbetter/#:~:text=Modern%20GPUs%20offer%20superior%20processing,times%20faster%20than%20CPU%20rendering

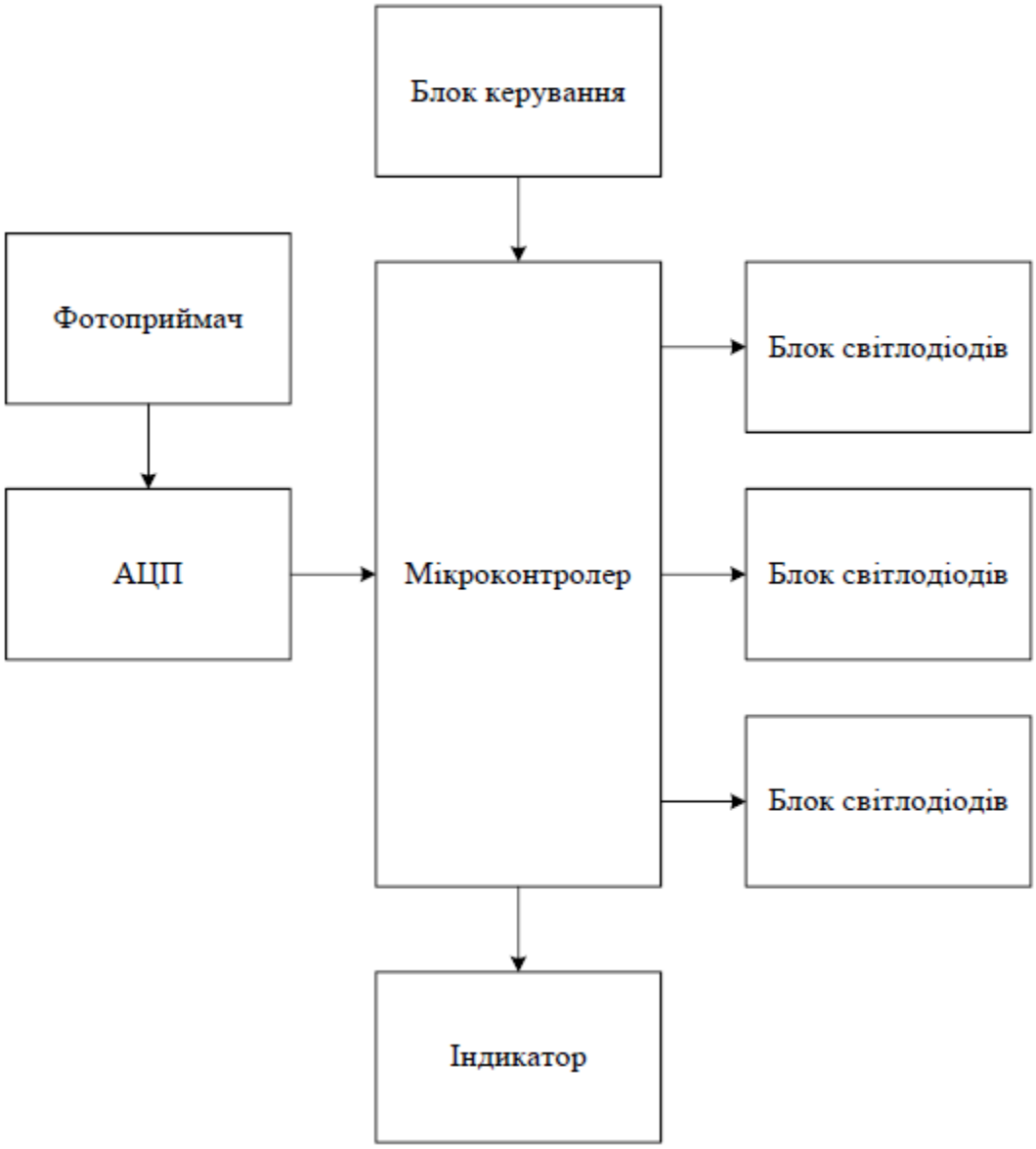
ДОДАТОК А

Схема реалізації вдосконаленого колориметричного методу



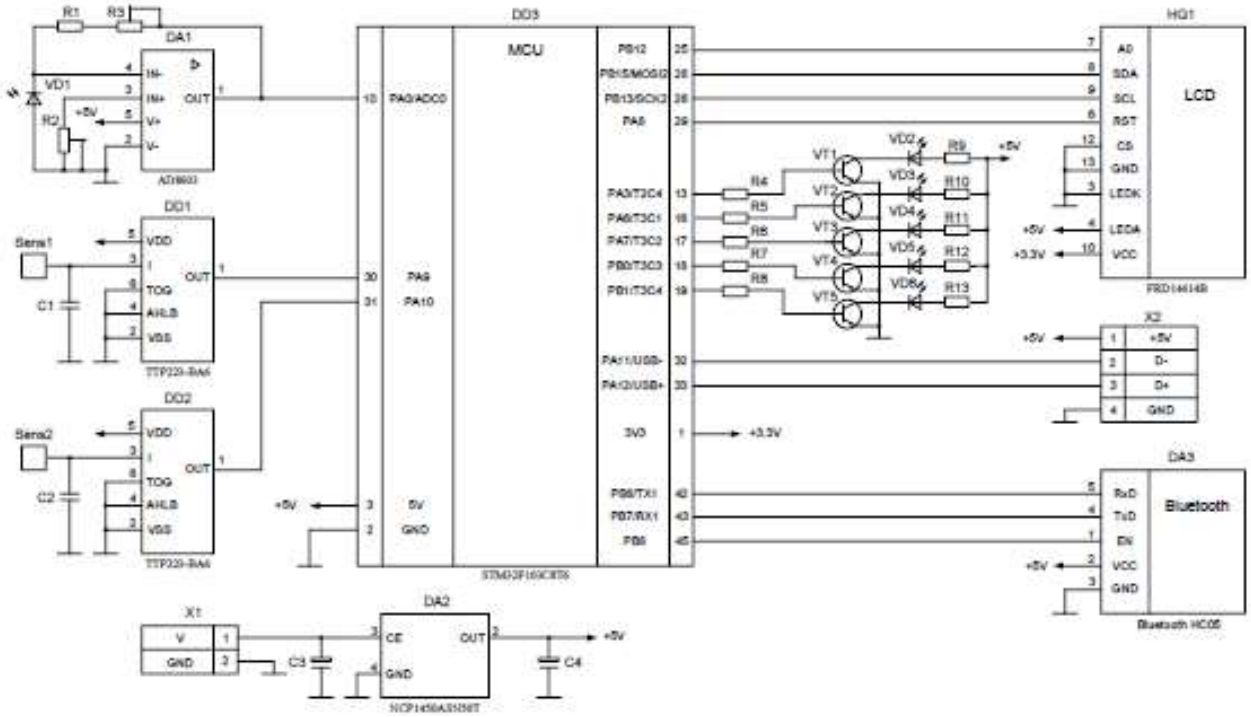
ДОДАТОК Б

Структурна схема мікропроцесорного засобу визначення кольору



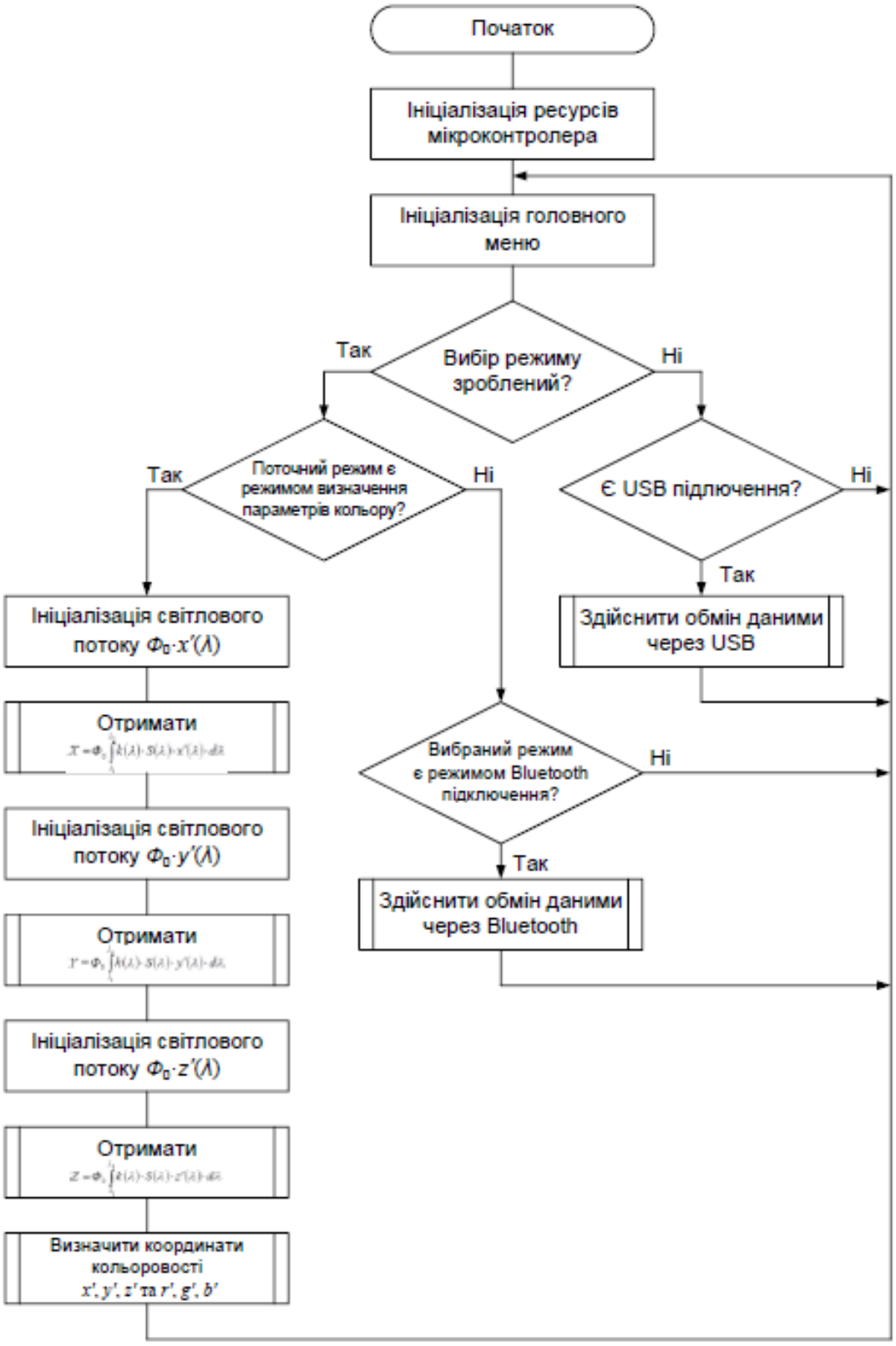
ДОДАТОК В

Функціональна схема мікропроцесорного засобу визначення кольору



ДОДАТОК Г

Блок-схема алгоритму роботи мікропроцесорного засобу визначення кольору



ДОДАТОК Д

Лістинг модуля Main.c

```
/************************************************************
Ініціалізація мікроконтролера
************************************************************/
void MCU_Init(void)
{
//Робимо налаштування системи тактування мікроконтролера
RCC->CR |= (1<RCC_CR_HSEON_Pos); //Запускаємо генератор HSE
//Налаштовуємо PLL. PLL множник дорівнює 9
RCC-> CFGR | = (0x07 << RCC_CFGR_PLLMULL_Pos) | // (0x01
<<RCC_CFGR_PLLSRC_Pos);
//Тактування PLL від HSE
RCC->CR |= (1<RCC_CR_PLLON_Pos); //Запускаємо PLL
//Встановлюємо 2 цикли очікування для Flash
//оскільки частота ядра 48 MHz < SYSCLK <= 72 MHz
FLASH->ACR |= (0x02<<FLASH_ACR_LATENCY_Pos);
//Задаємо дільники
//Дільник шини APB2 відключений (залишаємо 0 за замовчуванням)
//Дільник шини APB1 дорівнює 2
//Дільник AHB вимкнений (залишаємо 0 за замовчуванням)
RCC->CFGR |= (0x00<<RCC_CFGR_PPRE2_Pos)
| (0x04 <<RCC_CFGR_PPRE1_Pos)
| (0x00 <<RCC_CFGR_HPRE_Pos);
RCC-> CFGR | = (0x02 << RCC_CFGR_SW_Pos); //Перемикаємося на роботу від
PLL
//Після переходу на зовнішнє джерело такування відключаємо внутрішній RC-
генератор
```

```
RCC->CR &= ~(1<<RCC_CR_HSION_Pos);}
//Робимо налаштування портів введенн/виведення
//Вмикаємо тактування порту A
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN;
//Налаштовуємо виводи порта A
//PA0 як аналоговий вхід
GPIOA->CRL &= ~GPIO_CRL_CNF0
//PA9 та PA10 як логічні входи з подтягуванням до +
GPIOA->CRL &= ~(GPIO_CRL_CNF9 | GPIO_CRL_CNF10);
GPIOA->CRL |= (GPIO_CRL_CNF9_1 | GPIO_CRL_CNF10_1);
GPIOA->ODR |= (GPIO_ODR_ODR9 | GPIO_ODR_ODR9);
//PA3, PA6, PA7 та PA8 як логічні виходи
GPIOA->CRL &= ~(GPIO_CRL_CNF3 | GPIO_CRL_CNF6 | GPIO_CRL_CNF7 |
GPIO_CRL_CNF6);
GPIOA->CRL |= (GPIO_CRL_ MODE3_0 | GPIO_CRL_ MODE6_0 | GPIO_CRL_
MODE7_0 | GPIO_CRL_MODE6_0);
//Вмикаємо тактування порту B
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPBEN;
//Налаштовуємо виводи порта B
//PB0, PB1, PB12, PB13 та PB15 як логічні виходи
GPIOB->CRL &= ~(GPIO_CRL_CNF0 | GPIO_CRL_CNF1 | GPIO_CRL_CNF12 |
GPIO_CRL_CNF13 | GPIO_CRL_CNF15);
GPIOB->CRL |= (GPIO_CRL_ MODE0_0 | GPIO_CRL_ MODE1_0 | GPIO_CRL_
MODE12_0 | GPIO_CRL_MODE13_0 | GPIO_CRL_MODE15_0);
/************************************************************
Головна функція
************************************************************/
void Main(void)
{
```

```
uint8_t Status, data;
MCU_Init(); //ініціалізація мікроконтролера
USB_Init(); //ініціалізація USB
USART1_Init(); //ініціалізація USART1
ADC_Init(); //ініціалізація ADC
LCD_Init(); //ініціалізація LCD
while(true)
{
//Якщо потрібно обробити дані з USB, зробити це
if(Status & (1 << ProcessUSBdata))ToProcessUSBdata();
//Якщо потрібно обробити дані з USART, зробити це
if(Status & (1 << ProcessUSARTdata))ToProcessUSARTdata();
//Перевірити стан кнопок. Кщо він змінився обробити натискання/відпускання
if(data = ToChekKey())ToProcessKeyStatus(data); //Якщо потрібно визначити
колір, зробити це
if(Status & (1 << DefColor))
{
uint8_t i;
For(i = 0; i < 5; i++)
{
ToOnLED(i);
ToDefColoCoordinate(i);
ToOffLED(i);
}
ToDefineColor();
}
}
}
```

ДОДАТОК Е

Лістинг модуля USB.c

```
/*************************************************************
Ініціалізація USB
*************************************************************/
void USB_Init(void)
{
//включаємо тактування порту та альтернативних функцій
RCC -> APB2ENR | = RCC_APB2ENR_IOPAEN | RCC_APB2ENR_AFIOEN;
//налаштовуємо порти
GPIOA->CRH &= ~GPIO_CRH_CNF11;
GPIOA->CRH | = GPIO_CRH_CNF11_1;
GPIOA->CRH | = GPIO_CRH_MODE11;
GPIOA->CRH &= ~GPIO_CRH_CNF12;
GPIOA->CRH | = GPIO_CRH_CNF12_1;
GPIOA->CRH | = GPIO_CRH_MODE12;
//Вимикаємо дільник usb
RCC->CFGR &= ~RCC_CFGR_USBPRE;
//включаємо тактування usb
RCC -> APB1ENR | = RCC_APB1ENR_USBEN;
//виходимо з power down
USB->CNTR &=~ USB_CNTR_PDWN;
//невелика затримка
uint32_t temp;
for (temp = 30000; temp! = 0; temp--);
//Скидаємо біт, що скидає usb
USB->CNTR &=~ USB_CNTR_FRES;
//дозволяємо переривання по RESET та CTRM
```

```
//(correct transfer interrupt mask)
USB -> CNTR | = USB_CNTR_RESETM | USB_CNTR_CTRM;
//очищаємо прапори переривання
USB -> ISTR = 0;
//Таблиця кінцевих точок починається з адреси 0x40006000
USB -> BTABLE = 0;
//Підтягуємо вивід D+ до живленні
USB_PULL_UP;
//дозволяємо переривання прийому даних
NVIC_EnableIRQ(USB_LP_CAN1_RX0_IRQn);
}
/*************************************************************
Створюємо кінцеву точку
*************************************************************/
void EP_Init(uint8_t number, uint8_t type, uint32_t addr_tx, uint32_t addr_rx)
{
USB -> EPnR[number] = (type << 9) | (Number & USB_EPnR_EA);
USB -> EPnR[number] ^= USB_EPnR_STAT_RX | USB_EPnR_STAT_TX_1;
USB_BTABLE -> EP[number].USB_ADDR_TX = addr_tx;
USB_BTABLE -> EP[number].USB_COUNT_TX = 0;
USB_BTABLE -> EP[number].USB_ADDR_RX = addr_rx;
USB_BTABLE -> EP[number].USB_COUNT_RX = 0x8400; //Розмір
приймального буфера
endpoints[number].tx_buf = (uint16_t *)(USB_BTABLE_BASE + 2*addr_tx);
endpoints[number].rx_buf = (uint8_t *)(USB_BTABLE_BASE + 2*addr_rx);
}
/*************************************************************
Описуємо переривання
*************************************************************/
```

```
void USB_LP_CAN1_RX0_IRQHandler()
{
uint8_t n;
if (USB -> ISTR & USB_ISTR_RESET)
{
//Створюємо 0 кінцеву точку, типу CONTROL
EP_Init(0, EP_TYPE_CONTROL, 128, 192);
//Створюємо 1 кінцеву точку, типу BULK
EP_Init(1, EP_TYPE_BULK, 256, 320);
//обнулюємо адресу пристрою
USB -> DADDR = USB_DADDR_EF;
//Привласнюємо стан DEFAULT STATE
USB_Dev.USB_Status = USB_DEFAULT_STATE;
}
//Перевіряємо чи були прийняті дані
if (USB -> ISTR & USB_ISTR_CTR)
{
//Визначаємо номер кінцевої точки, яка викликала переривання
n = USB -> ISTR & USB_ISTR_EP_ID;
//Копіюємо кількість прийнятих байт
endpoints[n].rx_cnt = USB_BTABLE -> EP[n].USB_COUNT_RX;
//копіюємо вміст EPnR цієї кінцевої точки
endpoints[n].status = USB -> EPnR[n];
//оновлюємо стан прапорців
endpoints[n].rx_flag = (endpoints[n].status & USB_EPnR_CTR_RX) ? 1: 0;
endpoints[n].setup_flag = (endpoints[n].status & USB_EPnR_SETUP) ? 1: 0;
endpoints[n].tx_flag = (endpoints[n].status & USB_EPnR_CTR_TX) ? 1: 0;
//очищаємо прапори прийому та передачі
endpoints[n].status = CLEAR_CTR_RX_TX(endpoints[n].status);
```

```
USB -> EPnR[n] = endpoints[n].status;
}
}
/*******************************************************************
функція запису кінцевих точок
*******************************************************************/
void EP_Write(uint8_t number, uint8_t *buf, uint16_t size)
{
uint8_t i;
uint32_t timeout = 1000000;
uint16_t status = USB -> EPnR[number];
if (size > 64) size = 64;
uint32_t *pv = (uint32_t*)(endpoints[number].tx_buf);
uint16_t temp = (size & 0x0001)? (size + 1) / 2: size / 2;
for(i = 0; i < temp; i++, buf += 2)
{
* pv++ = * ((uint16_t *) buf);
}
//Кількість байт, що передаються
USB_BTABLE -> EP[number].USB_COUNT_TX = size;
status = KEEP_STAT_RX(status); //RX в NAK
status = SET_VALID_TX(status); //TX в VALID
status = KEEP_DTOG_TX(status);
status = KEEP_DTOG_RX(status);
USB -> EPnR[number] = status; endpoints[number].tx_flag = 0;
while (!endpoints[number].tx_flag
{
if (timeout) timeout-;
else break;
```

```
}
}
/*************************************************************
функція * Функція читання масиву з буфера кінцевої точки
number - номер кінцевої точки
*buf - адреса масиву куди зчитуємо дані
*************************************************************/
void EP_Read(uint8_t number, uint8_t *buf)
{
uint32_t timeout = 100000;
uint16_t status, i, n;
uint32_t *pm = (uint32_t *)endpoints[number].rx_buf;
uint16_t *p = (uint16_t *)buf;
status = USB -> EPnR[number];
status = SET_VALID_RX(status);
status = SET_NAK_TX(status);
status = KEEP_DTOG_TX(status);
status = KEEP_DTOG_RX(status);
USB -> EPnR[number] = status;
endpoints[number].rx_flag = 0;
while (!endpoints[number].rx_flag
n = (endpoints[number].rx_cnt & 0x01)? (endpoints[number].rx_cnt + 1)/2:
endpoints[number].rx_cnt/2;
for (i = 0; i < n; i++)
{
p [i] = (uint16_t) pm [i];
}
}
```

ДОДАТОК Ж

Лістинг модуля USART.c

```
/**************************************************************
Ініціалізація USART1
**************************************************************/
void USART1_Init(void)
{
USART_InitTypeDef USART_InitStructure;
RCC->APB2ENR | = RCC_APB2ENR_USART1EN; // Включаємо тактування UART1
RCC->APB2ENR | = RCC_APB2ENR_IOPBEN; // дозволяємо тактування порту GPIOB
// Налаштування TX1 та RX1 на режим альтернативної функції
GPIO_PinAFConfig(GPIOB, GPIO_PinSource5, GPIO_AF_USART1); //PB6 to TX USART1
GPIO_PinAFConfig(GPIOB, GPIO_PinSource6, GPIO_AF_USART1); //PB7 to RX USART1
//Заповнюємо поля структури
// PB6 -> TX UART.
GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_6;
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_40MHz;
GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure); //ініціалізуємо
/PB7 -> RX UART.
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_NOPULL;
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_7;
```

```
GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);// ініціалізуємо
//Дозволяємо тактування
RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_USART2, ENABLE);
/*Робимо налаштування:
- BaudRate = 9600 baud
- Word Length = 8 Bits
- One Stop Bit
- No parity
- Hardware flow control disabled (RTS and CTS signals)
- Receive and transmit enabled
*/
USART_InitStructure.USART_BaudRate = 9600;// швидкість
USART_InitStructure.USART_WordLength = USART_WordLength_8b; //8 біт
даних
USART_InitStructure.USART_StopBits = USART_StopBits_1; //один стоп біт
USART_InitStructure.USART_Parity = USART_Parity_No; //парність - ні
USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl =
USART_HardwareFlowControl_None; // Управління потоком - ні
USART_InitStructure.USART_Mode = USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx; //
дозволяємо прийом та передачу
USART_Init(USART2, &USART_InitStructure); //інізіалізуємо
//Робимо налаштування переривань
NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
//Configure the Priority Group до 2 бітів
NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_2); //Конфігуруємо кількість
груп і підгруп переривань (у нас одне переривання)
//Дозволяємо переривання USARTx Interrupt
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = USART1_IRQn; //переривання по uart1
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0; // задаємо
```

```
пріоритет у групі
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 0; // задаємо пріоритет у підгрупі
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE; //дозволяємо переривання
NVIC_Init(&NVIC_InitStructure); //ініціалізуємо
//Дозволяємо переривання по прийому та передачі
USART_ITConfig(USART1, USART_IT_RXNE, ENABLE);
USART_ITConfig(USART1, USART_IT_TXE, ENABLE);
//Дозволяємо використовувати USART1
USART_Cmd(USART1, ENABLE);
}
/************************************************************
Ініціалізація буферів
************************************************************/
// Буфер приймання
#define RX_BUFFER_SIZE 350 // розмір буфера
volatile uint8_t rx_buffer[RX_BUFFER_SIZE];
volatile uint16_t rx_wr_index=0, //індекс хвоста буфера (куди писати дані)
rx_rd_index=0, //індекс початку буфера
rx_counter = 0; //кількість даних у буфері
volatile uint8_t rx_buffer_overflow=0; //Прапор переповнення
// Буфер на передачу
#define TX_BUFFER_SIZE 350 //Розмір буфера
volatile uint8_t tx_buffer[TX_BUFFER_SIZE];
volatile uint16_t tx_wr_index=0, //індекс хвоста буфера (куди писати дані)
tx_rd_index=0, //індекс початку буфера
tx_counter = 0; //кількість даних у буфері
/************************************************************
```

```
Визначаємо обробник переривання
**********************************************************/
void USARTx_IRQHandler(void)
{
//Якщо відбулося переривання з прийому даних
if(USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_RXNE) == SET) //
{
if ((USART1->SR &
(USART_FLAG_NE|USART_FLAG_FE|USART_FLAG_PE|USART_FLAG_ORE
)) == 0)) //перевіряємо чи немає помилок
{
rx_buffer[rx_wr_index++]= (uint8_t) (USART_ReceiveData(USART2)& 0xFF);
//зчитуємо дані в буфер, інкрементуючи хвіст буфера
if (rx_wr_index == RX_BUFFER_SIZE) rx_wr_index=0; // йдемо по колу
if (++rx_counter == RX_BUFFER_SIZE) // Переповнення буфера
{
rx_counter = 0; //починаємо спочатку (видаляємо всі дані)
rx_buffer_overflow=1; //повідомляємо про переповнення
}
}
}
//Якщо відбулося переривання по переповненню буфера
if(USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_ORE_RX) == SET)
{
USART_ReceiveData(USART1); //скидаємо цей прапор переривання читанням з
регістру даних.
}
//Якщо відбулося переривання передачі
if(USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_TXE) == SET)
```

```
{
if (tx_counter) //якщо є що передати
{
--tx_counter; // зменшуємо кількість не переданих даних
USART_SendData(USART2,tx_buffer[tx_rd_index++]); //передаємо дані
інкрементуючи хвіст буфера
if (tx_rd_index == TX_BUFFER_SIZE) tx_rd_index=0; // йдемо по колу
}
else //якщо нічого передати, забороняємо переривання з передачі
{
USART_ITConfig(USART2, USART_IT_TXE, DISABLE);
}
}
}
```