

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Інтерактивна спеціалізована комп'ютерна тренінгова система
(тема)

Виконала студентка 2 курсу, групи СКСм-22-2
Трубчанінова Є.І.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

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

Освітня програма Спеціалізовані
комп'ютерні системи
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. каф. АПОТ Філіппенко І. В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри



(підпис)

Чумаченко С.В

(прізвище, ініціали)

2024 р.

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

24 слайди

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни	Примітка
		виконання етапів роботи	
1	Отримання завдання	04.11.2024 - 05.11.2024	
2	Аналіз літератури	12.11.2024 - 16.11.2024	
3	Розробка моделі	17.11.2024 - 26.11.2024	
4	Реалізація моделі	29.11.2024 - 05.12.2024	
5	Тестування отриманих даних	06.12.2024 - 10.12.2024	
6	Оформлення пояснювальної записки	13.12.2024 - 20.12.2024	

Дата видачі завдання 05 09 2024 р.

Студент _____



(підпис)

Керівник роботи _____



(підпис)

доц. Філіппенко І.В.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 57 сторінок, 17 рисунків, 12 джерел з переліком посилань.

ІНТЕРАКТИВНІ ТРЕНІНГОВІ СИСТЕМИ, ІНТЕРАКТИВНА СИСТЕМА, МІКРОКОНТРОЛЕР, STM32F407

Мета магістерської роботи – розробка прототипу інтерактивної спеціалізованої комп'ютерної тренінгової системи, що забезпечує високу швидкодію відповіді.

Проведено аналіз існуючих інтерактивних спеціалізованих комп'ютерних тренінгових систем, зроблена оцінка їх переваг та недоліків. Розглянуто можливості обраної САПР та особливості реалізації проекту за допомогою неї. Розроблено модель проекту інтерактивної спеціалізованої комп'ютерної тренінгової системи.

Розроблені оптимальні алгоритми обробки сигналів, які застосовуються в запропонованій системі. Розроблено алгоритм забезпечення високої швидкодії на події в тренінговій системі також високу точність визначення результатів.

ABSTRACT

This thesis contains 57 pages, 17 figures, 12 sources according to the list of links.

INTERACTIVE TRAINING SYSTEMS, INTERACTIVE SYSTEM,
MICROCONTROLLER, STM32F407

The goal of the master's work is to develop a prototype of an interactive computer training system that provides a high response rate.

An analysis of the existing interactive specialized computer training systems was carried out, and an assessment of their advantages and disadvantages was made. The possibilities of the selected CAD and the features of project implementation with its help are considered. A project model of an interactive specialized computer training system was developed.

Optimal signal processing algorithms, which are used in the proposed system, have been developed. An algorithm has been developed to ensure high speed at events in the training system, as well as high accuracy of determining the results.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
1 РОЗРОБКА ІНТЕРАКТИВНОЇ ТРЕНІНГОВОЇ СИСТЕМИ	10
1.1 Огляд існуючих інтерактивних тренінгових систем	10
1.2 Загальні характеристики мультимедійних стрілкових тренажерів	12
1.3 Модель інтерактивної спеціалізованої комп'ютерної тренінгової системи	14
2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ІНТЕРАКТИВНОЇ ТРЕНІНГОВОЇ СИСТЕМИ	17
2.1 Вибір апаратного забезпечення	17
2.2 Вимоги до мікроконтролера	18
2.3 Вибір відеокамери	21
2.4 Варіанти лазерного випромінювача	24
2.5 Пристрій для фіксації механічних коливань	26
2.6 Вибір інтегрованого середовища розробки та САПР	27
3 АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ МОДЕЛІ ІНТЕРАКТИВНОЇ ТРЕНІНГОВОЇ СИСТЕМИ	33
3.1 Алгоритм виявлення сигнальної плями	34
3.2 Моделювання послідовності моментів часу та координат точок появи мішеней	37
3.3 Моделювання типу та швидкості переміщення	39
4 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ІНТЕРАКТИВНОЇ ТРЕНІНГОВОЇ СИСТЕМИ	41
5 ТЕСТУВАННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ТРЕНІНГОВОЇ СИСТЕМИ	53
ВИСНОВКИ	55
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	56
ДОДАТОК А	58

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

МК – мікроконтролер;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПДП – пам'ять з довільним доступом;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

САПР – система автоматизованого проектування;

ІСР – інтегроване середовище розробки;

RAM – оперативно запам'ятовуючий пристрій;

USB – універсальна послідовна шина;

SRAM – статична оперативна пам'ять з довільним доступом;

DMA – прямий доступ до пам'яті;

ADC – аналогово цифровий перетворювач.

ВСТУП

Вже довгий час бурхливий розвиток комп'ютерних систем дозволяє швидко поширювати інформаційні технології в багатьох інституційних сферах країн світу. У сучасній освітній практиці комп'ютерні тренажери стають найпопулярнішим та найдоступнішим засобом для професійної підготовки фахівців різної кваліфікації. Цей напрямок дуже привабливий і для компаній, пов'язаних із виробництвом та застосуванням складних технічних засобів, і для вищих навчальних закладів. Таке обладнання дає можливість доступу до практичного застосування практичних знань та отримання унікального досвіду.

Мультимедійні системи знайшли визнання під час навчання фахівців керувати різними виробничими процесами, симуляція яких значно полегшує поставлене завдання. Особливо важливо, що за допомогою мультимедійних тренажерів з'являється можливість навчити працівників діям під час екстремальних ситуацій. Набутий на тренінгової системі досвід, може допомогти запобігти надзвичайним ситуаціям.

Мультимедійні стрілецькі тренінгові системи затребувані в галузі спорту, під час підготовки спортсменів різного профілю: біатлоністів, п'ятиборців, стрільців.

Універсальний мультимедійний стрілецький тренажер забезпечує набуття навичок стрільби в умовах, наближених до реальних, а також з макетів зброї з лазерними вставками.

Використання мультимедіа технологій у комп'ютерних тренінгової системі дозволить розширити їх функціональні можливості [1]. При цьому забезпечується і досягаються різні цілі: отримання практичних навичок за допомогою інтерактивного навчання; самостійна робота із реалізації методичних та дидактичних підходів; можливість моделювання складних і

надзвичайних ситуацій; можливість навчання великої кількості людей одночасно.

Розробка комп'ютерних систем з використанням мультимедіа технологій дає можливість реалізувати експерименти з обладнанням та відтворити методики відпрацювання будь-яких ситуацій. Широкі можливості комп'ютерних технологій у поєднанні з значно меншими фінансовими витратами в порівнянні з вартістю фізичних стендів роблять цей напрямок досить перспективним. Застосування мультимедіа технологій дозволяє запропонувати рішення для проектування та створення ефективних тренажерних комплексів, що мають низку інтелектуальних функцій та засновані на моделях поведінки та сприйняття користувача [1].

Метою кваліфікаційної роботи є розробка проекту інтерактивної спеціалізованої комп'ютерної тренінгової системи, що забезпечує високу швидкодію при використанні, а також високу точність визначення результатів.

1 РОЗРОБКА ІНТЕРАКТИВНОЇ ТРЕНІНГОВОЇ СИСТЕМИ

1.1 Огляд існуючих інтерактивних тренінгових систем

Тема розробки мультимедійних тренажерів цікава тим, що при їх використанні на практиці різко зростає ефективність навчання, скорочуються терміни навчання спортсменів, може бути досягнуто значної економії матеріальних та грошових ресурсів, забезпечується безпека у процесі навчання стрільби.

Стрілецький тир є звичним місцем для навчання. Але водночас він характеризується низкою істотних недоліків як дорога система зі значними витратами на мішені та інші витратні матеріали з високими вимогами до забезпечення стандартів безпеки.

Все це робить тренування з спортивною зброєю дорогими і часто малодоступними для організацій, які не володіють необхідними фінансовими можливостями. Перехід від кульової стрільби з викидом хімічних продуктів згоряння пороху та забрудненням навколишнього серед свинцем до її імітації повністю знімає проблеми екології та захисту навколишнього середовища. Також можливість застосування електронних стрілецьких тренажерів у розважальній індустрії робить їх більш актуальними з комерційної точки зору.

Аналіз аналогічних систем показує, що у світі йде процес удосконалення тренажерів, процес появи тренажерів нового покоління з імітацією місцевості, місцевих предметів, рухомих та нерухомих цілей, з імітацією віддачі та звукових ефектів при "пострілі" [2].

Для формулювання мети та завдань досліджень необхідно провести аналіз існуючих мультимедійних систем для тренування, щоб визначити об'єкт досліджень, тобто які вимірювання проводяться для визначення результатів

пострілу, яка потрібна точність вимірювань, який діапазон вимірюваних величин, критерії оцінки результату та інших параметрів систем.

На сьогоднішній день існують різні варіанти підготовки стрільців із використанням різних стрілецьких тренажерів: пневматичний, лазерний, мультимедійний тир.

Пневматичний тир є альтернативою тирю з бойовою зброєю, досить дешева і ефективна. Основні недоліки пневматичних тирів: знос мішеней; витратні матеріали також потребують значних витрат; досить висока ймовірність рикошету при використанні сталевих мішеней.

Мультимедійний тир не потребує набоїв, використовуючи замість них лазерний випромінювач, внаслідок чого ідеально підходить для виконання ефективних тренувань з мінімумом витрат. Розвинені технології дозволили майже повністю імітувати стрілянину з реальної зброї без використання боєприпасів. Як недоліки можна відзначити відсутність звуку пострілу та віддачі. Однак, звук пострілу можна імітувати, використовуючи акустичні системи, а віддачу реалізувати через систему подачі стисненого повітря.

Досвід при надзвичайних ситуаціях показує, що спортсмени повинні точно оцінювати швидко мінливі обставини, і приймати рішення на застосування зброї в умовах дефіциту часу. Суб'єктивно, механічні засоби навчання, що застосовуються нині у тирах, не відповідають вимогам гнучкості та ефективності стрілецької підготовки. З метою набуття навичок стрільби в умовах, наближених до бойових, у ряді країн (США, Німеччина, Україна, Польща) були розроблені мультимедійні стрілецькі тренажери, в яких використано сильні сторони комп'ютерної графіки, мультимедійних комп'ютерних ігор.

1.2 Загальні характеристики мультимедійних стрілкових тренажерів

Спрощена структура системи обробки сигналів інтерактивного стрілецького тренажеру складається з: макета зброї, проектора, персонального комп'ютера та мішені.

Розглянемо логіку застосування та обробки сигналів тренажеру. Стрілок робить постріл з пневматичної зброї по екрану, на який проектується зображення відеомішеней або відеосюжети, що зберігаються в пам'яті комп'ютера. У тканинному чи плівковому екрані утворюється пробоїна. Координати пробоїни оцінюються відеовимірником. Положення пробоїни зіставляється зі становищем мішені чи відеосюжету і оцінюється результат стрілянини [4]. При стрільбі з макета зброї з лазерним випромінювачем "пробоїною" є короткочасна пляма, що утворюється лазерним променем на екрані.

Основними блоками цих тренажерів є персональний комп'ютер, відеопроєктор та проекційний екран.

У комп'ютері формуються зображення мішеней, чи відтворюються відео файли, у яких обігруються різні навчальні сценарії. Ці відео за допомогою відеопроєктора відображаються на проекційному екрані білого кольору розміром до 5 метрів та завтовшки до 10 мм. По периметру можна закріпити високочутливі акустичні датчики, підключені проводами до спеціального пристрою обробки акустичних сигналів, вихід якого з'єднаний з комп'ютером.

Внаслідок удару кулі в металевий лист у ньому поширюються акустичні хвилі, що перетворюються датчиками на електричні сигнали. Останні, відповідно до обраного алгоритму, обробляються в вирішальному блоці пристрою обробки і координати точки влучення кулі передаються в комп'ютер, накладаються на відео кадр, в результаті чого індукується поразка мішені або промах за сценарієм.

Важливими параметрами мультимедійного стрілецького тренінгової системи є:

- точність визначення координат пробоїни;
- проміжок між пострілами;
- кількість цілей, що одночасно обробляються.

Алгоритми обробки сигналів, що використовуються в комплексі, повинні забезпечити високу швидкість для досягнення мінімально можливого проміжку між пострілами, а також високу точність визначення координат пробоїни.

Характеристики мультимедійного стрілецького тренінгової системи, що розробляється, визначаються: точністю координат пробоїни дистанційним електронно-оптичним безконтактним методом не гірше $\pm 0,25\%$ від діагоналі екрану; проміжком між пострілами – 0,2 с. і більше (для бойової стрілянини) або 0,1 с. (для стрільби з лазерного макета); кількістю одночасно оброблюваних цілей – до 4; швидкістю встановлення у приміщенні існуючих спеціалізованих місць до 1 години.

Можна виділити кілька недоліків таких систем під час навчання:

1) наявність рикошету, що дозволяє тренуватися поблизу екрана, коли стрілок може почуватися учасником подій, маючи у полі зору лише зображення на екрані;

2) неможливість виготовлення екрана з одного цілісного листа, так як у цьому випадку транспортування його в приміщення тиру можливе лише при проектуванні на етапі будівництва;

3) при монтажі екрана великого розміру в приміщенні тиру шляхом зварювання не забезпечується однорідність матеріалу в межах всього екрану через наявність зварювальних швів, що призводить до зміни часу розповсюдження акустичних хвиль у різних напрямках щодо розрахункових величин і, отже, похибки вимірювання;

4) існування залишкових акустичних коливань у металевому екрані після удару кулі ускладнює забезпечення одночасного тренування кількох стрільців [4].

1.3 Модель інтерактивної спеціалізованої комп'ютерної тренінгової системи

До складу будь-якого інтерактивної тренінгової системи стрілецького тренажеру входить макет гвинтівки і активна мішень [5].

Розглянемо принцип дії представленої моделі тренажеру, що розробляється. Стрілок робить постріл з вогнепальної або пневматичної зброї екраном, на який проектується зображення відео мішеней або відеосюжети, що зберігаються в пам'яті комп'ютера. У тканинному чи плівковому екрані утворюється пробоїна. Координати пробоїни оцінюються відеовимірником у діапазоні інфрачервоного випромінювання. Положення пробоїни зіставляється зі становищем мішені чи з відео сюжетом і оцінюється результат стрілянини.

При стрільбі з макета зброї з лазерним випромінювачем "пробоїною" є короткочасна пляма лазерного променя на екрані.

Кожен із видів стрільб супроводжується звуковими та відеоефектами, характерними для певного відеосюжету, а також виведенням на екран текстової та цифрової інформації для відображення результатів стрілянини.

Можливе роздільне використання тренінгової системи в режимах пневматичної стрільби або для тренувань з лазерними макетами зброї. Для всіх модифікацій тиру інтерфейс користувача, комплект відеомішеней і відеосюжетів ідентичні. Є лише певні відмінності у програмному забезпеченні тиру та конструкції проекційного екрану.

Була запропонована модель інтерактивної спеціалізованої комп'ютерної тренінгової системи у вигляді структурної схеми. Структурна схема – це сукупність елементарних ланок об'єкта та зв'язків між ними. Під елементарною ланкою розумітимемо частину об'єкта, системи управління тощо, яка реалізує елементарну функцію.

Так як пристрій може працювати як у парі з комп'ютером, так і у вигляді автономного пристрою з повноцінними засобами введення/виведення інформації, то в роботі розроблено два варіанти структурних схем.

Запропонована модель інтерактивної спеціалізованої комп'ютерної тренінгової системи, що працює в парі з комп'ютером, містить такі блоки:

- екран, на який спрямована відеокамера, є мішенню для стрілка;
- відеокамера, що здійснює захоплення відеозображення, аналізуючи яке можна визначити координати місця влучення пострілу по екрану мішені;
- аналого-цифровий перетворювач відеосигналу, що перетворює аналоговий сигнал на цифровий для подальшої обробки її цифровими методами;
- мікропроцесор, що обробляє всю інформацію та керує процесом роботи пристрою;
- пам'ять RAM для зберігання відеокадрів, отриманих з камери;
- пам'ять FLASH для зберігання результатів стрільб із подальшим підбиттям підсумків тренувань;
- USB шина для стикування з комп'ютером, по якій будуть передані координати влучення з подальшою анімацією сюжету на екрані тренінгової системи;
- комп'ютер, що виводить через проектор відеосюжети та збирає статистичну інформацію.

У разі автономної роботи пристрою до запропонованої моделі додаються такі блоки:

- клавіатура для введення даних;
- не використовується шина USB, оскільки вона не потребує, всі дані виводяться на вбудований екран;
- екран для відображення результатів стрільби та процесу введення даних із клавіатури.

Для повноцінної роботи тренінгової системи необхідний макет зброї з лазерним випромінювачем, за допомогою якого здійснюватиметься імітаційна

стрілянина по мішенях на екрані. Структурна схема модель інтерактивної спеціалізованої комп'ютерної тренінгової системи показана на рисунку 1.1.

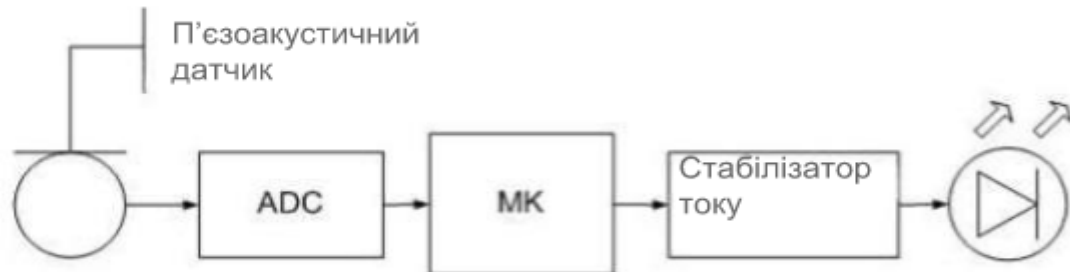


Рисунок 1.1 – Структурна модель інтерактивної спеціалізованої комп'ютерної тренінгової системи

Вона включає у собі наступні блоки:

- п'єзоакустичний датчик вібрації призначений для фіксації моменту пострілу (він фіксує акустичну хвилю, що створюється натисканням на спусковий механізм);
- аналого-цифровий перетворювач для оцифрування сигналу з п'єзоакустичного датчика з метою подальшого аналізу цього сигналу;
- пристрій керування на основі мікроконтролера із наднизьким енергоспоживанням;
- стабілізатор струму необхідний для стабілізації поточного струму через лазерний діод;
- лазерний діод як безпосередній випромінювач, що імітує постріл по екрану.

З запропонованої структурної моделі було розроблено проектну схему пристрою. Для цього необхідно зробити вибір необхідних елементів апаратного забезпечення.

2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ІНТЕРАКТИВНОЇ ТРЕНІНГОВОЇ СИСТЕМИ

2.1 Вибір апаратного забезпечення

Мікроконтролер – це пристрій, призначений для керування. Типовий мікроконтролер поєднує в одному кристалі функції процесора і периферійних пристроїв, містить ОЗП і (або) ПДП. Він здатний виконувати запрограмовані завдання різної складності, залежно від його швидкодії та вбудованої периферії. Використання в сучасному мікроконтролері досить потужного обчислювального ядра з широкими можливостями, побудованого на одній мікросхемі замість цілого набору окремих компонентів, значно знижує розміри, енергоспоживання та вартість побудованих на його базі пристроїв. Від вибору мікроконтролера залежить працездатність всієї системи в цілому, оскільки саме на нього покладається завдання управління та обчислення у системі, що вбудовується.

Популярні сучасні мікроконтролери представлені в переліку нижче:

- ARM (ARM Limited);
- AVR (Atmel);
- ESP32 (Espressif)
- STM32 (STMicroelectronics);
- STM8 (STMicroelectronics);
- MCS 51 (Intel). [6]

Так як в даній роботі стояло завдання обробки потокового відео, то мікроконтролер повинен був мати високу швидкодію, розрахунок чисел з плаваючою комою, великий обсяг оперативної пам'яті для зберігання кадру, а також можливість підключення цифрової камери.

Лідерами високопродуктивних мікроконтролерів є мікроконтролери, побудовані на ядра ARM. Це сімейство 32 бітних високопродуктивних ядер для вбудованих систем фірми ARM Limited з досить низьким енергоспоживанням.

На сьогоднішній день основними ядрами для МК цієї компанії є ARM7TDMI (старіє) та ARM Cortex серії M (microcontroller). Так як ARM7TDMI має відносно низьку тактову частоту та високе енергоспоживання, то в роботі розглядається лише лінійка ядер Cortex M. Сама компанія ARM Limited не займається виробництвом мікроконтролерів, а лише ліцензує свої ядра у вигляді IP core іншим виробникам безпосередньо чіпів, за типом ST, NXP, TI, Atmel.

Найвищим з усіх ядер цієї лінійки є Cortex M4. Таке ядро має вбудований модуль розрахунків з плаваючою комою, потужний контролер переривань, п'ятирівневий конвеєр та вбудований модуль покрокового налагодження з можливістю встановлення точок зупинки, що значно спрощує налагодження програмного забезпечення.

У цій роботі було обрано мікроконтролер фірми ST microcontroller. Фірма ST microcontrollers представляє широкий вибір мікроконтролерів і на сьогоднішній день є одним з лідерів цього сегменту ринку. Висока надійність, багатий вибір периферії та низька цінова політика також сприяють привабливості даного мікроконтролера.

2.2 Вимоги до мікроконтролера

Основні вимоги до мікроконтролера сформовані наступними задачами: відстеження клацання, що створюється натисканням на спусковий гачок, генерація короткочасного імпульсу лазерного променя, що модульований частотою 36 КГц. Також дуже важливі наступні параметри: його вартість та енергоспоживання. Так як вартість батарейок і акумуляторів достатньо висока, тому чим менше буде споживати пристрій тим вища рентабельність виробу.

Одним з наймініатюрніших мікроконтролерів з невисокою вартістю та низьким енергоспоживанням наявних на доступному ринку є серія AVR ATtiny. Це серія бюджетних 8-бітних мікроконтролерів на ядрі AVR. AVR – сімейство восьмибітних мікроконтролерів фірми Atmel, розробки 1996 року.

Мікроконтролери AVR мають гарвардську архітектуру (програма та дані знаходяться у різних адресних просторах) та систему команд, близьку до ідеології RISC. Процесор AVR має 32 8-бітових регістра загального призначення, об'єднаних у регістровий файл. На відміну від RISC, регістри не абсолютно ортогональні.

Система команд мікроконтролерів AVR дуже розвинена і налічує у різних моделях від 90 до 133 різних інструкцій. Більшість команд займає лише 1 осередок пам'яті (16 біт). Більшість команд виконується за один такт. Управління периферійними пристроями здійснюється через адресний простір даних. Безліч команд мікроконтролерів AVR можна розбити на кілька груп:

- команди логічних операцій;
- команди арифметичних операцій та команди зсуву;
- команди операції із бітами;
- команди пересилання даних;
- команди передачі керування;
- команди керування системою.[7]
- Найоптимальнішим вибором є молодше сімейство attiny, з якого був

обраний мікроконтролер attiny13. Його параметри:

- RISC 8-бітний AVR архітектура 120 команд, більшість яких виконується за один тактовий цикл;
- 32 8 бітних робочих регістру загального застосування;
- енергонезалежна пам'ять програм та даних;
- 1 КБ внутрішньосхемно програмованої Flash пам'яті програми, здатної витримати 10 000 циклів запису/прання;
- 64 байти внутрішньосхемно програмованої EEPROM пам'яті даних, здатної витримати 100 000 циклів запису/прання;
- 64 байти вбудованої SRAM пам'яті (статична ОЗУ);
- програмований захист від зчитування Flash та EEPROM пам'яті;
- один 8-розрядний таймер/лічильник з окремим передником і двома ШІМ каналами;

- 4 каналний 10-бітний АЦП;
- режими зниженого споживання Idle, ADC Noise Reduction та Power-down;
- вбудований відкалібрований генератор;
- діапазон напруги живлення від 1.8 до 5.5;
- споживання: активний режим 290 мкА при частоті 1 МГц і напрузі живлення 1.8, - режим зниженого споживання 0.5 мкА при напрузі живлення 1.8 В.

У attiny13 реалізовані всі основні особливості технології picoPower:

- повна функціональність при напрузі живлення від 1.8В;
- регістр управління потужністю PRR (Power Reduction Register);
- регістр дозволу роботи цифрових входів DIDR (Digital Input Disable Registers);
- автоматичне увімкнення/вимкнення Flash-пам'яті (Flash Sampling);
- технологічний процес виробництва, що мінімізує струми витоку. [7]

Внутрішня архітектура даного мікроконтролера наведена на рисунку 2.1 нижче.

Отже, можна зробити висновок, що мікроконтролер attiny13 підходить найбільше для поставленої задачі. Низьке енергоспоживання та можливість виходу з режиму сну при приході переривання, що додатково сприяє економії батарей. Наявність вбудованого тактового генератора уможливорює звільнення від зовнішніх навісних елементів, таких як кварц. Це дозволяє зменшити розміри друкованої плати, на якій розміщені елементи. Наявність компаратора і АЦП дозволяє реалізувати алгоритм, що відстежує клацання, що видається саме механізмом спуску. Також вибору сприяє низька вартість даного мікроконтролера.

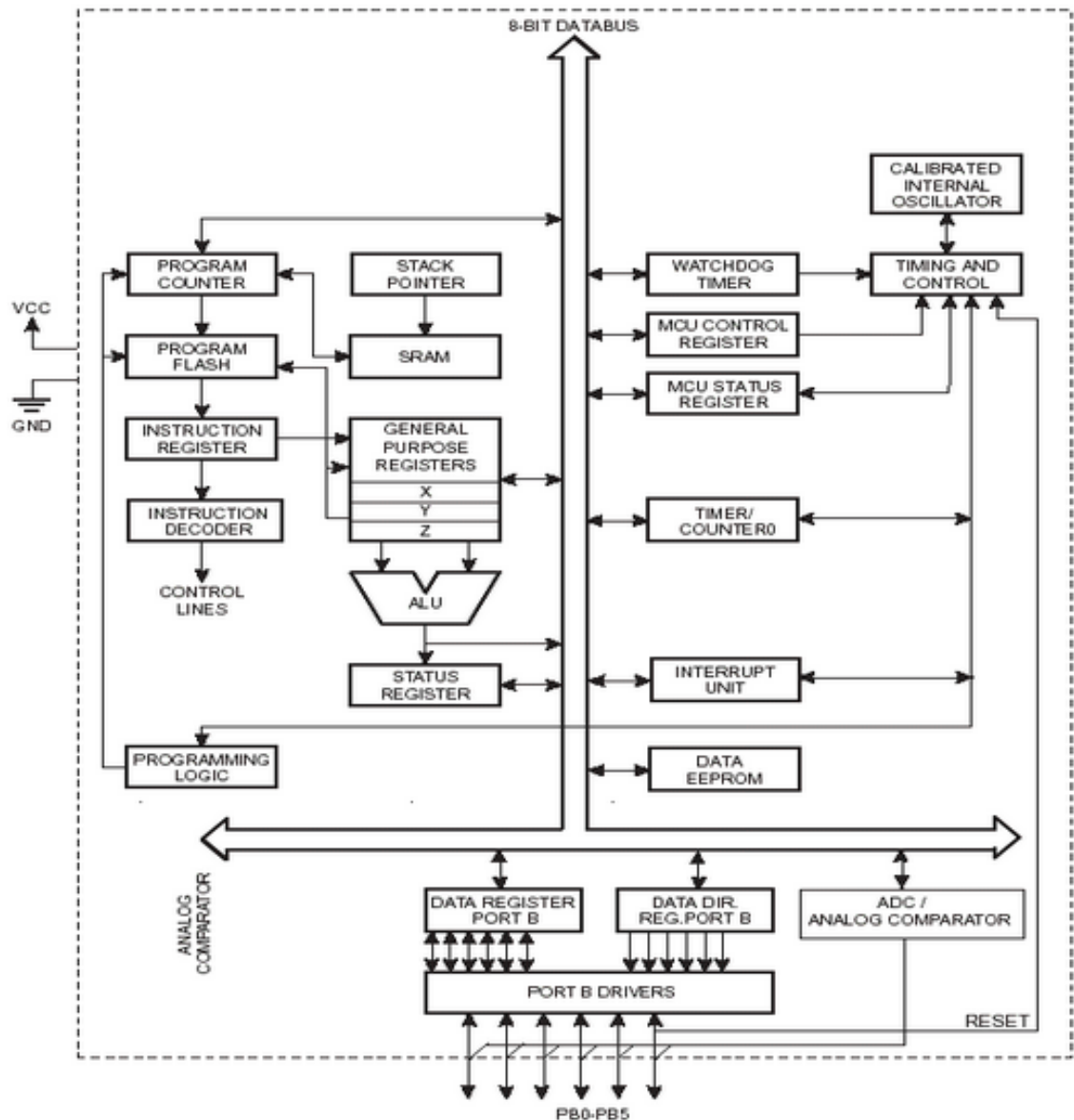


Рисунок 2.1 – Внутрішня архітектура мікроконтролера ATtiny13

2.3 Вибір відеокамери

Камера в мультимедійному тренажері відіграє важливу роль датчика влучення, отже від вибору її параметрів залежить дуже багато важливих параметрів: точність, час реакції, стійкість до перешкод і ціна.

У сучасних цифрових камерах застосовується два типи матриць: CCD матриця (Charged Coupled Device), інакше їх називають ще камери з ccd

сенсором, і CMOS матриця (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) - камери з сенсором cmos.

Камери на основі технології CMOS споживають менше енергії (у 96 разів у порівнянні із CCD камерами). CMOS камери простіше у виробництві, отже і коштують дешевше порівняно з камерами із CCD матрицею. Ще одна перевага технології CMOS - це інтеграція різних процесів в одному чіпі, що веде до мініатюризації пристроїв, також вони мають більш високу швидкодію. Із недоліків CMOS камер можна виділити низький коефіцієнт заповнення пікселів, що знижує їхню чутливість. Тому у камер на основі CMOS матриць частіше виникають труднощі з придушенням перешкод і збільшенням чутливості, тобто з якістю зображення, що отримується. [8]



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд камери з аналоговим та цифровим виходами

Вагома різниця між CCD камерою і CMOS камерою у тому, що CCD матриця (сенсор) перетворює заряди пікселів в аналоговий сигнал, а CMOS матриця в цифрову інформацію. Камери використовують один і той же сенсор. Відеочутлива область на кристалі має площу 656 на 488 пікселів, активна зона при цьому становить 640 на 480 пікселів. Кожен піксель є набором з трьох світлочутливих елементів зі світлофільтрами різної товщини для зрівнювання світлочутливості та індивідуальну мікролінзу на кожен елемент. На рисунку 2.2 зображена данна структура.

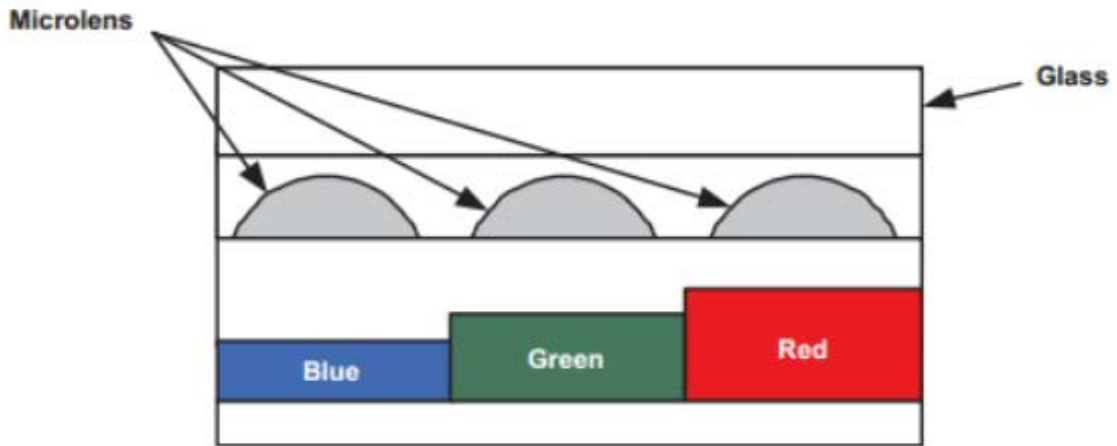


Рисунок 2.3 – Структура пікселя кольорової камери

За допомогою вбудованого препроцесора зображення камера дозволяє фільтрувати перешкоди із частотами 50/60 Гц від мережі живлення, змінювати налаштування гами, контрасту та яскравості. Дані з камери знімаються за допомогою стандартної цифрової восьмибітної шини передачі відеосигналу з частотою тактування 12 МГц.

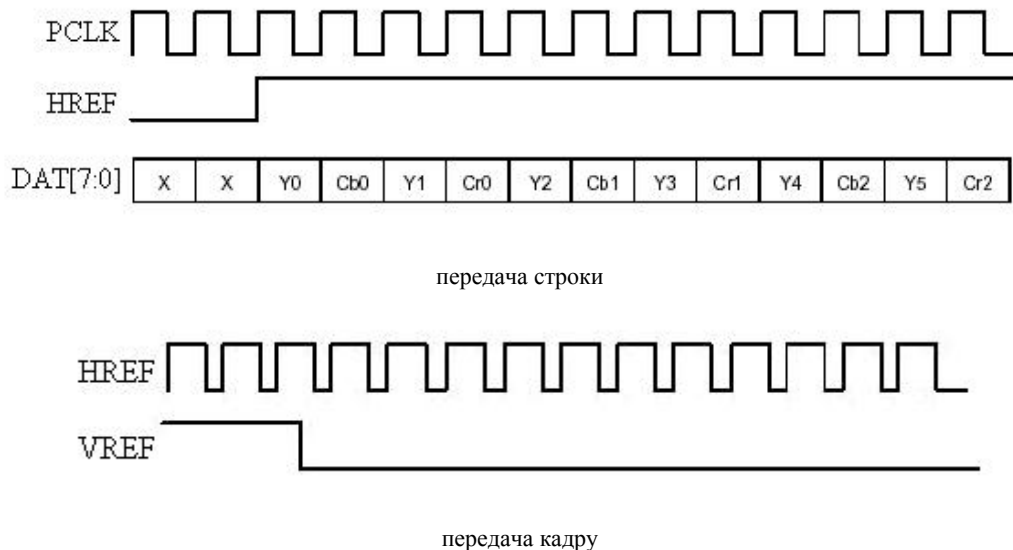


Рисунок 2.4 – Часова діаграма передачі відеокадру

При використанні камери з аналоговим виходом сигнал із камери має стандартний телевізійний формат PAL та чорно-білу палітру кольору. Такі

камери широко представлені на ринку і мають перевагу в тому, що не доводиться довго чекати на їх доставку. Для налаштування роботи камера має 42 внутрішні регістри, адресованих за допомогою шини I2C, за допомогою яких здійснюються налаштування камери: витримка, експозиція, вибір вікна, формат виведення тощо.

2.4 Варіанти лазерного випромінювача

Лазер – це пристрій для генерування або підсилення монохроматичного світла, створення вузького пучка світла, здатного поширюватися на великі відстані без розсіювання і створювати винятково велику густину потужності випромінювання при фокусуванні. [9]

Випромінювання лазера може бути безперервним або імпульсним. Лазерний випромінювач у цій роботі виконує роль імітатора пострілу відео мішені. Його параметри впливають на довговічність елемента живлення тренувальної зброї, дальність стрілянини, а також на безпеку пристрою під час використання. Різнокольорові лазери можна побачити на рисунку 2.3.

Існує багато різних типів лазерів, однак найпридатнішим для поставленого завдання є напівпровідниковий лазер, побудований на базі діода. Його робота заснована на виникненні інверсії населення в області р-п переходу при інжекції носіїв заряду. Так як лазер у цій роботі буде застосовуватися у безпосередній близькості з людьми, то за стандартом його потужність не повинна перевищувати п'ять міліватів.

Одним з важливих параметрів лазерного випромінювача, що вибирається, є довжина світлової хвилі і швидкість перемикання, так як промінь буде модульований. Довжина хвилі була обрана 650нм (червоний лазер) або 808 нм (інфрачервоний лазер) у випадку, якщо промінь повинен бути невидимим.



Рисунок 2.5 – Кольорова гама лазерів

Потужність лазера не повинна бути надто високою, оскільки може завдати шкоди зору людини. У зв'язку з цим потужність лазерного випромінювача не перевищує 5 mW, що робить його відносно нешкідливим і не вимагає сертифікації. Такий лазерний діод у парі з гарною оптикою здатний забезпечити дальність стрілянини на відстань до 100м без втрати точності стрільби.

Таблиця 2.1 – Характеристика лазерного діода

SPECIFICATIONS		
INPUT VOLTAGE	3.5 - 4.5	v dc
OPERATING CURRENT	< 25	mA
WAVELENGTH	645-655	nm
OPTICAL POWER	< 5	mW
TTL BLANKING	NO	kHz
BEAM DIAM.	0.75 +/- 0.05	mm
DIVERGENCE	>0.5	mRad
WARM UP TIME	<1.0	sec
Operating Temperature	-10 - +50	deg C
POLARITY	RED +ve	BLACK -ve

У самій системі можливе застосування лазерів будь-якого кольору, але їх вартість набагато дорожча, а ККД не рідко нижче через те, що колір змінюється шляхом виділення спектральних гармонік або накачування іншого робочого тіла і рідко перевищує 30%.

2.5 Пристрій для фіксації механічних коливань

Для макету зброї моделі, що розробляється, пропоную застосувати акустичний сприймач, що фіксує акустичну хвилю, що розповсюджується по корпусу зброї. Можливо також використовувати кнопку з контактною парою для визначення натискання на спусковий гачок, але через невеликий ресурс, цей тип кнопок має велику матеріальну витратність.

Акустична хвиля є механічні коливання високої частоти, створювані спусковим механізмом.

Акустичний сприймач повинен відповідати наступним параметрам:

- низька чутливість у ділянці низьких та середніх частот;
- низька чутливість до сторонніх шумів;
- велика амплітуда вихідного сигналу, за дотримання цієї умови не потрібен підсилювач сигналу, що мінімізує витрату батарей живлення;
- мініатюрність сприймача.

Серед варіантів можливих сприймачів був обраний п'єзоакустичний сприймач. П'єзокерамічні випромінювачі- електроакустичні пристрої відтворення звуку, що використовують зворотний п'єзоелектричний ефект. П'єзовипромінювачі широко використовуються в різних електронних пристроях – годинниках, телефонних апаратах, електронних іграшках, побутовій техніці.[10]

Отже, при виникненні акустичної хвилі виникають коливання корпусу зброї, у свою чергу їх можна передати п'єзокерамічеській випромінювач, що дає зворотний п'єзоефект і призведе до того, що він стане мікрофонним датчиком

високих частот, на виході якого виникає сигнал з амплітудою до трьох вольт. Загальний вигляд такого датчика показано на рисунку 2.4.



Рисунок 2.6 – П'єзоелемент з дротами

2.6 Вибір інтегрованого середовища розробки та САПР

Для реалізації запропонованої в роботі проектної моделі мультимедійного стрілецького тренінгової системи було обрано інтегроване середовище розробки ICP (англ. IDE, Integrated development environment або integrated debugging environment) - система програмних засобів, що використовується програмістами для розробки програмного забезпечення (ПЗ).

Вона містить також засоби для інтеграції з системами керування версіями та різноманітні інструменти для спрощення конструювання графічного інтерфейсу користувача. Багато сучасних середовищ розробки також включають браузер класів, інспектор об'єктів та діаграму ієрархії класів – для використання при об'єктно-орієнтованій розробці ПЗ. Хоча існують ICP, призначені для кількох мов програмування, такі як Eclipse.

Keil uVision5 – це середовище розробки, що є набором утиліт для виконання повного комплексу заходів щодо написання програмного

забезпечення для мікроконтролерів. Серед розробки Keil можна побачити на рисунку 2.5. Keil uVision дозволяє працювати з проектами будь-якого ступеня складності, починаючи з введення та редагування вихідних текстів і закінчуючи внутрішньосхемним налагодженням коду та програмуванням ПЗУ мікроконтролера. Від розробника прихована більшість другорядних функцій, що сильно розвантажує інтерфейс і робить управління інтуїтивно зрозумілим. Однак при зростанні складності реалізованих завдань завжди можна задіяти весь потенціал модулів, що функціонують під управлінням єдиної оболонки.[11]

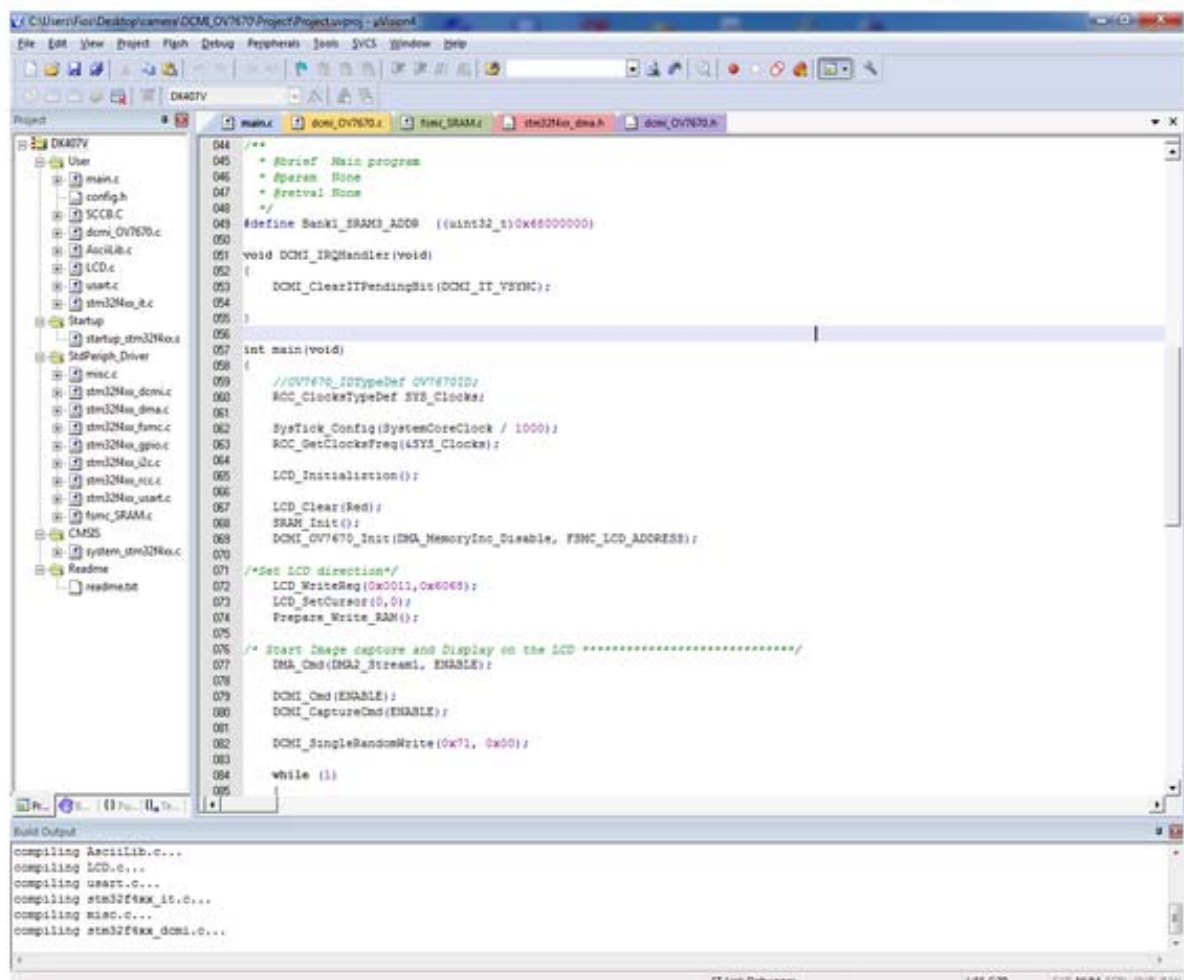


Рисунок 2.7 – Серед розробки Keil

мікроконтролера STM32F407 був використаний фірмовий програматор ST-Link, який повністю підтримується середовищем розробки Keil uVisison. Він підключається до персонального комп'ютера за допомогою шини USB, а до мікроконтролера через стандартний роз'єм програмування ST-SWD (Serial wire debug), що складається з двох сигнальних провідників та живлення. При роботі з цим типом програматора, мікросхема запаена на друкованій платі і не потребує демонтажу.

Для програмування мікроконтролера AVR Attiny можна використовувати програматор AVR ISP, що підключається також по шині USB. Працюючи з цим програматором також немає потреби у витягуванні мікросхеми мікроконтролера з друкованої плати.

У процесі розробки апаратної частини важливо розробити принципові схеми та креслення друкованих плат. Цей вид робіт виконується в системах автоматичного проектування.

Система автоматизованого проектування або САПР, що реалізує інформаційну технологію виконання функцій проектування, є організаційно-технічною системою, призначену для автоматизації процесу проектування, що складається з персоналу та комплексу технічних, програмних та інших засобів автоматизації його діяльності.

На сьогоднішній момент представлений широкий вибір різноманітних програмних рішень САПР для розробки друкованих плат та схем. Проте всі вони дуже відмінні один від одного за функціоналом та складністю роботи з ними. У ході роботи було обрано класичний професійний пакет САПР P-CAD 2006.

P-CAD - це система автоматизованого проектування електроніки (EDA) розробки компанії Personal CAD Systems Inc. Призначена для проектування багат шарових друкованих плат обчислювальних та радіоелектронних пристроїв. В даний час в Україні P-CAD є однією з популярних EDA.[12]

До складу P-CAD входять два основні модулі: P-CAD Schematic, P-CAD PCB, та низка інших допоміжних програм. P-CAD Schematic та P-CAD PCB - це

відповідно графічні редактори важливих електричних схем та друкованих плат (ПП). Проекти схем можуть містити до 999 аркушів, а проекти плат – до 999 шарів розміром 60x60 дюймів. Існують можливості інтерактивного розведення диференціальних пар для мінімізації електромагнітних перешкод, мультимаршрутне трасування за заданими параметрами, ортогональне перетягування провідників. Крім основних підпрограм P-CAD має допоміжні: Library Executive (менеджер бібліотек), Symbol Editor (редактор символів елементів), Pattern Editor (редактор посадкових місць, корпусів елементів) та деякі інші. Бібліотеки P-CAD зберігають понад 27 тисяч елементів, сертифікованих за стандартом ISO 9001. Повністю підтримуються формати Gerber та ODB++. На рисунку 2.7 показаний редактор принципів схем з цього пакета програмного забезпечення.[12]

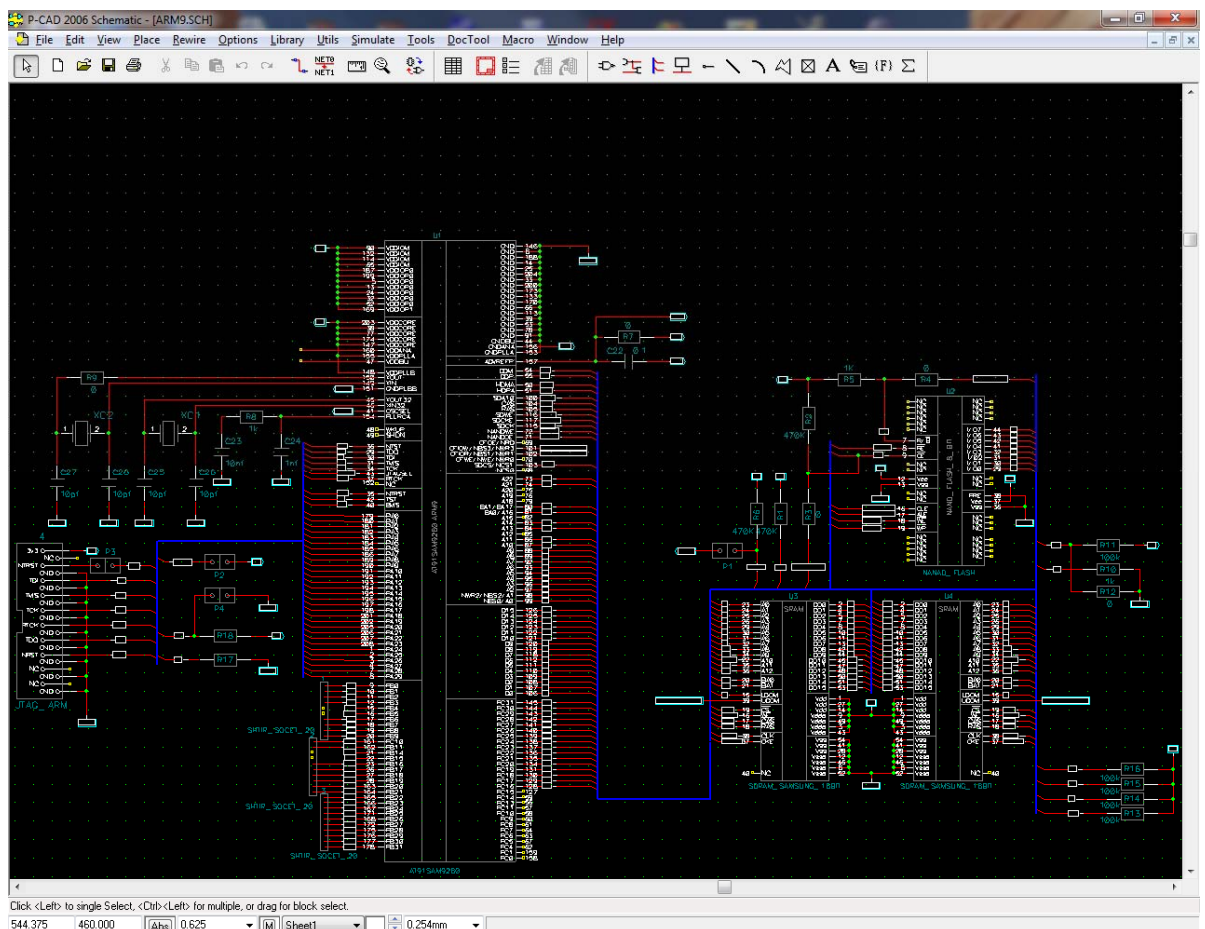


Рисунок 2.9 – Редактор схем

Отже, можна зробити висновок, що система P-CAD виконує повний цикл проектування друкованих плат і повністю покриває потреби проекту.

3 АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ МОДЕЛІ ІНТЕРАКТИВНОЇ ТРЕНІНГОВОЇ СИСТЕМИ

При стрільбі з пневматичної зброї на екран, де проектується зображення інтерактивних мішеней або тематичні відеосюжети, на тканинному або плівковому екрані утворюється пробоїна. Координати пробоїни оцінюються відео вимірником. Положення пробоїни зіставляється зі становищем мішені чи відеосюжету і оцінюється результат пострілів.

При стрільбі з макета зброї з лазерним випромінювачем "пробоїною" є короткочасна пляма, утворена лазерним променем на екрані.

Важливими параметрами інтерактивної спеціалізованої комп'ютерної тренінгової системи наступні:

- точність визначення координат пробоїни;
- проміжок між пострілами;
- кількість цілей, що одночасно обробляються.

Алгоритми обробки сигналів, що використовуються в комплексі, повинні забезпечити високу швидкодію для досягнення мінімально можливого проміжку між пострілами, а також високу точність визначення координат пробоїни.

При створенні моделі та алгоритмів динамічної середовища необхідно врахувати, що в зоні екрана можуть з'являтися цілі різних типів і різних швидкостей переміщення. Облік різновидності цілей може бути зроблено наступним способом. Складається база, яка може бути реалізована через записи у таблиці, у якій всі можливі типи мішеней записуються і зазначаються швидкості руху типів мішеней. Ця таблиця зберігається у пам'яті комп'ютера. Далі вважається, що поява в зоні екрану мішені того чи іншого типу носить імовірнісний характер, тому, виходячи з аналізу передбачуваної динамічної обстановки, заздалегідь встановлюються ймовірності появи вказаних у таблиці типів мішеней.

Можемо урахувати, що виконується умова нормування. Тоді процедура моделювання типу мішені полягатиме у порівнянні випадкового числа, розподіленого за рівномірним законом в певних інтервалах. А за даними бази даних буде обрано той тип мішені, для якого виконується імовірна умова.

Після того, як вибрано тип мішені, вибирається швидкість її переміщення. Відповідно до бази даних спочатку може бути задано X типів мішеней. Кожному типу, мішені може бути присвоєне будь-яке із заданих значень швидкості переміщення, у тому числі за допомогою уніфікованого алгоритму випадкового вибору, який також можна використати при виборі типу мішені.

Таким чином, у процесі моделювання типу та швидкості руху мішені виходить модуль вектора швидкості руху мішені. Ці дані також використовуються для формування нових точок траєкторії переміщення мішені для подальших обчислень та інтерпретації результатів спеціалізованої комп'ютерною системою.

3.1 Алгоритм виявлення сигнальної плями

Синтез алгоритмів обробки сигналів у мультимедійному стрілецькому комплексі розглядається стосовно двоично квантованого зображення, що дозволить значно підвищити швидкість реалізації отриманих алгоритмів. З погляду теорії статистичних рішень, завдання виявлення плями двійково квантованих сигналів формулюється в такий спосіб.

Нехай ϵ вибірка значень огинаючої

$$\left\{ \begin{array}{cccc} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{NN} \end{array} \right\}$$

на $N \times N$ сусідніх позиціях розгортки фотоприймача. Кожне з вибірових значень x_{kl} піддається двійковому квантування по амплітуді шляхом порівняння з пороговим рівнем x_l . Результат одиничного випробування x_{kl} вважається позитивним, якщо відповідне вибірове значення перевищує поріг ($x_{kl} = 1$), і негативним, якщо поріг не перевищується ($x_{kl} = 0$).

Сукупність результатів після квантування являє собою послідовність нулів та одиниць. Завдання вирішального алгоритму полягає в тому, щоб на основі аналізу прийнятої вибірки нулів і одиниць вирішити оптимальним чином, чи ця вибірка представляє пляма корисного сигналу або вона відноситься до перешкоди.

Для вирішення сформульованої задачі вирішальний алгоритм зводиться до перевірки гіпотези H_0 про відсутність корисного сигналу проти альтернативної гіпотези H_1 про наявність, тобто. до утворення відношення правдоподібності та порівняння цього відношення з деяким наперед заданим числом, що вибирається виходячи з апіорної ймовірності наявності сигналу та втрат, що приписуються помилковим рішенням (критерій середнього ризику), або виходячи з допустимої ймовірності хибного виявлення (критерій Неймана - Пірсона).

Для синтезу алгоритму виявлення необхідно насамперед визначити функцію правдоподібності гіпотез H_0 та H_1 . Позначимо p_{kl} - можливість отримання одиниці на позиції (k, l) пачки, а q_{kl} - можливість отримання нуля на цій позиції. Ймовірність отримання будь-якого з двох можливих наслідків в результаті випробування з номером (k, l) можна записати у вигляді

$$P(x_{kl}) = p_{kl}^{x_{kl}} \cdot q_{kl}^{1-x_{kl}} \quad (3.1)$$

Надалі вважатимемо вибірки огинаючої статистично незалежними. Тоді спільна ймовірність отримання деякої комбінації нулів та одиниць на всіх позиціях пачки

$$P(x_{11} \dots x_{NN}) = \prod_{k=1}^N \prod_{l=1}^N p_{kl}^{x_{kl}} \cdot q_{kl}^{1-x_{kl}} \quad (3.2)$$

Тепер на підставі формули (2) можна записати вираз для умовної ймовірності будь-якої комбінації нулів та одиниць за наявності та відсутності корисного сигналу.

За наявності корисного сигналу

$$P(x_{11} \dots x_{NN} | H1) = \prod_{k=1}^N \prod_{l=1}^N p_{Skl}^{x_{kl}} \cdot q_{Skl}^{1-x_{kl}} \quad (3.3)$$

де $p_{Skl}^{x_{kl}}$ - ймовірність отримання одиниці на позиції (k, l) сигнальної плями;

Вважатимемо заданим поріг виявлення l_0 . Тоді, з урахуванням виразу (3.3) умова оптимального виявлення плями запишеться у вигляді:

$$\prod_{k=1}^N \prod_{l=1}^N \left(\frac{p_{Skl}}{p_N} \right)^{x_{kl}} \cdot \left(\frac{q_{Skl}}{q_N} \right)^{1-x_{kl}} \geq l_0 \quad (3.4)$$

Формула для алгоритму оптимального виявлення пачки двійково-квантованих сигналів має наступний вигляд:

$$\sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N x_{kl} \eta_{kl} \geq \mathfrak{I} \quad (3.5)$$

Відповідно до формули (3.5) алгоритм оптимального виявлення пачки квантованих сигналів зводиться до виконання наступних операцій.

1. Прийом та запам'ятовування квантованих сигналів (нулів та одиниць) у межах розмірів приймальної матриці (на m позиціях).

2. Підсумовування значень попередньо запрограмованої вагової функції на позиціях підматриці розмірністю NN , у яких отримані одиниці.

3. Порівняння отриманої суми з пороговим числом та видача рішення про виявлення чи невиявлення плями.

Далі у разі невиявлення розглядається наступна підматриця NN , зсунута горизонтальною осі вправо однією позицією. Аналогічно здійснюється зсув вертикальної осі зверху вниз. Операції 2 і 3 повторюються до тих пір, поки не буде прийнято рішення про виявлення плями на екрані або не проаналізовано всі позиції на приймальній матриці.

3.2 Моделювання послідовності моментів часу та координат точок появи мішеней

Завдання моделювання динамічної обстановки розпадається на моделювання послідовності моментів часу та координат точок появи мішеней, моделювання типу та швидкості переміщення мети, моделювання траєкторії переміщення мішені у зоні екрана мультимедійного тренажера. Розглянемо завдання моделювання послідовності моментів часу та координат точок появи мішеней.

Моменти часу появи мішеней у зоні екрана мультимедійного тренажера утворюють довільний потік подій. У режимі роботи тренажера на досить тривалому інтервалі часу цей потік можна представити у вигляді потоку однорідних подій.

Послідовність можна уявити в наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 t_{01} &= \tau_1 \\
 t_{02} &= \tau_1 + \tau_2 \\
 t_{03} &= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 \\
 t_{0k} &= \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_k
 \end{aligned}$$

де τ_i – випадкова величина, що визначає довжину часового інтервалу між послідовними моментами.

Для визначення цієї послідовності має бути заданий закон розподілу. Нехай потік мішеней, що з'являються в зоні екрана інтерактивного тренажера, описується експоненційним законом :

$$\omega(\tau) = \Lambda \exp(-\Lambda\tau), \quad \tau > 0 \quad (3.6)$$

де Λ – параметр потоку, що дорівнює математичному очікуванню числа цілей, що з'являються в зоні екрана тренажера в одиницю часу.

Випадкові числа із щільністю розподілу можуть бути отримані за допомогою комп'ютера шляхом перетворення послідовності псевдовипадкових чисел та розподілені в інтервалі (0, 1).

У разі потоку, що описується виразом (3.6), між випадковими числами існує наступна аналітична залежність:

$$\tau_i = -(\ln(1 - \xi_i)) / \Lambda \quad (3.7)$$

яка дозволяє вирішити поставлене завдання..

Таким чином, моделювання моментів появи мішеней у зоні екрана тренажера зводиться до виконання наступних операцій: вибірки послідовності випадкових чисел, рівномірно розподілених в інтервалі (0, 1); обчислення значень за формулою (3.7), визначення моментів появи за формулою (3.1).

Крім моментів часу появи мішеней необхідно також моделювати координати точки появи кожної мети в зоні екрана тренажера. Поява та переміщення цілей на екрані тренажера має випадковий характер.

Прямокутні координати точки появи i -ї мети визначаються за допомогою формул:

$$\begin{cases} x_{0i} = a\xi_i \\ y_{0i} = b\xi_i \end{cases}$$

де a і b - довжина та ширина екрану тренажера відповідно.

Дані про момент часу t_{0i} та координатах точки появи x_{0i} , y_{0i} характеризують початкову опорну точку траєкторії переміщення і тієї мішені і використовуються в подальшому при розрахунку координат точок знаходження мішені в зоні екрану.

3.3 Моделювання типу та швидкості переміщення

При створенні моделі динамічної обстановки необхідно виходити з того, що в зоні екрана можуть з'являтися цілі різних типів і різних швидкостей переміщення. Облік різнотипності цілей може бути зроблено в такий спосіб. Складається таблиця, у якій всім гаданих типів мішеней записуються швидкості руху. Ця таблиця зберігається у пам'яті комп'ютера. Далі вважається, що поява в зоні екрану мішені того чи іншого типу носить імовірнісний характер, тому, виходячи з аналізу передбачуваної динамічної обстановки, заздалегідь встановлюються ймовірності появи зазначених у таблиці типів мішеней. Позначимо ці ймовірності p_1, p_2, \dots, p_k і припустимо, що виконується умова нормування

$$\sum_{i=1} p_i = 1 \quad (3.8)$$

Тоді процедура моделювання типу мішені полягає у порівнянні випадкового числа, розподіленого за рівномірним законом в інтервалі $(0, 1)$, визначаються за формулами:

$$P_{l-1} = \sum_{i=1}^{l-1} p_i, P_l = \sum_{i=1}^l p_i, \quad l = \overline{1, k}$$

Обирається той тип мішені, котрій виконується умова [5]

$$P_{l-1} \leq \xi \leq P_l$$

Після того, як вибрано тип мішені, вибирається швидкість її переміщення. Відповідно до таблиці спочатку може бути задано k типів мішеней. Кожному типу мішені може бути присвоєне будь-яке із заданих значень швидкості переміщення, у тому числі за допомогою алгоритму випадкового вибору, використаного при виборі типу мішені,

Таким чином, у процесі моделювання типу та швидкості руху мішені виходить модуль вектора швидкості руху мішені. Ці дані також використовуються для формування нових точок траєкторії переміщення мішені.

4 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ІНТЕРАКТИВНОЇ ТРЕНІНГОВОЇ СИСТЕМИ

Принцип роботи моделі полягає в наступному. Стрілок бере макет зброї і робить натискання на спусковий гачок. При натисканні на спусковий гачок імітатор удару по корпусу зброї створює акустичну хвилю, що у свою чергу породжує мікровібрації корпусу зброї. Вібραції з корпусу передаються на п'єзодатчик, який щільно закріплений до макету зброї. В результаті зворотного п'єзоефекту на виході п'єзодатчика виникають електричні коливання з амплітудою до трьох - чотирьох вольт. Коливання мають вигляд сплеску представлених на рисунку 4.1.

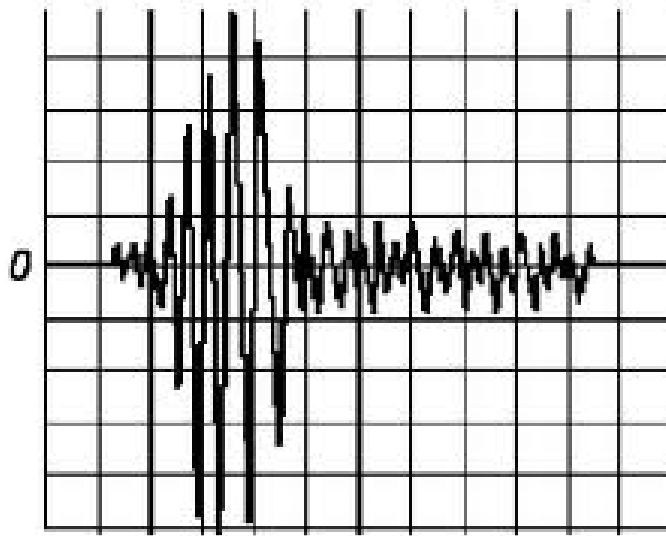


Рисунок 4.1 – Акустичні коливання

Далі сигнал від п'єзодатчика надходить на вхід компаратора, пристрою, що порівнює дві напруги на своїх входах і видає на виході значення логічного нуля чи одиниці в залежності від результату порівняння як на рисунку 4.2. Так як компаратору потрібна опорна напруга як напруга еталона мінімального

показника спрацьовування, другий вхід компаратора з'єднаний з генератором опорної напруги (ГОН).

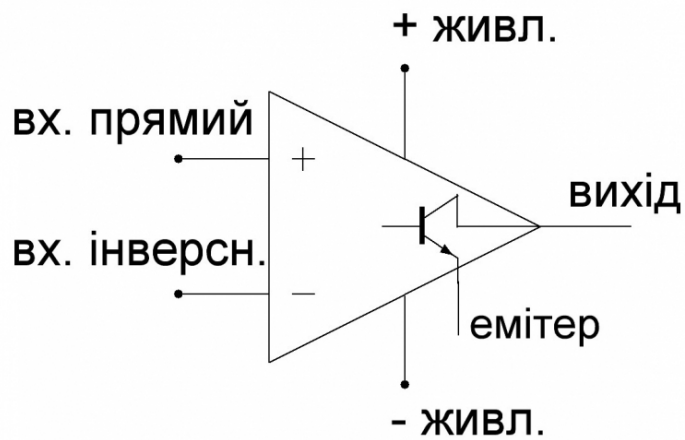


Рисунок 4.2 – Компаратор

При збільшенні амплітуди сигналу з п'єзодатчика вище значення мінімального показника спрацьовування, на виході компаратора з'являється імпульс з кожним переходом через мінімальний показник. У цей самий момент компаратор генерує переривання мікроконтролера, що змушує його вийти з режиму економії живлення IDLE, для оптимізації продуктивності для виконання основних завдань.

При створенні автономних приладів, що живляться від батарейок, перше місце виходить економія дуже обмежених запасів енергії. Якщо поставлена перед мікроконтролером задача це дозволяє, то його переводять в один із сплячих режимів, що характеризуються тим чи іншим рівнем зниження енергоспоживання.

Для того, щоб перейти в один із сплячих режимів, необхідно певним чином виставити біти регістру управління (MCUCR) та викликати інструкцію SLEEP. Вихід із цього стану здійснюється автоматичним шляхом при приході переривання від периферії.

Сигнал переривання повідомляє процесору про настання будь-якої події. При цьому виконання поточної послідовності команд припиняється, і керування передається обробнику переривання, який реагує на подію та

обслуговує її, після чого керує повертається в перерваний код. Обробник переривання – невеликий фрагмент програмного коду, розташований за певним вектором Вектор переривання – закріплений за пристроєм номер, який ідентифікує відповідний обробник переривань.

Після визначення та отримання переривання від компаратора мікроконтролер переходить за вектором обробки події від компаратора.

Після чого мікроконтролер підраховує кількість переривань, що прийшли за заданий період часу. Цей період зазвичай визначається експериментально на пристроях чи прототипах і становить близько 30 мс. Після чого відбувається аналіз кількості сигналів переривання, що отримано. Якщо їх кількість потрапляє в задані калібрувальні рамки, тобто не менше мінімальної і не більше максимальної кількості спрацювань, то системою обробляється рішення про те, що було зроблено постріл.

Такий аналіз необхідний для точного визначення факту натискання на спусковий гачок і відхилення його від звуку взводу затвора або будь-яких інших сторонніх факторів впливу на макет зброї. В іншому випадку будуть небажані помилкові спрацювання, що негативно позначиться на роботі всієї системи загалом.

Кількість імпульсів також підбирається експериментально на калібрувальному лічильнику імпульсів. Після обробки сигналу про те, що спусковий гачок був натиснутий, мікроконтролер генерує короткочасний імпульс довжиною 30 мс, у свою чергу, модульований частотою 36 КГц. Модуляція променя необхідна для підвищення стійкості до впливу хибних чинників влучення, як-от зовнішнє чи додаткове освітлення, відблиски тощо.

Після цього мікроконтролер здійснює очищення всіх значень з останнього спрацювання, повертаючись у початковий стан, і перетворюється на режим зниженого енергоспоживання.

Блок-схема алгоритму роботи описаного вище пристрою наведено на рисунку 4.2.

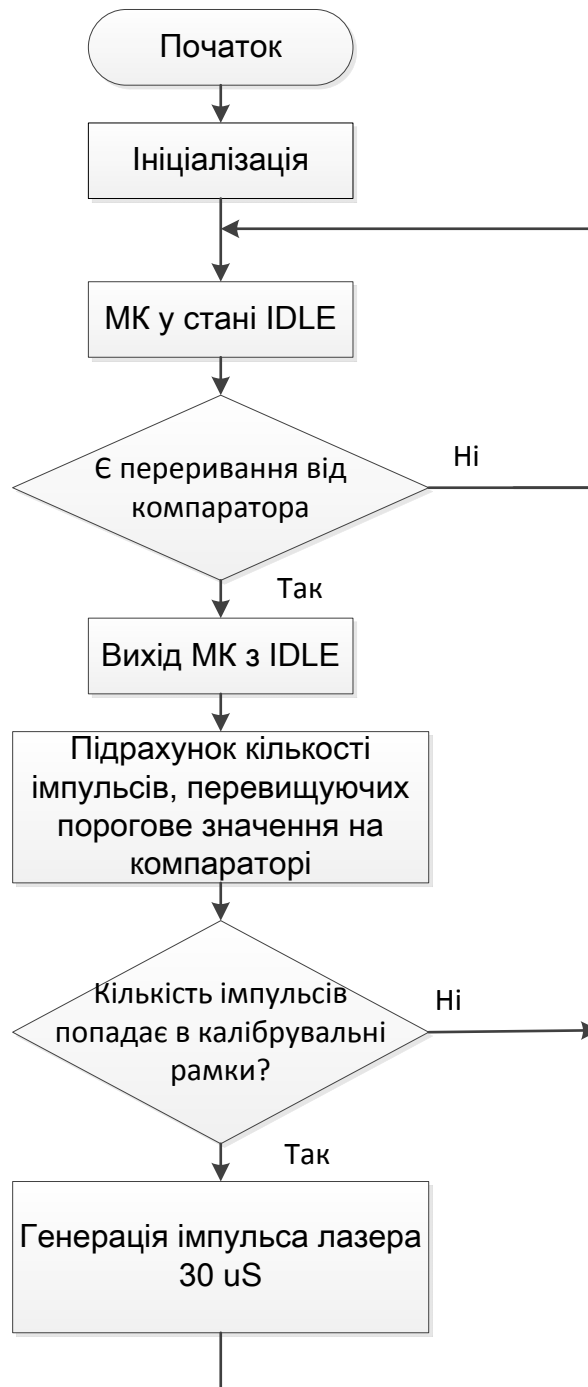


Рисунок 4.3 – Блок-схема алгоритму роботи тренажору

За запропонованим алгоритмом було реалізовано програму, яка частково наведена в лістингу 4.1.

Листинг 4.1.

```

#include <STDIO.H>

BIT B = 0;
CHAR TM_VAL;

```

```

INT KNT = 0;

INTERRUPT [TIM0_OVF] VOID TIMER0_OVF_ISR(VOID)
{
    PORTB.0 = B;
    B = !B;

    TCCR0=0X00;
    TCNT0=TM_VAL;
    PRINTF("%D ", KNT);
    KNT = 0;
}

INTERRUPT [ANA_COMP] VOID ANA_COMP_ISR(VOID)
{
    KNT++;
    TCCR0=0X05;
}
//=====
INLINE VOID INITHARDWARE ( )
{
    PORTB=0X00;
    DDRB=0X01;

    // TIMER/COUNTER 0 INITIALIZATION
    // CLOCK SOURCE: SYSTEM CLOCK
    // CLOCK VALUE      OCR0=0X00;

    // EXTERNAL INTERRUPT(S) INITIALIZATION
    // INT0: OFF
    // INT1: OFF
    // INT2: OFF
    MCUCR=0X00;
    MCUCSR=0X00;

    // TIMER(S)/COUNTER(S) INTERRUPT(S) INITIALIZATION
    TIMSK=0X01;

    // USART INITIALIZATION
    // USART BAUD RATE: 9600
    UCSRA=0X00;
    UBRRH=0X00;
    UBRL=0X0C;

    // ANALOG COMPARATOR INITIALIZATION
    // ANALOG COMPARATOR: ON
    // INTERRUPT ON OUTPUT TOGGLE
    // ANALOG COMPARATOR INPUT CAPTURE BY TIMER/COUNTER 1: OFF
    ACSR=0X08;
    SFIOR=0X00;
}
//=====

```

```

VOID MAIN(VOID)
{
    INITHARDWARE();
    TM_VAL = 0X1A0;
    PRINTF("READY!\n");

    #ASM("SEI")

    WHILE (1);

}

BIT B = 0;
CHAR TM_VAL;
INT KNT = 0;

INTERRUPT [TIMO_OVF] VOID TIMER0_OVF_ISR(VOID)
{
    PORTB.0 = B;
    B = !B;

    //
    //     TCCR0=0X00;
    //     PRINTF("%D ", KNT);
    //     KNT = 0;
}

INTERRUPT [ANA_COMP] VOID ANA_COMP_ISR(VOID)
{
    TCCR0=0X05;
}
//=====
INLINE VOID INITHARDWARE ()
{
    PORTB=0X00;
    DDRB=0X01;

    // TIMER/COUNTER 0 INITIALIZATION
    // CLOCK SOURCE: SYSTEM CLOCK
    // CLOCK VALUE: 1,953 KHZ
    TCCR0=0X00;
    TCNT0=0X1A0;
    OCR0=0X00;

    // EXTERNAL INTERRUPT(S) INITIALIZATION
    // INTO: OFF
    // INT1: OFF
    // INT2: OFF
    MCUCR=0X00;
    MCUCSR=0X00;

    // TIMER(S)/COUNTER(S) INTERRUPT(S) INITIALIZATION
    TIMSK=0X01;
}

```

```

// USART INITIALIZATION
// USART BAUD RATE: 9600
    UCSRA=0X00;
    UCSRB=0X08;
    UCSRC=0X86;
    UBRRH=0X00;
    UBRRL=0X0C;

// ANALOG COMPARATOR INITIALIZATION
// ANALOG COMPARATOR: ON
// INTERRUPT ON OUTPUT TOGGLE
    ACSR=0X08;
    SFIOR=0X00;
}
//=====
VOID MAIN(VOID)
{
    INITHARDWARE();
    TM_VAL = 0X1A0;
    PRINTF("READY!\n");

    #ASM("SEI")
    WHILE (1);
}

```

Апаратна реалізація електронної частини макета складається з лазера, стабілізатора струму для живлення лазера, мікроконтролера, джерела опорної напруги, схеми діодного захисту від перенапруги (у разі якщо амплітуда сигналу з п'єзоелемента перевищує допустиме значення входу компаратора, що дорівнює напруги живлення).

Внаслідок того, що генератор опорної напруги має досить великі габарити і високу вартість, а напруга з батарейного стабільна і його мінімальна межа всього на 0,2 В менше максимального, через розряд, то пропонуємо замінити його більш простим рішенням, у вигляді двох прецизійних резисторів. Резистори можна включити за схемою дільника напруги - пристрою, в якому вхідна та вихідна напруга пов'язані коефіцієнтом передачі.

Принцип розпізнавання координат попадання плями лазера на екран стрілецького тренажеру полягає в наступному (алгоритм цього процесу наведено на рисунку 4.4).

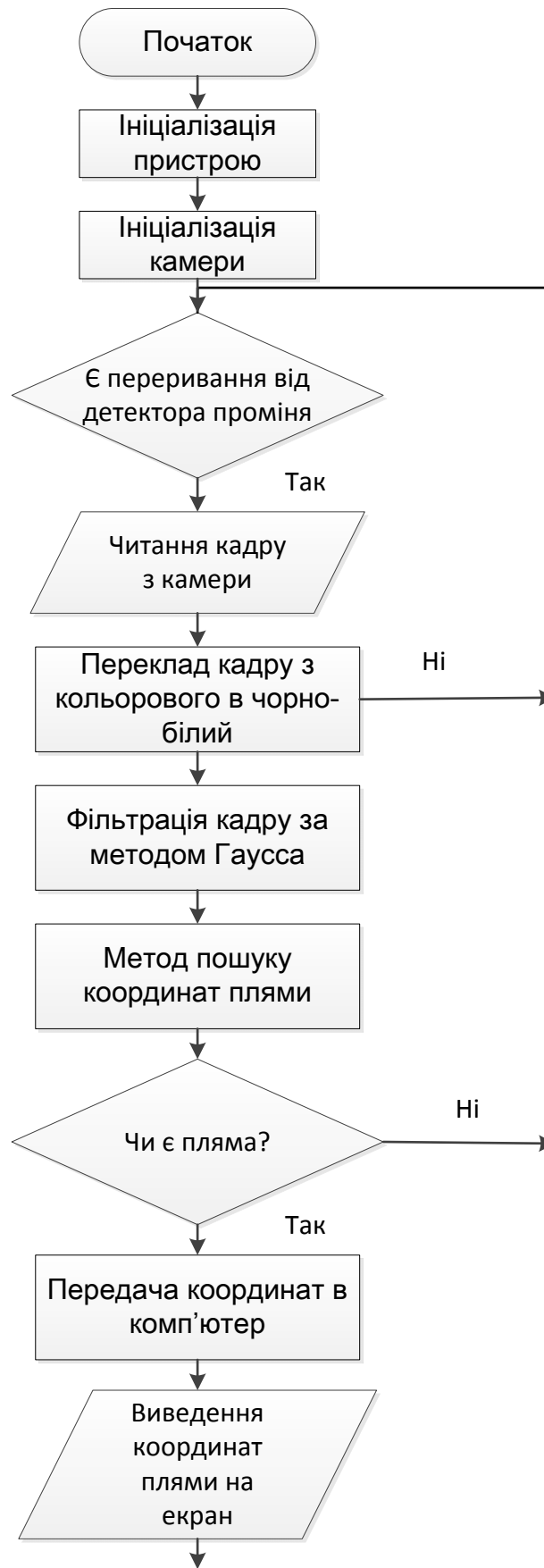


Рисунок 4.4 – Алгоритм роботи моделі інтерактивної спеціалізованої комп'ютерної тренінгової системи

Після того, як стрілець зробив постріл по мішені, промінь потрапляє на екран. Екран виконаний у вигляді прямокутного полотна білого кольору, такої форми, щоб на нього проектувалась заздалегідь обрана мішень або інтерактивний відеосюжет з проектора. Також на екран спрямована камера, в процесі установки має проводитися калібрування, тому камера захоплюватиме повністю весь екран.

На екран спрямовані два датчики, що визначають факт влучення променя в робочу область екрана. Один із них – це відеокамера, підключена безпосередньо до самого пристрою розпізнавання координат. Вона потрібна для точного розпізнавання координат плями. Другий датчик – це детектор 36 КГц. Через те, що відеокамера не може бути детектором таких частот, виникає необхідність використання даного датчика.

Після спрацювання цього датчика мікроконтролер приймає рішення, чи почати завантаження кадру з відеокамери, при цьому він переходить зі стану режиму сну в режим «повна потужність». У режимі спокою потужність знижена для енергозбереження. Схему даного вузла наведено на рисунку 4.5.

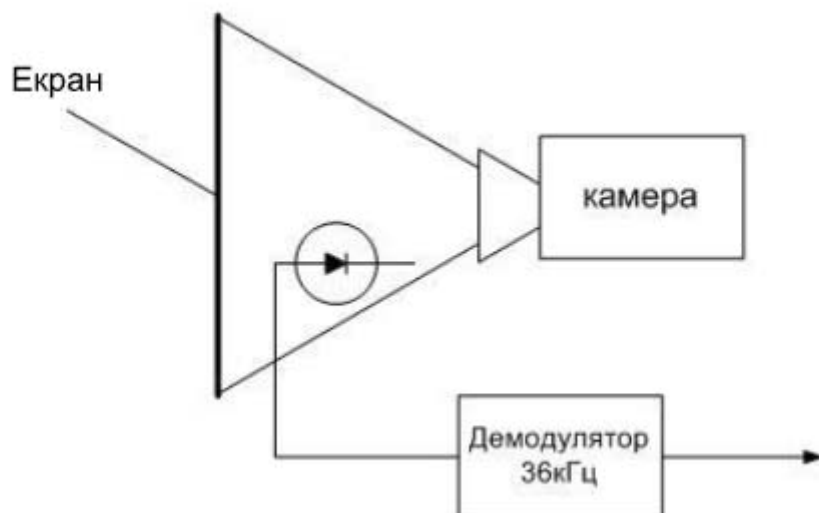


Рисунок 4.5 - Система фіксації п'ятна лазера на екрані.

Після цього мікроконтролер зчитує кадр із відеокамери в оперативну пам'ять. Якщо відеокамера кольорова, то отримане зображення буде переведено в чорно-білий вигляд. Отриманий кадр є звичайним масивом цілих чисел. Процедура перекладу здійснюється за такою формулою $Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$. Де Y – це яркісний канал, що кодується вісьмома бітами і передає глибину кольору, а $R G B$ – це абрєвіатури кольорів з англійської мови. Якщо відеокамера чорно-біла, цей крок пропускається.

Наступний крок – це легке розмиття, він дозволить згладити шуми з отриманого зображення. Для цієї процедури застосовується метод Гауссового розмиття. Він реалізується за допомогою матричного фільтра згортки. При обробці зображень як початкові виступають матриці RGB-каналів пікселів у прямокутних координатах.

Так як коефіцієнти ядра Гауссового фільтра загальновідомі та пораховані, то для даною роботи вони були взяті із довідника. Таблиця зі значеннями ядра наведена на рисунку 4.7.

0,000789	0,006581	0,013347	0,006581	0,000789
0,006581	0,054901	0,111345	0,054901	0,006581
0,013347	0,111345	0,225821	0,111345	0,013347
0,006581	0,054901	0,111345	0,054901	0,006581
0,000789	0,006581	0,013347	0,006581	0,000789

Рисунок 4.6 – Ядро Гауссового фільтра розмиття

Ядром зазвичай виступає і використовується матриця розміром 3×3 , але можливо і більше (5×5 , 7×7 і т.д.). Ядро містить ступені впливу оточуючих значень елемента на сам елемент.

Перетворення відбувається в наступний спосіб. Кожен елемент вихідної матриці збільшується центральне значення матриці ядра. Крім цього на відповідні значення множаться навколишні елементи (наприклад, при розмірі ядра 3×3 їх буде 8), після чого результати підсумовуються і приймаються як перетворене значення.

Програмна реалізація цифрової фільтрації кадру наведена у лістингу 4.2

Лістинг 4.2 – Цифрова фільтрація кадру

```

VOID DRAW() {
    // WE'RE ONLY GOING TO PROCESS A PORTION OF THE IMAGE
    // SO LET'S SET THE WHOLE IMAGE AS THE BACKGROUND FIRST
    IMAGE(IMG, 0, 0);

    // CALCULATE THE SMALL RECTANGLE WE WILL PROCESS
    INT XSTART = CONSTRAIN(MOUSEX - W/2, 0, IMG.WIDTH);
    INT YSTART = CONSTRAIN(MOUSEY - W/2, 0, IMG.HEIGHT);
    INT XEND = CONSTRAIN(MOUSEX + W/2, 0, IMG.WIDTH);
    INT YEND = CONSTRAIN(MOUSEY + W/2, 0, IMG.HEIGHT);
    INT MATRIXSIZE = 3;
    LOADPIXELS();
    // BEGIN OUR LOOP FOR EVERY PIXEL IN THE SMALLER IMAGE
    FOR (INT X = XSTART; X < XEND; X++) {
        FOR (INT Y = YSTART; Y < YEND; Y++ ) {
            COLOR C = CONVOLUTION(X, Y, MATRIX, MATRIXSIZE, IMG);
            INT LOC = X + Y*IMG.WIDTH;
            PIXELS[LOC] = C;
        }
    }
    UPDATEPIXELS();
}

COLOR CONVOLUTION(INT X, INT Y, FLOAT[][] MATRIX, INT MATRIXSIZE, PIMAGE IMG)
{
    FLOAT RTOTAL = 0.0;
    FLOAT GTOTAL = 0.0;
    FLOAT BTOTAL = 0.0;
    INT OFFSET = MATRIXSIZE / 2;
    FOR (INT I = 0; I < MATRIXSIZE; I++){
        FOR (INT J= 0; J < MATRIXSIZE; J++){
            // WHAT PIXEL ARE WE TESTING
            INT XLOC = X+I-OFFSET;
            INT YLOC = Y+J-OFFSET;
            INT LOC = XLOC + IMG.WIDTH*YLOC;
            // MAKE SURE WE HAVEN'T WALKED OFF OUR IMAGE, WE COULD DO BETTER HERE
            LOC = CONSTRAIN(LOC,0,IMG.PIXELS.LENGTH-1);
            // CALCULATE THE CONVOLUTION
            RTOTAL += (RED(IMG.PIXELS[LOC]) * MATRIX[I][J]);
            GTOTAL += (GREEN(IMG.PIXELS[LOC]) * MATRIX[I][J]);
            BTOTAL += (BLUE(IMG.PIXELS[LOC]) * MATRIX[I][J]);
        }
    }
    // MAKE SURE RGB IS WITHIN RANGE
    RTOTAL = CONSTRAIN(RTOTAL, 0, 255);
    GTOTAL = CONSTRAIN(GTOTAL, 0, 255);
}

```

```

BTOTAL = CONSTRAIN(BTOTAL, 0, 255);
// RETURN THE RESULTING COLOR
RETURN COLOR(RTOTAL, GTOTAL, BTOTAL);
}

```

Таким чином, перетворення однієї матриці за допомогою іншої в даному випадку - це перетворення зображення, в результаті якого на кожен піксель результату впливає область, що його оточує. Ступінь впливу цієї області визначається за допомогою «ядра» або матриці згортки.

Блок схема пристрою, яка виконує дані функції показано рисунку 4.8.

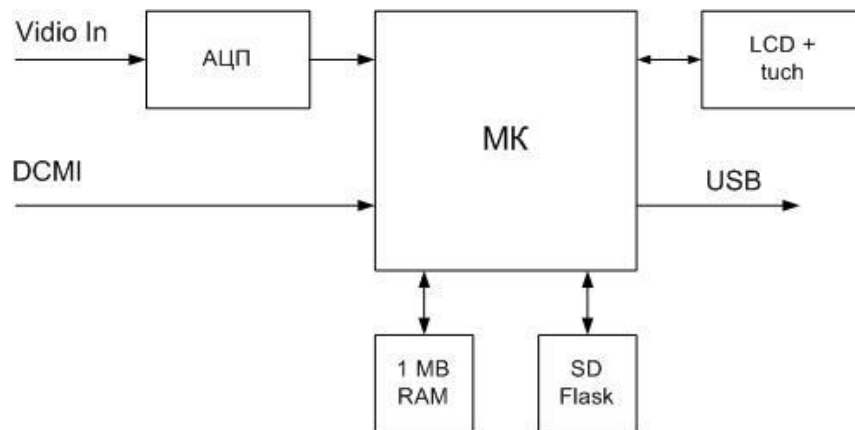


Рисунок 4.7 -Загальна схема пристрою визначення координат плями

Останнім і найважливішим етапом роботи системи є метод пошуку самої плями влучення. Результатом роботи якого є отримання координат центру плями. Отримані координати переводяться в окуляри – результати точності попадання по мішенню, і виводяться на екран стрілецького тренінгової системи.

У випадку, якщо до пристрою підключений комп'ютер, то в нього за допомогою USB шини передаються координати плями, після чого спеціальна програма обробляє отримані дані і відтворює відео на екрані.

5 ТЕСТУВАННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ТРЕНІНГОВОЇ СИСТЕМИ

За результатами проведених досліджень було спроектовано універсальну інтерактивну тренінгову систему, що забезпечує навчання стрільбі з навчальної зброї з лазерними вставками при незмінній комплектації системи, та методу вимірювання координат точки влучення у навчальну мішень.

У комплект обладнання інтерактивної тренінгової стрілецької системи входять наступні компоненти: відеопроєктор, відеокамера, аудіосистема, відеоекран або мультимедійний екран, пристрій розпізнавання місця влучення лазерної плями, алгоритмічне програмне забезпечення, тестовий відеосюжет та комп'ютер. Якщо система працює в автономному режимі, проєктор і комп'ютер не потрібні, вони замінюються екраном з намальованою статичною мішенню та рідкокристалічний дисплеєм для відображення навчальних результатів стрільб. У разі використання пари з комп'ютером заздалегідь обрані користувачем відеосюжети проєктуються стандартним відеопроєктором на екран, виготовлений з тканини зі спеціальним покриттям, що відповідає сумісності із перерахованим вище обладнанням, а також стандартам охорони праці та техніці безпеки на підприємстві.

Тестування системи показало наступні параметри:

- високу точність визначення точки влучення дистанційним електронно-оптичним безконтактним методом (не гірше $\pm 0,25$ % від діагоналі екрану);
- проміжок між пострілами – 0,1 сек. і більше для лазерного тирю;
- кількість одночасно оброблюваних цілей – необмежена;
- кількість оброблюваних пострілів за сеанс – до 1000;
- тривалість активної фази сеансу – не обмежена;
- швидке встановлення в приміщеннях існуючих тирів.

Також перевагою запропонованої мультимедійної системи є легка заміна компонентів комплектування і режим автономної роботи без використання дороговартісного обладнання, що дає можливість швидкої заміни компонентів

чи переобладнання будь-якого існуючого тиру в інтерактивну тренінгову стрілецьку систему за потреб навчальних закладів, спеціалізованих воєнізованих курсів чи збройних сил країни. Також дана система гарантує низьку вартість навчання та обслуговування необхідних компонентів та повну безпеку, оскільки завдати шкоди макетом зброї практично неможливо.

Окрім стрільби по об'єктах відеосюжету інтерактивна комп'ютерна система для тренувань і навчання спортсменів передбачає можливість стрільби по нерухомим фото- і відео зображенням, що з'являються і переміщуються як стандартні мішені у тирах із застосуванням вогнепальної зброї.

Таким чином, в даному випадку можна змінювати кількість та види появ мішеней, час знаходження мішені на екрані, швидкість і характер переміщення мішені, а також масштаб зображення мішені для імітації стрільби на дальність. Місця появи мішеней і траєкторії їх переміщення можуть задаватися випадковим чином, що виключає можливість звикання стрілка і попереднього прицілювання в точку появи мішені. Результат кожного пострілу відображається на екрані у вигляді позначки кольору точки попадання, видимої з лінії вогню. В кінці вправи виводиться таблиця з наступними результатами: кількість очок за кожен постріл, час між пострілами, сумарна кількість очок за всю вправу та сумарний час. Розроблене програмне забезпечення дозволяє здійснити швидкий вибір стрілецької вправи або відеосюжету завдяки зручному меню користувача.

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи був розроблений прототип інтерактивної комп'ютерної тренінгової системи, що реалізована з використанням спеціалізованих вбудованих мікроконтролерних систем. Розроблений прототип тренінгової системи забезпечує високу швидкодію для досягнення мінімально можливого проміжку часу між пострілами, а також забезпечує високу точність визначення координат пробіони.

Були розроблені оптимальні алгоритми обробки сигналів, що застосовуються в інтерактивному стрілецькому тренажері. Розроблено простий алгоритм виявлення світлової плями, що утворюється променем лазерної зброї. Розроблено алгоритм, що дозволяє формувати максимально наближені до реальності оцінки просторових координат центру світлової плями на екрані тренінгової системи.

Дані алгоритми були реалізовані на базі мікроконтролера STM32F4. Запропоновані алгоритми обробки сигналів дозволяють суттєво підвищити якісні показники стрілецької інтерактивної тренінгової системи до оптимальних параметрів.

Розроблені алгоритми дозволили отримати такі переваги над існуючими на поточний період в найдешевшому сегменті на ринку рішеннями:

Отже, розроблена інтерактивна тренінгова система для навчання стільбі в умовах максимально наближених до реальних при застосуванні пневматичної чи вогнепальної зброї. Подібні інтерактивні стрілецькі тренажери можуть розташовуватися у приміщенні стандартного тиру з електромеханічними мішенями, який можна легко переобладнати під зброю з лазерними вставками. Висока точність влучення лазерного пляма, що визначається безпосередньо оптоелектронним вимірником, а також швидкість отримання результатів у навчальному процесі дозволяє адаптовувати подібні системи для покращення рівня якості навчання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Пропозиції щодо концепції створення тренажерної бази для забезпечення заходів бойової та оперативної підготовки у Збройних силах України / Я.В. Мельник, А.А. Кравчук, Р.Г. Єфімова, В.Є., Бобильов // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони – 2018 - №1(31). — Режим доступу: http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=sitsbo_2018_1_13
2. Тренажер інтерактивний лазерний для тренування стрільби зі стрілецької зброї (Тренажер Т1) / Алексеев В.Ю., Бобарчук О.А., Соловйова Н.А., Яременко В.А., Яременко С.В. / Патент України на корисну модель — Режим доступу: <https://iprop-ua.com/inv/pdf/od2jk9za-description.pdf>
3. Застосування мультимедійних технологій при розробці та впровадження лазерного тиру для відпрацювання навчальних вправ зі стрілецької зброї / Бобарчук О.А., Соловйова Н.А. // Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності: науково-практична конференція, 11 – 12 листопада 2015 р.: тези доп. – К.:НАУ, 2015. – С. 16-18.
4. Інтерактивні тренінгові системи в мультимедіа (на прикладі комплексу для тренування стрільби зі стрілецької зброї) / Бобарчук О.А., Яременко С.В. – С. 19.
5. Сучасне вітчизняне інтерактивне мультимедійне обладнання для навчання та удосконалення вогневої підготовки працівників Національної поліції України. URL: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/143-150_7.pdf (дата звернення: 04.03.2023).
6. Мікроконтролер. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%B>

[E%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80](#) (дата звернення: 01.04.2023).

7. Мікропроцесори та Мікроконтролери курс лекцій. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/40858/1/Mikroprotsesory-ta-mikrokontrolery_2020.pdf (дата звернення: 11.04.2023).
8. What is the Difference Between a CCD and CMOS Camera Sensor? URL: <https://petapixel.com/what-is-ccd-cmos-sensor/> (дата звернення: 20.04.2023).
9. Лазер. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80> (дата звернення: 22.04.2023).
10. Реалізація реалістичного звуку стрільби зі стрілецької зброї / Бобарчук О.А., Стіщенко Б.І. – С. 18.
11. Keil uVision. URL: <https://cxem.net/software/keil.php> (дата звернення: 28.04.2023).
12. Комп'ютерне проектування електронних схем. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/21160/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D0%B2%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D1%96%D0%B2%D0%BA%D0%B8%20%D0%9A%D0%9F%D0%95%D0%A1.pdf> (дата звернення: 30.04.2023).