НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Протасов А.Г.

«___»_____20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю і діагностики**»**

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**»**

на тему: «Пристрій для сортування об'єктів за кольором»

Виконав (-ла):
студент (-ка) IV курсу, групи ПК-61
Гаренко Олексій Володимирович _____

Керівник:
К. т. н., доцент Галаган Роман Михайлович _____

Рецензент:

_____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	А4		Завдання на дипломну роботу	2	
2	А4	ДР ПК61.030000.000 ПЗ	Пояснювальна Записка	54	

				ДР ПК61.030000.000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розроб.	Гаренко О.В.			Відомість дипломної роботи	Лист	Листів
Керівн.	Галаган Р.М.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПСНК Гр. ПК-61	
Н/контр.	Лашко О.В.					
Зав. каф.	Протасов А.Г.					

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
на тему: «Пристрій для сортування об’єктів за кольором»

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Протасов А.Г.

«___»_____20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Гаренко Олексій Володимирович

1. Тема роботи «Пристрій для сортування об'єктів за кольором», керівник роботи Галаган Роман Михайлович, к.т.н, доцент, затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. №1180-с

2. Термін подання студентом роботи 10 травня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: платформа Arduino; сервоприводи; датчик кольору;

4. Зміст роботи

Вступ

1. Аналітичний огляд

2. Теорія кольорів

3. Запропонована система

4. Технічні характеристики пристрою

5. Програмування Arduino

6. Виготовлення приладу

Висновок

Список використаних джерел

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) 3 плакати

1 – Загальні положення про кольорове сортування

2 – Запропонована конструкція та її розробка

3 – Принцип роботи датчика кольору TCS230

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 виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	15.03.2020	
2	Проведення аналітичного огляду	10.04.2020	
3	Розробка моделі пристрою	20.04.2020	
4	Створення робочого пристрою	05.05.2020	
5	Оформлення пояснювальної записки	20.05.2020	
6	Розробка плакатів	30.05.2020	

Студент Гаренко О.В

Керівник Галаган Р. М.

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

Анотація

Дана дипломна робота складається з 54 сторінок, 37 ілюстрацій, 22 формул, 16 літературних джерел.

Ключові слова: сортування, Arduino, автоматизація, робототехніка.

В дипломній роботі була проведена розробка та конструювання приладу для сортування об’єктів за їх кольором.

Була створене програмне забезпечення, що приводить прилад в дію. Проведено відладкові роботи, що дозволили машині правильно сортувати об’єкти за їх кольором.

В результаті було створено повністю автоматизований прилад для вирішення проблеми сортування великих кількостей предметів за їх кольором.

Мета роботи полягає в визначенні оптимального методу сортування великої кількості об’єктів. Створенні прототипу пристрою, що виконував би цю задачу належним чином та не був занадто дорогим в виготовленні.

Предмет дослідження – методи сортування об’єктів за їх кольором, проблема сортування великої кількості предметів.

Наукова новизна – вирішення проблеми кольорового сортування, створення простого та ефективного прототипу пристрою.

Abstract

This thesis consists of 54 pages, 37 illustrations, 22 formulas, 16 references.

Key words: sorting, Arduino, automation, robotics.

In the graduate work was development and design of a device for sorting objects by their color.

Software was created that drives the device. Debugging was performed, which allowed the machine to properly sort objects by their color.

As a result, a fully automated device was created to solve the problem of sorting large numbers of items by their color.

The **purpose of the work** is to determine the optimal method of sorting a large number of objects. Creating a prototype device that would perform this task properly and not be too expensive to manufacture.

Subject of research - methods of sorting objects by their color, the problem of sorting a large number of objects.

Scientific novelty - solving the problem of color sorting, creating a simple and effective prototype device.

ЗМІСТ

ВСТУП 8

1. **АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД** 9

1.1 Кольорове зондування та ідентифікація 9

1.2 Сортування за кольором 10

2. **ТЕОРІЯ КОЛЬОРІВ** 12

2.1 Колірний простір 13

2.2 Трикомпонентний колірний простір стимулів 15

2.3 Кольоровий простір CIE XYZ 16

2.4 Функції кольорової відповідності 18

2.5 Хроматичні координати Yxy 20

2.6 Розрахунок координат кольорів 21

3. **ЗАПРОПОНОВАНА СИСТЕМА** 23

4. **ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИСТРОЮ** 25

4.1 TCS3200 датчик кольору 25

4.2 Серводвигун MG996R 26

4.3 Серводвигун MG90 Кольорове зондування та ідентифікація 27

4.4 Мікроконтролер Arduino UNO 28

5. **ПРОГРАМУВАННЯ ARDUINO** 30

6. **ВИГОТОВЛЕННЯ ПРИЛАДУ** 34

6.1 Демонстрація роботи приладу 50

ВИСНОВОКИ 52

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 53

					ПК 61.030000.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Гаренко О. В.			Пристрій для сортування об'єктів за кольором Пояснювальна записка	Літ.	Арк. / Аркушів
Перевір.		Галаган Р. М.					
Н. Контр.						ПБФ, ПК-61	
Затверд.		Галаган Р. М.					

Вступ

На сьогоднішній день в умовах інтенсивної конкуренції, ефективність виробництва, як правило, розглядається як ключ до успіху. Ефективність виробництва включає швидкість, з якою виробниче обладнання та виробнича лінія можуть знижувати матеріальну та робочу вартість продукту, покращуючи якість та знижуючи шанс браку, мінімізуючи простої виробничого обладнання та низьку собівартість виробничого обладнання. Враховуючи це питання, розробляється проект, який дуже корисний для виробничих галузей.

Основними завданнями дослідження є вивчення різних сортувальних процесів, проектування та виготовлення системи автоматичного кольорового сортування виробів, а також автоматичне відкидання несправного продукту з конвеєрної стрічки.

Основні переваги системи – це зменшення часу, необхідного для сортування продукту, оскільки вся система виконується машиною, менша ймовірність помилок, менша потреба енергії людини. Якщо виробництво може виробляти товар у необхідному діапазоні, тоді попит на продукт буде збільшений. Так компанія отримає вигоду.

Цілі цього проекту:

- Створити систему, яка може ідентифікувати різні кольори об’єктів
- Сконструювати пристрій, використовуючи:

  Серводвигуни постійного струму

  Мікроконтролер Arduino UNO R3
- Створити програму, яку можна використовувати для виявлення кольорів.

Основні сфери застосування:

- Сортування виробів відповідно до їх кольору.
- Забезпечення контролю якості в масовому виробництві.
- Деякі модифікації можуть бути використані для визначення розміру виробу.
- Також може застосовуватись в лабораторіях та майстернях.

1. Аналітичний огляд

Машини можуть виконувати швидко повторювані завдання краще, ніж люди. Втома робітників на складальних лініях може призвести до зниження продуктивності та спричиняють проблеми у підтримці якості продукції. Працівник, який виконував завдання з інспекції знову і знову може допустити помилку і невірно визначити колір продукту. Автоматизація більшості завдань на виробництві може допомогти підвищити ефективність виробничої системи. Метою цієї моделі є проектування і впровадження системи, яка автоматично відокремлює продукти за їх кольором. Ця машина складається з трьох основних деталей: транспортуючих елементів, датчика кольору та сервомоторів. Вихід і вхід цих частин пов’язані за допомогою Arduino UNO мікроконтролеру.

Для зменшення зусиль людини в механічному сортуванні розробляються різні типи сортувальних машин. Ці машини занадто дорогі через складність у процесі виготовлення. Загальна вимога в галузі кольорового сортування – це кольорове зондування та ідентифікація

1.1 Кольорове зондування та ідентифікація

Кольорові сенсорні системи все частіше використовуються в автоматизованих програмах для виявлення помилок автоматизації та контролю якості на виробничій лінії. Вони використовуються на складальних лініях для ідентифікації та класифікації виробів за кольором. Цілі їх використання включають перевірку якості продукції [1-3], полегшення сортування та упаковки [4-6], оцінку терміну придатності продуктів на зберіганні [7,8] та моніторинг відходів виробництва [9]. Отже, існує велика кількість кольорових датчиків, і вибір часто залежить від їх застосування [10, 11]. Низька вартість та простота кольорових датчиків є великою перевагою над складними рішеннями для менш вимогливих областей використання, де головним пріоритетом є витрати та енергоспоживання.

Назви кольорів можна використовувати і викликати досить послідовне сприйняття. Є одинадцять найменувань основних кольорів, які були визначені, такі як білий, сірий, чорний, червоний, жовтий, зелений, синій, помаранчевий, фіолетовий, рожевий та коричневий. Більшість або всі кольори можна описати у варіаціях та комбінаціях цих кольорів [12]. У зв'язку з тим, що кольоровий зір людини виконується трьома різними типами конусних клітин у сітківці, випливає, що для визначення будь-якого кольору необхідні і достатні три значення. Теорія кольорів описує, що є три значення, які можна розглядати як координати точки в тривимірному просторі, що породжує концепцію кольорового простору. Відтінок, насиченість та яскравість – створюють систему координат кольорів або колірний простір.

1.2 Сортування за кольором

Сортування – це будь-який процес упорядкування елементів у певній послідовності та / або в різних наборах. Він має два загальних відмінних значення, такі як впорядкування та категоризація. Упорядкування – це упорядкування предметів одного типу, класу, характеру, тощо у певній упорядкованій послідовності, в той час як категоризація – це групування та маркування предметів з подібними властивостями разом за категорією.

Bickman та інші [13] описали у статті про автоматизоване кольорове сортування за допомогою оптичної технології, що розвинулася з ранніх конструкцій, призначених для видалення керамічних забруднень. Конфігурація системи схожа на обладнання для автоматичного видалення кераміки, але обладнання для сортування за кольором використовувало інше джерело світла. Автоматизованим системам, як правило, можна доручити вибирати будь-який один або комбінацію трьох кольорів. Промислові програми вимагають певної автоматизованої візуальної обробки та класифікації предметів, розміщених на рухомому конвеєрі. Bozma та Yal-cin [14] стверджують, що предмети можуть бути розташованими випадковим чином з різною орієнтацією в просторі під час

руху по конвеєру. Камера, розташована над транспортером, ортографічно переглядає елементи. Boukouvalas та інші [15] описує інтегровану систему, розроблену для виявлення дефектів на кольоровій керамічній плитці та для кольорової класифікації бездефектних плиток. Інтегрована система, розроблена за проектом ASSIST (автоматична система для поверхневого огляду та сортування плиток), використовується для виявлення дефектів на кольорових плитках та для кольорової класифікації бездефектних плиток. Багато хто запропонував передові рішення для сортування упаковок, що підлягають переробці, для автоматизації процесів. Mattone та інші [16] пояснили методику виявлення та класифікації об’єктів. Більшість авторів вважають за краще використовувати метод 2D Vision для відокремлення об’єктів від відомого кольору конвеєру та отримати деякі їх геометричні параметри

2. Теорія кольорів

Теорія кольорів описує, що є три значення, які можна розглядати як координати точки в тривимірному просторі, що породжує концепцію кольорового простору. Відтінок, насиченість та яскравість – створюють систему координат кольорів або колірний простір.

На початку XX століття всі, люди, що займалися відтворенням кольору, основні кольори вибирали на свій розсуд. Вибір кольору був обумовлений, дуже часто, зручностями проведення експерименту. З цієї причини чисельні значення були точними лише для конкретного виміру, що в значній мірі ускладнювало використання отриманих результатів. Однак вдосконалення технологічних процесів, розвиток науки, техніки вимагали створення такої системи вимірювання кольорів, яка б дозволила об'єктивно оцінити їх. Для цього необхідно було створення відповідних систем вимірювання кольору.

Одним з головних вимог метрології (і метрології кольору, зокрема) є те, що результати вимірювань повинні бути однозначними і відтворюваними. Під однозначністю розуміють здатність однієї і тієї ж величини завжди давати однакові значення, під відтворюваністю – порівнюваність отриманих результатів вимірювань. Для задоволення цих вимог необхідно, щоб вимірювання проводилися в стандартних умовах , прийнятих за норму.

Сукупність нормованих умов вимірювань кольору становить колориметричну систему. В колориметрії нормують ті умови, які безпосередньо впливають на результат: кольоровість, рівень яскравості, розміри фотометричного поля.

Принцип побудови колориметричних систем ґрунтується на одному із законів Грассмана, згідно з яким будь-який колір може бути виражений трьома, якщо вони лінійно незалежні. Цій вимозі відповідають випромінювання синього, зеленого і червоного кольорів, які називаються тріадою.

З розміром фотометричного поля і рівнем яскравості пов’язана контрастна чутливість ока. Два об’єкти різного кольору, коли чутливість ока знижена, можуть виявитися невиразними при одній яскравості і помітнішими при іншій яскравості. Тому рівні колориметричних вимірювань нормують таким чином, щоб рівень яскравості був оптимальним по відношенню до чутливості людського ока.

2.1 Колірний простір

Колірний простір — модель представлення кольору, заснована на використанні колірних координат. Кольорова палітра будується таким чином, щоб будь-який колір був представлений точкою, що має певні координати. Найчастіше один колір буде відповідати одному набору координат, але це не так для деяких випадків (наприклад, для моделі CMYK, або, наприклад, коли кодується колірний тон — дані по тону «закільцьовані», мінімальне і максимальне значення збігаються).

Правилами побудови кольорів і набором колірних координат описуються колірні простори . Наприклад, RGB(рис. 1) є тривимірним колірним простором, де кожен колір описаний набором з трьох координат — кожна з них відповідає компоненту кольору в розкладанні на червоний, зелений і синій кольори. Розмірність простору задає кількість координат. Існує багато кольорових просторів різної розмірності — від одновимірних, які описують виключно монохромне зображення, до шести і десяти мірних, таких, наприклад, як простір CMYKLcLm (Cyan, Magenta, Yellow, Key color, lightCyan, lightMagenta). Найчастіше використовуються простори високої розмірності найчастіше в цілях друку на апаратах для кольоропроб або плоттерах.

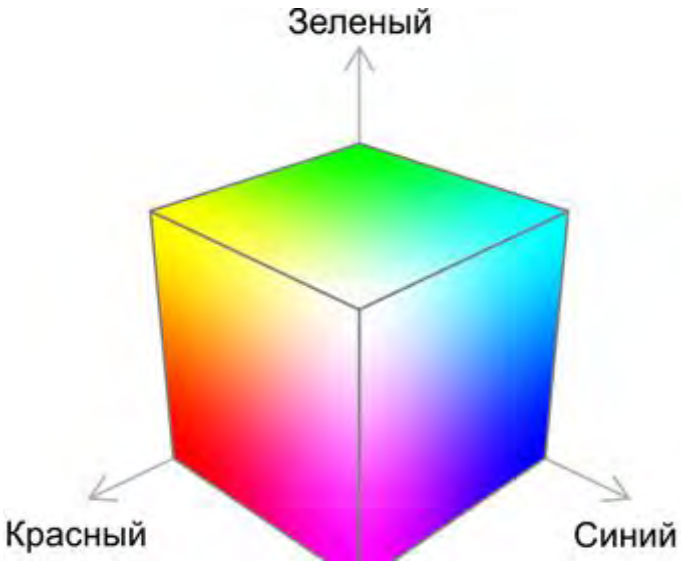

Рис. 1 Колірний простір RGB

Колірна модель — абстрактна модель опису представлення кольорів у вигляді кортежів (наборів) чисел, зазвичай з трьох або чотирьох значень, званих колірними компонентами або колірними координатами. Разом з методом інтерпретації цих даних (наприклад, визначення умов відтворення та / або перегляду — тобто завдання способу реалізації), множина кольорів колірної моделі визначає колірний простір.

Під колірною моделлю також необхідно розуміти спосіб відображення колірної гами в дискретному вигляді, для представлення її в цифрових, обчислювальних системах.

2.2 Трикомпонентний колірний простір стимулів

Колірний простір стимулів можна визначити як лінійний простір, якщо задати координати x, y, z як значення стимулів, відповідних відгуку колб довгохвильового (L), середньохвильового (M) і короткохвильового (S) діапазону оптичного спектра. Початок координат (S, M, L) = (0, 0, 0) представлятиме чорний колір. Білий колір не матиме чіткої позиції в даному визначенні діаграми всіляких кольорів, а буде визначатися, наприклад, через кольорову температуру, певний баланс білого або яким-небудь іншим способом. Повний колірний простір людини має вигляд конуса у формі підкови (рис. 2).

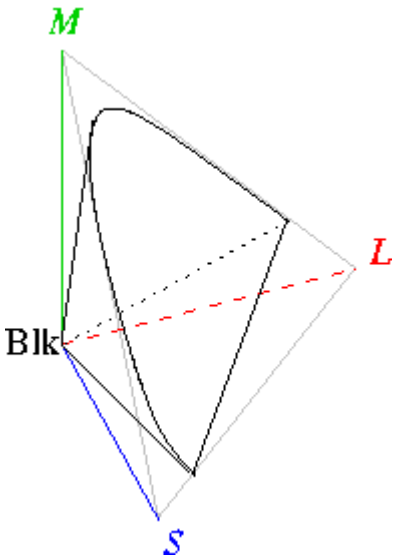

Рис. 2 Тривимірне представлення колірного простору людини

Дане подання принципово дозволяє моделювати колір будь-якої інтенсивності — починаючи з нуля (чорного кольору) до нескінченності. Однак, на практиці, людські рецептори перенасичуються або можуть бути навіть пошкоджені випромінюванням екстремальної інтенсивності, тому дану модель не можна застосовувати для опису кольору в умовах занадто високих інтенсивностей випромінювань і також не розглядає опис кольору в умовах дуже низьких інтенсивностей (оскільки у людини використовується інший механізм сприйняття через палички).

Будучи лінійним простором, простір кольорових стимулів має властивість адитивного змішування — сума двох колірних векторів буде відповідати кольору, рівному отриманому змішанням цих двох кольорів. Таким чином, можна описувати будь-які кольори (вектора колірного простору) через лінійну комбінацію кольорів, обраних як базис. Такі кольори називають основними (англ. *Primary colors*). Найчастіше основними кольорами вибирають червоний, зелений і синій (модель RGB), проте можливі інші варіанти базису основних кольорів. Вибір червоного, зеленого і синього оптимальний з кількох причин, наприклад, бо при цьому мінімізується кількість точок колірного простору, для представлення яких використовуються негативні координати, що має практичне значення для передання кольору (не можна відтворювати колір випромінюванням з негативною інтенсивністю). Цей факт випливає з того, що піки чутливостей L, M і S колб припадають на червону, зелену і синю частини видимого спектра.

Деякі колірні моделі використовуються для відображення кольору, наприклад відтворення кольору на екранах телевізорів і комп'ютерів, або кольорового друку на принтерах. Використовуючи явище метамерії, пристрої передачі кольору не відтворюють оригінальний спектр зображення, а лише імітують стимульну складову цього спектра, що в ідеалі дозволяє отримати картину, яка не відрізняється людиною від оригінальної сцени. На практиці таке, як правило, неможливо, оскільки пристрої відтворення працюють не в повній гамі і мають неідеальні випромінювачі.

2.3 Кольоровий простір CIE XYZ

Людина є трихроматом — сітківка очей має 3 види рецепторів світла, відповідальних за кольоровий зір. Кожен вид колбочок реагує на певний діапазон видимого спектра. Відгук, що викликається в колбочці світлом певного спектра, називається *колірним стимулом*, при цьому світло з різними спектрами може мати один і той же кольоровий стимул і, таким чином, сприйматися

людиною однаково. Це явище називається метамерією — два випромінювання з різними спектрами, але однаковими колірними стимулами, не будуть розрізнятися людиною.

Колірний простір XYZ — це еталонна колірна модель, задана в строгому математичному сенсі організацією CIE (International Commission on Illumination — Міжнародна комісія з освітлення) в 1931 році. Модель XYZ є майстер-моделлю практично всіх колірних моделей, що використовуються в технічних галузях.

В основу побудови колориметричної системи XYZ були покладені наступні положення:

1) все реальні кольори повинні мати тільки позитивні координати;

2) яскравість повинна визначатися однією координатою кольору;

3) координати білого кольору рівноенергетичного джерела повинні мати координати 0,33; 0,33.

Шляхом математичних перетворень з урахуванням вищевказаних вимог вдалося здійснити перехід від реальних кольорів системи CIERGB до нереальних (наднасичених) CIEXYZ. Згідно з другою умовою побудови колориметричної системи XYZ кольори X і Z мають яскравості коефіцієнти, рівні нулю ($L_x = 0; L_z = 0$), колір Y приймають рівним одиниці ($L_y = 1$). У цьому випадку формула для розрахунку яскравості B зазнає суттєвого спрощення:

$$B_к = 680 \cdot Y \tag{2.1}$$

де Y – координата кольору.

Яскравісний коефіцієнт кольору в цьому випадку визначається координатою кольоровості (y):

$$L_y = y \tag{2.2}$$

У загальному вигляді рівняння кольору в CIEXYZ записується в такий спосіб:

$$K = XX + YY + ZZ \tag{2.3}$$

Перехід до рівняння кольоровості в CIEXYZ здійснюється через m так само, як і в системі CIERGB:

$$K = \frac{X}{m}X + \frac{Y}{m}Y + \frac{Z}{m}Z = xX + yY + zZ \tag{2.4}$$

В даний час стандартна колориметрична система XYZ є робочою. Саме в ній проводять безпосередньо колорометричне вимірювання за визначенням колірних характеристик (яскравості, домінуючою довжини хвилі і чистоти кольору). Для визначення якісних характеристик кольоровості використовують діаграму ху, отриману розрахунковим шляхом з використанням кривих складання $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$.

2.4 Функції кольорової відповідності

Будучи трихроматом, людина має три типи світлочутливих рецепторів, або, іншими словами, зір людини трикомпонентний. Кожен тип детекторів (колб) розрізняє чутливість за різними довжинами хвиль спектра, що описуються функцією спектральної чутливості, яка безпосередньо визначається видом конкретних молекул фотопсінів, використовуваних даним типом колб. Можна сказати, що око, як детектор, видає три види сигналу (нервові імпульси). З математичної точки зору, зі спектра описуваного нескінченновимірним вектором, шляхом множення на функції спектральної чутливості колбочок, виходить трикомпонентний вектор, що описує детектований оком колір. У

колориметрії дані функції прийнято називати функціями кольорової відповідності (англ. *Color matching functions*), вони зображені на рис. 3.

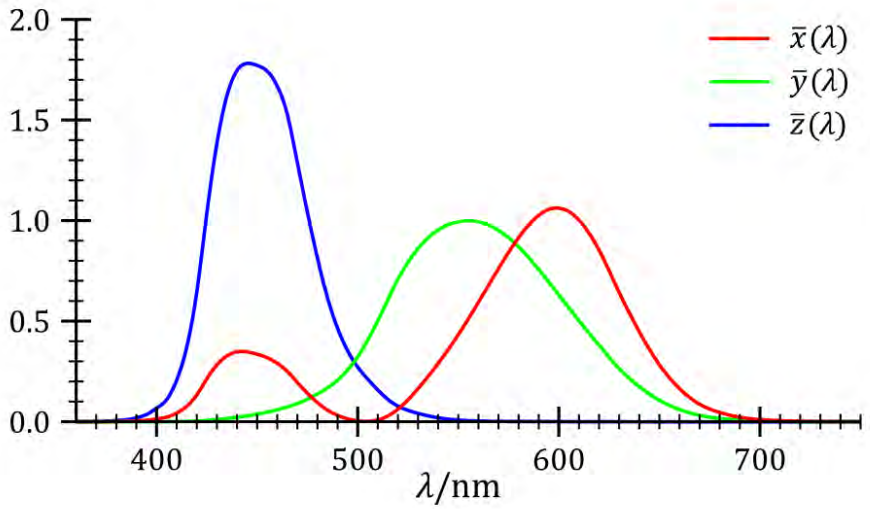

Рис. 3 Функції колірної відповідності

Експерименти, проведені Девідом Райтом і Джоном Гілдом наприкінці 1920-х і на початку 1930-х років, стали основою для визначення функцій кольорової відповідності. Спочатку функції кольорової відповідності були визначені для 2-градусного поля зору (використовувався відповідний колориметр). У 1964 році комітет CIE опублікував додаткові дані для 10-градусного поля зору.

При цьому у визначенні кривих моделі XYZ закладений фактор свавілля — форма кожної кривої може бути виміряна з достатньою точністю, проте крива сумарної інтенсивності (або сума всіх трьох кривих) укладає в своєму визначенні суб'єктивний момент, при якому реципієнта просять визначити, чи мають два джерела світла однакову яскравість, навіть, якщо ці джерела абсолютно різного кольору. Також, є довільність відносного нормування кривих X, Y і Z, оскільки можна запропонувати альтернативну працюючу модель, в якій крива чутливості X має дворазово посилену амплітуду. При цьому колірний простір буде мати іншу форму. Криві X, Y і Z в моделі CIE XYZ 1931 і 1964 були обрані таким чином, щоб площі поверхні під кожною кривою були рівні між собою.

2.5 Хроматичні координати Yxy

На рис. 4 представлена класична хроматична діаграма моделі XYZ з довжинами хвиль кольорів. Значення *x* і *y* в ній відповідають X, Y і Z згідно з такими формулами:

$$x = X/(X + Y + Z), \tag{2.5}$$

$$y = Y/(X + Y + Z). \tag{2.6}$$

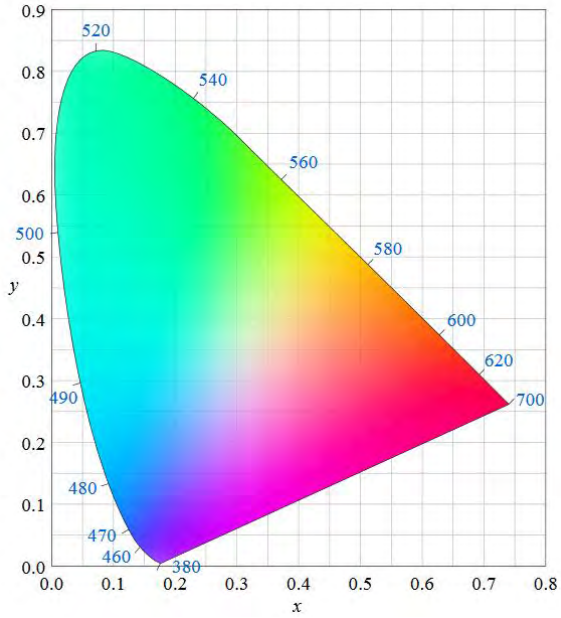

Рис. 4 Хроматична діаграма з довжинами хвиль кольорів

У математичному сенсі дану хроматичну діаграму можна представити як підобласть дійсної проективної площини, при цьому *x* і *y* будуть проективними координатами кольорів. Дане подання дозволяє задавати значення кольору через *світність* Y (англ. *Luminance*) і дві координати *x*, *y*. Однак світність Y в моделі XYZ і Yxy — це не те ж саме, що яскравість Y в моделі YUV або YCbCr.

Зазвичай діаграма Yxy використовується для ілюстрації характеристик гамутів різних пристроїв відтворення кольору — дисплеїв і принтерів. Конкретний гамут зазвичай має вигляд трикутника, кути якого утворені точками *основних*, або *первинних*, кольорів. Внутрішня область гамута описує всі кольори, які здатний відтворити даний пристрій.

2.6 Розрахунок координат кольорів

Будь-яке випромінювання характеризується розподілом по спектру. Тому, знаючи значення питомих координат, можна розрахувати координати кольорів випромінювань довільної потужності. Розрахунок заснований на адитивності колірних координат. Виходячи з формул

$$\bar{x}(\lambda) = \frac{X_\lambda}{\Phi_{0\lambda}}; \tag{2.7}$$

$$\bar{y}(\lambda) = \frac{Y_\lambda}{\Phi_{0\lambda}}; \tag{2.8}$$

$$\bar{z}(\lambda) = \frac{Z_\lambda}{\Phi_{0\lambda}}; \tag{2.9}$$

можна записати:

$$X_\lambda = \bar{x}_\lambda \cdot \Phi_{0\lambda}; \tag{2.10}$$

$$Y_\lambda = \bar{y}_\lambda \cdot \Phi_{0\lambda}; \tag{2.11}$$

$$Z_\lambda = \bar{z}_\lambda \cdot \Phi_{0\lambda}; \tag{2.12}$$

Для кожного з монохроматичних випромінювань Я колірне рівняння матиме вигляд:

$$K = \bar{x}_\lambda \cdot \Phi_{0\lambda} \cdot X + \bar{y}_\lambda \cdot \Phi_{0\lambda} \cdot Y + \bar{z}_\lambda \cdot \Phi_{0\lambda} \cdot Z; \tag{2.13}$$

Підсумовуючи значення координат по всій ділянці спектра для кожної довжини хвилі, отримуємо:

$$X = \sum \bar{x}_\lambda \cdot \Phi_{0X}; \tag{2.14}$$

$$Y = \sum \bar{y}_\lambda \cdot \Phi_{0Y}; \tag{2.15}$$

$$Z = \sum \bar{z}_\lambda \cdot \Phi_{0Z}; \tag{2.16}$$

З огляду на діапазон вимірювань для випромінювання з суцільним спектром, можна записати:

$$X = \int_{\lambda m}^{\lambda n} \bar{x}_\lambda \cdot \Phi_0(\lambda) d\lambda; \quad (2.17)$$

$$Y = \int_{\lambda m}^{\lambda n} \bar{y}_\lambda \cdot \Phi_0(\lambda) d\lambda; \quad (2.18)$$

$$Z = \int_{\lambda m}^{\lambda n} \bar{z}_\lambda \cdot \Phi_0(\lambda) d\lambda; \quad (2.19)$$

Якщо мова йде про несамосвітні тіла, тобто такі, які відбивають світло або пропускають його, то під знак інтеграла вводять або коефіцієнт віддзеркалення ρ, або коефіцієнт пропускання τ . Так можна зробити з тієї причини, що природні тіла мають безперервні криві розподілу, відображення або пропускання по спектру.

Тоді колірні координати, наприклад, середовища що пропускає світло будуть мати такий вигляд:

$$X = \int_{\lambda m}^{\lambda n} \bar{x}(\lambda) \cdot \Phi_0(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda; \quad (2.20)$$

$$Y = \int_{\lambda m}^{\lambda n} \bar{y}(\lambda) \cdot \Phi_0(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda; \quad (2.21)$$

$$Z = \int_{\lambda m}^{\lambda n} \bar{z}(\lambda) \cdot \Phi_0(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda; \quad (2.22)$$

Для світловідбиваючого середовища функція пропускання $\tau(\lambda)$ замінюється функцією спектрального відображення $\rho(\lambda)$. У наведеному випадку розглянутий розрахунок координат кольору для системи CIEXYZ. Однак він може бути взятий за основу і для інших основних колірних систем.

3. Запропонована система

Запропонована система призначена для автоматичного сортування об’єктів різного кольору. Блок-діаграма наведена на рис. 5. Прототип буде складатися з двох сервоприводів постійного струму, двох рухомих транспортуючих елементів, мікроконтролеру Arduino UNO та схеми кольорового зондування за допомогою TCS230 (рис. 6). Сервоприводи постійного струму використовуватимуться для управління рухомими елементами. Інтегруючи Arduino UNO і TCS230 в структуру моделі, ми виміряємо частоту сигналів, що відповідають кожному кольору. На основі цього дослідження значення затримки таймера скоригується перепрограмуванням Arduino. Також врахується час, необхідний для досягнення продуктом відповідного контейнера в сепараторі. Для створення відсіків будуть використані контейнери однакового розміру, призначені для збору предметів одного кольору. Кінцева секція складається з сервоприводу постійного струму, який використовується для управління переміщенням пластикового жолобу з метою розташування сепаратора відповідно до кольору об’єкта.

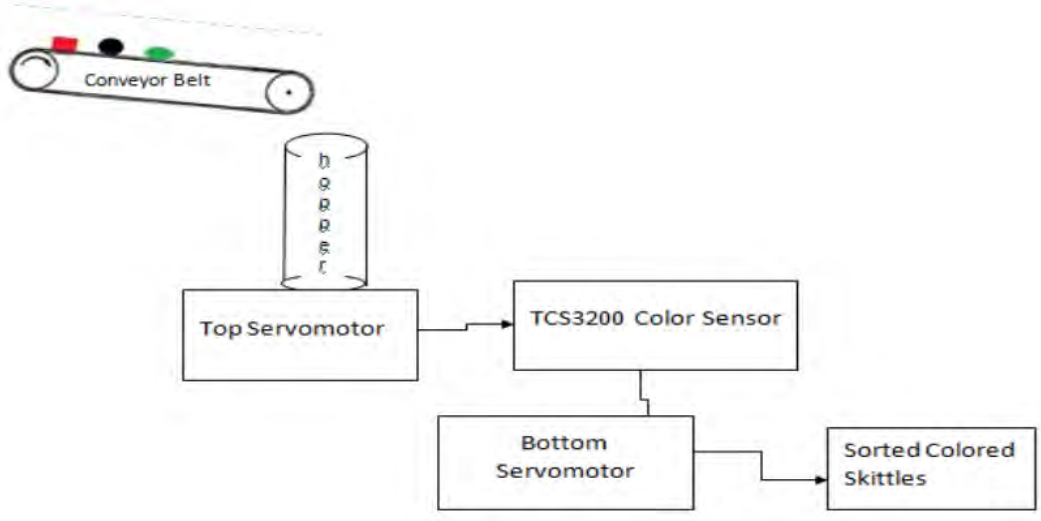

Рис. 5 Блок-схема приладу

Весь каркас, виключаючи джерело живлення постійного струму, висотою 25 см, шириною 9 см і завдовжки 10см (розміри не включають в себе жолоб).

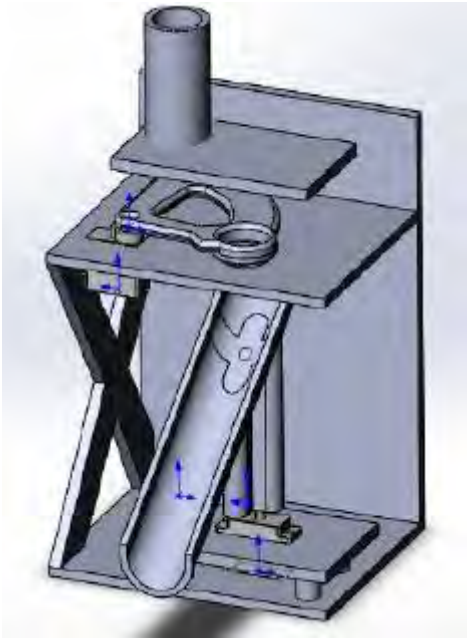

Рис. 6 3D модель майбутнього пристрою

4. Технічні характеристики пристрою

4.1 TCS3200 датчик кольору

TCS230 – це програмований кольоровий сенсорний модуль, оснащений перетворювачем GY-31 світла в частоту, який поєднує 8x8 фотодіод кремнію, з можливістю налаштування, як єдиний монолітний інтегральний ланцюг CMOS. Вихідний сигнал – квадратна хвиля (50-процентний робочий цикл) з частотою, прямо пропорційною інтенсивності світла (опромінення). Повну шкалу вихідної частоти можна масштабувати за одним із трьох заданих значень за допомогою двох керуючих входів. Цифрові входи та цифровий вихід дозволяють здійснювати пряме підключення до мікроконтролера або іншої логічної схеми. Увімкнення виходу (OE) переводить його у високоімпедансний стан для спільного використання вхідної лінії мікроконтролера. Перетворювач світло-частоти зчитує значення 8 x 8 масив фотодіодів. Шістнадцять фотодіодів мають сині фільтри, 16 фотодіодів мають зелені фільтри, 16 фотодіодів мають червоні фільтри та 16 фотодіодів чисті, без фільтрів. Усі чотири типи (кольори) фотодіодів є міжцифровими задля мінімізації ефекту неоднорідності падаючого опромінення. Всі 16 фотодіодів одного кольору паралельно з'єднані між собою та тип фотодіодів, які пристрій використовує під час роботи, можна вибирати керуючим входом. Фотодіоди – 120 мкм x 120 мкм розміром і знаходяться на 144-мкм центрі

Функціональна блок діаграма TCS3200 зображена на рис. 7

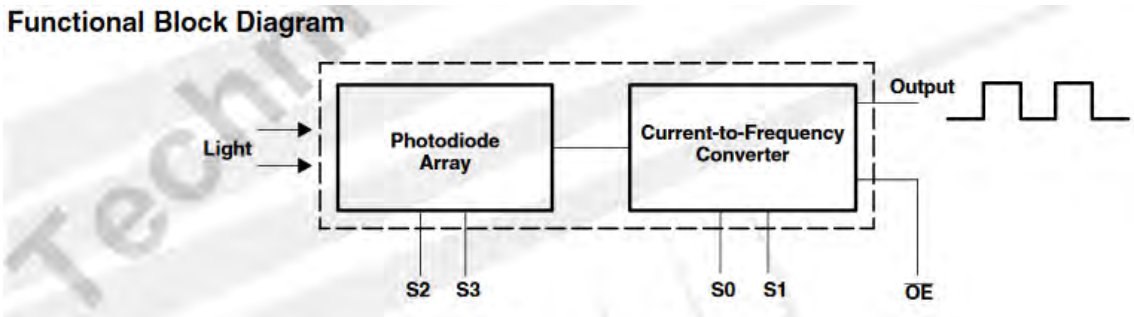

Рис. 7. Функціональна блок діаграма

4.2 Серводвигун MG996R

Цей цифровий сервопривід MG996R має металеву передачу, що призводить до надзвичайно високого крутного моменту на 10 кг у крихітному корпусі. MG996R, по суті, є вдосконаленою версією знаменитого сервоприводу MG995, оснащений оновленим протиударним корпусом та переробленою системою управління PCB та IC, що робить його набагато більш точним, ніж його попередник. Шестерня та мотор також були модернізовані для покращення центрування. Пристрій оснащений 30 см дротом та 3-контактним роз'ємом типу «S», що підходить для більшості приймачів, включаючи Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum та Hitec.

Цей стандартний сервопривод високого крутного моменту може обертатися приблизно на 120 градусів (60 в кожному напрямку). Ви можете використовувати будь-який серво-код, обладнання або бібліотеку для управління цими сервоприводами, тому він чудовий для початківців, які хочуть змусити свої вироби рухатись, не будуючи контролер двигуна зі зворотним зв'язком і коробкою передач, тим більше, що він поміститься в невеликих місцях.
Технічні характеристики:

- Вага: 55 г
- Розмір: 40,7 x 19,7 x 42,9 мм
- Обертовий крутний момент: 9,4 кгс · см (4,8 В), 11 кгс · см (6 В)
- Робоча швидкість: 0,17 с / 60º (4,8 В), 0,14 с / 60º (6 В)
- Робоча напруга: 4,8 В 7,2 В
- Сила струму 500 мА – 900 мА
- Стійкий струм 2,5 А (6 В)
- Ширина зони нечутливості: 5 мкс
- Температурний діапазон: 0 ºC – 55 ºC

Геометричні розміри зображені на рис. 8

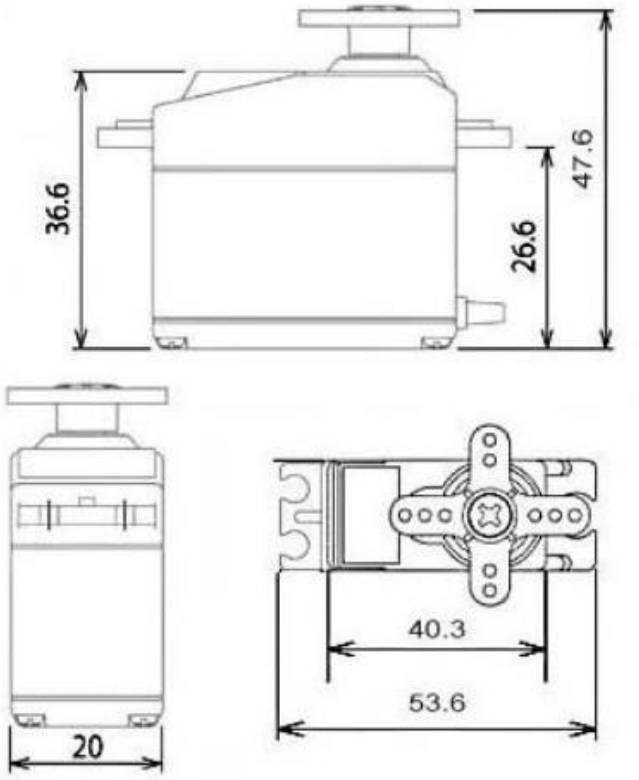

Рис. 8 Геометричні розміри серводвигуна MG996R

4.3 Серводвигун MG90

MG90 крихітний і легкий з високою вихідною потужністю. Сервопривід може обертатися приблизно на 180 градусів (90 в кожному напрямку), і працює так само, як і стандартні серводвигуни, але менший за розмірами. Ви можете використовувати будь-який серво-код, обладнання або бібліотеку для управління цим сервоприводом. Зручний для початківців, які хочуть змусити речі рухатися, не будуючи контролер двигуна зі зворотним зв'язком і коробкою передач, тим більше, що він поміститься в невеликих місцях.

Технічні характеристики:

- Вага: 9 г
- Розмір: 22,2 x 11,8 x 31 мм
- Обертовий крутний момент: 1,8 кгс · см
- Робоча швидкість: 0,1 с / 60 градусів

- Робоча напруга: 4,8 В (~ 5 В)
- Ширина зони нечутливості: 10 мкс
- Температурний діапазон: 0 ºС – 55 ºС

Геометричні розміри зображені на рис. 9

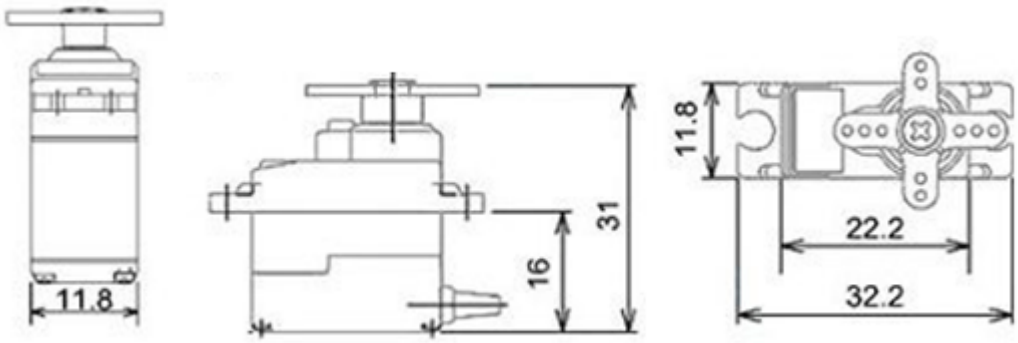

Рис. 9 Геометричні розміри MG90

4.4 Мікроконтролер Arduino UNO

Плата Arduino – це мікроконтролер, який здатний зчитувати різні вхідні сигнали, перетворювати їх та передавати на вихідні контакти. Відповідні технічні характеристики перераховані в таблиці 1. Інструкції можна записувати до плати за допомогою мови програмування Arduino. У цьому проекті використовується Arduino Uno (рис. 10).

Табл. 1 Характеристики Arduino UNO

Description	Values
Operating Voltage	5 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
SRAM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

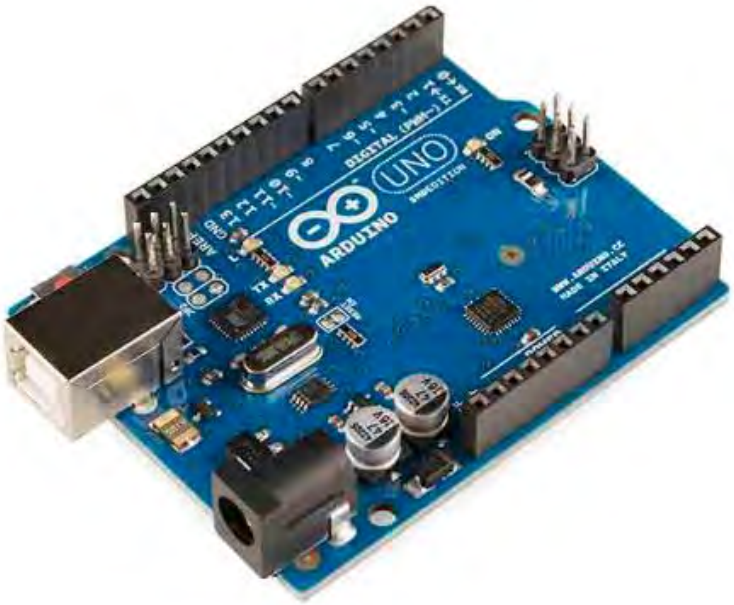

Рис. 10 Зовнішній вигляд плати

5. Програмування Arduino UNO для сортування кольорових об’єктів

Програмування Arduino UNO є досить простим і вимагає простої логіки для спрощення кроків сортування об’єктів за їх кольором.

Оскільки використовується сервомотор, то бібліотека сервоприводів є важливою частиною програми. Тут ми використовуємо два серводвигуни. Перший сервопривід перемістить кольорові кульки з початкового положення в положення детектора TCS3200, а потім переміститься в положення сортування, куди буде скинуто кульку. Після переходу до позиції сортування другий сервопривід опустить кульку, використовуючи спеціальний жолоб, до контейнеру потрібного кольору.

Першим кроком буде все включення бібліотеки та визначення змінних сервоприводу.

```
#include <Servo.h>
Servo pickServo;
Servo dropServo;
```

Кольоровий датчик TCS3200 може працювати без бібліотеки, оскільки для визначення кольору потрібна лише частота зчитування з піна датчика. Тому просто визначаємо номери контактів TCS3200.

```
#define S0 4
#define S1 5
#define S2 7
#define S3 6
#define sensorOut 8
int frequency = 0;
int color=0;
```

Робимо вибрані піни датчика вихідними, оскільки це зробить кольоровий фотодіод високим або низьким, також обираємо пін виходу TCS3200 як вхідний. Пін OUT передає частоту. Обераємо масштабування частоти спочатку 20%.

```
pinMode(S0, OUTPUT);
pinMode(S1, OUTPUT);
pinMode(S2, OUTPUT);
pinMode(S3, OUTPUT);
pinMode(sensorOut, INPUT);
digitalWrite(S0, LOW);
digitalWrite(S1, HIGH);
```

Сервомотори підключені на піни 9 і 10 Arduino. Серводвигун, що підбирає кольорові кулі, підключається на Pin9, а серводвигун, який опускає кольорові кулі відповідно до кольору, підключений на Pin10.

```
pickServo.attach(9);
dropServo.attach(10);
```

Спочатку сервомотор вибору встановлюється в початковому положенні, для початку це буде 115 градусів, після калібровки на реальному пристрої значення, можливо, зміниться. Мотор рухається після деякої затримки до області детектора і чекає визначення кольору.

```
pickServo.write(115);
delay(600);
for(int i = 115; i > 65; i--) {
  pickServo.write(i);
  delay(2);
}
delay(500);
```

TCS 3200 зчитує колір і задає частоту з вихідного піну.

```
color = detectColor();
delay(1000);
```

Залежно від виявленого кольору, сортувальний сервомотор повертається на певний кут і опускає кольорову кулю до відповідного контейнеру.

```
switch (color) {
  case 1:
  dropServo.write(50);
  break;
  case 2:
  dropServo.write(80);
  break;
  case 3:
  dropServo.write(110);
  break;
```

```
  case 4:
  dropServo.write(140);
  break;
  case 5:
  dropServo.write(170);
  break;
  case 0:
  break;
}
delay(500);
```

Сервомотор повертається у вихідне положення для наступного вибору кульки.

```
for(int i = 65; i > 29; i--) {
  pickServo.write(i);
  delay(2);
}
delay(300);
for(int i = 29; i < 115; i++) {
  pickServo.write(i);
  delay(2);
}
```

Функція detectColor () використовується для вимірювання частоти та порівняння частоти кольорів, щоб зробити висновок про колір. Результат друкується на моніторі. Потім віна повертає значення кольору до case структури, щоб повернути сервопривід сортування на необхідний кут.

```
int detectColor() {
```

Запис на S2 і S3 (LOW, LOW) активує червоні фотодіоди, щоб прийняти показання червоного кольору.

```
digitalWrite(S2, LOW);
digitalWrite(S3, LOW);
frequency = pulseIn(sensorOut, LOW);
int R = frequency;
Serial.print("Red = ");
Serial.print(frequency);//printing RED color frequency
Serial.print("   ");
delay(50);
```

Запис на S2 і S3 (LOW, HIGH) активує сині фотодіоди, щоб прийняти показання синього кольору

```
digitalWrite(S2, LOW);
digitalWrite(S3, HIGH);
frequency = pulseIn(sensorOut, LOW);
int B = frequency;
Serial.print("Blue = ");
Serial.print(frequency);
Serial.println("   ");
```

Запис на S2 і S3 (HIGH, HIGH) активує зелені фотодіоди, щоб прийняти показання зеленого кольору

```
digitalWrite(S2, HIGH);
digitalWrite(S3, HIGH);

// Reading the output frequency
frequency = pulseIn(sensorOut, LOW);
int G = frequency;
Serial.print("Green = ");
Serial.print(frequency);
Serial.print("   ");
delay(50);
```

Потім значення порівнюються для визначення кольору. Показання відрізняються будуть відрізнятися під час експериментальних налаштувань, оскільки відстань виявлення варіюється під час налаштування.

```
if(R<22 & R>20 & G<29 & G>27){
  color = 1; // Red
  Serial.print("Detected Color is = ");
  Serial.println("RED");
}
if(G<25 & G>22 & B<22 &B>19){
  color = 2; // Orange
    Serial.println("Orange  ");
}
if(R<21 & R>20 & G<28 & G>25){
  color = 3; // Green
    Serial.print("Detected Color is = ");
  Serial.println("GREEN");
}
if(R<38 & R>24 & G<44 & G>30){
  color = 4; // Yellow
     Serial.print("Detected Color is = ");
  Serial.println("YELLOW");
}
if (G<29 & G>27 & B<22 &B>19){
  color = 5; // Blue
   Serial.print("Detected Color is = ");
  Serial.println("BLUE");
}
return color;
}
```

6. Виготовлення приладу

Згідно з 3D моделлю були виготовлені дві частини пристрою неправильної форми, відповідальні за переміщення сортованих об’єктів. Деталі зображені на рисунках 11 та 12.

Рис. 11 Деталь подачі об’єктів

Рис. 12 Деталь типу жолоб

Деталь типу жолоб була пошкоджена при доставці, тому її було заклеєно та пофарбовано в білий колір, після ремонту деталь повернула собі початковий вигляд. На рисунку 13 добре видно заклеєне пошкодження деталі.

Рис. 13 Заклеєна тріщина

Було вирішено помістити мікроконтролер Arduino в спеціальний прозорий корпус із оргскла, для захисту плати від пошкоджень та зовнішнього впливу (рис. 14).

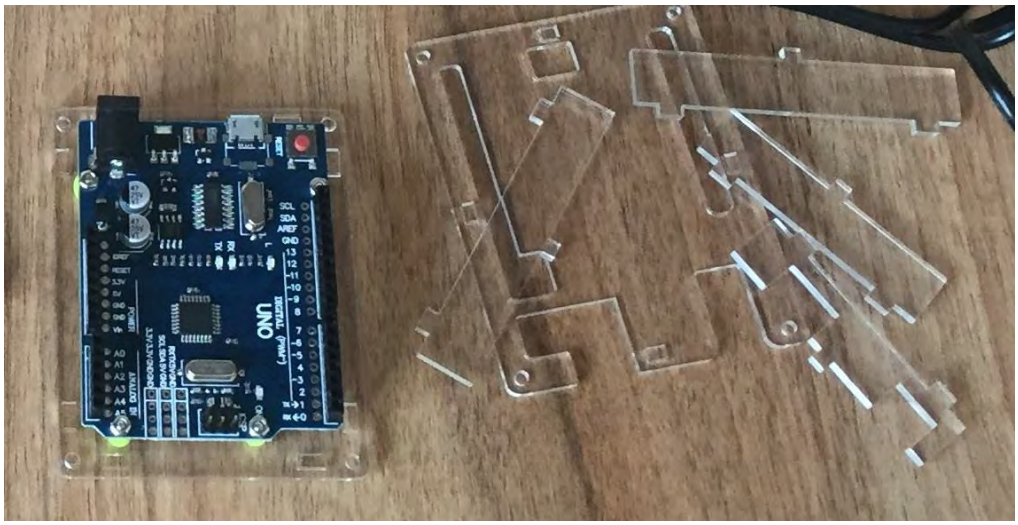

Рис. 14 Елементи захисного корпусу

При безпосередньому розміщенні плати в корпусі виникла проблема – роз’єм microUSB та роз’єм живлення плати були розташовані нижче спеціальних отворів для них. Для вирішення даної проблеми під плату, в місцях кріплення з корпусом, було розміщено спеціальні пластикові кільця, які підняли підняли мікроконтролер до потрібного рівня (рис. 15).

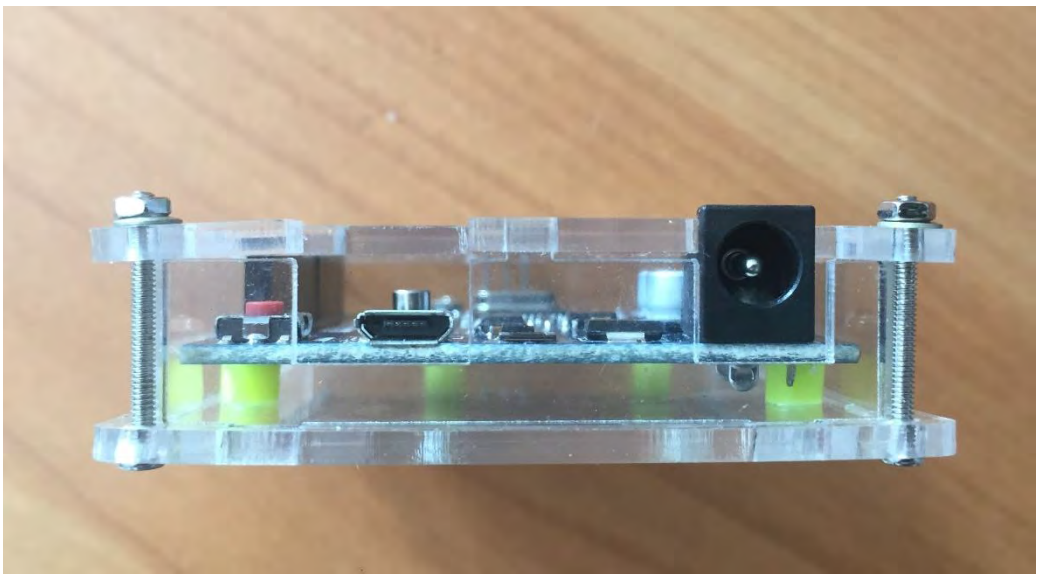

Рис. 15 Плата в захисному корпусі

Наступним кроком було з’єднання рухомих деталей з сервоприводами. Для цього було використано кріплення, що доставлялись в комплекті з сервоприводами.

Для скріплення верхньої рухомої частини було обране кріплення з двома пелюстками. В деталі було висвердлено два отвори під гвинти. Процес збірки цього вузла приладу зображено на рисунках 16-19.

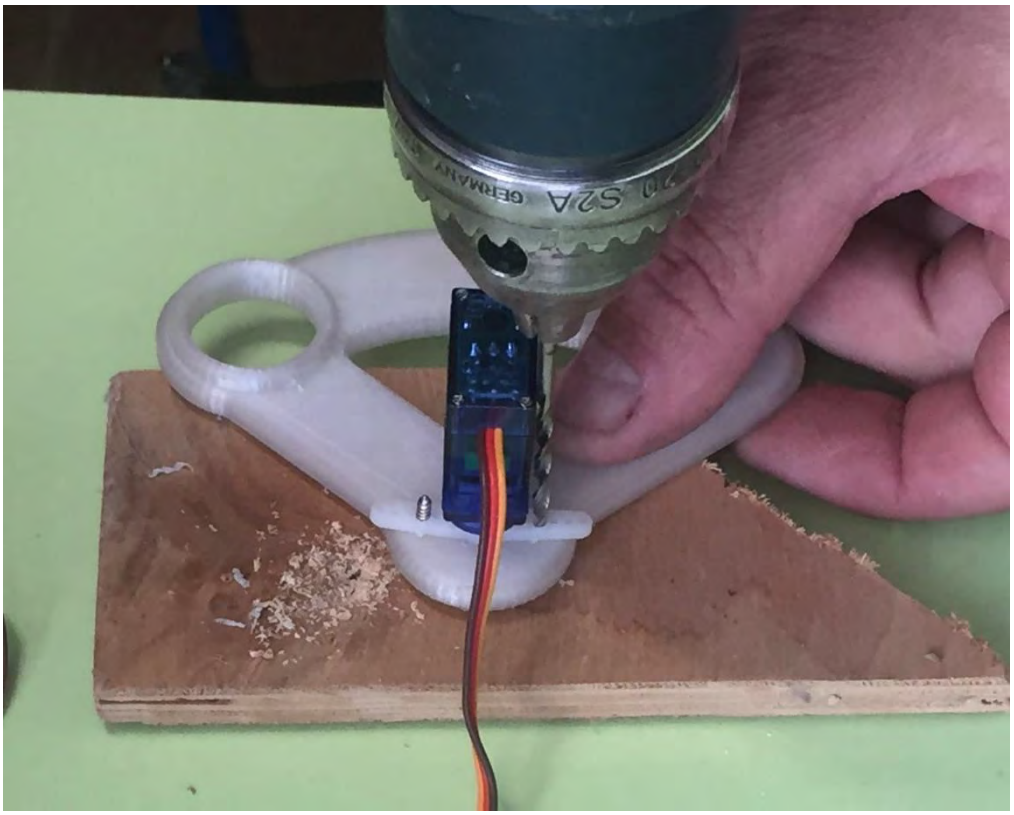

Рис. 16 Створення отворів під гвинти

Рис. 17 Рухома деталь з’єднана з кріпленням

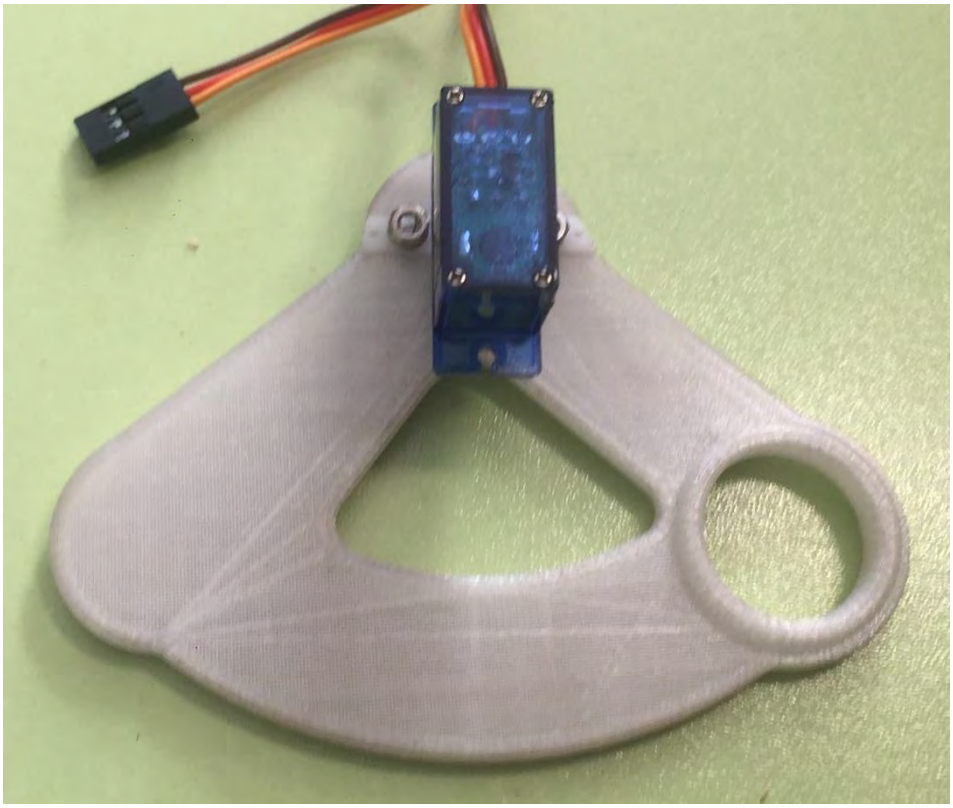

Рис. 18 Сервомотор розташований на своє місце

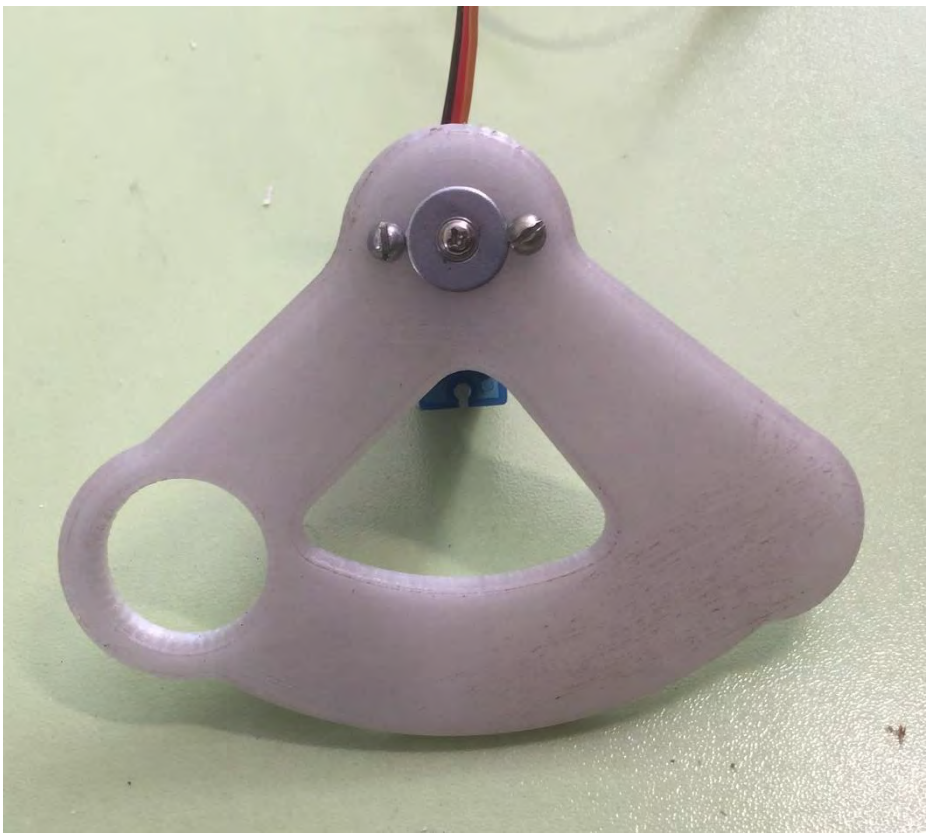

Рис. 19 Доданий третій гвинт з шайбою для більшої стійкості

Для скріплення нижньої рухомої частини було обране кріплення з чотирма пелюстками. В деталі було висвердлено чотири отвори під гвинти. Також було підготовлено сервомотор MG996R до роботи. Процес збірки цього вузла приладу зображено на рисунках 20-25.

Рис. 20 Сервомотор MG996R та його кріплення

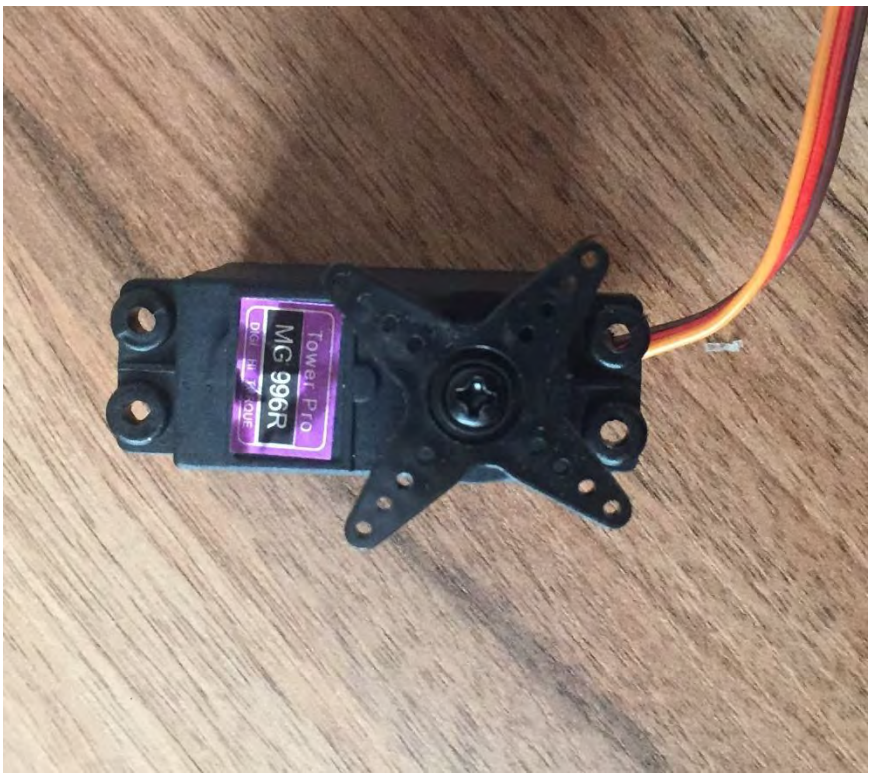

Рис. 21 Розміщене кріплення та гумові накладки

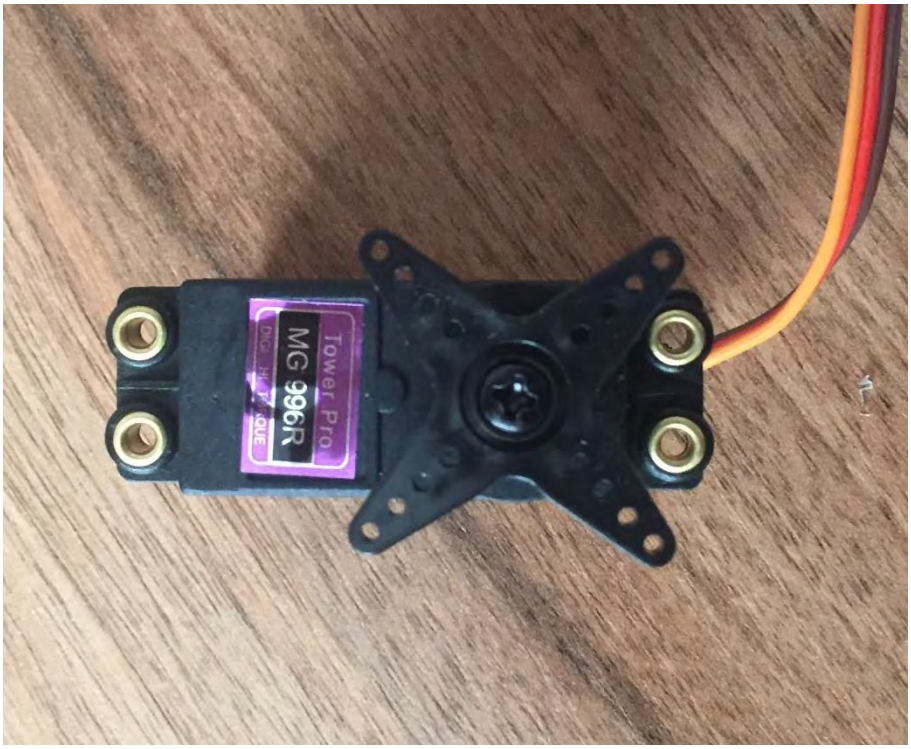

Рис. 22 Додані металеві кільця для гвинтів

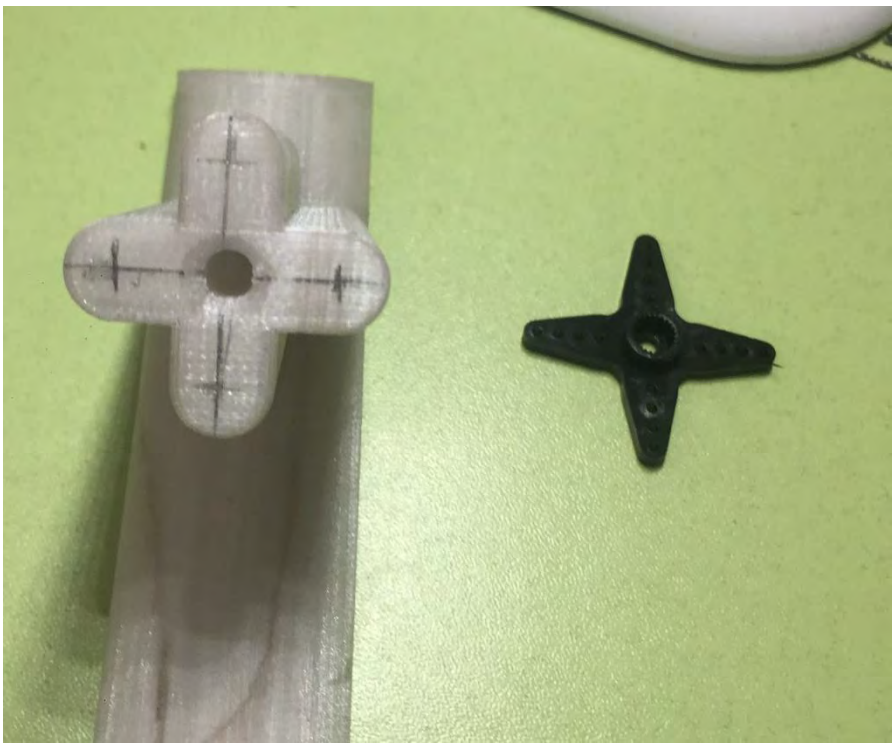

Рис. 23 Розмітка під отвори для гвинтів

Рис. 24 З’єднана деталь з кріпленням

Рис. 25 Готовий вузол приладу

Після збірки рухомих частин приладу, було обрано матеріал для корпусу, ним став пластиковий короб з товщиною стінки 2 мм. Він повністю підходив за своїми розмірами та дозволив зекономити час на друці корпусу на 3D принтері. Частини коробу були розрізані та склеєні потрібним чином, сформувавши корпус пристрою. Процес його виготовлення зображено на рисунках 26-30.

Рис. 26 Пластиковий короб

Рис. 27 Відрізання необхідних частин

Рис. 28 Основні частини корпусу

Рис. 29 Склейка частин корпусу між собою

Рис. 30 Готова основа корпусу

Наступний крок – установка сервоприводів на свої місця. Пластина з кріпленням для нижнього сервопривода не склеєна з корпусом, а розміщається в спеціальні пази. Це дозволяє отримати легкий доступ до мікроконтролеру Arduino, що знаходиться в середині корпусу. Також в корпусі висвердлено отвори для підключення живлення та керуючого проводу. Установка сервоприводів зображена на рисунках 31-33.

Рис. 31 Розміщення верхнього сервомотору та кріплення нижнього сервомотору

Рис. 32 Сервоприводи на своїх місцях

Рис. 33 Розташування плати Arduino

Останнім компонентом пристрою є датчик кольору, він розміщується на спеціальній пластині в верхній частині конструкції. Всі дроти, що з’єднують датчик з мікроконтролером проходять через спеціальний отвір та заховані всередині корпусу. Після його установки прилад є повністю завершеним та готовим до функціонування. Кріплення датчика кольору та фінальний вигляд пристрою зображено на рисунках 34-3т.

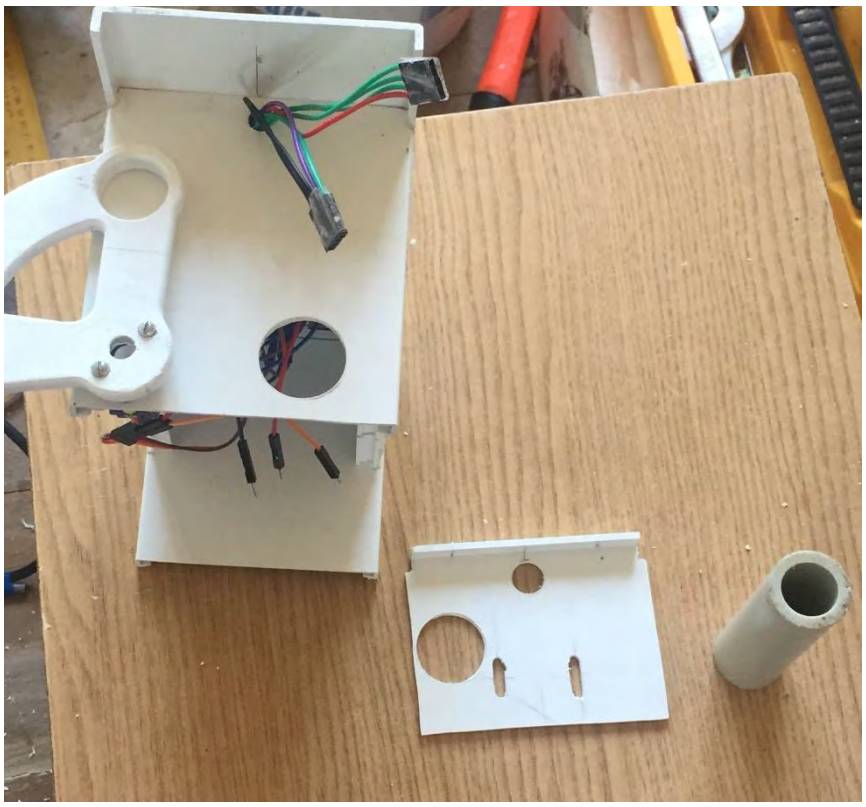

Рис. 34 Пластина для кріплення датчика кольору

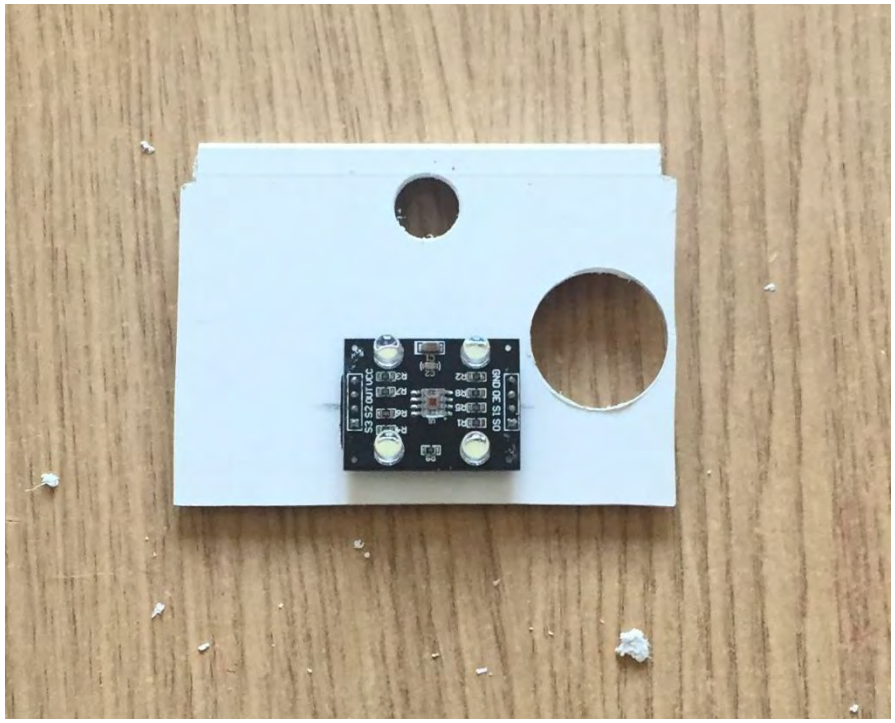

Рис. 35 Датчик вмонтований на пластину

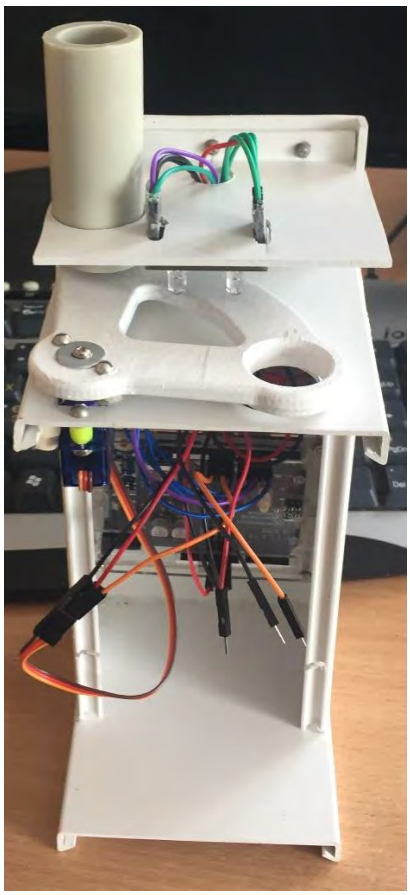

Рис. 36 Розміщення пластини на корпусі пристрою

Рис. 37 Готовий до роботи пристрій для сортування за кольором

6.1 Демонстрація роботи приладу

В результаті прилад спроможний автоматично сортувати об’єкти за чотирма типами кольорів: червоним, зеленим жовтим та фіолетовим. Решта кольорових предметів, якщо їх розмістити перед датчиком, не вплинуть на роботу пристрою, тому він може сортувати тільки задані кольори. Однак при зміні програмної частини роботи, машина зможе сортувати предмети іншого кольору. В якості об’єктів контролю були обрані кольорові цукерки «Skittles» овальної форми. Процес сортування зображено на рисунках 38-41.

Рис. 38 Об’єкт потрапляє в пристрій та підноситься до датчика

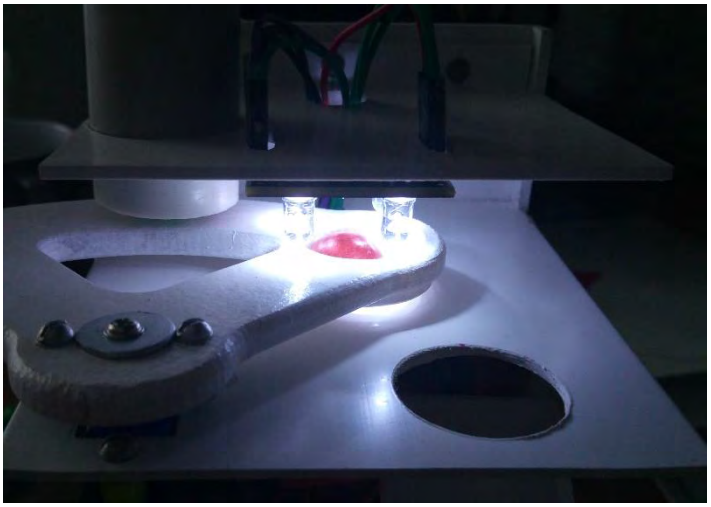

Рис. 39 Датчик визначає колір

Рис. 40 В залежності від кольору жолоб повертається до відповідного контейнеру

Рис. 41 Результат сортування

Висновки

На сьогоднішній день у висококонкурентному промисловому виробництві важливе значення має управління цілісністю постачання товару від сировини до готової продукції шляхом якісного виготовлення. Розроблений проект автоматичного сортування за кольором є відмінним завдяки принципу роботи та широкій реалізації. Застосовуючи ідею цього проекту, галузь може легко сортувати необхідний продукт відповідно до його кольору. Хоча це має деякі обмеження, але, внісши деякі зміни, ця концепція може бути реалізована в широкому діапазоні застосування.

Кінцевий результат дипломної роботи був цілком задовільним. Датчик кольору працює добре, і він міг досить добре виявити колір контрольованого об’єкту і змінити напрямок сервоприводу на правий і лівий бік, щоб сортувати об’єкти у потрібні місця. Система працює добре, запрограмована і виявляє об'єкт відповідно до їх кольору.

Список використаних джерел

[1] C. Zhang and K. S. Suslick, “Colorimetric sensor array for soft drink analysis”, J. Agric Food Chem, vol 55, pp 237-242, 2007.

[2] P. D. Oram and J. Strine, “Color measurement of a solid active pharmaceutical ingredient as an aid to identifying key process parameters”, J. Pharm Biomed, vol 40, pp 1021-1024, 2006.Author, Title of the Book, Publisher, (200X), pp:XXX-YYY.

[3] M. Frank, Nobert Kaiser, Wolfgang Buss, Ramona Eberhardt, “High-speed industrial color and position sensors”, Electronic Imaging’99, pp 50-57, 1999.

[4] A. Pacquit, J. Frisby, Danny Diamond, King Tong Lau, Alan Farrell, Brid Quilty, Dermot Diamond, “Development of a smart packaging for the monitoring of fish spoilage”, Food Chem, vol 102, pp 466-470, 2007.

[5] E. J. Cadieux Jr, “System and method for visually inspecting a cigarette packaging process”, ed: Google Patents, 2002.

[6] D.J. Lee and R. S. Anbalagan, “High-speed automated colorsorting vision system”, in Optical Engineering Midwest’95, pp 573-579, 1995.

[7] J. V. Popov-Ralji, et al, “Investigations of bread production with postponed staling applying instrumental measurements of bread crumb color”, Sensors, vol 9, pp 8613- 8623, 2009.

[8] J. V. Popov-Ralji and J. G. Lalii-Petronijevi, “Sensory properties and color measurements of dietary chocolates with different compositions during storage for up to 360 days”, Sensors, vol 9, pp 1996-2016, 2009.

[9] R. Bogue, “Optical chemical sensors for industrial applications”, Sensor Review, vol 27, pp 86-90, 2007.

[10] R. Baribeau, “Color reflectance modeling using a polychromatic laser range sensor”, IEEE T Pattern. Anal., vol. 14, pp. 263-269, 1992.

[11] H. Escid, et al., “0.35 mm CMOS optical sensor for an integrated transimpedance circuit”, the International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, vol. 4, no. 3, pp. 467481, September 2011.

[12] Norfazlinda Binti Daud, ”Application of colors sensor in an automated system”, Technical University Malaysia, May 2007.

[13] Bickman, Josh, “Automated Color-Sorting uses optical technology”, vol. 13, 1996.

[14] Bozma and Yal-cin, “Visual processing and classification of items on a moving conveyor: a selective perception approach”, vol. 18, issue 2, 2002.

[15] C Boukouvalas, J Kittler, R Marik, M Mirmehdi and Petrou, “Ceramic tile inspection for color and structural deffects”, University of Surrey, 1995.

[16] R Mattone, G. Campagiorni, F. Galati, “Sorting of items on a moving conveyor belt. Part1: A Technique for detecting and classifying objects”, vol. 16, issues 2-3, 1999.

[17] Петрик, В. Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс] : навчальний посібник з дисциплін «Метрологія» та «Сертифікація і стандартизація» / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,04 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с.

[18] Бруслик М. О. Обнаружение объектов с помощью систем компьютерного зрения / М. О. Бруслик, А. В. Муравьев // Новые направления развития приборостроения: материалы 10-й международной научно- технической конференции молодых ученых и студентов, 26-28 апреля. – Минск, Беларусь, 2017. – С. 27-28.

[19] Бруслік М. О. Системи комп'ютерного зору в технології доповненої реальності та їх використання в навчанні / М. О. Бруслік, О. В. Муравйов // XI Науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2018 р., м. Київ, Україна: збірник статей. КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, 2018. – С. 389–391.