

# 不同情境下顏色感應器偵測誤差之探究

## The Investigation of Color Sensor in Detecting outcomes under Different Circumstances

潘姿卉<sup>1</sup> 吳珈穎<sup>1</sup> 李翌<sup>1</sup> 黃昭銘<sup>2\*</sup>

PAN, TZU-HUI<sup>1</sup> WU, JIA-YING<sup>1</sup> LI, YI<sup>1</sup> HUANG, CHAO-MING<sup>2\*</sup>

1宜蘭縣立宜蘭國民中學

1 Yi-Lan Junior High School

2宜蘭縣宜蘭市中山國民小學教師

2 Jhong-Shan Elementary School Teacher

E-mail : isa324574@gmail.com

\* Corresponding Author

### 摘要

由於先前參加機器人比賽任務中，規定機器人必須透過顏色傳感器先檢測到指定的色環，接著機器人還必須判斷並找到正確的色環並將色環推入得分區。顏色傳感器主要利用 LED 光通過反射的方式獲取 RGB 值，因此在同一場比賽中完成上述兩個任務並不是一件容易的事。顏色傳感器 RGB 值設置可能因不同因素而異，例如光線、距離和環顏色，因此本研究試圖探索干擾顏色傳感器檢測的可能因素。

研究結果顯示在不同頻率色光照射下，偵測到色卡的 RGB 值較接近。流明度越高會影響準度與精度表現，在偵測時與目標物的距離越遠準確度低但精確度高，光源的高度越高準度越低。

**關鍵字：**顏色感測器、誤差率

### Abstract

This study tried to explore the outcomes of color sensor under different circumstances. According to the rule of previous robot competition, robot had to detect assigned color ring first. Moreover, the robot had to find the right color ring and push the ring into score zone. The color sensor uses the LED light to obtain RGB value by means of reflection. It is not very easy to complete these two works at the same game.

Previous color sensor RGB value settings may vary with different factors, for example light, distance and ring color. This study tried to explore possible factors which will interrupt the detection of color sensor.

It revealed that the RGB value is related to difference color light. Additionally, the lumen of LED and the distance of detection as well as the high of light source will influence the accuracy and precision of detection.

**Keywords : Color sensor, Error rate**

## 壹、前言

前一陣子我參加機器人觀摩賽，比賽的主題是以「第 52 屆技能競賽機器人職類」的題目，比賽過程中要求機器人必須先感測色環顏色並把乒乓球投到對應的顏色框中。但因為光線亮暗和環境中的光源，比賽當天原本調整好的顏色感測數值，一旦到正式比賽的場地進行正式比賽時常常會發生判斷顏色數值錯誤，讓我們無法順利將乒乓球順利推到對應的顏色框之中。比賽結束後我們發現其他隊伍也有這方面的問題，這個現象往往都是機器人的顏色感應器偶爾會收錯預定顏色的盤子，這讓我非常困惑。尤其每年的比賽都會以顏色偵測為比賽重要的一環，為了解決這個疑問，所以我們想進一步探究與驗證我們這個猜測。由於我們認為不同的光源對於顏色感應器偵測顏色數值會有所影響，因此我們決定設置三種變因（亮度、光頻率區間與光源高度），來探討顏色感應器在不同情境下的偵測誤差率。

感應器不是感應顏色的嗎?深入了解後發現光學傳感器可用於根據顏色或透明度分析，該技術用於按顏色區分顏色色階(RGB 系統)。所以任何會影響色階訊號接收的因素，皆會造成偵測有誤差。我們希望透過這個研究找出不同變因對偵測誤差的影響。

針對我們的想法，我們想探究在不同光源下顏色感應器的偵測誤差，而市面上光的顏色電燈就有黃光與白光，燈泡的種類有傳統燈泡、LED 燈泡，所以我們也想探究在不同光頻率區段顏色感測器的表現，我以我們的研究所要探究

的主題有三項：

- 一、探討顏色感應器在不同光頻率區段的偵測誤差
- 二、探討顏色感應器在不同光強度的偵測誤差
- 三、探討不同高度下光源對於顏色感應器的偵測誤差

我們將研究問題與資料收集相關資訊收集並會製成研究架構圖(圖 1 所示)。

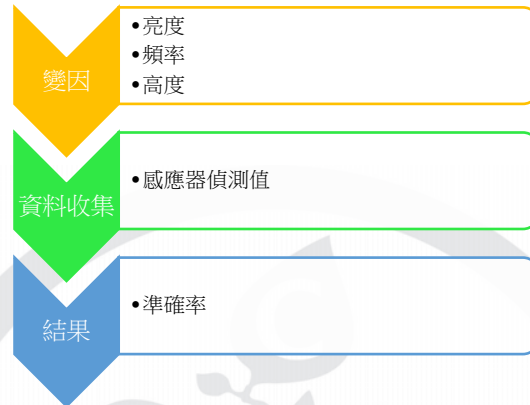


圖 1. 研究架構圖

圖 1 中所顯示的變因為本次研究所要探討的問題，包含亮度、頻率與高度，資料的收集主要是顏色感應器所偵測到的顏色數值，結果分析則是針對準確率來進行判斷。

## 貳、文獻探討

### 一、VEX IQ 顏色感應器

VEX IQ 光學傳感器是一種能夠檢測環境中反射光強度的傳感器。可以通過 VEX IQ 編程軟件進行編程，用於機器人控制、自動化等應用中。該傳感器基於光電效應，通過發射紅外線光線，檢測其反射光強度來進行測量。具體來說，傳感器發射一束紅外線光線，當它碰到物體表面時，會產生反射，反射光線再次被傳感器接收。傳感器通過測量接收到的反射光線的強度來判斷物體的位置、距離和表面特性等。VEX IQ 光學傳感器的測量精度取決於光線的發射和接收，以及環境中反射光的影響。因此，在使用傳感器時需要注意其定位和

校準，以確保測量結果的準確性和可靠性<sup>1</sup>。

## 二、可見光譜

可見光譜是指人眼能夠感知的波長範圍，通常被分為紅、橙、黃、綠、青、藍、紫七種基本顏色(王尊信、洪連輝，2009)。這些顏色是由不同波長的光線混合而成的。人眼可以感知波長範圍在約 380 到 780 納米之間的光線，這個範圍稱為可見光譜。在這個範圍內，不同波長的光線呈現不同的顏色，並可以通過顏色分辨來區分。

可在見光譜中，紅色的波長最長，為約 620-750 納米，綠色的波長居中，為約 495-570 納米，藍色的波長最短，為約 450-495 納米。紫色的波長比藍色還要短，約為 380-450 納米。橙、黃、青色則是由紅、綠、藍三種基本顏色混合而成。顏色分辨是指人眼能夠區分不同的顏色。人眼對顏色的分辨度取決於兩個因素：色差閾值和亮度。色差閾值是指兩種顏色之間的最小可感知差異，亮度則是指顏色的亮度強度。顏色分辨力因人而異，有些人比較敏銳，可以區分更細微的顏色差異，而有些人則相對較差。此外，顏色分辨力也受到光線強度、波長、背景等因素的影響。在特定條件下，例如光線強度過低或過高、背景過於複雜等，顏色分辨力也可能會下降。總體而言，可見光譜的顏色分辨力是由波長和光線強度共同決定的。在正常光線強度下，人眼能夠分辨出七種基本顏色，以及由這些顏色混合而成的各種中間顏色。

## 三、標準差

標準差是描述一組數據離散程度的統計量，用來度量數據點與其平均值之間的差異。

下面是標準差公式的原理<sup>2</sup>：

---

<sup>1</sup> 資料來源：Using the IQ Optical Sensor。 <https://kb.vex.com/hc/en-us/articles/4407229044500-Using-the-IQ-Optical-Sensor>

<sup>2</sup> 資料來源：王尊信、洪連輝(2009)。可見光譜。科學 Online。  
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2454>

1. 首先計算每個數據點與平均值之間的差異，這可以通過將每個數據點減去平均值得到。
2. 接下來，將每個偏差的平方加起來，這樣就得到了所有偏差平方的總和。
3. 然後，將這個總和除以數據點的總數（減一）。
4. 最後，將其平方根，這樣就得到了標準差。

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

標準差公式的表示方法如下：

### 參、研究實施與設計

針對研究實施與設計內容將針對本次研究所使用的設備與器材、研究流程兩個部分說明，在設備與器材方面總共分成五類，分別為實驗場地、機器人材料、撰寫程式的設備、色紙和變因（光的頻率和強度）。以下為五類器材的介紹。

#### 一、研究器材與設備

##### 1、比賽場地

實驗場地使用的是 VEX IQ 機器人比賽的場地，使用的場地規格為 2022-2023 賽制所用的正式場地規格，場地長與寬尺寸為 8 英尺× 6 英尺的長方形場地，如圖 2。

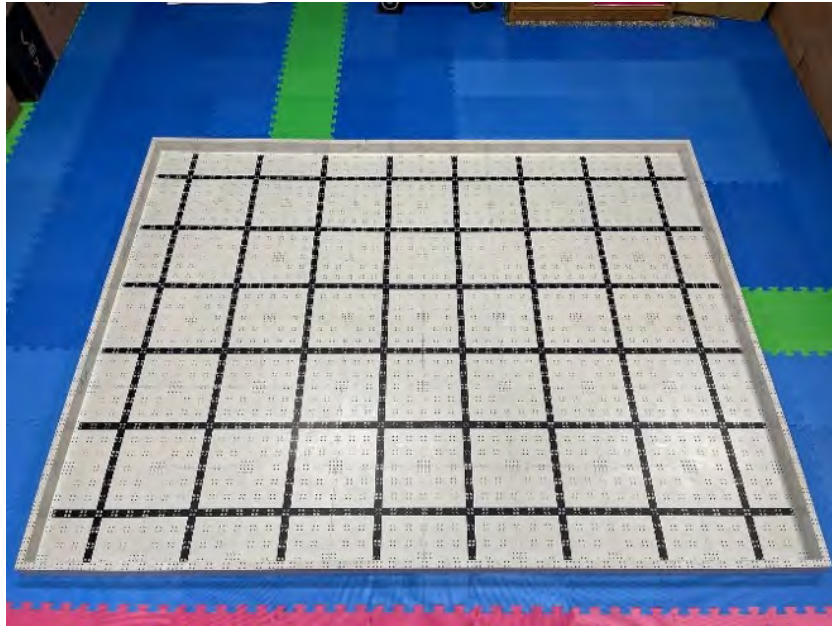


圖 2.實驗場地圖

## 2、機器人材料

此實驗所用的機器人材料為 VEX IQ 機器人比賽的零件。針對機器人材料部分將針對 1.機器人零件、2.遙控與感測材料兩部分介紹。

### (1)機器的零件

本次實驗機器人所使用的零件包含機器的零件、控制與感應器設備。機器的零件包含積木(8\*4 和 4\*4)、連接器(3\*2)和插銷(圖 3 所示)。



圖 3.組裝積木示意圖

在圖 2 中藍色框中為插銷，主要連結積木，紅色框中為 8\*4 積木，黃色框中則為 3\*2 連接器，在綠色框中則為 4\*4 積木，透過這些材料可以搭建機器人的骨架。

## (2) 控制與感測器材料

控制與感測器材料包含遙控器、顏色感測器、主機、電池與傳輸線，圖 4 為機器人最重要的主機，主要的功能為輸入、輸出程式指令和顯示結果。



圖 4. 機器人主機示意圖

機器人在場地中可以前進與移動主要是依賴遙控器操控，圖 5 顯示遙控機器人所使用的遙控器，遙控器總共有兩個搖桿，以及八個按鈕。



圖 5. 遙控器示意圖

機器人在場地上需要利用馬達來產生動力，感測器需要將訊號與數據傳送到主機，所以需要透過連結線與傳輸線來完成上述任務，圖 6 顯示兩種傳輸線。

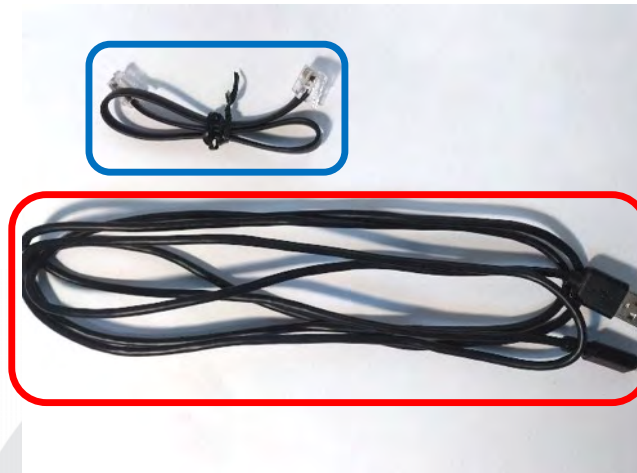


圖 6.傳輸線示意圖

在圖 6 中使用的傳輸線有兩種，分別為藍色框中的傳輸線主要功能為連接主機與感測器，在紅色框中的傳輸線主要功能為將撰寫好的程式傳送到主機，然後執行程式。

所有機器人的運作都需要電力來進行，例如馬達運轉、感測器偵測等工作，VEX 機器人的電力來源是透過鋰電池來完成(圖 7 所示)。



圖 7.電池示意圖



圖 8.VEX IQ 光學傳感器

本次研究所使用的光學傳感器(圖 8 所示)包含三種功能感測物體、環境光和顏色。光學感測器根據圖中的色輪報告相應的色調值(以度為單位,從 0 到 359)(圖 9 所示)。和用紅色、綠色或藍色名稱相比,更精確的測量顏色。

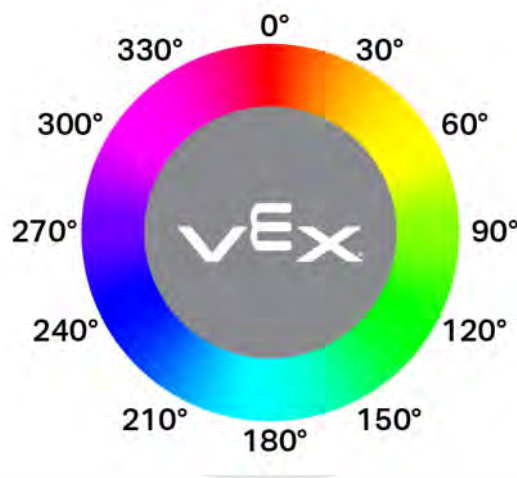


圖 9.色相度數對照圖<sup>3</sup>

### 3、寫程式設備

VEX 機器人可以透過程式撰寫來提高機器人的效能,例如透過外部感測器進行距離偵測、顏色偵測與碰撞偵測。

機器人撰寫主要是透過 VEXcode IQ 程式來進行,本次研究所採用的 VEXcode IQ V2.4.5 版本(圖 10 所示)。

<sup>3</sup> 圖片資料摘自 <https://kb.vex.com/hc/en-us/articles/360035955111-Using-the-VEX-IQ-Color-Sensor>

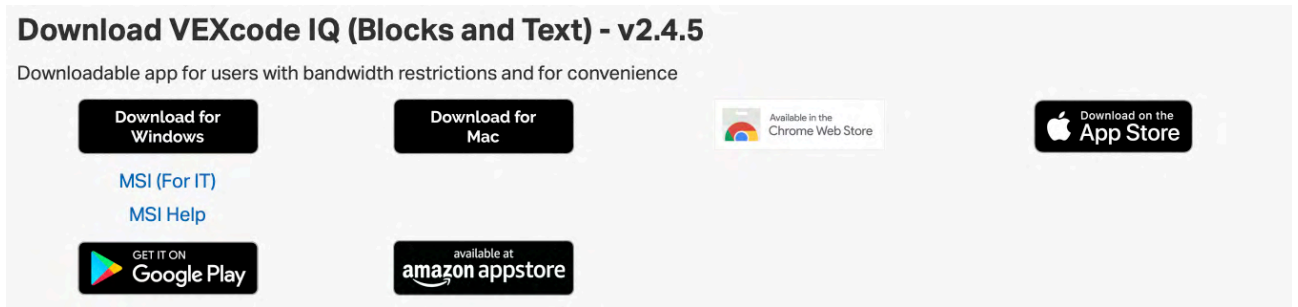


圖 10.VEXcode 程式下載程式網頁示意圖

圖 11 則是 VEXcode IQ 打開執行程式的畫面，程式畫面的右邊為編成區，左邊則是依照功能分類的程式塊區(block)。

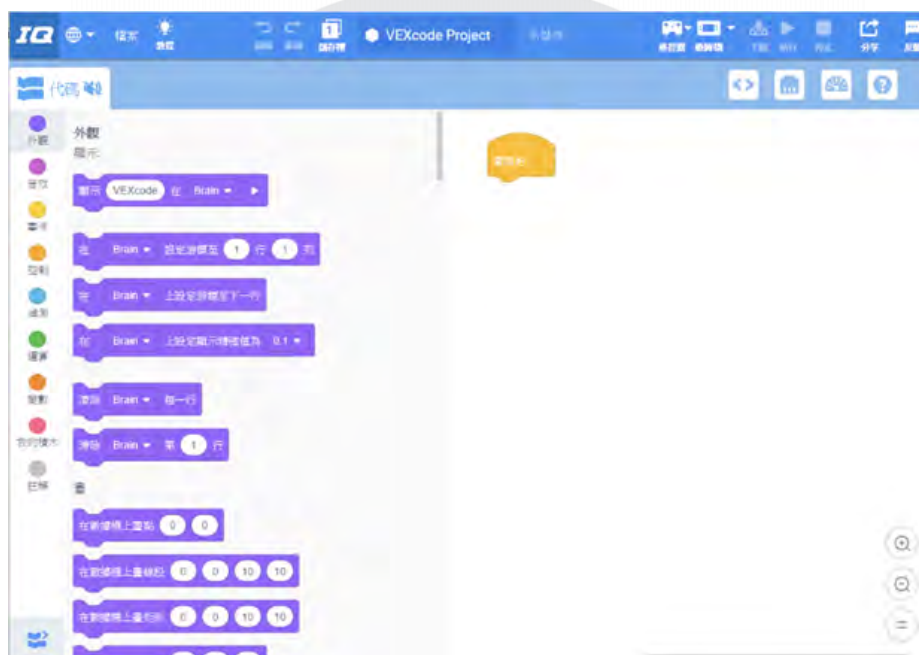


圖 11.VEXcode IQ 程式執行示意圖

#### 4、色紙

色紙是實驗中的目標物。分為三種顏色紅(圖 12 所示)、綠(圖 13 所示)、藍(圖 14 所示)，三張色紙均為相同材質及大小(14.8cm\*21cm)。

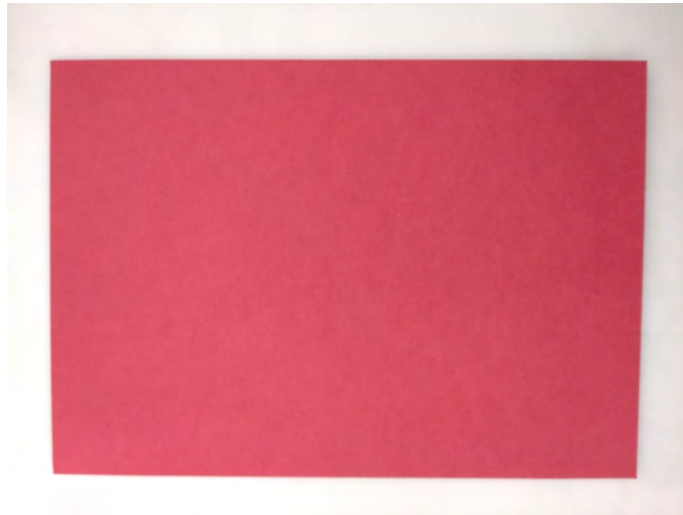


圖 12.紅色色紙



圖 13.綠色色紙



圖 14.藍色色紙

## 5、變因(光的頻率和強度)

此實驗中亮度、光的頻率為變因，為了光源的穩定我們決定採用市面上所販售燈泡來當作光源。所採購的燈泡包含兩種不同亮度燈泡與三種不同顏色光源的燈泡。以下將針對燈泡種類進行說明。

### (1)亮度

此處所使用的燈泡亮度，是只使用相同頻率區間但亮度(單位:流明)不同之LED 燈，本次研究總共採用四種不同亮度的燈泡(770LM、820LM、1050LM、1200LM)，所需要的電壓為交流電壓 100-240V 60Hz。圖 15 為 770LM 燈泡實際產品圖，瓦數為 7W。圖 16 則為 820LM 燈泡實際產品圖，瓦數為 6.5W。



圖 15.770LM 燈泡實際產品圖



圖 16.820LM 燈泡實際產品圖

圖 17 為 1050LM 燈泡實際產品圖，瓦數為 8.5W。圖 18 則為 1200LM 燈泡實際產品圖，瓦數為 9.5W。



圖 17.1050LM 燈泡實際產品圖



圖 18.1200LM 燈泡實際產品圖

## (2)顏色

光的顏色主要受到光的頻率所產生，本次研究使用相同亮度但頻率區段不同的 LED 燈，所使用的燈泡可以呈現紅、藍、綠、白四種不同色光，四種燈泡的亮度皆為 370LM，瓦數皆為 3W。

圖 19 為白光燈泡實際產品圖，圖 20 則為紅光燈泡實際產品圖，圖 21 則為率光燈泡實際產品圖，圖 22 則為 藍光燈泡實際產品圖，



圖 19.白光燈泡實際產品圖



圖 20.紅光燈泡實際產品圖



圖 21.綠光燈泡實際產品圖



圖 22.綠光燈泡實際產品圖

## 二、研究流程

本次研究所要探討的四個主題為：

- (一)、探討顏色感應器在不同光頻率區段的偵測誤差
- (二)、探討顏色感應器在不同光強度的偵測誤差
- (三)、探討不同高度下光源對於顏色感應器的偵測誤差
- (四)、感測器和物體之間不同距離的實驗

以下將針對研究問題所設計的研究流程與實驗數據分析兩部分進行說明。

### 1、研究過程

#### (1)、不同光顏色的實驗

顏色:使用相同頻率區間且亮度(單位:流明)相同但顏色不同的 LED 燈

操作變因:光的顏色

不同顏色的 LED 燈:紅光、綠光、藍光、白光

控制變因:光的流明、高度及感測器和物體之間距離

光的流明：370LM

光的高度：55cm

感測器和物體之間距離：5cm

環境：沒有其他光源的密閉空間

在每種顏色的光源的情況下會測同一個色紙十次，且測三種色紙。

## (2)、不同光強度的實驗

亮度:使用相同頻率區間但亮度(單位:流明)不同之 LED 燈

操作變因:光的強度(單位:流明)

不同流明的 LED 燈:370LM、820LM、1650LM

控制變因:光的顏色、高度及感測器和物體之間距離

光的顏色:白光

光的高度:55cm

感測器和物體之間距離:5cm

環境:沒有其他光源的密閉空間

在每種強度(單位:流明)的光源的情況下會測同一個色紙十次

## (3)、光源高度不同的實驗

操作變因:光源的高度

不同的光源高度:55cm、70cm、85cm

控制變因:光的顏色、強度(單位:流明)及感測器和物體之間距離

光的顏色:白光

光的流明:370LM

感測器和物體之間距離:5cm

環境:沒有其他光源的密閉空間

在每種高度的光源的情況下會測同一個色紙十次

## (4)、感測器和物體之間不同距離的實驗

操作變因:感測器和物體之間的不同距離

感測器和物體之間的不同距離:5cm、10cm、15cm

控制變因:光的顏色、強度(單位:流明)及光源的高度

光的顏色:白光

光的流明:370LM

光的高度:55cm

環境：沒有其他光源的密閉空間

在每種感測器和物體之間的距離的情況下會測同一個色紙十次

本次研究的 VEX IQ 光學傳感器運作原理為當光學傳感器接收光能並將能量轉換為電信號。傳感器的內部電子設備（硬件狀態機）將這些信號轉換為輸出信號，作為 IQ 大腦的輸入接收然後顯示偵測波長數值(圖 23 所示)<sup>4</sup>。

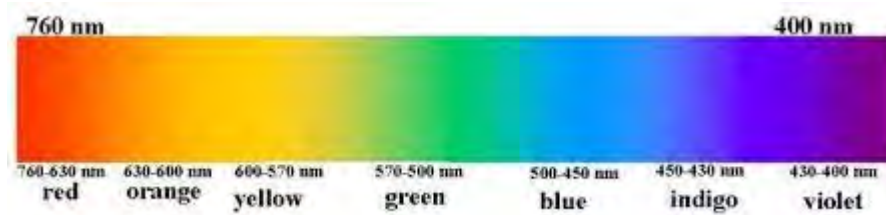


圖 23.不同顏色與波長示意圖

不同顏色的色紙目標主的功能如表 1 所示，以紅色色紙為例，如果要偵測紅光，當光照到紅色目標時可以反射光源中的紅光，其他顏色的光源則是被色紙吸收，透過這個方式提供所需要偵測的色光，降低實驗誤差。

表 1.不同顏色色紙作用一覽表

物體顏色	可反射的色光	被吸收的色光
紅色色紙	紅光、白光中的紅光	綠光、藍光
綠色色紙	綠光、白光中的綠光	紅光、藍光
藍色色紙	藍光、白光中的藍光	紅光、綠光

## 2、實驗數據分析

本次研究主要是透過 VEX IQ 光學傳感器來偵測光的數值，採用的是比較偵測值與實際數值的差異，首先要討論的是顏色感應器的測量誤差，誤差的計算方式如下：

$$\text{誤差} = \text{測量值} - \text{真值}$$

<sup>4</sup> 光譜圖。(https://www.winglobal.com.tw/zh/terminologytw/%E5%85%89%E8%AD%9C%E5%9C%96/)

誤差就是所測得的數值與被測量物體真正數值之間的差別，而誤差越小代表儀器測量越精確。準確度指在每一次獨立的測量之間其平均值與已知的數據真值之間的差距。

實驗精確程度可以用標準差表示<表示多次測量離散程度

進一步資料分析我們採用統計方式進行，所使用的數值為平均數，平均數計算方式如下：

平均數: 集中趨勢常用測度值=測量總和/測量個數

n=樣本大小(數據個數)

式中， $\bar{x}$  = 平均數 S = 樣本標準差

$x_i$  = 數據個別值， $i=1\sim n$

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

標準差: 顯示資料之離散程度= 
$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

綜合上述說明本次研究所要探討的部分如圖 24 所示，所欲探討的情境包含光的流明度、光的頻率(顏色)、光的高度與感應器接收的距離。

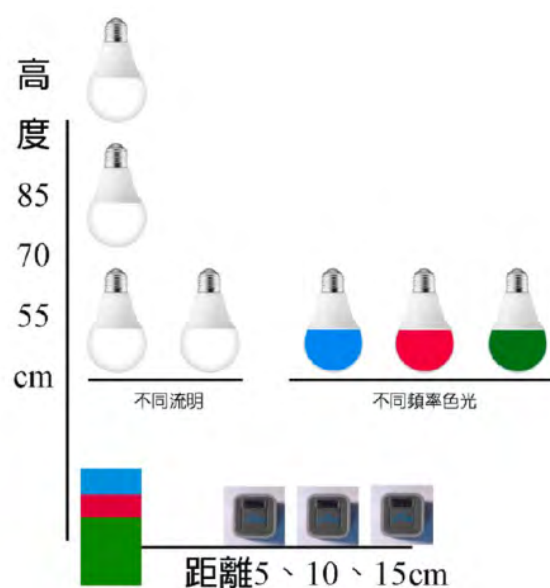


圖 24.研究設計圖

## 肆、研究結果

本章節將針對不同顏色色光、亮度、距離與光線高度所收集到的資料進行說明。

### 一、顏色

我們將藍色色紙的資料經過整理並製作成圖 25，圖 25 中的紅線預期真值，其結果顯示：

準確度：白光；藍光 >> 綠光 > 紅光

精確度：藍光 > 紅光 > 綠光 > 白光

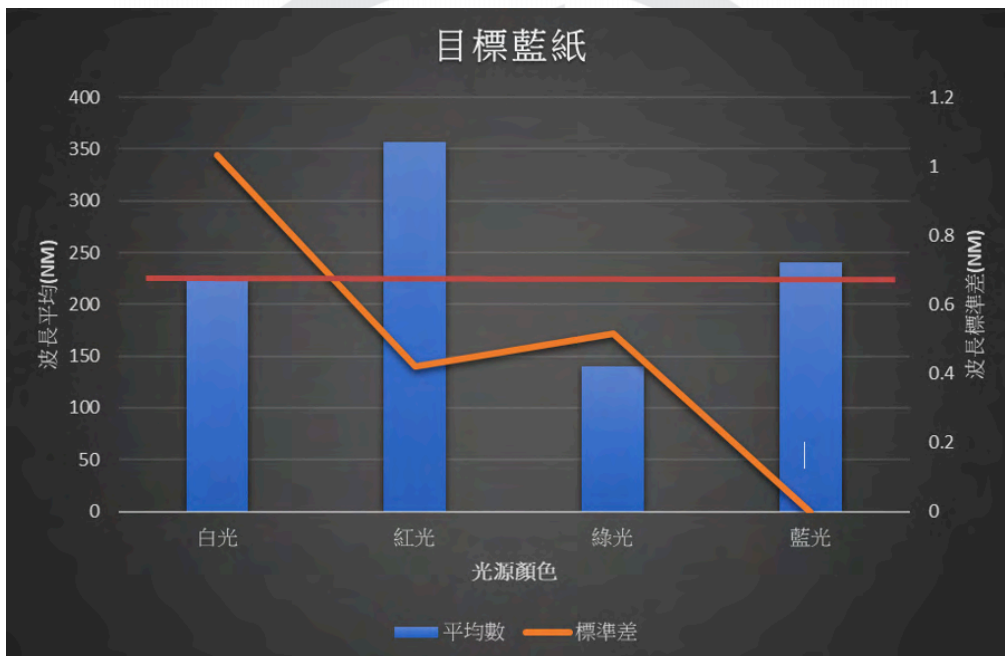


圖 25.藍色色紙結果分析圖

圖 26 為紅色色紙結果分析圖，圖中紅線為預期真值，其結果顯示：

準確度：白光；紅光 > 藍光 > 綠光

精確度：紅光 > 藍光 > 綠光 > 白光

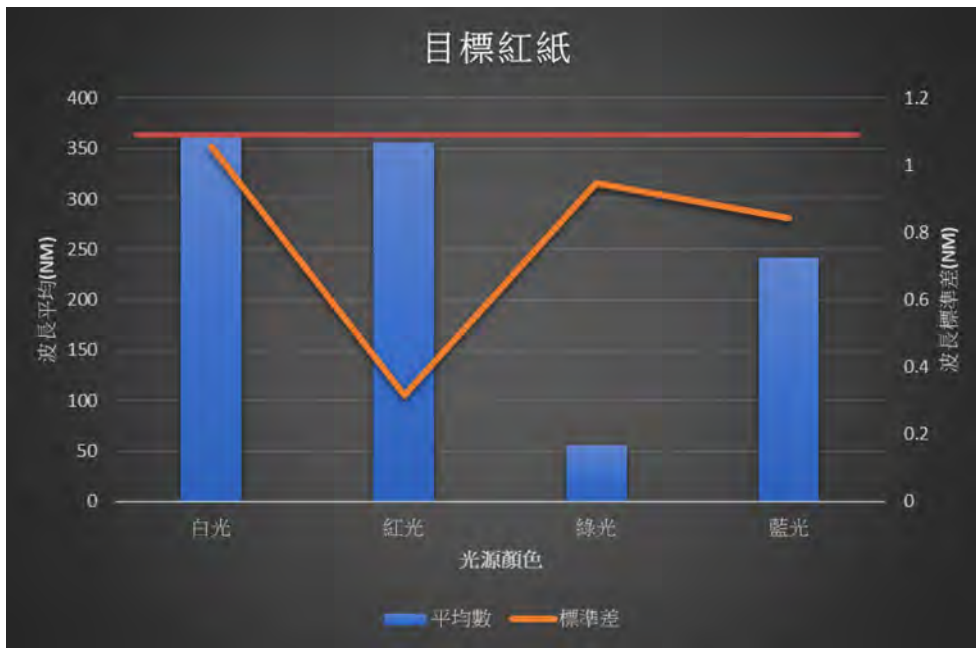


圖 26.紅色色紙結果分析圖

圖 27 為綠色色紙結果分析圖，圖中紅線為預期真值，其結果顯示：

準確度：白光；綠光 > 藍光 > 紅光

精確度：藍光 > 綠光 > 白光 > 紅光

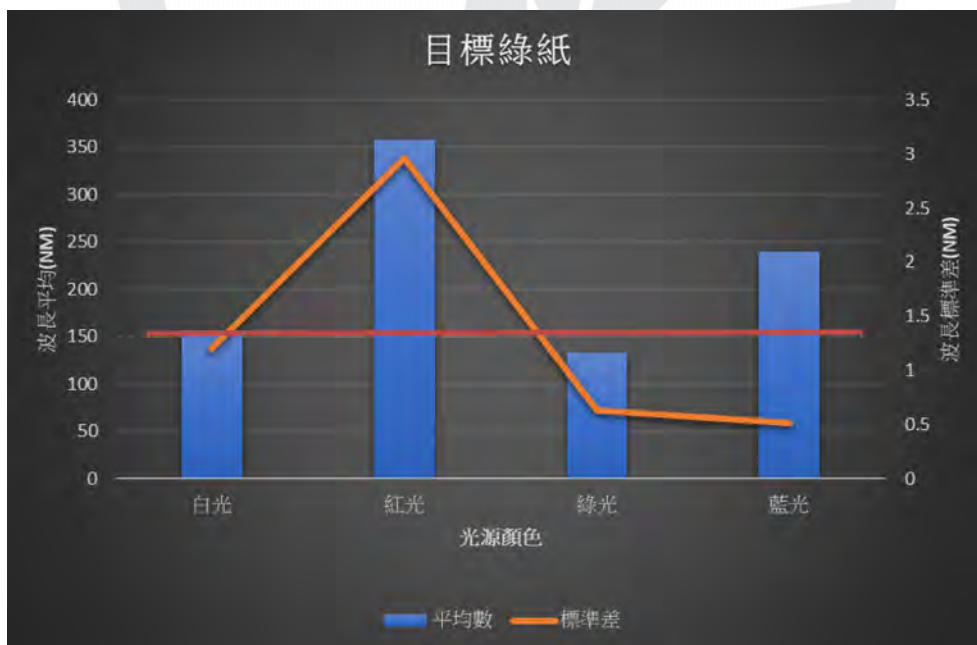


圖 27.綠色色紙結果分析圖

## 二、亮度

在亮度實驗中我們採用藍色色紙當作目標物，圖 28 為結果分析圖。

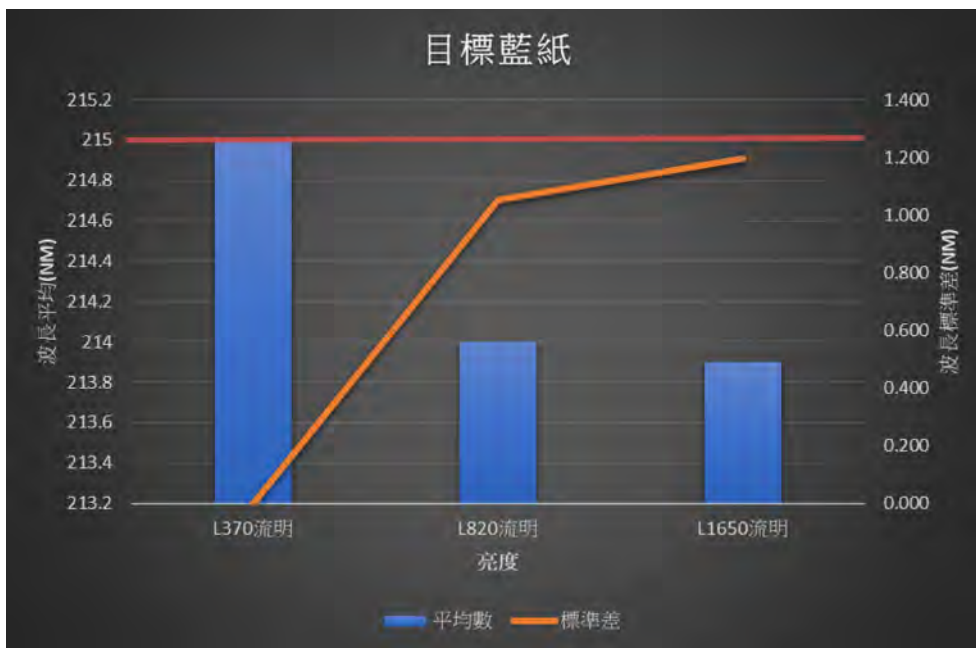


圖 28.不同亮度結果分析圖

在圖 27 中紅線為預期真值，其結果顯示：

準確度：370 流明 > 820 流明 > 1650 流明

精確度：370 流明 > 820 流明 > 1650 流明

### 三、距離

在不同偵測距離實驗中我們採用藍色色紙當作目標物，圖 29 為結果分析圖。

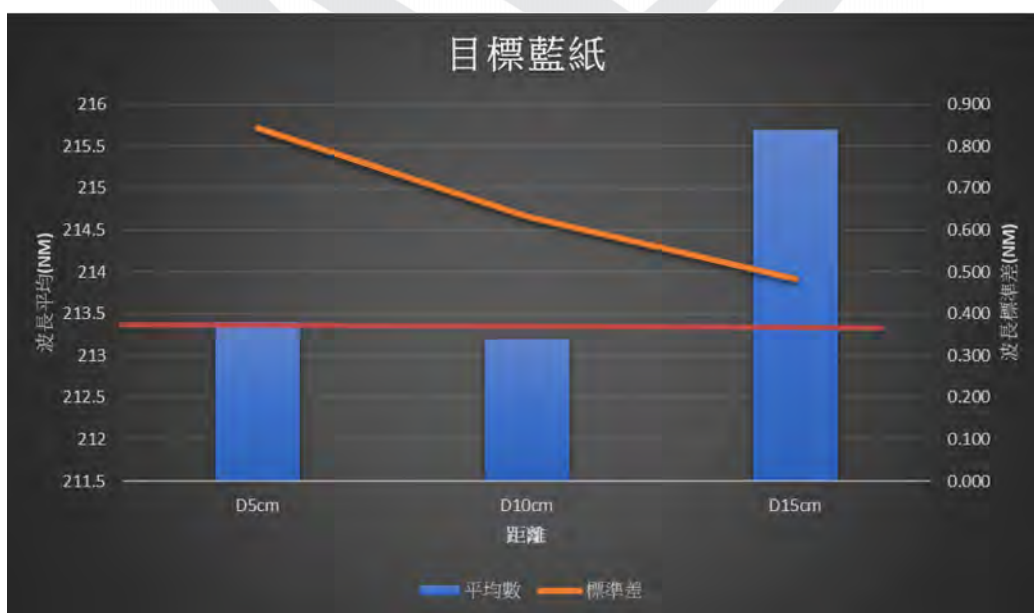


圖 29.不同亮度結果分析圖

在圖 29 中紅線為預期真值，其結果顯示：

準確度：5CM > 10CM > 15CM

精確度：15CM > 10CM > 5CM

#### 四、光源高度

在不同光源高度實驗中我們採用藍色色紙當作目標物，圖 30 為結果分析圖，在圖 30 中紅線為預期真值，其結果顯示：

準確度：55CM > 70CM > 85CM

精確度：70CM > 85CM > 55CM

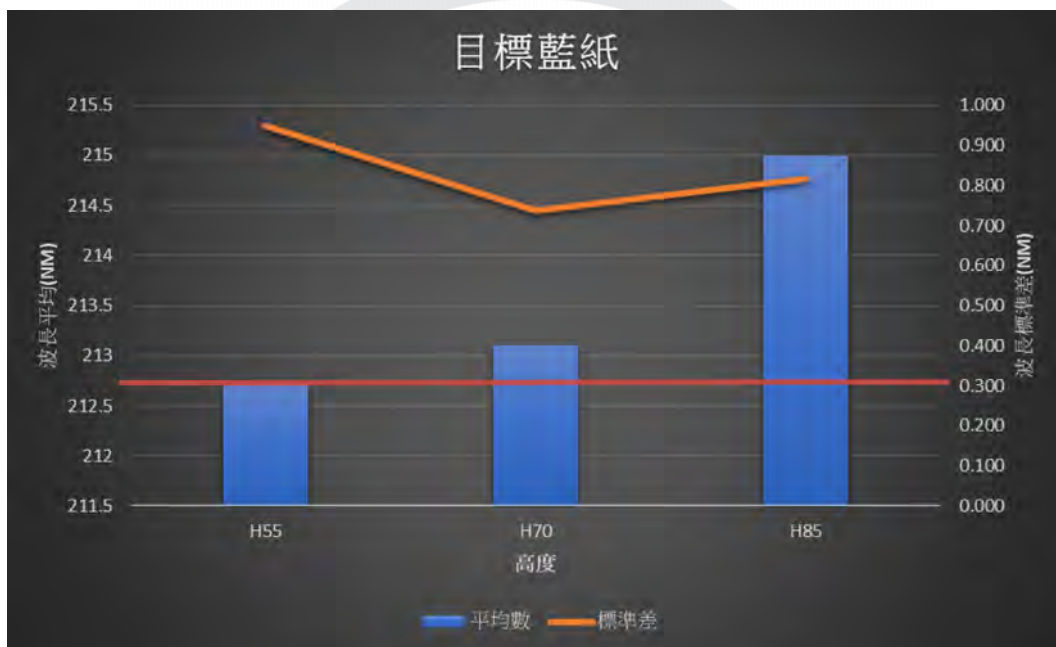


圖 30.不同光源高度結果分析圖

### 伍、討論

#### 一、顏色

在此實驗的結果中我們發現準確度高的都是與目標物色紙顏色相同的光，其餘顏色的光測出的色相度數都和其顏色接近。

例子一：從圖 31 中發現當目標物為藍色色紙時照綠光色相度數平均為 140.4(綠色) 照紅光色相度數平均為 356.8(紅色)<sup>5</sup>

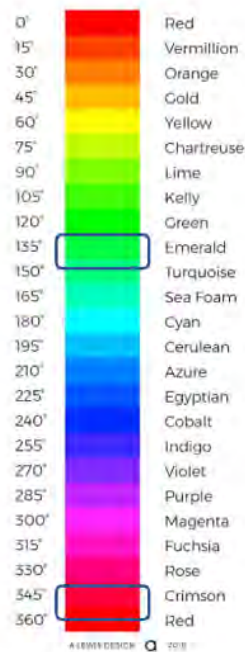


圖 31.色相度數對照圖

在實驗中所測量的數值經整理成表 2，從表 2 色相度一覽表我們推測的原因是當目標物為藍色色紙時照綠光因為藍色色紙只反射藍光，而在照綠光的情況下不會反射任何光，導致感測器只會測到環境中的綠光。

表 2.不同色紙在不同頻率色相度一覽表

	白色光	紅色光	綠色光	藍色光
紅紙	紅 362	紅 356.1	黃 56.3	藍 241.4
綠紙	綠 156.1	紅 358.1	綠 132.8	藍 239.4
藍紙	藍 224.2	紅 356.8	綠 140.4	藍 240

## 二、亮度

在此實驗的結果中我們發現越高流明準度與精度都越低。高流明的光源，由於其發散度大和波長分布不均勻，可能會導致光束的穩定性和一致性下降，

<sup>5</sup> 色相度數對照圖(<https://www.pinterest.com/pin/62487513573131231/>)

從而影響其準度和精度。顏色感測器通常是使用光學感測元件（例如光電二極管或光敏電阻）來檢測目標物的顏色。當光源的流明越高，代表發出的光線強度越大，但同時也可能會使得目標物反射回來的的光線過於強烈，導致感測器元件受到饋回，進而影響感測器的準度和精度。此外，光源的光譜分佈也會對顏色感測器的性能產生影響。一些光源可能在某些波長的光線較強，而在其他波長的光線較弱，這可能會導致顏色感測器對某些顏色的準確度較低。

### 三、距離

在此實驗的結果中我們發現感測器距離目標物越遠準確度越低但精確度越高。

當顏色感測器距離目標物越遠時，可能會有以下原因導致準確度降低，但精確度提高：

1. 光強度下降：當感測器距離目標物越遠，從目標物反射回來的光的強度就會降低。這可能會導致感測器測量的信號噪聲比例增加，進而影響感測器的準確度。
2. 色彩失真：當光線經過空氣中的塵埃、霧氣等物質時，會被散射並產生顏色偏差。當感測器距離目標物越遠，光線穿過的空氣距離也會增加，進而增加顏色失真的可能性，從而影響準確度。

### 四、光源高度

在此實驗的結果中我們發現光源高度越高準確度越低。當光源高度越高時，顏色感測器的準確度可能會下降，可能因為以下原因：

1. 光線的折射：當光源高度越高時，光線會以更直的角度進入感測器，這可能會導致光線在傳播過程中產生折射。折射會改變光線的方向和強度，從而影響顏色感測器的準確度。
2. 照明均勻性：當光源高度越高時，照明均勻性可能會受到影響。在某些情況下，光源高度越高，感測器所接收到的光照強度可能會不均勻，從而導致顏色感測器的準確度下降。

## 參考文獻

王尊信、洪連輝(2009)。可見光譜。科學 Online。

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2454>

周偉謨(2018)。VEX IQ 機器人基礎篇:進入 VEX Robotics 世界的敲門磚。新北市:碩亞數碼科技有限公司。

周偉謨、沈育如(2020)。VEX IQ 機器人基礎篇:進入 VEX Robotics 的世界。新北市:碩亞數碼科技有限公司。

Using the IQ Optical Sensor。 <https://kb.vex.com/hc/en-us/articles/4407229044500-Using-the-IQ-Optical-Sensor>

