

探究顏色感測器與光學感測器在不同情境比較表現

Exploring the performance between Color sensor and Optical sensor under difference situations

潘姿卉¹ 黃昭銘^{2*}

Pan, Tzu-Hui¹ Huang, Chao-Ming^{2*}

¹ 宜蘭立宜蘭國民中學

¹YiLan 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

本次研究主要探究顏色感測器與光學感測器在不同情境下的表現，由於兩者的工作原理有所差異，對於可以偵測的目標物的表現有所差異。本次研究設計不同的顏色、流明度與照射距離進行資料收集。研究結果顯示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，從而影響其準度和精度。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。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。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。

關鍵字：顏色感應器、光學感測器、色相度數

Abstract

This study tried to explore and compare the performance of color sensors and optical sensors in different situations. Due to differences in their working principles, their performance on detectable targets is different. This study tried to reveal the performance from 3 aspects, including different colors, lumens and irradiation distances. Research results show that the higher the lumens, the lower the accuracy and precision. High-lumen light sources, due to their large divergence and uneven wavelength distribution, may cause the stability and consistency of the light beam to decrease, thereby affecting its accuracy and precision. The spectral distribution of the light source also affects the performance of the color sensor. Some light sources may be stronger at certain wavelengths and weaker at other wavelengths, which may cause the color sensor to be less accurate for certain colors. The farther the sensor is from the target, the lower the accuracy but the higher the accuracy. When the color sensor is farther away from the target, the accuracy may decrease due to the following reasons, but the accuracy will increase. When light passes through dust, fog and other substances in the air, it will be scattered and produce color deviation. When the sensor is farther away from the target, the distance in the air that the light passes through increases, which increases the possibility of color distortion and affects accuracy.

Keyword: color sensor, optical sensor, spectral distribution

壹、前言

VEX IQ 是一個機器人賽事其中有一項 Auto(自動)我們需要透過程式撰寫使機器在無人操作的情況下自動執行任務。因此我們常常使用感測器來識別和檢測環境，使機器更準確、順利完成任務。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。這讓我非常困惑。

其中 Color Sensor(顏色感測器)常常受到光線亮暗和環境中的光源影響，發生判斷顏色數值錯誤，而且感測範圍較小。不過有另一個感測器 Optical Sensor(光學感測器)功能類似，因此我想透過改變不同光亮度(流明)及感測器到物體間的距離對顏色感測器和光學感測器的影響來比較它們的差異、優缺點。由於我想比較顏色感測器及光學感測器的優缺點，而顏色感測器經常受環境中的光源影響，因此我將光的亮度(流明)和感測器到物體間的距離設為變因。我將探究不同光亮度(流明)及感測器到物體間的距離對顏色感測器和光學感測器的影響，來比較顏色感測器及光學感測器的優缺點。

- 一、探討顏色感測器在不同光亮度(流明)的準確度及精確度
- 二、探討光學感測器在不同光亮度(流明)的準確度及精確度
- 三、探討顏色感測器在不同感測器到物體間距離的準確度及精確度
- 四、探討光學感測器在不同感測器到物體間距離的準確度及精確度
- 五、比較顏色感測器和光學感測器的準確度及精確度

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)。

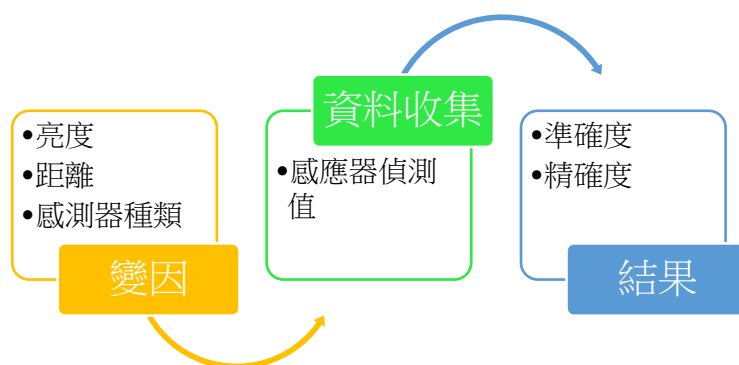


圖 1. 研究架構圖

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、距離與兩種不同感測器，包含顏色感應器與光學感測器。在資料收集過程主要是顏色感應器與光學感測器所偵測到的顏色數值，結果分析則是針對準確度和精確度來進行判斷。

貳、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、實驗設備

此實驗所用的實驗設備主要採用 VEX IQ 機器人的零件進行設計組裝。針對機器人材料部分將針對 1.零件、2.遙控與感測材料兩部分介紹。

(1)零件

本次實驗設備所使用的零件包含塑膠零件、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)。。

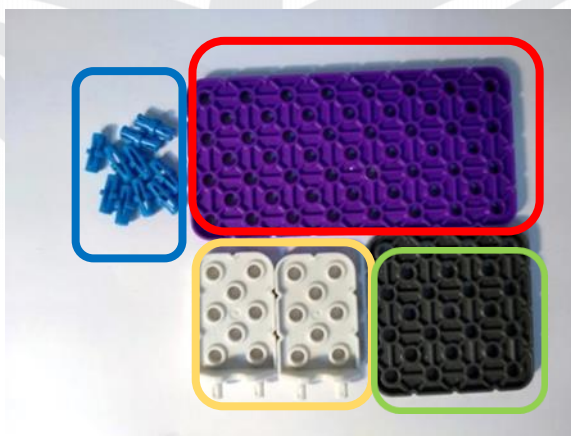


圖 3.組裝積木示意圖

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研究器材的骨架。

(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

由於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 5 顯示兩種不同用途的傳輸線。

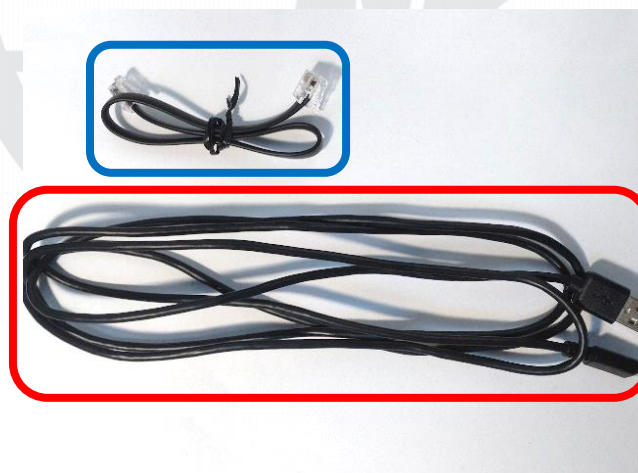


圖 5. 兩種傳輸線示意圖

在圖 5 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為 micro USB 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 6 所示)。



圖 6.電池示意圖

本次研究主要探究不同感測器在偵測外在環境的表現，採用兩種感測器進襲資料收集，分別為：顏色感應器與光學感測器。

顏色感測器(圖 7 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)。



圖 7.VEX IQ 顏色感應器

光學感測器的工作原理為：顏色感測器照射具有 RGB 成分的光到物體上，通過計算接收到的反射光顏色 R(紅色)、G(綠色)、B(藍色)的比例來辨識物體顏色，實際檢測到的結果以色相度數呈現。一般來說，透過顏色感測器可用於檢測顏色、物體相關資訊。

圖 8 為本次研究所使用的光學感應器，主要工作原理就是透過光學感測器照射具有 RGB 成分的光到物體上，通過計算接收到的反射光顏色 R(紅色)、G(綠色)、B(藍色)的比例來辨識物體顏色。

然後檢測結果以色相度數呈現(圖 8 所示)，光學感測器的應用範圍包含可用於檢測環境光、顏色、物體和手勢。



圖 8. VEX IQ 光學感測器

圖 9 主要呈現色相度數對照值，透過色相度數值可以更精確偵測到實際的顏色數值。

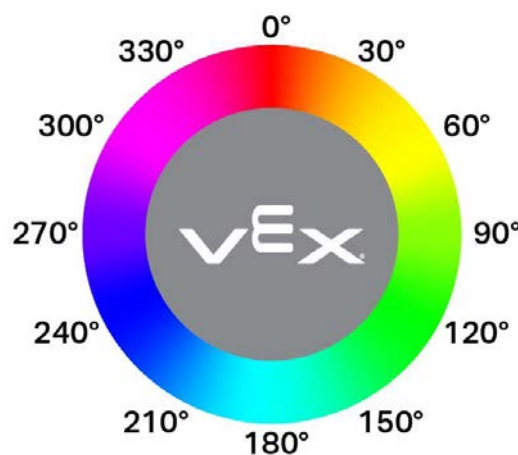


圖 9.色相度數對照圖¹

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 V3.0.4 版本(圖 10 所示)。

¹ 圖片資料摘自 <https://kb.vex.com/hc/en-us/articles/360035955111-Using-the-VEX-IQ-Color-Sensor>



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)，色紙的目的就是提供感測發射偵測光線反射色光，當照到紅色色紙感測器會接收到反色的紅色色光，然後計算色相度數。

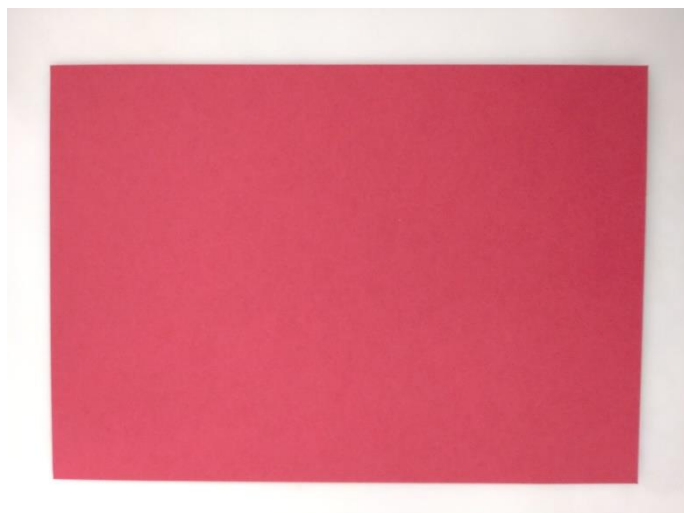


圖 12.紅色色紙

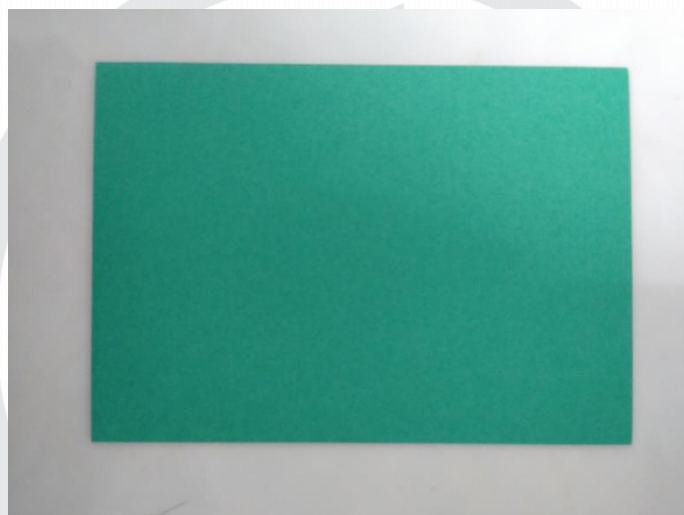


圖 13.綠色色紙



圖 14.藍色色紙

5、變因(光的強度)

此實驗中亮度為變因，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(370LM、770LM、820LM、1650LM)，所需要的電壓為交流電壓 100-240V 60Hz。圖 15 為 370LM 燈泡實際產品圖，瓦數為 3W。圖 16 則為 770LM 燈泡實際產品圖，瓦數為 7W。圖 17 為 820LM 燈泡實際產品圖，瓦數為 6.5W。圖 18 則為 1650LM 燈泡實際產品圖，瓦數為 12.5W。



圖 15.370LM 燈泡實際產品圖



圖 16.770LM 燈泡實際產品圖



圖 17.820LM 燈泡實際產品圖



圖 18.1650LM 燈泡實際產品圖

參、研究流程

整個研究流程如圖 19 所示，首先要認識兩種感測器的工作原理，然後撰寫程式讓感測器可以正常運作，接著進行研究數據收集與分析然後最後比較研究結果。

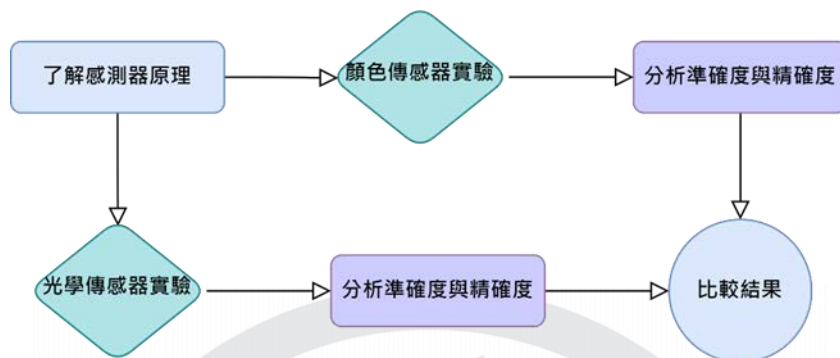


圖 19. 研究流程圖

針對研究操作、資料收集與數據分析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。

一、研究過程

1. 不同光強度的實驗

操作變因:光的強度(單位:流明)

不同流明的 LED 燈：370 流明、820 流明、770 流明、1650 流明

控制變因:光的顏色、高度及感測器和物體之間距離

固定光的顏色：白光

固定光源位置

固定環境

固定感測器和物體之間距離：5cm

顏色感測器和光學感測器在每種強度(單位:流明)的光源的情況下會測同一張藍色紙十次，收集數據後統計並將顏色感測器和光學感測器結果比較。

2. 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

固定光的顏色：白光

固定光的亮度(流明)：370LM

固定光源位置

固定環境

顏色感測器和光學感測器在每種感測器和物體之間的距離的情況下會測同一張藍色紙十次，收集數據後統計並將顏色感測器和光學感測器的結果比較。

兩種感測器的工作程式撰寫範例如圖 20 與圖 21 所示。

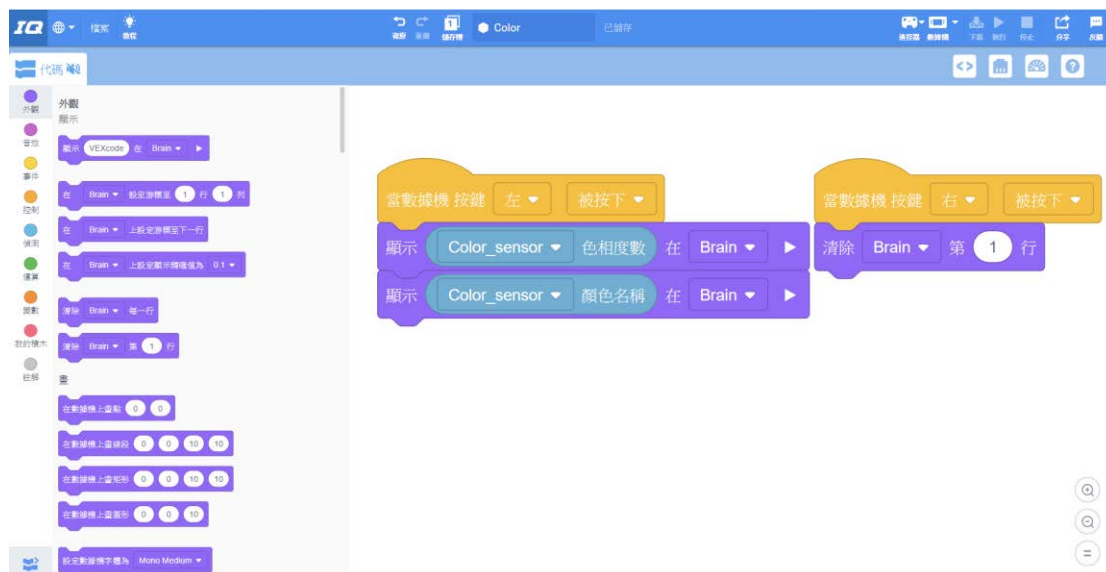


圖 20.顏色感測器程式(使用 VEXcode IQ)

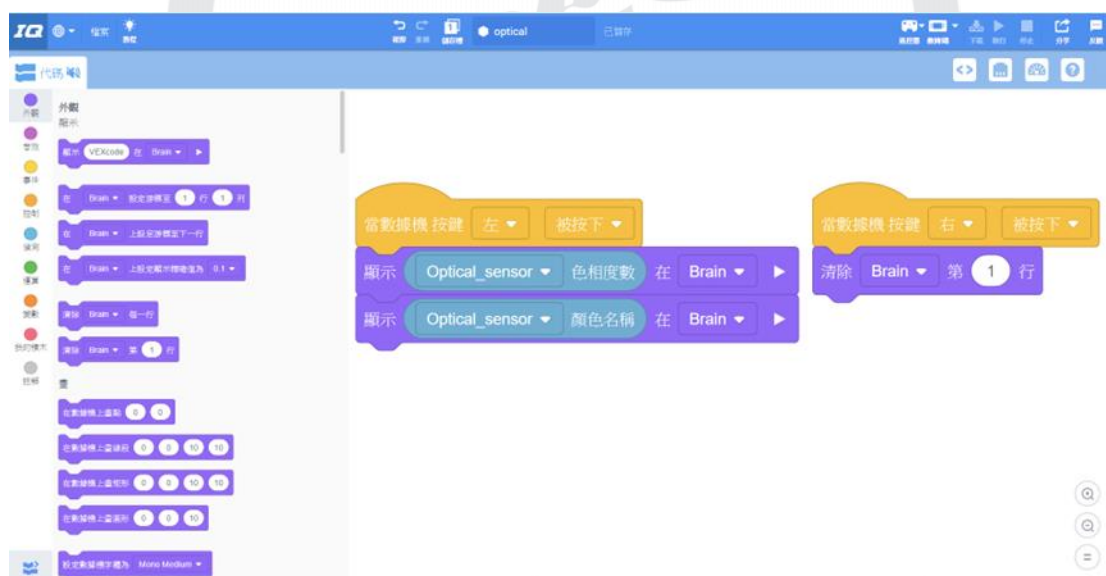


圖 21.光學感測器程式(使用 VEXcode IQ)

實際在主機執行程式的介面如圖 22 所示，從圖 22 可以看到所偵測的色相度數為 59，接近黃色。



圖 22.顏色感測器和光學感測器的程式使色相度數顯示在主機螢幕示意圖

本次研究的 VEX IQ 光學感測器運作原理為當光學感測器接收光能並將能量轉換為電信號。感測器的內部電子設備（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)²。

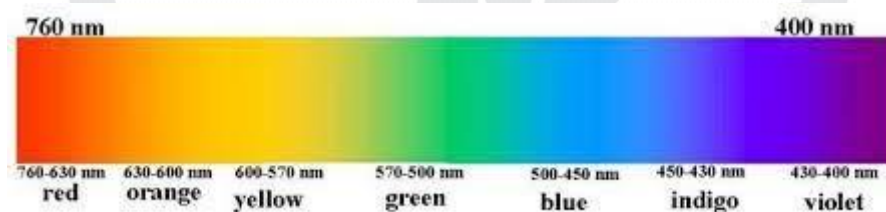


圖 23.不同顏色與波長示意圖

2、實驗數據分析

平均數：公式 $\frac{x_1+x_2+x_3+\dots+x_n}{n}$ ，用於表示統計數據的一般情況和其他組數據平均

值作比較不過容易受極端質影響。

標準差：公式

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

² 光譜圖。(https://www.winglobal.com.tw/zh/terminologytw/%E5%85%89%E8%AD%9C%E5%9C%96/)

顯示資料之離散程度，用於表示一組數距的分散程度。一個較大的標準差，代表大部分的數值和其平均值之間差異較大；一個較小的標準差，代表這些數值較接近平均值。

本次研究主要是透過探討光學感測器和視覺感測器的準確度與精確度，來比較感測器。

準確度

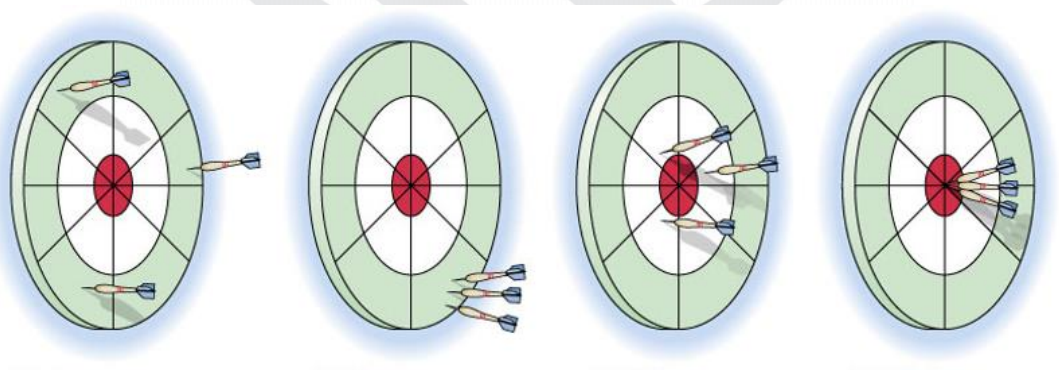
要討論的是顏色感應器的測量誤差，誤差的計算方式如下：

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

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準確。**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。

精確度

做重複性測量時，一組測量數據統計後的標準差代表測量值的離散程度也就是這組數據的精確度。一組數據的標準差大，代表大部分的數值和其平均值之間差異較大、較不精確；一組數據的標準差小，代表這些數值較接近平均值、較精確。以下以射飛鏢情境進行準確度、精確度說明(如圖 24 所示)。



準確度:低

精確度:低

準確度:低

精確度:高

準確度:高

精確度:低

準確度:高

精確度:高

圖 24.準確度與精確度示意圖

肆、研究結果

本次研究資料收集經過整理與分析後，將針對其結果依照描述性統計與比較分析進行說明。

一、描述性統計

首先將顏色感測器和光學感測器的實驗數據，包含十次檢測色相度數用 Excel 統計軟體進行平均數及標準差計算，結果如表 1 與表 2 所示。

表 1.顏色感測器在不同感測器到物體距離和不同光亮度(流明)資料表

	不同感測器到物體距離			不同光亮度(流明)			
	5CM	10CM	15CM	370流明	770流明	820流明	1650流明
	223	228	228	223	226	229	229
	223	225	226	223	228	228	229
	225	226	226	225	228	228	228
	226	226	225	222	226	229	228
	222	228	226	226	226	229	229
	225	228	226	225	226	228	228
	226	226	226	226	226	228	229
	226	225	228	226	226	226	228
	226	226	228	226	228	229	229
	226	226	226	226	226	229	228
平均	224.8	226.4	226.5	224.8	226.6	228.3	228.5
標準差	1.469694	1.113553	1.0246951	1.469694	0.916515	0.9	0.5

表 2.光學感測器在不同感測器到物體距離和不同光亮度(流明) 資料表

	不同感測器到物體距離			不同光亮度(流明)			
	5CM	10CM	15CM	370流明	770流明	820流明	1650流明
	223	223	222	223	223	223	222
	223	223	222	223	223	223	222
	223	222	220	223	223	223	223
	223	223	222	223	223	224	222
	223	223	223	223	223	223	223
	224	224	222	224	223	223	223
	223	222	220	223	222	223	223
	223	223	222	223	223	224	223
	223	223	222	223	223	223	223
	223	223	222	223	223	223	223
平均	223.1	222.9	221.7	223.1	222.9	223.2	222.7
標準差	0.316228	0.567646	0.948683	0.316228	0.316228	0.421637	0.483046

圖 26.顏色感測器在距離(流明)實驗數據分析圖

圖 26 中紅線為預期真值，其結果顯示：

準確度： $5\text{CM} > 10\text{CM} > 15\text{CM}$

精確度： $15\text{CM} > 10\text{CM} > 5\text{CM}$

2. 光學感測器

a. 光亮度(流明)

針對光學感測器在不同光亮度的表現製作成圖 27。

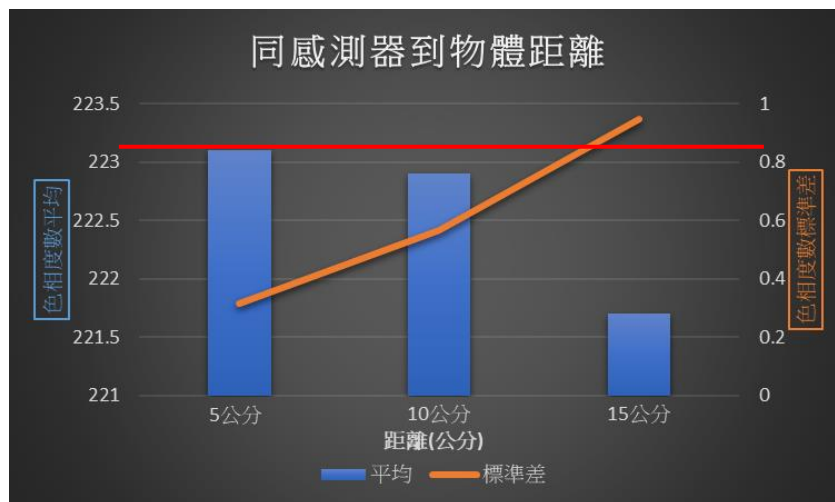


圖 27. 光學感測器在不同光亮度(流明)實驗數據分析圖

在圖 27. 中紅線為預期真值，其結果顯示：

準確度： $370 \text{ 流明} > 720 \text{ 流明} > 820 \text{ 流明} > 16500 \text{ 流明}$

精確度： $370 \text{ 流明} > 720 \text{ 流明} > 820 \text{ 流明} > 1650 \text{ 流明}$

b. 感測器和物體之間不同距離

針對顏色感測器在不同感測器到物體之間的距離實驗數據製作成圖 28。

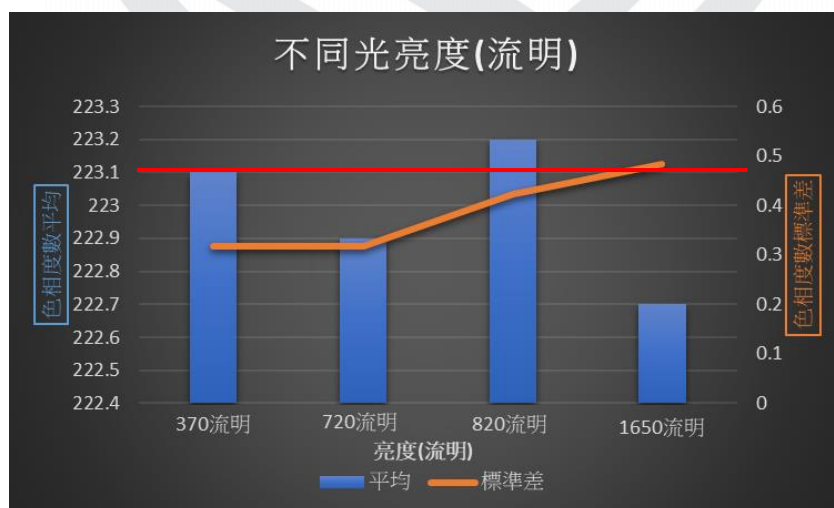


圖 28 光學感測器在不同感測器到物體之間的距離 (流明)實驗數據分析圖

在圖 28 中紅線為預期真值，其結果顯示：

準確度：5CM > 10CM > 15CM

精確度：5CM > 10CM > 15CM

進一步比較顏色感測器和光學感測器的差異，將其標準差數值整理並且繪製成圖 29。

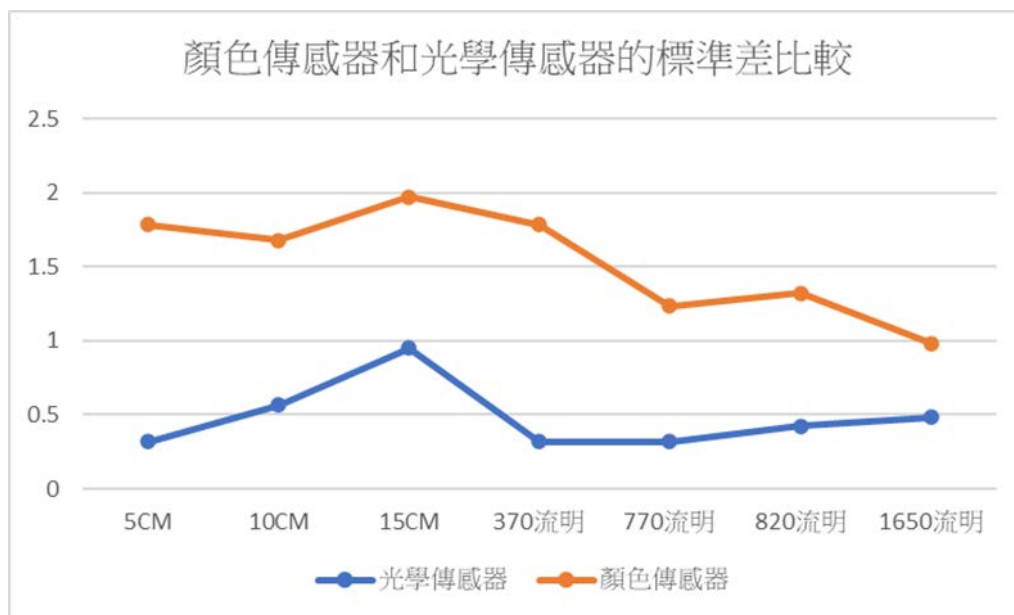


圖 29.顏色感測器和光學感測器的標準差比較統計圖

從圖 29 中可以看到顏色感測器的標準差較大代表精確度較低，可得知顏色感測器穩定性差。

伍、結論

本次研究主要針對顏色感測器和光學感測器進行比較，分別從亮度、顏色與距離進行資料收集，結論將針對亮度與距離兩個向度進行說明。

一、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，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。

二、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。

參考文獻

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>)

圖 9 色相度數對照表(<https://www.pinterest.com/pin/62487513573131231/>)

圖 24 資料來源 <https://www.ni.com/zh-tw/shop/data-acquisition/measurement-fundamentals-main-page/analog-fundamentals/analog-sample-quality--accuracy--sensitivity--precision--and-noi.html>