

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學科(一)

第三名

082818

哈士奇撿球 - AI 辨識撿取乒乓球自走滾筒

學校名稱：澎湖縣馬公市中正國民小學

作者： 小六 洪子甯 小六 張芯瑤 小四 茆葦瑄 小四 張芯菱	指導老師： 洪常明 項志偉
---	-------------------------

關鍵詞：AI 辨識鏡頭、滾筒式桌球撿球器、自走避障

摘要

本研究目的在於開發一款能夠自動撿取乒乓球的類掃地機器人，針對以下變項進行實驗研究，並歸納出最佳的製作要素：

- 一、滾筒篩選繩使用 5mm 線徑的彈力繩
- 二、滾筒篩選繩中心到中心的間距為 40mm
- 三、滾筒篩選繩中心距離地面的高度為 10 mm
- 四、推動輪速度設定為 PWM=80
- 五、感測器偵測的距離設定為 42 公分
- 六、讀取 HUSKYLENS 辨識框中心的 X 座標，導正推動輪方向。

最後運用 Arduino 整合 AI 影像辨識技術、馬達驅動模組、超音波感測，撰寫程式讓乒乓球撿球滾筒判斷乒乓球並導正方向，製作出可自動撿取乒乓球的類掃地機器人。

壹、研究動機

乒乓球是一種受歡迎的運動，打乒乓球是一種速度和快感的享受，但是對於一般人來說，撿乒乓球可能缺乏挑戰性和刺激性，需要花費額外的時間和體力，單純是一項重複性的任務，需要不斷彎腰撿起球，並沒有太多的變化和樂趣可言，過程並不有趣。

如果可以有一款工具像是掃地機器人一樣能自動撿取乒乓球，一定可以減少時間和體力成本，同時增加打球的樂趣。因此，本研究預計開發一款能夠自動撿取乒乓球的類掃地機器人，以解決現有撿乒乓球的困擾。



貳、 研究目的

本研究將運用 Arduino 整合 AI 影像辨識技術、馬達驅動模組、超音波感測，撰寫程式讓乒乓球撿球滾筒判斷乒乓球並導正方向提高撿球效率，我們預想的研究目的大致上如下列：

- 一、研究乒乓球撿球器市售的產品型態後，擇定一款適合結合 Arduino 的撿球器
- 二、研究擇定的乒乓球撿球器如何製作，並找出最有效率的乒乓球撿球器
- 三、研究馬達驅動的乒乓球撿球器最佳前進速度，提高撿球效率。
- 四、結合 Arduino 和超音波模組偵測距離，實現避障、自動撿球功能。
- 五、整合 AI 影像辨識技術辨識乒乓球，實現尋找乒乓球功能。



參、 研究設備及器材

一、 工具

尺、剝線鉗、剪刀、雷雕機、3D 列印機、焊槍、熱熔膠、電鑽、螺絲起子(一字、十字)。

二、 材料

輪子、電池、電線、電池盒、開關、螺帽、木板、膠帶、螺絲、墊片、螺母、AI 哈士奇 (huskylens)、冰棒棍、燕尾夾、Arduino UNO、超音波偵測器、馬達、麵包板、18650 充電式鋰電池、大頭針、彈力繩、金屬馬達、馬達驅動板、乒乓球、熱熔膠條。

三、 軟體

tinkerCAD、Geogebra、BlocklyduinoF2、Arduino IDE、Google 試算表。



肆、 研究過程或方法

一、 相關研究或設計

我們的研究問題是如何高效自動撿取乒乓球，所以資料的研究先從市面上常見的乒乓球撿球器開始，然後是撿球器的運作方式，最後再使用 Arduino 整合 AI 影像辨識技術、機電馬達驅動模組、超音波感測，達到自動撿取的效果。

(一)歷屆研究

我們的研究主題在第 62 屆科展中有類似作品 - 落葉終結者-自製掃落葉機¹，不過該研究和我們的撿取對象不同，最後的成果也比較偏向人力操作，與我們的作品有些差距。所以無法做為參考對象。

(二)網路的資源

我們以「乒乓球撿球器」作為關鍵字上 Google 搜尋，常見的乒乓球撿球器有三種²，分別是擠壓式桌球撿球器、漁網式桌球撿球桿、滾筒式桌球撿球器，如表 1 市面常見乒乓球撿球器顯示。考慮結合馬達推動的形式，漁網式桌球撿球桿和擠壓式桌球撿球器就不在我們製作的考慮範圍內，因此我們採用滾筒式桌球撿球器結合馬達推動前進。

表 1 市面常見乒乓球撿球器

		
擠壓式桌球撿球器	漁網式桌球撿球桿	滾筒式桌球撿球器

¹落葉終結者-自製掃落葉機. (n.d.). 臺灣網路科教館. Retrieved April 5, 2023

²[評測]乒乓球撿球神器推薦桌球最佳撿球方法 Table tennis ball catcher evaluation. (2022, May 28). YouTube. Retrieved April 5, 2023

二、研究過程

(一)滾筒式撿球器的製作研究

經過我們研究乒乓球撿球器市售的產品型態後，我們決定先模仿滾筒式的撿球器，因此我們在這個階段要解決的問題是

- ❓ 哪一種繩子的材質適合做為滾筒式撿球器的篩選繩？
- ❓ 篩選繩繩子中心間距長度多少時，可以順利進球且不會掉出？
- ❓ 如何製作滾筒式的撿球器？

探究乒乓球撿球機選用繩子的材質：我們從學校中找到現有的繩子材料，分別是童軍繩、跳繩、彈力繩、棉繩、塑膠繩，沒有彈力的跳繩、童軍繩、棉繩和塑膠繩無法成為篩撿球的材質，我們選用彈力繩³作為製作材料。

		
不同材質的篩選繩	比較不同篩選繩的彈力	篩選繩的間距設定為 40mm

乒乓球的球徑長度約在 40mm，於是我們假設兩條篩選繩子中心到中心的間距是 40mm，製作完成後先實驗 40mm 繩子的間距能否進球，再調整繩子的間距要變多還是變少。繩子的間距外，我們還想到另一個變項：繩子離地板的高度。我們決定要先以繩子的間距為可變變因，固定繩子離地板的高度為 10mm 作為控制變因。同時實驗直線和斜線的穿線方式，兩種方式皆可順利進球。確定篩選繩中心到中心的間距是 40mm，5mm 線徑的彈力繩可以順利進球不會掉出。

		
丈量篩選繩孔洞，間距設定為 40mm	使用垂直鑽床製作篩選繩孔洞	使用垂直鑽床製作篩選繩孔洞

³Forest Outdoor【彈性繩 (黑)3mm/4mm/5mm】彈性繩高彈力黑色彈力繩緩沖繩【愛上露營】. (n.d.). Forest Outdoor 群森戶外.取自 June 10, 2023

		
使用垂直鑽床製作篩選繩孔洞，間距設定為 40mm	使用夾具固定模具確定穿線強度一致	直線和斜線的穿線方式，兩種方式皆可順利進球

完成了篩選繩的研究後，我們開始進行單側的滾筒設計工作，篩選繩中心到中心的間距是 40mm，因此在 tinkerCAD 中進行 3D 列印設計時，我們需要將間距是 40mm 安排在圓形輪子上，同時我們的設計需要透過 3D 列印機製作，必須符合 3D 列印機的尺寸限制 220mm x 220mm，經過我們的計算 12 邊形的尺寸大小會最符合工具上的限制，最後完成的。完成 3D 列印的單側的滾筒後，首先使用 3 分螺絲桿作為中心軸，使用螺母和墊片固定，再將彈力繩篩選線穿過單側的滾筒預先設計的孔洞，伸出滾筒輪軸盤的彈力繩再使用大頭釘和熱熔膠固定。

		
螺絲桿製作中心軸	將彈力繩穿過滾筒孔洞	完成 3D 列印滾筒撿球器

(二) 滾筒式乒乓球撿球器篩選繩中心距離地面高度的研究



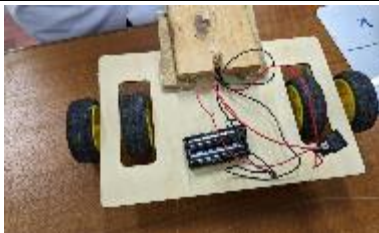


完成滾筒設計工作後，我們開始思考是不是還有其他的變項影響進球效率，除了前一個研究提到的篩選繩繩子中心的間距，因此我們在這個階段想要透過實驗解決的問題是：

❓ 哪一種滾輪的線軸中心距離地面的高度蒐集乒乓球的效率最好？

我們猜測線軸中心距離地面的高度可能會是影響一個變項，所以我們決定逐次增加線軸中心距離地面的高度 2mm，並觀察變項對於撿球效率的影響。

表 2 篩選繩中心距離地面高度對蒐集效率的實驗

組別	實驗變項	控制變項
對照組	篩選繩中心距離地面高度 10mm	篩選繩中心到中心的間距 40mm 5mm 線徑的彈力繩 12 邊型滾筒設計 推動使用黃色馬達搭配 2 顆 1.5V 電池 每次的蒐集球數設定為 20 顆 跑道長度設定為直線，起點到終點距離 4 公尺
實驗組	篩選繩中心距離地面高度 12 mm	
實驗組	篩選繩中心距離地面高度 8 mm	
實驗組	篩選繩中心距離地面高度 11 mm	
實驗組	篩選繩中心距離地面高度 9 mm	

		
滾筒式撿球器加上推桿	增加墊圈增加高度	第 1 個版本的推動輪
		
蒐集球數設定為 20 顆	滾筒式撿球器側面	實驗環境設置

我們篩選繩中心距離地面高度 10mm 為對照組，實驗組先篩選繩中心距離地面高度為 12mm 及 8mm，經過實驗發現篩選繩中心距離地面高度 12mm 和 8mm 效率都沒有 10mm 優秀，我們有觀察到高度為 12mm 時撿球滾輪滾動過程中會夾住乒乓球，但是球會因此夾在篩選繩上，而不是進入滾輪內。高度為 8mm 時，滾輪滾動過程中推走乒乓球比例較高。針對實驗結果我們決定增加實驗篩選繩中心距離地面高度 11mm 和 9mm 兩個變項，將實驗變項的間距再縮短到 1mm，撿球數值的紀錄如下：

表 3 篩選繩中心距離地面高度對蒐集效率的數據

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次
8mm	15	14	14	13	16	14	13	14	15	15
9mm	16	14	15	14	16	14	16	17	13	14
10mm	15	16	17	19	16	19	17	18	19	16
11mm	15	14	16	17	18	17	13	15	14	17
12mm	16	15	16	14	17	13	16	14	13	16

(三) Arduino 結合馬達控制的研究

為了後續研究能控制馬達速度、轉向等功能，我們開始著手將 Arduino 結合馬達，首先我們準備材料 ArduinoUNO、電池盒、電池（18650）馬達驅動板（L298N）直流馬達、車輪、車身底盤（木板製作）、杜邦線等連接零件。接著把 L298N 馬達驅動板和 Arduino 主板通過杜邦線連接好，把直流黃色馬達和車輪裝在車身底盤上，把電池盒連接到 Arduino 主板和 L298N 馬達驅動板上，以提供電源。在程式編寫的軟體，我們先採用了 BlocklyduinoF2，編寫控制四個馬達運轉的程式，程式中需要定義馬達的轉速、轉向、運轉時間等參數。

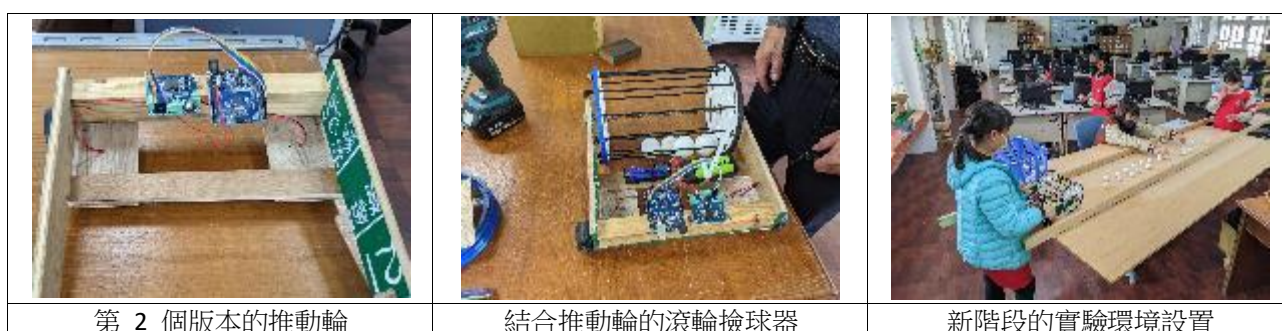


不過，測試過程中並不順利，經過實測發現黃色減速馬達連接驅動馬達的晶片會讓晶片過熱，一旦晶片過熱到一定程度(過程約 40 秒)，黃色減速馬達的運作速度就會變慢，最後完全靜止不動，而且晶片持續發燙。為了解決問題我們分別嘗試了以下方法：

1. 變換電池種類，將原本的 3 顆 18650 鋰電池 換成 6 顆鎳氫電池。
2. 變更電池數量，6 顆鎳氫電池降低為 4 顆鎳氫電池。

3. 使用不同的驅動模組 L298P 馬達驅動模組 取代 L298N
4. 透過程式調整 PWM 值，降低馬達輸出的轉速。

但是上述的四個方法都沒有辦法解決驅動晶片發熱的現象，最後我們將黃色減速馬達更換成 N20 微型金屬減速馬達，終於解決了晶片過熱問題，電池種類和數量在問題解決後也調回原本的 3 顆 18650 鋰電池，同樣沒有出現過熱現象。



(四) 控制推動輪速度對撿球效率的研究

第 2 個版本的推動輪和第 1 個版本的推動輪的差異在於控制轉速，因為導入 Arduino 所以我們可以在程式中加入控制轉速的方法-PWM 值，PWM 的數值介於 0-255 之間，數字越大馬達轉速越快，因此我們可以透過控制 PWM 值進一步達到控制轉速的效果。

表 4 不同推動輪速度(PWM 值)對撿球效率的變項

組別	實驗變項	控制變項
對照組	PWM =100	篩選繩中心到中心的間距 40mm 篩選繩中心距離地面的高度 10 mm 5mm 線徑的彈力繩 12 邊型滾筒設計 第 2 個版本的推動輪 每次的蒐集球數設定為 20 顆 跑道長度設定為直線，起點到終點距離 2 公尺
實驗組	PWM =60	
實驗組	PWM=40	
實驗組	PWM=80	
實驗組	PWM=120	

因此在這個階段我們實驗透過控制滾輪速度對撿球效率影響，實驗變項是 PWM 值，首先我們測試 PWM 值 100 的撿球效率，考慮到 PWM 值 100 時滾輪前進速度已經相當快，所以第 2 個實驗變項 PWM 值設定為 60。執行 PWM 值 100 和 PWM 值 60 兩個變項之後，發現兩者差距不大，於是我們追加實驗 PWM 值 40、80、120，觀察

對撿球效率影響。結果顯示 PWM 值設定為 80 時的撿球效率相對較高。後續研究會以 PWM 值 80 作為固定變項。

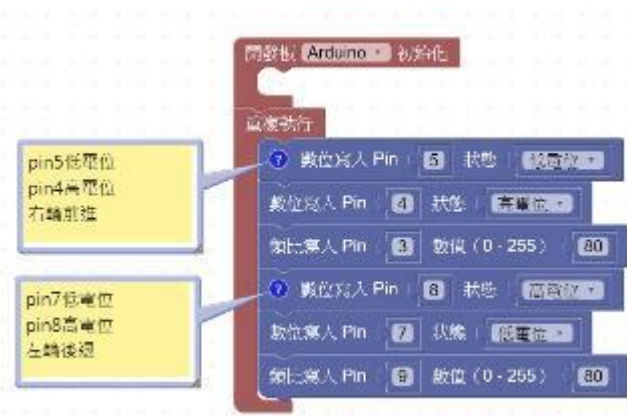
表 5 不同推動輪速度(PWM 值)對撿球效率的數據

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次
PWM=40	17	16	13	18	16	18	16	14	14	15
PWM =60	16	16	18	15	13	13	16	16	17	15
PWM=80	16	16	14	17	19	18	15	19	16	18
PWM=100	14	13	15	18	15	16	16	14	13	17
PWM=120	12	17	16	17	17	19	14	14	13	17



(五) 推動輪的重新製作研究

研究推動輪控制速度的直走後
我們要開始研究讓推動輪可以旋轉
我們預設讓右輪前進、左輪後退達
到左旋轉動作，實驗後發現，不推
動滾筒的狀況下，推動輪可以順利

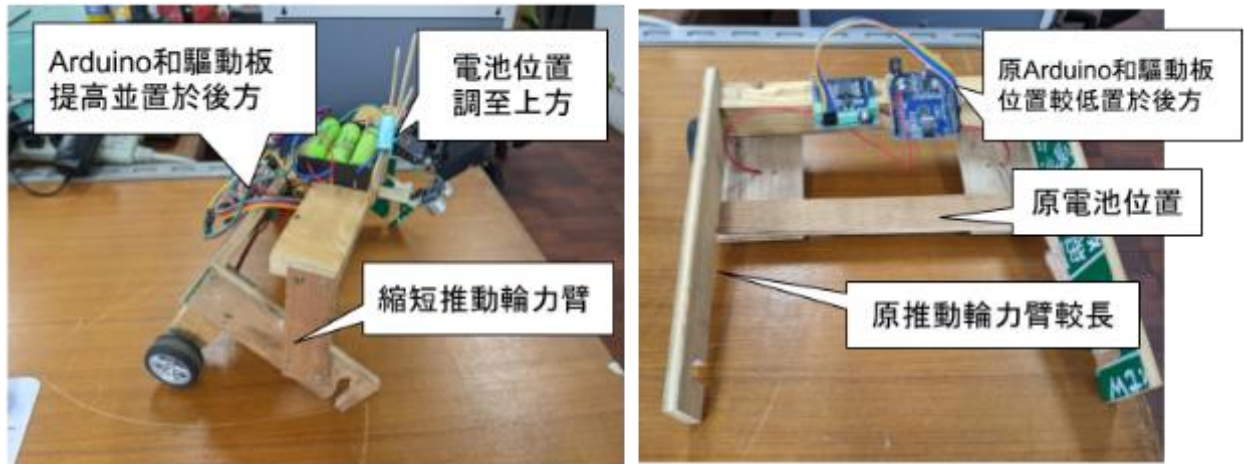


旋轉，但是如果加上滾筒之後卻不能旋轉。根據上面的現象，我們推測可能原因是：

1. 推動輪在旋轉動作時因滾筒的摩擦力過大導致旋轉失敗。
2. 滾筒中心和推動輪的距離較長，力臂長導致摩擦力變大，造成旋轉失敗。

除此之外，我們發現目前的推進輪底板太低，會有卡住乒乓球的問題，因此在新的推動輪設計上需要一併考量。

		
<p>加上滾筒之後不能旋轉</p>	<p>第 2 版本推動輪卡球問題</p>	<p>將推動輪的力臂縮短</p>



因此新的推動輪重新製作調整了以下項目：

1. 為了避免長力臂造成摩擦力較大，縮短推動輪跨在滾筒上的長度。
2. 為了解決推動輪卡球問題，修正原 Arduino 和驅動板較低的位置(離地約 3cm)，提高 Arduino 和驅動板位置至 8cm 位置。
3. 跨在滾筒上的長度縮短後，原本電池的位置調整至滾輪上方偏後面。

經過調整之後，解決了第 2 版本的主要問題-摩擦力，推動輪搭配滾筒已經可以順利做出旋轉動作，但是我們仍有一個小小的困擾：當 18650 電池的位置調整至滾筒正上方，使整組機器無法做出旋轉動作，但是如果把 18650 電池的位置調整太過偏向 Arduino 和驅動板位置時，又會造成推動輪向後傾倒。



我們猜測當電池位於滾筒正上方時，會增加滾筒摩擦力，電池的位置調整太過偏向 Arduino 和驅動板位置時，推動輪重量全部壓在後方，重心在後方只要稍有震動就會造成推動輪向後傾倒。所以，我們推測電池放置的橫桿一定有某些角度可以同時達到重心平衡不會向後傾倒和降低滾筒摩擦力兩個條件。

我們的實驗變項便是電池位置的角度，我們預計從垂直的 90°作為對照組，向後傾的極限角度 40°，陸續實驗 65°、75°、85°。

表 6 電池位置的角度對推動輪影響的變項

組別	實驗變項	控制變項
對照組	電池位置的角度 90°	相同的程式設定右輪前進、左輪後退，PWM 值 80 第 3 版本的推動輪 每一次調整角度後觀察 3 次並做紀錄
實驗組	電池位置的角度 40°	
實驗組	電池位置的角度 65°	
實驗組	電池位置的角度 75°	
實驗組	電池位置的角度 85°	

表 7 電池位置的角度對推動輪影響的結果

	傾斜 90°	傾斜 40°	傾斜 65°	傾斜 75°	傾斜 85°
第 1 次	X	X	O	O	X
第 2 次	X	X	O	O	X
第 3 次	X	X	X	O	X

(六) 推動輪的超音波感測器研究

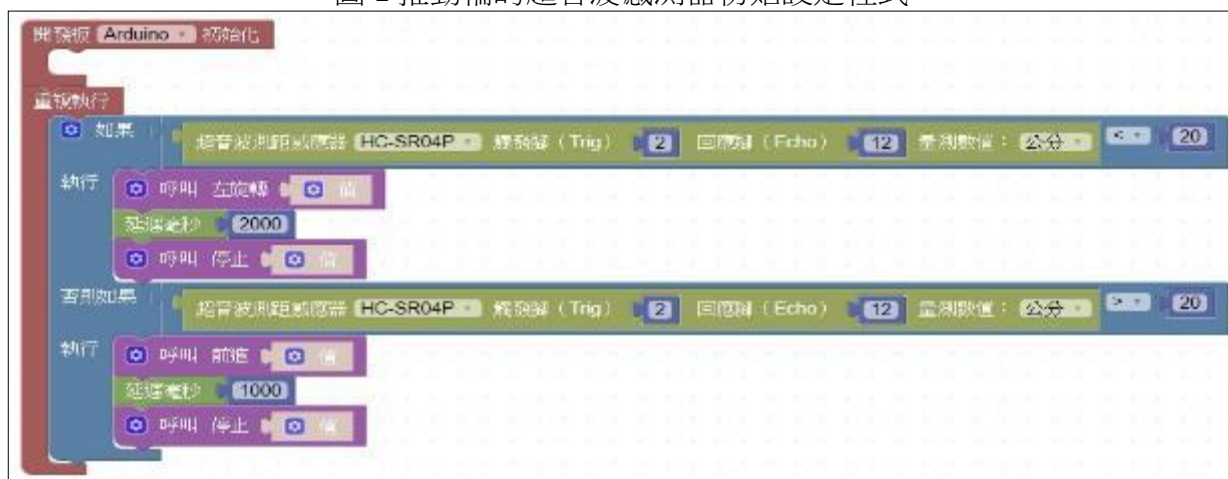
接續前一個研究，第 3 版本的推動輪已經可以穩定前進並且完成旋轉動作，接著研究以自走避障的形式運作滾筒，為了實踐避障功能，我們採用的策略工具是超音波感測器，以超音波感測器感測距離之後，由 Arduino 控制馬達驅動版執行旋轉動作，避開牆面繼續工作。我們超音波感測器的初始設定為：

1. 偵測的距離設定為 20 公分。
2. 如果偵測距離小於 20 公分則左旋轉 2000 毫秒。
3. 如果偵測大於 20 公分則繼續執行前進 1000 毫秒撿球工作。

超音波感測器安裝我們先以冰棒棍為延長桿，再將超音波感測器固定在前端。



圖 1 推動輪的超音波感測器初始設定程式



經過實際讓滾輪在教室環境測試後，我們觀察到幾個現象：

1. 20 公分的偵測距離過短，如果滾輪以傾斜角度接近牆面有可能偵測不到牆面，導致滾輪卡在牆上。
2. 執行前進 1000 毫秒時間過長，有時太接近牆面時，仍在執行前進動作，會使滾輪用力撞牆。
3. 超音波感測器 20 公分的偵測距離過短，會讓滾輪太過接近牆面難以旋轉甚至卡在角落。

基於上面第 1 點的觀察，我們應該要針對滾輪的切入角度調整偵測距離，因此我們先將滾輪以垂直 90° 貼齊在牆面上，使用直尺量測超音波到牆面距離為 14 公分，因此我們以 15 公分作為最初的超音波偵測距離，以超音波偵測距離作為實驗變項，並且每次增加偵測距離 1 公分，如果同一距離連續實驗 10 次，滾輪沒有撞上牆壁，則判定該距離為合格。如果同一距離連續實驗 10 次，只要有 1 次沒有在偵測到障礙物做出反應前就撞上，則判斷該距離為不合格。

如果切入角 90° (直面障礙) 已取得合格超音波偵測距離，接下來以不同的切入角 30°、45° (側角切入) 作為實驗變項，但是每次增加偵測距離 1 公分的實驗仍依前面作法執行。



表 8 滾輪切入角度與超音波偵測距離的變項

組別	實驗變項	控制變項
對照組	90° (直面障礙)	相同的程式設定左右輪 PWM 值 80 第 3 版本的推動輪 每一次調整超音波偵測距離 1cm 後，同一距離連續實驗 10 次沒撞上障礙，該距離為合格並做紀錄。
實驗組	45° (側角切入)	
實驗組	30° (側角切入)	

表 9 滾輪切入角度與超音波偵測距離的結果

	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	35	40	41	42
90° 直面障礙	X	X	X	X	O	O														
45° 側角切入					X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O					
30° 側角切入														X	X	X	X	X	X	O

基於上面的觀察和偵測距離的實驗，我們做出修正：

1. 感測器偵測的距離設定為 42 公分，提早偵測到牆面做出反應。
2. 如果偵測距離小於 42 公分則先後退 1000 毫秒再左旋轉 2000 毫秒，後退 1000 毫秒主要用於避免太過接近牆面無法旋轉。
3. 如果偵測大於 42 公分則繼續執行前進，移除前進後等待 1000 毫秒，避免滾輪用力撞牆。

圖 2 推動輪的超音波感測器修正後設定程式



修正後的推動輪如我們所預測的可以提早偵測到牆面做出反應，即使在切入角較小的轉角處也因為偵測距離比較長，不會出現卡在角落關廁所的現象出現。偵測距離小於 42 公分則先後退再旋轉，則是避免的旋轉空間不足的問題。



(七) 推動輪的 AI 偵測球體製作研究

除了超音波感測器判斷距離完成避障功能，我們還希望滾筒撿球器能夠追蹤乒乓球，因此我們需要可以偵測球體的鏡頭，並且根據鏡頭所讀取到的訊息指示推動輪作出反應。

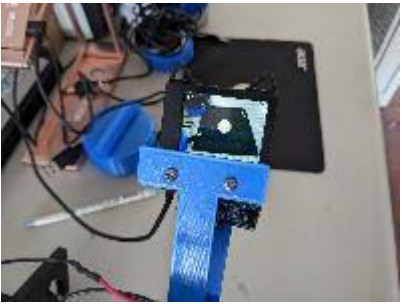
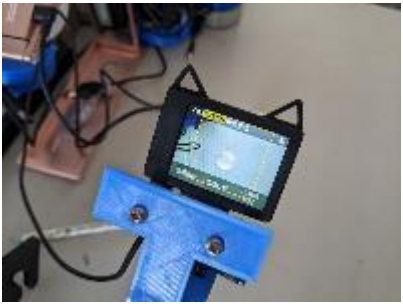

要達成 AI 偵測的製作需要鏡頭的幫忙，透過 google 搜尋關鍵字「AI 鏡頭」，我們搜尋到了一篇詳盡的 AI 鏡頭比較文章[阿玉教學網-07 常見 AI 鏡頭介紹⁴](#)，根據比較幾款 AI 鏡頭的提示後，再考慮我們目前的技術水準，其中只有一款符合條件：

1. 哈士奇 AI 辨識鏡頭可以連接的控制器包含 Arduino
2. 哈士奇 AI 辨識鏡頭可以透過 BlocklyDuino 撰寫程式

基於以上兩點內容，HUSKYLENS-哈士奇 AI 辨識鏡頭⁵ 符合了我們到目前為止的研究內容，因此我們決定採用 HUSKYLENS 作為推動輪的 AI 辨識鏡頭。

⁴阿玉教學網 07 常見 AI 鏡頭介紹. (n.d.). GoogleSite. Retrieved April 5, 2023

⁵ HUSKYLENS 哈士奇 AI 辨識鏡頭 (PRO 版) 電子零件/模組/STEAM 教具/開發板軍火庫. (n.d.). iCShop - 電子零件/模組/STEAM 教具/開發板軍火庫. Retrieved April 5, 2023

		
<p>可以透過按鈕學習事物</p>	<p>辨識物體時出現的框框訊息</p>	<p>HUSKYLENS 的安裝位置</p>

HUSKYLENS 能透過指派的方法學習事物，經過學習的事物如果出現在鏡頭前就會出現辨識框框，如果有接上 Arduino 就可以將框框的訊息傳回給 Arduino，這時我們就可以針對框框的訊息指派給推動輪任務例如向左轉或是向右轉。

HUSKYLENS 商品規格所列的解析度是 320*240，以寬度 320 數值的一半 160 作為判斷的分界點，框框的訊息有一項是框框中心的 X 座標，因此我們依框框中心的 X 座標作為判斷依據，所以我們的判斷推動輪的邏輯是：

1. HUSKYLENS 辨識框中心的 X 座標大於 180，推動輪向右轉。
2. HUSKYLENS 辨識框中心的 X 座標小於 140，推動輪向左轉。
3. HUSKYLENS 辨識框中心的 X 座標介於 140-180 間，推動輪前進。

伍、 研究結果

我們在實驗時將數據先用紙筆紀錄，再將紀錄輸入到試算表，同時使用公式計算、製作圖表，方便解讀數據的趨勢判斷變項是否有效，並加入觀察到的現象討論、解釋可能造成的因素。

一、 篩選繩中心距離地面高度對蒐集效率的實驗

表 10 篩選繩中心距離地面高度對蒐集效率的實驗

組別	實驗變項	控制變項
對照組	篩選繩中心距離地面高度 10mm	篩選繩中心到中心的間距 40mm 5mm 線徑的彈力繩 12 邊型滾筒設計 推動使用黃色馬達搭配 2 顆 1.5V 電池 每次的蒐集球數設定為 20 顆 跑道長度設定為直線，起點到終點距離 4 公尺
實驗組	篩選繩中心距離地面高度 12 mm	
實驗組	篩選繩中心距離地面高度 8 mm	
實驗組	篩選繩中心距離地面高度 11 mm	
實驗組	篩選繩中心距離地面高度 9 mm	

表 11 篩選繩中心距離地面高度對蒐集效率的數據

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次
8mm	15	14	14	13	16	14	13	14	15	15
9mm	16	14	15	14	16	14	16	17	13	14
10mm	15	16	17	19	16	19	17	18	19	16
11mm	15	14	16	17	18	17	13	15	14	17
12mm	16	15	16	14	17	13	16	14	13	16

我們篩選繩中心距離地面高度 10mm 為對照組，實驗組先篩選繩中心距離地面高度為 12mm 及 8mm，如實驗結果是 12mm 較優則繼續增加高度實驗，如果實驗結果是 8mm 較優則降低高度實驗，如果是 10mm 較優，則進一步針對 9mm 和 11mm 進行實驗。初步實驗結果是 10mm 較優，所以我們又增加 9mm 和 11mm 的實驗，因此控制變項如上表所列，並觀察變項對於撿球效率的影響。

經過實驗數據證明篩選繩中心距離地面高度預設的 10mm 有最好的撿球效率，蒐集的球數總和數值最高，篩選繩中心距離地面高度在 8mm 和 12mm 時撿球效率相對較低，我們在 12mm 時有觀察到撿球滾輪滾動過程中會夾住乒乓球，但是球會夾在篩選繩上，而不是進入滾輪內，造成蒐集球數減少。進一步實驗篩選繩中心距離地面高度 9mm 和 11mm 所取得的撿球數量總和仍不及預設高度 10mm。

不同篩選繩中心距離地面的高度對蒐集球數的影響：

篩選繩中心距離地面的高度 8mm，總蒐集球數 143。

篩選繩中心距離地面的高度 9mm，總蒐集球數 149。

篩選繩中心距離地面的高度 10mm，總蒐集球數 172。 🏆

篩選繩中心距離地面的高度 11mm，總蒐集球數 156。

篩選繩中心距離地面的高度 12mm，總蒐集球數 150。

圖 3 篩選繩中心距離地面高度對蒐集球數的堆疊長條圖

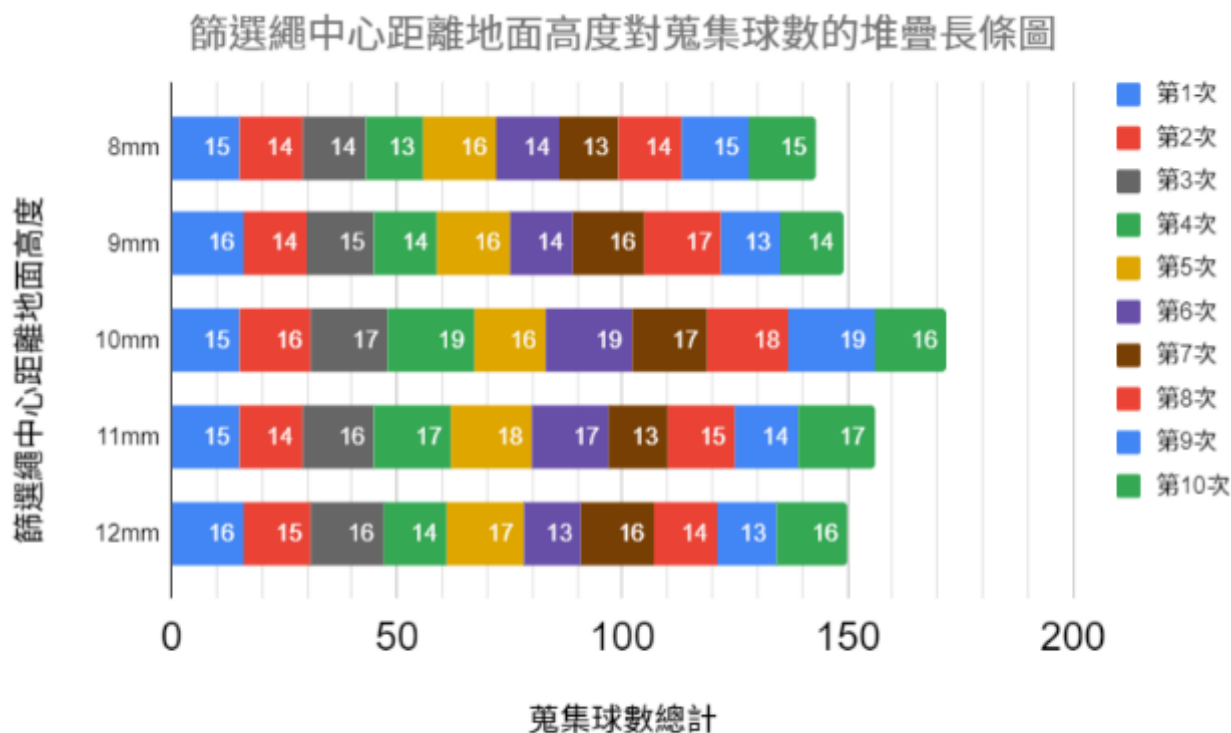
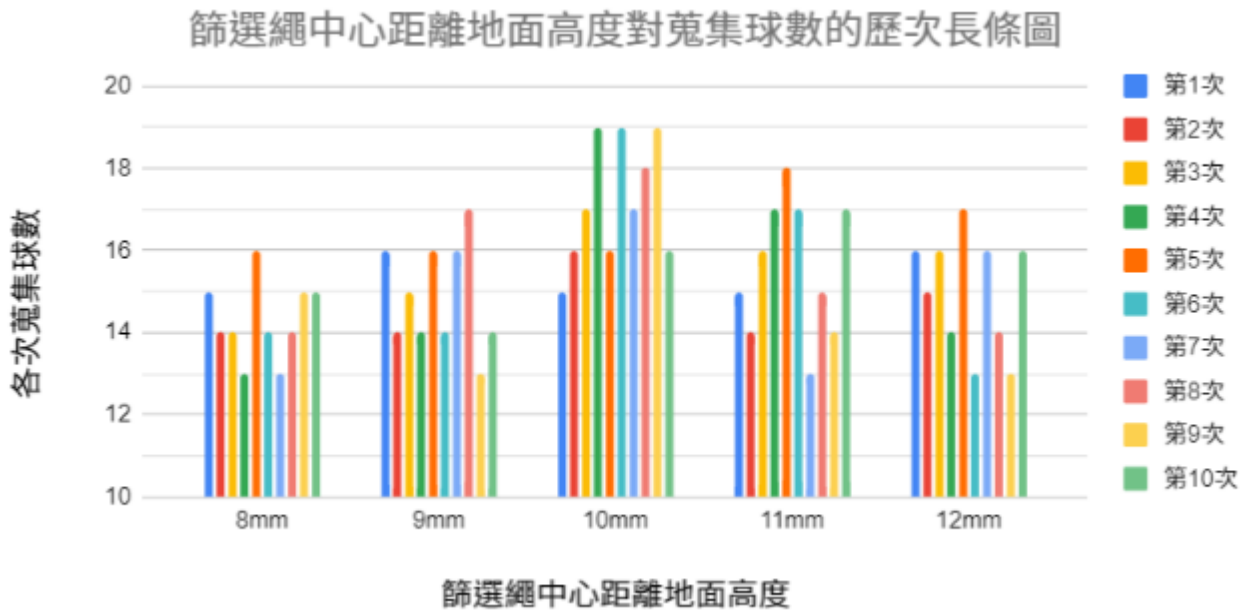


圖 4 篩選繩中心距離地面高度對蒐集球數的歷次長條圖



二、控制推動輪速度對蒐集效率的研究

因為導入 Arduino 我們可以透過控制 PWM 值進一步達到控制轉速的效果，在這個階段我們實驗透過控制推動輪速度觀察是否對撿球效率造成影響，因此實驗變項是 PWM 值，首先以 PWM 值 100 作為對照組，並實驗 PWM 值 40、60、80、120，觀察對撿球效率影響，控制變項如下表所列。

表 12 不同推動輪速度(PWM 值)對撿球效率的變項

組別	實驗變項	控制變項
對照組	PWM =100	篩選繩中心到中心間距 40mm 篩選繩中心距離地面高度 10 mm 5mm 線徑的彈力繩 12 邊型滾筒設計 第 2 個版本的推動輪 每次的蒐集球數設定為 20 顆 跑道長度設定為直線，起點到終點距離 2 公尺
實驗組	PWM =60	
實驗組	PWM=40	
實驗組	PWM=80	
實驗組	PWM=120	

圖 5 PWM 值控制馬達轉速程式

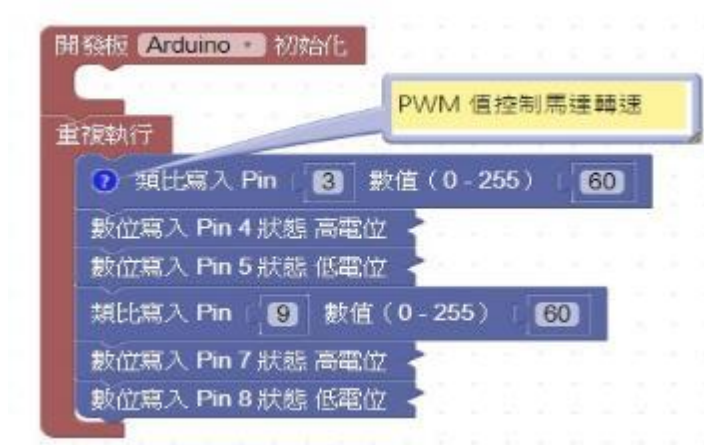


表 13 不同推動輪速度(PWM 值)對撿球效率的數據

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次
PWM=40	17	16	13	18	16	18	16	14	14	15
PWM =60	16	16	18	15	13	13	16	16	17	15
PWM=80	16	16	14	17	19	18	15	19	16	18
PWM=100	14	13	15	18	15	16	16	14	13	17
PWM=120	12	17	16	17	17	19	14	14	13	17

經過實驗數據證明推動輪速度 PWM 值 80 撿球效率最好，我們在實驗時有觀察到，如果推動輪速度慢－PWM 值低於 80，篩選繩不容易將球壓進滾筒中，如果推動輪速度快－PWM 值高於 80，篩選繩會把乒乓球推跑也就收不到球。因此 PWM 值 80 正巧取得平衡，可以施加適當的力度將球壓入滾筒又不會將乒乓球推走。不同推動輪速度(PWM 值)對蒐集球數的影響如下：

不同推動輪速度 PWM=40，總蒐集球數 157。

不同推動輪速度 PWM=60，總蒐集球數 155。

不同推動輪速度 PWM=80，總蒐集球數 168。🏆

不同推動輪速度 PWM=100，總蒐集球數 151。

不同推動輪速度 PWM=120，總蒐集球數 156。

圖 6 不同推動輪速度(PWM 值)對蒐集球數的堆積長條圖

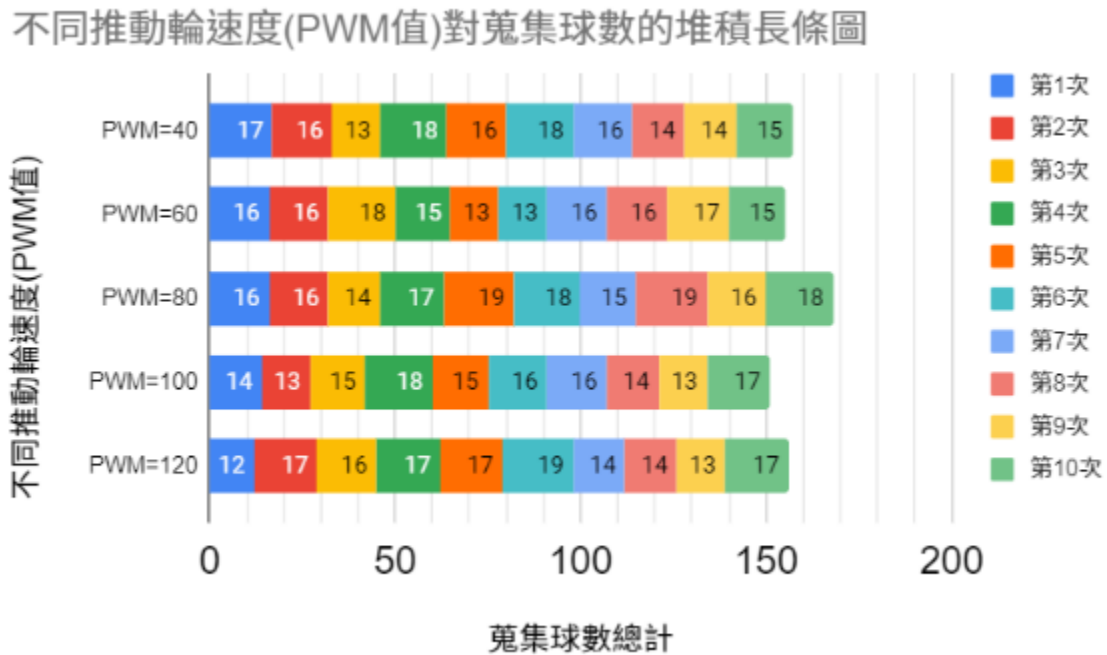
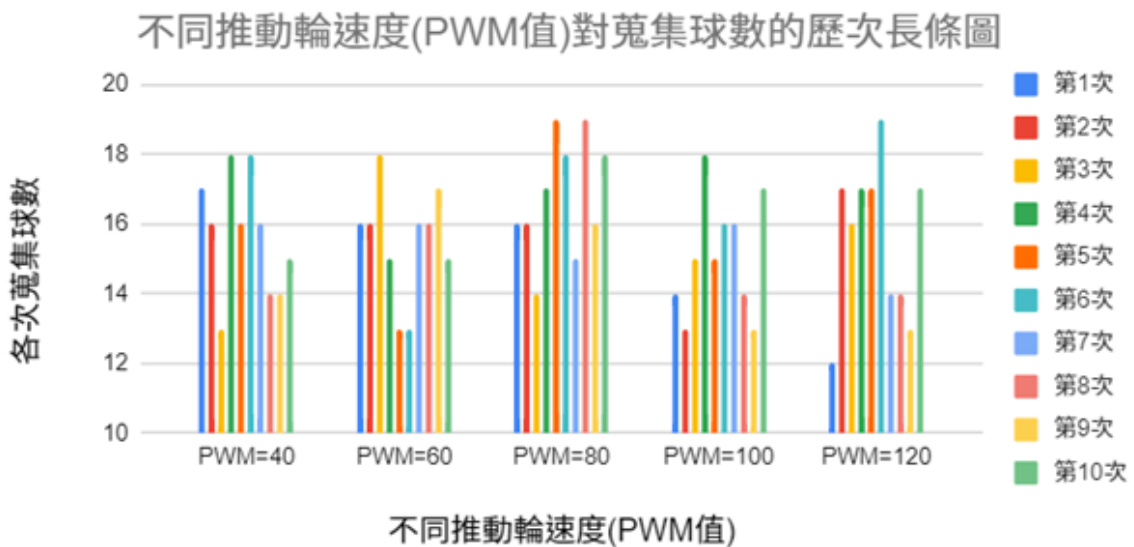


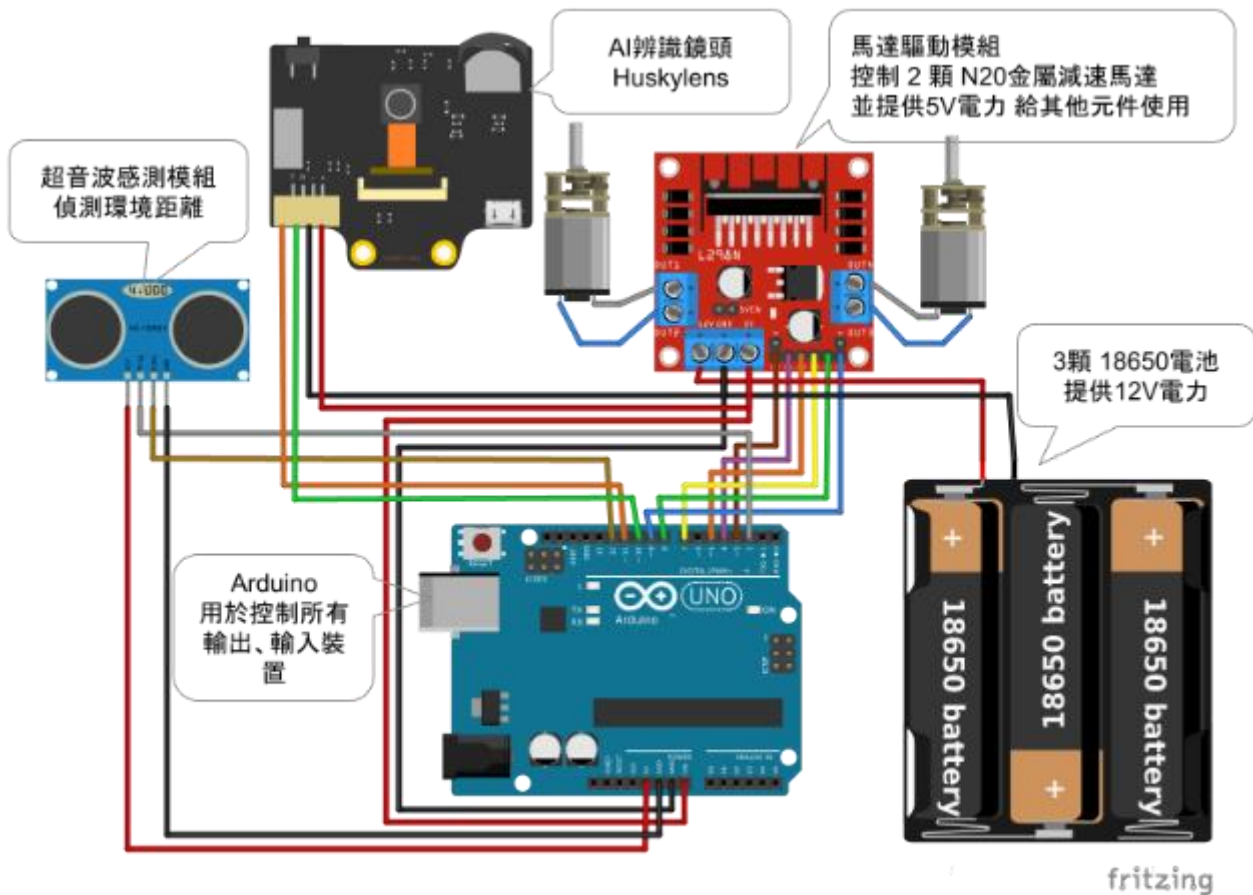
圖 7 不同推動輪速度(PWM 值)對蒐集球數的歷次長條圖



三、 AI 辨識撿取乒乓球自走滾筒

AI 辨識撿取乒乓球自走滾筒以第 3 版本的推動輪為核心，以 Arduino 為主要控制板搭配馬達驅動模組，馬達驅動模組所需的 12V 電力由 18650 電池提供，並控制 2 顆 N20 金屬減速馬達，馬達驅動模組再引出 5V 電力供其他元件使用。AI 辨識鏡頭、超音波感測兩項環境感測裝置同樣接上 Arduino 的引腳，作為輸入裝置提供環境訊息再由 Arduino 處理。

圖 8 Arduino 及所有輸出輸入裝置的硬體配置圖



程式設計的邏輯以超音波偵測為首要判斷條件，感測器偵測的距離設定為 42 公分，確保不會撞上障礙物再使用 AI 辨識鏡頭偵測是否有球體，如果鏡頭偵測到球體則執行辨識物體的 X 座標，辨識框中心的 X 座標大於 180，推動輪向右轉，辨識框中心的 X 座標小於 140，推動輪向左轉，持續修正方位直到 X 座標介於 140-180 間，推動輪前進收球進滾筒，如果鏡頭沒有偵測到球體，則執行前進再回到超音波模式，重複執行上述步驟，程式流程圖如下頁圖 8- AI 辨識撿取乒乓球自走滾筒程式邏輯流程圖：

圖 9 AI 辨識撿取乒乓球自走滾筒程式邏輯流程圖

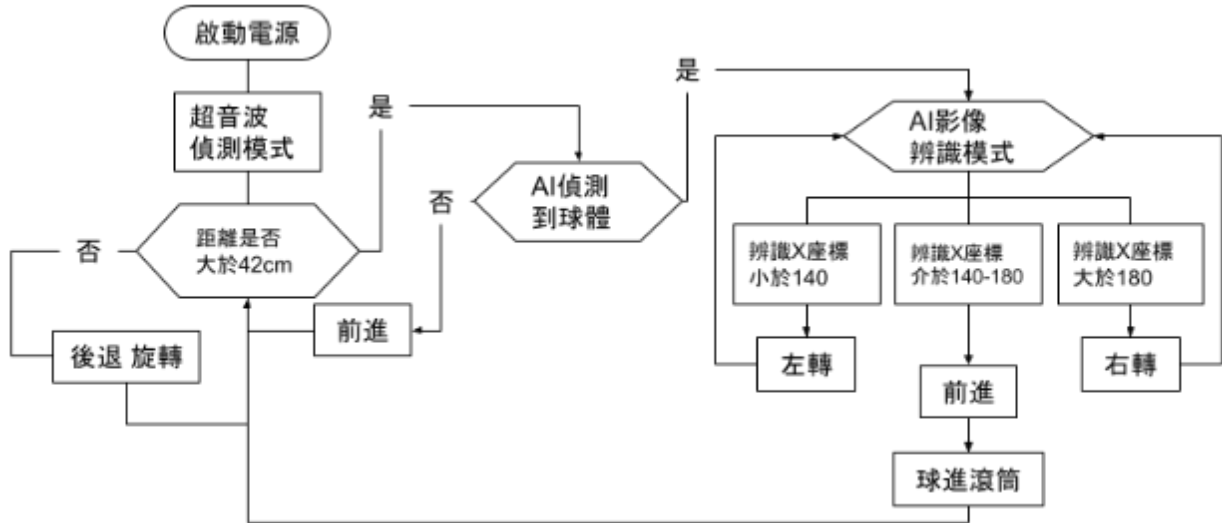
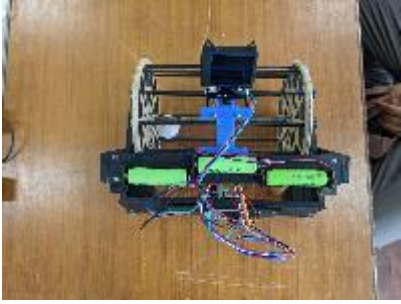




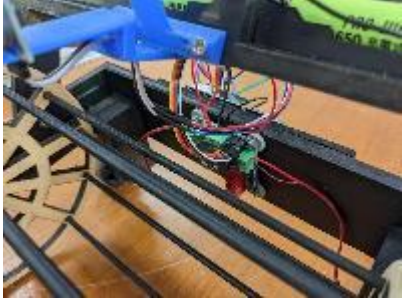





圖 10 AI 辨識撿取乒乓球自走滾筒程式積木



		
<p>自走滾筒上方視角</p>	<p>自走滾筒後方視角</p>	<p>自走滾筒側方視角</p>
		
<p>18650 電池於滾筒上後方</p>	<p>Arduino 置於滾筒後方</p>	<p>馬達驅動版置於內側</p>
		
<p>推動輪前臂跨在滾筒兩側</p>	<p>AI 辨識鏡頭、超音波感測</p>	<p>提高後方板材位置避免卡球</p>

陸、 討論

- 一、考慮結合馬達推動的形式，我們採用滾筒式桌球撿球器結合馬達推動前進。
- 二、經過研究我們的滾筒式桌球撿球器使用 5mm 線徑的彈力繩、篩選繩中心到中心的間距為 40mm，且篩選繩不論使用直線和斜線的穿線方式，兩種方式皆可順利進球，因此採用直線作為篩選繩的排列方式。
- 三、我們需要將間距是 40mm 的孔洞安排在圓形輪子上，同時我們的設計需要符合 3D 列印機的尺寸限制 220mm x 220mm，經過我們的計算 12 邊形的尺寸大小會最符合以上兩個限制。
- 四、篩選繩中心距離地面高度預設的 10mm 有最好的撿球效率，蒐集的球數總和數值最高，篩選繩中心距離地面高度在 8mm 和 12mm 時撿球效率相對較低，我們在 12mm 時有觀察到撿球滾輪滾動過程中會夾住乒乓球，但是球會夾在篩選繩上，而不是進入滾輪內，造成蒐集球數減少。進一步實驗篩選繩中心距離地面高度 9mm 和 11mm 所取得的撿球數量總和仍不及預設高度 10mm。
- 五、推動輪速度 PWM 值 80 時撿球效率最好，我們在實驗時有觀察到，如果推動輪速度慢—PWM 值低於 80，篩選繩不容易將球壓進滾筒中，如果推動輪速度快—PWM 值高於 80，篩選繩會把乒乓球推跑也就收不到球。因此 PWM 值 80 正好取得平衡，可以施加適當的力度將球壓入滾筒又不會將乒乓球推走。
- 六、根據切入角與超音波偵測距離的結果，我們感測器偵測的距離設定為 42 分，提早偵測到牆面做出反應。如果偵測距離小於 42 公分則先後退 1000 毫秒再左旋轉 2000 毫秒，後退 1000 毫秒用於避免太過接近牆面無法旋轉。如果偵測大於 42 公分則繼續執行前進。
- 七、程式設計的邏輯以超音波偵測為首要判斷條件，確保不會撞上障礙物再使用 AI 辨識鏡頭偵測是否有球體。鏡頭偵測到球體則執行辨識物體的 X 座標，透過馬達的左右轉持續修正方位直到 X 座標值介於 140-180 間。

柒、 結論

乒乓球是一個小而輕的物體，其形狀和尺寸讓 AI 的辨識和抓取變得複雜。乒乓球自走滾筒需要能夠精確地辨識乒乓球的位置、速度和方向，並且能夠根據這些訊息控制自走滾筒的運動，以確保準確地撿取乒乓球。此外，自走滾筒需要具備高度的運動控制能力，能夠在高速運動的情況下快速反應和調整，以確保能夠成功地撿取乒乓球。在 AI 辨識方面，需要具備高度的視覺辨識能力，能夠從多個角度和速度下準確識別乒乓球，並且能夠適應場景中可能的變化，例如燈光條件、球桌表面的反光等。儘管目前的技術可能還無法完美的實現 AI 辨識撿取乒乓球自走滾筒，但隨著科技的不斷進步和發展，未來可能會有更先進的技術和解決方案出現，使得這一目標變得更加可能。

捌、 參考資料及其他

落葉終結者-自製掃落葉機. (n.d.). 臺灣網路科教館. Retrieved April 5, 2023

[評測]乒乓球撿球神器推薦桌球最佳撿球方法 Table tennis ball catcher evaluation. (2022, May 28). YouTube. Retrieved April 5, 2023

阿玉教學網 07 常見 AI 鏡頭介紹. (n.d.). GoogleSite. Retrieved April 5, 2023

HUSKYLENS 哈士奇 AI 辨識鏡頭 (PRO 版) 電子零件/模組/STEAM 教具/開發板軍火庫. (n.d.). iCShop - 電子零件/模組/STEAM 教具/開發板軍火庫. Retrieved April 5, 2023

【評語】 082818

本作品運用 Arduino 研製一項自動檢拾乒乓球的機器人，使用有辨識、驅動和檢拾乒乓球等功能。其優點臚列如下。

1. 作品結合 AI 圖像辨識技術和 Arduino 來製作乒乓球檢球機器人是
很創新的想法，顯示研究者對於科技的理解和運用。
2. 報告中對乒乓球檢球機器人的製作過程有系統化地、詳細地描
述，對於各個變項與設定清楚的交代與進行實驗分析，這對於瞭
解整個實作過程非常有幫助。
3. 實際的展演中，發揮團隊的默契，成功地進行說明與實務執行。
4. 本作品具有實用價值，應繼續研發完成商品化或有推廣應用的規
劃。

若有機會進一步提升：可參考下面的建議：

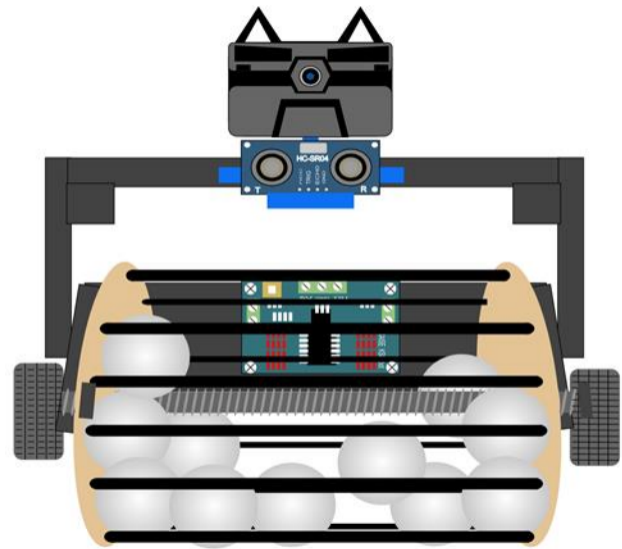
1. 滾動式滾輪過於龐大旋轉方向與行動變得不方便容易有死角，例
如機器人的視覺系統或感測器可能無法覆蓋的區域，未來可考慮
如何予以克服。

2. 對於規模較大的桌球場地可能會遇到、若干困難。例如，可能出現的導航問題、處理更大區域內的乒乓球分佈、需要更長時間和更高效能的電池供應等問題。

作品海報

哈士奇撿球

AI辨識撿取乒乓球自走滾筒



研究動機

乒乓球是一種受歡迎的運動，但在撿乒乓球需要花費額外時間和體力，過程並不有趣。如果可以有一款工具像是掃地機器人一樣，能自動撿取乒乓球一定可以減少時間和體力成本。因此，本研究預計開發一款能夠自動撿取乒乓球的類掃地機器人，以解決現有乒乓球收集方法的問題。

研究目的

本研究運用馬達驅動模組 Arduino 整合 AI 影像辨識技術、超音波感測，撰寫程式讓乒乓球撿球滾筒判斷乒乓球並導正方向提高撿球效率。

01

研究乒乓球撿球器市售的產品型態後，擇定一款適器合結合 Arduino 的撿球器。

02

研究擇定的乒乓球撿球器如何製作，並找出最有效率的乒乓球撿球器。

03

研究馬達驅動的乒乓球撿球器最佳前進速度，提高撿球效率。

04

結合 Arduino 和超音波模組偵測距離，實現避障、自動撿球功能。

05

整合 AI 影像辨識技術辨識乒乓球，實現尋找乒乓球功能。



未來展望

乒乓球是一個小而輕的物體，其形狀和尺寸讓AI的辨識和抓取變得複雜。

乒乓球自走滾筒需要能夠精確地辨識乒乓球的位置、速度和方向。

此外，滾筒需要具備高度的運動能力，能夠在高速運動情況下快速反應和調整。

在AI辨識方面需要具備高度視覺辨識能力，能從多角度和速度下識別乒乓球，

並且能夠適應場景中可能的變化，例如燈光條件、表面的反光等。

儘管目前技術還無法完美實現AI辨識撿取乒乓球自走滾筒，

但隨著科技的不斷進步和發展，未來可能會

有更先進的技術和解決方案出現，

使得這一目標變得更加可能。

我們採用滾筒式桌球撿球器結合馬達推動前進。

我們的滾筒式桌球撿球器使用5mm線徑彈力繩、篩選繩中心到中心的間距為40mm經過我們的計算12邊形的尺寸大小會最符合以上我們在器材上的限制。

篩選繩中心距離地面高度10mm有最好的撿球效率，如果篩選繩中心距離地面高度高於10mm，乒乓球容易卡在篩選繩上。

推動輪

速度PMW值80

撿球效率最好，我們在

實驗時有觀察到，

如果推動輪速度快-PMW值高於80，

篩選繩會把乒乓球推跑也就收不到球。

因此PMW值80正且取得平衡。

感測器偵測的距離設定為42公分，提早偵測到牆面做出反應。偵測距離小於42公分

則先後退1000毫秒再左旋轉2000毫秒，

後退1000毫秒避免太過接近牆面

無法旋轉。如果偵測大於42公分

則繼續執行前進，

尋找乒乓球。

結論

程式設計的邏輯以超音波

偵測為首要判斷條件，確保不會撞上障礙物

再使用AI辨識鏡頭偵測是否有球體。

鏡頭偵測到球體則執行辨識物體的X座標，

辨識框中心的X座標大於180，推動輪向右轉，

辨識框中心的X座標小於140，推動輪向左轉，

透過馬達的左右轉持續修正方位直到X座標值介於140-180間。



滾筒製作研究

01

我們考慮結合馬達推動的形式，我們選擇滾筒式撿球器結合馬達推動前進並選擇彈力繩作為製作材料。我們預定篩選繩子中心到中心的間距是40mm，用3分螺絲桿作為中心軸，使用螺母和墊片固定，再將彈力繩篩選線穿過單側的滾筒預先設計的孔洞，伸出滾筒輪軸盤的彈力繩再使用大頭釘和熱熔膠固定。

篩選繩中心距離地面高度的研究

02

我們猜測線軸中心距離地面的高度可能會是影響一個變項，所以我們逐次增加線軸中心距離地面的高度1mm，並觀察變項對於撿球效率的影響。經過實驗數據證明篩選繩中心距離地面高度10mm效率最好，我們有觀察到篩選繩中心距離地面高度大於10mm會夾住乒乓球，但是球會因此夾在篩選繩上，而不是進入滾輪內。

Arduino結合和馬達控制的研究

03

為了能控制馬達速度、轉向等功能，我們準備了ArduinoUNO、電池(18650)、馬達驅動板、直流馬達、車輪、車身底盤(木板製作)等連接零件。接著把馬達驅動板和 Arduino 主板連接好，把直流黃色馬達和車輪裝在車身底盤上。程式中需要定義馬達的轉速、轉向、運轉時間等參數。

控制推動輪速度對撿球效率的研究

04

我們在程式中加入控制轉速的方法-PWM值，透過控制PWM值進一步達到控制轉速的效果。在這個階段實驗變項是PWM值，首先我們測試PWM值100的撿球效率，考慮到PWM值100時滾輪前進速度相當快，所以第2個實驗變項PWM值設定為60。我們也有實驗PWM值40、80、120，觀察對撿球效率影響

推動輪的重新製作研究

05

除了推動輪控制速度的直走後，研究也要讓推動輪可以旋轉，預設讓右輪前進、左輪後退達到左旋轉動作。實驗後發現，不推動滾筒的狀況下，推動輪可以順利旋轉，只要稍有震動就會造成推動輪向後傾倒。我們推測電池放置的橫桿一定有某些角度可以同時達到重心平衡不會向後傾倒和降低滾筒摩擦力。

超音波感測器研究

06

接續前一個研究，第 3 版本的推動輪已經可以穩定前進並且完成旋轉動作，接著研究以自走避障的形式運作滾筒，為了實踐避障功能，我們採用的策略工具是超音波感測器，以超音波感測器感測距離之後，由Arduino控制馬達驅動版執行旋轉動作，避開牆面繼續工作。

AI偵測球體製作研究

07

除了超音波感測器判斷距離完成避障功能，我們希望滾筒撿球器能夠追蹤乒乓球，需要偵測球體的鏡頭，並且根據鏡頭所讀取到的訊息指示推動輪作出反應。我們搜尋到一篇詳盡的AI鏡頭比較文章，根據比較幾款AI鏡頭的提示後，再考慮我們目前的技術水準，其中只有HUSKYLENS符合條件。





研究數據

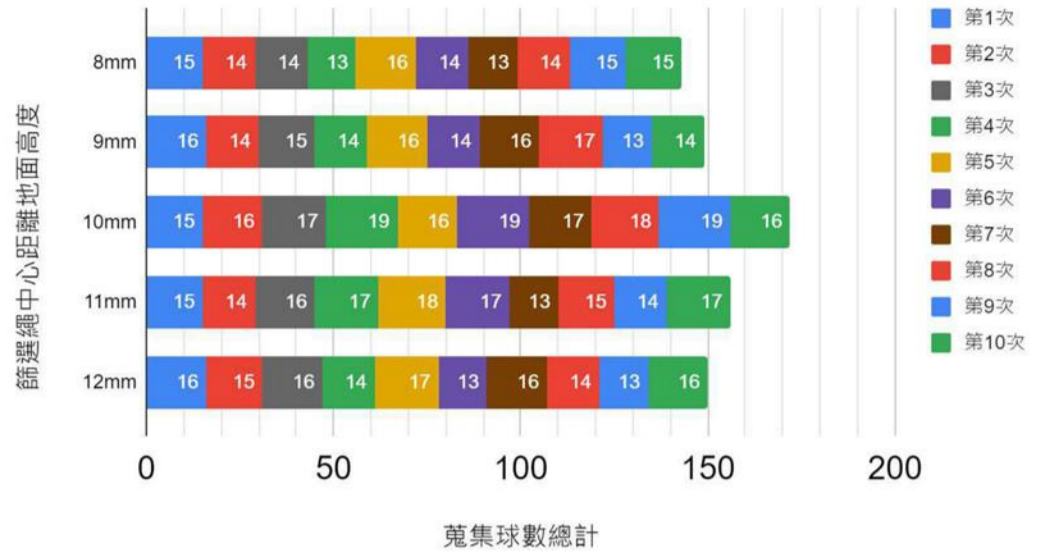
01

篩選繩中心距離地面高度

對蒐集效率的實驗

計次高度	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	平均
8mm	15	14	14	13	16	14	13	14	15	15	14.3
9mm	16	14	15	14	16	14	16	17	13	14	14.9
10mm	15	16	17	19	16	19	17	18	19	16	17.2
11mm	15	14	16	17	18	17	13	15	14	17	15.6
12mm	16	15	16	14	17	13	16	14	13	16	15

篩選繩中心距離地面高度對蒐集球數的堆疊長條圖



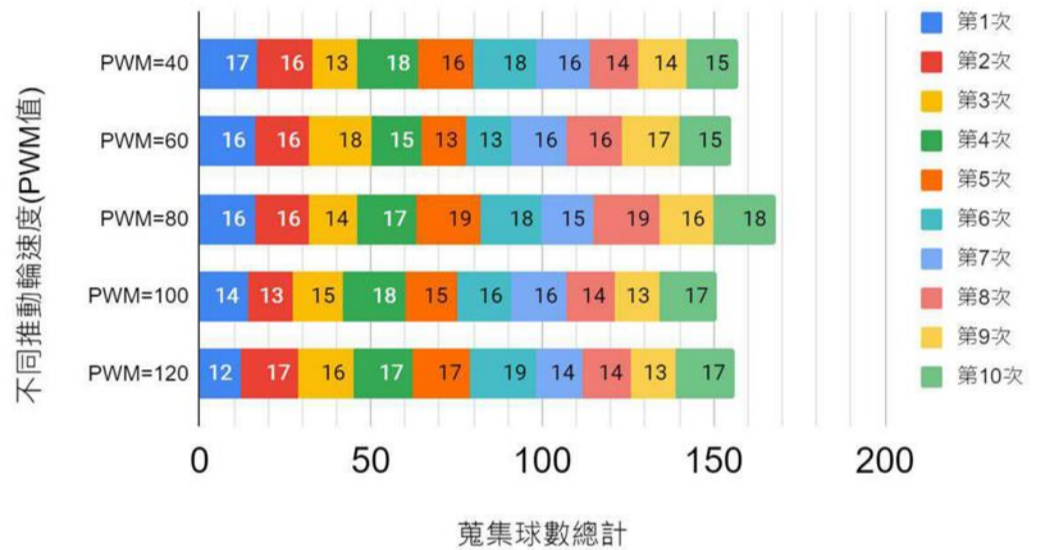
02

控制推動輪速度

對蒐集效率的研究

計次速度	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	平均
PWM40	17	16	13	18	16	18	16	14	14	15	15.7
PWM60	16	16	18	15	13	13	16	16	17	15	15.5
PWM80	16	16	14	17	19	18	15	19	16	18	16.8
PWM100	14	13	15	18	15	16	16	14	13	17	15.1
PWM120	12	17	16	17	17	19	14	14	13	17	15.6

不同推動輪速度(PWM值)對蒐集球數的堆積長條圖



03

超音波感測器距離設定與切入角度

對避障功能的研究

	15cm	16cm	17cm	18cm	19cm	20cm	25cm	26cm	27cm	28cm	29cm	30cm	35cm	40cm	41cm	42cm	備註
90° (直面障礙)	X	X	X	X	O	O											O代表連續實驗10次，滾輪沒有撞上牆壁 X代表實驗中未達10次滾輪即撞上牆壁
45° (側角切入)					X	X	X	X	X	O	O						
30° (側角切入)										X	X	X	X	X	X	O	

以超音波偵測距離作為實驗變項，並且每次增加偵測距離1公分。

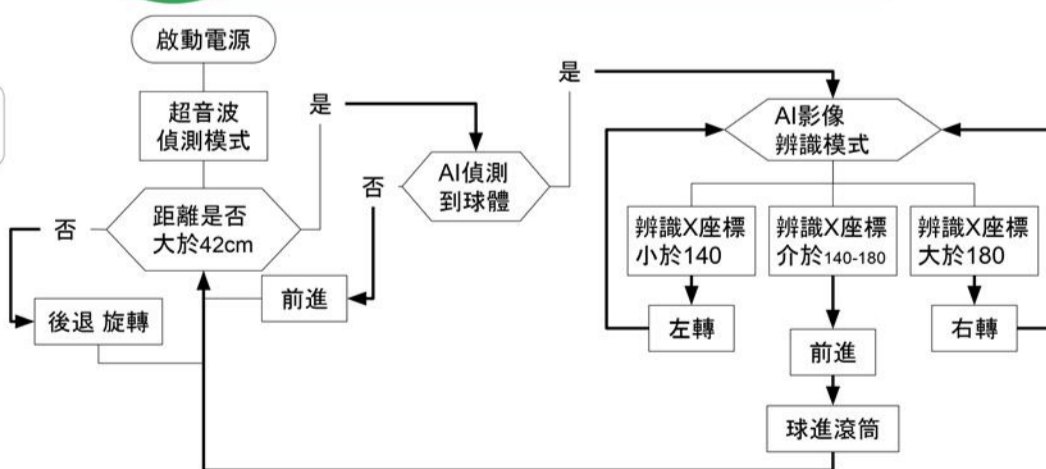
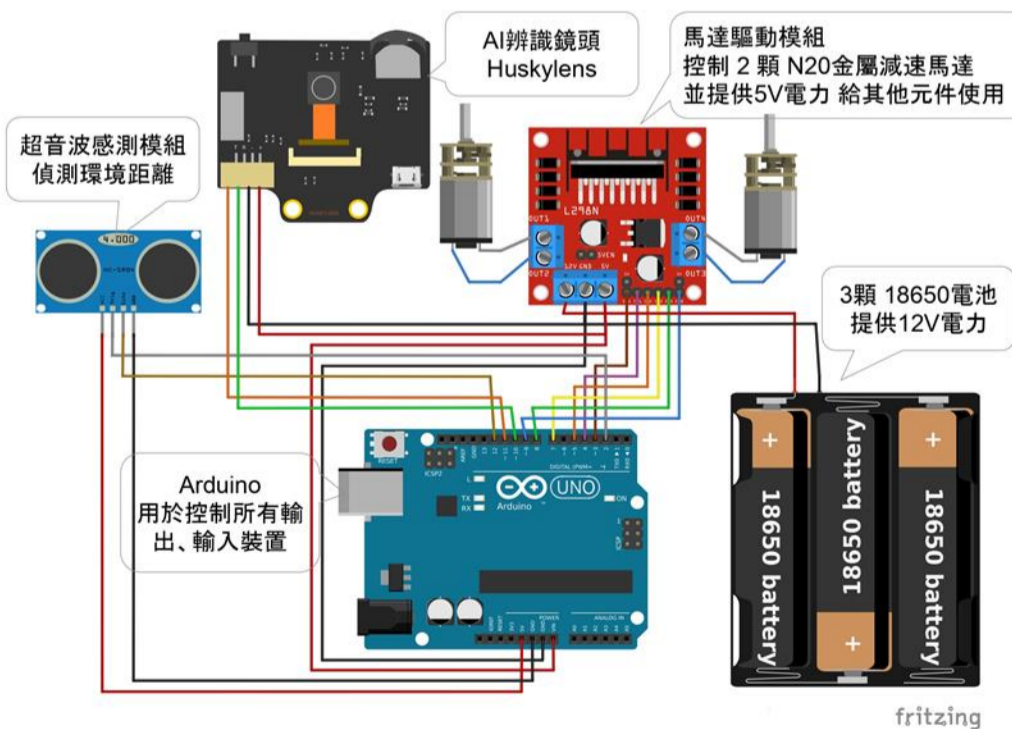
如果同一距離連續實驗10次，滾輪沒有撞上牆壁，則判定該距離為合格。

只要有1次沒有在偵測到障礙物做出反應前就撞上，則判斷該距離為不合格。

04

AI辨識撿取乒乓球自走滾筒

軟硬體整合的模型



AI辨識撿取乒乓球自走滾筒以第3版本的推動輪為核心，以Arduino為主要控制板搭配馬達驅動模組，馬達驅動模組所需的12V電力由18650電池提供，並控制2顆N20金屬減速馬達，馬達驅動模組再引出5V電力供其他元件使用。AI辨識鏡頭、超音波感測兩項環境感測裝置同樣接上Arduino的引腳，作為輸入裝置提供環境訊息再由Arduino處理。

