

中華民國第 65 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)

第一名

082812

智慧助力-自適應電動手推車系統

學校名稱： 臺中市私立明道普霖斯頓國民小學

作者：	指導老師：
小六 吳思嫻	劉振維
小五 黃翊齊	劉原旭
小四 廖蒿伶	
小四 洪以芯	

關鍵詞： 自動輔助、動力輔助、Arduino 控制系統

得獎感言

當科學遇見生活：智慧手推車的創新旅程

當我們聽到獲得全國科展第一名的那一刻，我們興奮地當場尖叫，甚至覺得不可思議！原本沒有預期會得獎的我們，從最初的努力練習，到最終自信地奪下冠軍，這一切都是要感謝評審委員的肯定、老師的悉心指導，以及組員們之間的默契合作與不懈練習。

這次參加全國科展，讓我們印象最深刻的是觀摩了來自不同縣市第一名的作品，讓我們大開眼界，也學到很多新的科學知識。更重要的是，我們的作品「智慧助力－自適應電動手推車系統」不只是比賽的成果，也讓我們第一次真正感受到科展的樂趣，就像打開了想成為科學家的第一個開關。

這一年以來，我們遇到了許多困難，每一次都是靠組員以及老師一起絞盡腦汁，想辦法才能化險為夷。最讓我們印象深刻的，是「動力模組」的改良歷程。剛開始，我們利用電動滑板連接手推車，但發現利用遙控器操作不夠直覺，於是我們打算製造自己的動力模組。經過三次改良，我們參考學校的雷射切割機和3D列印機，終於製作出第三代動力模組。從直接驅動到不鏽鋼軸支撐，再到皮帶輪傳動系統，每一次的改進都讓我們學會如何運用科學的方法解決生活中的問題。

研究過程中，我們整合了霍爾感測器、陀螺儀和壓力感測器，開發出能即時判斷使用者意圖的智慧系統。最令人振奮的是，實測結果顯示在34.5公斤載重上坡時，系統能節省84.8%的推力，這個數據證實了我們的努力沒有白費。透過100位同學的實際測試，88%認為起步較省力，95%在上坡感受到明顯助力，75%認為下坡時系統提供的阻力讓推車更安全。

在比賽準備過程中，我們也面臨了巨大挑戰。六月底七月初時，組員們陸續生病，無法進行比賽的準備，當時壓力很大，也很緊張，但爸媽與師長鼓勵我們「盡自己所能去準備，做最好的自己！」不管遇到什麼困難，大家都互相鼓勵、一起想

辦法解決。在製作研究的過程中，不僅培養了我們動手實作的能力，也讓我們更會面對與解決問題。

透過這次經驗，我們不僅從老師的教導中獲益匪淺，也透過觀摩其他作品，學習到創新思維的重要。這個作品未來可以應用在物流推車、長照輔具或電動輪椅上，希望能真正幫助到需要的人。

最後，要感謝指導老師在這段時間耐心的指導與鼓勵，也謝謝爸爸媽媽一直在背後支持我們。感謝學校給我們這個寶貴的機會參與如此有意義的活動。希望其他同學和未來的學弟妹們，也能勇於挑戰、遇到問題不要放棄，把自己的想法變成實際的作品，在舞台上展現自我、脫穎而出！

這是一段難忘的旅程，也是我們科學探索道路的起點。未來，我們希望能繼續探索更多有趣的問題，發明出對人們有幫助的東西！



專注於程式開發與硬體測試的科學實驗過程



與指導老師合影，準備迎接競賽挑戰



從構想到實現，我們獲得全國第一名與崇友創新研究獎，真的很開心

智慧助力 - 自適應電動手推車系統

摘要

本研究針對傳統手推車於上坡、下坡及搬運重物時操作費力的問題，設計一套具智慧感測與動力輔助功能的自適應電動手推車系統。整合**雙霍爾感測器**偵測輪胎轉速與方向、**陀螺儀**辨識傾斜角度，以及**壓力感測器**判斷推拉意圖，可依環境與操作情境自動調節馬達輸出功率。我們建構 13 項輔助邏輯規則，簡化系統運算並提升反應效率。

實測推動 34.5 公斤負載上坡時，未啟動系統需 7686 克重（約 75.3 N）推力，啟動後降為 1167 克重（約 11.4 N），**省力幅度達 84.8%**邀請 100 位使用者操作問卷，88% 認為前推較省力，95% 在上坡感受到輔助效果，75% 認為下坡時系統阻力可防止滑動。

實驗結果證實本系統具備良好穩定性與實用性，未來可應用於物流推車、長照輔具或電動輪椅，提升操作便利與安全性。

壹、前言

一、研究動機

在日常生活中，手推車是我們搬運重物時的重要工具。在學校裡，常常可以看到老師或工友用手推車運送教材與設備，尤其在開學和學期結束時，要搬大量的新書和器材。我們有時也會幫忙搬教室裡的書本，發現當物品很重時，推起來非常吃力。校園裡的道路有些地方是上坡或下坡，上坡時需要花很大的力氣才能推動，下坡時則必須用全身力量來控制速度，否則手推車可能因慣性滑動甚至翻倒，造成危險。

根據這些問題，我們想到可以運用課堂中學到的馬達技術來改良傳統手推車。我們希望設計一套加裝電動馬達的系統，搭配 **Arduino 控制板**與多種感測器，即時處理感測數據，精準控制馬達運作。這個**系統能夠根據不同情況自動調整出力，例如在上坡時加強推力、下坡時提供阻力**，甚至在搬運較重物品時也能穩定運作，減少推動時的力氣，讓整體使用更輕鬆、安全。

我們期望這個智慧化手推車的設計，不僅能大幅減輕體力負擔，也能提升搬運安全性。未來除了校園使用，還能應用在倉庫、物流中心或市場等場域，讓更多人從中受益。

二、研究目的

本研究設計智慧手推車系統，能依坡度與操作自動調整馬達輸出，上坡推行、下坡減速，提升搬運效率與安全性。我們規劃五項實驗，驗證其感測與控制輔助功能。

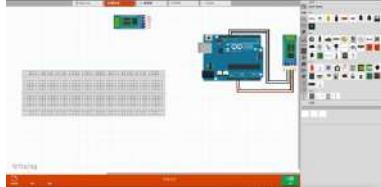
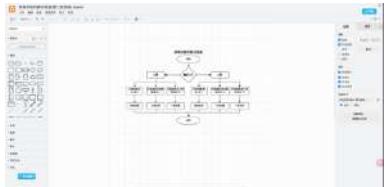
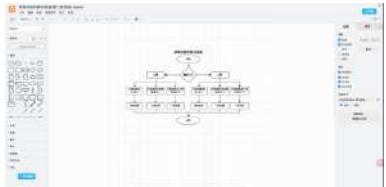
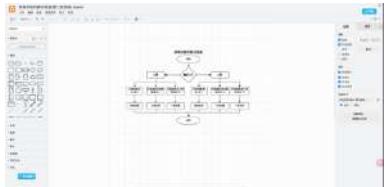
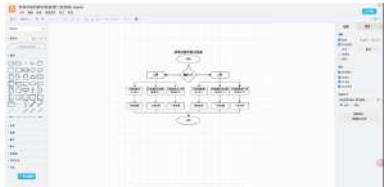
- (一) 實驗一：電動滑板結合手推車
- (二) 實驗二：製作馬達動力輔助的手推車
- (三) 實驗三：製作轉速控制系統
- (四) 實驗四：使用陀螺儀感測手推車的姿態
- (五) 實驗五：安裝壓力感測器判斷使用者意圖與自適應手推車實際測試

貳、研究設備及器材

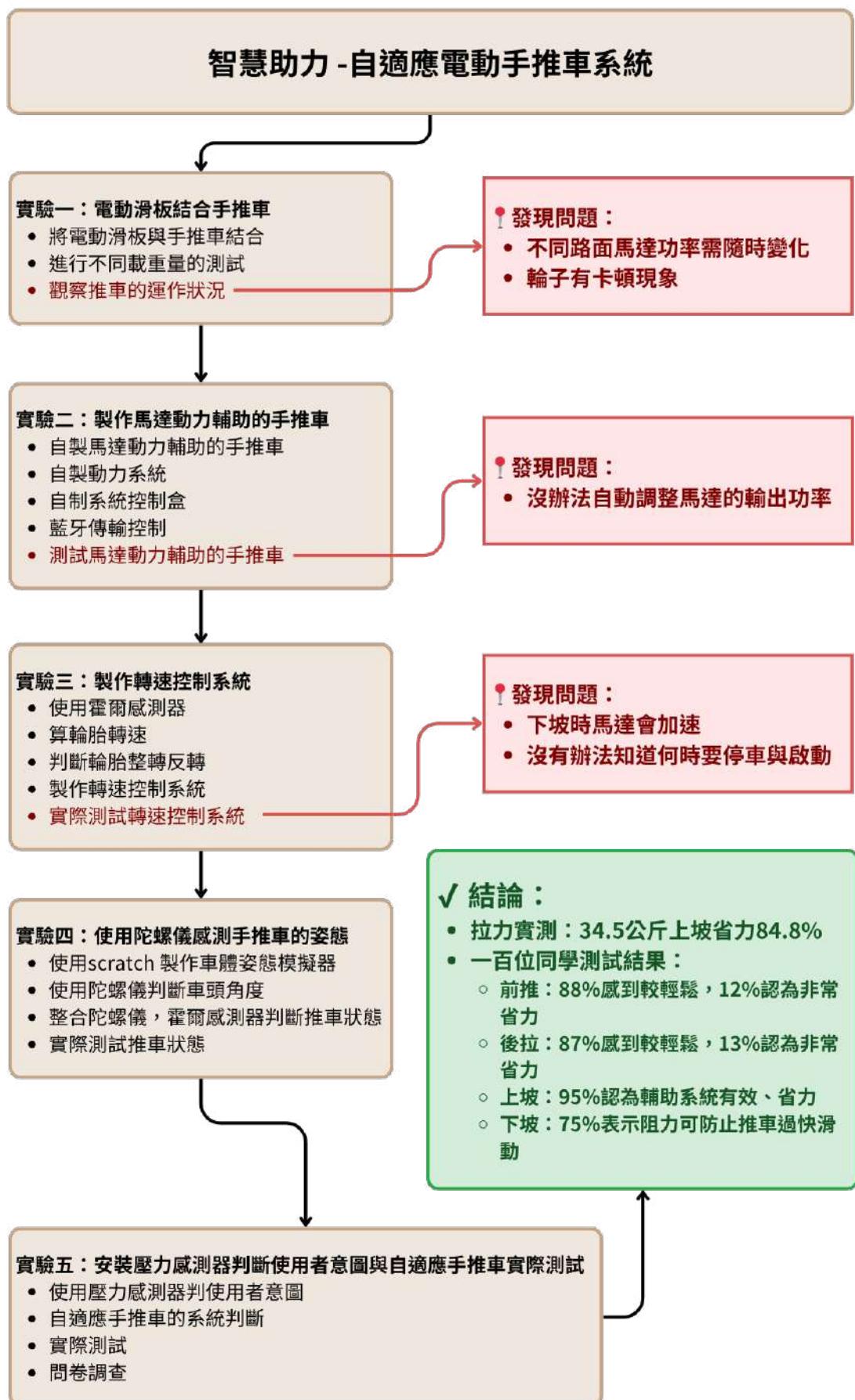
車體制作			
各類水管	水管剪	電焊槍	萬向輪/輪胎
各類木板	木工鋸子	各類角鐵	熱熔膠槍
扣環	電動起子	三用電錶	腳踏車握把
膠帶	電鑽	螺絲	三腳架

動力模組			
各類連軸器	DC775 馬達	馬達控制板 BTS7960	鋰電池
法蘭連軸器	軸承座	皮帶輪	皮帶
電線	DC 電源接頭		

控制與感測模組			
Arduino	陀螺儀 MPU-6050	壓力感測器	杜邦線
保鮮盒	快速電源接頭	麵包板	

使用軟體			
			Fritzing
			BlocklyDuino F2
			scratch
			canva
			drawio

參、研究過程或方法



一、實驗一：電動滑板結合手推車

- (一) 研究目標：目標是利用電動滑板的動力系統，為手推車提供動力輔助，減輕搬運重物時的體力負擔，提高搬運效率。
- (二) 研究問題：如何將電動滑板的動力安裝到手推車上？電動滑板的動力是否也能讓推車承受重物？安裝後會發生哪些問題？
- (三) 研究想法：我們發現隨著手推車載重量的增加，搬運過程變得愈加費力。有次放學後，我們觀察到老師使用電動滑板，其內建小型馬達竟可輕鬆載動超過 100 公斤。這啟發我們思考：若能將類似的驅動馬達安裝於手推車上，是否能有效減輕搬運重物所需的體力，提升搬運效率？
- (四) 研究方法
1. 設備安裝：將電動滑板與手推車結合。
 2. 進行不同載重量的測試，從空車到重載，觀察推車的運作狀況。
 3. 實際使用推車所遇到的問題。

(五) 研究步驟

1. 組裝：電動滑板到手推車（如圖 4-1-1、圖 4-1-2、圖 4-1-3）。
2. 測試：滑板手推車是否可以實際搬運重物（如圖 4-1-4）。



圖 3-1-1 墊高木塊
(作者拍攝)



圖 3-1-2 放置推車
(作者拍攝)



圖 3-1-3 束帶固定
(作者拍攝)



圖 3-1-4 搬運測試
(作者拍攝)

(六) 研究資料分析方法：

製作滑板手推車，測試不同載重量下的搬運能力，並比較手推車與滑板手推車在推動過程中的差異與問題。

二、實驗二：製作馬達動力輔助的手推車

- (一) 研究目標：設計並製作一款有馬達動力輔助的手推車，讓搬運重物變得更輕鬆，減少使用者的體力消耗。
- (二) 研究問題：
1. 電動滑板的關鍵元件為何？是否可用類似元件替代？
 2. 如何設計手推車本體與動力模組，使其能夠推動高重量載物並具備穩定性？
- (三) 研究想法：
- 根據實驗一的結果，我們發現電動滑板與手推車的結合雖然能達到輔助效果，但仍存在許多問題需要改進。因此，我們希望自行設計並製作一款更適合搬運重物的動力輔助手推車，解決先前遇到的問題。
- (四) 研究方法：
1. 查詢文獻：電動滑板車的組成。
 2. 查詢文獻：使用 Arduino 透過控制版來控制馬達輸出功率。
 3. 查詢文獻：學習如何使用 Arduino 連接藍牙來發送與接收資訊。
 4. 查詢文獻：如何製作 APP 透過藍芽來控制馬達功率。

5. 製作與測試馬達動力輔助的手推車。

(五) 研究步驟：

1. 查詢文獻，蒐集電動滑板的元件資料，評估如何將這些元件應用在手推車上。
2. 製作車體結構，安裝電池、直流馬達、馬達驅動模組（如 BTS7960）、Arduino 主控板與相關控制線路，撰寫控制程式（圖 3-2-1、圖 3-2-2）。
3. 進行載重測試：依序放置 0、11.5、23、34.5 與 46 公斤（四箱 A4 紙）之負載，操作 APP 控制馬達動力模式，觀察各載重下之推動效能與穩定性（圖 3-2-3）。



圖 3-2-1 製作手推車
(作者拍攝)



圖 3-2-2 程式開發過程
(作者拍攝)



圖 3-2-3 測試過程
(作者拍攝)

(六) 研究資料分析方法：

研究製作手推車的方法，分階段完成後進行測試與改良。使用 APP 控制車輛的輸出力道，並記錄搬運不同重量時馬達所需的數值。

三、實驗三：製作轉速控制系統

(一) 研究目標：

使用霍爾感測器偵測輪胎轉速與方向，配合 Arduino 運算控制馬達輸出，依不同載重自動調整功率，穩定推車速度。

(二) 研究問題：

1. 如何透過霍爾感測器精確測量輪胎轉速？
2. 如何偵測輪胎之旋轉方向（正轉與反轉）？
3. 如何設計控制系統，使其根據轉速變化自動調整馬達功率，以達成穩速控制？

(三) 研究想法：

在實驗二中，我們發現馬達驅動的手推車速度會隨時間逐漸上升。為維持穩定速度，我們設計一套可根據輪速自動調整馬達功率的控制系統。

於輪胎上安裝磁鐵，透過霍爾感測器偵測方波訊號並計算頻率換算轉速，再由 Arduino 微控制器即時處理數據，動態調整馬達 PWM 輸出，使推車在不同載重下能穩定前進。

(四) 研究方法

1. 文獻探討：查閱與霍爾感測器相關的技術資料。
2. 硬體設計：選擇適合的霍爾感測器，並設計測試裝置以固定於手推車輪胎上。
3. 數據讀取：使用 BlocklyDuino F2 摄取感測數據，換算轉速與旋轉方向。
4. 數據分析：透過不重量下的測試，分析數據的準確度與穩定性。

(五) 研究步驟

1. 霍爾感測器測試裝置設計：將感測器固定於輪胎並確保數據穩定收集(圖 3-3-1)。

2. 數據讀取與分析：使用 BlocklyDuino F2 程式讀取霍爾感測器數據，並透過計算轉速來推算速度，改良安裝方式，讀取輪胎選轉方向(圖 3-3-2)。
3. 數據傳輸與顯示：APP 顯示即時轉速與轉向，增加記錄功能分析數據(圖 3-3-3)。
4. 測試有無速度控制系統的差異：使用不同載重（包括空車 0KG、1 箱 A4 影印紙 11.5KG、2 箱 23KG、3 箱 34.5KG、4 箱 46KG）比較馬達的輸出效果。



圖 3-3-1 收集數據
(作者拍攝)



圖 3-3-2 雙霍爾設計
(作者拍攝)



圖 3-3-3 APP 介面
(作者拍攝)

(六) 分析方法：

1. 使用霍爾感測器讀取磁鐵通過時的數據，從中計算出轉速。
2. 利用多個霍爾感測器與不同尺寸的磁鐵，找出程式判斷輪胎正轉與反轉的方法。
3. 紀錄輪胎的轉速與馬達功率數值，對比有無轉速控制的效果。

四、實驗四：使用陀螺儀感測手推車的姿態

(一) 研究目標：

使用陀螺儀感測器偵測手推車之傾斜角度，以判斷車頭朝向（上坡或下坡）；並結合霍爾感測器偵測輪胎轉動方向，確認實際行駛狀態。藉此分析手推車處於爬坡或下坡情境，進一步決定馬達應提供助力或產生阻力

(二) 研究問題：

1. 如何使用陀螺儀來偵測俯仰角（Pitch）和滾轉角（Roll）？
2. 陀螺儀是否能夠準確偵測手推車的傾斜狀態？
3. 判斷手推車目前是上坡還是下坡的方法？

(三) 研究想法：

根據實驗三結果，我們發現僅使用霍爾感測器無法判斷手推車處於上坡或下坡。因此，加入陀螺儀偵測車頭傾斜角度，並結合霍爾感測器的輪胎正反轉訊號，以更準確判斷行駛狀態。

(四) 研究方法：

1. 軟體模擬：使用 Scratch 製作模擬器，模擬車頭傾斜與輪胎正反轉的對應關係。
2. 文獻探討：查閱陀螺儀應用方式，並進行安裝與設定運用。
3. 感測器安裝：將陀螺儀固定於手推車適當位置並接線完成。
4. 設備連接：透過 Arduino 讀取感測數據，並以藍牙傳送至 APP 顯示介面。
5. 數據分析：使用 BlocklyDuino F2 分析陀螺儀與霍爾感測數據，判斷俯仰角與行駛狀態。

(五) 研究步驟：

1. 模擬器製作：使用 Scratch 建立圖形化介面，模擬手推車不同傾斜角與輪胎轉向組合，建立邏輯判斷模型（圖 3-4-1）。

2. 感測器測試：將陀螺儀固定於麵包板上，在平面測試俯仰角（Pitch）與滾轉角（Roll）數據（圖 3-4-2）。
3. 感測器安裝與連接：將陀螺儀固定於手推車，透過 Arduino 程式讀取感測數據並藍牙傳送至 APP 顯示與記錄。
4. 資料記錄與分析：實際推動手推車並記錄感測數據，分析其車體姿態變化（圖 3-4-3）。
5. 邏輯判斷設計：撰寫程式判斷手推車移動方向，並依狀況決定輸出助力或阻力。
6. 實測驗證：實際推動手推車，驗證模擬邏輯與感測判斷在真實行駛情境中的適用性。



圖 3-4-1 模擬器開發
(作者拍攝)

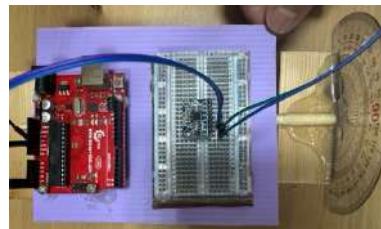


圖 3-4-2 讀取數值平台
(作者拍攝)



圖 3-4-3 APP 介面
(作者拍攝)

(六) 研究資料分析方法：

1. 利用 Scratch 設計視覺化模擬器，模擬各種運行情境下手推車的行駛狀態。
2. 建立感測器狀態表，依據其邏輯關係進行討論，簡化程式設計中對運行狀態的判斷流程。
3. 實際推動手推車，觀察系統是否能正確辨識行駛狀態，並依據陀螺儀與霍爾感測數據正確輸出對應之動力輔助。在測試過程中同步檢查判斷邏輯的準確性。

五、實驗五：安裝壓力感測器判斷使用者意圖與自適應手推車實際測試

(一) 研究目標：

探討於手推車把手上安裝壓力感測器的可行性，透過偵測使用者推／拉的操作意圖，結合實驗四之運行判斷機制，提升手推車的自適應控制能力。系統可根據路況提供上坡助力、下坡阻力，並於使用者放手時自動關閉馬達，提升安全性與智能化程度。

(二) 研究問題：

1. 如何安裝與應用壓力感測器於手推車把手上？
2. 壓力感測器是否能準確辨識使用者的推行或拉回意圖？
3. 感測器輔助下，是否可有效提升手推車的操控性與反應靈敏度？

(三) 研究想法：

根據實驗二與實驗三的結果，我們發現若要實現手推車動力輔助的自動化控制，需先解決以下關鍵問題：

1. 辨識使用者操作意圖：即時判斷使用者是推動還是拉回手推車，以提供對應的輔助力道。
2. 偵測地形坡度變化：確認手推車處於上坡或下坡狀態，動態調整馬達輸出功率。
3. 穩穩定速度控制：結合轉速感測機制，確保手推車於不同使用情境下皆能維持均速行駛。

(四) 研究方法

1. 文獻討論：查閱壓力感測器的原理與應用方式。
2. 感測器安裝：將壓力感測器安裝於手推車把手，感測使用者施力狀態。
3. 設備連接：Arduino 讀取壓力與陀螺儀數據，並透過藍牙傳送至 APP 紀錄顯示
4. 數據處理與分析：分析不同場景（如推行、停止、上坡下坡）下感測器數值，撰寫自適應控制程式，自動依據感測結果調整馬達功率，實現智能化動力輔助控制。

(五) 研究步驟

1. 感測器測試：使用 BlocklyDuino F2 讀取壓力感測器數值進行初步測試
2. 設備安裝與連接：將壓力感測器安裝於手推車把手，連接 Arduino 並透過藍牙傳送至 APP 顯示與紀錄（圖 3-5-1）。
3. 資料分析與程式撰寫：記錄並分析使用者於上坡、下坡、起步與停車等情境下的施力狀態，依據結果撰寫自適應程式以控制助力與阻力輸出（圖 3-5-2）。
4. 拉力感測器設計：自製簡易拉力感測裝置，測試省力效果。
5. 功能驗證與回饋：測試自適應手推車功能，邀請同學實際搬運並填寫問卷，評估系統省力效果與使用感受。



圖 3-5-1 安裝過程
(指導老師拍攝)



圖 3-5-2 APP 讀取數值
(作者拍攝)



圖 3-5-3 實際測試
(作者拍攝)

(六) 研究資料分析方法：

我們分析壓力感測器於實際推動手推車過程中所記錄的數值變化，並繪製圖表以輔助討論與推論。藉此，我們從數據中歸納出使用者施力模式，進而建立程式邏輯並進行實測驗證：

1. 數據分析與規律發現：透過圖表觀察壓力變化趨勢，分析使用者於推動與拉動手推車時的施力模式。
2. 動作與車況對應邏輯建構：將「推、拉、放手」等操作動作與車輛狀態（靜止、上坡、下坡）結合，建立感測器輸出與馬達反應間的對應規則。
3. 條件邏輯簡化與程式設計：在分析所有動作與狀態後，移除重複與非必要條件，將動作與車況拆分處理，依照組合條件決定馬達輸出邏輯。
4. 拉力感測器設計：設計並製作簡易拉力感測裝置，以量化推動手推車時的施力變化，進一步驗證系統的省力效果。
5. 實測與使用者回饋：邀請 100 位同學實際推動手推車進行測試，並回收問卷，以分析其對「省力效果」的主觀評價。

肆、研究結果與討論

一、實驗一：電動滑板結合手推車

(一) 研究結果：

1. 滑板結合推車後：
 - (1) 在實際測試中，我們發現手推車加上馬達後，確實能夠幫助減少推動的力氣，使移動重物更加輕鬆。
 - (2) 電動滑板的動力能夠直接帶動手推車前進，使其在平坦地面上的行駛更順暢。
 - (3) 在上坡時，馬達的輔助效果顯著，能夠減少推動負擔。然而，由於馬達的動力較強，手推車在高速行駛時較難控制，容易發生危險。
2. 馬達在下坡時的運作效果：測試發現馬達反轉可以降低下坡速度，但反轉時機難以掌控。
3. 轉向問題：測試中發現，滑板車的馬達與手推車的萬向輪可能產生卡住現象（如圖 4-1-1、圖 4-1-2），導致手推車無法順利轉向。

(二) 討論

電動滑板結合手推車確實能減少使用者推動所需的力量。然而，由於目前使用遙控器控制，我們發現以下需要改進的問題：

1. 在測試過程中，遙控器調整馬達速度時，因不同路面需要不同功率輸出，導致**轉速不穩定、時快時慢**，既影響**控制性**也降低**移動效率**。擬自行設計**自動調整馬達功率的系統**與**電子控制之系統**，使手推車能在各種地形與負重條件下穩定運行，並使前進與後退操作更安全便利。
2. 測試結果顯示，**手推車結合滑板後輪子容易卡住**影響**行駛流暢度**，因此我們計劃重新設計手推車，將動力直接輸出至固定輪或萬向輪，並改善輪組設計以提升**穩定性**並適應各種地形。

二、實驗二：製作馬達動力輔助的手推車

(一) 研究結果

1. 電動滑板的組成：根據 West Virginia University (n.d.) 的資料，電動滑板 (E-Boards) 主要由以下幾個核心組件構成我們將其整裡成如表 4-2-1 所示。

表 4-2-1 電動滑板的組成

組件名稱	功能說明	金額
板身	由楓木、竹子或碳纖維製成，提供結構與彈性	\$1,000-\$10,000
電池	使用鋰離子電池，為動力來源，電池容量決定續航力	\$1,000-\$5,000
電動馬達	包含輪轂馬達和皮帶驅動馬達兩種，控制加速與速度	\$3,000-\$10,000
電子控制單元	調節電力輸出，控制加速、減速和停止	\$2,000-\$5,000
遙控器	透過無線訊號控制速度和剎車	\$500-\$2,000
輪子與卡車	輪子較大以提供穩定性，卡車影響轉向靈活度	\$1,000-\$5,000



圖 4-1-1 旋轉後卡住了
(作者拍攝)



圖 4-1-2 卡住的原因
(作者拍攝)

表 4-2-2 常見的 Arduino 控制馬達控制板比較

控制板型號	電壓範圍	最大電流	PWM 控制	方向控制	瓦數範圍	參考價格
L298N	5-35V	2A/通道	是	是	10-25W	約 100 TWD
BTS7960	6-27V	43A	是	是	100-1000W	約 250 TWD
VNH2SP30	5.5-41V	30A	是	是	50-500W	約 350 TWD
DRV8871	6.5-45V	3.6A	是	是	10-50W	約 150 TWD

根據 Components101 (2025) 的資料，我們整理出 Arduino 腳位功能如表 4-2-3 所示。

表 4-2-3 Arduino 腳位功能表

腳位名稱	腳位編號	功能
數位 I/O	D0-D13	可作為數位輸入或輸出腳位
PWM	D3, D5, D6, D9, D10, D11	支援 PWM 輸出，用於控制馬達或調光 LED
外部中斷	D2, D3	支援外部中斷，可觸發中斷事件
I2C 通訊	A4 (SDA), A5 (SCL)	支援 I2C 通訊，用於與多個裝置進行資料交換
模擬輸入	A0-A5	提供 6 個模擬輸入腳位，解析度為 10 位元 (0-1023)
電源腳位	3.3V, 5V, GND, VIN	提供電源輸出或輸入

其中，BTS7960 為 H-橋式馬達驅動模組，支援 6V - 27V 電壓、43A 電流及 25 kHz PWM 控制。透過雙 PWM 訊號輸出，可控制馬達的正反轉與轉速（今華電子，n.d.）。



圖 4-2-1 BTS7960 腳位圖
(今華電子 (n.d.))

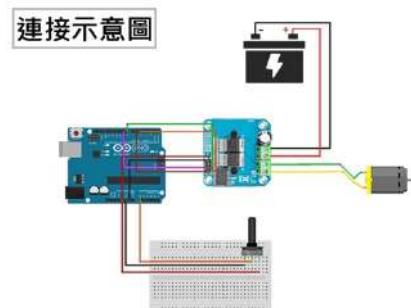


圖 4-2-2 連接示意圖
(今華電子 (n.d.))

2. Arduino 連接藍芽來發送與接收資訊：

我們查詢 cubie 網站的藍芽介紹，連接的關鍵在於 Arduino 的 TX 連接到藍芽的 RX，Arduino 的 RX 連接到藍芽的 TX，並且透過 SoftwareSerial 進行通訊，查詢 SoftwareSerial. Arduino Documentation 發現所有的數位 I/O 腳位都可以使用。



圖 4-2-3 HC-05 腳位圖 (作者繪製)

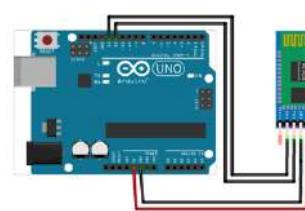


圖 4-2-4 藍芽連接圖片 (作者繪製)

(二) 討論

1. 根據表 4-2-1 的元件需求彙整，我們發現製作自適應電動手推車所需的關鍵元件包括：鋰電池、電動馬達、控制器、遙控器等。其中，以馬達、控制器與鋰電池為最核心的成本來源，即使選用最基本規格，整體預算仍需 約新台幣 6000 元，為降低成本，我們積極尋找可行替代方案。
2. 在進行網路資料蒐集時，參考了 DIY DUDE (2021) 所分享的 電動滑板自製影片。影片中使用 DC775 馬達、鋰電池與簡易開關達成動力輸出效果，且我們實際查詢電子材料行後，DC775 馬達售價僅 約 300 元，具有極高的成本效益。
3. 為使 Arduino 控制 DC775 馬達，必須搭配適當的驅動模組，以實現 PWM 調速與正反轉控制，並滿足大電流啟動需求。我們廠商提供的 DC775 規格如下：
 - (1) 額定電壓：12V DC，可接受範圍：12~24V
 - (2) 空載電流：約 1.0A
 - (3) 啟動電流（24V）：需超過 12A，最大功率約 400W
 - (4) 啟動電流（12V）：需超過 10A，最大功率約 120W
4. 根據表 4-2-2 對多款控制模組的比較分析，我們最終選擇 BTS7960 馬達驅動模組，理由如下：
 - (1) **最大電流承載 43A**，可充分應對 DC775 啟動電流（>12A）與最大功率（400W）需求
 - (2) 操作電壓範圍 6V~27V，可與我們的 24V 系統匹配
 - (3) 提供完整的 PWM 調速、方向控制功能
 - (4) 具備 **內建保護電路**，提升整體電路操作的穩定性與安全性
5. 尺寸測量與材料選擇：

為了製作電動手推車，我們參考了學校現有手推車的尺寸，包括長 64 公分、寬 40 公分，以及手把離地高度 94 公分。原有手推車採用塑膠與鋁合金材質，搭配 4 吋輪胎。考量到製作成本與實作難度，我們選擇使用木板與水管作為主要車體材料。
6. 車架與折疊設計：

為了方便收納，採用五金元件三腳架結構連接手把與底板，確保折疊功能穩定性，使推車能順利收合。
7. 馬達與輪胎連結：

參考學校使用的智能車連接馬達的方式，使用法蘭連軸器將 DC775 馬達直接與輪胎連結。
8. 控制系統：

使用 PP 板穩固安裝 Arduino 與 BTS7960 控制電路板，確保系統運作穩定。透過可變電阻來調節馬達轉速，達到靈活控制行駛速度的效果。上述整體製作過程參考（圖 4-2-5）



圖 4-2-5 車體製作過程圖

(作者拍攝製作)

9. 收折測試：

在製作完成後我們進行收折的測試（如圖 4-2-6），手推車可以由原本的高度 90 公分在放下手把後高度剩下 20 公分。

10. 編寫馬達控制程式：

我們使用 BlocklyDuino F2 快速學會馬達控制程式撰寫。透過積木式設計，我們實現了馬達的速度與方向控制，並可依需求調整程式邏輯。BTS7960 透過 PWM 控制馬達，其中 RPWM 控制正轉、LPWM 控制反轉，且兩者不可同時啟動，以免損壞模組。Arduino 的 PWM 腳位為 D3、D5、D6、D9、D10、D11，實驗中我們以可變電阻控制速度（圖 4-2-8），但正反轉仍須透過電腦修改程式，實地測試需頻繁連接電腦，使用上較不方便。



圖 4-2-6 收折測試

(作者拍攝製作)



**direction-1 0為正轉 1為反轉
speed-1 控制轉速**

圖 4-2-7 馬達控制函式(左邊)

(作者製作)



**將可變電阻的數字
對應到馬達速度**

呼叫馬達旋轉

圖 4-2-8 主程式圖

(作者製作)

11. 無線通訊與馬達控制介面設計

由於推車運行時若需攜帶電腦控制極為不便，因此我們決定導入藍牙模組搭配手機 APP，以提升操控靈活性。選用 HC-05 藍牙模組，將其與 Arduino

UNO 控制板串接，實現無線資料傳輸功能。完成硬體安裝後，我們依下列步驟進行功能驗證：

- (1) Arduino 藍牙模組測試：透過 序列監視器（如圖 4-2-9）檢查 HC-05 的資料收發是否正常。



圖 4-2-9 安裝藍牙
(作者拍攝)



圖 4-2-10 測試收發功能
(作者拍攝)

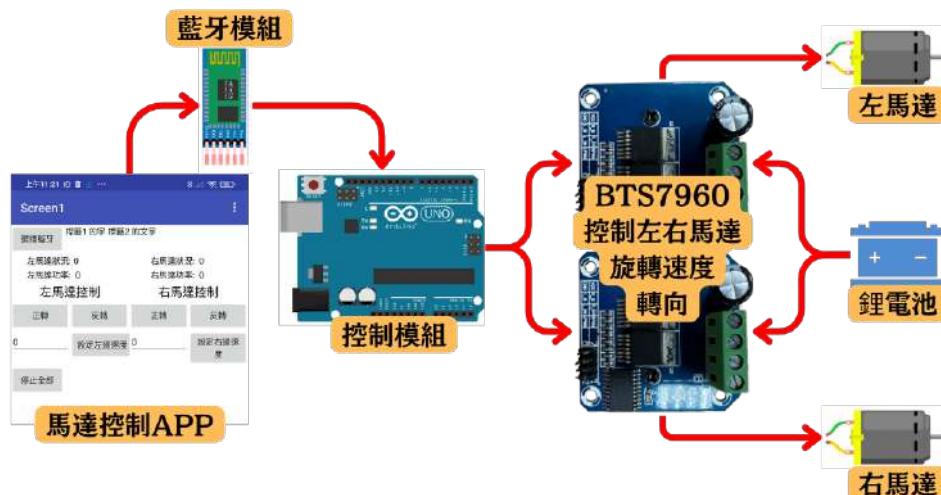


圖 4-2-11 Arduino 藍牙馬達控制系統架構圖 (作者繪製)

- (2) 手機端連線測試：使用市面上常見的 藍牙調試 APP（如圖 4-2-10）進行通訊測試，驗證收發穩定性。

12. 測試結果顯示，藍牙通訊穩定可靠，可支援基本命令傳輸與數據互動。因此，我們進一步整合藍牙功能進入馬達控制程式，並使用 MIT App Inventor 2 平台開發專屬的馬達控制應用程式。在此 APP 介面中（如圖 4-2-11），使用者可執行以下操作：

- (1) 監控左右馬達的轉速與方向狀態
- (2) 控制各馬達的正轉／反轉
- (3) 調整馬達 PWM 輸出以設定轉速
- (4) 一鍵停止所有馬達運行

13. 動力系統的測試改良：

在完成 APP 後，我們將車子實際搬運重物，發現車輪會脫落(如圖 4-2-12)，且因為重量的關係，馬達與車體的連接處依靠馬達底座是無法負荷，使用法蘭連軸器連接輪胎也因為重量的問題，照成馬達旋轉的時候也會軸心歪斜而抖動。所以我們改進行了改良



圖 4-2-12 輪胎會掉落
(作者拍攝)

(1) 第二代動力系統：

使用不鏽鋼棒穿過滾輪承軸與輪胎來強化輪胎的支撐力，法蘭連接器將輪胎固定在不鏽鋼棒上，再將馬達固定在旁邊使用連軸器連接不鏽鋼棒，並使用軸承座支撐不鏽鋼棒的兩端，以確保馬達運轉時的穩定性。(如圖 4-2-13)。

在製作完成後，安裝時發現這樣的架構太長了，無法安裝在目前的手推車上(如圖 4-2-14)。因此，我們必須重新設計動力系統的安裝方式，將整個動力系統縮短，改變馬達與輪軸的連接方式。

(2) 第三代動力系統：

參考學校的 3D 印表機與雷射切割機設計，我們採用**皮帶輪傳動系統連接馬達與輪軸**（圖 4-2-16 與圖 4-2-16）。此設計不僅縮短機構長度，亦可透過更換不同齒數的皮帶輪（如 20：60），調整輸出轉速與扭力。馬達位置由原本的水平改為垂直安裝，並置於輪胎後方，有效提升扭力並降低轉速。

由於每位使用者推動力不同，我們讓車子自行行駛，以測量馬達的最大輸出功率。測試分別在 0、11.5、23、34.5、46 與 57.5 公斤負載下進行。不過，測試過程中藍牙連線不穩，常發生斷線，影響數據記錄。

14. 控制盒接線方式改良：

原本我們使用杜邦線與麵包板連接 Arduino 與藍牙模組（圖 4-2-17），但在車輛行駛時，因震動導致接觸不良。為提升穩定性，我們改以**電線快速接頭**進行固定連接，並加裝保護殼，避免貨物勾到電線（圖 4-2-18）。此外，也新增具穩壓功能的 USB 模組替代原行動電源，提供 Arduino 穩定電源。



圖 4-2-17 改良前
(作者拍攝)



圖 4-2-18 改良後
(作者拍攝)



圖 4-2-13 第二代動力系統
(作者拍攝)



圖 4-2-14 第二代動力系統
安裝問題 (作者拍攝)

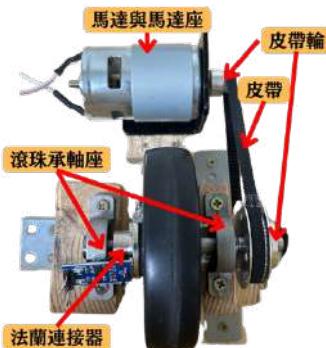


圖 4-2-15 第三代動力系統俯視圖 (作者拍攝)



圖 4-2-16 三代動力側面
圖 (作者拍攝)

表 4-2-4 馬達測試動力表 (Arduino PWM 數值)

次數	0KG	11.5KG	23KG	34.5KG	46KG	57KG
1	80	95	130	170	195	不動
2	85	100	135	175	205	不動
3	85	95	130	175	210	不動

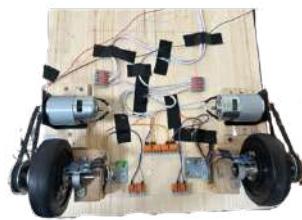


圖 4-2-19 安裝完成圖
(作者拍攝)

透過表 4-2-4 我們可以證明我們設計的第三代動力(圖 4-2-19)系統安裝在上手推車，在無人推動的情況下自己就可以載重 46 公斤，如果再加上使用者的力量，一定可以推動更重的物品，在測試的時候，我們發現手推車由靜止到出發的馬達功率，相同會越來越快，我們回想起自然課學過的「力」的基本概念，老師播放過均一教育關於靜摩擦力與動摩擦力的影片。這讓我們了解到，當馬達克服靜摩擦力後，所需的功率應該要降低。為了讓系統能自動判斷這個過程，我們需要偵測輪胎的轉速和方向，來調整馬達的功率。

三、實驗三：製作轉速控制系統

(一) 研究結果

1. 查詢霍爾感測器的資料

根據 iCShop (n.d.) 資料，霍爾感測器是一種基於半導體技術的磁感測元件，內部包含電壓調整器、霍爾電壓發生器、史密特觸發器、溫度補償電路與集電極開路輸出級。其輸入為磁感應強度，輸出為數位電壓訊號。工作電壓為 3.3–5V，當偵測到磁場時輸出低電位並點亮信號燈；無磁場時輸出高電位，信號燈熄滅。



圖 4-3-1 霍爾感測器腳位圖
(作者繪製)

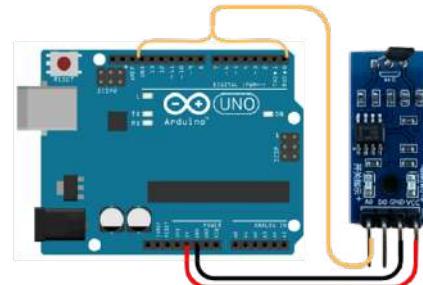


圖 4-3-2 霍爾感測器電路連接圖
(作者繪製)



圖 4-3-3 單霍爾馬達正轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)



圖 4-3-4 單霍爾馬達反轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

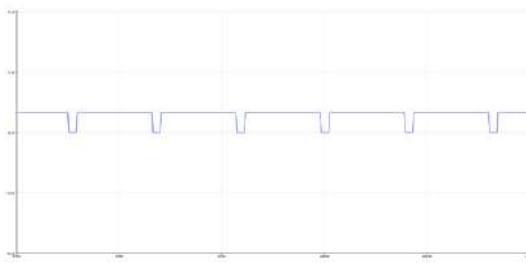


圖 4-3-5 單霍爾馬達正轉 PWM20
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

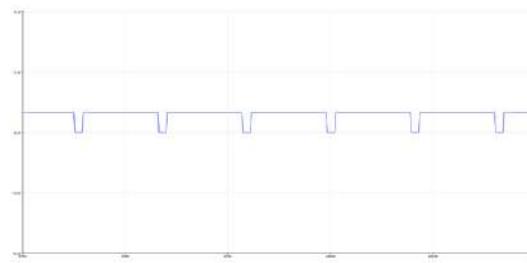


圖 4-3-6 單霍爾馬達反轉 PWM20
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

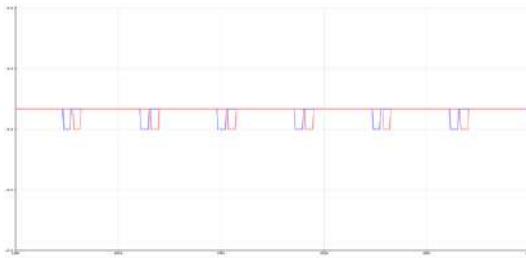


圖 4-3-7 雙霍爾馬達正轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

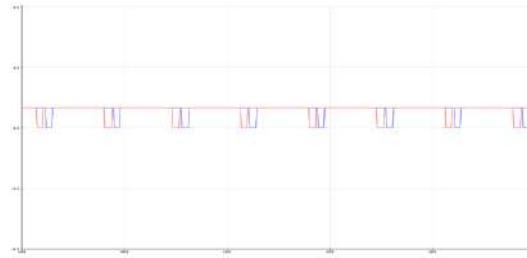


圖 4-3-8 雙霍爾馬反轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)



圖 4-3-9 雙霍爾加大磁鐵馬達正轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

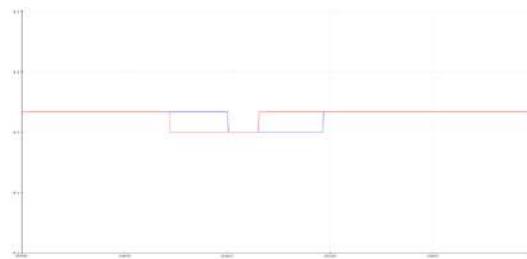


圖 4-3-10 雙霍爾加大磁鐵馬達正轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

(二) 討論

- 依圖 4-3-1 與圖 4-3-2 所示，我們將霍爾感測器安裝於第二代模組上，並將磁鐵固定在輪胎上，用以偵測旋轉速度。透過感測器的 DO 腳位 (Digital Output)，我們使用 Arduino 的 Serial Plotter (序列繪圖器) 觀察訊號變化 (圖 3-3-1)。
- 如圖 4-3-3 與圖 4-3-4 所示，當**磁鐵未通過時，感測器輸出為 1；當磁鐵通過時，輸出轉為 0**。
- 根據圖 4-3-3 與圖 4-3-5，比較馬達功率設為 10 與 20 時，觀察方波週期差異。我們發現當**功率提升時，方波間隔明顯縮短，代表輪胎轉速加快。因此可透過程式讀取方波週期來判斷轉速變化**。
- 透過圖 4-3-3 至圖 4-3-6，我們觀察到**馬達正轉與反轉時，單一霍爾感測器所產生的波形幾乎相同，因此無法僅靠波形來判斷旋轉方向**。為解決此問題，我們增加第二顆霍爾感測器，並透過兩感測器之間的訊號時序判斷方向。如圖 4-3-7 與圖 4-3-8 所示，當輪胎正轉時，感測器 A 的訊號會早於感測器 B；反之則代表**反轉**。
- 在實際撰寫程式過程中，我們發現儘管 A 與 B 感測器的觸發順序會因旋轉方向而異，但因訊號切換間隔過短，程式難以穩定判斷其先後順序。為改善判斷穩

定性，我們改用較大的磁鐵，使其在旋轉時能同時覆蓋兩個感測器區域。此時，只需鎖定感測器 A 的訊號由 0 變為 1 的瞬間，檢查當下 B 感測器的狀態：若為 1 表示正轉（圖 4-3-10），若為 0 則為反轉（圖 4-3-11）。



圖 4-3-10 正轉時的判斷
(作者拍照繪製)

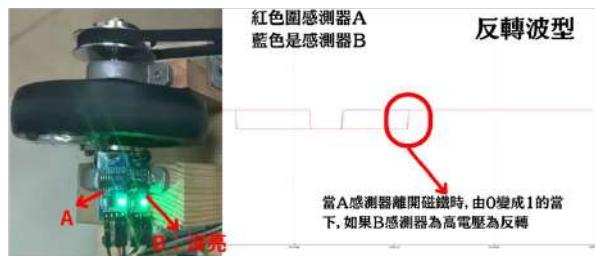


圖 4-3-11 反轉時的判斷
(作者拍照繪製)

6. 馬達的旋轉速度通常以每分鐘轉速 (RPM) 表示，只要能計算出兩次方波訊號的間隔時間，即可推算 RPM。其計算公式如下：

- (1) 使用微秒： $RPM = 60,000,000 \div \text{單圈時間} (\mu s)$
- (2) 使用毫秒： $RPM = 60,000 \div \text{單圈時間} (ms)$
- (3) 為換算為時速，須先求出輪胎周長。以直徑 4 吋輪胎為例，周長 $C = \pi \times d \approx 3.1416 \times 4 = 12.57$ 吋 ≈ 31.9 公分。
- (4) 若轉速為 100 RPM，則每分鐘行進距離為：
 $31.9 \text{ cm} \times 100 = 3,190 \text{ cm}$ (約 31.9 公尺)，
 31.10 換算每小時為： **$31.9 \times 60 = 1,914$** 公尺 (約 1.91 公里)。
- (5) 由於 RPM 不僅反映馬達狀態，也與車速直接對應，且 Arduino 系統能精確量測訊號間隔，因此我們選擇以 RPM 作為主要記錄與分析依據，利於即時監控與性能評估。

7. 根據以上討論，我們開發了轉速控制程式。該程式透過 Arduino 的外部中斷腳位 D2、D3 來偵測信號

從高到低的變化，進行時間計算與轉向判斷。系統會將數據傳送至 APP 進行記錄，再透過 CSV 檔案匯出至 Excel 進行分析。整體系統運作流程如圖 4-3-12 所示。

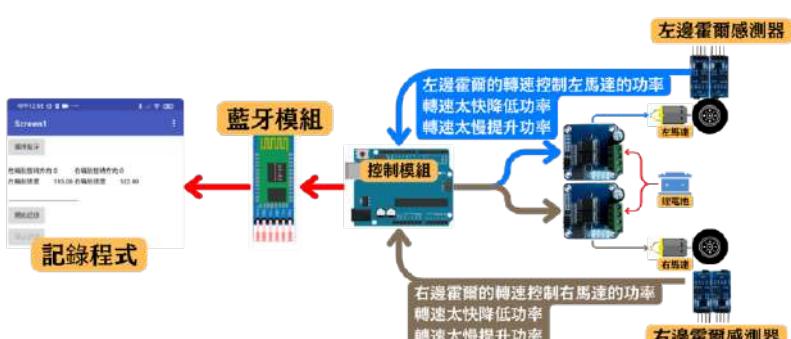


圖 4-3-12 轉速控制系統架構圖
(作者拍照繪製)

8. 為實現自動轉速偵

測與轉向判斷，我們設計了轉速控制系統。系統核心包含兩組霍爾感測器（每組兩顆，分別裝於左右輪），藉由判讀磁鐵通過時產生的高低電位脈波，輸出至 Arduino 的外部中斷腳位 D2 與 D3。

- (1) 每組感測器除計算單輪的轉速（RPM）外，亦可根據雙感測器的訊號時序判斷輪胎的旋轉方向。
- (2) 程式會連續比較左右輪的轉速差異：當一側輪胎過快時，自動降低該側馬達功率；若一側偏慢，則相對提升其輸出功率，以維持車輛直線行進。
- (3) 感測到的所有資料會即時透過藍牙模組傳送至手機 App，畫面中可即時顯示左右轉速與轉向狀態，並能儲存為 CSV 檔案，供後續匯入 Excel 進行分析與系統評估。

系統整體運作流程如圖 4-3-12 所示。

9. 我們將 RPM 設定為 100 為目標，比較有無轉速控制系統的差異，透過圖 4-3-13 可以發現，有**使用轉速控制系統的時候，馬達功率會依照轉速進行變化與調整**，圖 4-3-14 **無轉速控制的時候，轉速會越來越高**。

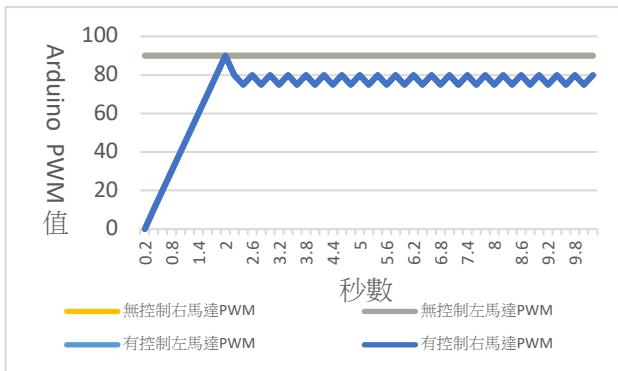


圖 4-3-13 有無轉速控制馬達功率圖 (作者繪製)

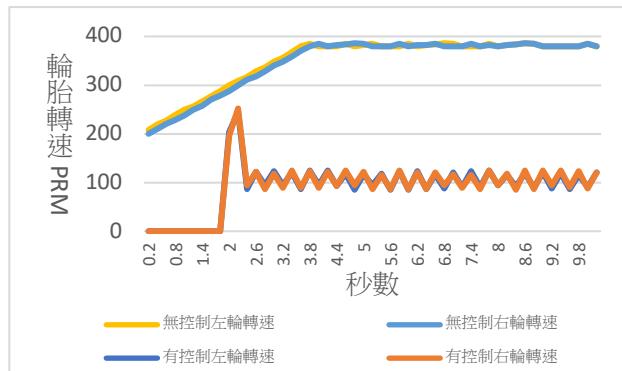


圖 4-3-14 有無轉速控制轉速圖 (作者繪製)

10. 當使用者推動手推車前進時，馬達會根據轉速變化自動調整輸出功率。然而我們發現以下幾個問題：

- (1) **使用者快速推車時，系統誤判為應減少功率，導致動力不足。**
- (2) **上坡時，馬達功率提升反應太慢，使用者需額外施力等待動力恢復。**
- (3) **下坡時馬達仍維持正轉，直到轉速超過 100 RPM 才停止輸出，導致推車在此之前持續加速，使用者需施力拉住手推車以防失控，反造成額外負擔。**

因此，下一階段**我們需要偵測車頭傾角，用以辨識了解使用者手推車處於上坡還是下坡，以及使用者當前是「推」還是「拉」手推車，以便進行更準確的動力輔助控制。**

四、實驗四：使用陀螺儀感測手推車的姿態

(一) 研究結果：

表 4-4-1 使用 Scratch 模擬結果

輪胎方向	車頭角度	分析結果
正轉	水平	推車向前
反轉	水平	推車向後
正轉	向上（正角度）	上坡前進
正轉	向下（負角度）	下坡前進
反轉	向上（正角度）	上坡後退
反轉	向下（負角度）	下坡後退



圖 4-4-1 模擬器運作圖 (作者截圖)

1. MPU-6050 的技術規格與 Arduino 連接方式：依據 iCShop (n.d.) 的資料，繪製出連接圖（圖 4-4-1）並使用讀取數值 BlocklyDuino F2 程式讀取陀螺儀的數值

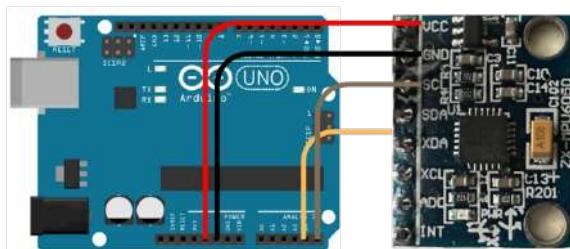


圖 4-4-2 MPU-6050 連接圖 (作者拍照繪製)

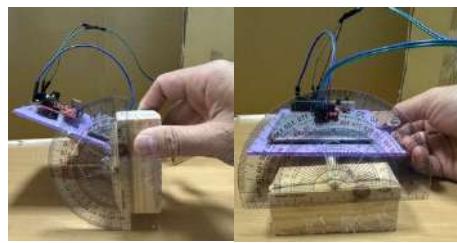


圖 4-4-3 量測圖 (作者拍照繪製)

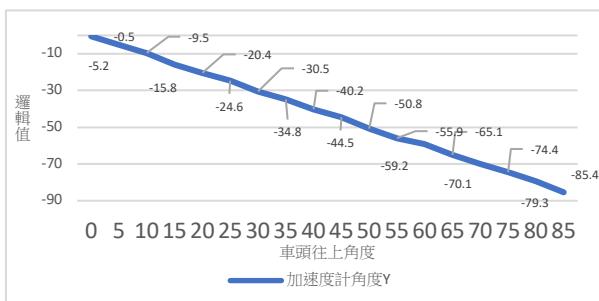


圖 4-4-4 陀螺儀仰角 (作者繪製)

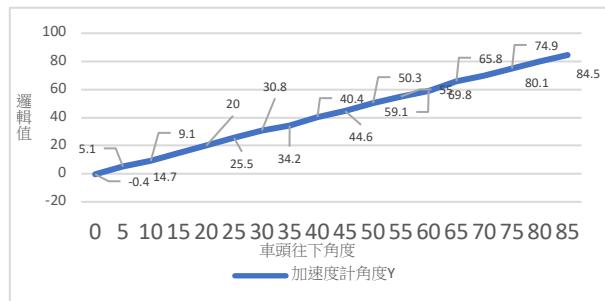


圖 4-4-5 陀螺儀俯角 (作者繪製)

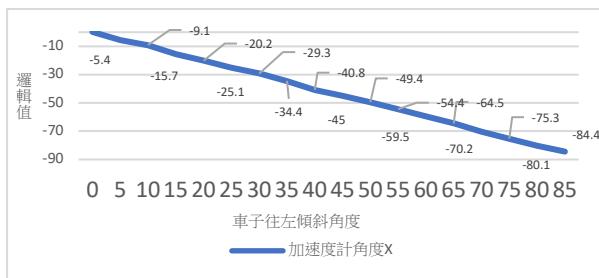


圖 4-4-6 陀螺儀向左滾轉 (作者繪製)

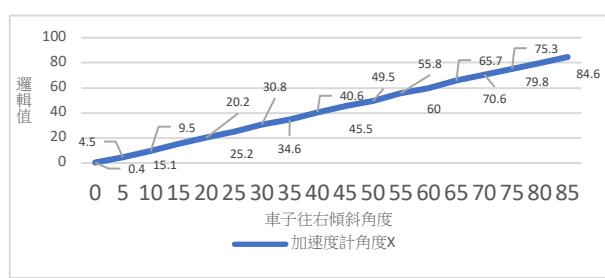


圖 4-4-7 陀螺儀向右滾轉 (作者繪製)



圖 4-4-8 上坡前進動作圖解 (作者拍照繪製)

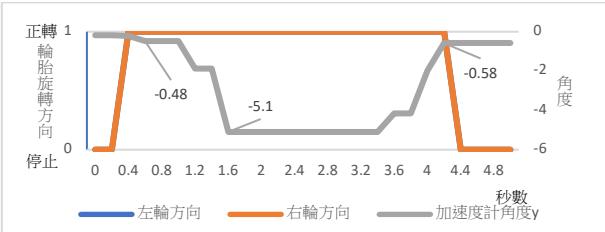


圖 4-4-9 上坡前進數值 (作者繪製)



圖 4-4-10 上坡後退動作圖解 (作者拍照繪製)



圖 4-4-11 上坡後退數值 (作者繪製)



圖 4-4-12 下坡前進動作圖解 (作者拍照繪製)

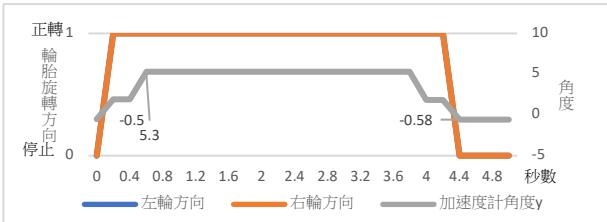


圖 4-4-13 下坡前進數值 (作者繪製)



圖 4-4-14 下坡後退動作圖解 (作者拍照繪製)



圖 4-4-15 下坡後退數值 (作者繪製)

表 4-4-2 推車系統動作判斷邏輯與實測結果驗證表 (作者拍照整理)

序號	測試內容	車頭角度	輪胎方向	分析結果	實際顯示結果
1	停車		水平	不動	停車 左輪胎旋轉方向 0 右輪胎旋轉方向 0 左輪胎速度 0.00 右輪胎速度 0.00 仰角 7.63 傾斜 -2.83
2	推車前進		水平	正轉	推車前進 左輪胎旋轉方向 0 右輪胎旋轉方向 0 左輪胎速度 2.00 右輪胎速度 0.00 仰角 -2.03 傾斜 -0.70
3	推車後退		水平	反轉	推車後退 左輪胎旋轉方向 1 右輪胎旋轉方向 1 左輪胎速度 12.00 右輪胎速度 11.00 仰角 0.03 傾斜 0.82
4	上坡前進		向上	正轉	上坡前進 左輪胎旋轉方向 0 右輪胎旋轉方向 0 左輪胎速度 110.00 右輪胎速度 126.00 仰角 -8.62 傾斜 10.62
5	下坡前進		向下	正轉	下坡前進 左輪胎旋轉方向 0 右輪胎旋轉方向 0 左輪胎速度 78.00 右輪胎速度 63.00 仰角 5.80 傾斜 3.27
6	上坡後退		向上	反轉	上坡後退 左輪胎旋轉方向 0 右輪胎旋轉方向 1 左輪胎速度 80.00 右輪胎速度 1000.00 仰角 -24.75 傾斜 -18.39
7	下坡後退		向下	反轉	下坡後退 左輪胎旋轉方向 0 右輪胎旋轉方向 1 左輪胎速度 80.00 右輪胎速度 1000.00 仰角 9.03 傾斜 1.10

表 4-4-3 手推車的分析判斷與馬達動力設定對應表

序號	測試內容	車頭角度	輪胎方向	設定馬達動力	輔助目標
1	停車	水平	不動	不動	不提供動力
2	推車向前	水平	正轉	正轉	提供助力

序號	測試內容	車頭角度	輪胎方向	設定馬達動力	輔助目標
3	推車向後	水平	反轉	反轉	提供助力
4	上坡前進	向上	正轉	正轉	提供助力
5	下坡前進	向下	正轉	反轉	提供阻力
6	上坡後退	向上	反轉	正轉	提供阻力
7	下坡後退	向下	反轉	正轉	提供阻力

(二) 討論：

- 我們透過 Scratch 製作了一套模擬軟體，用以模擬手推車在不同坡度與輪胎轉向條件下的運行狀態。模擬中**定義車頭朝上為「上坡」、車頭朝下為「下坡」**，並搭配輪胎的**正轉與反轉**，分析俯仰角與轉向對車輛運動方向的影響（如表 4-4-1 所示）。此模擬可在安裝陀螺儀前，先行建立基本運動狀態判斷邏輯，作為後續實測與驗證的依據。
- 們將陀螺儀模組安裝於麵包板上進行測試，並搭配量角器進行對照，以驗證其傾斜角度感測的準確性。測試情境包含四種方向：車頭向上、向下、向左與向右，每種皆從 0 度開始，每隔 5 度量測至 85 度，並記錄對應的陀螺儀輸出值，如圖 4-4-4 至圖 4-4-7 所示。
 - 車頭向上傾斜（上坡）：輸出值由 0 降至約 -85.4（圖 4-4-4）
 - 車頭向下傾斜（下坡）：輸出值由 0 升至約 84.5（圖 4-4-5）
 - 車頭向左傾斜：輸出值由 0 降至約 -84.5（圖 4-4-6）
 - 車頭向右傾斜：輸出值由 0 升至約 84.6（圖 4-4-7）

綜合測試結果可得：**當車頭向上傾斜（上坡）時，輸出為負值；向下傾斜（下坡）時則為正值**，表示**陀螺儀可有效用於判斷車輛的俯仰方向與角度**，作為後續行進控制判斷的依據。
- 我們將陀螺儀安裝於手推車上，並開發專屬手機 APP，以同步記錄**俯仰角度與輪子旋轉方向**，進行動態實測。下列為各種運行情境分析：
 - 上坡前進（圖 4-4-8、4-4-9）：輪子正轉，角度由 0° 降至 -5.1° ，結束時回升至 -0.58° 。
 - 上坡後退（圖 4-4-10、4-4-11）：輪子反轉，角度同樣降至 -5.3° ，回升至 -0.58° 。
 - 下坡前進（圖 4-4-12、4-4-13）：輪子正轉，角度上升至 5.3° 。
 - 下坡後退（圖 4-4-14、4-4-15）：輪子反轉，角度升至 5.2° ，回復時降至 -0.58° 。

綜合分析可得：**「俯仰角判斷坡度方向，旋轉方向判斷移動方向，兩者結合，即可準確辨識手推車運行狀態。」**
- 在完成俯仰角與輪子方向判斷邏輯設計後，我們繪製了流程圖（圖 4-4-16），整合這兩項輸入條件，對應七種運行狀態（如上坡前進、下坡後退、水平推行、靜止等）。此圖為系統辨識核心，並已納入控制程式與應用程式（APP）中。經多組情境測試（見表 4-4-2），實驗結果顯示：**系統能穩定且準確地判斷即時狀態，且其判斷結果與實際觀察完全一致**。

5. 根據表 4-4-2 所整理出的七種運行狀態，我們歸納並設計了「手推車的分析判斷與馬達動力設定對應表」(表 4-4-3)，並進行實地測試。各狀態下之動力策略如下：

- (1) 停車狀態：不提供任何動力，維持靜止。
- (2) **水平推行：根據旋轉方向來決定馬達正反轉，減少使用者施力負擔。**
- (3) 上坡前進：設定輪胎正轉，提供助力，幫助使用者更輕鬆地克服上坡。
- (4) 上坡後退：設定輪胎正轉，提供阻力，避免車體因重力下滑。
- (5) 下坡前進：設定輪胎反轉，提供阻力，避免車體因重力下滑
- (6) 下坡後退：設定輪胎反轉，提供助力。
- (7) 我們將此邏輯實作於加入陀螺儀的判斷流程圖（圖 4-4-9）中，整合藍牙模組、陀螺儀、霍爾感測器與電機控制驅動模組，實際推動手推車測試後，明顯感受到：
 - 上坡時推行更輕鬆，系統提供的輔助動力能有效減輕負擔。
 - 下坡時車速穩定可控，自動提供的阻力可防止失速滑行。

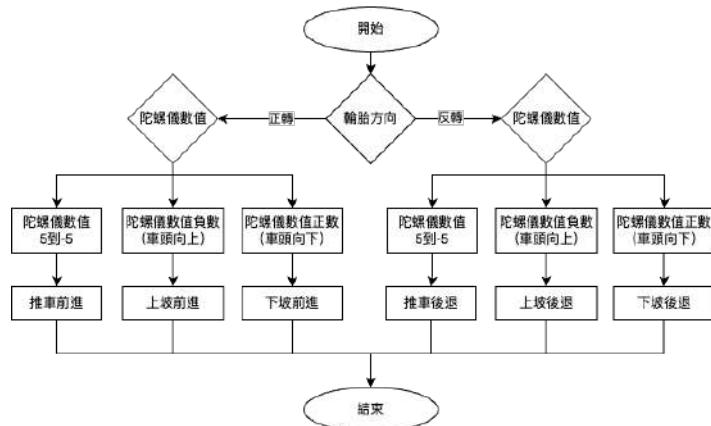


圖 4-4-16 推車狀態判斷流程圖（作者繪製）

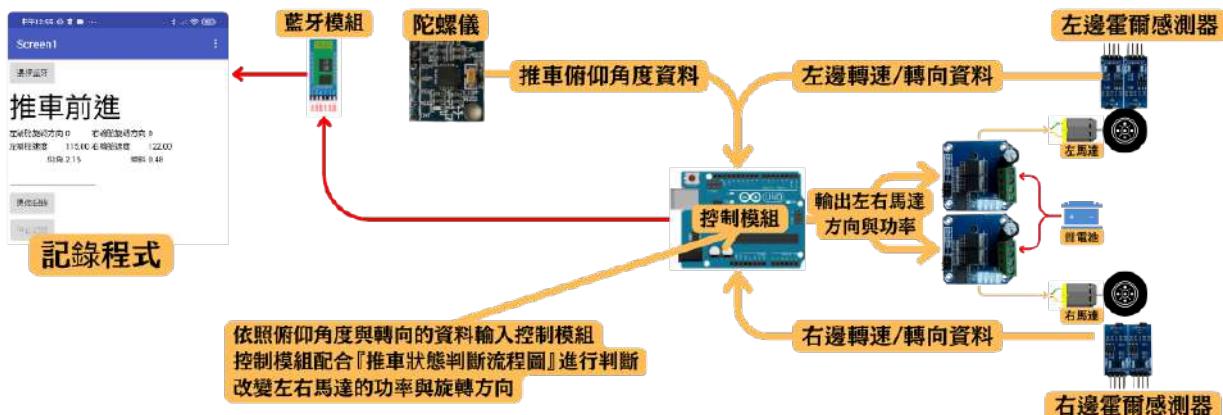


圖 4-4-9 加入陀螺儀的判斷流程圖（作者拍照繪製）

我們發現系統在起步時無法即時判斷使用者是「推」或「拉」，必須待霍爾感測器偵測到輪胎轉動後，才能辨識方向。當手推車載重，特別是在上坡起步時，使用者需完全依靠自身力量推動，輔助功能才會啟動。

為改善此問題，我們構思於**手把加裝壓力感測器，以提前偵測推拉動作，使系統能及早啟動動力輔助**，提升使用者操作體驗與效率。

五、實驗五：安裝壓力感測器判斷使用者意圖與自適應手推車實際測試

(一) 研究結果：

1. 查詢壓力感測器如何使用：

根據 ICSHOP (n.d.) 的介紹，**壓力感測器的輸出電阻值會隨著施加在感應區域的力量變化而改變，施力越大，電阻越小；當無施力時，電阻值可達 1Ω 以上**。依照網站介紹繪製出連接圖，以及讀取程式。



圖 4-5-1 壓力感測器電路連接圖
(作者拍照繪製)



圖 4-5-2 讀取壓力感測器
(作者拍照繪製)

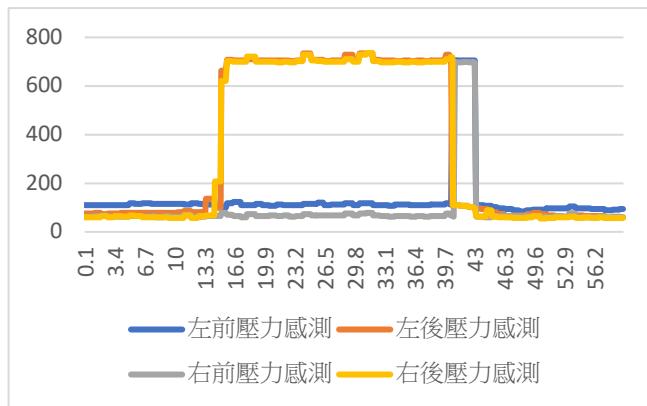


圖 4-5-3 水平推車後退到停止
(作者拍照繪製)

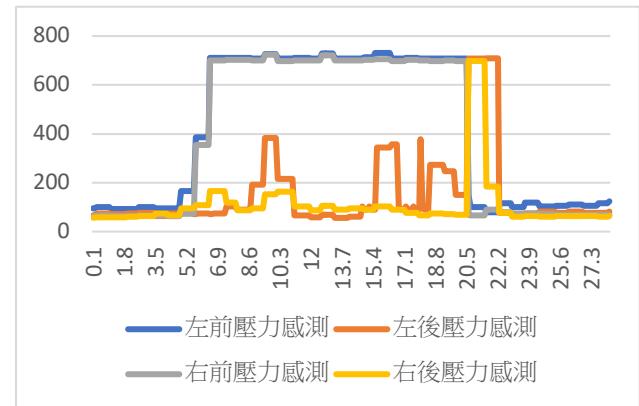


圖 4-5-4 水平推車後退到停止
(作者拍照繪製)

表 4-5-1 壓力感測器判斷使用者狀態表 (作者整理)

使用者狀態	判斷條件	判斷結果
放手	四個壓力感測器數值小於 400	使用者沒有握住手把
往前推	左後、右後壓力大於 700	使用者要前進
往後拉	左前、右前壓力大於 700	使用者要後退
緊握手把	四個壓力感測器數值都大於 700	使用者穩定握住手把

表 4-5-2 壓力感測輔助手推車的判斷邏輯與馬達動作對應表 (作者整理)

序號	目前推車狀態	使用者操作動作	預測使用者意圖	預測後馬達輔助行為	原有馬達輔助設定
1	停車	放手	停止推車	馬達不動，停止輔助	無
2	停車	往前推	開始前進	馬達正轉，增加助力	無
3	停車	往後拉	開始後退	馬達反轉，增加助力	無
4	推車前進	放手	停車	馬達不動，停止輔助	馬達正轉，增加助力
5	推車前進	往前推	加速前進	馬達正轉，增加助力	馬達正轉，增加助力
6	推車前進	往後拉	減速或停止	馬達反轉，增加阻力	馬達正轉，增加助力
7	推車後退	放手	停車	馬達不動，停止輔助	馬達反轉，增加助力
8	推車後退	往前推	減速或停止	馬達正轉，增加阻力	馬達反轉，增加助力

序號	目前推車狀態	使用者操作動作	預測使用者意圖	預測後馬達輔助行為	原有馬達輔助設定
9	推車後退	往後拉	加速後退	馬達反轉，增加助力	馬達反轉，增加助力
10	上坡前進	放手	危險狀態 推車變成 上坡後退	馬達正轉，增加阻力	馬達正轉，增加助力
11	上坡前進	往前推	上坡前進	馬達正轉，增加助力	馬達正轉，增加助力
12	上坡前進	往後拉	減速往後拉	馬達正轉，增加阻力	馬達正轉，增加助力
13	下坡前進	放手	危險狀態 推車維持 下坡前進	馬達反轉，增加阻力	馬達反轉，增加阻力
14	下坡前進	往前推	下坡前進	馬達反轉，增加阻力	馬達反轉，增加阻力
15	下坡前進	往後拉	下坡後退	馬達反轉，增加助力	馬達反轉，增加阻力
16	上坡後退	放手	危險狀態 推車維持 上坡後退	馬達正轉，增加阻力	馬達正轉，增加阻力
17	上坡後退	往前推	上坡前進	馬達正轉，增加助力	馬達正轉，增加助力
18	上坡後退	往後拉	上坡後退	馬達正轉，增加阻力	馬達正轉，增加阻力
19	下坡後退	放手	危險狀態 推車維持 下坡後退	馬達反轉，增加阻力	馬達反轉，增加助力
20	下坡後退	往前推	下坡前進	馬達反轉，增加阻力	馬達反轉，增加助力
21	下坡後退	往後拉	下坡後退	馬達反轉，增加助力	馬達反轉，增加助力

表 4-5-3 自適應手推車狀態馬達動作表（作者整理）

序號	推車狀態	使用者狀態	馬達的輔助動作
1	停車	放手	馬達不動
2	停車	往前推	馬達正轉
3	停車	往後拉	馬達反轉
4	推車前進	放手	馬達不動
5	推車前進	往前推	馬達正轉
6	推車前進	往後拉	馬達反轉
7	推車後退	放手	馬達不動
8	推車後退	往前推	馬達正轉
9	推車後退	往後拉	馬達反轉
10	上坡前進	放手/往前推/往後拉	馬達正轉
11	下坡前進	放手/往前推/往後拉	馬達反轉
12	上坡後退	放手/往前推/往後拉	馬達正轉
13	下坡後退	放手/往前推/往後拉	馬達反轉

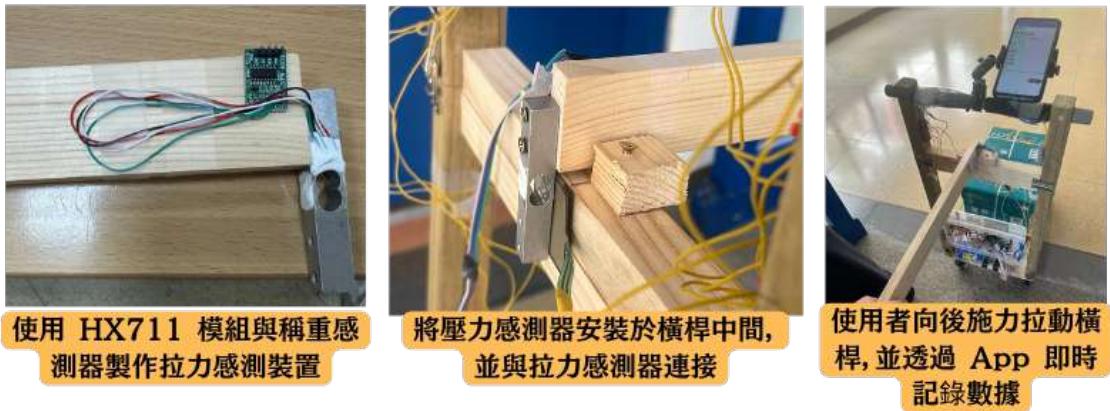


圖 4-5-5 拉力感測器製作與操作流程圖（作者拍照繪製）

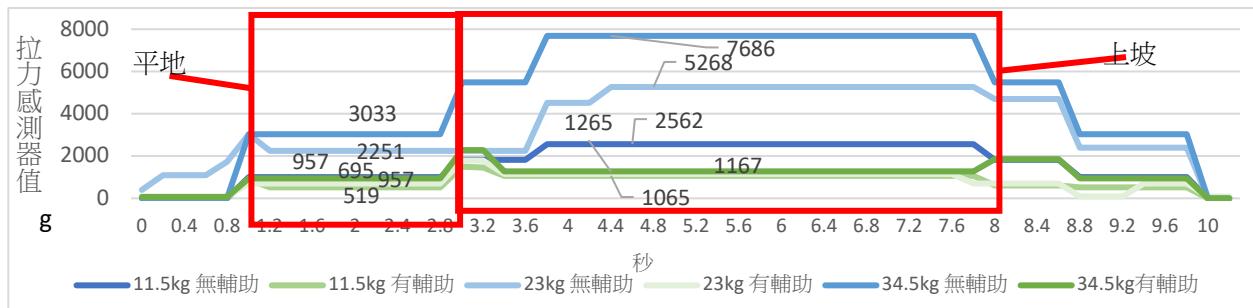


圖 4-5-6 不同載重與輔助狀態對拉力感測數值之影響（作者整理）

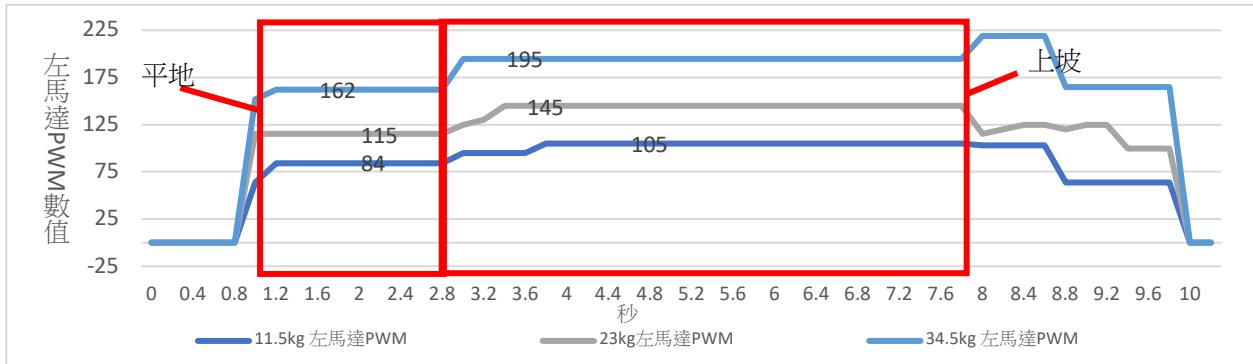


圖 4-5-7 不同載重於平地與上坡路段之左馬達 PWM 輸出變化（作者整理）

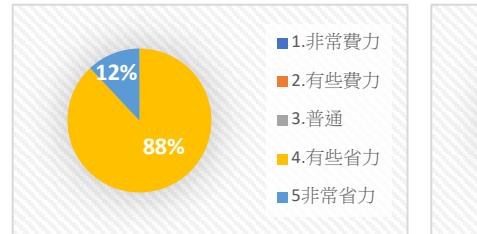


圖 4-5-8 靜止往前推的感受（作者繪製）

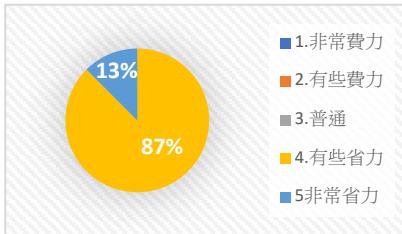


圖 4-5-9 靜止往後拉的感受（作者繪製）

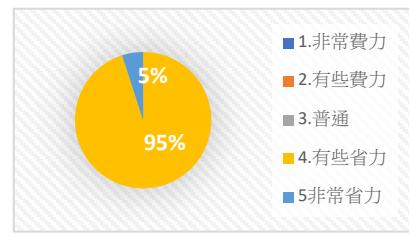


圖 4-5-10 推車上坡的感受（作者繪製）

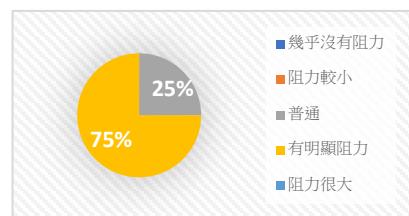


圖 4-5-11 推車下坡的感受（作者繪製）

(二) 討論：

- 壓力感測器的測試；為確認壓力感測器功能正常，首先參考圖 4-5-1 的電路接線方式，將壓力感測器模組接至 Arduino UNO 板的 A0 腳位，並依圖 4-5-2 所示使用圖控程式讀取感測器數值。設定序列埠通訊速率為 115200，並每隔 100 毫秒傳回一次壓力數值。

測試結果：在未施壓時，感測器數值為 0；隨著施壓力道增加，數值會相對增加，顯示感測器運作正常。

2. 為確保每次測量壓力時使用者的手放置位置一致，我們參考腳踏車手把的設計，如圖 4-5-12 所示，於左手把與右手把上各安裝前後兩個壓力感測器（共四個），可偵測使用者是否為「推」或「拉」的動作。

(1) 左側感測器：左前方、左後方

(2) 右側感測器：右前方、右後方

控制盒內如圖 4-5-13，將感測器訊號匯入控制模組，再由轉換模組處理後送入主控板進行運算。

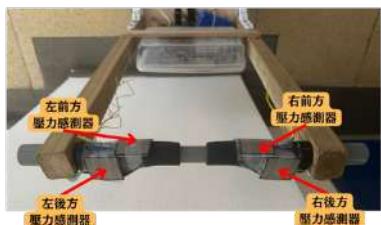


圖 4-5-12 手把安裝俯視圖
(作者拍照繪製)

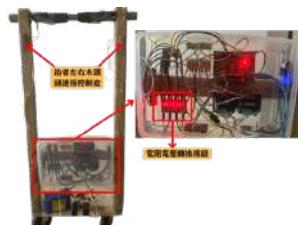


圖 4-5-13 壓力感測器安裝圖
(作者拍照繪製)



圖 4-5-14 解決晃動問題
(作者拍照繪製)

3. 安裝完成後進行測試時，我們發現一個重要問題：當使用者推動手推車時，三腳架與推車的連接處會晃動，導致手把搖晃。為解決這個問題，我們在另一側安裝了吊扣（圖 4-5-14），有效消除了晃動現象。

4. 完成安裝後，我們實地推動手推車，以觀察壓力感測器的反應規律，進行了以下兩項實驗：

(1) 前進實驗：在平地上由靜止狀態推動手推車前進至停止，並記錄壓力變化（見圖 4-5-3）。結果顯示：**啟動前進時，左後與右後感測器壓力迅速上升至 700 多邏輯值**，而前方感測器變化不大；**臨近停止時，左前與右前感測器壓力上升，顯示使用者有減速意圖**。

(2) 後退實驗：在平地上由靜止狀態將手推車向後拉動至停止（見圖 4-5-4）。**開始後退時，左前與右前感測器壓力上升至 700 多邏輯值**，後方感測器則變化較小；而接近停止前，左後與右後感測器壓力升高，表示使用者推動車體以減速。

這兩組數據清楚顯示，壓力感測器能有效辨識使用者推或拉的動作意圖，為控制系統提供穩定輸入。總結來看，**後方感測器壓力增加代表使用者想加速，前方感測器壓力增加則代表減速意圖**。

5. 綜合上述實驗結果，我們進一步設計程式邏輯，用以自動判斷使用者的操作意圖。由於壓力感測器在安裝過程中會因彎曲產生微小基礎值，即使無人操作也會偵測到壓力，因此我們設定以下判斷條件：**判斷邏輯**（見表 4-5-1）：

(1) 未接觸狀態：當**左前、左後、右前與右後壓力感測器數值皆小於 300**，視為**使用者未握住手把**。

(2) 推動意圖：當**左後與右後壓力數值 > 700**，判斷使用者欲向前推動。

(3) 拉動意圖：當**左前與右前壓力數值 > 700**，判斷使用者欲向後拉動。

(4) 緊握狀態：若四個感測器數值皆超過 700，代表使用者正緊握手把，可能處於待命或操作中。

6. 基於上述判斷邏輯，我們進一步將其應用於推車靜止狀態下的行為判定，使手推車能根據使用者操作自動判斷前進或後退。同時，也以此原理改良速度控制系統，將壓力感測器的輸入值用作加速與減速依據。

根據表 4-4-3 擴充後，我們新增一條判斷邏輯：當使用者緊握手把時，手推車不進行任何行為變更，並依據此設計出判斷邏輯總表（表 4-5-2），共計需處理 21 組條件判斷。這導致程式邏輯過於複雜且不易除錯。

為簡化系統設計，我們將「使用者操作意圖」與「手推車狀態」分離處理，並根據兩者的組合判定最終輸出行為。在列出所有可能狀態後，排除那些對應相同行為的重複情境，進一步簡化邏輯，最後整理為簡化狀態表（表 4-5-3）。

分析結果顯示：僅需處理狀態 1、2、3、4、6、7、8 即可涵蓋所有必要情境，並可直接將此邏輯整合進推車狀態判斷流程圖（圖 4-5-15）。經實作與測試，系統可正確識別推與拉的操作意圖，並提供即時且對應的輔助動力輸出。

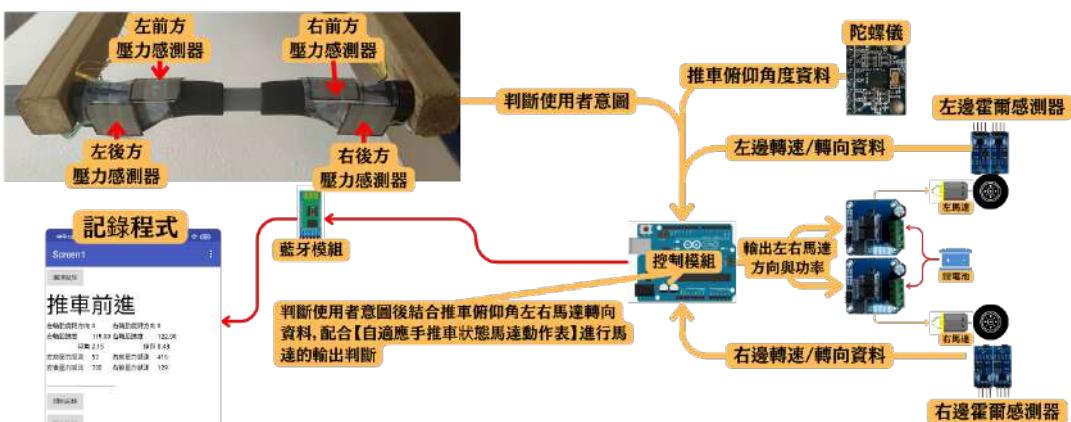


圖 4-5-15 自適應手推車系統流程圖（作者拍照繪製）

7. 為了進一步驗證壓力感測與控制邏輯的實際效能，我們製作並安裝拉力感測裝置（圖 4-5-5）。該裝置採用 HX711 模組搭配秤重感測器，將其安裝於推車橫桿上，透過連接 Arduino，透過藍芽傳送到手機 App 即時紀錄使用者推拉時所產生的拉力變化，作為後續分析依據。
8. 我們針對不同載重與是否啟用輔助動力進行比較實驗，分析拉力感測數據及其對馬達輸出變化的影響。圖 4-5-6 顯示，在平地與上坡兩種情境下，拉力感測器的輸出數值明顯受到載重大小與是否啟用輔助系統的影響。以 34.5 公斤載重於上坡情境為例，未啟用輔助系統時，最高拉力達 7686 gf (約 75.3 N)；啟用系統後降至 1167 gf (約 11.4 N)，顯示省力幅度達 84.8%。此結果說明輔助系統可有效降低使用者施力需求，特別是在高載重與不利地形條件下，顯著提升操作效率與推行輕便性。
9. 為了驗證控制邏輯與實際輸出間的對應關係，我們觀察左側馬達 PWM 輸出變化（圖 4-5-7）。實驗中可以發現，在載重愈重或地形變化（如上坡）時，PWM 數值會依感測器輸入而自動調升，提供額外動力，確保推車運行穩定。此結果進一

步證實本系統能依據**壓力輸入自動調整馬達輸出，達到即時反應使用者意圖的效果**。

10. 為驗證本系統的實用性與使用者體驗，我們於推車上加裝重物，邀請 100 位同學參與實測，依序操作傳統手推車與自適應電動手推車，進行前進、後退、上坡、下坡等操作情境。測試後填寫問卷回饋，評估助力效果與阻力控制的體感變化，結果如下：

(1) 靜止狀態下啟動推車

- 往前推（圖 4-5-8）：88% 的同學感覺「有些省力」，12% 表示「非常省力」。

- 往後拉（圖 4-5-9）：87% 表示「有些省力」，13% 認為「非常省力」。

(2) 上坡推車感受（圖 4-5-10）：95% 的同學表示系統提供明顯助力，有效減輕上坡推行負擔。

(3) 下坡推車感受（圖 4-5-11）

- 75% 的同學認為車子具有「適當阻力」，不會滑動過快，提供安全感。

- 25% 表示仍感受到「些微阻力」，整體控制感良好。

此回饋結果顯示，自適應電動手推車在不同操作情境下，皆能明顯提升使用體驗，有效提供推拉助力並強化安全控制，獲得一致性正向評價。

11. 綜合以上實驗結果可確認，我們所設計的**自適應電動手推車系統**已成功達成預期目標，能夠有效協助使用者在平地、上坡、下坡等多種地形條件下輕鬆操作推車。實驗與回饋結果顯示：

(1) **壓力感測器能準確辨識使用者推／拉的意圖。**

(2) **與車輛狀態判斷邏輯結合後，能即時調整馬達輸出。**

(3) 實現了直覺式操控與人性化的輔助體驗。

本系統在提升操作便利性與降低使用者負擔方面，展現出良好穩定性與高響應性，證實本設計具實用性與推廣潛力。

伍、結論

我們研究並且設計實現了一套智慧助力自適應電動手推車系統。在每個實驗階段遇到問題後，我們進行討論，最終完成整個作品。經過一系列的實驗與改進，我們成功地解決了各階段遇到的挑戰，最終完成了一套智慧助力自適應電動手推車系統。以下是我們各階段實驗的詳細結論：

一、實驗一：電動滑板結合手推車

綜合實驗結果顯示，**電動滑板與手推車結合確實能有效減少推動時所需的力氣，提升平坦地面及上坡時的行駛效率**。然而，現階段設計仍存在幾項問題，需進一步改善：

(一) 控制穩定性不足：遙控操作下，遇路面起伏或負載變化，馬達轉速不穩，推車快慢不一，影響安全。建議改用自動功率調節系統，確保輸出穩定並提升操作性。

(二) 輪組卡住影響使用：滑板與手推車輪子易干涉，導致轉向卡住。建議重新設計輪組結構，將動力直接傳輸至固定輪以提升穩定性。

二、實驗二：製作馬達動力輔助的手推車

本實驗以校內手推車為基礎，使用木板與三腳架作可摺疊車體，採用 DC775 馬達透過法蘭連軸器驅動輪胎，並以 BlocklyDuino F2 撰寫程式控制速度與方向。為提升操作便利性，我們整合 HC-05 藍牙模組與 Android App，實現遠端控制與馬達狀態監控。動力系統歷經三代優化，從直接驅動、不鏽鋼軸支撐到皮帶輪傳動，成功解決輪胎脫落與結構不穩問題，同時提升扭力並縮短系統長度。控制系統則改採快速接線端子、保護殼與 USB 穩壓模組，增強電路穩定性與安全性。**實測顯示，系統可穩定搬運 46 公斤重物，並觀察到從靜止到啟動時馬達功率會逐漸加快。**若能根據轉變化自動調節輸出功率，將有助於提升控制效率與系統穩定性。

三、實驗三：製作轉速控制系統

實驗中透過霍爾感測器成功偵測磁鐵靠近時的訊號變化（由 1 轉為 0），並觀察在不同 PWM 值下的方波間隔，發現隨功率增加，訊號間隔明顯縮短。為解決單一感測器無法判別輪胎旋轉方向的限制，我們增設**第二顆感測器並採用更大型磁鐵，藉由感測器 A 與 B 的觸發順序，準確判斷輪胎的正反轉方向**。同時，我們研究方波轉換為 RPM 的計算方法，進一步設計出完整的轉速控制程式。系統以 Arduino 外部中斷偵測訊號變化，並將資料傳送至 App 進行顯示與紀錄，測試證實可根據實際轉速自動調節馬達功率。然而在實際應用中，我們發現系統仍難以判斷使用者是否正在推動車體，因此無法依據路況適時提供助力或阻力，未來將需整合車頭傾角與使用者意圖判斷機制，以提升系統智能化程度。

四、實驗四：使用陀螺儀感測手推車的姿態

為設計具智能判斷功能的動力輔助手推車，我們首先以 Scratch 建立模擬器，模擬不同坡度與輪胎轉向下的運行狀態，作為邏輯設計依據。後續進行陀螺儀測試，確認其可準確感測傾斜角度變化（**上坡為負值、下坡為正值**），並安裝於車體上作為坡度感測核心。**系統整合陀螺儀、霍爾感測器與藍牙模組，同步監測與控制**，搭配自製 App 即時記錄俯仰角與輪胎轉向進行紀錄分析。透過實測，我們歸納出七種運行狀態，並設計對應的馬達輔助策略，例如上坡前進提供推力、下坡前進提供阻力。控制邏輯已整合至主程式與流程圖中，實驗結果顯示系統能穩定辨識運行狀態，並有效提供輔助推行。然而，我們發現系統需待輪胎轉動後才能辨識方向，導致上坡起步無法即時啟動輔助。為改善此問題，我們構思於手把加裝壓力感測器，以預先偵測推拉動作，進一步提升系統靈敏度與反應效率。

五、實驗五：安裝壓力感測器判斷使用者意圖與自適應手推車實際測試

為提升智慧助力手推車對使用者操作意圖的即時判斷能力，我們設計了**壓力感測器系統**，於手把左右前後共安裝四顆感測器，對應不同推拉行為。感測器以變阻原理運作，透過 Arduino 讀取其壓力數值變化。實測結果顯示：前進時左後與右後感測器數值迅速上升，前方感測器變化不明顯；減速或接近停止時，前方感測器數值上升。反之，後退時則由前方感測器率先上升，接近停止時後方上升。根據此特性，我們設計出判斷條件，並簡化原始 21 組邏輯為 7 組代表性狀態，提升運算效率與穩定性。進一步，我們以**拉力感測器驗證輔助系統有效性：在 34.5 公斤上坡情境下，未啟動系統時，最大拉力為 7686 gf（約 75.3 N），啟動後降為 1167 gf（約 11.4 N），省力幅度達 84.8%。**。此外，邀請

100 位使用者進行實測與問卷調查，結果顯示：88% 認為起步較省力，12% 表示非常省力；上坡輔助效果獲得高達 95%的使用者表示系統確實有幫助且較省力，下坡時則有 75% 使用者感受到適當的阻力。整體驗證結果證實，系統能即時辨識並回應使用者推拉行為，依照行進情境提供適當輔助，提升整體操控體驗，具備良好穩定性與應用可行性。

總的來說，我們的研究從最初的電動滑板結合手推車的概念，發展到後來整合霍爾感測器、陀螺儀和壓力感測器的多重感測系統，最終打造出一套能夠感知使用者意圖、自動判斷行駛環境並提供相應輔助的智慧手推車系統。這個系統不僅能減輕使用者的體力負擔，還能提高手推車的安全性和使用便利性。

在研究過程中，我們透過實驗不斷發現問題並積極尋求解決方案。從機械結構設計、電路連接、感測器應用到軟體演算法，我們經歷了多次改良與優化。每次失敗都轉化為寶貴的學習經驗，每次成功都為系統完善增添關鍵元素。我們期望這套系統能為類似設備提供更智能的判斷機制，不論是應用於物流運輸、日常搬運，或是改良成輪椅輔助系統，都能提供更人性化的解決方案，為未來智慧輔助設備的發展提供參考與啟發。

陸、參考資料

- West Virginia University. (n.d.). *E-Boards: Skateboarding*. Science Behind the Sport. Retrieved February 19, 2025, from <https://sciencebehindthesport.wvu.edu/skateboarding/e-boards>
- DIY DUDE. (2021, February 19). *This is the Easiest Way to Make an ELECTRIC SKATEBOARD - WOW* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/tQeKqTx0llo>
- Components101. (2025, January 9). *Arduino Uno*. Components101. <https://components101.com/microcontrollers/arduino-uno>
- 今華電子. (n.d.). *BTS7960 大功率 H 橋 43A 馬達驅動模組*. 今華電子. <https://jinhua.com.tw/page/product/show.aspx?num=39224&lang=TW>
- Arduino. (n.d.). *SoftwareSerial*. Arduino Documentation. <https://docs.arduino.cc/learn/built-in-libraries/software-serial/>
- cubie. (2014, November 2). *HC-05 與 HC-06 藍牙模組補充說明 (二)：連接電路*. 超圖解系列圖書. <https://swf.com.tw/?p=705>
- 劉正吉. (n.d.). *如何安裝吉哥自製積木*. 吉哥的分享. <https://sites.google.com/jes.mlc.edu.tw/ljj/linkit7697/如何安裝吉哥自製積木>
- 均一教育平台. (2022, November 15). *靜摩擦力與動摩擦力* [影片]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=zEWOCv24uHc>
- iCShop. (n.d.). *霍爾磁力感測器*. iCShop. <https://www.icshop.com.tw/products/368030501518>
- iCShop. (n.d.). *壓力感測器 FSR406 力敏電阻 (100g-10kg)*. iCShop. <https://www.icshop.com.tw/products/368030200057>

【評語】082812

整合雙霍爾感測器偵測輪胎轉速與方向、陀螺儀辨識傾斜角度，以及壓力感測器來判斷使用者意圖、狀態、推車姿勢，設計直接輔助推車動力控制的電動手推車系統，可直覺使用無需學習，是有趣且實用的作品。書面報告撰寫清晰完整，具科學精神，值得鼓勵。建議評估轉彎情境時的輔助控制策略，更能突出實用價值。

作品海報

智慧助力 - 自適應電動手推車系統



Screen1

選擇藍牙

上坡後退

左輪胎旋轉方向 0 右輪胎旋轉方向 1
左輪胎速度 80.00 右輪胎速度 1000.00
仰角 -24.75 傾斜 -18.39
左前壓力感測 74 右前壓力感測 762
左後壓力感測 458 右後壓力感測 737

開始記錄



壹、研究動機

在日常生活中，手推車是我們搬運重物時的重要工具。在學校裡，常常可以看到老師或工友用手推車運送教材與設備，尤其在開學和學期結束時，要搬大量的新書和器材。我們有時也會幫忙搬教室裡的書本，發現當物品很重時，推起來非常吃力。校園裡的道路有些地方是上坡或下坡，上坡時需要花很大的力氣才能推動，下坡時則必須用全身力量來控制速度，否則手推車可能因慣性滑動甚至翻倒，造成危險。

根據這些問題，我們想到可以運用課堂中學到的馬達技術來改良傳統手推車。我們希望設計一套加裝電動馬達的系統，搭配 Arduino 控制板與多種感測器，即時處理感測數據，精準控制馬達運作。這個系統能夠根據不同情況自動調整出力，例如在上坡時加強推力、下坡時提供阻力，甚至在搬運較重物品時也能穩定運作，減少推動時的力氣，讓整體使用更輕鬆、安全。

我們期望這個智慧化手推車的設計，不僅能大幅減輕體力負擔，也能提升搬運安全性。未來除了校園使用，還能應用在倉庫、物流中心或市場等場域，讓更多人從中受益。



貳、研究目的

- 實驗一：電動滑板結合手推車
- 實驗二：製作馬達動力輔助的手推車
- 實驗三：製作轉速控制系統
- 實驗四：使用陀螺儀感測手推車的狀態
- 實驗五：安裝壓力感測器判斷使用者意圖與自適應手推車實際測試



參、研究設備及器材

車體制作			
各類水管	水管剪	電焊槍	萬向輪//輪胎
各類木板	木工鋸子	各類角鐵	膠帶
扣環	電動起子	三用電錶	腳踏車握把
熱溶膠槍	電鑽	螺絲	三腳架

動力模組			
各類連軸器	DC775馬達	馬達控制板BTS7960	鋰電池
法蘭連軸器	軸承座	皮帶輪	皮帶
電線	DC電源接頭		

控制與感測模組			
Arduino	陀螺儀MPU-6050	壓力感測器	杜邦線
保鮮盒	快速電源接頭	麵包板	

使用軟體		
Fritzing	BlocklyDuino F2	scratch
canva	drawio	



伍、研究方法、研究結果與討論

一、實驗一：製作馬達動力輔助的手推車

研究起點 | 觀察日常 → 發想創新

在學校裡，我們經常看到老師或工友用手推車搬運教材、書本或設備，尤其在開學或學期結束時，要搬的東西又重又多。某天放學時，我們發現老師踩著一台電動滑板輕鬆滑行，這讓我們想到：

如果把電動滑板的馬達裝在手推車上，不就能省下很多力氣嗎？

這就是我們第一個實驗的靈感來源。

實驗目標

- 測試電動滑板馬達是否能作為手推車的動力來源
- 評估是否能有效減少搬運時的體力消耗
- 發現潛在問題，做為後續改良基礎

實作步驟

步驟一：動力結合



步驟二：實地測試

1. 在平地進行初步測試，確認結構穩定性
2. 加入重量，觀察馬達負荷能力
3. 在學校坡道進行上坡與下坡測試
4. 嘗試推轉方向，模擬實際搬運時的轉彎動作



實驗結果與問題分析

發現問題：

1. 控制方式缺乏彈性 → 使用遙控器調整速度，無法依照路況即時反應，容易失控
2. 轉向困難 → 手推車的萬向輪與滑板馬達位置衝突，推車無法正常轉彎
3. 缺乏智能判斷能力 → 馬達功率固定，無法根據坡度、載重或速度變化自動調整

成果亮點：

- 電動滑板馬達推力足夠，對減輕體力確實有效
- 搬運重物與上坡時省力效果顯著

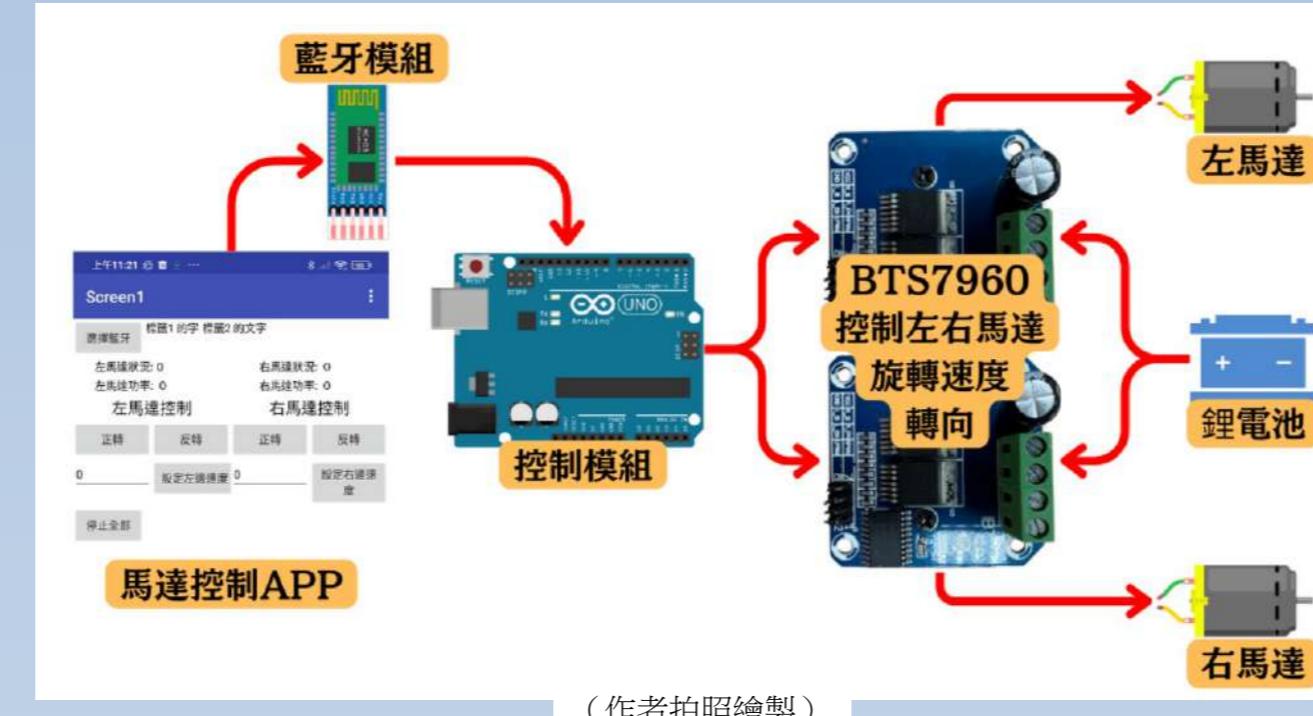
控制系統設計

APP 開發功能

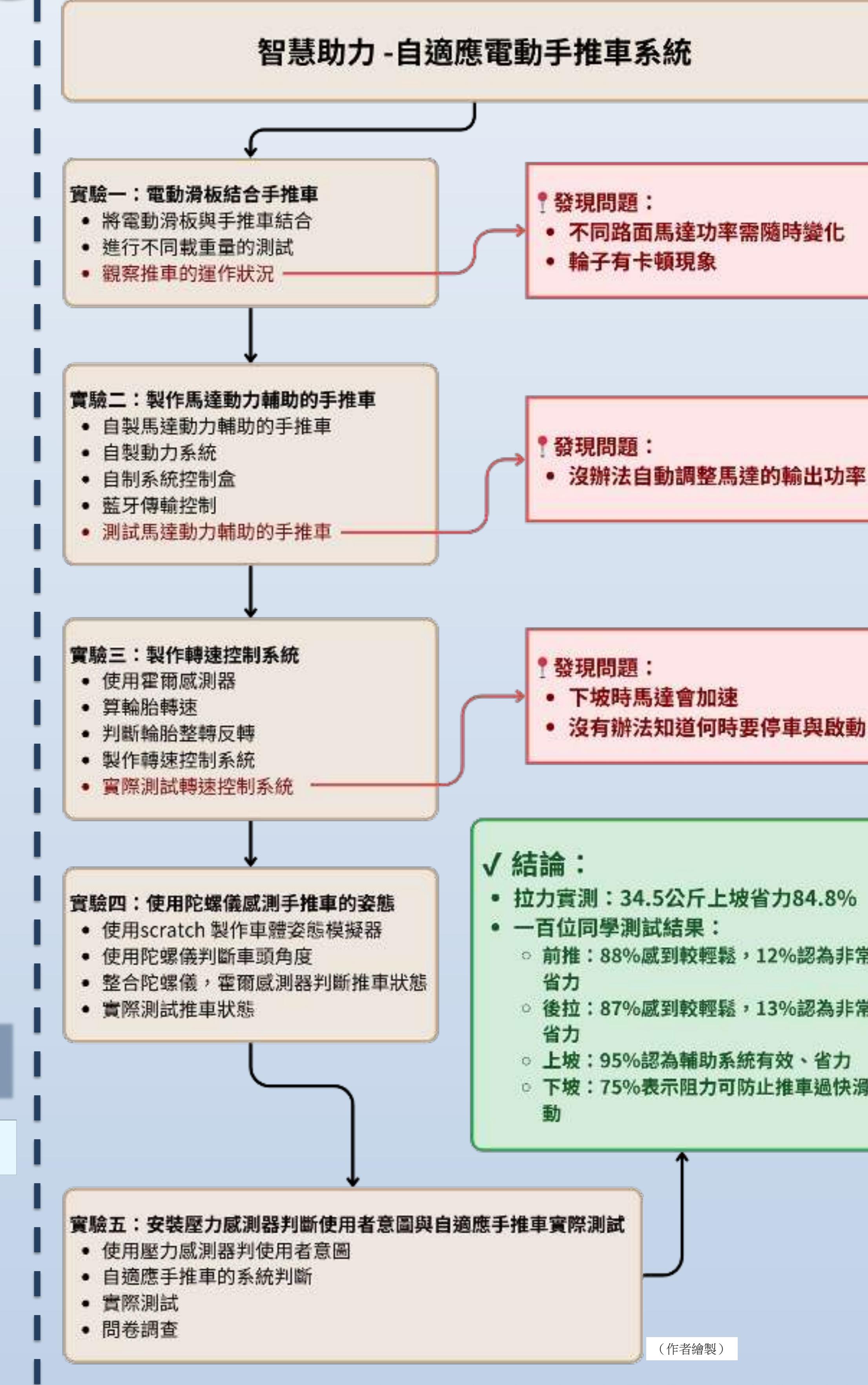
- 控制左右馬達啟動 / 停止
- 調整轉速 (PWM) 與方向
- 即時回傳狀態顯示與紀錄

Arduino 程式特色

- 使用 BlocklyDuino 積木式開發
- 利用 PWM 腳位控制轉速與方向
- 結合藍牙通訊與可變電阻進行實體測試



肆、研究過程



二、實驗二：製作馬達動力輔助的手推車

研究背景與動機

在實驗一中，我們將電動滑板的馬達系統安裝到手推車上，雖然成功實現動力輔助，但也出現幾個問題：

- 馬達過於強勁，速度難以控制
- 萬向輪與滑板馬達不相容，轉向容易卡住
- 遙控器控制不夠直覺、操作繁瑣

因此我們決定自行設計一台全新的馬達輔助手推車，改善上述問題。

實驗目標

- 設計一款具備動力輔助功能的智能手推車
- 減輕搬運重物時的體力負擔
- 使用 Arduino 與藍牙進行遠端控制與調整動力輸出

製作與改良過程

材料選擇與製作

- 車體：木板 + 水管 + 三腳架結構（可折疊）
- 動力：DC775 馬達 + BTS7960 馬達控制器
- 控制：Arduino UNO + HC-05 藍牙模組
- 電源：24V 鋰電池，提供足夠功率



動力模組進化

第一代設計：直接連結馬達與輪胎

• 但輪胎會掉落，結構不穩定

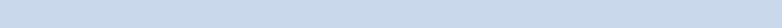
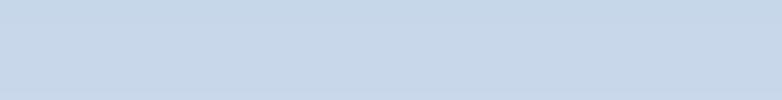
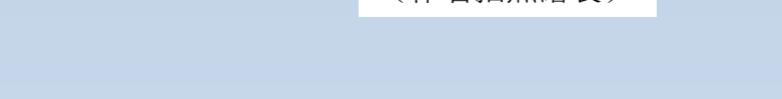
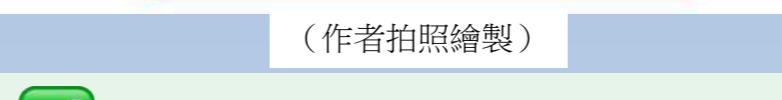
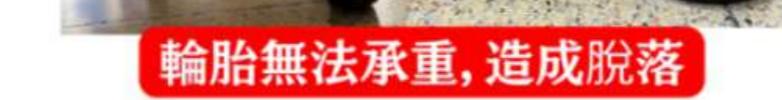


第二代設計：用不鏽鋼軸 + 軸承座支撐，但結構太長

• 無法安裝



第三代設計：改用皮帶輪傳動，成功縮短距離、強化扭力、穩定性高



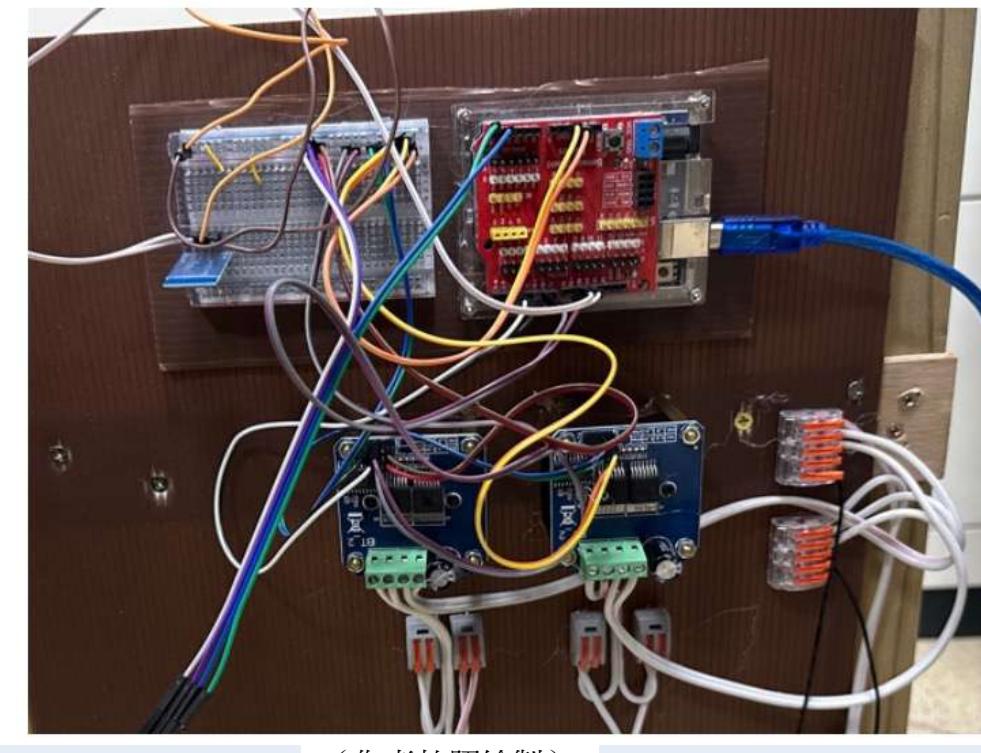
藍牙連線不穩

由於使用麵包板與杜邦線，當推車在行進或轉彎時，會因震動或擠壓導致藍牙模組與 Arduino 間連線中斷。此外，模組自身的接觸也容易鬆動，導致操控失效。這樣的情況會造成整台手推車突然失去控制。

解決方式

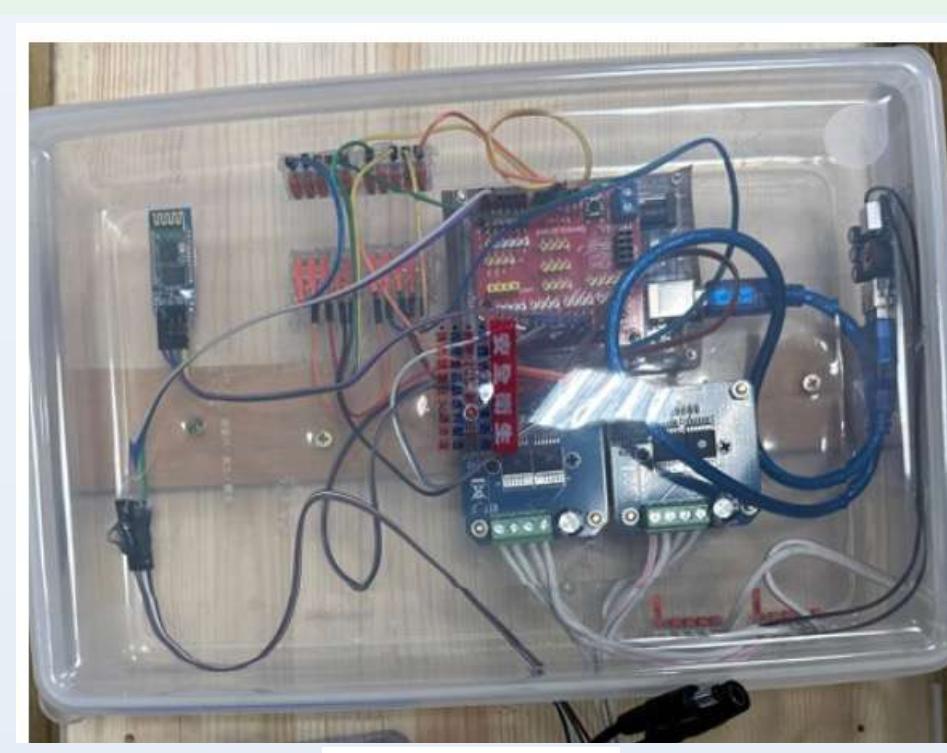
使用電線快速接頭連接器，進行線路的連接，且安裝保護殼來保護線路避免推動手推車的時候，貨物勾到電線。

改良前



(作者拍照繪製)

改良後



(作者拍照繪製)

三、實驗三：製作轉速控制系統

研究背景與動機

在完成實驗二後，我們成功製作了具備基本動力的手推車系統，但仍存在速度控制與安全性的問題。尤其在上下坡或載重變化時，手推車的動作不穩定，容易過快或無法啟動。我們意識到，若能夠即時偵測輪子的轉速與方向，並據此自動調整馬達輸出，便能讓手推車的運作更加智慧與安全。因此，我們展開了實驗三：設計一套轉速與方向的感測與控制系統。

實驗目標

- 使用霍爾感測器記錄手推車輪胎的轉速與方向
- 根據即時轉速資料調整馬達功率，達成自動控制
- 解決手推車速度過快或過慢的問題，提升使用安全性

霍爾感測器的原理

霍爾感測器是什麼？

- 一種對磁場變化敏感的電子元件
- 當磁鐵接近感測器時，會產生電壓變化，輸出從「1」變成「0」
- 可用來偵測「是否有磁鐵通過」、「通過的頻率」

工作方式簡述

- 安裝磁鐵在輪胎上，每轉一圈磁鐵會經過感測器一次
- 感測器輸出「脈衝訊號」，單位時間脈衝數 = 轉速 (RPM)

實驗數據



圖 4-3-3 單霍爾馬達正轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)



圖 4-3-4 單霍爾馬達反轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

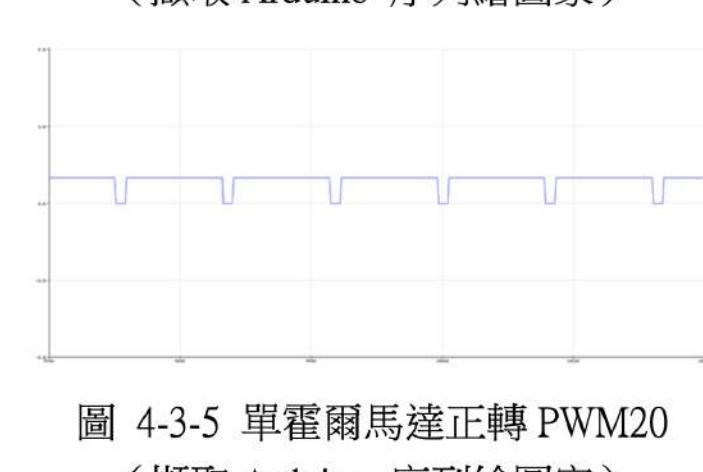


圖 4-3-5 單霍爾馬達正轉 PWM20
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

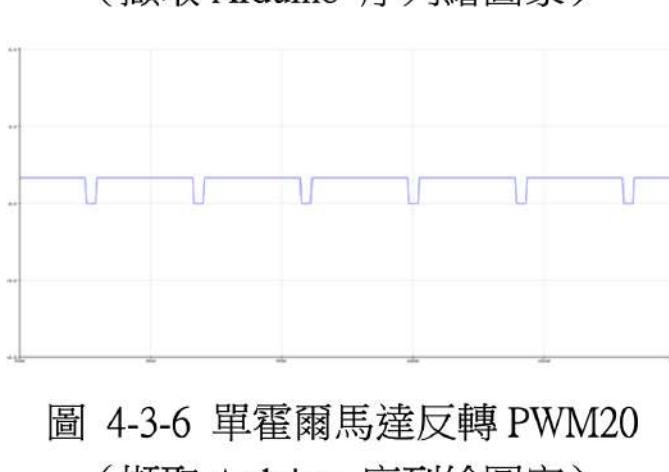


圖 4-3-6 單霍爾馬達反轉 PWM20
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

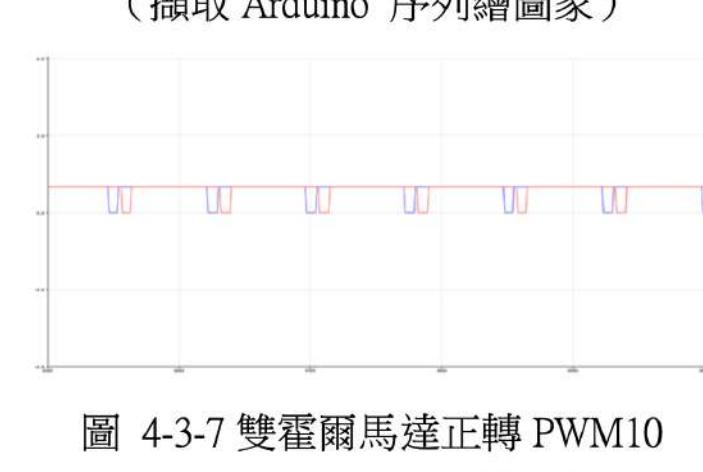


圖 4-3-7 雙霍爾馬達正轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

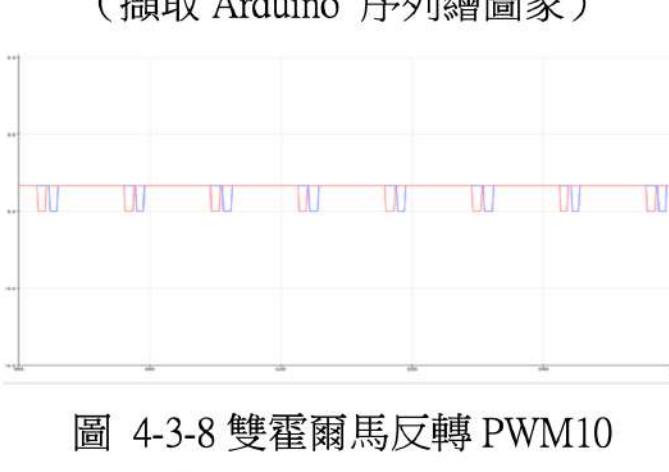


圖 4-3-8 雙霍爾馬達反轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

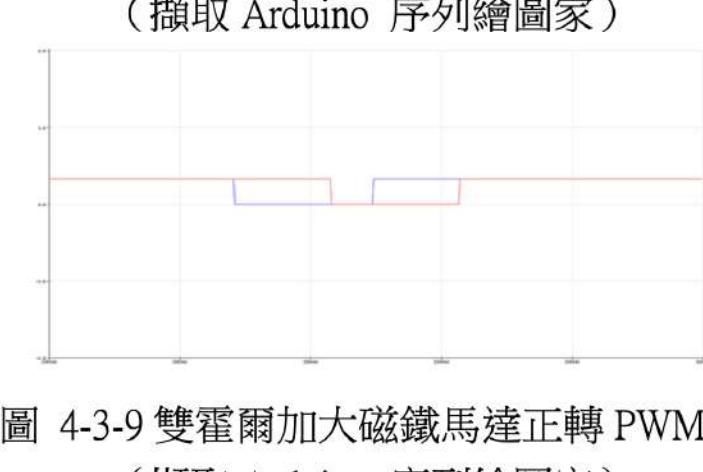


圖 4-3-9 雙霍爾加大磁鐵馬達正轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

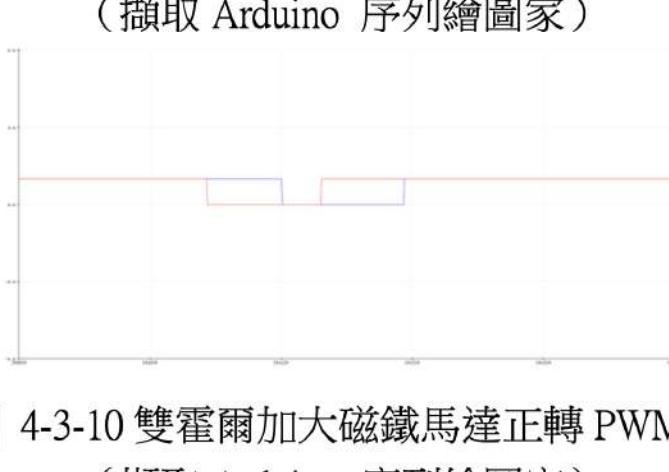


圖 4-3-10 雙霍爾加大磁鐵馬達正轉 PWM10
(擷取 Arduino 序列繪圖家)

轉速控制系統的設計與邏輯

系統架構

感測器 → Arduino → 轉速計算 → 判斷方向 → PWM 調整輸出

APP 功能整合

- 即時顯示轉速與方向
- 記錄不同載重下的轉速與馬達功率變化

測試重點

- 有無控制系統下的速度比較

程式開發與資料流程

為了達到智慧化控制的目標，我們設計了轉速控制系統程式，包含以下功能：

- 使用 Arduino 的外部中斷腳位 D2、D3 偵測霍爾感測器的訊號變化 (低 → 高)
- 每次觸發時計算時間差 → 推算轉速 (RPM) 與轉動方向
- 將資料傳送至手機 APP 顯示與記錄
- 可透過 APP 匯出 CSV 檔，再以 Excel 進行數據分析
- 整體系統架構如圖 4-3-12 所示。

載重實驗測試與數據分析

次數	0KG	11.5KG	23KG	34.5KG	46KG	57KG
1	80	95	130	170	195	不動
2	85	100	135	175	205	不動
3	85	95	130	175	210	不動

結論：

無人推動的情況下自己就可以載重 46 公斤，如果再加上使用者的力量，一定可以推動更重的物品。

實驗結果與問題分析

發現問題：

測試的時候，我們發現手推車由靜止到出發的馬達功率，相當會越來越快我們回想起自然課學過的「力」的基本概念，老師播放過均一教育關於靜摩擦力與動摩擦力的影片。這讓我們了解到，【當馬達克服靜摩擦力後，所需的功率應該要降低。為了讓系統能自動判斷這個過程，我們需要偵測輪胎的轉速和方向，來調整馬達的功率】。



(作者拍照)

(作者拍照)

解決問題

- 成功製作三代動力輔助手推車，具備穩定輸出、高載重能力
- 可透過手機即時控制，實現無線操作與速度調整
- 為後續加入智慧控制（如轉速感測與壓力偵測）奠定基礎

霍爾感測器實驗觀察與分析

霍爾感測器安裝與訊號觀察

我們將霍爾感測器安裝在第二代模組上，並使用其 DO 腳位（數位輸出）來偵測轉速。磁鐵固定在輪胎上，當輪胎轉動時，磁鐵會週期性地靠近霍爾感測器。

利用 Arduino 的序列埠監看視窗繪製訊號圖形便能即時觀察感測器的輸出變化。

感測器訊號變化規律

根據圖 4-3-3、圖 4-3-4 的觀察結果可得：

- 當磁鐵未通過感測器時 → 輸出數值為 1
- 當磁鐵靠近通過感測器時 → 輸出數值轉為 0
- 此數位訊號呈現週期性方波 (square wave) 每一次的 1 → 0 切換，代表磁鐵轉過一次，也就是輪胎旋轉一次。

功率與轉速關係分析

透過圖 4-3-3 和圖 4-3-5 的比對，我們將馬達設定為不同功率值進行測試：

- 馬達功率 10：方波間隔較長
- 馬達功率 20：方波間隔明顯縮短

結論：

- 方波間隔時間越短 → 表示輪胎旋轉越快
- 我們可以透過程式讀取這些方波訊號的間隔時間，進一步計算出輪胎的轉速 (RPM)

轉速 (RPM) 與速度的計算

轉速 (RPM) 計算公式

透過霍爾感測器輸出的方波訊號，我們可以量測兩次訊號變化（例如兩次 0）的時間差，即為一圈所需的時間。

- 方法一：使用微秒 (μs) 計算 $RPM = 60,000,000 \div \text{單圈時間} (\mu s)$
- 方法二：使用毫秒 (ms) 計算 $RPM = 60,000 \div \text{單圈時間} (ms)$

計算輪胎周長

使用的輪胎為直徑 4 吋 (inch)，周長計算如下：

- 周長 $C = \pi \times d = 3.1416 \times 4 \approx 12.57$ 吋
- $12.57 \times 2.54 \text{ cm} \approx 31.9$ 公分 (cm)

將 RPM 轉換為行進速度

若馬達每分鐘轉 100 圈（即 100 RPM），那：

- 每分鐘行進距離 = 輪胎周長 × RPM = $31.9 \text{ cm} \times 100 = 3,190 \text{ cm} = 31.9$ 尺
- 每小時行進距離 = $31.9 \text{ m} \times 60 \text{ 分鐘} = 1,914 \text{ 公尺} \approx 1.91$ 公里

換算公式：時速 (km/h) = 周長 (cm) × RPM × 60 ÷ 100000

為什麼選用 RPM 作為分析依據？

RPM 是標準化的轉速單位

- 與霍爾感測器的脈衝數量直接相關
- Arduino 系統可透過中斷與時間函數快速運算
- 有助於即時監測與動力控制邏輯設計

轉速控制系統架構圖



圖 4-3-12 轉速控制系統架構圖

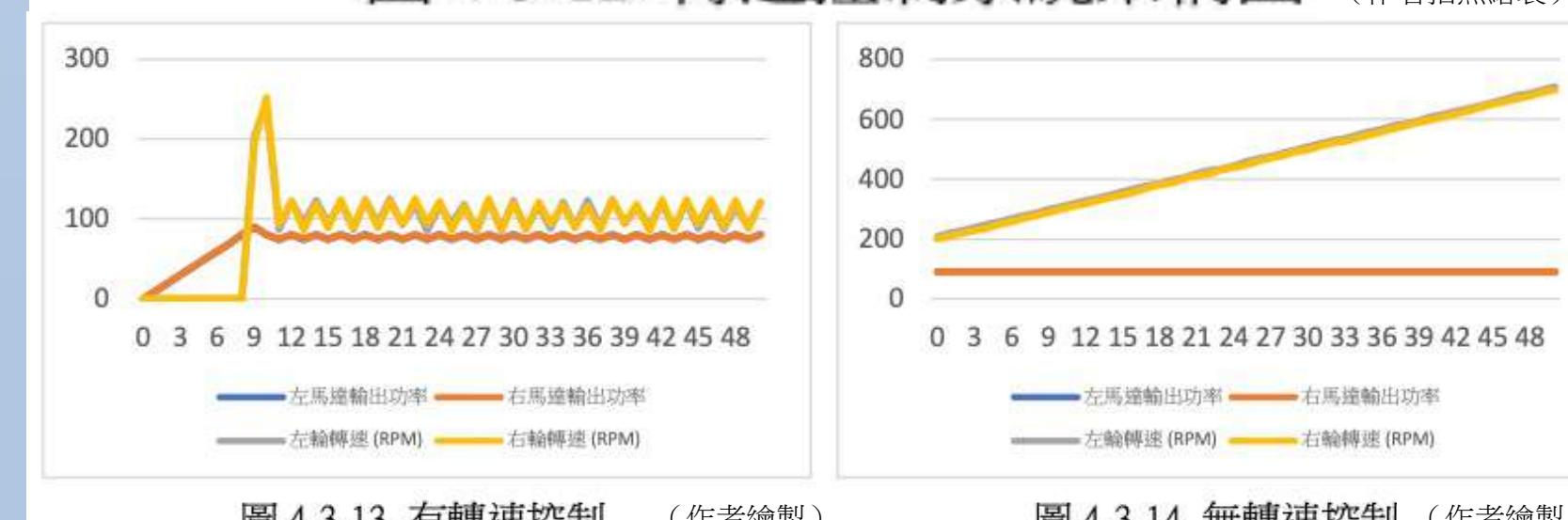


圖 4-3-13 有轉速控制

圖 4-3-14 無轉速控制

有無轉速控制系統的比較

為驗證控制效果，我們設定目標 RPM 為 100，分別進行有控制與無控制的比對：

- 圖 4-3-13 (有控制)：系統自動調整馬達功率，轉速穩定維持在 100 附近
- 圖 4-3-14 (無控制)：固定功率輸出，轉速持續上升 → 不穩定

實驗結果與問題分析

解決問題

轉速控制系統可以穩定車子的速度。

發現問題：

- 實際使用中，觀察到幾項誤判與限制：
 - 使用者快速推動時 → 系統判斷為轉速過高，降低功率，造成動力不足
 - 上坡時 → RPM 變化緩慢，系統無法即時補償，推起來更吃力
 - 下坡時 → RPM 看似正常，系統未提供動力，使用者反而要拉住推車

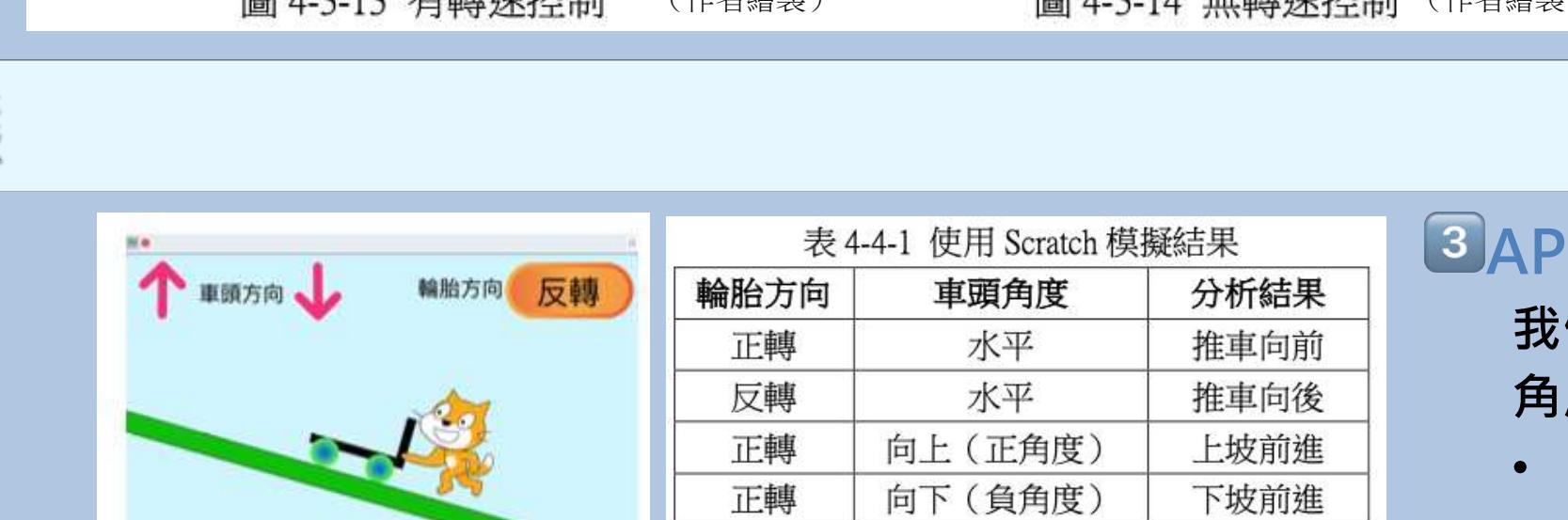


圖 4-3-15 有轉速控制

圖 4-3-16 無轉速控制

APP 開發與動態運行測試分析

我們將陀螺儀裝置於手推車上，並開發專屬手機 APP，以同步記錄俯仰角度與輪子旋轉方向，進行動態實測。下列為各種運行情境分析：

- 上坡前進 (圖 4-4-8、4-4-9)：輪子正轉，角度由 0° 降至 -5.1°，結束時回升至 -0.58°。
- 上坡後退 (圖 4-4-10、4-4-11)：輪子反轉，角度同樣降至 -5.3°，回升至 -0.58°。
- 下坡前進 (圖 4-4-12、4-4-13)：輪子正轉，角度上升至 5.3°。
- 下坡後退 (圖 4-4-14、4-4-15)：輪子反轉，角度升至 5.2°，回復時降至 -0.58°。

綜合分析可得結論為：「俯仰角判斷坡度方向，旋轉方向判斷移動方向，兩者結合，即可準確辨識手推車運行狀態。」

系統邏輯流程圖設計 (圖 4-4-16)

我們設計的判斷流程如下：

首先判斷輪胎是正轉或反轉 → 再讀取陀螺儀傾斜角度 → 綜合推斷目前是上坡、下坡還是平地，並推算移動方向。

此資訊會透過藍牙傳送至手機 APP，即時顯示當前狀態與控制模式。

行進狀態與動力設定邏輯 (表 4-4-2 / 4-4-3)

在系統完成後，我們將不同的行進狀態與對應的動力輸出作以下整理：

- 停車：靜止且傾斜角接近水平 → 不輸出動力
- 水平前進或後退：正轉或反轉 + 水平角度 → 提供助力
- 上坡前進：正轉 + 上傾角 → 較大助力，幫助爬坡
- 下坡前進：正轉 + 下傾角 → 提供反向阻力，避免滑落過快
- 上坡後退：反轉 + 上傾角 → 提供阻力，避免失控滑落
- 下坡後退：反轉 + 下傾角 → 提供正向阻力，維持穩定

推車狀態判斷流程圖 (作者繪製)



序號	測試內容	基礎角度	輪胎方向	實驗結果	
				分析結果	說明
1	停車	水平	不動	停車	
2	推車向左	水平	正轉	推車前進	
3	推車向右	水平	反轉	推車後退	
4	上坡前進	向上	正轉	正轉	
5	下坡前進	向下	正轉	反轉	提供阻力
6	上坡後退	向上	反轉	正轉	提供阻力
7	下坡後退	向下	反轉	正轉	提供阻力

表 4-4-3 手推車的分析判斷與馬達動力設定對應表 (作者製作)					
序號	測試內容	車頭角度	輪胎方向	設定馬達動力	輔助目標
1	停車	水平	不動	不動	不提供動力
2	推車向左	水平	正轉	正轉	提供動力
3	推車向右	水平	反轉	反轉	提供動力
4	上坡前進	向上	正轉	正轉	提供動力
5	下坡前進	向下	正轉	反轉	提供阻力
6	上坡後退	向上	反轉	正轉	提供阻力
7	下坡後退	向下	反轉	正轉	提供阻力

圖 4-4-3 加入陀螺儀的判斷流程圖 (作者繪製)

✓ 系統整合成果與使用觀察 (圖 4-4-9)

我們根據【加入陀螺儀的判斷流程圖】(圖 4-4-9)，設計程式與 APP 實作介面，並將其整合於手推車系統中。實際操作後，我們觀察到：

- 在上坡時，系統會主動提供適當的輔助動力，顯著減輕推行壓力。
- 在下坡時，系統能即時偵測地形傾斜，並主動提供反向阻力，防止手推車加速失控。

這些測試結果證明，我們整合的陀螺儀 + 霍爾感測器系統，能夠準確偵測各種地形與行進狀態，並即時做出合適的馬達動力調整，是實用且智慧的輔助設計。

⚠ 尚未解決的問題：起步方向判斷

- 當手推車靜止時，系統無法預先知道使用者是要推還是拉，特別是在載重上坡起步時更明顯。
- 使用者必須先出力移動一段距離，系統才啟動動力補償。
- 為此，我們構思在手把上加裝壓力感測器，以預判推拉方向，提前觸發對應的助力機制。

五、實驗五：安裝壓力感測器判斷使用者意圖與自適應手推車實際測試

研究背景與動機

者的施力方向與意圖，進一步實現真正「智慧助力」的起步預判。

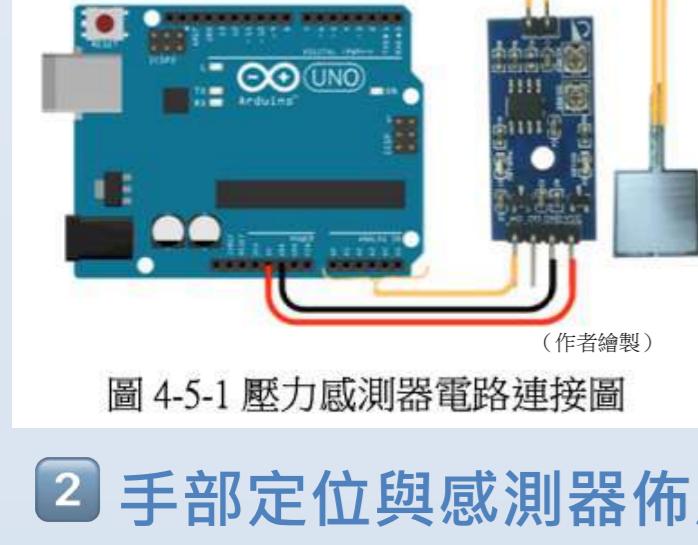
◎ 實驗目標

- 安裝壓力感測器於手把上，偵測使用者「推 / 拉」的意圖
- 整合前述的坡度判斷系統，實現完整的自適應控制

○ 討論與問題分析

1 壓力感測器測試與程式設計

查詢感測器原理後，依圖 4-5-1 完成線路與程式 (圖 4-5-2)。感測器在無壓時為 0，施壓後數值隨壓力上升 → 運作正常。



2 手部定位與感測器佈局設計

參考腳踏車手把設計，於左右側前後四處安裝壓力感測器 (圖 4-5-7、4-5-8)，判斷推/拉施力方向。



3 安裝結構問題與改良

測試中發現手把晃動 → 感測器受影響 (圖 4-5-9)，故加裝吊扣結構穩定連接點 (圖 4-5-10)。



4 使用情境測試與數據分析 (圖 4-5-4/4-5-3)

- 前進 → 後方感測器升高 → 停止前前方上升
- 後退 → 前方感測器升高 → 停止前後方上升

✓ 證明壓力感測器能辨識推拉意圖，作為控制輸入依據。

陸、結論

✓ 實驗一：電動滑板結合手推車

電動滑板結合手推車確實能減少推動所需力氣，使平坦地面行駛更順暢，上坡時馬達輔助效果顯著。然而，高速行駛時較難控制，容易發生危險，且下坡時馬達反轉的時機難以掌控，轉向時輪子容易卡住。

✓ 實驗二：製作馬達動力輔助的手推車

在製作馬達動力輔助手推車實驗中，我們參考校內現有手推車尺寸，使用木板與水管製作了可折疊車體，並採用 DC775 馬達透過法蘭連軸器連接輪胎，使用 BlocklyDuino F2 開發控制程式實現速度和方向控制；為擺脫電腦控制不便，我們加入 HC-05 藍牙模組並開發 Android App，讓使用者可監控馬達狀態、控制正反轉與轉速；同時經歷三代動力系統改良，最終採用皮帶輪與皮帶連接方式，解決輪胎脫落和連接不穩定問題，也使用電線快速接頭連接器取代杜邦線和麵包板，加裝保護殼和 USB 穩壓電路提高電路穩定性；實際測試證明改良後系統能搬運46公斤物品，並觀察到從靜止到啟動時馬達功率會逐漸加快。

✓ 實驗三：製作轉速控制系統

透過霍爾感測器成功檢測到磁鐵靠近時數值的變化 (1變0)；接著比較不同 PWM 值下的方波間隔，發現功率增加時間縮短，為解決單一感測器無法辨別方向的限制，我們增設第二個霍爾感測器並採用更大磁鐵，通過感測器A和B的信號順序精確判斷輪胎正反轉；同時研發了將脈衝信號轉換為RPM的計算方法並測量輪胎周長以計算實際速度；基於上述技術，我們開發了完整的轉速控制程式，使用Arduino外部中斷偵測信號變化並將數據傳送至App分析，測試證明系統能根據實際轉速自動調整馬達功率；然而，實際應用中仍發現系統在使用者推動時無法判斷，依照路況進行助力或阻力，使此需要整合車頭角度和使用者意圖判斷的功能。

✓ 實驗四：使用陀螺儀感測手推車的狀態陀螺儀系統設計與測試

我們首先使用Scratch建立模擬器了解傾斜角度與輪胎轉向狀況模擬，然後進行陀螺儀測試並證實其能準確判別車頭上下坡角度 (上坡產生負值、下坡產生正值)；將陀螺儀整合至手推車後，我們繪製判斷流程圖並開發邏輯算法，成功實現輪胎轉向與上下坡角度判斷；基於此，我們歸納出七種運行狀態並設計相應馬達動力輔助策略 (如上坡提供助力，下坡提供阻力)，實際測試顯示系統能有效減輕推行壓力並提供安全穩定的下坡控制；然而，我們也發現系統存在無法預判使用者推拉意圖的問題，僅能在車輪開始轉動後判斷移動方向。

✓ 實驗五：安裝壓力感測器判斷使用者意圖與自適應手推車實際測試

我們設計了推車壓力感測器系統來優化智慧助力電動手推車。我們發現壓力感測器電阻隨施加力量變化，將其安裝於腳踏車手把左右兩側進行推拉動作判斷，並通過平地實驗證實壓力數值能精確識別使用者意圖：前進時左後右後感測器上升至700多而前方無明顯變化，減速時左前右前數值上升；後退時左前右前迅速上升而後方較低，減緩後退時後方數值提高。基於這些規律，我們設計了自動判斷程式，將使用者操作意圖與手推車狀態分離處理，並透過拉力感測器進行輔助效果驗證。在 34.5 公斤的上坡情境下，未啟動系統時最大拉力為 7686 gf (約 75.3 N)，啟動系統後降至 1167 gf (約 11.4 N)，省力幅度達 84.8%。同時，透過一百位同學的實際測試驗證系統效能，結果顯智慧助力自適應電動手推車系統在靜止狀態下，有88%的使用者認為往前推比較輕鬆，12%認為非常省力；往後拉時則有87%感覺比較輕鬆，13%感覺非常省力；在上坡情況下，高達95%的使用者表示系統確實有幫助且較省力；而在下坡時，75%的使用者認為系統提供了適當的阻力，能有效防止手推車滑動過快，成功達成設計目標並提供直覺人性化使用體驗。

柒、參考資料及其他

- West Virginia University. (n.d.). E-Boards: Skateboarding. Science Behind the Sport. Retrieved February 19, 2025, from <https://sciencebehindthesport.wvu.edu/skateboarding/e-boards>
- DIY DUDE. (2021, February 19). This is the Easiest Way to Make an ELECTRIC SKATEBOARD - WOW [Video]. YouTube. <https://youtu.be/tQeKqTxOll0>
- Components101. (2025, January 9). Arduino Uno. Components101. <https://components101.com/microcontrollers/arduino-uno>
- 今華電子. (n.d.). BT57960 大功率H橋43A馬達驅動模組. 今華電子. <https://jianhua.com.tw/page/product/show?num=39224&lang=TW>
- Arduino. (n.d.). SoftwareSerial. Arduino Documentation. <https://docs.arduino.cc/learn/built-in-libraries/software-serial/>
- cubie. (2014, November 2). HC-05與HC-06藍牙模組補充說明 (二)：接線電路. 超圖解系列圖書. <https://swf.com.tw/?p=705>
- 劉正吉. (n.d.). 如何安裝吉哥自製積木. 吉哥的分享. <https://sites.google.com/jes.mlc.edu.tw/ljy/linkit7697/如何安裝吉哥自製積木>
- 均一教育平台. (2022, November 15). 靜摩擦力與動摩擦力 [影片]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=zEWOCv24uHc>
- iCShop. (n.d.). 霍爾磁感測器. iCShop. <https://www.icshop.com.tw/products/368030501518>
- iCShop. (n.d.). 壓力感測器 FSR406 力敏電阻 (100g-10kg). iCShop. <https://www.icshop.com.tw/products/368030200057>