



逢甲大學學生報告 ePaper

智慧倉儲

The Smart Warehouse

作者：卓宣妤、王俐婷、吳庭慧、高柏勳、李茂源

系級：電機二丙

學號：D1357865、D1323027、D1355521、D1355582、D1355773

開課老師：何子儀

課程名稱：微處理機系統實習

開課系所：電機工程學系

開課學年：114 學年度 第二學期



中文摘要

本專題旨在針對現代產業對於自動化物流與倉儲整合之迫切需求，開發並實作一套「全自動倉儲搬運車」系統。隨著工業 4.0 的推進，提升物流效率與降低人力成本已然成為關鍵議題，本研究旨在解決傳統倉儲搬運作業中，如何透過微控制器整合感測技術與動力機械，實現倉儲場域內自動化搬運與精準作業之技術，並以此作為物流自動化之驗證模型。

本專題以 8051 微控制器作為核心控制單元，硬體架構不採用現成模組，而是從基礎電路設計著手，自行規劃並實作紅外線感測電路以偵測障礙物，並設計伺服馬達之驅動電路。軟體開發部分，完全採用組合語言編寫底層控制程式，直接處理感測器類比訊號之輸入、轉換與邏輯判斷，並精確控制馬達驅動時序。研究前期，針對電路架構進行深入規劃與元件選用，並於實作階段反覆進行硬體調試與軟體邏輯除錯，確保車體運動與貨物夾取動作之協調性。待各單元功能穩定後，進一步完成電路佈線、洗板、焊接與全系統整合測試，以確保電路與機械結構之穩定度，並透過系統性驗證搬運車能自動化執行作業。

研究結果成功開發出一台具備自動化功能之智慧倉儲搬運車，經實測驗證，該系統能有效利用紅外線感測器進行環境感知與避障，並透過伺服馬達實現精準停靠與貨物夾取動作，達成模擬自動化倉儲之搬運需求。本專題之研究成果展現了 8051 微控制器於自動化倉儲應用之潛力，其控制邏輯不僅具備實作價值，未來亦可進一步延伸應用於更複雜的物流路徑規劃與倉儲管理系統，為智慧物流場域提供具體的技術實踐參考。

關鍵字： 智慧倉儲、8051 微控制器、紅外線感測電路、自動搬運車

Abstract

This project aims to develop and implement a smart warehouse based on the automated guided vehicle system to address the urgent demand for integrated logistics and warehouse automation in modern industry. With the advancement of Industry 4.0, enhancing logistics efficiency and reducing labor costs have become critical issues. This study focuses on solving the technical challenges of integrating microcontrollers, sensor technology, and mechanical systems to achieve automated transport and precise operations within a warehouse environment, further serving as a validation model for logistics automation.

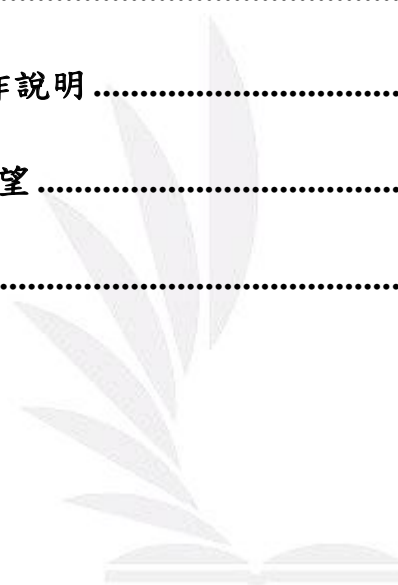
The system utilizes an 8051 microcontroller as the central control unit. Instead of using off-the-shelf modules, the hardware architecture is built from the ground up: we independently designed and implemented the infrared sensing circuits for obstacle detection and the drive circuits for servomotors. Regarding software development, the control program was written entirely in assembly language, allowing for direct handling of analog sensor signal inputs, data conversion, logic processing, and precise timing control of motor operations. During the initial phase, the team conducted in-depth planning of the circuit architecture and component selection. Throughout the implementation phase, rigorous debugging of both hardware and software logic was performed to ensure coordination between vehicle movement and object gripping. Once individual unit functionality was stabilized, the project proceeded to circuit layout, PCB etching, soldering, and comprehensive system integration testing to guarantee the stability of both the electronic and mechanical structures.

The research successfully developed an automated warehouse transport vehicle. Experimental results verify that the system can effectively utilize custom infrared sensing circuits for environmental perception and obstacle avoidance, while using servomotors to achieve precise docking and object retrieval, thereby simulating the functional requirements of automated warehousing. This project demonstrates the potential of the 8051 microcontroller in automated warehouse applications. The developed control logic possesses significant practical value, and future iterations can be extended to more complex logistics path planning and warehouse management systems, providing a concrete technical reference for smart logistics environments.

Keyword : Smart Warehouse, 8051 Microcontroller, Infrared Sensing Circuit, Automated Guided Vehicle (AGV)

目 次

中文摘要	1
Abstract	2
第一章 系統架構	4
1. 硬體架構	4
2. 軟體架構	8
第二章系統功能	16
第三章實驗結果與操作說明	17
第四章 結論與未來展望	31
參考文獻	33



第一章 系統架構

本專題設計與製作一個以微控制器 AT89S52 進行一對多控制，包含伺服馬達 MG996R、伺服馬達 SG90、紅外線避障模組等多項裝置，本章節將分硬體架構與軟體架構兩方面進行詳細的介紹。

1.硬體架構

本專題設計之硬體電路主要包含微控制器 AT89S52、伺服馬達 MG996R、伺服馬達 SG90 及紅外線避障模組[1-4]。

主要硬體功能包括：

1. 微控制器 AT89S52：作為系統的中央控制核心，讀取紅外線感測器的電位狀態以進行邏輯判斷。內部透過軟體迴圈的延時功能（DELAY_01MS），在 I/O 腳位上模擬輸出具備特定高低電位寬度的脈衝訊號，用以控制車輪馬達運作與多路伺服馬達的角度時序。
2. 伺服馬達 MG996R：屬於高扭力的金屬齒輪伺服馬達，負責克服結構重力與移動慣性，如圖 1.1 所示。
3. 伺服馬達 SG90：屬於微型輕量化的伺服馬達，在本專題中專門負責驅動機械手臂最末端的夾爪張開與閉合。其輕量化特性能有效減輕手臂末端的懸臂負載，如圖 1.2 所示。
4. 紅外線避障模組：負責主動偵測前進邊界、後退起點以及前方是否有目標物體。當物體靠近時，會立即輸出低電位訊號（0）至微控制器的 I/O 腳位，以觸發小車煞車、倒車及手臂抓取等自動化控制決策，如圖 1.4 所示。

1.1 伺服馬達

型號：MG996R

類型：360 度舵機

工作電壓：4.8V~7V

運行速度：0.17 秒/60 度(4.8V)、0.14 秒/60 度(6.0V)

迴旋角度：360 度連續無限制旋轉



圖 1.1 伺服馬達 MG996R

1.2 伺服馬達

型號：SG90

類型：準型角度控制舵機

工作電壓：4.8V~6V

運行速度：0.12 秒/ 60 度(4.8V)

迴旋角度：約 180 度(左右各約 100 度)



圖 1.2 伺服馬達 SG90

1.3 紅外線避障模組

圖 1.4 為依照圖 1.3 電路所製作之紅外線避障模組實體，此模組主要由紅外線發射 LED、紅外線接收器、LM393 電壓比較器、可變電阻及指示 LED 所組成。紅外線避障模組的工作原理是利用紅外線反射來偵測前方是否有障礙物。當紅外線發射 LED 持續發射紅外線時，若前方沒有障礙物，接收器接收到的反射光較少，因此輸出維持原本狀態；當前方出現障礙物時，紅外線照射至物體表面後反射回接

收器，使接收器輸出的電壓改變，再由 LM393 比較器進行電壓比較，最後透過 DO (Digital Output) 輸出高電位或低電位訊號，提供微控制器判斷是否有障礙物，以控制自走車停止、轉向或執行其他避障動作。

此外，模組上的可變電阻是用來調整 LM393 比較器的參考電壓，也就是調整紅外線感測的靈敏度。旋轉可變電阻時，可改變感測器對反射光的判斷門檻，使模組能依照不同的使用環境調整偵測距離。

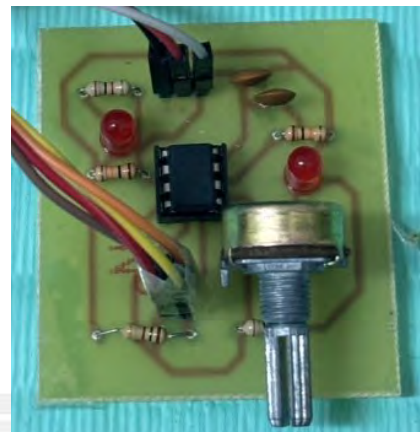
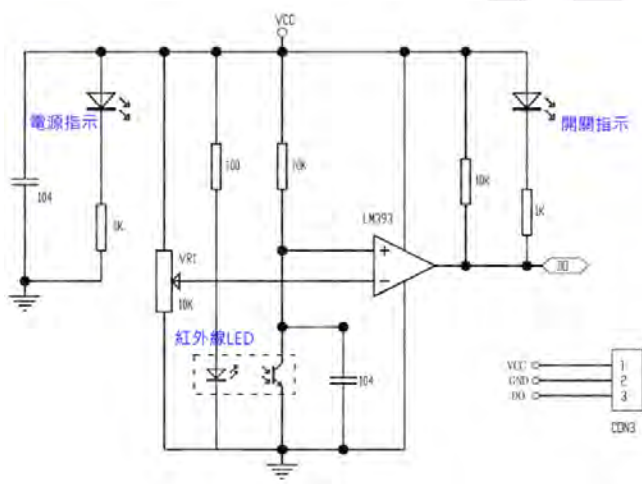


圖 1.4 紅外線避障模組

圖 1.3 紅外線避障電路[2]

微控制器 AT89S52 是屬於 MCS-51 單晶片的一種，且為 8bit 的 CPU，它有 40 個接腳，如圖 1.5 所示[1][4]，其接腳的功用則如表 1.1 所列。由英特爾公司於 1981 年製造到現在，有更多的 IC 設計商，如 ATMEL、Philips、華邦等公司，相繼開發了功能更多、更強大的兼容產品。

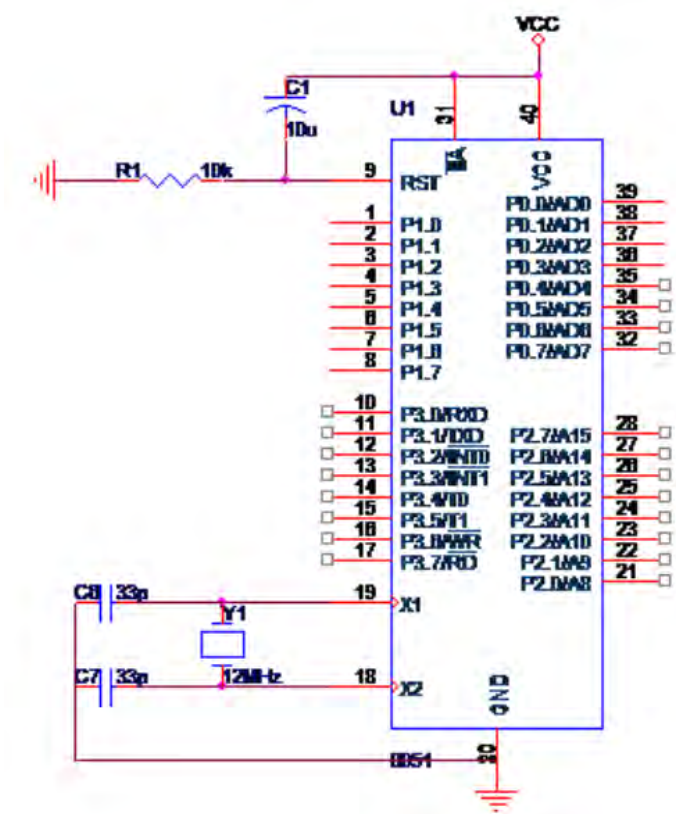


圖 1.5 微控制器 AT89S52 電路圖

表 1.1 微控制器 AT89S52 接腳功能表

腳位	接腳名稱	功能簡介
40	VCC	接 +5V 電源
18、19	XTAL1 、XTAL2	兩腳之間接一個 12MHz 之石英晶振
20	GND	接地
9	RESET	重置輸入腳，搭配電阻 1k、電容 10u 構成上電重置電路
31	EA	接高電位，使用內部程式記憶體
1	P1.0	接 SG90-1
2	P1.1	接 SG90-2
5	P1.4	接 SG90-3
21	P2.0	接 MG996R-2
22	P2.1	接 MG996R-1
12	P3.2	接物體紅外線感測器紅外線感測
23	P2.2	接前紅外線感測器
24	P2.3	接後紅外線感測器

2.軟體架構

本系統以微控制器 AT89S52 為控制核心，啟動後自走車的馬達向前行駛，並持續讀取紅外線感測器訊號。當感測器偵測到前方物體時，控制馬達停止，再控制夾爪伺服馬達進行夾取，完成物體搬運功能。

2.1 主程式

系統初始化與安全校準

系統上電後，必須優先執行初始化以確保硬體穩定。首先，必須將所有馬達控制腳位（SG_A、SG_B、SG_C、M_L、M_R）執行 CLR 清零，以切斷輸出，避免晶片腳位在開機瞬間處於浮接狀態導致機構誤動。接著，將紅外線感測器的電位拉高以準備讀取，並呼叫 CAR_START_2S 程序，執行 100 次循環輸出靜態維持脈衝，強制系統原地靜止 2 秒鐘，以消除開機瞬間的機構晃動。如圖 1.6 所示。

車體導引與輪詢控制

在車體進行移動時，必須嚴格按照文件定義的脈衝時間進行驅動，以確保運動路徑正確。前進時，左輪(M_L)的高電位需維持 1.9ms，右輪(M_R)的高電位需維持 1.0ms。若需執行後退動作，參數則調整為左輪(M_L)維持 1.1ms，右輪(M_R)維持 2.0ms。在 FORWARD 或 REVERSE_LOOP 迴圈中，需利用脈衝間隙即時輪詢紅外線感測器

的電位狀態。如圖 1.7 及圖 1.8 所示

煞車與定位姿態調整

當感測器偵測到目標物觸發（電位變為 0）時，切勿直接切斷馬達電源，應立即跳轉至煞車副程式以防止慣性衝擊。對於前進移動，需呼叫圖 1.9 的煞車程序；對於後退移動，則呼叫圖 1.10 的煞車程序。煞車完成後，若系統進入目標物偵測狀態，車輪與機械臂需輸出靜態脈衝以維持鎖定，並進入 WAIT_OBJ_FRONT 迴圈等待感測器 SEN_A 的訊號。

物件夾取與放置邏輯

物件的夾取與放置應採用 MOVE 與 HOLD 的交替循環結構，以確保機械結構的穩定性。在夾取物品時，透過 MOVE 迴圈設定夾子 (SG_A) 為 2.4ms (176 度)，待動作完成後執行 HOLD 迴圈(R2=100)持壓穩定。而在釋放物品時，需透過 MOVE 迴圈將夾子(SG_A)調整為 1.5ms (90 度)張開夾爪，並配合底盤(SG_C)與大臂(SG_B)的參數調整，完成卸料前的姿態對準。

終點鎖定與節能持壓

完成物件釋放後，程式應直接跳入 FINAL_LOCK 無限死迴圈。此時車輪雖保持靜止，但微控制器仍需持續輸出靜態持壓脈衝至機械臂關節，防止手臂因失去控制訊號而受到重力影響發生下垂。此步驟

確保了機械臂在任務結束後的姿態能完整鎖定。

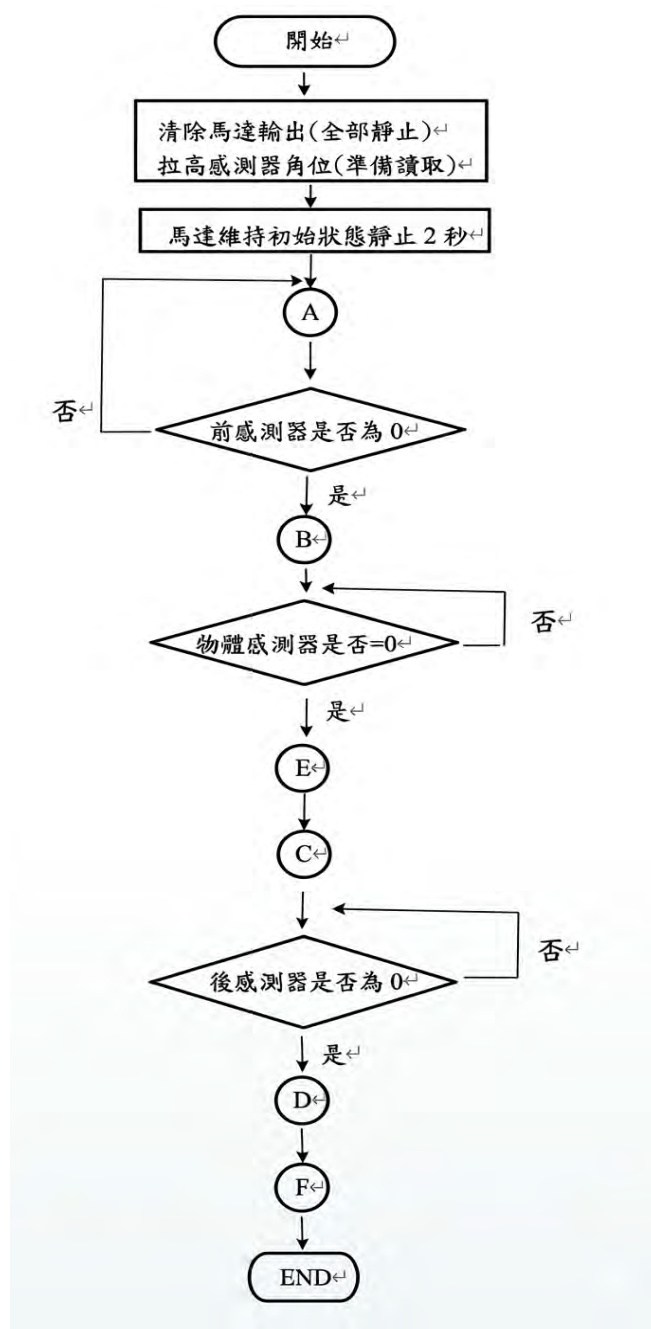


圖 1.6 主程式

2.2 車子往前副程式

左輪 (M_L)：高電位維持 1.9ms，控制左輪轉速或方向。

右輪 (M_R)：高電位維持 1.0ms，控制右輪轉速或方向。

夾子 (SG_A)：高電位維持 2.4ms 驅動馬達維持在 176 度。

大臂 (SG_B)：高電位維持 0.5ms 驅動馬達維持在 0 度。

底盤 (SG_C)：高電位維持 2.5ms 驅動馬達維持在 180 度。

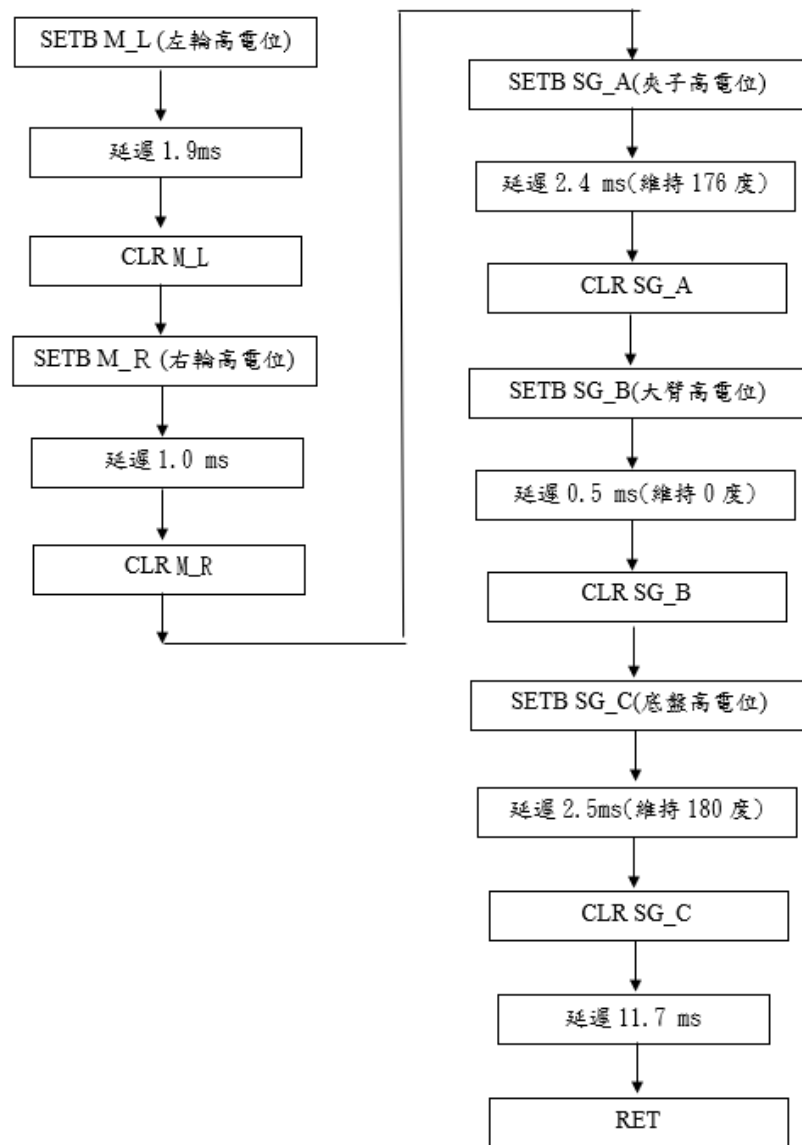


圖 1.7 車子往前副程式

2.3 車子往後移動副程式

左輪 (M_L)：高電位維持 1.1ms，控制左輪轉速或方向。

右輪 (M_R)：高電位維持 2.0ms，控制右輪轉速或方向。

夾子 (SG_A)：高電位維持 1.5ms 驅動馬達維持在 90 度。

大臂 (SG_B)：高電位維持 1.5ms 驅動馬達維持在 90 度。

底盤 (SG_C)：高電位維持 0.5ms 驅動馬達維持在 0 度。

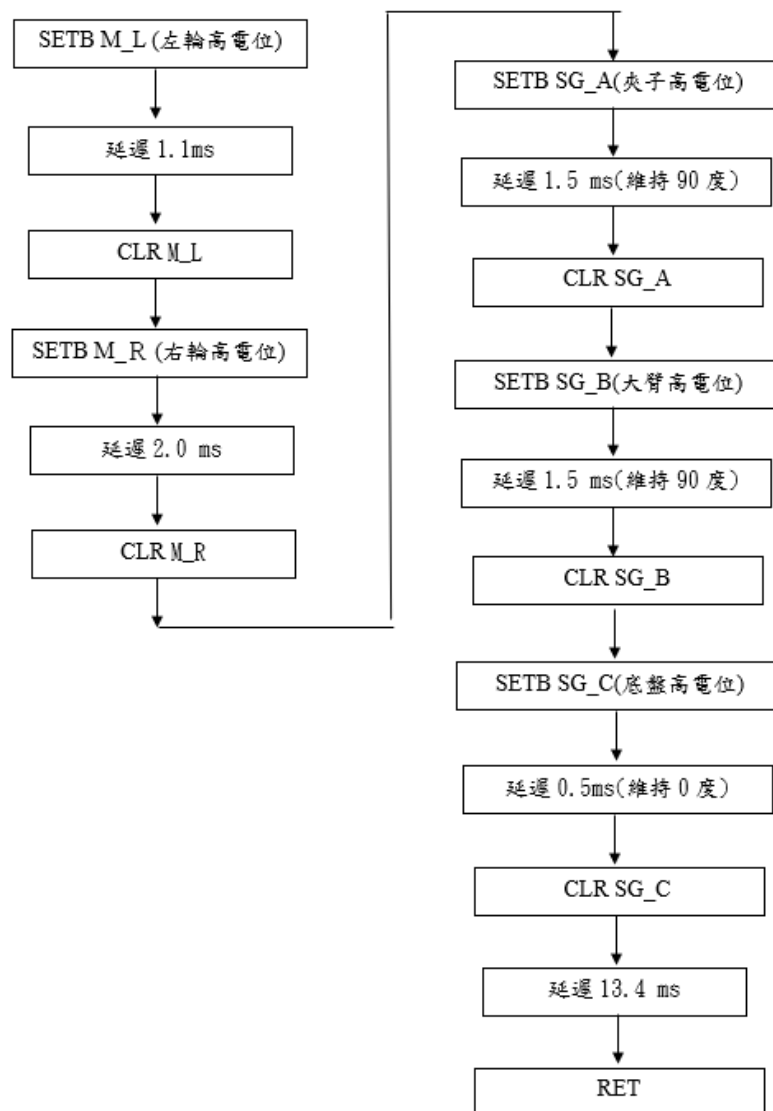


圖 1.8 車子往後副程式

2.4 煞車副程式

(1) 往前移動時煞車副程式

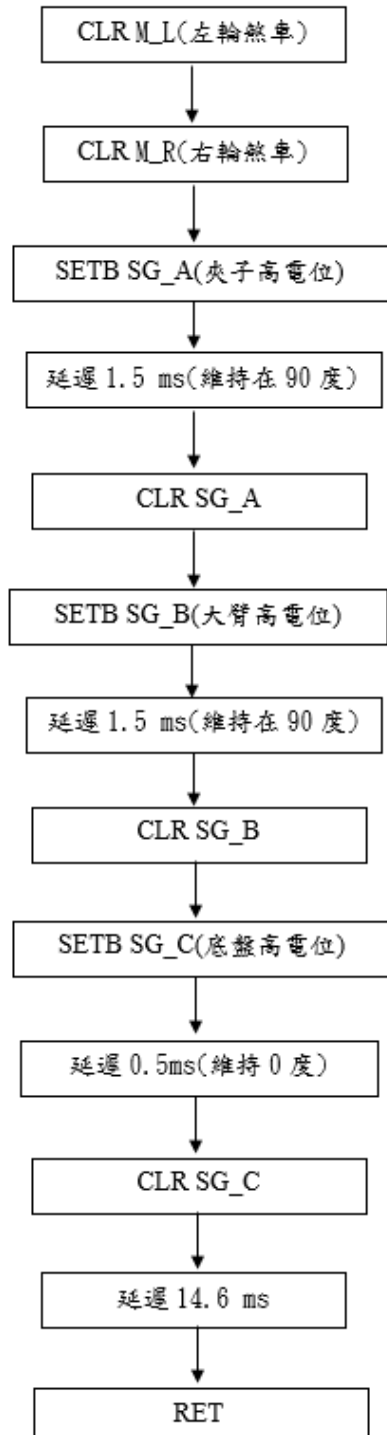


圖 1.9 往前移動時煞車副程

(2) 往後移動時煞車副程式

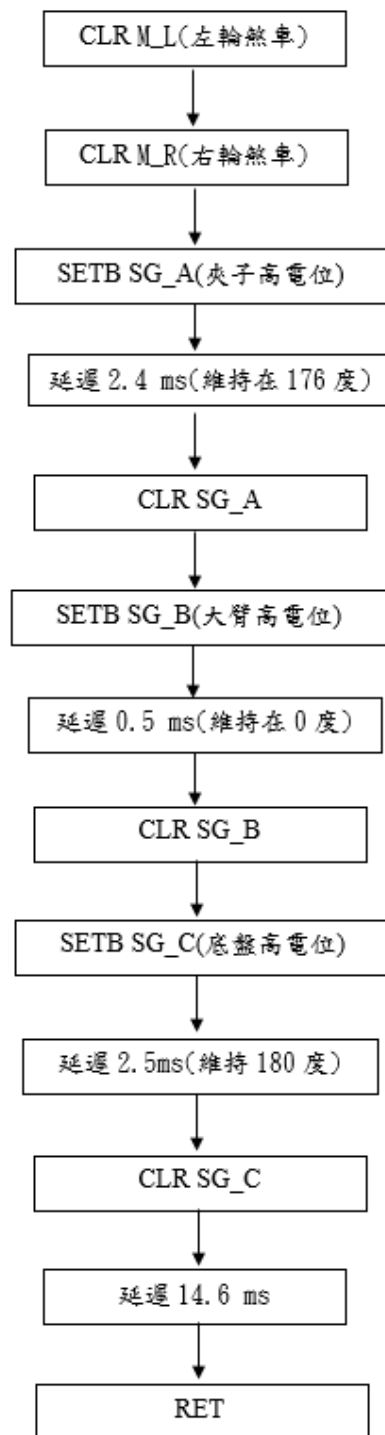


圖 1.10 往後移動時煞車副程式

2.5 手臂夾取物品副程式

透過「移動 (MOVE) 與停頓 (HOLD)」交替，來控制機械

手臂的三個關節 (夾子、大臂、底盤)：

1. 夾子合上、大臂維持在低位、底盤朝前。動作後停頓定格。
2. 夾子合上、大臂抬起、底盤朝前。動作後停頓定格。
3. 夾子合上、大臂抬起、底盤朝後。動作後停頓定格。

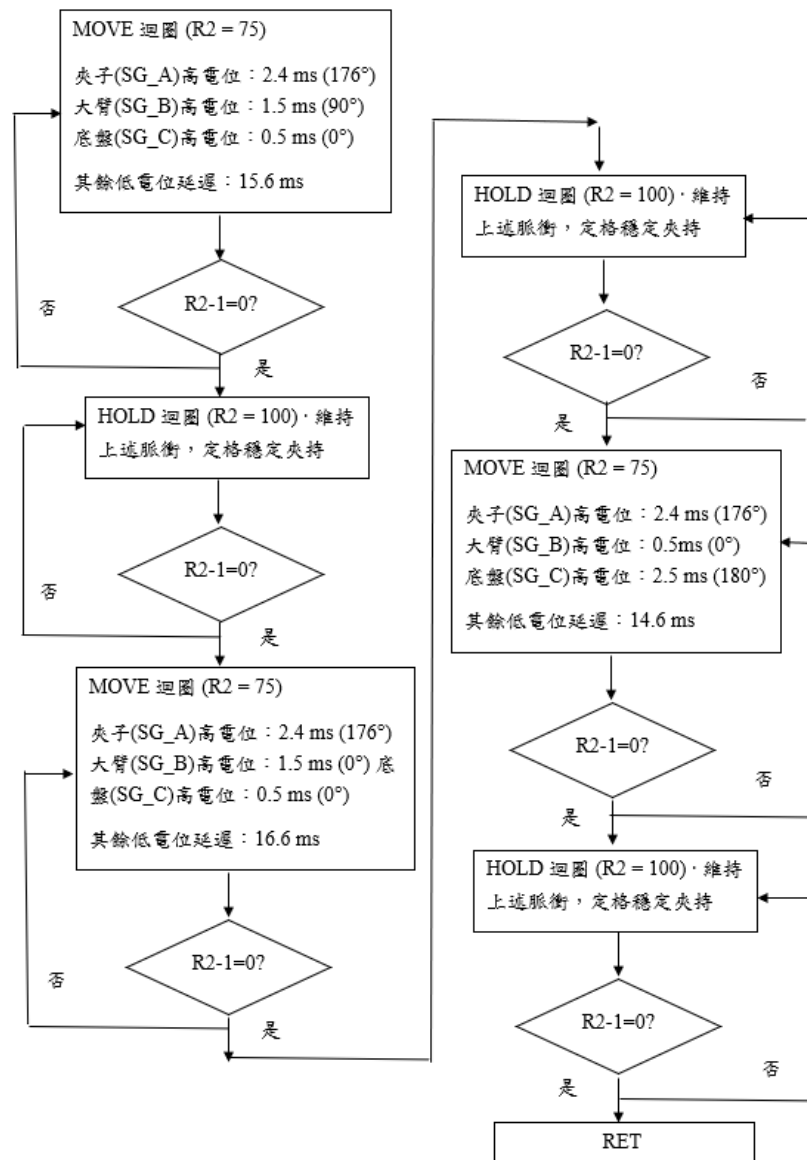


圖 1.11 手臂夾取物品副程式

2.6 手臂放置物品副程式

透過「移動 (MOVE) 與停頓 (HOLD)」交替，來控制機械

手臂的三個關節 (夾子、大臂、底盤)：

1. 夾子合上、大臂抬起、底盤轉向 75 度。動作後停頓定格。
2. 夾子打開、大臂抬起、底盤轉向 75 度。動作後停頓定格。

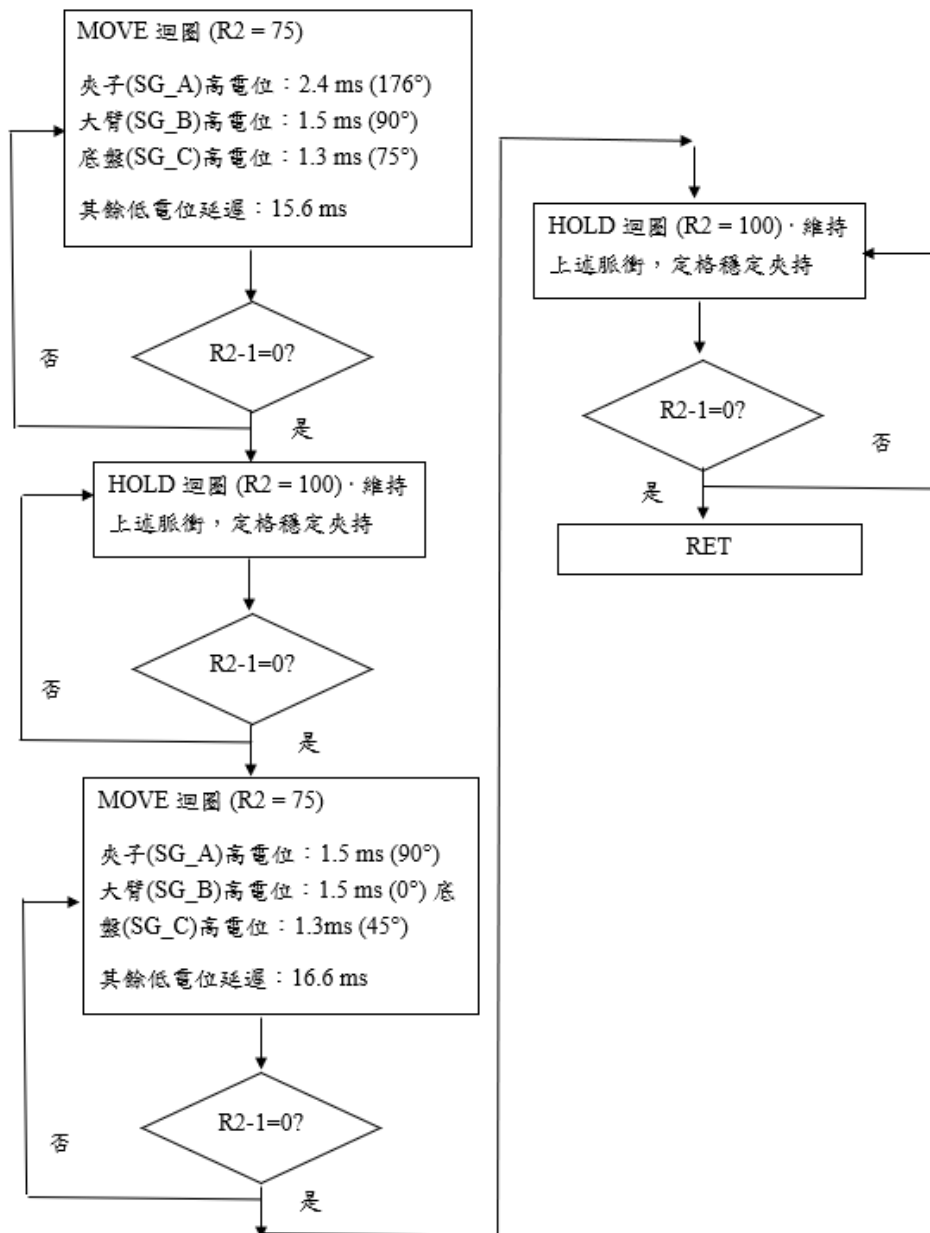


圖 1.12 手臂放置物品副程式

第二章 系統功能

1. **微控制器 AT89S52**：負責全系統的邏輯判斷與控制訊號輸出。透過編寫 8051 架構程式，產生符合 20ms 標準週期的多路 PWM 脈衝波形。非線性速差軟體補償：內建軟體參數補償，針對左右車輪動力馬達的物理公差與地面摩擦力不均進行微調。

2. **紅外線避障感測模組**：配置於車體前後方，負責感測行進路線上的貨架或目標物件。當感測器偵測到物體時，即時將低電位訊號回傳至微控制器 AT89S52 的指定 I/O 埠。控制系統接收到感測訊號後，隨即執行煞車副程式並清除動力脈衝，使車體在障礙物前精準煞停，並同步觸發機械手臂啟動自動夾取程序

3. **SG90 伺服馬達**：負責控制機械手臂小臂與夾爪的開合抓取動作。全面採用 180 度規格伺服馬達，依據占空比波形精確對應特定轉動角度，操作夾取與放物的動作。

4. **MG996R 伺服馬達全載重行駛動力**：具備高扭力與高穩定性特性，作為自走車底盤的動力馬達。負責克服木質底盤與整體重力負載，驅動車體執行前進、倒車與駛離動作。配合輪面纏繞橡皮筋，提供足夠的地面摩擦力與精準的動態制動性能。

第三章 實驗結果與操作說明

1.操作說明

1.系統開啟與初始化：

開啟主電源開關後，電源端的電容開始進行穩壓充放電，8051 微控制器隨即啟動並執行 I/O 埠初始化，引導機械手臂與車體馬達進入預備作動姿態。

2.自動行進模式執行：

8051 微控制器輸出 PWM 控制訊號，驅動車載動力馬達使左輪與右輪精準運轉，引導載物車體穩定直線前進。

3.紅外線感測與定位煞停：

當車體前進至貨架或目標物件前，前方紅外線避障感測器即時感測到環境障礙物，並將低電位訊號回傳至 8051 晶片，晶片隨即關閉動力訊號，使車體在目標前煞停。

4.機械手臂夾取：

車體定位完成後，伺服馬達依據時序控制程式，驅動機械手臂運作、夾爪能夠牢固且穩定地夾取物品。

5.運送物品道指定地點：

微控制器接收到夾取完成的時序訊號後，自動變更 PWM 占空比參數以控制車載馬達反轉，引導載物車體執行平穩的倒車。

6.後方感測與定位：

到達後方指定貨架或障礙物前，控制系統將再次引導車體自動煞停。

7.物件分類卸貨與待機復位：

車體二次煞停後，伺服馬達轉回指定之旋轉與卸貨角度，使夾爪平順張開放下物品，隨後全系統各馬達機構自動復歸至初始預備姿態，回到待機模式。以上如圖 3.1 所示。

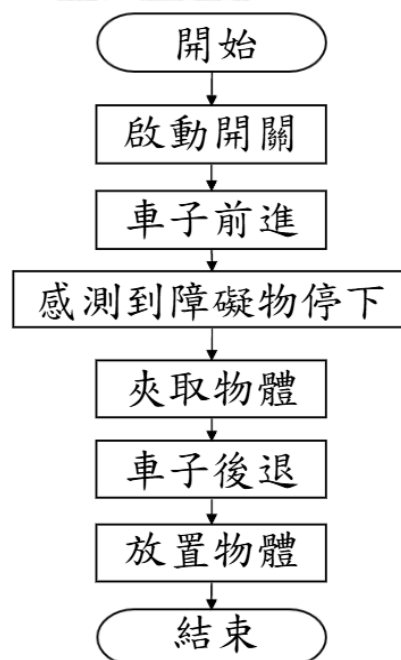


圖 3.1 操作流程圖

2.實驗結果

1. 多路馬達之電源干擾與防護(機械手臂)

本專題在實驗初期測試時發現，當單獨使用微控制器之 5V 電源驅動單一具 SG90 伺服馬達時，系統尚可正常運作。然而，當同時啟動兩具（含）以上馬達時，馬達在啟動瞬間會產生極的瞬態突波電流，導致供電線路的電壓因瞬間抽空而驟降。此電壓跌落現象會觸發 8051 微控制器的低電壓復位機制，導致晶片卡死或陷入不斷重啟的循環。為解決此硬體級電源干擾問題，採取了以下兩項優化對策：

(1)並聯電容：於電源輸入兩端並聯電容。利用電容「充放電」之特性充當瞬間電流的緩衝池，在馬達啟動瞬間提供即時電流支援，有效抑制電壓跌落。

(2)雙電源隔離供電：捨棄共用電源，改採用獨立的雙電池進行分流供電。其中一路電池專責供給 8051 微控制器系統，另一路電池則單獨供應馬達硬體。此設計徹底隔離了馬達產生的雜訊與突波，確保了多路馬達同時運作時，微控制器系統的絕對穩定性。

2. 伺服馬達旋轉規格之對比與選型

實驗分別測試了 360 度與 180 度規格的馬達。實測發現，360 度馬達僅能控制轉速與方向，因內部塑膠齒輪存在機械公差與傳動空隙，導致馬達無法精準轉回原點，每次停止時皆會產生隨機位移，進

而形成累積誤差。相對地，180 度伺服馬達能依據 20ms 的週期脈衝，透過改變高電位占空比鎖定角度。

表 3.1 伺服馬達旋轉規格之對比與選型

項目	360 度伺服馬達	180 度伺服馬達
控制機制	控制轉速與轉向（連續旋轉）	控制角度（0° - 180°）
定位精度	無（會累積誤差）	高（對應脈衝占空比）
原點復歸	無法精準回正，每次角度皆有偏移	可精準復歸至指定原點

3. 自走車動力馬達之評估與選型

在自走車底盤動力測試中，實驗曾評估 TT 馬達與直流減速齒輪馬達。此類馬達工作電壓需求較高，且必須外接 H 橋驅動模組才能實作正反轉控制。經實測，該配置在 Arduino 平台上可正常驅動，但在 8051 平台上因 I/O 埠驅動電流能力不足及定時器資源限制，無法順利運作。為了簡化驅動架構並維持控制一致性，最終放棄直流馬達，改用扭力更大、可直接由 8051 輸出 PWM 控制的 MG996R 伺服馬達作為車輪動力來源。

4. 夾爪機構角度測試與優化

本專題之夾子機構由雙齒輪帶動，對角度開合精度極為敏感，且同型號馬達間仍存在微小物理公差。經實測，若行程設定為 0°

至 90° ，會因行程過頭導致齒輪脫軌、馬達空轉，造成物件夾持不緊；若設定為 120° 至 180° ，則因開合受限，導致夾爪打開角度過小、不易夾取物件；若擴大設定為 90° 至 180° ，則在閉合極限時極易發生機械卡死，引發馬達過載發熱。為同時避免「脫軌空轉」、「夾取空間受限」與「結構過載卡死」等硬體問題，經反覆測試校正，最終將行程之最佳控制範圍限縮在 90° 至 176° 之間。

表 3.2 夾爪機構角度測試與優化

伺服馬達轉動角度範圍 (度)	夾子運作狀態與實驗觀察	實驗結論 / 優化對策
$0^\circ - 90^\circ$	齒輪容易脫軌，機械結構不穩定	不建議採用，需排除此區間以防脫軌
$90^\circ - 180^\circ$	轉動過緊，機械負載過大並發出「嘎嘎」異音	不建議採用，避免馬達與結構損耗。
$120^\circ - 180^\circ$	夾子打開角度過小，導致物件空間受限、不易夾取	功能不實用，夾取效能不佳
$90^\circ - 176^\circ$	運作順暢，夾取角度與力道適中，機構無異音	結構最穩定，作為最終採用品項



圖 3.2 夾爪閉合圖

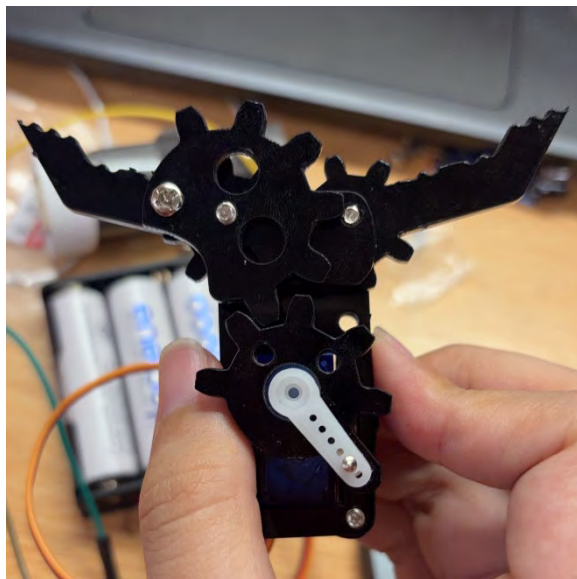


圖 3.3 夾爪張開圖



圖 3.4 夾爪張開圖

5. 車體結構之迭代設計與材料改良

本專題在實驗初期，車體結構曾嘗試使用冰棒棍與空盒子進行簡易組裝與測試。然而實測發現，由於機械手臂整體配重較重，當馬達運作或自走車起步瞬間，輕量化的骨架極易因結構剛性不足而產生嚴重形變，甚至頻繁解體。

為提升硬體強度與負載能力，改採用雷射切割技術重新設計並製作一體成型的專屬車體結構。有效承載沉重的機械手臂，並提供了馬達固定孔位，並設計成「雙層結構」來擺放內部物件，使系統在動態運作下依然能保持結構的穩定性。

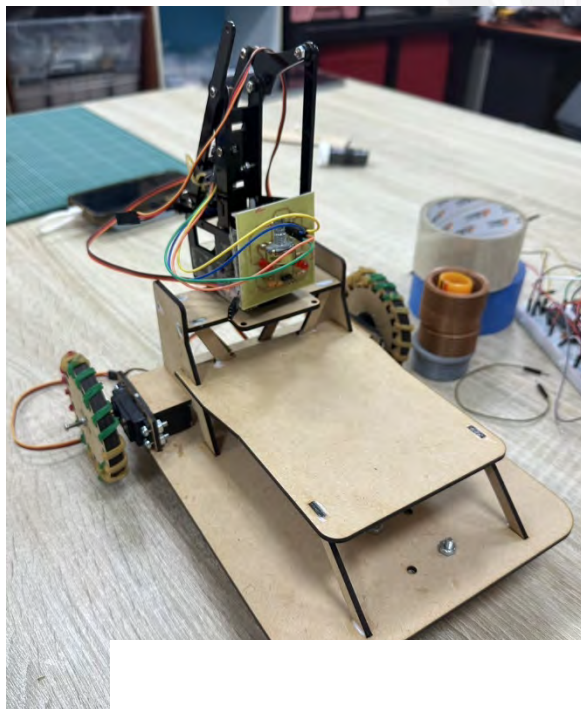


圖 3.5 車體結構實體圖

6. 系統電源架構配置

本系統整合 8051 微控制器、紅外線感測器、機械手臂（3 具 SG90 伺服馬達）與移動底盤（2 具 MG996R 伺服馬達）。鑑於實驗初期多路馬達同時啟動時，其瞬態突波電流易導致電壓驟降，引發 8051 核心晶片因供電不足而卡死或重啟。針對整體電源架構進行硬體分流與濾波優化，具體方案如下：

(1) 機械手臂電源優化：負責關節驅動的 3 具 SG90 馬達統一由 6V 電源供電，並於線路兩端並聯 100 μ F 電解電容作為電流緩衝池，用以有效抑制瞬態壓降。

(2) 移動底盤電源隔離：車子底盤之 2 具 MG996R 驅動馬達改採獨立 6.8V 電池系統供電，並並聯大容量 470 μ F 電解電容，實現動力與控制電源之「物理隔離」，防止高頻雜訊回傳至主控端。

(3) 主控與感測系統濾波：8051 晶片與紅外線感測器維持 5V 穩定供電。感測器採用獨立電路板（PCB）獨立布線，並就近配置高頻去耦陶瓷電容濾除電源雜訊。

表 3.3 系統電源架構配置

系統	驅動元件/感測器	供電電壓	所採用的電容規格（緩衝與濾波）	電路板配置與設計說明
機械手臂	SG90 伺服馬達*3	6V	100 μ F 電解電容	多路馬達並聯，電容用作啟動瞬態電流緩衝池。
車子	MG996R 伺服馬達*2	6.8V	470 μ F 電解電容	獨立動力電源系統，防止大電流突波干擾主控晶片。
核心控制	8051 微控制器	5V	系統內建去耦電容	主控制電路板，與馬達動力電源物理隔離。
感測系統	紅外線感測器	5V	104 陶瓷電容	獨立繪製之專用電路板，就近濾除高頻電源雜訊。

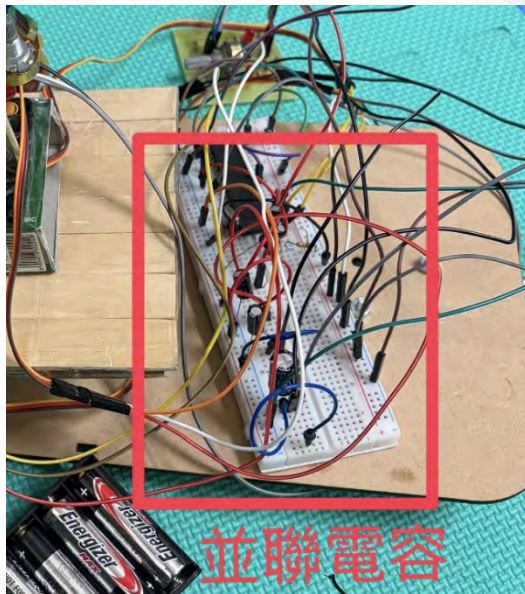


圖 3.6 電源兩端並聯電容測試實體圖

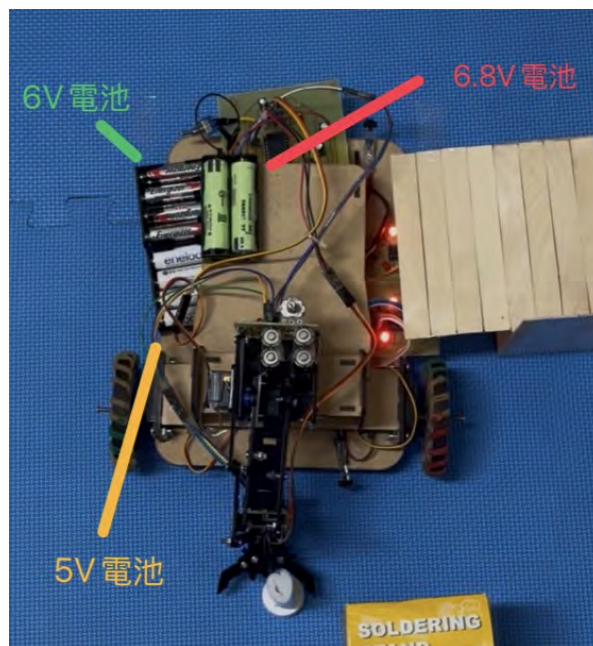
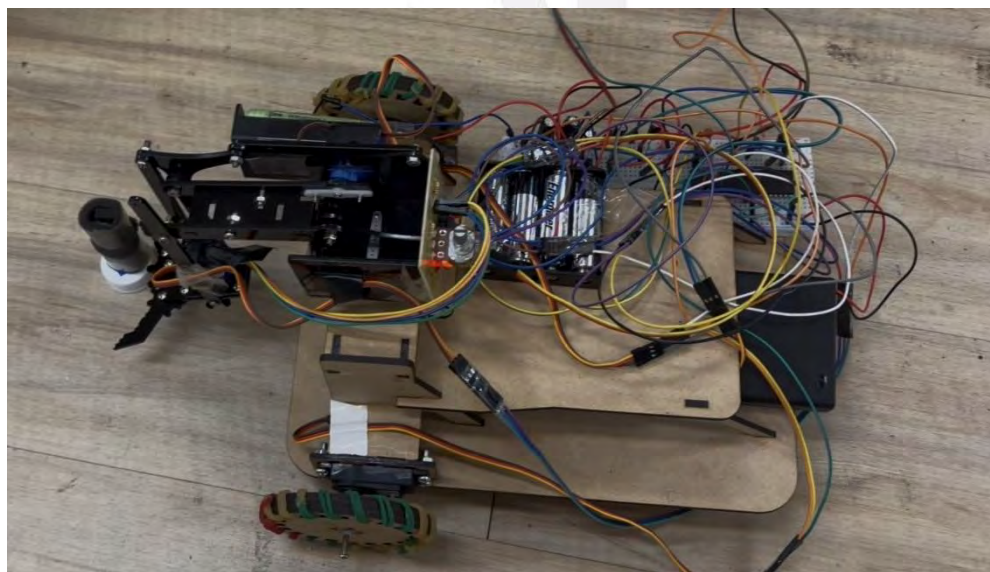


圖 3.7 系統多路獨立電池供電配置圖



版電路測試與線路分布圖

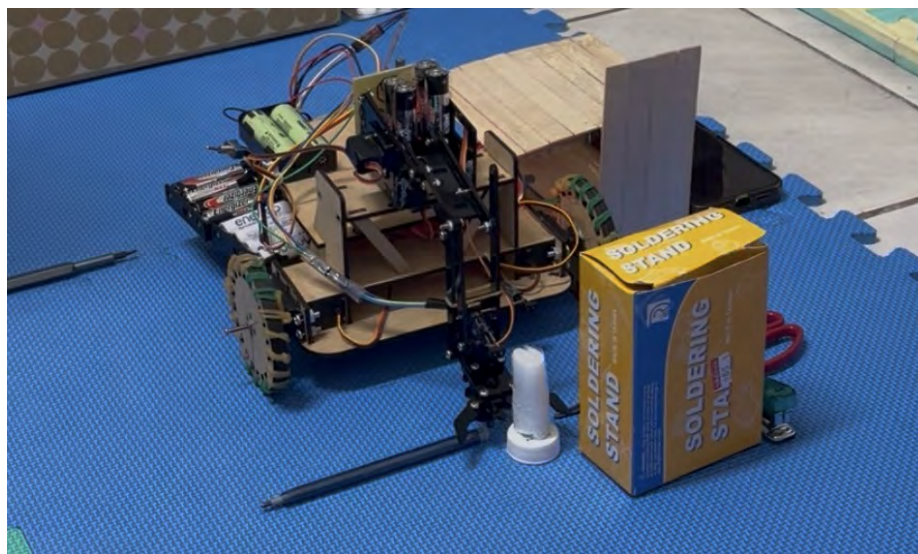


圖 3.9 系統優化後之電路板整合與雙層車體理線實體圖



圖 3.10 系統優化後之電路板整合與雙層車體理線實體圖

3.問題討論

1. 雙輪伺服馬達之物理公差與軟體補償

自走車底盤之驅動輪是直接採用兩具 MG996R 伺服馬達，雖然伺服馬達本身具備內部控制，但兩顆馬達在製造上仍存在內部電子元件的物理公差、齒輪箱摩擦力差異，導致在給予完全相同的控制訊號（PWM 占空比）時，雙輪的實際轉速依舊無法完全同步，進而造成車輛走偏。為解決此硬體限制，本團隊採取軟體補償方式，透過反覆測試並微調左右兩路 PWM 的脈衝寬度，以實測數據拉齊雙輪實際轉速，達成動態平衡。

2. 電源隔離與共地設計

電源隔離與共地設計 8051 微控制器工作電壓為 5V，而車用馬達與多路 SG90 伺服馬達在啟動瞬間會產生極大的突波電流，若共用電源，會導致 8051 供電壓驟降而頻繁重啟。因此，本專題採用電源隔離設計，將控制邏輯（8051）、動力驅動（車載馬達）與伺服馬達（SG90）的供電系統獨立分流，並共地連結，既保護了 MCU，隔絕馬達對控制訊號干擾。

3. 電池放電曲線對伺服馬達扭力之影響

由於 SG90 內部控制電路限制，無法透過外部軟體直接動態改

變其內部直流馬達的轉速，只能透過維持穩定電壓來確保扭力，使用的是一般電池，其放電曲線會隨時間逐漸下降，導致實驗後期手臂抓取力道不足或動作遲緩。

4. 車輪打滑與地面材質干擾之硬體優化

(1) 輪胎表面改質(綁橡皮筋): 由於伺服馬達直接帶動車輪表面過於光滑，在移動時極易產生打滑空轉。因此在車輪外圈手動纏繞橡皮筋，藉此增加輪胎與地面的靜摩擦係數，實測證實能有效抑制車輪空轉打滑現象，使自走車在直線行進與轉彎控制上的穩定度顯著提升。

(2) 環境變因控制(巧拼移動測試): 由於不同的地板材質會直接改變摩擦係數並干擾測試結果，本實驗後期統一將自走車限定於防滑巧拼墊上進行移動測試。透過固定測試介面，確保每次實驗皆在相同的摩擦力基準下進行，成功排除環境變因對雙輪轉速平衡的干擾。在軟體層面上，亦配合穩定的摩擦力手動補償左右 PWM 的脈衝寬度比例，達成穩定的動態平衡。

5. 環境與物理局限

目前自走車只模擬中僅實作了定時長、定參數的直線移動。然而，在實際倉儲環境中，車輛必須具備轉彎、進出貨架的能力。目

前限制在於缺乏反饋機制，無法精準計算旋轉角度。實測中也發現，雖然在充飽電時調整好了直線參數，但只要電池電量下降、或是地板材質稍微改變，車子就會再度走偏。未來必須加入輪軸編碼器、紅外線循跡或超音波測距形成閉迴路回授系統，才能即時修正偏向。



第四章 結論與未來展望

未來展望：

1. 導航與物流路徑優化

從循跡走向自主導航：目前自走車多靠基礎感測器或固定路徑移動。未來展望可讓搬運車能自動偵測倉儲環境、即時動態避障，並規劃出最佳最短的取貨路徑。

多車協同調度系統：引入無線通訊，讓多台智慧搬運車能將位置資訊回傳至中央控制台，實現多機協同作業，避免在倉庫走道「塞車」或碰撞。

2. 視覺辨識與精準抓取

導入 AI 物件辨識：在機械手臂上結合鏡頭與輕量化物件辨識模型（如 YOLO），讓手臂能主動辨識貨架上不同物品的條碼、形狀、顏色或尺寸，實現自動分類與點收。

智慧力覺感測：於夾爪加入壓力感測器。在智慧倉儲中，貨物材質各異，透過反饋控制能自動調節最適合的夾取力道，避免捏碎貨物或因太鬆掉落。

3. 系統整合與數位雙生

倉儲管理系統對接：將單機的硬體控制升級為系統聯網，與後台的倉儲管理系統即時連線。當機械手臂成功抓取並搬運一件

貨物，後台庫存數據自動扣除，達成完全自動化。

結論：

本專題之「智慧倉儲」以 8051 為控制核心，透過製作自走車、機械手臂以及紅外線感測器，成功模擬出全自動化夾取與卸貨的載物車系統，用以解決傳統物流的營運痛點。

在硬體與機構設計方面，本專題採取雙軌分開製作。針對手臂機構與夾爪控制，首先規劃手臂控制電路並進行電路更新，完成多馬達測試後，依序實現手臂結構的組裝與參數調整，最後結合紅外線感測器完成避障功能測試。針對車子底盤與動力系統，則先進行動力端與控制端的供電路測試，並完成紅外線避障模組等感測器焊接；接著透過 AutoCAD 進行車體外觀與輪子的結構設計，隨後完成輪軸組裝並於輪面纏繞橡皮筋以增加地面摩擦力，最後利用木板作為底盤基礎完成車體拼裝。在車子與爪子各自完工後，團隊進行結構結合與全系統的功能優化測試，順利完成硬體與機構方面的設計、測試與實作。

在軟體設計的部分，主要是利用 Keil 軟體撰寫 8051 微控制器程式，精準編寫多路 PWM 脈衝訊號，並配合定時器精確控制各個馬達的旋轉角度與車輪轉速，讓倉儲系統的車爪協同作業更具效率。以上為本專題硬體與軟體設計的總結。

參考文獻

- [1] 蔡朝洋. 單晶片微電腦 8051/8951 原理與應用. 第 8 版, 全華圖書, 2021.
- [2] “DC5V 紅外線避障傳感模組.” 廣華電子,
<https://shop.cpu.com.tw/product/56532/info/>.
- [3] “MeArm 機械手臂-組裝篇//MeArm Robotic Arm assemble.”
YouTube, uploaded by 黑白 Do 工作寮, 22 Dec. 2022,
https://youtu.be/_LGHLO08EO4.
- [4] Mazidi, Muhammad Ali, et al. *The 8051 Microcontroller and Embedded Systems*. 2nd ed., Pearson Education Limited, 2013.

