

自動組：隊名：新桃太郎

機器人名：宜技棒

指導老師：周立強 老師

參賽同學：陳盛騰、王有岑、游松澄、彭信捷

國立宜蘭大學 生物機電工程學系

一、機器人簡介

機器人之載具驅動係以直流無刷馬達作為動力輸出，底盤部分採用中間輪子驅動並在機器人前後方分別裝置兩只高度相異之全向輪以保持車體平衡，故以此四輪構造外加二只輔助輪之底盤作為本機器人之行走部。

機構設計之動作為 X-Y-Z 三個軸向運動，包含 X-Z 軸向運動的齒條及滑塊平台元件及 Y 軸向運動之導螺桿帶動滑塊元件，伸長白板筆完成「寫字區」動作。接著上述 Y 軸向運動之導螺桿帶動滑塊元件持續伸長，會使得筆筒脫離滑行支撐，因重力力矩使白板筆掉落完成「置筆區」動作。而「取球區」與「投球區」動作仍是運用此上半部機構設計之 X-Y-Z 軸向運動的齒條以及導螺桿完成取球及投球動作。在感測器控制方面，本機器人使用光電、超音波、雷射測距、RGB 顏色之感測器及光編碼器作為循跡、定位（寫字、置筆、取球及投球）及顏色辨識之判定。本機器人之控制核心係由可程式控制器(PLC)之程式主導，最後輸出訊號於各外部馬達及致動器進行控制。

二、設計概念

此次創思設計競賽主題為「文武雙全」，結合寫字與投籃動作機器人之概念，強調機器人行動之準確性、動作完成度之能力，兼具難度與趣味，符合創思設計與製作精神。自動組競賽子題為「科遇 BOOK 球」，參賽隊伍必須設計出準確性以及動作完成度高之機器人以自主行動的方式來完成關卡。這次比賽主題「文武雙全」很顯然地需要有智慧也要有能力的角色，而這次關卡的設計也都是與此有關，從第一關「寫字的文」以及最後的「投籃的武」，經過

討論和構思後想出了與此最具代表性的童話人物「桃太郎」，並效仿桃太郎故事中的角色，以桃太郎隊長為首，帶領著雞狗猴子隊員們以智慧與勇氣一起突破重重難關。機構設計方面將機器人設計為桃太郎站立在一個桃子上，寫字機構式模仿桃太郎以左手拿筆寫字，而抓球機構上則是模仿右手抓球與灌籃，藉由人類的手部動作來想出機器人的兩種機構，如圖 1。



圖 1 桃太郎與機器人之實際本體

三、關卡得分特色

我們首先進行場地分析(圖 2)，對各區所要完成功能提出應對方案，如表 1 所示。

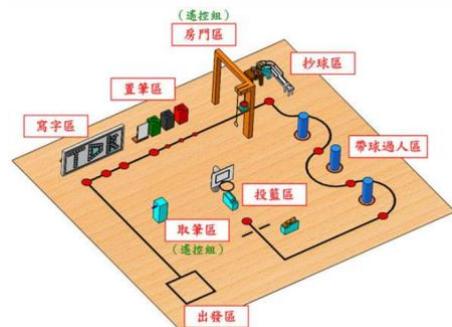


圖 2 競賽場地對應要求之動作分析

表 1 動作分析

路徑	(1) 寫字區	(2) 置筆區	(3) 抄球區	(4) 帶球過 人區	(5) 投籃區
行走動力輪	○	○	○	○	○
X-Z 軸向運動	○		○		○
Y 軸向運動	○	○	○		○

四、三視圖重點解析

圖 3 為本機器人之等角視圖，機器人底盤(X)前方處裝置七支光電感測器結合布林邏輯演算作為精確的循跡判別；機器人底盤兩側左輪與右輪下方各裝置 1 支光電感測器，作為循跡直角轉彎處判斷與投籃前十字循跡線的垂直校正；機器人底盤左側(Y)前後端各裝設一支雷射測距感測器，作為機器人底盤與白板間之平行判斷；在底盤上方 X 軸向運動平台處裝置一只超音波感測器，作為機器人底盤前方與球檯的相對位置判斷依據。本製作在寫字機構的支架左側(Y)裝置一只 RGB 辨色感測器，作為置筆前之顏色判斷；在寫字機構(Y)前方裝置一支光電感測器作為判斷下筆寫字格之依據；左側視圖的部分(圖 4)，當寫字機構進行 Z 軸

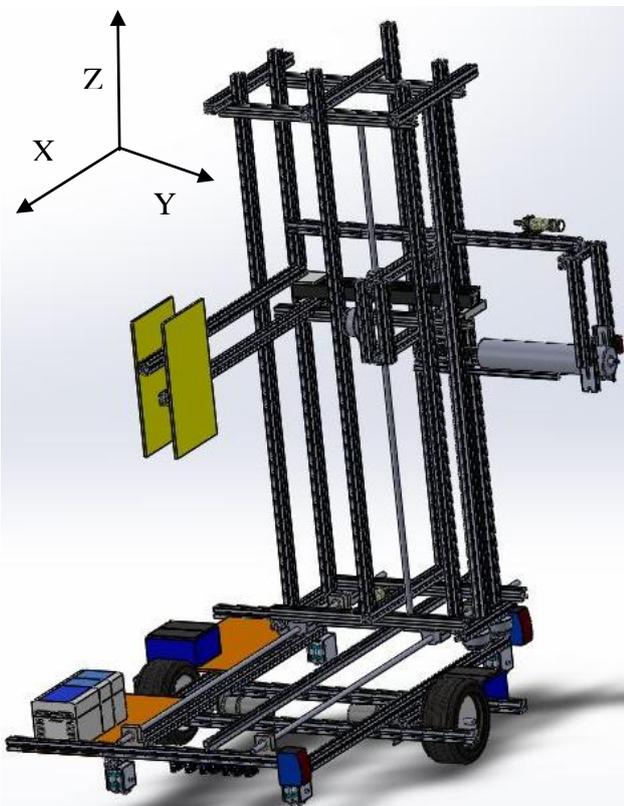


圖 3 等角視圖

向運動時，為了確保 Z 軸運動之齒輪與齒條能夠完全契合而不會因為反作用力而產生跳齒的現象，因而 Z 軸向滑塊平台兩側各裝置一顆萬向滾珠半嵌入於寫字機構兩側鋁擠型支架凹槽內，形成滑動導槽作用，並增加 X-Z 機構動作時之穩定性。同理，寫字機構中 X 軸向滑塊平台底部兩側亦裝置四顆萬向滾珠半嵌入於底盤鋁擠型支架凹槽內，可以使 X 軸向滑塊平台移動時更穩定及避免變形(圖 3 及 5)。

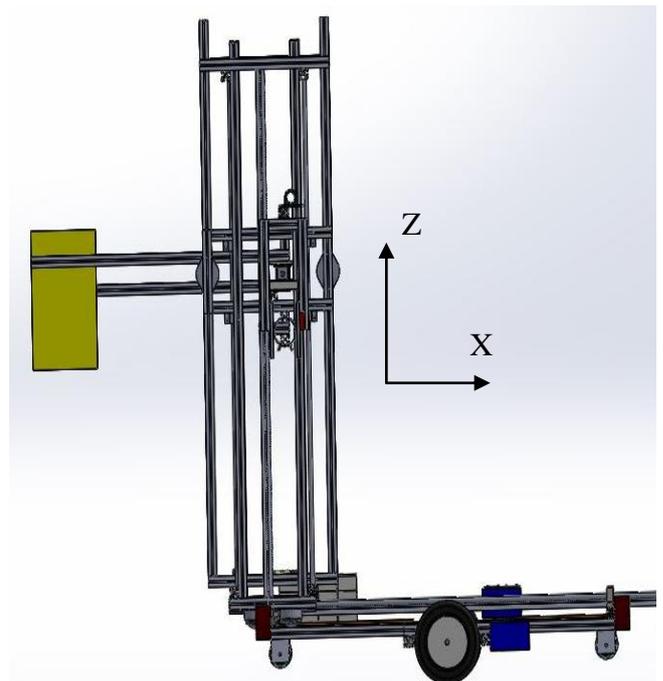


圖 4 左側視圖

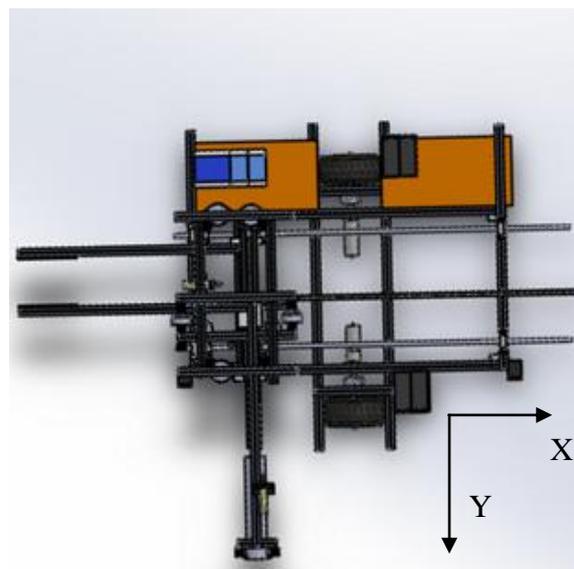


圖 5 俯視圖

五、機構設計及理念

(1) 寫字機構(含持及置筆之擷取與脫離機制)

在 X-Z 面設計二軸運動寫字機構，以 2 只直流馬達傳動齒輪齧合齒條加上滑塊平台作二軸向移動，本製作使用馬達驅動器可作滑塊平台移動速度調整(圖 6 及 7)

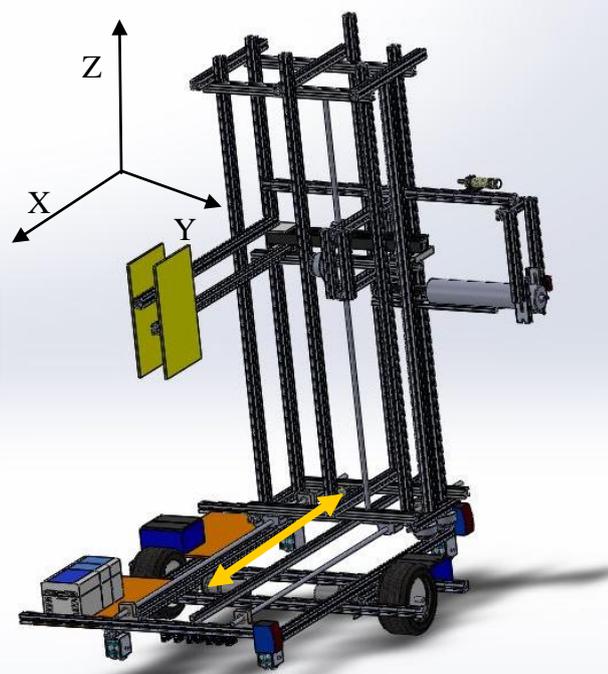


圖 6 X-Z 軸向運動的導螺桿及滑塊平台之 X 軸向動作

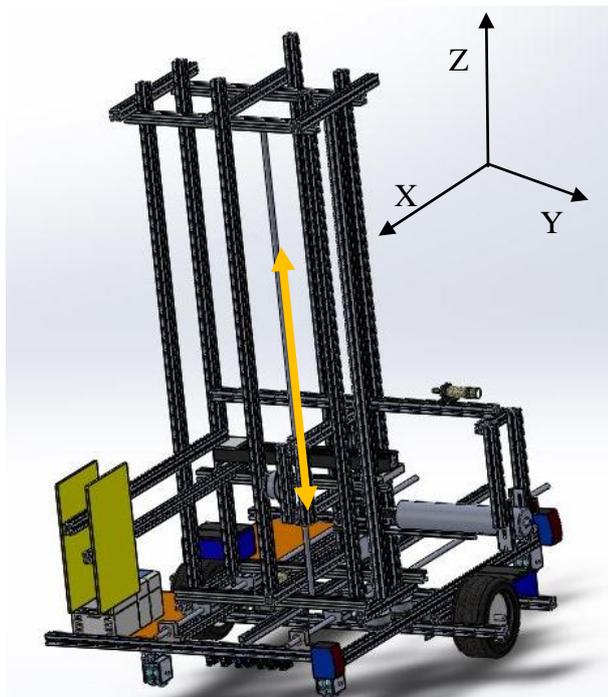


圖 7 X-Z 軸向運動的導螺桿及滑塊平台之 Y 軸向動作

持筆功能則製作一筆筒裝置於二軸運動寫字機構之滑塊平台上完成(圖 8)

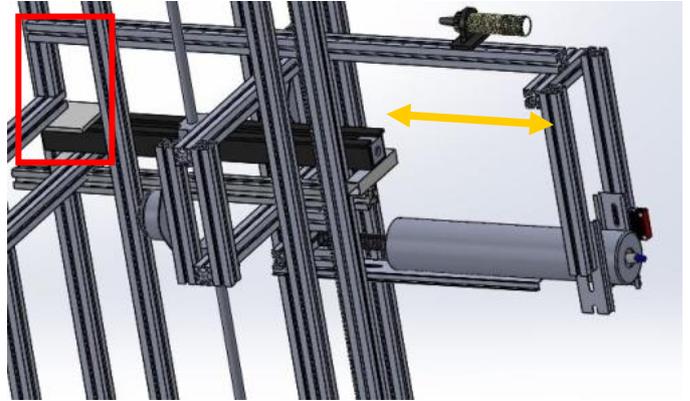


圖 8 在 Z 軸向運動的齒條及滑塊平台上裝置一 Y 軸向運動之導螺桿滑塊平台以連結筆筒

在機器人底盤部分必須先完成保持一定距離且平行於寫字白板的定位，接著由安裝於二軸寫字機構之 Y 軸向導螺桿推動筆筒平貼於寫字板，以筆筒後方之彈簧彈力將白板筆頂出(圖 9)

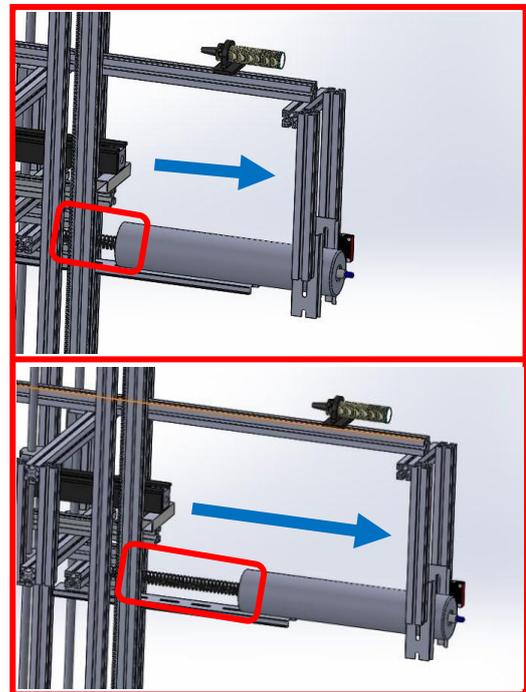


圖 9 Y 軸向導螺桿往前推動筆筒，由筆筒後方之彈簧將白板筆頂出

在白板筆寫字機構(Y)前方之光電感測器可作為判斷下筆寫字格之依據(圖 10)，以達成「寫字區」功能要求。

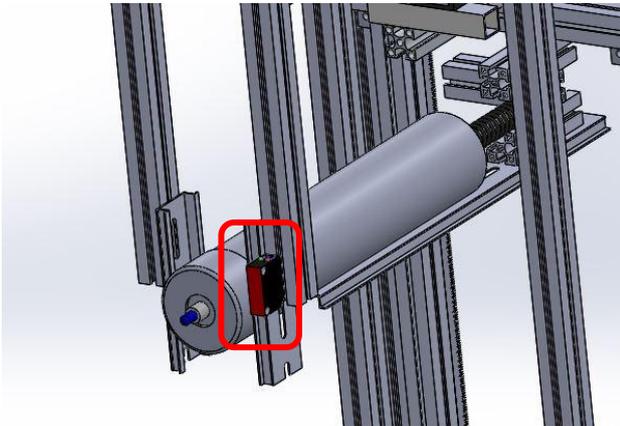


圖 10 寫字格判斷依據之光電感測器

在於置筆時，由二軸寫字機構之 Y 軸導螺桿帶動滑塊元件持續伸長，會使得筆筒脫離滑行支撐，因重力力矩使白板筆掉落置筆筒(圖 11)。

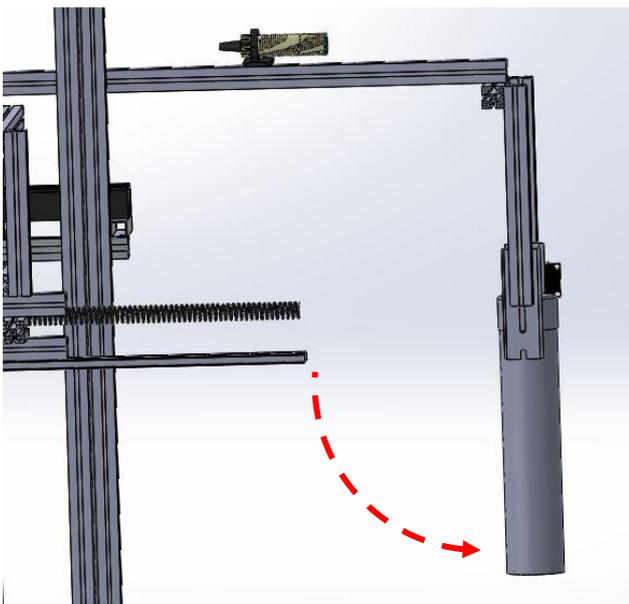


圖 11 Y 軸導螺桿帶動滑塊元件持續伸長，會使得筆筒脫離滑行支撐，因重力力矩使白板筆掉落置筆筒

2. 取/投球機構(含擷取與脫離機制)

我們為了有效減少致動器數量、達到減重與成本降低，在機構設計上採取一機四用策略，具備能夠完成「寫字與置筆」及「取球與投球」功能。因此我們在「取球與投球」動作仍是利用在 X - Z 面所設計二軸運動寫字機構，在於夾爪也是利用 Y 軸向導螺桿傳動作收放動作。(圖 12)

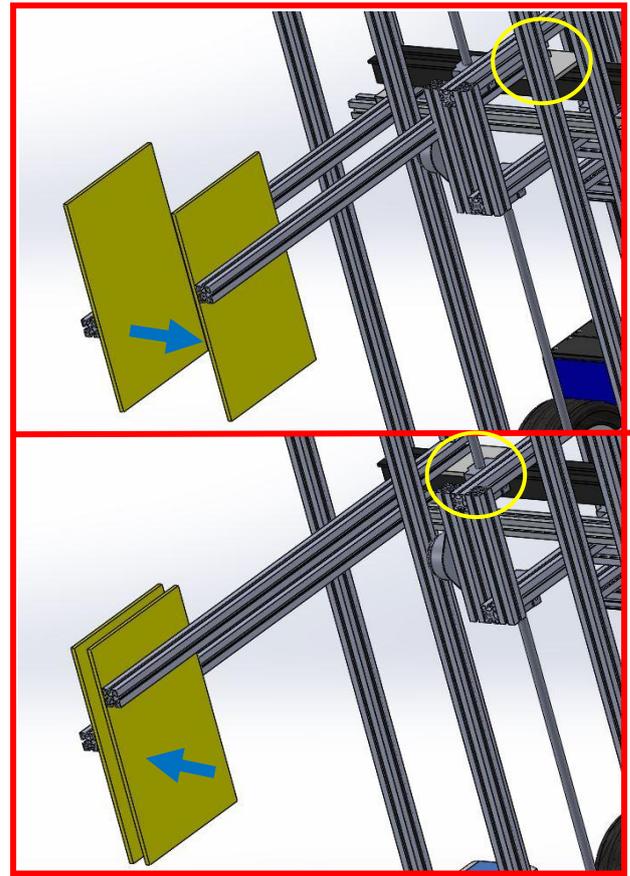


圖 12 與導螺桿平台連動之夾爪閉合及張開示意

六、電控系統

I. 系統架構

本載具之控制系統架構(圖 13)整合一混合式邏輯動態系統 (Mixed Logical Dynamic System, MLDS) 之設計觀念及邏輯式離散事件系統(logical discrete event system, LDES) 方法為標的架構，運用科學演繹定律、邏輯規則及操作限制並結合過去我們所發展一套系統化的布林方程式演算程序，以機制化模式方法演繹設計實現一 Moore 型有限狀態機之控制器。控制器之機制動作由方程式(1)及(2)描述：

$$\tilde{S}[n] = \delta(\tilde{S}[n-1], \tilde{X}[n]) \quad (1)$$

$$\tilde{u}[n] = \phi(\tilde{S}[n]) \quad (2)$$

上式中顎化符號~表示為一符號變數之值組或序列， \tilde{S} 為狀態組， \tilde{X} 是產生自受控物中離散事件標記， δ 為狀態轉變機制函數， $[n]$ 為類比於時間指標， u 為控制器輸出組， ϕ 為輸出決定之機制函數。受控對象(圖 13 之 A)是可以一組非線性及非時變系統常微分方程組描述之， $X(t)$ 及

$u(t)$ 分別為連續時間下狀態及輸入向量。模型中控制器設計之關鍵在於如何分別獲得 δ (狀態轉變) 及 ϕ (輸出決定) 之機制函數而加以程式化。

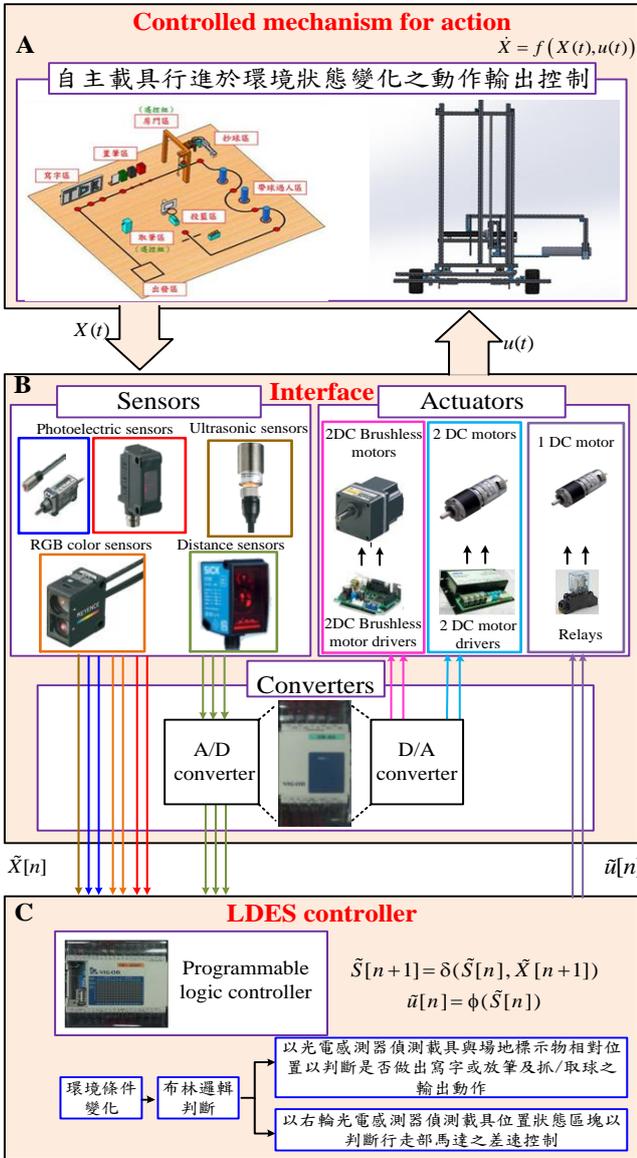


圖 13 控制系統架構

圖 13 之 B 為自走載具感測單元包含超音波及雷射測距感測器，其對應之外界物理量感測訊號皆為連續類比電壓。由於 PLC 只能對數位訊號作邏輯演算，因此前述感測器訊號必須藉由類比轉換數位整合電路 (Analog to Digital Converter, ADC) 轉換類比訊號，以離散狀態輸入 0 及 1 訊號組合序列 $\tilde{X}[n]$ 至 PLC，PLC 則輸出對應之離散控制變數 0 及 1 訊號組合序列 $u[n]$ 至數位轉換類比整合電路 (Digital to Analog Converter, DAC) 轉換為類比訊號輸入於致動器 (例如馬達驅動器, DC motor driver)，致動器即以

連續或片段連續變化 $u(t)$ 輸出於機器人之各部致動器，達到位置及速度調控功能。

自走載具是使用可程式控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 作為控制核心 (圖 13 之 C)，以執行輸出訊號於各外部馬達及致動器進行整體運動控制。在 PLC 的程式結構主要依據感測器狀態制定對應動作要求之真值表，以卡諾圖演算對應之輸入與輸出關係之布林邏輯函數，轉譯為接點邏輯電路其中並結合記憶、互鎖、閃爍、計數以及差速應用組合電路，以因應各種情況策略。主要程式區分為循跡、定位及顏色判定，而整體程式流程如圖 14 所示。

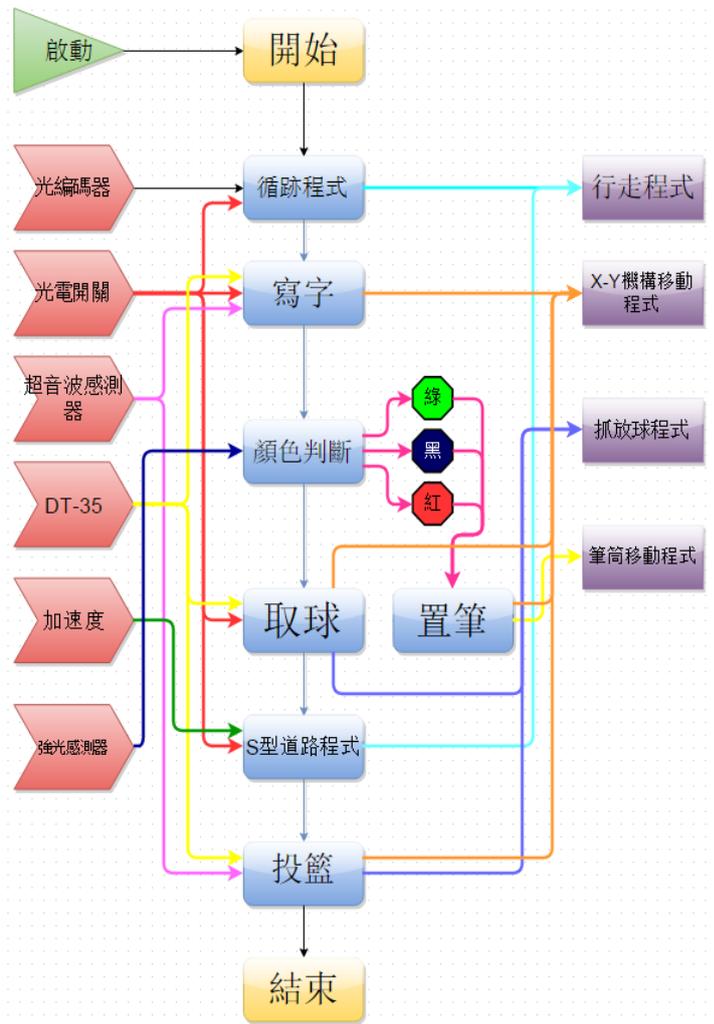


圖 14 整體程式流程

II. 載具程式區塊判斷及分項控制

載具自主行進時，當行經場地所標示之重置點，機器

人會利用光電感測器或光編碼計算行走距離來判斷所經過的重置點進而推算其本身位於場地何處，以切換對應程式區塊做出判斷，此次場地主要分為五大區塊，分別為寫字區、置筆區、抄球區、帶球過人區及投籃區。

七、適應環境機制

儘管我們按照公告之競賽場地設施規格以 1:1 比例仿照，經驗上告訴我們模仿場地不可能分毫不差完全一樣於正式競賽場地。因此我們所設計之機器人必須能適應環境變化差異，保有彈性裕度的辨別能力。在感測與控制的策略上，在於轉角處就由機器人右輪所裝設之光電感測器進行第一層地上標記循跡定位，非轉角部分則由光編碼進行行走距離的判斷，當靠近標的物時，由機器人上半身所屬感測器偵測標的物訊息進行第二層定位與運動控制。

1. 寫字區

當進入寫字區時，機器人在右輪上的光電感測器偵測到地面上的直角轉彎循跡線，會以光編碼器測距值作定距轉向 90 度，接著循跡向前行走，之後載具開始向後移動直到機器人裝設在右輪上的光電感測器偵測到地面上的直角轉彎循跡線後停止前進，確定機器人在寫字區 T 範圍內此為第一層定位。接著利用機器人底盤右側兩支雷射測距判斷載具偏向角狀態，設定其偏向角容許閾值為 $\pm 3^\circ$ ，以雷射測距量測相對距離，以偵測值 $D_{L-front}$ 與 D_{L-back} 之關係推斷出機器人偏向角 θ ，

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{D_{L-front} - D_{L-back}}{l} \right) \quad (4)$$

$$\tan \theta \cdot l = D_{L-front} - D_{L-back} \quad (5)$$

l 為兩支雷射測距安裝距離。當偏角度超過 $\pm 3^\circ$ 時，藉由左右輪正反轉，能將載具調整至偏角度在 $\pm 3^\circ$ 以內而與白板幾近平行時，再以 X-Z 軸向運動機構進行寫字的動作(圖 15)。

2. 置筆區

寫字結束後，機器人必須利用在寫字機構的支架左側之 RGB 辨色感測器判別對方所安排的色卡顏色，最後再利用左側的雷射測距感測器配合 PLC 內部計數器判斷放置筆筒的位置進行置筆動作。

3. 抄球區

置筆動作完成後，機器人以循跡方式前進至抄球區，機器人先以地上循跡線作初步定位(圖 16)。本製作在抓球機構設計上將前端 X 軸向的爪具加長及增寬爪具張開程度，儘管抄球台與地上標記相對位置或許有些許偏差，我們製作的機器人仍能在較大裕度範圍內確實做到取球動作。

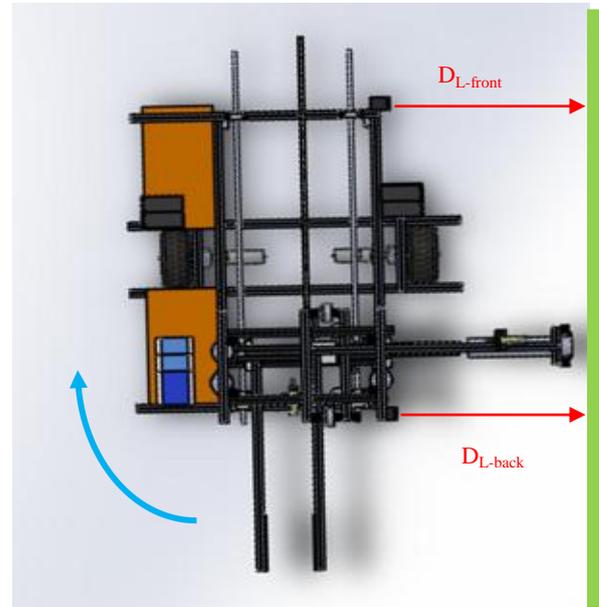


圖 15 當偏角度超過 $\pm 3^\circ$ 時，藉由左右輪正反轉，能將載具調整至偏角度在 $\pm 3^\circ$ 以內而與白板幾近平行

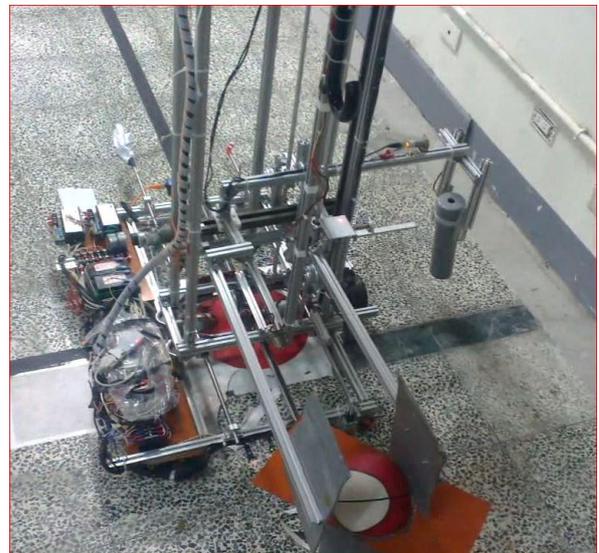


圖 16 機器人以循跡線作取球定位後再做夾球動作

4. 帶球過人區

在帶球過人區中，機器人必須循 S 型路線繞過障礙物。

若是以基本的循跡程式行進則會因修正次數過頻繁使得機體穩定度降低，也會增加使用時間。因此使用了馬達驅動器做差速行走調整，利用內外輪與行走軌跡的距離比做為速度的比例，使得機器人行進更穩定，速度也得以提升。

5. 投籃區

帶球過人動作完成後，機器人會先以左右兩輪之光電感測器對球檯前之十字循跡線作與籃板之垂直定位校正，再利用底盤上方 X 軸向運動平台處之超音波感測器，作為機器人底盤前方與球檯的相對位置判斷依據完成投籃動作。

八、達陣之創意設計

在進行每個不同關卡的時候，都會有各自不同的判斷方法，但是為了讓我們的機器人能夠更加精準且穩定的達

成所有關卡之要求，我們會盡量以多重感測定位及校正的方法來確保機器人能夠每次都在最佳的位置進行動作，載具於功能需求區域時會以場上標記物(循跡線)進行第一次的定位，再以地上物(白板及重置取球檯)來進行第二次定位，來確保本載具於任務區域能精準且穩定完成功能需求。

九、機器人成品

圖 17 為機器人於本校模擬競賽場地之測試情況，從圖 17.1 至圖 17.9 依序為機器人通過本競賽各關卡之功能需求：機器人預備出發、行走至寫字區關卡開始 (1)、寫字 T(2)、寫字 D(3)、寫字 K(4)、顏色判別(5)、放置到指定顏色筆筒(6)、精準取球(7)、行走通過帶球過人區(8)、機器人達陣並完成放球動作(9)。

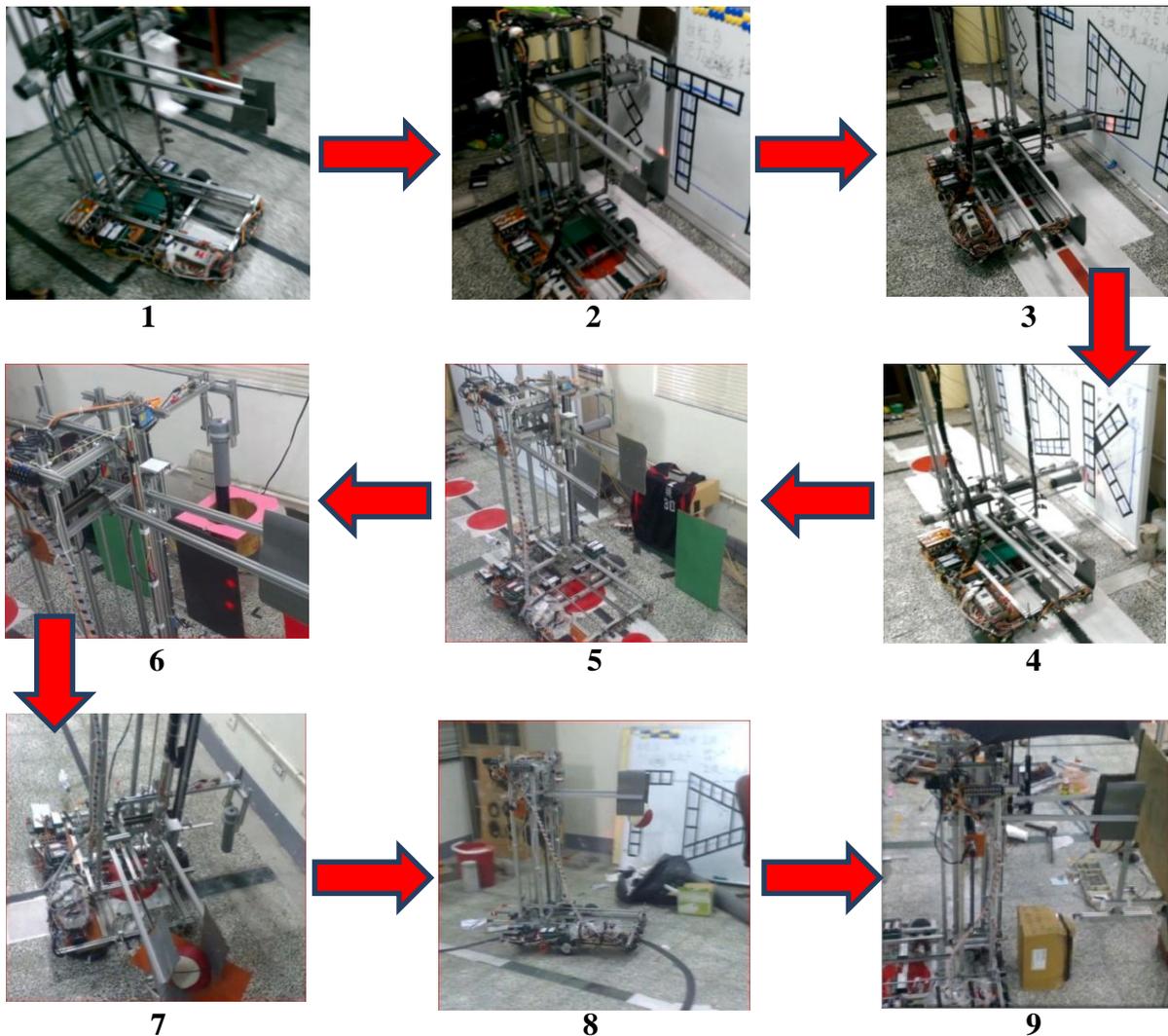


圖 17 為機器人於本校模擬競賽場地之測試情況

十、結論

以第十九屆 TDK 盃全國大專院校創思設計與製作競賽為實例，強調機器人移動敏捷性、定位準確性及穩定性，必須設計出具備行進與寫字、置筆及取/放球能力之機器人。本機器人運用群組電路方法，以布林代數演算法推演邏輯接點電路，配合記憶、互鎖、計數及差速應用組合電路，演繹 PLC 的階梯電路程式，完成寫字定位、置筆定位、帶球過人及取/放球關卡所需要的動作功能。

十一、參賽感言

比賽一結束就感覺這半年來盡心盡力的過程中發生了許多小插曲，如今也都一一化為美好的回憶，也讓自己增加解決問題的能力。俗話說：「坐而言不如起而行」，在這樣的比賽中我們深刻體會到，理論歸理論，但現實生活中不一定樣樣完美，而藉由這樣的實作經驗，也能在課堂上老師所教導的相關課程相互呼應，而在實作中的一些「眉角」，在課堂中是無法去體會出來的！這一階段的人生三部曲就是「機緣」（因緣際會的一種巧遇）、「福報」（成長與成就一種目標）、及「感恩」（是一種飲水思源傳承概念）或者說前人種樹、後人乘涼為代代相傳，大家皆由後人而起，而終於前人。最終還是要感謝指導老師周立強老師，因為有他，讓我們依靠，使我們盡情得去攀爬生長，而留下的印記，將會是下一次的美好開始。

十二、材料選用考量

為了使機器人易於調整以及機構上穩固的考慮下，在材料方面我們選用鋁擠型作為底盤，既方便裝設也易於調整，而機構上承受力較小的部份則使用方口鋁，以求機體達到輕量化的目的。減震問題我們也考慮到，在上半部寫字機構移動時，底盤最左側與最右側是相當容易因撞擊而損壞部分，因此裝置吸震海棉以緩衝撞擊力道。

參考文獻

- [1] 周立強、廖栢維、張又壬、陳奕蒼和林育如「機器人名：Ta-Kau」，第十七屆全國大專院校創思設計與製作競賽技術論文，2013。
- [2] 周立強、程安邦和張曄明「混合控制系統的設計與實現-以循跡載具之方向控制及速度設定為應用例」，科技學刊，2013。

- [3] 周立強和曾鍾湧「玉米田間自主行進載具之有限狀態機邏輯演繹設計及實現」，先進工程學刊，2013。
- [4] 周立強、程安邦和鄭世灝「循跡式載具定位、變速及轉向角控制器之設計製作」，科學與工程技術期刊，2012。
- [5] 周立強、程安邦和張邦彥「實現以布林代數演算為基礎之可程式控制器適合作為循跡式小型載具其方向速度控制器之設計」，科學與工程技術期刊，2012
- [6] A. Bemporad and M. Morari, "Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints," *Automatica*, vol. 35, pp. 407-427, March 1999.
- [7] S. N. Vassilyev, "Logical approach to control theory and application," *Nonlinear Anal.-Theory Methods Appl.*, vol. 30, pp. 1927-1937, Dec. 1997.
- [8] J. A. Stiver, P. J. Antsaklis, and M. D. Lemmon, "A logical DES approach to the design of hybrid control systems," *Math. Comput. Model.*, vol. 23, pp. 55-76, June 1996.
- [9] D. Franke, "A linear state space approach to a class of discrete-event systems," *Math. Comput. Simulat.*, vol. 39, pp. 499-503, Nov. 1995.

致謝詞

感謝 TDK 財團法人文教基金會大力支持與贊助競賽的材料費，以及感謝教育部及國立台灣科技大學主辦這次的活動，並感謝宜蘭大學的全體師生在比賽前的鼓勵與加油，更感謝前往比賽的啦啦隊員們，最後感謝一路上對我們不離不棄的周立強教授給予我們細心的指導與幫助。



機器人競賽與後援團隊全體大合照