

自動組：隊名：真·西遊記

機器人名：白龍馬

指導老師：周立強 老師

參賽同學：范力達、李柏緯、蔡惟至、呂曼婷

國立宜蘭大學 生物機電工程學系

一、機器人簡介

本機器人之載具驅動是以無刷馬達作為動力輸出，底盤部分採用前輪驅動並加裝一顆全方位轉動輪，以保持車體平衡，故以此三輪底盤作為本機器人之行走部。

上半部機構設計之動作為 X-Y-Z 三個軸向運動，包含 X-Z 軸向運動的導螺桿及滑塊平台元件及 Y 軸向運動之線性致動器驅動四連桿滑塊元件可以完成「寫字區」及「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-Z 軸向運動的導螺桿元件，加上滑軌、彈簧及捲線馬達完成取球及投球動作。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。而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

此次競賽主題為『機器人文武雙全—科邁 Book 球』，象徵著此機器人同時具備才智與絕技也代表其文、武雙併，強調機器人移動敏捷性、穩定性、寫字能力、辨色能力、夾球及投球能力，並以自主行進的方式來完成關卡，我們在 TDK 競賽團隊中也仿效西遊記人物中之團隊勇於面對挑戰精神及結合不同才能的優秀人才，足以發揮相輔相成作用來達成此次競賽的各種功能要求，以符合創思設計與製作精神。機構設計方面，以「馬」為設計目標，故機構方面分為白龍馬頭部、足部及唐三藏本體，唐三藏本體設計為機器人寫字及投筆功用，而白龍馬頭部則設計為載具取球、投球之功用，足部則為載具之行走部機構，最後整

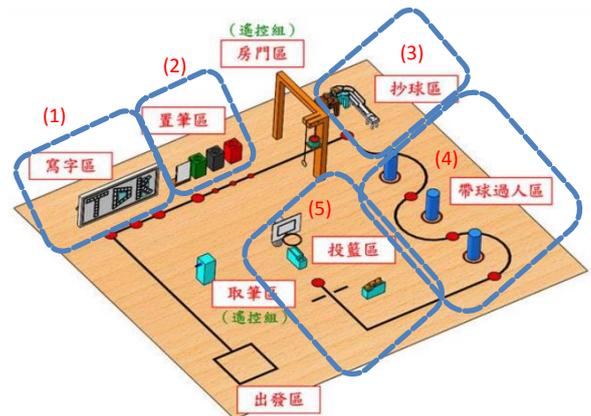
體造型如圖 1 所示。



圖 1 白龍馬機器人之實際本體

三、關卡得分特色

我們首先進行場地分析，對各區所要完成功能提出應對方案，如圖 2 所示。



路徑	(1) 寫字 區	(2) 置筆 區	(3) 抄球 區	(4) 帶球過 人區	(5) 投籃 區
功能動作要求					
行走動力輪	★	★	★	★	★
寫字(持/置筆)機構	★	★			
取/投球機構			★		★

圖 2 場地分析與應對方案

四、三視圖重點解析

圖 3 為本機器人之等角視圖，圖 4 為本機器人之正視圖，機器人底盤 X 前方處裝置八支光電感測器結合布林邏輯演算作為精確的循跡判別；其底盤左側(Y)前後端各裝設 1 支雷射測距感測器，作為機器人底盤與白板間保持定距離平行之判斷；在底盤 X 前方中央上方處裝置一只超音波感測器，作為底盤 X 前方與球檯的相對位置判斷依據；在底盤左側(Y)前端上方裝置一只 RGB 辨色感測器，作為

置筆時之顏色判斷的依據；在寫字機構 Y 前方裝置 1 支光電感測器作為判斷下筆寫字格之依據；在取球伸出機構(X)前方裝置 1 支雷射測距感測器，作為判斷(X)前方抄球台及高度 Z 軸夾球之位置判斷依據。右側視圖的部分(圖 5)，載具中間上方安裝一支鋼軸，其功用為了增加上方 X-Z 機構動作時之穩定性，減輕 X 軸與 Z 軸機構連接處之負擔。而由上往下看，X-Z 機構安裝於載具中間，其不會造成左右動力輪配重不均的問題，亦達到對稱美觀的優點，如圖 6。

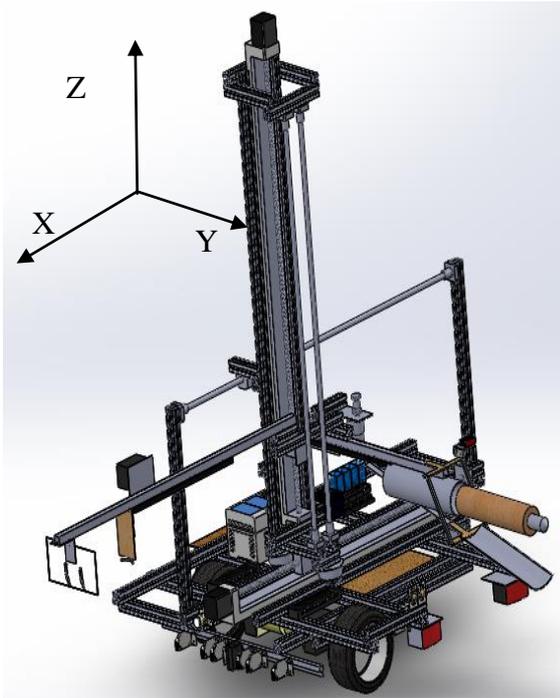


圖 3 等角視圖

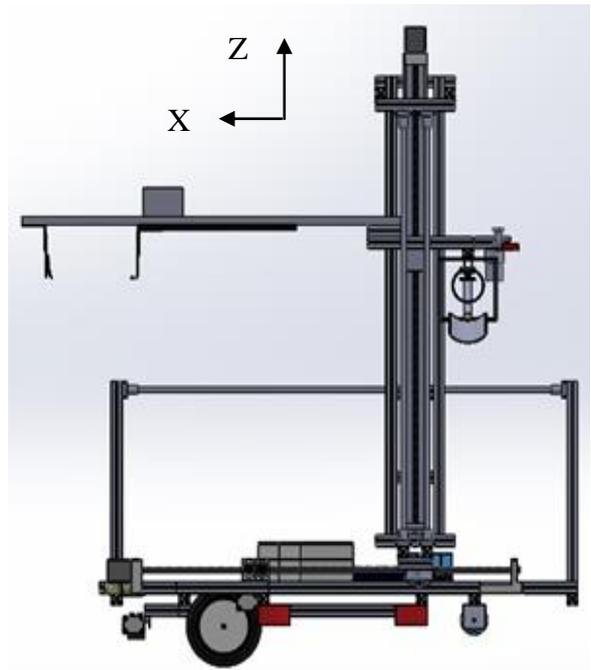


圖 5 右側視圖

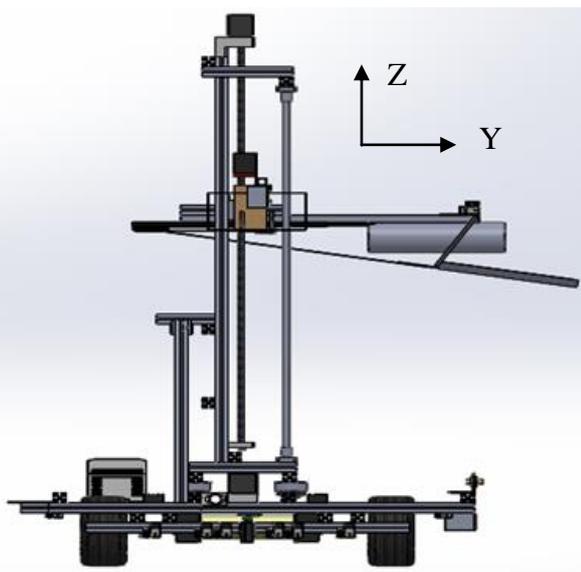


圖 4 正視圖

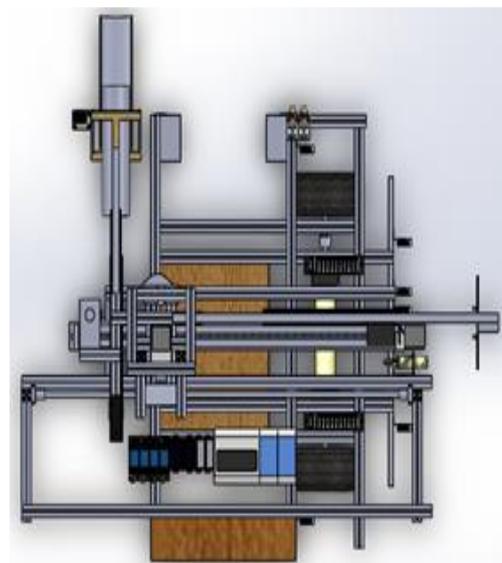


圖 6 俯視圖

五、機構設計及理念

機器人上半部機構主要分為二個部分：

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，以步進馬達傳動導螺桿及滑塊平台運動完成(圖 7 及 8)。

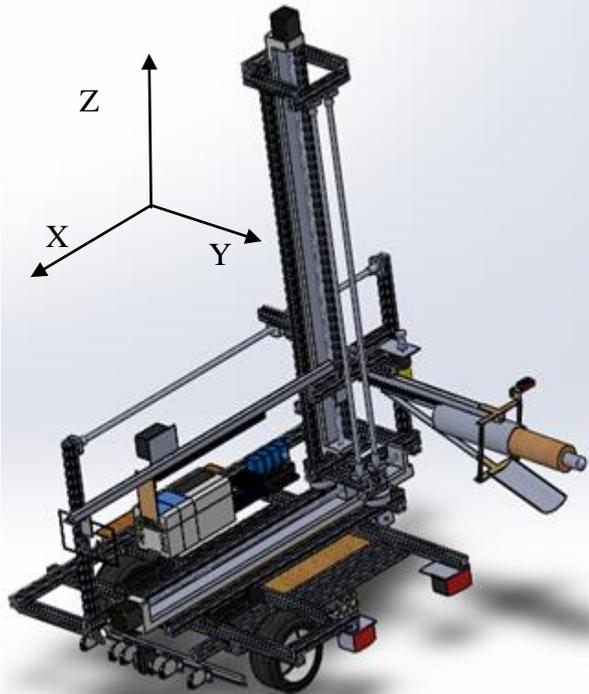


圖 7 X-Z 軸向運動的導螺桿及滑塊平台之 X 軸向動作

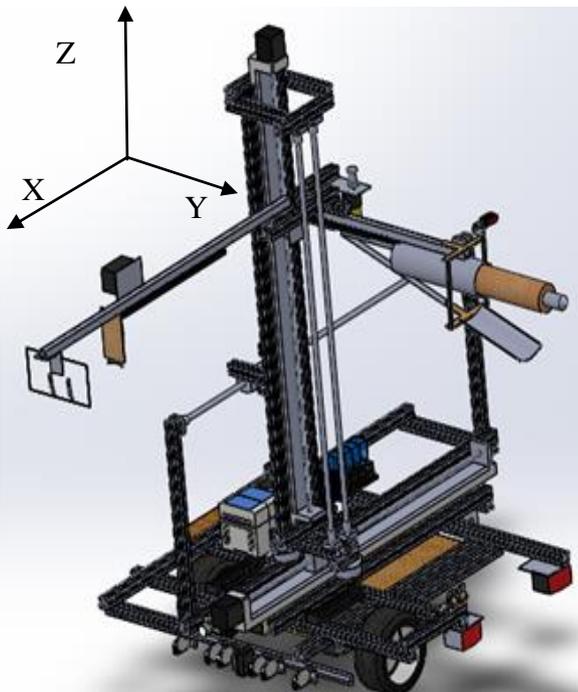


圖 8 X-Z 軸向運動的導螺桿及滑塊平台之 Z 軸向動作

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 及 9)。

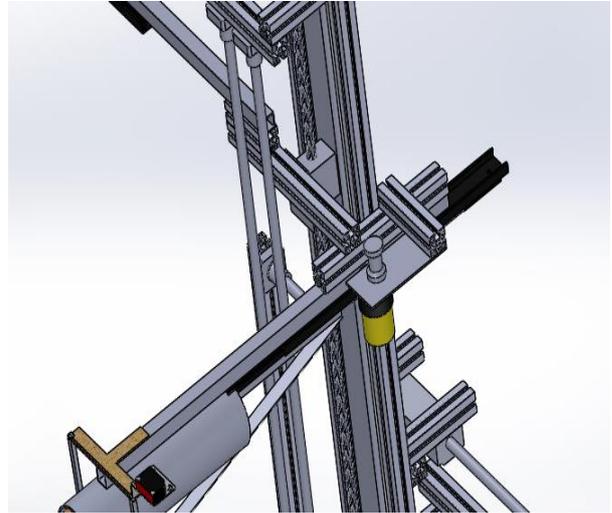


圖 9 X-Z 軸向運動的導螺桿及滑塊平台與 Y 軸向運動之線性致動器驅動四連桿滑塊元件之連接

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 軸向線性致動器驅動四連桿滑塊元件推動白板筆平貼於寫字板(圖 10)，

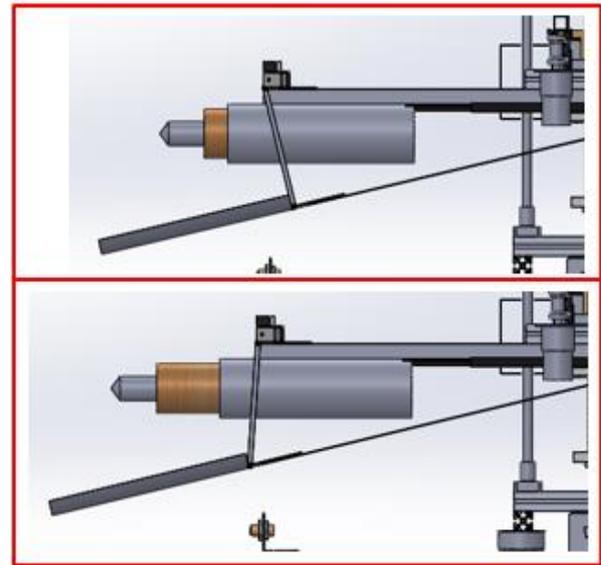


圖 10 Y 軸向線性致動器推動筆筒動作

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 11)，以達成「寫字區」功能要求。

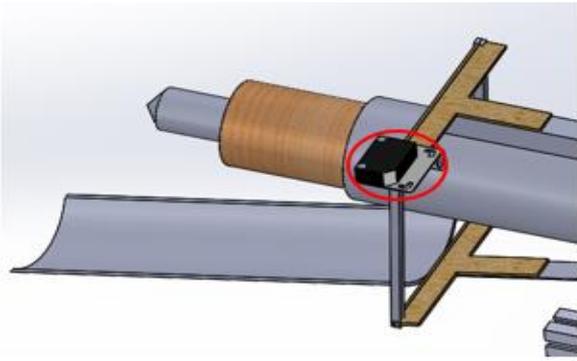


圖 11 寫字格判斷依據之光電開關

當置筆時，由二軸寫字機構之 Y 軸向線性致動器驅動四連桿滑塊元件持續推動白板筆，以重力下墜及下滑平台導引方式，使白板筆掉落置筆筒(圖 12)。

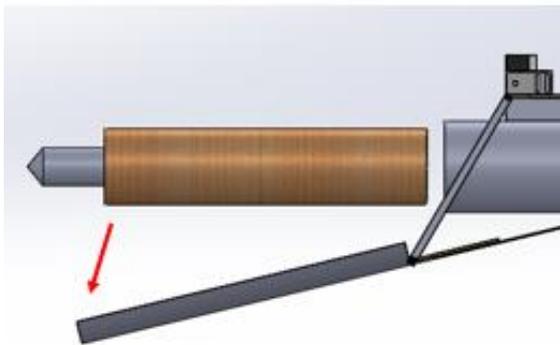


圖 12 以重力下墜及下滑平台導引方式，使白板筆掉落

2. 取/投球機構(含擷取與脫離機制)

我們為了有效減少載具重量、達到配重平衡與成本降低，在機構設計上採取一機兩用策略，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，再加上滑軌、彈簧及捲線馬達即完成取球及投球動作。(圖 13)

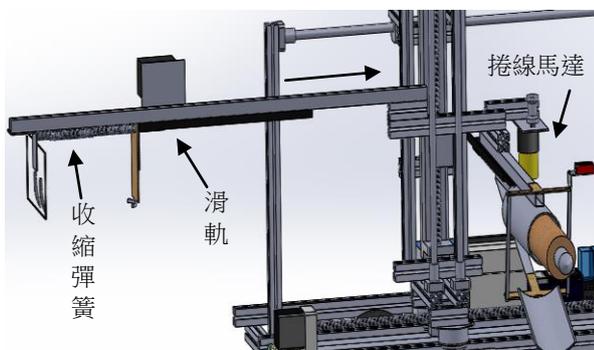


圖 13 取放球機構分解圖

圖 14 為取/投球機構(含擷取與脫離機制)之圖示，當捲線馬達正轉時，拉動滑軌使夾爪張開，反之捲線馬達反轉時，而收縮彈簧作用使得夾爪收緊。

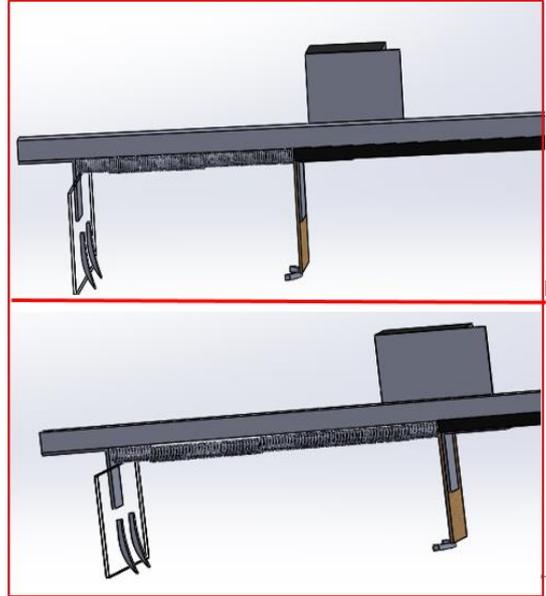


圖 14 夾爪閉合及張開示意

六、電控系統

1. 系統架構

本載具之控制系統架構(圖 15)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 15 之 A) 是可以一組非線性及非時變系統常微分方程組 $\dot{X}(t) = f(X(t), u(t))$ 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。

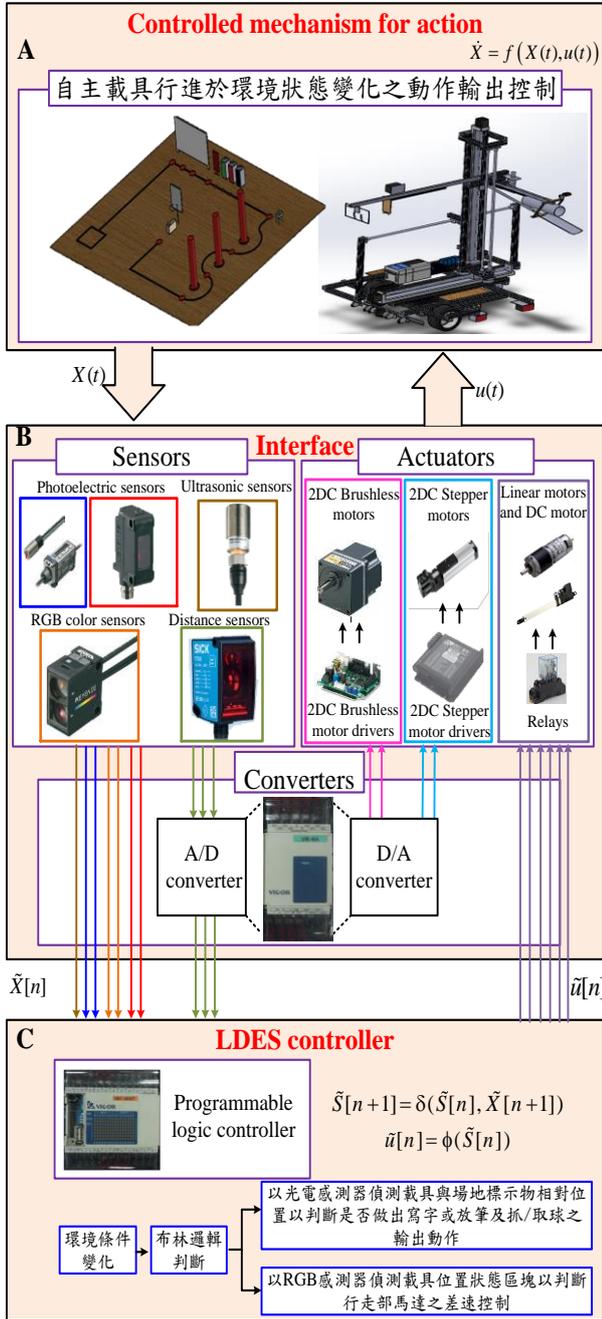


圖 15 控制系統架構

圖 15 之 B 為自走載具感測單元包含光電、雷射及超音波測距感測器，其對應之外界物理量感測訊號為單一數位電壓及連續類比電壓。由於 PLC 只能對數位訊號作邏輯演算，因此前述之雷射測距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 $u(t)$ 輸出於載具體之速度調控功能。

自走載具是使用可程式控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 作為控制核心 (圖 15 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 16 所示。

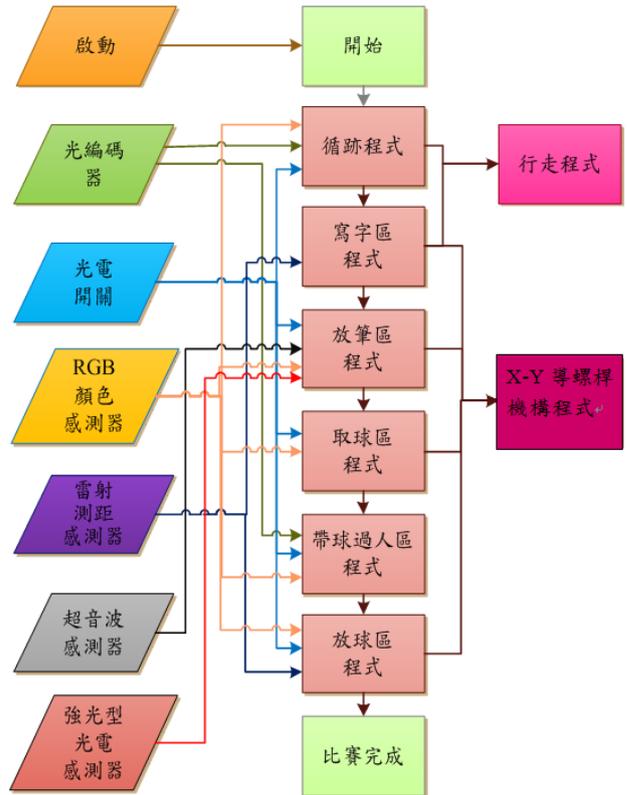


圖 16 整體程式流程

2. 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

人會利用群組光電感測器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。

六、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，由機器人底部所裝置之群組光電感測器進行第一層地上標記循跡定位，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

從出發區進入寫字區時，機器人會先以直角轉彎的循跡線作轉向依據，再以光編碼器測距值作為轉彎結束，之後載具開始向前移動直到機器人之寫字機構 Y 軸向前方光電感測器偵測到白板上的黑線後停止前進。在寫字之前，機器人會先利用底盤左側前後端兩支雷射測距來確定底盤是否平行於白板並作修正，最後才是機器人開始驅動 X-Z 寫字機構完成寫字動作。

2. 置筆區

在寫字動作完成後，在判斷顏色之前，機器人自行先將 X-Z 機構移動至預設中間位置，接著機器人必須利用在底盤左側(Y)前端上方的 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，機器人仍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如圖 17。初步定位完成後，機器人 X-Z 機構會往 X 軸向運動使得取球機構向前伸出。當取球伸出機構(X)前方雷射測距感測器偵測前方抄球台時，機器人 X-Z 機構中 X 軸向運動停止，會往 Z 軸向運動預備取球(圖 18)。最後當取球伸出機構(X)前方雷射測距感測器再度偵測預設抄球台高度時，表示機器人取球機構已達到最適當的夾球高度，開始進行夾球動作如圖 19。

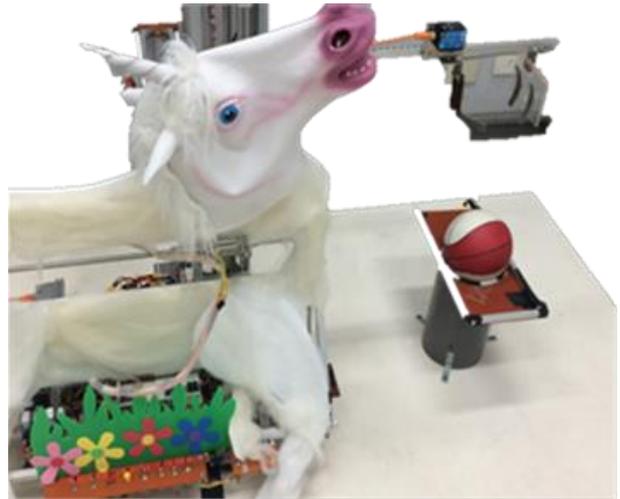


圖 17 機器人以循跡線作初步取球定位

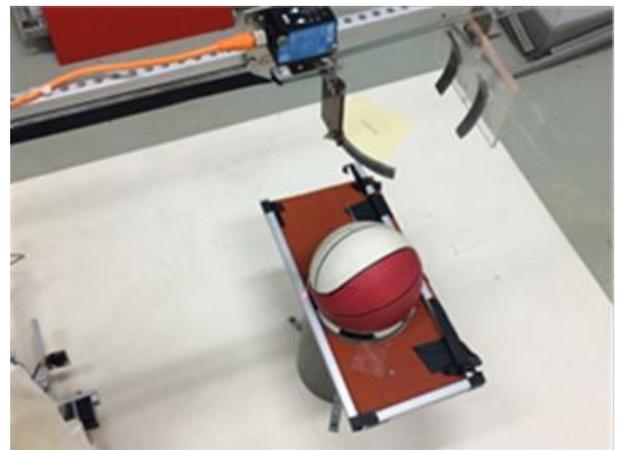


圖 18 機器人 X-Z 機構運動配合取球伸出機構(X)前方雷射測距感測器偵測前方抄球台時之取球動作

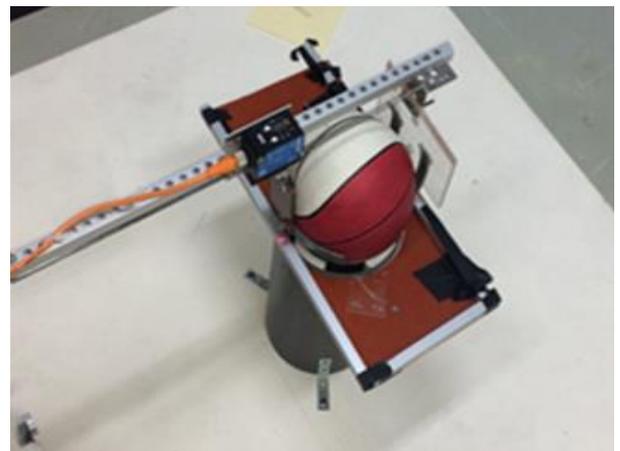


圖 19 當取球伸出機構(X)前方雷射測距感測器再度偵測預設抄球台高度時，表示機器人取球機構已達到最適當的夾球高度，開始進行夾球動作

4. 帶球過人區

此區機器人行走部利用光編碼器計算兩輪行走時的距離，推算出行走部與標的物之相對位置，並間接可知行走彎道時兩輪所需之速度差，以群組光電開關偵測 S 型黑線狀態配合布林代數演算法推演邏輯接點電路，配合記憶、互鎖及差速應用組合電路，演繹 PLC 的階梯電路程式來進行此區行走之輔助判斷。

5. 投籃區

帶球過人動作完成後，機器人會先利用左右兩輪之光電開關對左右兩邊的投籃線作與前方籃板之垂直校正，再利用在底盤 X 前方中央上方處之一只超音波感測器，作為底盤 X 前方與球檯的相對位置判斷放球依據完成投籃動作。

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、抄球球檯及重置取球檯等)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 20 為機器人於本校模擬競賽場地之測試情況，從圖 20.1 至圖 20.9 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寫字(1)、(2)、顏色判別(3)、置筆預備(4)、放置到指定顏色筆筒(5)、取球定位(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)。

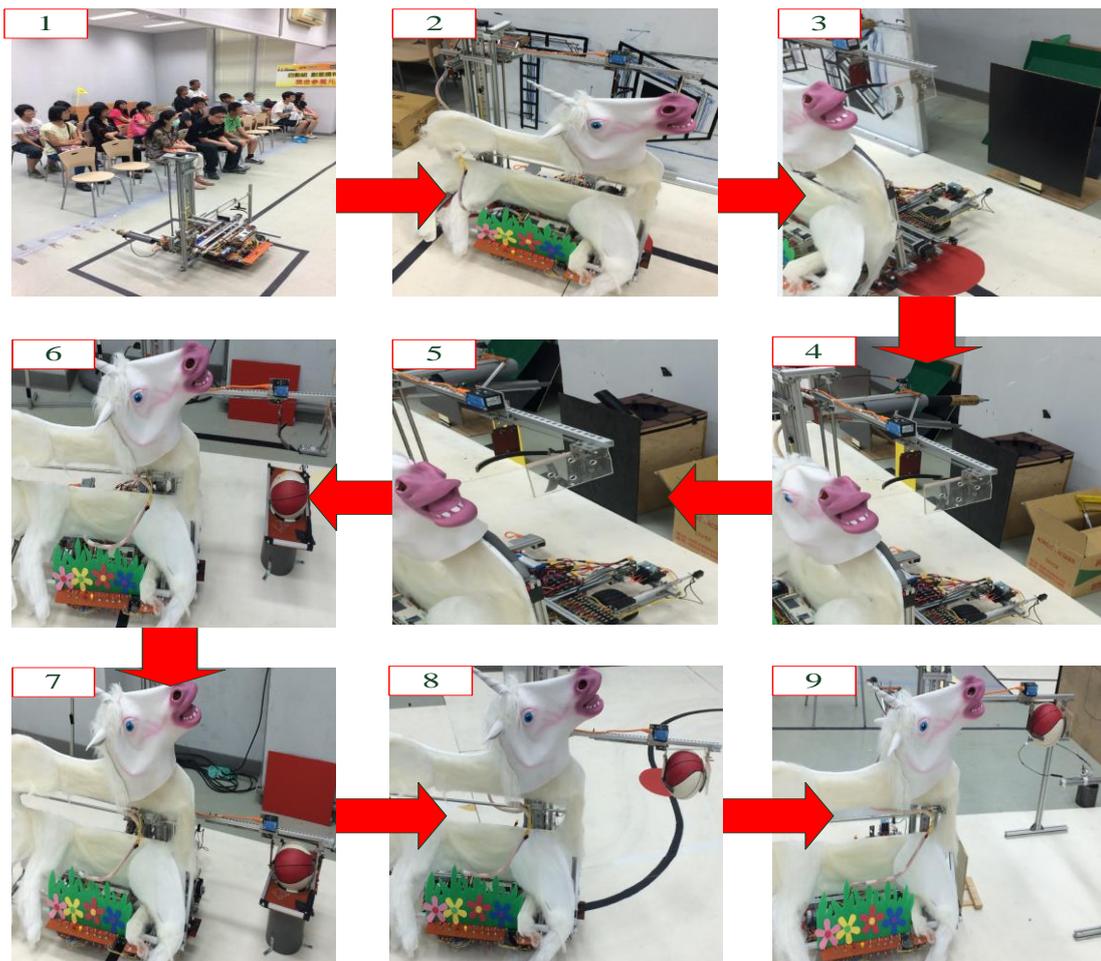


圖 20 為機器人於本校模擬競賽場地之測試情況

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、放筆定位、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，在這樣的一個團隊之下，學習每個人不同的專長，用最小資源轉化成最大效益。在遇到困難時，團隊都會想辦法幫忙解決，感覺我們這一個團隊甚麼難題都一定會去克服的！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，立強老師就像一棵百年不老的樹，讓我們學生盡情得去攀爬生長，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

為了能夠在寫字區精準定位，所以選用了步進馬達驅動導螺桿，來確保我們寫字行程及準確度，不過在開始使用卻也發現一些問題，最重要的一點就是它的規格無法改變。其他隊伍使用直流馬達，可以更換扭力大或是速度快的馬達，不過這種方式的壞處是較難精準定位，必須要再另外加裝感測器回授運動位置。所以我們必須在兩者之間要有取捨，一個是速度快但較難定位；一個是準確定位但是最大速度無法提升。這是一個實務經驗，讓我們知道以後如果要挑選材料或元件時，就要更加仔細地了解每種材料或元件的特性及適合使用狀態，這樣能減少嘗試錯誤次數及有效率地達到我們所要做的功能。

參考文獻

[1] 周立強、廖栢維、范力達、陳韋賓和林育如「機器人名：熊爸(霸)」，第十八屆全國大專院校創思設計與製作競賽機器人論文，2014。

[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] 周立強、曾錦祥和杜德美「參與機器人實作競賽的教學啟發一以第十五屆全國大專院校創思設計製作競賽為例」，生物機電工程學報，2015。

[7] A. Bemporad and M. Morari, "Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints," *Automatica*, vol. 35, pp. 407-427, March 1999.

[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.

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