

自動組：隊名：如魚

機器人名：得水

指導老師：周立強 老師

參賽同學：江帛倫、鄒承翰、韓行堯、張銘哲

國立宜蘭大學 生物機電工程學系

一、 機器人簡介

本機器人之載具是以無刷馬達作為動力輸出，底盤一共有六顆輪子(兩顆全向輪與四顆橡膠輪)，在平地行走時主要使用兩顆全向輪配合兩顆後輪驅動的橡膠輪；在減速坡上時則以線性致動器將底盤前方兩顆前輪驅動的橡膠輪降下，形成四輪驅動而原有兩顆全向輪將會被抬升。

上半部機構設計之動作包括三個軸向運動，分別為 Y、Z 及 Y 軸向旋轉。Y 軸向運動係由直線步進馬達傳動導螺桿及滑塊平台元件機構完成。Z 軸向運動則由車窗馬達傳動齒輪啮合齒條帶動滑塊平台完成 Z 軸方向上下移動。Y 軸向夾具的旋轉運動是由安裝在夾具正後方的一顆直流馬達傳動完成。在「冰箱區」、「茶水區」、「調配區」與「吧檯區」時，皆是以上述 Y、Z 及 Y 軸向旋轉運動完成所有關卡的功能，至於 X 軸向運動則是利用載具本體行進方向運動完成。本機器人使用光電、超音波、雷射測距之感測器及光編碼器作為循跡與物件定位(開冰箱、夾放水杯、倒水)判斷。而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。

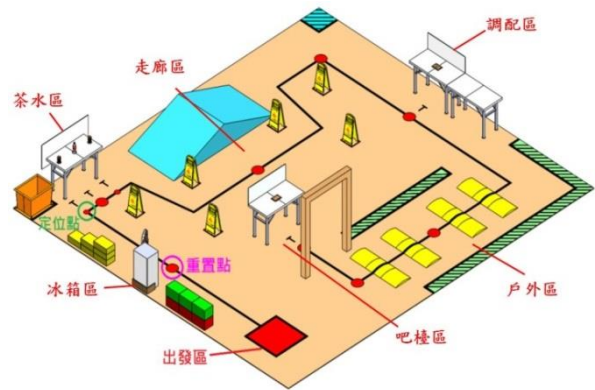
二、 設計概念

此次競賽主題為『水男孩-WaterBOT』，旨在設計製作一機器人於居家環境中提供取水與送水服務，以期望未來可因應台灣高齡化社會及少子化造成的人力短缺，並促進台灣居家照護機器人產業之發展。本次競賽中機器人必須以自主行動的方式來完成各關卡中的擬人化動作猶如送水服務生的角色。由此發想讓人聯想此次主題『水男孩-WaterBOT』當中需要夾取水杯、水瓶等裝(倒)水容器，顧名思義取名機器人為「得水」，而隊名便叫「如魚」。此次設計較為不同的是以往我們的設計構思皆以形體化來發想機器人的外觀

及設計方向；這次我們的設計則以「意象化」作為設計方向，因此機器人的外觀設計不是此次設計的重點，然而「如魚得水」原本寓意為得到跟自己十分投合的人或對自己很適合的環境，在此有更深的涵義：我們競賽團員(魚)，因為遇到老師(水)傳授我們知識、技術、方法、經驗，也由於老師的付出及指導，才能夠組成一個競賽團隊。

三、 競賽關卡得分策略

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 1 所示。



路徑	(1) 冰 箱 區	(2) 茶 水 區	(3) 走 廊 區	(4) 調 配 區	(5) 戶 外 區	(6) 吧 檯 區
功能動作要求						
循跡定位	★	★	★	★	★	★
夾具機構	★	★		★		★
開冰箱機構	★					
倒水機構		★				
底盤升降機構					★	

圖 1 場地分析與應對方案

四、機構設計及理念

(一) 機器人之三視圖重點解析

圖 2 為本機器人之等角視圖，圖 3 為本機器人之正視圖，機器人底盤 X 前方處裝置六支光電感測器結合布林邏輯演算作為精確的循跡判別；在底盤後左右輪各裝上一顆光編碼器使機器人在行走時能更精準的定位；在底盤左側裝置三支光電感測器分別用來判斷茶水區之倒水、夾水杯及轉彎前 T 字循跡線的定位；在 Y 軸向夾具機構裝設三支超音波感測器分別用來判定水瓶距離、水杯距離、方糖有無及倒水判斷；在機器人裝設六支雷射測距感測器，頭部左側(Y 軸向)裝設兩支作為機器人與桌子牆面間保持距離平行之判斷；頭部正面前側(X 軸向)裝置兩支雷射測距感測器，作為機器人與前方桌子牆面與間保定距離平行之判斷；在頭部 Z 軸向裝設二支雷射測

距感測器分別判斷(Z)軸機構上升高度以及判斷冰箱距離；在 Y 軸向夾具機構上裝置 1 顆光編碼器能迴授夾具機構旋轉時之倒水角度；在 Z 軸齒條兩旁利用空心鋼棒配合線性軸承作為導桿，使 Z 軸在移動時更加堅固精確。右側視圖的部分(圖 4)，底盤一共有六顆輪子(兩顆全向輪與四顆橡膠輪)，在平地行走時主要使用兩顆全向輪配合兩顆後輪驅動的橡膠輪；在減速坡上時則以線性致動器將底盤前方兩顆前輪驅動的橡膠輪降下，形成四輪驅動而原有兩顆全向輪將會被抬升，如(圖 5)。在俯視圖的部分(圖 6)，由於考慮到載具配重的問題，因此將重量較重的 Z 軸機構及 Y 軸機構配置在車體中間偏後方的位置，使得車體重心能夠落在動力輪上使動力輪較不易發生打滑的情況。

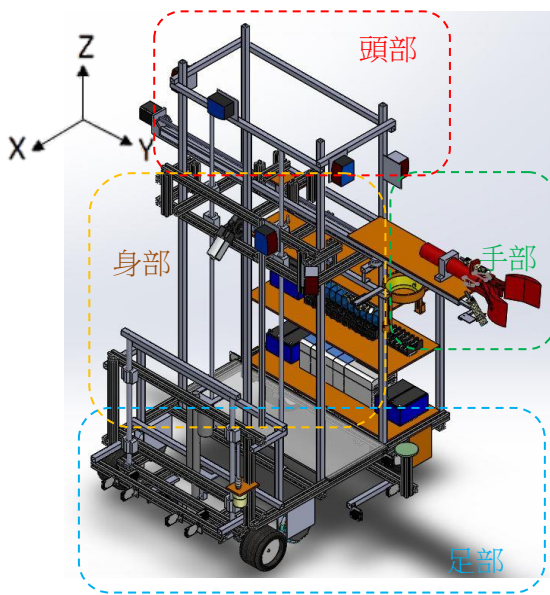


圖 2 等角視圖

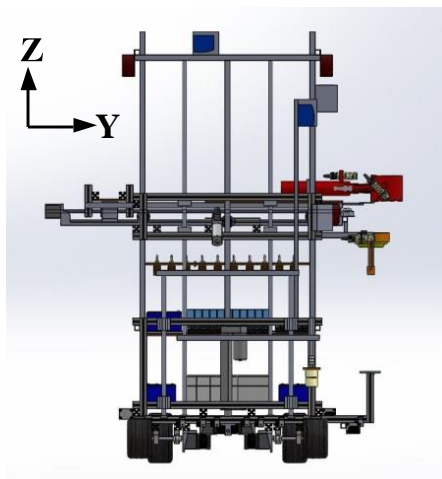


圖 3 正視圖

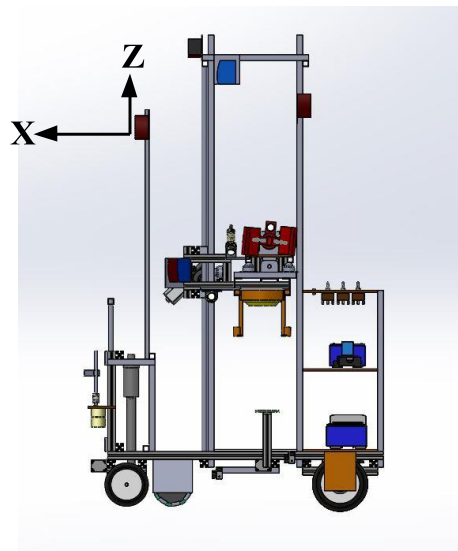


圖 4 右側視圖

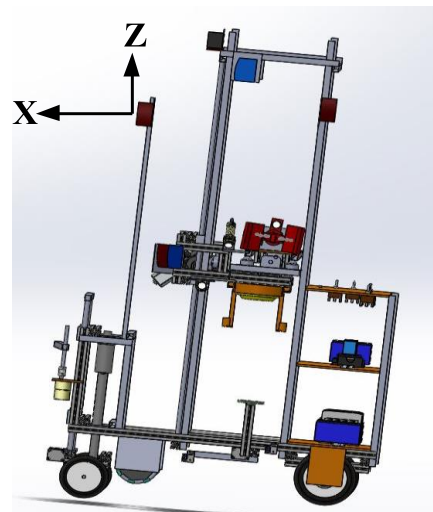


圖 5 右側視圖(底盤升起)

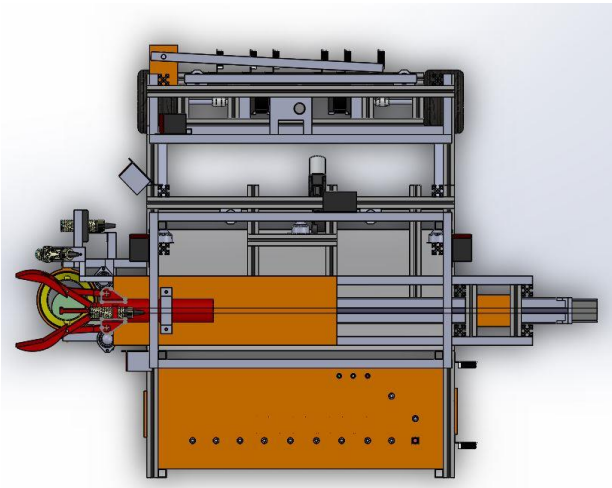


圖 6 俯視圖

(二) 機器人各功能機構介紹

1. 開冰箱機構

開冰箱動作是使用一顆直流馬達傳動一支長方口鋁管構成 Z 軸向往載具左側以 T 型逆時針旋轉動作，使長方口鋁管前端接觸至冰箱門後，由於長方口鋁管前端固著一磁鐵，此時馬達傳動長方口鋁管以順時針方向抽回，其產生之側向磁吸力會將冰箱門拉開(圖 7)。

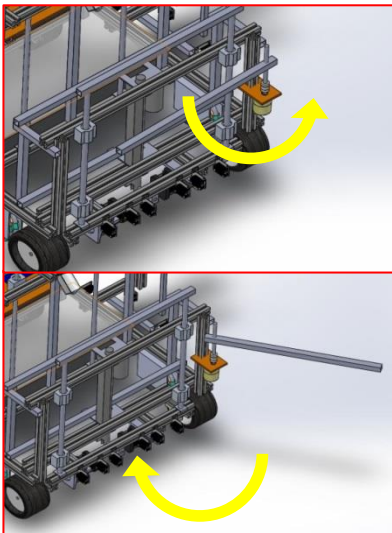


圖 7 開冰箱示意圖

2. 夾具機構、倒水機構(含擷取與脫離機制)

機器人上半部主要是可進行 Y-Z 軸向運動的夾具機構(含夾放水瓶之擷取與脫離機制)所組成(圖 8)，使機器人之夾具機構能夾取不同高度、距離之物品(水瓶，水杯及方糖)。夾具機構在 Y 軸向運動是利用步進馬達傳動導螺桿及滑塊平台，使夾具機構完成伸出及縮回的動作，而 Z 軸向運動則由車窗馬達傳動齒輪啮合齒條帶動滑塊平台完成 Z 軸方向上下移動。

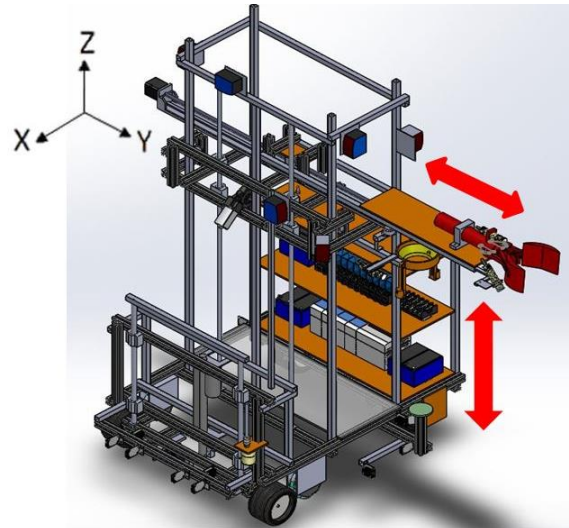


圖 8 機器人上半部主要是可進行 Y-Z 軸向運動的夾具機構(含夾放水瓶之擷取與脫離機制)所組成

圖 9 為夾具機構裝置以線性致動器的推伸及縮回運動傳動連桿，使夾具能張開閉闔完成「冰箱區」、「茶水區」、「調配區」、「吧檯區」之取物動作要求。

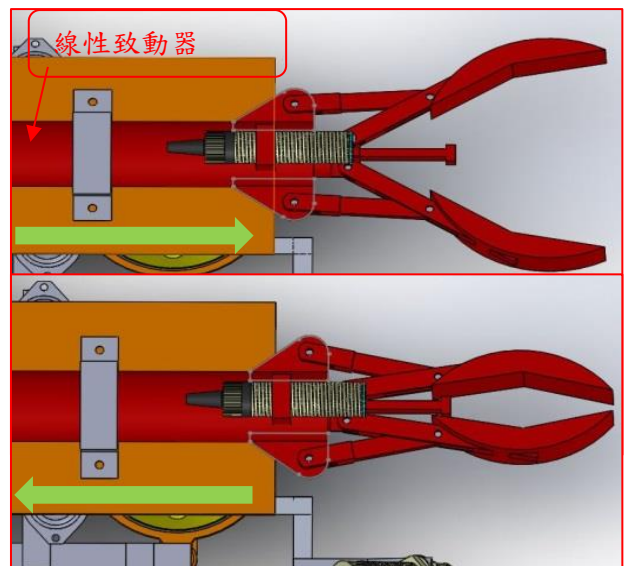


圖 9 夾具開闔分解動作

為了完成倒水功能，夾具機構必須旋轉至一定角度。因此將機構整體設計成圓柱形，並以滾珠軸承作為支撐，減少機構旋轉時產生的摩擦力。動力部則以直流馬達將整組機構做旋轉，完成倒水，如圖 10 所示。

3. 杯架機構(含擷取與脫離機制)

夾具機構的設計上是期望皆能以同一夾具機構完成所有夾取物品(水瓶，水杯及方糖)之動作，因此水杯必須放置至夾具以外的位置，才能夾取方糖。因此我們在夾具正

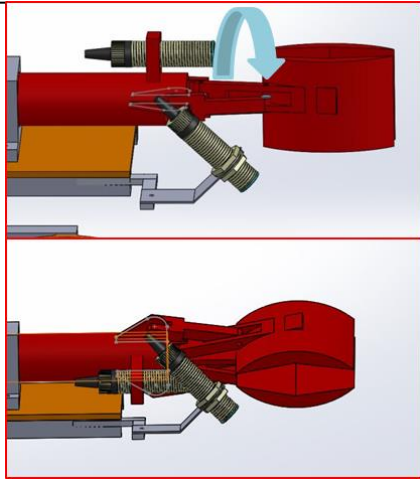


圖 10 夾具倒水示意圖

下方設置一杯架(圖 11)，讓機器人到達「茶水區」時，能將杯子放置於杯架上，當水杯落下與機器人行走時會造成水的溢出，因此杯架以阻尼器作為支撐，能有效減緩因震動造成水杯中水量溢灑的現象。同時杯架的設計也能使夾具在調配區時，更容易將方糖放入杯子中。最後在「吧檯區」的動作要求是將裝滿水及方糖的杯子置放於桌子的托盤上，因此機器人上半部 Y-Z 軸向運動的夾具機構會進行 Z 軸向下降運動，使在車體底盤左側設置之杯墊因夾具機構 Z 軸向之下降相對運動使然，使得杯架上的水杯相對推升至夾具面同一高度而再度夾起水杯放置於托盤上(圖 12)。

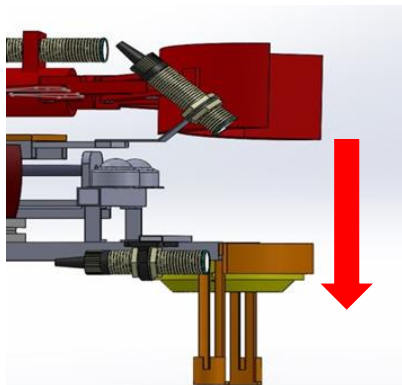


圖 11 夾具正下方設置一杯架使杯子(方糖)能自然落下

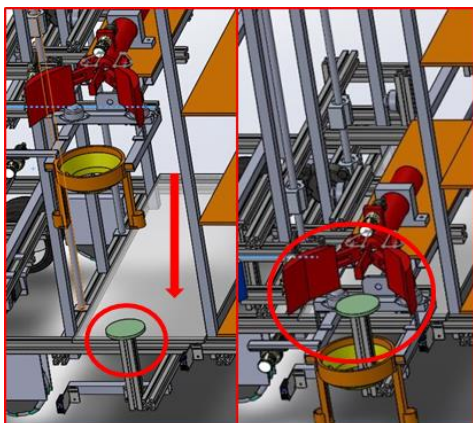


圖 12 夾取水杯分解動作

(三) 四部位機構動作行為與關卡之關聯

根據前述機構設計理念，我們將機器人以頭、手、身、足部四個部位與完成各關卡必要功能作闡述：

1. 頭部共有五支雷射測距感測器(圖 2、3、4)作為機器人在各區感測定位判斷之依據此猶如機器人的視覺判斷，而且頭部位置相較於其他位置的機構運動是不會干擾感測器的判斷，因此將機器人定位感測器安置在頭部是最好的選擇。

2. 手部機構

根據圖 2、8、9、10 及 12 的機器人形體，此夾具機構可視為模擬機器人手部機構，進行倒水、夾放水瓶、水杯及方糖所有動作。

3. 身部機構

由圖 2 所呈現的機器人身型，我們將 Y-Z 面二軸向運動機構(由車窗馬達、齒輪、齒條、空心鋼軸組成)當作機器人之身部機構，利用 Z 軸上下運動，使 Y 軸(由步進線性螺桿、線性滑塊、鋼軸組成)夾具能夠根據不同的動作要求來移動夾具的高度以及伸出的長度。

4. 足部機構

根據圖 3、4、13 可得知機器人底盤共有六個輪胎及四顆無刷馬達組成(包含四顆橡膠輪、兩顆全向輪、兩顆 30W 無刷馬達)，在平地行走時，皆使用兩輪傳動(後動力輪)，而前輪使用全向輪。在「戶外區」減速坡行駛時，會將底盤前方的線性致動器伸出成為四輪傳動(前後動力輪)。此時前輪會改為橡膠輪，利用橡膠輪的特性使得機器人在減速坡上行行走時會增加輪胎與地面的摩擦力，也能減少車體的震盪，另一方面四輪驅動可以增加車體的馬力，使機器人在過減速波時更加容易。

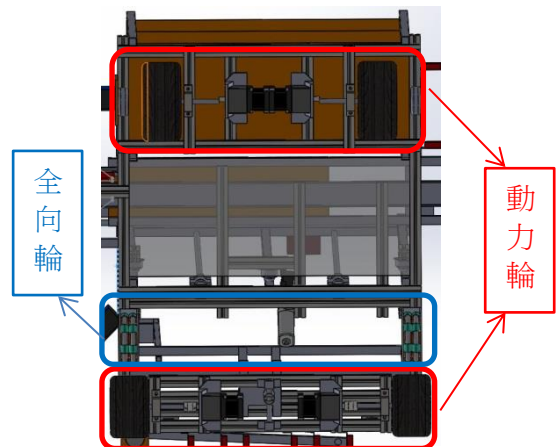


圖 13 底視圖

五、電控系統

本載具之控制系統架構(圖 14)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。控制器之機制作用由方程式(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 14 之 A)是可以由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 14 之 B 為自走載具感測單元包含光電感測器、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 14 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 15 所示。

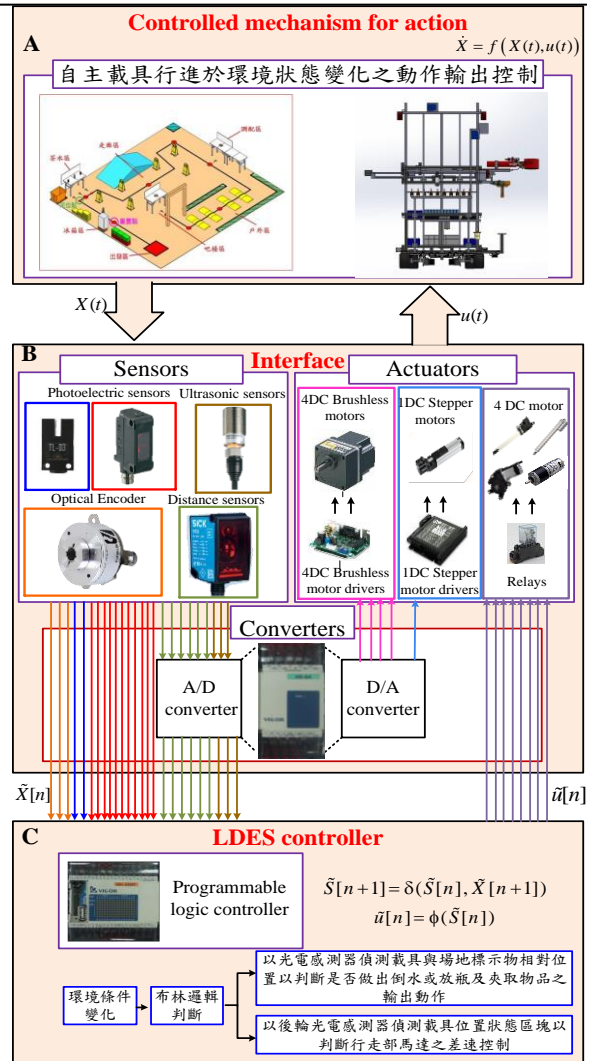


圖 14 控制系統架構

六、機器人成品

(一) 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。

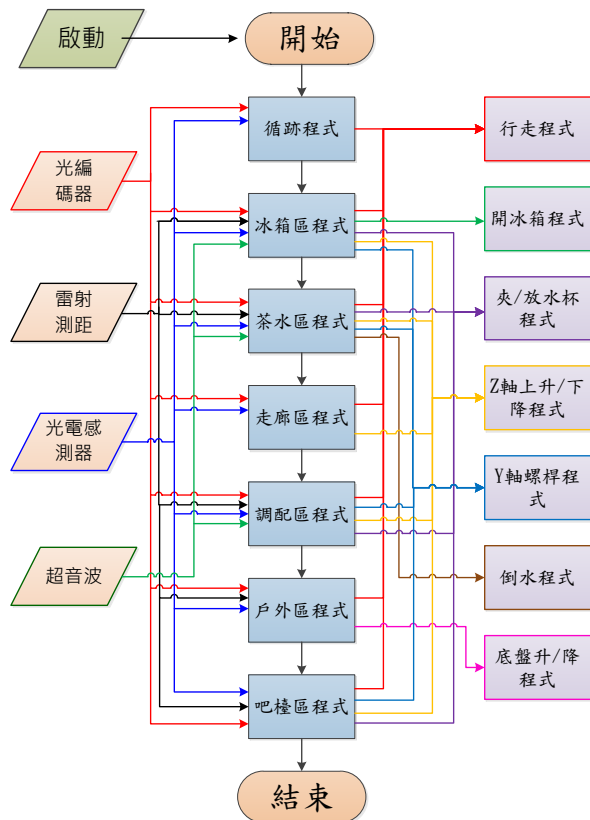


圖 15 整體程式流程

1. 冰箱區

從出發區進入冰箱區時，機器人會先以雷射測距感測器判斷是否到達冰箱前的依據，再利用開冰箱機構完成開啟冰箱門的動作，接著利用超音波感測器偵測水瓶，偵測到水瓶後會利用(Y 軸)步進螺桿將夾具推出，使夾具機構夾起水瓶後便將螺桿收回完成冰箱區的功能需求。

2. 茶水區

在冰箱區動作完成後前往茶水區，機器人先利用底盤左邊的光電感測器來定位機器人的位置。接著機器人會先利用車體左方兩支雷射測距進行平行校正並計算水杯的位置，使牆面與載具平行，且將螺桿伸出至定點，再利用夾具前端及右後方的超音波感測器來判斷水杯的有無以及水杯的距離(圖 16)。當有水杯時機器人便會開啟倒水程式，並利用光編碼感測器計算倒水時夾具所旋轉的角度完成倒水功能。若無水杯，則機器人會前往下一杯的位置。當機器人完成倒水後，利用程式內部的邏輯判斷，機器人會將水瓶放置指定位置上。接著前往離機器人最近的水杯後，利用夾具上方的超音波感測器感測水瓶的距離，接著機器人會伸出夾具將水杯取走後放置在載具上的杯架以完成此區的動作(圖 17)。

3. 走廊區

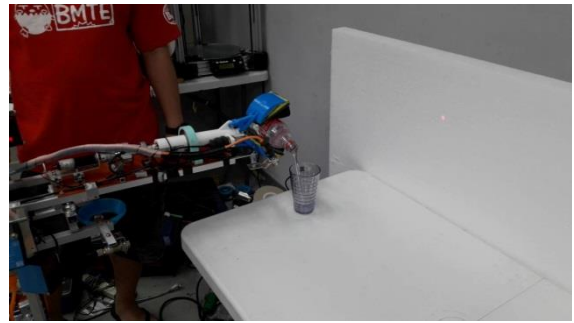


圖 16 利用超音波判斷水杯有無及距離

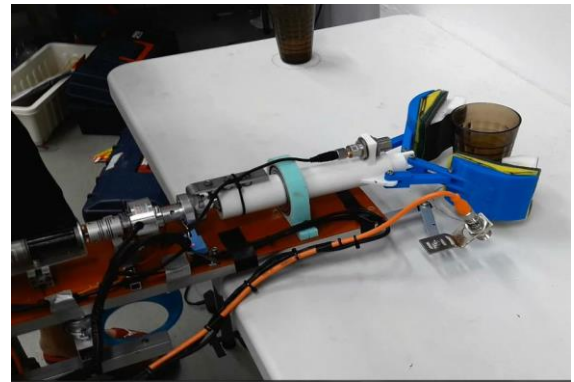


圖 17 利用夾具上方超音波判斷水杯距離

茶水區動作完成後，機器人仍以循跡方式前進至走廊區，走廊區共有兩個銳角彎及鈍角彎。機器人會利用底盤後輪的光電感測器判斷左彎及右彎動作，並利用光編碼器作為載具轉彎時速度的控制及保護使機器人完成走廊區的功能需求。

4. 調配區

到達調配區後，機器人會先將螺桿伸出並利用底盤左邊的光電感測器來判斷地上標記，再利用夾具前端的超音波感測器判斷方糖的位置。接著機器人之夾具會由 Z 軸向機構運動，使夾具下降至托盤上夾起方糖完成調配區動作需求。

5. 戶外區

機器人在到達戶外區後，會將底盤的線性致動器下降使底盤的橡膠輪接觸地面，原前輪之全向輪離開地面。接著載具會以四輪驅動方式使其迅速通過減速墊完成通過此區。

6. 吧檯區

當機器人到達吧檯區後，會以頭部前方兩支雷射測距感測器作為機器人與前方牆面導引的判斷。當距離到達程式所設定的閾值時，機器人會 90 度轉彎。當轉彎完成後，機器人底盤左方的光電感測器會定位地上標記物。接著會以頭部左方兩支雷射測距感測器來校正車體偏態，使載具能平行於桌子後方牆面並計算托盤的距離。當上述動作完成後，機器人之夾具會由 Z 軸向機構運動，使夾具下降至托盤上方後張開放下水杯完成動作。

(二) 關卡得分特色(達陣設計)

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。

圖 18 為機器人於競賽場地情況，從圖 15.1 至圖 15.9 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)、開冰箱(2)、夾取水瓶(3)、茶水區倒水(4)、茶水區夾水杯(5)、走廊區(6)、調配區取方糖(7)、戶外區通過減速墊(8)、機器人達陣並完成放水杯動作(9)。

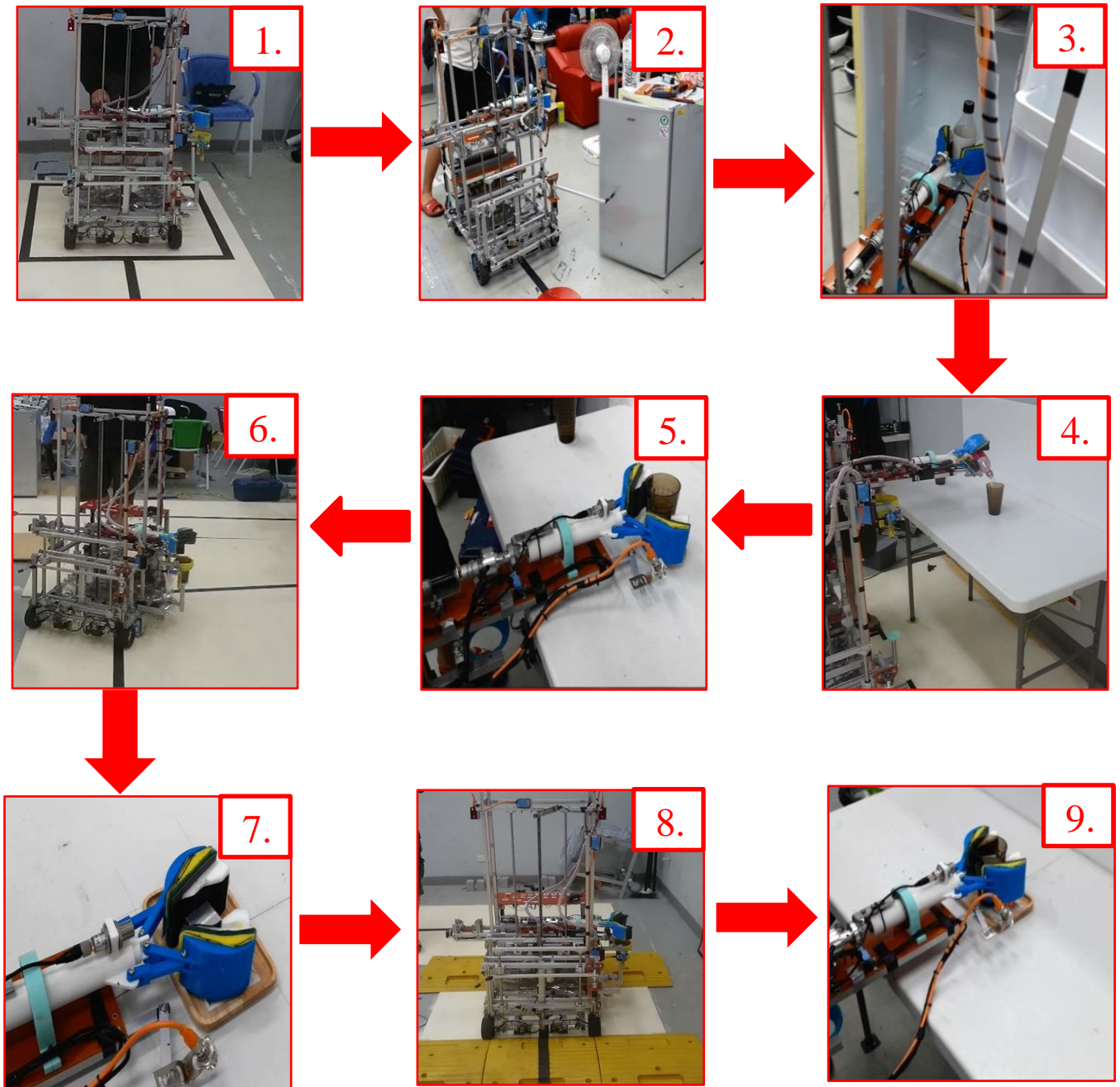
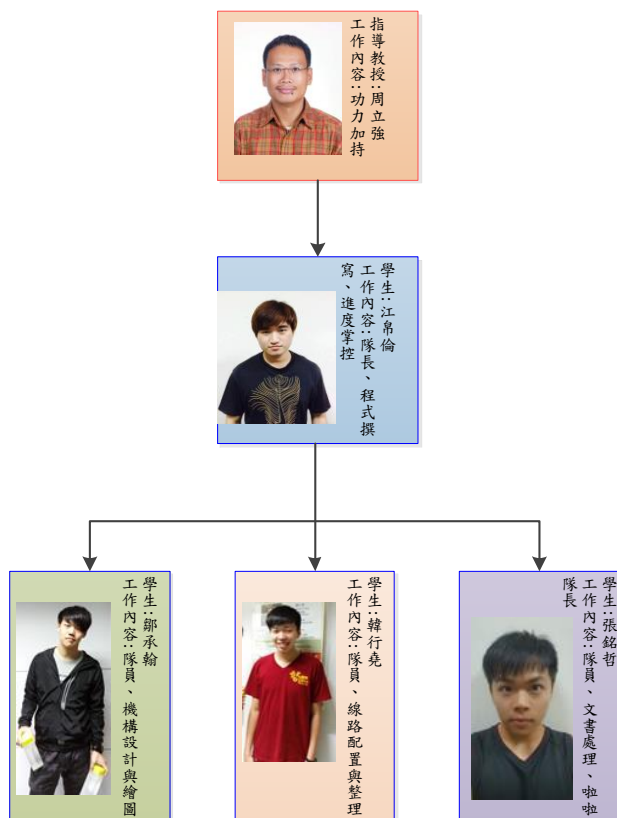


圖 18 機器人在本校競賽之模擬場地測試情況

七、團隊合作的說明

比賽在轉眼間就結束了，半年的過程中曾經遇過許多挫折以及問題，甚至一度覺得快要進行不下去了，但如今也都轉化成人生中重要的一次經驗，也使自己及團隊增加解決問題的能力。在準備競賽的過程中，我們深刻的體驗到老師平常的耳提面命以及在課堂上老師所傳授的技術及經驗都使我們能應用在競賽中，也感受到藉由競賽可以將理論與實作結合，而在團隊當中每一個人都是重要的一員且缺一不可，團隊中少了任何一人便無法進行下去，而老師在我們當中總是扮演著技術顧問的角色，每當我們遇到困難、絞盡腦汁都無法解決問題的時候，這時老師都會跳出來指點我們，每一次都令我恍然大悟，也使我們的團隊能夠繼續經營下去並且走到最後。

因此我們要感謝指導老師周立強老師，因為有他，讓我們依靠，使我們能夠肆無忌憚地向前，並且勇於面對任何的困難，也感謝 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，建立這麼好的平台讓全國的大專生能夠一同較勁並且成長。



八、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。
- [5] 周立強、曾錦祥和杜德美「參與機器人實作競賽的教學啟發—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。
- [6] A. Bemporad and M. Morari, "Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints," Automatica, vol. 35, pp. 407-427, March 1999.
- [7] 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.

九、附錄

此次為了能夠在茶水區精準定位，所以選用了步進馬達驅動導螺桿，來確保我們 Y 軸行程及準確度，不過缺點是速度比一般直流馬達慢，導致在需要夾具伸出或收入的區塊速度會比其他隊伍來得慢一些，但好處是比其他隊伍更佳的精準，也能拿到較高的分數。在這次競賽中，我們的機器人最大的缺點就是重量的問題，雖然此次競賽並不限制重量但機器人過重會影響到行走的速度，為了提升速度必須換更大扭力的馬達，則這次選用 30W 的無刷馬達(較大顆)卻又使得機器人更加沉重，因此選材料或元件時，除了要考慮機器人的強度，另一方面也要考慮將機器人盡量達到輕量化，也可以有效的減少消耗的電力，在搬運方面也較容易。