

自動組：隊名：大力水手

機器人名：卜派

指導老師：周立強 老師

參賽同學：陳盛騰、彭信捷、王有岑、陳冠羽

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，底盤部分採用後輪驅動並在機器人前方裝置兩隻全向輪以保持車體平衡，故以此四輪構造底盤作本機器人之行走部。

機構設計之動作為 Y-Z 二軸向運動，包含 Z 軸向運動的齒條及滑塊平台元件與 Y 軸向運動之導螺桿及滑塊平台元件，帶動機器人左側夾具作 Z、Y 軸運動，X 軸向運動則是利用車體移動完成。在「冰箱區」、「茶水區」、「調配區」與「吧檯區」時，皆是以上述 Y-Z 軸向運動之導螺桿帶動滑塊元件與齒條及滑塊平台搭配夾取機構完成所有取放物件的功能，達到一機多用的效果，能有效減少控制上的複雜度與降低成本。進入「茶水區」進行倒水時，以夾具後方有刷馬達帶動夾取機構做旋轉之倒水動作。在感測器控制方面，本機器人使用光電、超音波、雷射測距之感測器及光編碼器作為循跡與物件之定位(包含取水瓶、倒水、放置水瓶、水杯及夾取方糖)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

本屆競賽主題為「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，結合取水瓶及倒水動作機器人之概念，強調機器人在行動上的準確性及動作完成度之能力，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。此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。由此發想讓人聯想到過去澎湖缺水乾旱時是由中華民國海軍以軍艦自台灣本島運水至澎湖的事蹟，我們藉由討論及構思後選擇了最具代表性的卡通人物「大力水手-卜派」作為此次機器人主題並象徵能夠代表團隊勇往直前的精神以及不畏困境的態度。在機器人製作之機構及外觀設計方面，將設計為卜派手上提著菸斗，以左手抓取水瓶、水杯及方糖；右手開冰箱門的模樣，以模擬人動作作為設計基礎，完成本次競賽的所有動作要求，如圖 1。

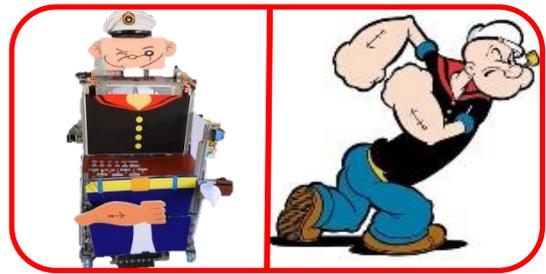


圖 1 卜派與機器人之實際本體

三、競賽或關卡得分策略

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。

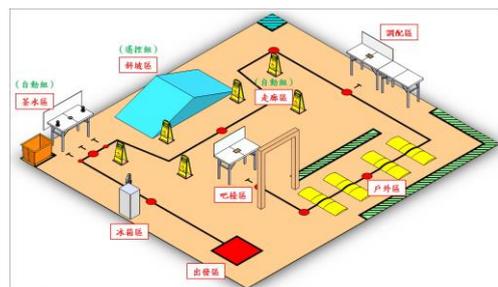


圖 2 競賽場地對應要求之動作分析

表 1 動作分析

路徑	(1) 冰箱區	(2) 茶水區	(3) 走廊區	(4) 調配區	(5) 戶外區	(6) 吧台區
功能要求						
循跡定位 x 軸向	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Z、Y 軸向運動	✓	✓		✓		✓
倒水運動		✓				

四、機構設計及理念

(一) 機器三視圖重點解析

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兩支光電感測器，作為循跡直角轉彎處判斷與放水瓶前 T 字循跡線的定位；機器人頭部左側(Y)前後端各裝設一支雷射測距感測器，作為機器人本體與桌子架設之白色板保持定距平行判斷；位於

頭及身部

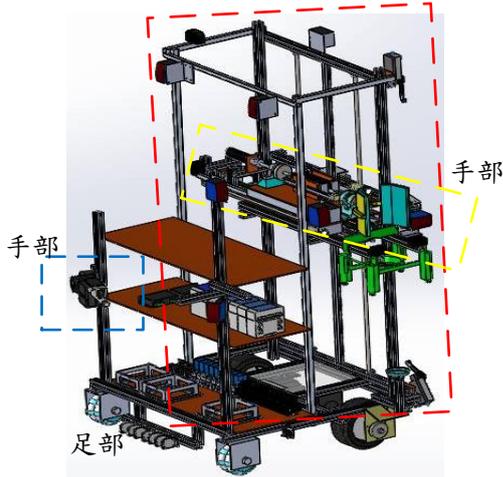


圖 3 等角視圖

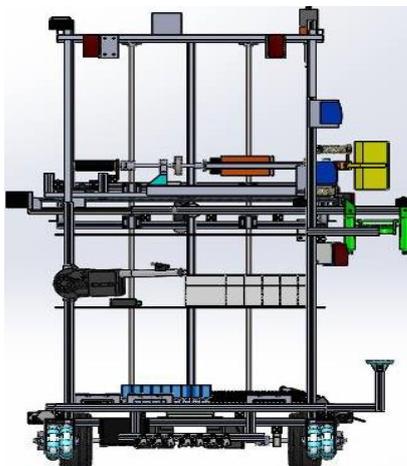


圖 4 正視圖

頭部頂端 X 左右處各裝置一支雷射測距感測器，作為機器人本體與白色版的相對位置感測。夾取機構的上方(Y)裝置一只超音波感測器，作為夾具與水瓶之相對距離判斷；倒水時則需利用位於夾具右側之超音波感測器偵測水杯存在有無並作為夾具與水杯相對距離之依據；正視圖(圖 4)機器人中央加裝車窗馬達作為開冰箱門機構；左側視圖的部分(圖 5)在夾取機構(Y、Z)右方分別裝置兩支雷射測距感測器，其中 Z 軸向作為判斷夾具與桌面高度距離判斷；Y 軸向則作為放置水瓶時夾具與白板之距離判斷，確保放置位置不超過指定範圍。當夾具機構進行 Z 軸向運動時，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 軸向齒輪後側裝置一顆萬向滾珠半嵌入於齒條後側支架凹槽內，形成滑動導槽作用，並增加 Y-Z 機構動作時之穩定性(圖 3 及 6)。

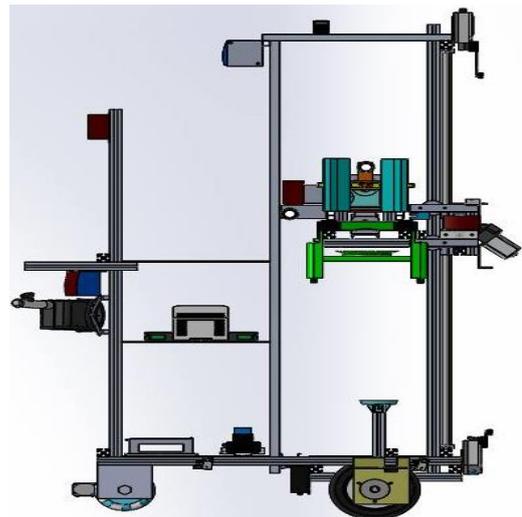


圖 5 左側視圖

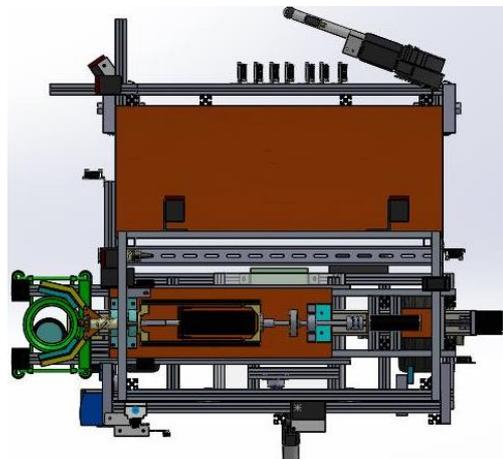


圖 6 俯視圖

(二) 機器人各功能機構介紹

1. 開冰箱門機構

為了能在機器人進入冰箱門旋轉範圍前完成開門動作，在機構設計上，在載具右側安裝具有磁鐵之車用天線馬達，使其向載具左前方伸出，直到完全接觸冰箱門後收回，其產生之側向磁吸力會將冰箱門拉開(圖 7)。

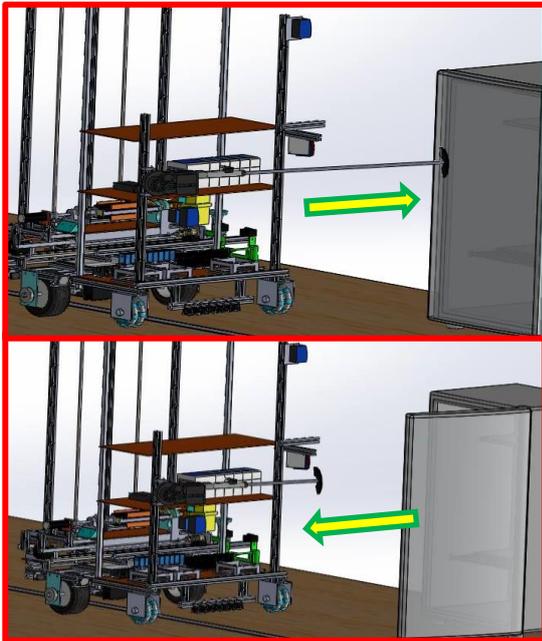


圖 7 利用吸鐵與天線將門拉開

2. 取物、倒水機構(含擷取與脫離機制)

在 Y-Z 面設計二軸運動夾取機構，以步進馬達傳動導螺桿及滑塊平台(Y 軸)與齒條及滑塊平台元件(Z 軸)完成動作(圖 8、9)。

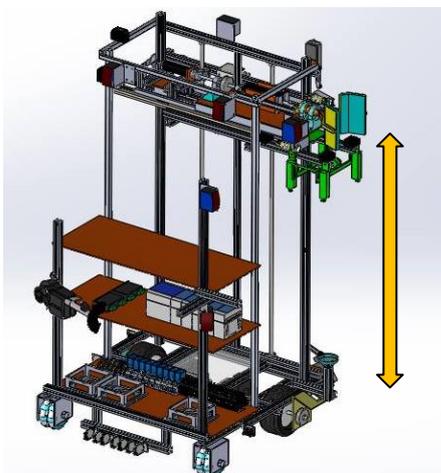


圖 8 Y-Z 軸向運動的導螺桿及滑塊平台之 Z 軸向動作

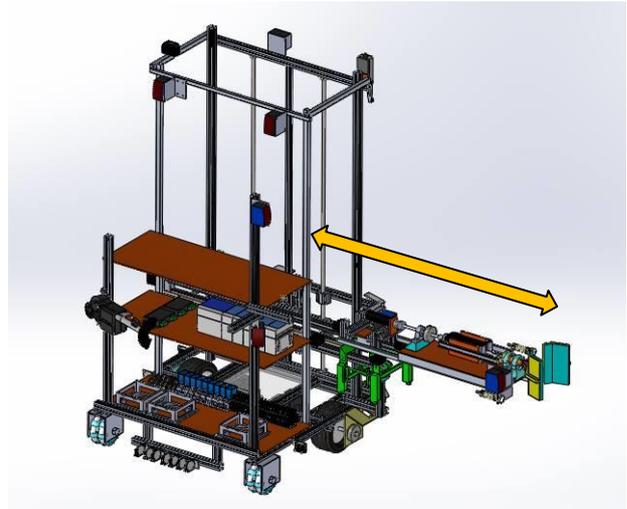


圖 9 Y-Z 軸向運動的齒條及滑塊平台之 Y 軸向動作

夾取物品(水瓶、水杯與方糖)時，夾具面必須做張開閉闔的動作，本製作利用直線步進馬達以連桿的方式將直線運動轉換為轉動，因而做到夾具面開闔的功能。

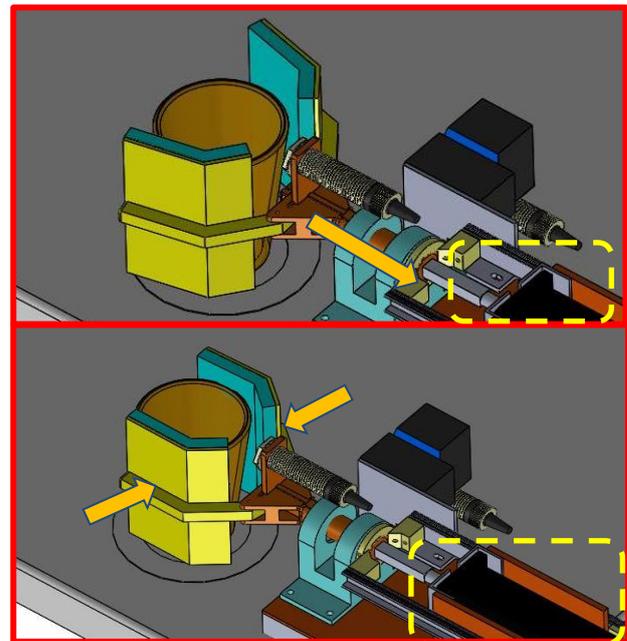


圖 10 線性步進馬達(圖中黃色方框處)利用連桿帶動夾具面夾取物品(以夾水杯示意)

為了能將水倒出，夾取機構必須旋轉至一定角度。因此本製作將機構整體設計成圓柱形，並以滾珠軸承作為支撐，減少作動時產生的摩擦力。動力部則以直流馬達將整組機構做旋轉，完成倒水。

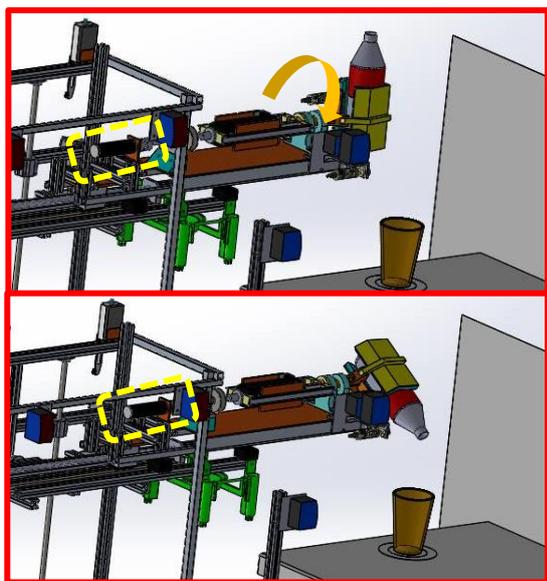


圖 11 利用後方直流馬達(黃色方框處)帶動整組夾取機構做旋轉倒水動作

3. 杯架機構(含擷取與脫離機制)

夾取機構的設計上是期望皆能以同一夾取機構完成所有夾取物品之動作，因此水杯必須放置至夾具以外的位置，才能夾取方糖。本製作裝置水杯杯架以自然重力使水杯安置在杯架中，再執行夾取方糖，以達到一機多用的功能。當水杯落下與機器人行走時會造成水溢出，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。

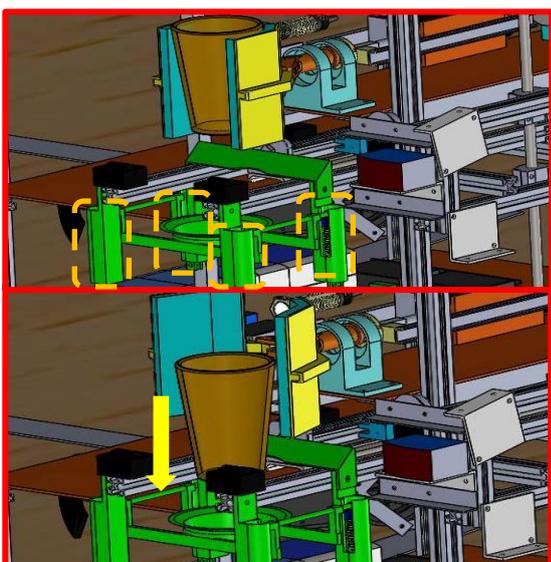


圖 12 水杯因重力掉落至杯架內，杯架外側以四支阻尼器(橘色方框處)達到吸收衝擊的效果

當夾取完方糖後，夾取機構收回至原點後即放開方糖，方糖即以自然重力落下掉入水杯。為了防止水杯再次溢灑，因此在杯架上方加裝導板，減緩方糖落入水杯中衝量。

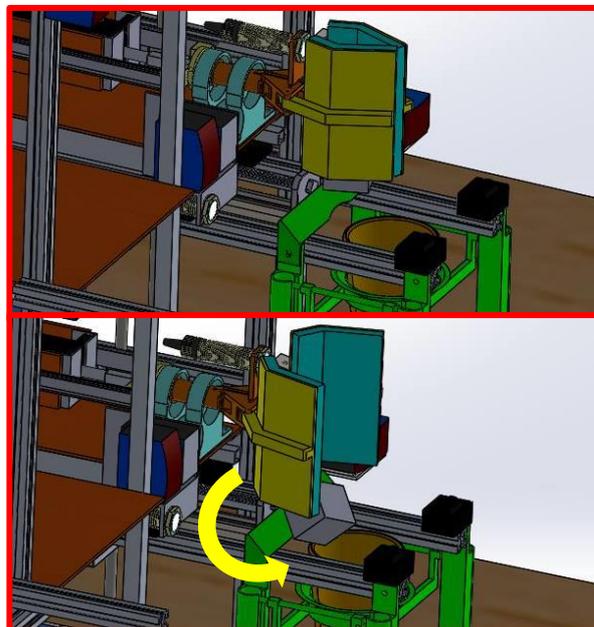


圖 13 利用導板減少方糖進入水杯時的衝量

抵達吧檯區時，必須將水杯放置於指定位置。而此時水杯依然在杯架之中，為了將水杯重新取回夾取機構中，本製作在機器人底盤裝置一向上突出之小型杯架，當夾取機構降至最底部時，小型杯架會將水杯推出至夾取面中心，使水杯回歸至夾取機構中，再藉由 Y-Z 二軸運動將水杯放置至托盤中(圖 14)，完成所有動作。

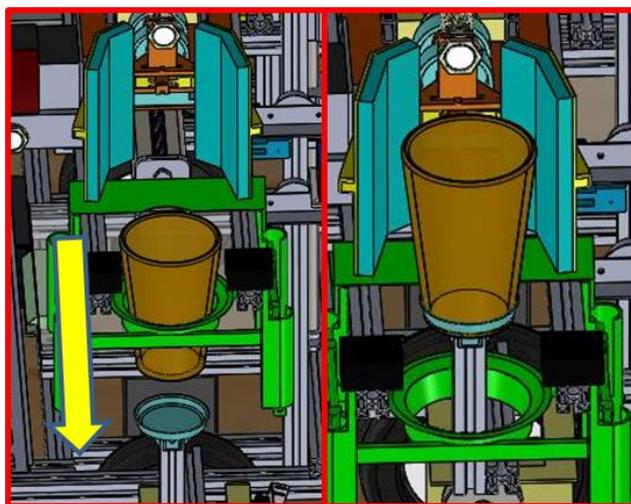


圖 14 利用 Z 軸向運動機構搭配小型杯架將水杯推出

(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，我們將機器人以手、頭、身及足部四個部位與完成各關卡必要功能作闡述：

1. 手部機構

對照圖 3 所呈現的機器人形體，我們將開門機構(由汽車天線馬達前端加上強力吸鐵)做為右手部機構(圖 3 及 7)，模仿人類從右側單手開啟冰箱門，完成冰箱區關卡動作。而夾取機構(由直線步進馬達結合連桿帶動夾取面組成，見圖 3、10、11、12 及 13)模擬為機器人之左手部機構，模仿人類行為完成取水瓶、水杯與方糖等動作。

2. 頭及身部機構

由圖 3 所呈現的在機器人身型，我們將 Y-Z 面二軸向運動機構(Y 軸由進馬達搭配導螺桿及滑塊平台帶動、Z 軸由直流馬達搭配齒條、線性滑塊、鋼軸組成)當作機器人之頭及身部機構，此頭及身部機構如同人類身體對左手部在冰箱區、茶水區、調配區與吧檯區(夾取機構)，使得該部位得以完成各區指定動作功能(圖 8 及 9)。

3. 足部機構

本製作將機器人底盤(由膠輪、無刷馬達與馬達驅動器組成)作為機器人之足部機構(圖 3)，如同車子的輪胎進行移動，當機器人行進至各功能區時，機器人底盤加入眼睛的功能會感測地上標記或地上物執行定位動作。

五、電控系統

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 15 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

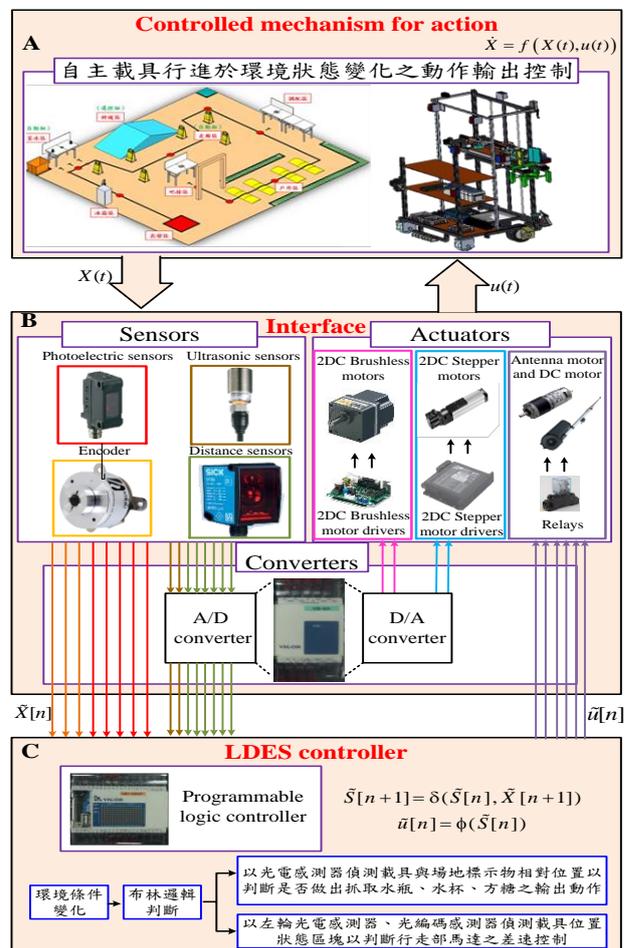


圖 15 控制系統架構

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 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。

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，此次場地主要分為六大區塊，分別為冰箱區、茶水區、走廊區、調配區、戶外區及吧檯區。

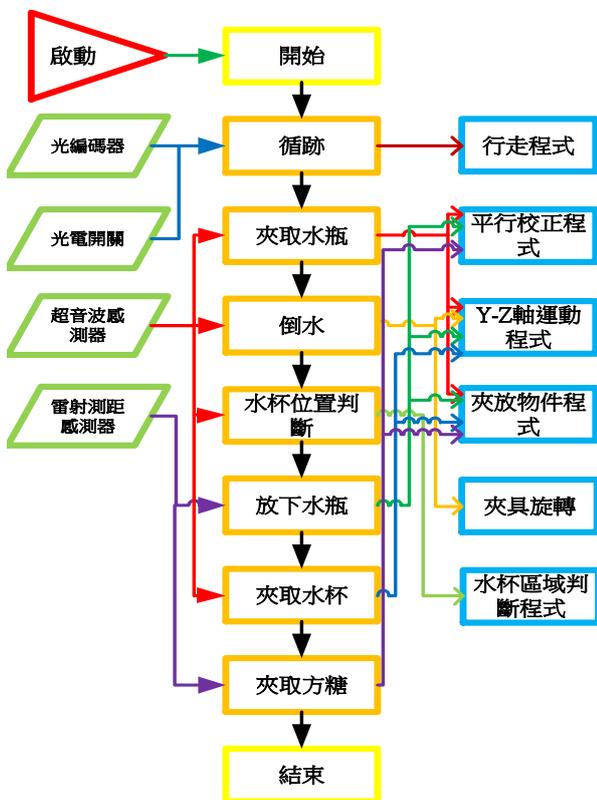


圖 16 整體程式流程

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。

1. 冰箱區

當進入冰箱區時，機器人位於左前方的雷射測距感測器偵測到機器人與冰箱距離到達目標值時，會將天線伸出，並以天線前端吸鐵吸住冰箱門後收回天線。拉開冰箱門後，機器人以較慢速度繼續向前進，利用左側手臂上超音波感測器偵測冰箱內水瓶，並做距離迴授控制伸出夾取機構至適當位置，使夾具能完全包覆水瓶，避免水瓶脫落。

2. 茶水區

取水瓶結束後，機器人前行至茶水區。當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後退，以確定機器人在茶水區 T 型地上標記前，此為第一層定位。接著機器人持續前進直到底盤左側光電偵測到 T 型地上標記，確定機器人左側兩隻雷射測距感測器進入白色版範圍內，再利用上述兩支雷射測距感測器判斷載具偏向角狀態，設定其偏向角容許閾值為 $\pm 3^\circ$ ，以雷射測距感測器量測與白色版相對距離，以偵測值 $D_{L-front}$ 與 D_{L-back} 之關係推斷出機器人偏向角 θ ，

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

$$\tan \theta \cdot L = D_{L-front} - D_{L-back} \quad (2)$$

L 為兩支雷射測距感測器安裝距離。當偏角度超過 $\pm 3^\circ$ 時，藉由左右輪正反轉，將載具調整至偏角度在 $\pm 3^\circ$ 以內近乎平行。校正完成後，機器人將夾具高度降至水杯上方，再以超音波感測偵測水杯存在與否並配合 Y-Z 軸向機構運動，由夾取機構後方之直流馬達帶動夾取機構旋轉進行倒水動作，而倒水角度是利用光編碼器做角度迴授控制。放水瓶的方式則以地上標記做 X 軸向定位，再利用手臂上兩只雷射測距感測器分別做 Y 與 Z 軸定位，達到三維座標定位效果，將空水瓶放入規定範圍內。取水杯與取水瓶偵測方式相同，皆以超音波做偵測物件有無及迴授距離，再將水杯收至杯架內。

3. 走廊區

在走廊區中，機器人必須循梯型路線繞過障礙物。若是基本的 90 度轉向程式行進則會因載具過長而導致碰觸障礙物，因此在底盤左側中央處加裝光電感測器使載具能夠提前做差速轉向調整，利用內外輪與行走軌跡的距離比做為速度的比例，使得機器人轉向完成後車體位置能對準循跡線，使得機器人行進更穩定，行進速度也得以提升。

4. 調配區

走廊區結束後，機器人會以左輪之光電感測器偵測地面 T 型地上標記，接著利用夾取機構右側 Y 軸向之雷射測距感測器做伸出量控制，再以 Z 軸向之雷射測距感測器作為夾取機構與桌面相對距離做迴授控制，避免夾取機構下降高度不夠而無法夾取方糖，亦或是下降過低而造成機構損壞。

5. 戶外區

取方糖動作完成後，機器人會進入戶外區，並越過減速墊，除設計具阻尼器之杯架以減少車體震動所導致杯內水之溢灑現象，載具也會降低行進速度避免過度震盪，直至離開戶外區進入平地為止。

6. 吧檯區

進入吧檯區後，機器人會先以正面兩只雷射測距感測器做定位以及平行校正之依據，再做 90 度轉向。完成動作後相同於放置水瓶方式，利用光電與雷射感測器做三維定位控制，確保水杯能夠放入指定托盤內。

(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(冰箱、水瓶、白色板及水杯)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 17 為機器人於實驗室模擬場地情況，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、行走至冰箱區關卡開始 (1)取冰箱中水瓶(2)、倒水至水杯內(3)、放置水瓶至指定圓圈內(4)、取走水杯(5)、閃避障礙物(6)、取方糖後置入水杯內(7)、越過減速墊(8)、機器人達陣並完成放水杯動作(9)。

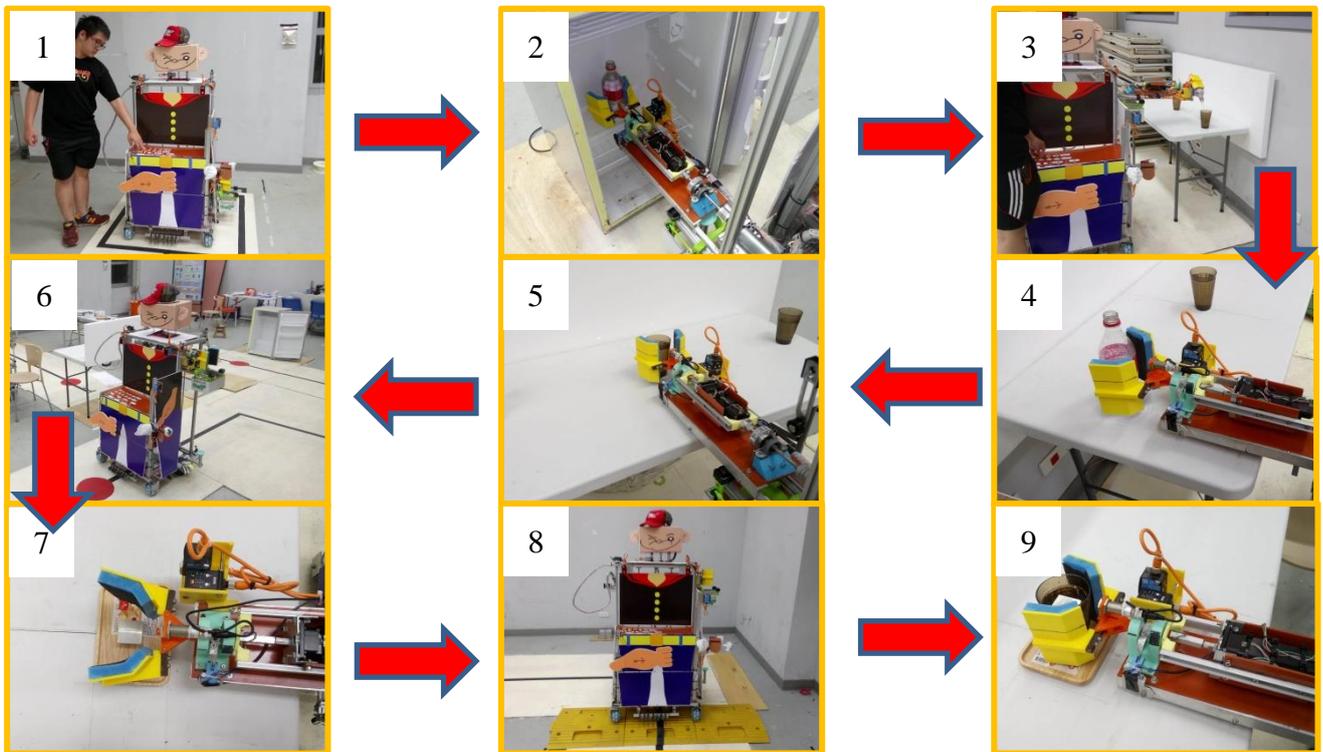


圖 17 機器人於競賽場地情況

七、團隊合作的說明

這是我們第二次參加 TDK 競賽，團隊的成員也和上次沒有太多的差異，上次參加時我們是第二隊，只需要對自己團隊負責。但在這次成為第一隊，需要控管的範圍又增加了許多，先前只需要與學長做配合就可以了，時間和事務可以全權交與學長和老師，一旦自己必須承擔這些事情時，才深深感受到自身能力的不足，而在其中的一些「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，使我們盡情得去發揮茁壯，而留下的印記，將會是未來的美好回憶。



指導老師: 周立強 教授

工作內容: 提供建議與資源、大局掌控
精神指標等



參賽學生: 陳盛騰

工作內容: 隊長、程式策略、進度掌控



參賽學生: 彭信捷

工作內容: 線路配置、電腦繪圖及文書
處理



參賽學生: 王有岑

工作內容: 機構硬體設計與製作



參賽學生: 陳冠羽

工作內容: 輔助文書處理、線路配置與
機構安裝

團隊角色及分工圖

八、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] 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.
- [8] D. Franke, "A linear state space approach to a class of discrete-event systems," *Math. Comput. Simulat.*, vol. 39, pp. 499-503, Nov. 1995.

附錄

一、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。機構伸出部份則使用步進馬達驅動導螺桿，既方便安裝其伸出量與速度的穩定性也十分高。夾取機構夾具面使用 PLA 材質，承受應力較大部分使用金屬製作，可以有效減輕重量使機構伸出時懸臂下垂的現象減輕。