

遙控組：隊名：蟹堡王

機器人名：Fiddler crab

指導老師：蔡孟利

參賽同學：游少瑋、方嘉慶、蘇子倫、蔣明達

國立宜蘭大學 生物機電工程學系

一、機器人簡介

我們設計的機器人在機構上主要分為移動載具、前後平衡裝置、以及因應不同情況的三種爪具，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加裝兩顆全方位轉動輪，以保持車體平衡，以四輪之底盤作為本機器人之行走部。前後的平衡設置一個線性致動器收縮全方位轉動輪，以幫助機器人調整重心。機構主要分為開冰箱爪具為固定式夾具，外型是模仿招潮蟹之小螯，夾具本身不具有動力，而是透過車體旋轉來達成目標動作；大公杯爪具為三軸旋轉爪具，外型是模仿招潮蟹之大螯，可做 Z 軸上下、Y 軸伸縮、Y 軸旋轉，X 軸定位由機器人車體控制；小水杯爪具為一圓盤，外型是模仿螃蟹的背殼，具有 Y 軸伸縮、Z 軸旋轉和十個杯子或獨立或組合的夾取功能。三種機構的組合的設計可以達到所有的要求功能，並加速完成所有關卡的時間。在於感測器方面，本機器人由於有操控者進行定位等，所以使用一些極限開關防止馬達運作時超過移動範圍造成馬達電流輸出太大的感測開關做為限制。本機器人之控制核心為可程式控制器 (PLC) 之內部程式運算，在輸出數位或類比訊號至各外部驅動板、馬達或致動器進行控制。

二、設計概念

以第 20 屆 TDK 做為目標場地，此次的競賽的主題為「水男孩—WaterBOT」，目標是能在居家環境中提供取水與送水服務，需要能夠做到遙控完成所有關卡。在關卡中重點在於各關卡的定位之準確性和機體的穩定性，由於目標水杯的夾取需要高穩定性和高精確度，而斜坡和緩速坡需要底盤十分的穩定，才能有效的減少定位時間和增加分數。我

們的靈感是由於水中的霸主「螃蟹」作為機器人的設計目標。希望在競賽中可以「橫掃」所有隊伍，而隊名則決定取名為「蟹堡王」，並將機構進行裝飾，例如將大公杯爪具的部分為大螯的部分，模擬螃蟹用勾的方式拿大公杯的樣子，小水杯爪具是螃蟹的身體，以壓平的方式模擬螃蟹扁平的形狀，而我們的造型想法來自小提琴手蟹（學名：Fiddler crab），如圖 1。



圖 1，小提琴手蟹

三、競賽或關卡得分策略

進行動作分析，將各個場地所需要使要得各區所要完成功能提出應對方案，如表一。

表一，動作分析

路徑	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
功能要求	冰箱區	斜坡區	調配區	戶外區	吧台區
行走	○	○	○	○	○
開冰箱機構	○				
大公杯機構	○	○	○		
小水杯圓盤			○		○

四、機構設計及理念

(一) 機器人之三視圖重點解析

圖 2 為機器人之等角視圖，將車體依冰箱開門機構、小水杯機構和大公杯機構分為前中後三部分。圖 3 為上視圖，為了支撐小水杯機構在伸出夾具並且夾取小水杯之後能有均衡且充足的力拉回圓盤，我們架設兩組齒條並分別放置於圓盤的前後兩側，而後並對圓盤底下的支撐增加穩定性，使伸出之後的形變量漸少。圖 4 為後側視圖，當大公杯機構進行 Z 軸向的上下運動時，需要確保 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有跳齒的現象，於是在大公杯平台兩側各裝置一顆萬向滾珠半嵌入兩側鋁擠型支架凹槽內，形成滑動導槽作用，增加機構動作時之穩定性。



圖 2，機器人等角視圖



圖 3，機器人上視圖



圖 4，機器人後側視圖

(二) 機器人各功能機構介紹

(1) 冰箱開門機構

開冰箱門的創意來源是取自百變針，利用百變針會模擬出形體的形狀的特性與功能並以此模仿改造。如果將百變針插入的冰箱的縫隙中，細小的柱子會隨機嵌入冰箱門的縫隙中，此時若給予一個側向力就可以開啟冰箱，於是我們由此開始更改百變針的設計。我們將百變針加上彈簧設計出冰箱的開門機構，如圖 5，如此一來遙控時，即可以不用精準的對準冰箱門縫，而只需要大約準確就可以將冰箱門利用車體旋轉打開了。



圖 5，開冰箱門機構

(2) 大公杯夾具: 拿/放大公杯、倒水

當冰箱門打開之後，車體距離大公杯還會有一段距離，所以利用導螺桿將大公杯夾具伸入冰箱中，將大公杯爪具置於把手中間，將爪具上之槽對準大公杯手把後，如圖 6。再利用 Z 軸的升起將大公杯勾起，並利用致動器縮回以及車體的旋轉將大公杯帶離冰箱。Z 軸的上升下降藉由齒條和正齒輪以及車窗馬達讓夾具能夠上下移動，使夾具能從較低的冰箱取出大公杯。過斜坡時則利用大公杯的馬達旋轉大公杯，讓大公杯中的水面與地面平行減少大公杯中的水溢出，如圖 7。到達調配區後利用齒條將大公杯升高到可以倒水的高度，利用致動器將大公杯 Z 軸前後移動對準小水杯，最後透過馬達旋轉大公杯將水倒至小水杯中。待水都倒完後，將車體移動至旁邊空桌，使用馬達旋轉夾具 150 度以上，水杯即會因為重力脫離夾具，便完成大公杯的放置，不只在之後的行進可以減輕重量以及車體寬度，也能再跑下一次重新抓取大公杯及倒水。



Y 軸旋轉

導螺桿伸縮

圖 6，大公杯夾具



圖 7，大公杯夾具伸縮和旋轉馬達

(3) 小水杯夾具

在水杯位置上，調配區的形狀與終點放置區的形狀不同(圓型和方型)，但其實調配區和放置區的水杯位置很相近，僅只有其中 4 杯的移動距離比較遠，如圖 8。於是我們只需要克服這 4 杯的位置變化，就可以一次抓住 10 個杯子，我們依此設計出了構造圖，如圖 9。最後我們以拉伸彈簧作為夾住水杯的力，以鋼索搭配大扭力的車窗用馬達拉開彈簧，透過兩者達到定位和夾取的動作，圖 10 和圖 11。

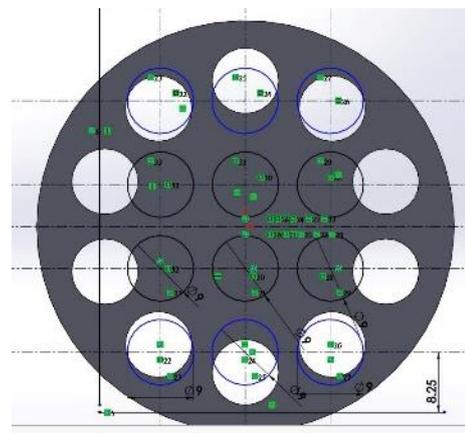


圖 8，圓盤和方形盤的比對圖

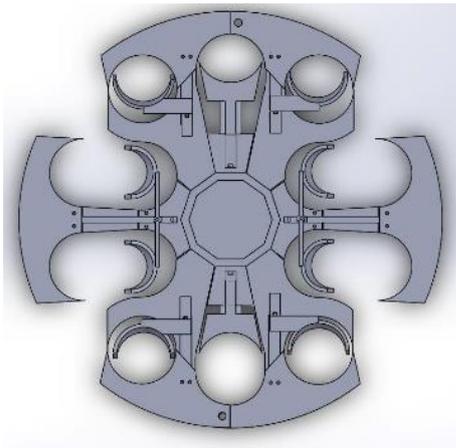


圖 9，小水杯夾具模擬圖



圖 10，小水杯夾具中的彈簧

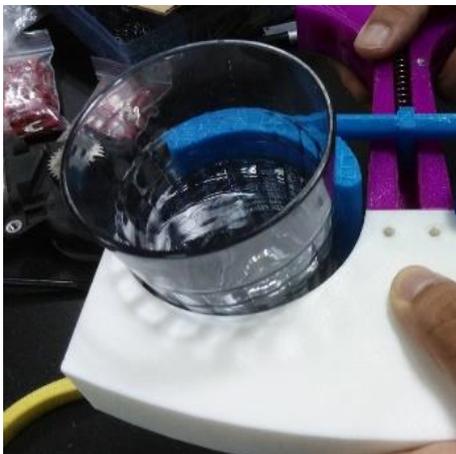


圖 11，小水杯夾具實際運用(部分)

(三) 四部位的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) 頭部機構

依照機器人的形體，將小水杯夾具(由圓盤、卷線馬達、傘齒輪組成)視為招潮蟹的頭部，模仿現實中的招潮蟹的口部位置，機器人模仿招潮蟹，用口部的爪取獵物(小水杯)並放入身體中，完成調配區和吧檯區的動作。

(2) 手部機構

依圖 12 之左側視圖，我們將大公杯夾具(由車窗馬達、齒條、正齒輪、導螺桿組成)和開冰箱門機構(包括 3D 列印模具和彈簧)模擬為招潮蟹的大螯和小螯，大公杯機構模仿招潮蟹揮舞大螯去勾取大公杯並使用大公杯倒水；而開冰箱門機構是模擬招潮蟹伸出小螯，利用小螯打開冰箱門，以此兩個機構完成冰箱區和調配區之任務。

(3) 身部機構

由底盤的平衡機構做為機器人的身體，利用機器人前輪的線性致動器幫助機器人保持平衡，磨你螃蟹會利用”站立”的方式去克服外來環境的起伏，並以此完成斜坡區關卡。

(4) 足部機構

我們將機器人底盤(由膠輪、無刷馬達與馬達驅動器組成)當作機器人之足部機構，並在底盤另外新增兩輪動力輪提供機器人上斜坡的額外動力，幫助機器人執行斜坡區的動作。



圖 12，機器人之左側視圖

五、電控系統

(一) 動力需求:

全長扣除各關卡行進路徑大約為 27(m)，希望於 135 秒以內跑完，我們估計用於各關卡的時間總和預計為 80 秒，預計有 55 秒的時間能花在各關卡的移動中，計算轉速和扭力之後，並挑選出最適合之馬達規格。如以下之計算：

假設機器人總重量 40(kg)，動力輪配重為 15(kg)；V 為行進速度(m/sec)；S 為行走距離(m)； μ 為地面摩擦係數，簡化為以物體質心之運動，且假設與地面摩擦為滑動摩擦(此值會高於實際車輪與地面的滾動摩擦)約為 0.21；N 為車體於地面之正向力(Nt)。車體行走輪徑約為 17(cm)，代入設定完成時間 55 秒，平均速度 0.49(m/s)，可計算出馬達有載下驅動轉速至少為 55.077 (rpm)，接下來推求出車體行走時，馬達所需要扭力要求(摩擦係數*動力輪配重*輪徑/2)，在平地時為 18 (kgf*cm)，再爬斜坡時為 23 (kgf*cm)，故我們選用東方馬達的無刷馬達型號 BLHM230K-GFS，減速儀搭配 GFS2G50，控制板為 BLHD30K，額定轉速與轉矩為 5.2N·m (2-50r/min)、2.6N·m (60r/min)，功率為 30(watt)，馬達尺寸如圖 13。

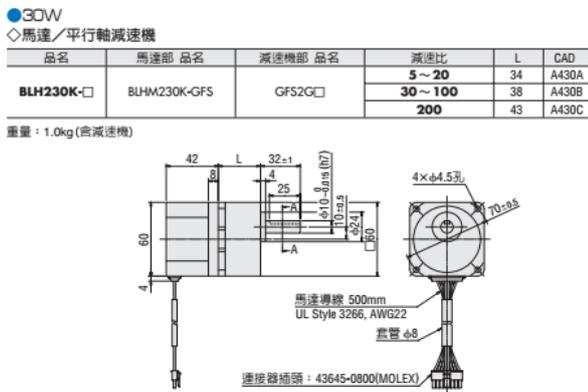


圖 13，無刷馬達尺寸圖

(二) 系統架構

在外部線路規劃上，可以將線路分成四個部分，分別為車上電源控制器、遙控器、移動載具與爪具。車上電源控制器是機器人的心臟，作為電源供給的控制端，另外還有開機鈕和緊急停止鈕。移動載具部分使用了兩顆無刷馬達(24V)，透過馬達驅動板控制，另外使用 PLC 的擴充機台

提供類比模組。爪具一共有 10 顆直流馬達(24V)，依照功能需要有 60 轉或 100 轉，和一只線性致動器(24V)。第一遙控器和第二遙控器則都由 PLC 的 X 端輸入訊號，第一遙控器為操控手常用遙控器，上有前後移動等和各個分區的按鈕，我們事先將各分區的程式設計好，而第二遙控器則為當操控手發現位置有偏差時，可以手動調節所有機構的 11 顆馬達。線路圖如下圖 17。

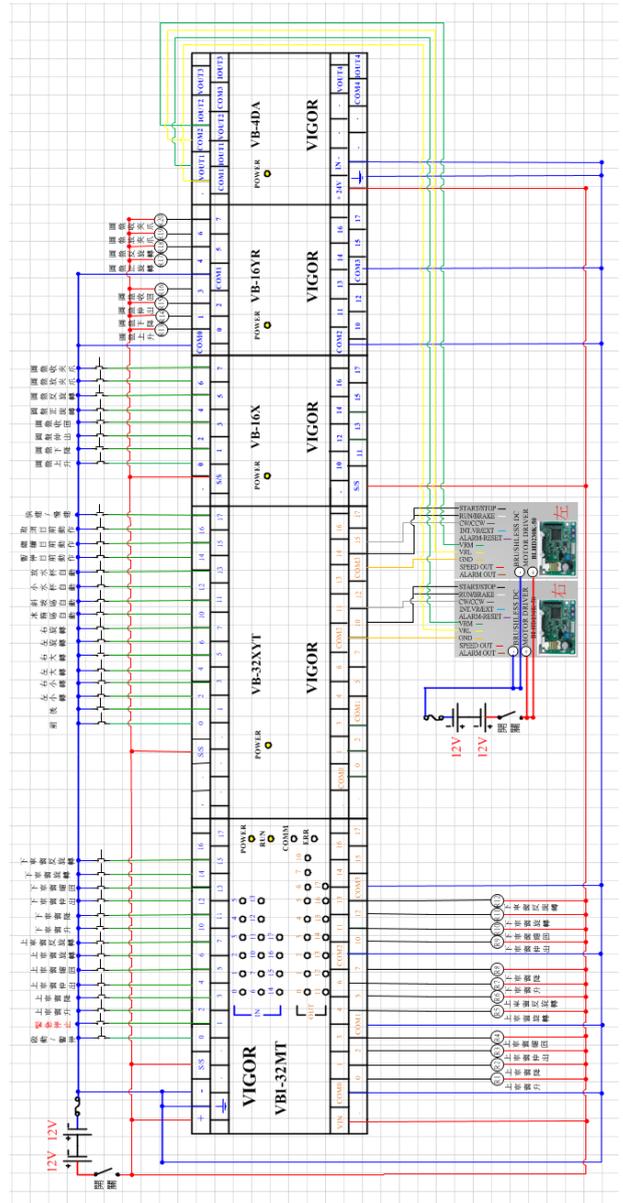


圖 17，線路圖

六、機器人成品

(一) 適應環境機制

在比賽前我們有按照公告製作 1:1 比例仿照的競賽場地並反覆測試與練習，在外在環境上盡可能模仿比賽場地，因為是遙控組在比賽時需要依靠操控手的反應，我們的設計主要依照操控手的要求製作。在出發前我們會先將機器人之大公杯夾具定位至冰箱大公杯的高度，並將開冰箱夾具大約對準冰箱門縫。

(1) 冰箱區

當機器人離開出發區之後，將開冰箱門機構對準冰箱縫隙，確認彈簧有受到力並壓縮之後，機器人進行右旋轉打開冰箱門，再左旋轉回到冰箱正前方，伸出大公杯夾具之導螺桿後，勾起大公杯並離開冰箱區完成關卡。

(2) 斜坡區

由於斜坡坡長達 130 公分，無刷馬達需要以最高輸出 2.5 秒以上，容易損壞馬達驅動板，因此我們額外新增了輔助動力輪(直流有刷馬達，型號:IG42, 100 轉, 24V)。當機器人到達斜坡區之後，前導向輪先行上斜坡，利用前導向輪上之線性致動器改變車體重心且降低輔助動力輪之高度之後再以兩側的輔助動力輪提供額外動力，同時大公杯馬達依據坡面進行旋轉保持水位為平面，下坡時透過無刷馬達的煞車控制和有刷馬達的繼電器煞車迴路做減速，避免到達地面時的衝擊過大。

(3) 調配區

調配區則利用賽前製作完成之小水杯夾具的模具，在準備時間將小水杯移動至的正確位置，機器人來時將左側對齊調配區之桌子，以齒條搭配正齒輪伸出小水杯圓盤，再將圓盤下降使各個小水杯進入設計好之圓洞後，放鬆夾具的鋼索以夾起小水杯，圓盤再透過齒條收回後開始倒水，直到倒完 10 杯水之後完成此關卡。

(4) 室外區

進入室外區時，機器人透過線性致動器改變前輪的高度，調整車體的傾斜角度，使車體保持平衡，並同時以輔助動力輪幫助前進。左右兩輪距離設計皆為 60 公分，是為了避免前方萬向輪開進緩速坡的凹洞增添不必要的額外扭力，也避免突然且急促的上升會使水杯中的灑出。

(5) 吧檯區

機器人進入後，右旋轉靠近吧檯區的桌子，伸出小圓盤並收縮鋼索放鬆夾具，放下所有小水杯之後，完成所有關卡。

(二) 關卡得分特色或達陣設計

在進行每個不同關卡的時候，有各自不同的按鈕呼應程式幫助遙控手操作機器人，為了幫助遙控手能更得心應手且精準以及穩定達成所有關卡之要求，我們都盡量以更大量的域度去避免需要反覆的對準和調整。如圖 18 為我們在校內試跑的測試情況，從冰箱區打開冰箱(1.)拿大公杯(2.)到過斜坡(3.)，夾取小水杯(4.)並過緩速波(5.)，最後放下圓盤上的小水杯(6.)。

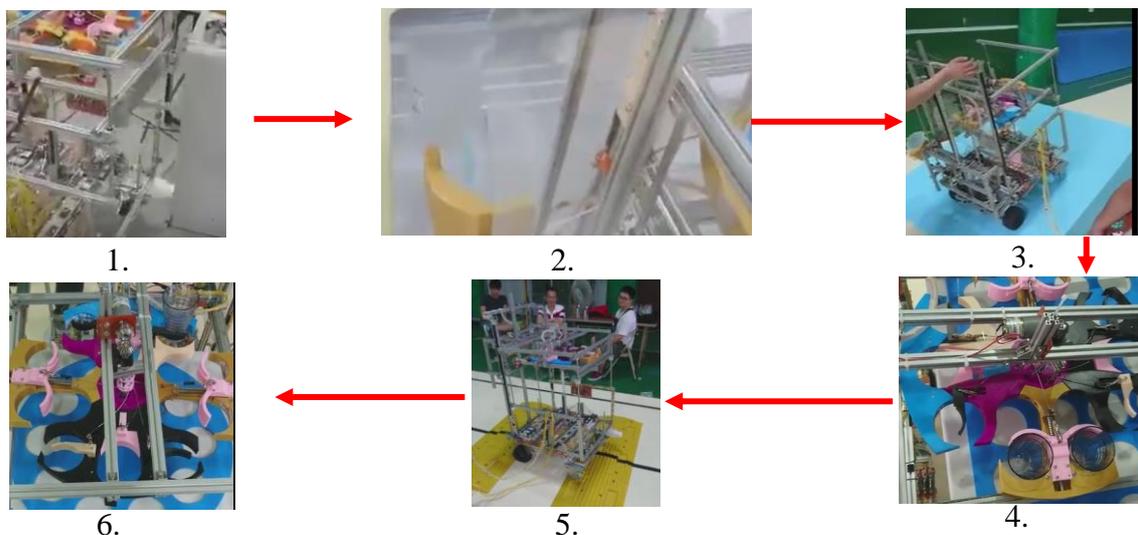


圖 18，校內試跑的測試情況

七、團隊合作的說明

比賽終於結束了，回憶這 7 個月來的點點滴滴，從開始製作時的懵懵懂懂不知該怎麼做，到後來大家能各司其職的完成機器人的構造，看著機器人一點一滴的成長，也是一種很深刻的感受。其實當初說要參加比賽也沒有想到我們真的能成功做出來一台機器人，我們在一路上做中學，學中做，一步步的慢慢測試我們的機器人直到成功，這份回憶令人畢生難忘。感謝有這樣的隊員，一步步的克服難關，解決難題。將這份體悟留給之後的學弟學妹，告訴他們製作時的小技巧，現在，輪到我們指導他們做出屬於自己的機器人，我想這就是 TDK 的傳承精神。

最後，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，感謝教育部及國立台灣科技大學主辦這次的競賽，並感謝宜蘭大學的全體師生在比賽前的鼓勵與加油，也感謝前往比賽的啦啦隊員們，更感謝給予我們建議和指導加工技巧的廖栢維學長，最後感謝一路上對我們不離不棄、比賽前更與我們一起熬夜通宵的蔡孟利教授給予我們細心的指導與幫助。

八、參考文獻

- [1]周立強、曾鍾湧「室內巡牆之全方位自主型近載具研製」，國立宜蘭大學生物機電工程學系碩士論文，2016。
- [2]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，第 8 卷，第 2 期，第 19-35 頁，2012。
- [3] A. Bemporad and M. Morari, "Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints," *Automatica*, vol. 35, pp. 407-427, March 1999.
- [4] S. N. Vassilyev, "Logical approach to control theory and application," *Nonlinear Anal.-Theory Methods Appl.*, vol. 30, pp. 1927-1937, Dec. 1997.
- [5] 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.
- [6] 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

1. 材料選用考量

由於本此的題目有許多伸縮和拿取的關卡，為了使機器人在機構上能更加穩固，在主要材料方面我們選用 20mm*20mm 的鋁擠型作為底盤和整體架構，同時方便裝設也易於調整。而爪具上則盡量使用 3D 列表機之塑料，僅部分高精度要求之部分則使用市售之工程零件，以求機器人達到輕量化的目的。減震問題我們也考慮到，在離開斜坡或離開緩速坡時，底盤容易受到很大的撞擊力而有強烈的晃動，因此在輪胎內部放 3 層的吸震海棉以緩衝撞擊力道。