

自動組：隊名：狗厲害

機器人名：Ta - Kau

指導老師：周立強 老師

參賽同學：廖栢維、陳奕蒼、張又壬、林育如

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係以直流馬達作為動力輸出，底盤部分採用後輪驅動並加裝一顆全方位轉動輪，以保持車體平衡，故以此三輪之底盤作為本機器人之行走部。

機構動作主要分成上階梯、拿取、放置聖杯及平衡三個部份。上階梯動作是利用兩組直線步進馬達，作為抬升載具的動力來源，再利用副動力輪，作為機器人在上階梯動作時，主要的前進動力。拿取及放置聖杯動作是利用一組天線馬達及兩組線性致動器作為動力來源，使此機構運動至應有的位置。平衡部分則是利用一組雙軸(X 及 Y 軸)傾斜感測器訊號回授控制器，驅動控制平衡部份的兩組馬達(X 及 Y 軸)產生兩個自由度的轉動，使此機構可以保持動態水平角度平衡狀態。在感測控制方面，機器人使用光電開關、超音波、雷射測距、傾斜、加速度感測器及光編碼器，分別作為循跡關卡定位、分辨顏色、目標物搜尋、偵測傾斜狀態、S 型路線行走及定距轉向的偵測條件，其控制核心係由可程式控制器(PLC)之處理程式主導、判斷及執行，最後輸出訊號於各外部馬達及致動器進行控制。

二、設計理念

本屆創思設計競賽主題為「機器人大展雄風」，結合產業機器人與服務機器人之概念，強調機器人行動之穩定性、感測環境及適應環境之能力，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「登峰造極」，參賽隊伍必須設計出靈巧智慧之機器人以自主行動的方式來完成關卡。我們的靈感是由於這次比賽主題的名字而來，「雄」很顯然地代表高雄，而這次關卡名稱也都是高雄有名景點及歷史。由這些線索，我們就以與高雄有關的方向去尋找我們的隊名。15 世紀左右，此地的馬卡道族，遍植刺竹作為防禦工事，以抵禦來犯的日本倭寇與中國海盜，並將地

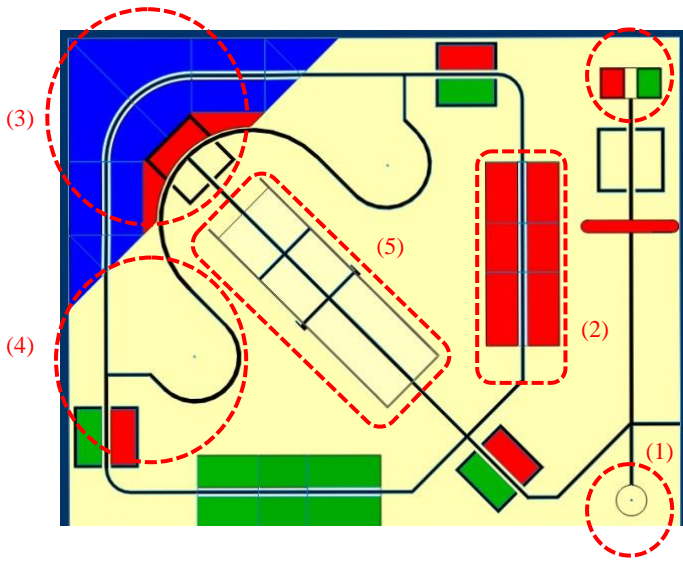
名取為竹林(Ta-ka-o)，竹林發音似閩南語的打狗(Ta-kau)，故被漢化譯稱「打狗」。臺灣日治時期因打狗，音近日文發音的「高雄」(Taka-o)，臺灣總督府官方覺得其名不雅，故改名「高雄」。這幾年來流浪狗的議題也紛紛提出，因此隊員們之間發願保護流浪狗，讓更多人關心此問題的嚴重性。經由這些原因，藉由打狗的「狗」字，作為我們隊伍的名稱與機器人創意來源。經過一番討論之後，我們決定以「狗」來當作此次比賽的機器人造型目標(圖 1)。

三、策略分析

要順利完成競賽，必須有一套完整的策略分析，將整個比賽場地區塊化，再逐步分析各個關卡。我們將比賽場地劃分為拿取、放置聖盃、馬卡道、半屏山、S 型道路及斜張橋區六個區塊(圖 2)。依上述各關卡所需要的機構動作之功能性將六個區塊整合為三個主區塊處理，分別為拿取及放置聖盃為第一個區塊，馬卡道、半屏山及斜張橋的起伏地形同為第二個區塊，S 型道路則為第三個區塊。因此於拿取及放置聖盃區必須具有此功能之機構，馬卡道區需要上階梯及平衡機構，半屏山及斜張橋區的起伏地形及通過 S 型道路所產生的慣性力都需要平衡裝置作為輔助。不論在何種地形，機器人行進時都必須具備有平衡動態機制包含平衡角及水平角控制。



圖 1 狗及狗型機器人之實際本體



| 路徑 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 拿、放聖盃 | | | | | |
| 平衡角度 動態控制 | | | | ✓ | |
| 動態角度 平衡控制 | | ✓ | ✓ | | ✓ |

圖 2 第十七屆全國大專院校創思設計與製作自動組競賽場地示意

四、機構設計

機器人的造型為仿狗的設計，所以各機構設計都與狗的外型環環相扣，分為頭部、四肢及尾巴等部分，再配合搖頭、搖尾巴、爬樓梯和倒退走等行為來通過競賽各個關卡，讓機器人可以更加活潑生動。機構主要分為三個部分：

1. 上階梯機構

上階梯機構的構想設計來自換汽車輪胎時，必須用千斤頂將整台車抬升，方便更換輪胎，所以在設計上載具必須具有近似千斤頂的功能，能使載具提高至與平台相同高度後繼續前進。我們在載具上裝設直線步進馬達、副動力輪及副輔助輪，直線步進馬達作為類似千斤頂之動力，副動力輪作為載具上階梯時之前行動力。圖 3 為機器人上階梯分解示意圖，當機器人前方超音波感測到階梯垂直面時(圖 3a)，首先利用直線步進馬達將副輔助輪及副動力輪向下支撐載具，使載具抬升至階梯水平面之高度，接著改以副動力輪驅動載具繼續向前行走(圖 3b)。當主動力輪後方超音波偵測到階梯平台時，則直線步進馬達收起副輔助輪(圖 3c)。當副動力輪接近階梯垂直面時，其前方超音波

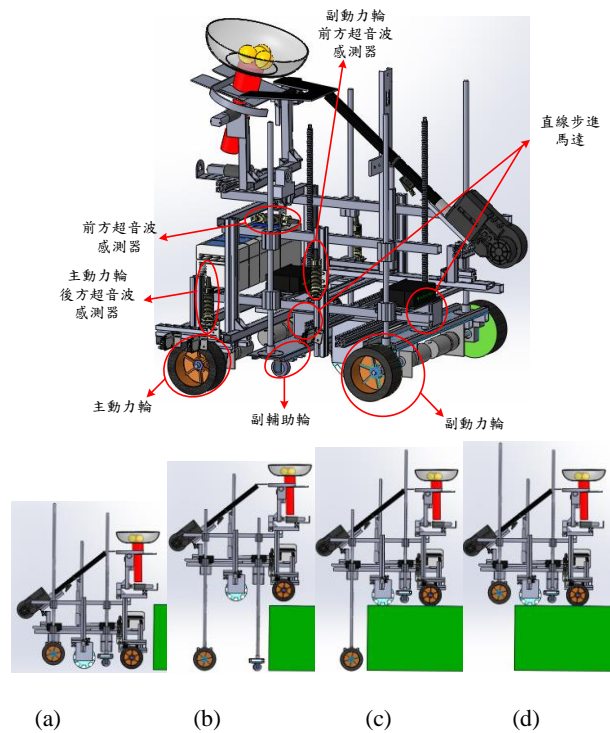


圖 3 上階梯分解示意圖

感測到階梯平台後，機器人會收起副動力輪，並回復以主動力輪繼續前行，完成上階梯動作(圖 3d)。

2. 拿取及放置聖盃機構

圖 4 為此機構之設計係以兩個線性致動器及滑軌(X及Z軸)與車用天線馬達(徑向軸)在三個自由度直線運動並構成一連桿組合。由於拿取及放置聖盃的動作相似，我們將兩者動作整合成一個機構。為了拿取及放置聖盃時更為穩定並製作一 U 字型的壓克力板，安裝於天線頂端，利用天線馬達的伸縮，將聖盃置入於平台上。

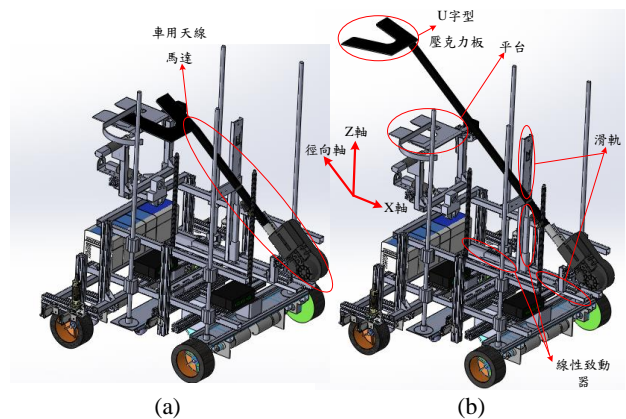


圖 4 拿取及放置聖杯機構

3. 平衡機構

圖 5 為此平衡機構動作狀態示意，利用傾斜感測器偵測此機構平台 (X 及 Y 軸) 傾斜角度，使 X 及 Y 軸馬達獨立轉動，使平台保持水平平衡狀態。此機構在載具行進於任何關卡時，可使聖盃保持平衡，使生命球平穩地在聖盃內通過各種起伏地形。

伍、電控系統

I. 系統架構

本載具之控制系統架構(圖 6)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 6 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

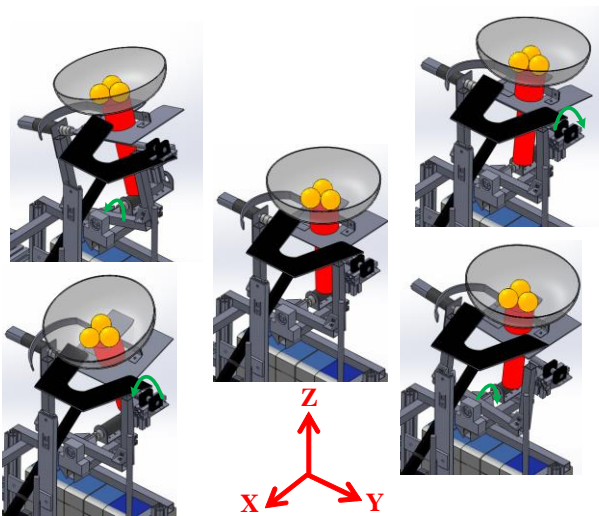


圖 5 平衡機構動作狀態示意

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 6 之 B 為自走載具感測單元包含傾斜及加速度感測器，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

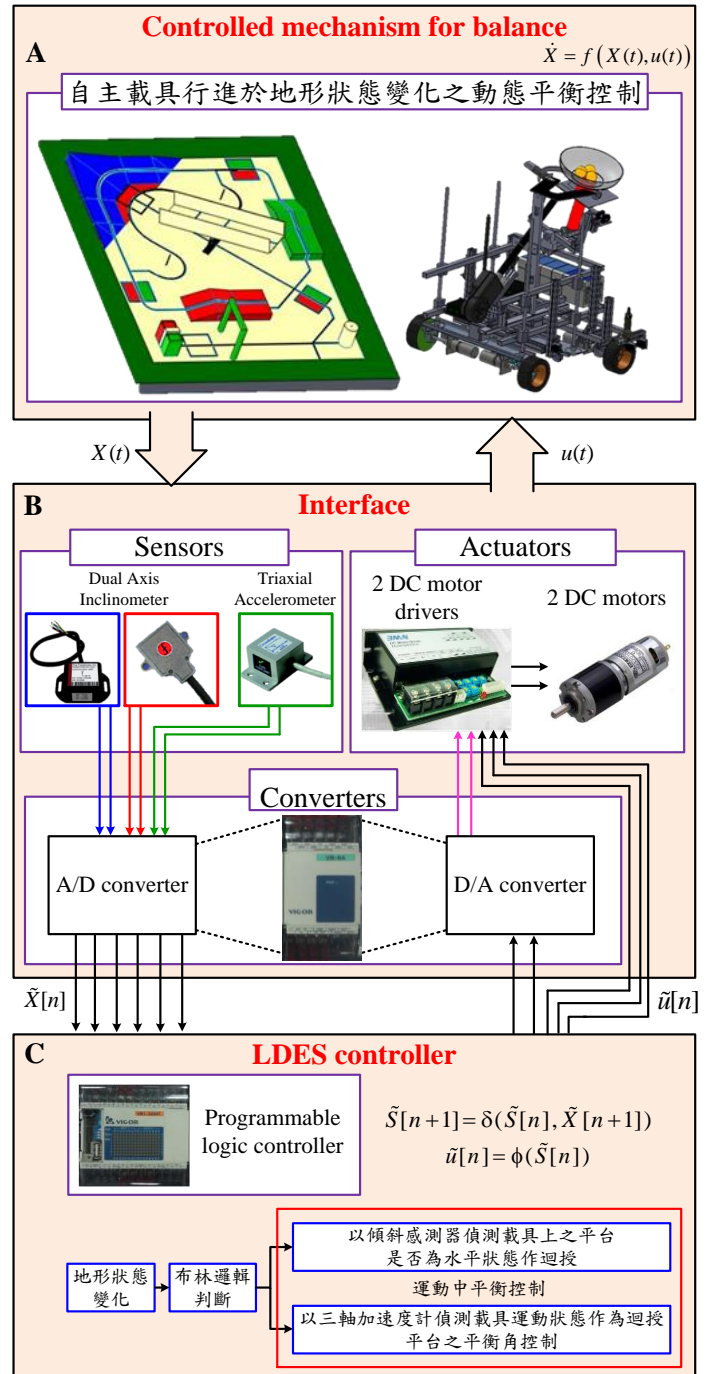


圖 6 控制系統架構

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 $u(t)$ 輸出於載具本體之平台控制機構, 達到平台角度修正及速度調控功能。

自走載具是使用可程式控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 作為控制核心(圖 6 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、計數以及煞車等應用組合電路, 以因應各種情況策略。主要程式區分為循跡定位、抓取及放置聖杯、顏色判定、地形判斷(馬卡道、半屏山、斜張橋)及 S 型道路。在運動中的平衡控制主要分為平台之水平及平衡角度的控制, 整體的程式流程如圖 7 所示。

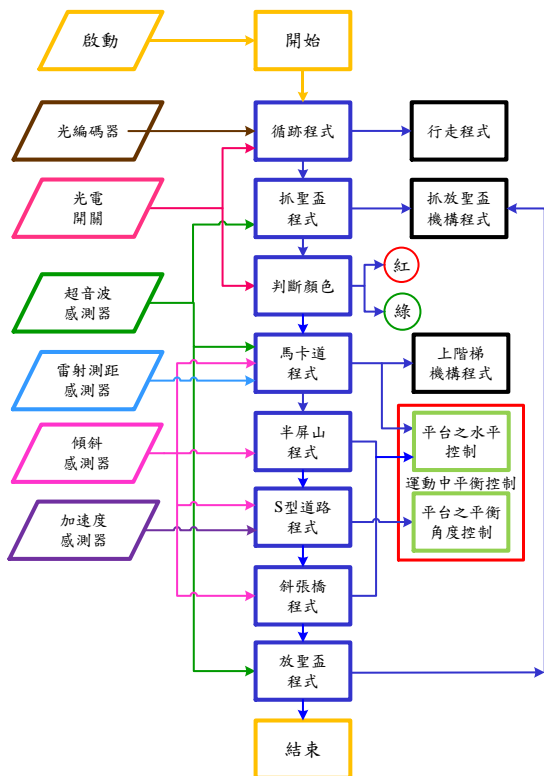


圖 7 整體程式流程

II. 平台之水平角度控制

自走載具行進時, 會受馬卡道、半屏山及斜張橋起伏地形的影響, 平台上之聖盃必須保持水平狀態, 使生命球平穩地留在聖杯內, 我們在平台機構上裝設一雙軸傾斜感測器偵測此平台之 X 及 Y 軸之傾斜角度作為回授控制平台之水平角度。

圖 8 為自走載具行進於馬卡道時, 平台機構會隨馬卡道升降坡度的變化, 對應旋轉 Y 軸向馬達使聖杯及平台機構在 X 軸向保持在一水平狀態, 通過馬卡道關卡。

圖 9 為載具行經半屏山時載具上平台的角度變化, 半屏山的坡度變化屬於 X 及 Y 軸兩軸向, 平台機構會進行 X 及 Y 軸向之水平角度調控。

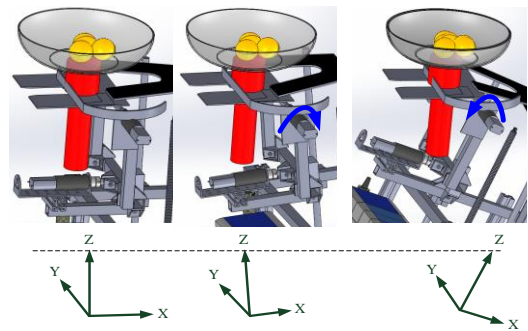


圖 8 載具通過馬卡道狀態示意動作

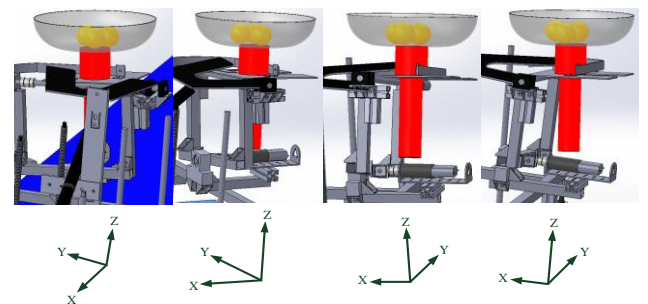


圖 9 載具通過半屏山狀態示意動作

圖 10 為載具通過斜張橋之狀態示意，其與馬卡道同樣只有 X 軸向的傾斜角度變化而以旋轉平台機構 Y 軸向的馬達作調控，此外還必須克服斜張橋轉動時所產生的慣性作用及斜張橋與地面接觸時之碰撞，才能使載具及生命球平穩通過。在上坡時(圖 10a)，載具之平台仍必須保持水平狀態。當載具通過斜張橋的支點後，會因為載具之重心移動使斜張橋產生一順時針旋轉力矩，使橋面瞬間朝另一方向傾倒(圖 10b)，載具必須退回至支點處(圖 10c)，以減少斜張橋轉動速率，以漸進方式來回數次(圖 10d)減緩斜張橋之轉動慣性及接觸地面時之碰撞力，待斜張橋完全轉向後，使載具能平穩地通過斜張橋區(圖 10e)。

III. 平台之平衡角度控制

自走載具在通過 S 型道路時，會受向心加速度 a_n 與切線加速度 a_t 影響，使得平台上的聖盃受到一慣性力，為了抵消此慣性力，故平台機構會同時向 x 及 y 軸傾斜一對應平衡角度以抵消加速度所產生之慣性力(圖 11)。

若彎道曲率半徑為 ρ 、速度為 v ，則向心加速度 a_n 由方程式(3)描述：

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}, \quad (3)$$

當載具作等角速率圓周運動時，切線加速度 $a_t = 0$ 。圖 12a 為載具以等角速率圓周運動時，其平台機構會傾斜一對應

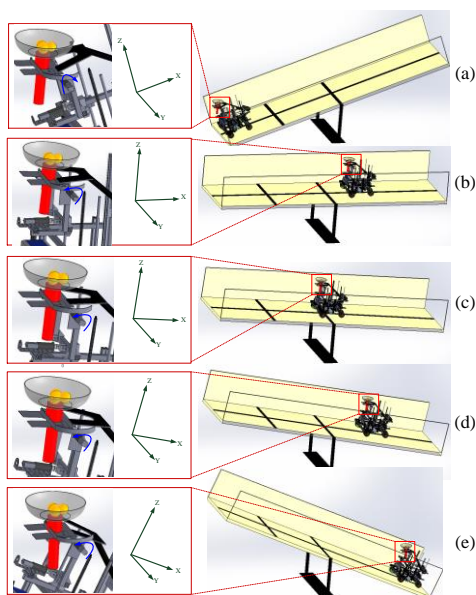


圖 10、載具通過斜張橋狀態示意

平衡角度 θ_n 以抵消向心加速度所產生之慣性力，使得平台上的生命球保持動態平衡之狀態，圖 12b 及 c 為平台上生命球平衡之自由體圖，可求出盤面給予生命球之正向力 $N=mg \cdot \cos\theta_n + m a_n \cdot \sin\theta_n$ 及摩擦力 $f=\mu \cdot N$ ，依力平衡方程式： $-mg \cdot \sin\theta_n + m a_n \cdot \cos\theta_n + \mu N = 0$ ，可求得此平衡角度與向心加速度及重力加速度之關係式如下：

$$\frac{a_n}{g} = \frac{\sin\theta_n - \mu \cos\theta_n}{\cos\theta_n + \mu \sin\theta_n}, \quad (4)$$

假設盤面與生命球之摩擦力極小，則(4)式可簡化為：

$$\frac{a_n}{g} = \tan\theta_n, \quad (5)$$

由(5)式可計算出平衡角 θ_n 與載具向心加速度之關係式：

$$\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{a_n}{g}\right), \quad (6)$$

依(6)式藉由載具上之三軸加速度計所獲得的 Y 軸向加速度值即 a_n ，就可得知平台機構所需要之平衡角。以圖 11 為例，在載具進入 S 型彎道時，旋轉平台機構之 X 軸向馬達以調控 Y 軸向的傾斜，以平衡平台上生命球因載具向心加速度所產生的離心力。藉由裝置在平台機構上的雙軸傾斜感測器及載具上的三軸加速度計之回授訊號進行平台機構其動態平衡角之調控。

當載具直線運動時，會因加減速的緣故產生一慣性力，此平台機構必須傾斜一對應平衡角度 θ_t 以抵消加減速所產生之慣性力，使得平台上的生命球保持動態平衡之狀態。以圖 13 為例，載具在前行時減速，產生一向前之慣性力，根據其自由體圖及力平衡之關係，可推導出平台機構盤面平衡角度與慣性加速度及重力加速度之關係式：

$$\frac{a_t}{g} = \frac{\sin\theta_t - \mu \cos\theta_t}{\cos\theta_t + \mu \sin\theta_t}, \quad (7)$$

若盤面與生命球之摩擦力極小，則(7)式簡化為：

$$\frac{a_t}{g} = \tan\theta_t, \quad (8)$$

由(8)式可獲得平衡角 θ_t 與載具慣性加速度之關係式：

$$\theta_t = \tan^{-1}\left(\frac{a_t}{g}\right), \quad (9)$$

依(9)式藉由載具上之三軸加速度計所獲得的 X 軸向加速度值即 a_t ，可得知平台機構所需要平衡角進行動態調控。

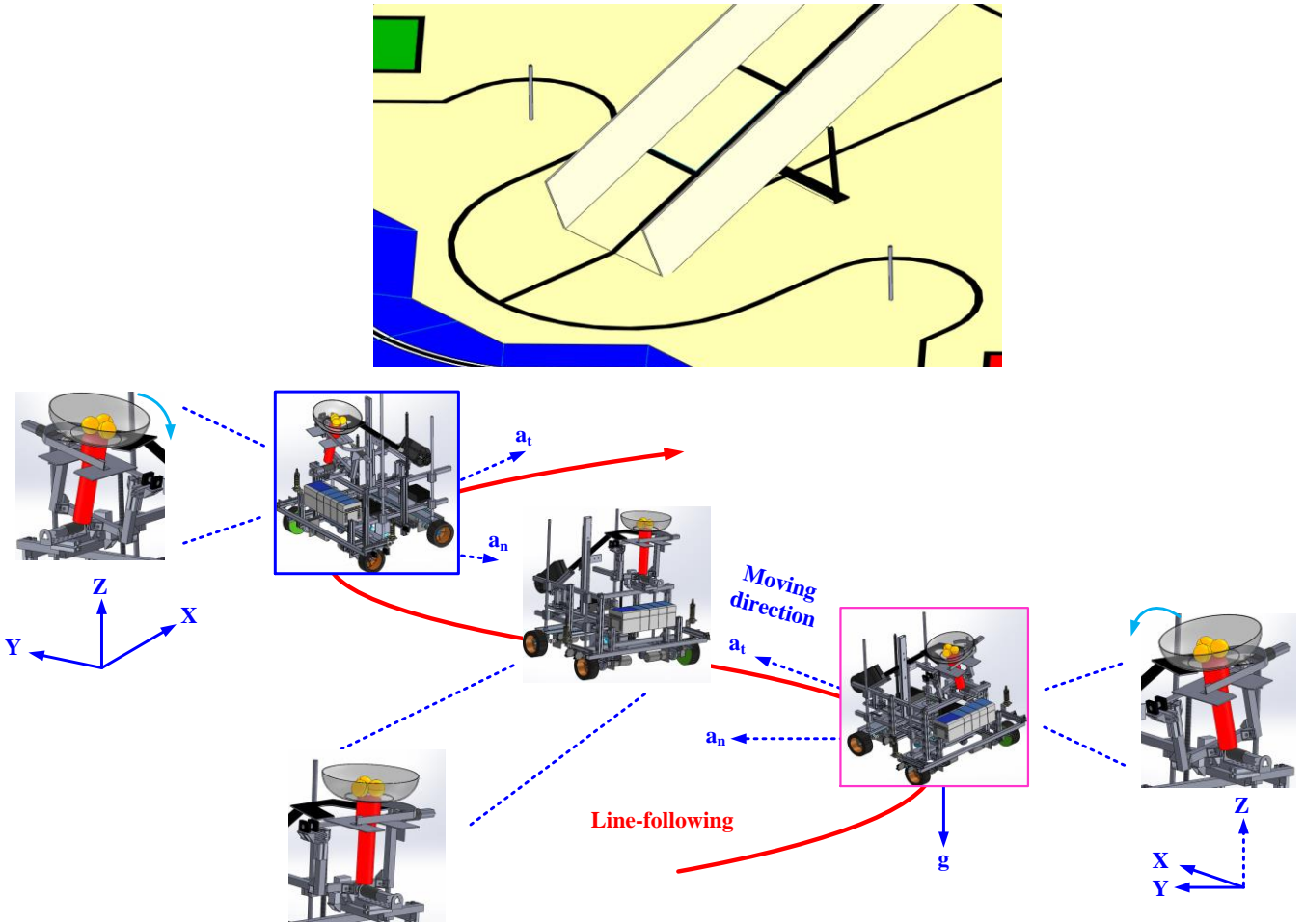


圖 11、載具通過 S 型道路模擬狀態示意

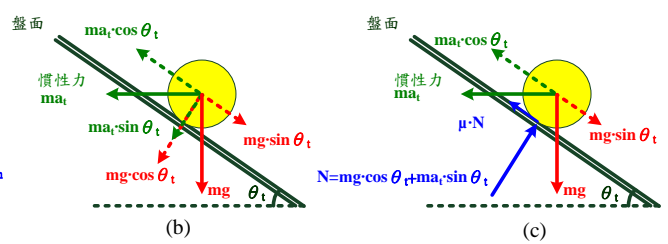
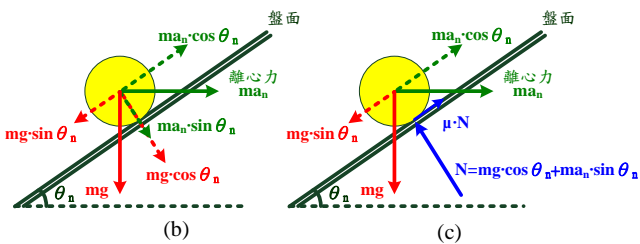
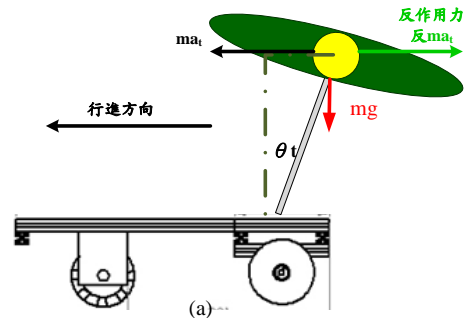
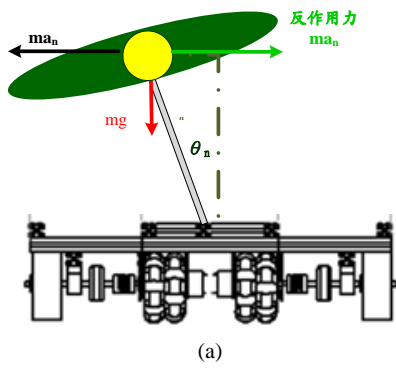


圖 12、平台傾斜 θ_n 角度作為生命球之平衡自由體圖(前視圖)

圖 13、平台傾斜 θ_t 角度作為生命球之平衡自由體圖(側視圖)

六、機器人成品

機器人於 1:1 模擬競賽場地進行測試，以下為機器人完成所有關卡動作功能說明：

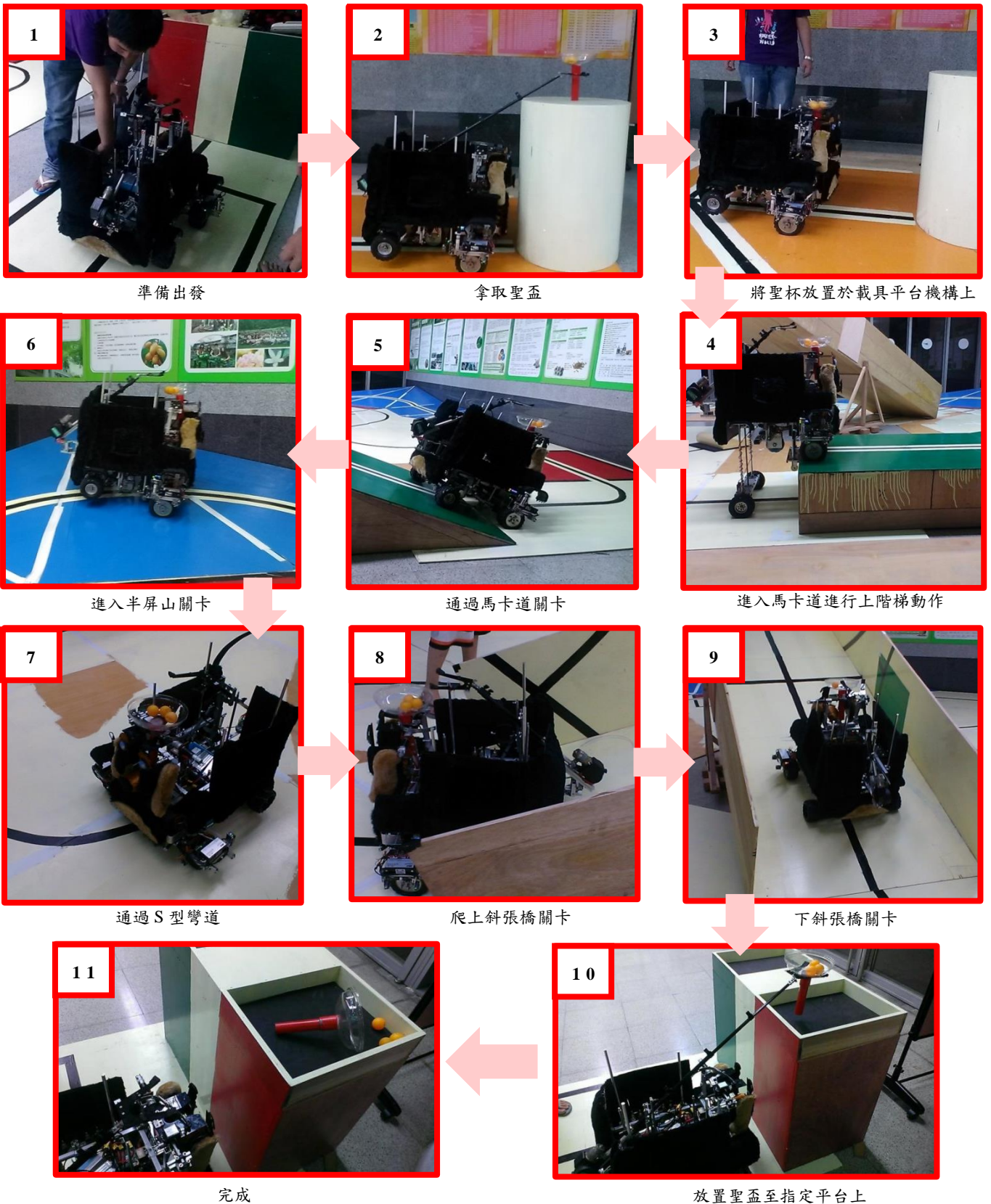


圖 14、機器人於模擬場地完成所有關卡動作

七、結論

本文運用混合式邏輯動態系統為架構模型，以第十七屆 TDK 盃全國大專院校創思設計與製作競賽為實例，結合產業機器人與服務機器人之概念，強調機器人行動之穩定性、感測環境及適應環境之能力，製作可偵測地形狀態變化進行動態平衡控制之自走載具。我們運用群組電路方法，以布林代數演算法推演邏輯接點電路，結合記憶、互鎖、閃爍、計數以及煞車等應用組合電路，演繹 PLC 的階梯電路程式，完成循跡定位、拿取及放置聖杯、顏色判定、地形判斷(馬卡道、半屏山、斜張橋)及 S 型道路等關卡所需要的動作功能。

此載具運用雙軸傾斜及三軸加速度感測器偵測載具運動狀態，配合平台之水平角及平衡角的控制，以 PLC 執行輸出訊號於平衡機構上之 X 及 Y 軸馬達，以進行平台角度修正及平衡調控功能。同時本文提出之技術方法可應用提供實現設計其他平衡控制自走載具的一個發展範例。

參考文獻

- [1]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。
- [2]周立強、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,第 8 卷,第 4 期,第 241-257 頁, 2013。
- [3]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。
- [4]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,第 8 卷,第 2 期,第 37-51 頁, 2012。
- [5] A. Bemporad and M. Morari, "Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints," *Automatica*, vol. 35, pp. 407-427, March 1999.
- [6] S. N. Vassilyev, "Logical approach to control theory and application," *Nonlinear Anal.-Theory Methods Appl.*, vol. 30, pp. 1927-1937, Dec. 1997.

[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.

參賽感言

比賽結束之後，回憶這六個月來的點點滴滴，宛如昨日才發生一般，其中酸、甜、苦、辣滋味都銘記在我們心中，成為我們珍藏一輩子的回憶。在製作機器人的過程中，「團隊合作」是我們最關鍵的核心要素，唯有透過隊員之間的分工合作、發揮彼此所長，才能將每個人的力量發揮到最大，以最少的資源創造出最大的效益，以展現出團隊最大戰力。

利用「做中學、學中做」的觀念，在製作機器人的過程中，除了向學長、廠商及書本中學習新知，也實踐以往上課中學到的理論，讓我們在增進自我的同時，專業上功夫底子也更加穩健。每當遇到問題需要解決時，除了依靠隊員間的討論、上網及翻閱書籍尋找解決辦法之外，指導老師周立強教授更是竭盡所能地幫助我們。

很感謝教育部與 TDK 財團法人文教基金會舉辦此次競賽，能有一個舞台讓我們能展現自己的能力並與各校高手彼此精進，從中學習、創新出更多想法！

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高雄應用科技大學主辦這次的活動，並感謝宜蘭大學的老師在比賽前的鼓勵與加油，更感謝前往比賽的啦啦隊員們，最後感謝一路上陪伴我們的周立強教授給予細心指導與幫助。

