

自動組：隊名：熊大

機器人名：熊爸(霸)

指導老師：周立強 老師

參賽同學：廖栢維、范力達、陳韋賓、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，底盤部分採用中間輪子驅動並再機器人前後方分別加裝兩顆全向滾珠以保持車體平衡，故以此六輪之底盤作為本機器人之行走部。

機構動作主要為彈跳一個部分，彈跳機構主要以單方向作動，利用一組管棒型線性馬達結合壓縮彈簧擁有儲存能量的性質，將彈簧所儲存的能量瞬間釋放，即可完成彈跳(單一軸方向)的動作；再藉由動力輪的全速行走並同時作動彈跳機構即可完成機器人跳遠的要求。在感測器控制的方面，本機器人使用光電、超音波、雷射測距、強光型光電感測器、光纖感測器及光編碼器作為循跡、作動其彈跳機構的定位及定距轉向定位。本機器人之控制核心係由可程式控制器(PLC)之內部運算處理程式主導，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

自動組競賽主題為「雄霸天下」，參賽隊伍必須設計出具備行進與跳躍能力之仿生機器人，並以自主行動的方式來完成關卡。此次自動組競賽子題為「雄霸天下」，除了符合競賽主題的結合仿生機器人與寵物機器人之概念，強調機器人移動敏捷性、跳躍能力及穩定性，並以自主行動的方式來完成關卡，兼具難度與趣味，以符合創思設計與精製作精神。依據本屆主題，隊員們經過一番資料蒐尋與意見討論，決定以「熊」之機器人做為設計目標。

此靈感是由於本屆競賽的主題與自動組子題皆有「雄」字的出現，「雄」與「熊」同音，熊的敏捷性與速度雖無法

與一般肉食性動物並駕齊驅，不過在受傷、受逼迫或保護幼熊時攻擊性特強，速度亦快。希望我們也能擁有熊那種遇到困難、窘境時可以爆發突破，最後可以稱霸全國！

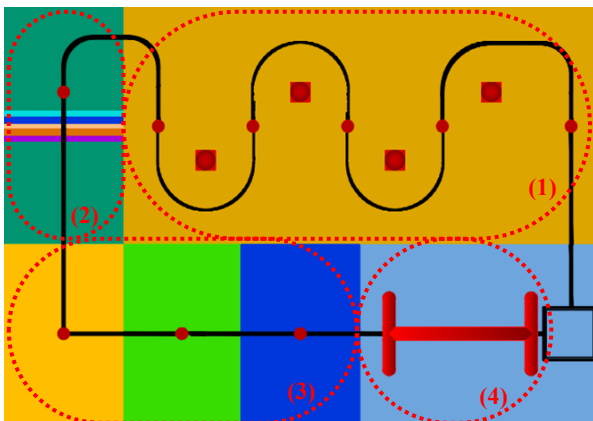


圖 1 熊與熊型機器人之實際本體

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。為了在「繞 S 型區」可以使機器人穩定的行走，故在動力輪裝置光編碼器，計算左右兩輪在此關卡行走時的距離，並計算出當載具行走彎道時兩輪的速差，盡量避免輪子反轉而導致光編碼器的誤判。行走至「跳遠區」時，機器人的两只 PZG-41 CN 偵測到起跳線時，退後至場地邊界，再以全速向前衝刺，當機器人两只強光型光電感測器偵測到起跳線時，作動彈跳機構，機器人即可以在此關卡區完成拋物線的跳遠，完成動作。「跳躍區」需與一名隊員互動，為了讓此名隊員了解機器人目前的狀態，故在機器人身上裝只兩顆燈，分別為紫燈及黃燈，黃

燈亮時，代表機器人上的彈跳機構正在作復歸動作，而紫燈亮時代表機器人已經準備好等待此名隊員動作，當隊員拿起圓棍至機器人前方的超音波感測器感應到時，紫色燈會關閉，彈跳機構接續作動，讓隊員可以順利完成第一次將圓棍滑動；後方也裝置一只超音波感測器，一樣的過程讓機器人與該名隊員完美完成跳躍區關卡的動作要求；最後一關頂球區，當機器人的兩只 DT35 雷射測距感測器感應到球時，機器人將會停止並作動彈跳機構，最後再回至出發區(即終點區)。



路徑	(1)	(2)	(3)	(4)
動力輪	✓	✓		
彈跳機構		✓	✓	✓

圖 2 場地分析與應對方案

四、三視圖重點解析

圖 3 為本機器人之前視圖，機器人前方裝置八組光電感測器結合布林邏輯演算做為更精確的循跡判別；中上方兩側分別各裝置一隻強光型光電感測器是偵測跳遠區起跳線的依據；中間裝置一只超音波感測器，可以讓機器人與隊員互動的一個媒介；而在強光型光電感測器下方也分別裝置一組 PZG-41 CN(共兩隻)感測器去判別當機器人行走至跳遠區偵測到起跳線時，退後至場地邊界，並再前方全向輪裝置緩衝器，避免在彈跳時地面的撞擊太大導致機器人損壞。而右側視圖的部分(圖 4)，動力輪內加裝吸震海綿，降低彈跳過後的過度震盪，裝置兩隻光電感測器，方便偵測綠場九十度的轉彎循跡線。而由上往下看，本機器人全身是用鋁擠型製成，且以下寬上窄的模式呈現，裝置兩組 DT35 雷射測距感測器可以感測頂球區球的位置，

方便定位；中間裝置本次競賽最重要的彈跳機構，是由管棒型線性馬達壓縮彈簧，瞬間釋放，即可完成彈跳的動作，如圖 5。

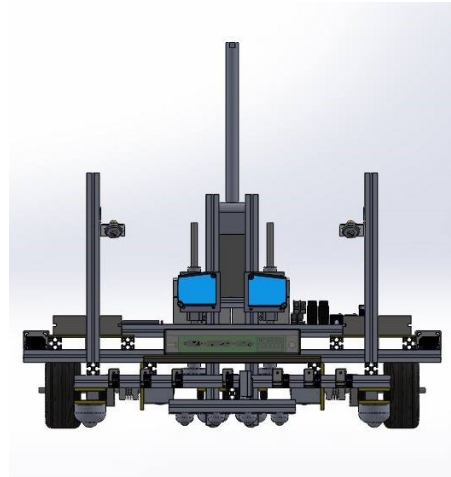


圖 3 正視圖

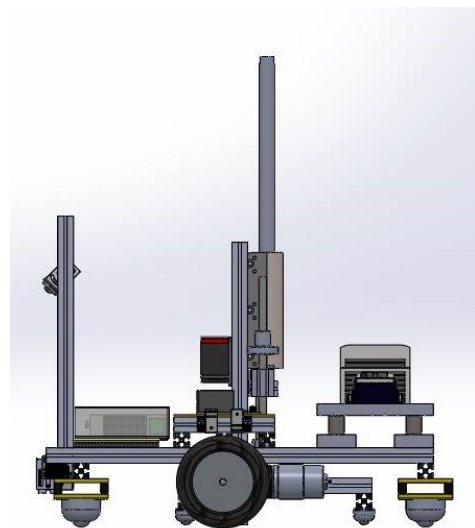


圖 4 右側視圖

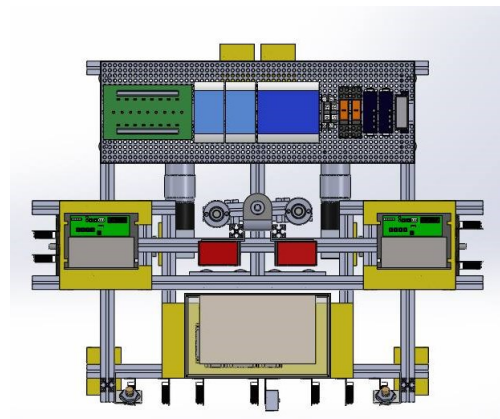


圖 5 俯視圖

五、機構設計及理念

這次比賽主題為『機器人之雄風再現』，為響應競賽主題，於機構設計方面，以「熊」為設計目標，故機構方面分為頭部及足部著手，為了使機器人更為仿生，所以各個部位環環相扣，來達成競賽各個關卡。機構主要為：

(1) 彈跳機構

此機構為本屆競賽的核心，為了提高機器人之靈活度及穩定性，彈跳機構盡量設置在重心位置，其設計必須為細長(向 Y 軸延伸)，避免彈跳過程中因彈跳機構的體積形狀而使機器人本身底盤無法負荷，且此機構只能單方向作動(設此方向為 Y 軸)，使機器人在彈跳時不容易翻覆而無法繼續順利進行。利用線性馬達壓縮彈簧(圖 6)，彈簧擁有儲存能量之作用，當彈簧儲存到一定的能量後，線性馬達瞬間收縮將儲存的彈簧能量也在同時釋放，就可以完成往 Y 軸跳躍的動作，單軸跳躍的關卡「跳躍區」及「頂球區」的部分即可完成動作要求；至於「跳遠區」的部分，必須藉由動力輪的輔助完成，由於彈跳機構的彈跳距離固定，故當動力輪的速度愈快，向前跳躍的距離愈遠，所以在「跳遠區」關卡時，為了使機器人可在此關卡跳躍最遠，故先將機器人退至競賽場地邊界，在以全速前行，再配合彈跳機構的 Y 軸瞬時位移變化量，形成形似拋物線的路徑，跳遠區關卡動作要求即可完成。

圖 5.2 為機器人彈跳時的示意圖，彈跳機構作動前必須先將線性馬達回歸到最初狀態(圖 7a)後，將線性馬達作動使彈簧壓縮，當彈簧壓縮時擁有儲存能量的功能(圖 7b)，彈簧儲存至一定的能量後，立即縮回線性馬達之軸，使彈簧所儲存的能量瞬時釋放(圖 7c)，最後機器人順利的落回地面(圖 7d)，完成這一連串的动作。

六、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。控制器之機制動作由方程式(1)及(2)描述：

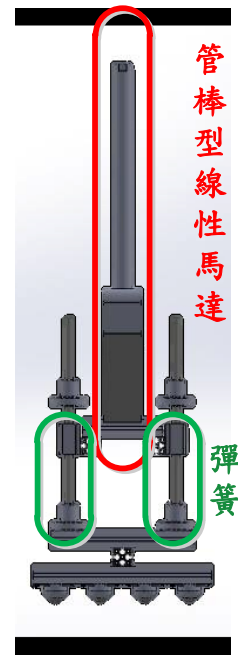


圖 6 彈跳機構介紹

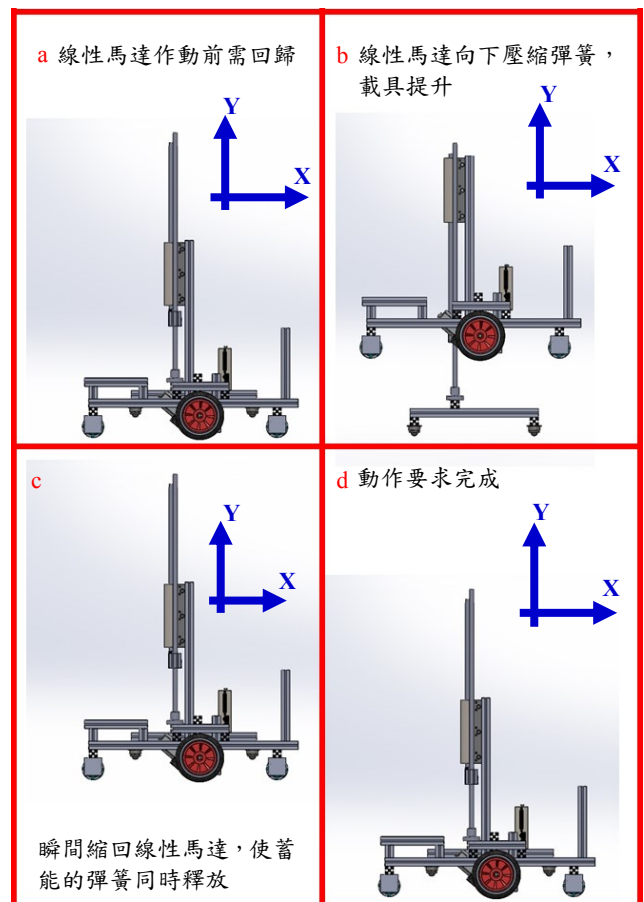


圖 7 機器人彈跳分解示意圖

$$\dot{X}(t) = f(X(t), u(t)) \quad (1)$$

$$\dot{X}(t) = f(X(t), u(t)) \quad (2)$$

上式中顎化符號 \sim 表示為一符號變數之值組或序列， \tilde{X} 為狀態組， \tilde{t} 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 8 之 A）是可以一組非線性及非時變系統常微分方程組 $\dot{X}(t), u(t)$ 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 8 之 B 為自走載具感測單元包含光電、雷射及光纖感測器，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{t} 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 8 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、顏色判定、跳遠及跳躍。整體的程式流程如圖 9 所示。

II. 載具程式區塊判斷及分項控制

自走載具行進時，會行經場地所標示之重置點，載具利用光纖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利做出正確之程式判斷，此次場地主要分為

四大區塊，分別為 S 型道路、跳遠區、跳躍區及頂球區，其中跳遠區、跳躍區及頂球區皆含有一項此次比賽的特點元素「跳」。

III. 載具跳躍及頂球行為

載具位於跳躍區及頂球區時且載具已精準行走至跳躍預備點時，載具會進行垂直向上跳躍之動作，兩區所需的跳躍動作皆屬於單方向 Z 軸軸向，管棒型線性馬達瞬間向下壓縮彈簧跳躍機構並使其中彈簧蓄能，當彈簧已壓縮至最大壓縮量時，線性馬達之垂直向下推力會使行走部機構向上抬升，當線性馬達達到設定之最大行程時將會以反方向快速收起且彈簧在此時釋放其彈簧位能，使載具騰空完成跳躍動作（圖 10）。

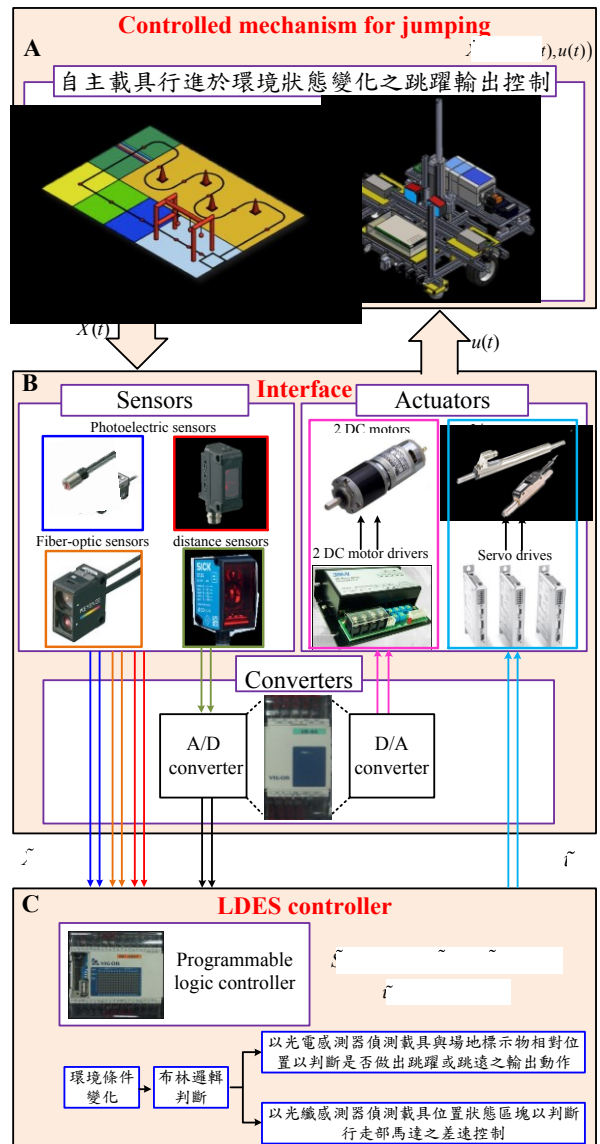


圖 8 控制系統架構

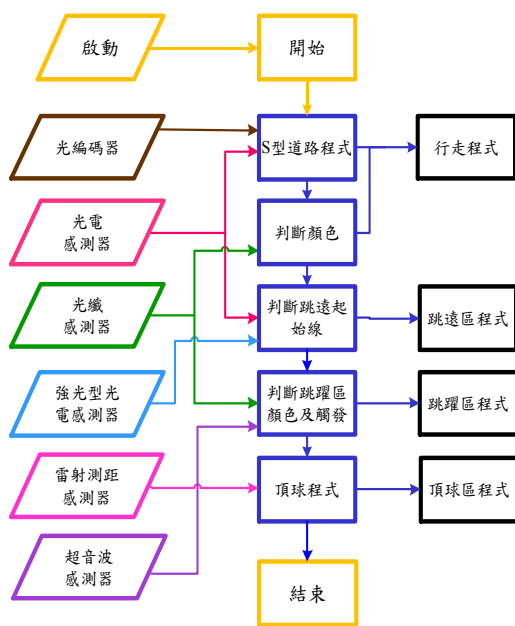


圖 9 整體程式流程

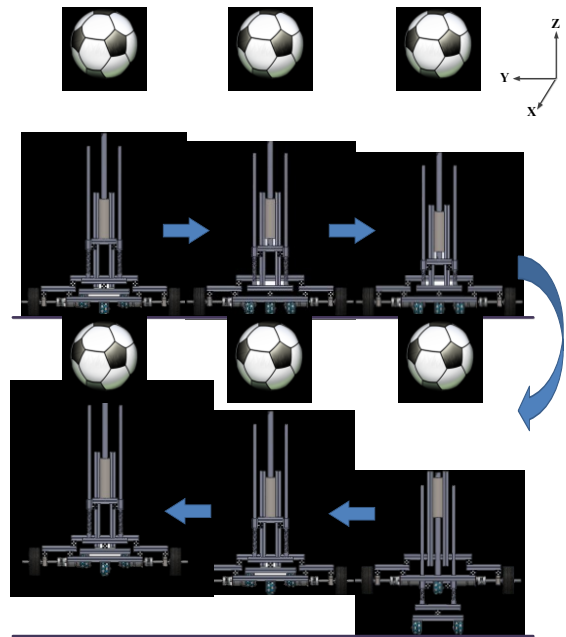


圖 10 載具跳躍動作頂球示意動作

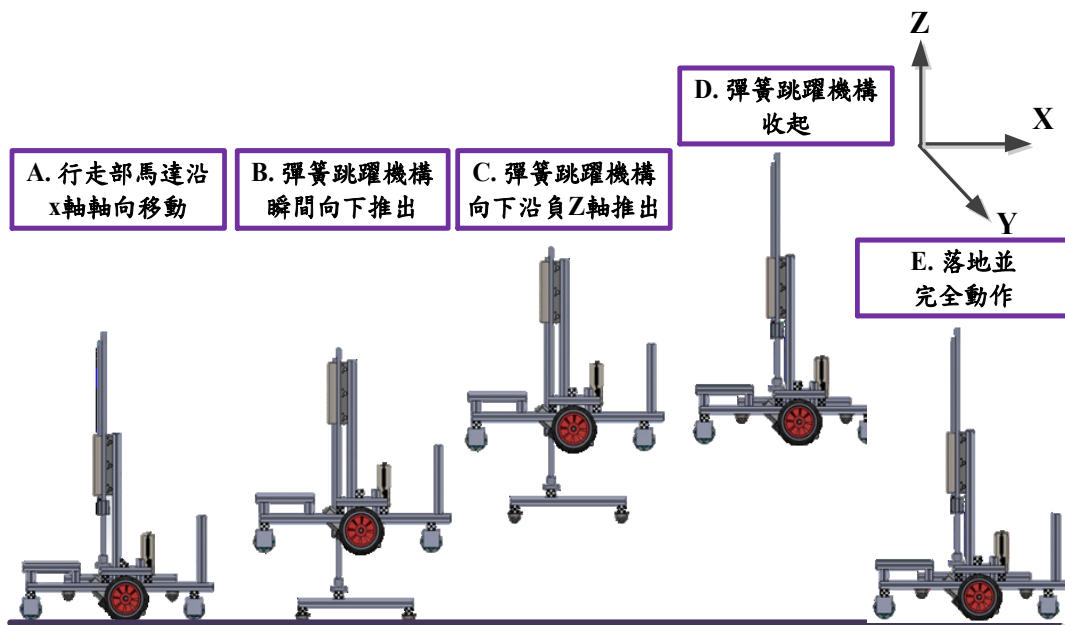


圖 11 載具跳遠動作示意動作

IV. 載具跳遠行為

圖 11 為載具位於跳遠區時載具進行跳遠動作時之機構動作分解圖，此區所需的跳遠動作屬於雙方向 X 與 Z 軸軸向，管棒型線性馬達帶動跳躍機構使整體機構向 Z 軸軸向躍起，加上載具行走部直流馬達作動使載具向 X 軸軸向前進運動，達到載具完成向前騰空之跳遠動作。

V. 載具跳躍及頂球模擬及控制

載具在製作前置過程時，我們利用 Excel 程式來推估及模擬整體載具進行跳躍時之力分析。

若管棒跳躍機構總重為 $M_{管}$ 且管棒型線性馬達動作時之下推速度為 1 m/s ，則動能 $E_{管}$ 由方程式(3)描述：

$$E_{管} = \frac{1}{2} M_{管} V_{管}^2 \quad (3)$$

當管棒型線性馬達向下壓縮彈簧機構使其機構內兩只彈簧壓縮至最大壓縮量時，其總彈簧位能 $U_{彈簧}$ 由方程式(4)描述：

$$U_{彈簧} = \frac{1}{2}k(x_{原} - x_{壓縮})^2 * 2 \quad (4)$$

設管棒型線性馬達下推速度不受負載重量而改變，可知行走部向上抬升的速度 $V_{行走部}$ 等於線性馬達下推速度 $V_{管}$ ，此時整體總能 $E_{總}$ 由方程式(5)描述：

$$E_{總} = U_{彈簧} + \frac{1}{2}M_{行走部}V_{行走部}^2 \quad (5)$$

欲推估載具之跳躍高度，根據總位能與總動能之關係式：

$$U_{總} = M_{總}gH_{跳躍高度} = E_{總} \quad (6)$$

設整體機構間摩擦力極小，可由(6)式推得跳躍高度：

$$H_{跳躍高度} = \frac{E_{總}}{M_{總}g} \quad (7)$$

依此次競賽所需之功能要求所需之跳躍高度及跳遠距離，欲模擬其跳遠距離則依(7)式推得知跳躍高度(8)式後可進而推得其載具總滯空之時間 t_{air} ，然與行走部所使用之馬達速度 ($V_{馬達}$) 進行(9)式運算又可推得載具跳遠之距離 ($S_{跳遠}$)：

$$t_{air} = 2\sqrt{\frac{2H_{跳躍高度}}{g}} \quad (8)$$

$$S_{跳遠} = V_{馬達} * t_{air} \quad (9)$$

圖 12 利用 Excel 程式來推估模擬各種不同重量時整體載具進行跳躍時之力分析，圖 13 為模擬跳躍高度及實測高度比對圖表。

	8.54	9.64	10.74	11.84	12.94	14.04	15.14	16.24	22
$\frac{1}{2}(m_{總}-m_{彈})V^2 + \frac{1}{2}k\Delta x^2 * 2 = m_{總}gH$									
載具總重(kg)	8.54	9.64	10.74	11.84	12.94	14.04	15.14	16.24	22
載具彈簧機構(kg)	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
底座機構(kg)	6	7.1	8.2	9.3	10.4	11.5	12.6	13.7	14.8
管棒下降速度(m/s)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
載具離地瞬間速度(m/s)	0.702576112	0.736514523	0.763500931	0.785472973	0.803709428	0.819088319	0.832232497	0.843596059	0.672727273
彈簧長度壓縮量(m)	0	0	0.03	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04
原始(cm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
壓縮後(cm)	0.15	0.15	0.12	0.135	0.13	0.125	0.12	0.115	0.11
並聯後之雙彈簧常數(N/m)	1960	1960	1960	1960	1960	1960	1960	1960	1960
計算之跳躍高度(m)	0.19769392	0.200383928	0.248126668	0.225831497	0.229764171	0.232004532	0.232909503	0.232742108	0.202805931
	0	0	1.764	0.441	0.784	1.225	1.764	2.401	3.136
	1.480839581	1.92571043	2.390028054	2.868900229	3.358933993	3.857707628	4.36344885	4.87483203	3.348958678
	100.00%	100.00%	57.54%	86.68%	81.08%	75.90%	71.21%	67.00%	51.64%
實際跳躍高度(m)	0.28	0.26	0.3	0.27	0.26	0.27	0.24	0.27	0.24
載具離空時間(sec)	0.478091444	0.460700443	0.494871659	0.469476478	0.460700443	0.469476478	0.442626668	0.469476478	0.442626668
預定跳遠距離(m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

圖 12 Excel 模擬不同重量時之整體載具跳躍時之力分析

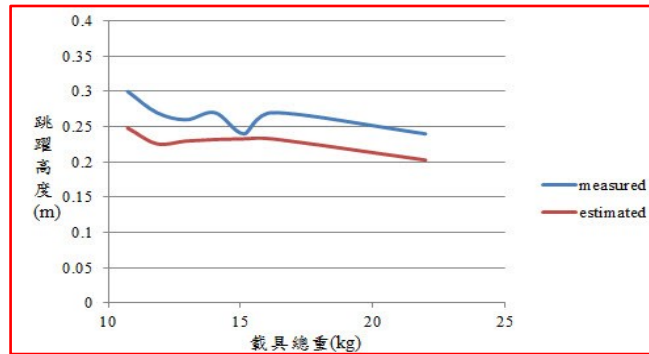


圖 13 模擬計算之跳躍高度及實測高度比對圖表

七、機器人成品

圖 14 為機器人於本校模擬競賽場地之測試情況，從圖 14.1 至圖 14.12 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、行走通過 S 型關卡、跳遠前置預備、跳遠過程、機器人落地並完成跳遠區動作、跳高區前

準備、機器人跳高時其中一隊員手持圓棍且揮掃過機器人底部、機器人落地並完成跳高區動作、頂球區前置預備、機器人頂球過程、機器人落地並完成頂球區動作、機器人達陣。

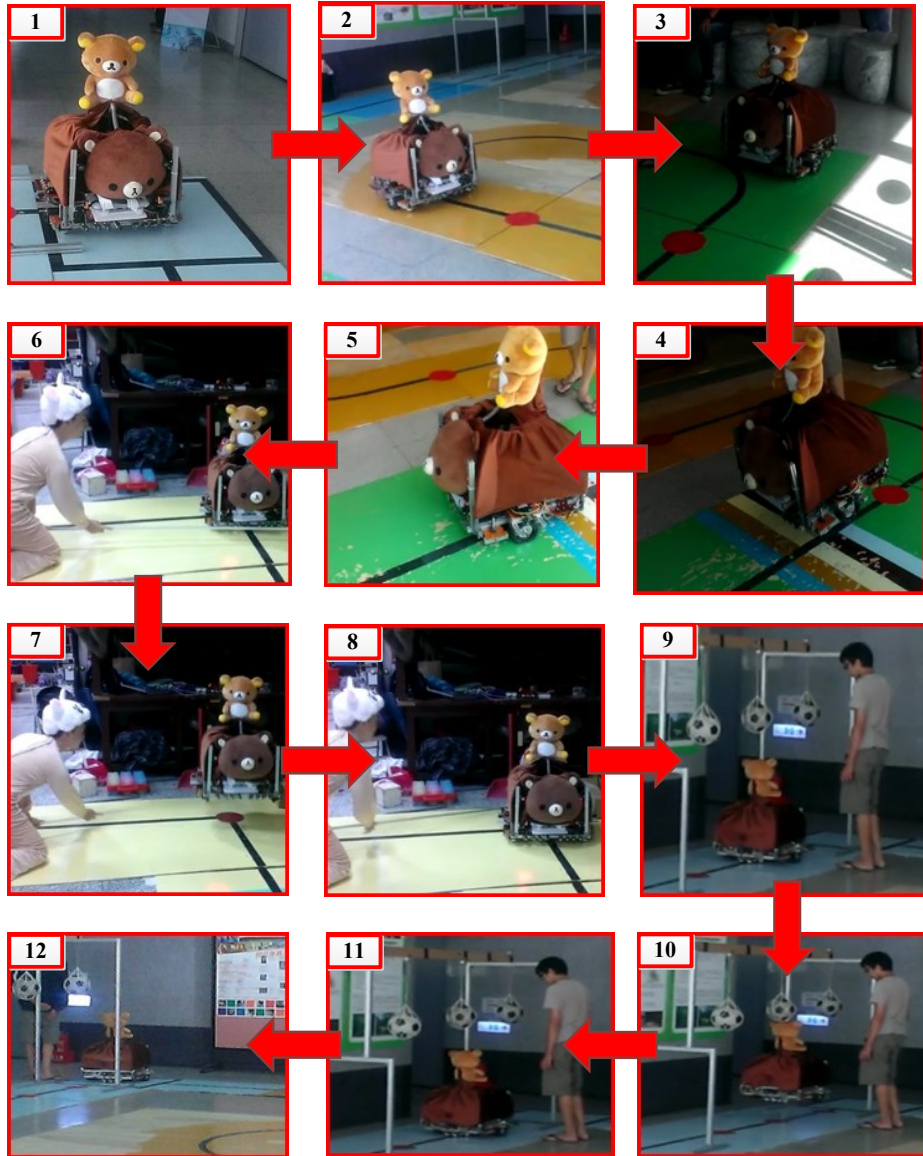


圖 14 為機器人於本校模擬競賽場地之測試情況

八、結論

以第十八屆 TDK 盃全國大專院校創思設計與製作競賽為實例，結合仿生機器人與寵物機器人之概念，於競賽規則中加入模仿動物跳躍動作的要求，強調機器人移動敏捷性、跳躍能力及穩定性，必須設計出具備行進與跳躍能力之仿

生機器人。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、跳遠、跳躍及頂球關卡所需要的動作功能。

九、參賽感言

比賽結束也快一個月了，感覺這半年的盡心盡力，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，學習每個人的不同專長，用最小的資源成為最大的利益，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！也很感謝在這個賽前準備漫長的過程中，指導老師不屈不撓的細心教導，有時也會陪伴著我們到深夜，也在我們的討論之中指導校正錯誤觀念…，真的衷心感謝。

俗話說：「坐而言不如起而行」，在這樣的比賽中我深刻體會到，理論歸理論，但現實生活中不一定樣樣完美，而藉由這樣的實作經驗，也能在課堂上老師所教導的相關課程相互呼應，而在實作中的一些「眉角」，在課堂中是無法去體會出來的！

我敢保證，國立宜蘭大學生物機電工程學系所帶領出來的隊伍，並不是只有區區名單上的隊員人數而已，而是由每一屆的學長姐將比賽中所獲得知識傳授給下一屆的學弟妹，這樣代代相傳，永不停歇，希望下一屆的學弟妹會讓本系更加發光發熱！而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、材料選用考量

為了減緩機器人在跳躍後的極度震盪而導致機構、控制核心、感測器…等損壞因素，故在動力輪內裝置吸震海綿；由於載具前端的配置重量較重，我們裝設緩衝器於前端的萬向滾珠撞擊受力點，減緩彈跳後的震盪。在後端配置重量較輕情況下，此處萬向滾珠撞擊受力點我們僅裝設吸震橡膠墊，仍然具有減震緩衝和震動的效果。

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] S. N. Vassilyev, "Logical approach to control theory and application," *Nonlinear Anal.-Theory Methods Appl.*, vol. 30, pp. 1927-1937, Dec. 1997.
- [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.
- [9] D. Franke, "A linear state space approach to a class of discrete-event systems," *Math. Comput. Simulat.*, vol. 39, pp. 499-503, Nov. 1995.

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程安邦教授及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