

履帶底盤之最佳控制策略

Implementation of the Control System for the Mobile Robot

天羅地網隊

陳世濃¹ 樊漢台¹ 李宗禮¹ 吳俊賢² 張治中² 謝珮旻² 林蔚勳² 徐孝德²

¹南開工商專科學校機械工程科講師

²南開工商專科學校機械工程科學生

摘要

本研究主要在介紹一配合第四屆全國技專院校創思設計與製作競賽所設計及製作之線控機器人，系統之創思設計雖以符合比賽功能為主，但實際機器人不但能克服比賽所指定的障礙更具優越越野能力；同時因其靈活的操控性能與精密的機械結構，極具深入研究發展之實用價值。

本文特別針對機器人底盤系統設計和回饋控制系統作深入分析探討與比較，其中探討履帶式底盤架構、直流馬達控制電路、馬達編碼器反饋電路設計、機器人馬達速度之調變以及機器人起動轉向時之速度控制。

關鍵字：線控機器人、競賽

Abstract

The topic of this paper is to design and making a wire-controlled robot for the 4th National Technical College Innovation and Design Competition. The basic design concept is only for the purpose of competition but finely we produced an over qualify mobile robot. The terrain ability of this mobile robot is not only to overcome the competition field but also to pass through the wild world. Because of the good performance in motion control and the precisely mechanical structure in moving reliability, it is worth to have more research and development.

This paper presents an analysis and design of belt-based-vehicle system and feedback control system. Those include the structure of belt-based vehicle, the DC motor controller, the feedback controller with encoder, the modulation of speed variation, and direction control of mobile robot.

Keywords: a wire-controlled robot, competition

1. 簡介

第四屆全國技專院校創思設計與製作競賽，係以三國時趙子龍長坂坡救阿斗為故事背景，設計了勇闖曹軍、決戰長坂坡、營救少主、衝出重圍和拜見劉備等五個關卡，比賽隊伍必須依序通過關卡。由於兩隊各走自己的路線，因此機器人操作的靈活性和行進速度的快慢，成為左右比賽結果最重要的因素。比賽規則的設計類似賽車，那一對機器人先到達終點便取得勝利，因此決定勝負最主要的因素便是車體速度控制設計，其次為即賽車手的訓練，由於篇幅的限制，在此僅探討履帶式底盤架構和其速度控制的設計。

在整個機器人的設計上，底盤為最重要的機構，此次於競賽關卡二決戰長坂坡，機器人必須以自行設計之機構，擊落 130 公分高處的排球；於競賽關卡五拜見劉備時，需將娃娃放置於高 80 公分的長方形筒中央，由此估計車身高度至少有 150 公分，要使此近兩公尺的機器人穩定的行走，底盤重心必須非常低，機器人於轉彎時才不會因重心太高而翻覆，因此在底盤的設計上我們選擇重心最低的履帶式底盤架構。

履帶式底盤速度控制的設計，首先需決定馬達型式，因為比賽場地有陡坡和顛簸路面，必須要有強力馬達來驅動，考慮成本和效率因素我們決定選用直流馬達。至於電機控制方面則以爭取速度為第一考量重點，因此在控制器部分直接採用工業用三菱 A0 可程式控制器，取其在惡劣的使用環境中仍能可靠的控制，並且可免除製作控制盤的時間。

2. 底盤系統硬體架構

2.1 履帶式底盤架構

本機器人底盤材料為高剛性鋁擠型，因為此型材具有重量輕且堅固的優點，又鋁擠型本身具有 T 型槽，在機件的組裝及配合上非常方便，對我們後續機構的設計和組配有很大的幫助。

如圖 1 所示底盤架構長約 100 公分、寬約 75 公分、高約 20 公分，底盤兩側各以兩組 70 W 強力馬達驅動履帶行進，為了提供機器人超越障礙與過彎旋轉的運動特性，我們在兩側前輪下方加裝惰輪，使機器人在爬坡時能利用前輪與惰輪間之履帶來爬昇。

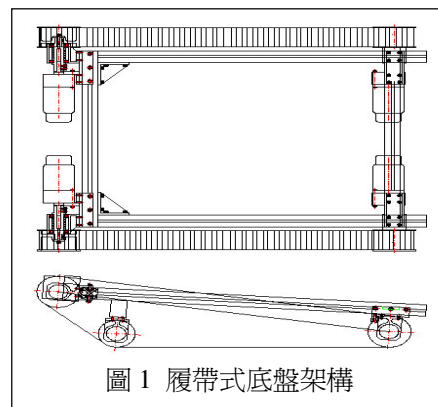


圖 1 履帶式底盤架構

2.2 直流馬達控制電路

本系統需要 24V 及 36V 兩種直流電壓源，因為馬達需要 36V 電壓，而可程式控制器必須供應 24V 電壓。若同一電壓源同時供給可程式控制器和馬達，則當機器人爬坡時馬達需要較大電力，可程式控制器因電壓不穩，可能影響程式的執行而產生錯誤動作。

機器人各馬達之正逆轉以繼電器之交叉電路獲得，為了使機器人具有靈活的機動性，必須有制動裝置，本機器人使用電阻煞車裝置，即當繼電器 CR6 不激磁時，使用水泥電阻使馬達快速停止運轉。控制直流馬達轉速部分，則以可程式控制器輸出 PWM 訊號，再使用達靈頓電路放大可程式控制器的輸出訊號，配合繼電器 CR4、CR5 的開閉，達到控制馬達快慢和正逆轉的目的，其電路圖如圖 2 所示。

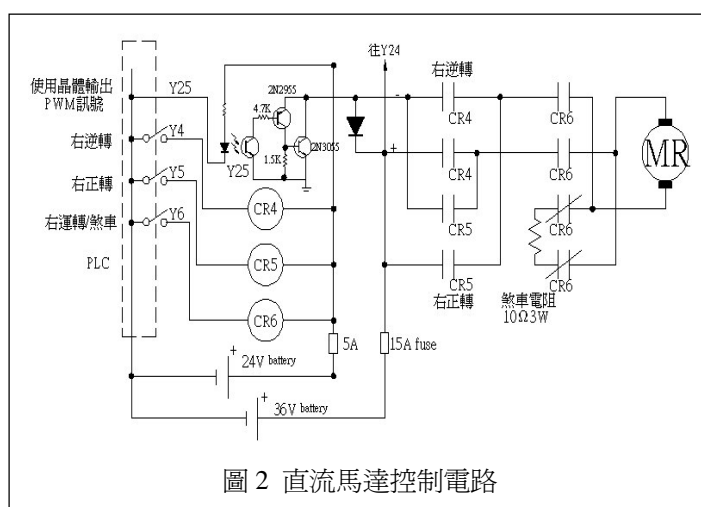


圖 2 直流馬達控制電路

2.3 馬達編碼器反饋電路設計

要控制馬達使其正確運轉，必須知道馬達的正確轉速，所以編碼器的使用是不可或缺的，但是購買一個編碼器需兩千多元，我們的經費卻無法負擔。因此，走遍台中建國市場，尋找附編碼器的便宜馬達，最後雖然找到具編碼器的馬達，但因為是舊馬達所以其霍爾元件的輸出不是很穩定，經過實地的測試及改良，我們使用了如圖 3 所示的馬達編碼器反饋電路設計來解決此一問題。

由於此反饋電路需要 5V 的電壓源，所以首先我們使用最簡單的 7805 穩壓 IC，將蓄電池所供應的 12V 電壓穩壓成 5V。

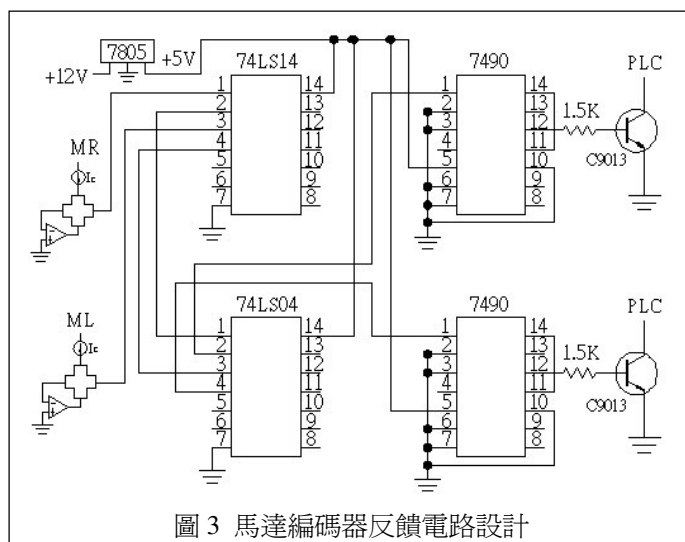


圖 3 馬達編碼器反饋電路設計

反饋電路的設計由兩側馬達編碼器霍爾元件的輸出訊號開始，先經 74LS14 史密特觸發器觸發，再以 74LS04 反相，即可得到一個漂亮的脈波使用來偏壓導通電晶體 C9013。不過在實地測試時，因其速度太快，使用起來不很方便，所以再利用 7490 將訊號頻率除以十，以符合可程式控制器的控制需求。

3. 機器人底盤系統控制

3.1 機器人馬達速度之調變

本機器人乃履帶式底盤，由四個強力直流馬達驅動，因為比賽場地有顛簸路面，為了適應不同的路況，必須有可變速度的設計，底盤系統使用直流馬達來驅動，而三菱可程式控制器有專用指令可作直接的脈波輸出控制，即波寬調變 (PWM) 指令，但是可程式控制器的 PWM 指令只有一組，無法作多段變速，因此須以程式設計 PWM，本程式應用兩個計時器作脈波輸出，其基本電路如圖 4 所示，圖中 T_2 為週期時間，改變 T_1 (以資料暫存器儲存替代) 即可改變波寬，進而改變馬達轉速。

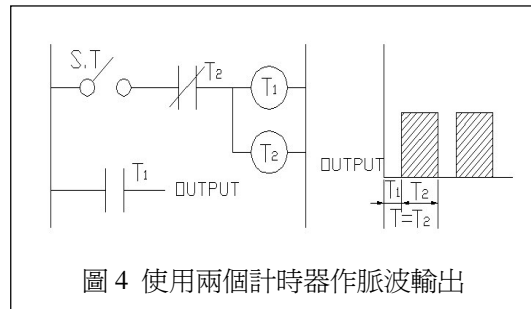


圖 4 使用兩個計時器作脈波輸出

3.2 機器人起動時之速度控制

初期底盤系統本無速度控制之設計，起動時即全速前進，因為全速時使用滿載電流，機器人由靜止狀態需瞬間克服靜摩擦直接高速運轉，馬達輸出軸齒輪受到高衝擊力，所以對馬達輸出軸齒輪損害非常嚴重。初賽前的練習因為這個原因而損害了 3 個馬達，經過不斷的改良及測試，發展出無段變速的速度控制程式，即在最高速 (滿載電流) 與最低速 (起動運轉後，機器人可以平穩行進的最低速度，其電流量為滿載電流的十分之四) 之間分成八段 (若需求更平滑的運轉，可分成任意段)，我們取其中四組電流量 (十分之四、十分之六、十分之八與滿載電流) 為操作速度檔，起動運轉時不論在那一速度檔，輸入馬達之電流皆由滿載電流的十分之一開始，每隔 0.05 秒增加十分之一，直到要求之電流為止，如此即能使馬達在起動時運轉平穩，而經連續三週不斷的實地測試，至決賽時仍未曾發生以往馬達輸出軸齒輪損害的情形，故知此方法可行。

機器人行進中，若欲變換其行進速度，即使由最低速轉換到最高速，因機器人本身慣性作用，馬達仍能平穩運轉，所以可以直接變換速度，若我們仍如起動運轉般，每次轉換速度時皆由滿載電流的十分之一開始，會發生機器人行進中會有顫動的現象。因此程式設計需分成兩部分規劃，首先利用移位暫存器將速度分檔儲存，起動時使其能循序前進到我們要求的速度，行進中的換檔，若是由低速檔轉換到高速檔則加速，若由高速檔轉換到低速檔便減速，其加減速的操作仍是每隔 0.05 秒增加十分之一，直到要求之電流為止，如此行進即可平穩，其流程如圖 5 所示。

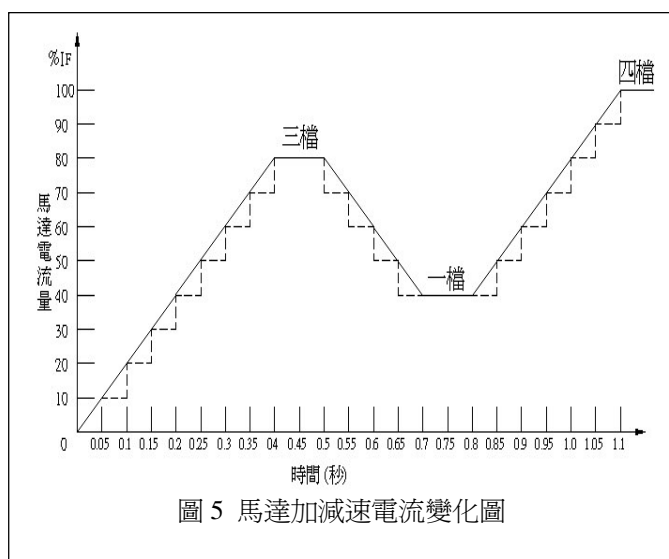


圖 5 馬達加減速電流變化圖

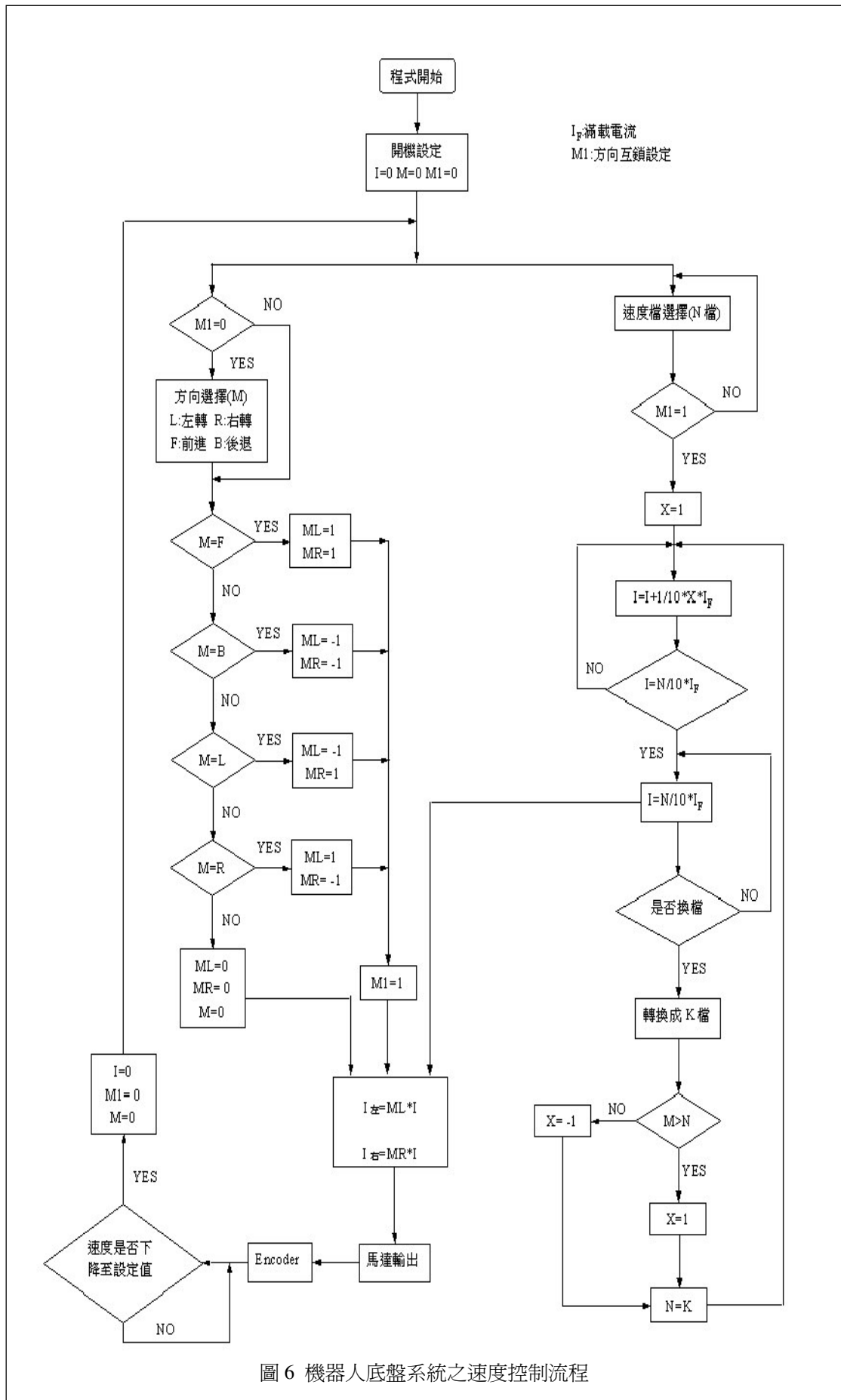


圖 6 機器人底盤系統之速度控制流程

3.3 機器人轉向時之速度控制

因考慮轉向的多變性，原始的轉向設計，曾使用左右側直流馬達的差速來產生斜向前進的操作，但因履帶輪對不同地面的斜進角度無法掌控，因此放棄此斜向前進的操作方式。

第二次我們使用單側馬達煞車，由另一側馬達帶動底盤轉向，此種轉向方式，在低速操作時有令人滿意之效果，不過在高速行進時，執行此轉向操作，因為機器人體重量將近 40 公斤，在其慣性力的帶動下，煞車的效果不佳，機器人往活動側偏，因而只好放棄此種轉向的操作方式。

最後，我們使用左右兩側馬達轉向相反而轉速相同的操作方式，此種轉向方式，因為迴轉中心在底盤中央，故可使機器人靈巧的轉向，甚至原地 360 度快速迴轉皆非常容易達成，因此我們決定底盤的轉向操作使用這種方式。

在左右兩側馬達正逆轉的轉向方式中，最令人困擾的問題便是當機器人快速行進中，欲令其轉向，則馬達由正轉馬上變成逆轉，因反電動勢的作用，燒壞了兩個馬達和十多個電晶體，經過不斷的改良及測試，終於克服此問題，而完成了令人滿意的轉向控制程式。

首先，在硬體的設計上，因為高速行進時，直流馬達在電源切斷時，常因其慣性力而無法立即停止，因此必須有制動裝置設計，本機器人使用兩組電阻煞車裝置，使在馬達斷電時機器人能快速停止。其次，行進的方向選擇必須有互鎖裝置，即在電源未切斷前不允許變換轉向，避免一個馬達因同時有正逆轉的輸出要求而造成損害。最後，當馬達在電源切斷時若其轉速還太高，不可變換轉向，此一“轉速大小”，必須考慮機器人行進的流暢性，若其值太小，則轉向時會有停滯的現象，但是其值若太大則可能燒毀線路或馬達，使用時需取得兩者皆滿足的最佳值。整個轉向的程式流程如圖 6 所示。

4. 研究結果與討論

這次本組參加第四屆全國技專院校創思設計與製作競賽—機器三國，所研發製作之移動式關節型機器人系統，由於機械結構精密、機電與控制系統完善，在初賽時即獲得大會的賞識，由協辦單位中華電視公司，特別拍攝全程過關的紀錄片，呈送教育部。雖然在決賽時，因參賽同學一時緊張而以些微差距落敗，但大家還是非常滿意這次的專題製作成品。

本文特別針對所研製之機器人底盤系統如圖 7 所示硬體架構和機器人底盤系統控制，作深入分析探討，提供今後參賽隊伍之參考，並期望未來的機器人設計能夠更創新、更進步。文中對於測試與改進過程有詳細的說明，閱讀本文可在設計初期即朝向正確的設計方向，減少因錯誤設計所浪費的時間與金錢。

本機器人底盤系統之控制程式，雖以可程式控制器書寫，但若依據文中所附控制流程圖，以不同之控制軟體設計，應該也行得通，因為此控制程式在機器人實地測試時，不論是速度的切換或是方向的轉換，從來不曾發生問題，因此可作為實際的參考。

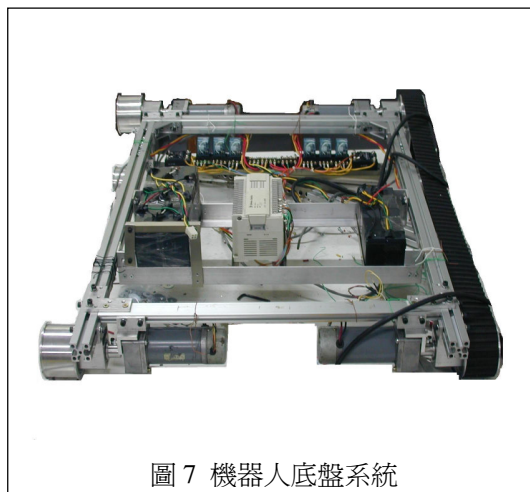


圖 7 機器人底盤系統

5. 結論與建議

參加第四屆全國技專院校創思設計與製作競賽，確實讓我們學到不少東西，從分析題目、草圖設計、選擇零件，到採購鋁材、加工、組裝、測試、修改等，製作過程中除了應用以前所學得的知識與技能外，為了完成機器人的功能，又學到了感測器、繼電器及積體電路等電子電機方面的知識，最重要的是經過這次的訓練，知道分工合作的重要，親身體會了群體力量的偉大，在製作過程中培養了彼此共處的默契，更為日後的學習與工作，建立一套正確的模式。

歷經初賽與決賽的激烈競爭，我們可以明顯的看出，真正決定比賽輸贏的並不是機器人的設計，而是操控手的訓練是否足夠、比賽時的抽籤運氣良否與情緒失常與否等。因此建議下一屆的承辦單位，若競賽過程中兩支隊伍沒有接觸，可否以計時方式舉行，以兩次的成績算總分來定勝

負可能較為公平。

誌謝

首先感謝財團法人 TDK 文教基金會贊助與教育部主辦這次“全國技專院校創思設計與製作競賽”，讓我們師生有此機會參與此創思設計與製作競賽之盛會，藉此機會將專科所學的知識與技能作一個整合的訓練；對承辦單位雲林科技大學相關人員的付出，我們給予高度的肯定。

在製作過程中，感謝本校余董事長暨董事會、許校長暨趙主任教官與本科林主任全力支持鼓勵，以及本科老師們的指導與訓練，同學們的支持與打氣，使我們能全心全力投注於機器人的設計與製作。

我們的機器人可以順利完成，最重要的必須感謝陳世濃老師在系統控制及可程式控制器軟體控制工作上的指導，以及李宗禮老師和樊漢台老師在機電系統、機構研發和精密的機械加工上對我們的指導，而讓整個專題研究與製作在我們埋頭苦幹通力合作之下，得以順利完成。

參考文獻

1. 第三屆全國技專院校創思設計與製作競賽技術論文集，雲林科技大學（2000）。
2. 曹昭陽譯，電動馬達與控制，五南圖書公司，台北（1999）。
3. 葛世偉、吳鴻志，可程式控制器應用，全華科技圖書股份有限公司，台北（1996）。
4. 郭興家、邱弘興，機電整合，高立圖書有限公司，台北（1997）。
5. 陳天青、廖信德、戴任詔，電動機控制，台北（1998）。
6. 郭興家、劉新在，自動化工程，高立圖書有限公司，台北（2000）。
7. 吳育昇，「創造性問題解決教學應用於機械職類專題製作的探討」 機械技術雜誌，第 178 期，第 104-111 頁（1999）。
8. 李宗禮，「競賽用創意機器人之研製」 南開學報，第 4 期，第 1-6 頁（1999）。
9. 蔡朝洋，電子學實驗，全華科技圖書股份有限公司，台北（1996）。
10. 陳瑞和，感測器，全華科技圖書股份有限公司，台北（1998）。
11. O. Kubitz and M. O. Berger and R. Stenzel, "Client-server-based mobile robot control," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 3, no. 2, pp. 82-90(1998).
12. K. C. Ng and M. M. Trivedi, "A neuro-fuzzy controller for mobile robot navigation and multirobot convoying," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 28, no. 6, pp. 829-840(1998).
13. <http://mozu.mes.titech.ac.jp/research/mobile/>, "Stair_Climbing Crawler,"(1999).
14. K. C. Cheok, "Autonomous unmanned ground robotic vehicle competition: An intelligent control challenge," Proc. of the American Conf., Baltimore, Maryland, pp. 383-387(1994).