

# 移動式關節型機器人的最佳實現

## Optimal Implementation of the Revolute Mobile Robot

An-Ni-Ki 隊

李宗禮<sup>1</sup> 陳世濃<sup>1</sup> 樊漢台<sup>1</sup> 郭宏偉<sup>2</sup> 孫承暉<sup>2</sup> 陳宏瑋<sup>2</sup> 許廷宇<sup>2</sup> 莊東霖<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 南開工商專科學校機械工程科講師

<sup>2</sup> 南開工商專科學校機械工程科學生

### 摘要

本文提出一套完整的移動式關節型機器人架構，包含機械硬體架構、機電整合與系統軟體控制三部分；主硬體架構包含履帶式底盤、平行四連桿雙關節機械手臂、全自動快速伸展機構、平行手肘及歪斜適應性手爪，機電整合包含伺服馬達驅動器、直流馬達正逆轉控制模組及氣壓方向閥模組，系統控制包含各任務程序之單鍵觸發全自動控制及底盤無段變速操控策略。因整體運轉速度與可靠度之需求是爭取獲勝機會的關鍵所在，所以利用功能豐富又操作容易的遊樂器控制盤當為人機介面來達到快速之目的，另輔以工業級的精密製造方式組裝機械結構來確保可靠性，因此全系統之創意構思雖僅以比賽目的而設計，卻以極精緻的方式產生工業級產品，並因而建立極佳的專題製作模式。

因而經由本研究製作提出超低重心底盤具極優良之超越障礙與過彎旋轉的運動特性的機器人，機械手臂則表現強勁折彎與收縮能力，以及快速抓放且具歪斜適應性的手肘與手爪機構。整個機器人利用可程式控制器操控，使得機器人底盤以無段變速運行，同時搭配多個感測器而讓機械手臂完全自動快速升降與伸縮，再巧妙的運用年輕學子熟悉的 PS2 遊樂器控制盤，當為人機之間的最佳介面而提高控制的靈活度。因而以精密的機械結構、細緻的機電整合與完美的控制系統，吸引了整個大會眾多眼光，特別藉由此文將此精緻創作內容提出。

關鍵字：可程式控制器、移動式機器人、競賽、機電整合

### Abstract

A technique structure for the revolute mobile robot is developed in this paper. Here is structured in three parts: hardware implementation, mechatronics and system control. All the hardware arrangements of the overall system include the belt-based-vehicle, two joints in four-bar linkage, automatic shooting system, parallel motion pitch and adaptive gripper. The mechatronics include sever motor driver, the control module of DC motor motion direction and pneumatic controller. The system controls include one key trigger sequence procedure and the tragedy of vehicle motion control. The key points of winning the competition are the requirement of the rotate speed and the reliability of performance in the whole system. Although the works are designed for the competition, the innovative concepts and approaches are very practical and useful. It can be widely applied in the industry, also built as an excellent project model.

A good performance robot in motion control and terrain ability had been made which based on the low position of weight centrality. A two flexible arms manipulator, fast extending mechanism, and adaptive clipper had been made in this robot. The sensing, control module, control panel and programmable logical controller had been combined to an excellent control system. The revolute mobile robot had been totally developed according to the perfect mechanism and good control system. After carefully design, and precisely manufacture this mobile robot has been easily raced in the competition. It has proved that the performances using the innovative structure and design are perfect.

**Keywords:** PLC, mobile robot, competition, mechatronics

## 1. 研究動機與目的

本校歷經第二、三屆全國技專院校創思設計與製作競賽，累積豐富的創思製作經驗，以及各種機械設計與機電整合等相關技術，參賽成員皆自第二、三屆即參與部分製作與觀賽，深入了解創思設計與製作競賽之相關知識，大家皆以強烈企圖心與必勝決心來參與整個製作過程，完全以如何爭取獎項之心態作為設計製作的思考依據，因而以整個暑假兩個月及開學後一個月期間來完成整體浩大工程。

## 2. 機器人硬體架構

### 2.1 系統概觀

#### 2.1.1 機器人系統組成

本機器人由四個強力馬達驅動組成履帶式底盤，提供機器人極優良之超越障礙與過彎旋轉的運動特性。機械手臂則由雙關節平行四連桿組成，第一關節由直流馬達經減速再由蝸桿蝸輪驅動，第二關節由氣壓缸直接驅動，手臂折彎收縮時整體外型僅有 100 公分長、75 公分寬和 40 公分高，伸張開時成為 180 公分長、75 公分寬和 160 公分高的龐大體型，充分發揮創思設計與精密製作之能力。手肘與手爪部份皆採用氣壓驅動，結構簡單動作確實又可達到快速抓取之目的，手爪經特別設計為歪斜適應性，即使不準確亦可輕易抓取物件。整個機器人利用可程式控制器操控，使得機器人底盤以無段變速運行，同時搭配多個感測器而讓機械手臂完全自動快速升降與伸縮，再巧妙的運用年輕學子熟悉的 PS2 遊樂器控制盤，當為人機之間的最佳介面而提高控制的靈活度。

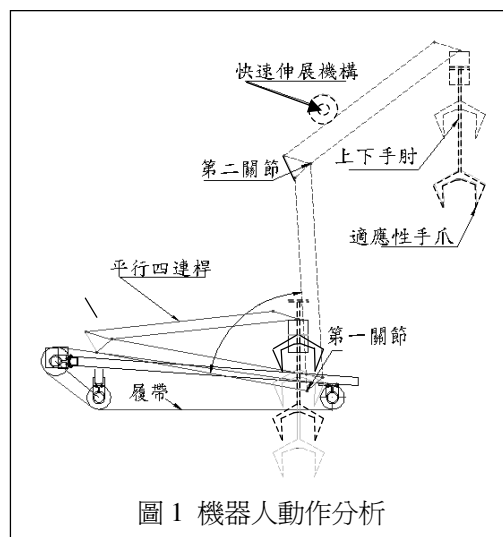


圖 1 機器人動作分析

#### 2.1.2 機器人動作分析

機器人之整體動作狀況如圖 1 所示，手爪安置於機器人內部再以氣壓缸驅動其上升與下降，由於此抓取位置接近車身旋轉中心，具有容易調整位置之優點；以平行四連桿組成之雙關節機械手臂，則讓手肘與手爪永遠保持垂直於地面，而易於抓取阿斗少主。

#### 2.1.3 機器人之機電系統

如圖 2 所示，機電整合控制系統包含有 PS2 遊樂器控制盤、可程式控制器、各感測器、馬達編碼器、馬達驅動模組、馬達正逆轉模組與氣壓方向閥模組。其中底盤之控制為確保馬達之正確運轉，以編碼器搭配 PWM 波寬調變驅動模組，再利用可程式控制器之軟體控制，形成一閉迴路控制；氣壓系統則為達到迅速確實之目標，亦利用磁簧感測器達到順序控制之動作；機械手臂以馬達正逆轉模組驅動，同時以近接感測器偵測其上下端點位置，達到自動定位之快速動作。氣壓動力源以液態 CO<sub>2</sub> 經氣化調理組處理後，供應 5Kg/cm<sup>2</sup> 壓力之穩定氣壓；電源部分以 DC24V 提供控制電源及 DC36V 提供底盤與機械手臂之動力。

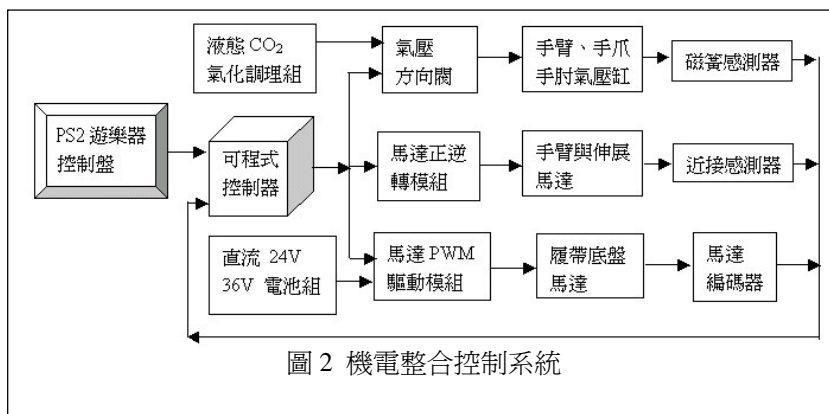


圖 2 機電整合控制系統

## 2.2 主體機械架構

### 2.2.1 履帶底盤與超越障礙輔助尾輪

履帶底盤與輔助尾輪如圖 3 所示，以高剛性鋁擠型為基本架構，再以四個 70 W 強力馬達分別驅動兩側之履帶而構成極快速之底盤，另外選了附有編碼器之舊品馬達，同時將霍爾元件之編碼器信號讀出且放大，送至可程式控制器並以閉迴路控制，形成一伺服系統因而達到更穩定的車身操控性能。履帶式底盤所應具有之優越操控性、靈活機動性與高過障能力等皆表現無遺。另外對壕溝之過障則以輔助尾輪來執行，該尾輪由氣壓缸驅動，到達定位後並以另一氣壓缸鎖住防止退回，整個動作以順序控制自動完成以減輕操控者負擔。

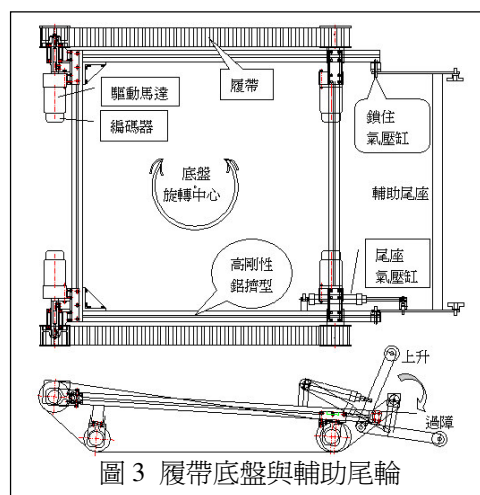


圖 3 履帶底盤與輔助尾輪

### 2.2.2 關節型機械手臂

應用平行四連桿所組成的第一與第二關節動態結構如圖 4 所示，其中第一關節於前視圖可見由兩邊寬 450mm 之對稱雙組手臂組成穩定結構體，手臂驅動則以強力直流馬達帶動蝸桿蝸輪減速機直接產生扭舉動作，其中馬達出力為 60W 轉速為 5000rpm 經 50:1 之減速後再串聯至 20:1 之蝸輪減速機，因而在負載下於 6 秒內即讓手臂扭舉 110° 以及遠超需求的扭力；第二關節因只需兩種位置即可執行任務，以 25mm 內徑氣壓缸處理彎曲之動作，其中氣壓缸輸出力約為 24kg；此雙關節平行四連桿收縮時可折彎至完全重疊，佔據極微小體積並且將重心降到最低，而搭載之手爪又可於任何位置皆保持垂直於地面的姿勢，另外又利用其穩定的結構來搭載射球之快速伸展機構。

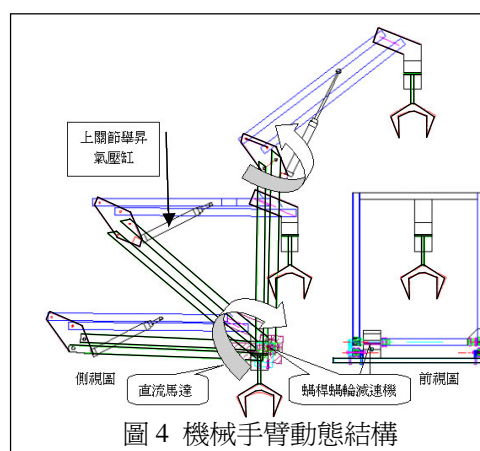


圖 4 機械手臂動態結構

### 2.2.3 歪斜適應性氣壓夾爪

以工業規格品的氣壓夾爪設計一附彈簧之小關節，對賽程之快速夾取需求，具有歪斜適應之優良特性，如圖 5 所示當手爪碰撞障礙物時，由小關節彎曲增進抓取速度，以及避免損傷手爪結構；另如圖同時表示本手爪之開啓與閉合狀況，以 25mm 內徑之氣壓夾爪經延伸後，約可於手爪尾端產生 2Kg 之夾持力。

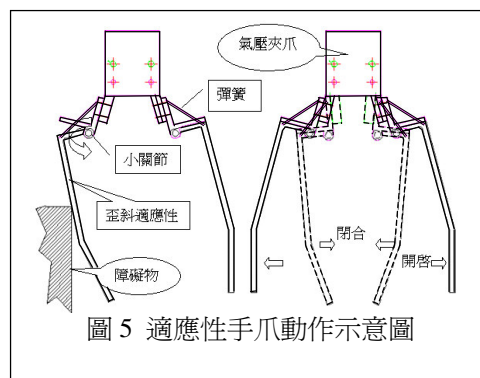


圖 5 適應性手爪動作示意圖

### 2.2.4 快速伸展機構

以實體模型設計出之圖 6 快速伸展機構，收縮時總長僅有 80cm，其中第一段由單一減速齒輪同時推動雙齒條承載氣壓缸相對伸出，第二段則以氣壓缸伸出以增加長度，因而產生伸展放大至 2.5 倍 200cm 的長度。另由剖面圖可見緊密結構中包含減速馬達、相對齒條、齒輪、固定滑座及氣壓缸等，經過精密設計與加工以及靈巧公差配合，再組裝而成的完整模組。為求達到快速伸出之目的，於齒輪組加裝極限近接感測器，於氣壓缸體加裝磁簧感測器，再利用順序控制，以單鍵觸發即全自動完全伸展至最大長度。

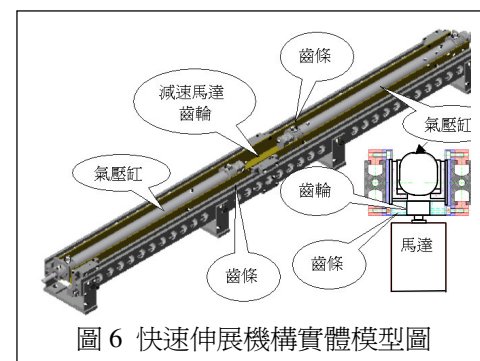


圖 6 快速伸展機構實體模型圖

### 3. 機電與系統控制

#### 3.1 機電控制系統

##### 3.1.1 車身底盤之伺服馬達控制

底盤行進分為 10 段快慢速度，控制主程式之控制策略於另一篇專文中詳述，如圖 7 所示馬達的控制方式，外部驅動電路則由晶體介面、電流放大模組、正逆轉交叉繼電器與煞車電阻組合而成，回授電路則由編碼器內部之霍爾元件直接由 500ppls 之 A/B 兩相脈波經 Trigger IC 取得旋轉訊號，再經除 10 IC 降低脈波頻率，由電晶體放大送入 PLC 之高速計數器。車身之前進後退與左右旋轉動作，則由 PLC 之組合邏輯來處理。

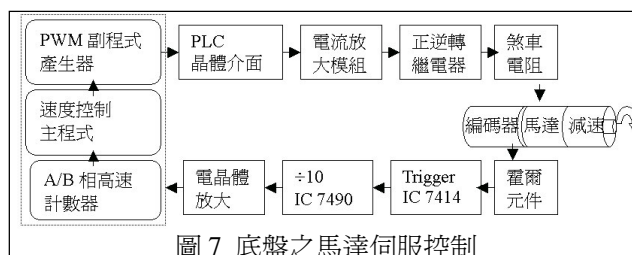


圖 7 底盤之馬達伺服控制

##### 3.1.2 機械手臂之機電系統

圖 8 表示雙關節機械手臂的控制方塊，第一關節需要精確定位，以 PWM 方式改變速度驅動，此馬達減速組因輸出扭力遠超所需，故採開迴路控制再以線控達到定位之目的。第二關節為輔助機能，僅需控制其極限兩端點，以順序控制來完成。雙關節機械手臂的制模式分為兩種：一為全自動舉昇手臂，應付快速定位之運動需求，以 PLC 之步進階梯控制方式來完成；二為微調手臂位置，以 PWM 方式由 PLC 電晶體輸出點取得訊號經電流放大來驅動馬達。

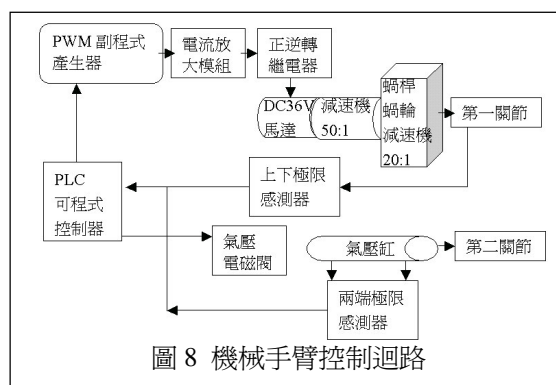


圖 8 機械手臂控制迴路

#### 3.2 人機介面之控制邏輯

詳見圖 9，以學生熟悉的 PS2 遊樂器控制盤當為人機介面，在極短時間內即可靈活控制本線控機器人，操作機器人比玩電視遊樂器有更易達到人機一體的境界。市購遊樂器控制盤需先將其電路板上按鍵接點分別焊接至多蕊電纜線，再連結至 PLC 輸入接點。機器人因需要操控之功能超過按鍵數目，因此如表 1 所示以表列方式處理 PLC 內部之控制邏輯，該盤面佈局上分為運動命令鍵與功能鍵，再組成各種應有之操控功能。

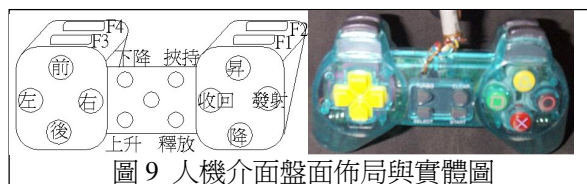


圖 9 人機介面盤面佈局與實體圖

命令功能鍵	前底盤	後底盤	左底盤	右底盤	昇第一關節	降第一關節
單鍵	慢速前進	慢速後退	慢速左旋	慢速右旋	微調上升	微調下降
F1	中速前進	中速後退	中速左旋	中速右旋	中速上升	中速下降
F2	高速前進	高速後退	高速左旋	高速右旋		
F3	全速前進	全速後退	全速左旋	全速右旋	自動上升	自動下降
F4	微調前進	微調後退	微調左旋	微調右旋		

表 1 人機介面之控制邏輯

### 4. 製作實驗結果

#### 4.1 履帶式底盤之運動與爬坡狀態

本機器人由四個強力馬達驅動組成履帶式底盤，結果證明機器人的優良超越障礙與過彎旋轉的運動特性。機器人總高度僅有 40 公分，是全比賽會場中車身最低的機種；機器人重心位置經量測約為離地 17 公分處，也因超低重心的特性而獲得穩定的運動特性與快速的過障能力。另於機電系統上，四個驅動馬達以閉迴路伺服控制，控制器以可程式控制器處理及小巧的 PS2 人機介面，以及控制軟體程式之研發，結果輕易命令操控機器人底盤以無段變速運行。圖 10 為本機器人貼地爬坡之狀態。

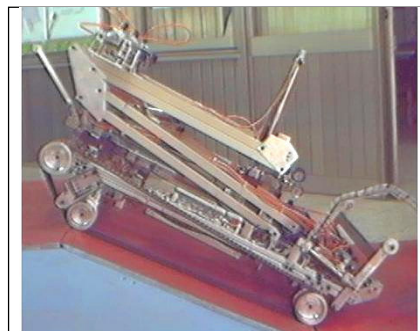


圖 10 機器人爬坡狀態圖

#### 4.2 雙關節機械手臂與快速伸展機構結果分析

由雙關節平行四連桿組成的機械手臂，折彎收縮時僅有 40 公分高，伸張開時成為 160 公分高的龐大體型，足證創思設計與精密製作之能力的充分發揮。見圖 11，搭載於手臂上的精密伸展機構，其中以精密齒條齒輪與氣壓缸合併組合之 2.5 倍伸展器，確實發揮收放的功能。為達到快速手臂舉升與快速伸縮的動作，所加裝的多個感測器與順序控制程序之搭配，在實驗結果中皆於 6 秒內完成動作，操作者以單鍵觸發即全自動執行。

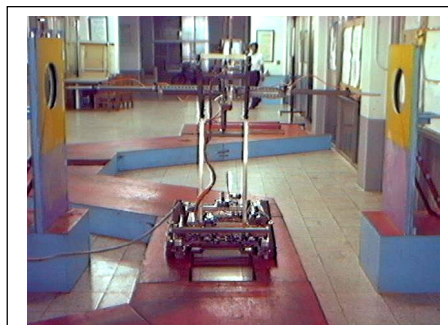


圖 11 機器人伸展狀態

#### 4.3 氣壓手肘與夾爪夾持少主超越障礙

氣壓驅動手肘與手爪的堅固結構，確實可達到快速抓取之目的；經特別設計歪斜適應性手爪，即使不準確亦可輕易抓取物件，在爭取時間的抓取動作上，確實發揮快速夾取的效果。圖 12 為機器人夾持少主超越障礙時的行進狀態，經量測延伸夾爪的尾端具有 2Kg 的夾持力，因此在實驗過程裏未曾有過少主掉落的現象。



圖 12 夾持少主超越障礙

#### 4.3 機械手臂舉升放置少主

以雙關節的平行四連桿組成的精巧手臂，結果對抓取少主與置放少主之過程最易展現其特性。從低於地板之處抓取少主直到手臂舉昇放置少主如圖 12 所示，精確細緻完成任務。



圖 13 機械手臂舉升放置少主

#### 4.4 場地模擬與比賽

完成機器人以強烈企圖心而準備，在校內場地不斷練習數百次，全程按比賽規則演練，紀錄賽程花費時間從兩分鐘慢慢減少，直到賽前達到 32 秒的紀錄，實際比賽過程也以 48 秒完成任務。

在模擬練習過程裡，由原始設計製作之原型機器人即為參賽之機器，雖經維修與小部份更改，卻也經得起數百次的操練，足證本專題作品的設計與製作能力的確有著相當水準。

### 5. 結論與未來研究方向

本機器人的創思設計製作，以精密的機械結構與細緻的機電整合系統，吸引了整個大會眾多眼光，因此初賽後中華電視公司即選定為記者會的示範隊伍，並拍攝全部動作過程做為教育部記者會的示範動作展示。由此足證本創思作品所獲得的肯定，確為一極佳的專題製作模式。

本作品之成果包含以下特點：機器人重心位置達到 17 分的超低重心，兼具機動靈活與快速過障的堅固履帶底盤，以雙關節的平行四連桿組成精巧手臂，以精密齒條齒輪與氣壓缸合併組合之 2.5 倍伸展器的精密伸展機構，具有適應歪斜不準確自動調整能力之適應性手爪，以年輕人酷愛之 PS2 控制器的靈巧人機介面，以 PWM 控制底盤與手臂速度，達到無段變速效果的最佳控制實現，以自動執行手臂升降、伸展、輔助尾座等動作。終而將電子、電機、機械等精密複雜的機電整合完美搭配，成為移動式關節型機器人的最佳實現。

移動式關節型機器人本身是一極具潛力的未來研究標的，未來計畫將此製作的原形加以功能擴充，進而探討無人自動操控、電腦監控、貼地適應越野行走或服務形機器人等題材，都將是極具研究價值的未來方向。操控系統由目前的可程式控制器，更改為單晶控制、FPGA 或工業電腦等亦將要著手進行；增加週邊感測器與影像處理系統以獲得環境資訊，亦必然為一重要研究課題。總之本移動式機器人對所有參與者，帶來無限寬廣的未來研究啟示。

#### 誌謝

感謝教育部主辦、財團法人 TDK 文教基金會贊助和雲林科技大學承辦等單位之相關人員的付出，讓我們師生有此機會參與此創思設計與製作競賽之盛會，藉此機會針對專題製作再一次深入探討研究；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，以及本科樊漢台、陳世濃、李宗禮老師和全體參與設計製作學生的通力合作，投注於精密加工、機構研發、機電整合和系統控制等工作，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，更是由衷感激。

#### 參考文獻

1. 李宗禮，「全自動彈射系統之研製」，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，第 31-36 頁（2000）。
2. 黎文龍，「機電整合技術教育在專科學校實施之可行性研究」，台北技術學院學報，第 30 卷，第 2 期，第 17-30 頁（1997）。
3. 曹昭陽譯，電動馬達與控制，五南圖書公司，台北（1999）。
4. 陳天青、廖信德、戴任詔，電動機控制，台北（1998）。
5. 張保隆、陳文賢、蔣明晃、姜齊、盧昆宏、王瑞琛，生產管理，華泰書局，台北（1997）。
6. 洪榮昭，「日本技職教育專題製作中之創意發展」，人力資源發展月刊，第 124 期，第 3-11 頁（1997）。
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. 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).
10. 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).
11. <http://mozu.mes.titech.ac.jp/research/mobile/>, "Stair\_Climbing Crawler,"(1999)。
12. K. C. Cheok, "Autonomous unmanned ground robotic vehicle competition: An intelligent control challenge," Proc. of the American Conf., Baltimore, Maryland, pp. 383-387 (1994).