

圓柱座標式機器人之建構與實現

Implementation of a Cylindrical Mobile Robot

終結者隊

樊漢台¹ 李宗禮¹ 陳世濃¹ 呂政修² 謝榮焜² 廖梅貞² 呂偉立² 余奇錦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

此次參加第四屆全國技專院校創思設計與製作競賽—機器三國，所研發製作之圓柱座標式機器人系統，以精密的機械結構、細緻的機電整合與完美的控制系統，吸引大會眾多目光，並且獲選為大會決賽時示範機器人。

本文特別針對所研製之機器人系統之各種創意構思作深入分析探討比較，其中包含可快速原地回轉之履帶式底盤、升降靈活雙軸導引機構之機械手臂、快速伸展機構、平行手臂與歪斜適應性手爪等機構之研究，再深入結合感測器、模組化電路板、遊樂器控制盤與可程式控器等電控設備，進而融合各獨立機械結構與自動控制組合成完整的移動式機器人系統。

機器人運轉之速度性、流暢性、功能性及可靠度是本次機器人製作訴求重點，在審慎設計、加工、組裝下完成，經反覆測試及修正，本組機器人可以輕易克服比賽所規定之階梯、陡坡、壕溝及連續之波浪路面，同時順利完成攻城救主之任務，證明本圓柱座標式機器人之建構與實現確實可行。

關鍵字：可程式控制器、移動式機器人、競賽、機電整合

Abstract

A cylindrical mobile robot system was developed for the purpose of the 4th National Technical College Innovation and Design Competition. It made everybody's attention and impression in the competition because of the delicate mechanical structures, the smooth mechatronics, and the perfect control system. The best honor was that it was chosen as a demonstration robot in the final competition.

This paper presents an analysis and design approach of the innovation of mechanical structure. Which include the development of fast motion belt-based vehicle, sliding cylindrical manipulator, fast extending mechanism, and adaptive clipper. The control system includes sensing, control module, control panel and programmable logical controller. The cylindrical mobile robot had been totally developed according to the perfect mechanism and good control system.

The basic concepts of this robot are smoothly fast speed motion, reliability and performance. After carefully design, precisely manufacture, and fine tune-up this mobile robot are 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. 簡介

1.1 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，累積豐富製作經驗以及各種機械設計與機電整合等相關技術，並獲得在校同學極大迴響，在第三屆競賽後即有許多同學多次積極表達參與機器人競賽製作之熱忱，這種主動接受創思製作挑戰的精神，促成本科參加第四屆全國技專院校創思設計與製作競賽。

1.2 場地規則分析

第四屆競賽之場地及規則與前兩屆比較發現其更困難之處有下列幾點，經個別分析如下作為本屆機器設計之導引。

- (1) 斜坡的角度較第三屆場地增加約一倍，長板坡前斜坡更達 32 度，因此底盤系統除了需強力的動力外，輪系抓地力強及低重心均是不可或缺的條件。
- (2) 壕溝路障使機器人無法直接通過，延伸前後輪軸距的輔助輪系是必要的。
- (3) 面對連續不同直徑起伏變化大之半圓波浪路障及連接其後陡峭下坡路面，思考使用何種輪系可平穩順暢通過，將是一大考驗。
- (4) 攻擊敵軍埋伏所需撞擊之排球相距約 2.5 米且離地面 1.2 米，是機器人功能機構之另一大考驗，如何保持機器人的低重心，避免過寬的機身妨礙機器人的運作，一個靈活的升降機構及橫向快速伸展機構，應是不可或缺的必要條件。
- (5) 將幼主由地面下 25 公分深之地牢救出，經過路面惡劣的波浪路面，最後投入離地約 1 米高的城堡定位孔洞中，更是需要一付操控自如強而有力的手爪。

1.3 創思設計及製作流程及說明

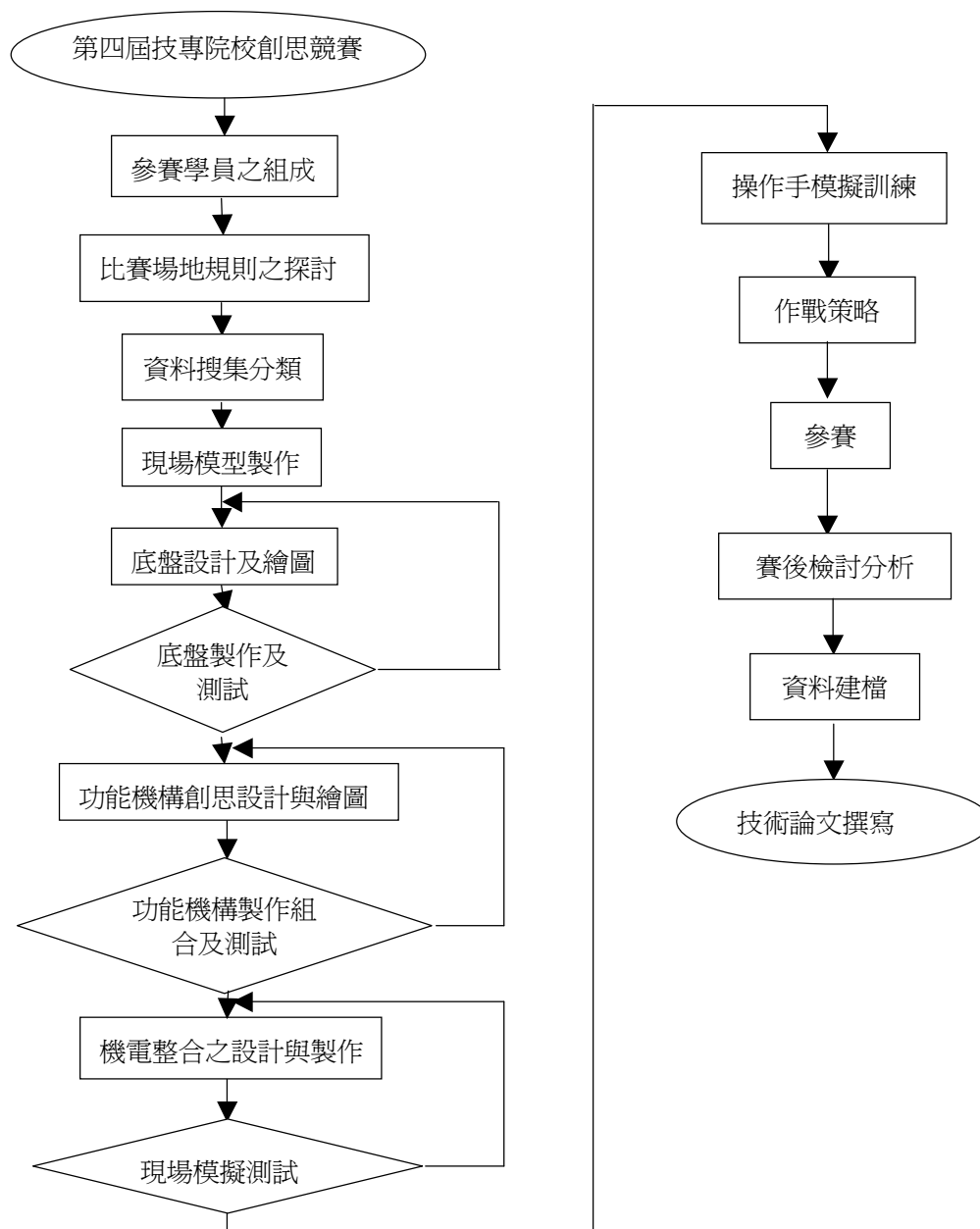


圖 1 創思設計及製作流程圖

如圖 1 所示創思設計及製作流程，參賽學員由踴躍報名的 50 名同學中，分別經學行、創思能力及專業技能之評定，評選出 24 位學員，組成四隊參賽。

- (1) 比賽規則說明，探討及資料搜集：詳研比賽規則並搜集相關功能機構及機器人資料，構思出本隊機器人底盤、手臂擊球、手爪之機構。
- (2) 機器人創思設計及繪圖：各種機構之設計均經電腦 AutoCAD R14 及 Solidwork 等繪圖軟體作動作分析無誤，再繪製元件之工作藍圖。
- (3) 製作、組裝、測試：將製造元件圖繪製加工程序分圖，運用本科各種工作母機加工製作之，組裝後反覆測試其完整性及穩定性。
- (4) 機電整合之設計：透過可程式控制器，作人機介面控制，作為底盤之轉向與速度控制及機械手臂之自動控制及快速擊球之伸展機構。
- (5) 現場模擬之演練及作戰策略之擬定：根據比賽規則，在研究如何快、穩、準以及與對手僵持時之策略及戰術運用。
- (6) 賽後檢討及資料建檔：作為爾後參賽之技術資料。

2. 機器人硬體架構

2.1 系統概觀

2.1.1 機器人系統組成

本機器人採履帶式底盤，四個強力馬達驅動履帶，使機器人擁有優越的機動性及靈敏性。機械手臂採座標式作水平、垂直之移動，結合可原地 360° 回轉之履帶式底盤，可輕易展現出圓柱座標式機器人之特性。在機器人行進時手臂下降至總重心在 35 公分以下，保持機器人穩定靈活的機動力。擊球機構附裝於手臂升降機構上，收縮時 80 公分，伸張時達 220 公分。手肘採齒輪-齒排傳動，伸縮自如，手爪採氣壓驅動，可快速確實達抓取之目的。機器人之運行利用可程式控制器操控馬達，可無段變速運轉，避免馬達因瞬間啟動即以最高速運轉之損耗。並且搭配多個感測器，使機械手臂在一次按鈕的操作下即可自動連續完成多次動作。

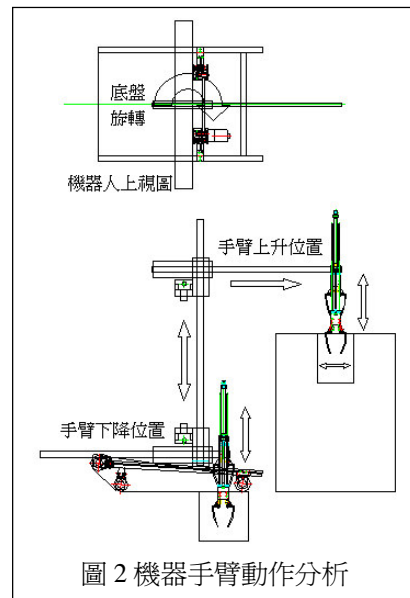


圖 2 機器手臂動作分析

2.1.2 機器人動作分析

機器人手臂動作狀況如圖 2 所示，手臂下降時內收，手爪取物時位於底盤架內部以保持重心之穩定，再以氣壓缸驅動手爪上升與下降並配合手爪氣壓缸閉合之作用，穩健確實

快速的救起少主阿斗，再經由雙軸同步傳動使手臂升高並伸展至凹槽中將少主準確的送回凹槽內。

2.1.3 機器人之機電系統

機電系統如圖 3，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；X 座標與 Z 座標軌道以馬達正逆轉模組驅動，同時以近接感測器偵測其上中下端點位置，達到自動定位之快速動作。氣壓動力源以液態 CO₂ 經氣化調理組處理後，供應 5Kg/cm² 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。

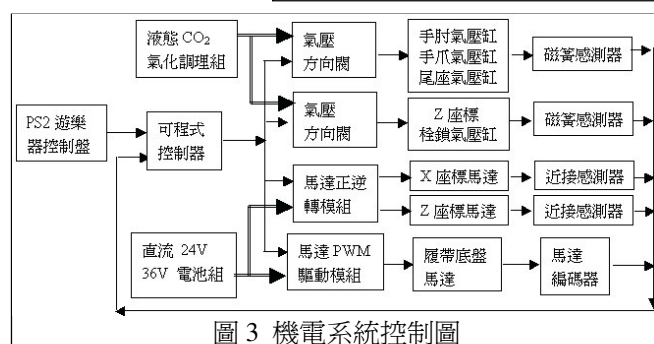


圖 3 機電系統控制圖

2.2 主體機械架構

2.2.1 履帶底盤

履帶底盤如圖 4 所示其特性如下：(1)採用高剛性之鋁擠型為架構，以四個 70W 強力並附有編碼器之減速馬達驅動兩側履帶，經由可程式控制器之控制形成一個閉回路控制系統，使得履帶傳動在速度的變化上具有優越之操控性，並且在轉彎特性上可作 360°原地快速回轉，更顯現出靈活機動的能力。(2)履帶傳動系統遇特殊地形及急轉彎時，會使負荷集中於某一傳動輪，輪軸在承受瞬間突加的負荷所產生彎矩下造成彈性彎曲變形，使履帶受側向力而滑出傳動輪造成鬆脫現象。本次機器人在設計製作的過程中，即特別加強車架及輪系的剛性，並特別在傳動輪的支撐上採全浮式支撐機構如圖 5，使馬達只承受扭矩而不必承受車體加諸於輪系的負載。此機構在試車時顯著改善履帶滑脫現象，減少至 2.5% 的機率，但仍不免偶受脫帶之困擾。幾經師生同心腦力激盪下，嘗試在製作及組配輪系

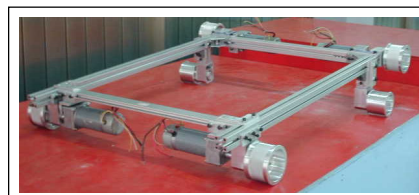


圖 4 履帶底盤照片

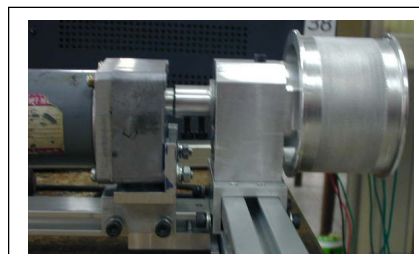


圖 5 全浮式支撐機構

時，使前後輪軸間非平行而略呈外八字，經無數次測試，終於使履帶滑脫機率降至 0%。

2.2.2 超越壕溝輔助尾輪

底盤尾部加裝之輔助尾輪如圖 6 所示作為過壕溝路障時，可延長前後輪軸距，以免底盤落入溝中，該尾輪由氣壓缸驅動放下，到達定位後，並以另一氣壓缸頂住輪架防止退回，整個動作以順序控制自動完成，以減輕操控者負擔。



圖 6 輔助尾座

2.2.3 圓柱座標式直線移動機械手臂

機械手臂結構參考圖 2 所示，加上可原地回轉之底盤，形成一圓柱座標式機械手臂。為增強手臂剛性，手臂的升降採雙軸導引，以齒形皮帶傳動機構連結雙軸，由同動的小齒輪在直軸排齒上運轉，帶動手臂支架本體在兩直軸上作同步穩健的升降運動。另在手臂上附裝由氣壓控制的氣缸式離合爪，使機械手臂在高度定位後，在機器人行走時不受重量慣性產生下滑之困擾。

2.2.4 氣壓控制之手爪機構

手爪機構如圖 7，手爪附於自製導引式氣缸桿座上，使手爪可快速伸入地牢中將少主救出，手爪動力是選用市售氣缸爪以氣壓控制手爪之開合。手爪部分則是由同學創思自行設計之歪斜適應性手爪，當移動手爪至孔位時，若定位略有偏差，手爪仍可順利進入孔中抓取，並且在物件置入孔中放開後，若手爪碰撞壁面，手爪受適應性機構之保護而不受損傷。

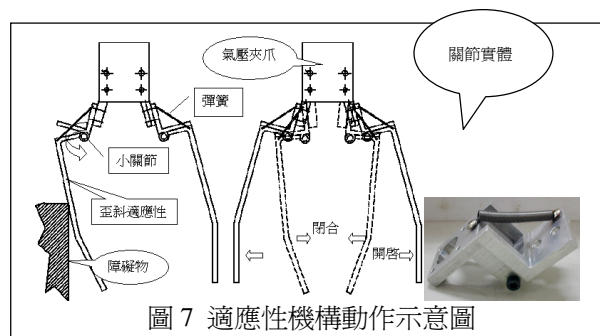


圖 7 適應性機構動作示意圖

3. 機電與系統控制

3.1 可程式控制器之系統控制

本機器人之控制部分直接使用工業用士林電機 FX0N 可程式控制器(PLC)，具有 24 個輸入接點 16 個繼電器輸出接點以及延伸 8 個電晶體輸出接點；以單獨 24V 直流電源驅動，搭配電視遊樂器鍵盤、各感測器及輸出驅動裝置；底盤控制方式以另一專文探討，機器手臂等機關控制則以 PLC 程式語言之組合邏輯與順序邏輯方式處理。以 PLC 控制確實節省很多電路之製作時間，尤其完全彈性多變之軟體處理功能上，更是讓機器人的機制有更多發揮的空間。

3.2 人機介面之控制邏輯

將市購電視遊樂器控制盤電路板之每個按鍵接點重新焊接並連接 PLC 之各輸入點，但因本機器人所需控制功能太多，尤其在底盤之控制以命令鍵與功能鍵組合後，洽可構成極順暢之控制模式，在圓柱座標之手臂控制也是需全自動與多種使動功能，也是以命令鍵與功能鍵組合組合處理，請詳見圖 8 之控制器鍵盤佈局與控制邏輯。

| 命令 功能鍵 | 前 底盤 | 後 底盤 | 左 底盤 | 右 底盤 | 昇 Z 座標 | 降 Z 座標 | 伸出 X 座標 | 收回 X 座標 |
|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|------------|------------|
| 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 | 微調伸出 | 微調收回 |
| 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 | 中速伸出 | 中速縮回 |
| 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 | 自動伸出 | 自動縮回 |
| F4 | 微調前進 | 微調後退 | 微調左旋 | 微調右旋 | | | | |

圖 8 PS2 控制器鍵盤佈局與控制邏輯

4. 製作實驗結果

4.1 機器人爬坡狀態

詳見圖 9 機器人攀爬 30° 斜坡狀況，此時手臂重心降至約為 45 公分的最低位置，操縱者以半跑速度駕駛機器人快速爬坡而上，履帶式底盤的貼地平穩特性充分顯現；本履帶式底盤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。更由於機電系統上，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，結果操縱者輕易超控機器人底盤以無段變速運行。

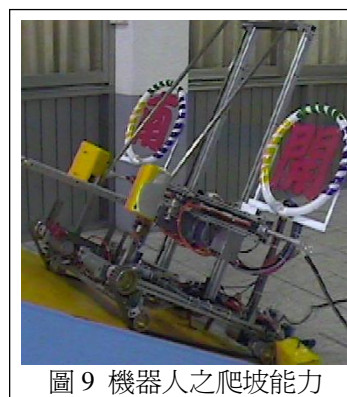


圖 9 機器人之爬坡能力

4.2 輔助尾輪動作結果分析

如圖 10 所示輔助尾輪輕易通過障礙結果，全自動氣壓驅動輔助尾座，在未進入鴻溝障礙前即自動放下並由第二支氣壓缸栓鎖以防退回，因而幾乎對此障礙恰如平地般通過。本輔助尾輪之控制是以 PLC 步近階梯程序控制，結果駕駛手僅需單鍵觸發即達到放下收起之完整動作。



圖 10 輔助尾輪過障結果

4.3 機械手臂抓取與放置能力

由圖 11 可見機械手臂抓取少主輕易超越障礙的情形，經量測氣壓驅動延伸夾爪的尾端具有 2Kg 的夾持力，因此在實驗過程中未曾有過少主掉落的現象；抓取時深入地牢中輕易救起少主後迅速升起並通過障礙，再自動升至最高點以拜見劉備放下少主。



圖 11 機械手臂抓取過障與放置方式

5. 結論

此次機器人製作競賽仍受限大會每隊隊員三名之規定，但本科熱烈參與製作學習意願的學生多達 50 名，經學行、專業的能力比較篩選後，組成每隊 6 名成員，共 4 隊 24 人之大規模機器人製作團隊在整個 60 天的暑假裡，除了週日外，全體學員無不戮力全程。常見他們執著的拼鬥至日暮黃昏，街燈悄然亮起，拖著疲累的身影在漸暗的夜色中。特藉此文說一聲：「各位努力的學員們，此次製作期間大夥的無私無我的投入，發揮團隊精神之極至，你們是真正的贏家！」

在製作過程中除齒輪、排齒委由廠商製作，其餘製造零件全部都是老師們帶領所有學員運用科上現有之車、銑、鑽床及 CNC 數控工具機等設備，並要求學員們自我嚴格品管的要求，自行加工出符合公差配合需求的可製換式零件。另外在組裝時，配合機械部分的精密確實的組合，並結合感測器、模組化電路板、可程式控制器及操控方便的遊樂器控制盤等控制設備，融合各獨立機構達自動控制功能，最後得以順利完成這一部製作精美、結構嚴謹的機器人。

誌謝

感謝財團法人 TDK 文教基金會贊助與教育部主辦“第四屆全國技專院校創思設計與製作競賽”，讓我們學生有此機會將專科所學的知識與技能作一個整合的訓練。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，更必須感謝李宗禮老師和陳世濃老師在機電系統、機構研發和精密的機械加工上對我們的指導。

參考文獻

1. 郭興家、劉新在，*自動化工程*，高立圖書有限公司，台北（2000）。
2. 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）。
3. 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）。
4. 蔡朝洋，*電子學實驗*，全華圖書公司，台北（1996）。
5. 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）。
6. 曹昭陽譯，*電動馬達與控制*，五南圖書公司，台北（1999）。
7. 葛世偉、吳鴻志，*可程式控制器應用*，全華科技圖書股份公司，台北（1996）。
8. 郭興家、邱弘興，*機電整合*，高立圖書有限公司，台北（1997）。
9. 陳天青、廖信德、戴任詔，*電動機控制*，台北（1998）。
10. 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).
11. 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).
12. <http://mozu.mes.titech.ac.jp/research/mobile/>, "Stair_Climbing Crawler," 1999。
13. K. C. Cheok, "Autonomous unmanned ground robotic vehicle competition: An intelligent control challenge," *Proc. of the American Conf.*, Baltimore, Maryland, pp. 383-387(1994).