

39. 四輪全方位輪椅

李宗禮 副教授、樊漢台 助理教授、錢建宏、何宗盛
南開科技大學 自動化系、福祉科技所

摘要

本計畫之目的是希望設計並製造一種可全方位移動之電動輪椅，針對手掌功能健全而不良於行的老年人及肢體障礙族群的輪椅使用者，提供一個靈巧而可全方位移動的輪椅，其中除沿用現有手動與電動輪椅優點外，將改進創新出新穎的全方位輪椅系統，讓電動輪椅能沿各任意方位直接移動，而克服現有輪椅無須繁複的運動方式，開創電動輪椅靈活的運動能力，提供在狹窄、凌亂、動態的環境中亦可靈巧行進的輪椅系統。研究中透過先前雛型三輪式全方位輪椅，進而改裝成四輪式，讓輪椅在使用上更平穩更安全。接著進行電動輪椅底盤機構的設計與研製、底盤馬達與驅動器之設計安裝與測試、推導全方位電動輪椅之運動學及動力學方程式並轉寫為控制程式、和機電系統與微電腦系統整合及功能測試等項目，同時亦將包含人員的實際乘坐，反覆測試改進以期完成一種兼具靈巧運動又舒適順暢的輪椅系統。

關鍵詞：輪椅、電動輪椅、全方位運動

第一章 緒論

1-1前言

台灣隨著社會結構的進展與改變，由內政部統計處[1] 96年度資料顯示，我國老年人口近年來不斷地增加，出生率卻不斷的下降，至民國97年12月止老年人口數已高達2,402,220人，佔台灣總人口數比例10.42%，並預計到民國100年將有12%的老年人口，至民國140年則將有24%的老年人口，可見我國正式邁入高齡化社會且日趨嚴重；再根據內政部統計處96年度相同資料來源指出，國內身心障礙人口中肢體障礙者有高達402,983人。而老年人的神經肌肉機能衰退與運動功能能力降低後，和肢體障礙者的肌肉骨骼機能衰退及運動神經損傷而行動不便時，皆大量需求仰賴輪椅的代步。另外根據統計在美國，使用手動輪椅和電動輪椅的人口超過250萬，而電動輪椅使用者則超過了75萬人，透過操控簡單的控制器來操控電動馬達，使驅動方式更為省力、容易。電動輪椅為不良於行的老年人及肢體障礙者常用之行動輔助工具，在各種輪椅的相關研究中可發現目前無論是手動或電動輪椅皆有甚多改善空間。

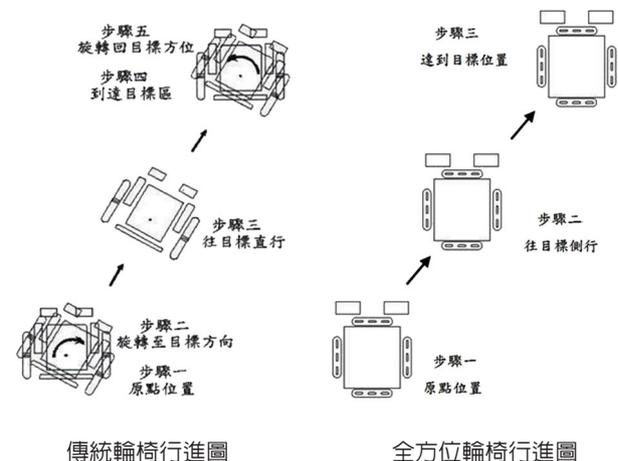
1-2研究動機

目前台灣的輔具製造產業中，大多以組裝加工與大量生產外銷為主，欠缺新穎創意研發的投資與專業技術人員的訓練，因此本研究計畫針對手掌功能健全而不良於行的老年人及肢體障礙族群之輪椅使用者，提供一種「可全方位移動之電動輪椅」，除沿用現有手動與電動輪椅優點外，再改進創新出可全方位運動輪椅系統，而克服現有輪椅的複雜運動方式但是綜觀目前市面上電

動輪椅的運動方式絕大多以左右兩大輪驅動，前方兩小輔助自由輪平衡車體，此種傳統式輪椅在一般直線行進時確實可保持順暢的運動模式而被廣泛的認同與採用，但在進行側向移動需求時，細觀其運動程序卻相當繁複，例如輪椅欲向左側時需先將輪椅旋轉到目標位置，再往目標位置前進，到達後又需旋轉到原來方位。

1-3研究目的

本研究為了克服現有輪椅的複雜運動方式與提供側向移動的需求，將先前的三輪式全方位輪椅改為四輪全方位輪椅底盤結構，主要是四輪結構比三輪能得到更平穩與安全，讓電動輪椅能沿各任意方位直接移動而無須繁複的旋轉運動，此種方式和以往利用兩輪驅動的電動輪椅在運動的靈活度上有相當大的差異，傳統兩輪驅動的電動輪椅僅有往前後移動及旋轉的功能，而無任意往左側、往右側、往左前後側、或往右前後側等方向移動之方式，就如同汽車無法靠向左或向右移動來完成路邊停車的情形相同，亦即傳統式電動輪椅被其結構限制了運動能力，尤其在地窄人稠居家環境不是很寬敞的情況下，如何開創電動輪椅靈活的運動能力，以使其即使在狹窄、凌亂、而動態的環境中靈巧地行進，確為一個重要的研究課題。

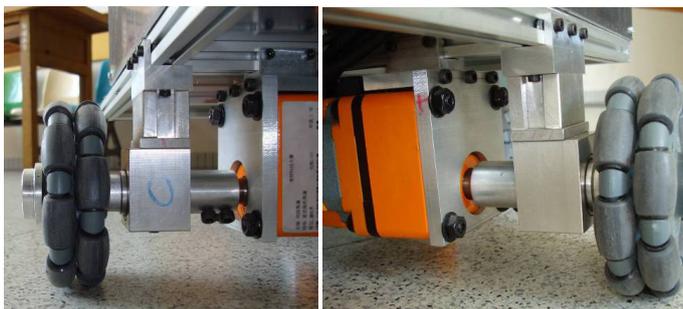


第二章 研究方法

2-1系統架構

本研究靈巧的三輪式電動輪椅之底盤部分的機械設計、製作、組裝、馬達安裝、驅動電路版安裝、可程式控制器(PLC)、電腦程式測試等架構如下說明。利用Kornylak Corporation所開發的全方位輪子，考慮電動輪椅之電源將採用直流24V鉛蓄電池為動力源，目前估計約需具有36安培小時的電池供應量方足以提供本系統的續航力，在馬達與驅動器部分將直接採用附有

解碼器的無刷直流馬達，以台灣厚利馬達公司DBS編號9B100PD-D的馬達，此馬達係以霍爾原件為感測元件來偵測馬達主軸的旋轉角度，即由馬達主軸的實際運轉角度，在驅動器上即時轉換馬達內電磁鐵的極性，而構成直流無刷馬達的結構，該霍爾元件同時供應外部控制器的解碼功能，於每一轉中產生30個脈波，此馬達的額定輸出功率為100W，不論轉速之高低皆具有定值高扭矩輸出的特性，馬達本身之額定扭矩為0.33Nm，經計算後預計採用15:1的減速齒輪，亦即在減速後的車輪上將具有4.95Nm的轉矩輸出，若以直徑12.5cm之輪子計算，此輪子的切線力將具有 $F=4.95\text{Nm}/12.5\text{cm}=52.8\text{N}$ (牛頓)的力量，再以負荷60Kg載具計算，以 $F=ma$ 計算載具之加速度， $a=F/m=52.8\text{N}/60\text{Kg}=0.88\text{m}/\text{sec}^2$ ，可獲得具有0.88m/sec²的加速度及 $V=at=0.88\text{m}/\text{sec}^2*10\text{sec}=8.8\text{m}/\text{sec}$ ，即10秒鐘後可到達8.8m/sec的速度，很適合本計畫的需求。馬達在加裝驅動器之後，可利用0至5V的電壓來控制馬達的轉速，輸入控制電壓和輸出轉速間呈線性的關係，亦即隨輸入高低0V~5V的電壓而調整輸出快慢0~3000rpm的轉速，至於馬達的正/逆轉、運轉/停止、自由/煞車也都由驅動器提供控制接點。於步驟1完成機械結構後，即可將以上所述的馬達與驅動器裝設，緊接後續處理系統控制測試的研究工作。圖一、二顯示完成的底盤與懸浮式結構，以及在馬達與驅動器安裝及運動控制及為處理機控制測試的研究部分，嘗試搭載70KG之人員，已可順暢移動與運轉。

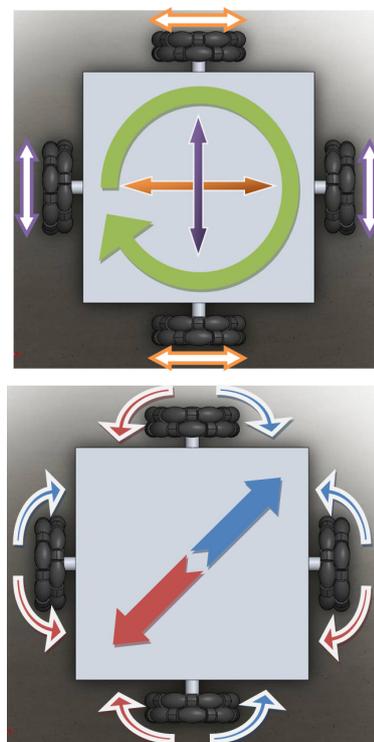


圖一 完成的底盤與懸浮式細部結構



圖二 完成組合的底盤結構

輪椅底盤負載的不同而有差異，因此有待實際製作時再加以推導驗證。研究中將推導以上運動方程式後書寫成微處理機應用程式，直接在輪椅底盤上測試。而輪椅的整體架構，機械結構的設計製作與組裝，最後所完成的成品如圖五所示，含電動輪椅底盤機構、椅子安裝、控制器安裝、手搖桿安裝與電瓶安裝等。



圖四 四輪底盤移動方向示意圖



圖五 四輪全方位輪椅實體圖

2-2運動方程式

這種輪椅底盤在瞬間可朝任意方位移動，其動作方式如圖四所示，亦因而此種機構被稱之為「可全方位運動[Omni-direction]」的由來。然而動力學方程式則將因

輪椅底盤四個馬達的驅動器控制，分別含四個馬達的正/逆轉、運轉/停止、自由/煞車等I/O控制，以及輸出0到5V的類比電壓來控制馬達的轉速，另又需讀取由馬達中的霍爾感測元件所提供每一轉含30個脈波的回授信號，再於可程式控制器中書寫控制回路，將以上驅動馬達的類比信號與實際轉動的回授信號比對，考慮節省未來輪椅系統商品的成本，並不需要完全精確的伺服定位，僅需處理成仿伺服馬達系統的運轉即可。

2-3 電路模組

控制器部分的構成是以可程式控制器(PLC)為主控體，先接收全方位控制搖桿如圖六所示的類比信號，分析手搖角度的數值與搖動力道的強弱，分別當為行進方位與速度的依據，再經微電腦計算方程式的數值，而來驅動底盤馬達驅動器、達到運動的目的，系統中微電腦與整個驅動電路板模組如圖七所示。



圖六 全方位控制搖桿

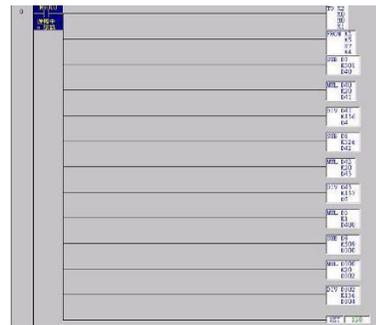


圖七 微電腦與驅動電路板模組

輪椅底盤運動學及動力學方程式，將轉寫為可程式控制器(PLC)控制程式再由前項的馬達驅動處理輸出，因本運動方程式與控制程式是關係全方位系統能否順利運轉的關鍵，必須反覆再推導、驗證與測試直到系統的確實可行。

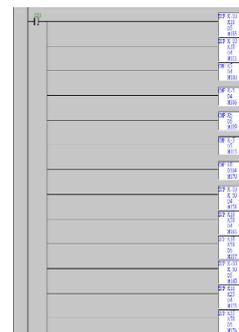
2-4 程式撰寫

將搖桿內部的可變電阻類比訊號由類比數入模組，使搖桿輸入的類比訊號轉為數位訊號，進入可程式控制器內做運算，並將輸入的數位訊號做運算後，使X與Y座標值轉換為-50~+50，程式如圖八所示。

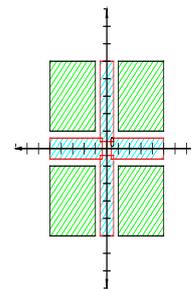


圖八 訊號轉換程式

在寫入程式將左邊搖桿座標分為八個區塊前後左右、左上左下右上右下與原點控制電動輪椅移動方向如圖九、十所示，與右邊搖桿兩區塊控制電動輪椅之原地正反轉，經由程式判斷輸入訊號進入哪一個區塊後，在執行此區塊個副程式，副程式內容是先將我們行進方向之角度轉換為徑度單位如圖十一所示，並將電動輪椅底盤之運動學方程式，轉換為可程式控制器(PLC)之運算程式，在將轉換後的徑度值帶入運算程式作計算後，就可獲得三個驅動輪各自的轉速，再經由類比輸出模組，將計算後的數位訊號轉換為0~5V的類比電壓訊號後，即可控制電動輪椅的行進方向。



圖九 區間範圍控制程式



圖十 區間範圍圖



圖十一 行進角度轉換徑度程式

2-5 電動輪椅控制系統與穩定度的改良

四輪式輪椅因使用含有自由滾輪的輪子，其中潛藏有萬一輪椅位於非水平地面上，無預期滑動以致造成使用人的傷害，因此在此研究中絕對需要防止該事件的發生，預計可靠的解決方案是採用如圖十二的加速規 型號 CXL04LP3，可精確偵測輪椅非預期的移動，如果輪椅未經使用者下達運行指令，而發生非預期移動時，本加速規將即時偵測且送出感測信號至可程式控制器，並將加速規送回訊號之X與Y值，與搖桿輸入之訊號做比對，如果搖桿訊號是在原點，但有接收到加速規的訊號，即代表沒有操作搖桿，而輪椅做無預期的移動。控制器就會由加速規所輸入之訊號，判斷輪椅移動的方向後，並將加速規所輸入之訊號值，做為輪椅移動方向之反向驅動值，來驅動馬達以維持輪椅的穩定。



圖十二 加速規

2-6 輔助防撞系統的設計

行走時之輔助避障技術，是利用超音波測距儀圖十三所示，將超音波感測器如圖十四所示，裝設四組於電動輪椅的前後左右四個方位，控制步驟為判斷搖桿作動方向，在由控制器驅動此方向之繼電器，以驅動此方向之超音波感測器，當此方向之超音波感測器，感測到有物品進入所設定之範圍後，會驅動超音波測距儀上方之蜂鳴器，在利用電壓放大器將之蜂鳴器電壓訊號，放大成可程式控制器能接收之電壓訊號，將此訊號作為控制器X接點之輸入訊號，再利用程式運算判斷後，停止此方向之驅動電壓，使電動輪椅不可再做此方向之運行，即可做到輔助防撞之功能。



圖十三 超音波測距儀



圖十四 超音波感測器

第三章 研究結果與成效

完成的系統確實依研究目標發展出可全方位移動之電動輪椅，針對手掌功能健全而不良於行的老年人及肢體障礙族群的輪椅使用者，提供一個靈巧而可全方位移動的輪椅，其中除沿用現有手動與電動輪椅優點外，更改進創新出新穎的全方位輪椅系統，讓電動輪椅能沿各任意方位直接移動，而克服現有輪椅無須繁複的運動方式，開創電動輪椅靈活的運動能力，提供在狹窄、凌亂、動態的環境中亦可靈巧行進的輪椅系統。其中功能測試如以下說明，本研究完成系統之功能含電動輪椅實際操作所應達到預期目標，亦即以全方位方式移動的實際操作狀況，由圖十五-A~圖十五-F中顯示輪椅在狹小空間移動的結果。研究中經過反覆測試，整個系統的穩定度也都確實達到預期的功能，證明整個研究的軟硬體系統皆已達到應有的成果。



圖十五-A 狹小空間移動



圖十五-B 狹小空間移動



圖十五-C 狹小空間移動



圖十五-D 狹小空間移動



圖十五-E 狹小空間移動



圖十五-F 狹小空間移動

第四章 結論與建議

4-1 結論

實際完成一可全方位移動之電動輪椅之設計製作，獲得一可靠穩定的全方位運動方式的輪椅，並在實驗得出在狹窄空間中，可全方位移動之電動輪椅，比傳統輪椅的移動方式更為靈巧與簡潔，希望將可推廣更廣泛的使用範圍，目前可全方位輪椅以搖桿來控制未達到全自動，未來利用時間比例法則與雷射測距儀等感測裝置，使可全方位輪椅能達到自我定位，或在加裝CCD攝影機利用影像處理技巧，使本輪椅在環境辨識更完善以便處理較複雜的環境。在電動輪椅輔助控制系統方面，由於加速規在成本方面較高，並在訊號處理方面較為複雜，所以在未來將在全方位輪上製作煞車系統，使全方位輪上之自由滾輪得到鎖定之功能，以便消除在非水平之地面之無預期的移動。

整個計畫著重於實際系統整合開發，此研究成果有效整合控制器與機械系統，將可落實在一般應用或產學合作應用上；參與研究之人員藉由理論分析至實際完成之完整訓練，獲得人才培育、經驗累積之功效，奠定技職教育應用於工業升級之基礎。

4-2 建議

自動充電裝置，為了讓行動困難的輪椅使用者不必為充電而煩惱，有關自動充電裝置的設計與製作上，基本構想是在輪椅的電量過低或使用者睡覺休息時，利用定位技術及路徑控制法則驅動空載的輪椅來到自動充電裝置。

設計自動重複路徑，運行利用一種時間比例法，設定全方位輪椅沿著一條給定的參考路徑的近似時間最佳移動，在此策略下，經時間比例法後之軌跡位置與原先的位置相同，沒有違反幾何路徑的限制條件。然而，速度和加速度被調整符合動態的限制條件，使沿軌跡所需時間減到最小。以立方內插技術決定時間比例函數，依據時間比例函數的積分值為準則採用粒子群聚最佳方法決定內插控制點。

參考文獻

- [1] 內政部統計處，下載網址：<http://www.moi.gov.tw/stat/>
- [2] Kornylak Corporation, <http://www.omniwheel.com/>.
- [3] J. Aranda, A. Grau, and J. Climent, "Control architecture for a three-wheeled roller robot," AMC' 98-Coimbra. 5th International Workshop on Advanced Motion Control, pp. 518-523, July 1998.
- [4] F. G. Pin and S. M. Killough, "A new family of omnidirectional and holonomic wheeled platforms for mobile robots," IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol. 10, pp. 480-489, Aug. 1994.
- [5] K. S. Byun, S. J. Kim, and J. B. Song, "Design of a four-wheeled omnidirectional mobile robot with variable wheel arrangement mechanism," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 1, pp. 720-725, May 2002.
- [6] H. Asama, M. Sato, L. Bogoni, H. Kaetsu, A. Mitsumoto, and I. Endo, "Development of an omni-directional mobile robot with 3 DOF decoupling drive mechanism," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 2, pp. 1925-1930, May 1995.
- [7] D. Feng, M. B. Friedman, and B. H. Krogh, "The servo-control system for an omnidirectional mobile robot," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 3, pp. 1566-1571, 1989.
- [8] M. Wada, "A synchro-caster drive system for holonomic and omnidirectional mobile robots," IECON 2000. 26th Annual Conference on Industrial Electronics Society, vol. 3, pp. 1937-1942, Oct. 2000.
- [9] T. Isoda, P. Chen; T. Toyota, and T. Hirano, "Omnidirectional mobile robot for autonomous offroad running," RO-MAN '97. 6th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, pp. 64-69, Oct. 1997.
- [10] A. Betourne and G. Campion, "Kinematic modelling of a class of omnidirectional mobile robots," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 4, pp. 3631-3636, April 1996.
- [11] D. S. Kim, H. C. Lee, and W. H. Kwon, "Geometric kinematics modeling of omni-directional autonomous mobile robot and its applications," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 3, pp. 2033-2038, April 2000.
- [12] C. Brian, G. Matt, D. Mike, L. Jae, L. Robert, I. Williams, and G. Paolo, "Mechanical design and modeling of an omni-directional robocup player," Proc. RoboCup 2001 International Symposium, Aug. 2001.
- [13] S. L. Dickerson and B. D. Lapin, "Control of an omni-directional robotic vehicle with mecanum wheels," Proc. of National Telesystems Conference, vol. 1, pp. 323-328, March 1991.
- [14] Y. P. Leow, K. H. Low, and W. K. Loh, "Kinematic modelling and analysis of mobile robots with omni-directional wheels," ICARCV 2002. 7th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, vol. 2. pp. 820-825, Dec. 2002.
- [15] T. B. Park, J. H. Lee, B. J. Yi, W. K. Kim, B. J. You, and S. R. Oh, "Optimal design and actuator sizing of redundantly actuated omni-directional mobile robots," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 1, pp. 732-737, May 2002.
- [16] Y. Song; D. Tan, and Y. Tian, "Experimental identification of the dynamics parameters of an omnidirectional wheeled mobile robot," Proc of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation, vol. 2, pp. 1175-1178, June 2002.
- [17] Y. Yagi and M. Yachida, "Real-time generation of environmental map and obstacle avoidance using omnidirectional image sensor with conic mirror," Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 160-

- 165, June 1991.
- [18] Y. Yagi, Y. Nishizawa, and M. Yachida, "Map based navigation of the mobile robot using omnidirectional image sensor COPIS," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 1, pp. 47-52, May 1992.
- [19] M. Berkemeier, M. Davidson, V. Bahl, Y. Chen, and L. Ma, "Visual servoing of an omni-directional mobile robot for alignment with parking lot lines," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 4, pp. 4204-4210, May 2002.
- [20] K. Watanabe, "Control of an omnidirectional mobile robot," KES '98. 2nd Int. Conf. on Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems, vol. 1, pp. 51-60, April 1998.
- [21] K. S. Byun and J. B. Song, "CVT control of an omnidirectional mobile robot with steerable omnidirectional wheels for energy efficient drive," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 1, pp. 503-508, Sept. 2003.
- [22] M. J. Jung, H. S. Shim, H. S. Kim, and J. H. Kim, "The miniature omni-directional mobile robot OmniKity-I (OK-I)," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 4, pp. 2686-2691, May 1999.
- [23] I. E. Paromtchik and U. Rembold, "A practical approach to motion generation and control for an omnidirectional mobile robot," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 4, pp. 2790-2795, May 1994.
- [24] M. J. Jung, H. S. Kim, S. Kim, and J. H. Kim, "Omni-directional mobile base OK-II," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 4, pp. 3449-3454, April 2000.
- [25] A. Betourne and G. Campion, "Dynamic modelling and control design of a class of omnidirectional mobile robots," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 3, pp. 2810-2815, April 1996.
- [26] Y. Liu, X. Wu, J. J. Zhu, and J. Lew, "Omni-directional mobile robot controller design by trajectory linearization," Proc. of the 2003 Conference on American Control, vol. 4, pp. 3423-3428, June 2003.
- [27] P. Chen, S. Mitsutake, T. Isoda, and T. Shi, "Omni-directional robot and adaptive control method for off-road running," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 18, pp. 251-256, April 2002.
- [28] P. Chen, S. Koyama, S. Mitsutake, and T. Isoda, "Automatic running planning for omni-directional robot using genetic programming," Proc. of IEEE Int. Symposium on Intelligent Control, pp. 485-489, Oct. 2002.
- [29] I. E. Paromtchik, H. Asama, T. Fujii, and L. Endo, "A control system for an omnidirectional mobile robot," Proc. of IEEE Int. Conf. on Control Applications, vol. 2, pp. 1123-1128, Aug. 1999.
- [30] I. E. Paromtchik and H. Asama, "A motion generation approach for an omnidirectional vehicle," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, vol. 2, pp. 1213-1218, April 2000.
- [31] K. L. Moore and N. S. Flann, "Hierarchical task decomposition approach to path planning and control for an omni-directional autonomous mobile robot," Proc. of IEEE Int. Symposium on Intelligent Control, pp. 302-307, Sept. 1999.
- [32] 陳家康, 「全方位運動機器人之設計與製作」, 碩士論文, 國立雲林科技大學, 雲林, P8-P10, 2006年6月
- [33] 豐煒企業股份有限公司, 特殊模組使用手冊, 下載網址: <http://www.vigorplc.com.tw/download.htm>
- [34] 益眾科技, 超音波測距儀-2004, 下載網址: http://www.icci.com.tw/web/MdFront?p_id=MD0000002307001466&command=displayDetail