

40. 磁鐵履帶式攀爬式機器人

李宗禮 副教授、樊漢台 助理教授、翁克承、廖明倫
南開科技大學 自動化系、福祉科技所

摘要

本計畫提出一種遇到其工作表面在污垢油膩的狀態下，還可以進行攀爬動作的攀爬機器人，實際物化為可供販售的實用性商品，亦即一個可量產的磁鐵履帶式攀爬機器人的內外銷商品，並落實學術研究專利創思轉移至產業需求產品的實務應用。經由本產學合作計劃研發的機器人，一個可無線操控或自走於鐵金屬立體表面的攀爬機器人，提供鐵金屬之船身、煙囪、核電廠、油槽、瓦斯槽等危險工作場所的機器人平台，其上安裝 CCD 攝影機、機械手臂、無線通訊傳輸等設備，執行檢測、偵測、焊接、噴漆或維修的工作，取代人工進行高空危險工作人力不足的問題，預期具有相當廣大的商機。計畫中將利用釹鐵硼 (NdFeB) 永久磁鐵的強力吸附功能，配合履帶式機構所組成的機器人，確實執行鐵金屬表面工作特殊用途的市場需求。

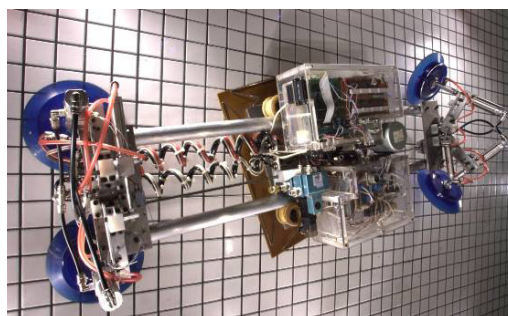
關鍵詞: 履帶式機器人、攀爬機器人、釹鐵硼磁鐵

一、緒論

1-1前言

世界各國先進的攀爬機器人研發狀況:垂直攀爬機器人屬於行動式機器人之一種，其動態定位與控制方式類似於一般平面行動式機器人，但因其其在3D空間的運動同時須考慮抗拒地心引力的問題，其機械結構、空間定位與控制方式皆相對的困難，因此發展垂直攀升的機器人確為一個較大的挑戰。但對人類不易到達的地方、傷人的惡劣環境或易發生工安事故的場所[1-2]，廣泛的使用行動式機器人是一個必然趨勢，尤其針對垂直、斜面或倒立面的行動式機器人更是需求殷切，因而在世界各研發案例如船身的檢測噴漆焊接機器人[3]，或如圖一高樓外牆清潔工作[4-7]，也有救援之用的攀爬式機器人[8]。

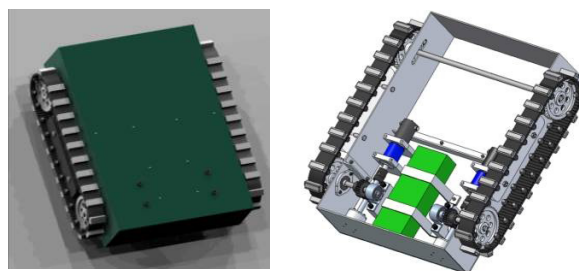
但是如果遇到其表面經常是在污垢油膩的狀態下，普通一般的攀爬機器人是無法在污垢油膩的狀態下進行作動。所以我們發明磁鐵履帶式攀爬機器人的用意就是在在污垢油膩的狀態下只要工作面是鐵金屬我們的磁鐵履帶式攀爬式機器人就可以在其工作面上進行作動而達成使用者的目的。



圖一 高樓外牆清潔工作[6,7]

1-2研究動機

為了達到攀爬的功能，攀爬機器人的吸附裝置約略分為兩種類型，第一種為真空類型[9-14]，係利用幫浦將空氣抽為真空，則吸盤就會附著在牆壁上，另一種則為磁性類型[15-18]，係利用磁性特性，所以能夠吸附著在鐵金屬面上行走[19]如圖二；而行走方式則分為以多腳或手臂方式移動，輪子方式移動，抑或履帶方式前進；組合不同的吸附裝置與移動機構而發展出眾多型態的攀爬式機器人，也因此近20年內蓬勃發展的數量驚人，唯獨在國內發展的人較少，以目前台灣市場來看並無大量使用攀爬式機器人，不論是在高樓外牆清潔工作或者是船身油漆、清潔等等工作都沒有看見攀爬式機器人的大量使用，所以本研究期望完成一性能極佳之磁鐵履帶式攀爬式機器人系統，因此研究成果獲得一可靠穩定供應鐵金屬之船身、煙囪、核電廠、油槽、瓦斯槽等危險工作場所的機器人平台。



圖二 磁鐵履帶式攀爬式機器人[19]

1-3研究目的

本研究將建構一個可無線操控或自走於鐵金屬立體表面的攀爬機器人，提供鐵金屬之船身、煙囪、核電廠、油槽、瓦斯槽等危險工作場所的機器人平台，其上安裝CCD攝影機、機械手臂、無線通訊傳輸等設備，執行檢測、偵測、焊接、噴漆或維修的工作。本研究單位在「垂直攀升服務型機器人之建構」與「高樓清洗機器人之設計、製作與控制」，研究計畫中已經成功的進行了真空吸盤垂直攀升機器人的研發工作，但該機器人若處於污垢油膩的油槽煙囪船身等場地則完全不能使用，因此一個可無線自走於鐵金屬立體表面的攀爬機器人確有其開發的必要，本計畫所設計的機器人將與[17, 19]所設計的機器人有相似的基本功能，但計畫中將在機械結構上加以改良並予以增強，同時改進其有線遙控的方式到自行定位執行工作的目標。

二、研究方法

2-1系統架構

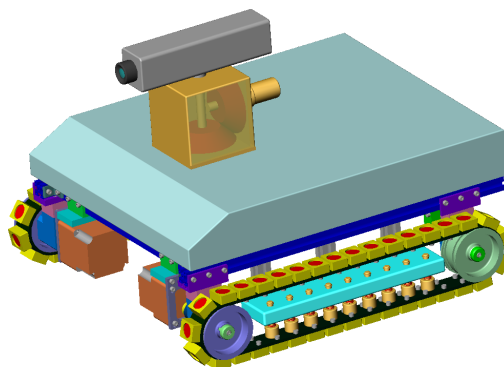
首先針對永久磁鐵的特性再進行分析，規劃本計畫前已經對永久磁鐵的特性深入探討，決定以當今各種新穎產品強力釹鐵硼（NdFeB）永久磁鐵為材料，本材料廣泛應用於超小型強力喇叭、強力無刷直流馬達、電動車馬達等產品上，研究中將利用具有13200 gauss磁通量16Kg之37mm×32mm厚3mm的磁鐵[10]，該磁鐵係以粉末冶金的方式製造後再以鍍銅鍍三層電鍍而成，表面易脆須以導磁鐵金屬框架當為吸附著面，同時此導磁框架亦將用來固定至履帶如圖三所示，行進間履帶上磁鐵軸心線垂直於工作面而呈現最大吸著力，預估機器人至少可含自身荷重40Kg的承載，至於釋放磁鐵吸力則將軸心線傾斜即可輕易脫離，亦即利用履帶輪的圓型結構剛好可以順利交替吸附與釋放的功能。



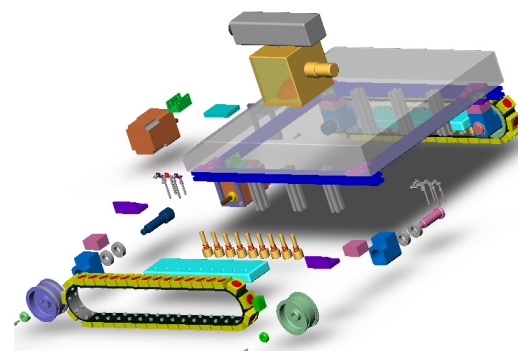
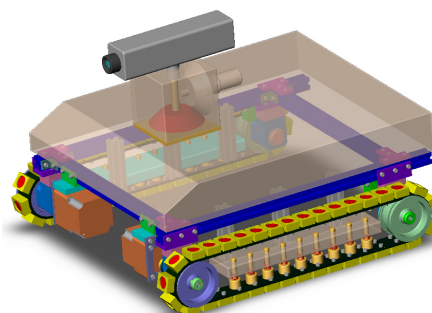
圖三 37mm×32mm厚3mm釹鐵硼磁鐵與導磁框架

磁鐵履帶底盤結構之建構將整合第172510號專利"履帶式搬運車"、第M282811號專利"移動式母子型機器人"、第218133號"機器人之履帶底盤結構及其控制系統"與第M282890號專利"具緩衝裝置之履帶底盤"等內容，以及前述的導磁框架每組40個分別安裝於兩側履帶上，整個底盤預計以鋁擠型結構支撐兩個輪子與兩個驅動馬達而成，而履帶上為讓導磁框架達到最佳的緊貼工作面和通過崎嶇面的能力，將設計長條型緩衝裝置來達成，同時輔助履帶運轉的平順和避免脫軌發生，至於導磁框架固定到履帶上的凸出螺絲頭，則將在履帶驅動輪上切除兩道深溝讓其通過。整個完成的磁鐵履帶機器人設計結構如圖四、五的實體模型與透視與爆炸圖之所示，由詳盡的底盤組合設計圖可見本計畫已經將所有零組件的

設計，在電腦中進行設計與組裝，精確計算、分析、繪製與模擬所有元件，以工業級水準進行機械結構系統設計，待日後再進行零件製作與組裝工程。外殼與內部支架設計安裝將在底盤完成後進行，其上之CCD攝影機兩軸旋轉平台(Pan-Tilt Unit)亦將如附圖四的方式設計製作，以提供在任何角度皆可攝得所需影像。



圖四 磁鐵履帶機器人之實體模型圖



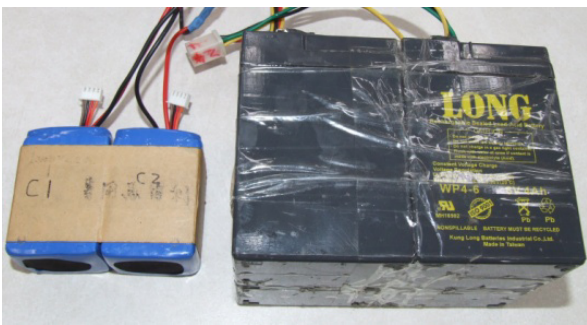
圖五 磁鐵履帶機器人之透視與爆炸圖

2-2底盤馬達與驅動器之設計

計畫中將以高容量鋰聚合物電池(Li-Polymer)為動力源，由圖六的3.2Ah容量鋰聚合物電池與4Ah容量鉛蓄電池的比較，兩組電池皆為24V電壓，蓄電量分別為3.2Ah:4Ah，重量比卻為0.4Kg:3.0Kg，容積比則約為1:10，很明顯的達到更高的蓄電力對重量/容積比，所以藉由此高容量鋰電池讓計劃中的機器人來擺脫外電源而自由運行，待計畫實際執行時將再依負載情形採用更高容量的鋰電池，以提高系統的續航力。

在履帶輪的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，以如圖七之泰映科技股份有限公司DBS系列的馬達，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30W，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0.1Nm，經計算後預計採用10:1的減速齒輪，亦即在減速後的車輪上將具有1.0Nm的轉矩輸出，若以直徑10cm之輪子計算，此輪子的切線力將具有 $F=1.0\text{Nm}/5\text{cm}=12\text{N}$ (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， $a=F/m=60\text{N}/60\text{Kg}=1.0\text{m}/\text{sec}^2$ ，可獲得具有1.0m/sec²的加速度及 $V=at=1.0\text{m}/\text{sec}^2*10\text{sec}=10\text{m}/\text{sec}$ ，即10秒鐘後可到達10m/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。



圖六 3.2Ah容量鋰聚合物電池與4Ah容量鉛蓄電池的比較

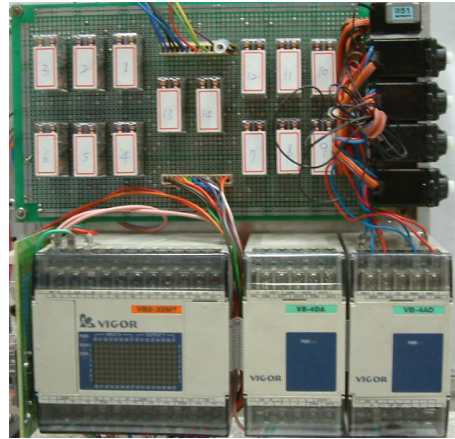


圖七 泰映無刷馬達與驅動電路板

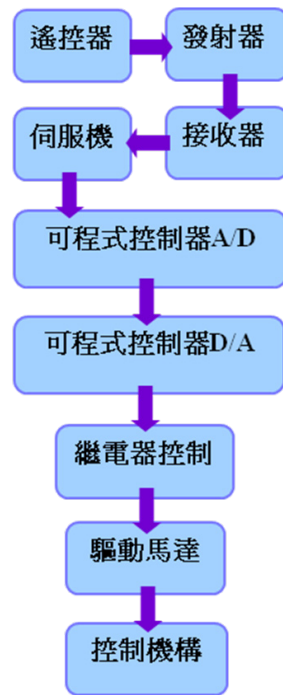
2-3 機械、機電與微電腦系統整合

磁鐵履帶式攀爬機器人所以機構和元件組合後，將模組化的驅動電路板如圖八，包含微電腦控制器(PLC)、A/D模組、D/A模與無線控制模組，直接裝配到機器人上。控制器與電路模組流程圖如圖九，先接收雙動手搖桿(如圖十)發射的類比信號，分析手搖角度的數值，分別當為行進方位與輸出控制訊號的依據，藉以A/D模組和D/A模組中的控制程式語言的編輯，控制磁鐵履帶式攀爬機器人所有的功能與作動，而來驅動底盤馬達驅動器與控制動作繼電器，而驅動馬達的控制上需要正/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，以達驅動到目的。



圖八 驅動電路板模組化



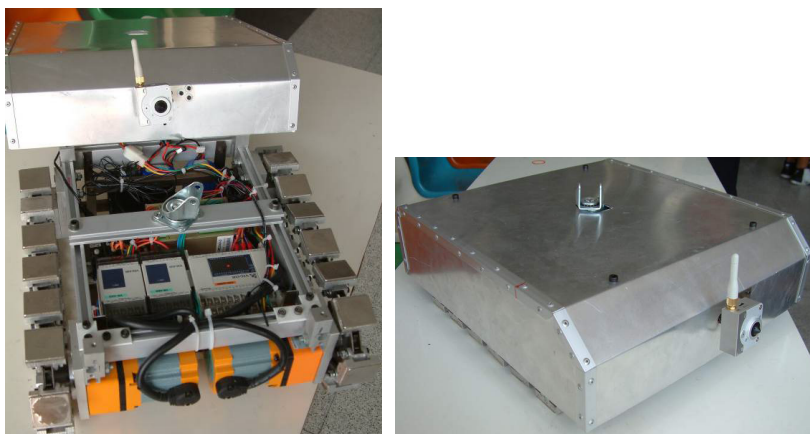
圖九 控制器與電路模組流程圖



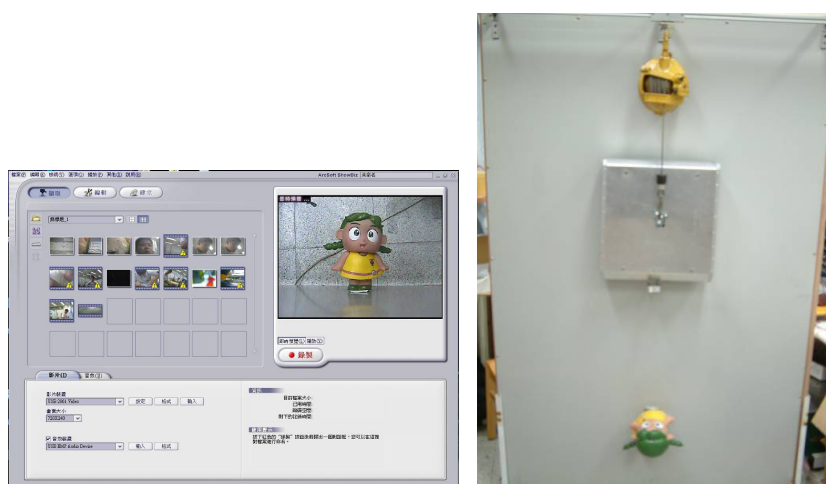
圖十 雙動遙控器

三、研究結果與成效

磁鐵履帶式攀爬機器人已依照設計製造完成實體如圖十一，達到可無線操控或自走於鐵金屬立體表面的攀爬機器人，提供鐵金屬之船身、煙囪、核電廠、油槽、瓦斯槽等危險工作場所的機器人平台，其上安裝CCD攝影機、機械手臂、無線通訊傳輸等設備，執行檢測、偵測、焊接、噴漆或維修的工作。其中使用無線CCD拍攝與試驗如圖十二、圖十三-A~圖十三-C，本研究利用無線控制模組控制磁鐵履帶式攀爬機器人在有吸磁特性的白板表面上行走並完成拍攝動作。



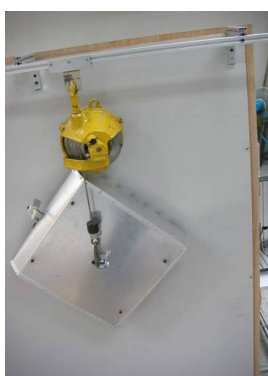
圖十一 磁鐵履帶式攀爬機器人實體圖



圖十二 無線CCD實際拍攝畫面



圖十三-A 鐵金屬表面移動測試1



圖十三-B 鐵金屬表面移動測試2



圖十三-C 鐵金屬表面移動測試3

四、結論與建議

4-1 結論

由於實際完成一性能極佳之磁鐵履帶式攀爬機器人系統，因此研究成果獲得一可靠穩定供應鐵金屬之船身、煙囪、核電廠、油槽、瓦斯槽等危險工作場所的機器人平台，並可利用裝置在磁鐵履帶攀爬機器人上的無線 CCD 攝影機進行遠端監控。利用此兩特色將可避免人類在不易到達的地方、傷人的惡劣環境或易發生工安事故的場所，以免發生危險而造成遺憾。

4-2 建議

由於磁鐵履帶式攀爬機器人為新開發成功之成品，在面對能實用在現實工作中還是一大考驗，必須透過長時間的使用與測試，才能真正找出機器人的需求與優缺點，再進行更符合使用情況改良。

參考文獻

- [1] 工業技術研究院，環境與安全技術發展中心，<http://w3.itri.org.tw/>。
- [2] E-safety工安人專業網，<http://www.e-safety.com.tw/>。
- [3] J. C. Grieco, M. Prieto, M. Armada, and P. Gonzales de Santes, "A sixlegged climbing robot for high payloads", Proceedings 1998 IEEE International Conference on Control Applications, vol.1, pp. 446-450, September 1998。
- [4] H. X. Zhang, J. W. Zhang; and G. H. Zong, "A novel approach to pneumatic position servo control of a glass wall cleaning robot", Proceedings 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 1, pp. 467-472, October 2004.
- [5] H. X. Zhang, J. W. Zhang; and G. H. Zong, "Requirements of glass cleaning and development of climbing robot systems", Proceedings 2004 IEEE International Conference on Intelligent Mechatronics and Automation, pp. 101 - 106, August 2004..
- [6] <http://www.eyetap.org/~aimone/wallclimbingrobot.html>.
- [7] <http://www.ise.ait.ac.th/mech/index2.html>,
- [8] H. Amano, K. Osuka, and T. J. Tarn, "Development of vertically movingrobot with gripping handrails for fire fighting", Proceedings 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 2, pp. 661 - 667, October 2001.
- [9] S. Hirose, A. Nagakubo, and R. Toyama, "Machine that can walk and climb on floors, walls and ceilings", Proceedings of the 5th International Conference on Advanced Robotics, vol. 1, pp. 753-758, 1991.
- [10] B. L. Luk, A. A. Collie, and J. Billingsley, "ROBUG II: An intelligent wall climbing robot", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 3, pp. 2342-2347, 1991.
- [11] H. R. Choi, S. M. Ryew, T. H. Kang, J. H. Lee, and H. M. Kirn, "A wall climbing robot with closed link mechanism", Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 3, pp. 2006-2011, 2000.
- [12] S. W. Ryu, J. J. Park, S. M. Ryew, and H. R. Choi, "Self-contained wall-climbing robot with closed link mechanism", Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 2, pp. 839-844, 2001.
- [13] W. Yan, L. Shuliang, X. Dianguo, Z. Yanzheng, S. Hao, and G. Xueshan, "Development & application of wall-climbing robots", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 2, pp. 1207-1212, 1999.
- [14] L. Briones, P. Bustamante, and M. A. Serna, "Wall-climbing robot for inspection in nuclear power plants", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 2, pp. 1409-1414, 1994.
- [15] J. C. Grieco, M. Prieto, M. Armada, and P. Gonzalez de Santos, "A six-legged climbing robot for high payloads", Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications, vol. 1, pp. 446-450, 1998.
- [16] S. Hirose, H. Tsutsumitake, R. Toyama, and K. Kobayashi, "Disk Rover: A wall-climbing robot using permanent magnet disks", Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 3, pp. 2074-2079, 1992.
- [17] W. Shen, J. Gu, and Y. Shen, "Proposed Wall Climbing Robot with Permanent Magnetic Tracks for Inspecting Oil Tanks", Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation, pp.2072-2077, Niagara Falls, Canada, July 2005.
- [18] R. L. Tummala, "Climbing the walls robots", IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 9, no. 4, pp.10-19, December 2002..
- [19] http://www.me.dal.ca/~dp_05_10/purpose.html, "Wall Climbing Robot" .
- [20] P. Jensfelt and S. Kristensen, "Active global localization for a mobile robot using multiple hypothesis tracking", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 17, pp. 748-760, 2001.
- [21] U. Larsson, J. Forsberg, and A. Wernersson, "Mobile robot localization: Integrating measurements from a time-of-flight laser", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 43, pp. 422-431, 1996.
- [22] K. Nagatani, H. Ishida, S. Yamanaka, and Y. Tanaka, "Three-dimensional localization and mapping for mobile robot in disaster environments", Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 3, pp. 3112-3117, 2003.
- [23] A. C. Victorino, P. Rives, and J. J. Borrelly, "Localization and map building using a sensor-based control strategy", Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 2, pp. 937-942, 2000.
- [24] A. Nishi and H. Miyagi, "Control of a wall-climbing robot using propulsive force of propeller",

- Proceedings of the IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems, vol. 3, pp. 1561-1567, 1991.
- [25] A. Nishi, “A wall climbing robot using propulsive force of propeller” , Proceedings of the IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems, vol. 3, pp. 1561-1567, 1991.
- [26] S. Hirose and K. Arikawa, “Coupled and decoupled actuation of robotic mechanisms” , Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 1, pp. 33-39, 2000.
- [27] K. Arikawa and S. Hirose, “Study of walking robot for 3 dimensional terrain” , Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 1, pp. 21-27, 1995.
- [28] A. Arsenio and M. I. Ribeiro, “Active range sensing for mobile robot localization” , Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 2, pp. 1066-1071, 1998.
- [29] G. A. Borges, M. J. Aldon, and T. Gil, “An optimal pose estimator for map-based mobile robot dynamic localization: Experimental comparison with the EKF” , Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 2, pp. 1585-1590, 2001.
- [30] J. Forsberg, U. Larsson, and A. Wernersson, “Mobile robot navigation using the range-weighted Hough transform” , IEEE Robotics and Automation Magazine, vol. 2, pp. 18-26, 1995.
- [31] A. F. Chang, C. C. Tsai, J. C. Hsu, and C. C. Lin, “Laser pose tracking for a mobile robot using fuzzy adaptive extended information filtering” , Proceedings of the American Control Conference, vol. 3, pp. 2471-2476, 2003.
- [32] T. Nishizawa, A. Ohya, and S. Yuta, “An implementation of on-board position estimation for a mobile robot” , Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 1, pp. 395-400, 1995.
- [33] S. Decker, H. Gander, M. Vincze, and J. P. Prenninger, “Dynamic measurement of position and orientation of robots” , IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 41, pp. 897-901, 1992.
- [34] 強力釹鐵硼 (NdFeB) 永久磁鐵, <http://www.magnet4less.com/>