

行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

導盲機器人之反應行為與運動控制系統研製(II) Development of Reactive Behaviors and Motion Control System of a Guidance Robot for Blind Pedestrians(II)

計劃類別： 個別型計劃 ~ 整合型計劃

計劃編號：NSC-89-2213-E009-113

執行期間：88年08月01日起至89年07月31日

個別型計劃：計劃主持人：
 共同主持人：

整合型計劃：總計劃主持人：李祖添 教授
 子計劃主持人：宋開泰 教授

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際性學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學電機與控制工程學系

中華民國 89 年 10 月 14 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

導盲機器人之反應行為與運動控制系統研製(II)

Development of Reactive Behaviors and Motion Control

System of a Guidance Robot for Blind Pedestrians(II)

計畫編號：NSC 89-2213-E-009-113

執行期限：88年08月01日至89年07月31日

主持人：宋開泰 國立交通大學電機與控制工程學系

計畫參與人員：黃瑞祥 陳建盛 吳俊鵬 國立交通大學電機與控制工程學系

一. 中文摘要 (關鍵字：機器人、人機介面、光流、機器人定位)

本計畫第二年之成果報告，主要包含有四個部分，第一部分為導盲機器人原型本體的設計與製作，並增加模仿導盲犬與盲人之間的互動機制，增強其人機介面之操控性，以提高導盲機器人之實用性與可攜性。第二部分是導盲機器人位置與姿態估測方法的設計，利用多感測器感測值的資料融合方式有效減少導盲機器人作位置與姿態估測時所產生的誤差。第三部分是應用 GPS 於導盲機器人戶外環境的導航與定位。第四部分是發展以單一 CCD 攝影機為基礎之即時影像避障系統，讓導盲機器人以能光流的估測值計算環境場景及障礙物的深度，藉此作為未來發展智慧型反應行為及即時避障之依據。

英文摘要 (Keywords : Robots, human-machine interface, optical flow, Robot localization)

The most difficult problem for a blind pedestrian to get around is probably when he or she comes to a previously unknown environment. Especially when there are stationary as well as moving objects in the environment, making it crucial important to prevent from crash into any of them. The objective of this project is to develop reactive behaviors exploiting on-board sensory information for real-time crash avoidance of the guidance robot. In the second year, we redesigned the guide-dog robot. This second version robot is smaller and easier to handle. We developed a method to accurately estimate the position and orientation of the robot. This includes the employment of internal sensors, external

sensors and GPS position estimation system. A CCD camera was installed on the robot. We developed an optical flow estimation algorithm and will applied to real-time obstacle avoidance of the guide-dog robot.

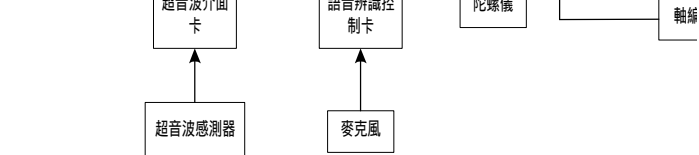
二. 計劃緣由與目的

隨著社會的經濟發展，我國已進入已開發國家的行列。在一個進步的社會，很自然的人們會越來越重視對弱勢尤其是具身心障礙者的權益與照顧。在台灣的盲人重建院也在 1999 年作過統計，有 50000 人需要導盲犬的協助，可是只有一隻導盲犬。由於導盲犬的培育與訓練不易，而且訓練費用高達 30 萬元，所以無法達到普及視障者的數量，因此，發展一種可以幫助視障者的機器人可以更有效導引視障者，解決其行的問題。

對一個視障者而言，最困難的應是會碰到不預期的靜態或動態障礙物以及不知身處何處之茫然感，尤其是到一個陌生的地方，由於捉不到方向而無法順利到達目的地，故導盲機器人之主要功能是在導引視障者到達目的地，這可由建立在機器人電腦記憶體中的環境地圖、全球衛星定位系統及導航控制器來完成；同時避免路途中可能發生的危險，當然最首要的應是防止環境中之物體及

三. 研究方法與成果

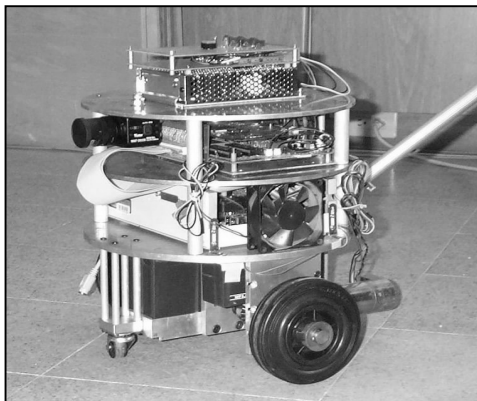
3.1 本計畫在第二年的執行期間完成導盲機器人機體的改良與控制系統的改良



重點在模擬盲人與導盲犬之間的互動機制，使導盲機器人本體以一種導引杖 (guide-cane)[1,2]的外型呈現，如圖一所示為改良後導盲機器人之外觀照片，由於考慮盲人在使用及攜帶時之方便性同時又不失執行導盲任務所需之必要功能，改良後之導盲機器人之體積尺寸約可容納於一個底面積 $30 \times 30\text{cm}^2$ ，高 30cm 之立方體空間內，總重量約為 15Kg。其系統組成則如圖二所示，核心控制電腦是一台 Pentium233 單板電腦，週邊感測器及介面電路主要包含：一具 CCD camera 及影像擷取卡，用以補抓環境場景及障礙物之連續影像，作為避障運控制之主要資訊來源；影像之外，還使用超音波感測器作為輔助資訊，以預防從 CCD Camera 視野死角出現之障礙物。

3.2 導盲機器人位置與姿態的估測

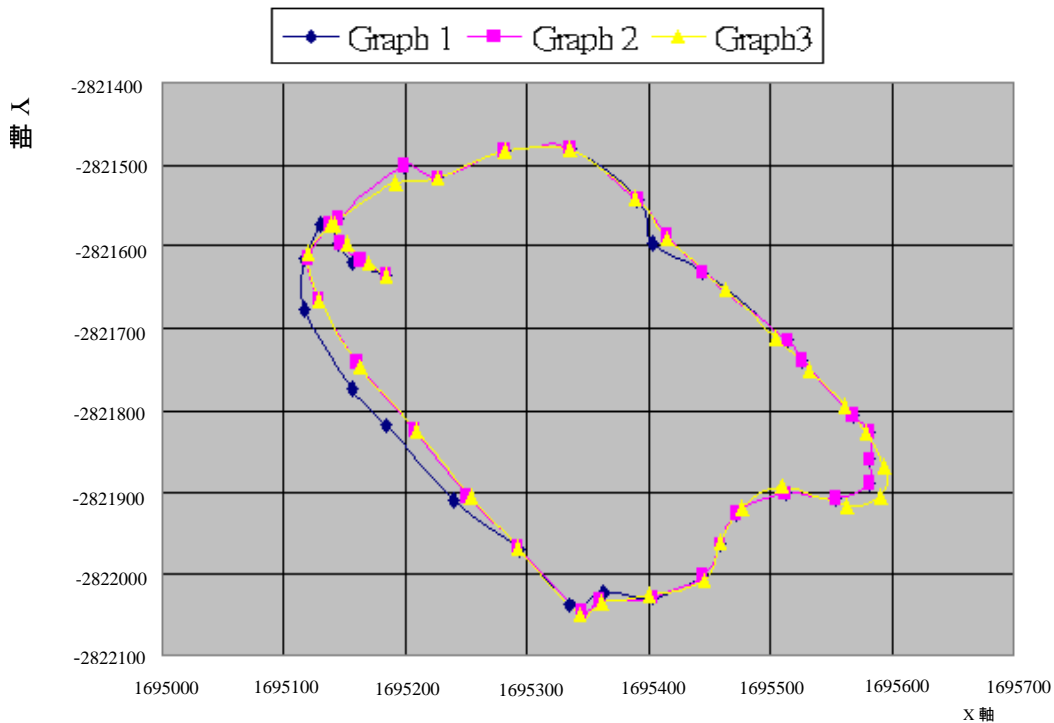
在導盲巡航的過程中導盲機器人必須隨時都能知道自己的姿態與位置，然後才能做路徑規劃，以便執行運動命令。在一個未知的環境下，最有效的姿態估測，是使用多種感測器並藉由資料融合來做導盲機器人的姿態估測。本計畫之設計是採用軸編碼器及陀螺儀，同時使用了簡單的卡曼濾波器 (Kalman Filter) 演算法來進行資料的整合。利用卡曼濾波器原理得到資料融合的角度值 為：



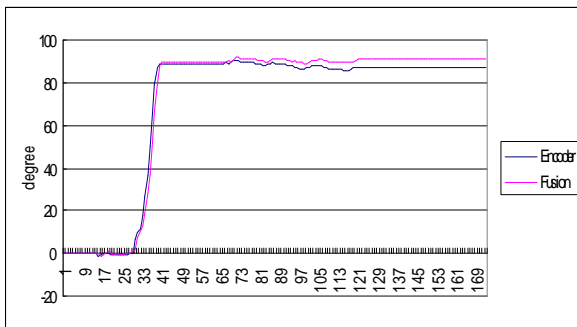
圖一 改良型導盲機器人之外觀

$$\theta = \theta_e + \frac{f_e^2}{f_g^2 + f_e^2} (\theta_g - \theta_e)$$

其中 θ_e 為編碼器量測經轉換所得的角度值， θ_g 為陀螺儀量測經轉換所得之角度值。 f_e 為編碼器量測之標準差， f_g 為陀螺儀量測之標準差。 f_e 、 f_g 的計算，是先將陀螺儀放在校準旋轉盤上，將校準旋轉盤分別以順時鐘與逆時鐘旋轉，每旋轉 30 度量取陀螺儀轉換所得之角度。將這些角度值與其對應的校準旋轉盤的值相減後，再將這些相減的值取標準差 (Standard deviation)，此值即為陀螺儀量測之標準差 f_g 。利用同樣的方法，將導盲機器人分別以順時鐘與逆時鐘旋轉，每旋轉 30 度量取此時編碼器轉換所得之角度。將這些角度與其對應導盲機器人旋轉角度值相減後，再將這些相減的值取標準差，此值為編碼器量測之標準差 f_e 。藉此推算出 $f_g=0.632422$ ， $f_e=2.094465$ 。故經資料融合後的角度值 為 $\theta_e + 0.809041(\theta_g - \theta_e)$ 。圖三所示為一次實驗的結果，實驗的進行是前進一段距離後，向右轉 90 度，然後在繼續前進，軸編碼器所量測最終角度為 87.33 度，資料融合後為 91.15 度。由實驗可知資料融合後的結果比資料融合前來得好，特別是當導盲機器人在車輪突然打滑或當一個車輪碰到障礙物時，資料經融合後，所量測的結果也比資料融合前較好。



圖四 三種軌跡差異比較圖



圖三 實驗 B 軸編碼器與資料融合後量測值之角

3.3 GPS 於導盲機器人戶外環境的定位

室內的導盲可藉由內建環境地圖與多感測器資訊的融合來達成導盲機器人的定位與姿態的估測，而一旦工作於室外，全球衛星定位系統(GPS)亦可提供導盲機器人作多感測資訊融合時更標準之定位資訊，首先，先從 GPS 的工作原理著手[3,4]，從瞭解基本的全球衛星定位系統的架構開始，並試著去比較 GPS、DGPS 及 Carrier phase GPS 之間之性能及差異，進而從中選出一種較為適用在導盲機器人上的方法。接著就衛星發射出訊號，經由傳送、接收至算出所需位置的方法作一整體的瞭解和規畫，以利爾後在應用軟體或硬體時能依照理論的程序去進行，以期能發揮 GPS 之最大功能來輔助導盲機器人之運

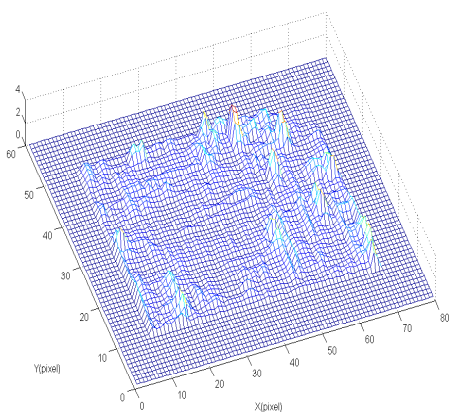
作。目前定位儀採用帕斯卡公司之超能 123 全球衛星導航定位儀。如圖四所示為繞交通大學校園之實驗結果，三次實測分別為(1)由接收器螢幕顯示之數據(Graph 1)，(2)由本計劃所發展之轉換程式於手提電腦上執行所得之數據(Graph 2)及(3)由 DGPS 所得之數據(Graph 3)。

3.4 基於光流估測法則之影像避障系統

本計劃執行的第一年所發展的影像系統係採用雙 CCD 攝影機的設計，在設計上成本較高，因此在目前的設計中也考慮改成使用單 CCD 來達成影像擷取障礙物的設計。此架構是計算 CCD camera 所獲得連續影像的光流速度場(Optical flow velocity field)，進而可計算得到影像中場景或障礙物的深度值，並以此作為避障控制架構的輸入參數。

環境場景或障礙物深度的計算，Flow divergence 已被證明足以用以執行偵測與閃避障礙物的務，其原理就是場景中距離遠近不同的物體在 Image flow 中所呈現密集方向、量值各不相同的速度向量，因此如果可以計算像素與像素之間的速度變化梯度即可表示出物體的深度。Flow divergence 的計算就是 optical flow 的兩個 components 對其相

對應的座標軸方向作偏導數後所得之和,理論上其不會受到 camera 轉動的影響,因此對於移動的觀察者可以提供很穩健的環境結構測量值。圖五為計算出來的 flow divergence, 圖中突起越高的部分,代表環境中越接近 camera 的部分,因此可充分顯示出環境場景向對於導盲機器人的距離,是可作為即時避障控制的重要依據。



圖五 Flow divergence 的計算結果

四. 結論與討論

本計劃第二年的執行期間我們完成了導盲機器人機構本體的改良,導引杖的機構外型,讓盲人在使用導盲機器人時,就如同倚賴導盲犬一般,心理上會有較大的安全感。其次,大幅地減少體積與重量並且裝設盲人比較容易使用之人機介面,不但減少導盲機器人的製造成本也同時提高了導盲機器人的實用性、可攜性以及被盲人使用的意

願。未來的工作主要將在導盲機器人的反應式行為研究方面,本計劃將發展一個基於光流估測之即時影像避障控制法則,在這個控制法則裡,我們估測環境連續影像的光流場,並且藉此計算光流場的 divergence,也就是得到環境場景的深度分布,以此可作為即時避障所需之重要資訊。

五. 參考文獻

- [1]Johann Borenstein and Iwan Ulrich, "The GuideCane-A Computerized Travel Aid for the Active Guidance of Blind Pedestrians", *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1997, pp. 1283-1288.
- [2]Aigner, P. and McCarragher, B., "Shared Control Framework Applied to A Robotic Aid for the blind", *Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1998, pp. 717 -722.
- [3]David Wells ed., "Guide to GPS Positioning", Fredericton, N.B. Canada CANADIAN GPS ASSOCIATES, 1987.
- [4]Neil Ackroyd & Robert Lorimer, "Global Navigation a GPS User's Guide", London Lloyd's of London Press, 1994.
- [5]B. Horn, P. Schunk, "Determining Optical Flow", *Artificial Intelligence* 17:185-203, 1981.
- [6]Camus, T. "Real-Time Quantized Optical Flow", *Computer Architectures for Machine Perception*, Proceedings. CAMP '95, Page(s): 126 -131, 1995.
- [7]Camus, T.; Coombs, D.; Herman, M.; Tsai-Hong Hong "Real-Time Single-Workstation Obstacle Avoidance Using Only Wide-Field Flow Divergence", *Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition*, pp. 323 -330, 1996.