

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

導盲機器人之研製(3/3)-子計畫一:導盲機器人之反應行為與運動控制系統研製

Development of Reactive Behaviors and Motion Control

System of a Guidance Robot for Blind Pedestrians

計畫編號：NSC 89-2218-E-009-039

執行期限：89年08月01日至90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：顏坤銘 陳宏庭 柯世豪 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、影像處理、光流、即時避障)

本計畫研發展完成一導盲機器人本體及一個以混合式光流估測法則為基礎之導盲機人即時影像避障系統。本系統之主要目的在幫助盲胞，能安全的繞過障礙物或突然出現的物體，而到達他想要去的地方。本研究提出一個改良的光流估測法則，使之能夠更具即時性。混合式光流估測法則是依據關聯性光流估測法之原理，以影像強度梯度為圖樣特徵，進行關聯性比對，並且以微分光流估測法的明亮性限制作為搜尋區域，因此可以大量減少計算量及錯誤產生的機會。利用混合式光流估測的結果可以產生安全分布直方圖，以作為即時避障法則之參考。本研究藉由測試及實驗的結果，來驗證我們設計的可行性。

英文摘要 (Keywords : Robots, image processing, optical flow, real-time obstacle avoidance)

In this study we developed a guide robot for blind pedestrians and a real-time obstacle avoidance system for the robot based on a mixed optical flow estimation. The purpose of this robot is to help blind pedestrians to navigate safely among obstacles. We first improved the performance of conventional optical flow estimation methods in order to obtain real-time obstacle avoidance behavior. A new optical flow estimation algorithm was proposed. It combines the correlation-based principle and pattern matching techniques using image intensity gradients. Using

brightness constraint to form the searching area, we greatly decrease the computation complexity and in the mean time reduce the possibility of estimation errors. The optical flow estimation results are transformed to a safety distribution histogram and used for real-time obstacle avoidance. The effectiveness of the proposed method is demonstrated by a series of tests and experiments.

二. 計劃緣由與目的

導盲犬的訓練不易與不普及化[1]，使得所謂的白色柺杖(White Cane)目前仍是盲人最普遍使用的行進輔助工具，這個現象促進了近來各種導盲機器的研發。本計畫對於導盲機器人的設計乃基於導引式手杖的概念，在實用性、可攜性、使用方便性的層面上，考量盲人的實際需求，進行全面而完整的機構及控制系統架構的設計與研製。此外，導盲機器人是否具有實用價值，「安全」是其先決且最基本的條件，機器人必須具備自主式閃避不預期障礙物的功能。目前以影像為基礎之障礙物偵測與閃避法則，大致上可分為三類[2]：第一類是圖形辨識的方法，第二類是使用立體視覺，第三類是經由光流向量(Optical flow vectors)來估測場景中物體相對於攝影機的深度(Depth)、發生碰撞時間(Time-to-contact)等[3][4]。而典型的光流估測法則在應用上最大的問題在於計算量大、運算費時，因此我們希望能夠針對造成此問題的原因進行探討並提出一個改良型的光流估測法則的設

計，使其速度快，同時精確度足以應用於導盲機器人的即時避障控制。

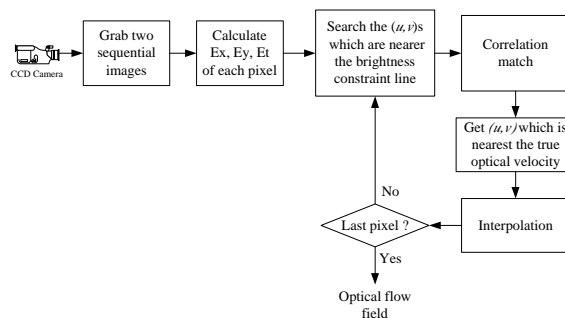
三. 研究方法與成果

3.1 導盲機器人的設計

在導盲機器人的機構設計，係採用導引式手杖的概念，但是在驅動系統、人機介面與感測器的使用上進行了大幅度功能的提昇。盲機器人本身具有馬達驅動系統，可以執行自主性的巡航與環境偵測，以達到真正牽引盲人行進之目的，圖一為本導盲機器人牽引使用者之實際情形。在人機介面上，使用一支伸縮式的手杖，握把處及手杖與機器人的銜接處，分別安置振動馬達與極限開關，當機器人與盲人之間太接近或者盲人速度甚慢於機器人，則手杖前端會觸動極限開關使得握把處的振動馬達產生振動，同時機器人也會調整行進的速度以保持與盲人之間的距離。感測器主要是以 CCD 攝影機擷取影像作為主要的環境資訊來源。在位置估測方面，短距離航行以軸編碼器來計算機器人的速度及位置，並且保留 GPS 定位系統之介面，以提供未來做室外導航時之定位用途。

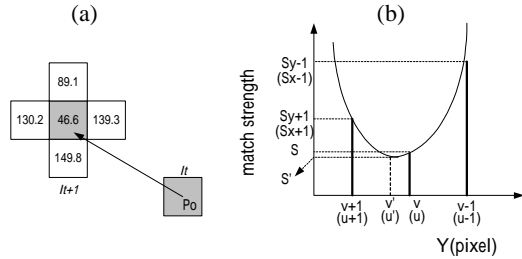


圖一 導盲機器人牽引使用者之情況



圖二 混合式光流估測法則流程圖

比對關聯性最高的圖素，以估測出光流速度向量，而為了提高精確度，在後續的計算上，關聯性估測法尚牽涉到協方差矩陣的計算與遞迴的求解，再加上搜尋區域的大小會增加計算複雜度，不利於即時的應用。為了有效降低計算複雜度，並維持精確度，本計畫所發展出的方法融合了微分法的明亮性限制條件[5][6]，不但加快了搜尋速度也減小了可能發生的誤差。本研究發展之混合式光流估測法則的流程如圖二所示。擷取兩連續影像後，先找出正確光流速度向量所可能分布的範圍，再進行關聯性比對以找出最接近正確值的光流速度向量。得出量化的光流速度向量後，再以內插法求出次像素的光流速度，以更逼近正確值。一方面可以將關聯性比對的搜尋區域減少至原來的 1/3~1/4 以大幅減少計算量，而且由於關聯性比對不會在非正確光流向量分布的範圍內搜



圖三 (a) 影像 I_t 上的 P_0 在影像 I_{t+1} 上的最相似點及其相鄰點的匹配值

(b) 拋物線內插法

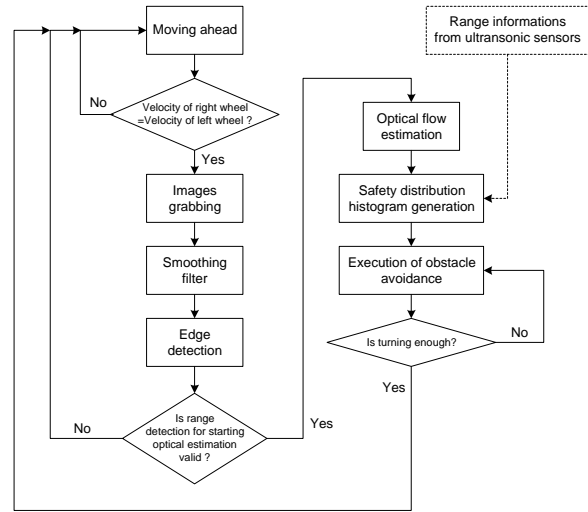
尋，因此可以減少發生比對錯誤的機會。內插的方式，如圖三(a)所示，影像 I_t 上的待測圖素 P_0 ，在影像 I_{t+1} 上最相似點的比對值相較於周圍相鄰點的比對值必為局部最小值，因此可以利用一拋物線公式[3]，來分別進行 x 方向與 y 方向上內插的計算，如圖三(b)所示，指向拋物線極小值的橫軸座標就是次像素化且比較接近正確值之光流速度分量。

3.3 基於光流估測之即時避碰法則

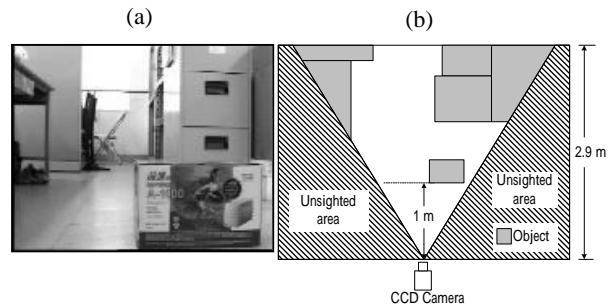
經由光流速度可以計算出影像中場景的深度 (Depth) 或 TC (Time-to-collision)，以做為避碰法則所需之環境資訊輸入 [7]。圖四所示為基於光流估測之即時避碰法則的流程圖，為了能夠計算深度與安全分布直方圖，設計當機器人呈現直線運動時，才擷取影像並且進行影像平滑化與邊緣偵測的前置處理，主要目的有二：一是要排除地板的影響，因為地板的光流會使得安全分布直方圖會顯示出一個均勻齊頭的深度分布，其深度值皆等於攝影機視角範圍內所能觀察的最淺深度，系統將無從判斷最安全之避障區域。目的二是要抓取在計算光流上較為有利的像素，因為在物體邊緣，即前後景交接的地帶，或是圖樣特徵對比明顯且雜亂的地帶，像素的移動比較容易觀察得到，圖素特徵的比對會有較高的正確率。

3.4 即時避碰實驗

圖五是利用導盲機器人的影像擷取系統所擷取之實驗場景圖，由圖五的上視角度可看出在導盲機器人的視線偏左有

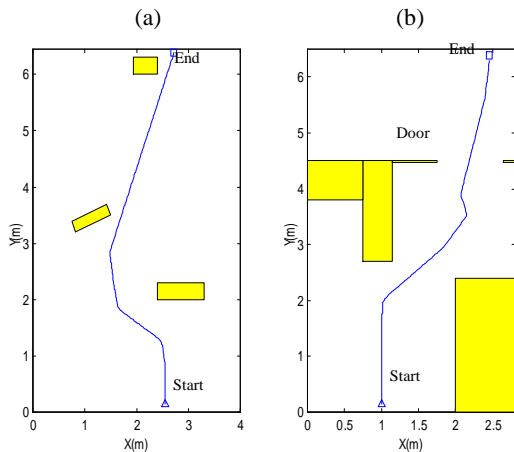


圖四 即時避碰法則之流程圖

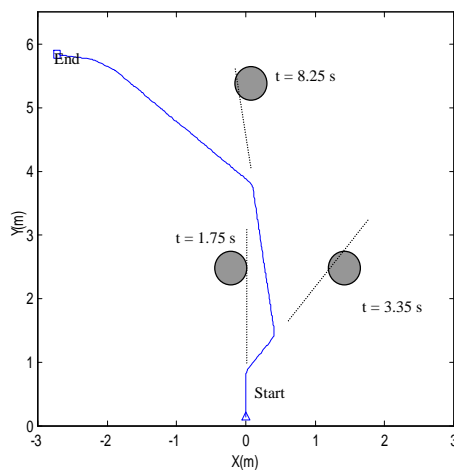


圖五 (a) 測試避碰法則所擷取之場景
(b) 場景(a)之上視圖

較大的縱深。我們設定讓機器人由擷取到的影像，進行避碰法則的運算，機器人會判定區域三的視角範圍進行閃避也就是視線偏左的區域。經過量測，在 DOS 6.22 的作業系統下，完成一次避碰法則的運算約需 0.9 秒。另外我們設計兩個實驗來測試導盲機器人動態即時避碰的功能。實驗一是分別在兩種環境中進行避碰測試，環境一是一個較寬敞，障礙物擺設經過刻意安排的環境，其實驗結果如圖六(a)所示。環境二是一個較狹窄，且未經過安排的環境，其實驗結果如圖六(b)所示。實驗二則是在一空曠場地中讓機器人任意漫遊，並安排測試人員隨機出現在機器人前面，以測試機器人的反應速度。其結果如圖七所示。以上的實驗，機器人擷取影像時的直線速度設定為 33.16 公分/秒。



圖六(a) 環境一即時避障實驗之機器人軌跡
(b) 環境二即時避障實驗之機器人軌跡



圖七 即時避障實驗二之機器人軌跡(灰色圓圈表示測試人員於不同時間出現之位置)

四. 結論與討論

在本研究中，我們完成了一具有影像即時避碰能力之導盲機器人設計與製作。我們提出了一個混合式光流估測法則，此法則的計算量為傳統關聯性法則只做一次遞迴求解計算量的 1/3~1/4，而且精確度也較高。以此法則為基礎，本計畫發展出一套閃避障礙物的流程，計算產生安全分布直方圖，並以此直方圖作為環境資訊輸入，完成了一個即時影像避障控制法則，並且成功地應用在我們所設計的自

走式導盲機器人上。目前所發展基於混合式光流估測法則之導盲機器人影像避障控制系統，仍有許多改善的空間，以使導盲機器人本系統更能符合實際的需求，例如：整合路徑規劃與路徑追蹤之功能、混合式光流估測法則精確度的改良、影像系統的校準及多感測器的整合等。

五. 參考文獻

- [1] Hideo Mori and Mitukuni Sano, "A Guide Dog Robot Harunobu-5 Following a Person," Proceedings of 1991 IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems, pp. 397-402, 1991.
- [2] D. Willersinn and W. Enkelmann, "Robust Obstacle Detection and Tracking by Motion Analysis," Proceedings of 1997 IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.717 -722, 1997.
- [3] T. Camus, D. Coombs, M. Herman, 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.
- [4] T. Camus, "Real-time Quantized Optical Flow", Proceedings of 1995 Computer Architectures for Machine Perception, pp.126 -131, 1995.
- [5] Horn B., Schunk P., "Determining Optical Flow", Artificial Intelligence, Vol. 17, pp.185-203, 1981.
- [6] J. Barron, D. Fleet, S.S. Beauchemin, "Performance of Optical Flow Techniques", International Journal of Computer Vision, Vol. 12, No. 1, pp.43-77, 1994.
- [7] L. Jorge and C. Sanz (Ed.), "Image Technology: Advances in Image Processing, Multimedia and Machine Vision", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996.