

動態環境中之自動導航車智慧型控制研究 (II)
Intelligent Control of Autonomous Mobile Robots in a
Dynamic Environment (II)

計畫編號：NSC 88-2213-E-009-121

執行期間：87年08月01日至88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副教授

一. 中文摘要 (關鍵字：自動導航車、路徑追蹤、動態障礙物閃躲、行為融合)

本計畫之主要宗旨在研發具實用性之自動導航車，可以被用為一服務機器人 (Service robot)。此類機器人可以在人們經常活動的環境中自由活動並從事特定的工作。未來有潛力應用的場合包括在醫院、旅館從事搬運或安全防衛的機器人，或是在大面積公共場所之清潔機器人等。在朝向實用化之目標下，最重要的研究項目之一是設計出自動導航車能因應境中的運動物體之導航行為。環境中也必定有靜態的物體，這些靜態物體或許會被移動位置，但它們的位置基本上相當穩定，因此如能知道它們的位置，將有助於自導車於運動前先行規劃一較短可行的路徑。此外，為了增加自動導航車之工作能力，我們也將研發車上的機器手臂以便取放物體或做開門關門的動作。在此所要進行的研究包括機械手臂的機構設計和其協調自走車行動的運動控制。最後，一個智慧型的人機介面將提供應用的方便性。

本計畫預計以三年的時間來完成，在第一年的計劃中，已完成動態環境的感測技術以及反射式的動態障礙物閃躲設計與測試。在本計畫第二年，我們的工作重點是整合路徑規劃與動態環境之智慧型控制。在路徑規劃方面，我們主要是基於環境中之自然路標

-如天花板上的燈，來規劃機器人的路徑。並藉由影像處理及過去所發展的模糊追蹤控制器來達成路徑追蹤的目的。在動態環境中障礙物閃躲部份，我們先前已發展出動態環境中的智慧型控制法則。本計畫將此兩者重要功能以模糊融合的設計加以整合，使機器人可以根據規劃的路徑，執行追蹤的行為，當有不預期的障礙物出現時，自動切換至反射式閃躲的行為。當遠離障礙物後，再自動切換回模糊追蹤的行為，繼續執行預先規劃的路徑。在此第二年執行期間也完成了移動式機械臂之硬體研製與控制器設計。未來的工作將包括建立智慧型人機介面如語音辨識系統，導航系統的整合實驗，以及自動導航車的應用設計與測試。希望經由實際之功能展示，能促進自動導航車在工商業界的應用。

英文摘要 (Keywords : Autonomous mobile robots, path tracking, obstacle avoidance, behavior integration)

The purpose of this project is to develop a mobile robot which can be applied as a service robot for delivering documents in an office environment, for helping disabled people, for room service in hotels, for large area cleaning, and for replacing human workers in hostile environments etc. In these applications, the environment is usually unstructured and involves unexpected static and moving obstacles. Therefore, to make the autonomous mobile robot more practical, intelligent control algorithms are required

to solve the navigation problem in a dynamic environment. It is therefore essential to investigate how to estimate the obstacle's motion using onboard perception sensors.

This project was scheduled to complete in three years. In the first year, we have completed the sensor system for perception and worked out a representation method for a mobile robot in a dynamic environment. We have developed and tested a reactive navigation algorithm. Simulation and experimental results reveal that the proposed method can navigate the mobile robot in a indoor environment. A method was also proposed to integrate reactive navigation with the planned path. In the second year, we have developed a fuzzy path-tracking controller which aids the vehicle to follow the desired path based on natural landmarks-lamps on the ceiling. Besides, we proposed a fuzzy integrated agency to switch the tracking and avoiding mode for smooth navigation performance. We also completed the hardware and control design of a mobile manipulator. In third years, we will continue to study the mechanism and its control methods for the on-board robot arm. Experiments with the mobile manipulator system will be carried out to demonstrate its intelligent functions. The speech human-machine interface will be integrated. Finally, the practical application of the developed mobile robotic systems will be demonstrated.

二. 計畫緣由與目的

對於自走車而言，路徑規劃與障礙物閃躲是十分重要的兩大課題[1~3]。在路徑規劃與追蹤方面，本計畫運用本實驗室先前所發展之模糊追燈控制器[4]，配合實驗室所研發之即時影像卡[5]，來完成自走車之路徑追蹤。在障礙物閃躲方面，乃基於第一年所發展之反射式的動態障礙物閃躲控制器，來進行不可預期之靜態與動態障礙物之閃躲。在障礙物閃躲設計上，我們運用一

廣角鏡頭之 CCD 攝影機，來偵測環境中存在的移動障礙物，進而建立其危險指數圖樣，藉由避障行為的設計，可使機器人安全行駛於一動態的環境中。第二年計畫之目的主要在整合動態環境中路徑規劃與障礙物閃躲的行為。並以實驗室所研製之自動導航車實際驗證所發展的方法。使導航車可以在追蹤模式與避障模式下作適當的切換。本計劃已完成兩軸機械手臂機構並安裝於自走車上，來增加其執行任務的範圍與取放物體的能力。並已開始進行語音辨識運動控制的介面設計，以便與人類間之溝通。而最終目的則在於展示這些應用。

三. 研究方法與成果

在研究方法上，我們設計了一個一個模糊整合機制來有效地達成路徑追蹤行為與障礙物閃躲行為的智慧型切換控制。藉由模糊規則的推論，根據不同行為模組，以當時的狀態下所得的 CCD 影像感測資訊，經由已建立的經驗法則推論，可分別得到當時每一個行為模組的行為分數，再經由一簡易的判別法則，可以決定自走車應該採用何種行為。圖一為此模糊行為融合機制系統架構圖。在自動導航車上實際施行架構如圖二所示。我們在實驗室的走廊以實驗室所研發之自動導航車系統來加以驗證此方法可行性。在路徑追蹤模式方面，利用 CCD 影像資訊，透過即時影像卡，取得原始影像之二元化影像資訊，經分群與計算路標資訊，再由模糊控制器輸出補償速度 (V_{r_image}, V_{l_image})，來作路徑之追蹤。在避障模式方面，利用廣角之 CCD，透過另一片即時影像卡，取得原始影像之邊緣化影像資訊，經由避障行為模組計算，可得一組避障的速度命令 (V_{r_fkn}, V_{l_fkn})。最後經由模糊行為整合機制判斷，選擇最適當的行為輸出 ($V_{r_integration}, V_{l_integration}$)。此輸出是藉由

左右兩輪之速度控制來加以完成，如圖中右上方所示。其中，驅動裝置之控制乃由 HCTL-1100 運動控制 IC 所達成，如此可減輕車上控制電腦之計算負擔。

圖三顯示實驗中所用之雙 CCD 導引之自動導航車。實驗之進行在實驗室外走廊中，給定預設之起點與終點，並在環境中安排行人、椅子等不預期障礙物。圖四所示為路徑追蹤行為執行時第一個 CCD 之感測資訊，圖五所示為避障行為執行時第二個 CCD 之感測資訊。圖六為整合實驗所記錄之軌跡結果。圖中每一秒鐘顯示一次自走車的位置。車出發後前 8 秒內表現出路徑追蹤行為，由走廊的右側漸漸往走廊的中線處逼近。在第 8 秒時，自走車偵測到移動障礙物 Mov. 1. 一行人，由於動態障礙物危險指數的設計，因此可以較早對動態障礙物反應，以閃躲接近的障礙物。在第 15 秒時，完成閃避動作，此時由於已無障礙物出現，自走車又回到路徑追蹤行為。當數燈數到該執行轉彎動作處，即進入轉彎的程序，車子慢速前進並在原地旋轉 90°，使其面對另一條走廊的燈光。轉彎過後由於並未對準燈下，因此追燈行為使其逼近燈下走廊的中心線。在第 33 秒時，偵測到一靜態障礙物 Obs. 1. 一椅子，並進行閃避的動作，在第 42 秒時完成閃躲動作，隨即切換為路徑追蹤的行為模式。在第 47 秒時偵測到側向障礙物 Mov. 2. 一行人，由於側向避障之行為設計，使自走車減速慢行直到行人完全通過。此時由於車身相對於中心線仍然有偏差，乃繼續追燈並逼近中心線，最後到達所定的目標點。

本計畫第二年執行期間已完成下列工作：1. 完成模糊融合機制設計，達成整合反射式的動態障礙物閃躲與路徑追蹤行為。2. 完成自動導航車硬體整合。3. 以實驗室之導航車，完成雙 CCD 自動巡航實驗。4. 完成機器手臂之

製作與安裝，如圖六所示。目前仍繼續進行對此移動式機械臂做控制設計。以期此系統將來可以整合機器手臂與自走車之運動，來達成實際工作之操作。

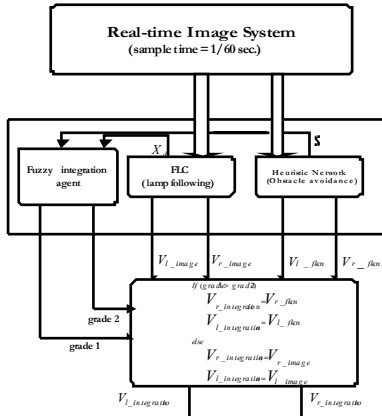
四. 結論與討論

本計畫完成路徑規劃與追蹤之行為與動態障礙物閃躲行為之整合，並以實驗加以驗證所提出設計能達成預期之功效。我們採用自然路標-天花板的燈，來達成自動導航車路徑追蹤之模糊追燈控制器。燈與燈之間的影像特徵，藉由此模糊追燈控制器來協助自走車在行進時，能夠一直在我們預設之規劃路徑上。配合第一年所完成反射式的動態障礙物閃躲設計，建立出一套模糊融合機制。利用這個機制，來適當地切換追燈與避障模式，來使得自走車在導航過程中，可以走得更加地平順。

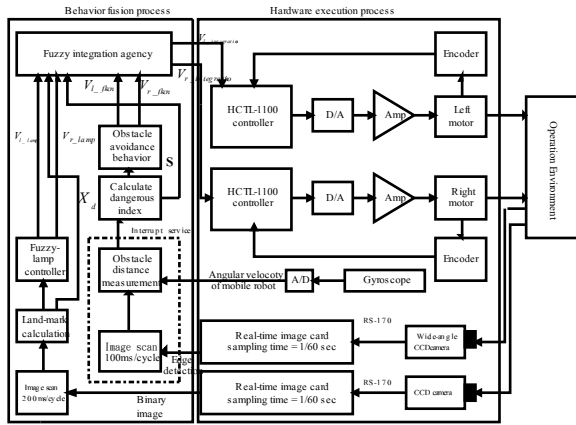
五. 參考文獻

- [1] T. Lozano-Perez and M. A. Wesley, "An Algorithm for Planning Collision-Free Paths Among the Polyhedral Obstacles," *Communications of ACM*, vol. 22, no. 10, pp.560-570, Oct. 1979.
- [2] O. Khatib, "Real-time Obstacle Avoidance for Manipulator and Mobile Robots," *Int. J. of Robotics Research*, vol. 5, no. 1, pp. 90-98, Spring 1986.
- [3] H. R. Beom, and H. S. Cho, "Path Planning for Mobile Robot Using Skeleton of Free Space," in *Proc. IFAC Symp. Information Control Problems for Manufacturing Toronto, Canada, May 25-28 1992*, p p. 509-513.
- [4] K.T. Song and Y.S Lin, "Landmark-based Guidance of an Autonomous Vehicle Using Fuzzy Logic Velocity Control and Real-time Computer Vision", *Proc. Of Fifth National Conference in Fuzzy Theory and Application (Fuzzy'97)*, pp.405-410, 1997.
- [5] 許馥疇, "即時影像處理及其在自動導引車導航之應用", 國立交通大學電機與控制學系碩士班論文, 一九九五年, 六月。

六. 圖表



圖一. 模糊行為融合機制系統架構圖



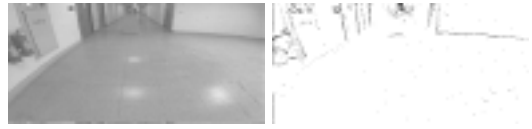
圖二. 自動導航車系統整合架構圖



圖四. 追燈行為感測資訊



圖三. 實驗室之自動導航車



圖五. 避障行為感測資訊

圖六. 行為融合整合實驗之結果

圖七. 實驗室研製之移動式機械臂

