

以DSP平台實現RTK-DGPS為基礎之自動駕駛系統

DSP Implementation of RTK-DGPS Based Automatic Driving Systems

連政南	李祖添	吳炳飛	蔣欣翰	吳依庭	彭昭暉
交通大學電 機與控制工 程學系	台北科技大 學電機工程 學系	交通大學電 機與控制工 程學系	交通大學電 機與控制工 程學系	交通大學電 機與控制工 程學系	交通大學電 機與控制工 程學系
silk0621@m sn.com	ttlee@ntut.e du.tw	bwu@cssp.c n.nctu.edu.t w	hsinhan.ece 90g@nctu.e du.tw	okd@cssp.c n.nctu.edu.t w	billy@cssp. n.nctu.edu.t w

摘要

在先進車輛控制及安全系統 (AVCSS) 相關領域中，自動駕駛已經是主要的發展趨勢。在這篇論文中，我們整合即時動態差分全球衛星定位系統 (Real-Time Kinematic Differential Global Positioning System, RTK-DGPS) 與雷射測距儀 (Laser Range Finder) 於智慧車上來實現一個即時的自動駕駛系統。模糊邏輯演算法乃按照人類的行為模式提供一個參考的方向盤轉角和車速。而在安全方面，於車頭安裝雷射測距儀偵測前方障礙物，透過速度管理器 (Supervisory Controller) 所計算出來的安全速度達到安全的自動駕駛。整套系統以 C6713 DSK 發展板為平台，安裝在實驗車 TAIWAN ITS-1 上作測試，實驗的結果展現良好的自動駕駛性能，而且與人為開車的駕駛習慣相似。

關鍵詞：智慧型運輸系統、自動駕駛、模糊邏輯控制、全球衛星定位系統。

Abstract—Automatic driving has been a main trend in the field of advanced vehicle control and safety system (AVCSS). In this paper, we design and implement a real-time automatic driving system for intelligent vehicles by integrating a real-time kinematics differential global positioning

system (RTK-DGPS) and a laser range finder. A fuzzy logic algorithm for target position of the steering wheel and speed decision rules are proposed to achieve the human driving concept. For the safety, the head of the vehicle is equipped with a laser range finder to detect obstacles in the front, though the safe speed calculated by supervisory controller to make a safe automatic driving. In addition, the C6713 DSK is served as a platform in the present study to implement an embedded system for this system. It is tested in the experiment car, TAIWAN ITS-1. The experimental results show that the combination of RTK-DGPS and artificial-intelligence-based techniques has a good performance in automatic driving, and the resulted steering maneuvering is very similar to human driving.

Keywords—ITS, Automatic Driving, Fuzzy Logic Control, RTK-DGPS.

一、簡介

近年來，智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation Systems, ITS) 已成為世界先進國家的重點發展項目。透過環境感測器如攝影機、雷達、GPS 及車內感測器如車速、方向盤轉角和慣性量測單元等所獲得之資訊，使得自動車輛技術能夠發展並實現。

在一些研究中是以行車安全和提供駕駛的舒適性為主要的探討。在 [1] 中，ARGO 計畫裡使用

立體攝影機取得車輛前方的道路資訊，並使用致動器驅動方向盤來達成車道保持的功能，在 PATH 計劃[11]中著重車輛跟隨系統的自動安全距離保持，在 OSUV 的實驗車中[11]，使用攝影機和致動器來達成實道保持和車道變換的功能，在 NavLab 中運用一些攝影機和雷射測距儀發展一系列的駕駛輔助系統和自動化車輛[4]，另外，歐洲的 AUTOPIA 計劃中主要目的是使用 GPS 導航和模糊邏輯的橫向控制發展無人駕駛車，在[5,10]中根據攝影機和雷射測距儀所偵測到的車道線跟前車資訊，包含了車道保持和適應性巡航二種駕駛輔助系統[3,8]。

在過去幾年內的研究中 GPS 的應用已經出現在車輛控制的設計中，導航系統的設計與實現加入了磁力計和慣性量測儀與 DGPS 在先前進車輛控制中在[9]中被提出，另外結合慣性量測儀和 GPS 接收器所推估側滑角和縱向車速與滾動量的方法在[7]中有被證明，卡曼濾波器被使用來更新車輛的估測狀態和感測器的誤差，其效能在於基於 GPS 和羅盤的操控系統中於緊急情況的假設下在[6]中有被探討。

在這篇論文中，基於 GPS 導航的自動駕駛系統已被實現，雷射測距儀偵測車輛前方障礙物，模糊邏輯操控控制器能達成近似人類駕駛行為的控制。

此篇論文的第二段將描述車輛的平台，第三段則討論 RTK-DGPS 導航系統的設計，而實驗結果會在第四段呈現，最後會在第五段做一個結論。

二、實驗車輛平台

(一) 實驗車：

本論文所使用的研究實驗車平台為 TAIWAN iTS-1，如圖1所示，是由中華三菱汽車[12]所提供之 SAVRIN 2400CC，其規格列於表1。藉由車內感測器、雷射測距儀和 RTK-DGPS 取得車子狀態的資訊，並且結合車輛的煞車、油門、方向盤等致動器完成自動駕駛的任務。



圖1、實驗車 TAIWAN iTS-1

表1、實驗車規格表

Mitsubishi SAVRIN 2.4	
Engine type	L4 DOHC 16V VVT+DMM
Exhaust	2400 cc
Horsepower(hp/rpm)	150/6250
Torsion(kgm/rpm)	19.2/3000
Transmission	INVECS-II SPORTS-MODE 4 A/T
Weight	1640 kg

(二) 感測器與致動器：

在圖2中所示乃本研究所使用之 RTK-DGPS 系統為 NovAtel[13]所出產的 ProPak-G2 plus，取樣頻率為 20Hz，量測精度可達 2 公分。系統包括一組基地站和移動站，基地站與移動站由接收器、天線盤和無線電所組成。



圖2、RTK-DGPS 感測器

除此之外，使用 SICK 所生產之 LMS 291[14]

雷射測距儀，如圖 3，安裝於車子前方用以偵測車輛前方之障礙物。測距儀掃瞄角度為 180°，掃瞄範圍最大為 81.91m，其所獲得之及時資訊可透過 RS232 介面傳輸至電腦端。



圖3、雷射測距儀

而致動器部分，我們利用安裝於方向盤上之 AC 伺服馬達(MSMA042A1E, by PANASONIC[15])及其驅動電路達成橫向的自動駕駛部分。縱向部分則分為油門以及煞車兩部分。油門制動機構，由一個 DC 馬達(AP500, by Liteon)帶動油門踏板，調節汽油與空氣進入引擎的進氣量。煞車機構則為一個線性馬達(LAS3-1, produced by HIWIN corp.)與電磁鐵的組合，當需要運作的時候，電磁鐵會吸住與煞車踏板連接的鋼纜線(braided steel cable)，使線性馬達可以透過鋼纜線拉動煞車踏板。如此構成一個完整的自動駕駛系統。

三、以 GPS 為基礎之導航系統設計

本論文以[6]之 GPS 導航為基礎，橫向整體的控制架構如圖 4 所示，主要可分為兩個階段，分別為外層之方向盤模糊控制以及內層比例微分控制。

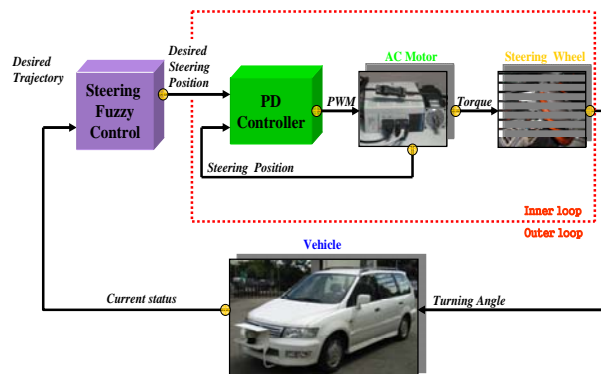


圖4、橫向控制系統架構圖

(一) 外層 - 模糊邏輯控制器 (Fuzzy Logic

Controller)：控制器的主要目的是透過車輛現在的位置和電子地圖的目標路徑來決策方向盤所須轉的角度。可由 RTK-DGPS 得到車輛即時的位置與行徑方向，經過與參考路徑資訊之間的比較並透過模糊控制器的運算產生方向盤控制命令。

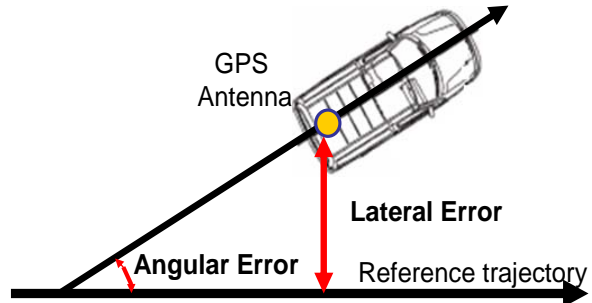


圖5、橫向偏差與角度偏差示意圖

為了模擬人控制方向盤的行為模式，本論文參考[6]所提出之模糊邏輯演算法，使用了兩個輸入橫向偏差(Lateral Error)和角度偏差(Angular Error)來決策方向盤所需的轉角，其定義如圖 5 所繪，輸出是一個明確的方向盤轉角，圖 6 為兩個輸入與一個輸出之模糊歸屬函數。模糊規則(fuzzy rule)則描述如下：

Fuzzy rules:

R1 IF Angular_Error Left THEN Steering Right

R2 IF Angular_Error Right THEN Steering Left

R3 IF Lateral_Error Left THEN Steering Right

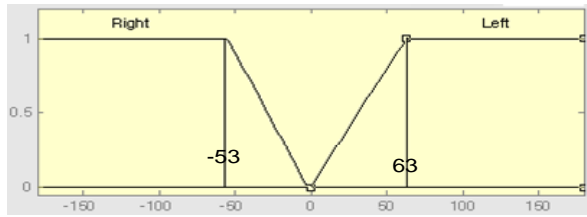
R4 IF Lateral_Error Right THEN Steering Left

最後，我們利用面積中心法(Center-of-area)解模糊得到方向盤角度的輸出值。

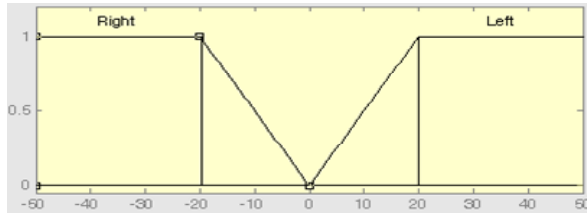
(二) 內層-比例微分控制器(PD Controller)：這個控制器的主要目的是控制AC馬達到想要的位置，以達到模糊邏輯控制器算得之方向盤轉角。PD控制器的控制參數選擇 $k_p = 120$ 、 $k_d = 10$ 。

縱向控制即對於車子速度方面的控制。與橫向控制相同的，如圖 7。

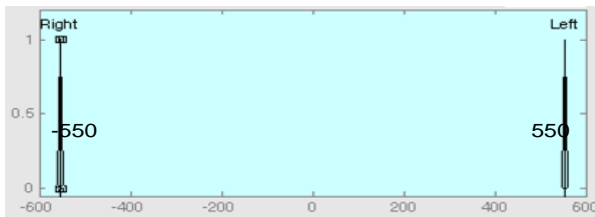
(一) 外層-速度的決策：外層迴圈的速度決策則分成兩個模式：轉彎模式與直線模式。本論文設計車



(a)



(b)



(c)

圖6、模糊歸屬函數

(a)橫向偏差(b)角度偏差(c)方向盤位置

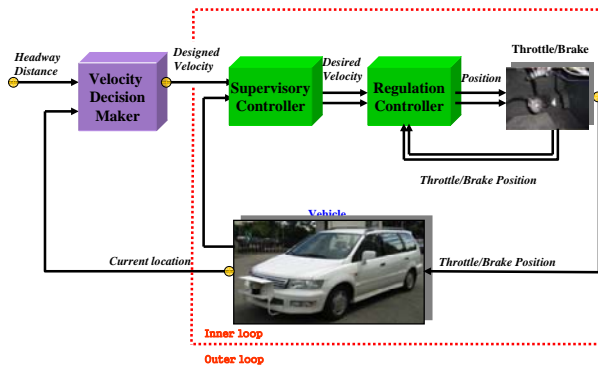


圖7 縱向控制系統架構圖

子在做直角轉彎時車速做15 km/h的定速轉彎。而車子進入直線車道時，車子會以一定加速度的方式加速到約40km/h左右。如果前方需要轉彎時，在兩路線交叉點的前50公尺左右會開始以 $-3m/s^2$ 的等減速度煞車，直到15km/h的轉彎時速。

(二) 內層-油門煞車的致動：內層控制分為速度管理控制器(Supervisory Controller)與調節控制器(Regulation Controller)。速度管理控制器的主要目的是接收外層決策的速度、車子前方的雷射測距儀量測到與前方障礙物的距離資訊與受控車輛的

行進速度來計算出適合於目前受控系統的目標車速(Desired Speed)。調節控制器主要的功能則是依照管理控制器所計算出的目標車速，調節油門與煞車所需要制動的位置，達到加速、減速或定速的功能。

為了在實驗車上實現此兩個控制器，我們使用一即時且可獨立運作之處理單元 MicroAutoBox[16]，如圖8，接收由RTK-DGPS、電子地圖、方向盤轉角感測器的訊號並且下達指令給AC馬達。藉由RTK-DGPS我們可在電子地圖中決定位於路中央之參考軌跡，整體元件架構如圖9所示。圖10為DSP TM6713 DSK [17]發展板，處理透過RS232傳輸介面所得之各式資料，將RTK-DGPS、MicroAutoBox和電腦連結在一起。



圖8、MicroAutoBox

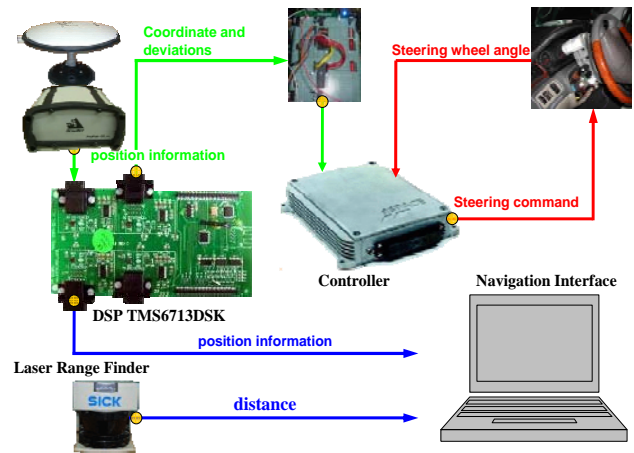


圖9、訊號處理整體元件架構

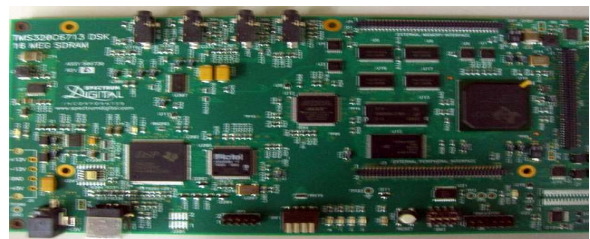


圖10、DSP TM6713 DSK

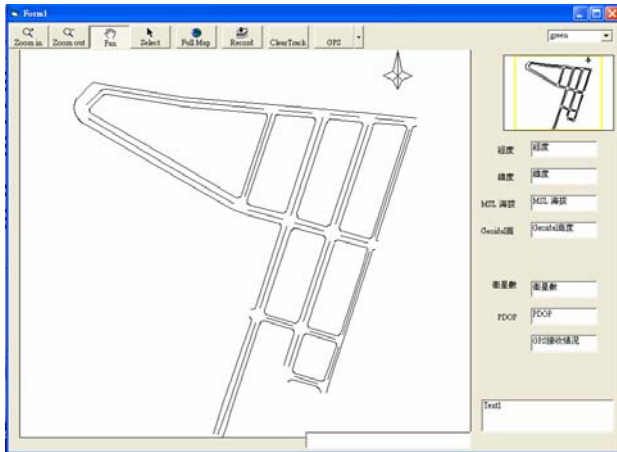


圖 11、南寮漁港港區電子地圖

四、實驗結果

實驗的場地選在台灣新竹市南寮漁港港區的道路，電子地圖全貌如圖 11，地圖資訊包括道路中線以及道路邊線。實驗的結果驗證本研究之設計性能。圖 12 顯示 RTK-DGPS 感測器傳回之資料格式(經度、緯度、高度、速度、方位角與定位狀態等資訊)，由天線所接收之訊號可視為車輛之動態資訊。

Recommended Input:
log gpvga ontime 1
Example:
\$GPGGA,202134.00,5106.9847,N,11402.2986,W,1,10,1.0,1062.22,M,16.27,M,*61

圖 12、RTK-DGPS 資料格式

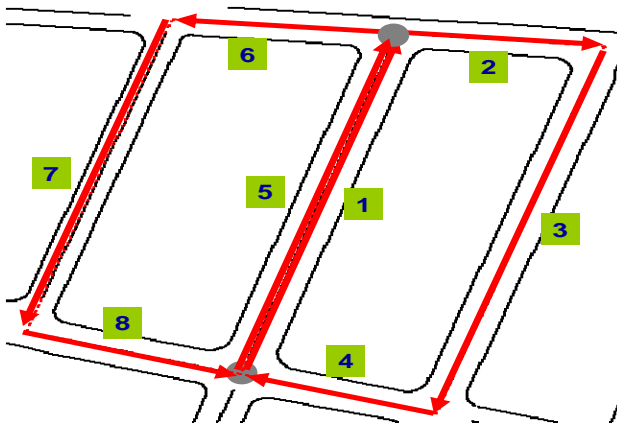


圖 13、車輛路徑規劃圖

第一個實驗場景為車輛的規劃路徑如圖 13 所示，由路徑 1 走到 8 並回至 1，形成為一個 8 字形。路線中包含直線駕駛模式以及轉彎(90 度之大轉彎)模式兩種模式，皆規劃行走在路中央。

圖 14 可看到實驗車 TAIWAN ITS-1 之即時道路測試，圖中可看見致動器及筆記型電腦。實驗在許多不同天氣狀況下進行測試，包括，白天、晚上、晴天、雨天等，皆不受影響。我們將車輛的座標值傳到電腦上之人機介面顯示車輛行進的軌跡來展現控制的效能，人機介面可用來控制、監控以及儲存由車輛各式感測器所傳來之即時資訊。由圖 15 左側可以看到測距儀掃瞄所得之距離，並將 180° 每 10 度劃分為 18 個區域，用來偵測障礙物並且提供駕駛者警訊以提升駕駛的安全。



圖 14、車輛即時道路測試

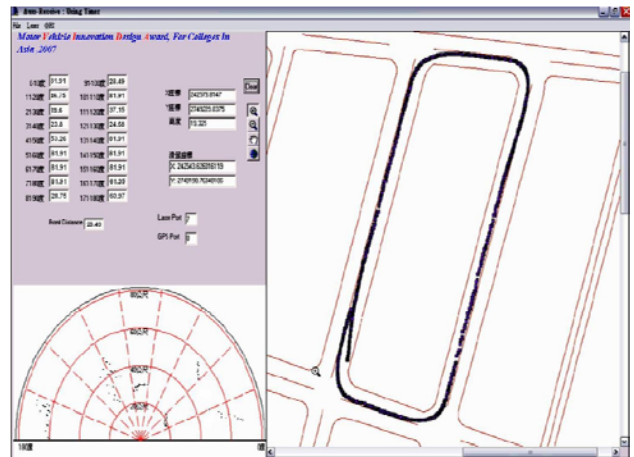


圖 15、人機介面

圖 15 介面的右側乃藉由搜集 RTK-DGPS 資訊得到即時之車輛位置並用小黑點繪在已知的電子地圖上。圖 16 顯示車輛完整走完一圈 8 字型的封閉迴路的軌跡圖，圖 17 顯示實驗時橫向控制的各項數據，包括：方向盤感測器量測到的方向盤轉角(Steering Angle)、FLC 判斷的方向盤轉角

(Steering Command)、車子行進的方位角(Heading Angle)、車子方位角與路徑方位角的角度偏差(Angular Error)、車子所在位置與規劃的行進路線的距離偏差(Lateral Error)。由圖可以得知模糊以及PD 控制器可以下達正確的指令給制動器，不論是直線或是轉彎的道路，都可使車子完美的依循參考路徑自動行駛。

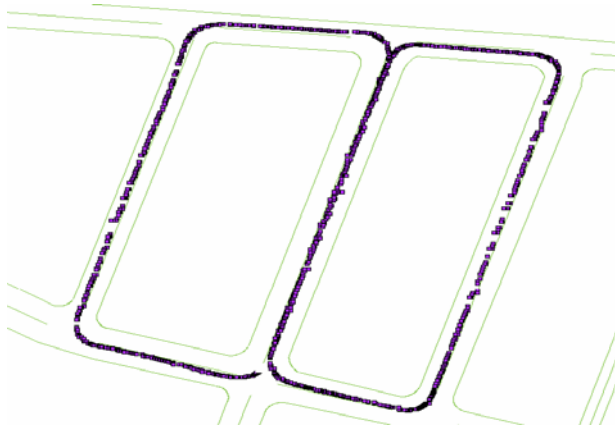


圖 16、由RTK-DGPS所得知之車輛位置

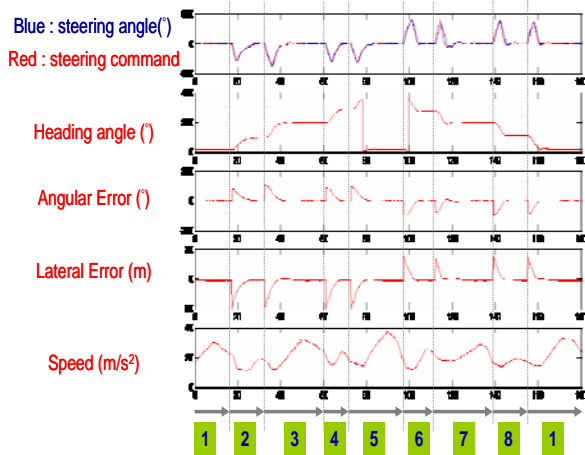


圖 17、橫向控制的各項數據

此外，為了比較我們的控制器與一般人的開車行為，我們請兩位駕駛者在相同的路段上開車並紀錄，圖18和圖19呈現了自動駕駛與實際人為開車的軌跡比較。由於每個人開車的習慣不盡相同，有的人喜歡急轉彎，有的人喜歡悠閒的過彎，但不變的是順暢且漸進式的轉彎軌跡。在圖中可以看出我們的控制器自動駕駛的軌跡與一般人開車時轉彎的行為十分接近。

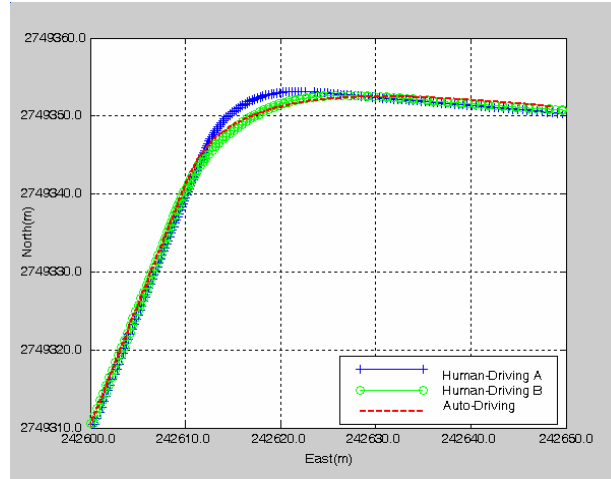


圖 18、自動駕駛與人為駕駛比較圖-右轉

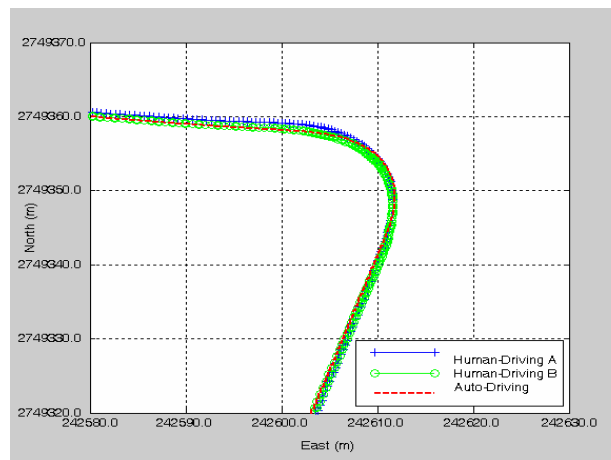


圖 19、自動駕駛與人為駕駛比較圖-左轉

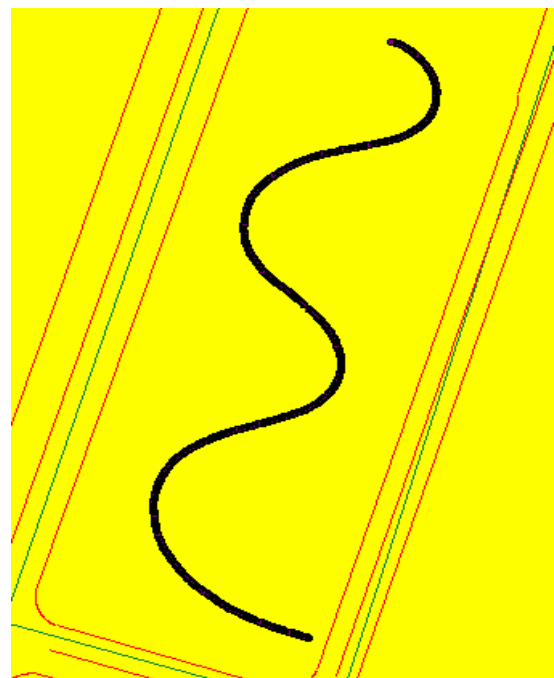


圖 20、S 形路徑實驗軌跡圖

另一場景為一個變化曲率的路徑如圖20所

示，在路徑中我們取幾個參考點代表這個路徑如圖 21 紅色十字的點(ref pt)，曲率半徑越小點的間隔就越小，如此可以減少路徑的失真，在此我們實驗三種變換路徑參考點的時機：(1) route1 為接近下一點 8m 以內則變換參考路徑到下一點，(2) route2 為接近下一點 10m 以內則變換參考路徑到下一點，(3) route3 為接近下一點 12m 以內則變換參考路徑到下一點。圖中顯示 route1 最為接近原參考軌跡，原因是變換路徑點的時機更為接近實際的路徑。所以，如果我們把轉換路徑點的時機縮小，我們也許可以獲得更接近參考路徑的行進軌跡，但實際上卻並非如此，理由是在小曲率半徑的路段時，會因為轉換時機過晚而過度偏離轉換時機的距離，造成轉換的錯失。這個實驗展現了我們的模糊邏輯控制器亦可在變化曲率的路段上表現良好。

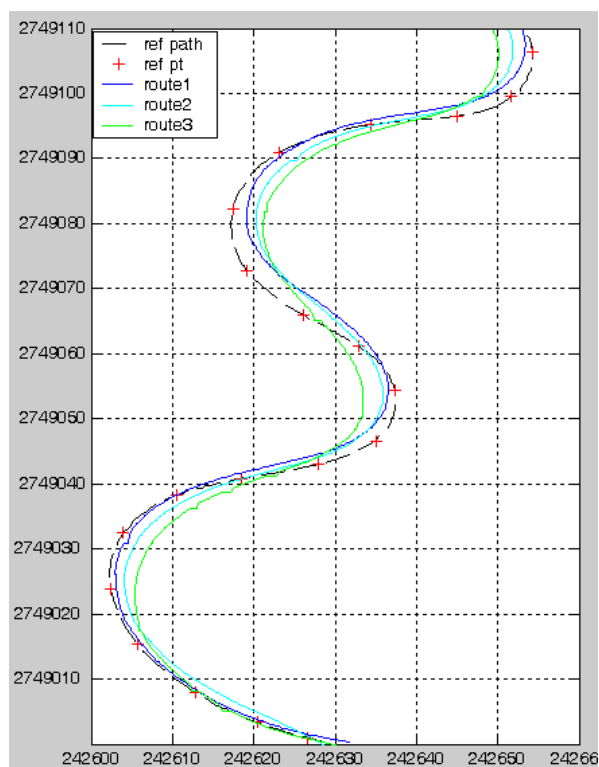


圖 21、參考路徑與各種軌跡比較圖

五、結論

本論文主要以 RTK-DGPS 導航為基礎所開發的自動駕駛車輛系統，並已實現於實驗車 TAIWAN iTS-1 上。整套系統利用模糊邏輯控制器完成人性

化駕駛，使車輛不僅達成無人自動駕駛的任務，其順暢的駕駛行為亦與人為駕駛相似，並加上雷射測距儀偵測前方障礙物以提升駕駛的安全性。而人機介面則可即時的監控由各式感測器所傳來的資訊。即時的道路測試已驗證本套系統的有效性。未來，能夠將本系統發展為一套嵌入式 DSP 導航系統將大大的降低此系統的體積。除此之外，亦可利用無線傳輸的方式將車輛的動態資訊回傳至遠端主控中心或筆記型電腦以此可對移動車輛能進行管理與監控。

致謝

感謝國立交通大學 CSSP 實驗室成員們熱情的幫助。這個研究的經費由國科會計畫 NSC 95-2752-E-009-012-PAE 所提供。

參考文獻

- [1] A. Broggi, M. Bertozzi, A. Fascioli, and G. Conte, *Automatic Vehicle Guidance: The Experience of the ARGO Autonomous Vehicle*. Singapore: World Scientific, 1999.
- [2] C. Hatipoglu, Ü. Özgüner, and K. A. Redmill, "Automated lane change controller design," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 4, pp. 13–22, March 2003.
- [3] H. H. Chiang, J. W. Perng, B. F. Wu, S. J. Wu and T. T. Lee, "The Human-in-the-loop Design Approach to the Longitudinal Automation System for an Intelligent Vehicle," *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Oct. 8 - Oct. 11, Taipei, Taiwan, 2006..
- [4] J. E. Naranjo, C. Gonzalez, R. Garcia, T. de Pedro, J. Revuelto, and J. Reviejo, "Fuzzy logic based lateral control for GPS map tracking," in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp.*, Parma Italy, June 2004, pp. 397-400.
- [5] J. E. Naranjo, C. Gonzalez, R. Garcia, T. Pedro, and R. E. Haber, "Power steering control architecture for automatic driving," *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, vol. 6, no. 4, pp. 406-415, Dec. 2005.
- [6] J. I. Hernandez, and C. Y. Kuo, "Lateral control of higher order nonlinear vehicle model emergency maneuvers using absolute positioning

GPS and magnetic markers,” *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol. 53, no. 2, March 2004.

- [7] J. Ryu, and J. C. Gerdes, “Integrating inertial sensors with global positioning system (GPS) for vehicle dynamics control,” *ASME J. Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 126, pp. 243-254, June 2004.
- [8] S. J. Wu, H. H. Chiang, J. W. Perng, T. T. Lee, and C. J. Chen, “The Automated Lane-Keeping Design for an Intelligent Vehicle,” *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Las Vegas, Nevada, USA, pp. 507-511, June 6-8, 2005.
- [9] Y. Yang, and J. A. Farrell, “Magnetometer and differential carrier phase GPS-aided INS for advanced vehicle control,” *IEEE Trans. Robotics and Automations*, vol. 19, no. 2, pp. 269-282, April 2003.
- [10] Navlab, <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/alv/www/index.html>
- [11] PATH project, <http://www-path.eecs.berkeley.edu/>
- [12] <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/tmdsdsk6713.htm>
- [13] <http://www.novatel.com/products/propakv3.htm>
- [14] <http://www.mysick.com/partnerPortal/eCat.aspx?c=1&go=Finder&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&Category=Produktfinder>
- [15] <http://www.fdauto.cn/Product/38095.htm>
- [16] <http://www.dspaceinc.com/ww/en/inc/home/products/hw/micautob.cfm>
- [17] <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/tmdsdsk6713.html>