

自動導航公路系統 ADVANCE-F

實施可行性研究



交通部運輸研究所

中華民國八十一年十一月

交通部運輸研究所

合作研究計畫報告書摘要表

出版品名稱 中 文：自動導航公路系統ADVANCE-F實施可行性研究 外 文：THE FEASIBILITY STUDY OF AN AUTOMATED HIGHWAY SYSTEM ADVANCE-F			
國際標準書號(或叢刊號)		行政機關出版品統一編號 <div style="text-align: center;">009104810396</div>	
		運輸研究所出版品編號 <div style="text-align: center;">81 - 40 - 606</div>	
本所 主辦單位主管： 計畫主持人：楊淑貞 研究人員：莊凱勳		合作研究單位 計畫主持人：張堂賢 研究人員：賴以軒、蘇先知、黃雅芬、黃馨慧、張惠芬 地址：台北縣淡水鎮英專路151號 聯絡電話：02-6236517	
		研 究 期 間 自 8 0 年 11 月 至 8 1 年 6 月	
關鍵詞： 自動行車控制系統、智慧型車路系統、導航、自動駕駛系統、速率控制、導向控制、成本效益。			
摘 要： 台灣地區地狹人稠，大量的汽車成長造成之嚴重交通擁擠，已很難再以大量建造公路的方法舒緩。自動導航公路系統(ADVANCE-F)運用先進的電子通訊技術，欲達成自動車輛駕駛，縮短行車間距，增進行車安全之目標，屆時高速公路之容量將可以由目前之每車道每小時2000 PCU提昇至8000 PCU。本研究即探討此系統之設計構想、行車控制策略、行車安全問題以及成本效益分析。			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
81年11月	180	240	凡屬機密性出版品均不對外公開。一般性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
管制等級： <input type="checkbox"/> 機密 (<input type="checkbox"/> 解密日期為 年 月 日， <input type="checkbox"/> 主辦單位視情況辦理解密) <input type="checkbox"/> 限閱 <input checked="" type="checkbox"/> 一般			
備 註： 本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

目 錄

頁 次

第壹部份 總論篇

第一章 自動導航公路系統(ADVANCE-F)介紹	1
1.1 ADVANCE-F 的起源	1
1.2 ADVANCE-F 的研究背景	2
1.3 ADVANCE-F 的設計構想	3
1.4 ADVANCE-F 的控制策略	5
1.5 ADVANCE-F 的其他系統功能或初步要求	10
第二章 ADVANCE-F之效益初探及引發的相關問題	14
2.1 ADVANCE-F 系統實施要件	14
2.2 實施之預期效益初探	15
2.3 ADVANCE-F 引發之相關問題	16
參考文獻	18

第貳部份 技術篇

第一章 連動式導控系統基本	20
第二章 速率控制組合	22
2.1 車輛速率控制機構	22
2.2 道路速率控制機構	23
第三章 速率控制試驗	25
3.1 速率控制試驗概念	25
3.2 無線電控制的基本原理	25

	頁次
3.3 電腦與發射機之連接設計	28
3.3.1 D/A 線路要求	28
3.3.2 接續發射線路介面	32
3.4 接收機與定速控制機構之連接	34
3.4.1 接收機	34
3.4.2 速度控制器電路分析	36
3.4.3 接收機與速度控制機構之連接	37
3.5 速率控制試驗結語	39
第四章 導向控制組合	40
4.1 感應裝置	40
4.2 轉向伺服機構	41
第五章 導向控制試驗	47
5.1 導向控制試驗概念	47
5.2 感測系統元件	47
5.3 感測電路與微電腦間介面設計暨選擇	53
5.4 步進馬達及其週邊電路零件規格	59
5.5 步進馬達控制介面設計	64
5.6 轉向伺服機構裝配	68
5.7 導向控制試驗結語	73
第六章 施行的技術關鍵問題	74
參考文獻	76

第參部份 交通篇

第一章 註冊行動模式	80
------------------	----

	頁次
1.1 註冊行動	80
1.2 註冊行動車流行為	82
1.3 註冊行動行為管制	84
第二章 導航行進模式	85
2.1 導航行動	85
2.2 車流行為	92
2.3 其他相關管制	95
第三章 解除行動模式	97
3.1 解除行動	97
3.2 解除行動車流行為	98
3.3 解除行動行為管制	100
第四章 其他交通問題探討	101
4.1 複線導航	101
4.2 交流道問題	104
4.3 緊急事件處理	106
參考文獻	108

第肆部份 效益篇

第一章 車流服務容量分析	109
1.1 車流特性分析	109
1.2 容量分析	111
第二章 建造及營運費用	114
2.1 建造成本推算	114
2.2 營運費用之預估	116
第三章 使用者成本與效益	117

3.1	使用者設備成本	117
3.2	通行費之研究	118
3.2.1	平均成本訂價理論	119
3.2.2	社經背景	119
3.2.3	導航車輛持有預估	123
3.2.4	通行費之計算方式	124
3.3	使用者使用費用	125
3.4	使用者之時間效益	127
3.5	使用者的其他效益	127
第四章	總體效益分析	129
4.1	土地節約使用觀	129
4.2	能源節約使用價值觀	129
4.2.1	影響燃油消耗之因素分析	129
4.2.2	中山高速公路之行車油耗情形之估計	131
4.2.3	ADVANCE-F系統之行車耗油情形	135
4.2.4	現行行車油耗與ADVANCE-F系統行車油耗之比較	136
4.3	交通安全之社會淨利	138
4.4	整體時間效益觀	141
4.5	環境保育方面	144
4.5.1	噪音影響分析	144
4.5.2	空氣污染影響分析	145
4.6	其他效益方面	149
4.6.1	工業技術升級問題	149
4.6.2	生活品質問題	150
4.6.3	國家形象問題	151

參考文獻	151
------------	-----

第伍部份 綜合篇

第一章 國外相似系統之發展	154
1.1 美國系統	154
1.2 日本系統	158
1.3 歐洲系統	160
第二章 ADVANCE-F發展歸納及與相似系統比較	163
2.1 ADVANCE-F 發展目的及目標	163
2.2 ADVANCE-F 技術現況	164
2.2.1 公共設施部份	164
2.2.2 私人配備部份	166
2.3 ADVANCE-F 與國外相似系統之比較	167
第三章 ADVANCE-F可行性綜合結論	172
3.1 技術面及交控面之結論	172
3.2 效益評估結果	175
3.3 綜合結語	179
參考文獻	179

表 目 錄

第壹部份 總論篇

第貳部份 技術篇

頁 次

表 5.1	LED 與光二極體的特性對照表	50
表 5.2	A/D 變換之校對表	58
表 5.3	PPMC 的規格	65

第參部份 交通篇

表 0.1	中山高速公路路線及結構設計標準	79
表 2.1	不同T 值下安全間距與速率關係表	89
表 2.2	導航車道基本容量 - 速率密度關係推估表	93
表 2.3	導航車數與容量之關係表	95

第肆部份 效益篇

表 1.1	避撞下速率、容量、密度推估表	112
表 1.2	導航車比與作業容量關係表	113
表 2.1	自動導航公路系統建造成本之預估表	115
表 2.2	中山高速公路交通控制系統之建造成本	116
表 3.1	使用者設備成本之預估表	118
表 3.2	所得分配	120
表 3.3	歷年小汽車之統計數量	121
表 3.4	中山高速公路歷年交通量統計表	122
表 3.5	導航車持有之意願調查之次數分佈	123

表 3.6	各使用年限之通行費預估	125
表 3.7	民國78年中山高速公路交通旅次分析	126
表 3.8	使用者平均每次使用高速公路費用表	127
表 4.1	水平路面上各型車輛在等速情況下之耗油量	130
表 4.2	速度變換與超額耗油量	131
表 4.3	中山高速公路現點速率調查表	132
表 4.4	車輛行車速度加減速及超額油耗情形	133
表 4.5	收費站行車之超額油耗情形	134
表 4.6	行車耗油量及燃油成本比較（單車）.....	136
表 4.7	高速公路肇事資料統計表	139
表 4.8	車輛時間價值統計表	142
表 4.9	ADVANCE-F 系統之旅行時間價值	143
表 4.10	汽機車與排放空氣污染物之關係	146
表 4.11	小客車於定速型態之污染排放係數表	147

第伍部份 綜合篇

表 1.1	TOYOTA自動駕駛試驗系統說明表	159
表 2.1	世界各主要自動駕駛系統比較	168

圖 目 錄

第壹部份 總論篇

頁 次

圖 1-1	ADVANCE-F 作業流程	3
圖 1-2	控制器之導控常式概略	8

第貳部份 技術篇

圖 2-1	定速行駛控制系統	24
圖 2-2	ADVANCE-F B2 接收器構想	24
圖 3-1	以無線電控制速率系統建構概略	25
圖 3-2	載波和調制波的動作	26
圖 3-3	遙控裝置及其操作機電波形式	27
圖 3-4	電腦至發射機接續概念	28
圖 3-5	多功能卡與 A / D 卡之變換	28
圖 3-6	D / A 流程	29
圖 3-7	MC 1408	30
圖 3-8	MC 1408 之分壓串聯	31
圖 3-9	LM 741	31
圖 3-10	「A / D , D / A 實驗卡」 - D / A 全貌	32
圖 3-11	發射機電路圖	32
圖 3-12	JFET 的實際結構: (a) n 型通道; (b) p 型通道 ...	33
圖 3-13	JFET 的基本操作	33
圖 3-14	JFET 充 D / A 與發射器介面	34
圖 3-15	單波道接收機之作業流程	34
圖 3-16	繼電器電路之動作	35

圖 3-17	單波道遙控接收機線路	35
圖 3-18	比例式接收機電路圖	36
圖 3-19	自動車速控制主要部份電路圖	37
圖 3-20	定速器動作圖	37
圖 3-21	數位式發訊機的脈衝	38
圖 3-22	數位・比例式接收機之方塊圖	38
圖 3-23	比例式伺服電路	39
圖 3-24	伺服電路至定速器間的接續概念	39
圖 4-1	方向盤及其轉向軸	42
圖 4-2	可伸縮之方向桿	42
圖 4-3	可傾斜方向桿分解圖	42
圖 4-4	可傾斜和伸縮之方向桿	43
圖 4-5	轉向機	43
圖 4-6	動力轉向機	44
圖 4-7	ADVANCE-F 的車輛轉向伺服機構示意圖	45
圖 4-8	PM 步進馬達的動作說明	46
圖 4-9	(A) 利用一可變電阻控制直流馬達之轉速	46
	(B) 利用一矽控整流子的轉速控制線路	46
圖 5-1	導向伺服流程	47
圖 5-2	各種的LED 結構及封裝圖	48
圖 5-3	增加光輻射強度的LED 外形設計	49
圖 5-4	各種外型的LED 輻射圖型	49
圖 5-5	各種不同材料的光偵檢器的量子效率，響應度及光吸收係數	52

圖 5-6	多點輸入 A /D 轉換主要系統結構例	53
圖 5-7	微電腦與 8 位元之 A /D 轉換器連接例	54
圖 5-8	在微電腦匯流排上作接合的 A /D 變換器之使用例 ...	54
圖 5-9	追加緩衝器	55
圖 5-10	多工器及微電腦之介面 (1)	56
圖 5-11	多工器與微電腦之介面 (2)	56
圖 5-12	高速化多工器之順序控制	57
圖 5-13	步進電動機驅動原理示意	59
圖 5-14	迴轉構造致動器	60
圖 5-15	驅動電路的方塊圖	61
圖 5-16	8713 的電動機驅動電路例	62
圖 5-17	利用 PBL3717 的雙極運轉電路	62
圖 5-18	利用 L297 , L298 二相電動機雙極運轉電路	63
圖 5-19	微算機埠直接控制方式示意	66
圖 5-20	微算機埠直接控制方式的電路例	66
圖 5-21	激磁控制的流程表	67
圖 5-22	微算機埠間接控制方式	68
圖 5-23	轉向系統	69
圖 5-24	步進馬達與方向桿連接位置示意	69
圖 5-25	步進馬達與方向桿銜接方式 (B 點) 示意	70

第參部份 交通篇

圖 1-1	註冊行動作業流程圖	81
圖 1-2	註冊行動之車流行爲	83

圖 2-1	導航行進交通控制系統架構圖	86
圖 2-2	速率決定流程圖	86
圖 2-3	在各式公路和速率下平均最短行進時間	88
圖 2-4	不同T 值下安全間距與速率關係圖	89
圖 2-5	流率 - 速率 - 密度關係圖	93
圖 2-6	AVCS之車道容量	94
圖 3-1	解除行動流程圖	98
圖 3-2	解除行動車流行爲	99
圖 4-1	(a) 駛出內側車道之交織車流示意圖	102
	(b) 進入內側車道之交織車流示意圖	102
圖 4-2	外側車道行進車隊示意圖	102
圖 4-3	車流交織系統示意	105
圖 4-4	ADVANCE-F 的交流道車流動線示意	106
圖 4-5	交通事故處理模式示意圖	107

第肆部份 效益篇

圖 1-1	分流運行	110
圖 1-2	行駛中穩定之車隊車流	110
圖 1-3	併入之車流運行	111
圖 1-4	避撞下容量 - 速率關係圖	112
圖 4-1	車重與燃油關係圖	130
圖 4-2	行車速率統計圖	137
圖 4-3	中山高速公路歷年肇事原因統計圖	138
圖 4-4	停止次數對CO 排放量之關係	138
圖 4-5	停止次數對HC 排放量之關係	138

第伍部份 綜合篇

頁次

圖 1-1	UCB資訊傳遞法	156
圖 1-2	TOYOTA自動駕駛試驗系統(a)試驗車(b)試驗場	159
圖 1-3	TOYOTA區段控制	160
圖 1-4	串連式資料傳遞法(a)單一連結控制(b)多重迴路控制..	162
圖 3-1	紅綠燈管制示意圖	174

第壹部份 總論篇

第一章 自動導航公路系統 (ADVANCE-F) 介紹

1. 1 ADVANCE-F 的起源

經濟發展，國民所得增加，使得汽車持有情形變得十分普遍。同時，隨著社會進步的脈動，汽車成為人們最主要的交通工具，不僅負擔運輸的任務，也是經濟發展的動力。但也因為其數量的急遽增加，超過道路的負荷能量，在各主要都市時常造成交通壅塞的現象，這不僅是時間及金錢的浪費，能源耗損，空氣、噪音等環境污染所造成的影響也相當可觀 [6,11]。而更重要的是，會衰減整體產能，遲滯社會經濟成長。有鑑於此，世界主要先進國家無不積極進行高科技研究，企圖增加道路服務能量，改善運作效率。在歐洲和日本正發展應用先進的通訊技術以達到動態路線指引及提供交通訊息，以縮減行車時間，促進交通安全的系統。如歐洲的 PROMETHEUS (PROgram for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety) [8] 及 DRIVE (Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe) [8] 旗下的 Auto-guide (英國) 及 LISB (德國) 等；和日本的 RACS (Road /Automobile Communication System) 及 AMTICS (Advanced Mobile Traffic Information and Communications System) [8]。在美國亦計劃進行一項整合性的智慧型車輛公路系統 IVHS (Intelligent Vehicle /Highway Systems) [5,7]，其規模最為龐大，分20年要完成 ATMS (Advanced Traffic Management Systems)，ATIS (Advanced Traveller Information Systems)，CVO (Commercial Vehicle Operations)，AVCS (Advanced Vehicle Control Systems)，APTS (Advanced Public Transportation Systems)。

反觀國內，交通問題已成了國人最關切的問題之一。台灣幅員狹小人口稠密，大部份道路交通環境已到惡化的程度。儘管政府計畫逐步闢建全島高速公路網，但畢竟土地有限，將來定無法一再新建與拓寬道路

以滿足交通需求的成長。加上國人有相當多的駕駛人不遵守交通行車規則，任意超車、不保持安全距離，連環肇事時有所聞。

因此，未來發展中央主控自動駕駛之高速公路系統有其可行性。本研究即進行一項「自動導航公路系統」(Advanced Drive Vehicle/ Automatic Navigation& Control Enroute System -- Freeway 簡稱 ADVANCE-F 或 AF) [12] 的開發，係在某一近場以電腦操縱車輛行駛(包括定位與向量控制)，提高行車速率，增加道路容量的技術。

1. 2 ADVANCE-F 的研究背景

政府為促進全台均衡發展，計畫完成全島高速公路網系統。由於台灣山多平原少，全台高速公路網行經路段將甚多位在山區及使用長隧道，設計速率可能僅約每小時80公里(如北宜高速公路計畫)，和中山高速公路及北部第二高速公路設計速率120公里比較相差很多，因此，屆時開放之行車速率將不如目前的中山高速公路一般。此外，以山區高速公路所行經之地形而言，駕駛人稍有不慎極易釀成不幸，若於隧道內發生事故則救難亦極為困難。依美國公路容量手冊知，一般道路之基本容量為2000pcuphpl，台灣地區雖有2100～2400 pcuphpl之說[15]，但畢竟因跟車距離較短，危險度較高。若能採行自動控制技術，排除人為因素，鎖定跟車距離，在自動駕駛狀況下將平均行車速率提高，便能增加道路容量[11]。如此便能突破傳統之道路容量上限。因此本研究，希望了解藉由自動導航公路系統(ADVANCE-F)的設置，提高行駛速率，增加道路容量，減少人工駕駛的誤失，大幅降低山區高速公路之地形障礙所產生的行車危險情形。同時經由車輛所裝置的電子控制系統，更可靠且順暢的控制車輛運轉，減少污染物的排放，降低對環境的破壞及減輕隧道內空氣污染的問題。順暢的行駛速率，也可減少車輛耗油量，達到節約能源的目的。在初期的建設，為使交通控制系統簡化，本研究之目標寄以新建且具長隧道之高速公路為首要的實施公路(待進一步研究)。其後再依其經驗將此自動導航公路系統裝置到台灣所有其他高速公路上(包括中山高速公路)。屆時，台灣的整體運輸路網會發揮更大的交通效益。

1. 3 ADVANCE-F 的設計構想

自動導航公路系統(ADVANCE-F)構想以電腦來控制高速公路的行車運作，經由道旁導標、車道標線及訊號發射接收器傳送無線電波操縱車輛的行進、剎車、速率及方向，使具有自動駕駛的功能。這裡用一假想的閉路系統控制(closed enroute system control)來說明ADVANCE-F的設計構想(開路系統控制 opened enroute system control 將在後面幾篇中再討論)；如圖 1-1 所示，設公路上劃設有導航專用車道，並分成註冊階段、預備導航、導航階段、預備解除導航及導航終了五段。茲分述於下：

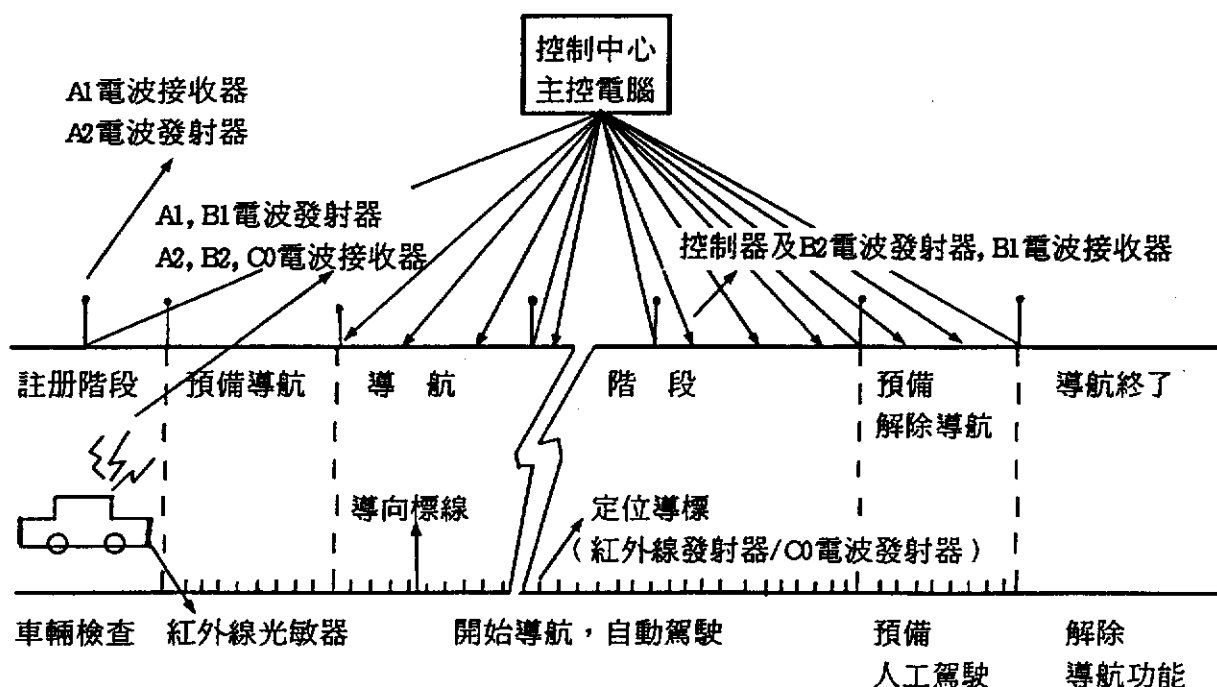


圖 1-1 ADVANCE-F作業流程

1. 註冊階段

當有導航功能的車輛進入導航專用車道後，啟動導航開關，端點訊號接收器接收車上訊號發射器(頻道 A1)傳出車輛密碼及車況資料，中央控制中心電腦經確認為具有導航裝置的車輛後，檢查車輛機

件、性能及燃料、油壓等，以確保導航過程的行車安全。通過車況檢查合格後，中控電腦會通知（頻道 A2）駕駛人同意接受導航及續進訊息。若檢查結果認為車況不佳有安全之虞，即透過車上通訊系統通知（A2）駕駛人離開導航專用車道。

2. 預備導航

車輛完成註冊後，有一段緩衝續進時間，然後中控電腦再通知（A2）駕駛人準備開始實施自動導航。此時除了讓駕駛人做好準備外，中控電腦將給予（頻道 A2）一個通訊代碼自動讀進車輛記憶裝置，以便進行控制導引航行時通訊識別及計費之用，並將控制權移入區域電腦（控制器）。此後車輛便一直發射代碼、位置（由接收頻道 C0獲得）及車況訊號出去（頻道 B1）。

3. 導航階段

車輛通過導航起點後，區域控制器接收到車輛訊號（B1），即開始實施自動導航，由區域控制器控制車輛行駛（頻道 B2），駕駛人可收縮方向盤，以便獲更寬的空間。開始自動導航後，控制器乃藉由路邊 B1 訊號接收器得知某車輛位置，經計算車輛間距，決定車速，再由路旁發射器發出電波（B2）控制車輛的加速、減速及方位，並隨時檢測車況及對意外事件採取緊急應變措施。

4. 預備解除導航

在臨近導航終點處設有解除導航功能的緩衝區，當車輛到達預備解除導航點後，中控電腦會通知（A2）駕駛人準備恢復人工駕駛。

5. 導航終了

到達導航終點後，控制器解除所有導航功能，由駕駛人行人工操作。

1. 4 ADVANCE-F 的控制策略

自動導航公路系統之控制方式乃參酌航空進場導航方式與捷運系統行車導控方式，而研發能適合公路車輛、道路狀況、駕駛行為的一套連續性動態導控系統，簡稱連動式導控系統（CDCS），其控制方式或策略簡述於後（詳細內容請見第貳部份及第參部份）。

航空進場導航方式傳統使用的是儀器降落系統（ILS），而新一代的進場導航系統—微波降落系統（MLS）已發展完成，並將是國際民航組織用以提供精確進場及降落之標準化系統〔1〕。ILS 使用兩個無線電波段，一校對機身偏左偏右，另一校對降坡角，天線設於跑道末端中心，地面跑道裝設有導標，分外標、中標及內標（LOM,MM,IM），飛機穿越會連續亮燈及發聲〔10〕。微波降落系統係利用地面電台發射水平及垂直引導信號傳送給飛機，以及由地面發射台測距儀準確定出飛機的方向及距離。飛機駕駛員經由飛機上的駕駛艙控制器配合特定的跑道選擇微波降落系統的波道（channel），當波道選定並接收引導信號後，控制器會自動顯示出進場的航向及最低的下滑角度，以配合特定的跑道。若跑道有微波降落系統誤失進場脫離程序時，則初期誤失進場的航向也會顯示出來。除了引導信號外，其他如跑道視程、地面風、高度表校正值及煞車動作等與該跑道有關的資料也會連續不斷的傳送給飛機，並在控制器或飛行儀表板顯示出來。此外，微波降落系統的特色尚有可做曲線降落，其接收機亦不易受商用調頻廣播電台的干擾，具有相當高的可靠性〔1〕。

自動導航公路系統所參考的另一種自動控制系統是捷運系統的導控行車方式，以法國的 VAL 中運量系統為例〔3〕。VAL 系統為運用固定區間（fixed block）的方式，考量車站位置、路線幾何條件、列車平均行駛速度、煞車所需距離等因素，將全線分成數個固定閉塞區間，每 2～5 個區間由一個道旁控制設備（WCU）負責控制列車運轉，稱為一個區段。每一個區間一次僅允許一部列車在其上行進，以防止列車碰撞。而列車控制訊號及其他資訊則經由佈設於軌道下方之傳輸線圈組盒傳遞給列車。傳輸線圈組盒內佈設五類線圈（Loop），可傳遞與接收不同頻率的電波訊號。

1. 正向偵測線圈：負責接收列車車底天線所發射的列車出現訊號、列車資訊及列車人員語音通訊。
2. 安全頻率線圈：傳遞給列車速度指令、行進方向訊號及控制中心對列車之語音通訊。
3. 停止速度指令線圈：傳遞停止速度指令給列車。
4. 車對站線圈：供列車對列車停靠站控制設備提供列車各項資訊。
5. 站對車線圈：傳輸列車停靠站控制設備對列車所下達的各項指令。

另外在每一個區段之界線，於傳輸線圈組盒所在之軌道兩側設置負向偵測器（ Negative Detector ），利用紅外線被列車遮斷之方式，偵知列車行經該處。

VAL 系統裝置在列車上的自動控制系統稱為列車自動控制設備（ OBATC ），包括四套子自動控制設備：

1. 列車自動駕駛系統（ OBATO ）：列車自動駕駛系統並不負擔任何安全監督的功能，它接收由軌道上傳輸線圈組盒所指示之速度指令，及由行車控制中心遙控下達速度指令，然後選擇其中最小值，依據實際運行的速度及最大加減速度值，控制馬達及煞車器的動作。
2. 列車自動安全防護系統（ OBATP ）：列車自動安全防護系統監督列車在安全限度內操作：
 - （1）列車速度未超越准許值。
 - （2）列車一直接收到由道旁控制設備所發出，允許列車自動行進的安全頻率。
 - （3）列車依循道旁控制設備所允許之行進方向行進。

列車安全防護系統只要一偵測到不安全情況，即馬上採用緊急煞車直至煞停為止。

3. 列車自動監督系統（ OBATS ）：列車自動監督系統蒐集所有列車設備資訊加以整理後，經由列車底部之列車資訊發射天線，發射到傳輸線圈組盒上，再經資料彙整設備到行車控制中心。行控中心對列車下達之指令，亦反向循此路徑到達列車。
4. 電子機械控制介面：連接自動駕駛系統、自動安全防護系統，與列車機械設備（如車門、馬達、煞車器等）。當由列車自動防護系統接收到下列訊號，即命令緊急煞車：
 - （1）列車上之逃生板手被拉下時。
 - （2）列車前方之橫桿偵測到障礙物。

(3) 列車車門未被鎖定。

在參酌 ILS、MLS 系統之定位及導引方式，以及 VAL 系統傳輸線圈組盒訊號傳輸與列車自動控制設備之自動控制方式，並配合道路及車輛特性，自動導航公路系統發展出一套連續性動態導控系統之設計，其基本架構包括車輛偵測及定位定向、導控駕駛操作、車輛內控系統三大部份。

1. 車輛偵測及定位定向

不同於 VAL 系統佈設於軌道下方之傳輸線圈組盒方式，自動導航公路系統於導航專用車道旁延線設置導向及定位導標，車道中心繪製標線司職車輛偵測、定位及轉向角度調整（定向）。導標連續佈設於車道旁，且予以編碼，其座標及代碼均儲存於區域控制器中。由導標鈕發出的紅外線受阻回波方式，區域控制器同時所接收導標反訊及車上 B1 發射器送出車輛所按獲導標編碼訊號(C0)可比對確立車輛位置，且能追蹤每輛車行進的軌跡。若導標偵測出某個物體的位置，但控制器接收不到該物體送出代碼及導標碼（啞吧車），則可判定為非導航車輛，區域控制器除採行設定的防範措施外（如將下達路邊可變標誌驅離該非導航車），並利用閉路電視系統（CCTV）將影像傳回控制中心。（* 區域控制器與定向問題無關，即車輛定向不須由區域控制器決定）。為安全計，導向系統有二裝置：其一是導標送出 C0 的另一訊號是粗轉角碼，當車輛 C0 接收器收到導標此碼後，車內 CPU 即可查得大致的轉向角，再命令伺服機作用動力方向盤之偏角以達定向目的；其二是車身前置光敏器，有校準路上導向標線功能，作用是微調前者的角度以達精確，免於車身出現擺動現象。

2. 導控駕駛操作

在自動導航公路系統中，車速命令之下達是導控駕駛操作的主要工作，它係藉由區域控制器將路邊 B1 接收器送來各車輛位置、速度及相關訊號計算前後車間距，決定後車安全速度後經道旁 B2 訊號發射器發射控制訊號來達成。為了保持全盤的行車安全，受導航之車輛必須使用專用車道，並設有防止其他非導航車輛併入措施。整個導航公路的運作由控制中心來管制。控制中心設有主控電腦，監控行車狀

況並加以記錄、顯示。因為由電腦操縱車輛的行進，為避免電腦當機造成車輛失控，因此將採用分散式電腦系統。將導航公路劃分成數個區段，每個區段設置一部區域電腦暨控制器。區域控制器按照其內建操作常式經由路旁訊號發射器發出控制訊號操控所負責區段內車輛的行進。區域控制器之間相互聯鎖，當車輛行進至下一區段時，區域控制器自動將該輛車的控制權轉移至下一個區段的區域控制器。區域控制器除了能自主運作外，必要時也能接受主控電腦的插斷要求，執行主控電腦的命令。道路全線的行車狀況由各區段的區域控制器傳回主控電腦，經整理後回應給控制中心操作人員。圖 1-2 用來顯示控制器在導控駕駛操作的常式概略。

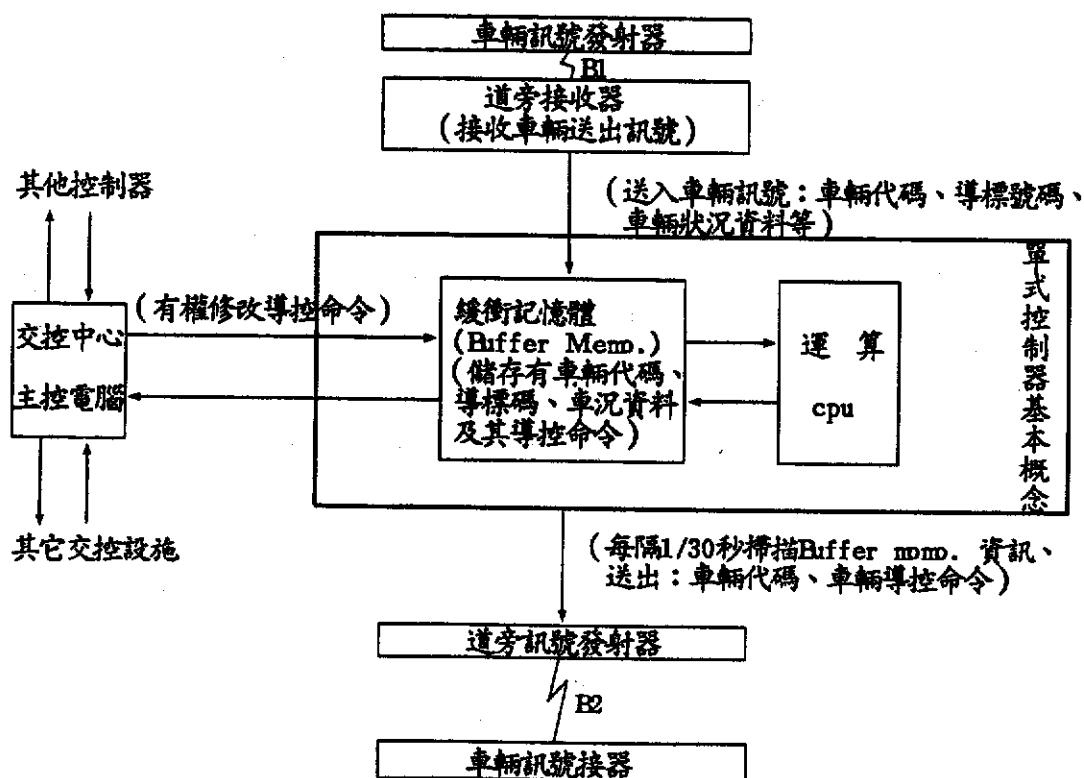


圖 1-2 控制器之導控常式概略

3. 車輛內控系統

自動導航公路系統因為是藉由電波傳送訊號，光敏器對準導向標線和電腦控制器決定控制訊號來控制車輛之行駛，因此導航車輛除了人工操作方式外，必須具備某些電子控制裝置，例如加減速鎖調裝置、電子操控導向齒輪裝置、車上微處理電腦及碰撞警示與避免裝置等。其中加減速鎖調裝置為接收控制器藉路旁訊號發射器送來的控制訊號，過濾自我後解譯成為控制命令下達至各機件導引車輛行進。本裝置也可有內建操作常式，當車流達穩定狀態時，控制權可交給速度鎖定的內建常式來操作，區域控制器只要負責偵測及緊急應變處置即可。電子操控導向齒輪裝置為由車前的紅外線光敏器，將感應所得，判斷偏離與否及偏角，經由電動放大器或伺服機調整動力方向盤偏角以達成導向目的。為確保導航過程中的行車安全，車輛從進入導航路段起就須不斷的進行車輛性能自我檢測，這些檢測工作由車上所配置的性能檢測系統負責。當車輛預備進入導航路段時，性能檢測系統中的微處理電腦將按照設定的程序持續不斷的對車輛組件及性能做測試。若發現有性能異常現象，會將狀況顯示於顯示板上警告駕駛人，同時也經由車輛電波發射系統傳送訊息給道旁訊號接收器再送入區域控制器以採行系統性的必要措施。

道旁導標藉由紅外線遮斷方式偵測不明物體迫近或有車輛不正常行駛軌跡情形，會警示區域控制器採取緊急指施，命令相關車輛煞車或減速以避免行車意外發生。但為加強安全防護，車輛上亦需設置自主式碰撞警示及避免裝置。在車輛的前方、側前方及周邊裝置側向及縱向感應裝置，以紅外線掃描車子周邊安全距離，當有其他車輛或物體突然逼近踰越安全距離，紅外線立即偵測，傳達車內感應器提出警訊並採取自主減速、煞車或躲避行動[13]。碰撞警示及避免裝置雖可對行車安全多一層防護，但可能會抵觸或妨礙區域控制器及控制中心等外部控制設施所採行的意外狀況處置常式，因此兩者間的協調配合須經審慎規劃其優先執行權。

1. 5 ADVANCE-F 的其他系統功能或初步要求

1. 車輛準則

為節省設置成本及加速研發時間，於研發階段自動導航公路系統所使用的測試車輛基本上係從現有市面上銷售之自動排檔車及具備定速、動力方向盤之車輛重新加改裝其相關必要設施著手。唯在未來自動導航公路系統設計中，除前述於控制策略中所述外，導航車輛乃須具有下列幾項基本功能：

(1) 識別及計費

為便利於導引及通訊，每部導航車輛都必須具有識別密碼。識別密碼設定在車上微處理機記憶體內，可由車上發射器送出以證明身份。除了當做登記證明外，識別密碼也能設定優先車輛。導航公路的計費方式可採用自動收費系統，當車輛進入導航車道完成註冊階段後記錄車輛密碼以計次收費。

(2) 與控制中心之通訊

自動導航公路系統需要 5 個頻道來傳送資訊及控制訊號。當控制中心電腦或控制人員要傳送訊息給駕駛人，係經由電台發射電訊 (A2) 由車上的通訊系統接收，再顯示於顯示幕上或以語音方式播出；駕駛人亦可透過鍵盤 (Keyboard) 與控制中心電腦或人員傳送資訊 (A1)。此項資訊傳輸共需 2 個頻道。至於車輛控制訊號係由路邊發射器以另一種頻率發射 (B2)，車上電波接收器接收後傳遞給電子控制系統操縱車輛行駛速度，而車輛代碼及其車況報告也藉車上發射器傳遞至路邊電訊接收器再送至區域控制器及主控電腦，需要另一個頻道 (B1)。另外路邊導標會向最近的車輛放射導標碼及路線曲率（或控制車輛與導標距離的訊號），頻道為 C0。故導航車輛與控制中心及區域控制器和導標之通訊共需五個頻道：A1, A2, B1, B2, C0。

2. 通訊準則

自動導航公路系統之通訊系統分成控制設施間與中央控制中心間的通訊，及中控中心和控制設施對車輛間的通訊兩大類。控制設施間與中央控制中心間的通訊，傳輸資料和影像兩種資訊，為使用電話線、光纖電纜及同軸電纜，其設計規格與中山高速公路之交通控制系統並無大異〔4〕。中控中心及控制設施和車輛間的通訊係利用訊號發射器來傳遞無線電訊，包括控制訊號和聯絡信息兩種資訊。通訊系統之設計準則除按照公認設計標準如 AASHTO, ASTM, 或 JIS 外，尚須考慮下列數項因素：

(1) 最大距離及有效距離

為獲得系統最大效益，需考慮訊號發射器及導標之紅外線和無線電波涵蓋最大距離及有效距離，以在訊號穩定要求和信賴度下能減少設置數量。此項另需配合交控準則才確立，（如車速上限，車輛行進最短間距等條件）。基本上路邊及車輛之訊號發射器採 $200 \mu V$ ，最大半徑 500 公尺〔2〕，有效半徑 300 公尺或許可行，導標所需則為其 $1/100 \sim 1/200$ 。尚待進一步的研究，請參閱第貳部份技術篇。

(2) 使用頻道

依照設計功能，控制設施和車輛須使用五個通訊頻道。但頻率的選擇應考慮不易受廣播電台或其他電波干擾，並且最好在已開放的頻率範圍內。若在山區高速公路上，因有地形及長隧道阻絕減輕外界電波的干擾，某些可考慮使用調幅頻率（如 A1, A2），如此可直接利用汽車音響傳輸資訊，節省車內通訊設施購置費用。但為安全起見及在未來可在一般高速路上裝置，選定專用頻道較妥。

(3) 傳輸率

各部門的通訊傳輸率問題極為重要，事前將分析最大及可能通訊量，以及安全顧慮反應時間要求下，確立傳輸率，這與建造及運作成本有關。未來須詳加分析。

3. 交控準則

交通控制之目的在維持行車效率與行車安全，是整個自動導航公路系統中最重要之環節。尤其是自動導航公路上車輛由電腦控制以較高速行駛，若交通控制系統設計不當反易釀成事故，使用者未受利益反受其害。交通控制系統設計應包含下列各項準則：

- (1) 岔進分出導航車道之控制方式，交流道車流行爲之管理策略。
- (2) 車輛行進操縱，包括車輛行駛速率之決定公式、導標密度與速率和路線曲率之關係，及車輛間距之設定、調整等。
- (3) 車輛故障、肇事等意外事件處理措施。
- (4) 車隊管制策略。
- (5) 天候、道路及交通狀況不佳時之處分。
- (6) 交控資訊傳輸及決策流程，各種命令之優先次序。
- (7) 碰撞警示或自動避免反應程序。

4. 路邊裝置

ADVANCE-F 的路邊裝置有訊號發射器接收器和導標及標線。訊號發射器以無線電波方式與通過車輛傳遞控制命令，裝置於路邊，其設置密度係以電波所能涵蓋範圍而定，前面已有提及，惟在安全因素考量下，需要採複式設計，涵蓋範圍亦有重疊必要。訊號接收器與發射器佈置類同，用來接收車輛所播放的有關資料。導標發射的訊號有表示導標號碼及曲率（或邊距差）意義，它亦會發射紅外線以其受遮斷方式供做車輛定位及方向粗調。其設計準則包括：

- (1) 裝置形式：爲便利車輛行經接收導標所發射無線電波來決定轉向粗角度，但同時考慮到維修方便，且不中斷導航系統運作，於車道邊複式裝設及採用抽取式設計的導標是必要的。當某個導標故障時，另一導標可維持功能，維護工程人員並可立即以專用工具抽出並安裝新的導標。
- (2) 設置密度：導標的設置密度與車輛上控制系統速度、行車速度向量、曲率半徑、車輛最小間距及周圍之地形地物有關。基本上，假設靜止時最小車頭間距(headway) 爲 5~6m，則每 5 米設一導

標為可行方式。

至於導向標線將以反光漆塗裝在導航車道中心線上，其塗裝方式、反光度尚待研究測試。

5. 控制設施及權責

ADVANCE-F 之控制設施主要為中央控制中心及區域控制器。中央控制中心是自動導航公路系統的神經中樞，控制導航系統綜理運作。控制中心設有主控電腦，負責下列數項功能：

- (1) 查詢導航車密碼並設定代碼。
- (2) 和駕駛人雙向聯絡。
- (3) 緊急應變處置。
- (4) 區域控制器調度及整合。
- (5) 監控並記錄導航路段全線行車狀況。

區域控制器負責監控所負責區段的車輛，其功能有下列數項：

- (1) 接收及確立車輛定位，並計算車輛安全間距及速度。
- (2) 自主或接受控制中心的命令，經由訊號發射器發射電波控制車輛行進速度及車輛間距。
- (3) 偶發事件立即處理，重大事件則傳回控制中心處理。
- (4) 將行車狀況回報控制中心。
- (5) 傳遞訊息給車輛。

第二章 ADVANCE-F之效益初探及引發的相關問題

2. 1 ADVANCE-F 系統實施要件

自動導航公路系統的實施，需要很多相關要件的相互配合，才能竟其全功。這些相關配合要件包括有：

1. 車輛工業

自動導航車輛是利用現有車輛做部份設計變更，使具性能檢測系統及電子控制系統，所需改良的部份包括車輛機件及控制電路，這些工作亟須車輛工程技術的參與研發。根據現行車輛的性能，部份已具備有（1）自動排檔，（2）動力方向盤，（3）定速裝置及加減速微調電子裝置（Cruise Control），（4）ABS（Anti-lock Brake System）感應煞車裝置，（5）油壓、水溫、汽油、燈號...等電子檢測裝置，（6）抬頭顯示功能等之雛型。又國內汽車工業發展多年，累積大量的技術與人才，因此執行上已具事半功倍之潛力。至於本研究試驗車種初步選定以國產自行設計飛羚車系。飛羚車已有多項電子自動檢測系統及控制速度鎖定裝置，具備自動導航車輛所需電子控制系統之多項條件，又零件較便宜，故可簡化改裝工程作業，加速研究時程。至於其他車種將因未來全球發展自動車輛之趨勢，及 ADVANCE-F 應朝國際標準化為目標，屆時上路問題必可解決。

2. 電子通訊產業

台灣通訊電子工業相當進步，某些高科技技術甚至凌駕歐美先進國家，因此具有足夠的技術水準能配合自動導航公路系統通訊組件的研發，如控制器、導標、伺服機及感測器等。

3. 交通控制與設計

交通控制極其重要，車流行為的演變，包括車隊之岔入分出，容量分析，非導航車與導航車間的互動關係，交流道設計變更等都須加以研究。而交通控制軟體亦待研發，交通控制軟體是執行交通控制策略的應用工具，須由學術界一同來發展。國內交通界對於車流理論及交通控制管理過去已有相當廣泛的基礎，現也有多人不斷地進行適合台灣交通環境的各種交通控制方法及應用的研究，應有充份能力發展自動導航公路系統的交通控制軟體。

4. 公路設計

因為 ADVANCE-F 涉有公路設計上及交通控制限制的要求，自動導航公路系統的實施對象目前研發僅限於高速公路。倘若系統運作可行，規劃中的北宜高速公路因受地形影響而需以長隧道設計，在控制及通訊條件單純，因此較適合自動導航公路系統未來做試辦性的運轉。

2. 2 實施之預期效益初探

自動導航公路系統的實施，對道路、環境、能源及產業諸方面產生的實質效益有：

1. 藉由自動導航公路系統之電腦控制駕駛，可提高行車速率減小車輛間距，增加公路容量[11]，提高道路使用效益，也使得行駛時間能大幅減少。
2. 自動導航功能可免除人為操作造成的疲勞疏忽，並將天候、地形等不利於車輛行駛因素所造成的障礙減至最低程度[6]。再加上行駛途中車內性能檢測系統不斷的對車輛性能進行檢查，更能有效確保行安全。
3. 在車隊控制狀況下所有導航車輛盡可能以等速行駛，且採固定間距，保持車流順暢，能有效改善行車效率及秩序。
4. 經由車內電子控制系統運作行駛，能充份發揮車輛各部機件性能，提高燃油效率。再加上行車效率大幅提升，改善道路壅塞狀況，減少能

源耗損，達到能源節約的效果[11]。

5. 由電腦控制整個車隊的行進，使行駛速度均勻順暢，可降低車輛排放的污染物及產生的噪音[11]。
 6. 設置自動導航公路系統能有效提高道路使用效益，滿足更多的交通需求，免於大量投資於高速公路的建設，節約土地使用，讓空間有效利用。
 7. 自動導航公路系統的研究發展能促進通信、電子、汽車等工業技術升級，增加相關產業的國際競爭能力。
- 詳細分析將於第參部份及第肆部份銓釋。

2. 3 ADVANCE-F 引發之相關問題

在自動導航公路系統的研發階段，有許多衍生的相關課題值得去探討。

1. 系統的相容性問題：就駕駛人而言，他們首先會想知道，他們的車能不能改裝成為導航車輛。因為 ADVANCE-F 初期選定以飛羚系列做為試驗車種，其他不同品牌、不同規格及不同國別之設計的车辆屆時可能顧慮有無法適用的問題，自然地，在增加使用效益及保持社會公平的考慮下，應儘可能讓各種不同規格的車輛都能行駛於導航公路，因此 ADVANCE-F 須採國際路線，使國際同步。除了車輛外，還要考慮不同道路的相容性。雖然高速公路有標準的設計規範，但實質條件及周邊環境仍有差異。在擴充能力的要求下，ADVANCE-F 應對不同高速公路具有相容性。
2. 使用者成本、習慣與私密性問題[6]：一個使用者最想知道的問題是--要花多少錢。使用者成本可包括設備成本及道路通行費。如果設備成本高昂，會影響駕駛人裝設導航設施的意願。目前由於自動導航公路系統使用的設施仍屬高科技產品，價格較高，雖然可以使用便宜的組件，但在設計功能及可靠度上會比較差。唯導航車輛之持有將隨時間而成長，車子多了，成本暨價格自然會降低。至於道路通行費方面，導航車輛使用了比一般車輛較多的社會資源，因此是否應收取較高的通行費，增加額度應為多少，這牽涉到使用者效用函數及政策因素。另一個和使用者有關的因素是駕駛習慣。區域控制器模擬人類開車的

動作及節奏來控制車輛行進，但畢竟每個人開車習慣都不盡相同，對於導航公路系統的適應程度有待觀察。此外還牽涉到私密性的問題。車輛行駛於導航車道時隨時都被區域控制器及其他交通控制設施監視著，行車資料也會被儲存在電腦內，這些都是對個人隱私權的一種侵犯。雖然目前國人對於這種侵犯隱私權的行為並不是很在意，且保護隱私權的法律規定也不齊全，但仍應予以重視。

3. 信賴與安全的保險法律問題〔6〕：自動導航公路系統的實施，會打破汽車製造商、用路人與公路管理者三者間的關係。在傳統的公路上，意外事件的責任歸屬大多咎於用路人的疏忽，只有極少部份是導因於道路狀況不佳或車輛機件的瑕疵。但在自動導航公路系統上，車輛操縱權由使用者身上轉移至外部控制設施，因此使用者的肇事責任就減輕了許多，反而汽車製造商和公路管理者要負擔大部份的責任。假若使用者完全按照指示來設定車輛操作功能，在導航過程中發生意外事故可能就是交通控制系統故障，交通控制策略設計不當，或者是車輛機件失效所致。不是人為的疏忽，肇事原因就非常複雜，責任的判定也變得困難。影響所及，為了符合導航車輛超乎平常的安全性要求，汽車製造商必須對品管要求更加嚴格。同樣地，公路管理者面對沈重的責任負擔，也須盡力維持系統的正常運作，與安全有關的控制系統和機件均會採複式設計，於是鑑定等相關法律規定及保險制度的配合必須先行研究。
4. 大眾接受程度：ADVANCE-F 的成功與否，端視大眾對這項新系統的接受程度。影響大眾接受程度的因素很多，除了上述所提的系統相容性、使用者成本、習慣、私密性外，系統安全性是另一項很重要的因素。在系統安全性未受到普遍認可以前，民衆寧可行駛一般車道也不願輕易地嚐試導航車道。為了使民衆對 ADVANCE-F 有充份的信賴，除了系統的可靠性與安全性外，符合人類心理反應也是一項相當重要的系統設計準則。如同早期人們對搭乘飛機及高速鐵路一樣有心理障礙。
5. 使用者限制條件：相對於一般公路，自動導航公路對於使用者的生理及心理條件是要求較嚴格？抑或較寬鬆？就駕駛技術而言，使用者根

本不需要去操縱方向盤踩油門，因此肢障者可以因此免除機件操作而更易於駕御車輛。但行駛於導航公路上的心理感受並不相同，使用者必須有較高的心理適應力以便迅速調適心理反應。因為對使用者的要求條件不一樣，是否須另給自動導航公路的駕駛執照？如果需要，審核標準應該如何訂定？這些問題都有待未來做更詳細的探討。

參考文獻

- [1] 民用航空局，「微波降落系統有關問題評估」，航空技術，民國七十九年。
- [2] 黃炯明，「電動遙控模型製作」，五洲出版社，民國七十二年。
- [3] 黃晴裕，「VAL 中運量系統控制結構」，捷運技術，第 4 期。
- [4] 國道高速公路局，「中山高速公路交通控制系統工程基隆—楊梅段竣工報告」，民國七十五年。
- [5] 張金琳，「智慧型車輛及公路系統研習會講義」，台灣大學土木工程學研究所，民國七十九年。
- [6] Automated Highway/ Intelligent Vehicle Systemss : Technology and Socioeconomic Aspects,sp-833, Published by Sociefy of Automotive Engineers, Inc.,1990.
- [7] FHWA, "A Program for the Advancement of Intelligent Vehicle/Highway Systems," National IVHS workshop in Dallas,1990.
- [8] French, R.L., "The Roles of Cooperative programs in Developing Vehicular Navigation and Route Guidance System", Advanced Technologies in Transportation Engineering, AATT conference, San Diego, CA, 1989.
- [9] Heddebaut, Degauque Pierre, Duhot Denis, and Mainardi Tacques, "I.A. G.O.: A New Command, Control and Communication System Using a Radiating Coded Waveguide, "Advanced Technologies in Transportation Engineering, AATT Conference, San Diego, CA, 1989.
- [10] Horonjeff,"Planning and Design of Airports",McGraw-Hill Book Company, 2nd Edition.
- [11] Johnston, R.A., Deluchi, M.A., Sperling D. and Craig, P.P., "A policy Analysis of Automating Urban Freeways, "Advanced Technologies in Transportation Engineering, AATT conference, San Diego, CA, 1989.

- [12] Kayton, M., "Navigation:Ship to Space," IEEE Transportations on Aerospace and Electronic Systems, Vol.24,No.5, 1988.
- [13] Liu,S.M. and Frank, A.A., "On Lateral Control of Highway Vehicles Guided by A Forward Looking Sensor," Advanced Technologies in Transportation Engineering, AATT conference,San Diego, CA, 1989.
- [14] P.W.Bonsall, A.D.May, "Evaluation of In Vehicle Route Guidance Systems, " Transport Policy, Management & Technology Towards 2001, The 5th World Conference on Transport Research V.II., Yokohama 1989.
- [15] 交通部運研究所 "台灣區公路容量手冊", 民國八十年。
- [16] 張堂賢,"自動導航公路系統 ADVANCE-F 之研究發展與施行的相關問題",運輸,第12期,中華民國運輸學會。

第貳部份 技術篇

ADVANCE-F 之研發，技術問題為首要，在本部分將探討技術架構。

第一章 連動式導控系統基本

在第一部份中曾述及 ADVANCE-F 的導控主體為一連動式導控系統，以下做詳細說明。本連動式導控系統(Continuous Dynamic Control System, CDCS) 之研發初期係專為高速公路自動駕駛而設計，其主體部份分為兩大子系統，一是速率控制，另一是導向控制。速率控制工作項目包括車輛偵測（定位），速率決定，命令下達，執行回饋等〔1〕。基本程序是由車輛發射暗碼、所收到的導標碼和本身車況資料（B1 訊號），最近的接收器接收後送入所屬的控制器，並與所阻斷的導標回訊比對做確認。控制器依阻斷導標位置（編碼）等相關訊息可計算車速，再下達控制指令給車輛（B2 訊號），車輛接收最近電訊後經檢波過濾訊號取得自我命令後即時執行勤務，同時也檢視自我狀況，然後變更 B1 訊號送回控制器的暫存記憶體(Buffer Memo.)，做為次階速率及其他控制決策之變數。其間主控器為工業級微電腦，傳訊過程憑藉無線電技術，執行者為一組電子電路的微調制動機構。後面幾章即為這些機構裝置及作業的描述。

導向控制工作在於操控車輛正確之行進方向及軌跡，通常捷運系統(Rapid-Transit System, RTS) 車輛的導向係以設置導軌方式來處理，Dual-Mode 系統亦同。本研究 ADVANCE-F 不同於 RTS，它是在車道邊佈設導標，車道中繪設標線。導標係以發射無線電波，車輛前端接收器接收電波所示之方向操控幅度，以便做為導向粗調。車內方向操控機構為一組伺服機。標線係循車道中心而繪製，車輛前所裝之光敏器以光感應方式得以執行導向微調。後面會有詳細說明。

從上面的控制性結構來看，速率控制與導向控制是兩組完全獨立的系統，前者由區域控制器統籌決定，後者是車輛個別處理，不受控制器

影響。雖然在形式上 ADVANCE-F 與 RTS 很像，但 RTS 行車管制使用區段管制法 (Block Control)，也就是說當一部列車佔據某一區段後，其他列車就不被允許進入 [2]，通訊則靠移動區段或區段更替法 (Moving Block) 來達成 (藉軌道傳輸訊號)，區段長度為數百公尺。而 ADVANCE-F 中有大小區段之別，一個控制器所轄的範圍稱大區段，約數百公尺，其掌管的不是一列車，而是好幾輛不聯結的車輛；車道邊導標間稱小區段，約 2~5 公尺，車輛將檢視強弱訊號和暗碼分辨鄰近通訊來達到移動區段 (小區段) 通訊之目標。因此本研究將此種控制稱為連動式，因它相對於 RTS 有連續性動態的感覺。同時預估道路容量也相對地增加 (以不聯結車數計)。

ADVANCE-F 除前述兩大主控系統外，為增加安全防護，另設有附屬的安全裝置 (例如防失控追撞或側向突然來車等)，亦將在後面陳述。

第二章 速率控制組合

本章要討論速率控制機構及其作業，分別對車輛機構及道路機構來探討。

2. 1 車輛速率控制機構

汽車的發明至今已歷經一個世紀，近年來電子技術不斷進步，增加許多汽車有用的機能，實際上也將汽車工業帶進了神經類化的境界。未來的汽車可能是最前衛的運輸機器人了。目前汽車電子技術研究用之微電腦包含多個 ECU (Electronic Control Unit) 控制卡以處理動力系統（引擎控制、傳動系控制），車身控制（空調、電子儀表、資訊系統）和車輛控制（懸吊控制、定速行駛、感應式動力方向盤、抗滑控制）。其中車輛控制定速行駛 (Cruise Control) 已在多種車輛裝設，它是為保持固定車速而控制節汽門 (throttle) 開度的系統，具備有演算輸出信號的 ECU 及驅動節汽門的致動器 (Actuator) [3]，如圖 2-1 為其基本架構。當控制開關將電源切入 ON 及設定定速值（可變電阻）後，在速率表中的車速感測器之旁配簧片會檢出附有四極永久磁鐵轉軸之磁力線，送出一周四個脈衝信號，當脈衝輸入 ECU（為 4 位元單晶方微電腦，處理事件一個周期需 50ms (50×10^{-3} 秒)，其周波數自然與致動器一致）後，ECU 再根據內部定時器的時間（可分解至 $100 \mu\text{s}$ ）算出車速。（亦有以光電或光敏斷續器測定者）。當現況（演算）車速與記憶（設定）車速比較得差距額，ECU 會依內設程式計算比率電位差，驅動致動器控制節汽門大小來消除差距。致動器通常為步進式馬達（如 TOYOTA，亦有使用真空式，如 FORD），可正逆轉，做加速、維持、減速、停止等動作。車子在上下坡時現況車速受影響，ECU 會自動調整至預定值。〔4〕從前面有關定速的裝置與動作瞭解，當使用外在控制元去變更 ECU 定速設定值時，就能立即改變車速。這裡所稱外在控制元即 ADVANCE-F 之區域控制器及無線電，後面會詳加說明。於是在車輛內需要無線電接收天線、變頻器、檢波器、解碼器及自我過濾再送入 ECU 的 RAM 定速值位址。圖 2-2 所示為 ADVANCE-F B2 接收器的構想示意圖，其中前半部可

由現有車上收音機電路加以擴充變更，這裡使用外差設計係為整合各國頻道管制使用差異及統一車輛接收器之標準化。後半階僅在擴充定速 ECU 即可。

在 ADVANCE-F 的速率控制機構中，雖然大部份皆可藉現有配備去修改變更或擴充來完成，但原本定速的機構並沒有能做煞車的動作（只有將節汽門關小而減速，但大幅減速不可能），因此當 ECU 的程式計算無法在必要時間內用關閉節汽門來完成時，應能驅動伺服馬達（Servomechanism）對煞車機構加壓。車輛自身安全防護系統，也同樣在這裡連接，可見新一代的 ECU 十分重要。

2. 2 道路速率控制機構

道路速率控制機構即車輛外在速率控制機構，主要組件有導標、區域控制器、路邊訊號發射和接收器三者。導標在此的功能是偵測車輛，它就像一座小型的雷達，裝設在車道中，間隔約 2~5 公尺，以脈衝式紅外線波偵測車輛，將一串類似詢問密碼的波聚集成束向一定的方向發射出去，當被近距離阻斷回波，即將訊號送回控制器，紅外線束及回應波束的強度的輸出功率很小，僅止於數公尺的有效範圍（正研究使用太陽能為其能源的可行性）。同時，當導標另一無線電波撞擊車輛感應器時，車輛亦將所收到導標碼併入自己身份密碼及 ECU 車況等束狀電訊以自動回應機（B1 發射器）答詢之，（沒有導航功能的車則不會回答）。路邊接收器天線接收到此回訊後，於控制器經比對來自車輛及導標碼是否相等就可判定此部車輛身份及校對其所在位置。這種測定車輛位置的方式不像也無法如雷達是採螢光屏伸長度來量定（因電波速度與光速相同）〔5〕，早期 OSU(Ohio State University)發展的自動駕駛因使用雷達方式而產生瓶頸。

因此當路邊接收器接收 B1 電訊後，會傳遞至其所屬的區域控制器。區域控制器之功能在控制其轄區內之車輛及速度，其操作常式如圖1-2〔1〕。控制器設置之密度與控制能力（安全係數之下）有關，預計 300 ~ 500 公尺一具。當然控制器本身除需要工作速度快，穩定可靠亦十分重要。正常之下工作負荷在 10 ~ 20 部車（60 KPH 以上），唯安全容量也應有處理 50 部車的能力（車速很慢時）。上面三項（控制器密度、運作速度及容量）規格之設定有互動關係，有待進一步研究。路邊訊號發射

器用於發射由控制器所算出管制車輛的無線電訊號，如密碼+車速。不管是路邊(B2)或車上的(B1)訊號發射器，主要由一主脈衝發生器（半導體三極管振盪器）、調制器和磁控管組成。目前這些電子器件在市面上都有多種商品可以選擇，其體積均愈來愈小，未來將視最佳搭配而定（7）。

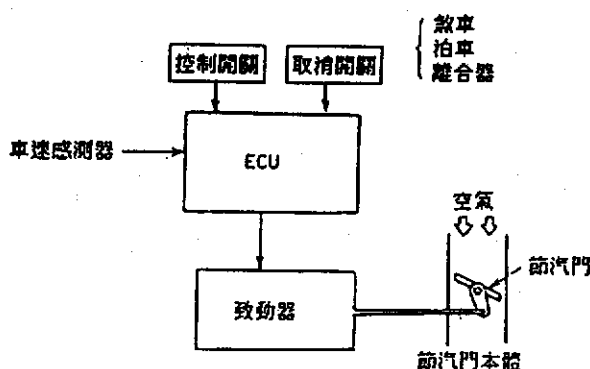


圖 2-1 定速行駛控制系統 [3]

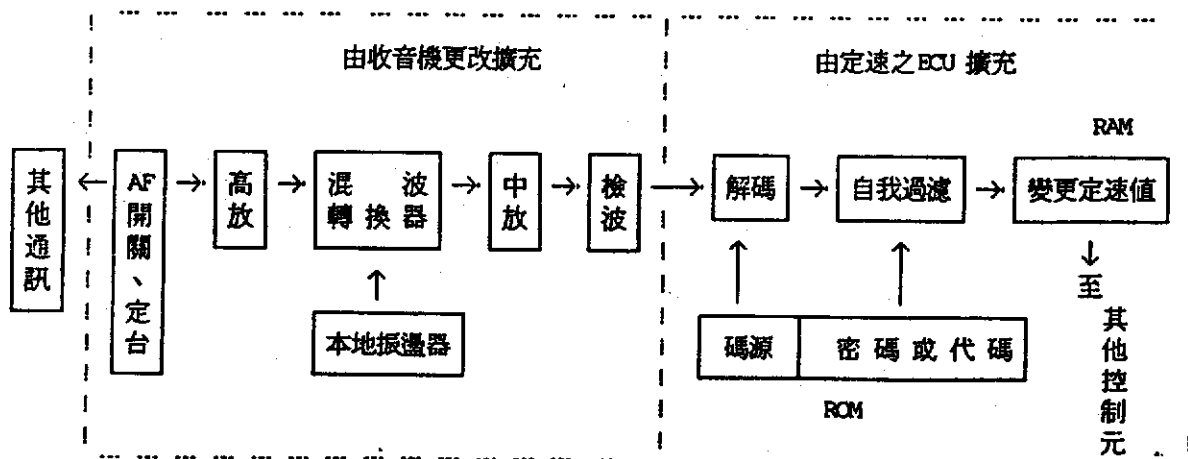


圖 2-2 ADVANCE-F B2接收器構想

第三章 速率控制試驗

3.1 速率控制試驗概念

車輛控制定速行駛 (Cruise Control) 已在多種車輛裝設，它是為保持固定車速而控制節汽門開度的系統，根據本研究對有關定速的裝置與動作基本瞭解，當使用外在控制元件去變更 ECU(Electronic Control Unit) 定速設定值時，就能立即改變車速。

車輛外在速率控制機構主要是區域控制器及路邊訊號發射器。今以一組微電腦無線電波遙控器及具定速裝置之汽車，即可模擬 ADVANCE-F 的單一車輛遙控情況。微電腦正是區域控制器，有輸入資料，儲存資料及處理資料功能。遙控器發射端子用來發射電腦中的命令，接收端子用來接收命令。定速器加上車輛致動器則可執行命令。於是本章的主旨在於達成以電腦編寫程式來控制發射器之訊號以達由主控電腦來控制道旁訊號發射器，再由其發射之無線電波控制車上定速器之目標，如圖3-1。

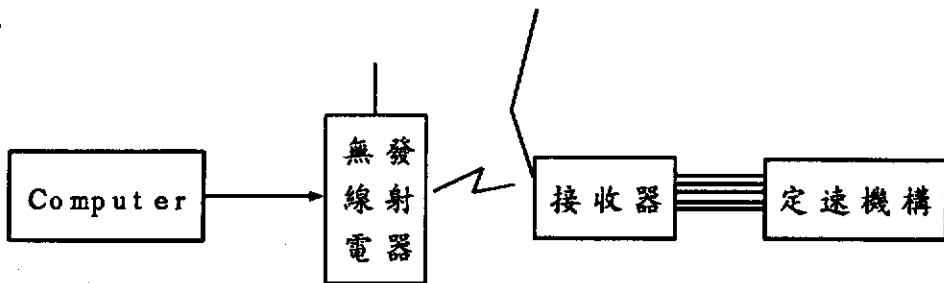


圖 3-1 以無線電控制速率系統建構概略

以下就針對 (1) 無線電控制的基本原理，(2) 電腦與發射器之連接設計 (3) 接收機與定速機構之連接，三方面進行討論。

3.2 無線電控制的基本原理

無線電控制裝置有三個主要部份，即發射機、接收機及操縱裝置，其工作過程是由發射機將電波發射，由接收機將操縱信號接收，利用控制開關的 ON-OFF，從而控制被操縱機器的動力源，而達成遙控之目的。

。本試驗階段以二波道比例式系統(Two Channels Proportional System)作為研究對象。但目前實際操作上卻只須使用其中一波道，而另一波道予以固定。它係將一個 500 ~ 1000 HZ 的調制波調於一 27 MHZ 的載波上，經發射機發射出去，然向載波是不能驅動繼電器(Relay)工作的，要將調制波取出，直流化後才能驅動繼電器工作，因此這個調制波就是用來作遙控的操縱信號。圖 3-2。



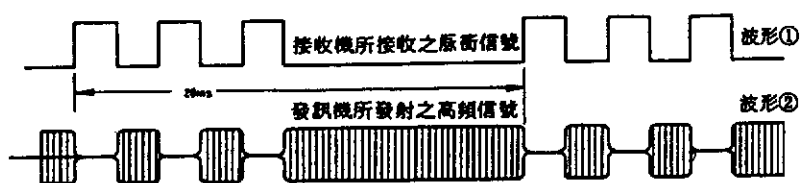
圖 3-2 載波和調制波的動作 [11]

調制頻率是 500 ~ 1000 HZ 時，在晶體管電路方面，由於合理地處理電路比較容易，但因載波恆處於定常的狀態，故無法做切換工作，須靠調制波來取載波之 duration 而得其 ON/OFF 之作用。另一方面，接收機將這個被調制的電波接收，經放大，檢波後，將調制波取出，用以操縱直流繼電器(relay)進行工作。這樣，來自發射機的調制波，便能使繼電器產生 ON-OFF 的動作 [11]。

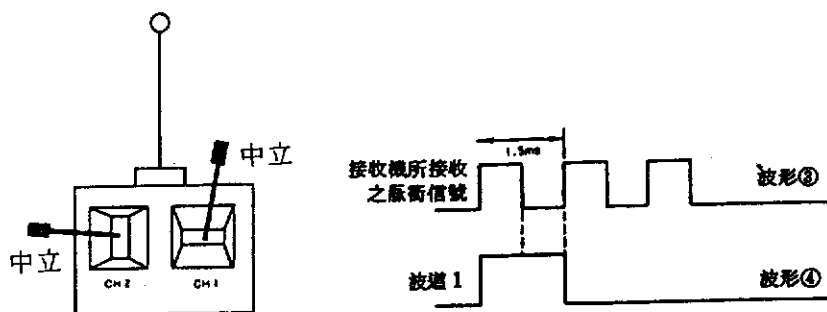
以下我們可就操縱裝置之動作，其發訊機所發射之電波波形、接收機側之波形、在二波道的場合中之情形加以瞭解未來轉換該動作，作為試驗驅動 ADVANCE-F 變速之概念。

如圖 3-3 所示：

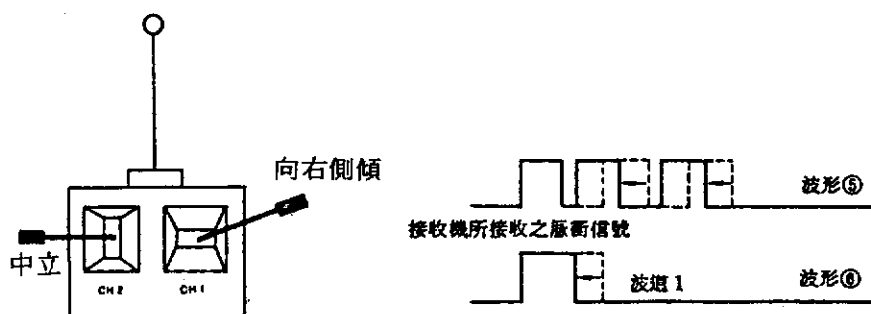
- (a) 由發訊機發射出高頻脈衝信號電波（如波形②），該電波到達接收機並經過檢波後可得波形①。波形①更可分離成波道 2 之 2 種脈衝波。
- (b) 自接收機中所分離出之第 1 波道信號如波形④ 所示。觀察第 1 波道之脈衝與接收信號間之關係。波形④ 之上升及下降之 timing 為比例系統之關鍵。
- (c) 將第 1 波道之操縱桿緩慢改變其位置時，接收機之信號波形⑤ 將逐漸向左側移動。若一伺服馬達接受波⑥ 之信號，將產生右旋動作。
- (d) 與波形⑥ 之場合相反，將操縱桿向左側傾倒時，將可得波形⑧，若一伺服馬達接收波形⑧ 之信號後，將可產生向左旋動作。



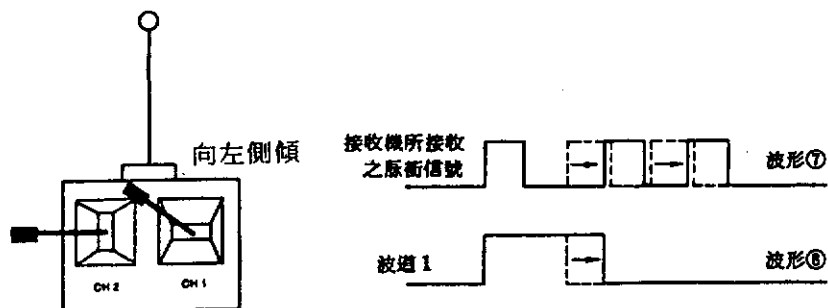
(a) 垂直：2V/cm，水平：5ms/cm



(b) 垂直：2V/cm，水平：1ms/cm



(c) 垂直：2V/cm，水平：1ms/cm



(d) 垂直：2V/cm，水平：1ms/cm

圖 3-3 遙控裝置及其操作機電波形式

3. 3 電腦與發射機之連接設計

因比例式系統是以發訊機之操縱桿之變動使發射機發射出之高頻脈衝信號電波變動，同時接收機之脈衝信號也隨之改變，進而控制控制機構之運行。今若欲將電腦程式所輸出之數位信號轉換為類比信號 (D/A Conversion, DAC)，則便可靠其電壓的變換替代操縱裝置機械動作以達到控制發射機之調制波開關。如圖 3-4。

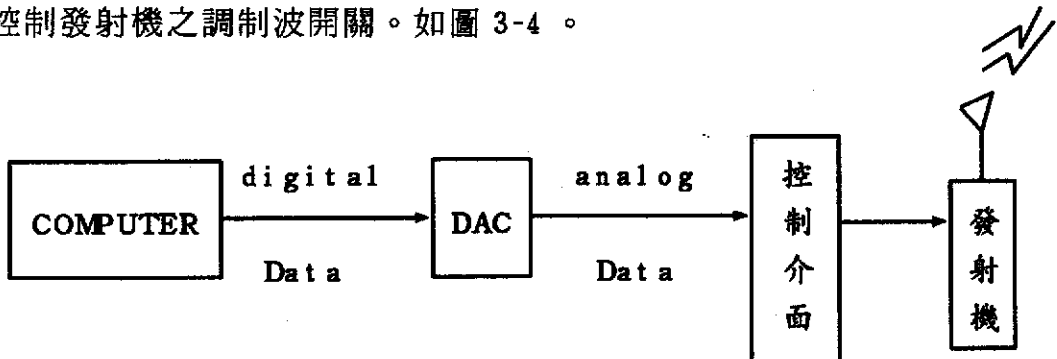


圖 3-4 電腦至發射機接續概念

3. 3. 1 D/A線路要求

今以 PC 個人電腦來做控制器，並以一 PC 多功能實驗卡作為 A/D D/A 實驗卡之介面，從 PC 多功能實驗卡上的 8255 晶體可提供 A/D D/A 實驗卡上所需的訊號。

將 PC 多功能實驗卡與 A/D D/A 實驗卡以排線連接，如圖 3.5。

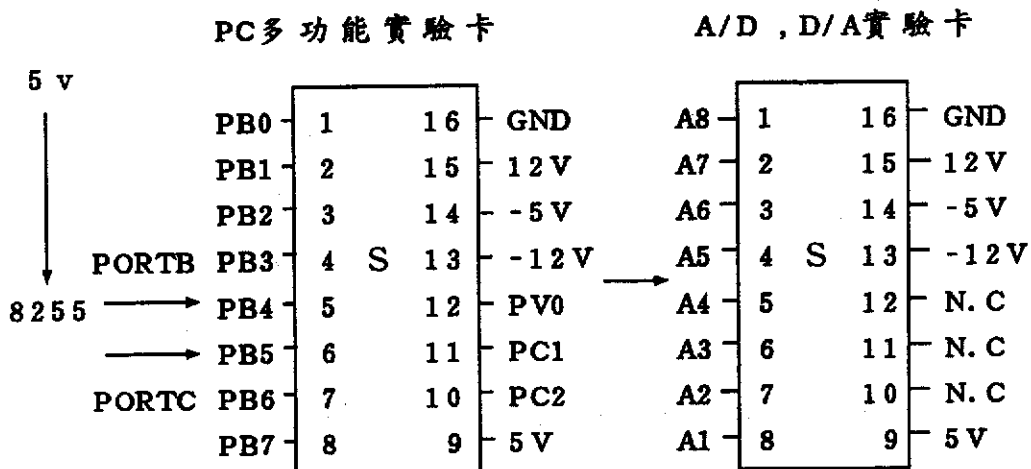


圖 3-5 多功能卡與 A/D 卡之變換 [12]

在 D/A 轉換部份主要由 MC1408 與 LM741 二顆晶片所組成，MC1408 將 digital data (由 A1 ~ A8 input) 以電流方式轉換為類比訊號；LM741 則負責將電流整換為電壓，其作用如圖 3-6。

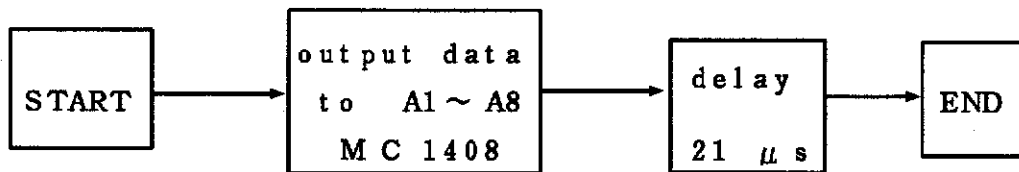


圖 3-6 D/A 流程 [12]

1. MC1408

使用 MC1408 主要係使 $V_{ref}(+)$ 及 $V_{ref}(-)$ 產生分壓效果，其內部大略如圖 3-7。從 MC1408 技術手冊中得知，使用此晶片，欲達目的，對 $V_{ref}(+)$ 須提供 2mA 電流，但實際當 A1 ~ A8 input 11111111₂ 時，I0 接腳僅可吸入 1.992mA (= 2 × 255/256) 的電流。其裝置方法如圖 3-7(b)，將二電阻 ($V_{ref}(+)$, $V_{ref}(-)$) 串聯，今欲從 A 點有 2V 之電壓，依歐姆定律：

$$\frac{y / (1 + y)}{y / (1 + y) + x} * 5 \text{ v} = 2 \text{ v} , \quad x, y > 0$$

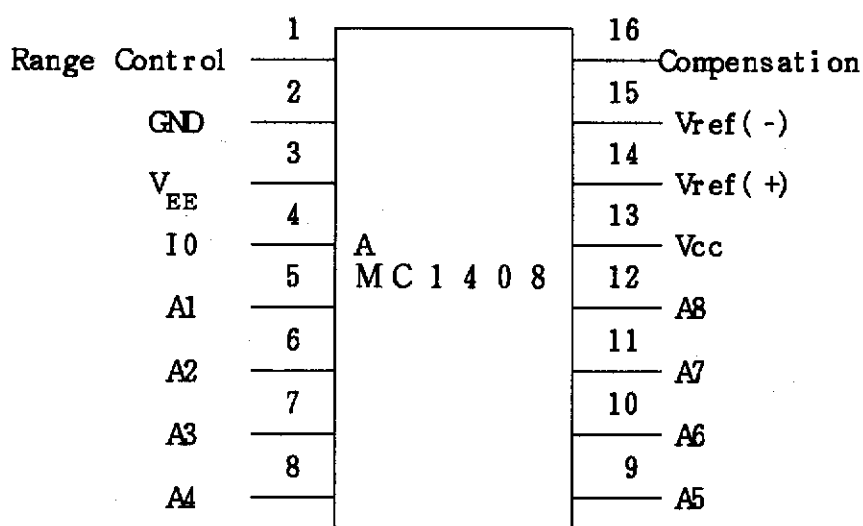
為減化「A/D, D/A 實驗卡」內使用電阻之種類，故我們選擇 $x=1\text{k}\Omega$ ，及 $y=2\text{k}\Omega$ 予以串聯；如圖 3-8 所示。

於是從 A1 ~ A8 input digital data 經 MC1408 轉換為 Analog Conversion，此 Analog 是以電流方式出現在 MC1408 之第 4Pin I0 上，當 A1 ~ A8=00000000₂ 時，I0 吸入 0 mA，當 A ~ A8=11111111₂ 時，I0 接腳吸入 1.992 mA 之 I，完成其工作任務。

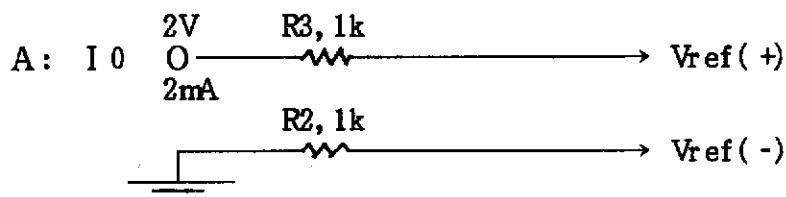
2. LM741

LM741 是將電流訊號轉變為電壓輸出，並控制最大電壓為 9.961V (= 5kΩ × 1.992mA)，出入詳如圖 3-9。

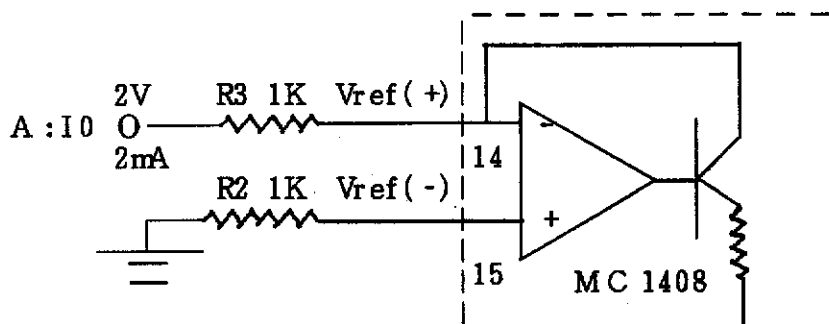
圖 3-10 則為 D/A 介面的全貌。



(a) MC 1408 接脚



(b) MC 1408 部份参考电流



(c) MC 1408 参考电流内部放大电路

圖 3-7 MC 1408

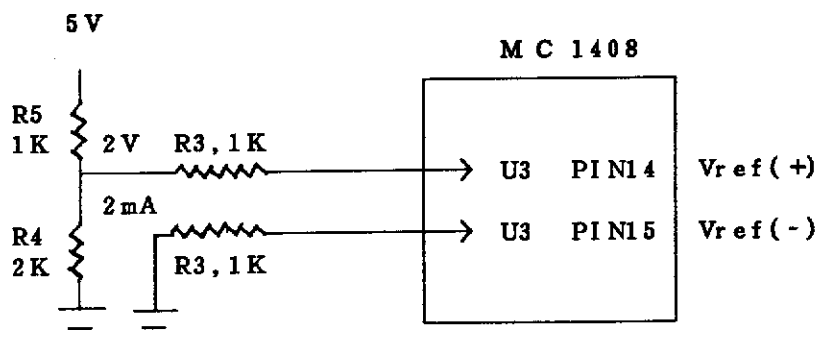
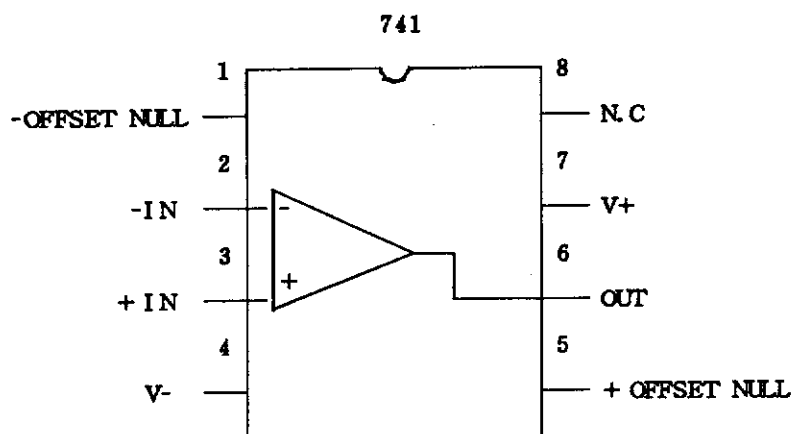
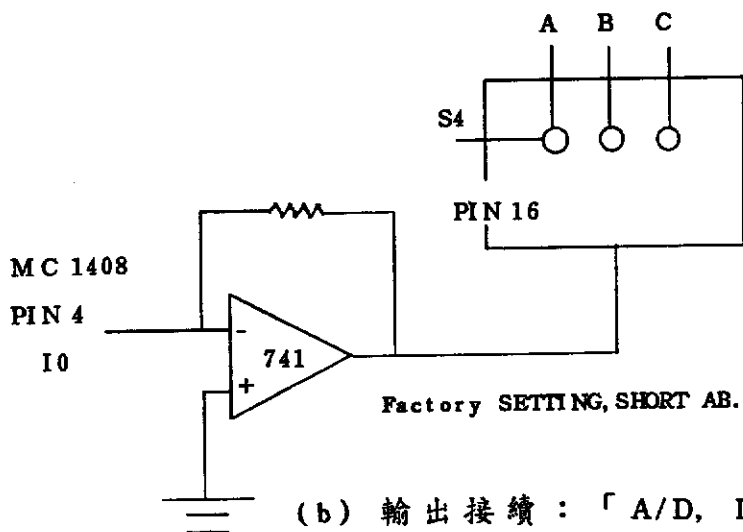


圖 3-8 MC 1408 之分壓串聯 [12]



(a) LM 741 接腳



(b) 輸出接續：「A/D, D/A 轉換」其輸出訊號接至 S4 第 16PIN

圖 3-9 LM 741 [12]

圖 3-11 為一般比例式發射機之電路圖，為使能直接以電腦利用程式控制輸出電壓來達到操作發射器之作用，我們將以接面場效應電晶體（Junction FET, 簡寫為 JEFT）來作為開關控制元件，接替機械操桿之動作。

圖 3-12 為 JEFT 之實際結構。JEFT 的基本操作示於圖 3-13，圖中知供電電壓 V_{DD} 使洩極(drain)與源極(source)間形成一電壓 V_{DS} ，所以產生 I_D 。由於閘-電壓 V_{GS} 會使閘源接面產生反偏壓的現象，所以無閘極電流產生。因為閘極電壓的作用會在通道中產生一空虛區 (depletion region)，以減少通道之寬度，結果導致洩極到源極的電阻變大，所以 I_D 變小。故 JFET 作為一開關使用時，在一特定的閘-源電壓及洩極處所量到的洩-源電阻是非常重要的。當 JFET 偏壓到其操作的飽和區域時，洩極與源極間出現的電阻是在 10~ 幾百歐姆間。

本研究將發射器電路與 D/A 利用 JFET 連接如圖 3-14 所示，則吾人可利用其反偏值之改變，改變 JFET 之洩-源電阻值，於是其可取代原機械式的操縱動作，便可直接由電腦的程式之輸出經多功能卡，D/A 卡，經 JFET 達到控制發射機的功能。

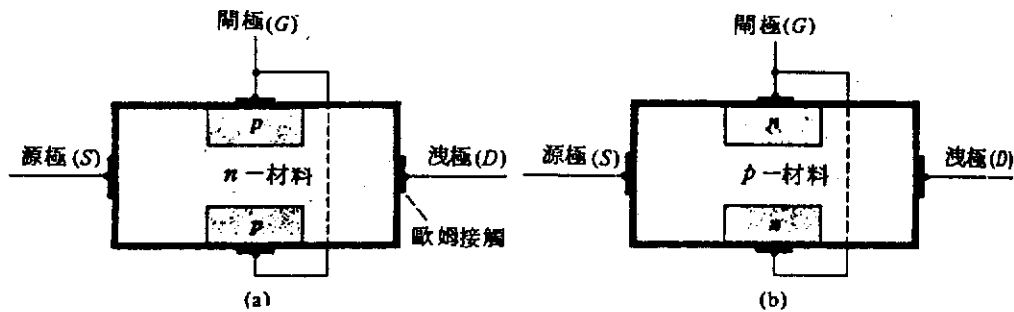


圖 3-12 JEFT 的實際結構：(a) n 型通道；(b) p 型通道。[7]

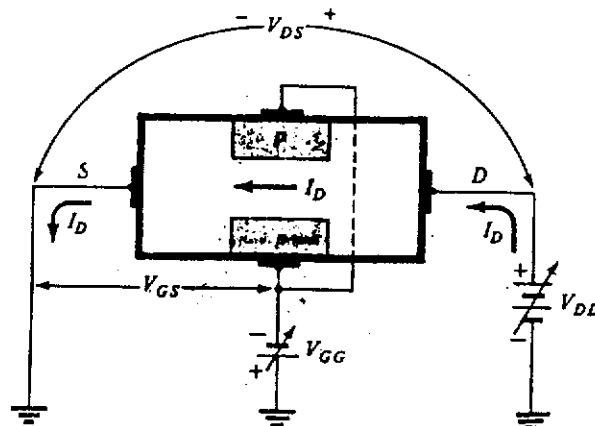


圖 3-13 JFET 的基本操作 [7]

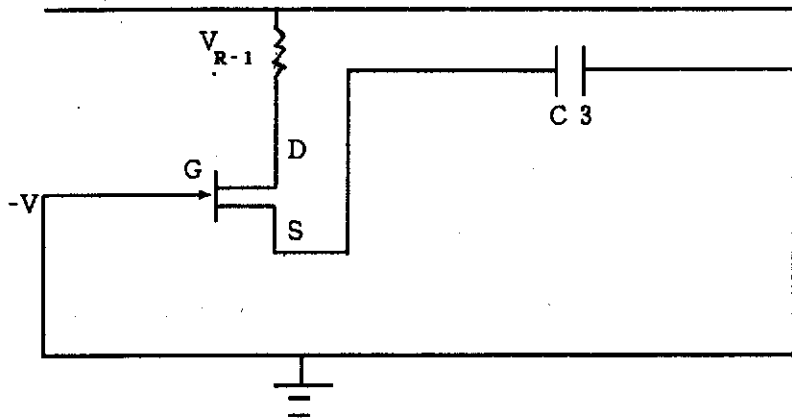


圖 3-14 JFET充 D/A與發射器介面

3. 4 接收機與定速控制機構之連接

3. 4. 1 接收機

爲清楚起見，此處我們以單波道 (Single Channel) 發訊機來說明，它係發射固定調制頻率之信號波。欲接收此種信號，依使用之用途可使用超再生接收電路或超外差式接收電路。經超再生檢波後之調制波利用一波低頻放大器予以放大，並將調制波之正 (or 負) 側予以整流，並將之直流化後，即可驅動繼電器 Relay。圖 3.15。

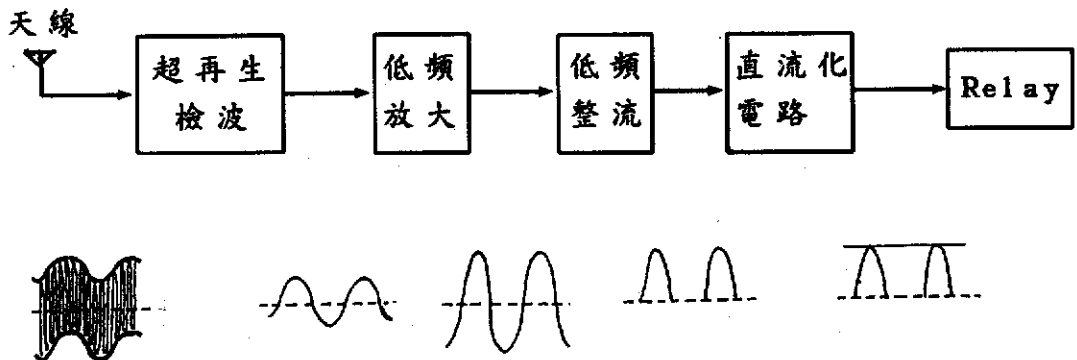


圖 3-15 單波道接收機之作業流程

由於繼電器並聯一只大容量之電容器，對於驅動電流具有平滑作用，故流於繼電器之電流幾為直流，繼電器之動作因而更確實。圖3-16。

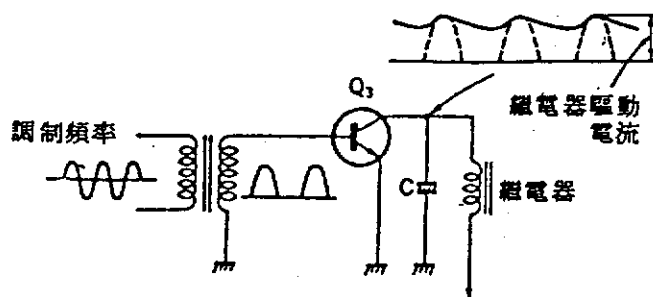


圖 3-16 繼電器電路之動作。

有關單波道接收機之電路詳如圖3-17。而圖3-18則為比例式發射器之接收機電路。

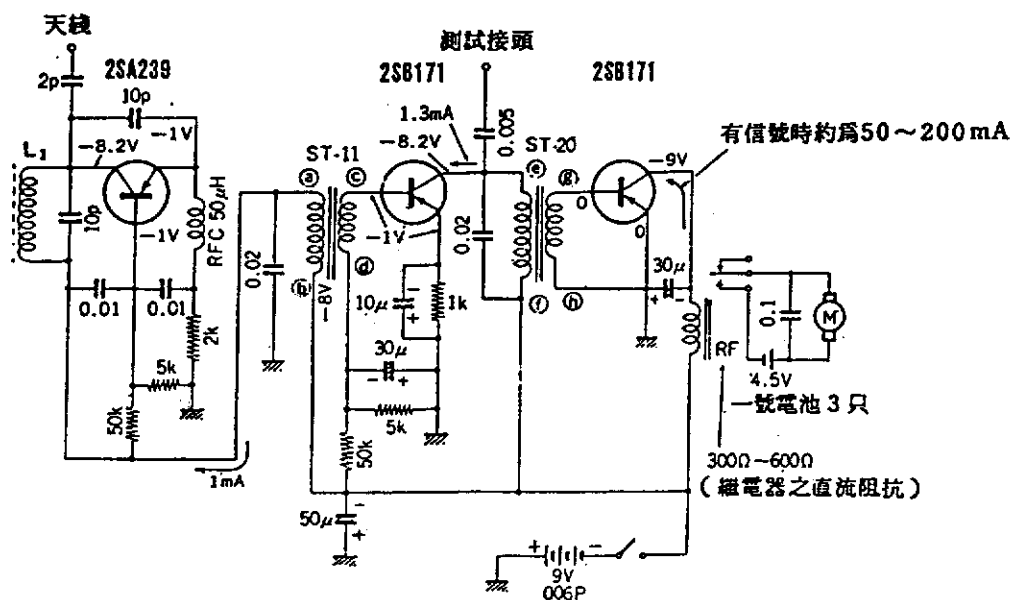


圖 3-17 單波道遙控接收機線路

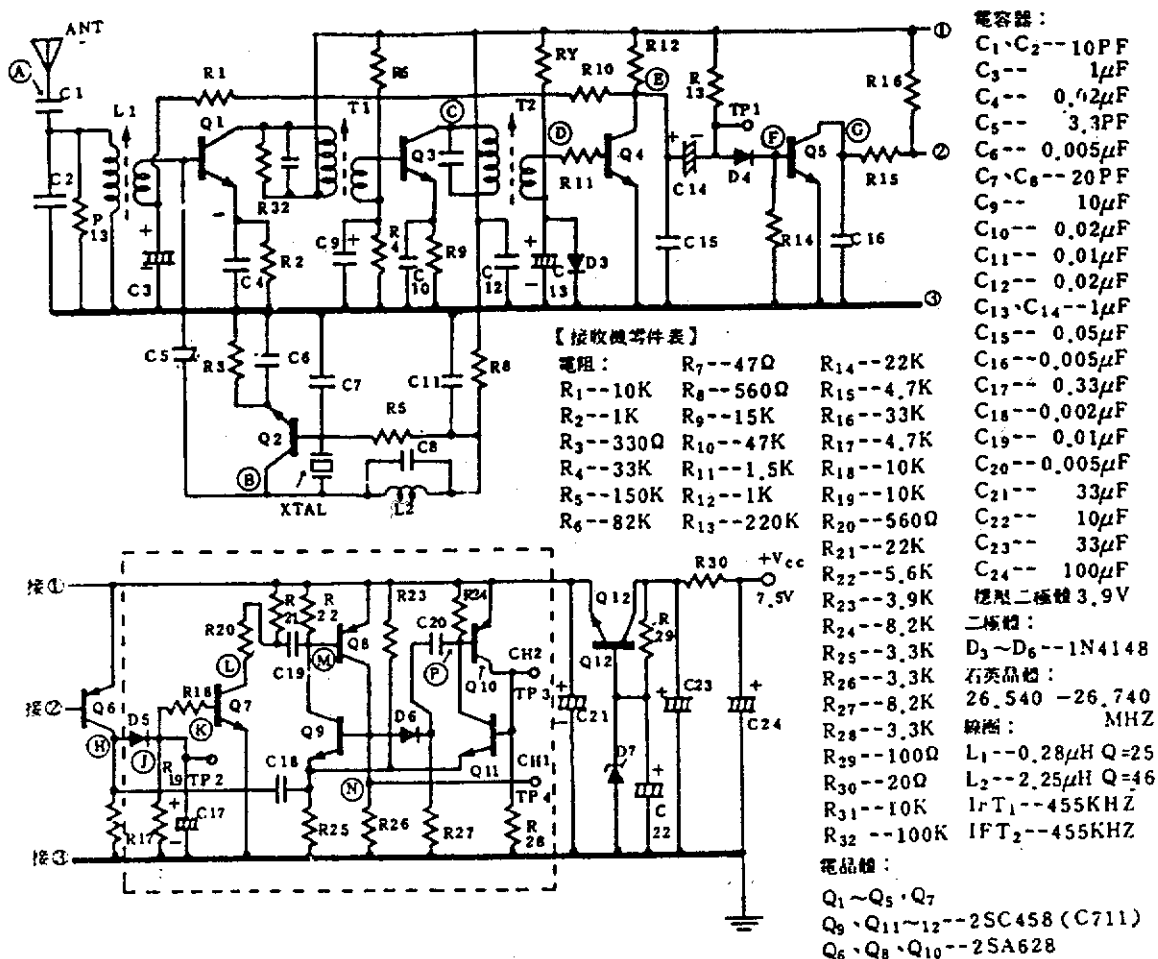


圖 3-18 比例式接收機電路圖 [7]

3. 4. 2 速度控制器電路分析

汽車自動車速控制 (Auto Speed Control)，係在汽車行駛中設定希望之車速，駕駛員不必踩油門，能自動依路況開關節汽門，維持一定的行車速率裝置。

自動車速控制裝置電路簡圖如圖 3-19。由該圖 3-19 知定速器面板上有四個動作 (key)，當每一電流導通即可有一動作，即可指揮定速器之微處理機驅動節汽門致動 F.I.G.，速度檢出裝置 (S.P.G) 係回饋節汽門是否達成任務。圖 3-20。

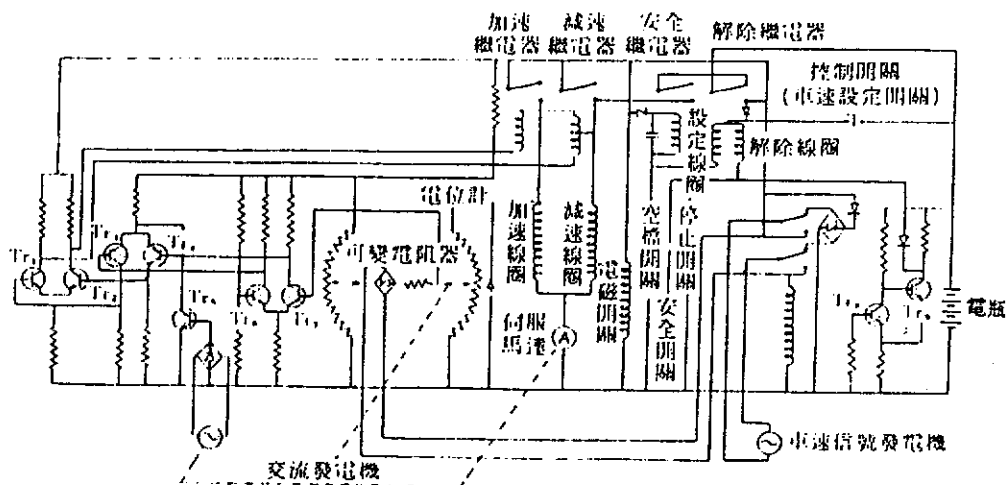


圖 3-19 自動車速控制主要部份電路圖 [15]

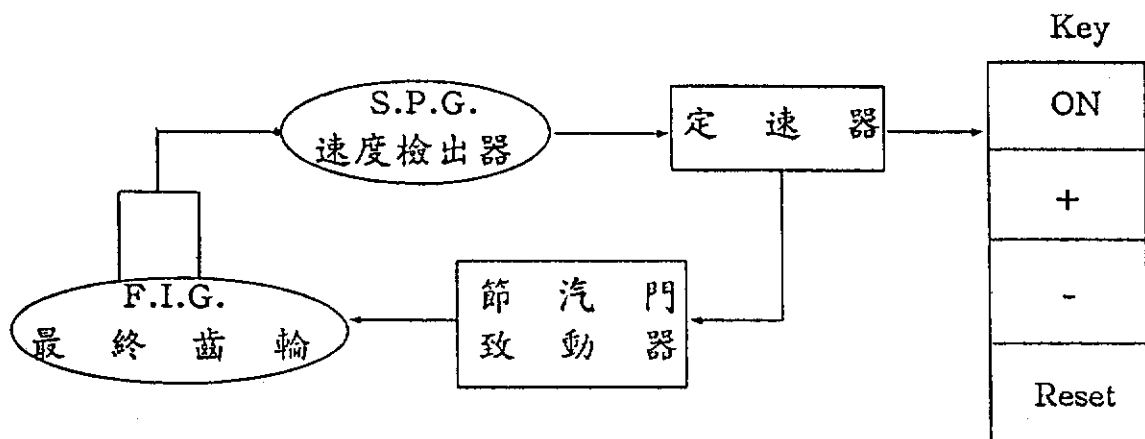


圖 3-20 定速器動作圖

3. 4. 3 接收機與速度控制機構之連接

在數位式發訊機所送出之載波脈衝(Carrier pulse)如圖 3-21 所示，為具有某一時間幅以及時間間隔之重覆信號。圖 3-22 是接收這種脈衝信號用之接收機方塊圖形。自高頻電路以迄檢波電路之間，電路之結構與普通之接收機並無二致。其特徵為追加解碼(decoder)電路。

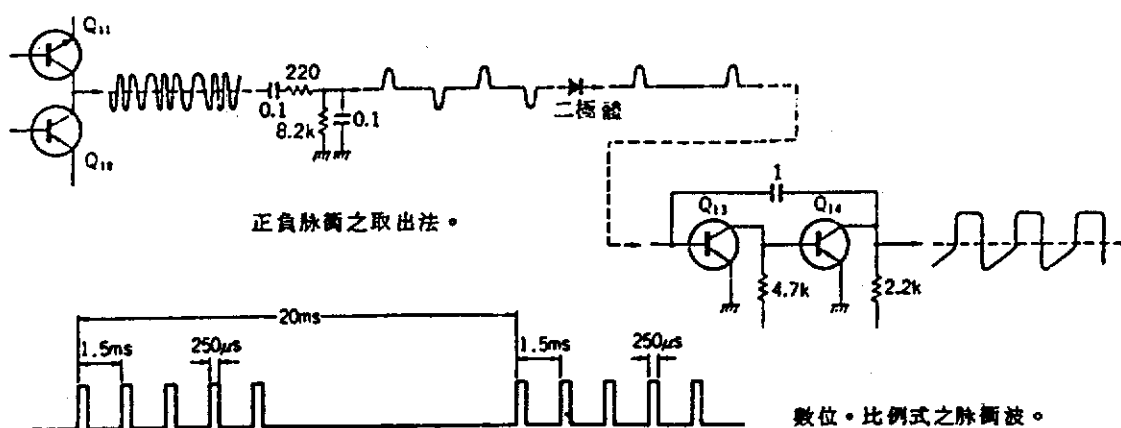


圖 3-21 數位式發訊機的脈衝 [14]

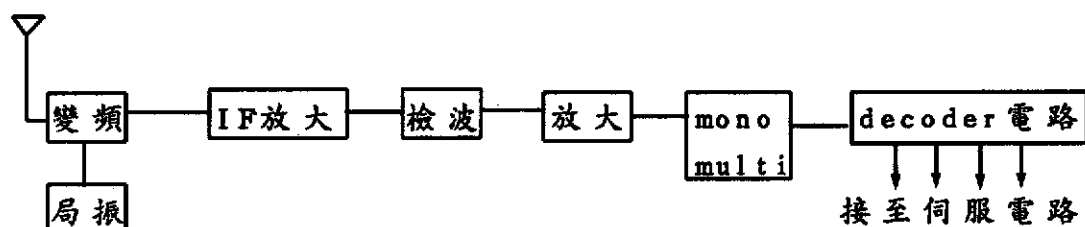


圖 3-22 數位·比例式接收機之方塊圖 [14]

接下來是看這種脈衝如何作用。圖 3-23 顯示比例式伺服電路驅動馬達的方式，由圖知其利用輸入信號之脈衝予以激勵之單穩多諧振盪器之輸出脈衝與輸入信號同時輸到信號。由圖 3-23 之電路中 $Q1$ 及 $Q2$ 係由輸入脈衝所激勵之單穩定多諧電路，其產生之脈衝寬度可控制與之相對的伺服馬達軸連結之電位器 ($VR1$)。 $Q3$ 及 $Q4$ 係脈衝寬度之比較電路，同時加上輸入脈衝與單穩定多諧電路之脈衝，兩者脈衝寬度之寬狹在該電路中比較。假若輸入脈衝之寬度較寬，則 $Q3$ 電路動作；反之，若輸入脈衝寬度較狹，則 $Q4$ 電路動作。 $Q5, Q6$ 構成史密特 (Schmitt) 電路，作波形整形之用。 $Q7, Q8, Q9$ 則擔任直流放大工作。

第四章 導向控制組合

ADVANCE-F 的導向控制與速率控制是相互獨立的。雖然導向控制機構也有車輛上及道路上的基本差異，但本章以感應裝置及轉向伺服機構來分別說明較合適。

4. 1 感應裝置

感應器裝置有多種方案，一種稱為無線電羅盤的測向器，當其環形天線與無線電波來向成垂直方向時，天線線圈不產生電流，羅盤指針對準零；但天線稍一偏轉，電流就立即出現，指針也相對轉動。這種裝置若與電動馬達接合，只要發生電流，馬達就依指針偏向旋轉，馬達可推動轉向機構一直到電流中斷為止。但其反應多半較慢，在 ADVANCE-F 中道路上那麼多發射器，可能它無法辨認電波來自那一個導標，否則就會變得很複雜。另一種稱為迴轉儀的自動機，它是利用地球磁性來保持方位的正確度，現代飛行器、航海器均使用之〔5〕；惟若用在 ADVANCE-F 中，導標確無法只用紅外線來辦到導向功能，因為此時導向微波必須要指出每一導標處之車道切線方位，雙方面的方位精準度又必須很高才行，再則車上 ECU 及路邊控制器的水準要更高更快了。從技術面、成本面、實務需求面來看，採迴轉儀恐怕無法達到市場化。

ADVANCE-F 的感應裝置有粗調微調之分，粗導向裝置是車道邊裝置導標以及車前的導標電波接收器，前面已提過，導標會發射微波指示該點的切線角，當車輛接收後，ECU 將觸發車輛轉角致動裝置調整行進角度，使達到車輛定向功能。今限定導標發射之微波所示的角度是重合於或切於道路中心線，且有偏向極性符號設計，經 ECU 解譯命令再連繫以電動轉向伺服機構，車輛自動導向便可達成。轉向動力機構也即伺服馬達（後面會詳加介紹）。其轉速與車速成正比例關係，其比值待進一步試驗分析。至於伺服馬達的正逆轉取決於偏向極性符號的正或負。基本上，導標電波以十進位來說有七碼，前三碼代表導標編號，後四碼為正負極之道路曲率（或切角）及檢查號。導標編號是做為車輛定位（positioning）之用，前已提及，當車輛行經且阻斷導標紅外線，其折波會

使導標送一 ON 訊息給管區控制器，管區控制器中的 Buffer Memo 中該碼導標便成 ON 狀態；另車輛有接收導標電波接收器，當接收後，前三碼會趨動回訊給區域控制器以便比對 Buffer Memo 得以定位；後四碼則趨動轉向伺服機做粗轉角 θ （預設值）。為安全計，導向控制需要輔助微調系統，本研究採用沿中心線繪製導向標線，他們係讓車輛裝設的光敏器閱讀並經比對就可達成調整伺服角度之目的。微調係靠車底左中右三只紅外線反射感測器感測車道導向標線（三點感側）；標線中條為強反射材漆，左右為弱反射材漆。此標線預估寬 50cm，車底紅外線反射感測器，須要高感度及高響應速率的系統。上述計算都要靠 ECU 執行。

4. 2 轉向伺服機構

在探討 ADVANCE-F 的轉向伺服機構之前，先對汽車的轉向原理做瞭解。由於 ADVANCE-F 之實驗車輛須配備動力方向盤 (Power Steering)，故以下的介紹均為動力式方向系。

1. 方向盤及方向桿

方向盤 (Steering Wheel) 之構造除了外在之環 (rim)、輻 (spoke)、轂 (hub) 外，中間有一方向桿或稱轉向柱，柱中通以轉向軸，它是將駕駛操作力轉移到轉向齒輪的裝置，如圖 4-1 所示。目前在轉向軸與轉向齒輪軸間使用撓性接頭者十分普遍，主要為了可以吸收輪胎之衝擊轉與減少方向盤面之震動。方向桿外層上裝以轉向燈開關、防盜鎖等。較新之方向桿為可以伸縮者，如圖 4-2。亦有可傾斜調整的方向桿，這種方向桿，可以隨駕駛者之意願而調整方向桿之角度，亦可以在進出駕駛室時將方向桿移動，使進出容易。伸縮式者，駕駛者可以自行調整方向盤之高度，以利駕駛。調整方向盤之角度時，只要將方向盤下之控制桿提高即可。有些設計有五種調節之位置：正常者，兩個自上及向下之位置。圖 4-3 所示為可傾斜方向桿之構造。每一根軸之兩端均有一方向接頭。圖 4-4 所示者為可以伸縮之方向桿，軸與外筒均製為兩套，一套可以在另外一套內滑動。

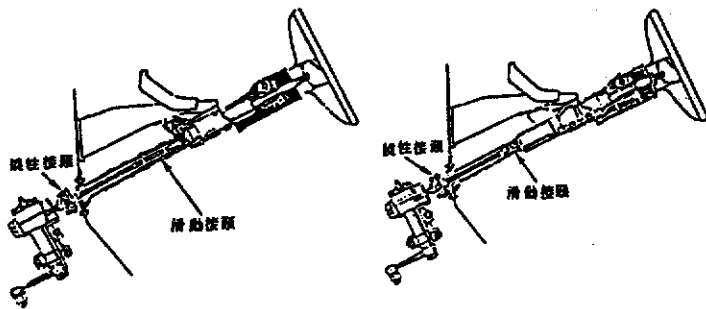


圖 4-1 方向盤及其轉向軸[8]

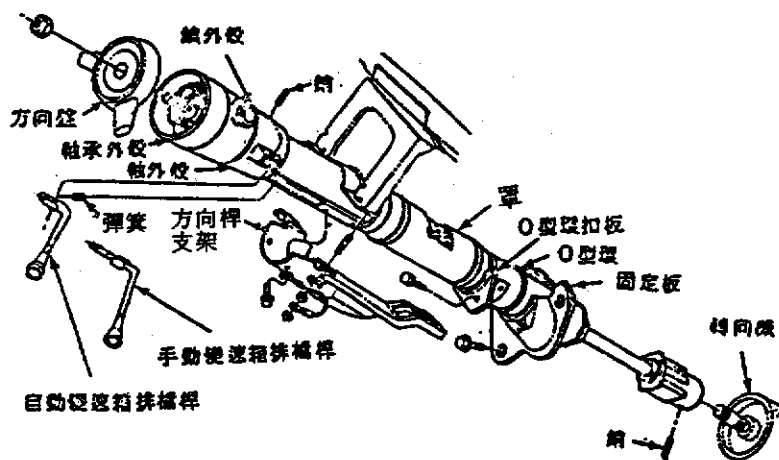


圖 4-2 可伸縮之方向桿。[21]
(Plymouth Div., Chrysler Corp)

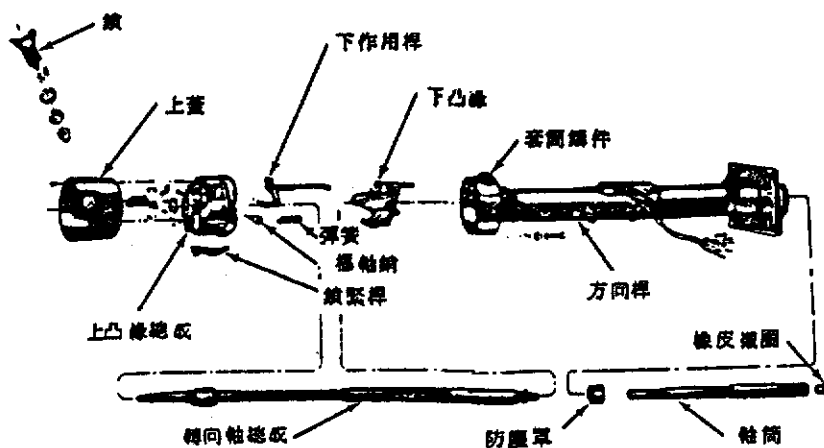


圖 4-3 可傾斜方向桿分解圖。[21]
(Ford Customer Service Div., Ford Motor Co.)

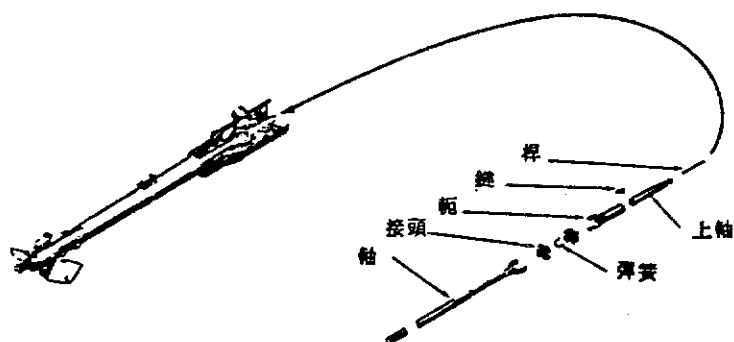


圖 4-4 可傾斜和伸縮之方向桿。駕駛者可調整方向盤至最佳之角度。[21]

(Oldsmobile Div., General Motors Corp)

2. 轉向機 (Steering gear box, SGB)

SGB 的工作係將方向盤之旋轉經減緩後傳到畢特門 (Pitman Arm, 或稱搖臂)，經轉向速桿使車輪改變方向。所有之轉向機均封閉在一殼內，轉向機包含一蝸形齒輪。該齒輪接於方向軸 (Steering Shaft) 之下端。蝸形齒輪之兩端以鋼珠軸承或滾筒軸承固定住。見圖 4-5。方向盤利用鋸齒與方向桿配合，再以螺帽固定之。轉向軸則安裝於空心之方向桿內。一根橫向之搖臂軸 (Pitman Shaft) 與方向桿垂直裝於轉向機殼內。該軸上有一扇形齒輪 (Sector Gear) 配合蝸形齒輪，搖臂軸通至殼外端以鋸齒安裝一搖臂 (Pitman Arm)，再以螺帽將之固定。一調整帽用以調節轉向機間隙，或搖臂軸之端隙等。

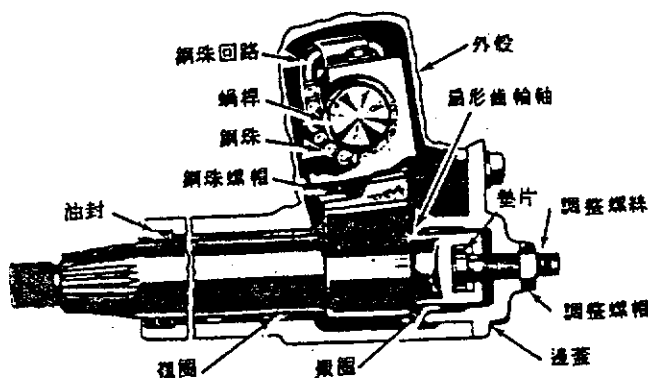


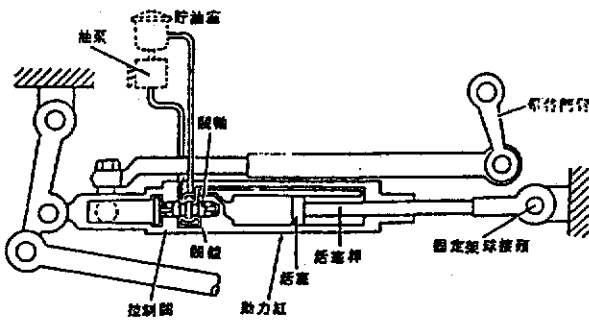
圖 4-5 轉向機 [21]

轉向機型式之區分是以搖臂軸與蝸桿總成之配合方法而定。目前小客車除使用齒桿齒輪式者外，均使用蝸形齒輪循環鋼珠式者。有時簡稱為鋼珠和鋼珠螺帽式 (Ball and Nut Type)。

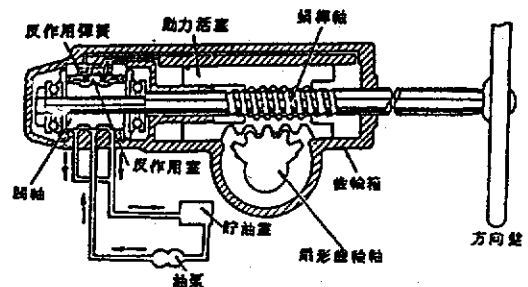
3. 動力轉向系統

動力轉向又稱轉向加力。裝有動力轉向汽車的轉向輪轉動，除依靠駕駛員的手力外，更主要是依靠加力裝置，即借助發動機的動力驅動油泵或空壓機，以液力或氣力增大駕駛員操縱轉向輪的力量，因而實現轉向。

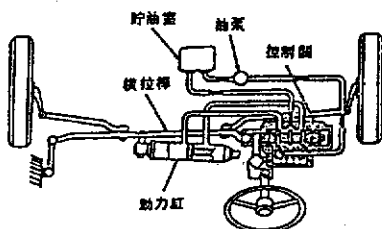
為保持轉向輕便性，車軸重量超過 2.5 噸，即可採用動力轉向。雖然動力式裝置方式很多種，如圖 4-6 所示。但其基本原理均一樣，可參閱 [8]，此處不加贅述。



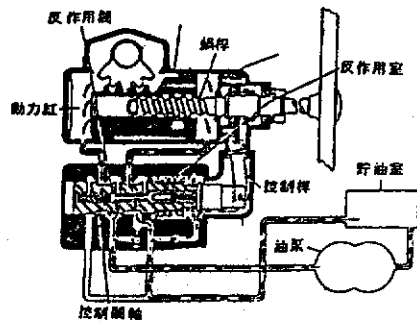
a) 控制閥與動力缸裝在一起之連桿型動力轉向系



(c) 線列整體式動力轉向機構造



(b) 控制閥與動力缸分離式連桿型動力轉向系



(d) 偏位整體式動力轉向機

圖 4-6 動力轉向機 [8]

4.ADVANCE-F 電動轉向伺服機

要使 ADVANCE-F 的命令順利達成自動控制目標，必須改裝現行方向盤及轉向機關。圖 4-7 為 ADVANCE-F 之轉向伺服機構想，轉向機齒輪軸上端改以可伸縮式之方向盤軸，伸縮關節下端裝設導向伺服馬達或步進馬達，接受感側器及導向 ECU 命令。馬達有兩種裝設方案：第一種是採線列式，如圖 4-7(a)，即馬達轉子(Rotor)與轉向齒輪同軸，轉子須為多極式，惟這種裝置微調不易，否則精確度要很高。另一種是採偏列式，如圖 4-7(b)，馬達轉子與齒輪軸間以大小齒輪接合，此式對轉向角微調的控制較易，方向盤軸及齒輪軸長可以不必太多更改，引擎室空間安排也較易。

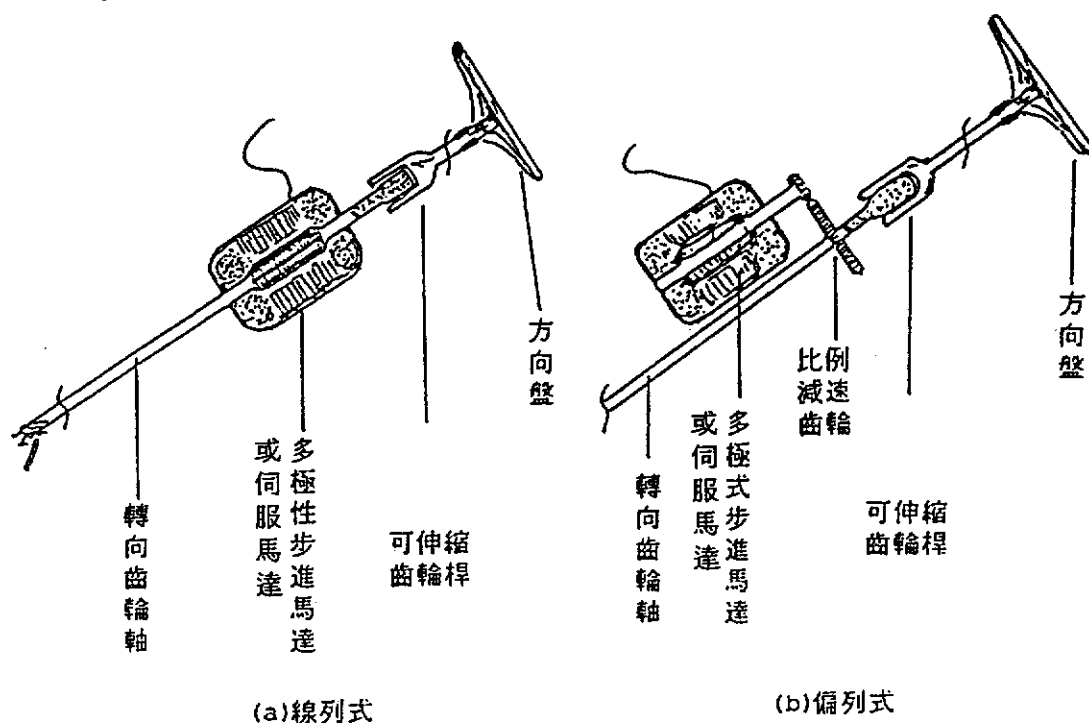


圖 4-7 ADVANCE-F 的車輛轉向伺服機構示意圖

伺服機之作業控制備有一 ECU 卡來統籌。此 ECU 卡在接獲駕駛打開外控開關後，此時伺服馬達電力亦通達，瞬時接受 ECU 轉向轉角轉速命令。ECU 依照感應器計算的方向偏差 $\pm d$ ，和目前車速 v 決定馬達轉向轉角轉速命令，此訊號經電路放大傳至馬達及負載執行。在電

子控制下馬達必須選擇步進式 (Stepper Motor) 或伺服式 (Servomotor) ，它可以直接使用二進數驅動，圖 4-8 為二極步進式例。馬達的正轉或反轉可靠 ECU 雙極雙投電子開關改變轉子或場繞線電流達成。轉速及轉角，可利用矽控整流子 (Silicon Controlled Rectifier, SCR) 及可變電阻來控制 (圖 4-9) 。故這些馬達可依要求控制得十分準確。下章會有更詳細的資料分析。

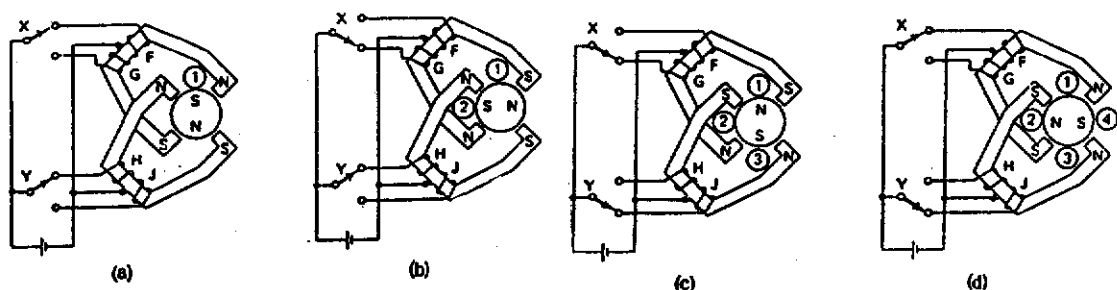


圖 4-8 PM 步進馬達的動作說明 [10]

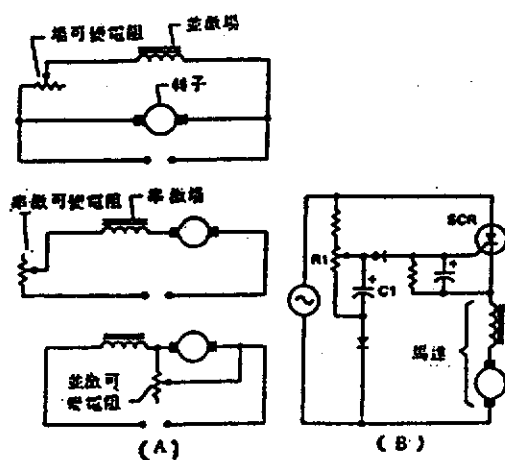


圖 4-9 (A) 利用一可變電阻控制直流馬達之轉速
(B) 利用一矽控整流子的轉速控制線路 [6]

第五章 導向控制試驗

5.1 導向控制試驗概念

本研究為瞭解硬體之可行性，於是策劃較為簡便的且車體靜態的導向控制試驗，這個試驗與前面有關的導向裝置有微些差異，但並不影響我們的分析及結論。試驗架構說明如下。

因基本導向架構，如圖 5-1 所示，首先感測器 (Sensor) 掃描將標線訊號讀取後，再透過一濾波器，一多工器及經運算放大器的放大，轉入 A-D 轉換器，最後進入一微處理機運算做工業轉換，再將運算結果轉入伺服機構，控制轉向動作。於是試驗設計包括感測器，微處理機（或電腦），轉向伺服馬達，轉向軸等及其間介面。

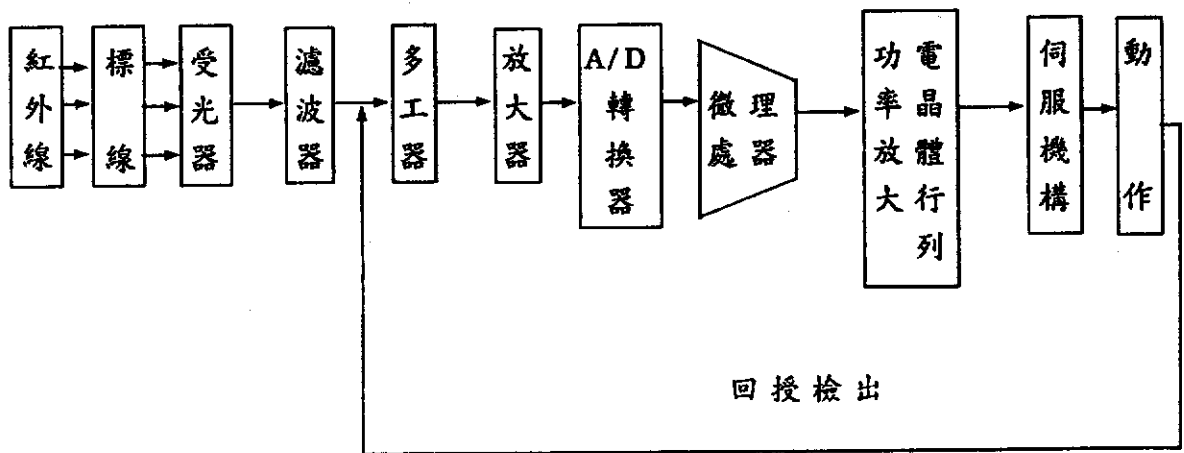


圖 5-1 導向伺服流程

5.2 感測系統元件

ADVANCE-F 的感測系統主要是標線明暗反射器，由三個發射器及三個受光器組成，均為紅外線發光原件及受光原件構成。

1. 紅外線發光原件

紅外線發光原件主要是紅外線發光二極體(Infrared LED)。能發出紅外線的LED有很多種，有以砷化鎵製成的LED其發光波長在 0.9 微米左右。另外有合金式的 III - V 族 $Gax In_{1-x} As_y P_{1-y}$ LED (如 $x=0.28, y=0.60$ 或 $x=0.17, y=0.34$)其發光之波長從 1.1 微米到 1.6 微米左右。紅外線LED的構造有兩大類，一種是表面發光(Surface Emitter)型，另外一種是邊緣發光(Edge Emitter)型。如圖 5-2 所示。

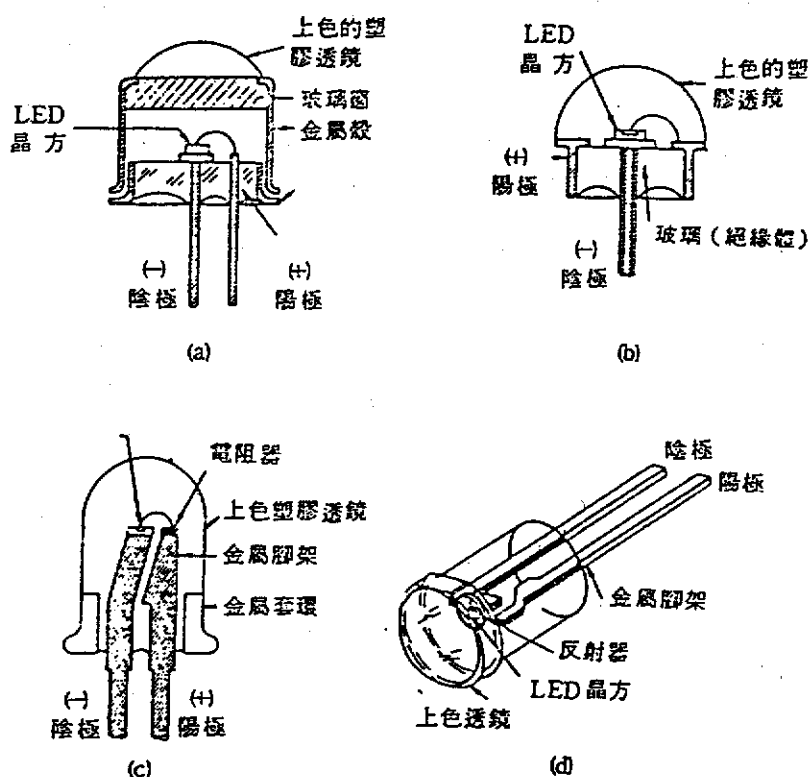


圖 5-2 各種的LED結構及封裝圖 [16]

(塑膠透鏡加上顏色後,有濾光作用及增加光的對比度)

在實用選擇上，外型與所須原件之效率有關，若須增加光輻射強度的LED，選擇拋物體型比平面型及球型更有效。如圖 5-3 及圖 5-4 所示。

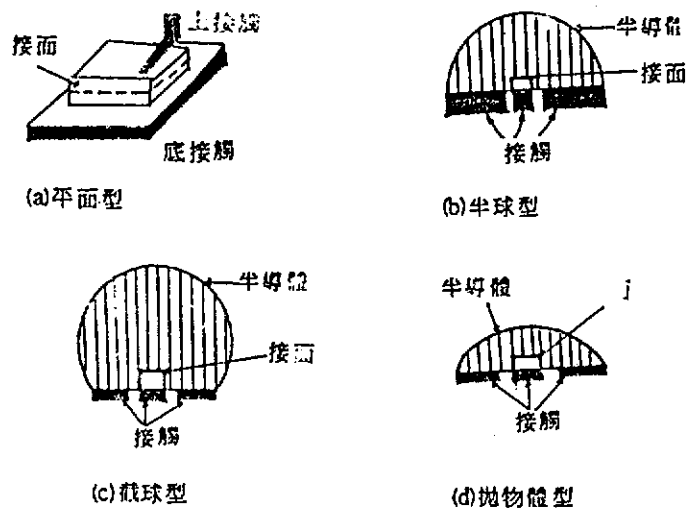


圖 5-3 增加光輻射強度的LED外形設計 [16]

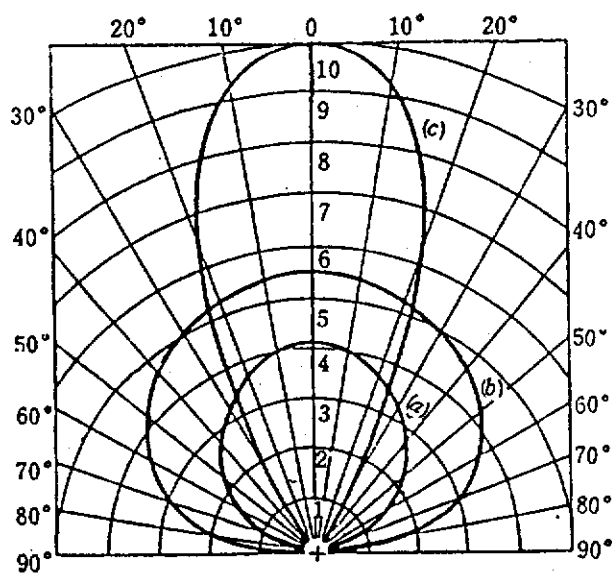


圖 5-4 各種外型的LED輻射圖型 [16]

(a) 矩型 (b) 半球型 (c) 拋物體型。

2. 受光器

受光原件為光二極體，係以一偏壓在空間電荷區兩端出現的高壓電場，可以收集由光激產生的電荷，形成光電流。表 5.1 乃是 LED 與光二極體的特性對照表。

項目 \ 元件	LED	光二極體
偏壓	順向偏壓	逆向偏壓
偏壓功能	少數載體注入	收集由光激發產生的電子與電洞，形成光電流
P_n 乘積	$P_n > n_i^2$ (載體注入)	$P_n < n_i^2$ (載體抽取)
不平衡回復至平衡狀態的過程	經過復合過程回復至平衡狀態	吸收光的輻射後，產生載體，以回復至平衡狀態
少數載體的濃度分佈	<p>斜線面積代表 $Q_n, Q_p > 0$，代表載體注入</p>	<p>斜線面積代表 $Q_n, Q_p < 0$，代表載體抽取</p>

Pn : 電洞與電子在不平衡時的濃度乘積

72.2 : 電洞與電子在熱平衡時的濃度乘積

表 5.1 LED 與光二極體的特性對照表 [17]

吾人可知光二極體爲逆向偏壓，其電流—電壓特性如下式：

$$I_D(\lambda) = (I_{Ph} + I_0)(e^{qV_D/kT} - 1)$$

此外 I_0 逆向偏壓電流， T 為受光時間 q 為受光面積， λ 為波長（視二極體材料而定）， k 為常數。 I_0 是沒有光照射時的二極體少數載體電流（暗電流）。 I_{ph} 是因光入射所增加的二極體少數載體電流（光電流）。 V_D 是二極體的偏壓。今利用此特性式應用於設計導向感測系統之重要公式。

受光器的響應度十分重要，影響伺服系統及車速上限，茲分析如後。因光二極體內空間電荷區的高電場，可以分離因光激發而生的電子電洞對，以形成光電流。對於高速率的操作，空間電荷區必須很薄，以使載體通過此過度區的時間很短。但為了增加元件的量子效率，空間電荷區必須很寬，因此，對於光偵測器的操作速率與效率兩者之間，必須妥善折衷。衡量方式可以量子效率及響應度：

$$\begin{aligned} \text{量子效率：} \eta_Q (\%) &= \frac{\text{產生的電子電洞對數目}}{\text{入射的光子數}} \times 100\% \\ &= \frac{(I_{ph}/q)}{(P_{op}/h\nu)} \times 100\% \end{aligned}$$

式中 I_{ph} ：光激發所生的光電流
 P_{op} ：入射的光功率
 $h\nu$ ：入射的光子能量

$$\begin{aligned} \text{響應度 } R &= \frac{I_{ph}}{P_{op}} \times 100\% \\ &= \frac{q \eta_Q}{h\nu} = \frac{\eta_Q \lambda (\mu m)}{1.24} \quad (\text{Amp/Watt}) \end{aligned}$$

因此，衡量產生的光電流與入射光功率的比值即是此光二極體的響應度。如圖 5-5 (b) 所示決定量子效率的關鍵因素是材料光吸收係數如

圖 5-5 (a) 所示。

由以上資料可用於對不同的光二極體實驗及檢測以找出最適 ADVANCE-F之發、受光器。

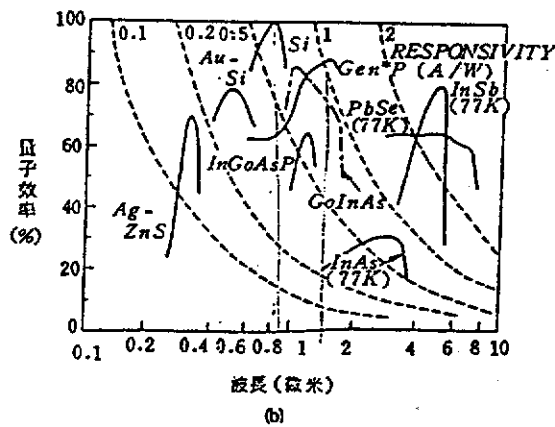
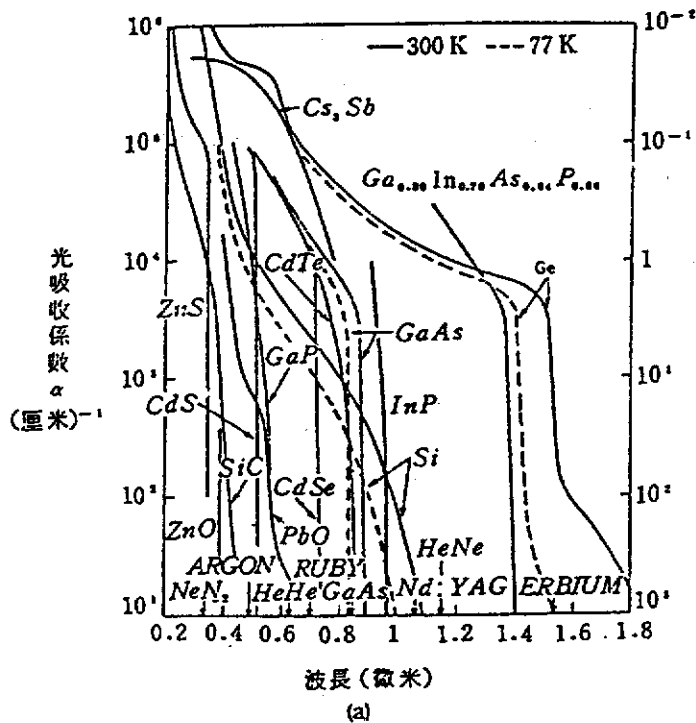


圖 5-5 各種不同材料的光偵檢器的量子效率，響應度及光吸收係數。圖 (b) 中的虛線代表響應度的變化 [17]

5.3 感測電路與微電腦介面設計暨選擇

1. 感測面電路的分析選擇

本研究感測為多點式(3點)，故感測電路介面均以多點處理，唯此法須考慮能耐雜訊(Noise) 的系統結構。圖5-6 為一多點式輸入 A/D 轉換的主要結構圖。

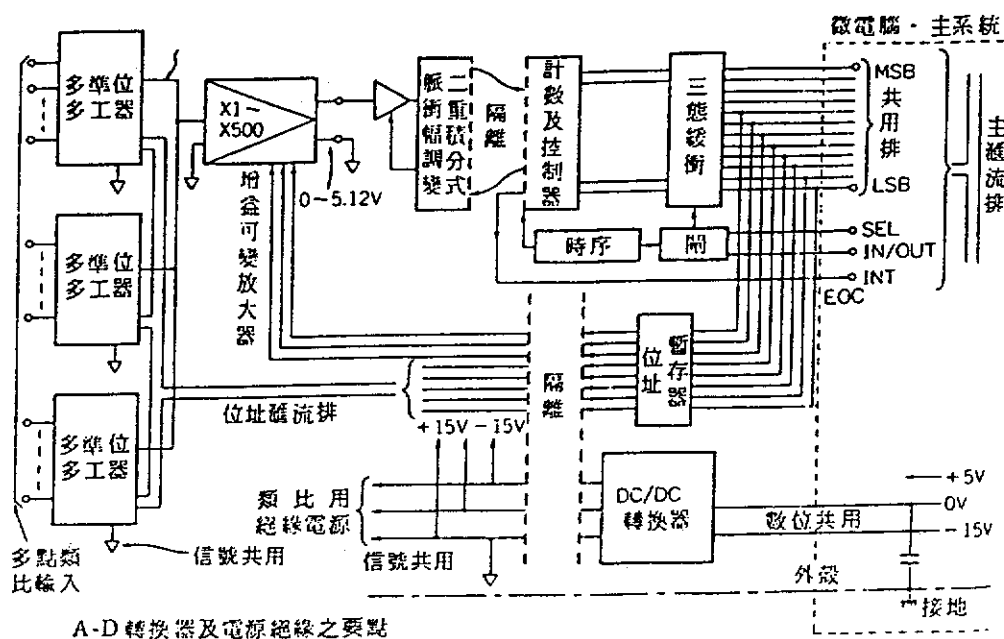


圖 5-6 多點輸入 A/D 轉換主要系統結構例 [18]

2. A/D 轉換器與微電腦之連接法

基本上，為處理感測資料，A/D 轉換過來的數位訊號要送入電腦，故把 A/D 轉換器連接到微電腦之資料輸入匯流排(bus)。圖5-7, 5-8 所示為 A/D 轉換器連接電腦之電路例。本案將循此途徑進行，尋找合適的 A/D 卡。

3. 追加緩衝暫存器 (buffer register) 之應用

因本系統部份（主導向感測器）要求作高速 A/D 轉換，為節省 CPU 蒐集資料時間，在 A/D 卡外部須加設緩衝暫存器，其架構如圖 5-9 所示。

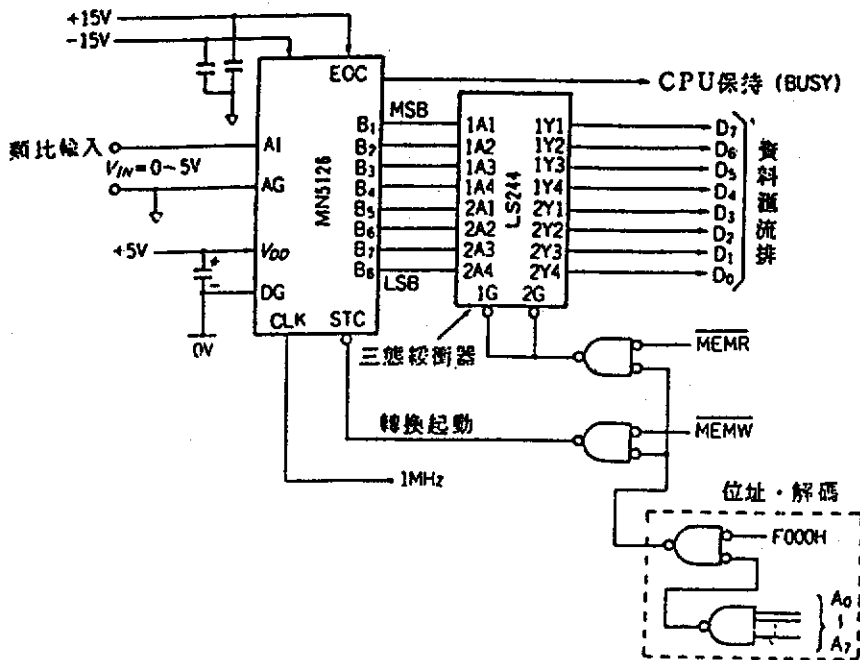


圖 5-7 微電腦與 8 位元之 A/D 轉換器連接例 [18]

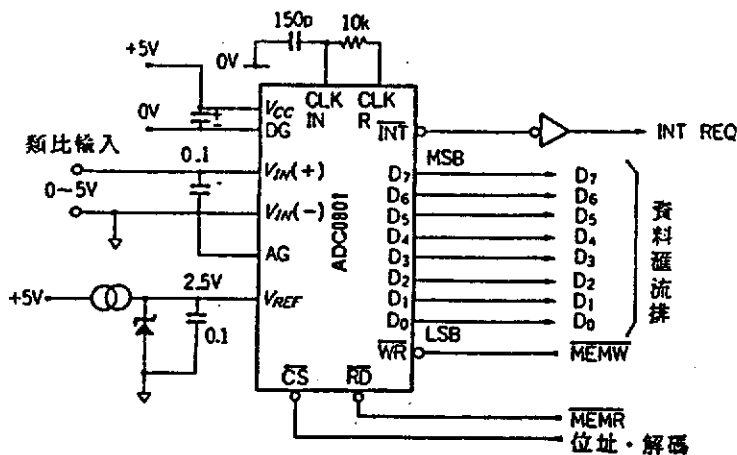


圖 5-8 在微電腦匯流排上作接合的 A/D 變換器之使用例 [18]

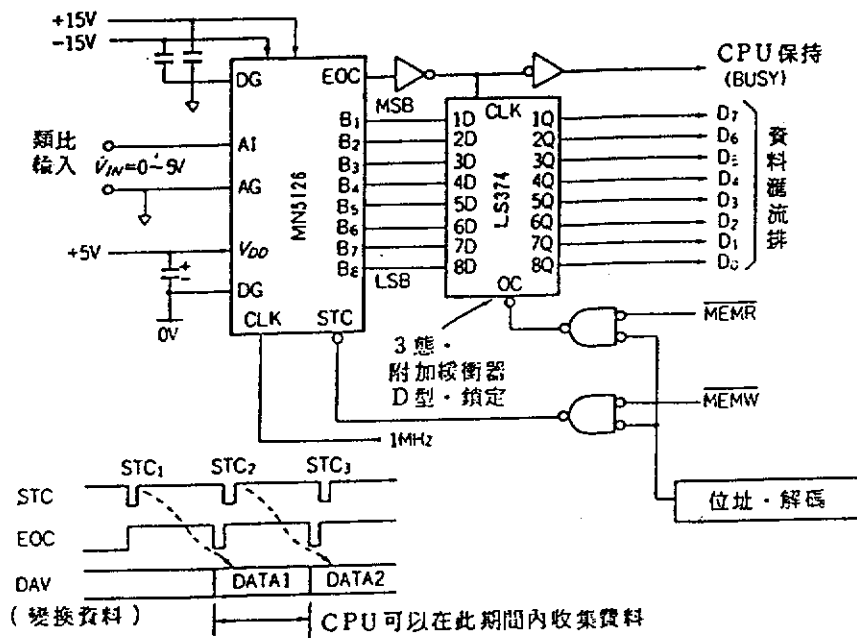


圖 5-9 追加緩衝器 [18]

4. 多工器及微電腦之介面電路技術與選擇

在微電腦系統中類比信號只有一點的情況很少見。大都必須處理很多點之類比訊號，通常有兩種不同的介面技術：

- (1) 將多工器之各輸入皆分別以一個 I/O 裝置來處理，在每一通道上附與位址，如圖 5-10 所示。
- (2) 另一方法是對 A/D 轉換器，以 WRITE 資料來指定多工器之通道，在轉換器上只供給一個裝置位置，如圖 5-11 所示。

圖 5-11 乃是採每次 A/D 變換方式就指定多工器通道位址的隨意存取之控制方式。但此方法欲實現高速 A/D 變換處理，指定多工通道之時間便成了一瓶頸，因而想實現高速處理時，必須實施順序存取控制方可，其方式須使用圖 5-12 所示者。

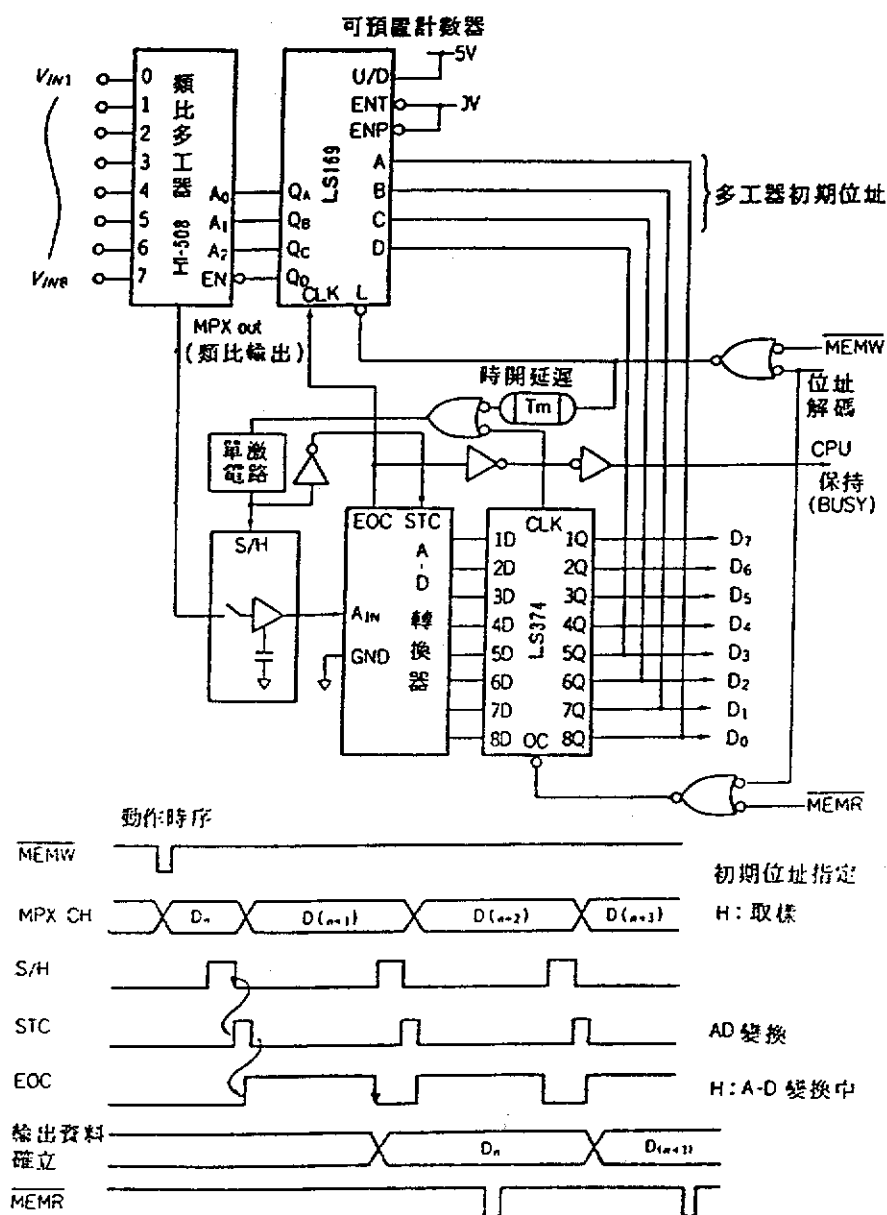


圖 5-12 高速化多工器之順序控制 [18]

5. A/D 轉換器 IC 之選用要點

不論在何種情況下，可確定的事實就是「以何種標準來選定設備呢？」這也就是選擇 IC 規範之重點。表 5-2 提供了一些 IC 選擇的參考。依此，本研究在試驗時，須經一段測驗分析方能做最後確定。

表5.2 A/D 變換之校對表[20]

項 目	
1. 變換精度	<ul style="list-style-type: none"> * 解析度，絕對精度，相對精度(直線性)，差動直線性
2. 變換速度 (變換方式)	<ul style="list-style-type: none"> * 低速即可時，積分型(二重積分型，電荷平衡型)。高速時則用逐次比較型。 * 時脈(clock) 是否由內部供給呢？ * A/D 變換時間是否可控制(變更)
3. 輸出情況	<ul style="list-style-type: none"> * 要注意極性符號之表示。 * 是否能取出串列輸出？(積分型→脈衝列，逐次比較型→NRZ輸出) * 變換終了信號或資料確定信號等之狀態(狀態是否可被輸出)
4. 輸出特性	<ul style="list-style-type: none"> * TTL 是否可變換(convertable)? 輸出(fan-out)有幾個？ * 是否為正邏輯輸出 * BUS能與三態控制直接相聯嗎？ * 資料讀取(data read)之存取時間(access time)是否從微電腦 BUS定時得來？ * 8 位元以上之轉換器能否與8 位元之微電腦直接相聯？
5. 輸入特性	<ul style="list-style-type: none"> * 輸入阻抗是否充份高呢？(內部是否有緩衝放大器) * 輸入信號之範圍(range)適當嗎？ * 輸入信號之範圍變更容易嗎？ * 高出範圍，低於範圍其輸出響應如何？
6. 其他	<ul style="list-style-type: none"> * 電源是否標準一般用電源即可嗎？ * 基準電源是否內部沒有？ * 周邊裝置是否容易得到？ * 環境特性是否良好？ * 有無預備電源？

5. 4 步進馬達及其週邊電路零件規格

於實驗階段，本研究採步進馬達做為方向調整驅動機，（真正測試應以 Servomotor 為妥），故這裏對步進電動機做一簡單的說明。有關步進電動機的驅動原理，可用簡單的構造圖來解釋。如圖5-13的構造圖，在定子的外殼並排有4個電磁鐵，其下側對向也設有1個可滑動的磁鐵，它是於磁鐵下側與導軌接合，而形成能左右移動的構造。

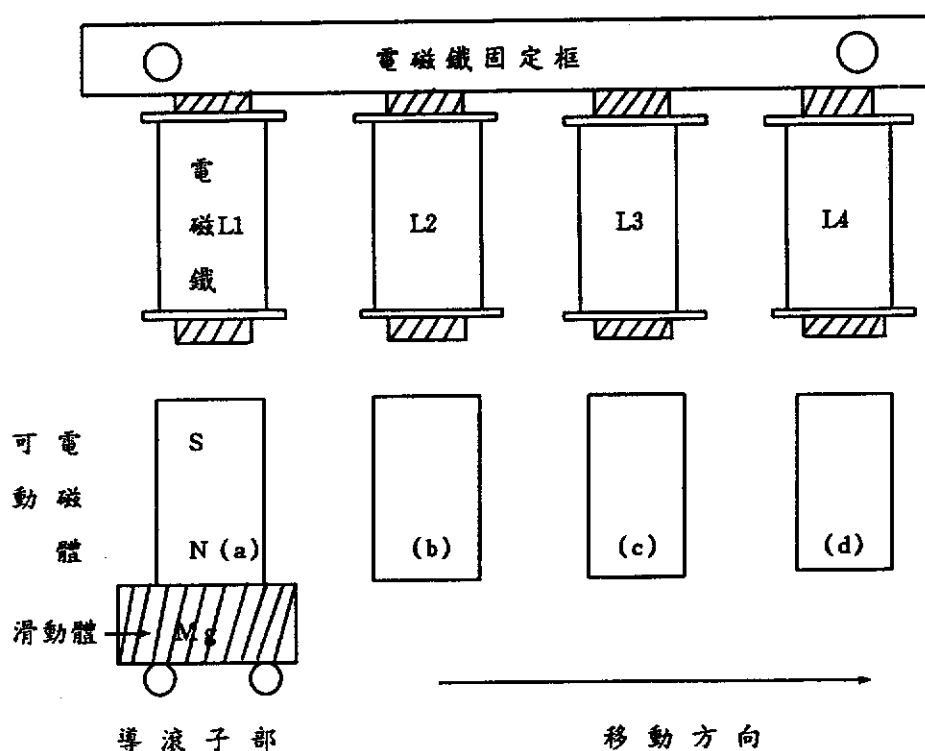


圖5-13 步進電動機驅動原理示意 [27]

當電磁鐵 L1 與可動磁鐵 Mg 之間有磁吸引力作用時，可動磁鐵便靜止在 (a) 位置。此時，若激發電磁鐵 L2，且切斷前面電磁鐵 L1 的磁場，則可動磁鐵會被電磁鐵 L2 所吸引，變成 (b) 的位置。如此順序動作下，則可動磁鐵 Mg 會依箭頭方向依次移動，而成為一種致動器。若將前面線型構造綜合成迴轉型構造，即步進式馬達，就形成迴轉馬達。如圖5-14。

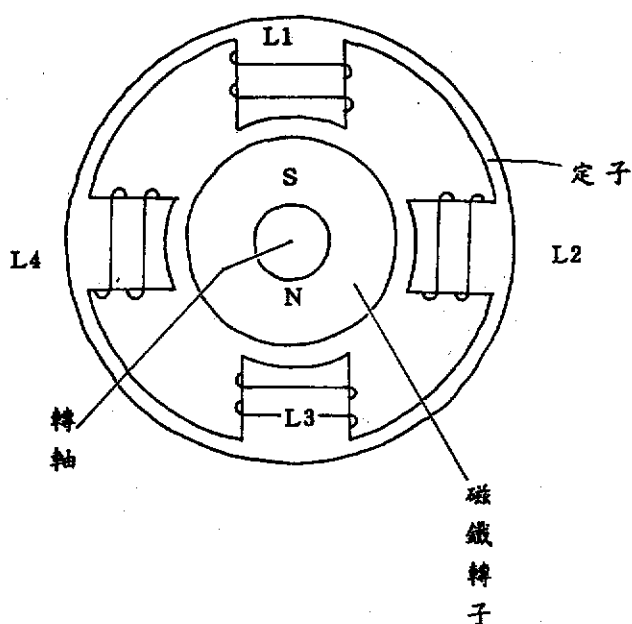


圖 5-14 迴轉構造致動器 [27]

由前可知，步進電動機並無像 DC 電動機的整流裝置。因此爲了轉動此種電動機，就需要某種驅動電路。爲了產生轉動磁場，通常乃以複數的激磁線圈依次給驅動電流，由此步進電動機才能任意轉動。事實上，步進電動機在其性質上，係爲起動，停止，正逆轉，變速等頻繁反覆而設計，因此，這些皆須根據電路的作用來控制。目前步進電動機專用的 IC，都具備有前述的機能，圖 5-15 係驅動步進電動機的方塊圖，虛線內表示專用 IC 部，各部編號表示爲：

1. 爲時鐘脈波產生器，在這裏爲產生任意週期的脈波波形。
2. 表示頻率可變部，在這裏變化前述的脈波產生器的振盪週期，並據此來調整步進電動機的速度。
3. 爲激磁模式切換部，其激磁模式（1 相激磁，2 相激磁，1 - 2 相激磁）按照需要來切換。
4. 爲激磁相控制部，根據此步進電動機的激磁線圈分配驅動信號。其電路的機能以一移位暫存器來考慮。
5. 表示步進電動機爲達正、逆轉的電路。
6. 爲電動機的起動、停止電路，其停止時變成無激磁狀態。
7. 表示功率放大電路部，在這裏電動機的激磁電流可適當放大，由此得到大的驅動電流。

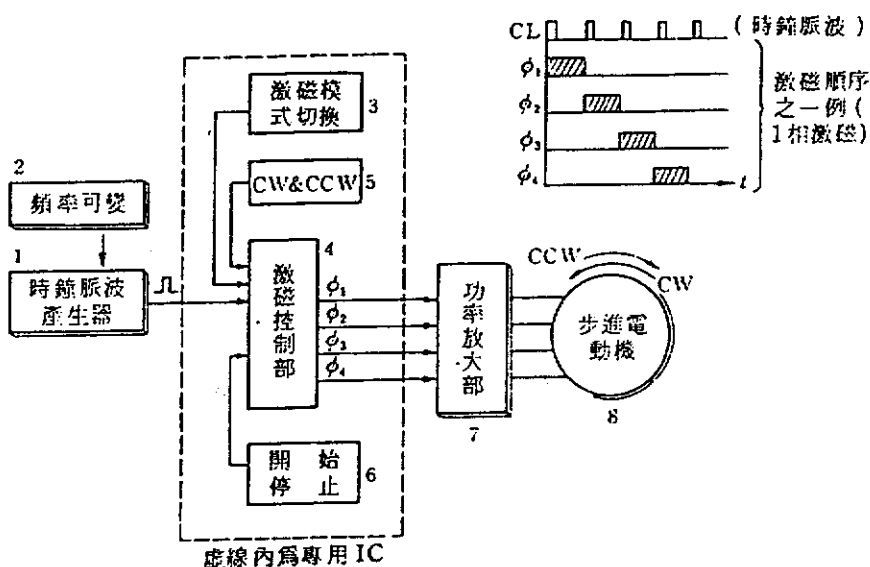


圖 5-15 驅動電路的方塊圖 [24]

以上為各部的主要作用，其 1 相激磁時每次輸入時鐘脈波， $\phi_1 \sim \phi_4$ 次順次偏移而回到 ϕ_1 ，其次便順序作此種反覆動作。雖然市面出售的專用 IC 有各種的種類，但基本上均可形成如前述的方塊構造。因方塊之構造都是內藏電力電晶體，因此使用十分容易。但步進馬達的功率不太大，一般使用者均需重作功率的設計。

由以上可知為了轉動步進馬達，必須要有驅動電路；而驅動用 IC 已有多家公司出售，為了試驗之選擇，於此我們提列幾種步進馬達的驅動用 IC 以為參考。

1. #8713

#8713 為三洋電器（日本），富士通出售的步進馬達用於作激發信號的 CMOS-IC。

此種 IC 根據激磁模式來切換端子，共有六種激磁方式（三相或四相電動機的一相激磁，二相激磁，1-2 相激磁）。而電源電壓的範圍廣泛，調變時會有高雜訊的產生。

驅動用的信號能選擇二輸入端子的方式（CW: 表示右轉輸入，CCW: 表示左轉輸入）與一輸入端子的方式（脈波輸入，迴轉方向輸入）。圖 5-16 表示利用 8713 的電動機驅動電路例。

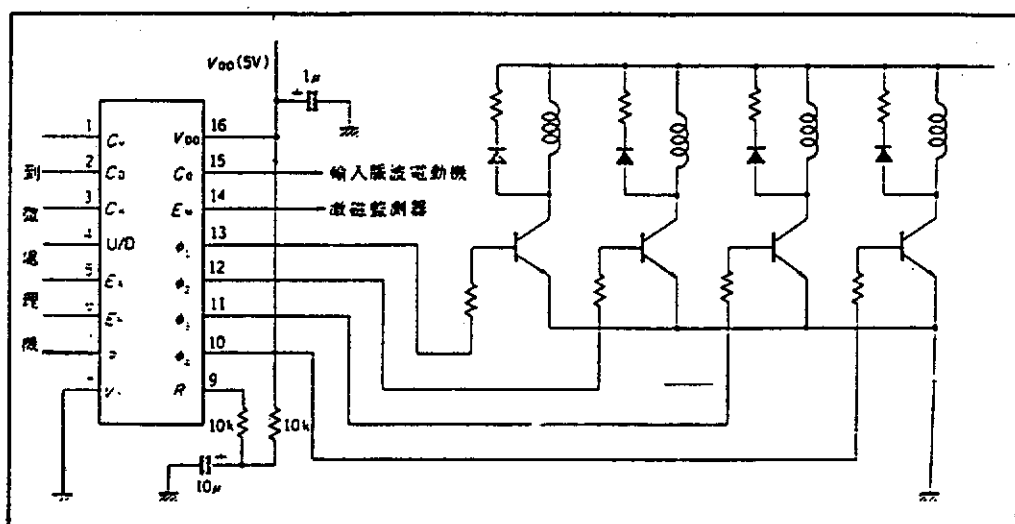


圖 5-16 8713 的電動機驅動電路例 [24]

2. PBL3717

PBL3717 由瑞典的 RIFA 公司發售，為控制雙極步進馬達的線圈電流；雙極性單晶片 IC。

此種 IC 與 LS.TTL 或微處理機電路很容易地經界面連接在一起，線圈電流依據二位元的方式輸入，因此我們能控制輸入電流。（檢出 IQ 的電阻，需將指令設定為 0,80,250,420mA）。

圖 5-17 表示步進馬達的驅動電路例。

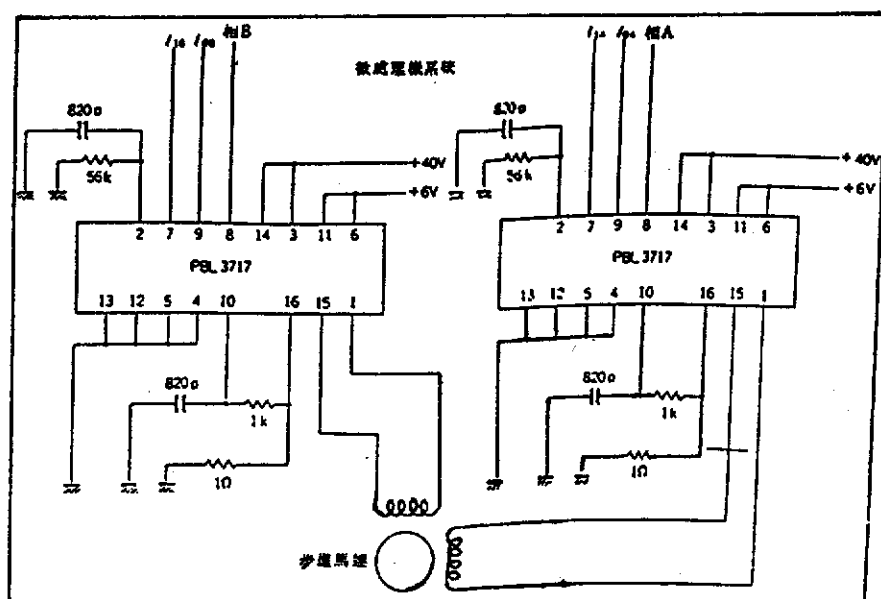


圖 5-17 利用 PBL3717 的雙極運轉電路 [24]

3. L297, L298

L297, L298 為意大利的 SGS 公司所出售的步進馬達控制用 IC。

L297 乃是利用微算機控制於二相雙極步進馬達，或四相單極步進馬達等以產生驅動信號的 IC。L298 為推動四通道的一般用 IC。L297 的特徵有下列各種。

- (1) 能做一相，二相或 1~2 相激磁。
- (2) 能產生正逆轉的脈波。
- (3) 能設定電動機的電流。
- (4) 採用 PWM 截波電路，能控制線圈電流。

圖 5-18 表示使用 L297 與 L298 的二相雙極步進馬達驅動電路。此電路線圈電流能控制到 2.5A。

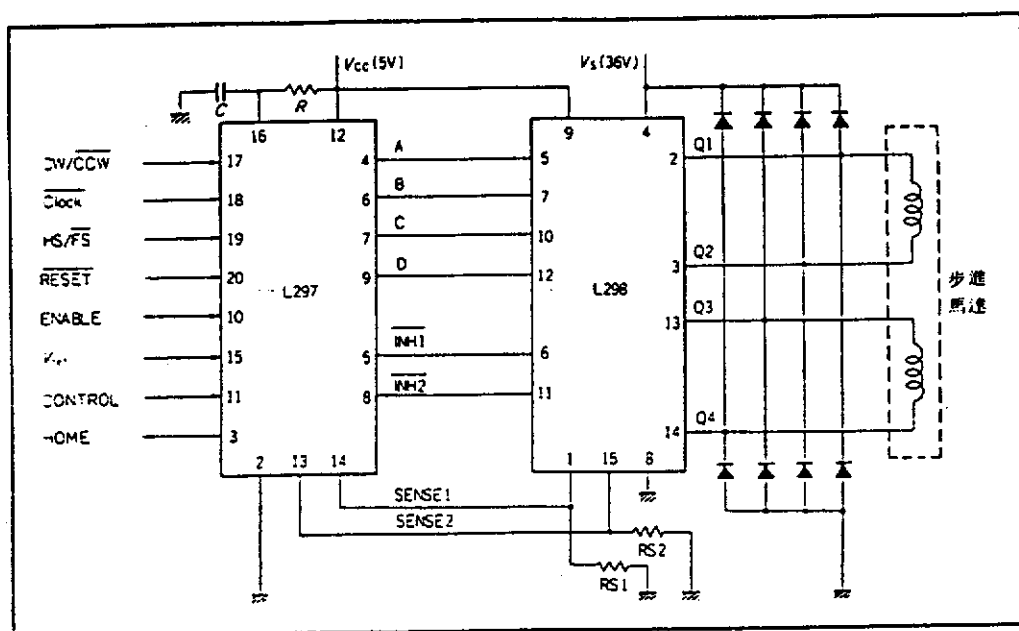


圖 5-18 利用 L297, L298 二相電動機雙極運轉電路 [24]

4. PPMC-101B, 102A, 201B, 202A

PPMC 系列為由安培爾公司出品的可程式化步進馬達控制用的 LSI。這些 LSI 使用於微算機動作系統上，由主 CPU 接受動作資訊，

以產生驅動信號給步進馬達。（脈波輸出加減速動作，激磁輸出加減速動作）。

PPMC 系列使用單晶片的 CPU 構成，做為微處理機的補助系統。這些 LSI 由主 CPU 供給資料，能產生下列所示的動作。

- (1) 電動機的種類（三相，四相，五相電動機）。
- (2) 激磁方式（三相，四相電動機為二相激磁，1~2 相激磁，五相電動機為 2~3 相激磁）。
- (3) 激磁輸出與邏輯位準。
- (4) 電動機起動速度，最高速度。
- (5) 加速，減速的斜率。
- (6) 電動機的動作方式，與迴轉方向。
- (7) 電動機的運動步數。

PPMC 系列的規格如表 5.3 所示。

5. 5 步進馬達控制介面設計

步進馬達既可用前述 IC 控制，應可使用微算機加以控制，方法是：

1. 微算機埠直接控制方式：

微算機埠直接控制方式為步進電動機的激磁控制部利用微算機替換，在這裏脈波的發生與分配用微算機來作。故驅動電路部的構成變得非常簡單，種種的激磁模式只要程式的變更就能得到對應。但相反地微算機的負擔只如此而已，CPU 為激磁控制部的脈波發生與分配所專有，若要附加其他的功能則較困難。

圖 5-19 為微算機埠直接控制方式的方塊圖。在此微算機的輸出埠直接連接功率電路，表示為了轉動電動機的構造。圖 5-20 表示微算機埠直接控制方式的具體性電路例。

在這裏功率放大部使用電晶體行列 TPP-4000，根據此步進電動機的激磁電流以及外加電壓有必要適當的使用區分。圖 5-21 為其驅動的流程表。

表 5.3 PPMC 的規格[25]

	PPMC-101B	PPMC-102A	PPMC-201B	PPMC-202A
速 度	50~500 pps ($f_0=12.5\text{kHz}$) 400~5000 pps ($f_0=100\text{kHz}$)	98~1250 pps ($f_0=25\text{kHz}$) 784~10kpps ($f_0=200\text{kHz}$)	16~13000 pps (脈波輸出加 減速動作) 16~1000 pps (加減速動作)	30~40 kpps (脈波輸出, 加 減速動作) 30~25 kpps (激磁輸出, 加 減速動作)
輸出脈波數	16,777,215		65,535	16,777,215
加減速方式	梯形、三角驅動			
指令動作	單步組			
	加減速動作			
	正逆方向, 限制開關, 定速動作			
	高速限制開關, 高速動作			
	基準點限制開關, 定速動作			
			只脈波輸出, 加減速動作	
			同步運轉	
停止指令	即時停止			
	減速停止			
狀 態 讀入指令	終了狀態			
	輸入信號狀態			
	殘餘脈波收			
激磁方式	三相電動機		二相激磁 一~二相激磁	
	四相電動機		二相激磁 一~二相激磁	
	五相電動機		二相激磁 二~三相激磁	
控制信號	脈波輸出信號			
	迴轉方向信號			
	電動機停止信號(HOLD信號)			
	動作終了時, 中斷信號(INT)			
資料信號	8 位元並列資料	步調同步式串列資料		
指令體系				ASCII 模式
				BINARY 模式
				PPMC-201 上位兼容模式
電 源	+5V \pm 5% 125 mA		5V \pm 5% 240 mA	5V \pm 10% 20mA

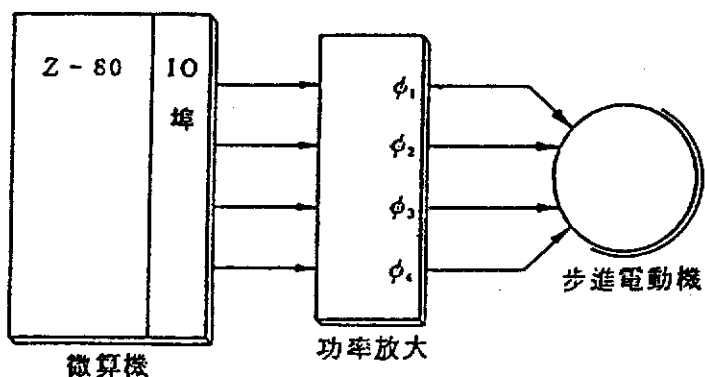


圖 5-19 微算機埠直接控制方式示意 [25]

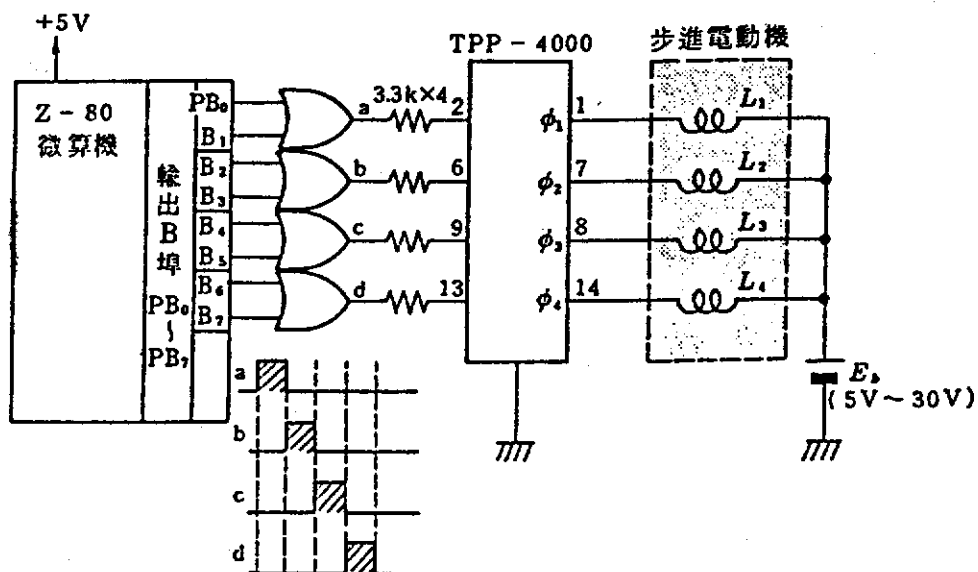


圖 5-20 微算機埠直接控制方式的電路例 [25]

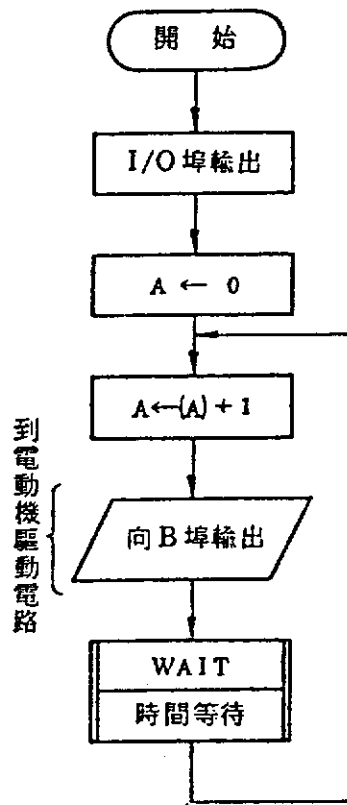


圖 5-21 激磁控制的流程表 [25]

2. 微算機埠間接控制方式

微算機埠間接控制方式激磁控制部用專用 IC 替換，與前之直接控制方式比較，CPU 的負擔可減輕許多。

因此微算機具有步進電動機的速度型式，位置的指示，以及中斷引起速度的變更功能等。若考慮種種的方法，舉一例為微算機與專用 IC 之間配設 D/A 轉換器，與 F/V 轉換器。

圖 5-22 為微算機埠間接控制方式的方塊圖。在此微算機的輸出埠連接 D/A 轉換器，據此並列資料變換為一連的類比電壓，而此種類比電壓輸入 V/F 轉換器，在此替換頻率的變化。由此前面連接專用 IC，其動作與前面的說明相同。

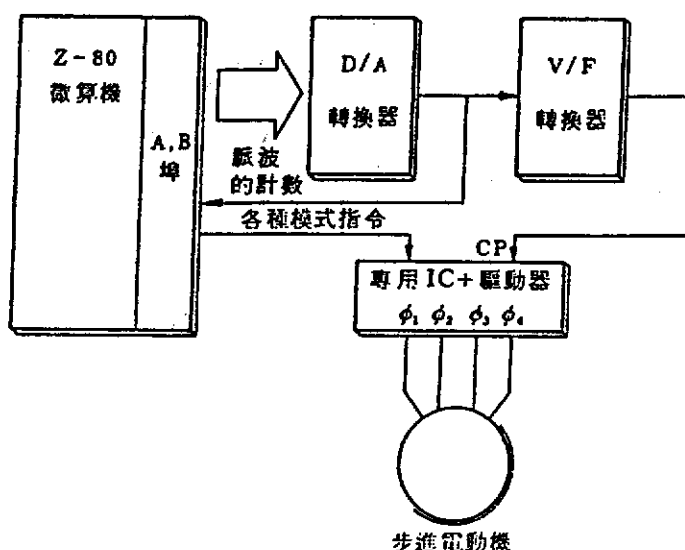


圖 5-22 微算機埠間接控制方式

5. 6 轉向伺服機構裝配

轉向伺服機構為步進馬達與方向桿間的合作關係，本節將詳述它們的關節。

1. 位置裝配

根據一般車輛，轉向系統的配置（如圖 5-23）；尋找可安裝步進馬達的地方。目前本研究選擇圖 5-23 中 A 點或 B 點。用簡圖表示如圖 5-24。倘在 A 部分改裝，其方法是將該軸部萬向接頭解開，套入齒輪，馬達可以齒輪鏈條或皮帶傳動力量。而倘在 B 部分的改裝如圖 5-25 所示，即將支架縮短其長度，而將露出來的外套筒切除一部分，露出心軸，改裝後帶動之。

2. 切換問題

本研究原本計畫在自動導航階段，能切換成自動駕駛，將手動功能停止作用，但礙於法規限制”在任何時段，皆不可使手動失去功能”。又為避免駕駛人干擾自動駕駛功能；因此擬改採用可傾斜型或可伸縮型方向桿，當處於自動導航階段時，即將方向盤推至不干擾駕駛人活動的位置，但於緊急狀況時，駕駛人仍可迅速的掌握方向盤加以控制。於自動駕駛結束後，將方向盤推至原來位置操控。這點在介紹方向桿時已提及。

圖 5-24 步進馬達與方向桿連接位置示意

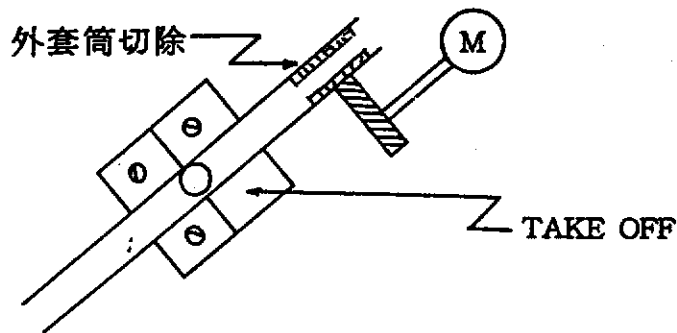


圖 5-25 步進馬達與方向桿銜接方式 (B點) 示意

3. 連接方法

方向桿軸心與步進馬達連接方式，有下列幾種方法：(1) 齒輪連結；(2) 鏈條連結；(3) 確動皮帶連結。茲說明如下：

(1). 齒輪連結：

使輪軸中心線左右平行，同時使齒輪嵌合的齒面間隙”齒隙”達到最適當的距離。齒隙的大小使用間隙指示量規來計測，調整距離。齒隙之最適當值的求法，可根據下列方式來求：

$$(\text{模數} \times 0.04) - 0.06 (\text{mm})$$

傳動效率就齒輪 1 段而言，平齒輪為 93~96%。若因裝配場所無法使輪軸平行，馬達軸與方向桿軸交合角度須確定，方可設定斜咬按合齒輪。這點視車種而定。

(2). 鏈條傳動

使用鏈條連結屬嵌合傳動，係鏈條與滑輪依凹凸狀的嵌合來傳達迴轉動力。其特徵為

- 不必潤滑油，也能構成良好的傳動裝置
- 量輕
- 傳動效率高
- 驅動噪音小
- 能在一定角度內迴轉

(3). 確動皮帶連結

確動皮帶 (timing belt)，與鏈條連結方式相同，但材料為附齒皮帶，其發展已到了能適用於相當大之場合的地步。特徵如下：

- 輸出入間能正確的傳動
- 轉軸載重小
- 不需調節
- 皮帶薄而輕
- 能緊密的構成
- 傳動效率高且穩定
- 適用的範圍廣
- 價格昂貴，又必須附有凹凸的滑輪

綜合分析下，使用齒輪雖精密度較高，但因目前僅為測試階段，齒輪製工不易，裝配也不容易達到要求，故本研究決定使用確動皮帶傳動。

4. 步進馬達之選用：

(1) 目標速度的設定：

到目標位置要有多少的時間，視工作件的移動速度，再檢討電動機輸出軸的轉速。轉速與脈波速度的關係如下式所示：

$$\text{脈波速度 (PPS)} = \frac{6 \times \text{轉速 (rpm)}}{\text{步級角}} \quad (\text{PPS})$$

(2) 求必要的運動轉矩：

為了轉動電動機所需的轉矩用下式來求：

$$\text{所需轉矩 } T = \text{負載轉矩 } T_L + \text{加速慣性體的轉矩 } T_a$$

(a) T_L 的求法

起動電動機時，對抗必要摩擦轉矩的轉矩，使用彈簧秤實測來求

$$T_L = \frac{\text{滑輪直徑 (cm)}}{2} \times \text{彈簧秤的刻度 (kg} \cdot \text{cm)}$$

(b) T_a 的求法

慣性為欲移動物體時，以及停止時，摩擦力另外所需之力，慣性力（轉動慣量）的表示法，步進電動機一般使用 $J(\text{kg} \cdot \text{cm}^2)$ ，即

$$I[\text{kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^2] = \frac{J[\text{kg} \cdot \text{cm}^2]}{g} = \frac{D^2[\text{kg} \cdot \text{cm}^2]}{4}$$

其中 D^2 為飛輪效應， g 為重力加速度 $980.7(\text{cm/s})^2$
於是

$$T_a = \frac{\text{驅動部分的轉動慣量 (kg} \cdot \text{cm}^2)}{980.7} \times \frac{3.14 \times \text{步級角}}{180} \times \frac{\text{電動機希望的脈波速度 (PPS)}}{\text{加速時間}} (\text{kg} \cdot \text{cm}^2)$$

(3) 確認：

由前示選擇電動機通常要取 1.5~2 倍的裕度，決定後須再度確認下式所需的轉矩 T 是否符合要求：

$$\begin{aligned}
 \text{所需轉矩 (T)} = & \left(\frac{\text{驅動部分的轉動慣量 (kg} \cdot \text{cm}^2)}{980.7} \right. \\
 & + \frac{\text{轉子的轉動慣量 (kg} \cdot \text{cm}^2)}{980.7} \left. \right) \\
 & \times \frac{3.14 \times \text{步進角 (}^\circ)}{180} \\
 & \times \frac{\text{電動機希望的脈波速度 (PPS)}}{\text{加速時間 (s)}} \\
 & + \text{負載轉矩 (T}_L\text{) (kg} \cdot \text{cm)}
 \end{aligned}$$

5. 7 導向控制試驗結語

導向控制試驗在此只提出架構，因時間、經費尚只能做小規模或可行性的組合搭配分析，尚無法測試其偏誤大小及時差問題以便瞭解該確實的癥結所在，以及待克服的層面。不過，在工作之間，至此大致已可認知導向技術上有那些較重要的關鍵技術，而其軟體應從何著手，變數又是什麼，將在後面的章節及綜合篇中再綜理之。

第六章 施行的技術關鍵問題

在 ADVANCE-F 的連動式導控系統中，包括速率控制組及導向控制組，各有車輛內控機構和外控機構所成，研發規模十分龐大，它將結合車輛工程、通訊工程、光電工程及電子電路等技術，只要經費獲得支援，預期3-4 年內可完成雛形 (prototype) 測試，若能市場化將為交控系統帶來一個新紀元。雖然如此，我們也注意到一些重要的關鍵未在前面討論過，譬如：

1. 定速裝置的限制

目前定速裝置有兩項限制對施行技術十分關鍵：

- (1) 執行定速有最低速率限制：現行定速器都有最低執行速度之限制，一般多在 50KPH 以上。其主要原因是速率感測器與節氣門間的關係在低於 50KPH 不夠穩定準確。過去我們所能實現的自動控制理論一直是 PID 式 (proportional integral differential)(3)：

$$U = K_p \left\{ (X - X_0) + \frac{1}{T_i} \int (X - X_0) dt + T_D \frac{d}{dt} (X - X_0) \right\}$$

其中：U 為輸出值(如轉速)
K_p 為比例增益
T_i 為積分時間
T_D 為微分時間
X₀ 為設定值
X 為實際值

也就是說一直採線性比例式，因此有使用限制範圍。根據裕隆汽車工程中心指出，這種問題再2-3 年內就可解決，由於近代控制理論發展，電子器件愈來愈小，功能愈來愈強，相互作用下採適應性 (Adaptive) 的方式就愈可能，目前 Fuzzy 理論之應用在嘗試中。屆時若 ADVANCE-F 萬一出現低速控制也無問題。

- (2) 定速中減速並未能啟動剎車系統：根據車輛設計的相關法規，剎車系統必須是駕駛自主行為不可以採自動式。在 ADVANCE-F 的系統設計，為安全計，控制器有緊急減速功能是必須的，較大梯度的減速要靠剎車系統之啟動方能達成，因此，法規之修定變成了關鍵。事實上，已有許多防撞感測系統在開發，若要施行同樣也須修改法令。

2. 車輛自我檢測能力與技術

在近代的汽車工業，車輛自我檢測能力已逐漸提升，電子技術應用於機械上亦趨成熟。再過數年，ADVANCE-F 所要求的檢測訊息將不是困難的。

3. 車輛縱向及側向感測器等周邊設備

車輛側向縱向感測系統已在學界及工業界研究開發，同時也有很好的成果報告。這些對 ADVANCE-F 幫助極大。

4. ECU 的環境問題

ADVANCE-F 中不管是車輛上，或路邊的裝置，ECU 都處於惡劣的環境，要抗高溫、濕度變化大、振動劇烈、遭受水塵油的污染、非相干磁場干擾及可能發生電壓湧浪（雷電擊等）。因此如何加強保護 ECU 的壽命提高可靠度也是主要課題。許多汽車公司同樣在努力著。他們預測近年就可解決這種問題。[3]

5. 工作誤差校準問題

儘管採用高精密度的東西，仍然存在有相當的誤差，當然 ADVANCE-F 的設計不能完全使用高精密度的，因為成本太昂貴不能市場化。那麼萬一發生某一車速偵測有了誤差，前輪校對不準，或有導標裝置角度偏誤，是否產生危險？答案是否定的，因為一切都要以閉環路伺服機體（Closed-loop Servomechanism）來處理，有自我診斷的能力，在自動控制裝置裡稱為回饋。回饋是為了下一次執行的比對及

修正，當然每一工作的最大誤差標準是需要研訂的，基本上大部份以現代電子及汽車工業水準的標準也就足夠。

6. 致動器遲延影響程度

致動器遲延是電動機最原始的問題，原因多半是馬達起動到穩定轉速要一段時間，機械起動所需要的扭力通常比穩定時要大許多，還有電壓不穩定也會造成，當然機械構造及電路設計有絕對的關聯。在 ADVANCE-F 裡最重要的兩個致動器(1) 節氣門致動器馬達(2) 轉向致動器馬達它們都是步進式馬達（正式的應以伺服馬達為主，但價錢稍高些），其機械能工作目的與一般起動馬達不同，並不需要大扭力及很高的穩定轉速下才工作，只要在小扭力完成約定轉角就可以，當然在控制軟體設計時須先瞭解所使用馬達的特性極其重要。其次，導控道路並非允許剛啟動的車輛立即上路，因此電壓問題應有內控檢查，電路穩壓器的使用顯然有其必要。

諸此，以現代的技術及細密的設計和器材選擇，電子與機械間的時差已漸克服。

7. 道路工程標準問題

或許需要知道以目前的道路設計標準能否使用 ADVANCE-F，就路面及幾何設計而言，路面問題很小，曲線問題比較要研究。從機械行為來看，起動到穩定期短時距下可以是線性的，也就是說一次時間微分為常數，所以道路曲線設計需要一段漸曲線且為二次拋物線是合適的，以現行道路設計規範高速公路是絕對可以使用 ADVANCE-F。但不管如何，致動反應時間要能駕御車速為設計第一原則。

參考文獻

1. 張堂賢，"自動導航公路系統 ADVANCE-F 之研究發展與施行的相關問題"，運輸，第 12 期，中華民國運輸學會，民國 80 年 6 月。
2. 黃晴裕，"VAL 中運量系統控制結構"，捷運技術，第 4 期，台北市政府捷運工程局，民國 80 年 2 月。

3. 志賀擴，水谷集治（黃晴裕、賴耿陽譯）"汽車電子電腦控制技術"，正工出版社，民國80年3月。
4. 黃靖雄，"汽車學（四）汽車電學篇"，正工出版社，民國79年9月。
5. "科學教授：無線電"，牛頓出版股份有限公司，民國78年9月。
6. Peter Buban & Marshall L. schmiff（張繼石譯），"Understanding Electricity And Electronics"，開發圖書公司，民國67年5月。
7. Robert Boylestad & Louis Nashelsky，（葉秋塗、顧石龍譯）"Electronic Devices And circuit Theory"，開發圖書公司，民國72年5月。
8. 黃靖雄、林永憲，"汽車原理"，全華科技圖書股份有限公司，76年。
9. W.M.Humphrey，（陳浩勇譯），"Introduction to Servomechanism System Design"，科技圖書公司，80年3月。
10. 莊政義，"自動控制"，大中國圖書公司，民國79年6月。
11. 施敏，"無線電控制裝置"，華聯出版社，民國71年。
12. 黃連進，"A/D D/A 實驗卡使用手冊"，儒林出版社，民國77年8月初版。
13. 黃連進，"PC 多功能實驗卡"，行政院新聞局版，民國77年3月三版。
14. 王政友，"無線電遙控電路專集"，無線電昇雜誌社，民國80年12月5版。
15. 周樹民，"高級無線電控制"，徐氏基金會出版。
16. 賴耿陽，"工業測試偵察器"，復漢出版社。
17. 胡錦標，"精密光電技術"，高立圖書有限公司出版。
18. 王明燦，"感測電路與微電腦介面"，全華科技圖書股份有限公司。
19. 余合興，"光電子學原理及應用"，中央圖書出版社出版。
20. 江明崇，"感測與轉換器"，全華科技圖書股份有限公司。
21. 姜至旦、潘正評，"汽車承載、轉向定位與剎車系統"，徐氏基金會，民國69年3月。
22. 張洪欣，"汽車設計"，科技圖書公司，民國80年9月。
23. 吳克強，"控制系統與控制電動機選擇法、使用法"，文笙書局，民國79年3月。
24. 許中平、黃煌嘉，"控制用電動機應用"，全華科技圖書股份有限公司，民國76年4月。

25. 許中平、劉錦坤，" 控制用電動機應用（續篇）"，全華科技圖書股份有限公司，民國76年4月。
26. 許中平、孫忠義，" 簡易步進電動機應用"，全華科技圖書股份有限公司，民國78年12月。
27. 許溢適，" 步進馬達原理與應用"，全華科技圖書股份有限公司，民國80年7月。
28. 許溢適，" 精密小型電動機的基礎及應用"，五南圖書股份有限公司，民國71年9月。
29. 黃煌嘉、許中平、陳仲奎，" 小型電動機選擇與使用"，全華科技圖書股份有限公司，民國75年8月。

第參部份 交通篇

自動導航公路系統發展主要應用於無阻斷性設施 (Uninterrupted Flow Facilities) 之高速公路。一般高速公路之道路設計標準如表 0.1 所示。自動導航公路系統 ADVANCE-F 將可相容。基本上，ADVANCE-F 之實施，以現實狀況單方向至少兩個車道，初步實行內側車道作為導航車道，外側車道仍為一般車道，導航車可於導航階段須在內車道方有效，離開導航車道則即失效。非導航車非緊急狀況不得使用導航車道。實際上，導航車道之寬度反可略狹 0.5 公尺，即 3.25 公尺，剩餘的可作為導航車道與非導航車道之界線。ADVANCE-F 在交通作業上之設計為開放式管制系統 (Open Enroute Control System)，理論上車輛可隨時自由進出此系統，通常在交流道附近會有較多的車流併入 (Merging) 及分出 (Diverging) 導航車道，也即系統之導航註冊及導航解除之階段。本篇前段主要在探討單車道導航 (內側車道為導航車道) 之註冊、行進及解除之行動模式，最後談複線導航及其他交通問題。

表 0.1 中山高速公路路線及結構設計標準

1. 設計速率：	平原區	120公里/小時
	丘陵區	100公里/小時
2. 最大縱坡：	平原區	3%
	丘陵區	5%
3. 路基寬度：	四車道	28.0公尺
	六車道	35.5公尺
	八車道	43.0公尺
4. 車道寬度：		3.75公尺
5. 路肩寬度：	內側 1.00公尺	外側 3.00公尺
6. 結構載重：	H20 - S16	— 牽引車 20噸 (18.1公噸)
		拖車 16噸 (14.5公噸)

第一章 註冊行動模式

1. 1 註冊行動 (Registration)

導航車輛經由交流道進入高速公路之一般車道（專用車道除外），隨即進行「註冊行動」。「註冊行動」為具有導航功能車輛之駕駛者決定接受交通控制中心之導控後，啟動導航開關，進行一連串之檢驗動作及交控中心確認無誤，直到駛入專用車道完全交由路旁區域控制器導控之行動。

註冊行動依作業程序又可分為「登錄作業」(Record Operation) 及「車道確認」(Lane Recognition) 二步驟，如圖 1-1。登錄作業主要動作為：

- (1) 車輛性能自我檢測。
- (2) 導航車道車流狀況檢核。
- (3) 車輛密碼及給予代碼傳輸。
- (4) 預定目的地或交流道宣告。

導航車輛主要係以鍵盤及功能開關經車上訊號發射器（頻道 A1）與中央控制中心之電腦聯絡，登錄作業首先啟動導航開關（或功能鍵）進行車輛自我檢測，包括檢查車輛機件、性能、燃料、油壓及水溫等，車輛訊號發射器(A1)即傳出車輛密碼及車況資料，經路旁訊號接收器傳至中央控制電腦，由中央控制中心確認為導航車且車況檢測合格，中央控制中心偵知導航車道未達飽和且臨近此預備導航車輛之車流將有較大車間空程（gap > 3 sec）後，中控電腦發射傳訊（頻道 A2）予車上通訊系統接收並顯示於顯示幕或語音播出，此時要求駕駛者輸入欲達目的地或出口交流道代碼，經由 A1 回傳中央控制中心，中控中心再一次確認後，中控電腦將可予此導航車輛一個通訊代碼(Registered Code) 自動讀進車輛記憶裝置，作為導航通訊識別及計費之用；中控電腦同時會通知駕駛人(A2)同意接受導控及相關續進訊息（如：進入行動、車速指示等），並且將控制權移入區域電腦控制器(Local Controller)，此後車輛便一直發射代碼及車況資料訊號出去（頻道 B1），即完成登錄作業。若在檢測階段認為車況不佳，則透過頻道 A2 以車上通訊及顯示系統通知駕駛人不予導航及禁止進入導航車道或其他訊息，（如：車況資料顯示）。

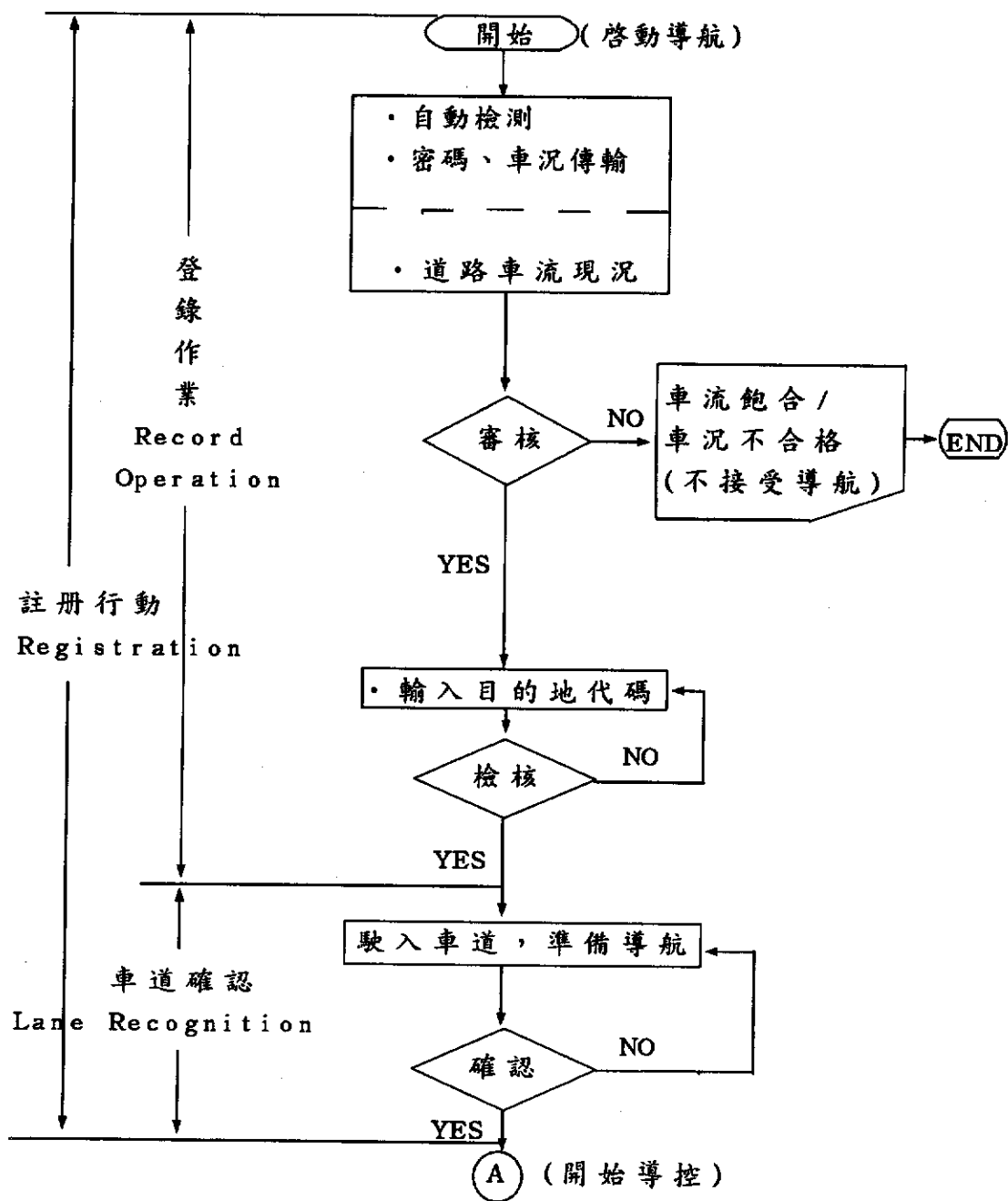


圖 1-1 註冊行動作業流程圖

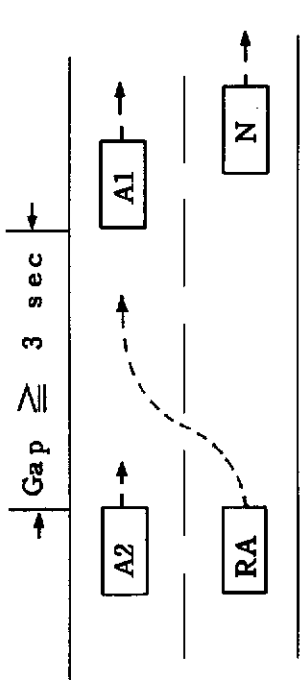
車輛完成登錄後之緩衝續進時間，依中控中心指示訊息採取由一般車道移動變換至導航專用車道，即駕駛者考慮足夠之車間空程(Gap Acceptance)，旋轉方向盤進行變換車道，待導航車阻斷且收到車道邊導標訊息並送出(B1)所在導標碼後，區域控制器收到訊號即確認此車已完成註冊行動進入導航行進階段。

1. 2 註冊行動車流行為

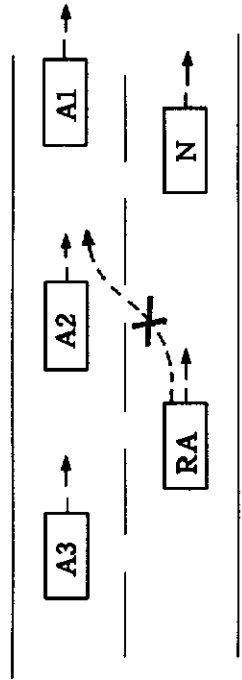
由前 1. 1 節所述之註冊行動分為二步驟，其中登錄作業主要為預備導航車輛（在非導航車道）與中央交控中心之傳輸、檢測動作，屬於車內行為，其車流行為與一般狀況相同，故對道路車流未有任何改變及產生任何影響。

當中央控制中心判斷導航車道未達飽和狀況，且臨近此預備導控車輛之車流將有較大之車間空程，即指示車輛變換車道進入導航車道，此時產生了匯流(Merge)行為。若導航車道業已飽和，則無法再進入導航車道亦無干擾車流產生。參見圖 1-2 之示意圖。

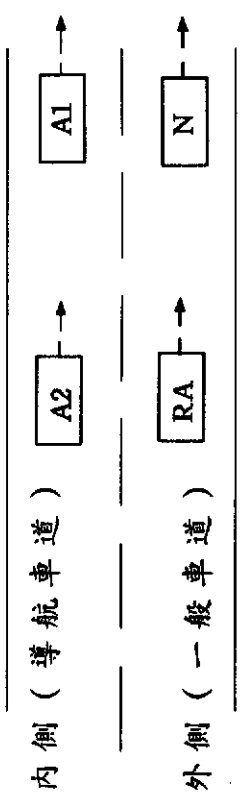
因為大部份駕駛人所需最短行進間距約為 1.5 秒，同時在完成必要的變換車道運行後，每車的前方須仍保有 1.5 秒的行車間距方屬安全。換言之：即準備進行變換車道的車輛，所應考慮車間空程長度至少應為 3 秒。故本系統考慮之預備導航車輛欲轉入導航車道之可接受間距為 3 秒，若無大於 3 秒之間距視為車輛無法進入，中控中心將傳訊(A2)建議駕駛者暫時禁止併入。



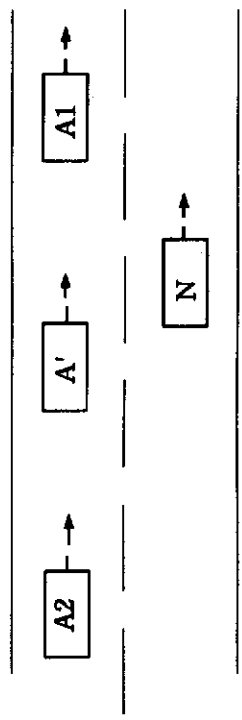
(b) 併入導航車專用道



(d) 無法併入之車流行為



(a) 登錄作業之車流行為



(c) 完全併入後車流

A : Auto-Drive
RA : Ready Auto-Drive
N : Nonauto-Drive

圖 1-2 註冊行動之車流行為：

1. 3 註冊行動行為管制

由圖1-1 之註冊行動流程及前節所述內容知，高速公路為一自由進出之公路，但為了保持全盤的行車安全及運行效率，對於進入導航車道將加以管制，其行為管制要點為：

1. 非導航車輛禁止進入：為確保全盤的行車安全，受導航之車輛必須使用專用車道，並且由控制中心及區域控制器來管制運行，而非導航車係依駕駛者個人判斷來操作，速率較無法一致且常有超車及變換車道之行爲，對於穩定速率之導航車流干擾頗大且減低安全性及運行效率，故應對非導航車加以禁止進入（實施初期此種限制僅是消極的策略）。
2. 檢測不合格之導航車禁止進入：檢測不合格之車輛極具危險性，不僅無法安全導控，亦可能於行駛途中發生意外事件，雖然有各種感測系統，但行車規章須明確禁止不良車輛硬行進入。
3. 車道流量飽和時不允許進入：如前1. 2節所述，中央控制中心判斷目前車流狀況，若車道已達飽和或無理想可接受間距($\text{Gap} \geq 3 \text{ sec}$) 則不允車輛進入。
4. 必須於外側車道進行註冊行動：此管制主要目的在避免強行進入導航車道再註冊，造成干擾及不安全，實為前三項管制要點之基礎前提。

第二章 導航行進模式

2. 1 導航行動 (Auto-Driving)

導航車輛完成註冊行動後進入導航車道，車道邊導標測得車輛，車輛亦接收到導標碼，在控制器比對下，即開始對車輛進行導控，進入了導航行動階段。

導控行動乃基於安全及效率運行考慮，其基本概在維持導航車輛一定之速率及行進間距 (Headway)，車輛行駛其中自然成為均勻流 (Uniformed Flow) 及車隊 (Platoon) 情況，以此運行操作方式鎖定間距即可增加道路容量。

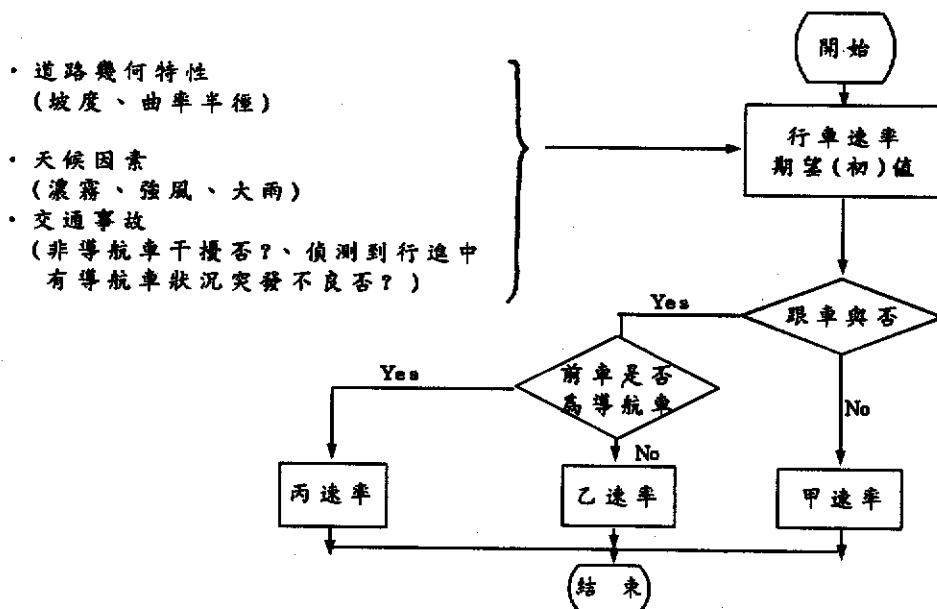
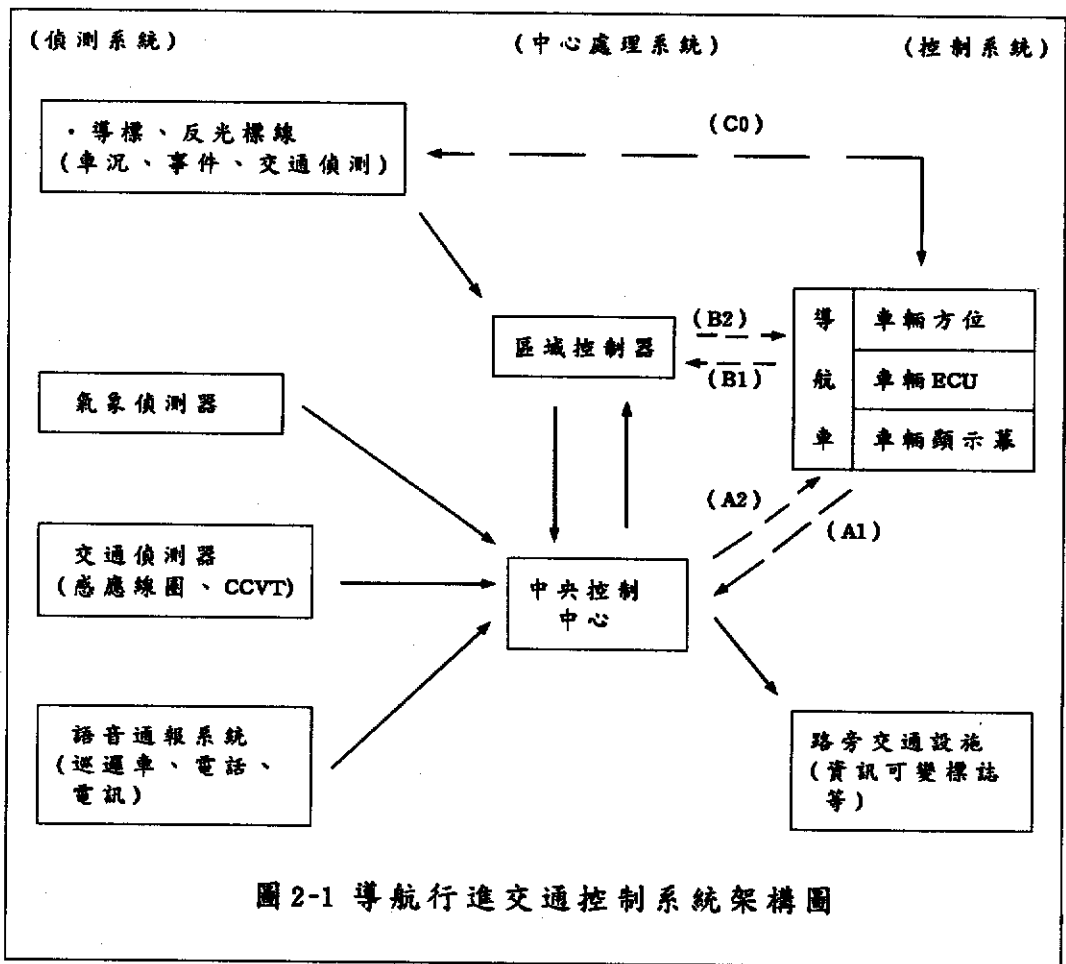
導航行進之交通控制系統架構如圖 2-1 所示，依其控制及運行可分為三部份：(1) 方向控制 (2) 速率控制 (3) 其他交通管理或服務。

1. 方向控制

導航車輛之方向控制與區域控制器無關，導向動作主要係由車輛前方導標電波接收器及感應器對於導航車道路邊和路面裝置（導標及反光標線）之感應，由其感應之反射再經伺服機調整車輛本身動力方向盤偏角以達方向修正目的。（詳細內容可參閱第二部份之導向控制技術）。

2. 速率控制

速率控制為導航控制的重點，導航車道之車輛在一般理想情形下係以一期望行駛速率行車，影響此一預定速率因素有 (1) 道路幾何特性 (2) 天候因素 (3) 交通事件。而自動導航功能可免除人為操作疲勞疏忽之意外，並將天候、地形等不利車行因素減至最低。惟對於車流運行中是否形成車隊及是否受到非導航車干擾，將影響速率甚大。圖 2-2 為導航行進之速率決定流程圖。



今依不同速率決定分述之：

(1) 甲速率：

導控車輛為非跟車類型，不論其是否為車隊之前導車 (Leader)，此時導控車之速率可依其預設目標值加以調整，當然，此一預設值係由中央控制中心考慮道路幾何特性，天候因素及交通現況等而調整決定之理想速率 V_i ，再交由區域控制器傳控。目前國內高速公路設計速率為 120km/hr，故此值即為導控車速在理想狀況下之最大值。

(2) 乙速率

此速率係指當形成車隊 (Platoon) 時，導控車之前車 (Leading Car) 為非導控車之速率決定。ADVANCE-F 系統並不希望有非導航車輛進入干擾，但若有此情形產生即應採行此一速率法則。(i) 若非導航車車速高而未造成後車跟隨成車隊，後車之導航速率以甲速率處理；(ii) 但當導航車速受前面非導航車所阻，其速率決定應以同時所需保持之行車間距衡量，由其所需距離長短調整其速率。

一般合理的臨界行車間距計算公式為：

$$H_c = T + \frac{\Delta \mu}{3.6 R}$$

式中， H_c = 臨界行車間距 (秒)

T = 反應時間 (秒)

R = 緊急剎車減速率 (公尺/秒²)

$\Delta \mu$ = 後車對前車之速差

此式說明了：當跟車速率較前導車快時，($\Delta \mu$ 為正)，所要保持之行車間距 (sec)，比前車速率較快時 ($\Delta \mu$ 為負) 還大；若前車與跟車速率相同時，則所需之臨界間距，將只需取決於跟車之反應時間。事實上前式忽略了車長 L 。

在實際運作時，既然前導車車速小於 V_i ，跟車車速即只能以前導車同速 V_0 ，所以車距 (Spacing) S_0 應保持為

$$S_0 = L + TV_0$$

此時 T 為制動時間(Sensor → CPU → Actuator, SCA 秒)，然控制器對非導航車之行爲不易掌握，爲安全起見，此時行車間距應採用較大的反應制動時間。圖 2-3 中，B 線顯示人爲駕駛四車道公路之內側車道，車速 90 KPH 時，最低行車間距爲 1.9sec，假設導航車制動反應時間爲 0.5 sec，則速率之安全間距時間應在 0.5 - 1.9 秒間。至於確實應多少？尚待進一步研究安全因子 (Safety Factor, FS) 問題（涉及機率理論）。

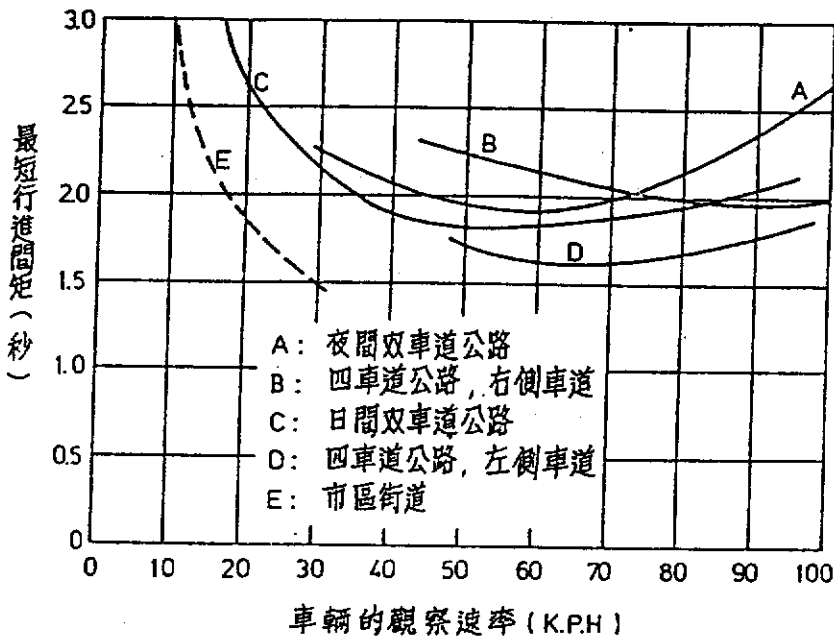


圖 2-3 在各式公路和速率下平均最短行進時間〔2〕

今若假設：

- P 爲 4m(一般小汽車平均專長)
- T 取爲 0.5 秒 (一般人的反應 PIEV)
- 時間介於 0.2 - 2 秒， T 值未來將視裝備 Sensor、CPU、actuator 而決定。
- 理想狀況下前車與後車速率相同

表 2-1 及圖 2-4 說明了在不同反應制動時間 T 值下之安全間距與速率關係。車流中當速率增加 10 KPH 時， T 值為 0.5(FS=1.0)、0.7(FS=1.4)、1.0(FS=2.0) 下之安全間距皆減少 0.02 sec，即在相同車速之下，其安全間距恰隨著反應制動時間(T 值)變化而呈等量變化。

表 2.1 不同 T 值下安全間距與速率關係表

速率(KPH)	70			80			90			100		
T (sec)	0.5 FS=1.0	0.7 FS=1.4	1.0 FS=2.0	0.5 FS=1.0	0.7 FS=1.4	1.0 FS=2.0	0.5 FS=1.0	0.7 FS=1.4	1.0 FS=2.0	0.5 FS=1.0	0.7 FS=1.4	1.0 FS=2.0
S (m)	13.7	17.6	23.4	15.1	19.6	26.2	16.5	21.5	29	17.9	23.4	31.8
S (sec)	0.7	0.9	1.2	0.68	0.88	1.18	0.66	0.86	1.16	0.64	0.84	1.14

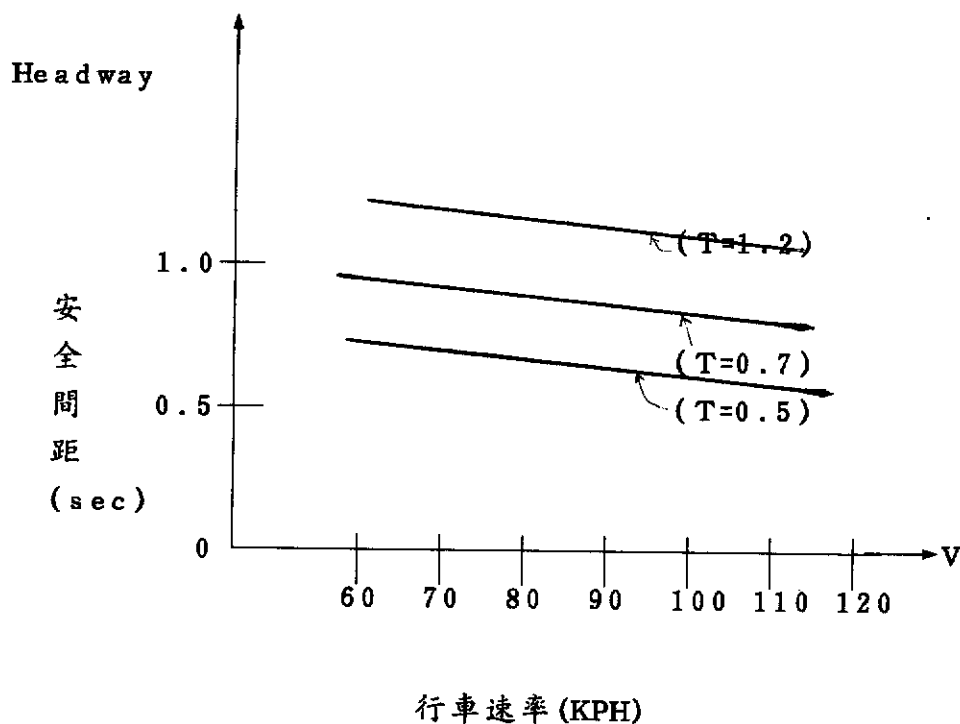


圖 2-4 不同 T 值下安全間距與速率關係圖

(3) 丙速率

當導航車輛形成車隊時，跟隨之導航車速率決定於前導車速率及前後車命令處理時差 T 。ADVANCE-F 期望以定速及定間距來提高運行能量，因跟隨車速與前導車車速一致，而前導車車速為甲速率決定方式，即由中央控制中心考量道路幾何特性、天候、交通現況而決定之最大速率。故重點便在於車輛間之安全間距。

依據跟車理論，假設前車與後車車速相等，且兩車制車能力相同，則安全間距以下式表示：

$$S = L + tV$$

式中， L = 前車有效車長

V = 車速

t = 命令處理時差(秒)

上式決定 S ，主要是依 t 值，因 t 值極微小，故 tV 幾乎可以忽略而以一常數代替，建議數為 $\max(0.1 \times 7L, 0.1 \times 9L) = (2.8, 3.6) \div 3.6\text{m}$ 但因駕駛人可能產生心理不安，故取 $FS=2.0$ ，即 $3.6 \times 2 = 7.2 \text{ m}$ ，因此在導控之下，車間程大致為 11.2 m ，若以作業極速定為 90KPH 計算，即是 0.448 sec 。

3. 其他交通管理或服務

交通管理或服務是指導航車道除導向及導速控制外，一般化之交通管理及服務設備，可略分為事件偵測及駕駛資訊系統：

(1) 事件偵測

交通事故包括事前預知者，如道路施工及養護，以及事後偵知者；如交通事故、天然災害與車輛故障等。事件偵測主要係對後者而言。偵測方式包括：

a. 車輛偵測：

導航車道沿車道邊每一段距離(2 - 5 m)設置之紅外線導標為最佳之車輛偵測器，控制器於比對導標發出的紅外線受阻訊號及同時接收車輛發射的車輛代碼及所接收導標碼及車況資料可確立車輛位置及其速率。若偵測出紅外線受阻斷卻接收不到 B1 送出的導標碼及車輛代碼，則可判定為非導航車輛，即刻採取驅離措施，方式可為以路旁 CCTV 攝影機傳送該車號並顯示於可變標誌警示，若經數次未獲駛離，將逕行違規告發。

若導標紅外線受阻斷且此物體不發生位移即判定有事故發生，或中心人員由 CCTV 發現事故均立即採取緊急事件處理措施及交通管制。另控制器接收之車況資料，當發現車況產生不合格或異常之檢驗訊息，而立即進入特殊事件管理，應通知交控中心採必要措施予以防患，同時也會給予駕駛者離開導航車道等訊息。

b. 口頭通報：

口頭通報是指事件相關人員以各種通訊方式向有關單位報告，如使用 A1 通訊（有導控功能車）路邊緊急電話、車上行動電話等（無導控功能車）向中央控制中心人員通報、巡邏車（直昇機）通報等。以克服偵測器所無法偵測之事件予詳實通報。中心將迅即處理並顯示於可變標誌及導航車內的資訊裝置。

c. 閉路電視(CCTV)

此為輔助性設施，在閉路電視監視的範圍內，控制中心人員可直接由監視器(Monitor)觀察事件發生時間、地點、性質及影響，並可藉監視器觀察非導航車道之車流狀況，為一般高速公路在易肇事或交通瓶頸地帶經常裝置之設施。

d. 天候偵測：

主要偵測對象為影響行車安全的不良天候狀況，包括濃霧、大雨及強風、地震等，在各種情況下，中央控制中心為維持導航車道之安全性運行，必調整其最適速率。

(2) 駕駛資訊系統(Drive Information System)

駕駛人資訊系統主要是用來告知駕駛人高速公路前方之現況，甚至於駕駛人所欲前往地點之所有路途狀況，其所提供資訊必須有意義且具時效性，必要時尚須指示駕駛人改道或解除導控狀態。

ADVANCE-F 系統之導控車輛上裝備有與交控中心通訊之電腦顯示幕及語音通報，駕駛者可透過傳訊直接獲得必要之訊息及指示。另為提高行車安全並顧及非導控車輛之使用，在道路兩側尚須設有單一資訊標誌，可變資訊標誌，路邊無線電、電話等一般措施，透過這些路邊傳輸裝置，將訊息以聲音方式傳送，由車輛駕駛者以無線電接收器聽之、或直接以標誌顯示各種訊息，使駕駛者瞭解前方路況，促進車流順暢。

2. 2 車流行為

導航行進階段之車流行為主要在探討高速公路導控車流運行不受併入及分出影響之路段車流行為。本節首先探討導控車流特性，後談導控車流中非導控車輛對容量影響。

1. 車流特性

當車道未達飽和情況下，車道運行以車隊或個別導航車輛並存運行。當達飽和之理想狀況下，該導航車道完全為導航車輛，此時，可由中央控制中心以定速及安全行車間距操控運行，因此對於容量推估可依前節理論之安全行車間距公式推求，即

$$S = L + tV \approx \text{取 } 11.2 \text{ m}$$

於是可推求容量 (Q) 與速率 (V) 之關係，再由 $Q=VK$ 關係可得密度 K_0 ，其三者計算關係如表 2.2 所示。（高速公路目前速限為 60 KPH - 100KPH，故此推估亦以此範圍為限，即導航之車速上下限）。

將表 2-2 與一般之車流情形相比較（圖 2-5），導航車流之車流行為屬於強迫性車流並不同於一般車流情形，主要原因乃導航車道之控制原則為安全間距固定（在某速率下）且前後車輛速率一致，車與車間彼此並無干擾。這樣的控制使得容量概念亦不同於一般公路概念，而實相倣於 AGT 系統。另外表 2.2 之結果與 Steven[8] 的研究相差不多，如圖 2-6 所示。

表 2.2 導航車道基本容量——速率密度關係推估表

速率 V. (KPH)	60	70	80	90	100
headway S(sec)	0.672	0.576	0.504	0.448	0.4032
容量 Q (pcphpl)	5357 ≈ 5000	6250 ≈ 6000	7143 ≈ 7000	8036 ≈ 8000	8929 ≈ 9000
密度 k (VpK)	89	89	89	89	89

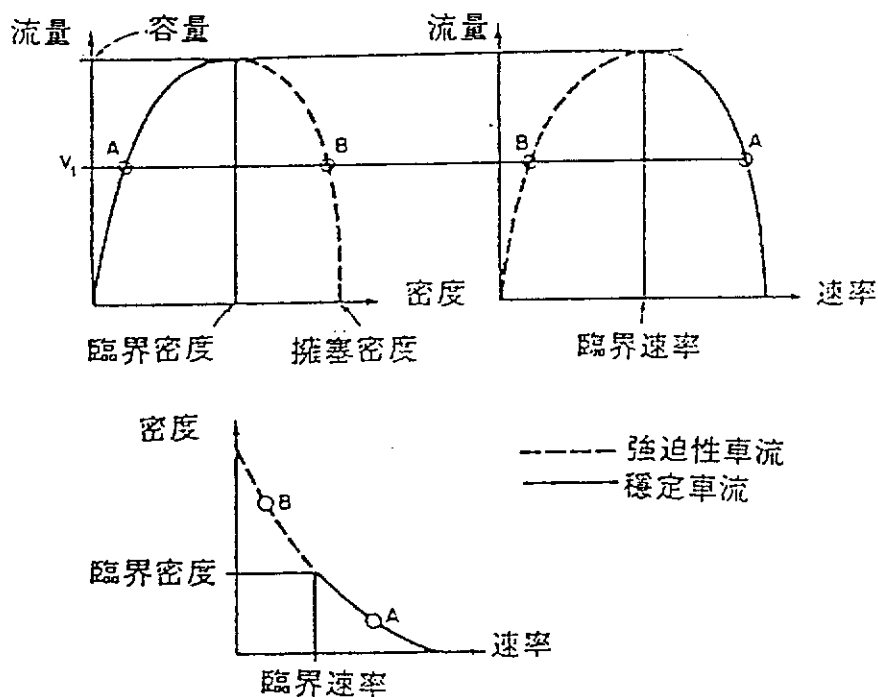


圖 2-5 流率——速率——密度關係圖
資料來源：美國 1985 年公路容量手冊

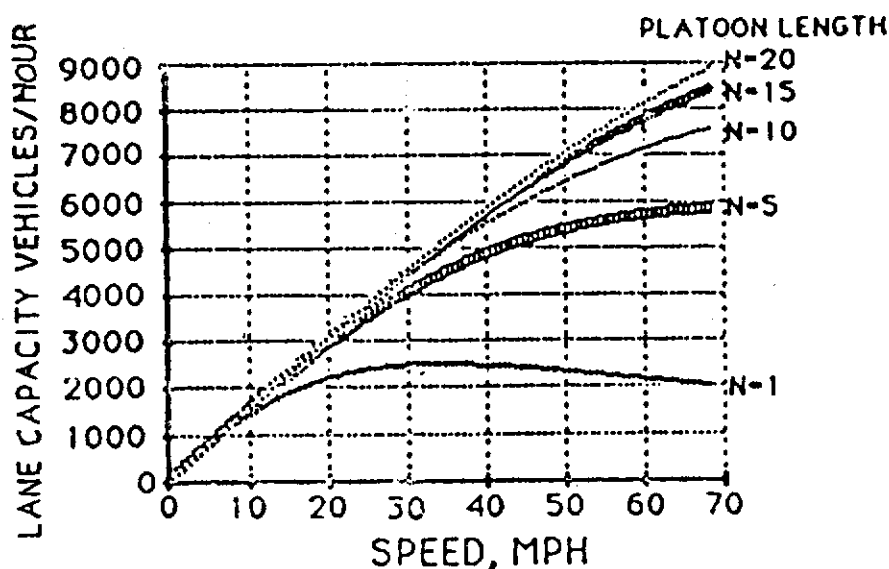


圖 2-6 AVCS 之車道容量 [8]

2. 非導航車進入導航車流影響

非導航車輛對導航車道影響主要原因是速率影響及變換車道行為影響。

(1) 速率影響

非導航車輛在其進入導航車道後，若其速率較導航車流速快，則其不易在此車道形成干擾。但若其以較低速率行駛，追隨其後車輛易形成車隊，且由於安全因素，導航車必須對其保持較長之安全間距，則此低速非導航車對於車流影響甚大，導航效率亦大減。

另一種情形為非導航車在導航專用車道內恣意地加速、減速變換頻仍，不僅造成車流不穩定且易生意外。

(2) 變換車道行為影響

非導航車併入 (Merge) 及分出 (Diverge) 導航車道情形類似導航車輛註冊及解除行動，但因其並非接受中控中心指示進出，雖車間空程能使駕駛者所接受，但其大小仍稍嫌不足時，造成強行擠壓，則不論對前行車輛或後隨車輛的正常操作運行，均將產

生某種程度的影響和干擾。又若非導航車輛強行併入或超車、變換車道行為頻率高，不僅干擾導航車流且易產生追撞情形。

導航車道車流由於非導航車之進入而導致運行效率減低，其車道之作業容量亦隨著非導航車比例增加而遞減。若車流運行速率平均為 90 KPH，導航車道容量約為 8000 pcuphpl，於是導航車道之作業容量將隨著非導航車數佔全車道數之比值增加而呈遞減現象，如表 2.3 所示，作業容量介於完全非導控(2000 pcuphpl)及完全導控(8000 pcuphpl)之間。

表 2.3 導航車數與容量之關係表

導航車比(α)	0%	20%	40%	60%	80%	100%
非導航車比(β)	100%	80%	60%	40%	20%	0%
作業容量 Q capacity (pcuphpl)	2000	3200	4400	5600	6800	8000

註： $Q = 2000(1-\alpha) + \alpha \cdot 8000$ (待進一步研究)

2. 3 其他相關管制

1. 速率管制

- (1) 最高速限與最低速限：導航行進之速率決定已於第 2. 1 節中詳述，即考慮了道路幾何特性、天候、跟車與否等因素調整其速率，若在完全理想狀況下未受任何干擾，車隊之作業極速採 90 KPH，但為促使結合成車隊，則可以公路最高速限 100km/hr 為預達之速率。
- (2) 最低速率：為了維持導航車道之服務水準，避免非導航車以低速行駛此車道干擾導控效率且造成資源浪費，除應將非導航車予以驅離，另為達一定運行效能，對此車道最低速限應高於一般車道，即 70km/hr 為最低速率。當然特殊狀況時如天候不良等因子影響，亦可降至 60KPH。

2. 收費站路段之管制

國內高速公路目前採用主線柵欄式人工收費於尖峰期間常無法負荷擁塞交通量，造成交通瓶頸，且由於收費作業之等候、加減速延滯等，增加不少額外成本。

導航公路之收費方式係由交控中心電腦記錄處理，再行轉帳或繳款方式。因此，為免導航車流干擾及非導航駕駛之錯覺，導航車道應取消收費站設施，如此不僅可維持導航車流運行效率且節省不必要之額外成本。另為避免非導航車於此區間佔用通過專用車道逃避繳費，則於此處應加裝攝影設備攝影取締。

第三章 解除行動模式

3. 1 解除行動 (off auto-driving)

「解除行動」係指導航車輛駕駛者操控方向盤脫離導控區域，至中央交控中心確認、記錄及取消其識別碼之程序。一般導航車進行解除情況有三：

1. 到達目的地或交流道

當導控車到達目的地或交流道前緩衝區（可能為 2km 或 4/3 分鐘車程），中控中心傳訊(A2)以語音及顯示幕通知駕駛人恢復人工駕駛並離開導航車道，得知駕駛者變換車道後，（即自動解除導航功能），中控中心即進行記錄且取消識別代碼。

2. 駕駛者要求解除

若駕駛於行進途中欲離開導航車道，可透過頻道 A1 與中控中心傳訊，經中控中心確認後，始得變換車道解除導航，中控中心亦作記錄。但是若駕駛員未徵得中控中心確認即自行變換車道後自動解除導控，此時控制器會發現該車輛有訊號進入但無阻斷導標顯示在導航車道上，控制器自然會通知中控中心，中控中心將會給予警告或確認該車行動，倘均未獲解除訊號，該車的行車收費記錄將會比預期的高（因中控無法確知它從何交流道離去）。

3. 中控中心命令解除

當導航車道發生阻礙車流情況（如意外事件等）無法安全進行導航時，中控中心會傳訊(A2)對應當解除離開之導控車命其解除。

如果車輛行進間自動檢測顯示車況不佳，則亦會由中控中心命令駕駛者駛離導航車道解除導航及傳訊相關訊息。

解除行動之流程如圖 3-1。

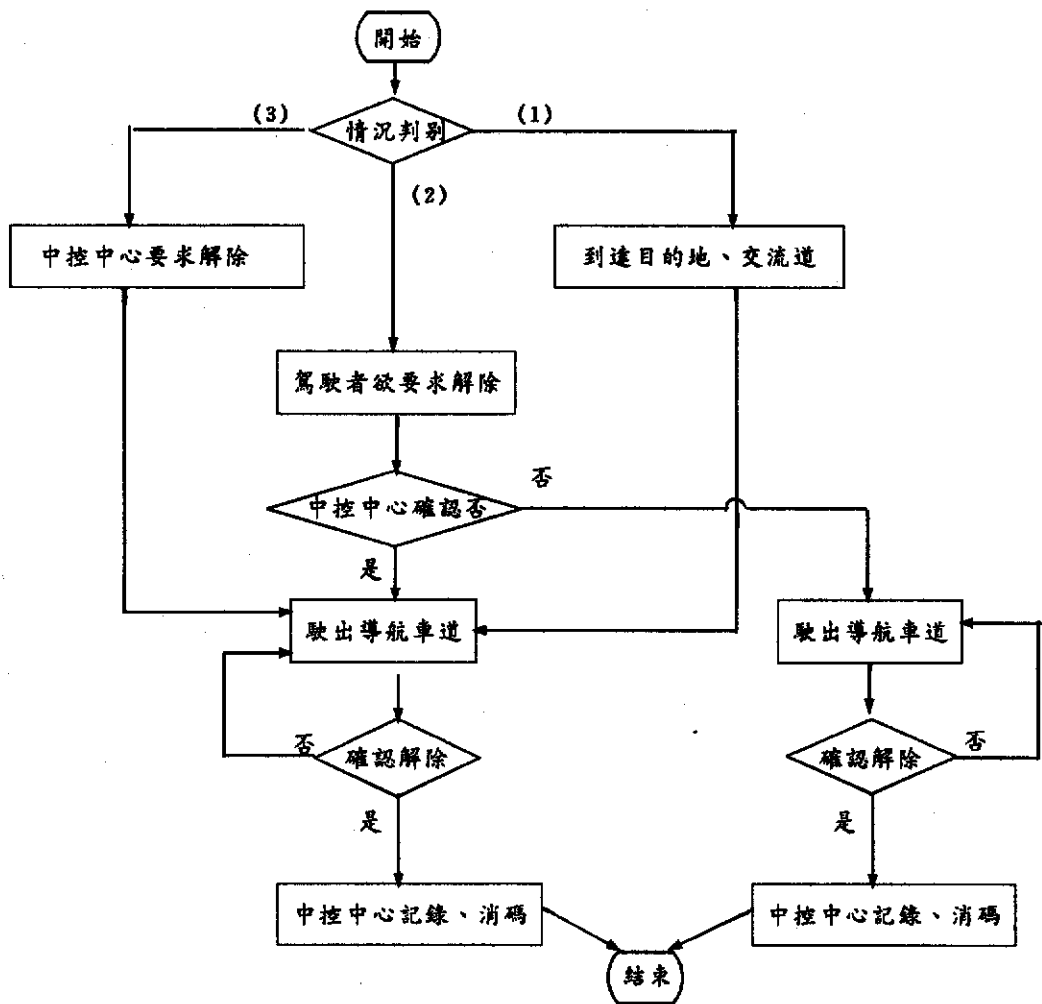
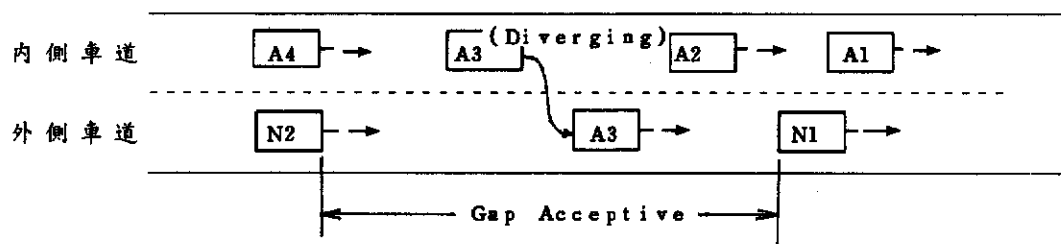


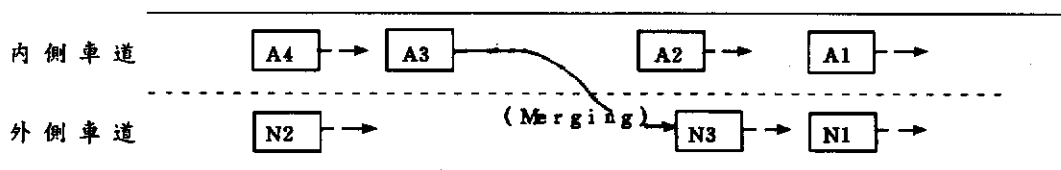
圖 3-1 解除行動流程圖

3. 2 解除行動車流行為

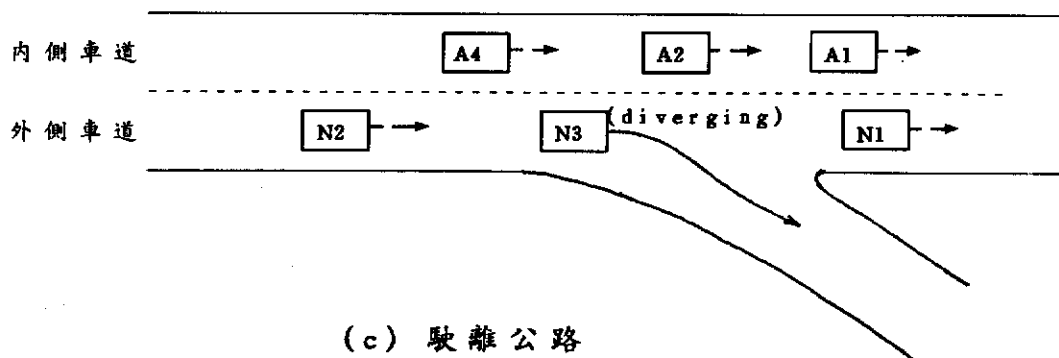
導航車輛解除導航功能離開專用車道時，將產生分出(Diverging)與併入(Merging)現象，即駕駛者由導航車道轉換至一般主線車道，如圖 3-2 所示。



(a) 預備解除



(b) 完成解除 (A3 → N3)



(c) 駛離公路

圖 3-2 解除行動車流行為

代號 A3 之車為解除行動之車，當外側車道有足夠車間空程，即駛出內側導航車道進入外側車道 ((a)-(b) 圖)，一般而言，內側車道車速較外側車道為高，較易進入外側車道。若 A3 位於行進之導航車隊(platoon)，其分出後，其尾隨之車(A4)隨即會以一加速率 (ΔV) 加速，以達與前車(A2)之安全間距而保持車隊之進行 (如圖3-2(b))。

圖 3-2(c) 顯示當導控車完成解除行動欲離開高速公路，到達交流道之減速車道，即駛出 (Diverge) 外側車道進入減速車道，由於駛出外側車道甚容易，較不會產生車流干擾。

解除行動時，除了當外側車道之車流量高而不易產生理想足夠之行車間距，及欲解除之導航車輛採取強制變換車道行為時，將會對外側車道之車流產生干擾，否則導航解除行為如一般之變換車道行為相同，並不會因此改變內側車道或外車道之服務容量。

3. 3 解除行動行為管制

1. 速率管制

當車輛欲駛出導航車道時，會因外側車道車速較低或等待可接受之間距迅速駛離導航車道。

為配合導航車輛於近交流道處之駛出行為，若無法在指定時間內駛離，基於安全考量，中控中心對此臨近路段(2-3Km) 將採降低速率來控制 (內車道)，以便該車駛離。(正常狀況下並無此必要)。

2. 持續傳訊控制

係指當中控中心告知駕駛人駛出導航車道指示 (不論為到達目的地或要求駛出)，若駕駛者尚未完成解除 (離開內線車道) 則中控中心將持續車輛導控及不斷地發出指示聲音或顯示幕告知駕駛者。

第四章 其他交通問題探討

4. 1 複線導航

「複線導航」係指高速公路同時有兩條以上之導航車道操控。若以個別車道而言，基本操控方式與單線導航相類似，唯外側車道之控制必須考慮內車道之駛出及併入車流等因素，控制較內車道複雜，其設計之容量因此較內車道為低。以下就複線之雙車道導航情況加以探討：

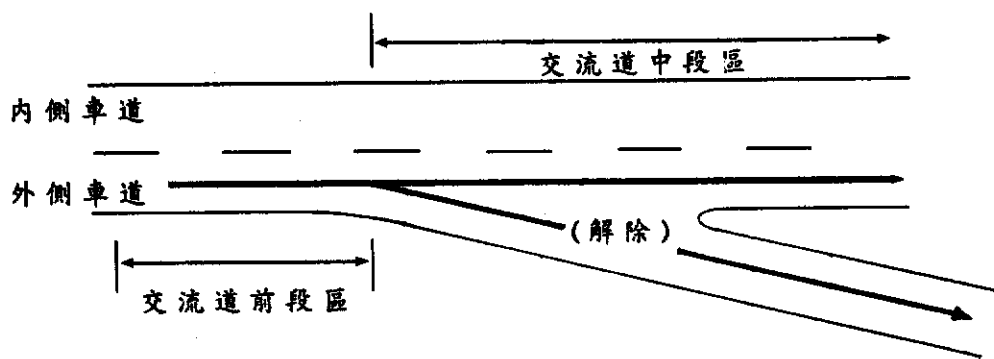
1. 註冊行動：

複線導航之註冊行為流程與單線導航相同（圖 1-1）亦遵循單線導航之管制（如：車道外註冊等），唯交控中心必須對導航車所行駛之車道加以指示及限制。車道選擇之考慮因素與欲達目的地及車道流量現況有關；一般以較長途旅次之導航車行駛內側車道，一方面較縮短旅行時間、另一方面則減少中途變換車道之車流干擾，而當內車道流量已達飽和則不復指示進入。

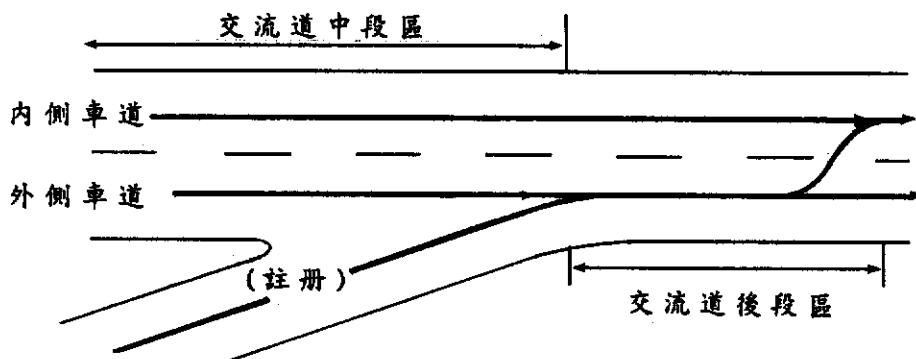
2. 行進行動：

複線導航時之內側車道導控原則與單線導航相同，且由於增加一外側導航車道減少了許多併入干擾（一方面導控車會依指示併入、另一方面非導控車輛變換二車道進入之頻率將減少），導控將更順利。外線導航車道可說是內線車道之過渡車道，亦即內側車道車輛在進出時會有交織（Weaving）產生，如圖 4-1。因此，外側車道導控必須加以考慮：

外側車道因鄰交流道有交織現象（Weaving Section），故要有較長之安全間距控制，為不使容量降低太多，採「不連續車流行為」控制法相當適當，也就是說以每 3～6 輛車為一車隊單位，車隊與車隊間保持較大間距外，同隊車輛間距仍同單線控制。



(a) 駛出內側車道之交織車流示意圖



(b) 進入內側車道之交織車流示意圖

圖 4-1 內側車輛進出對

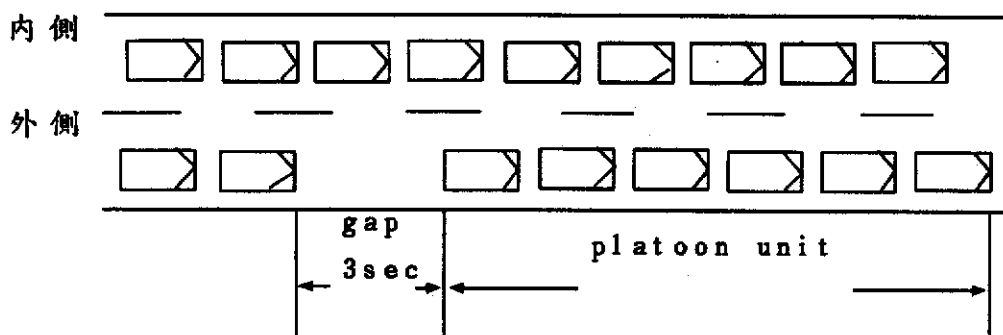


圖 4-2 外側車道行進車隊示意圖

車隊間距採 3 秒，（一般駕駛可接受間距為 3 sec 以上）。於是外線容量約為（90KPH 時）：

$$\{ 3600 / [0.448 \times 6 + (3.0 - 0.448)] \} \times 6 \approx 4000$$

僅為內線容量之半。（見圖 4-2）

3. 解除行動

當導航車道未達飽和時，駕駛者可以選擇可接受之間距離開車道，但當已達飽和階段，位於外側車道之車輛將可順利駛出變速車道進入匝道。若內側車道車輛欲離開注入外車道，外側車道無法適時滿足時，為避免駕駛者強行轉入外側車道干擾車流，控制中心乃於外側車道適當地段（指交流道上游路段）拉大車輛間距，必要時可趨動煞車（braking）達到提供內側車輛駛出之可接受間距，並指示內側車道欲解除之車輛提早進入外側車道。

4. 複線導航實施條件：

複線導航實施之條件可分為人、車、路及設施裝置來說明：

- (1) 人：即指車輛之駕駛者在能適應由導航設施來控制車輛之行進，且其控制行為、安全度、舒適度等能為一般大眾所接受，加以公路主管相關部門的主導開發，方可能有所進展。
- (2) 車：若實施複線導航，則一般雙車道高速公路即為導航使用，非導航車反易形成干擾，因此必須要在使用導航公路之需求增加時（例如導航車數之持有已超過 50 %），才需考慮進行複線導航，且才有其投資建設之效益。
- (3) 路：實行 ADVANCE-F 系統必先由「單線導航」著手，因此，「複線導航」必須待單線導航實行縝密評估後，若評估效果優良、且需求量大，則可進行「複線導航」之可行性評估，待各主、客觀條件成熟後才予實行「複線導航」。
- (4) 設施裝置：因導標是裝置在導航車道邊，單線導航時，導航車道是設在內車道，故設施可裝置在中央分向島上。然複線導航時，第二條導航車道佈設在外車道，其導標不可能設在二導航車道中

間，於是導標之裝置可能要更改為車道中央的標鈕或架空式，但十分不經濟，且對路面養護工作影響很大。

4. 2 交流道問題

高速公路之交流道（interchange）車流常受多處匝道車輛分出、併入之影響，因此交織區的分析十分重要。本節乃對於實行 ADVANCE-F 有關交流道之交通作一探討，以便瞭解導航運作之下，交流道的設計相容問題。

1. 出口減速車道及進口加速車道

單線（內線）導航之車流運行狀況已於本篇 2～4 章談及，亦即一般之註冊及解除階段多於交流道附近進行，其車流行為與目前高速公路交流道車行相當、現象一致，因此對現有主線設計完全相容。（主線至少、單向雙車道）。

複線導航方式若無右鄰一般非導航車道時，對於交流道之設計就必須加以注意。若加速或減速車道不夠長，很可能上下匝道的車流就會影響主線導控車流，而造成瓶頸。因此加減速車道長度必須重新評估。（加減速車道上並沒導控功能）。

2. 進口匝道

一般之高速公路若達飽和仍有車輛進入會造成嚴重擁塞，導航車道同樣有其負荷量（雖然其容量大），若在一定時間裡，到達率高過導控疏離率，則將產生影響主線運作，而無法達到預期容量。因此進口匝道管制為必要設施。一般以匝道儀控（Ramp Metering）方式來限制進入高速公路之車輛。匝道儀控主要功能為調節匝道駛入流量，它可依區域控制器及匝道控制器連線予以配合。

3. 出口匝道

一般出口匝道少為高速公路交通控制策略所關切，ADVANCE-F 系統運作下使高速公路容量增加，平均車間距縮小，倘若在尖峰時導

控車流流率大，但若出口匝道無法及時疏解，必定使交流道造成嚴重瓶頸且危及主線導控安全，故於出口匝道處應謀求如何疏解快速而量大之流量。基本方法如下：

- (1) 擴增出口匝道車道數：增加車道數是必然的，但仍須視該交流道實際需求情形而定。
- (2) 擴增出口專用交流道：此法與增加出口車道數類似，目的皆以增加出口容量以滿足出口需求，但仍視各地區實際流量及地理環境而定。
- (3) 聯絡道路交叉口之儀控：若出口匝道產生等候情形乃由聯絡道影響所致，則該交叉口之控制方式應以匝道最大等候長度限度為號誌時制設計準則，方能使高速公路車流迅速疏解，避免影響主線交通。

4. 交織區問題

交織區是交流道設計重點之一，在 ADVANCE-F 的運作裡，交織現象並不像一般公路的概念（如圖 4-3）。為了安全，交流道的交織運作如圖 4-4 所示，基本上這樣的運作不管是單線導控或複線導控均不致使主線受到干擾。唯以現有的交流道設計，單線導控可完全共融；複線導控可能會因加速車道不夠長而產生主線必須減速方能作業，待未來進一步做模擬分析。

至於 ADVANCE-F 在系統交流道（兩高速公路之交叉處）的運作，目前暫不分析以自動控制方式變換，待系統設計更完整時再詳予處理。

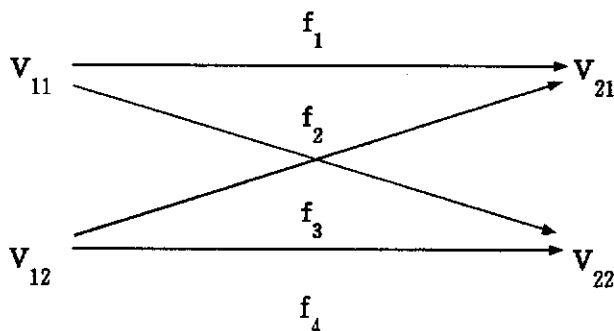


圖 4-3 車流交織系統示意

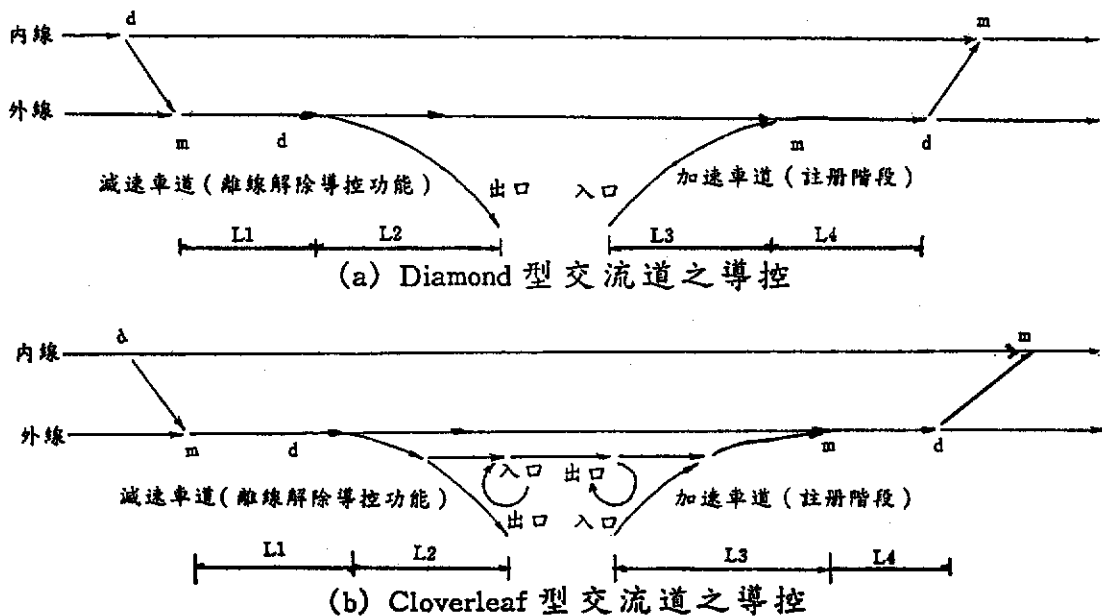


圖 4-4 ADVANCE-F 的交流道車流動線示意
(L_1, L_2, L_3, L_4 長度待研究)

4. 3 緊急事件處理

茲將緊急事件分為系統故障及交通事故敘述如下：

1. 系統故障

系統故障乃使導航設施無法運作，依不同情形說明之：

- (1) 車輛故障：車輛本身不斷進行檢測結果若不合格時，馬上由交控中心傳訊予駕駛人，要求離線解除導航，控制器將使車隊速度降低，拉大故障車間距，以策安全。
- (2) 電腦當機：因為 ADVANCE-F 採用分散式區域控制系統，而每個區域皆有兩組控制器，若其中之一發生故障並不會影響導控，但若同時故障，容易造成車禍，唯機率很低（待未來詳加分析）。此時中控中心或車輛內控制系統亦會自動警訊通知駕駛者自行操作駕駛。
- (3) 傳輸故障：當區域控制器無法導控而中央控制中心之傳輸亦受阻斷，即當導航車輛無法接收到控制系統任何訊息時，此時，車輛本身會發出緊急警告（顯示幕及語音）要求駕駛者自行駕駛。

因此 ADVANCE-F 系統的安全要求必須要有第三防衛裝備，亦即車輛須有防撞周邊感測系統（ Lateral and Longitudinal Sensors ）與 ABS 煞車系統連線。

2. 交通事故

交通事故之偵測處理模式如圖4-5 所示。即透過路邊導標及其它偵測設施等測知，再由中央控制中心利用電腦快速處理，選擇最佳的管制策略，接著由傳輸系統通報相關單位，如公路養護單位或警察執勤人員，依據下達的管制指令迅速處理，另一方面傳輸區域控制器調整導控車速，或中心要求解除導控。同時對於交通狀況經由 A2 訊號廣播設施及沿路可變標誌等加以顯示通報，及時提供用路人正確路況及指示。

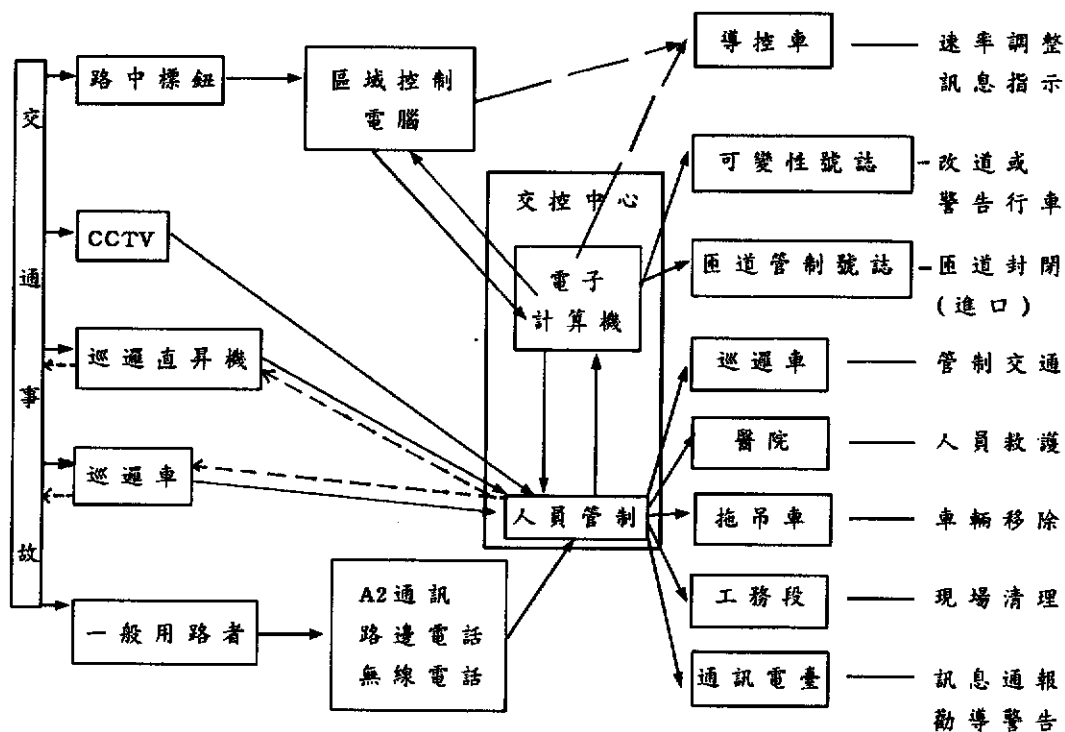


圖 4-5 交通事故處理模式示意圖

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，「高速公路交通特性分析與基本容量訂定」，民國76年11月
2. 王文麟，「交通工程學理論與實用」，增訂版民國75年9月。
3. 黃國平，「混合車流二維座標模擬模式之建立及驗證」，臺灣大學土木研究所碩士論文，民國72年6月。
4. 蔡輝昇，「交通控制理論與實務」，生合成出版社，民國79年4月
5. 羅永光、陳敦基，「高速公路合理行車速限與最適行車速限理論模式之研究」，運輸計劃季刊，第十六卷第三期，民國76年9月。
6. 吳健生，「高速公路交通控制策略」，運輸計劃季刊，第十四卷第二期，民國74年2月。
7. 交通部運輸研究所，「臺灣地區公路容量手冊」，民國79年10月。
8. Steven E. Shladover, "Potential Freeway Capacity Effects of Advanced Vehicle Control Systems", Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, 1991, ASCE.

第肆部份 效益篇

第一章 車流服務容量分析

本章乃延續第三部份交通篇之內容，對於 ADVANCE-F 系統下之實際運作之車流容量（服務容量）詳加分析。（第三部份中所述為基本容量）。

1. 1 車流特性分析

1. 車頭距 (headway)

車頭距為行進中之兩前後連續車輛車頭至車頭的間距，其計量單位可用空間距離單位或時間單位。在車流中未被佔用的道路空間或車間空程 (Space) 可用以決定車輛在任何單向車流的縱向分佈及計算流量的直接方法，故 headway 為車流分析重要項目。

ADVANCE-F 系統中車輛間所應維持之安全間距 (Safety Space) 相當於車輛所應保持之車頭距 (headway)，由交通篇中之分析及車隊未發生碰撞下之最小車間距 (4.1) 式，車頭距 (H_t) 隨速率 (V_s) 而改變。

[33]

$$V_s H_t \geq L + 2 \Delta X_T + (V_s + \Delta V_T) \left(T_s + \frac{A_2}{J_m} \right) - \frac{1 A_2^3}{6 J_m^2} \\ + \frac{[V_s + \Delta V_T - 1/2 \cdot (A_2^2 / J_m)]^2}{2 A_2} - \frac{(V_s - \Delta V_T)^2}{2 A_1} \quad \dots (4.1)$$

V_s : 行車速率 (Vessel speed)

A_1 : 首車減速率

L : 車輛長度

A_2 : 跟車減速率

T : 總反應延滯

ΔV_T : 最大容許速率誤差

J_m : 最大急動 (Maximum jerk)

ΔX_T : 最大容許位移誤差

H_t : 車頭距 (Headway)

2. 車流行為

(1). 分出 (diverge) 階段

此階段係指車輛由導航車道分出，進入外側之一般車道行為，如圖 1-1。當外側車道有足夠車間空程，欲解除導航之車輛即產生分出 (diverging) 行為。這種分出的行為，對主線導航車道車流影響不大，唯當外側車道流量高而不易有足夠間距及變換行為不流暢時，將對外側車流產生干擾。

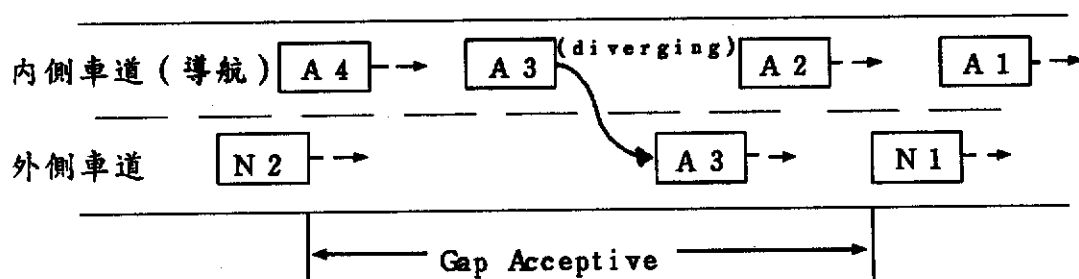


圖 1-1 分流運行

(2). 行駛階段

此階段係指車輛進入導航車道後，受中央交通控制中心導控行駛的階段。通常其速率均較外側車道為快。當車道未達飽和情況下，以車隊及個別導航車輛運行並存，由於導航車道禁止超車及交織等易生危險之運行行為，當車道達飽和情形由中央控制中心以定速及安全行車間距操控運行下，車流將呈現均勻流之情況。如圖 1-2。

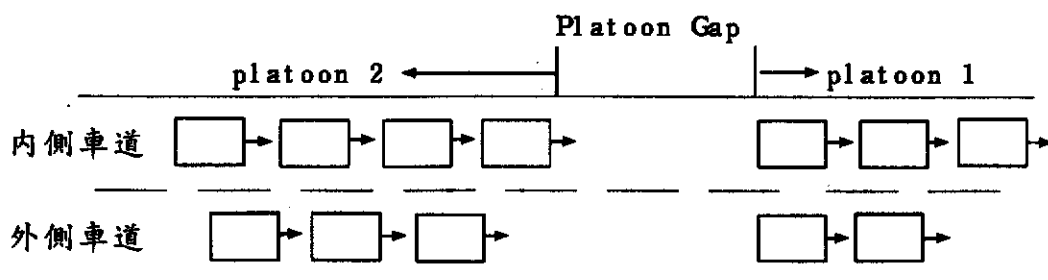


圖 1-2 行駛中穩定之車隊車流

(3). 併入 (Merge) 階段

此為對導航車流影響較大階段，當導航車輛完成登錄作業，變換車道進入導航車道，此時產生之匯流 (Merge) 行為，如圖1-3。由圖中知若欲匯入之間距充足 ($\text{Gap} \geq 3 \text{ sec}$)，對導航車流不致產生干擾，若間距不足或併入運行不流暢，則對後車(A2)及跟隨後方車流造成干擾與延滯。

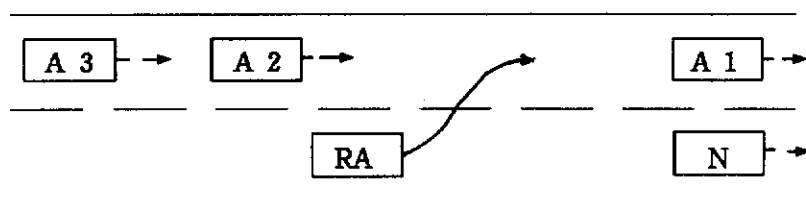


圖 1-3 併入之車流運行

1. 2 容量分析

本節主要在探討 ADVANCE-F 系統下之容量特性，在第三部份交通篇中，乃考慮在一般順暢之連續車輛運行情況下，車輛間距假設固定為 11.2m 所進行之容量推估，其結果與 Steven[34] 研究相當，在速率 100 KPH 下容量高達 8900 pcphpl; 90 KPH 速率則約有 8000 pcphpl。

為提高系統安全性，避免碰撞意外事件產生，由前節知車頭距 (headway) 乃隨運行速率 (Stream Speed) 而改變，參考 Roberte[35] 對車隊之運行速率及避免碰撞最小安全間距之關係式(4.1)式，利用此式可推求出在不同速率避免碰撞之容量，如圖 1-4,[35]。容量 (Q) 與速率 (V) 之關係，再由 $Q=VK$ 關係可推導密度 (K)。表 1.1 為容量、速率、密度之關係推估表。

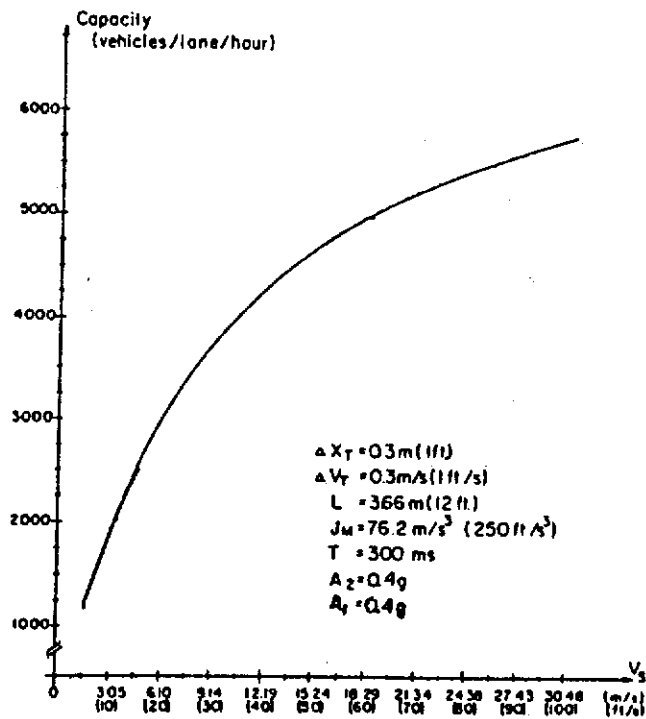


圖 1-4 避撞下容量－速率關係圖

表 1.1 避撞下速率、容量、密度推估表

速率V (KPH)	60	70	80	90	100
車間距 H_t (Sec)	0.74	0.703	0.675	0.653	0.636
容量Q (pcphpl)	6864	5122	5334	5512	5663
密度K (VPH)	81.06	73.17	66.68	61.24	56.63

由表 1.1 得知在速率 100kph 下容量約為 5600pcphpl，比較 Steven 研究 [34] 及第三部份略估之容量為低，其主要原因是為提高安全，避免碰撞肇事發生，乃將操控中之行車間距予以增加（例如：100 kph 時 0.4032 sec \rightarrow 0.636 sec）。ADVANCE-F 系統為達安全行控目的，對於車輛間距亦採取保守之較大安全間距。

同樣地，考慮導航車道中非導航車輛對容量之影響，若車流運行速率為 90 KPH，導航車道容量估計約 5500 pcphpl，於是導航車道之作業容量將隨著非導航車數佔全車道數之比值增加而呈遞減現象，如表 1.2 所示，可大略估計作業容量介於完全導控（5500pcphpl）及完全非導控（2000 pcphpl）之間。

表 1.2 導航車比與作業容量關係表

導航車比 (α)	0%	20%	40%	60%	80%	100%
非導航車比 ($1 - \alpha$)	100%	80%	60%	40%	20%	0%
作業容量 (Q) (pcphpl)	2000	2700	3400	4100	4800	5500

註：① $V_s = 90$ KPH

$$\textcircled{2} \text{ 導航車比 } (\alpha) = \frac{\text{導航車數}}{\text{總車數}}$$

$$\textcircled{3} \text{ 假設：} Q = 2000 (1 - \alpha) + \alpha \cdot 5500$$

第二章 建造及營運費用

自動導航公路系統(ADVANCE-F)建造及營運分析旨在做為未來系統實施決策之參考，或作為實施作業時財務負擔、收費政策等之依據。然由於此自動導航公路系統為初步研發階段，目前一切設備估計均僅為概估。因為此系統與目前高速公路之交通控制系統〔4〕許多相仿之處，為能順利進行分析，故多採比較方式研究。

2. 1 建造成本推算

系統之建造成本，包括下列幾項：

1. 控制中心設備成本

此處包含機房、電力系統，電腦主機，電纜，與傳輸設備等部分。

2. 道路上設備成本

此部分含有導標、紅外線發射及受光器、標線、電纜及電力供給等設備。

3. 路邊設備成本

此部分包含控制器、接收器、發射器、電纜與電力供給等。

4. 附屬設備成本

包括閉路電視攝影機(CCTV)、資訊可變標誌(CMS)、與另增加之標線、標誌及號誌等。

5. 其他成本

此處包括稅捐、管理費與施工費用（含人事費用）等。一般本項成本的計算，多以上述設備總成本之30%預估得之。

表 2.1 中之預估，乃以民國81年幣值做為基準，參考第二高速公路交通控制系統設備成本，而得之結果，其費用90公里約為40億元，若以台灣南北約360公里長之高速公路，則總工程費須160億元。由於前項為粗估，為方便計，今假設其低估1.25成，則此總工程費須180億元。

表 2.1 自動導航公路系統建造成本之預估表

項 目	數 量	單 價	總 價	備 註
控制中心				
機房			6,000,000.00	
電力系統(不含供電源)			25,000,000.00	
電腦主機	4 套 x 2		250,000,000.00	
附屬				
CCIV			82,000,000.00	
CMS	74		270,000,000.00	
門架	74	900,000.00	66,600,000.00	
標誌/號誌	540	20,000.00	10,800,000.00	雙邊 6 支/公里
道路上:				
導標/紅外線發射器/Chip/標線	111,600	10,000.00	1,116,000,000.00	
路邊	360			
控制器	360	250,000.00	90,000,000.00	2組/km x2邊 = 4組
接受器	360	250,000.00	90,000,000.00	
發射器		250,000.00	90,000,000.00	
Power Supply (供道路、路邊設備用)		2,000,000.00 /公里	180,000,000.00	
管道(張/邊x2 = 6 管)		230,000.00 /每管每公里	124,200,000.00	
Cable (含電力、光纜、銅纜)			271,000,000.00	
微波機房	5	4,000,000.00	20,000,000.00	
傳輸設備			380,000,000.00	
小 計			3,071,600,000.00	
稅捐、管理費			460,740,000.00	
施工費用			460,740,000.00	
合 計			3,993,080,000.00	
加 % 物價異動				

因爲在等速、等車間距與無延滯的情況下，自動導航公路系統可增加約爲目前高速公路每車道4 倍的道路容量，即單線導航之車道容量爲8000 pcu，與目前第二高速公路設計爲4 車道的容量幾近相等；此外本系統的建設經費全線約 180 億元，以總長 360 公里計算，得平均每公里建設費 0.5 億元，相較於第二高速公路已知平均每公里近10億元* 的建設經費而言，差距甚遠，由此知本系統極賦經濟效益。

2. 2 營運費用之預估

以本系統之營運方式而言，即包括系統所需監控中心之營運費用、電力費用、系統平時養護管理費用、系統維修費用、人事費用、折舊費用，以及更新系統之費用等。本章節之預估，乃參考目前中山高速公路交通控制系統其營運費用佔其總建造成本的比率計算。

以民國81年幣值而言，目前中山高速公路交通控制系統之總建造成本（表 2.2）經物價指數波動的轉換得其值爲9 億 8638.7 萬元，而其於81年度核定之維修費爲 2,120 萬元，運作費爲 500 萬元，加總之營運費用爲 2,620 萬元，故其營運費用所佔比率爲 0.026。以本系統之總建造成本 180 億元而言，其營運費用則約爲 4 億 6,800 萬元，因自動導航公路系統其使用率與精密度均高，故以多估 20% 計算，得未來自動導航公路系統之營運費用約爲 5 億 6160 萬元，即約 5 億 6 千萬元。

表 2.2 中山高速公路交通控制系統之建造成本

年 度	工 程 費	規劃設計 及施工費用	小 計	換算爲民國 81年之幣值
72	262,839,000	19,317,000	282,156,000	331,815,000
73	396,257,000	23,512,000	419,769,000	493,747,000
74	62,705,000	3,486,000	66,191,000	77,989,000
75	70,800,000	0	70,800,000	82,836,000
合 計			838,916,000	986,387,000

資料來源：中華民國運輸學會，中山高速公路交通控制系統
第一期工程效益評估與檢討，民國76年9月[5]

* 註：此爲原建設資料，據最新的資料，已追加到16億元。

第三章 使用者成本與效益

由於自動導航公路系統在未來實施後，對系統使用者的成本與效益都會發生變化，而使用者其產生的實質效益對未來系統的成功與否，更有直接影響，故於本章乃以使用者成本與效益，探討系統實行的可行性。〔7〕

3. 1 使用者設備成本

在自動導航公路系統中，接受導航之車輛本身則必須備有自動排檔、定速裝置、動力方向盤等裝置。而其須加裝之導航設備的直接成本，則可分為 5 大部分。

1. 導速設備成本

即包括 B1 發射器、B2 接收器、D/A 卡、A/D 卡，變換介面等。

2. 導向設備成本

即包括紅外線發射、接收器、導標電碼接收機、變換介面、微處理機、馬達、D/A 卡、A/D 卡與齒輪等。

3. 通訊及主控設備成本

即包括 A1 發射器、A2 接收器、變換介面、電腦等設備。

4. 第三安全裝置成本

即包括周邊感測裝置及煞車系統。

5. 軟體費

即在導速、導向與通訊及主控設備等三部分之電腦軟體費，此費用以前項總和的 15% 計算。

表 3.1 為目前粗估的使用者設備費用，（以實驗車裝備來估）大約為 30 萬元左右。預計未來導航車輛會持續增加，在大量生產下，成本可降低 30~50%，而此設備便可在 15~21 萬元之譜。

表 3.1 使用者設備成本之預估表

功 能	項 目	價 格
導 速	B1 發射器 B2 接收器 A/D、D/A卡 變換介面	20,000
導 向	紅外線發射接收器 導標電碼接收機 微處理機 馬 達 齒 輪 D/A、A/D卡 變換介面	100,000
通訊 及 主控 設備	A1 發射器 A2 接收器 電 腦 變換介面	40,000
第三安 全裝置	周邊感測設備 煞 車 系 統	100,000
軟體費	前項總和的15%	40,000
總 計		300,000

3. 2 通行費之研究

由於導航車輛使用比一般車輛更多的社會資源，因此是否應收取較

高的通行費，且增加之額度其範圍為何，則為本節研究重點。

通行費征收的主要目的多為財務上自給自足的標的，而高速公路上的通行費，更有使用者付費的公平觀念[8], [9]。故若以公平為原則，則高速公路上導航車輛收取更高的通行費，應視為當然。一般費率水準的訂定，自以能收回部分或全部的期初投資成本為原則，因自動導航公路系統之投資成本包括系統建造成本與營運費用，故於導航車輛之通行費方面，亦應以上述之原則做為基礎。

至於通行費增加的額度若過高，將會降低導航車輛的使用率，而造成道路資源未能充份利用，形成社會成本浪費；若通行費增加過少，除對一般車輛失去了公平性外，另會造成導航系統的自償率過低，且不易達成財務上自給自足的目標。

因為高速公路通行費費率水準的研究，涉及許多層面，而政策因素的壓力極大，故在此僅就一般道路訂價理論進行初步探討。

3. 2. 1 平均成本訂價理論

此理論主張道路使用者應負擔道路成本（包括道路建造成本），係基於利益原則和財政公平[10]。其理由：(a) 若無車輛，則不會有巨額的道路支出。(b) 使用者因道路支出才獲有利益。此法乃將價格定於平均成本等於平均收入之處，因其能使收支相抵，所以較能符合事業要求，在會計帳中亦能確切地反映出來。但從福利經濟的立場，使用邊際成本法才能滿足柏拉圖最適狀況，即將價格訂於邊際效益與邊際成本相等之處，唯因邊際成本目前不易估計，本文不考慮之。

3. 2. 2 社經背景

自動導航公路系統的實施，須賴使用者購置車輛時加裝自動導航設備的意願，所以接受導航系統的車輛多寡，對本系統的執行上關係甚密。近年來，因經濟的發展迅速，國民所得逐年增加（表 3.2），而小汽車持有量方面，亦成長快速（表 3.3）。另外，在高速公路歷年的交通量統計資料中，小型車的交通量也是急速成長（表 3.4）。所以，在種種社經資料中，台灣目前所面臨的交通環境，已迫切需要高科技的研究以改善交通運輸的能力，自動導航公路系統的孕育，即在於此。

表 3.2 所得分配

年 Year	平均每人國民所得 Per Capita National Income		平均每户可支配所得 Average Disposable Income Per Household	
	當 年 價 格 At Current Price	七十五年固定價格 At 1986 Constant Prices	當 年 價 格 At Current Price	七十五年固定價格 At 1986 Constant Prices
	新臺幣元 N.T.\$	美 元 U.S.\$	新 臺 幣 元 N.T.\$	
民國五十年 1961	5,666	142	25,408	-
民國五十一年 1962	6,066	151	26,774	-
民國五十二年 1963	6,657	166	28,798	-
民國五十三年 1964	7,563	189	31,705	28,591
民國五十四年 1965	8,110	203	33,386	-
民國五十五年 1966	8,848	221	35,466	32,003
民國五十六年 1967	9,957	249	38,286	-
民國五十七年 1968	11,316	283	40,832	38,514
民國五十八年 1969	12,804	320	43,874	-
民國五十九年 1970	14,417	360	47,710	44,486
民國六十年 1971	16,407	410	52,561	50,280
民國六十一年 1972	19,278	482	58,439	57,510
民國六十二年 1973	24,564	642	64,313	71,054
民國六十三年 1974	32,408	853	62,331	92,813
民國六十四年 1975	33,811	890	63,428	101,821
民國六十五年 1976	39,559	1,041	71,572	116,297
民國六十六年 1977	45,330	1,193	76,813	130,830
民國六十七年 1978	53,303	1,443	84,316	155,737
民國六十八年 1979	63,275	1,758	89,605	188,407
民國六十九年 1980	77,575	2,155	92,098	233,112
民國七十年 1981	89,868	2,443	94,374	266,433
民國七十一年 1982	94,647	2,419	96,944	275,250
民國七十二年 1983	103,093	2,573	104,130	295,887
民國七十三年 1984	114,511	2,890	114,903	314,245
民國七十四年 1985	119,272	2,992	119,581	320,495
民國七十五年 1986	137,992	3,646	137,992	341,728
民國七十六年 1987	153,773	4,825	154,838	366,487
民國七十七年 1988	166,884	5,798	164,229	410,493
民國七十八年 1989	181,936	6,889	174,407	464,994
民國七十九年 1990	195,905	7,285	180,053	520,147

資料來源：行政院主計處「中華民國臺灣地區個人所得分配調查報告」。(11)

附 註：①六十五年以前係以可支配所得十等分位資料計算，六十五年以後以未分組資料計算，六十五年以後以未分組資料計算，計算公式均採用

$$G = \frac{1}{n} \sum (y_j - y_i), \text{ 其中 } y_j \geq y_i, y_j = \frac{Y_j}{\sum Y_i},$$

Y_i 為第 i 戶家庭之可支配所得。

表 3.3 歷年小汽車之統計數量

類 別 Item	小 客 車 Passenger Car								
	小 計 Subtotal			營 業 Business			自 用 Private		
	台 灣 省 Taiwan Province	台 北 市 Taipei Muni	高 雄 市 Kaohsiung Muni	台 灣 省 Taiwan Province	台 北 市 Taipei Muni	高 雄 市 Kaohsiung Muni	台 灣 省 Taiwan Province	台 北 市 Taipei Muni	高 雄 市 Kaohsiung Muni
時 期 Period									
四十一年 1952	1,159	1,402	-	939	151	-	820	1,269	-
四十六年 1967	2,493	3,488	-	670	227	-	1,823	3,221	-
五十年 1961	3,859	5,109	-	1,233	1,064	-	2,626	4,045	-
五十二年 1962	4,484	5,532	-	1,628	1,637	-	2,856	3,895	-
五十二年 1963	5,017	5,938	-	1,967	1,710	-	3,050	4,228	-
五十二年 1964	5,688	6,699	-	2,385	2,250	-	3,303	4,449	-
五十四年 1965	6,930	8,169	-	3,121	3,035	-	3,809	5,134	-
五十五年 1966	8,897	9,312	-	4,191	2,980	-	4,706	6,332	-
五十六年 1967	10,763	14,345	-	5,194	5,669	-	5,569	8,676	-
五十七年 1968	12,760	16,966	-	6,864	7,450	-	6,866	9,518	-
五十八年 1969	18,964	20,666	-	9,421	9,082	-	9,533	11,604	-
五十九年 1970	22,523	27,018	-	10,563	10,139	-	11,970	16,879	-
六十年 1971	27,812	27,299	-	11,791	10,566	-	16,081	16,743	-
六十二年 1972	38,591	33,367	-	14,595	11,328	-	24,299	22,031	-
六十二年 1973	164,969	40,144	-	18,815	12,185	-	36,154	27,959	-
六十六年 1974	72,417	50,400	-	22,269	13,713	-	50,148	36,387	-
六十四年 1975	87,898	68,825	-	25,094	15,544	-	62,804	43,081	-
六十五年 1976	105,159	65,825	-	27,302	16,266	-	77,857	49,559	-
六十六年 1977	133,734	75,187	-	31,658	18,890	-	102,076	57,297	-
六十七年 1978	164,358	91,309	-	37,018	23,828	-	127,340	67,481	-
六十八年 1979	228,128	112,506	-	41,261	25,614	-	186,867	86,891	-
六十九年 1980	252,556	131,474	41,413	32,466	26,012	8,982	220,091	105,452	32,724
七十年 1981	306,378	151,424	48,489	32,847	26,960	8,432	273,531	124,464	40,057
七十二年 1982	366,806	168,070	57,478	36,310	28,140	9,900	330,296	139,930	48,579
七十二年 1983	434,584	187,722	66,454	38,742	29,746	9,130	395,842	157,977	56,324
七十二年 1984	522,912	207,920	76,323	41,938	31,261	9,309	480,974	176,669	67,014
七十四年 1985	606,927	232,823	85,848	44,927	30,836	9,520	562,000	191,987	76,328
七十五年 1986	709,760	244,833	92,067	47,416	32,991	9,628	662,344	211,842	82,439
七十六年 1987	865,709	281,751	105,495	50,185	34,901	10,168	815,524	246,850	96,327
七十七年 1988	1,109,406	341,332	128,383	51,324	36,931	10,388	1,058,082	304,401	117,995
七十八年 1989	1,390,683	393,211	157,462	58,895	36,895	10,754	1,331,523	356,316	146,708
七十九年 1990	1,687,360	432,163	183,924	55,524	37,788	10,856	1,631,836	394,375	173,058
一月 Jan.	1,438,369	404,706	161,737	55,057	37,428	10,874	1,383,362	386,277	150,863
二月 Feb.	1,450,487	405,760	163,572	55,174	37,443	10,862	1,405,313	388,317	152,710
三月 Mar.	1,490,004	410,327	166,463	55,483	37,689	10,880	1,434,521	372,638	156,583
四月 Apr.	1,511,624	413,069	168,553	55,611	37,820	10,875	1,466,013	375,249	157,683
五月 May.	1,637,162	417,372	171,162	55,753	37,871	10,857	1,481,409	379,501	160,293
六月 June.	1,660,514	420,989	173,211	55,771	37,983	10,867	1,504,743	393,006	162,344
七月 July.	1,584,676	423,907	175,411	55,887	38,045	10,918	1,528,789	385,862	164,493
八月 Aug.	1,606,187	426,410	177,308	55,043	38,179	10,923	1,550,144	388,231	166,386
九月 Sept.	1,628,191	429,054	179,146	55,965	38,271	10,917	1,572,236	390,783	168,229
十月 Oct.	1,651,527	431,272	180,900	55,853	38,165	10,886	1,595,674	393,107	170,014
十一月 Nov.	1,674,683	432,619	182,596	55,672	37,938	10,869	1,619,011	394,681	171,725
十二月 Dec.	1,687,360	432,163	183,924	55,524	37,788	10,856	1,631,836	394,375	173,058

註：(1) 民國六十五年以前資料含拖車。

(2) 民國六十五年以前含曳引車。

資料來源：交通部運輸研究所，運輸資料分析，80,6。

表 3.4 中山高速公路歷年交通量統計表

年	小 型 車	大 貨 車	客 聯 車	合 計	年成長率	百萬車公里 (MVK)
民國64年(1975)	2,403,660	463,881	297,875	3,165,346		142.44
民國65年(1976)	3,275,166	790,450	517,731	4,583,347	44.80%	206.25
民國66年(1977)	5,515,759	1,780,546	1,022,266	8,318,571	81.59%	344.43
民國67年(1978)	24,481,064	10,495,014	4,609,074	39,585,152	375.86%	1,541.50
民國68年(1979)	52,352,018	22,151,745	10,702,484	85,306,247	115.25%	3,274.55
民國69年(1980)	54,989,128	24,072,672	14,063,331	93,125,131	9.29%	3,571.00
民國70年(1981)	60,536,891	23,005,399	14,484,262	98,129,552	5.37%	3,758.67
民國71年(1982)	67,385,984	22,068,349	15,002,092	104,456,425	6.45%	4,001.47
民國72年(1983)	77,376,429	23,727,608	16,018,067	117,123,004	12.13%	4,558.66
民國73年(1984)	88,368,941	25,094,709	18,215,858	131,679,508	12.43%	5,135.88
民國74年(1985)	93,715,074	25,134,166	20,026,368	138,875,608	5.46%	5,425.52
民國75年(1986)	107,187,657	27,538,137	23,279,912	158,005,706	13.77%	6,165.51
民國76年(1987)	132,136,310	30,339,057	27,416,595	189,892,062	20.18%	7,413.56
民國77年(1988)	163,891,334	32,103,874	31,089,727	227,084,935	19.59%	9,264.69
民國78年(1989)	192,103,324	33,011,020	31,777,203	256,891,547	13.13%	10,520.55
民國79年(1990)	218,342,374	34,800,994	32,544,093	285,687,461	11.21%	11,538.95
民國80年(1991)	226,160,292	35,894,431	33,562,260	295,616,983	3.48%	11,891.86
總 計	1,570,324,405	372,471,982	294,630,298	2,237,426,685		88,755.49

資料來源：中華民國台灣區高速公路局，高速公路年報80年[13]

3. 2. 3 導航車輛持有預估

因本研究未來裝置之設備成本，將直接影響使用者的使用意願。為得民意取向，故以統計中之問卷方式抽樣結果，來預估未來將使用此系統之小汽車總數。

本系統用於高速公路，故其使用者應為使用高速公路頻率較高者，所以發放問卷之調查地點，訂為交通量較大之泰山收費站。問卷發放數量為3000份，而回收結果之有效問卷為302份，回收率約10%。問卷依每月薪資所得分佈及個人所能接受之設備成本進行調查，其結果如表3.5所示。

表3.5 導航車持有之意願調查之次數分佈

設備成本 (萬元) 每月 所得	30	25	20	15	10	不願購者
0 ~ 3.9	5	1	6	20	46	30
4.0 ~ 6.9	10	2	15	22	68	19
7.0 ~ 10.0	2	3	9	4	15	11
11.0 ~	2	1	1	2	4	4
合 計	19	7	31	48	133	64
累 計	19	26	57	105	238	302

註：單位：萬元

因個人設備成本在大量生產後，其預估之成本範圍為15萬~20萬元。故於此問卷中，未來可能裝置本系統之比例為34.8%。乘以79年之小汽車之統計數量（表3.3），2,303,447輛。得未來裝置自動導航公路系統之導航車輛大約為801,600輛，以一般估計，每車平均每年在高速公路行駛之車公里數為3600公里，得未來使用此系統之年公里數28億8575萬8400公里。

3. 2. 4 通行費之計算方式

因邊際成本目前估計不易，故乃採平均成本法求之；以建造成本、營運成本與通行費之均衡定理中，得：

$$S(1+r)^n + [P(1+r)^{n-1} + P(1+r)^{n-2} + \dots + P(1+r) + P]$$

$$= [U + U(1+i) + U(1+i)^2 + \dots + U(1+i)^{n-1}] * x$$

其中：S：系統之總建造成本

r：年利率

P：系統平均每年之營運費用

U：使用者使用此系統之年公里數

i：所得成長率（假設導航車成長與所得成長相當）

n：系統回收年限

x：通行費

今已知：S = 18,000,000,000 元

r = 8%（政府建設公債利率）

P = 560,000,000 元

U = 2,885,758,400 公里

i = 4%（民國79, 80年之所得成長率）

由上式可得出不同年限中，不同通行費的收費標準。

根據表 3.6 得使用年限在15年時，可使通行費最低，大約為38元，再加上高速公路通行費之原本費率40元，故得未來自動導航公路系統之通行費費率為78元，今以80元計。這也就是說使用導航系統，將會在高速公路收費上多繳一倍的費用。

表 3.6 各使用年限之通行費預估

使用年限	每單位公里的通行費	通行費
10	1.36	40.8
15	1.25	37.5
20	1.27	38.1
25	1.37	41.1
30	1.51	45.1

3. 3 使用者使用費用

自動導航公路系統使用者使用費用的變化量，亦為本章節研究的重點之一。而在此處之使用者使用費用相當於高速公路的行車成本，通常可分為燃油、附屬油料、輪胎、大修、保養、通行費與保險費等。因燃油、附屬油料、輪胎、大修、保養等項目資料不易調查，故假設其變化差異不大，則使用者使用費用增量，即以通行費及保險費為主。由民國78年中山高速公路交通旅次分析（表 3.7）知，平均小汽車旅次長度為28公里，所以使用費用皆以此為行車基準。在通行費方面，因此系統須利用社會資源且有巨額的投資成本，故在使用者的觀念下，通行費應增加，以平均旅次長度28公里而言，以通過一個收費站為主，由前述通行費的研究所知，通行費約增加40元。而在保險費方面，因為系統為高精

密科技，且使用者設備成本提高，故保險費亦應相對提高。以目前小汽車一個月行駛公里數約 1000 公里，而在高速公路上占了 3 成，以一年計算，得在高速公路每年為 3600 每車公里。保險方面之第一年保費，將由 15750 元提高至 28000 元，故得當未來系統完成後，使用者平均每次使用高速公路將增加保險費 95 元。（表 3.8）。至於其他項目雖無數據資料，但其變化情形敘述如下。依其分項中，燃料、附屬油料、輪胎大修等費用，在未來系統實施後，因有等速駕駛等因素，使消耗性行為的減少，故可使上述項目之使用費用減少；在維修方面，因為此系統須保持最好的行車狀態，故其保養上更須精密，而使維護費用提高，但又因為消耗性行為的減少，故亦使一般維護費用降低，所以在此項目中會造成增減互抵的費用行為。

表 3.7 民國 78 年中山高速公路交通旅次分析

1. 平均每日通行收費站車輛旅次及延車公里數分配				
通行狀況	車輛旅次數	車輛旅次百分比	延車公里數	延車公里百分比
(1) 不通過收費站	464,209	55.8%	3,393,678	12.9%
(2) 通過一個收費站	247,631	29.8%	7,255,087	27.6%
(3) 通過二個收費站	48,592	5.8%	3,403,824	13.0%
(4) 通過三個收費站	24,337	2.9%	2,740,321	10.4%
(5) 通過四個收費站	23,559	2.8%	3,617,794	13.8%
(6) 通過五個以上收費站	24,006	2.9%	5,840,925	22.3%
合計	832,234	100.0%	26,251,629	100.0%

2. 平均車輛旅次長度為 32km (其中小型車為 28KM, 大貨車為 40KM, 大客車/聯結車為 60KM)

3. 年平均車輛旅次成長率, 71年至76年間為 11%, 76年至78年間為 13%。

資料來源：國道新建工程局，高速公路收費方式之可行性研究。[14]

表 3.8 使用者平均每次使用高速公路費用表

項 目	目 前 費 用	未來系統實施後費用	增加之費用
通 行 費	40	80	40
保 險 費	37	122	95

3. 4 使用者之時間效益

在運輸投資計畫之影響及評估研究上，較為困難的是投資利益的認定及衡量問題。在各項利益中，旅行時間的節省價值，幾乎是最主要的一項。因此，時間價值之效益，為決定運輸投資計劃是否經濟可行及何種方案為最佳方案中之重要關鍵項目。根據第二高速公路的研究效益得知〔15〕，車輛的行車價值係考慮工資率、牌照稅、汽車燃料稅、保險費、折舊及利息等在內計算而得。

當自動導航公路系統完成時，其所能節省的時間，實際上約等於目前行駛高速公路所延誤之時間。其產生之原因有交通量大、等候繳費、收費站加減速、事故延誤、故障車影響、施工延誤與其他原因等造成之時間滯，而此系統在實行時所有之動能恰能克服以上之延誤時間。詳細分析見第四章。

3. 5 使用者的其他效益

前面幾節乃就可量化之成本效益做探討分析，而在本節中，乃敘述非量化值之效益。

1. 提高高速公路的服務品質

自動導航公路系統的構想，為利用電腦控制車輛行進，故可免除駕駛者在開車時所耗費的精力，使其在精神上獲得鬆馳。駕駛者在行

車中可輕鬆地看電視、看報紙，接聽無線電話，其至可直接進行業務工作。此外，車輛等速的行駛，不但增加車輛的穩定性，舒適度亦隨之提高。

2. 降低肇事率，保障行車安全

由於在高速公路上，多為長距離，長時間的駕駛旅行行為，且行駛速率高，故其反應時間特別短，駕駛者只要稍微一不留神。可能會釀成車禍，由高速公路歷年肇事統計得知，車禍次數不在少數，而且一出事，多為重大傷亡，其中生命財產無法計量。至於電腦操控之導航車輛，發生機械故障之故障率，或系統控制設備的故障率，在設計中均必須嚴格，使其機率最小。是故肇事率愈小時，對使用者才能提供更高的生命財產上的保障。

第四章 總體效益分析

4. 1 土地節約使用觀

高速公路設計之初，為因應長期交通需求與提高服務水準，其路線設計標準係參照美國州立公路運輸官員協會 (AASHTO) 及加州公路設計標準釐定。其車道寬度為 3.75m，路肩寬度為 3.0m，而中央分隔帶為 5.0m。就前述交通篇中之討論，導航車道之設置，由於只提供給小汽車行駛，因此所需之車道寬度可縮減至 3.0~3.5m 寬。而高速公路之設計容量為 2000 pcphpl，就容量觀點而言，現有面積下之車道所提供之容量僅為 ADVANCE-F 系統之 1/4，也就是說，若採用自動導航系統，在車輛 100%導控的情況下，導航車道可提供 8000 pcphpl 之容量（見第三篇），可使土地面積得到充分的利用。

台灣係一島國，在土地面積有限的情況下，如何就現有土地作最有效的利用，是最重要的課題。就興建道路而言，土地徵收往往需要花費龐大的經費，且常由於地主的抗爭或抵制而產生土地取得不易的問題。因此，在目前中山高速公路容量日漸不敷使用的情況下，若要提供足夠的供給因應日漸成長的交通需求，除了另外興建新的高速公路之外，使用科技方法以提高中山高速公路之容量亦為一可行之方案。以興建新的高速公路而言，除了必須動用大量土地之外，更須有十分龐大的規劃建設經費，且須時過長，不能快速改善供給。ADVANCE-F 系統不但可就現有道路系統下，提高容量供給，且需時較短，尤其就土地節約使用的觀點來說，ADVANCE-F 系統確能有效地利用有限之土地，提供最大的服務。就以中山高速公路若採單線導航的話，對整體容量將提高一倍以上，也就是說實施 ADVANCE-F 將相當於多一條傳統高速公路，相對地表示可以少建一條平行的高速公路。

4. 2 能源節約使用價值觀

4. 2. 1 影響燃油消耗之因素分析

影響燃油消耗之因素，主要分為四大類：

1. 車輛特性：主要為車重、車速與車齡。一般說來，車身重量愈重，其耗油量愈大，其關係圖如圖 4-1 所示；而車齡及累積行駛里程所造成之

劣化因素，對於燃油效率亦有影響。此外，最重要之影響因素，莫過於車輛行駛時急加速、急減速之次數過多，或停等次數太多，造成燃油效率低落，油耗數量增加。根據72年台北市政府研究發展考核委員會「建國南北路與新生北路高架道路節省汽車耗油功能之分析」之研究中[31]，

得知各型車在等速情況下之耗油量，如表4.1，及小型車輛變換速率1000次所增加之耗油量，如表4.2所示。

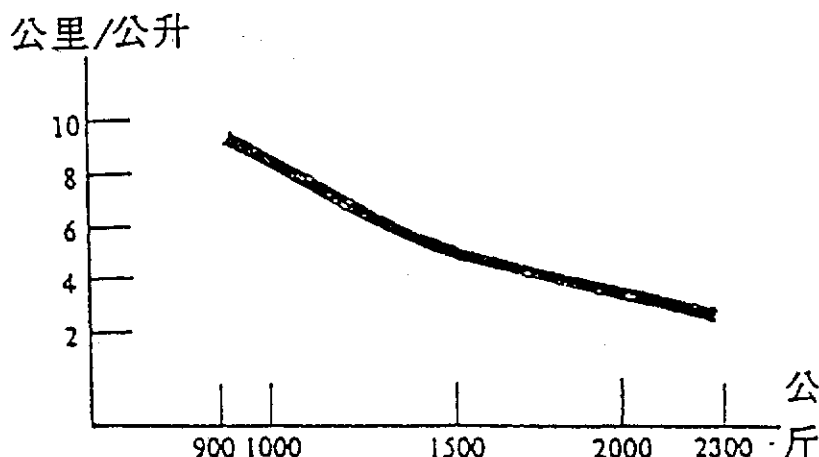


圖4-1 車重與燃油關係圖 [24]

表4.1 水平路面上各型車輛在等速情況下之耗油量 [31]

單位：公升/小時

速 度 KPH	計 程 車 (1,500c.c.)	轎 車 (2,000c.c.)	小 貨 車 (1,000c.c.)	大 卡 車 (6,000c.c.)	大 客 車 (6,200c.c.)
5	1.12	1.33	1.54	3.35	2.40
10	1.59	1.79	2.25	7.50	3.45
15	2.24	2.46	3.18	6.25	5.90
20	1.70	2.25	2.64	9.12	4.70
25	2.29	2.03	3.24	6.85	6.25
30	2.96	2.29	2.95	8.60	8.15
35	2.21	2.60	3.45	10.45	6.90
40	2.70	2.97	3.18	7.80	8.65
45	3.25	3.39	3.69	9.05	7.20
50	3.85	3.84	4.28	10.50	8.65
55	4.49	4.35	4.92	12.25	10.30
60	5.17	4.90	5.63	12.25	9.45
65	5.89	5.50	6.40	14.20	11.45
70	6.64	6.15	7.26	16.45	13.22
75	7.42	6.84	8.18	18.90	15.58
80	8.22	7.57	9.20	21.81	18.36
85	9.03	8.37	10.27	25.09	21.53
90	9.88	9.23	11.41	28.36	25.00
95	10.76	10.12	12.58	31.82	28.72
100	11.67	11.07	13.80	35.47	32.78

附註：大卡車及大客車之耗油量為柴油，其餘車輛之耗油量為汽油。

表 4.2 速度變換與超額耗油量 [31]

車型：計程車 1,500 c.c.

公升/哩速 1,000 次

速度 KPH	速 度 變 換 之 降 升 點																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	0																				
5	1.6	0																			
10	2.1	1.4	0																		
15	2.4	2.1	1.3	0																	
20	3.4	2.8	2.1	1.2	0																
25	4.3	3.7	3.1	2.2	1.2	0															
30	5.4	4.8	4.1	3.2	2.2	1.2	0														
35	6.8	6.2	5.6	4.5	3.6	2.5	1.2	0													
40	8.6	7.9	7.3	6.2	5.2	4.1	2.8	1.4	0												
45	10.9	10.3	9.6	8.4	7.3	6.0	4.7	3.3	1.8	0											
50	13.6	12.9	12.2	11.0	9.8	8.4	6.9	5.6	4.0	2.0	0										
55	16.5	15.8	15.1	13.9	12.7	11.2	9.6	8.1	6.6	4.5	2.5	0									
60	19.6	19.0	18.2	17.1	15.8	14.3	12.6	10.9	9.3	7.3	5.1	2.8	0								
65	23.1	22.4	21.6	20.6	19.2	17.7	15.9	14.1	12.6	10.4	8.2	6.0	3.3	0							
70	26.7	26.1	25.4	24.3	23.0	21.3	19.4	17.6	15.9	13.8	11.6	9.5	6.8	4.0	0						
75	30.6	30.1	29.4	28.3	27.0	25.2	23.4	21.6	19.6	17.5	15.3	13.2	10.4	7.6	4.8	0					
80	34.6	34.2	33.6	32.4	31.2	29.3	27.5	25.4	23.6	21.5	19.2	17.1	14.3	11.5	8.7	6.2	0				
85	38.9	38.3	37.5	36.4	35.2	33.7	32.0	30.1	28.1	26.1	23.9	21.6	19.1	16.2	13.1	9.5	5.3	0			
90	43.3	42.7	41.9	41.0	39.6	38.4	36.7	34.9	33.0	31.1	28.9	26.6	24.1	21.5	18.5	15.2	11.3	6.4	0		
95	47.8	46.8	46.0	45.0	43.7	42.4	40.6	38.9	37.1	35.1	33.2	31.1	28.8	26.3	23.4	20.3	16.8	12.5	7.4	0	
100	52.2	51.6	50.8	49.8	48.4	46.9	45.2	43.9	41.5	39.5	37.4	35.2	33.0	30.6	27.9	25.0	21.8	18.1	13.7	8.3	0

2. 道路特性：包括坡度、轉彎半徑與鋪面，其中僅坡度因素影響較為顯著。
3. 駕駛者行為特性：包括駕駛者之行爲、習慣、駕駛經驗等。一般來說，駕駛經驗豐富者熟悉車輛性能，通常開車習性較佳，且隨時注意車輛狀況加以保養者，可使燃油效率增加。
4. 其他因素：如風速、胎壓、使用冷氣與否、大氣壓力、濕度等，另外，車輛之定時保養與否，亦是影響油耗之因素。

4. 2. 2 中山高速公路行車油耗情形估計

中山高速公路全長 373.5 公里，自民國79年 7 月 1 日起除部份路段外，將最高速限由 90km 提高至 100km，速限提高後，高速公路局於 80 年 9 月至12月，將高速公路分成30個路段做現點速率調查，其中南下路段平均速度為 89.38km/hr，北上路段平均速度為 84.4km/hr。表 4.3 為現點速率調查資料。

表 4.3 中山高速公路現點速率調查表

80年 南下路段現點速率調查表
Spot speed (southbound)

觀測點	平均速率	P85	P15
survey spot	average speed		
3k+100	85.33	98.72	71.94
8k+300	88.03	100.53	75.52
14k+100	78.19	90.41	65.97
29k+000	84.64	97.28	71.99
46k+900	88.35	100.87	75.82
58k+500	84.95	97.42	72.47
74k+300	92.01	104.56	79.46
85k+000	92.79	105.55	80.02
91k+600	93.04	106.13	79.94
104k+700	93.55	106.62	80.47
113k+700	95.89	107.58	84.19
128k+600	90.39	102.85	77.91
134k+300	85.79	96.40	75.18
145k+600	88.51	101.50	75.51
159k+200	90.89	102.87	78.91
164k+900	90.33	100.94	79.70
183k+000	87.47	100.29	74.64
195k+200	85.66	98.98	72.32
205k+000	89.59	104.58	74.58
215k+400	91.12	104.26	77.97
225k+000	97.53	100.74	84.31
168k+000	91.42	104.83	78.00
275k+800	93.15	104.57	81.71
286k+300	90.86	104.40	77.31
296k+900	89.03	102.46	75.59
308k+600	90.43	101.19	76.50
324k+900	89.64	102.46	76.41
335k+000	88.85	101.19	76.50
348k+600	84.11	95.62	72.59
361k+500	89.72	101.86	78.37
平均值	89.38	101.91	76.73

80年 北上路段現點速率調查表
Spot speed (southbound)

觀測點	平均速率	P85	P15
survey spot	average speed		
3k+400	86.67	99.56	73.77
14k+000	77.83	89.09	66.57
21k+000	75.21	86.01	64.41
32k+000	82.94	95.46	70.40
46k+800	94.68	108.41	80.83
59k+000	88.01	101.39	74.59
77k+000	90.39	105.35	75.42
85k+100	79.35	92.26	66.43
93k+600	95.92	108.61	83.22
113k+000	95.56	109.78	81.34
121k+700	92.60	103.92	81.28
131k+400	92.86	104.63	81.09
140k+800	95.34	107.18	83.48
159k+500	87.63	100.16	73.89
171k+000	87.04	102.03	72.05
181k+500	86.24	99.52	72.96
196k+000	86.99	99.14	74.84
214k+700	98.84	111.02	86.65
224k+400	86.24	97.85	74.82
251k+800	92.24	105.18	79.29
258k+300	92.42	105.47	79.36
267k+800	91.44	104.33	78.55
275k+200	88.76	102.20	75.32
285k+900	93.55	105.66	81.42
292k+600	91.37	102.25	80.49
307k+000	89.50	101.41	77.59
323k+000	78.75	90.87	66.61
335k+000	84.90	96.99	72.79
347k+900	86.03	99.18	72.86
361k+500	83.06	95.52	70.59
平均值	84.40	101.01	75.76

資料來源：高速公路年報（81年）

表 4.4 車輛行車速度加減速及超額油耗情形

觀 測 點	南下路段 平均速度	超額耗油量 (公升)	北上路段 平均速度	超額耗油量 (公升)
3k + 600	85.33	0.003456	86.67	0.008958
8k + 300	88.03	0.009971	77.83	0.002725
14k + 100	78.19	0.006128	75.21	0.007344
29k + 000	84.64	0.004749	82.94	0.013148
46k + 900	88.35	0.004352	94.68	0.008338
58k + 500	84.95	0.008825	88.01	0.003522
74k + 300	92.01	-	90.39	0.011187
85k + 000	92.79	-	79.35	0.016819
91k + 600	93.04	-	95.92	-
100k + 700	93.55	0.00234	95.56	0.004381
113k + 700	95.89	0.00814	92.60	-
128k + 600	90.39	0.005888	92.86	0.003670
134k + 300	85.79	0.003482	95.34	0.010388
145k + 600	88.51	0.003046	87.03	-
159k + 200	90.89	-	87.04	0.001184
164k + 900	90.33	0.003661	86.24	0.001111
183k + 000	87.47	0.002662	86.99	0.014299
195k + 200	85.66	0.005030	98.84	0.015204
205k + 000	89.59	0.002264	86.24	0.00822
215k + 400	91.12	0.008782	92.24	-
235k + 000	97.53	0.008371	92.42	0.001450
268k + 000	91.42	0.002560	91.44	0.003966
275k + 800	93.15	0.003389	88.76	0.005988
286k + 300	90.86	0.002342	93.55	0.003226
296k + 900	89.03	0.002072	91.37	0.002394
308k + 600	90.43	0.001169	89.50	0.010893
324k + 900	89.64	-	78.75	0.005843
335k + 000	88.85	0.006067	84.90	0.008362
348k + 600	84.11	0.007181	86.03	0.003713
361k + 500	89.72	0.113821	83.06	0.176333

1. 行車速度變換情形

依據表 4.3 所示，各路段之平均速度均不相同，表示在車輛行駛時，駕駛者必須時時注意路況，隨時加減車速，以保持行車安全，在高速公路全程中，共設有10個柵欄式收費站。駕駛者在行經收費站時，必須停車收費，現欲估計行駛全程高速公路小客車(1500cc)之油耗情形，首先假設：

- (1) 高速公路全程通暢，無擁塞或意外事故產生，車輛行駛無停等情發生（即無怠速情形）。
- (2) 駕駛者之加減速情況，僅發生在路段變換處及收費站；其他途中之加減速（如超車，變換車道...等）均忽略不計，收費站之減速，假設由平均速度降為0，啟動加速假設由0至平均速度。且於收費站之減速只產生一次，無怠速停等情形。

上述兩項假設，係為簡化計算所作之假設，實際之高速公路行車情況調查困難，且怠速時間、次數之估算亦不容易，故將之簡化。以1500cc之小客車為估計對象，係為與ADVANCE-F系統之導航車輛作比較。表4.4為高速公路各路段及收費站車輛行車速度之加減速及超額油耗量之情形。而收費站之行車超額油耗情形，則如表4.5所示。

表 4.5 收費站行車之超額油耗情形

南下路段	超額耗油量(1)	北上路段	超額耗油量(1)
進收費站 (89.38減速至0)	0.0427	進收費站 (由84.40減速至0)	0.0387
出收費站 (由0加速至89.38)	0.0427	出收費站 (由0加速至84.40)	0.0387

2. 行車耗油量估計

超額耗油量，係根據表4.2小型車輛變換速率1000次所增加之耗油量換算而來，計算出來之超額耗油量，即為小客車行駛高速公路全程，除了以平均速度行駛所需之耗油量外，所超額之耗油量，由此即可計算一輛1500c.c.小客車南下、北上所需之汽油量。

$$L = \frac{373.5}{S} \times D + \text{超額耗油量}$$

其中 L: 耗油量 (l)

S: 全程平均速度

D: 平均速度之耗油量 (l/hr)

超額耗油量 = 路段超額耗油量 + 收費站超額耗油量

依上式計算得

南下高速公路，全程所需之耗油量為

$$\begin{aligned} L_{\text{南}} &= \frac{373.5}{89.38} \times 9.775 + (0.113821 + 0.0427 \times 2 \times 10) \\ &= 41.815 (l) \end{aligned}$$

北上路段為

$$\begin{aligned} L_{\text{北}} &= \frac{373.5}{84.40} \times 9.03 + (0.1763 + 0.0387 \times 2 \times 10) \\ &= 40.91 (l) \end{aligned}$$

4. 2. 3 ADVANCE-F 系統之行車耗油情形

ADVANCE-F 系統下之自動導航車輛，必須車輛狀況維持在最佳狀態下才能接受中央導控，且此系統係一定速行駛系統，在導航車道上之車輛以一均勻速度前進，車速維持在 90KPH，中途極少加減速之情形產生，至收費站亦無需停車繳費，因此其行車耗油之計算較為簡單。另外，其他影響車輛耗油之因素如駕駛者行為，由於自動駕駛的緣故，它完全排除人為操控因素，使人為不當的油耗影響因素完全不再存在，因此在計算導航車輛之耗油量時則簡易多了。

圖 4-2 為現行高速公路行車速率統計圖，由圖中可以明白地看出行車速率變動情形，而 ADVANCE-F 系統則為一均勻車速系統。導航車輛之耗油量計算如下：

$$L_{\text{導}} = \frac{373.5}{90} \times 9.88 = 41 \text{ (公升)}$$

$$\text{燃油成本} = 41 \times 16.5 = 676.5 \text{ (元)}$$

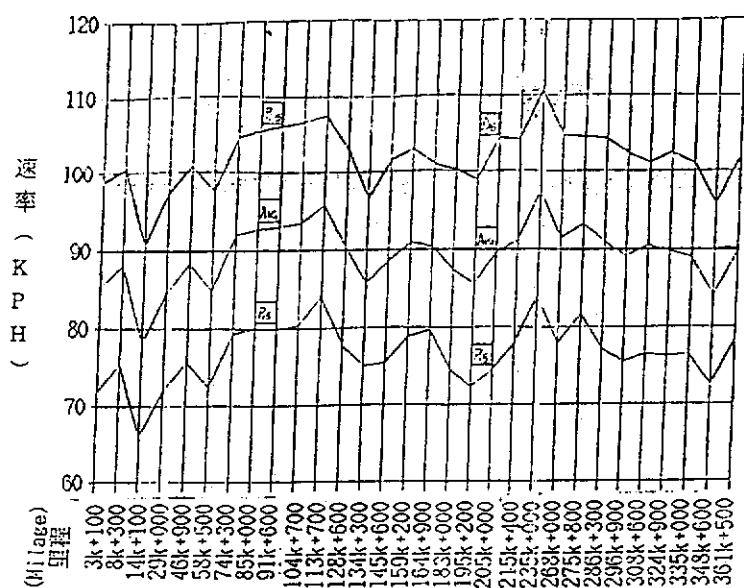
4. 2. 4 現行行車油耗與 ADVANCE-F 系統行車油耗之比較

比較 4.2.2 節與 4.2.3 節之行車油耗情形（表 4.6），發現在極簡化現行行車狀況的前提下，ADVANCE-F 系統之油耗情形仍比現狀要好。就單車之能源節省量而言，似乎不多，但高速公路每年之小客車交通量高達 2 億多輛，就整體說來，ADVANCE-F 系統確有節約能源之實，若將 4.2.2 節中之行車耗油估算，加以考慮怠速情況、超車加速，減速、收費站停等加減速等情形，則現行高速公路之行車油耗量將大幅增加，尤其是國定例假日、尖峰小時時段內之情形更為嚴重。故 ADVANCE-F 系統對於能源的使用，有節省用量的優點。

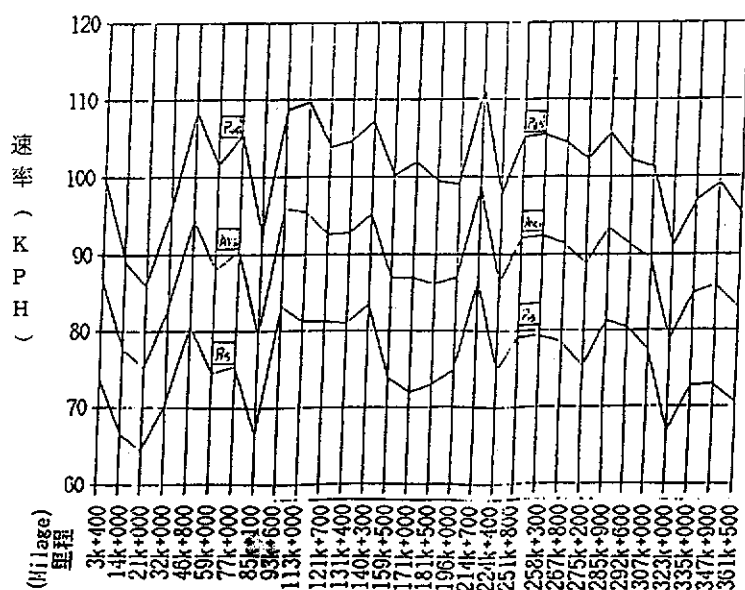
表 4.6 行車耗油量及燃油成本比較（單車）

	南 下	北 上	導 航	南下節省量	北上節省量
耗油量(l)	41.815	40.91	41	0.815	-0.09
燃油成本(元)	690	675	676	14	-1

- 註：
1. 耗油量與車速有直接關係，高速行駛下，車速愈高，耗油愈多。
 2. 南下平均車速與導航車速相當，而北上平均車速則較導航車速低 6 KPH。



南下 (SB)



北上 (NB)

P15 : 第15百分位速率

AVG : 平均速率

P85 : 第85百分位速率

— : 90KPH (導航車速率)

資料來源 :

高速公路局

圖4-2 行車速率統計圖(80年)

4. 3 交通安全之社會淨利

1. 交通事故肇因分析

依高速公路局歷年的統計資料〔4〕，高速公路事故之發生隨著交通成長，而有小幅上昇的趨勢，探究其發生事故的原因，以「駕駛不當」及「未保持行車安全間距」為最主要因素，共有 63%。另外尚有機件故障、疲勞駕駛、酒後駕車、超速、輪胎爆破....等因素。由以上之事故發生原因看來，大部份因素都出自於人為疏失，所以，要降低肇事率，可從減少人為操作疏失方面著手，本研究即是藉由中央控制車輛行駛來改進人為之不當操作，期能改善高速公路之行車安全，減少因事故發生而產生的損失。圖 4-3 為歷年肇事原因統計圖。

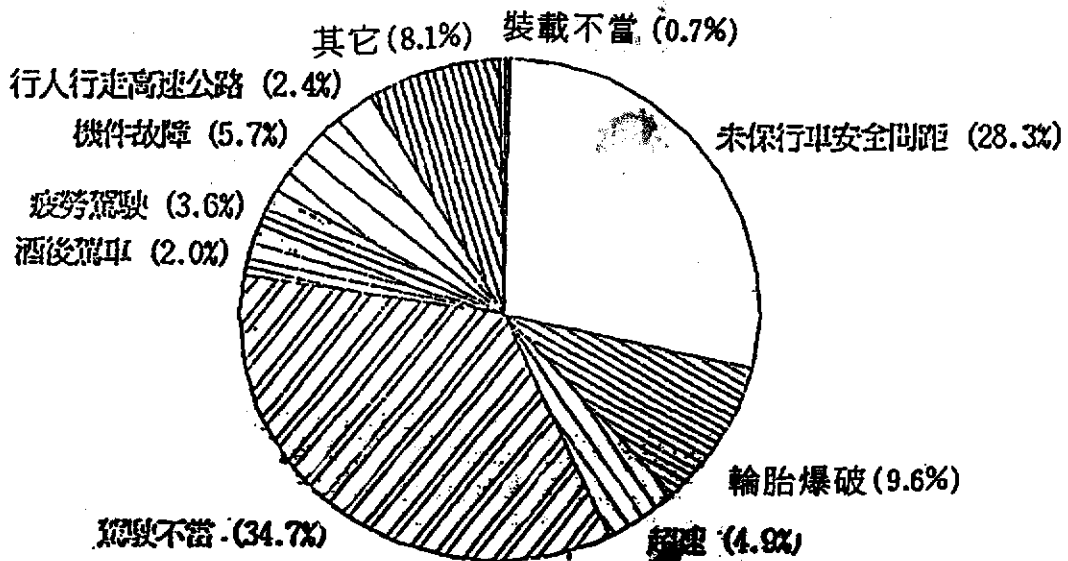


圖 4-3 中山高速公路歷年肇事原因統計圖〔4〕

2. 中山高速公路肇事現況及肇事損失分析

表 4.7 為歷年高速公路肇事資料統計表。由表中可以發現，除了高速公路通車初期，事故發生率偏高外，近年在各種防範措施加強及行車速率漸趨穩定下，肇事率已明顯下降。在肇事損失部分，一般可

分爲車輛損壞成本（含死亡成本），依高速公路警察局之估算，近 5 年（76~80 年），因交通事故所造成之車輛損壞成本約爲 171,050,600 元，醫藥費估計成本約爲 63,409,300 元，其他損失金額爲 143,371,500 元。另外對於交通設施損壞之修護成本，單民國 80 年，工程處修復後向肇事當事人索賠之金額爲 9,531,182 元。若再加上因交通事故所引起之精神損失、或其他社會成本損失，則其損害不可謂不大。

表 4.7 高速公路肇事資料統計表

年 Year	百萬車公里 Million Vehicle kilometer (MV K)	肇事件數 (件) No. of accidents	肇事率 (件/MVK) Accident Rate (No. of accidents /MV K)	死亡 (人) Fatality (person)	死亡率 (人/MVK) Fatality rate (person/MV K)	受傷 (人) injury (person)	受傷率 (人/MVK) injury rate (person /MV K)
民國84年(1975)	142.44	19	0.133	1	0.007	61	0.368
民國85年(1976)	206.25	30	0.145	8	0.039	60	0.242
民國86年(1977)	344.43	69	0.171	25	0.073	155	0.450
民國87年(1975)	1,541.50	266	0.173	123	0.080	579	0.376
民國88年(1976)	3,274.55	405	0.124	148	0.045	908	0.277
民國89年(1977)	3,571.00	477	0.134	146	0.041	962	0.269
民國70年(1975)	3,758.67	326	0.087	133	0.035	594	0.158
民國71年(1976)	4,001.47	209	0.052	125	0.031	461	0.115
民國72年(1977)	4,558.66	225	0.049	130	0.029	382	0.084
民國73年(1975)	5,135.88	211	0.041	140	0.027	402	0.078
民國74年(1976)	5,425.52	253	0.047	94	0.017	496	0.086
民國75年(1977)	6,165.51	295	0.048	141	0.023	577	0.094
民國76年(1975)	7,413.56	317	0.043	149	0.020	530	0.071
民國77年(1976)	9,264.69	289	0.031	196	0.021	469	0.051
民國78年(1989)	10,520.55	326	0.031	258	0.025	538	0.051
民國79年(1990)	11,538.95	405	0.035	359	0.031	642	0.056
民國80年(1991)	11,891.25	292	0.025	251	0.021	413	0.035
總計(grand total)	88,755.49	4405	0.050	2427	0.027	8179	0.092

3. ADVANCE-F 系統之安全性分析

ADVANCE-F 系統對於車輛之導控，均交由區域控制器控制，中央控制中心不作行車控制，因此中央行控中心並不完全負責行車控制之安全。此系統係於導航專用車道邊沿線佈設導標及車道中繪設標線司職偵測、定位及轉向角度調整；而導速之命令則是藉由區域控制器將導標接收到之車輛位置及車輛送回之相關訊號計算前後車間距，決

定後車安全速度後，經道旁 B2 訊號發射器發射控制訊號來達成。整個導航公路的運作由控制中心來管制，控制中心有主控電腦。因係由電腦操控車輛的行進，為避免電腦當機造成車輛失控，因此採分散式電腦系統。除此之外，在導航過程中，車輛從進入導航路段起，就須不斷的進行車輛性能自我檢測，以確保車輛在導航過程中隨時保持在最佳狀態。

即就整個系統之安全防護設備而言，其防護過程可分為下列四部份：

(1) 車內警示系統：

車輛在進入導航車道前，需藉由車內裝置之自我偵測系統，偵測車輛之性能狀況；在導航過程中，仍須不斷自我檢測，使車輛性能維持在最佳狀態，否則，警示系統會提醒駕駛者離開導航車道。

(2) 導標及導向標線：

導標之設置，可分為主導標與輔助導標，若主導標發生故障現象，其導向功能即由輔助導標取代，由輔助導標司職偵測、定位及定向之工作，直至主導標修護為止。即其裝置為複式裝置，避免部份設備故障時，使整個系統完全停擺。另外尚有標線可以防止車輛於導標及導標間失去導標之聯繫而失控。

(3) 週邊感測器裝置與自動煞車系統及中控中心區域控制器之連接：

整個 ADVANCE-F 系統由中控中心之電腦所控制，由於其採用離散式電腦系統，不至於全部電腦同時當機，且週邊感測器裝置及煞車系統對系統之安全防護，亦提供了另一層安全保障。

(4) 保險制度之建立：

對於 ADVANCE-F 系統之保險制度，目前仍在研議階段，而建立一完善之保險制度，對於系統之安全措施而言，是消極的最後的系統防衛要件。

就 ADVANCE-F 系統而言，其安全防線有上述 4 個部份，除非前三項均同時故障，否則系統之運作仍能維持正常，故就整個系統而言，其失誤機率十分微小，可靠性相當高。至於其失誤率之大小，可待整個系統完成之後予以一確切之估計。基本上，ADVANCE-F 系統，是一相當可靠之行車導控系統。其導控方式類似捷運系統、飛機飛航

控制，都是採用電子控制系統，目前各國在捷運系統及飛航控制方面之機件失誤率，均十分微小（幾千萬分之一），因此可預見採用相似控制方式之 ADVANCE-F 系統之失誤率，亦可藉由機件之改良，達到失誤率最小的情況。

4. 採用 ADVANCE-F 系統對肇事損失的影響

由前述分析可得知，大部份的肇事原因均係人為疏失所引起，因此 ADVANCE-F 系統之啓用，採用自動駕駛系統，將可避免人為過失所造成的事故，亦即可減少約 63% 的肇事，使行車安全大幅提升。肇事率降低，提高用路人之生命、財產的保障，此中所節省之肇事直接成本，包括車輛損壞成本、醫藥成本、交通設施損壞之修護成本等，另外接間接成本，如社會成本之節省更是難以估計。由此可知，採用 ADVANCE-F 系統對於肇事率的降低，有相當大的助益，至於其究竟能節省多少，則可進一步估算。

4. 4 整體時間效益觀

本節將從二方向來探討 ADVANCE-F 系統啓用後，對整體社會之時間節省價值。由於在現今之工商業步調快速的情況下，人人對於時間更是分秒必爭。因此，若能將行車時間縮短，必能相對地節省許多不必要的時間浪費，並從而提高勞動生產力、增加國民所得，對整體社會之貢獻匪淺。以下分別依時間價值觀點、及增加社會價值觀點來探討。

1. 旅行時間價值

依 [14] 中，對旅行時間價值之計算，小客車之時間價值依包括車輛內乘客及貨物價值在內與不包括乘客及貨物價值，其分別為 9.13 元 / 車公里及 3.47 元 / 車公里（依表 4.8 之值乘上物價成長率所得），由此換算得知，小客車之旅行時間價值為 6.09 元 / 車分（假設速度為 90 KPH）。另外就高速公路局於 79 年調查之行旅時間及路況資料，得知週末南下（由台北至高雄）之平均延誤時間為 44 分鐘。因此，相對於使用 ADVANCE-F 系統後，行車之延誤時間將可改善，並且基於行車速度之提高，減少行車時間，故依 79 年台北至高雄週末

表 4.8 車輛時間價值統計表

	小客車		小貨車		大客車		大貨車	
	1978	1983	1978	1983	1978	1983	1978	1983
薪資	77,506.73	137,127.23	94,117.27	168,515.11	170,036.93	300,832.87	219,781.70	372,921.30
牌照稅	3,464.75	5,088.68	1,763.50	2,590.05	4,841.37	7,110.52	3,927.30	5,768.03
燃料費	5,422.43	7,863.92	3,739.73	5,492.53	15,847.41	22,981.35	11,811.87	17,348.09
保險	6,002.22	8,815.46	2,602.37	3,822.10	8,871.60	12,735.97	12,659.39	18,432.75
折舊	19,914.36	29,248.22	21,495.11	31,669.87	72,461.61	106,424.36	36,994.91	54,334.43
利息	21,171.23	42,210.63	19,660.92	39,760.90	65,838.87	126,931.29	42,894.83	103,360.08
小計	133,481.71	230,454.33	143,318.90	248,750.58	367,498.79	637,016.17	318,871.09	572,164.68
客貨時間價值		375,264.73		494,2968		6,018,653.4		6,090,5530
總客貨時間價值		605,719.06		249,244.85		6,653,669.6		578,255.22
淨時間價值		2.9444771		1.7490251		4.2818571		4.0585214
總時間價值		7.7391729		2.6859691		44.724238		9.9857214
全年行駛時間	78,266.64		142,222.4		148,771		140,978.6	
物價指數	1.4687 (1983/1978)							
工資率	1.76923 (1983/1978)							
利率	0.13							

以72年現值計算，單位 元/車公里

資料來源：亞聯工程顧問公司，台灣北部區域第二高速公路計畫可行性研究報告第一冊運輸規劃報告。

南下行車時間需時 5 小時 14 分鐘，ADVANCE-F 系統下之行車時間僅需 $350/90=233$ 分鐘 \approx 3 小時 53 分鐘，故在行駛 350 公里之情況下，共可節省 $314 - 233 = 81$ 分鐘，平均每公里可節省 0.23 分鐘。根據 79 年之資料調查顯示，高速公路之小客車平均旅次長度為 28 公里。依此可以計算每輛接受 ADVANCE-F 系統導控之小客車，在其平均旅次長度為 28 公里下，其每旅次所能節省之行車時間為 $28 \times 0.23 = 6.44$ 分鐘，換算成旅行時間價值，則平均每旅次可節省 $6.09 \times 6.44 = 39.22$ 元 / 車次。此係針對單一車輛接受導航之情況下，每一旅次所節省之時間價值。依 79 年中山高速公路全年之小客車交通為 218, 342, 374 輛次來計算，則全部車輛接受導控之情況下，全年共可節省 8.56×10^9 元。表 4.9 為不同比例之導航車情況下，所能節省之時間價值。

表 4.9 ADVANCE-F 系統之旅行時間價值

導航車 比例(%)	交 通 量 (輛) (接受導控之車輛數)	節 省 之 旅 行 時 間 (min)	時 間 價 值 (元/車分)
10%	21,834,237	140,612,486.3	856,330,041
25%	54,585,593	351,531,218.9	2,140,825,123
50%	109,171,187	703,062,444.3	4,281,650,286
75%	163,756,780	1,054,593,663.0	6,422,475,408
100%	218,342,374	1,406,124,889.0	8,563,300,574

2. 時間節省之社會價值

以行車時間節省之效益，來估算因時間節省所能增加之勞動生產力來說，更能實際反應出 ADVANCE-F 系統對整體社會經濟的貢獻。

依台灣地區受雇員工薪資調查統計指標資料[32]，民國 79 年工業及服務業每人平均每月平均工時為 197.2 小時，每人月平均薪資為 24,340 元，則平均每小時之薪資為 123.43 元；由此，若依每旅次平均節省 6.44 分鐘，則相對增加其勞動生產時間為 6.44 分鐘，但此係針對每一旅次而言，若全年交通量中，其工作或出差旅次佔總旅次之 45%，則在 100% 車輛接受導航的情況下，每年可增加之工作時間為 218,

$342,374 \times 6.44 \times 45\% = 632,756,199.9$ 分鐘 = $10,545,936.66$ 小時，依平均每小時工資 123.43 元計算，可以發現每年所增加之薪資為 $123.43 \times 10,545,936.66 = 1,301,684,962$ 元。就整體社會而言，整體之勞動生產力會提高，並促成 GNP 提高，相對說來社會之經濟活力亦提高，故 ADVANCE-F 系統對整體之時間效益而言，有其實質上的貢獻。

4. 5 環境保育方面

4. 5. 1 噪音影響分析

1. 交通噪音產生特性

交通噪音之產生，通常受下列幾項因素所影響

- (1) 車輛：包括引擎音、風扇音、輪胎音及排氣音。
- (2) 交通狀況：車種組成、流量、速度、號誌。
- (3) 道路：路寬、車道數、坡度。
- (4) 環境：地形、距離、地表材料吸音性。
- (5) 氣候：風速、風向、溫度等。
- (6) 其他：煞車、喇叭等。

而交通噪音之主要聲音，大致為「排氣音」、「引擎及驅動裝置之噪音」、「輪胎與路面接觸之聲音」、及「因車體鬆弛所發生之聲音」等。

就噪音之發生來說，車輛在加減速時，駕駛者踩油門加速或踩煞車減速時，噪音量增加；另外車輛之保養狀況對其噪音發生量之影響，亦有其正面的影響，即保養得當之車輛，其所產生之噪音量將比未定時保養之車輛要來得低。

2. 高速公路噪音現況

目前中山高速公路之流量已漸趨飽和，其沿線所引發的噪音量亦增大，根據 [16] 之研究報告，得知高速公路噪音之影響程度相當嚴重，且範圍十分廣泛。目前，高速公路沿線部份受噪音干擾較為嚴重之路段，已設置防音牆以減輕噪音對兩旁居民之影響。

3. ADVANCE-F 系統設置對噪音產生之影響

由於此系統尚未實際測試，故無法實際量測其噪音產生之情況，然此處針對 ADVANCE-F 系統之特性，分別來探討其噪音之產生情況。

(1) 車流特性

ADVANCE-F系統之車流型態，係每一導航車輛均採定速行駛，其行駛過程中甚少有加減速或踩煞車之情形產生，故 ADVANCE-F系統實行後，就其噪音影響因素來說：

- ①由於加、減速之情況較少發生，將可降低因踩油門所產生之噪音及輪胎之摩擦音。
- ②導航車需經常檢測，定期保養，以使車輛狀況保持在最佳狀況，故可避免因車輛保養不良所產生之噪音。

(2) 交通量特性

在交通篇中，曾對導航車道之容量作推估，當完全導航之情況下，導航車道之容量約為 8000 pcplph。因此就79年中山高速公路全年小型車交通量為 218,342,374 輛的情況下，傳統公路單向雙車道時之容量為 4800 pcph，則平均道路負荷時間為 45,487.99 小時。若雙車道中，有一為 100% 之導航車道，即其雙車道容量成為 10,400 pcph，則平均道路負荷時間僅需 20,994.46 小時；相對而言，在相同之交通量的情況下，其噪音持續時間在使用 ADVANCE-F系統下，其持續時間僅約為目前之交通狀況的 1/2，故就噪音對人之影響時間亦減半。

雖然如此，唯同一時間交通量增加也會增加噪音，但以單一車而言，導航車流可以減低噪音，綜合發生之下，噪音量究竟如何？目前尚未有適當研究及公式予以估計，須待未來再分析。

4. 5. 2 空氣污染影響分析

1. 空氣污染之影響

一般就交通所引發之空氣污染物有一氧化碳(CO)、氮氧化物(NO_x)、碳氫化合物(HC)、硫氧化物、鉛化合物等，其中以 CO、 NO_x 、HC 為最主要之排放物。空氣污染不但對人體健康危害甚大

，且對於生態環境的破壞亦十分嚴重。尤其近年來交通量大增，所造成之空氣污染情形更為嚴重。故研究空氣污染之產生與車輛之操作關係，並研擬有效之抑制方式，是當務之急。表 4.10 為車輛在不同操作狀況下與排放物的關係。車輛於空轉、減速時，CO 與 HC 排放濃度均較大，而 NO_x 則較小。加速行駛時，各種污染物之排放量較大。

表 4.10 汽機車與排放空氣污染物之關係 [26]

行駛 狀況	排 放 物 濃 度					
	一 氧 化 碳		碳 氫 化 物		氮 氫 化 物	
空 轉	濃	少 量	濃	少 量	稀	少 量
加 速	濃	多 量	濃	多 量	濃	多 量
減 速	濃	少 量	最 濃	少 量	稀	少 量
定 速	稀	普 通	稀	普 通	普 通	普 通
高 速	濃	多 量	濃	多 量	濃	多 量

根據白仁德君 [24] 於 78 年對小客車及機車之污染排放特性之研究，得知小客車於定速型態時污染排放係數的影響。白君係以實驗室測試方法，求得污染物之排放模式，其模式建立採市區行車模式，此處引用其污染排放模式，僅用以探討行車之加、減速、定速時之空氣污染排放情形。表 4.11 為小汽車 (1500cc~1700cc) 於定速型態之 NO_x 、CO、HC 平均排放係數表。

根據 [16] 之研究：

(1). NO_x 之排放

怠速時係數值每分鐘約為 0.05~0.20 克 (g/min)，加速時係數並無顯著增大，然定速及減速時係數反而增大。

(2). HC 之排放

怠速時係數值每分鐘約為 0.5~1.0 克 (g/min)，加速時係數值增大，尤其加速每秒平方大於一公尺時 (1 m/s^2)，單位時間排放量約為怠速時的 2 倍，單位距離排放量約為定速時 55KPH 時的 10 倍。

(3). CO 之排放

定速時係數值約為每分鐘 1~4 克 (g/min)，加速時，尤其是急加速時，其污染排放量增大，而減速時則減少。

表 4.11 小客車於定速型態之污染排放係數表 [24]

排 放 物 平均速度	NO _x g/km	HC g/km	CO g/km
15 KPH	0.6117	20.6681	2.1847
20 KPH	0.3498	13.4734	1.4022
25 KPH	0.4435	11.1145	1.2500
30 KPH	0.6718	10.2894	1.1450
35 KPH	0.5065	7.7674	0.8907
40 KPH	0.6881	7.6844	0.9149
45 KPH	0.8810	0.4779	0.8269
50 KPH	0.9559	6.0816	0.7553
55 KPH	0.8383	4.5708	0.6515
60 KPH	1.0095	5.1518	0.6658
70 KPH	1.2950	5.7495	0.8870

另外，停等次數增加造成 CO 及 HC 之增加，如圖 4-4，4-5 所示。

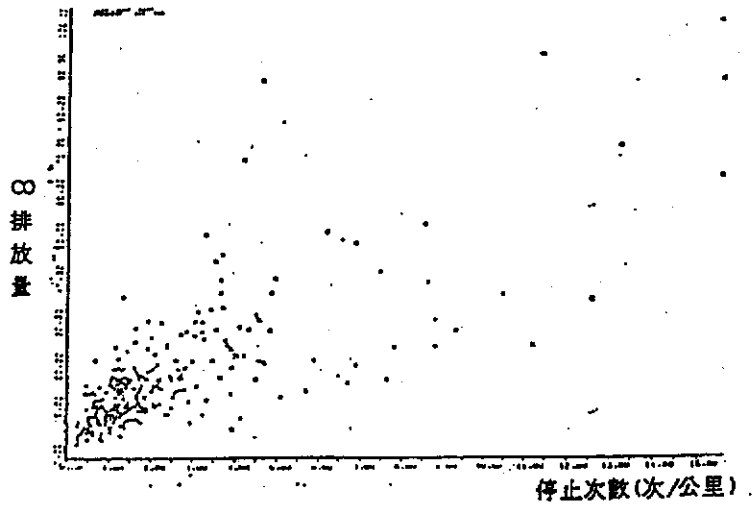


圖 4-4 停止次數對 CO 排放量之關係 [25]

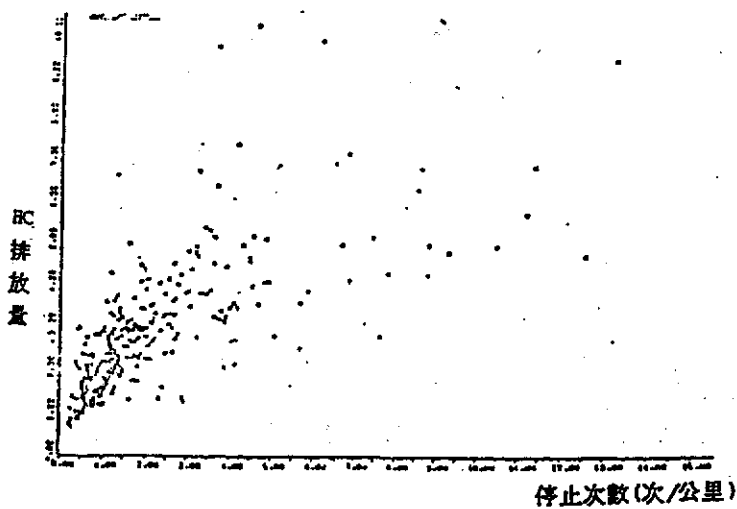


圖 4-5 停止次數對 HC 排放之關係 [25]

由上述之分析可知，車輛之行駛狀況與空氣污染物之產生有很大的影響。故可由交通狀況來探討污染物之生成量；另外，一般就油耗而言，油耗量愈高，則其污染量愈大。

2. 高速公路空氣污染現況分析

由前述之分析可知，道路之交通狀況影響車輛之行車順暢與否，而行車順暢則可降低污染排放係數，尤其是減少因怠速行駛所增加之污染。目前高速公路之容量已趨飽和，擁塞情形常發生於尖峰時段、瓶頸路段、收費站等處，因而造成行車延滯的情形。由於目前高速公路沿線無專為交通引起之空氣污染設置之空氣品質監測站，因此無法確切的提出目前高速公路之空氣污染情形。然在一般機動車輛排放污染特性分析中，得知車輛之操作狀況對污染排放物的影響很大，故在此就以交通行車狀況，來探討高速公路行車對空氣污染的影響。

3. ADVANCE-F 系統對空氣污染排放之影響

前面對 ADVANCE-F 系統之行車狀況，已有詳細敘述。在此系統下，車輛之操作狀況十分穩定，因此沒有加、減速，甚至是怠速的問題，所以其所產生之污染物，應較現行之行車狀況下所產生之污染物為少。若由油耗情形來看的話，在 4.2 節中之討論，已知 ADVANCE-F 系統下之油耗情形，較目前之行車油耗為少，故由此可知，其污染物亦較少。因此，可以說 ADVANCE-F 系統對於空氣污染之改善有正面之影響。至於其污染量減少多寡，則須要再進一步研究分析。

4. 6 其他效益方面

4. 6. 1 工業技術升級問題

ADVANCE-F 系統所需要之配備，最主要為中央控制中心之主控電腦、區域控制器、偵測系統（包括路中標鈕、條碼、反光標線）、車輛配備、交通偵測器、語音通報系統等，它結合了車輛工程、通訊工程、

光電工程及電子電路等技術，研發規模相當龐大，基本上以現代的電子及汽車工業水準的標準，完成導航設備之測試，已有足夠的能力。在目前國內鼓勵高科技發展的前提下，發展 ADVANCE-F 系統不但可提升國內工業科技，亦可增加就業機會，培養專業人才。結合專業科技與新交控理念，發展智慧型車輛，將不再是個夢想，而是指日可待的事實。

4. 6. 2 生活品質問題

隨著國民所得的提高，伴隨而來的是自動化時代的來臨，人們對於生活品質的要求亦日漸重視。ADVANCE-F 系統的啓用，對一般生活品質的影響，可分下列幾方面來探討：

1. 生活環境之改善

近幾年交通污染日趨嚴重，如何減緩交通污染的嚴重程度，是人們努力的目標。ADVANCE-F 之採用，對於空氣污染、噪音之改善，已於 4.5 節討論，對於生活環境品質當有所助益。

2. 縮短行車時間

行車時間的縮短，相對的提高勞動生產力（見 4.4 節），生產力提高，直接影響國民所得，間接影響國民生活水準。由時間價值的觀點言，在目前分秒必爭的工商業會中，縮短車內旅行時間，往往能創造更大的時間效益，此即大眾追求使用更迅速、便利運具的原因。

3. 行車安全之提高

由於 ADVANCE-F 系統，係由行控中心控制整個行車過程，可減少人爲疏失所引發之肇事，大幅降低肇事率（見 4.3 節），對使用者之生命、財產提供更周全的保障。

4. 自動駕駛之效益

除了縮短行車時間，提高行車安全之外，駕駛者於自動導航時間內，可充份利用車內時間從事其他活動，如閱報、休息....等，使原本

須專注於駕駛的時間，得以他用，無形中增加了駕駛者可利用的時間，尤其對於長程旅次而言，更是助益匪淺。

基本上，ADVANCE-F 系統對於生活品質提升之助益，可由上述四方面直接窺知一二，其他間接效益，如創造就業機會、提升工業技術水準....等，自不在話下。

4. 6. 3 國家形象問題

美國、歐洲、日本等先進國家，近年來均十分積極地從事自動駕駛及行車路線導引系統之發展研究。台灣一直被視為經濟強國。在此由開發中國家向已開發國家邁進之際，提升國內科技水準實有十足的必要。且基於台灣本身之交通需求，發展自動導航系統更具有前瞻性。本研究所研擬之 ADVANCE-F 系統，有別於一般網路資訊提供，其功能係朝自動駕駛方面來設計，如能將此系統加以深入研究，提供更好的服務功能，如此不但有助於提升國家形象，亦有助於世界各國對我國的認同。

參考文獻

- (1) 中華民國運輸學會，中山高速公路交通控制系統第一期工程效益評估與檢討，民國 76 年 9 月。
- (2) 國立台灣大學建築與城鄉研究所，以民營方式興建高速公路之可行性研究，民國 80 年 3 月。
- (3) 張堂賢，自動導航公路系統 ADVANCE-F 之研究發展與施行的相關問題，運輸第 12 期，民國 80 年 6 月，P1-P14。
- (4) 中華民國交通部國道高速公路局，高速公路年報，民國 78,79,80 年。
- (5) 交通部高速鐵路籌備處，西部台灣高速鐵路可行性研究，民國 79 年 3 月。
- (6) 交通部台灣區國道高速公路局，中山高速公路交通控制系統，民國 75 年。
- (7) 亞聯工程顧問公司，台灣北部區域第二高速公路計劃可行性研究報告第一冊運輸規劃報告。民國 74 年 4 月。
- (8) 趙捷謙，「運輸經濟」，正中書局，民國 66 年 2 月初版。

- [9] 周義華，「運輸工程」，鼎漢國際工程顧問公司，民國80年8月初版。
- [10] 唐富藏，「運輸經濟學」，華泰書局，民國70年4月初版。
- [11] 施淑惠，「道路建設財源籌措措施之研究」，國立政治大學財政研究所碩士論文，民國80年6月。
- [12] 連佳平，「公共投資的標準與訂價」，國立政治大學經濟研究所碩士論文，民國61年，P43-48。
- [13] 交通部運輸研究所，運輸資料分析，民國80年6月。
- [14] 交通部台灣區國道新建工程局，北二高匝道收費工程規劃簡報。
- [15] 方文志，「中山高速公路交通噪音特性及防治策略之研究」，國立交通大學碩士論文，民國73年。
- [16] 楊正君，「高速公路防音牆設置準則之研究」，國立交通大學，碩士論文，民國79年。
- [17] 李文斐，「中山高速公路防音牆設置前後之分析比較」。國立交通大學碩士論文。
- [18] 衛生署環保局，「台灣地區空氣污染防治總檢討－民國七十五年」，民國77年。
- [19] 李宗益，「道路空氣品質改善策略之研究」，交大碩士論文，民國77年。
- [20] 莊進源等，「飛舞空中的殺手」，百科文化事業公司，民國72年。
- [21] 黃正義，黃炯昌譯，「空氣污染學」科技圖書股份有限公司，民國66年。
- [22] 莊進源，「空氣品質概論」，行政院環保署。
- [23] 吳水威，「延滯燃料消耗空氣污染三準則下，獨立號誌與幹道號誌系統定時時制，設計分析及其整合模式之研究」，台大博士論文，民國74年。
- [24] 白仁德，「小客車及機車之污染排放與油耗模式特性之研究」，交大碩士論文，民國78年。
- [25] 蔡永裕，「道路交通對都市空氣污染影響之研究」，交大碩士論文，民國70年。
- [26] 張全寶，「都市道路空氣污染防治策略認知之研究」，交大碩士論文，民國78年。
- [27] 蕭再安，「都市運輸節省能源對策之研究－多評準決策法之應用

- 」，交大碩士論文，民國 73 年。
- [28] 交通部運輸研究所，運輸能源之研究，民國 76 年。
 - [29] 黃傳先，「高速公路交通噪音之研究」，交大碩士論文，民國 71 年。
 - [30] 中華民國道路協會，台北市中運量捷運系統環境評估，民國 75 年。
 - [31] 台北市政府研究發展考核委員會，「建國北路與新生南北路高架道路節省汽車耗油功能之分析」，民國 72 年。
 - [32] 行政院主計處，中華民國台灣地區薪資與生產力統計月報，民國 79 年。
 - [33] J. Glimm and R. E. Fenton, "An Accident-Severity Analysis for a Uniform-Spacing Headway Policy", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-29, pp. 96-103, Feb. 1980.
 - [34] Steven E. Shaladover, "Potential Freeway Capacity Effects of Advanced Vehicle Control Systems", Application of Advanced Technologies in Transportation Engineering, 1991, ASCE.
 - [35] Roberte E. Fenton, "A Headway Safety Policy for Automated Highway Operations", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol VT-28, pp. 22-28, pp. 22-28, Feb, 1979.

第五部份 綜合篇

第一章 國外相似系統之發展

自動導航公路系統 ADVANCE-F 在現階段研發著重在車輛能於高速公路上自動駕駛的運作，（未來將擴充到全面路徑指引，交通資訊系統顯示查詢等功能），早在60年代就已有學術機構開始研究，雖然當時沒有結果，但近年因 IVHS 之研究蔚為風氣，且十分有系統有組織，自動駕駛的發展也再度燃起。目前有規模或稍具成果的應屬美國柏克萊加州大學 (UCB) 所領導的 PATH 系統（隸屬美國 IVHS 計畫），日本豐田汽車的 TOYOTA 系統，以及德國漢堡技術大學的 DAIMLER-BENZ 系統（隸屬歐洲共同體 DRIVE 計畫）。茲將於下逐一介紹。

1. 1 美國系統

根據資料顯示 [1]，美國大概是自動駕駛研究的先驅，在50年代末期60年代初就有人提出自動公路系統 (Automated Highway System, AHS) 的構想，如 GM, OSU (Ohio State University)。後來相繼有美國以外的工業界專技機構進行研究，如日本機械實驗所，英國道路實驗室 (RRL)。因為許多問題没能突破，於是稍後幾年卻又轉向 Dual Mode 的研究（MIT, Hopkins）。事實上，FHWA 在 1960~1980 曾支持建一條 6.4 公里的 AHS 實驗公路，並擬定 On-board 微處理技術的計畫，包括有 lateral 及 longitudinal 控制的智慧車，但最後也未能實現。倒是後來 GM 自己建了一 3.7 公里的試驗公路及 2 部實驗車，於 1981 年提出系統研究及貿易報告，但最後乃建議還要深入研究及訂定發展計畫。此間，OSU 在理論上也貢獻不少，研究朝向以雷達或路床置感應電纜處理 Steering Control (Lateral Control)，前者為自主式，後者為被動式。OSU [2] 的縱向控制 (Longitudinal Control) 最早係考慮採 car-following 模式，即前車直接將資料傳送給後面同隊的全部車輛，也就是說第 n 部車須接收列車隊中第一部，第二部，....第 $n-1$ 部車的狀況，（如速度及加速度）。車前並置

雷達偵測，以便超車或防止追撞，但這種通訊技術十分複雜並不易處理，又此類 radar 技術並非當時的年代所能產製。

後來 OSU 因無法做到前述控制而改以 Point-following 的概念，所謂 Point-following 即移動區段控制 (Moving Block Control) 或稱槽式控制 (Slot Control) [2]，係於路床分成一節一節各裝設電感應導線以方波測定車輛和導速。這種方法最後一樣失敗，原因是地面潮溼時無法導電，處理車輛變速有困難，導線轉遞方波愈長損失愈大（訊號失真）；另外也發現路床中有鐵質材時，導線會受到很大障礙，路面不平整時，測距雷達常呈亂訊 (noise)。當然政府後來沒有支持繼續研究而作罷（經費 cuted）。

近年 IVHS 點燃 AVCS 之研究，美國便出現兩個團體分別進行。一是 OSU 重拾新點；另一是後起的 UCB。

1. OSU 新架構

OSU 秉承過去相當豐富的經驗，目前提出的架構與過去並不十分相同，卻具有 Dual Mode 的樣式，所採導控法是為觸供式（至於感應式或自主式設計則列為次要的考慮）。

觸供式是車道邊裝有類導軌，車輛須裝設可抽取之電子套件 (Detachable Electronic Package, DEP)，可以是永久裝設，也可以臨時租用，於進入此類公路前備有裝置場（公司）可為需要者裝設，須時僅 1 分鐘多（構想）。然而這種車輛是屬電力車，而非內燃引擎也。該計畫預備在美國東北走廊 (NEC) 實施（由 Wilmington-費城至 Trento-Newark，計 182.4 公里），研究期間自 1990 年至 2000 年，預計在 2000~2010 年能實現。設計速度為 55 MPH (88KPH)，容量可達現況的 2 倍，公路造價為目前的 1.19 倍。

2. UCB 的研究

UCB 在 1990 年前後由 Shladover 教授領導一批 MIT 轉來的好手（原來研究 Dual Mode）及世界各地人才共同研究 AVCS，定名為 PATH 計畫（由 Caltran 支助），企圖將公路容量提高 2~3 倍，以解決加州嚴重的交通阻塞問題。[3]

PATH 的縱向控制係採 Vehicle-follower Control，這種控制極似早

期 OSU 的 Car-following Control, 即以列車式管理, 每列車串聯15輛車, 列車間隔至少 100 公尺, 同列車中車輛間隔 1 公尺。車輛間資料傳遞靠紅外線 (infrared ray), 如圖 1-1。該資料包括兩組, 第一組為兩相鄰車輛所須的資訊, 稱 Local ; 第二組為要傳給後面所有車輛的資訊, 稱為 Repeat。這些資料含有速度、加速度、損壞警訊、煞車等。PATH 的縱向控制試驗預定地在 I-15 公路 San Diego 附近的 8 英哩 HOV車道上, 將利用假日不開放 HOV使用的時間試驗。

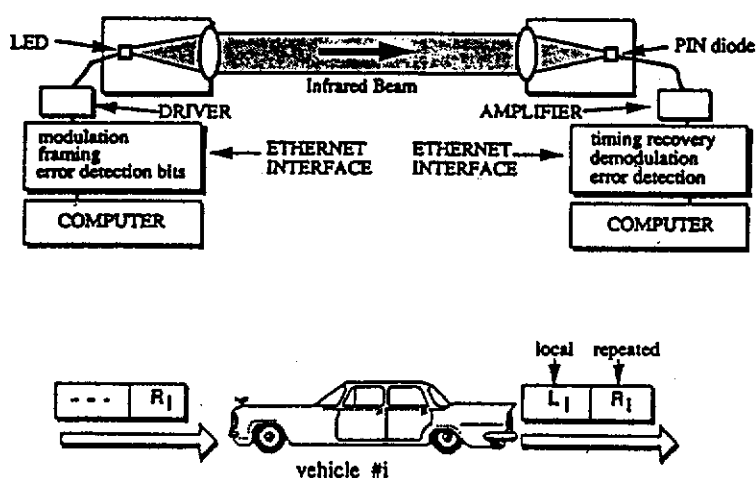


圖 1-1 UCB資訊傳遞法

本研究對 PATH 縱向控制方式的評論主要有兩點：

- (1) 使用紅外線做為前後車資訊之傳遞, 比使用無線電好, 因無線電為無向性, 紅外線為有向性, 於是在多車傳遞下免於採多孔通訊技術裝置 (multiple access)。但也因有向性而使得前後車間接收遇到瓶頸, 例如路面不平時, 車子移動偏角不能對稱時, 天候不佳時, 都會造成失真。
- (2) 這種資訊的傳遞為序列式 (Series), 於是由第一部車傳到第 N 部車時, 經過轉換所產生的延滯是累積的, 於是一個命令下達, 譬如煞車, 將形成衝擊波式的作業, 在間距短短 1 公尺下十分危險。雖然車子間隔小, 即使撞擊動量不大, 但因前後車累積的效應, 造成愈後面的車子愈是嚴重。

其次，PATH 之側向控制乃擬於車道中心裝置磁性標鈕 (marker)，標鈕直徑 2.5 cm, 10 cm 高。標鈕是永久磁鐵，磁場半徑達 25 cm (地面算起可為 12 cm)。PATH 利用標鈕磁場 M-field 的三個分量 M_x , M_y , M_z 作為預告道路幾何設計資料 (如曲率、曲線長、轉向、超高) 的訊息。當車輛底部感應器接到此資訊，今由車上控制器下達 Steer 伺服機構予以調整並有回饋動作。初步認為車速可達 135 KPH。試驗將在 UCB 的道路進行。以上的架構也僅止於構想。

本研究認為 PATH 採用此法最大優點是公共設施投資少，多半交給車輛持有者自行負責。其缺點一樣很多，值得注意：

- (1) 路面養護或加鋪時，將造成養護工作的不便，甚至造成標鈕的損壞。倘若施工者又不知已損害到標鈕，即可能釀成巨禍。
- (2) 標鈕磁極可能會因車輛載有磁性或帶電物質，甚至經雷擊而改變磁場。這種改變無法由中控中心迅速知曉。(PATH 標鈕是地面獨立設施)。
- (3) 標鈕的施工，不易將角度位置掌握得十分準確，也就是說施工誤差將帶來危險；否則工程師的要求就很高，也無形帶來建造和維護成本提高。
- (4) 標鈕高突於車道中央 10cm，當車輛進出導航車道時，易將標鈕損毀，乘客也不舒服。
- (5) 各車種在硬體設計差異頗大，因此底盤感應器距標鈕高度會對磁極判別誤差尤其磁極是 3D 的設計，(2D 也許還好)。這樣的誤差雖然可訂定標準 (Standard Rules) 來解決，但就算同一車也有高差變化的時候，譬如輪胎磨損，胎壓變化 (因天氣，因時間耗損)，長期使用造成車輛左右重心偏離等，都可能使 M-field 讀取失真。

在美國除了前面介紹的系統外，GM 公司也有研究採影像處理方式來進行側向控制，但因影像處理速度不足，造成車身行進不穩，交控目標也不易達成 (譬如離開導航車道如何處理，夜間行駛怎麼做，車流密度無法提高—無法增進道路容量)，因此被關切的較少。

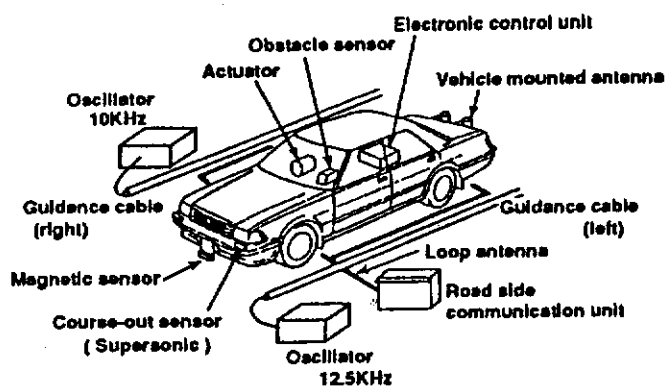
1. 2 日本系統

日本在60年代就已有機構研究自動駕駛，同樣地，都沒有實現應用於運人車輛的機能〔4〕。由於戰後日本科技進步神速，近年在 IVHS 方面的成果使得全球矚目。今年 IVHS America 年會(May 17-21, Long Beach LA) 及歐洲 ISATA 第25屆會議(Jun 1-5, Florence)，日本人亦來勢洶洶。因此日本在 AVCS 的進展是我們所應關切瞭解的。

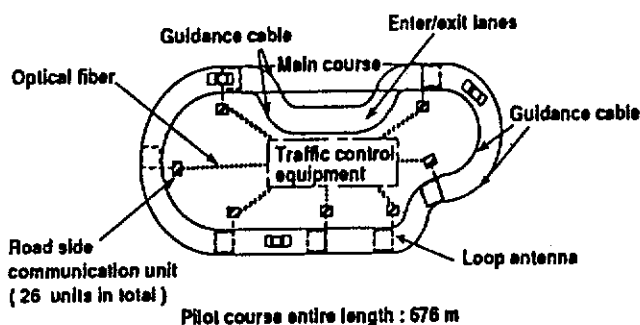
自動駕駛有兩種：一種是自主式(Autonomous)，即完全由車輛本身電腦來操作運行者，未來公路與現在沒什麼不同，馬自達(MAZDA)正在研究使用人工智慧及第五代電腦可以處理駕駛行為。自主式駕駛的控制實際並未能達到道路容量提高的目的。研究的路途至市場化可能還很遙遠，與本文 ADVANCE-F 型式亦相去較大，將不列入討論。另一種被稱是自動駕駛(Automatic Driving)的系統通常是靠內外控制機構來達成改善交通的方式。日本最具代表性者當推豐田汽車研發的 TOYOTA 系統。TOYOTA 計畫分三個階段來完成：(1) 發展適合駕駛人特性的自動駕駛系統，(2) 發展車上失效－安全(Fail-Safe)系統，(3) 發展車隊自動交通控制之裝備。底下是 TOYOTA 系統之基本架構及一些成果：

TOYOTA 系統的導控方式(圖 1-2, 表 1.1)採雙導引電纜(Dual Guidance Cable)分置車道兩旁(振盪 12.5 KHz, 10 KHz)，車輛前端中央裝有磁感應器，做為運行偵測；地面分區段置迴路天線係用於測定車輛位置及雙向通訊。車速(加速，煞車)及方向盤控制全靠一具電子致動器(Actuator)，其致動取決於 ECU (Electronic Control Unit) 和 OCU (On-Vehicle Communication Unit)。基本上，TOYOTA 系統亦設有中控中心及區域控制單元，它們採區段控制法(Block Control)來控制車輛之行進，如圖 1-3。

TOYOTA 系統目前有 676 公尺的實驗場及 2 部實驗車，試驗車速僅達 50 KPH，未來設計速度預計在 100 KPH。根據 ADVANCE-F 的研究，要達到 100 KPH，迴路天線區段必須很密 (TOYOTA 原訂 4 m)，否則容量無法提高；再加上天線置於鋪面，故建造及維護成本必很高。



(a) 試驗車



(b) 試驗場

圖 1-2 TOYOTA自動駕駛試驗系統

表 1.1 TOYOTA自動駕駛試驗系統說明表

Items	Specifications
Running course	Unpaved rough road Entire length: 676 m, 30R to 140R+
Running pattern	Vehicle speed: 0 to 50 km/h
Running course detection	Dual guidance cable + Magnetic sensor Main course: 12.5 and 10 KHz Enter/Exit lanes: 8.3 and 6.7 KHz
Determination of location	Loop antenna type inductive radio + vehicle wheel sensor
Steering control	Program + fuzzy correction of steering
vehicle speed control	Prediction feedback control
Actuator	Electric motors (accelerator, steering wheel & brakes)

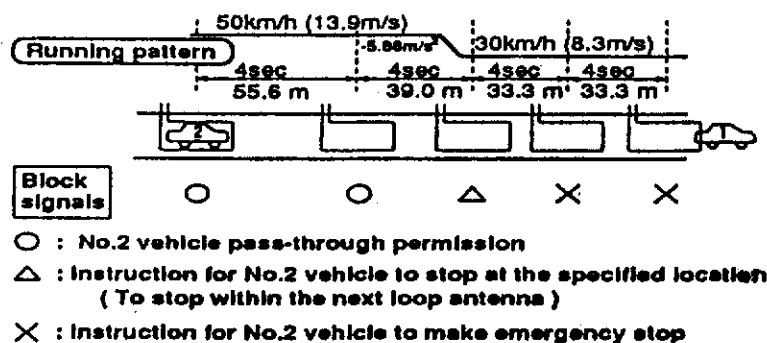


圖 1-3 TOYOTA區段控制

1. 3 歐洲系統

歐洲在 IVHS 方面的研究成效亦佳，在歐洲共同體的推動下，PROMETHEUS 計畫（工業界）及 DRIVE 計畫（公共交通事業部門）對歐洲的交通體系必展現肇事減少，污染降低，車流更便捷更經濟為目標。PROMETHEUS* 基於明日交通體系之構想，把科技潛力發揮極至，結合全歐汽車製造廠，交通專家和學術界的合作，擬出三個重點發展案：PRO-CAR（電腦輔助駕駛系統）、PRO-ROAD（車與車之間之溝通）及 PRO-NET（車與周遭之溝通）[5]。該方案之基礎研究包括(1) PRO-ART 人工智慧之製作方法與系統（由法國負責），(2) PRO-CHIP 車用之應用硬體（由德國負責），(3) PRO-COM 通訊製作及標準（由義大利負責），(4) PRO-GEN 模擬交通狀況以評估採用新系統（由英國負責）。其中 PRO-CAR 之計畫即包含了車輛自動檢測及駕駛，障礙認知及危機處理的電子系統，其目的亦在使道路容量提高。但由於發展資金來源主要來自工業界，因此迄今有關資料均流於”內部”傳送，他們一直

* PROMETHEUS 為希臘神話中，違反禁令而盜天火以利人類之神，在此處乃研究計畫全名之縮寫。PROgraMm fur ein Europaisches Transport-system Hochster Effektivitat Und Unubertroffener Sicherheit（最高效能與無比安全的歐洲運輸體系方案）。

把這些 know-how 視為工業機密。直到歐洲第25屆車輛技術及自動化會議 (International Symposium on Automotive Technology and Automation, ISATA) 中才發現德國漢堡技術大學為賓士公司 Daimler-Benz (列於 DRIVE) 所做的自動駕駛車隊控制的理論 [6]。從作者 Cremer 教授引用參考文獻中瞭解：歐洲早期亦力圖研究但未成功，(從美日之失敗，歐洲之結果是可以想像的)，現在重新研究引用乃是美國的資料。Cremer 教授認為今日之所以再出發乃基於微電子及通訊工程的進步提供了這樣的機會，它可使縱向及側向控制同時瞬時得到處理 [6]。因此可見歐洲這方面的進展似乎未在美日之前，猜測其腳步亦應還在伯仲之間。

Cremer 論文主要在探討縱向控制車隊的策略，縱向控制作法有二：其一是中央統籌控制法，實際即將車隊中所有車輛的資訊藉通訊送到路邊控制器或控制中心來決定行進行為。Cremer 認為車輛在快速行進間不易做好資訊雙向傳輸，技術要求很高，車隊中某車進出系統的問題不易有彈性處理 (必須透過向中央控制中心或路邊控制器宣告，否則無法自主地離去及進入)。

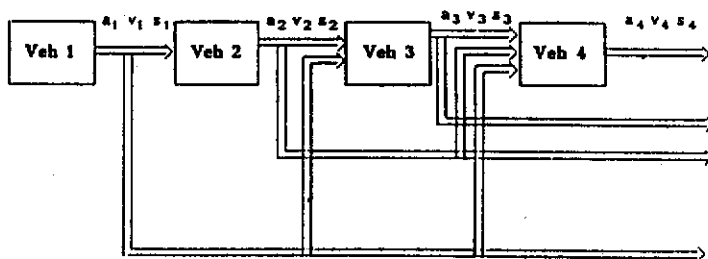
第二個作法是串列式資料轉遞法，與 UCB 系統一樣，即第一車傳給第二車，....以此類推。但是此法的控制規則也可分兩種：一種是單一連結控制 (Single Link Cluster Connection)，如圖 1-4(a)，即第 i 車的控制函數 $f_i(X_i, X_{i-1})$ 所依循的資料僅為其本身狀態屬性 X_i 及其前一部車 ($i-1$) 的狀態屬性 X_{i-1} 。另一種控制是多重迴路控制 (Multiple Loop Cluster Connection)，如圖 1-4(b)，此即第 i 車的控制函數為

$$f_i(X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_i)$$

即需由車隊中所有其前面車輛的狀態屬性來決定。Cremer 也做了其比較分析認為單一連結較優，並建立其穩定控制法則 [6]。這個結果顯然與 UCB 想像有了差距。



(a) 單一連結控制



(b) 多重迴路控制

圖 1-4 串連式資料傳遞法

至於其硬體架構及側向控制方式並未在文中提及，由其字裡行間猜測與 UCB 亦相去不遠。

歐洲亦有相當多機構對於發展自主式駕駛車有興趣，如 UK 的牛津 (Oxford) 大學，德國慕尼黑軍事大學 (Federal Armed Forces University Munich) 等。因其基本目的與 ADVANCE-F 相去較遠，此處不予介紹。

第二章 ADVANCE-F 發展歸納及與相似系統比較

前章介紹了國外較有規模之相似系統；本章首先將 ADVANCE-F 的目標及技術發展情形歸納，進而與國外系統做一比較。下章再綜理 ADVANCE-F 的可行性。

2. 1 ADVANCE-F 發展目的及目標

運輸是社會經濟發展的原動力，它賦予人群活動生命力。因人際活動的需求增加，傳統運輸能力卻是有限，運用高科技去改進運輸能力是現代交通界所祈盼。因此如何突破傳統公路容量的技術正待結合產官學界的智慧去研究。

ADVANCE-F 是國內第一個開發的自動駕駛系統（未來會擴充至有路徑導引等功能）。將來預期達成下列目標：

1. 提升公路容量

交通需求增加，傳統的解決辦法不外擴增公路，有效運用控制技術及管理技巧。時至今日，道路建設的速度一直無法趕上運輸需要的成長。公路容量也一直無法突破基本的 2000 pcuphpl，（以美國公路容量手冊而言），道路擁塞四處可見。土地資源有限不能全數投入公路建設；國家財源亦是有限，亦不能全數支付於交通建設。ADVANCE-F 即以科技方法謀求改變車流運作方式，使公路容量提升至現有的 2~3 倍。一方面讓已闢建公路的土地資源充分利用，另一方面讓系統設備多一些由車輛所有者承擔既可節省國庫開銷，又可解決道路不足，交通阻塞之苦。

2. 改善交通秩序，增進交通安全

我國的交通秩序一向不好，車流混亂，高速公路任意超車超速，性能不佳車輛佔用內車道，安全間距未能保持，酒後駕車嚴重降低交通服務品質。ADVANCE-F 能導正穩定的車流，去除駕駛人的慾望及能力間障礙，減少人工駕駛之誤失，增進交通安全。

3. 能源的有效利用並維護生活環境

車流不穩定，時而加速，時而減速，煞車頻頻，能量耗損無以計量。車輛排放之廢氣正與燃油消耗成正比例。若能有效利用能源，由時空分佈概念知，能源節約，污染自然減少。環境維護也是 ADVANCE-F 任務目標之一。

4. 展現研究水準，促進科技發展，提升國際地位

國際間，台灣被視為暴發戶，雖然經濟實力不為他國忽視，但國內科技一直未展現很強的聚合力及高科技工業水準。以 IVHS 而言，歐美各樹一格，日本表面傾歐也傾美，事實上，致力吸取雙方經驗，開創其產品市場，目前台灣尚無法與之較勁，待國人全心努力。

2. 2 ADVANCE-F 技術現況

ADVANCE-F 之技術層面可切成屬公共設施部份及私人配備部份。屬公共設施者大體統稱道路附設控制設備；屬私人配備即車輛須增添的器材。

2. 2. 1 公共設施部份

ADVANCE-F 系統需要在道路上裝置的設施有：

1. 標線

這種標線是繪於導航車道的中央，材料以一般反光標線漆為構想。其反光度及色澤洽可供車輛導向微調偵測器讀取，因偵測器使用的發光源為紅外線，故與日夜天色無關。其規格待第二期導向試驗時將可做決定。

2. 導標

導標係裝設於車道旁（中央分隔島上），每 5 公尺乙支，功能為車輛偵測、定位及傳送車輛將抵達之道路幾何狀況資訊。車輛偵測靠紅外線阻斷反射回波，因此有發射及接收器裝置。另導標會發射 C0 無線電波，內有導標碼（位置）及道路幾何資料碼，C0 只供近距離車輛接收。這種導標材，目前市場上有相當類似的產品，本研究於第二期工作中將用於資料傳輸試驗，於稍做修改即可供 ADVANCE-F 架設。（導標實際上只是訊號發射及接收器而已）。

3. 區域控制器及 B1 接收器、B2 發射器

區域控制器為區域交通控制之主管，它決定車輛行駛速率，車隊之組成，導航車之辨識，並查驗車輛安全，緊急事件處理等。其指揮交通之命令靠 B2 微波發射器，車輛發射之 B1 訊號則由其 B1 接收器接收；B1 為多重輸入型(Multiple Access)。

TOYOTA 系統的區域控制器是使用工業級的 386PC，在 ADVANCE-F 亦採行 386PC + 387 為主機。B1 接收器及 B2 發射器係一具控制板和一組讀寫天線。應用時，考慮避免大功率會蓋過小功率，或相互干擾產生雜訊，就是使用多重輸入未必妥當，價格也會很高，因此將來可能取消 B1 多重輸入型，將此接收發射器併入導標合為一體，端視第二期的試驗再決定。

區域控制器決策軟體將主導轄區一切控制權責，由 386PC 來執行，目前軟體尚待車輛車隊縱向控制(Longitudinal Control)策略研究完成後編寫，（第二期）。

除前述道路附設導航設施外，尚有中控中心，管轄全段線上交通管制，線外資訊提供。中控中心將連接區域控制器以光纖方式傳導訊息。這部份重點不在硬體，而係系統控制之系統軟體。系統控制架構在下期會釐清，至於系統軟體涉及 ADVANCE-F 以外之管制事務，並不列入目前研究範疇。

2. 2. 2 私人配備部份

私人配備係因車輛屬於個人所有，與公路主管單位或導航營運單位之財產權獨立。有導航功能的車輛除了需具備：

- ① 自動排檔 (Auto-Shift)
- ② 定速控制 (Cruise Control)
- ③ 動力方向盤 (Power Steering)

另尚要裝配：

1. 導向感應裝置

ADVANCE-F 之感應裝置有粗調，微調之分。車輛導向粗調感應裝置乃為車道邊裝置之導標發射 C0 電波之接收器；微調則係車底左、中、右三只紅外線反射感測器，感測車道之導向標線。粗調裝置將搭配 C0 發射器件，目前已可獲得；至於要找到合適的微調感應器材尚待進一步查核，主要是感測距離與響應速度問題。在初步的實驗裡，暫將採粗調；完成後再加入微調裝置。

2. 轉向伺服機構

轉向伺服機構為馬達控制器，馬達與車輛方向桿間的合作關係。此部份的架構在市面上都可辦到，據悉 ADVANCE-F 這方面的設計與 TOYOTA 系統相同。

3. 導向微處理機

車上導向微處理機目前選用 386PC 一具，它將以一支控制卡接收 C0 訊號，經微調訊號比對下達命令至轉向伺服機構（馬達控制器）。這裡重要關鍵在於控制軟體，如何確保感應裝置－伺服裝置－及車輛運動三者間靈敏度關係，而不致於車輛行駛不穩定問題（模糊控制理論）？在第二期的試驗將會有答案。

4. 速控裝置

車上速控裝置有 B2 接收器及定速器。定速器為現成裝備，B2 接收器與定速器之連接目前尚未完成，尚正研究電路中。在第二期的工作包含速控裝置試驗，並與導向控制試驗整合，求取穩定的控制參數。

5. 車輛導航中心電腦

中心電腦將負責自我檢測（含目前車速）及記錄，B1 訊號發射周邊事件（車輛）偵測，緊急煞車之驅動控制，A1 和 A2 之通訊。電腦規格及其周邊裝置及系統軟體將列入第三期之工作項目。（第二期工作屬實驗室及短場試驗，第三期則為中場試驗，第四階段方為公路試驗）。

2. 3 ADVANCE-F 與國外相似系統之比較

自動車輛控制系統（AVCS）在 IVHS 發展領域雖然被列在較晚的階段，但從各主要 IVHS 研究組織的進展項目來看，AVCS 也是愈來愈突顯其重要性，只不過有些體系把它列為機密。第一章已介紹過與 ADVANCE-F 相似的幾個系統。本節將做進一步的比較分析。

表 2.1 列示五個正研發之自動駕駛系統之比較。茲分析如下：

表 2.1 世界各主要自動駕駛系統比較

系統名稱	目的	車輛推進系統	縱向控制之資訊傳輸法	縱向控制策略	側向控制方式	速度	容量增量	造價增量	實施公路
OSU	<ul style="list-style-type: none"> • 提高公路容量 • 促進交通安全 • 及服務水準 • 節約能源 • 改善環境 	電動車系	車輛以抽取式套件與路邊導線連接，觸供式資訊傳輸。	中央控制式（車隊）	觸供式導線	設計 88KPH	2倍	1.19倍	Freeway
UCB	<ul style="list-style-type: none"> • 解決交通阻塞 • 增進交通安全 	*	前後車以自主紅外線傳輸資訊	自主多重迴路式（車隊）	車道中置磁性標鈕（磁向量）	極速 135KPH	2 ~ 3倍	*	Freeway
TOYOTA	*	內燃引擎車	無線電 + 鋪面區段電磁感應	中央控制式（車隊）	車道兩旁置雙導引電纜（無線電磁波）	實驗 50KPH	*	*	Freeway
D-BENZ	<ul style="list-style-type: none"> • 促進交通安全 • 提升公路容量 • 增進舒適性 • 增進公路效率 	*	*	自主單一連結式（車隊）	*	*	*	*	Highway
ADVANCE-F	<ul style="list-style-type: none"> • 提高公路容量 • 改善交通秩序 • 增進交通安全 • 能源有效利用 • 維護生活環境 • 促進科技發展 • 提升國際地位 	內燃引擎車	無線電 + 紅外線	中央控制式（車隊）	<ul style="list-style-type: none"> • 無線電 • 紅外線感應標線 	設計 90KPH 極速 120KPH	2 ~ 3倍	1.05倍	Freeway

註：“*”表示未知

1. 目的之比較

在五個系統中，其目的可說相當一致，發展自動駕駛不外為提高公路容量，減少公路塞車，並促使有更安全的交通環境。另外也藉此使能源使用達到更有效率及維護生活環境。由於我國科技及國際地位尚在美、日、德國之下，藉此發展研究潛能，引以讓國際重視台灣的實力。

2. 車輛推進系統比較

除 OSU 假以電動車為出發點，TOYOTA 及 ADVANCE-F 係以現行車輛的內燃引擎系統建立自動駕駛體系。UCB 及 D-BENZ 雖未明示，但以內燃引擎車可能性最大。兩種推進方式差異頗大，因目前內燃引擎車為絕對多數，若採電動車，那麼汽車市場會起較大的衝擊。

3. 縱向控制策略及其資訊傳輸方式比較

OSU 採觸供式，路邊導線可做為車輛偵測定位及中央控制中心決定車輛隊伍及速度。UCB 係為減少公共設施為出發點，故力求以自主控制為著眼，其以紅外線一接一的方式傳送車輛狀態資訊，後車將以前導車（多重）的狀況做為自我速率決定之根據。D-BENZ 亦提出相同的資訊傳送法，但控制策略則以單一連結法。這種控制優點是不必增加路邊公共設施，相鄰的車輛訊息傳送直捷快速。但是複式資訊的傳遞，愈後面的車子愈不利，獲資訊時間愈長，因此 D-BENZ 認為採單一法較可靠，不過在單一法下能否將車間追成 1 公尺，其安全程度令人懷疑。至於其他缺失，在第一章中也提過：路面不平、曲線大時，天候不佳會造成資訊散失，要解決這點缺失，可要費勁不少。還有此種方式沒有能力保證前車一定會將資訊傳給後一車輛，因即是片面義務，與自身無關，因此若後傳器壞了，車主不修，不就斷送後車的權利嗎？因此究竟採自主或非自主還有許多爭議。

TOYOTA 及 ADVANCE-F 的縱向控制方式十分相近，均採用無線電通訊做為中控指示車輛行動的媒介。無線電通訊為無向性，故資訊傳輸給每輛車均要靠身份碼(ID-CODE)，車輛送訊息給控制器則須多

孔接收器。但目前 ADVANCE-F 可能發展近距離無線傳輸，多孔式也許可避免。TOYOTA 採區段鋪面電磁感應測定車輛位置及控制前進點。ADVANCE-F 則用紅外線阻斷做為車輛位置測定並控制車輛前進點。第一章曾提過，鋪面的電磁感應裝置不甚妥當，譬如對路面養護工作十分不便，電磁線圈維護更困難，假如地上或地下有的鐵器、及於雷雨天氣都對此裝置不利。

4. 側向控制方式比較

UCB 車道中置永久磁性標鈕，公路幾何設計內容均以標鈕之磁向量表示，第一章亦述及其優點為公共設施少，成本低；惟使用磁性標鈕問題很大：，對路面養護施工不便，易被損壞；磁場經雷擊或帶電物體經過可能會改變其磁向量及強度；標鈕磁向量不一，施工不易如想像準確；標鈕高突於車道中央，車輛進出車道，標鈕易於損壞，萬一功能喪失，也不易察覺，危險性就高；車輛高程及重心因時因地變異性大，讀取 3D 磁向量，恐將誤導。

TOYOTA 方式車道兩旁置導引電纜，目的是發射振盪電波，與 ADVANCE-F 之導標發射 C0 無線電波幾乎相同意義。TOYOTA 因採電纜有連續性(Continuous)，ADVANCE-F 則為間斷性(Discrete)，因此 ADVANCE-F 之 C0 僅為粗調，需靠標線作微調。二者均沒有 UCBi 之類的高差等變異問題，對大小車均適用。TOYOTA 可依不同振盪（變頻）將車輛變換車道（如離開主線），ADVANCE-F 目前尚未深入研究網路變換車道問題，但從 TOYOTA 的方式來看，ADVANCE-F 亦可採無線電方式處理車輛變換車道。（TOYOTA 為變頻法，ADVANCE-F 為數據法）。於第二期的發展再詳細研究。

TOYOTA 的變頻法仍然有某些控制的問題。因 TOYOTA 實驗只用 2 部車，在進出主線控制時變頻為 8.3 及 6.7KHZ（主線 12.5 和 10.0 KHZ），若車輛很多（或車隊）且目的地不同，此時變頻法如何處理不同目的之車輛，（譬如有的車要直進，有的車要離線）。這點在 TOYOTA 的實驗報告中並沒有清楚交待。

-
- 註：TOYOTA 沒聲明，但本研究認為此法同樣可以處理系統交流道暨網路自動變換。

5. 速度及容量之比較

雖然表 2.1 中，五個系統在速度數據表現並不一致，但因有的是設計值，有的是實驗階段，有的是計算極速。交通設計裡，以極速行駛幾乎很少，都必須有折扣，於是實際運作也大約會在 90~100KPH 間。

至於容量方面，與現況比較，均以提升 2~3 倍為目標。

6. 實行對象及造價

所有的系統均以高速公路為優先採行，D-BENZ 則已有設想在普通公路也同樣可應用。

造價方面，OSU 估出為現況工程費之 1.19 倍，ADVANCE-F 則僅現況工程費之 1.05 倍。

從前面的分析，我們發現 OSU 所發展的系統以電動車為運具，較目前佔絕多數的內燃引擎驅動汽車之市場及生產線來看，挑戰性太高，會受到的衝擊也很大。又進出系統作業要裝套件較麻煩，導線設置，有如 Dual-Mode，故與傳統車暨傳統公路共線的可行性不高。UCB 構想不錯，磁性標鈕問題卻太大，不切實際，ADVANCE-F 早先亦曾假想車道中央佈置標鈕，亦因問題太複雜終究放棄；推斷 UCB 終究會改變主意。綜觀之下，以 TOYOTA 系統與 ADVANCE-F 架構較相近，也較實際。至於 D-BENZ 技術多不公開，不過以其所透漏的訊息可推測並未較先進。

第三章 ADVANCE-F 可行性綜合結論

3. 1 技術面及交控面之結論

前面章節已敘述許多 ADVANCE-F 的研發架構及各國系統概況。吾人發現 ADVANCE-F 系統在技術層面及交控層面可行性相當高，茲不再多述，不過仍然有許多待研究分析的問題。本節將僅陳述技術面及交控面有那些待研究的主題。畢竟，在沒有完成這些研究，說可行也許是徒勞，我們將會逐步去克服。

1. 技術面

從前章的分析知，ADVANCE-F 架構上並不亞於世界其他相似系統，從技術層面看，可行性極高。雖然如此，我們深知待解決的問題甚多。

(1) 道路裝置部份

- 紅外線阻斷判別之信賴度確認。
- 多個導標傳送訊號時序分析及排程設計。
- 控制器規格及導控程式設計。
- 控制器，導標設置密度關鍵研究。
- 導標與 B 訊號發射接收器併行之可行性。
- 縱向控制與道路幾何設計的關係。
- 最適通訊頻道的選擇。
- 短距離微波通訊的方式抉擇及其可靠性。

(2) 車輛設備部份

- 使用 ADVANCE-F 系統的车辆性能規格。
- 車輛行駛穩定性研究：

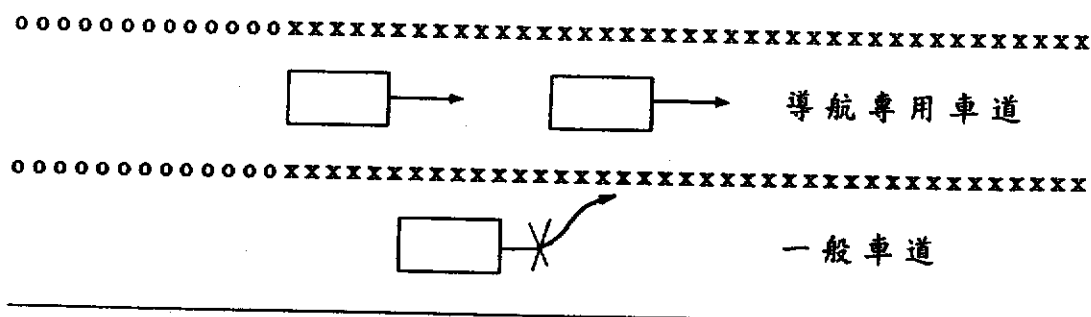
- (1) 感測器－決策機構－伺服機構間適應性調解參數。
- (2) 導向－導速諧和性研究。
- 標線反光度及紅外線感應響應速率分析。
- 車輛導航中心控制機構的協調設計。

2. 交通控制面

關於此部份，可就以下幾點說明，以及研究建議：

- (1) ADVANCE-F 系統的導控主體為一連動式控制系統，由控制結構形式上來看，與捷運系統（RTS;Rapid-Transit System）很像，但 RTS 行車管制使用區段管制法（Block Control），當一部列車佔據某一區段，其他列車就不被允許進入，通訊則靠移動區段或區段更替法（Moving Block）來達成，每區段長約數百公尺。但 ADVANCE-F 中有大小區段之分，大區段約數百公尺，為一個控制器所轄範圍；車道邊導標間則為小間段，約 5 公尺，車輛將檢視暗碼以分辨鄰近通訊，來達到移動區段（小區段）通訊之目標。我們將研究交接的剎那車流安全穩定性如何？
- (2) 高速公路為一自由進出之公路，但為了保持全盤的行車安全及運行效率，對於進入導航專用車道必需加以管制，管制要點包括：
 - 非導航車輛禁止進入。
 - 檢測不合格之導航車禁止進入。
 - 車道流量飽和時不允許進入。（以上參看第四篇，1.3 節）

但以上之管制要點如何付諸實施？吾人以爲以排狀紅綠燈充當導航與非導航車道間分隔車道線，當有足夠間隙（Headway）處車道線亮綠燈，否則亮紅燈。則若非法闖入導航車道以致肇事，責任歸屬亦當十分明顯。簡單示意圖如圖 3-1：



x : 表紅燈區域，禁止進入
o : 表綠燈區域，可申請進入

圖 3-1 紅綠燈管制示意圖

- (3) 控制器設置之密度與安全係數內控制能力有關。當然，控制器本身除工作速度要快，穩定可靠亦十分重要。正常情況下，初步要求工作負荷在 10-20 部車，安全容量時也應有處理 50 部車的能力（車速很慢時）。而控制器密度、運作速度及容量三者之決策有互動關係，有待進一步研究。

- (4) 導航車道車流狀況檢核算式

交控中心確認係導航車且車況檢測合格後，需透過此申請車輛所在之區域控制器（或車行進方向為準之前一區域控制器），偵測導航車道未達飽和，且臨近此預備導航之車將有較大車間空程（ $gap > 5 \text{ sec}$ ），乃允許該申請車輛逕自進入導航專用車道。

此部份主要依賴區域控制器之資料，也可由紅外線導標之阻斷推算，故應加以分析，求出推計公式，以便做為紅綠燈車道線管制式。

- (5) 人工駕駛與自動駕駛切換適應及準則研訂。
- (6) 混合車流行為模擬分析。
- (7) 目前階段之研究乃以專用車道進行之，將來若使用此一系統車輛佔使用該公路車輛 50% 以上則可以考慮複線導航。屆時，各項行動（包括註冊、行進、解除導航）均將較目前複雜甚多，除第三篇第四章，4.1，4.2 所述，仍有深入探討之必要。尤其是公路網路的導航操作問題。

3. 2 效益評估結果

投資任何一項重大工程，無非是”今天不做，明天一定會後悔”。吾人從事 ADVANCE-F 系統之研究工作，除了確定其目的、目標、程序、步驟與方法外，若能解決技術方面、交控方面之困難，還有更重要的一個評估項目：效益分析，它可以說是施行的大前提，在本節中即摘錄 ADVANCE-F 之效益分析結果，以顯示其可行程度。

1. 車流服務容量方面

自動公路車輛控制系統 (AUTOMATED HIGHWAY/VEHICLE CONTROL SYSTEMS ;AHVCS) 的許多相關研究計畫均朝向：發展比駕駛人更有效地維持車輛速度，維持穩定的車頭距 (headway)，以便有潛力地增加容量，降低誤差，並達成更安全的操作。

ADVANCE-F 系統在容量方面，確實可達有效之控制車間空程 (詳見第四篇，第一章)，在參考 Roberte 對車隊之運行速率及避免碰撞最小安全間距式後，可推求在不同速率下避免碰撞之容量 (請參酌第四篇，表 1.1)。由以上可知，在保守估計下，ADVANCE-F 系統仍可相當大幅度地提高服務容量至 5500-6000 pcuphpl，並節省新建公路的費用，賦予舊道路新生命。

2. 建造及營運費用

(1) 建造成本

系統之建造成本，包括控制中心設備成本、道路設備成本、路邊設備成本、附屬設備成本以及其他。經參考第二高速公路交通控制系統設備成本，且以民國81年幣值為基準，並高估 1.25 成，得建造 360 公里需總工程費 180 億。

若以等速、等車間距與無延滯情況，自動導航公路系統(ADVANCE-F) 一車道之容量，可與目前二高設計之四車道容量相當。總經費 180 億，總長 360 公里，得平均每公里 0.5 億，若與第二高速公路已知平均每公里 10 億相較，可知此系統極賦經濟效益。

(2) 營運費用

營運費用係參考中山高速公路交通控制系統營運佔總建造成本計算，經物價波動指數的轉換，及因系統使用率與精密度均高，故多估 20% 得未來自動導航公路系統之營運約需 5 億 6 千萬元。

在此值得一提者是，由於自動導航公路系統涉及投資效益、安全、保險...等層面極大，恐非現今法令下公務員所能承擔。又近年來，我國在推動經濟自由化的過程已著手規劃公營事業民營化，交通事業更爲其中首先開放者。所以，此一自動導航系統似乎可朝民營化研究，藉聯合開發方式之施行，使系統有獨立收費功能，用民間充沛資金與組織經營能力，不但增加系統之營運績效，也減少政府財政負擔，加速國家建設完成。

3. 使用者效益方面：

由於自動導航公路系統實施後，對系統使用者的成本與效益均會發生影響，且使用者效益對未來系統成功與否，有非常大之影響，以下就第四篇所分析者綜合敘述：

使用者所關心，無非所付出之成本是否大過於由系統所獲得之利益。在自動導航公路系統中，使用者所必需付出之成本，主要包括以下：

(1) 使用者設備成本：

此部份包括導速設備成本、導向設備成本、通訊及主控設備成本、第三安全裝置成本及軟體費，初步估計約 30 萬左右，然大量生產降低成本 30～50%，此設備便可在 15～21 萬元之譜。

(2) 通行費用

道路使用者基於利益原則和財政公平，應負擔道路成本（包括道路建造成本），本研究因目前邊際成本估計不易，故採平均成本法，利用建造成本、營運成本與通行費均衡，得通行費計算方式（根據調查顯示有三分之一的小汽車持有者願意購買有自動導航的車輛）。經進一步估算後，假設使用年限 15 年時，通行費預估在 40 元之譜，約爲目前通行費的一倍。

(3) 使用者使用費用：

此處所指之使用者使用費用，相當於高速公路的行車成本，通常可分為燃油、附屬油料、輪胎、大修、保養、通行費及保險費等。然除通行費與保險費，其他項目資料不易調查，故假設其變化差異不太，而通行費以平均每次通過收費站約增加40元，使用者首年的保險費約增加 12,000 元。

但以上部份不全是支出，尚有收益。例如因等速穩定駕駛，使消耗性行為減少（燃料、附屬油料、輪胎、大修等）。所以，綜上所述，通行費與保險費增加，消耗性行為減少。由於保養上需更精密，而使維護費用提高；但亦由於保養更精密，使消耗性行為減少。也使一般維護費用降低，所以此項目將造成增減互抵之行為。

(4) 使用者時間效益：

自動導航公路系統完成，其所能節省的時間，實際上約等於目前行駛高速公路所延誤之時間。主要係因為延誤產生之原因為交通量大、等候繳費，收費站加減速、事故延誤、故障車影響、施工延誤，而這些恰能以實施自動導航公路系統加以克服。

(5) 其他效益：

提高高速公路的服務品質：

駕駛者於行車中可節省開車所耗費的精力，在精神上獲得鬆弛。車輛等速的行駛，不但可增加車輛的穩定性，舒適度亦隨之提高。

降低肇事率，保障行車安全：

自動導航公路系統的實施，會降低人為引起之肇事率。但電腦操縱之導航車，發生機械故障之故障率，或系統控制設備的故障率，在設計中必需嚴格，以使發生機率最小。

4. 總體效益方面：

(1) 土地節約使用方面：

由於自動導航系統車道之容量，約為傳統高速公路車道容量之四倍。因此，就保守而言，ADVANCE-F 系統不但可就現有道路提高容量且工期需時較短，能有效利用有限土地，提供最大的

服務。少建高速公路，除可節省興建新道路之龐大花費，亦可減少人事的麻煩（地主抗爭或抵制，導致土地不易取得）。

(2) 能源節約使用方面：

參酌第四篇第四章 4.2 節所述，ADVANCE-F 系統為一均勻車速操控系統，即使極簡化現行行車狀況為前提，ADVANCE-F 系統油耗仍比現狀要好，若將現況考慮怠速情況，超車加速、減速、收費站停等、尖峰壅塞…等情況，則 ADVANCE-F 系統對於能源的使用，可節省更多的用量。

(3) 交通安全方面：

由於 ADVANCE-F 系統之安全防線有：

- 車內警示系統。
- 導標及導向標線感測系統。
- 週邊感測器裝置與自動剎車系統及中控中心區域控制器之連接。
- 保險制度之建立。

以上四個部份，除非前三項同時故障，否則系統運作仍能維持正常，所以就系統而言，失誤機率十分微小，可靠性相當高。除機械及系統故障可減至最低，人為失誤亦可藉由系統操作而消除，故 ADVANCE-F 系統對於肇事率的降低，應當有相當大的助益。

(4) 環境保育方面：

• 減少噪音：

ADVANCE-F 系統採定速行駛，加減速的情況減少，可降低因踩油門所產生之噪音及輪胎之摩擦聲；也可因定期保養，避免因車輛保養不良產生之噪音。

• 減少空氣污染：

根據系統之操作情況穩定，沒有加、減速，甚至是怠速的問題，所以其產生污染物，應較現行狀況為少。若由耗油來看，油耗較現行行車狀況下少，因此其污染物也少。故吾人可說，ADVANCE-F 系統對空氣污染改善應有正面之意義。

3. 3 綜合結語

ADVANCE-F 早期由淡江大學交管系導航研究室（張堂賢博士主持）於79年所提出，當時只有初步構想及不甚成形的架構，唯智慧車輛公路系統是未來的趨勢，ADVANCE-F 是國內首宗較具運輸科技發展潛能的綜合性系統，倘能成功，對改善高速公路交通必有極大助益。因此於80年底交通部運研所協同淡江大學交管系繼續研究。

研究當中，所有參與人員均以全力以赴的態度，迄今提出進一步的可行性研究，內容含硬體、交通及效益等內容。本系統經與國外相似系統比較並不遜色，更加深了全體研究人員的興趣，並已擬定分四期來進行更上層樓的研究。

第一期：基本架構，確立方向，可行性分析

第二期：實驗室試驗及短場試驗（100公尺左右）

第三期：中場試驗（1 ~ 2 公里，Exclusive Lane）

第四期：公路試驗（5公里以上，Mixed Traffic）

目前已完成第一期，預計81年7月 ~ 82年6月進行第二期工作。這段期間將盡可能蒐集相似系統的研究情況，甚至前往觀摩研討。

未來 ADVANCE-F 之推行，將有賴政府，學術界及產業的合作及努力，在有組織有計畫性的進行方才有實現的成果，將為台灣的交通鋪下坦途。

參考文獻

- [1] James G. Bender, "An Overview of Systems Studies of Automated Highway Systems", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 1, Feb. 1991.
- [2] Robert E. Fenton, Robert J. Mayhan, "Automated Highway Studies of The Ohio State University - An Overview", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 40, No. 1, Feb. 1991.
- [3] Steven E. Shladover, et., "Automatic Vehicle Control Developments in

the PATH Program", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 1, Feb. 1991.

- [4] Y. Okada, K. Kato, J. Komura and E. Shima, (TOYOTA) "Development of Automobile Traffic Control Equipment For Automatic Driving System", Proceedings of 25th ISATA, Mechantronic, Jun. 1992.
- [5] Ulrich Kramer, Dieter Marx, Rolf Povel und Walter Zimdahl, "Technische Probleme und Lösungsansätze für das Forschungsprojekt PROMETHEUS der europäischen Automobilindustrie", ATZ Automobil-technische Zeitschrift 87 (1987) 3.
- [6] M. Cremer, "On Convoy-Stable Control Laws For Automatically Driven Vehicle Clusters", RTI IVHS, Proceedings of 25th ISATA, Jun. 1992.