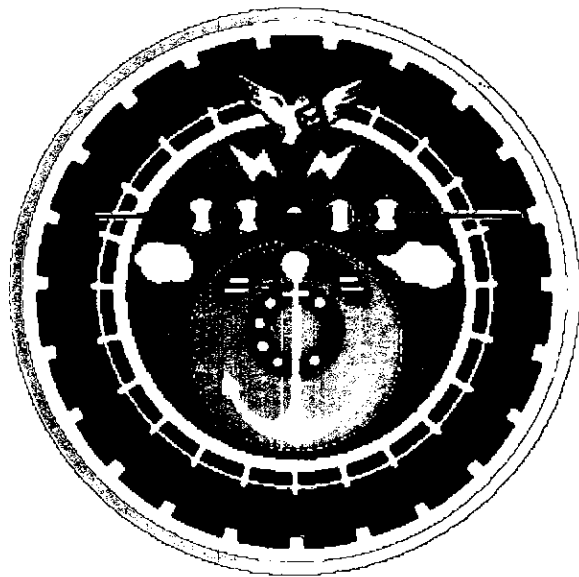


MOTC-STAO-92-16

# 廣域免基地台式無線電系統在智慧型運輸系統之應用研究與實作(1/2)



執行單位：國立交通大學

委託機關：交通部

中華民國 九十三年四月三十日

本報告為研究案並不代表交通部意見

MOTC-STAO-92-16

# 廣域免基地台式無線電系統在智慧型運輸系統之應用研究與實作(1/2)

著者：唐震寰、劉石麟、王協源、吳霖堃、何翊、楊人豪、  
莊秉文、鄭士杰

執行單位：國立交通大學

委託機關：交通部

中華民國九十三年四月三十日

廣域免基地台式無線電系統在智慧型運輸系統之應用研究與實作(1/2)

著者：唐震寰、劉石麟、王協源、吳霖瑩、何翊、楊人豪、  
莊秉文、鄭士杰

出版機關：交通部

地址：臺北市長沙街一段二號

網址：[http://www.motc.gov.tw/hypage.cgi?HYPAGE=business\\_7.htm](http://www.motc.gov.tw/hypage.cgi?HYPAGE=business_7.htm)

電話：(02)23492900

出版年月：中華民國 93 年 4 月

印刷者：大放異彩資料處理公司

版(刷)次冊數：初版一刷 120 冊

定價：NT\$200

本書同時登載於交通部網站

展售處：三民書局 台北市重慶南路一段 61 號 2 樓 電話：23617511

台北市復興北路 386 號 電話：25006600

GPN: (平裝)

# 交通部科技顧問室委託研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：廣域免基地台式無線電系統在智慧型運輸系統之應用研究與實作(1/2)			
國際標準書號(或叢刊書)	政府出版品統一編號	計畫編號	
	1009301500	MOTC-STAO-92-16	
主管：賈玉輝 聯絡電話：02-2349-2738 傳真號碼：02-2312-2476 e-mail：yh_jea@motc.gov.tw  承辦人：許昭明 聯絡電話：02-23492873 傳真號碼：02-23122476 e-mail：cm_hsu@motc.gov.tw	研究單位：國立交通大學 計畫主持人：唐震寰 聯絡電話：03-5131559 傳真號碼：03-5718870 e-mail：j4t@mail.nctu.edu.tw		其他參與合作之研究團隊
			資策會
			研究期間
			92.6-93.3
			研究經費
		NT\$2,020,000	
關鍵詞：智慧型運輸系統、廣域免基地台式無線電系統、區域無線網路			
摘要： 國家智慧型運輸之基礎建設（NITI）已經是行政院積極推動之國家型基礎建設之一。智慧型運輸系統（ITS）需整合電子、通訊、導航、資訊及控制等技術並加以應用，提昇運輸機動性、能源效率及環保，進而改善交通問題。目前行動通訊系統（含第三代）或無線區域網路（WLAN）要滿足 ITS 高移動速度及高傳輸速率的需求仍有所不足，尤其是面對交通阻塞、用路人大量使用行動通訊系統時。本計畫目的在研究具前瞻性廣域無基地台式的無線通訊系統應用於 ITS。該通訊系統中的用戶或通訊節點均具有中繼的功能，且節點間傳輸具多路徑選擇的能力，能有效提升無線電頻率使用效率，達到低成本（無基地台建置費用，系統維運成本低）及高傳輸速率的目的。該系統如經實測，證實其效能，將可有效輔助 ITS 通訊平台之基礎建置，對我國 ITS 之推展與建置有相當之助益。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
93 年 4 月	180	NT\$200	凡屬機密性出版品均不對外公開，普通性出版品；公營、公益機關團體及學校，由本部依業務性質函送參考，其他需要者可函洽本部免費贈閱，或逕進入 <a href="http://www.motc.gov.tw">www.motc.gov.tw</a> 之科技研究項下下載。
機密等級： <input type="checkbox"/> 限閱 <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 (解密【限】條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密) <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS**  
**SCIENCE & TECHNOLOGY ADVISORS OFFICE**  
**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

<b>TITLE :</b> Investigation and Set-up of ITS information-Communication Experimental Platform			
<b>ISBN(OR ISSN)</b>	<b>GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER</b>	<b>PROJECT NUMBER</b>	
	1009301500	MOTC-STAO-92-16	
<b>DIRECTOR GENERAL :</b> Yu-Huei Jea PHONE : 02-2349-2738 FAX : 02-2312-2476 E-MAIL : yh_jea@motc.gov.tw  <b>SPONSOR STAFF :</b> S. M. Hsu PHONE : 02-23492873 FAX : 02-23122476 E-MAIL : cm_hsu@motc.gov.tw	<b>RESEARCH AGENCY :</b> National Chiao-Tung University <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR :</b> J.H. Tarng PHONE : 03-5131559 FAX : 03-5718870 E-MAIL : j4t@mail.nctu.edu.tw <b>PROJECT STAFF :</b> Peter I.iu, S. Y. Wang, L.K.Wu, I. Ho <b>ADDRESS :</b> 1001 TA HSUEH ROAD, HSINCHU, TAIWAN 30050,ROC PHONE : 03-5131559		
<b>PROJECT PERIOD</b>	2003.6-2004.3	<b>PROJECT BUDGET</b>	NT\$2,020,000
<b>KEY WORDS :</b> Intelligent transportation system, mobile ad-hoc network, wireless local area network			
<b>ABSTRACT :</b>			
<p>National Intelligent Transportation Information (NITI) is one of the National main Infrastructure contraction projects. Intelligent Transportation System (ITS) need to integrate heterogeneous technologies such as electronics, telecommunications, Information and control at improving with aiming transport transportation quality in many aspects, which include energy conservation mobility effectiveness and safety improvement. Although the advancement of mobile communication systems and technologies, are great, the preset systems such as WCDMA (3G) and WLAN (Wireless Local Area Network) are still facing difficulty in delivering satisfactory ITS services, which have the need of high mobility and high transmission speed, especially inner the situation of traffic jam and many related terminus used. The aim of this project is to explore the application of advanced ad-hoc networks in ITS. Every node in the networks not only act as a relay station but also does route planning, which may reach the goals of frequency efficiency exhalent, cost reduction (no base stations needed) and high transmission speed. If the networks have been to effective, they will be useful in the implementation and deployment of ITS Information Communication platforms, which can speed up the realization of ITS in our country.</p>			
<b>DATE OF PUBLICATION</b>	<b>NUMBER OF PAGES</b>	<b>PRICE</b>	<b>CLASSIFICATION</b>
April. 2003	180	NT\$200	<input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications			

# 目 錄

目 錄.....	I
圖 目 錄.....	III
表 目 錄.....	VI
摘 要.....	1
1 計畫背景、目的、以及目前完成之成果.....	2
1.1 計畫目的與重要性.....	3
1.2 研究內容與時程規劃.....	4
1.3 本研究第一年度完成之研究成果.....	7
1.4 本研究與其他計畫之相關性.....	9
2 行動廣域免基地台無線通訊技術應用於 ITS 之文獻回顧與發展現況.....	10
2.1 現階段之 ITS 通訊平台規劃與發展趨勢.....	10
2.2 行動廣域免基地台無線通訊技術應用於 ITS 之國際發展現況.....	16
2.2.1 Fleetnet 計畫.....	18
2.2.2 車輛點對點通訊應用於交通安全方面之應用.....	21
2.2.3 以機會導向多重存取技術所構成之 MANET .....	22
2.2.4 RUSH 計畫.....	23
2.2.5 以空間分割多重擷取(SDMA)為基礎之車間通訊 .....	24
2.2.6 使用智慧型天線及 IEEE802.11 通訊協定的 MANET .....	27
2.2.7 相關文獻之比較與發展現況.....	30
2.3 廣域免基地台無線網路繞送機制之探討與回顧.....	33
2.3.1 圖表導向的繞送演算法.....	34
2.3.2 需求導向的繞送演算法.....	36
2.3.3 以位置資訊為基礎之繞送機制.....	39
2.3.4 MANET 繞送演算法對 ITS 的可用性評估.....	46
2.4 廣域免基地台無線網路之初期技術成熟度.....	49
3 行動廣域免基地台式無線電系統應用在智慧型運輸系統之評估.....	51
3.1 行動廣域免基地台式無線電系統應用在智慧型運輸系統之適用性分析.....	51
3.1.1 行動廣域免基地台式無線電系統應用於 ITS 之應用類型與評估.....	52
3.1.2 行動廣域免基地台式無線電系統應用於 ITS 使用者服務之適用性 與評估.....	58
3.2 行動廣域免基地台式無線電系統應用在智慧型運輸系統之成本分析.....	75
3.2.1 成本分析方法.....	75
3.3.2 廣域免基地台式無線電通訊系統應用於 ITS 之初步成本分析.....	77
4 廣域無基地台式無線通訊技術之頻譜與輻射強度對人體之影響分析.....	80
4.1 電磁生物效應回顧.....	80
4.2 現行電磁場安全曝露標準回顧.....	81
5 廣域免基地台式無線電系統之系統效能軟體模擬與分析.....	86
5.1 以 WLAN 為基礎 MANET 相關效能報告.....	86
5.2 無線網路運作模式模擬、電波涵蓋模擬.....	90
5.3 系統資料傳輸速率效能、資訊傳播延遲分析及封包遺失率分析.....	94
5.3.1 系統資料傳輸速率 效能分析.....	94

5.3.2 資訊傳播延遲分析.....	97
5.3.3 封包遺失率與訊息傳送失敗率.....	98
6 無線通訊系統之整合、測試與驗證.....	103
6.1 離型系統之整合、測試與驗證.....	103
6.1.1 離形系統之整合.....	103
6.1.2 MANET 離形系統效能評估.....	105
6.2 車機系統之整合、測試與驗證.....	107
6.2.1 車機系統研發計劃研擬.....	107
6.2.2 系統軟硬體分析.....	110
6.2.3 硬體系統選購與測試.....	111
6.2.4 軟體系統安裝與測試.....	113
6.2.5 系統整合與驗證.....	114
6.2.6 測試系統之整備.....	124
6.3 系統實測之規劃與實行.....	127
6.3.1 高架道路之實驗與結果分析.....	127
6.3.2 市區平面道路之實驗與結果分析.....	148
6.3.3 郊區道路之實驗與結果分析.....	151
6.3.4 小結.....	155
7 第二年度之系統建構與測試計畫.....	160
總    結.....	164
參考文獻.....	166
附錄 A：英國 IEGMP(2000)調查報告的總結內容原文.....	171
附錄 B：英國 AGNIR(2003)調查報告的總結內容原文.....	173
附錄 C：短距無線通訊技術應用於 ITS 之頻譜配置與干擾課題.....	174
期中報告審查意見回覆表.....	175
期末報告審查意見回覆表.....	178

# 圖目錄

圖 2-1 TPEG 系統架構示意圖 .....	12
圖 2-2 現階段 ITS 系統資訊與通訊平台架構之規劃 .....	13
圖 2-3 MANET 運作模式示意圖 .....	14
圖 2-4 Fleetnet 通訊示意圖 .....	18
圖 2-5 Fleetnet 計畫所規劃之行車輔助應用示意圖 .....	19
圖 2-6 Fleetnet 計畫所規劃之使用者資訊服務平台 .....	20
圖 2-7 行車安全系統之車間通訊網路組織方法 .....	21
圖 2-8 ODMA 技術運作模式 .....	23
圖 2-9 RUSH 計畫之實驗設備與平台 .....	24
圖 2-10 AHS 系統運作示意圖 .....	25
圖 2-11 道路空間分割示意圖 .....	25
圖 2-12 運用智慧型天線於 MANET 通訊協定示意圖 .....	27
圖 2-13 等向性天線與陣列天線輻射增益比較圖 .....	28
圖 2-14 2.4GHz 頻段全向性天線 .....	28
圖 2-15 2.4GHz 頻段指向性天線 .....	29
圖 2-16 移動式廣域免基地台無線網路繞送協定與方法分類圖 .....	34
圖 2-17 AODV 繞送機制示意圖 .....	36
圖 2-18 DSR 繞送機制示意圖 .....	37
圖 2-19 TORA 的繞送基本原理 .....	39
圖 2-20 GPSR 繞送示意圖 .....	40
圖 2-21 LAR 繞送示意圖 .....	41
圖 2-21 MESH 繞送示意圖 .....	42
圖 2-22 最長生命繞送示意圖 .....	43
圖 2-23 Terminode 繞送示意圖 .....	44
圖 2-24 GRID 繞送示意圖 .....	45
圖 3-1 車間通訊與行車輔助系統之通訊技術方案 .....	53
圖 3-2 區域性訊息廣播之通訊技術方案 .....	55
圖 3-3 短距無線通訊技術之換手與繞送頻率 .....	56
圖 5-1 不同傳輸環境中傳輸距離與連線品質之變化曲線 .....	87
圖 5-2 市郊道路環境中傳輸距離與資料傳輸速率之變化曲線 .....	88
圖 5-3 車輛相對速度與絕對速度對資料傳輸速率之變化曲線 .....	88
圖 5-4 可視連線下距離與絕對速度對資料傳輸速率之變化曲線 .....	89
圖 5-5 模擬器搭配實際道路背景進行網路封包傳輸模擬的記錄檔重播 .....	91
圖 5-6 無線傳播多重路徑效應示意圖 .....	93
圖 5-7 無線串列網路的拓模示意圖 (The topology of wireless chain network) .....	94
圖 5-8 無線串列網路系統資料傳輸速率有 $1/N$ 的趨勢 .....	95
圖 5-9 收到轉換頻率命令的各種時機可能性 .....	96
圖 5-10 模擬中使用的網路拓模 .....	99
圖 5-11 廣播路徑與廣播頻率的關係圖：廣播路徑存活時間的分佈圖 .....	99
圖 5-12 廣播路徑的平均跳接數與存活時間關係 .....	100
圖 5-13 廣播路徑的平均實際長度 .....	100



圖 5-14 廣播路徑可以到達的車輛總數之累加分佈 .....	101
圖 6-1 雛形系統之系統方塊圖與設備實體照片 .....	104
圖 6-2 以編號 A、B、C、D 等 4 套雛形系統進行室內跳接式資料傳輸實驗 .....	105
圖 6-3 車機系統架構示意圖 .....	108
圖 6-4 車機系統專案規劃流程圖 .....	110
圖 6-5 主機板實物圖 .....	112
圖 6-6 車機系統軟體架構圖 .....	113
圖 6-7 系統硬體架構圖 .....	114
圖 6-8 整合車機系統實物 .....	114
圖 6-9 Embedded Linux 系統開發流程 .....	115
圖 6-10 Linux 系統之硬體抽象層概念圖 .....	115
圖 6-11 車機系統核心編譯 .....	116
圖 6-12 車機系統之載入 Kernel 程序 .....	117
圖 6-13 車機系統 bootloader 將控制權轉移至 Kernel .....	117
圖 6-14 車機系統之載入 Filesystem 程序 .....	118
圖 6-15 車機系統 GPS 裝置圖 .....	119
圖 6-16 GPS 接收資料 .....	119
圖 6-17 GPS 應用程式流程 .....	121
圖 6-18 GPS 程式執行畫面 .....	121
圖 6-19 車機系統無線網卡安裝圖 .....	122
圖 6-20 車機系統之 PCMCIA 介面 Kernel 設定 .....	123
圖 6-21 車機系統之無線網卡 Kernel 設定 .....	123
圖 6-22 無線網卡在車機系統上的連結狀態 .....	124
圖 6-23 準系統軟體架構圖 .....	124
圖 6-24 準系統之系統方塊圖與實體照片 .....	125
圖 6-25 準系統於車輛內的安裝方式 .....	125
圖 6-26 新竹南寮漁港及 68 快速道路之位置圖 .....	128
圖 6-27 以編號 A、B、C 三車於 68 號快速道路進行跳接式資料傳輸測試圖 .....	128
圖 6-28 使用四輛車於 68 號快速道路進行跳接式資料傳輸測試圖(初始狀態) .....	129
圖 6-29 使用四輛車於 68 號快速道路進行跳接式資料傳輸測試圖(車距遠離狀態) .....	129
圖 6-30 以 2.4GHz 車用外接天線進行道路實測示意圖 .....	130
圖 6-31 實驗前設定 LINUX 作業系統內封包傳輸軟體示意圖 .....	130
圖 6-32 訊號覆蓋範圍測試示意圖 .....	131
圖 6-33 以 TCP/IP 模式測試連線距離 .....	131
圖 6-34 以 UDP 模式測試連線距離 .....	132
圖 6-35 兩車相對移動情況下測試連線速度示意圖 .....	132
圖 6-36 兩車在相對速度 20 公里的情況下，以 TCP/IP 模式做連線速率測試 .....	133
圖 6-37 兩車在相對速度 20 公里的情況下，以 UDP 模式做連線速率測試 .....	133
圖 6-38 在相對速度 20 公里的情況下，TCP 及 UDP 模式下連線速率之比較 .....	134
圖 6-39 兩車在相對速度 80 公里的情況下，以 TCP/IP 模式做連線速率測試 .....	135
圖 6-40 兩車在相對速度 80 公里的情況下，以 UDP 模式做連線速率測試 .....	135
圖 6-41 在相對速度 80 公里的情況下，TCP 及 UDP 模式下連線速率之比較 .....	136
圖 6-42 兩車在相對速度 120 公里的情況下，以 TCP/IP 模式做連線速率測試 .....	137

圖 6-43 兩車在相對速度 120 公里的情況下，以 UDP 模式做連線速率測試.....	137
圖 6-44 在相對速度 120 公里的情況下，TCP 及 UDP 模式下連線速率之比較.....	138
圖 6-45 兩車在不同相對速度下，以 TCP/IP 模式做連線速率測試之比較.....	138
圖 6-46 兩車在不同相對速度下，以 UDP/IP 模式做連線速率測試之比較.....	139
圖 6-47 多車跳接式繞送實驗示意圖.....	140
圖 6-48 A、B、C 車在相對移動速度下測試 A、C 連線速率.....	140
圖 6-49 A、B、C 車相對移動速度下測試 A、C 連線速率.....	141
圖 6-50 A、B、C 車在兩種相對移動速度下測試 A、C 連線速率.....	141
圖 6-51 不同路徑跳接數時資料傳輸速率與時間軸之關係.....	142
圖 6-52 平均資料傳輸速率、標準差與路徑跳接數關係圖.....	143
圖 6-53 以 4 輛車同時移動進行 MANET 測試之網路拓撲.....	143
圖 6-54 動態產生路徑與路徑存活時間在不同路徑跳接數條件下的關係圖.....	145
圖 6-55 路徑回復事件之路徑回復時間在不同路徑跳接數條件下之關係.....	146
圖 6-56 以起閉 C 車 AODV 功能所進行之 MANET 測試.....	147
圖 6-57 市區平面道路之量測情形.....	148
圖 6-58 高架道路流量記錄之片段.....	149
圖 6-59 市區道路實驗的資料傳輸速率快照(snapshot).....	150
圖 6-60 校園道路測試之實驗區域.....	151
圖 6-61 校園道路測試之 MANET 固定點設定.....	151
圖 6-62 車機系統所顯示與紀錄之實驗數據.....	152
圖 6-63 交大校園 1-hop 傳輸模式之傳輸速率與涵蓋範圍.....	152
圖 6-64 交大校園 2-hop 傳輸模式之傳輸速率與涵蓋範圍.....	153
圖 6-65 使用預先準備之影像檔案進行影像傳送測試.....	153
圖 7-1 大規模系統網路測試架構示意圖.....	160
圖 7-2 現有 ITS 系統行動資訊蒐集與發送模式.....	162
圖 7-3 使用 MANET 技術之行動資訊蒐集與發送模式.....	163
圖 C-1 CALM M5 與各國 5GHz 相關標準之頻段比較.....	174

# 表 目 錄

表 2-1 使用 MANET 應用於 ITS 服務之國際發展現況 .....	17
表 2-2 國際上 MANET 應用於 ITS 系統的發展方向與現況 .....	32
表 3-1 車間通訊與行車輔助系統之通訊技術方案優缺點比較 .....	53
表 3-2 區域性訊息廣播服務之通訊技術方案優缺點比較 .....	54
表 3-3 使用者通訊與資訊服務之通訊技術方案優缺點比較 .....	56
表 3-4 行動廣域免基地台式無線電系統對 ITS 系統 9 大應用服務之助益 .....	60
表 3-5 廣域無基地台無線電通訊系統應用於智慧型運輸系統之成本分析與評估 .....	79
表 4-1 「一般民眾」曝露類別比吸收率極限比較 .....	83
表 4-2 FCC 所建議確保展頻發射裝置符合安全曝露規範的適用方法。 .....	83
表 5-1 MANET 多重鏈結傳輸模式在不同封包大小與不同 hop 數條件下之傳輸效能 .....	89
表 6-1 雛形系統的硬體設備列表 .....	103
表 6-2 雛形系統的軟體列表 .....	104
表 6-3 車機系統的硬體設備列表 .....	114
表 6-4 車機系統記憶體配置 .....	117
表 6-5 GPGSA 資料格式 .....	119
表 6-6 GPGSV 資料格式 .....	120
表 6-7 GPRMC 資料格式 .....	120
表 6-8 GPGGA 資料格式 .....	120
表 6-9 測試用準系統之硬體規格表 .....	125
表 6-10 準系統的軟體列表 .....	126
表 6-11 ATIS 系統的傳輸資料量 .....	156
表 6-12 ATIS 訊息平均傳輸時間案例 .....	157

## 摘 要

智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)整合電子、通訊、導航、資訊及控制等技術並加以應用，提昇運輸機動性、能源效率及環保，進而改善交通問題。本計畫目的在研究具前瞻性的行動廣域免基地台式無線通訊系統(mobile ad-hoc network, MANET)於智慧型運輸系統之應用，該通訊系統中的用戶或通訊節點均具有中繼的功能，資訊利用跳接的方式達成端點間的傳送，且節點間具多路徑選擇的能力。理論上 MANET 能有效提升無線電頻率使用效率，達到低成本(無基地台建置費用，系統維運成本低)及高傳輸速率的目的，該系統如經實測證實其效能，可有效輔助智慧型運輸系統通訊平台之基礎建置，對我國智慧型運輸系統之推展與建置有相當之助益。

本研究主要規劃為兩年期，第一年工作以研究開發為主，首先對國內外相關研究與發展的現況進行探討與回顧，並進一步評估我國應用 MANET 於 ITS 系統之適用性與可行性。本研究根據目前我國所規劃的智慧型運輸系統使用者服務項目：包括 9 大 ITS 服務領域，以及 35 項使用者服務項目等逐一探討，評估行動廣域免基地台式無線電技術對於這些使用者服務的適用性(feasibility)，評估結果顯示使用行動廣域免基地台式無線電系統可以有效輔助我國目前對於 ITS 系統之功能規劃，提昇其功能與效率。

第一年的計畫中亦針對行動廣域免基地台式無線電系統相關技術，進行系統模擬分析，並研發與建置實體之 MANET 系統，同時進行最多 4 輛行動車機進行最多 3 跳接數之系統效能測試；在系統模擬方面，本研究採用了 VISSIM 交通網路模擬器搭配 NCTUns 進行模擬，發現現行的繞送機制在路徑存活時間(94%的廣播路徑存活時間低於 20 秒)、網路節點涵蓋數目方面(97%的路徑只能到達 250 部車以下)。在系統實體的研發與測試方面，本研究以 IEEE 802.11b 無線區域網路通訊技術為基礎，發展已成為國際標準之 AODV 動態繞送機制，建置了包括離形系統、車機系統、以及準系統等實體設備，並根據不同道路類型與傳輸環境進行測試與比較；實驗結果指出使用 MANET 技術與 AODV 動態繞送機制確實能夠有效擴大 WLAN 之訊息涵蓋範圍，並且提高遠距傳輸的資料傳輸率達 150KB/s，同時在動態繞送方面，平均之路徑回復時間約在 4 秒左右，應可滿足大部分的資料傳輸需求；然而在傳輸環境複雜且跳接數較多的條件下，平均路徑生命期較短，而影響了連線穩定度；本研究於郊區校園道路搭配 MANET 固定點進行實驗，其多重跳接通訊品質品質較佳，不過對於使用 MANET 技術來提供連線導向之動態影像傳送服務，仍有改進的空間。

根據第一年度的探討與實驗，現階段使用 IEEE 802.11b 搭配 AODV 繞送機制之解決方案，較適用於車輛移動模式變動性較低、同時具有固定點輔助之應用環境最為適當；以先進公共車輛資訊系統為例，由於公車移動模式較為固定，並且車輛密度較為平均，並且可於站牌處設定固定點，若是使用 MANET 提供無線通訊通道，能夠具有較為穩定的通訊效能，並且能夠有效解決使用蜂巢式通訊系統通訊費用過高的問題，或是改善傳統上於車站裝設車輛感知器通訊距離過短等課題；本研究將於第二年進行較大規模之系統網路建構與性能測試，並建構若干利用 MANET 網路輔助之 ITS 應用服務。

# 1 計畫背景、目的、以及目前完成之成果

國家智慧型運輸之基礎建設(NITI)已經是行政院積極推動之國家型基礎建設之一。智慧型運輸系統(ITS)需整合電子、通訊、導航、資訊及控制等技術並加以應用，提昇運輸機動性、能源效率及環保，進而改善交通問題。雖然智慧型運輸系統之應用範圍相當廣泛，但從資訊應用角度來看，包含資訊搜集(Data Collection)，資訊分析、處理及融合(Data Fusion)，及資訊播送(Data Distribution)，要做到搜集及播送資訊就必需藉重通訊平台建置及其技術發展應用環境，該項工作將在 ITS 基礎建設中扮演相當重要的角色。選擇適當的(成本低、功能合用、維護費低及容易)無線接取系統滿足智慧型運輸系統，在通訊、資訊播送及/或搜集需求則成為建置 ITS 重要工作之一。

目前，由於無線通訊/接取系統的廣泛使用，造成大量需求並刺激相關技術的進步與成長，使得無線通訊系統的發展日新月異。例如，在廣域行動通訊系統方面已由第一代的類比式系統，如 AMPS，演進到目前穿透率相當高的第二代 GSM 及第 2.5 代的 GPRS 數位式系統，及更進一步邁向可支援行動上網/多媒體服務的第三代 W-CDMA 系統(目前歐、美、日正在建置中，國內即將開放)。此系統演進事實說明無線電技術/系統的變化快速及生命週期短促。ITS 通訊平台建置中，選擇適當的無線接取系統就成為重要且複雜的一項工作。雖然歐、美、日提出以 DSRC(Dedicated Short Range Communication)系統做為智慧型運輸系統路邊與車輛的通訊系統，但其應用時程仍需配合基礎建設之佈建，故短期廣域通訊智慧型運輸系統應用仍需仰賴蜂巢式行動通訊系統、無線區域網路(WLAN)或數位廣播/電視系統作為無線接取系統。

然而目前行動通訊系統(含第三代)或無線區域網路(WLAN)要滿足 ITS 高移動速度及高傳輸速率的需求仍有所不足，尤其是面對交通阻塞、用路人大量使用行動通訊系統時。本計畫目的在研究具前瞻性廣域無基地台式的無線通訊系統(mobile ad hoc network, MANET)應用於 ITS，並瞭解其實際運作時的困難處。該通訊系統中的用戶或通訊節點均具有中繼的功能，且節點間傳輸具多路徑選擇的能力，能有效提升無線電頻率使用效率，達到低成本(無基地台建置費用，系統維運成本低)及高傳輸速率的目的。

依照 ACM(Association for Computing Machinery)對行動 ad-hoc 無線網路的定義：A “mobile ad hoc network” (MANET) can be defined as a collection of nodes (or routers) equipped with wireless receiver/transmitters which are free to move about arbitrarily。由上述這段話，我們可以很清楚的了解，MANET 是由一群可任意移動的主機所組成，每個行動主機負責類似 router 的工作，並可接收或傳送網路上的封包。這也意味 MANET 在傳遞訊息時完全不需要架設任何固定式的基地台網路的設備，可降低地形限制，並克服傳統無線網路需要大量建置基地台的成本問題，同時可增加現有網路之涵蓋範圍。未來，隨著可攜式電源的改進，與無線網路裝置的普及，相信 MANET 將會成為主流。

近年來由於無線區域網路 IEEE 802.11b 標準的成熟，並能提供高達 11Mbps 的連線速率，再加上設備競爭激烈，WLAN 卡、存取橋接 Access Point 及無線橋接器 Wireless Bridge 價格快速下降，及其具有佈建及使用容易等特性，故本計劃選擇無線區域網路(WLAN)作為研究之無線接取系統，並透過對 MANET 相關核心技術的研發與實作，使無線區域網路行動設備成為具有 MANET 功能之行動終端節點，進而進行相關的研究與測試等工作。

## 1.1 計劃目的與重要性

本計畫目的在研究行動廣域免基地台式的無線通訊系統(mobile ad-hoc network, MANET)於智慧型運輸系統之應用，所指之無線通訊網路乃屬於可移動、不需基本通訊設施網路之一種。該通訊系統中的用戶或通訊節點均具有中繼的功能，且節點間傳輸具多路徑選擇的能力，資訊可用跳接的方式由一通訊節點傳送至另一通訊節點直到此資訊到達其目的地為止。因此，此類網路的通訊特色是移動式(mobile)多段(multi-hop)全部無線(all-wireless)通訊，能有效提升無線電頻率使用效率，達到低成本(無基地台建置費用，系統維運成本低)及高傳輸速率的目的。該系統如經實測，證實其效能，將可有效輔助智慧型運輸系統通訊平台之基礎建置，對我國智慧型運輸系統之推展與建置有相當之助益。

MANET 網路在軍事及急難救助上的潛在巨大價值早已被世人所認知。然而，由於此類網路並不像個人通訊系統一樣具有巨大民間商業價值，長久以來，工業界及學術界所投入的研發並不多。除此之外，此類網路的系統架構與網際網路的系統架構相當不同，其所需的系統技術也遠比網際網路困難。在網際網路內，幾乎所有的通訊節點都是固定不可移動的繞送器，且幾乎所有繞送器間的傳輸媒介都是高頻寬且低錯誤率的有線光纖纜線。相反的，在 MANET 網路內，通訊節點與通訊節點間是靠低頻寬且高錯誤率的無線通訊在傳遞資料。而且因為所有的通訊節點都可能隨時任意移動其位置，每個通訊節點的鄰居通訊節點群也可能隨時改變。由於這些因素，要在 MANET 網路內提供高效能、可靠、有效率及正確送達的傳輸服務是遠比在網際網路內困難。其相關技術大都在研發的階段。

然而近年來 MANET 網路在科學研究及民間工商業上的應用急速增加。舉例來說，極大量不再回收式的微型感測器可由飛機自空中散佈於海面上，這些微型感測器都具有短距離低功率的無線傳送、接收、轉送的能力。他們將隨著洋流任意漂流來進行資料蒐集及探測的任務。當科學家下指令詢問某特定水面之水溫、風速或浪高時，這些微型感測器將必須能夠利用現有的不定型網路組態來傳遞指令至指定水面的微型感測器，且將所蒐集到的資料經由移動式、多段、全部無線通訊的方式傳回。由於此類網路具有巨大的應用價值，美國國家科學基金會(National Science Foundation, NSF)及 DARPA 機構均正在大力推動以及積極尋求相關研究計劃書，並將之列為二十一世紀之重點網路科技。世界上一些著名大學(如 UC Berkeley、MIT、UCLA、U. Washington、University of Stuttgart、Germany)、研究機構(如 USC/ISI)及工業界實驗室(如 AT&T Belllabs、Compaq Digital Labs)也均已開始著手研究。

由於廣域免基地台式無線電通訊網路的特性與傳統的網際網路大不相同，目前為網際網路所發展出來的技術並不適用於此類網路。這些技術上從應用層，加密層，傳輸層，繞送層，下至媒介存取層可能均須從新設計或修改方能符合此類網路的特殊需求。本計畫因此將探討此類 MANET 網路之可行性(feasibility)、可用性(applicability)、資訊傳輸效能(performance)、以及對目前網際網路常用應用程式支援的程度(support)。

## 1.2 研究內容與時程規劃

本研究主要規劃為兩年期，第一年工作以研究開發為主，針對行動廣域免基地台式無線電系統相關技術，進行系統模擬分析、系統實體整合測試及小規模的系統實測及應用測試為主，主要工作項目包括：

### 一、系統效能軟體模擬與分析

#### 1. 電波涵蓋模擬

在電波涵蓋模擬方面，我們將發展兩套電波模擬的模組。其中一套為目前學術界常用且較簡單的模式，其方法主要是在訊號接收端給定兩個判斷訊號能量大小的基準值，一個稱為接收基準值(receive threshold)，另一個則稱為干擾基準值(interference threshold)。另外一套為更複雜但較真實的電波模擬模式，在此進階的模式中，是根據考慮更多環境因素(訊號傳輸頻寬、干擾訊號等等)的公式來計算能量衰減與訊號錯誤率，比起簡單模式更接近真實的訊號傳輸行為。

#### 2. 無線網路運作模式模擬

為了配合實際測試所使用的 802.11 無線網路卡，我們將於模擬器中發展 802.11(b) MAC (Media Access Control)的模組來進行大規模的車間通訊模擬。

#### 3. 車輛運動行為模擬

車間通訊的研究，必須要有車流模型來佐證所設計的應用是否具有實際的可行性，車流模型的取得，可以簡單的利用隨機移動的方式(random way point)來得到，但是此種方式大大的偏離實際道路上車輛移動的模式。另一種方式便是實際的道路取樣，比方說到高速公路的上空去拍攝車流模型，之後在利用影像處理技術取得每輛車的移動路徑，只是以這樣的方式若要取得不同參數(比方說路段、時段、大小型車比例、車速分布等等)設定的車流模型，將會耗費大量的人力與物力。因此，在車流模型的取得方面，我們將利用一套車流模型的模擬軟體來取得，此名叫 VISSIM 的軟體，可以設定道路型態(直線道或彎曲道、單向或雙向車道、車道數量、高速公路的交流道等等)，也可以設定大小型車的比例與車速分布，在模擬進行時，也會根據學理上的公式來計算車隊間的跟車行為(car-following)與變換車道行為(lane changing)。在取得每輛車的行進路徑之後，我們便可將此資訊送入模

擬器當中，模擬器便會隨著模擬時間的推進來動態改變車輛間的相對位置，而我們所設計的車間通訊應用，便可在模擬器裡得到效能的驗證。

#### 4. 網路層封包繞路(routing)模擬

MANET 網路的研究上，封包繞送(routing)問題是探討最為頻繁的，不同的封包繞送方式將決定在網路層不同封包傳遞的效能，為了探討封包繞送對車間通訊應用的效能影響，我們將在模擬器上發展數個封包繞送的模組。

#### 5. 網路層不同資料傳輸模式模擬

我們所發展的模擬器將提供在網路層不同傳輸模式的模擬，包括：

- Unicast：封包以單一路徑的方式傳送，傳送與接收的車輛為一對一的關係。
- Broadcast：封包以廣播的方式傳送，任何在封包傳送訊號可到達範圍內的車輛，都可接收到此封包。
- Geocast：利用全球定位系統(GPS)得到所有車輛的地理位置資訊，在封包傳送時，只將封包朝目的地車輛所在的地理位置區域傳送，可有效利用頻寬。

#### 6. 傳輸層模擬

在網路傳輸層最常用的兩個傳輸協定為 TCP 與 UDP，其中，TCP 為一種必須事先建立傳輸連線且提供可信賴(reliable)的傳輸品質，適用於需要確保傳送資料封包不能遺失的網路連線應用，例如 FTP。而 UDP 則與 TCP 相反，為一種不須事先建立連線但是為不可信賴(unreliable)的傳輸品質，適用於可容許資料封包遺失的網路連線應用，例如聲音與影像的傳遞。我們所發展的模擬器並不發展 TCP 與 UDP 的模組，而是利用特殊的設計架構，將 FreeBSD 作業系統(一種 UNIX 環境的作業系統)核心的 TCP 與 UDP 傳輸協定與模擬器結合，簡單來說，我們發展的模擬器所模擬的 TCP 與 UDP 傳輸協定的行為，與實際上 FreeBSD 作業系統上的 TCP 與 UDP 的行為是一樣的，這個特殊的設計架構，將使得我們模擬器對於 TCP 與 UDP 傳輸協定的模擬更趨於真實的情況。

#### 7. 應用層系統 through put 效能模擬

為了量測各種應用程式在車間通訊上的效能，我們的模擬器提供支援各種實際應用程式執行的平台，如 web server、ftp server/client、email 以及使用 UDP 封包來傳送聲音或影像的程式等車間通訊的應用程式，不須經過修改，就可以在我們所發展的模擬器上執行，模擬器的這個特點對於在大規模車隊模擬中量測應用程式的效能提供很大的能力與彈性。



## 二、 行動廣域免基地台式無線通訊系統之整合、測試與驗證

由於無線訊號易隨時間空間之不同而有所變化，模擬所得結果只能顯示網路系統行為及效能的重要特徵及現象。廣域免基地台式無線電系統之實測仍有其需要。實地路測的目的，在於收集現實世界中車間通訊的實際應用效能，然後與使用模擬器得到的效能頻估做比較，進而提出模擬與實際測試的綜合評估。基於人力、無線網路設備以及可使用車輛的限制，在初期的實地路測實驗裡，我們將使用最多 4 輛行動車機，進行最多經過 3 hops 之跳接傳輸，並在高架道路、市區道路、以及郊區道路(交通大學校園)進行車間通訊效能量測。

量測環境之分類：由於接收信號電功率小大與無線電多路徑傳播現象均會直接影響，無線通訊系統的效能如 Packed lost rate 及資料傳輸速率，而這些現象又與傳播環境、距離及車機轉動移動速度有關，於是在進行實測情境規劃時，應仔細分類量測情境，期能包含系統運作時的各種實際狀況。就傳播特性，將量測環境分為 3 類：

- 視線內傳播(Line-of-sight, LOS)具區域內雜波(Cluttering)效應不大；本研究設定高架道路為近似視線內傳播環境，然而實際上本研究所選擇的高架道路仍有些微高低起伏與遮蔽，與全然之視線內傳播環境有所差距。
- 非視線內傳播(Non LOS)具區域內雜波效應大；本研究設定市區道路為此種非視線內傳播環境，該環境具有複雜的遮蔽與擁擠的行動車輛造成干擾。(區域內雜波效應將與發射／接收天線附近是否有許多電波散射體有關。)
- 非視線內傳播(Non LOS)具區域內雜波效應不大；本研究設定交通大學校園環境為此種非視線內傳播環境，該環境屬於低度遮蔽環境(lightly obstructed)，理論上無線電訊號的衰減效應較市區道路小。

### 實地路測效能評估項目：

效能評估項目	說明
封包遺失率	封包遺失率(packet loss rate)受到兩車相對速度與空氣中的雜訊影響，在相同的測試地點做測試可減少雜訊值得差異，因此，我們可以量測兩車的相對移動方式對於封包遺失率的影響，封包遺失率會影響上層應用程式的傳輸效能。
UDP 傳輸效能(UDP Throughput) / 聲音與影像傳輸品質	量測兩輛車之間視訊會議的聲音與影像的品質，驗證相關應用的可行性。
TCP 傳輸效能(TCP Throughput) / 訊息傳遞失敗率	量測兩輛車之間網頁下載的成功率與下載所需時間，驗證相關應用的可行性。

註：實地路測包含在高速公路上進行四部車輛之車間通訊，瞭解高速運動時，時變傳播通道及車輛相對速度變化對系統效能之影響。

### 三、 廣域免基地台式無線電系統於智慧型運輸系統之應用研究

本研究將針對廣域免基地台式無線電系統，應用於智慧型運輸系統下，所可能衍生出的各類型之應用範疇進行分析、探討。MANET 網路是一種具有高度動態拓撲結構、允許節點任意移動的自組織網路 (SelfOrganized Network)。該系統網路中的用戶或通訊節點均具有中繼的功能，且節點間的傳輸具多路徑選擇的能力。由於通信的節點之間常常沒有直接且固定的通訊鏈路，資訊多利用跳接的方式由一通訊節點傳送至另一通訊節點直到此資訊到達其目的地為止。因此，在 ad-hoc 的平面網路架構中所有節點的地位平等，無需額外設置任何的控制中心節點。且網路中的節點不僅具有普通移動終端所需的功能，亦有訊息轉送的能力。

智慧型運輸系統之應用研究工作項目將專注於 MANET 本身所具有之特性，探討所能衍生之各項智慧型運輸應用。並依據系統高移動速度與高傳輸速率之實測分析結果。針對可能的應用範疇，進行可行性分析評估及設計。藉以規劃出實用性高，並得以落實於國內智慧型交通網之創新應用。目前，MANET 的相關研究，大多還處於模擬與實驗測試階段。廣域免基地台式無線電系統於智慧型運輸系統之應用研究，將為 MANET 應用於智慧型運輸系統上提出一可行的應用方式。藉由應用之落實，除為相關領域開拓出一新的產業契機外，對於國內 ITS 整體技術的提昇，亦有一指標性的意義。

### 四、 進行小規模系統網路效能實地測試及驗證該系統在智慧型運輸系統之應用，如車間通訊、行動多媒體傳輸等

MANET 網路應用最重要為其網路特性，如封包遺失率、封包的長度、through put、天線的種類及架設、高速移動等，必須實際測量實驗才能設計其應用。我們先以兩台筆記型電腦，802.11b 的網路卡，8dBi 全向性天線，實測出封包遺失率、封包的長度、through put、天線的種類及架設、高速移動的各種網路數據，再依此數據用四台筆記型電腦以 ad-hoc 網路模式傳輸文字、聲音及影像，研究其可運用在 ITS 的最佳模式。

## 1.3 本研究第一年度完成之研究成果

根據本研究的時程規劃以及預期之研究成果，計畫第一年度的研究成果已彙整於期末報告之中，並分章節加以呈現與說明，相關研究成果包括：

### 1. 針對國際上智慧型運輸系統(ITS)所應用之通訊技術進行回顧與系統效能資料收集(第二章)

本研究首先彙整國內外 ITS 系統應用相關之通訊技術與標準進行回顧，包括對美規 NTCIP 與歐規 TPEG 等標準的探討；根據本研究的目的，文獻探討與回顧的重點在於行動廣域免基地台無線電技術的相關文獻回顧，包括行動廣域免基地台無線電技術應用於 ITS 之

國內外發展現況，相關系統效能資料蒐集，以及行動廣域免基地台無線電系統相關核心技術之發展現況探討。研究報告同時提出了對國際上相關文獻的比較以及各國發展趨勢，並進而評估 MANET 應用於 ITS 系統的成熟度。

## 2. 廣域免基地台式無線電系統應用在智慧型運輸系統(ITS)之評估(第三章)

為了進一步深入且完整地進行行動廣域免基地台式無線電系統應用於智慧型運輸系統之評估，本研究針對行動廣域免基地台式無線電技術的主要應用類型進行探討與評估，並根據目前我國所規劃的智慧型運輸系統使用者服務項目：包括 9 大 ITS 服務領域，以及 35 項使用者服務項目等逐一探討，評估行動廣域免基地台式無線電技術對於這些使用者服務的適用性(feasibility)。本研究同時進行 MANET 應用於 ITS 系統的初步成本分析，透過與現有技術與 ITS 通訊平台規劃的比較，MANET 技術在成本考量上的確具備優勢。

## 3. 計畫所使用頻譜與輻射強度在無線通訊上之影響分析及對於人體影響的文獻回顧(第四章)

本研究針對計畫所使用頻譜與輻射強度在無線通訊上之影響分析及對於人體影響之相關議題進行探討與回顧，根據 47 CFR §15.247 條規定，操作頻段為 902-928 MHz、2400-2483.5 MHz、或 5725-5850 MHz，的跳頻或直接序列展頻發射裝置(如符合 IEEE 802.11 序列標準的無線區域網路裝置)亦需確保使用者和其周遭民眾不致於受到超過 FCC 安全曝露標準的電磁場曝露(47 CFR §15.247(b)(4))；這些「意圖輻射源(Intentional Radiator)」亦需符合 47 CFR §15.249 所規定的「輻射性放射(Radiated Emissions)」的規定。

## 4. 廣域免基地台式無線電系統之系統效能軟體模擬與分析(第五章)

本研究使用自行研發之網路模擬軟體 NCTUns 1.0，進行行動廣域免基地台式無線電系統之模擬與分析，其模擬的內容包括電波涵蓋模擬、無線網路運作模式模擬、車輛運動行為模擬、網路層封包繞路模擬、以及傳輸層、應用層系統模擬等；根據模擬與分析的結果，報告中將闡述行動廣域免基地台式無線電系統的系統資料傳輸速率與訊息傳播延遲所進行的研究。

## 5. 無線通訊系統之整合、測試與驗證(第六章)

由於無線訊號易隨時間空間之不同而有所變化，模擬所得結果只能顯示網路系統行為及效能的重要特徵及現象。廣域免基地台式無線電系統之實測仍有其需要。在先期階段，需以實地實驗方式來評估廣域免基地台式無線網路，用於車間通訊的可行性(applicability)與可適性(feasibility)。根據本研究的規劃，實測系統的終端設備主要包括雛形系統以及車機系統，雛形系統利用筆記型電腦、無線網路卡及車用天線、Linux-based 作業系統、以及相關應用與測試軟體組成，用以在計畫前期測量 MANET 通訊系統的運作效能與有效性評估；車機系統的整合與開發將根據雛形系統開發與實測的經驗，整合 MANET 技術於現有之車機系統，並在其上研發若干 ITS 相關應

用服務之雛形為主，用以驗證 MANET 應用於 ITS 之可行性與可適性。本研究不但同時進行車機系統的研發，並規劃使用以準系統為基礎的車機系統，利用準系統在功能上的彈性，車機系統得以及時建置與取得，以加速量測實驗的進行。根據實際量測的結果，期末報告於 6.3 節提出完整的實驗結果報告與分析。

## 1.4 本研究與其他計畫之相關性

王協源副教授目前正與中山科學研究院合作研究『無線移動式區域網路(MANET)與行動通訊服務網路(GPRS Network)的整合計畫』。該計畫著眼於國家智慧型運輸之基礎建設(NITI)已經是行政院積極推動之國家型基礎建設之一。而智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)則整合了電子、通訊、導航、資訊及控制等技術並加以應用。以期望提昇運輸機動性、能源效率及環保，進而改善交通問題。目前的行動通訊網路(含 GPRS 與 3G)或無線區域網路(wireless LAN, WLAN)要滿足 ITS 高移動速度及高傳輸速率的需求仍有所不足。就行動通訊網路方面來看，基地台的傳輸訊號範圍可達到一、二十公里遠，所以對每一位網路使用者來說，可以很容易取得行動通訊網路的服務(High availability)，然而能得到的傳輸頻寬卻不多(約略介於 38.6 Kbps 到 2.4 Mbps 之間)，這是非常不利於需要高傳輸頻寬的應用之發展的。相反地，無線區域網路可提供較高的傳輸頻寬(IEEE 802.11b 為 1-11Mbps，IEEE 802.11a / IEEE 802.11g 為 54Mbps)，但是其訊號傳輸範圍比較小(最高約 1200 公尺)，這使得無線區域網路上的使用者來說，會有較高的機會遭遇因為與其他通訊節點距離太遠(超過 1200 公尺)而無法連上網路的情況。

由於適用於不同的應用環境，行動通訊網路與無線區域網路在設計上擁有各自不同的網路特性。為了整合此兩種異質網路的好處來建構一個新型態的混合型網路，該計畫的目的為開發新的機制來有效率的調和兩種異質網路的差異性。舉例來說，兩種網路在提供使用者網路頻寬上的差異性，在整合時就必須要有新的機制來調和，如此才不會讓行動通訊網路的低頻寬成為新型態混合型網路的效能瓶頸。研究行動廣域免基地台式的無線通訊網路(Mobile ad-hoc network, MANET)與行動通訊網路(GPRS)兩種網路的特性，希望藉由整合這兩種異質網路的優點來建構一個高網路可得性(High availability)與高網路傳輸頻寬的新型態網路，以期讓智慧型運輸系統上的應用可以在此新型態網路上做多樣化的發展。

因此本計畫(MANET 應用於 ITS)與中科院的計畫相互呼應。本計畫將焦點集中在車機系統的實現，及發展實際的系統實作來解決智慧型運輸系統所會遇見的各項問題，使之可行性更高。研究無線區網的繞送協定使 IEEE 802.11 區網的高傳輸效能得以發揮，並希望將來可與中科院計畫的異質網路整合做出實際的系統整合，將智慧型運輸系統的性能作更大的提升，進而增強各項應用的可適性。

## 2 行動廣域免基地台無線通訊技術應用於 ITS 之文獻回顧與發展現況

本研究主要目的在於探討廣域無基地台式無線通訊系統應用於智慧型運輸系統之相關課題，因此本章首先對於國際上運用廣域無基地台式無線通訊系統之 ITS 相關應用進行回顧，作為評估我國 ITS 系統對於廣域無基地台式無線通訊技術在功能適用性上的參考；然後針對廣域無基地台式的無線通訊系統之核心技術：動態繞送機制與演算法等，進行探討與回顧，以利將來在系統效能分析上有所依據。

### 2.1 現階段之 ITS 通訊平台規劃與發展趨勢

國家智慧型運輸之基礎建設(NITI)已經是行政院積極推動之國家型基礎建設之一。智慧型運輸系統(ITS)需整合電子、通訊、導航、資訊及控制等技術並加以應用，提昇運輸機動性、能源效率及環保，進而改善交通問題。雖然智慧型運輸系系統的應用範圍相當廣泛，但從資訊應用角度來看，包含資訊搜集(Data Collection)，資訊分析、處理及融合(Data Fusion)，及資訊播送(Data Distribution)，要做到搜集及播送資訊就必需藉重通訊平台建置及其技術發展應用環境，該項工作將在 ITS 基礎建設中扮演相當重要的角色。選擇適當的(成本低、功能合用、維護費低及容易)無線接取系統滿足智慧型運輸系統，在通訊、資訊播送及/或搜集需求則成為建置 ITS 重要工作之一。

目前，由於無線通訊/接取系統的廣泛使用，造成大量需求並刺激相關技術的進步與成長，使得無線通訊系統的發展日新月異。例如，在廣域行動通訊系統方面已由第一代的類比式系統，如 AMPS，演進到目前穿透率相當高的第二代 GSM 及第 2.5 代的 GPRS 數位式系統，及更進一步邁向可支援行動上網/多媒體服務的第三代 W-CDMA 系統(目前歐、美、日正在建置中，國內即將開放)。此系統演進事實說明無線電技術/系統的變化快速及生命週期短促。ITS 通訊平台建置中，選擇適當的無線接取系統就成為重要且複雜的一項工作。雖然歐、美、日提出以 DSRC(Dedicated Short Range Communication)系統做為智慧型運輸系統(ITS)路邊與車輛的通訊系統，但其應用時程仍需配合基礎建設之佈建，故短期廣域通訊智慧型運輸系統(ITS)應用仍需仰賴蜂巢式行動通訊系統、無線區域網路(WLAN)或數位廣播/電視系統作為無線接取系統。

國際上 ITS 系統之通訊技術規劃與標準化方面，主要分為美國 ITS America 組織之系統規劃與 NTCIP(National Transportation Communications for ITS Protocol)[1]標準協定，以及歐規 TPEG (Transport Protocol Experts Group)[2]所制訂的標準，另外日本對短距無線通訊技術以及其相關應用亦有若干的研發成果；在美國對於 ITS 系統規劃方面，將 ITS 系統的主要單元分為四類：中心單元、旅行者單元及車輛單元。單元間之資訊傳遞，則藉重各種通訊系統：廣域無線通訊、有線/無線通訊，短距無線通訊及車間通訊，而 NTCIP 標準在於規範 ITS 系統之在傳輸協定，主要目標是確保交通控制與 ITS 系統組成單元彼

此之間的「相互操作性」(Interoperability)與「相互置換性」(Interchangeability)。NTCIP 的應用一般分為兩大類：中心與中心(Center-to-Center,C2C)及中心與現場(Center-to-Field,C2F)之應用。前者通常包含了路側設施或是各單位所擁有的車輛與中心電腦之間的傳輸，而後者則主要是中心電腦或各個子系統之間的資料傳輸。NTCIP 標準採用模組及分層方式來傳輸，為了有別於 ISO 和 Internet 所定出的 Layer，NTCIP 以 Level 來分層，其中包含 NTCIP 的 Level 層級以及各通訊協定之分類。茲簡述於下：

- (1) Information Level (資訊層)–這層主要提供應用程式處理之資料元素、物件、訊息等的傳送標準，像是 TCIP, TS3.5, MS/ETMCC 等。
- (2) Application Level (應用層)– Application Level 主要提供資料封包結構及交談管理的標準，像是 SNMP, STMP, DATEX, CORBA, FTP 等，屬於 OSI 中 Application、Presentation、Session 等 Layer。
- (3) Transport Level(傳輸層) – 此層主要提供資料封包切割、組合及繞送方面，諸如 TCP, UDP, IP 等，屬於 OSI 中 Network、Transport 等 Layer。
- (4) Sub-network Level (子網路層) – 此層提供實體介面的標準，像是數據機、網路卡、CSU/DSU 等以及封包傳送，如 HDLC、PMPP、PPP、Ethernet、ATM 等，屬於 OSI 中 Data-link Layer。
- (5) Plant Level(實體層) – Plant 層包含了實體的通訊傳輸媒介，例如銅導線、銅軸纜線、光纖、無線通訊等，屬於 OSI 中 Physical Layer。

TPEG (Transport Protocol Experts Group)是由歐洲廣播聯盟(European Broadcasting Union, EBU)依循通訊標準(ISO OSI -7 Layers Reference Model)所訂定的傳輸協定，作為透過數位廣播系統來發展智慧型運輸系統及提供交通與旅行者資訊的標準。具備使用資料編碼來提供使用者過濾及擷取所需資訊，並提供錯誤偵測及資料加密功能。參與標準制定者除了英、德、法、瑞典等研究機構外，尚有歐洲各國的數位廣播接收機製造商、系統服務提供者及車輛製造業者。TPEG 系統架構如下圖所示，TPEG 傳輸協定具備下列幾項特性：

- (1) 具有統一的傳送格式及支援多種傳輸的類型，將所要傳播的資訊依據轉為 TPEG 格式即能適用於多種不同的數位廣播系統(DAB/DVB-T/DARC)。亦能整合於網際網路(Internet)來進行訊息傳輸。
- (2) 支援多種 ITS 服務需求  
目前所規劃的服務類型有：
  - 系統服務與網路資訊 (Service and Network Information, SNI)
  - 大眾運輸系統訊息服務 (Public Transport Information, PTI)
  - 交通路況服務 ((Road Traffic Messages, RTM)

- 停車資訊服務 (Parking Information, PKI)
- 旅遊氣象服務 (Weather for Travellers Information, WEA)

(3) 可擴充性

- 交通資訊提供者可依據不同的狀況或不同的語言，依循既定的格式來提供新的服務類型及內容。
- 可擴充其功能使其支援 Mobile IP 之傳送格式。

(4) 可與 GSM/GPRS/UMTS 系統結合成完整的服務網，即時提供使用者所要求的資訊服務(On Demand Service)。

(5) 使用者能搭配車載機或個人行動通訊系統內建的應用軟體來達成文字、聲音或影像等多媒體的表現方式。

(6) 在電子地圖服務方面，使用者無需預備內建資料庫即可依其位置資訊來解讀獲取地圖資訊(Off-Board Service)。

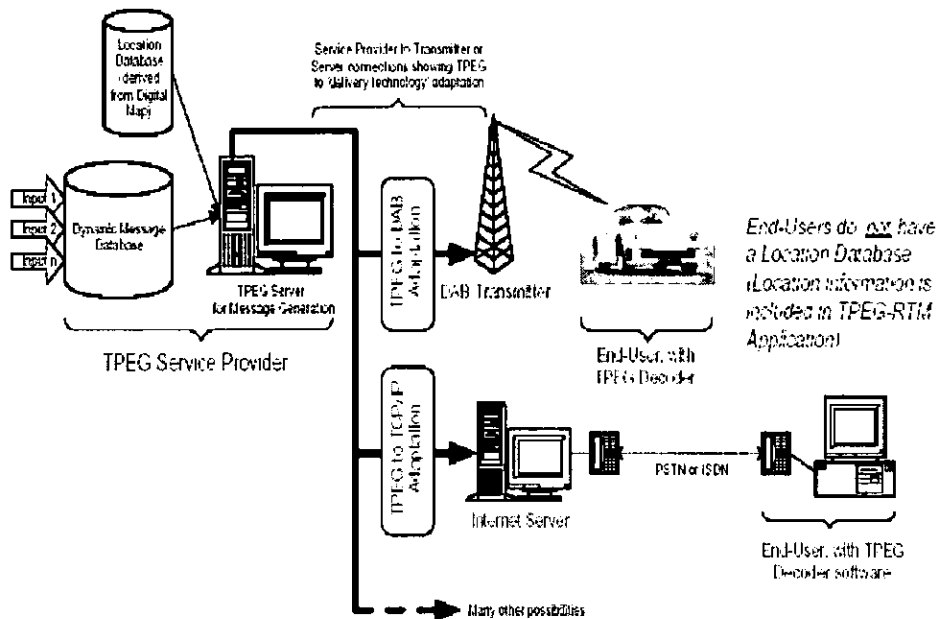


圖 2-1 TPEG 系統架構示意圖

根據國內外相關研究的規劃，ITS 資訊與通訊平台之邏輯架構考量了典型的 ITS 邏輯架構與實體架構，包括中心單元、路側單元、車輛單元與旅行者單元(如圖 2-2 所示)。為整合異質性網路，整體平台中加入『多無線電服務提供者 (multi-radio service provider)』，採用外部共同節點(external common node)的方式來結合不同的系統，該提供者控制終端設備的移動性(mobility)、決定資料流向與提供增值服務。在實體通訊平台方面，主要以三階層式的通訊技術組合為主，包括數位音訊廣播(digital audio broadcasting, DAB)、第二代蜂巢式無線通訊系統(GSM/GPRS)、以及無線區域網路技術(wireless local area network, WLAN)等。茲分述於下：

1. 數位廣播：包括 DAB 或 DVB-T 等，利用數位廣播涵蓋範圍廣大、通訊成本較低、數據通訊容量較大、以及單向傳輸等特性，提供行

動單元(如車上單元)一般性的交通資訊廣播服務。

2. 廣域行動通訊：根據本研究的規劃，乃是以蜂巢式行動通訊之數據傳輸服務，包括 GSM/GPRS、以及未來的第三代蜂巢式行動通訊技術；這些技術具有涵蓋範圍大、雙向傳輸、以及技術與商業模式成熟等優點，適合用來提供行動單元進行雙向資料交換、條件式之資料查詢等。不過由於這些技術的通訊容量限制較大，較適用於資料量較小的 ITS 服務，或與其他通訊技術整合，成為資料需求上傳的通道。
3. 短距無線通訊技術：包括現階段各國的 DSRC 標準，以及日趨成熟的無線區域網路技術(如 IEEE 802.11b)；這些短距無線通訊技術具有通訊容量大，但是涵蓋範圍較小等特點，適合作為具有高傳輸量需求、具備區域性的 ITS 通訊服務(如電子收費站、提供資訊下載服務的路側資訊站、或提供路側單元與車上單元進行資料交換)。

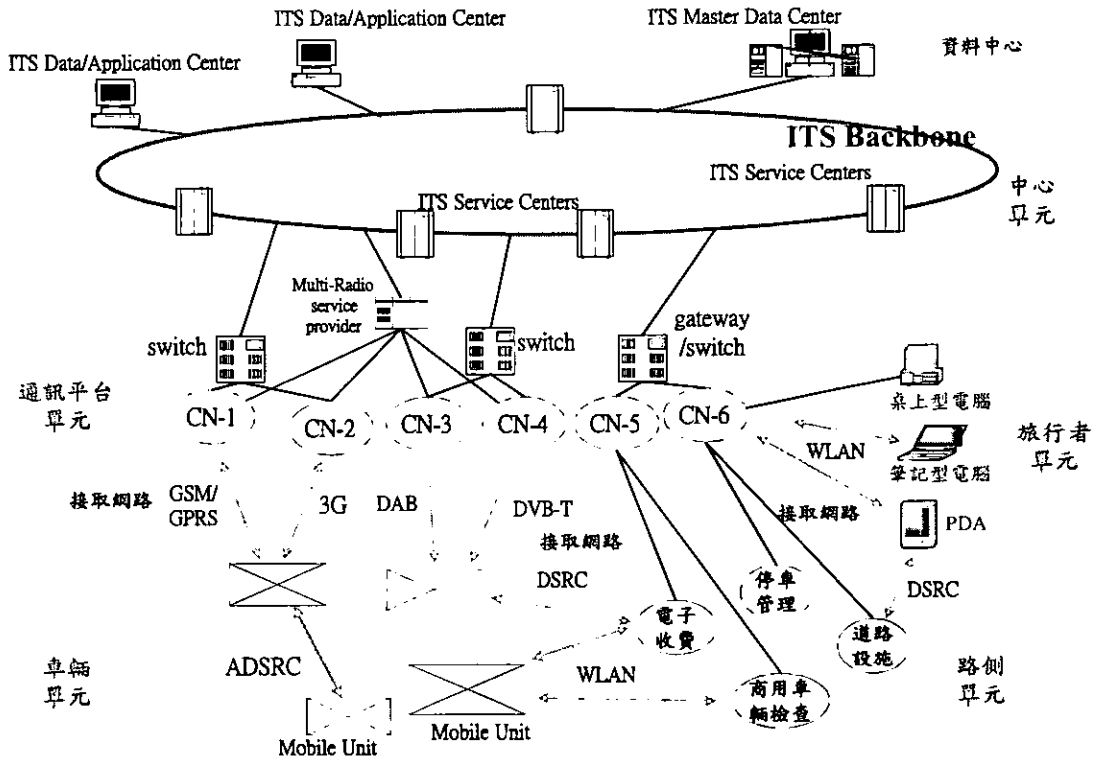


圖 2-2 現階段 ITS 系統資訊與通訊平台架構之規劃

然而目前行動通訊系統(含第三代)或無線區域網路(WLAN)要滿足 ITS 高移動速度及高傳輸速率的需求仍有所不足，尤其是面對交通阻塞、用路人大量使用行動通訊系統時。本計畫目的在研究具前瞻性廣域無基地台式的無線通訊系統(mobile ad hoc network, MANET)應用於 ITS。該通訊系統中的用戶或通訊節點均具有中繼的功能，且節點間傳輸具多路徑選擇的能力，能有效提升無線電頻率使用效率，達到低成本(無基地台建置費用，系統維運成本低)及高傳輸速率的目的。



依照 ACM(Association for Computing Machinery)對行動 ad-hoc 無線網路的定義[3]：A “mobile ad hoc network” (MANET) can be defined as a collection of nodes (or routers) equipped with wireless receiver/transmitters which are free to move about arbitrarily。由上述這段話，我們可以很清楚的了解，MANET 是由一群可任意移動的主機所組成，每個行動主機負責類似 router 的工作，並可接收或傳送網路上的封包。這也正意味著 MANET 在傳遞訊息時完全不需要架設任何固定式的基地台網路的設備，也完全不會受制於地形的限制與佈線的成本花費。所以，我們可以克服傳統無線網路需要大量建置基地台的成本，並且也不會因無法設置基地台而導致無法通訊的遺憾。未來，隨著可攜式電源的改進，與無線網路裝置的普及，相信 MANET 將會成為主流。

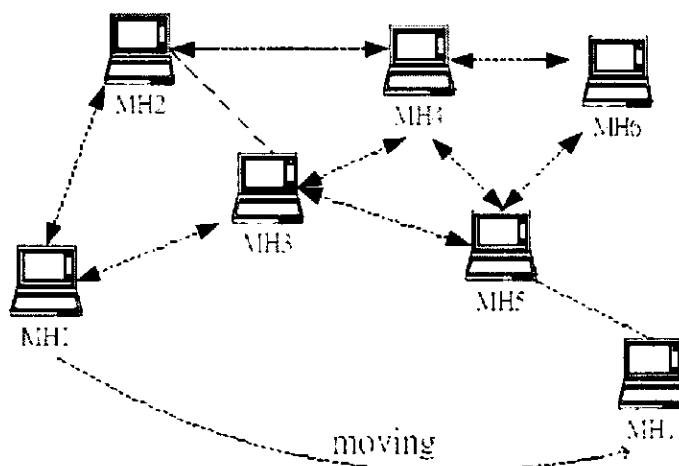


圖 2-3 MANET 運作模式示意圖

圖 2-3 所示為一簡單的 MANET 架構，是由六台行動主機所組成的。由於行動主機的任意移動特性，整個網路拓撲會隨著行動主機的移動而改變，而產生新的拓撲型態。如圖 MH1 的移動，造成與 MH2 及 MH3 的連結中斷，但因而與 MH5 產生新的連結。除此之外，在 MANET 架構中，也隨時都可能增加或減少新的行動主機，這都會使得網路拓撲重新改變。

MANET 的優點在於它完全不需要任何有線網路的架構或設備的支援。這意味著我們可以完全不受地形的限制與相關硬體設備的成本。所以我們可以節省原本架設基地台的成本，而且也不需要受限地形本身特性而無法架設基地台，導致無法通訊。例如：偏遠山區、河川湖泊。所以這種網路架構除了在 ITS 的應用外，在其他方面的應用也是非常廣泛的，例如：

1. 像偏遠山區的救援搜救行動，人們不大可能在一個人煙稀少的地方架設基地台，因為每個基地台的造價極高，這對系統業者是不經濟的方式。
2. 展覽會場或是小型會議的通訊，行動主機使用者可以不經過基地台的轉接，直接互相通訊，如此不僅節省通訊成本，更可以擁有更高速的通訊品質。

3. 在軍事上的應用就顯得特別重要，如果在戰地的通訊仍依靠基地台來幫助你傳遞訊息，那麼一旦基地台被敵方摧毀，就可以中斷和友軍間的通訊，所以 MANET 的應用早期就已被美國軍方作為測試使用。
4. 個人網路或家用網路系統的整合，例如無線耳機、行動電話、傳真機、無線滑鼠及鍵盤、筆記型電腦、個人數位助理(PDA)、掌上型電腦(Pocket PC)、投影機甚至家用電器如冷氣機、冰箱、遙控電燈、微波爐、洗衣機等，透過藍芽晶片的安裝，將可以整合在一起。而藍芽技術也算小型且短距離的 MANET 應用。

此外，在 MANET 中，由於“多層跳躍”(multi-hop)的特性，資料的傳遞需經由多個中間節點共同合作來完成，而頻寬(bandwidth)與功率(power)都有相當的限制。因為沒有基地台的設置，行動主機之間只能透過有限的頻寬，在限制的傳輸距離(transmission range)內傳遞訊息，因此頻寬的使用效能必須提高，另一方面其系統負載也必須控制得當。而行動主機的功率牽涉到電池電量儲存的問題。由於行動主機的電池電量有限，不管其狀態處於停滯或者交換訊息，都會消耗電池電量。系統必須使每一台行動主機的電量消耗最低，因此在協定的設計上，必須兼顧路徑選擇資訊的即時性及耗費電量的程度，提升網路效能。功率的控制(power control)是目前很重要的課題。雖然較大的功率可以增加傳輸距離以減少中間節點的轉送動作，但是頻率之間的干擾也是影響因素之一，再加上行動主機任意移動的特性，使得功率的控制成為一個值得研究的方向。

總括而言，行動廣域免基地台式無線網路，具有以下特性：

1. 網路拓樸的改變頻率很高
2. 路徑的存活時間短
3. 移動裝置的電力有限制
4. 傳送路徑品質沒有保證一定具有對稱性(asymmetric link condition)
5. 不需要基礎建設裝置支援
6. 每一個參與的節點都是繞送器(router)

目前國際上在 MANET 技術下的主要應用包括感應器網路(sensor network)，與 ITS 車間通訊網路(IVS network)等。由於汽車的移動性很高，ITS 網路的節點(也就是行動車上單元)不斷地移動，使得網路拓樸的移動頻率很高。而移動頻率很高造成相對距離的變化很大，使得節點連接(connectivity)的存活時間也短。電力限制的方法，可以使用車用充電器來解決，但是能源問題仍然不可輕忽，因為一部車所能儲存的汽油有限。其次是由於每部汽車車體的不同，有可能會使得遮蔽現象不對稱，使得連線情形(信號強度)也不對稱。

智慧型運輸系統(ITS)的議題承繼了上述六點外，對於實體層也有相當的挑戰。例如車子之間彼此遮蔽形成的干擾，包含車子高度的不同，與通訊兩車之間，存在的車數等等。使得背景雜訊的干擾問題，在 ITS 網路上面，成為一個頭痛的議題。也由於實體層的連線品質不穩定，使得傳送路徑的存活期更短，對繞送協定的效果成為更嚴峻的挑戰。

## 2.2 行動廣域免基地台無線通訊技術應用於 ITS 之國際發展現況

由於近年來通訊技術突飛猛進，美國、日本及歐洲等科技發達的國家已了解到結合通訊新科技可以用來協助道路交通管理，並將運輸產業帶向自動化之路，以達到有效提升運輸效率、增進運輸安全、減少能源消耗與保護生活環境等運輸目標，故紛紛投入「智慧型運輸系統(Intelligent Transport System, ITS)」之相關研究，並將最新通訊技術運用於交通管理、交通資訊、公共運輸系統、行車自動控制、及商業車隊營運系統等，成效皆非常卓著，也使得 ITS 相關系統更加實用並且符合成本效益。根據國內外對於 ITS 系統之通訊技術組合的研究與發展趨勢，ITS 系統的無線接取網路可大致分為無線數位廣播(DAB, DVB-T, e.t.c.)、蜂巢式行動通訊系統(GSM/GPRS, 3G cellular network, e.t.c.)、以及短距無線通訊技術(ADSR, IEEE 802.11 WLAN, PHS, e.t.c.)，其中在短距無線通訊技術的應用模式上多半規劃使用所謂 hot-spot 的系統運作模式，也就是當行動台進入短距通訊路側設施(beacon)的訊號涵蓋範圍內，才能進行頻寬較高的資料傳輸；在系統效能與營運成本的雙重考量下，現階段的 ITS 通訊系統規劃仍有改進的空間，而行動廣域免基地台式無線電系統正提供了良好的解決方案。

行動廣域免基地台式無線電系統(mobile ad-hoc network, MANET)應用於智慧型運輸系統之研究多半專注於 MANET 本身所具有之特性，探討所能衍生之各項智慧型運輸應用。並依據系統高移動速度與高傳輸速率之實測分析結果。針對可能的應用範疇，進行可行性分析評估及設計。藉以規劃出實用性高，並得以落實於國內智慧型交通網之創新應用。

由於道路上的各式車輛隨著時間移動，所以 ITS 通訊系統需隨著使用者的時間及空間上的相對、絕對位置做調整，使得系統能在該時間及空間點上做最佳化的運用，其技術層次相當複雜且深具挑戰性，例如頻譜的使用、資訊及時性、系統強健性等等，每一個問題都影響系統甚鉅。因此 ITS 上的各項通訊技術不僅獲得各國相關領域研究人員的重視，也引起國內外產官學研各界的競相投入；由於 MANET 相關核心技術仍屬於研發與實驗階段，因此對於 MANET 應用於 ITS 服務的試驗，多半未趨成熟，而屬於系統模擬、實驗、以及小規模的實測等。根據本研究對 MANET 應用於 ITS 服務之探討，國際上相關試驗所運用的 MANET 核心技術、應用類型、以及發展現況各有不同，茲整理於表 2-1：

表 2-1 使用 MANET 應用於 ITS 服務之國際發展現況

系統名稱	國別	使用之核心技術	ITS 應用服務	發展階段
Fleetnet 計畫[4]	德國	利用 UTRA-TDD 技術提供非對稱資訊流的柔軟度，也允許長距離及高移動速度傳輸之強健特性	Fleetnet 計畫是針對將無線 Ad-Hoc 網路應用於車間通訊上，散佈位置相關的資訊及服務，以滿足駕駛者及乘客需要之能力。	實驗系統之建置與測試
以端點通訊為基礎的交通服務系統[7]	瑞典	利用兩種網路組織方式：1. 叢集式組織；2. 個體中心式組織。進行 MANET 點對點的通訊	使用車間通訊以及與路測單元的資料交換，以及與 GPS 之整合，進行交通安全相關應用服務	實驗系統之建置與測試
以 ODMA 技術為基礎之應用	南非	利用傳遞(relaying)方法提高資料傳輸率與訊息涵蓋範圍	應用於學方車機系統車間通訊或軍方等，有效提高基地台涵蓋範圍與頻寬	實驗系統之建置與測試
RUSH 計畫[9]	美國	使用藍牙通訊技術以及衛星定位(GPS)為基礎之 ad hoc 繞送機制	利用校園作為實驗平台，進行校車間的車間通訊以及相關應用服務	實驗系統之建置與測試
geocast-based 之車間通訊[11]	德國	使用以地理資訊為基礎的 ad-hoc 訊息傳播，提高資訊傳播的有效性	提供車間點對點通訊以及結合電子地圖等訊息呈現功能	實驗系統之建置與測試
以 SDMA 為基礎之車間通訊系統[6]	美國	採用空間分割多重擷取(SDMA)的技術，提高頻寬使用效率	車輛自動駕駛系統、自動高速公路等	技術研發
以 WLAN 為基礎之 MANET[8]	加拿大	結合智慧型天線與 IEEE 802.11 無線區域網路之 MANET	可提高 MANET 應用於 ITS 系統時之通訊效能	技術研發
多重代理人之動態繞送系統[10]	日本	以行動代理人技術進行 MANET 動態繞送	進行行動車機間的車間通訊與動態繞送	技術研發
以 GPS 為基礎之車間廣播通訊[5]	日本	結合 GPS 資訊之訊息廣播方法以增進系統效能	提供車機間的車況資料交換，作為行車輔助的基礎	技術研發

由表 2-1 可知，國際上 MANET 應用於 ITS 之發展現況多半屬於研發或實驗階段，除了如德國的 Fleetnet 計畫外，其實實驗規模仍侷限於小規模的測試；文獻中重要的 MANET 核心技術探討主要包括通訊實體層的技術(PHY layer)、媒體擷取控制(media access control, MAC)以及動態繞送機制等，尤其以更改現有之 MANET 繞送機制以符合 ITS 服務需要為主。下面根據其中重要之相關文獻進行回顧，並於第 2.2 節針對 MANET 中被廣泛討論之繞送機制進行技術上的探討。

## 2.2.1 Fleetnet 計畫

為了提升車間通訊系統的發展，由德國三所大學及六間公司所成立的聯盟投入 Fleetnet 的計畫[4]。Fleetnet 是針對將 MANET 應用於車間通訊上。對於 Fleetnet 的關鍵要求即是將散佈位置相關的資訊及服務，以滿足駕駛者及乘客需要之能力。位置知覺及區域資料不止在 Fleetnet 的應用，同時在通訊協定亦扮演關鍵性的角色。Fleetnet 的目的是為了駕駛及乘客的安全及舒適性，以發展一個車間通訊之平台而有效的傳送資料，而這些皆藉由 MANET 實現。它包含了巡航中及靜止中、停於停車場的車輛，以及其他靜止的成員，例如路邊固定，到應用之實現、期望的市場策略及解決方案之標準化等。因為該通訊系統的開發需獨立於各式車子的品牌，因此計畫的結果是一開放且標準化的國際標準。

該計畫最大的技術即為發展將巨大且動態的 MANET 整合於 Internet 的通訊協定，如圖 2-4 所示。更特別的是發展出可適應性及可變規模的路徑演算法，而使資料以多重跳接的方式傳輸於車輛與車輛及車輛與靜態設施之間。因此車輛的路徑通訊不僅使用 IP 位址，且同時使用地理位址。

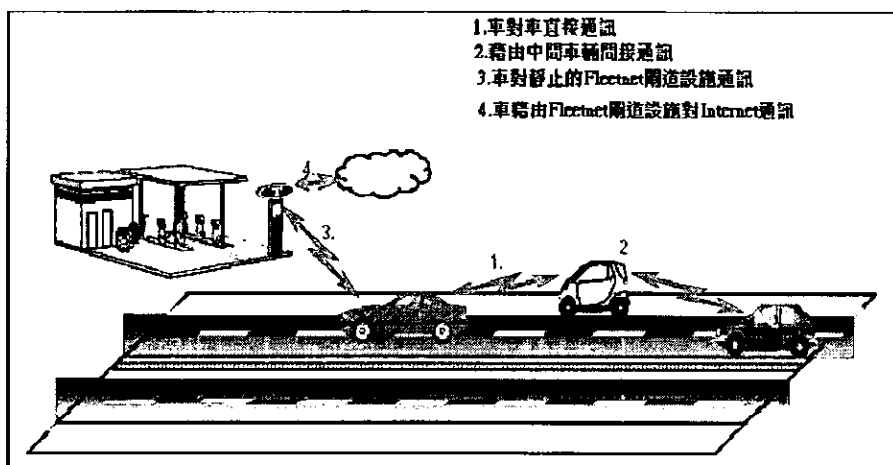


圖 2-4 Fleetnet 通訊示意圖

根據 Fleetnet 計畫的規劃，Fleetnet 將充分利用 MANET 技術，達成下列數項 ITS 應用服務：

### 1. 車輛相互合作下之駕駛輔助應用

車輛相互合作下之駕駛輔助應用(cooperative driver-assistance application)主要藉由行動車機間感知資訊或車輛狀態的資料交換，並透過車上單元的人機介面或行車控制模組等，協助駕駛人相關路況資訊的取得，或作為自動化駕駛的基礎，其主要目標在於讓駕駛人預先得知危險路況、障礙物、與車流資訊等；例如緊急事故的告知系統，車機若偵測到駕駛者的緊急煞車動作，可同時將此緊急事故利用 MANET 傳達至後方的車輛；或是利用 MANET 將車禍事故的訊息及時送達鄰近區域的車機系統，提供駕駛人作為安全駕駛與避開塞車的參考。如下圖所示，圖 2-5(a)中鄰近路口的車輛能夠利用 MANET 技術相互通訊，判斷路口可能發生之警訊，在車輛儀表

板顯示警告訊息；另外如圖 2-5(b)，利用車機間的跳接式傳輸，可取得如彎道後或前方不遠處車速驟減之警訊。

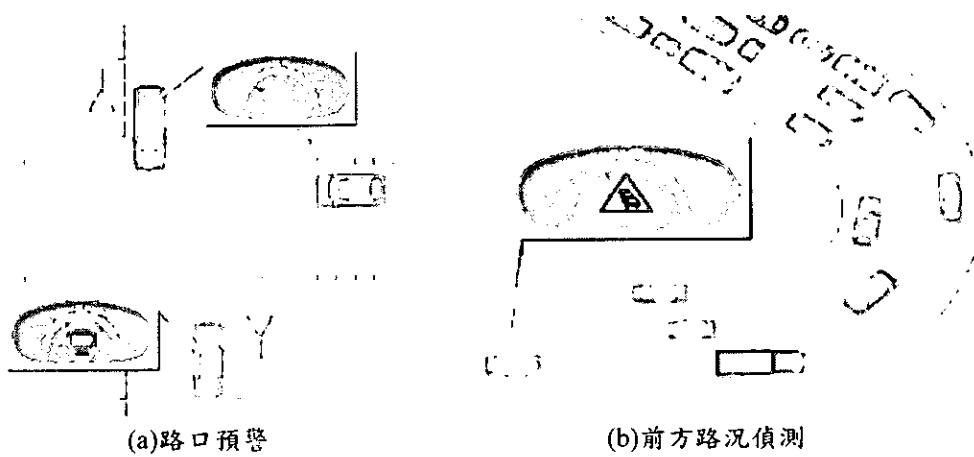


圖 2-5 Fleetnet 計畫所規劃之行車輔助應用示意圖

## 2. 分散式的浮動車輛資料服務

分散式的浮動車輛資料服務(decentralized floating car data services)相較於傳統上集中式的車輛資料蒐集與提供，乃是透過 MANET 對於其鄰近區域的車機資訊，如車輛位置、行車方向、速度等，進行蒐集並直接於車機系統內彙整，作為行車時的交通管理資訊；此處與駕駛輔助應用的不同處在於此項應用蒐集的資訊並非直接影響駕駛人或自動駕駛系統的行車控制動作，而是藉由資料統計的結果，提供相關車況、路況等資料服務。在此服務中車機系統必須定時在 MANET 廣播車況資訊，同時可以依照情況將目前已蒐集的(非本身的)車況資料同時傳播給鄰近的車機，可以提高系統效能，並可大致上解決資料漏失的問題。

## 3. 使用者通訊與資訊應用

使用者的資訊服務主要可提供乘車者在旅行期間，進行常見的資訊傳輸服務如車輛間的語音對談、視訊、文字訊息交換、甚至無線上網等。這些資訊服務可利用最廣為使用的 TCP/IP 或 UDP/IP 協定，因此現行多元化的網路應用服務，若是以 TCP/IP 或 UDP/IP 為基礎，均可以在車機系統組織之 MANET 進行服務；至於提供無線上網(mobile Internet)的功能，需要透過路側設施與 MANET 技術整合，作為無線上網之開道器；由於 MANET 動態組織並擴大訊息涵蓋範圍的特性，使用 MANET 進行無線上網所需要的路側設施，將比 hot-spot 短距通訊技術的運作模式來的少，大幅降低道路基礎設施建置、運作、與維護的成本。如圖 2-6 所示，無論是行動點(行動車機)或是固定點(如圖示中的智慧型號誌、區域資訊提供伺服器、網際網路接取點等)，均可利用 MANET 技術進行動態連接，達成路況資料蒐集、區域訊息廣播、網際網路無線上網等功能。

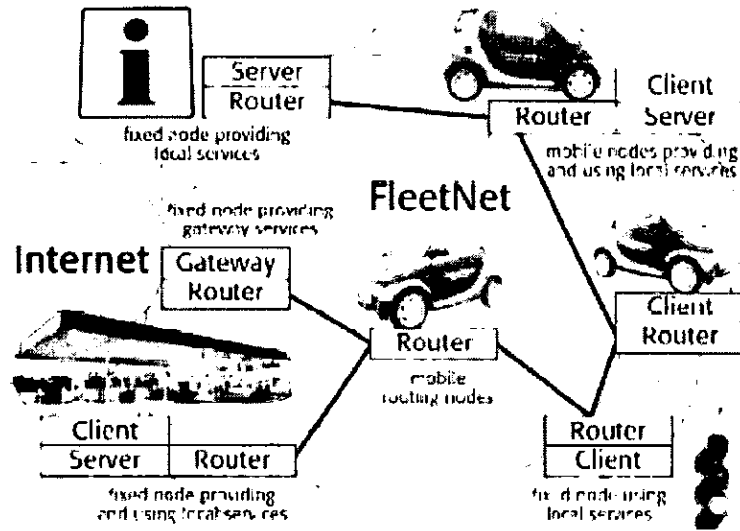


圖 2-6 Fleetnet 計畫所規劃之使用者資訊服務平台

為了適應 MANET 傳輸模式下所進行之使用者資訊服務與無線上網等，Fleetnet 計畫中考量下面數點作為研究方針：

- 需更改現有之 Internet 機制，以達成具備行動性(mobility)之無中斷網際網路服務；無中斷網際網路無線上網服務原則上可透過 mobile IP 技術達成，然而 Fleetnet 計畫目前為針對此項課題之解決方案技術加以說明
- 發展更有效率之傳輸協定；現階段之 TCP 協定較不適用於 MANET 環境，主要原因在於 TCP 連線可能因為動態路徑變更時間過長時造成斷線，因此修改 TCP 協定之 Timeout 機制等亦是重要研究方向
- 行動車機要有主動搜尋網路接取點或資訊服務的功能
- 行動車機要能夠執行現存之網路服務(如 Web 網頁瀏覽功能)

其他 Fleetnet 發展的項目包含了 Fleetnet 發射子系統而發展的頻道擷取機構，其將服務的要求如延遲及封包錯誤率等列入考量的範圍。再者，對通訊熱點(hot spot)有效率的通訊協定亦確定以得到移動點與固定通訊開道間可靠的通訊品質。由 Fleetnet 發展的發射子系統操作於免執照的無線頻道，並且具有高速移動下運作的強健特性，該子系統首先選用 UTRA-TDD 為操作目標，不過使用 IEEE 802.11 之短距無線通訊技術亦在該計畫的考量之內。UTRA-TDD 對於非對稱的資訊流提供了高度的柔軟度，也允許長距離及高移動速度傳輸之強健特性。其通訊距離可長達 1 公里且資料傳輸速率依據車輛間的相對速度及絕對速度，可提升至 384 到 2000kbps 之間。在歐洲，UTRA-TDD 通訊系統操作於 2010-2020MHz 之間兩個分隔的頻段。使用 UTRA-TDD 通訊系統不僅具有技術上的優點，且高度經濟規模可快速完成，理由即是只要第三代行動通訊 UMTS 一提供，UTRA-TDD 通訊系統及其元件將可與其整合運用。Fleetnet 計畫雖提出了較為完整之 ITS 應用規劃，但現階段研究成果仍集中在 MANET 通訊平台的研發與測試，而相關 ITS 應用模式應處於研究階段而尚未公開成果，計畫時程已於 2003 年底結束，其後續進展還有待追蹤觀察。

## 2.2.2 車輛點對點通訊應用於交通安全方面之應用

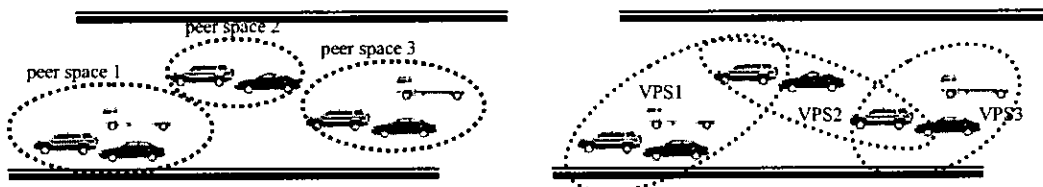
在瑞典有學者針對 ITS 安全系統中車輛防碰撞之機制進行研究，並認為車輛通訊網路應該要精心設計以達到便於傳送簡短訊息於道路上的成員。這些訊息包含了車上安全系統所需的資料以便於評估當時交通狀況的風險並將這些資訊告知駕駛者。為了達到目的，便需針對交通環境而有特別的要求，其中最重要就是此系統需要高獲取率、高資料傳輸率、即時的資料交換及快速而動態的組織力。因此該學者提出兩種網路方法：1. 叢集式組織。2. 個體中心式組織。[7]

### 1. 叢集式組織

叢集式組織著眼於道路上個體間具有相關利益所組成的團體所形成的交通狀況之特性。這是因為在許多狀況下，路上的車輛分佈情形具有群體的特性。車輛之間可因為個體空間(peer space)中的群體關聯而受益。在這叢集的組織內，屬於該個體空間的每一個體皆須維護來自於該叢集的其他個體之相關訊息。因此每一個體皆有管理的功能且負責加入、離開或開始一個體空間，此加入或建立的功能是基於時間來運作。因此一個個體若於一定的時間間隔內沒有收到來自該現有個體空間之個體之資訊，則它將開始一個新的個體空間。一個體空間內的個體成員關係與利益有關，若考慮交通安全，則該利益建立在車間的距離、道路狀況、速度等相關之因素。對於叢集式的組織而言，車輛可以立即得到彼此間的相關訊息及該區域的狀態，因此較適合於高速公路上使用。相對的，若車輛正好處於個體空間邊緣，則只能獲得相當有限關於其他個體空間內的個體的相關資訊。

### 2. 個體中心式組織

個體中心式組織主要運用於交通單一個體的特性，特別於防止車禍的功能。在該組織內，每一個體需定義、建立及維護本身的虛擬個體空間(virtual peer space, VPS)。因此，個體可以分析從其他個體接收的資訊來決定誰應該屬於它的虛擬個體空間。隨著區域的變化，個體需持續維護它的資訊。該組織的特性即是將單一個體視為一個核心而依據它的利益來決定交通網路的狀態，容易建立及維護該個體空間，相關通訊協定也較簡單，因此適合於擁擠的市區道路上使用，但相對空間的重疊性高，造成每一交通區域需要較多的運算處理及資料儲存空間。



(a)在叢集式組織中，車輛  
分成無交集的叢集

(b)個體中心式組織中，特定車輛  
可能同時屬於不同之 VPS

圖 2-7 行車安全系統之車間通訊網路組織方法



這兩種方法都相當有彈性且可減少資料重傳的次數，也都整合了 peer-to-peer、MANET 及短距離通訊的概念，尤其像是各個體空間之間的通訊課題 (inter-space communication) 等，特別適合運用 MANET 作為解決方案，若將交通環境變化、基礎建設、服務分享、自我組織及可能的成本列入設計時的考量，MANET 不失為有效的交通安全資訊系統之通訊平台。

### 2.2.3 以機會導向多重存取技術所構成之 MANET

機會導向多重存取技術 (opportunity driven multiple access, ODMA) 是一個以 WCDMA 為基礎之智慧型傳遞 (relaying) 協定，ODMA 協定主要將無線傳輸困難度較高的無線電路徑分割成數段較小的 hops 以降低傳輸時的能量耗損並增加資料傳輸率。該協定的目的在於從無線電路徑與傳遞者皆為動態變更的環境中，選擇最小成本的資料傳遞路徑。資料傳遞技術 (relaying) 目前已廣泛地使用在商業與軍事用途，然而較少使用於蜂巢式行動通訊系統之中。在 ODMA 系統中，所有的行動設備皆可以成為資料傳遞的節點，這種資料傳輸技術不但能夠提高通訊系統的彈性，同時能夠解決如訊息遮蔽 (shadowing) 等問題，並增進訊息的涵蓋範圍。相關研究指出 WCDMA 系統適合與 ODMA 技術進行整合，並藉由 ODMA 技術提高系統涵蓋範圍、彈性、以及降低傳輸所需的能量、同時降低封包間的訊息交互影響。根據一般性的通訊理論，由於 ODMA 技術將長距離的通訊切割成較為短距的無線通訊，因此能夠提高訊號與雜訊的比率 (signal-to-noise ratio, SNR)，進而提高頻寬的使用效率；在無線電資源的分配上，由於 ODMA 技術降低了傳輸所需要的訊號強度，因此在同一個封包內的無線電資源 (如 codes) 可以多次使用，這導因於較低能量的無線電訊號僅會在較小的區域範圍內產生交互影響。當然使用 relay 技術仍有若干待解決的問題如資料安全性、計費問題、路徑可靠度等。

ODMA 技術之運作模式可如圖 2-8 所示；傳統上使用 FDD 技術於蜂巢式網路之中，由於涵蓋範圍的限制，較遠處的行動設備僅能進行低資料傳輸率，同時耗費能量的無線電傳輸；若透過 ODMA 技術，位於高傳輸速率的行動台可作為低傳輸速率區域的閘道器 (gateway)，而低傳輸速率區域的行動台利用智慧型傳遞 (relaying) 的技術，能夠提高資料傳輸速率與訊息涵蓋範圍，並可以運用 TDD 技術提高無線電資源的使用效率。由於 ODMA 技術主要以 3G 蜂巢式行動通訊系統為基礎，對於將來在 3G 網路的效能增進上、技術推廣上、以及 ITS 應用上都有其功效。

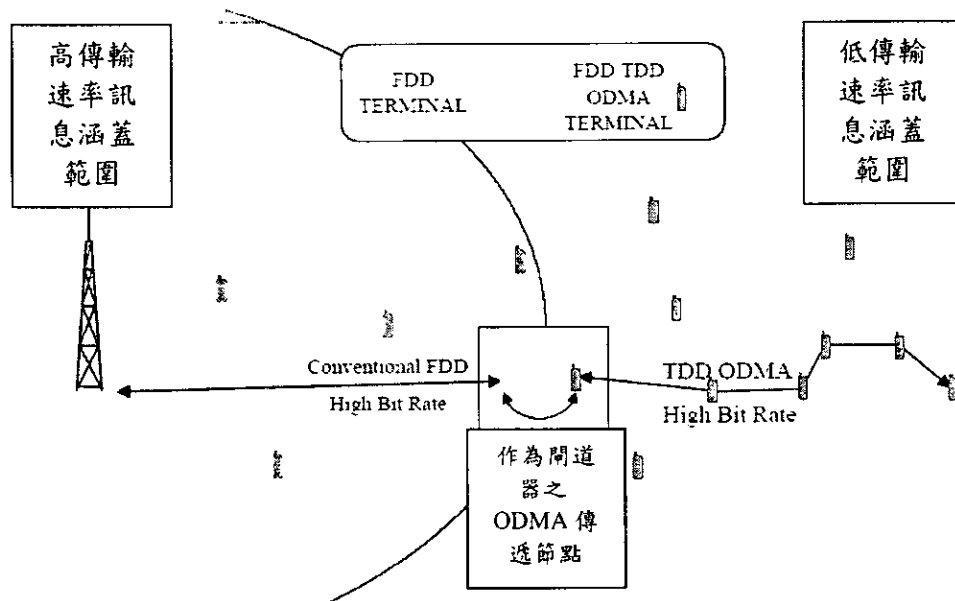


圖 2-8 ODMA 技術運作模式

ODMA 技術適合應用於行動終端設備間的通訊與訊息廣播，因此 ITS 應用服務理論上相當適合使用這項技術；ODMA 技術曾經隸屬於 3GPP(3rd Generation Partnership Project)之標準規範項目之一(不過約在 2002 年 2 月底被排除於規範之外)，作為 3G 網路的擴充功能；根據本研究的探討，像是 ODMA 發源地的南非等，已將實際的 ODMA 技術建置於 3G 系統上；南非的 ODMA 系統主要應用在警用車輛間的廣播與車間通訊，提供警方、保全、醫療、以及緊急事故處理的訊息交換以及人員設備調度等，透過 ODMA 技術，南非的警用通訊系統能夠同時進行車輛間的文字訊息、語音、圖片等資料交換，並可透過與基地台的聯繫達到控制中心的控管功能，並且可讓訊息涵蓋範圍擴大至基地台無法涵蓋的區域，在緊急救援的應用上頗具助益。

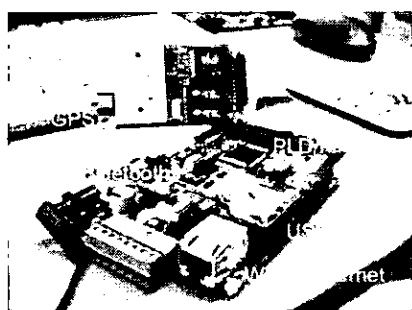
ODMA 系統雖然需要透過基地台進行封包交換，在本質上與 MANET 有所不同，但透過行動節點間的 ad-hoc 模式，可有效擴大基地台的涵蓋範圍，並且提高資料傳輸率；基地台可作為行動設備與相關控管中心的閘道器，可滿足多種 ITS 應用的運作模式。目前台灣亦有廠商利用 IEEE 802.11b 之頻帶，建置以 ODMA 為基礎的實驗平台，並達到不錯的系統效能。

## 2.2.4 RUSH 計畫

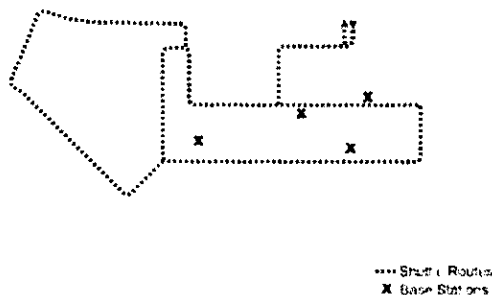
為了驗證 ad-hoc 網路運作模式的可行性，美國相關學術機構亦在近年來開始建置小規模的實體測試環境，以試驗無線通訊在 ad-hoc 運作模式下的效能。雖然在 IETF 組織中，美國似乎主導了 MANET 繞送演算法的標準，但實際上對這些繞送機制的驗證與實驗，多半仍屬於電腦模擬的階段。在實體測試方面，較為完整的為 Rice 大學所進行的 RUSH 計畫[9]；RUSH 計畫所建置的實驗平台位於 Rice 大學的校園，其計畫目標在於建立 ad-hoc 動態繞送實驗平台，並在行動設備上整合 GPS 模組，以進行與位置資訊相關的應用服務。

RUSH 計畫中所使用的無線通訊技術為藍牙通訊技術(Bluetooth)，為了解決一般藍牙通訊傳輸距離較短的缺點，計畫中使用的+4dBi 與+5dBi 高增益天線，使得傳輸範圍增加至約 150~250m 之間；實驗平台除了在行動設備上裝設通訊設備外，並在校園內若干定點裝設類似的中繼基地台，因此無論是行動台或固定點基地台，都可以參與動態建置 MANET 的過程，而這樣的運作模式亦較符合將來的應用。

根據 RUSH 計畫的相關文獻，目前雖然已整合 GPS 等技術，在應用上與繞送機制的研究上更具彈性，然而這些應用與技術研究均處於研發階段，並無公佈完整的效能評比；RUSH 計畫使用的藍牙通訊技術亦帶來實驗的風險，在 ITS 行動通訊上的應用，國際上現階段較為人所採用的 MANET 實體層通訊技術偏向 WLAN 等傳輸距離較長的技術，因此使用藍牙技術所產出的實驗成果勢必遭受質疑而參考價值較低。



(a)RUSH 計畫使用的行動設備

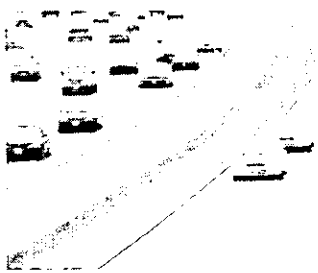


(b)實驗路徑與固定式基地台定點

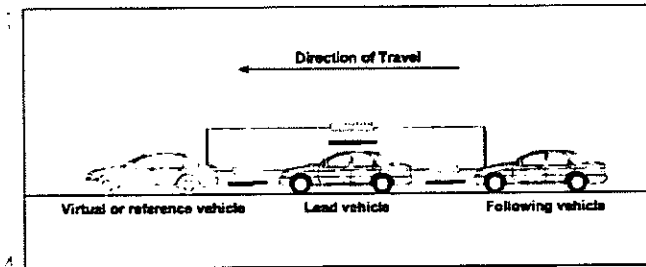
圖 2-9 RUSH 計畫之實驗設備與平台

## 2.2.5 以空間分割多重擷取(SDMA)為基礎之車間通訊

車對車(VEHICLE-VEHICLE, V2V)可以提升安全性，藉由交換車輛動態及道路狀況可以提升駕駛及乘客的舒適度及安全度。車對車的通訊在交通自動化中佔有重要的地位。因為高速行動的網路特性，車對車的通訊是藉由 ad-hoc 的網路而不是透過基地台設施。以自動高速公路系統(automated highway system, AHS)為例，具有 AHS 功能之汽車當駛入自動公路時，駕駛者可將車輛設定為自動駕駛模式，此時車與車之間需要密集地進行控制訊息與資料的交換，車間通訊在此處便佔有十分重要的角色；車間通訊所使用的技術將以 ad-hoc 通訊技術為最佳選擇，這導因於 ad-hoc 網路不需要基礎設施，並可以在動態變更的網路拓撲結構中提供資料交換通道。如圖 2-10(b)所示，AHS 系統不但有賴於路測設施的建立外，車與車之間的控制需要透過無線 ad-hoc 網路技術，不僅是相鄰的車機間需要進行通訊，距離較遠的車輛(如圖例中的 reference vehicle 與 following vehicle)亦需要進行資料交換，以增進自動駕駛之安全性。



(a)駛入 AHS 之車輛



(b)AHS 內車機間需要跳接式的通訊

圖 2-10 AHS 系統運作示意圖

現行的無線 ad-hoc 並不適用於車對車的通訊，因為他們無法達到下列要求：1.車對車的通訊需要訊息延遲的控制。2.對現行的無線科技而言，通訊位址已經假設為已知，但車對車的通訊位址並無法事先得知。3.此技術是要可以放大規模並提供大量使用的擷取量。4. 此技術是要可以有效的使用頻寬。最後，當不同的使用者持續的加入或離開這網路時，如何初始化及維護這個組織的問題將有待解決。網路的初始化需與使用者數目及網路拓撲無關。如果使用者加入或離開這個網路將會擾亂或引起延遲，如此在即時通訊產生問題。

針對上述問題，美國提出一個使用於車間免基地台網路且新的強健型、自我組合的架構。此網路架構採用空間分割、多重擷取的技術，可依據使用者的位置資訊，並據以對使用者提供通道的擷取權[6]。SDMA 將使用者所在位置的空間分割成更小的空間，並將分割空間一對一映至各個分割的時槽(time slot)或頻率等。因此 SDMA 相容於其他的多重擷取技術，例如 TDMA、FDMA、CDMA。此系統的要求即是使用者的位置資訊及將位置一對一映至各個分割的頻寬，並可以自我啟動與自我維護。它提供使用者免碰撞的擷取技術及幫助解析使用者的位置。此外，SDMA 也保證提供有限延遲的通訊，以確保資料的即時性。

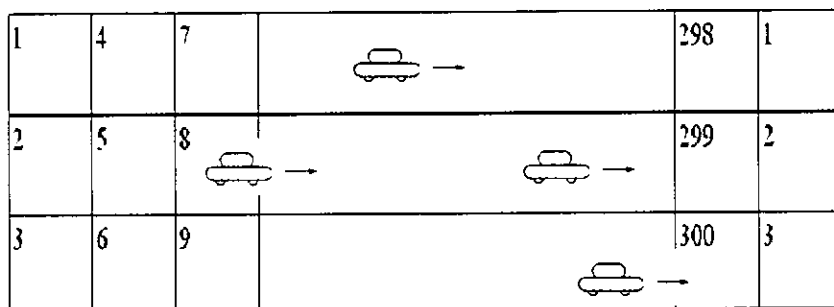


圖 2-11 道路空間分割示意圖

SDMA 是一種對所有使用者提供好的、有限延遲的媒體擷取技術，而且使用者加入或離開這個網路不會損害這個網路架構。SDMA 基於使用者的空間位置提供了媒體擷取，如此每一個使用者必須有即時的位置資訊。

使用者所在的地理位置被分割成許多小空間區塊，而且每一個空間區塊與分割頻段有一對一的映射關係(見圖 2-9)。考慮一個地理空間 S 並將它分成 N 個等分  $\{S_1, S_2, \dots, S_N\}$  而一個等分只包含最多一個使用者，再考慮一個頻寬 B 並將它分成 N 個等分  $\{B_1, B_2, \dots, B_N\}$ 。現在考慮一個一對一的映射例如：

$$F : S \rightarrow B$$

於是 SDMA 根據使用者的位置分配媒體擷取權。每個使用者需要知道他在地理空間上的即時位置而且知道他的頻寬對應 F，如此可根據他所屬的頻寬做資料的傳送而可避免碰撞的情形發生。

SDMA 系統針對車間免基地台(mobile Ad-Hoc)網路採用下列作法：

- A. 媒體擷取控制(MAC)：將時槽(TIME SLOT)看成頻寬，考慮此種映射

$$F : S \rightarrow T$$

一個使用者 X，使用該種映射去找到他的時槽而可以擷取他的通訊頻道且避免資料碰撞。如果時槽有相同等分，則 SDMA 對所有的使用者提供相同的頻寬。當使用者是移動的，他們的位置是隨時移動的而新的位置 T 即映射到新的時槽，因此延遲是有限的因為每個使用者可以在他的時槽擷取頻道。

- B. 位址分辨：使用 SDMA，每一個使用者可以階段性的擷取通訊頻道而且可以透過他的位置去廣播他的 ID 及位置，當鄰近的使用者接收到這些資訊，再和它自己的位置做比較，則可以得到一個相對位置，如此每一個鄰居都可以建立正確的連結及相對位置。
- C. 強健的網路組織及維護：SDMA 提供強健行的網路組織。Ad-hoc 的開始階段為旁繞的。這網路啟動時並不需要使用者互相呼叫或偵測。這即時通訊不只省時，而且也提供所有使用者位址的分辨。再者，這網路組織並不依賴特定使用者或使用者的數目，當使用者何時離開或進入這網路，並不會影響其他人的通訊。
- D. 頻寬效益：SDMA 的效益來自決定位置資訊和頻寬的成本。當使用者沒有在這空間分割中，則這頻寬被浪費，因此後段提供了增強型的 SDMA。
- E. 位置準確度及錯誤區間：SDMA 假設每一個使用者知道他的即時位置。進一步它假設在每一個空間分割中最多有一個使用者。但這些假設需要一套精確的車輛定位系統。今天 GPS 系統是相對精確、最廣泛使用的定位系統。但它的精確度與環境及氣候有關。因此它是不可信賴的。因應這個問題發展出磁性定位系統，並運用虛擬隨機序列碼(pseudo-noise sequence)。磁性定位系統內的訊號是透過路上的磁性標誌組成。磁性標誌裝在每一個車道的中央，準確度則依設計而定，而位置準確度可由磁性定位系統控制在  $\pm 2$  公尺且不易受環境影響其準確度。

因此車間免基地台網路的 SDMA 技術是一個根據使用者的地理位置來提供對應頻譜的系統。他具有下列優點：(1)強健而及時的網路啟動機制。(2)即時而正確的位置解析度。(3)網路系統易於維護。(4)可隨實際需要而彈性調整系統大小。綜合前文所述，SDMA 技術的特點正好適用於車間免基地台網路上運用。

## 2.2.6 使用智慧型天線及 IEEE802.11 通訊協定的 MANET

與典型的細胞式網路比較，MANET 使用於更多變化的電波輻射範圍內。典型細胞式網路基地台輻射範圍重複情形並不明顯，但是 MANET 各點之間電波輻射互相涵蓋的情形則是明顯的多了。在既有的 MANET 傳輸能力與電波通道容量有密切的關係，因此以空-時通道妥善規劃為基礎的智慧型天線就有很大的發展空間，並且可依據各種情形，動態的調整通訊協定，以充分利用增加的通道容量。

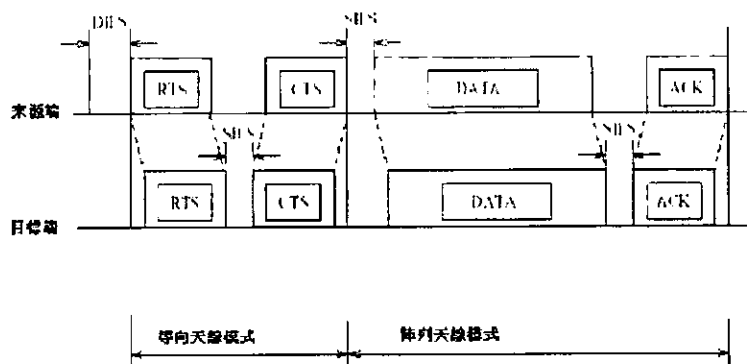


圖 2-12 運用智慧型天線於 MANET 通訊協定示意圖

加拿大的科學家提出了在 MANET 下使用智慧型天線作法[8](見圖 2-12)，並加入能量精簡的考量。他們把整個資料傳輸得階段分成兩個部分，一個是詢問階段，一個是資料傳輸階段；詢問階段擷取包括通道的資訊、目的端所屬區塊等資訊，在該階段天線切換至等向性模式(見圖 2-13)；

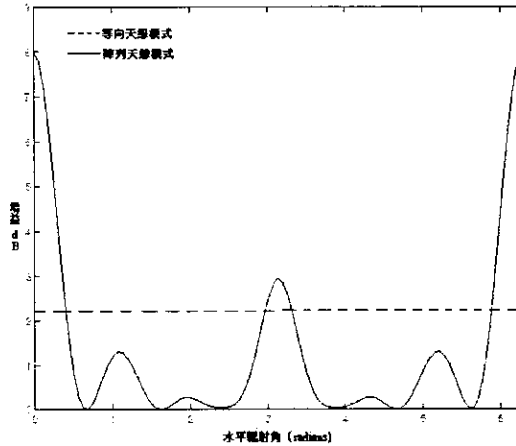
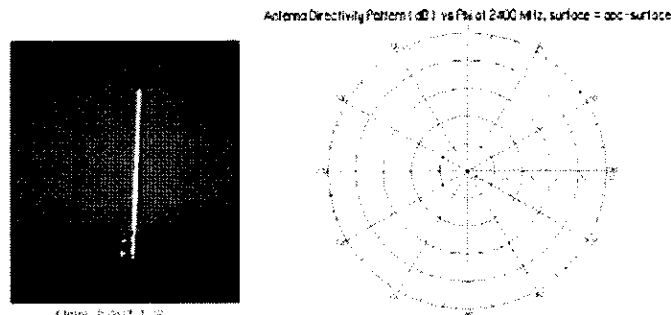


圖 2-13 等向性天線與陣列天線輻射增益比較圖

而資料傳輸階段則開始目的端及來源端之間資料的傳輸，在該階段天線切換至陣列天線模式。切換至陣列天線模式時，天線只對目的端區塊發射電波，並將發射能量降低 80%，如此不僅充分節省能量，並可區隔出彼此空間通道，降低干擾而大幅提高傳輸速率。根據上述操作原理而進行模擬，在 25 個收發端的情況，最高可增加 110% 的資料傳輸速率；在 225 個收發端的情況，最高可增加 450% 的資料傳輸速率。綜觀該系統之省電並且大幅減少資料錯誤率所造成網路的塞車，特別適用於 MANET 網路系統上、攜帶型電源能量有限且需要即時資料傳輸的特性。

因為空間中無線通道是有限而珍貴的，兩車之間的通訊將對其他車輛通訊產生排擠作用，造成傳輸速率下降甚至無法接收之情形，而隨著道路上之車輛數量與日遽增，道路上網路各點之間電波輻射互相涵蓋的情形則是非常明顯而造成無線通道將不敷使用。現有車間通訊皆使用全向性天線(omni-directional antenna)，如圖 2-14 所示。該類型天線將對周遭所有車輛發射電波而產生干擾。由於道路上的各式車輛隨著時間移動，因此，配合車用定位系統的位置資訊，可使用指向型天線，如圖 2-15 所示，隨著使用者的時間及空間上的相對、絕對位置做調整，只對少數目標車輛發射電波而減少其他車輛的干擾，也可降低電波傳送端功率之耗損，並依據各種情形，動態的調整通訊協定，以充分利用增加的通道容量。



(a)全向性天線實體案例 (b)水平方向之輻射場型

圖 2-14 2.4GHz 頻段全向性天線

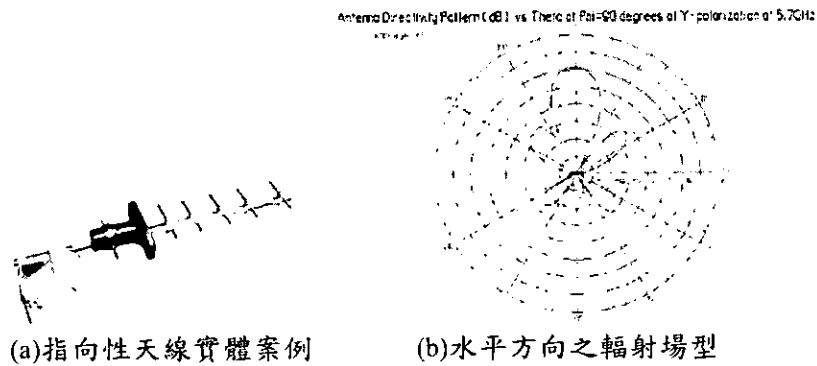


圖 2-15 2.4GHz 頻段指向性天線

一般道路下使用指向性天線作法是把整個資料傳輸得階段分成兩個部分，一個是詢問階段，一個是資料傳輸階段；詢問階段擷取包括通道的資訊、目的端所屬區塊等資訊，在該階段天線切換至全向性模式。而資料傳輸階段則開始目的端及來源端之間資料的傳輸，在該階段天線切換至陣列天線模式。切換至陣列天線模式時，天線只對目的端區塊發射電波，並將發射能量降低 80%，如此不僅充分節省能量，並可區隔出彼此空間通道，降低干擾而大幅提高傳輸速率。根據上述操作原理而進行模擬，在 25 個收發端的情況，最高可增加 110% 的資料傳輸速率；在 225 個收發端的情況，最高可增加 450% 的資料傳輸速率。綜觀該系統之省電並且大幅減少資料錯誤率所造成網路的塞車，特別適用於道路上 mobile Ad-Hoc 網路系統上、攜帶型電源能量有限且需要即時資料傳輸的特性。



## 2.2.7 相關文獻之比較與發展現況

由前面數節的說明可知，根據不同的國情與應用類型，目前國際上使用 MANET 於 ITS 服務的核心技術並沒有一定的標準與規範，因此在特性上與系統效能上亦有所不同；此外，由相關文獻探討得知，各國對於 MANET 應用於 ITS 的發展方向與現況並不一致，為了對國際上相關技術與應用有整體性的概念，本節進一步分析各國 MANET 應用於 ITS 系統的發展方向，同時評析我國目前的發展現況。茲分述於下：

### 1. 北美地區(美國、加拿大)

北美地區在國際上向來是電腦通訊技術研發與設備生產的大國，在 MANET 的發展方向方面，目前亦著重在通訊設備的研發，其所使用的通訊技術多半是延伸現有的電腦通訊技術加以改進，如 IEEE 802.11 無線區域網路、bluetooth 等為基礎，增加設備具有 MANET 動態繞送等功能。美國目前似乎主導著 MANET 繞送機制的標準制訂(在 IETF 組織成立 MANET 討論群)，但由於主事者多半屬於學術領域的學者，這些標準是否成為將來設備廠商遵循的依據來有待商榷。相關文獻得知，如終端設備的整合、智慧型天線的設計等，都是以研發適當的通訊設備為出發點，整合現有的電腦通訊技術，並嘗試增進其效能；無線區域網路目前在市場上具備優勢，其特點包括技術成熟、價格低廉、並已廣為被市場消費者接受，北美地區在 MANET 的發展方向實為對市場上的考量。在 ITS 應用方面，北美地區的發展較為緩慢，並沒有較大型的實驗或建置計畫，多半處於小規模的實驗，使得現階段使用無線區域網路技術提出 MANET 應用於 ITS 的完整解決方案仍有困難，並可能造成將來北美地區推廣 MANET 的障礙。

### 2. 歐盟

歐洲地區在 ITS 應用的領域具有領先地位，並已發展許多適當的通訊技術以輔助 ITS 應用的進行，雖然各國目前的 ITS 應用模式與通訊平台並沒有一定的標準，但對於發展 ITS 相關服務具有較充分的經驗。歐洲發展 MANET 應用於 ITS 服務的大型建置計畫首推德國 Fleetnet 計畫，該計畫已歸納出若干 MANET 應用模式，並已進行系統實際運作測量其效能；歐洲地區所使用的 MANET 通訊技術多半以歐盟所擅長的蜂巢式網路通訊技術為基礎，以 Fleetnet 為例，使用操作於 2010-2020MHz 頻段的 UTRA-TDD 通訊技術，達到長距離及高移動速度傳輸之強健特性；在學術上的探討，歐洲各國如德國、瑞典等，亦有許多以 MANET 為基礎應用在 ITS 服務為考量的探討，這些應用模式的研究都有助於發展成功的 ITS 系統。總體而言，以德國為首的歐洲地區使用蜂巢式網路為基礎，進而發展 MANET 技術並應用於 ITS 系統已有較為成熟的成果，然而目前所使用的蜂巢式網路技術以 3G 系統為主，在現階段基礎設備尚未建立，並同時與傳統 GSM 網路和短距通訊技術(包括無線區域網路)的競爭下，是否能在將來有效推廣還具有變數。

### 3. 南非

南非在 ad-hoc 網路的發展上算是一個較為特殊的例子，由於南非的 IWICS 公司具有專屬的 ODMA 動態自組網路的技術，並以證明具有良好的傳輸效能表現，因此在國際上 MANET 技術的發展上佔有一席之地；ODMA 技術原先亦使用 3G 網路的 TDD 通訊模式為基礎，並曾經列入 3G 標準規範項目之一，ODMA 技術也能夠在無線區域網路技術下運作，並具有不錯的效能。在 ITS 應用方面，南非地區已有以 ODMA 為基礎的實際 ITS 應用系統，目前正朝多元化發展的應用。ODMA 技術在行動終端自組網路的技術上已趨成熟，但由於 ODMA 上屬於專屬的通訊技術，因此要推廣到國際上還有賴相關系統與設備廠商的支援。

### 4. 亞洲(日本、韓國)

亞洲地區在 MANET 的發展上以東亞地區的日本、韓國等較為積極，此乃導因於這些國家有心致力於通訊技術與消費性電子產品的研發與製造；日本雖然在 ITS 的發展上涉足較早，但過去在通訊技術方面多半著力於專用短距通訊技術以開發特定的 ITS 應用(如電子收費等)，無論是日本或韓國，現階段在 MANET 的發展上多半處於學術研究階段，包括 MANET 動態繞送機制、訊息廣播的運作機制等，並透過電腦模擬的結果預估其效能。亞洲地區在 MANET 的發展上較北美、歐洲等落後，但這些國家挾長期在消費性電子商品的發展優勢，在將來發展與推廣 MANET 應用的能力不容忽視。

我國在 MANET 技術的發展上，目前仍屬於學術研究階段；根據我國的相關產業政策，以無線區域網路為基礎的 MANET 技術叫適合作為學術與產業上的發展方向。目前我國積極推動所謂雙網整合的通訊平台，雙網主要以 GSM/GPRS 為廣域通訊技術，並結合特定地區的無線區域網路來補足蜂巢式網路資料通訊頻寬不足的問題；使用 MANET 來增進無線區域網路的涵蓋範圍亦可作為雙網整合的討論課題，這使得我國在 MANET 通訊技術上的研究上有了清楚的發展方向。在 ITS 的應用上，我國已規範了完整的 ITS 服務項目，除了使用現有的技術來滿足這些服務的需求外，如何使用 MANET 技術來輔助或增進這些 ITS 應用服務的效能，亦是重要的研究課題。本研究的目的即在於進行 MANET 應用於我國 ITS 系統的初步探討，其研究結果將具有指標性的意義。

根據本節的探討與評估，茲將國際上 MANET 應用於 ITS 系統的發展方向與現況整理於表 2-2：

表 2-2 國際上 MANET 應用於 ITS 系統的發展方向與現況

地區	主要發展方向	發展現況與優勢	技術弱勢
北美 (美國、加拿大)	以電腦通訊技術為基礎的 MANET 技術的研發與標準制訂，以及行動設備的整合。	處於學術研究與小規模實驗階段，已具有設備整合能力。	對於 MANET 應用於 ITS 系統的經驗不足，尚未將其終端設備研發成果運用在實際的系統中
歐盟	以 3G 通訊技術為基礎的 MANET 技術的研發，並積極發展相關 ITS 行動應用。	歐盟各國已有較成熟的 ITS 發展經驗，MANET 技術處於大規模實驗階段，運作於具有 3G 平台的通訊系統中。	3G 通訊技術面對較大的市場競爭，可能造成推廣上的障礙。
南非	發展專屬的 ODMA 動態自組網路技術，並研究其應用模式。	ODMA 技術已成功發展於 3G 系統，取得良好的通訊效能。	ODMA 屬於私有的專屬技術，若要推廣有賴設備廠商的支援。
亞洲地區 (日本、韓國)	MANET 核心機制的研究與現有技術的整合。	處於學術研究與實驗階段，在電子產品的研發與整合上具有經驗。	在 MANET 技術與應用研究起步較晚，需要提升研發能量。
我國	以電腦通訊技術為基礎的 MANET 運作模式研究與整合。	處於學術研究與實驗階段，積極推動 WLAN 與 GSM/GPRS 的整合。	在 MANET 技術與應用研究起步較晚，對發展 ITS 應用服務的經驗尚嫌不足。

## 2.3 廣域免基地台無線網路繞送機制之探討與回顧

行動廣域免基地台無線網路(Mobile Ad Hoc Networks)不同於現今一般的無線網路，如 Wireless LAN、Cellular Wireless Network，在於它沒有類似存取點或者是基地台這樣的基礎建設。在移動式廣域免基地台無線網路中，當一個移動裝置欲和其通訊範圍內的另一個移動裝置通訊時，便可直接的通訊；而當此移動裝置欲和超過其通訊範圍的移動裝置通訊時，可以透過其他的移動裝置傳送資料。因此在移動式廣域免基地台無線網路中，每一個移動裝置均扮演繞送器(Router)的角色。在移動式廣域免基地台無線網路中，每一個節點都處於移動的狀態，因此其網路的拓撲型態便會經常的改變，而導致原先已建立好的路徑，會因為中間節點脫離通訊範圍而導致路徑斷裂，也因此路徑繞送演算法在移動式廣域免基地台無線網路中，便成為一項重要技術。本文所要討論的即是在移動式廣域免基地台無線網路上，依據兩個節點之間的訊號強度，計算出路徑可以維持的連線時間及在通訊時路徑將會中斷的次數，以決定目前最佳的路徑，用以增進路徑的穩定性；並且，在使用路徑繞送演算法時，如何有效的減少控制封包(Control Packets)的產生。

目前移動式廣域免基地台無線網路的路徑繞送演算法主要可分為二大類：

### 1. 圖表導向的繞送演算法

在圖表導向的繞送演算法(Table-Driven Routing Protocols)中，網路上的每一個節點會試圖維護一份由本身到網路上每一個其他節點的繞送資訊表。在此演算法中，每一個節點需要去維護一個或者是更多的表格去儲存這些繞送的資訊，當網路的拓撲型態改變時，每一個節點均會將本身更新過後的繞送資訊傳播給網路上的其他的節點，如此每一個節點將可以獲得目前到其他節點的繞送資訊。因為節點知道到達網路上其他節點的繞送資訊，故可以在極短的時間內建立由來源端到目的端的路徑，但相對的必需浪費較多的頻寬來維護繞送資訊。

### 2. 需求導向的繞送演算法

需求導向的繞送演算法(On-Demand Routing Protocols)中，網路上的節點平時並不維護本身到其他節點的繞送資訊，而是當網路上的某一節點欲傳送資料給網路上的另一個節點時，才會動態的建立一條由來源端到目的端的路徑，而資料傳輸完成時，便不再維護此路徑。直到下次要傳送資料時才會再度建立路徑。和圖表導向的繞送演算法相反，唯有在需要傳送資料時，才需維護繞送資訊，因此可以減少不必要的頻寬浪費，但是也必需花費較長的時間來建立起從來源端到目的端之間的路徑。

近幾年來，考慮位址資訊繞送機制論文，已陸續的增加[17]；另外，也有將上述的二種路徑繞送演算法加以結合的階層式繞送演算法(Hybrid Routing Protocols)。觀察上述主要的二大類路徑繞送演算法，我們可以得知圖表導向的繞送演算法在每隔一段週期時間，便需要廣播節點目前的繞送資訊給網路上其

他的節點，以維護繞送資訊的正確性。但繞送表(Routing Table)中所記錄的繞送資訊並非為目前的網路拓樸的繞送情況，而是上一個時間點所收集到的資訊，因此有可能發生存在繞送表內的繞送資訊和現在的網路拓樸不一致的情況。為了使繞送表中的繞送資訊可以與目前的網路拓樸相一致，因此每當網路的拓樸改變時，節點便需要把目前更新過的繞送資訊透過網路傳送給網路上其他的節點，以維持繞送資訊的正確性。但如此將造成網路上充斥著控制封包，而增加網路上的負載。

雖然使用圖表導向演算法的方式可以在需要傳遞資料時迅速的建立路徑，但在維護繞送資訊的正確性上勢必將花費大量的資源。而需求導向演算法只在當有節點欲傳遞資料給網路上其它的節點時，才會由來源端動態的建立路徑，如此可以大量的減少維護繞送表所需的成本，但卻會增加路徑建立所需的時間。因此當網路資源充足時，我們可以採取圖表導向演算法的繞送方式以縮短路徑建立的時間，而當網路間節點的連結需求不是那麼必要時，則我們可以採取需求導向演算法的繞送方式來縮減頻寬的浪費。圖 2-16 表示常見之移動式廣域免基地台無線網路繞送演算法及其分類。

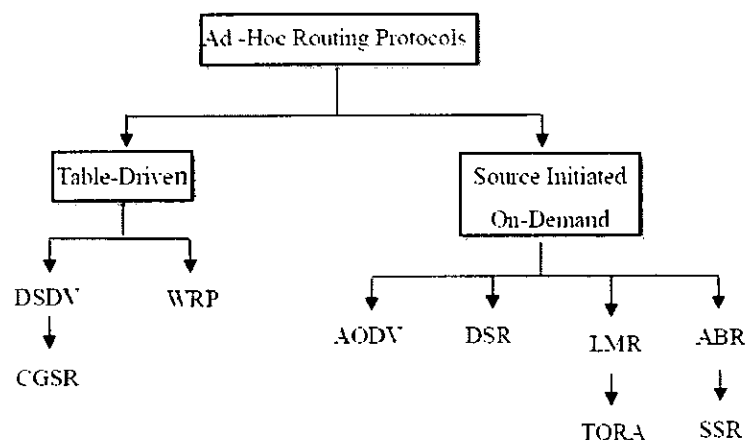


圖 2-16 移動式廣域免基地台無線網路繞送協定與方法分類圖

茲將國內外現階段主要之移動式廣域免基地台無線網路相關繞送協定討論回顧於下：

### 2.3.1 圖表導向的繞送演算法

#### 1. 目標序列距離向量繞送機制

目標序列距離向量繞送機制(Destination Sequenced Distance Vector Routing, DSDV)[12]是基於傳統 Bellman Ford 路徑繞送演算法所改良而發展出來的，是一個以繞送表為基礎的通訊協定。每一個行動節點必須儲存一張繞送表(routing table)，其中紀錄所有與該節點可能進行連結的節點及跳接數(hop count)，繞送表內的每筆紀錄同時也包含了一個流水號碼(sequence number)，用來判斷由其他節點所傳遞的繞送資訊與目前繞送資訊的新舊情況，以避免發生繞送迴圈(Routing Loops)的發生。DSDV 基本上和網際網路上的 Distance

Vector Routing 相同，只是多了 destination sequence number 的紀錄，使得 Distance Vector Routing 更能符合隨意型無線網路的需求。此外，為了可以減少由於繞送資訊更新所造成的網路負載，因此在繞送資訊封包上將採用兩種不同的型式來更新繞送表中的資訊。網路上的節點將會定期的將本身所記錄的繞送資訊廣播給網路上其他的節點，此稱之為 full dump 封包。而之後節點只廣播從 full dump 後，節點所更新的繞送資訊，此類封包我們稱之為 incremental 封包。

## 2. 叢集頭閘道交換繞送機制

叢集頭閘道交換繞送機制(Clusterhead Gateway Switch Routing, CGSR)[13]是建構在 DSDV 基礎上的路徑繞送演算法，而不同於 DSDV 平面式的網路拓模型態，CGSR 為一階層式的網路拓模型態。將網路上的所有節點分為不同的群組，並且每一個節點均執行「叢集頭選舉演算法」，透過此分散式演算法選舉出叢集頭，此節點將控制一群節點的資料傳輸動作，並且週期性的透過 DSDV 演算法，相互交換繞送資訊，以維持叢集頭成員表(cluster member table)之正確性。此外，每個群組皆經由閘道節點(gateway)以相互傳遞資訊，此節點位於兩個以上的叢集頭通訊範圍內，因此叢集頭可藉由閘道節點溝通訊息。當網路上某節點欲傳送封包給其他的節點時，首先將封包傳遞給所屬群組之適用於隨意型無線網路的穩定繞送演算法叢集頭，叢集頭查詢叢集頭成員表後設定封包傳輸路徑，並且將此封包透過閘道節點傳遞至其他群組的叢集頭，此封包將一直利用此方式傳遞，直到封包到達目的節點所屬之叢集頭為止，之後叢集頭將此封包傳送到目的節點。

## 3. 無線繞送協定

無線繞送協定(wireless routing protocol, WRP) 是一種 table-based 協定。目標是使網路所有的節點都能 maintain 整個網路的繞送資訊。每個節點必須要 maintain 四個 table：

1. Distance table
2. Routing table
3. Link-cost table
4. Message retransmission list table(MRL)

MRL 裡包含了每一個 node 所對應的 entry。每個 entry 裡面的資訊包含了該 node 所送來的 update message 目前最大的 sequence number、update 訊息重傳的次數、記錄該 node 需不需要回覆訊息的 flag、以及要送往該 node 的 update 訊息的 update list。MRL 記錄了哪個 update 需要被重送往該 node，及哪些 node 需要回覆 ACK。

相鄰 Node 間彼此交換 update messages 以告知網路狀況的改變。交換的訊息包含了一個 update information 的串列。每個 update information 由 destination, the distance to the destination, destination 的

predecessor，及一個 response 的 list 用來通知哪些 mobile 需要回覆這個 update。每個 mobile node 在收到其 neighbor 傳來的 update 訊息或是偵測到其所連接的 link 失去功能後，會先更新自己內部的 structure，然後對其 neighbor 送出 update messages。

WRP 依靠 hello message 及 update message 來判斷 node 的存在與否。一個新加入網路的 node 將先發送 hello message，其 neighbor 收到此 hello message 後，會回覆一個 update message。一方面告知這個新加入的 node 有哪些鄰居存在，另一方面也給此 node 它目前所知的網路資訊。WRP 與前面提到的協定最大的不同是避免 routing loop 的方法。WRP 利用多記錄的"second-to-last hop"資訊 (the predecessor of destination)，每個 node 都利用此資訊來檢查 routing loop 的情形，最終可以偵測出 loop 的現象。比起傳統 distance-vector based 的協定，不會有 count-to-infinity 的問題。

### 2.3.2 需求導向的繞送演算法

#### 1. 需求導向距離向量繞送機制

需求導向距離向量繞送機制(Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing, AODV)為一單純的需求導向之路徑擷取系統(pure on-demand route acquisition system)[14]，亦即在沒有路徑被選取時，網路上的節點不需維護路徑的繞送資訊，或者週期性的交換繞送表中的資訊。當來源端欲傳送資料給網路上的某一個目的節點時，此刻若來源端沒有一條可用的路徑到達目的端，則來源節點將執行路徑探尋程序，以建立通訊路徑。來源節點首先廣播路徑搜尋封包至其鄰近的節點，當其周圍的節點接收到封包時再傳播此封包予其鄰近之節點，直到路徑搜尋封包到達目的節點或某中間節點知道一條有用的路徑可以到達目的為止。如圖 2-17(a)所示。

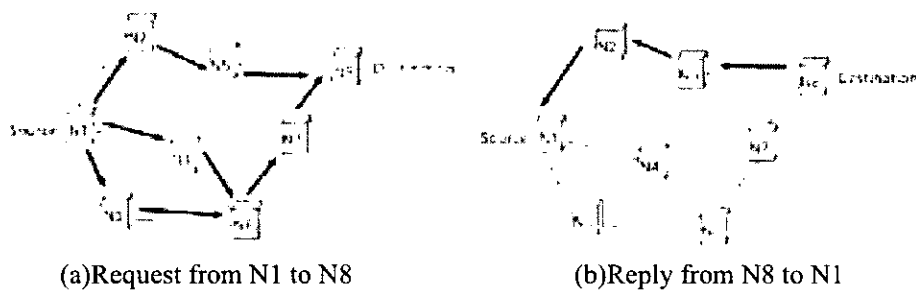


圖 2-17 AODV 繞送機制示意圖

在路徑搜尋封包中包含了兩個欄位 <source\_addr, broadcast\_id>，這兩個欄位可以定義出唯一的路徑搜尋封包，並且可避免封包繞送迴圈的情況發生，假若一節點接收到路徑搜尋封包具有和先前相同的 source\_addr、broadcast\_id 時，便將此路徑搜尋封包去除，並且停止再廣播此封包。在路徑搜尋封包傳遞的過程中，節點可由封包中的記錄得知此封包是由其鄰近哪一個節點所傳遞，並將其位置記錄至

繞送表中，以建立回覆路徑。當某一節點知道目的節點的位置時，便根據繞送表中的資訊，傳遞路徑回覆封包(RREP)給予傳送路徑搜尋封包的節點，直到路徑回覆封包傳回到來源節點，至此，由來源端到目的端的路徑便建置完成。如圖 2-17(b)所示。

在路徑維護上，假若路徑因來源節點的移動而造成中斷，則來源端必需重新執行路徑探尋程序以找尋一條新的路徑以取代中斷的路徑。若是因為路徑上中間節點的移動而造成路徑中斷，此時路徑中的上節點偵測出此狀況，則傳遞鏈結錯誤通知訊息(link failure notification)至它的上游節點，告知上游節點釋放這個部份的路徑資源，直到來源節點。當來源端還有資料而傳遞至目的端時，來源端則重新執行路徑搜尋的作動。

## 2. 動態來源繞送機制

動態來源繞送機制(Dynamic Source Routing, DSR)[15]為一需求導向的路徑繞送協定，其架構在來源端繞送的觀念上。當網路上的移動節點需要傳送資料到另一節點時，首先查看本身的路徑快取表是否已有路徑可到達目的端。若有，則來源端利用此繞送資訊傳遞封包到目的端；若沒有這樣的路徑存在，則來源端廣播路徑搜尋封包給其鄰近的節點。網路中的每一個節點在接收到路徑搜尋封包時，檢查是否存在路徑資訊可以到達目的端。若沒有則將本身的位置(node ID)加入路徑搜尋封包的路徑欄位內，並且傳播此路徑搜尋封包到其周圍的節點。圖 2-18(a)為路徑搜尋程序示意圖。

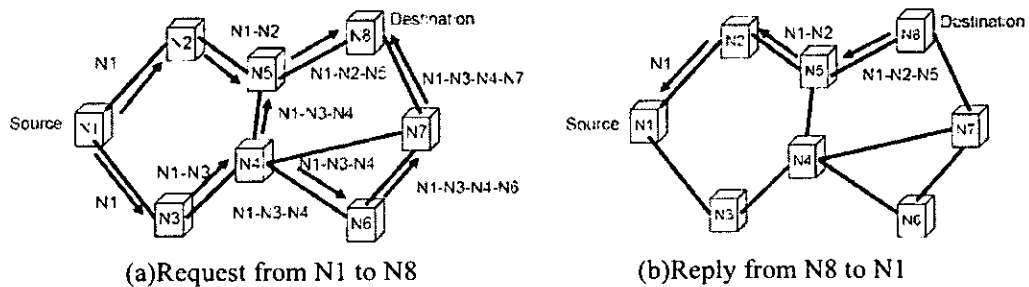


圖 2-18 DSR 繞送機制示意圖

當路徑搜尋封包到達目的節點或在搜尋路徑的過程中，有節點知道目的節點的位置時，則節點根據路徑搜尋封包中所記錄的繞送資訊，設定回覆路徑發送回覆封包至來源端，以完成路徑繞送程序。圖 2-18(b)為路徑回覆程序示意圖。

來源端將紀錄將路徑回覆封包中的繞送資訊儲存在繞送表中，之後所有要傳送給該目的節點的封包都會附加繞送資訊。只有來源端需要這條路徑的相關資訊，而路徑中的其他節點只需檢視封包中所記錄的繞送資訊，然後直接將封包傳送出去即可，不需要重新選擇路徑。



### 3. 以連繫程度為基礎之繞送機制

以連繫程度為基礎之繞送機制(Associativity-Based Routing, ABR)[16]的設計主要著眼於隨意式無線網路中節點間不穩定的連結關係，因此採用了連繫穩定度(associativity stability)的觀念，用來表示一個節點相對於相鄰節點的連結穩定程度。ABR 藉由相鄰節點間定期產生的信號(beacon)來表示自己的存在，當一個節點 n 收到從相鄰節點所傳來的信號，n 就會對連繫程度表(associativity table)進行更新，其中每個相鄰節點在連繫程度表裡的紀錄稱為連繫記號(associativity tick)，此記錄表示該節點相對於 n 的穩定程度。ABR 的主要目標在於提供節點間最穩定的路徑，其路徑建立的過程如下：當節點需要到網路上另一節點的路徑時，廣播一個 BQ (broadcast query) 訊息，收到此訊息的節點會將自己的位址與連繫程度表中關於其相鄰節點的連繫記號，一起連同 BQ 繼續廣播出去，後繼節點(successor)會將上個節點(upstream)紀錄在 BQ 裡的資料刪除，只留下和後繼節點相關的連繫記錄，也就是本身和上個節點之間連結穩定程度。BQ 一路往外廣播，當抵達目的端時，已經紀錄了從來源端到目的端之間路徑上所有的連繫記錄，目的端根據這些資訊，將連繫記錄進行加總，可以分別得到每條路徑的穩定程度，目的端依此選出最穩定的路徑，再沿著這條路徑往來源端送回覆封包(reply packet)，沿途經過的節點會在其繞送表內建立這筆路徑的資料。當有多條路徑具有相同程度的連繫穩定程度值時，則目的節點選取具有最短路徑長度之路徑(minimum number of hops)為來源端到目的端之通訊路徑。ABR 同時設計了當路徑發生錯誤時路徑重建的方法。當路徑中斷是因為來源端移動所造成的，則重新進行上述廣播查詢並等待回應的步驟(broadcast query and await-reply, BQ\_REPLY)。如果是因為路徑上的中間節點移動而造成路徑中斷，則該問題節點的上一個節點(upstream)就要負責進行區域查詢的程序(Local Query, LQ[H])，這是一種限制傳遞次數的廣播方式，為的是將路徑重建過程限制在拓撲改變處附近的方法，如果在一段時間內沒有收到任何回覆封包，則此節點要求上游(upstream)節點送出路徑通知訊息(Route Notification)，要求上一個節點送出 LQ[H]，如果自問題節點到來源端有一半以上的節點都未成功的重建路徑(沒有收到來自目的節點的回應)，則來源端便重新執行 BQ\_REPLY 程序。

### 4. 暫存序列繞送演算法

暫存序列繞送演算法(Temporally Ordered Routing Algorithm, TORA)由馬里蘭大學所發展。TORA 是以 link reversal algorithm 為基礎的協定。最主要的想法是希望在網路拓撲發生變化時，能用最少的 update 訊息來尋找到新的路徑。TORA 協定有三個 operations:

1. Route creation
2. Route maintenance
3. Route erasure

TORA 協定是 source-initiated，當 source 需要繞送傳送封包時，會先起始 route creation process。目標是建立出一個以 height 為指標的 Direct Acyclic Graph (DAG)。Source 擁有最高的 height，而 destination 則是設定為最低的 height，亦被稱為 sink(沈沒點)。中間 node 騎 link 的方向亦由它們在這個 DAG 的 height 決定，皆是由高的流向低的。利用 fully link reversal 或是 partial link reversal (partial link reversal algorithm 加快網路收斂速度)，更新自己的高度，最終可以達到一個穩定狀態。TORA 設計成可適用於網路拓模變化快速的環境，雖然與 distance vector 為基礎的 protocol 一樣，處理 routing loop 問題時，會有類似 count-to-infinity 的問題，但透過 partial link reversal，可使收斂速度提升。TORA 可否適用於 ITS 網路，是值得研究的課題。

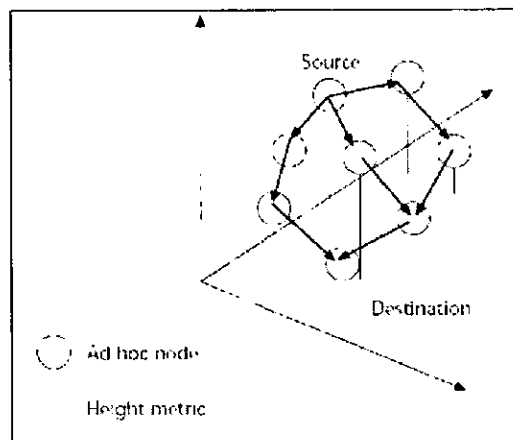


圖 2-19 TORA 的繞送基本原理

#### 5. 以訊息穩定度為基礎之繞送機制

以訊息穩定度為基礎之繞送機制(Signal Stability Routing, SSR)的基本精神是選擇信號強度最強以及位置穩定度最高的 node 為其最佳選擇。SSR 切分成兩個子協定：Dynamic Routing Protocol (DRP)與 Static Routing Protocol(SRP)。DRP 負責內部 structure 的 maintenance；SRP 則是負責 route discovery process 與 packet forward 時 routing table lookup 的一些動作。

### 2.3.3 以位置資訊為基礎之繞送機制

近幾年來，考慮位址資訊繞送機制論文，已陸續的增加[17]，以下我們大致分四類來作介紹。

#### 2.3.3.1 貪婪方法(greedy method)

##### 1. 貪婪邊緣繞路法[18]

貪婪式的繞路方法在位址基礎下的相關文章很多 [19][20][21][22][23][24]，幾乎著重在最短距離或是最少步數的位址基礎 ad hoc 無線網路都會採用，這種方式也有人稱為地理方位傳遞法 (geographic forwarding method)，或稱為地理距離繞路法

(GEDIR)[23]。由於這類方法建構十分容易，只要提供位址資訊就可以完成，而且透過這種方式每個點不必再維護一大堆的繞路表單，只需要記錄自己和鄰居的所在位置即可。不難想像，這種傳遞方式都會面臨找不到鄰居可傳的缺點，如圖 2-20 所示：

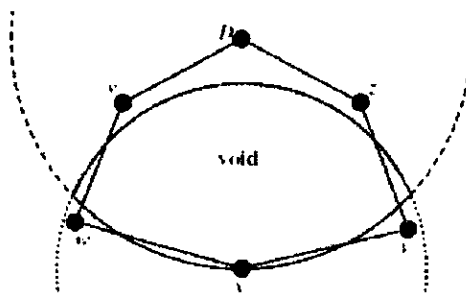


圖 2-20 GPSR 繞送示意圖

為了解決這個問題，B. Karp and H. Kung 採用貪婪邊緣繞路法 (Greedy Perimeter Stateless Routing, GPSR)[18]。這個想法是混合貪婪式繞路法 (Greedy) 繞路法跟邊緣式繞路法 (Perimeter)。當來源點傳遞資料時，首先使用貪婪式繞路法來確保資料快速傳遞，直到發生問題。這時再採用邊緣式繞路法來解決。顧名思義，邊緣式繞路法是希望能繞過無法傳遞的區域，使用前必須先粹取網路的連通平面子圖，透過平面圖的繞路法則，例如右手法則 (right hand rule)，將封包往下傳遞，如果繞過阻礙的區域後，再切回原本的貪婪式繞路法，如此傳遞到目的點。在這裡粹取連通平面子圖的技巧就十分重要。比如說粹取出來的平面連通子圖如果連通度過低，可能就會造成封包無法繞過阻礙區域的情形。也有可能使繞路區域過大而造成效能下降。

## 2. 深度優先繞路法[24]

為了解決貪婪式繞路法 (greedy method) 的缺點，深度優先繞路法 (Depth First Search, DFS) 中 I. Stojmenovic 使用了另一個簡單的想法，那就是當貪婪式繞路法無法執行時，退回前一個節點，並由這個節點找出鄰居中第二靠近目的點的鄰居傳遞，如此重複直到傳到目的點。這種方式就類似深度優先搜尋的方式。此外，深度優先繞路法是第一篇結合 QoS 和 GPS Routing 的文章，主要是將 GPS 提供的位置，時間等參數預測兩點間的距離，以及剩餘的連接時間，再結合個點的路徑頻寬，預先消除不合的路徑；深度優先繞路法中述及的兩點間繞路是以 DFS 方式完成的。

### 2.3.3.2 區域與方向限制考量 (Restrict direction and region)

#### 1. 位置輔助繞送 (location aided routing, LAR)[21]

這種方法基本上與動態繞路法 DSR 非常相似，其中最主要的差別在於 LAR 是藉著 GPS 的支援而知道目的點所在的大約位置，因此它不必像 DSR 一樣需對所有點廣播繞路需求封包 (routing request

packet)，當執行繞路時，LAR 會將來源點和目的點間定出一個矩形的區域，而需求封包只對區域內的點做封包的廣播，因此可減少 overhead。

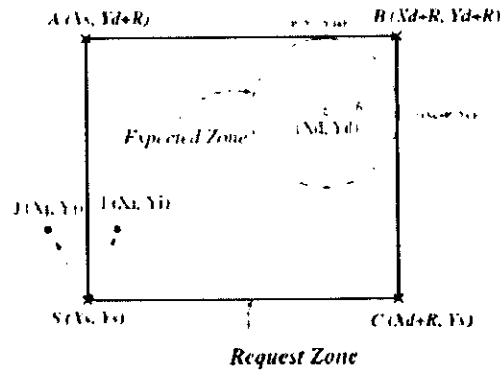


圖 2-21 LAR 繞送示意圖

## 2. 距離繞送效應演算法[25]

相對於 LAR，距離繞送效應演算法(distance routing effect algorithm for mobility, DREAM)是一種將資料向目的點的方向作部分廣播的方法，在 route table 裡面所存的資料並非向量而是座標值，其中每個行動主機會定期地交換他們的控制訊息以便於告知其他點他所在的位置，距離影響(distance effect)是被用來決定他們控制訊息的傳送頻率，也就是說當距離越近時，控制訊息的交換就越頻繁。當來源點的資訊夠新的話，就可以在來源點到目的點的這個方向找到一條路徑，如果沒有辦法在這個方向找到路徑的話，那麼這些資訊將用 flood 的方式傳送給網路上的所有點知道。

## 3. 多眼及螺旋跳躍路徑之繞路協定[26]

多眼及螺旋跳躍路徑之繞路協定(multi-eye spiral-hopping routing protocol, MESH)其主要精神也是繼承 LAR 的協定，但它針對 LAR 的缺點進一步加以改良，可以把 LAR 所定出的廣播區域藉著眼睛(eye)的偵測而再次縮小，使得要求封包(request packet)的產生數目更少，在繞路的選擇部分則是以螺旋跳躍路徑(spiral-hopping routing) 的技術找出最多備份路徑取代傳統的最短路徑，以期在繞路發生斷裂時能夠以備份路徑即時取代原本路徑。雖然在 control overhead 所花的成本比 LAR 稍多，但 MESH 的路徑穩定度、路徑的回復速度、平均產量、平均工作處理時間將比 LAR 有更好的表現。

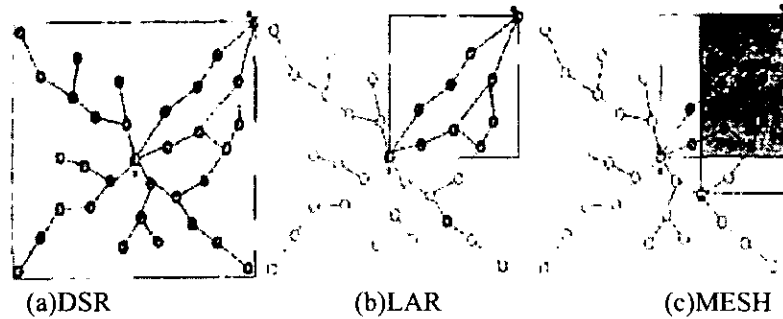


圖 2-21 MESH 繞送示意圖

### 2.3.3.3 提高路徑穩固考量(Robust routing)

#### 1. 行動預測繞路法(mobility prediction[27])

使用位址資訊有一個相較於一般 ad hoc 無線網路的優勢，那就是透過這些資訊可以對 ad hoc 上的點作行動預測。比如說當知道鄰居的移動速度和所在的位置，可以根據這些資訊推斷下一秒鐘鄰居可能移動到哪一個區域，甚至精確的指出將會移到的位置。而這項推測在一般的 ad hoc 無線網路中必須花費極大的力氣才能完成。另外，當知道兩點間的相對位置及速度後，也可以推斷出兩點間連線的穩固度，並且根據相對的位移速度也可以推測兩點間連線何時會改變。行動預測繞路法(Mobility prediction in wireless networks [27])就是依據這些資訊建立的繞路方式，透過這個繞路方法預測路徑的穩固定，並選定最穩固的一條當作資料傳輸，剩下的路徑則可以當主要路徑變動時及時替換，達到無縫隙的資料傳輸。其做法十分簡單，但應用卻十分廣泛；首先，網路上每個點先計算自己跟鄰居間的連線剩餘時間，定這個值為兩點間的連線終結時刻(Link Expiration Time)。當目的點收到由來源點傳來的封包時，目的點會知道整條路徑的最低連線終結時刻，這個時刻稱為路徑終結時刻(Route Expiration Time)。目的點只需要選擇多條路徑中路徑終結時刻最大的來作回覆。當路徑終結時刻即將結束時，必須將路徑更新，以維護無縫隙的傳輸。然而，透過這種方式建立的路徑步數並不能保證最少，所以傳遞資料所花費的資料封包將會增加，所幸由於網路穩固度的提高，更新路徑頻率的減少，整體上的資料傳輸效能仍比未使用行動預測的方法好上許多。

#### 2. 最長生命繞路法(long-life routing[28][29])

相較於行動預測繞路法的繞路方式，另一種提高路徑穩固度的方式是單純的透過兩點間的相對距離變化，來決定一條最穩固的路徑傳輸；這種方式的優點是只需要知道兩點間的相對位置，不必透過相對速度的計算就能夠選定最穩固的路徑。顧名思義，所謂最長生命繞路法就是希望在繞路過程中選定可保有最長連線的點傳遞資料，相較於一般考慮穩固度的做法，D. Kim 等人希望減少傳輸資料時可能發生的不連通情況，因此在傳遞封包時極端的選擇鄰居中和自己連線生命最長的點傳遞資料；為了完成這個目的，來源點開始向鄰居發送計算過後和鄰居的連線距離限制(normalized movement

limit)，並依序廣播到目的點。當目的點收到這份訊息時，同樣的會選擇一條的連線距離限制最大的路徑傳遞，這部分做法相似行動預測繞路法，不過值得注意的是，如果單考慮兩點間相對距離最大或最小(Max\_Min Distance)的長度來決定穩固度的做法，雖然可行，卻很可能由於點的移動造成斷路。因此，比較好的做法是將兩點的傳輸範圍和相對距離納入考量。(如圖 2-22)

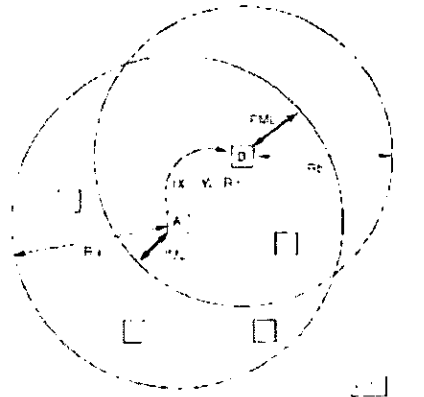


圖 2-22 最長生命繞送示意圖

在這裡雖然沒有相對速度的參數，當點 A 傳送封包給點 B，AB 兩點間的連線距離限制仍可以透過點 A 的傳輸半徑減去點 AB 兩點間的距離計算出前傳遞移動限制(forward movement limit)，以及 B 的傳輸半徑減去點 AB 兩點間的距離計算出後傳遞移動限制(backward movement limit)，最後由這兩個移動限制計算出 AB 點的連線距離限制(normalized movement limit)。不難想像這種做法可以比只考慮距離的方法有效的減少連線斷路機會。

### 3. 穩固傳輸繞路法(robust transmission routing[30][31])

在 ad hoc 無線網路中常常會碰到因變動而造成傳輸中斷的情況。當來源點和目的點存在一條穩固路徑時，能不能夠快速的將這條路徑找出將會影響傳輸效能表現。穩固傳輸繞路法就是希望達到這個目標的繞路方式，相較於前述單考慮路徑穩固的方式並不能保證當兩點間存在路徑時，能夠快速的找出這項要求。有鑑於此，P. Bose 等人引入了一個有趣的做法。以下分三個步驟來說明：第一步是蒐集資訊。第二步是粹取網路的連通平面子圖，而 P. Bose 等人也有許多的證明以確保這些粹取後的連通平面子圖中的任意兩點皆存在一條連通且有限步數的路徑。第三步是繞路演算法，為了有效且快速的將封包傳遞給目的點，我們使用右手法則(right hand rule)的方式繞路。首先將來源點和目的點間劃上一條直線。依照右手法則方式選出鄰居中最靠近此中線的點作逆時鐘的傳遞；如此重複，直到傳輸的連線跨越中線。這時中間點開始作順時鐘的繞路方式，以這種方式一步一步傳到目的點。透過右手法則提供連通平面子圖的快速繞路。也由於這個步驟在繞路過程中會順時鐘或逆時鐘的繞一個區域，因此這種繞路方式也可以應用在對一個區域的廣播。

#### 2.3.3.4 可大型化之位置資訊繞路法

##### 1. 終端點繞路法(Terminode routing[19][20])

終端點繞路法是具有階層性概念的繞路方式。因此當終端點要傳遞資訊時，如果目的點的所在位置過遠，就使用透過全球定位系統(GPS)所得到的位址資訊傳遞;反之，若是目的點就是鄰居就直接透過終端點自身儲存的資訊傳遞。為了完成上述的想法，L. Blazevic 等人以兩個概念來完成。第一是以 ZRP(Zone Routing Protocol)的概念將網路分為兩個階層。每個終端點維護一個具有  $k$ -hop 的小區域，我們稱這個區域為本地(Local)，在這個區域中的繞路為終端點本地繞路法(Terminode Local Routing)。此時封包是透過本身的繞路表單傳到目的點。當終端點發現無法在自己半徑  $k$ -hop 的區域內找到目的點時，終端點開始透過位址資訊執行地理方位封包傳遞(geographic packet forward)，將封包傳往鄰居中距離目的點最近的終端點，接著每個終端點也查看自己的本地區域中有沒有目的點，否則再往下一點傳遞，如此重覆直到傳到目的點。我們稱這個方式為終端點遠端繞路法(Terminode Remote Routing)。由於這裡採用了類似貪婪式繞路法(Greedy method)，所以有可能會遭遇到終端點傳遞資訊時，卻找不到鄰居傳遞。因此 L. Blazevic 等人提出了第二個概念來解決這個問題，這個概念是定錨(Anchor)。如圖 2-23：

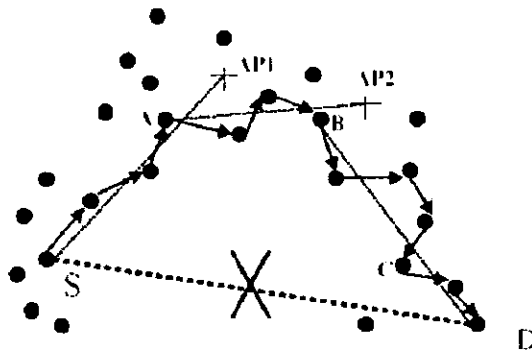


圖 2-23 Terminode 繞送示意圖

當來源點無法用地理方位封包傳遞的方式傳遞時，來源點開始在網路中選定幾個錨，希望能繞過阻礙的區域，而這些錨並不一定是指網路上的點，而有可能是網路上的座標;當封包由來源點發出時，來源點使用地理方位封包傳遞的方式將封包傳往第一個錨，同時在傳遞中每個終端點也同樣的檢查目的點是否在自身的本地區域中;以此方法，直到到達目的點。在效能上，終端點繞路法比傳統的地理方位封包傳遞方式好許多，這是因為終端點繞路法對於較遠的點可以使用終端點遠端繞路法來減少一般繞路法對中間點的依賴，而當傳遞到可以使用終端點本地繞路法時，又可以減少對位址正確性的高度要求，因而有不錯的表現。

## 2. 可大型化之位置資訊服務(Scalable Location Service)[32]:

可大型化之位置資訊服務也是階層式的位址基礎繞路方法，其目的在討論位址基礎的相關研究中鮮少探討的位址取得問題，像是 [25][21] 都沒有探討到這個問題，即使有探討也是非常的粗略。此外 J. Li 等人也希望引進 scalability 的想法，以因應未來愈來愈大的 ad hoc 無線網路，因此 J. Li 等人將分格(Grid)技術和位址服務相結合，以期能增加位址服務的應用點數。這個方法稱做分格式位址服務(Grid Location Service)。這個方法主要是利用位址伺服器儲存的位址資訊找到目的點的位址，做法和選定位址伺服器的方法相同，以逐步逼近的方式找到知道目的點位址的伺服器。

## 3. 分格式位址輔助繞路法(GRID[33][34]):

在前面的探討中說明了利用分格子方式來建立階層式的位址服務(grid location service)，但是在繞路部分著墨不多，只粗略的利用地理方位繞路(geographic forwarding)的方式來傳遞封包，也沒有探討當無法傳遞封包時要如何處理。在分格式位址輔助繞路法中 [33][34]，也是採用分格技術來提升整體對網路的 scalability。Y.-C. Tseng 等人 [34] 除了對分格大小作一番評估外，也在繞路部分有詳細的說明。接下來以三個部分說明分格式位址輔助繞路法的完成。首先每個格子中要選出一個點當頭(head)，或是通道點(gateway node)。這些被選出的 head 會被賦予三項工作，第一項是廣播建立路徑時的控制要求到鄰居格子中。第二項是傳遞資料封包到鄰居格子中。第三項是維護建立好的路徑。這三項工作的負擔是很大的，然而由於一般的點不必再花費心力在這三項工作上，整體的負擔(overhead)會有所下降。不過不難想像當分格的格數增大或縮小都會直接的影響繞路品質。例如將格數分為無限大，這種方式就會退化成類似一般的水淹法(flooding)了。

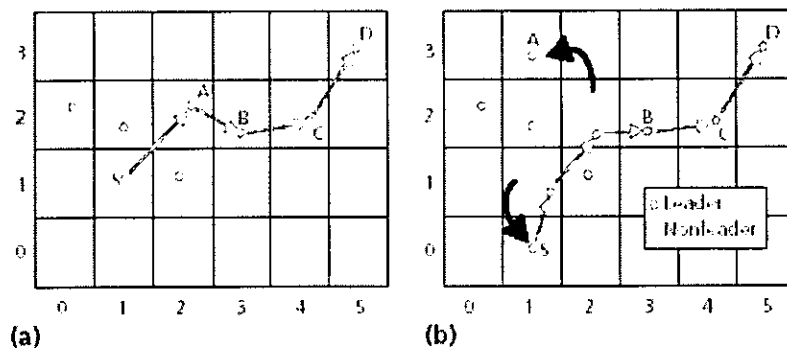


圖 2-24 GRID 繞送示意圖

第二個部分是繞路方式，由於一個格子中只有 head 可以廣播訊號到鄰居格子中，因此當來源點要發送資訊時會先將封包傳送到所在格子中的 head，並根據目的點的位址計算出矩行或扇行的限制廣播區域；此時 head 會依據目的點的位址跟限制廣播區域將封包以 on-



demand 的方式廣播給鄰居格子中的 head，並利用 AODV[35]的路徑儲存方式儲存路徑。最後目的點會收到由格子中 head 傳遞而來的請求，同樣的選擇一條適當的反向路徑回覆。透過上述方式完成 grid-by-grid 的繞路法。第三步是路徑的維護，同樣的這個工作是交由發起維護的 head 或是來源點/目的點來完成。例如當來源點移入其他的格子時，如果鄰居格子的 head 能更快的連接上原本的路徑。來源點中所儲存的路徑就修改成較近的路徑。否則，如果無法找到鄰居 head 可以幫忙傳遞資料，這條路徑就宣告斷路。Y.-C. Tseng 等人[34]根據分格大小與點的傳輸距離關係做詳細的分析，其中分格數較小，造成 head 的個數較少，整體路徑長度較短，可是整條路徑的連通時間比較低。這是由於較多的 head 可以提供較穩固的傳輸。當分格數加大，直接的造成維護路徑花費的提高，當數量更大時，整體花費更高，但仍比一般沒有階層概念的繞路方式好許多。

#### 4. 階層式區域鏈結狀態法 (Zone-Based Hierarchical Link State Routing[36][37])

此繞路法與前面的方法最主要的不同是藉由全球定位系統的定位功能將整個網路分割成數個互不重疊的區域(zone)，而網路中的每個點必須維護兩個繞路表-區域內繞路表(Interzone routing table)和區域間繞路表(Intrazone routing table)，區域內繞路表儲存著兩筆資訊:目的點(destination node)和下一點(next node)，因此藉由區域內繞路表可以達到區域內部溝通的目的。在區域間繞路表部分主要儲存有目的區域(destination zone)、下一區域(next zone)和下一點(next node)的資訊，因此可以達成區域間的繞路，而在效能方面，其通訊控制封包的花費將比傳統的鏈結狀態法(LSR)改善，而在尋找路徑所需花費的控制封包也比動態來源繞路法(DSR)優良。

### 2.3.4 MANET 繞送演算法對 ITS 的可用性評估

#### 1.圖表導向繞送機制對 ITS 網路的可用性評估：

Table-driven 演算法基本上都是承繼 Bellman-ford 的 shortest-path 演算法。Neighbor 間必須定期交換訊息，一步一步地將整個網路節點的繞送路徑慢慢得出。Table-driven 演算法的特點是時時刻刻(至多 update message duration)隨時掌握網路的狀況。缺點是週期性地發送 hello message 造成無線網路的 overhead，頻寬的浪費對 MANET 這類頻寬不算充裕的網路更顯得嚴重。DSDV 是最典型的 distance-vector protocol 自然不太適合用於 ITS 網路。CGSR 將網路切分成兩個階層(hierarchical architecture)，則問題分成兩個層面：若是網路的變動為一般的 node 或是 gateway，則 CGSR 沒有 maintenance 的 overhead。但是反過來若是所謂的 cluster head 發生變動，則 CGSR 的 overhead 將大過 DSDV 協定，因為它必須付出額外的 overhead 來做 cluster head reselection。在 IVS network(Inter-vehicle System)裡，每一輛車都可能隨時移出網路之外，因此很難選出適合的

cluster head，CGSR 在設計上也不適合 IVS network。WRP 利用多記錄的 predecessor of destination 資訊可以快速避免 loop 的產生。但是 WRP 需要維護四個 table，在 memory 的使用上較為浪費，對於網路節點個數沒有擴展性(scalable)。車機系統通常是實作成嵌入式系統(embedded system)，因此屬於 memory-constraint system，自然 WRP 有其較不適用的地方。

## 2.需求導向繞送機制對 ITS 網路的可用性評估：

On-Demand Protocol 針對 MANET 網路時時刻刻都可能變動的特性，提出不需要以很主動的方式時時刻刻記錄網路狀況。而是在需要繞送路徑時，再來找尋繞送路徑。這些 protocol 各有其優缺點，以下針對每個 protocol 簡述其優劣並且探討對 ITS 的適用性：

### (1) AODV 與 DSR

AODV 與 DSR 在機制上有類似的部分，例如都以 broadcast 方式廣播 route request，以 unicast 方式回傳 route reply。最大的不同之處是 DSR 以 source routing 的方式記錄每個封包的繞送。因此就 packet size 來說 DSR 需要較多的空間，因為每個 packet 都要有個 DSR 的 header 來執行 source routing。而 AODV 的話只需要像一般 IP 封包一樣攜帶 destination IP 即可。此外 AODV 相較於 DSDV，也因為其為 on-demand 的特性，可以大幅減少 DSDV 維護網路狀態的 overhead。另外 AODV，也是這幾種典型的 protocol 唯一直接支援 multicast 的協定。AODV 的缺點主要就是只能支援 symmetric link。在 Asymmetric link 的環境下，AODV 將完全花費時間在找尋繞送卻無法得到回覆。DSR 雖然也有類似的問題，但不是機制上不可行，只要 upstream 和 downstream 採用不同的路線，source routing 有能力指定上行下行不同的繞送，另外 DSR 也可以記錄多個 route path，當原來使用的 path 不可用的時候，可以快速切換到別的 path。相對的，DSR 最大的問題是無法 scalable。由於 routing 路線需要在封包裡指定，如果所經過的跳接數多了，會讓封包繞送的 overhead 增加，也使繞送的效率降低(head 與 data 的長度比值)。由以上的論述，DSR 由於沒有辦法用在高密度的網路，在 ITS 網路環境裡，有幾百個 node 是很常見的事情，因為台灣的道路常常是壅塞的。DSR 不具備 scalability，對使用在 ITS 網路來說非常沒有未來性。AODV 具備了比 table-driven protocol 更少 overhead，也比 DSR 有效率的優點，但是不支援非對稱性的 link，目前我們無法得知，ITS 網路的 link 非對稱性情形是否很嚴重，因此 AODV 還有使用在 ITS 上的機會。而 AODV，必須發送 hello message 來確定 neighbor 間相連關係，這對信號長期不穩定的 ITS 網路來說，這樣的機制不一定可以 work 的很好。但是，AODV 支援 multicast，這對於 ITS 的應用來說，是很實用的特色。

### (2) TORA

TORA 使用 link reversal 的演算法，使得 TORA 非常適合用於高密度的網路，TORA 的優點有 multi-path routing 的能力。Multi-path

routing 可以支援 load balancing 以及當 link failure 時，可以很快地完成 route recovery。在 ITS 網路來看，TORA 初步非常切合需要。試想在網路節點密度很高的環境，例如台灣的高速公路或是市區道路，若是有多條 route path 可以使用，則當其中一條不可使用的時候。TORA 可以直接使用其他的繞送。但是 AODV 則必須重新啟動 route recovery 機制。TORA 協定一個很大的問題是必須假設所有的網路節點在時間上都是同步的，如此才能一步一步導出 DAG，因此每個網路節點可能需要配備 GPS，或是得有能連接到 time server，這對我們想發展的免基地台式無線網路有宗旨上的違背，因為我們就是希望避免使用者必須花錢採用與 infrastructure 通訊的裝置。如果可以尋找一個有效機制給予網路節點同步的時間，TORA 對 ITS 網路就具有很高的可用性。

### (3) ABR 與 SSR

ABR 與 SSR 可以說當網路裡有 mobility 比較低的網路節點時，會有很好的效果。因為這兩套協定都是以路徑穩定性為主要考量。但是對於 ITS 網路而言，很難說可以有效地尋找出 mobility 比較低的節點。直觀來想，大部分的 node，其 mobility 應該都一樣糟，因此 ABR 能否適用在 ITS，將不太樂觀。對 SSR 而言，由於它還參考了信號強度，根據我們實際路測的結果，距離才會影響信號強度，因此若是車子間的相對距離能保有一定穩定度，SSR 可以有不錯的效果。但是實際道路上，車子之間起車或是離開的情形此起彼落，SSR 的效果將打折扣。另外，這兩種 protocol，必須依靠定期發送 beacon 信號，這將會佔用很多的網路頻寬。

總結來說，table-driven 的協定對於 power-consumption 及 bandwidth wastage 來說都比較不適合 MANET。但是 On-demand protocol 卻會讓 user 感受較多的 latency。從以上的分析來看，AODV、TORA、SSR 都有實用在 ITS 網路上的機會。但由於 ITS 網路所具備的 high mobility、signal instability 的特性，以及成本考量。使得這三種 protocol 都各自有實用上的劣勢。AODV 由於不需要額外的設備，且較 SSR 簡單，而形成目前的主流，但是實際效果必須經由良好的路測實驗才能得知。而現有研究也指出，如果可以搭配一些額外的設備，例如 GPS 來得知節點的位置，則現有的 MANET 協定可以有更好的 performance。舉例來說，AODV 可以設計成 geo-cast routing 的演算法，或是 TORA 可以開始被應用在 ITS。除此之外，也有很多 paper 開始提出將 MANET 與其他各種 infrastructure network 一起合作使用的架構，顯示潮流是整合各種異質網路，互相彌補缺點。

## 2.4 廣域免基地台無線網路之初期技術成熟度

Mobile Ad-hoc Network 的初期技術層面，依照應用層、傳輸層、網路層、鏈結層與實體層來討論。

### 1. 鏈結層與實體層 (Link Layer and Physical Layer)：

移動式網路(Mobile Network)除了發展已久的移動式電信網路(Cellular Phone System)，與我們正在研究的 IEEE 802.11 無線網路外，另一個趨勢就是將兩者整合在一起。運用電信網路較為可靠的性質(more reliability)與高涵蓋性(High Coverage)來彌補 IEEE 802.11 LAN 的缺點。並利用 IEEE 802.11 較高的資料傳輸速率來提供較佳的資料傳輸率。論文[67]描述 UCAN 系統的想法是整合 3G 行動電信網路基地台與同時搭載 802.11 無線網路卡與行動電信網路能力的用戶。當基地台發現與使用者之間的傳輸效能不夠好，便會透過 proxy-finding 演算法尋找可用的 proxy 使用者。將封包由先傳輸至 proxy 使用者，再由 proxy 使用者利用 802.11LAN 來將封包轉送到真正的目的地。經由模擬結果顯示，UCAN 可以提升個人使用者 300%的資料傳輸速率提升，而系統總體資料傳輸速率提升 60%。

### 2. 網路層 (Network Layer)：

網路層的問題主要發生在繞送機制(Routing Mechanism)。由於繞送路徑的變化快速。因此繞送路徑的建立(Route Establishment)、維護(Route Maintenance)、重尋(Route Recovery)，以及解除(Route Expiration)等工作不易執行。也由於路徑的不斷變化，使得封包到達收端時，常常會發生脫序(out-of-order)的情形。這對封包順序較敏感的應用，例如多媒體應用軟體等，會有服務品質上的損害。

### 3. 傳輸層 (Transport Layer)：

常見的傳輸層協定分為 UDP(User Datagram Protocol)與 TCP(Transmission Control Protocol)。UDP 沒有針對封包的順序做出保證，也沒有保證封包的可靠性。因此網路層的問題將會直接反映到應用程式，例如前面提到的多媒體應用程式，將會直接感受到影像語音通訊的延遲干擾。TCP 利用壅塞控制(Congestion Control)及錯誤恢復(Error Recovery)等機制來動態地達到頻寬的最佳利用及資料可靠性。但目前的研究皆指出，TCP 的機制並不適合直接用在無線網路環境。因此，各式各樣的 TCP 改良版本在這幾年的無線網路領域後，始終是一門未退流行的分支。文獻[63]著眼於無線網路環境下，大多數的傳輸層研究都朝向收端機器傳送更多的資訊給送端，使得當前以送端為中心的傳輸層協定如 TCP 可以更掌握 channel 的狀況來選擇適合的演算法做壅塞控制、錯誤控制等等傳輸層機制。作者於是提出以收端為中心的傳輸層協定想法，稱為 RCP (Receiver Control Protocol)。RCP 是對 TCP 友善的協定，因此可相容於一般網路。並且由於直接掌握第一手的 channel 狀況，使

得 RCP 可以很有效地選擇最適合的各項控制演算法。作者並將 RCP 延伸以處理多個網路介面甚至是異質網路介面，已達到更高的加總頻寬等好處。文獻[64]中作者的主要精神是將 TCP 的 header 與 data payload 分成兩個連線傳送。前者的頻寬較小，而後者較大。使得當一個 header 到達目的地時，它的 payload 也應隨後而至。Header 是利用 TCP connection 來傳送；而 data payload stream 則不是 TCP connection。Data stream 的傳送是依據 header 的送出而驅動，由於 header 受 TCP congestion control 的控制，自然 data 也受到 congestion control 演算法的節制。但由於 data 不是 TCP 連線，因此 data 因為傳送過程發生錯誤時，不會驅動 error control，也不會影響 congestion control 的誤判，使得 TCP 的效能有顯著提升。對於不嚴格要求資料可靠性的應用程式而言，更是消除了不必要的資料傳輸速率減損。[65][66]二文有相同的中心思想。在基地台一端來監看封包的傳輸情形，將碰撞的情形與在介質中傳輸錯誤的情形區分開來，使 TCP congestion control 不會誤判而啟動。

#### 4. 應用層 (Application Layer) :

應用程式針對自身的需求而會選擇某種傳輸層協定，如檔案傳輸會使用 TCP 來確保資料可靠性。但是 VOIP(網際網路電話)則會建立在 UDP 或 TCP 的改良版本之上。而即時影像傳輸，則是多選擇 UDP 或 UDP 的改良版本。若是採用 UDP 的應用程式，必須自行承受網路傳輸所可能造成的問題。例如封包遺失、封包脫序等。因此，應用程式多半是對封包傳輸有時間上的限制，並且較不在乎可靠性。若是仍希望兼具一定程度的可靠性，目前的研究分為兩派。一是將需要的機制如封包可靠性或是封包順序的保證等，嵌入應用程式。或是另外改良現有的傳輸層協定。

### 3 行動廣域免基地台式無線電系統應用在智慧型運輸系統之評估

根據本研究現已進行之文獻回顧、行動廣域免基地台式無線電系統之系統模擬、以及雛形系統的實測等，行動廣域免基地台式無線電技術在若干特性與效能上特別適合應用於智慧型運輸系統。為了進一步深入且完整地進行行動廣域免基地台式無線電系統應用於智慧型運輸系統之評估，本章首先針對行動廣域免基地台式無線電技術的主要應用類型進行探討與評估，並根據目前我國所規劃的智慧型運輸系統使用者服務項目逐一探討，評估行動廣域免基地台式無線電技術對於這些使用者服務的適用性(feasibility)。

#### 3.1 行動廣域免基地台式無線電系統應用在智慧型運輸系統之適用性分析

本研究針對行動廣域免基地台式無線電系統(mobile ad-hoc network, MANET)，應用於智慧型運輸系統下，所可能衍生出的各類型之應用範疇進行分析、探討。行動廣域免基地台式無線電系統是一種具有高度動態拓撲結構、允許節點任意移動的自組織網路(self-organized network)。該系統網路中的用戶或通訊節點均具有中繼的功能，且節點間的傳輸具多路徑選擇的能力。由於通信的節點之間常常沒有直接且固定的通訊鏈路，資訊多利用跳接的方式由一通訊節點傳送至另一通訊節點直到此資訊到達其目的地為止。因此，在 MANET 的平面網路架構中所有節點的地位平等，無需額外設置任何的控制中心節點。且網路中的節點不僅具有普通移動終端所需的功能，亦有訊息轉送的能力。與普通的移動網路和固定網路相比，它具有以下特點：

- 無基地台：MANET 沒有嚴格的控制中心。所有節點的地位平等，即是一個對等式網路。節點可以隨時加入和離開網路。任何節點的故障不會影響整個網路的運行，具有很強的抗毀性。
- 自組織：MANET 的配置或展開無需依賴於任何預設的網路設施。節點通過分層協定和分散式演算法協調各自的行為，節點開機後就可以快速、自動地組成一個獨立的網路。
- 多跳繞送：當節點要與其覆蓋範圍之外的節點進行通訊時，需要中繼節點的多跳轉發。與固定網路的多跳不同，MANET 中的多跳繞送是由普通的網路節點完成的，而不是由專用的繞送設備(如繞送器)完成的。
- 動態的網路拓撲結構：MANET 是一個動態的網路。網路節點可以隨處移動，也可以隨時開機和關機，這些都會使網路的拓撲結構(topology)隨時發生變化。

MANET 是一種特殊的無線移動網路，它與傳統的蜂窩技術的根本區別在於移動節點之間的通訊是在不需固定基礎設施(例如基地臺或繞送器)支援的條件下進行。系統支援動態即時配置，所有網路協定也都是分散式的。由於這類網路的組織和控制並不依賴於某些重要的節點，所以它們允許節點發生故障、離開網路或加入網路，也就是說每一個移動節點可以根據自己的需要在整個網路內隨意移動，而無須考慮如何維護與其他實體的通訊。因此特別適合應用於智慧型運輸系統中車流間之訊息傳遞。車輛將本身視為傳播資訊的網路節點，並利用跳接的方式，將各類型的用路資訊傳遞至每一位駕駛者的手中。

智慧型運輸系統之應用研究多半專注於 MANET 本身所具有之特性，探討所能衍生之各項智慧型運輸應用。並依據系統高移動速度與高傳輸速率之實測分析結果。針對可能的應用範疇，進行可行性分析評估及設計。藉以規劃出實用性高，並得以落實於國內智慧型交通網之創新應用。目前，MANET 的相關研究，大多還處於模擬與實驗測試階段。行動廣域免基地台式無線電系統於智慧型運輸系統之應用研究，將為 MANET 應用於智慧型運輸系統上提出一可行的應用方式。藉由應用之落實，除為相關領域開拓出一新的產業契機外，對於國內 ITS 整體技術的提昇，亦有一指標性的意義。

### 3.1.1 行動廣域免基地台式無線電系統應用於 ITS 之應用類型與評估

根據國內外對於 ITS 系統之通訊技術組合的研究與發展趨勢[1]，ITS 系統的無線接取網路可大致分為無線數位廣播(DAB, DVB-T, e.t.c.)、蜂巢式行動通訊系統(GSM/GPRS, 3G cellular network, e.t.c.)、以及短距無線通訊技術(ADSR, IEEE 802.11 WLAN, PHS, e.t.c.)，其中在短距無線通訊技術的應用模式上多半規劃使用所謂 hot-spot 的系統運作模式，也就是當行動台進入短距通訊路側設施(beacon)的訊號涵蓋範圍內，才能進行頻寬較高的資料傳輸。本研究特別針對這些通訊技術之成本特性與效能與行動廣域免基地台式無線電技術進行比較，並針對 ITS 應用服務中不同之系統運作模式，進行整體性的分析與評估；本研究初步之分析與評估，主要分為三項適用於行動廣域免基地台式無線電技術的重要服務類別與運作模式[4]進行探討，茲將相關的比較與分析說明於下：

#### 1. 車間通訊與行車輔助系統

利用車間通訊進行行車輔助服務，如鄰近道路與車況資訊提供等，相當適合利用短距通訊與行動廣域免基地台式無線電技術來進行行動車機系統間的資料交換。傳統上使用數位廣播進行路況資料的提供，並無法有效反應即時(real-time)的路況，並需要透過路側的人員、感知設備(sensor)或信號柱進行交通資料的蒐集，耗費較大的資料蒐集成本(如圖 3-1(a)所示)；若是利用蜂巢式行動通訊系統作為車間通訊的資料傳輸通道，則需要負擔較大的資料傳輸服務費用，並且僅限於使用相當有限的頻寬(如圖 3-1(b)所示)。使用行動廣域免基地台式無線電技術進行車間通訊與行車輔助服務，不但不需要負擔頻寬使用費，並可以透過車機間的資料交換，如車速、車輛識別碼、以及車輛之 GPS 定位資訊等，歸納出行車區域道路系統的路況，而不需要耗費交通資料蒐集的成本(如圖 3-1(d)所示)；相較於傳統的短距通訊技術(如圖 3-1(c)所示)而言，行動廣域免基地台

式無線電技術利用跳接式的資料傳輸模式，可將資料交換的區域擴大為較為廣闊的區域，而非僅涵蓋單一天線所能到達的範圍 (picocell)，因此能夠提供更具價值的交通資訊服務(如數公里前方的交通壅塞或事故等警訊的告知)。茲將相關技術組合運用於車間通訊與行車輔助系統之優缺點分析於表 3-1。

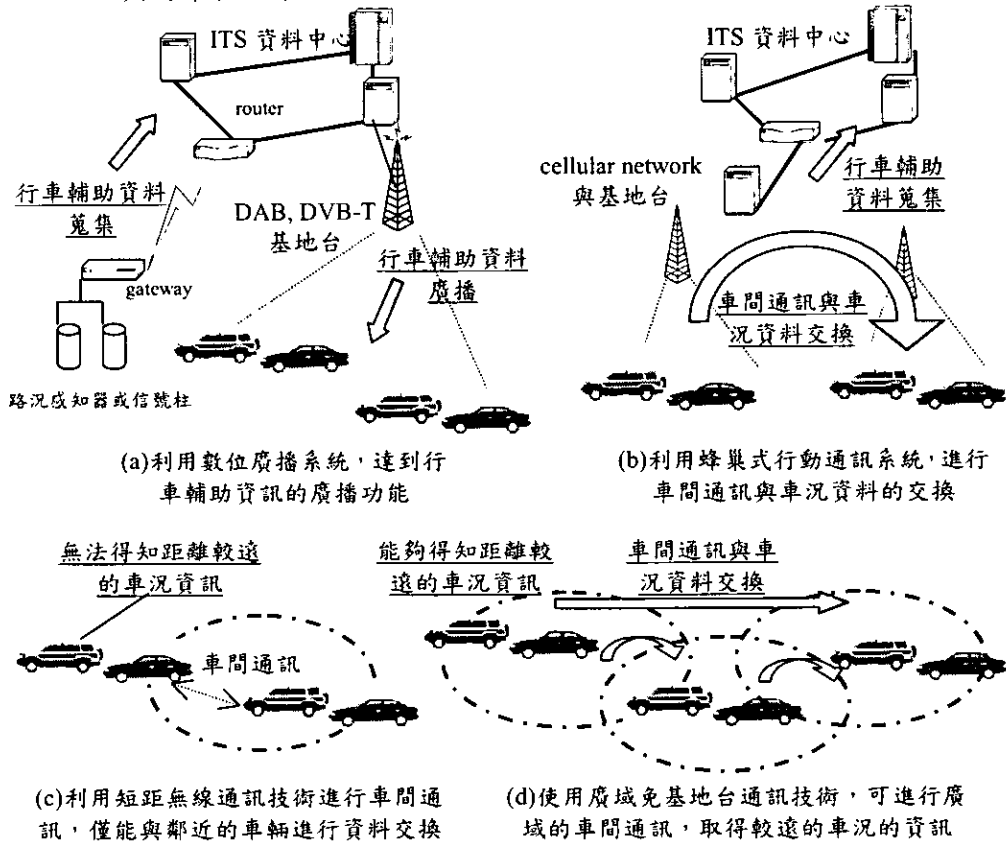


圖 3-1 車間通訊與行車輔助系統之通訊技術方案

表 3-1 車間通訊與行車輔助系統之通訊技術方案優缺點比較

技術方案	優點	缺點
數位廣播 (DAB, DVB-T)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 訊息涵蓋範圍廣</li> <li>✓ 通訊費用較低</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 無法進行即時車間通訊</li> <li>✓ 無法提供即時之行車輔助資訊</li> <li>✓ 行車輔助資訊之取得成本較高</li> </ul>
蜂巢式行動通訊系統 (GSM/GPRS, 3G)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 訊息涵蓋範圍廣，可進行距離較遠的車間通訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 通訊費用過高</li> <li>✓ 傳輸頻寬較小</li> <li>✓ 即時性不足</li> </ul>
專用短距通訊 (DSRC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 傳輸頻寬大</li> <li>✓ 不需要額外通訊費用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 訊息涵蓋範圍較小</li> <li>✓ 僅能取得鄰近之車況資訊</li> </ul>
行動廣域免基地台式無線電系統 (ad-hoc networking)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 傳輸頻寬大</li> <li>✓ 涵蓋範圍可藉由動態組織的網路擴大</li> <li>✓ 不需要額外通訊費用</li> <li>✓ 能有效取得區域性且範圍較為廣大之車況資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 需要於車機或行動台建置較為複雜的繞送與資料鏈結機制</li> </ul>

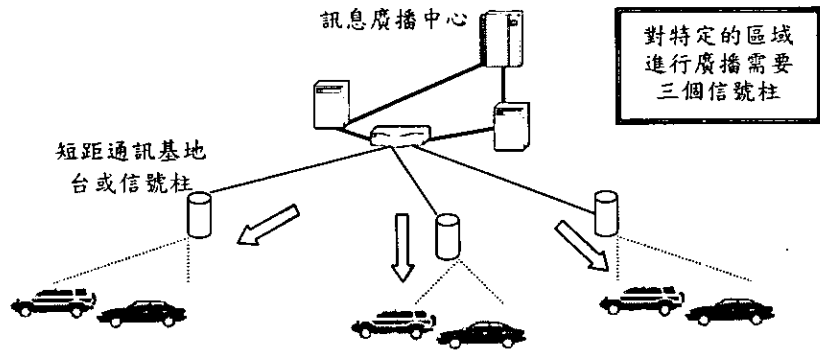


## 2. 區域性的訊息廣播服務

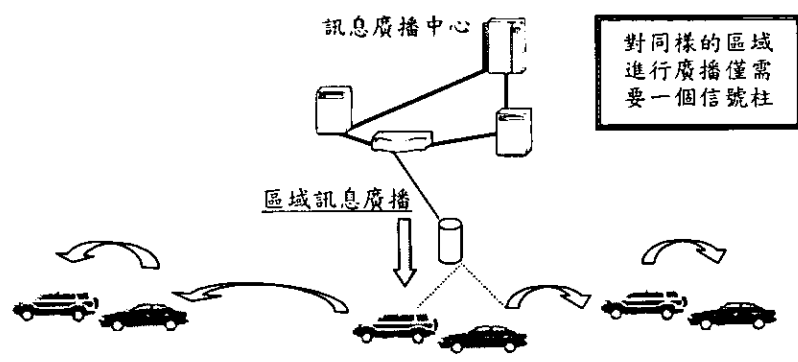
區域性的訊息廣播服務(location-based information broadcasting & services)多半運用在對行動車機或旅行人，提供與區域相關的資訊提供(如旅遊景點介紹)，或是區域性的廣告訊息(如附近的特惠活動)，甚至是提供一般使用者的訊息廣播服務(如區域尋人)。傳統上的區域訊息廣播乃是以特定的區域基地台為中心，將訊息傳送給該基地台涵蓋範圍內的所有行動設備；蜂巢式行動通訊系統所提供之區域性的訊息廣播服務具有較大的涵蓋範圍，但是卻需要收取訊息傳送的費用，而且若僅使用行動台目前所被服務的 cell 作為定位依據，將可能由於範圍過於廣大而失去區域性訊息的價值(如提供鄰近的餐飲資訊，但對於收到該訊息的使用者而言，可能實際上並不鄰近)，為了加強行動定位的精準程度，可能必須使用 GPS 定位技術或行動定位技術，進而增加系統建置與營運的成本；使用短距無線通訊技術作為區域訊息廣播服務是另一項常見的作法，當行動台接近短距無線通訊設備的涵蓋範圍時，便可接收其所提供的廣播資訊，然而短距無線通訊技術的基地台涵蓋範圍太小，若要達成具備商業價值的區域性的訊息廣播服務，密集性地增加基地台數目是必須且耗費建置與維護成本的作法，(假設使用者已在餐廳門口，才能收到鄰近的餐飲資訊，同樣失去了該資訊的價值)；運用行動廣域免基地台式無線電技術不但提供免費的訊息廣播通道，並可在不增加路側基地台的條件下，擴大訊息廣播的範圍(如圖 3-2(b)所示)，無論在功能特性上、傳輸頻寬與成本考量上、以及路側設備的建置與維護成本上，都較其他通訊技術具備優勢。茲將相關技術組合運用於區域性訊息廣播服務之優缺點分析於表 3-2。

表 3-2 區域性訊息廣播服務之通訊技術方案優缺點比較

技術方案	優點	缺點
蜂巢式行動通訊系統 (GSM/GPRS, 3G)	✓ 訊息涵蓋範圍廣，可進行較大範圍的訊息廣播	✓ 通訊費用過高 ✓ 傳輸頻寬較小 ✓ 需要使用 GPS 或無線定位技術才能對行動台提供精準的區域性資訊
專用短距通訊 (DSRC)	✓ 傳輸頻寬大 ✓ 不需要額外通訊費用	✓ 訊息涵蓋範圍較小，對於特定區域的廣播服務需要使用較多的基地站台或路側信號柱
行動廣域免基地台式無線電系統 (ad-hoc networking)	✓ 傳輸頻寬大 ✓ 涵蓋範圍可藉由動態組織的網路擴大 ✓ 不需要額外通訊費用 ✓ 由於廣播範圍大，定位又較蜂巢式行動通訊之基地台定位準確，能有效進行區域性的訊息廣播服務	✓ 需要於車機或行動台建置較為複雜的繞送與資料鏈結機制



(a)當中心單元使用短距無線通訊技術(hot-spot 運作模式)對特定區域進行訊息廣播，需要較多的路側信號柱



(b)利用廣域免基地台通訊技術，特定區域的訊息廣播僅需要少數信號柱即可達成

圖 3-2 區域性訊息廣播之通訊技術方案

### 3. 使用者之通訊與資訊服務

在 ITS 系統之整體規劃下，除了車間通訊之應用服務外，大部分的 ITS 通訊與資訊服務乃是透過行動台與 ITS 服務中心、資料中心等，進行資料的交換與提供。依照過去相關研究的規劃，使用者通訊與資訊服務的資料上傳(uplink)多半透過蜂巢式行動通訊系統作為傳輸通道，而資料的下傳(downlink)可以經由數位廣播或是同樣透過蜂巢式行動通訊系統來達成；在傳輸頻寬的考量下，使用蜂巢式行動通訊系統由於傳輸頻寬較低，可能難以滿足未來 ITS 的多元化服務，而在成本的考量下，相對於短距無線通訊技術，使用蜂巢式行動通訊系統作為資料傳輸通道需要較高的資料通訊成本，導致服務費用過高而不易在一般消費性市場上推行。為了解決資料傳輸成本過高的問題，使用路側信號柱與行動台的短距無線通訊設備進行資料交換是有效的解決方案，然而相較於蜂巢式行動通訊系統較為廣大的涵蓋範圍，僅使用路側信號柱以 hot-spot 的方式建立行動台與 ITS 服務中心之傳輸通道，不但有訊息涵蓋範圍不足、建置路側設施成本過高的問題外，還有許多技術上的課題需要加以解決，如高速且頻繁的基地台換手問題、行動繞送(mobile routing)機制等，這些課題會進一步增加系統運作的複雜度與研發建置成本。行動廣域免基地台式無線電技術實為在成本與技術考量下，良好的解決與

替代方案；行動廣域免基地台式無線電技術透過自行組織的動態繞送機制，建立涵蓋範圍較為廣闊，並具有較高頻寬的無線接取網路，由於短距無線通訊技術藉此擴大的資料傳輸涵蓋範圍，路側信號柱或基地台所需要的密集度可大幅降低，省卻了大量的設備建置與維護成本，也降低了網路端換手與繞送變更之頻率，更重要的是，在資料傳輸頻寬增加的同時，資料傳輸的費用同時得到節約，相較於蜂巢式行動通訊系統建立之資料上下傳通道，行動廣域免基地台式無線電技術應用於 ITS 通訊與資訊服務取得了雙贏的優勢。

表 3-3 使用者通訊與資訊服務之通訊技術方案優缺點比較

技術方案	優點	缺點
數位廣播(downlink)+蜂巢式行動通訊系統(uplink)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 訊息涵蓋範圍廣</li> <li>✓ 資料下傳通訊費用較蜂巢式行動通訊系統為低</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 傳輸頻寬較小</li> <li>✓ 難以進行隨選資訊(information on demand)服務的提供</li> </ul>
蜂巢式行動通訊系統(GSM/GPRS, 3G)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 訊息涵蓋範圍廣</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 通訊費用過高</li> <li>✓ 傳輸頻寬較小</li> </ul>
專用短距通訊(DSRC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 傳輸頻寬大</li> <li>✓ 不需要額外通訊費用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 訊息涵蓋範圍較小</li> <li>✓ 若建置全域性的訊息涵蓋範圍，需要耗費龐大的基地台建置與維護成本</li> <li>✓ 網路端需要進行較為複雜且頻繁的繞送與換手機制</li> </ul>
行動廣域免基地台式無線電系統(ad-hoc networking)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 傳輸頻寬大</li> <li>✓ 涵蓋範圍可藉由動態組織的網路擴大</li> <li>✓ 不需要額外通訊費用</li> <li>✓ 能有效取得區域性且範圍較為廣大之車況資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 需要於車機或行動台建置較為複雜的繞送與資料鏈結機制</li> </ul>

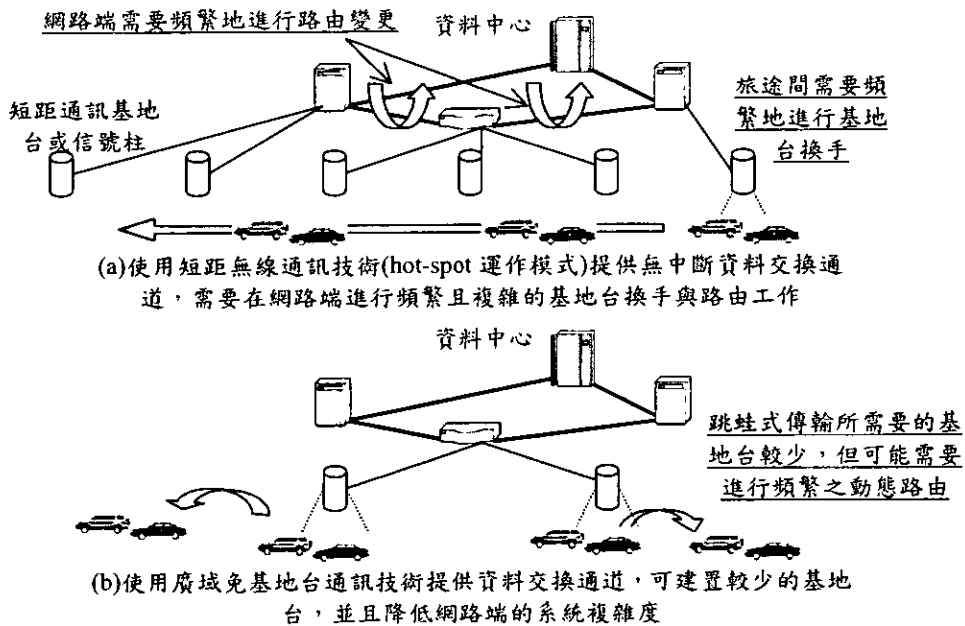


圖 3-3 短距無線通訊技術之換手與繞送頻率

由以上的說明可知，MANET 應用在 ITS 系統的主要優點在於資料傳輸頻寬大、擴大短距無線通訊系統的涵蓋範圍、能動態自組行動網路、以及建置成本低廉等優點，並且其動態自組的網路各自形成區域性的叢集，適合用來作為與區域相關的通訊服務(如鄰近交通狀況的蒐集或是區域性的資訊廣播服務)；在若干的 ITS 應用服務中，如前面所述之行車輔助系統等，需要在車機上裝配 GPS 等定位系統，尤其從 ITS 系統的發展趨勢來觀察，車機系統整合 GPS 定位技術來提供與位置相關的資訊服務為必然之趨勢，而對於 MANET 的應用來看，GPS 的定位資訊不但能夠讓動態自組的 MANET 節點交換位置資訊，並可作為輔助 MANET 核心繞送機制之用(如第 2.3.3 小節所述)；然而，當若干 ITS 應用服務倚賴 GPS 定位資訊以達成其功能需求，對於多變的道路狀況與型態，如隧道與高樓林立的市區道路等，是否能準確地進行資訊交換與定位便成為相關應用服務的重要課題。

MANET 由於具有自行組織網路系統的能力，在適應不同道路型態的彈性較高，本研究同時規劃對不同的道路型態進行通訊效能的實地量測；而為了解決 GPS 定位系統因信號遮蔽而無法有效定位的問題，結合其他行動定位技術是有效的解決方案。除了 GPS 定位技術外，常見的行動定位技術主要還包括下列數項：

3. 展頻無線電定位技術：展頻定位系統乃利用展頻通訊技術，將電波基地站本身位置資料與時間資料結合於訊號中同時送出，接收端同時接收若干發射站傳送之電波，即可算出本身與各無線電發射站間之距離，進而算出本身之位置。
4. 蜂巢式行動通訊網路之定位技術：利用蜂巢式網路系統，可根據行動台與不同基地台間的信號強度、角度、以及信號傳輸時間等進行定位，並能夠提供行動端或網路端兩種定位模式；然而現階段的蜂巢式網路系統的定位技術的準確度並無法完全滿足 ITS 相關應用服務的需求。
5. 信號柱定位法：信號柱定位屬於一種接近偵測定位法(Proximity Automatic Location)，每隔一段距離設一信號柱，車輛接近信號柱時便發揮其定位功能，若要達成有效的廣域行動定位，廣設信號柱所需要的建置與維護成本將會非常龐大。
6. 航位推估法：啟動時由外部提供第一筆位置的起始資料，而後開始計算物體行進的方向與距離，將量測出來的角度與距離，再加總於起始資料而得出目前的位置。在行動車輛裝設陀螺儀搭配初始定位系統(如 GPS 等)即可有效進行此定位方法。

根據這些不同的行動定位技術可知，除了一般狀況使用 GPS 定位外，對於特定無法使用 GPS 定位的路段(如隧道等)，結合航位推估法是較為直接且有效的解決方案；而對於路線固定的車輛(如公車或商用車輛等)亦可在固定路線上佈設信號柱作為精準定位之用；其他如緊急救援等 ITS 服務的定位需求，可在需要的時候利用蜂巢式網路系統，以便從網路端進行定位，而不需要在行動端定位後再透過通訊系統回傳定位資訊，尤其對於偏遠地區等容易發生事故救援延遲的區域，往往超出行動通訊系統的涵蓋範圍，而需要網路端的定位。

### 3.1.2 行動廣域免基地台式無線電系統應用於 ITS 使用者服務之適用性與評估

本研究已於第 3.1.1 小節進行行動廣域免基地台無線電系統應用於 ITS 之相關應用服務類型，但為了更進一步的分析與評估，必須考慮我國目前在 ITS 系統之規劃，針對不同的 ITS 服務項目分析運用免基地台無線電系統的適用性(feasibility)，並與現行已規劃或實作的通訊系統進行比較與評估。根據交通部運研所所公佈之『台灣地區智慧型運輸系統(ITS)綱要計畫』[55]以及『台灣地區發展智慧型運輸系統(ITS)系統架構之研究』[56]，我國目前所規劃的 ITS 系統架構共分為五個等級之使用者服務單元，其中第一級定義為 9 大服務領域(user service bundles)、第二級定義 35 項使用者服務單元(user services)、第三級至第五級則定義為 418 項使用者服務需求(user service requirement)；本研究首先根據第一級 9 大服務領域運用行動廣域免基地台無線電系統的特性與優缺點加以說明，然後針對第二級之 35 項使用者服務單元，進行應用行動廣域免基地台無線電技術的適用性評估，以不違背我國現行 ITS 系統規劃的前提下，評估使用行動廣域免基地台無線電技術的可行性。

根據我國所規劃之 ITS 系統 9 大服務領域，使用行動廣域免基地台無線電系統(MANET)對系統營運與成本上實有相當程度的助益。茲將 MANET 應用於相關服務領域之特性與優缺點說明於下：

#### ■ MANET 應用於先進交通管理服務(ATMS)

MANET 跳接式通訊及區域性非常適合用在交通管理與監測上，如號誌的管理，可使號誌自動計算其附近的車輛、車流，自動控制紅綠燈的時間長短，達到最佳的效益，同樣因不須設基地台，且功率極小，所須的成本遠小於其他技術。對於交控中心所需要的交通資料蒐集與廣播，使用 MANET 結合路側信號柱作為行動台與交控中心資料傳輸通道，能夠有效降低車機或行動台資料蒐集的資料傳輸成本，並且藉由 MANET 所增加的訊息與服務涵蓋範圍，可有效減少路側信號柱、短距通訊基地台等所需建置的密度，進而降低系統營運與維護成本。

#### ■ MANET 應用於先進旅行者資訊服務(ATIS)

因為 MANET 不用鋪設很多基地台，以跳接式通訊，相對其他技術而言，資訊中心可以很便宜的價格取到每輛車的資訊，當然 MANET 有遺失資訊的風險，但在 ATIS 的運用中很多是以統計方式計算，也就是遺失少數的資訊是不會影響計算的結果，如車流密度，道路車速等。資料中心可以以這些資訊計算，可以使用者以很便宜的價格取到旅行者資訊。除了交通資訊的提供，MANET 同時適用於區域性的訊息廣播服務，如鄰近的商品折扣、產品資訊等，由於使用 MANET 擴大的訊息廣播的涵蓋範圍，使得這些區域資訊或廣告更具商業價值。若使用 MANET 提供旅行者無線上網的服務，不但能夠降低傳統上使用蜂巢式行動通訊系統的通訊費用，並

可透過跳接式通訊，擴大其服務範圍。

■ MANET 應用於先進大眾運輸服務(APTS)

同樣因不須設基地台，且功率極小，以網路的架構設計，可以使其傳送文字、聲音、影像，運用於大眾運輸系統更能顯現其效益，如市區公車可由跳接式通訊使在車站或路邊站牌等公車的人知道什麼車會到及最佳的(如時間最短)轉乘方式，一樣可花費極小的費用可達成。此外對於大眾運輸工具的車輛營運與安全輔助，可利用 MANET 進行大眾運輸工具的車間通訊，提供語音、文字、訊號等訊息交換，作為行車安全與調度的輔助。

■ MANET 應用於商用車輛營運服務(CVOS)

並不是每一種車輛管理都適合使用 MANET，因為他有遺失資訊的風險，但有些車輛管理應用非常適合，如市區計程車的管理，因為計程車通常在一個固定的範圍，密度也較高，傳送文字、聲音、影像通知司機，派遣車輛。政府與相關監管單位亦可利用 MANET 的優點，進行路側安檢、監視、與管理等，相較於短距無線通訊技術的到達式管理(營運車輛接近控管設備才得以控管)，使用 MANET 能夠對區域性的營運車輛進行監控與管理，可有效輔助相關監管動作的進行。

■ MANET 應用於電子自動收費系統(EPS)

在電子自動費系統的機制下，如何能有效且正確的進行收費是重要的問題，透過 MANET 可以解決在 EPS 的架構下，收費的問題，透過 MANET 可以在行車時提前與收費設備進行通訊，在高速運行中進行收費站台到達的告知、費用的扣繳或是收費卡加值的動作，增加用路者的方便性。

■ MANET 應用於緊急事故管理服務(EMS)

動態組織的 MANET 特別適用於緊急事故的管理服務，對用路人而言，透過 MANET 能夠取得鄰近且即時的緊急事故訊息，作為行車安全的輔助，並在緊急事故發生時，能夠與鄰近的控管與緊急處理處理單位聯絡，加速事故排除與救援的效率；對於緊急事故處理單位而言，透過 MANET 亦能夠有效進行緊急事故的得知、相關人員與設備、車輛調度等，尤其在偏遠地區所發生的事故，在其他廣域通訊系統訊息無法涵蓋的地方，利用 MANET 可即時自成資訊聯絡網路，有助於緊急事故處理的進行。

■ MANET 應用於先進車輛控制及安全服務(AVCSS)

先進車輛控制及安全服務主要的著眼點在於車輛避碰、安全警訊的告知、甚至自動車輛駕駛等，因此車間通訊在此項服務將扮演重要的角色，對於行車安全警訊的判別與告知，多半需要透過車機間的

資訊交換才得以達成；MANET 有效將動態車機間的資料交換區域擴大，可提早安全警訊的判別與告知，並對於自動駕駛所需參考的鄰近車況參數的取得，提供方便且有效的資料傳輸通道。

■ MANET 應用於弱勢使用者保護服務(VIPS)

透過 MANET 與路側信號柱、智慧型交通號誌、以及旅行人行動台的結合，對於弱勢使用者所提供的安全保護與警示，都能有效提早判別與提供；相對於行車安全服務，弱勢使用者保護服務之安全要求應更加嚴格，因此提前取得危安狀況並進行判別與警示是必要的。

■ MANET 應用於資訊管理服務(IMS)

MANET 對資訊管理服務的助益主要是提供低成本的資料傳輸通道，以降低資料蒐集的成本；對於交通狀況的資訊蒐集而言，可透過 MANET 蒐集區域性的交通狀況並先行彙整，由於資料蒐集的涵蓋範圍較短距無線通訊技術或路側感知器為廣，因此所彙整的交通狀況資訊將更具真實性與參考性，也由於利用 MANET 降低了路側信號柱的數量，可有效減少系統營運與維護成本，並降低資訊管理系統的系統負載。

根據上述對於 ITS 系統 9 大服務領域之探討，行動廣域免基地台式無線電系統之特性對於應用在 ITS 系統有許多助益；如表 3-4 所示，茲將行動廣域免基地台式無線電系統相關特性能夠輔助的服務領域與方式整理於下：

表 3-4 行動廣域免基地台式無線電系統對 ITS 系統 9 大應用服務之助益

MANET 之特性	有助益的 ITS 應用服務	輔助方式
具有動態自行組織行動網路的能力	ATMS APTS CVOS EMS AVCSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 車機自行彙整鄰近車況資訊</li> <li>✓ 公眾運輸工具間的調度與通訊</li> <li>✓ 營運車輛調度與通訊</li> <li>✓ 動態自組緊急事故資訊交換網路</li> <li>✓ 利用廣域車間通訊評判安全警訊</li> </ul>
提供與中心單元費用較為低廉的資料交換通道	ATMS ATIS APTS CVOS IMS	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 提供廉價之車機資訊上下傳通道</li> <li>✓ 提供廉價之旅行資訊與廣播通道</li> <li>✓ 提供公眾車輛多元化資訊傳輸通道</li> <li>✓ 提供商用車控管之資訊上下傳通道</li> <li>✓ 提供廉價之交通資訊上傳通道</li> </ul>
擴大短距無線通訊技術之訊息涵蓋範圍	ATMS ATIS EPS  AVCSS VIPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 取得範圍較廣的區域車況路況資訊</li> <li>✓ 提供具商業價值之區域訊息廣播</li> <li>✓ 解決高速車輛的通訊距離與時間不足的問題</li> <li>✓ 提前取得車輛安全警訊</li> <li>✓ 提前取得用路安全警訊</li> </ul>
有效降低與固定網路連接之路側信號柱數量	ATMS ATIS IMS	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 減少蒐集車機資訊的信號柱數量</li> <li>✓ 減少資料交換或廣播之信號柱數量</li> <li>✓ 減少蒐集交通資訊的信號柱數量</li> </ul>

本研究同時進行對個別使用者服務運用行動廣域免基地台式無線電系統之適用性進行分析與評估，其評估的對象為我國現行規劃之 35 項使用者服務，茲列示於下：

- USR-1：先進交通管理服務(ATMS, Advanced Traffic Management Services)
  - USR-1.1：交通控制
  - USR-1.2：交通監測
  - USR-1.3：事件管理
  - USR-1.4：旅次需求管理
  - USR-1.5：交通環境影響管理
- USR-2：先進旅行者資訊服務(ATIS, Advanced Traveler Information Services)
  - USR-2.1：路徑導引
  - USR-2.2：旅行者服務資訊
  - USR-2.3：旅行中駕駛資訊
  - USR-2.4：行前旅行資訊
  - USR-2.5：共乘配對與預約服務
- USR-3：先進大眾運輸服務(APTS, Advanced Public Transportation Services)
  - USR-3.1：行程中大眾運輸資訊
  - USR-3.2：大眾運輸營運管理
  - USR-3.3：大眾運輸車輛安全
- USR-4：商業營運服務(CVOS, Commercial Vehicle Operations Services)
  - USR-4.1：自動化路邊安檢
  - USR-4.2：商用車隊管理
  - USR-4.3：商用車輛車上安全監視
  - USR-4.4：商用車輛電子憑證管理
  - USR-4.5：重車安全管理
- USR-5：電子付費服務(EPS, Electronic Payment Services)
  - USR-5.1：電子付費服務
- USR-6：緊急事故管理服務(EMS, Emergency Management Services)
  - USR-6.1：緊急事故通告
  - USR-6.2：緊急救援車輛管理
  - USR-6.3：自然災害交通管理
- USR-7：先進車輛控制及安全服務(AVCSS, Advanced Vehicle Control and Safety Services)
  - USR-7.1：縱向防撞
  - USR-7.2：側向防撞
  - USR-7.3：路口防撞
  - USR-7.4：視覺改善
  - USR-7.5：安全準備
  - USR-7.6：碰撞前安全防護
  - USR-7.7：自動車輛駕駛
- USR-8：弱勢使用者保護服務(VIPS, Vulnerable Individual Protection Services)
  - USR-8.1：行人/自行車騎士安全
  - USR-8.2：機車騎士安全
- USR-9：資訊管理服務(IMS, Information Management Services)
  - USR-9.1：資料蒐集彙整
  - USR-9.2：資料歸檔
  - USR-9.3：歸檔資料管理
  - USR-9.4：歸檔資料應用



在適用性的評估部分，本研究根據對個別使用者服務的特性與通訊需求加以探討，並分析如何將行動廣域免基地台式無線電系統應用在這些服務上；根據這些個別的探討，本研究將行動廣域免基地台式無線電系統對每一個使用者服務的適用性加以評等，分為高度適用、中度適用、低度適用、以及不適用等；茲將評判的適用度等級與準則說明於下：

— **高度適用(high feasibility)：**

相對於傳統與現行之 ITS 資訊通訊平台與通訊技術、系統架構等 [1]，若是使用行動廣域免基地台式無線電系統進行特定的使用者服務時，將獲得明顯的益處，優於現行的系統規劃，因此能夠強烈建議使用行動廣域免基地台式無線電系統來取代原先的技術組合方案的話，則該使用者服務屬於高度適用於行動廣域免基地台式無線電系統。

— **中度適用(moderate feasibility)：**

對於特定的使用者服務，若應用行動廣域免基地台式無線電系統，能夠輔助原先的通訊系統與服務，使得系統的功能與效能能夠增加；當行動廣域免基地台式無線電系統乃是運用於輔助現行的系統與通訊技術，使其整合並行，而不能或不宜完全取代時，則該使用者服務屬於中度適用於行動廣域免基地台式無線電系統。

— **低度適用(low feasibility)：**

若是考慮應用行動廣域免基地台式無線電系統於某特定之 ITS 使用者服務時，並無法有效增加原先設計或規劃的通訊或系統效能，但仍可大致滿足該使用者服務的通訊需求時，則該使用者服務屬於低度適用於行動廣域免基地台式無線電系統。

— **不適用(infeasible)：**

當行動廣域免基地台式無線電系統無法滿足特定使用者服務的通訊需求，或是使用行動廣域免基地台式無線電系統明顯劣於原先 ITS 系統通訊技術組合的設計或其他可行的技術方案時，則該使用者服務不適用於行動廣域免基地台式無線電系統。

為了清楚說明我國所規劃之各項 ITS 使用者服務對於行動廣域免基地台式無線電系統的適用性，對於每一項使用者服務，本研究歸納其適用性的分析與評估表，內容包括使用者服務的名稱、功能與服務簡介、適用性評等、以及主要的分析與評估考量等；至於我國所規劃之 ITS 產品組合(market package)[56]，多半是整合多項使用者服務中若干功能來達成，是對於將來推廣 ITS 系統的市場考量下之規劃，而非就技術與系統架構的規劃上加以分類。因此就技術上的探討而言，本研究針對使用者服務進行分析與評估，將比依據 ITS 產品組合來的恰當。茲將 ITS 使用者服務對於行動廣域免基地台式無線電系統的分析與評估表分項是列於下：

1. 先進交通管理服務之適用性評估：

服務名稱	USR-1.1:交通控制
功能簡介	透過交通控制方法與策略以達成先進的 ITS 交通管理
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	交通控制服務主要包括車流規劃以及設備控制等，其中車流規劃有賴於路況與車況資訊的蒐集、彙整、與提供；傳統上之車況資訊蒐集倚賴路側信號柱與感知器等，若是利用 MANET 來蒐集動態的區域車流資訊，經能夠有效輔助車流控制最佳化策略的進行，此外 MANET 亦可作為對行動車機車流規劃與路況資訊提供之傳輸通道。在設備控制方面，多數的交控設備屬於固定連接的網路，不過在停車場的資訊服務與控制方面，MANET 理論上能夠擴大其對停車場行動車機之資料交換訊息涵蓋範圍而有助益。

服務名稱	USR-1.2:交通監測
功能簡介	提供 ITS 系統交通監測之功能
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	交通監測服務主要包括交通狀況的監測、車流資訊的現況提供與預估、以及與其他區域的交通資訊整合等。等同於交通控制的資料蒐集需求，交通狀況的資料蒐集亦可透過 MANET 來降低通訊成本與擴大通訊範圍，並且由於 MANET 高頻寬的特性，可藉由與路側信號柱的結合，提供用路人即時且多元化的交通資訊，而監控中心也經由監控範圍的擴大，而取得較為真實且完整的區域路況資訊。

服務名稱	USR-1.3:事件管理
功能簡介	提供 ITS 系統即時之事件管理的功能
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	交通事件的管理包括事件的偵測、識別、反應、以及事件處理時的聯絡與協調；其中事件的偵測可運用 MANET 使得事件偵測的範圍擴大或事件發生的預估工作提早完成，這乃是導因於 MANET 擴大的短距通訊技術與路側信號柱的傳輸距離，使得單一信號柱能夠蒐集更廣大區域的行動資訊。另外在事件處理時，MANET 可以即刻動態建立出事件處理人員的聯絡網路，進而增加事件處理的效率。在 USR-1.3.4 規範了隧道中的事件管理能力，由於多數廣域通訊技術無法涵蓋這些封閉的環境，更需要利用 ad-hoc 通訊技術動態自組網路的能力。

服務名稱	USR-1.4:旅次需求管理
功能簡介	提供 ITS 系統旅次的規劃與需求管理
適用性	低度適用(Low Feasibility)
分析與評估	旅次的需求管理主要是在 ITS 資料中心集中管理；由於旅次規劃所需要的路況資訊多半可利用交控服務所彙整的資料，因此資料的傳輸量並非如例行性的資料交換來得大，而僅發生在需求產生時，資料的收集與提供。旅次的規劃與資料蒐集多半涵蓋較大的區域範圍，若僅使用 MANET 來規劃鄰近的旅次需求較不具意義與商業價值，不過 MANET 可用作為成本較為低廉的旅次資訊提供通道，或是作為旅行者與交通控制或電子付費設備的通訊技術。

服務名稱	USR-1.5:交通環境影響管理
功能簡介	提供空氣污染或噪音等交通環境影響之管理功能
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	交通環境影響的管理傳統上透過路側感知器進行資料蒐集，然而這樣的運作模式使得交通環境的偵測僅侷限於少數的區域與範圍；若是將行動車機裝備相關感知設備，並透過 MANET 進行交通環境的資料交換，不但可以取得鄰近之交通環境資訊，並可搭配與路側信號柱的整合，擴大資料中心蒐集交通環境資訊的範圍。

## 2. 先進旅行者資訊服務之適用性評估：

服務名稱	USR-2.1:路徑引導
功能簡介	提供智慧化路徑引導功能，包括動態指引、靜態引導資訊提供、以及路側引導設施等
適用性	高度適用(High Feasibility)
分析與評估	為了降低路徑指引時資料交換的傳輸成本，使用 MANET 是有效的解決方案，在旅行者或車機接近資訊提供之信號柱時，取得更詳細且即時之指引資訊。使用 MANET 克服短距無線通訊應用在路徑指引時訊息涵蓋區域不足的問題，無論是靜態或動態的引導資料，都可以在路側信號柱結合 MANET 的涵蓋範圍內，提供使用者相關指引資訊。對於路側引導設施的幫助，可利用 MANET 蒐集設施鄰近之交通路況資訊或事件等，作為規劃最佳路徑之參考。

服務名稱	USR-2.2:旅行者資訊服務
功能簡介	提供旅行者相關之住宿、餐飲、停車資訊等，以及相關多樣化的旅行者資訊服務
適用性	高度適用(High Feasibility)
分析與評估	使用 MANET 搭配旅行者資訊提供之路側信號柱等，可作為傳輸成本低廉的資料交換通道；由於旅行者資訊可能是包含文字、圖片、影音等多媒體資訊，使用頻寬較高的短距無線通訊技術將是較佳的選擇，而利用 MANET 可增加資料交換的傳輸距離，使得這些資訊的提供更具商業價值。此外，許多旅行者資訊屬於區域性的資訊，更可能是適用於訊息廣播方式來提供給旅行者，MANET 在這方面的應用將較其他通訊技術更具優勢。

服務名稱	USR-2.3:旅行中駕駛資訊服務
功能簡介	提供旅行中駕駛資訊諮詢與視覺資訊提供等服務
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	旅行中駕駛資訊與視覺資訊的提供需要頻寬較大的傳輸通道，因此 MANET 適用於作為此種資訊的傳輸通道，但考慮到旅行中駕駛可能身處訊息無法涵蓋範圍，因此旅行中駕駛資訊服務最適當的作法乃是結合廣域行動通訊系統(GSM/GPRS, 3G cellular)與 MANET 較佳。

服務名稱	USR-2.4:行前旅行資訊服務
功能簡介	提供旅行行前相關運輸系統班表、費率、停車、以及交通路況等，並提供旅行規劃等服務
適用性	低度適用(Low Feasibility)
分析與評估	旅行前資訊多半適用以提供旅行人在旅行規劃時的相關資訊與規劃服務，因此使用家中或定點之通訊系統為主要的資料交換模式。然而為了良好的資訊可及性，旅行的規劃亦可能在室外或旅行中進行，因此亦有使用無線通訊系統與行動台進行資料交換的需求；MANET 可增加此種運作模式的訊息涵蓋範圍，不過在考慮行前旅行資訊服務的特性，此種動態的資料交換模式將不是該使用者服務的主體。

服務名稱	USR-2.5:共乘配對與預約服務
功能簡介	提供旅客進行共乘配對與車輛配對、預約等服務
適用性	高度適用(High Feasibility)
分析與評估	共乘配對服務多半是一個區域性共乘需求的廣播、搜尋、與配對過程，MANET 可以將這些區域性的行動設備(包括旅行人行動設備與車輛車機設備)動態連接，成為資訊交換的網絡，並由於訊息涵蓋範圍的擴大，可增加配對成功的機率；這種行動台間的通訊需求，相當適合利用 MANET 來滿足。

### 3. 先進大眾運輸服務之適用性評估：

服務名稱	USR-3.1:行程中大眾運輸資訊服務
功能簡介	大眾運輸資訊之蒐集、提供與管理等，包括大眾運輸工具車內、車外之訊息提供
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	MANET 可用於將大眾運輸資訊提供至使用者行動單元，作為廉價之資料下載通道；對於行進中大眾運輸工具的資料蒐集，MANET 同樣可作為良好的資料上傳通道，無論是電子站牌與大眾運輸工具間，或是資訊提供站與使用者間，MANET 都能有效增進系統的功效(如提早預知運具的到達)，並優於使用蜂巢式行動通訊系統資料傳輸成本過高的問題。

服務名稱	USR-3.2:大眾運輸的營運管理
功能簡介	包括大眾運輸工具的車輛控制輔助、排班管理、以及雙向語音與數據通訊功能
適用性	高度適用(High Feasibility)
分析與評估	大眾運輸工具的車輛控制輔助、排班管理等並無主要的通訊需求，而大眾運輸的營運管理在通訊需求上，最重要的便是與車間通訊相關之雙向語音與數據通訊功能；傳統上的語音通訊使用之無線電系統並無法滿足數據通訊的需求，而使用 MANET 理論上能夠同時滿足語音與數據通訊需求，並由於其動態自行組織的特性，能夠將行進中的大眾運具連接成為通訊網絡，在動態運具的營運管理上有極大的助益；相較於同樣滿足此需求的蜂巢式行動通訊系統，MANET 的資料傳輸成本相對低廉許多。

服務名稱	USR-3.3:大眾運輸車輛安全
功能簡介	包括對弱勢用路人接近之警示、駕駛視覺改善、以及意外事故的緊急通報
適用性	低度適用(Low Feasibility)
分析與評估	大眾運輸工具為了保護弱勢用路人，所需要的接近警示與視覺改善等，多半需要依賴車上裝配的感知器或雷達系統；雖然可利用 MANET 蒐集鄰近的交通路況，但對於即時發生之弱勢用路人的接近警訊或車輛鄰近的視覺死角，並無明顯的幫助。MANET 較適用於作為意外事故的緊急通報管道，尤其在其他無線通訊系統未涵蓋的範圍內，使用 MANET 透過其他路線上的大眾運輸工具進行跳接式傳輸，可有效進行意外事故通報的效率。

#### 4. 商車營運服務之適用性評估：

服務名稱	USR-4.1:自動化路邊安檢
功能簡介	提供營運車輛路邊安全檢查服務
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	車輛路邊安全檢查服務除了檢查站與受檢車輛的資訊交換外，最重要的是營運車輛的偵測；利用 MANET 可提前預知受檢車輛的到達，提早配置受檢的準備工作，並利用與車機系統的資料交換，預先傳達受檢車輛的配合事項(如通知車輛駛入哪一個檢查站或車道)。

服務名稱	USR-4.2:商用車隊管理
功能簡介	提供營運車輛排程、監控、調度、以及相關資料交換或營運事務的管理
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	營運車輛的監控與動態調度等，除了透過集中式的營運中心來管理，亦需要根據即時事件進行機動管理；在營運車機裝設的車間通訊功能，並使用 MANET，可以滿足營運車輛動態調度與監控的功能，其資料交換類型可包含語音、數據文字、動態畫面等。透過與路側信號柱或營運車輛到達地點的資訊站等，使用 MANET 所交換的資訊亦可傳達至營運中心，這些營運事務(如倉儲、稅務等)的通訊需求雖然可利用短距無線通訊技術來達成，利用 MANET 亦可提高一定程度的效益。

服務名稱	USR-4.3:商用車輛車上安全監視
功能簡介	提供商用車輛的車上安全監視與資料提供
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	商用車輛的安全監視包括對貨品的監視、營運事務的監視、計程車安全管理等，這些監視資訊除了先行儲存於車機系統之中，亦可依實際狀況傳送到車外路側裝置或監控中心；這些多半以視覺資訊為主的監控資訊若要與外界進行資料交換，需要低廉且頻寬較大的技術，而 MANET 在滿足這樣需求的同時，亦擴大了安全監控的範圍，有效提升其系統功能。

服務名稱	USR-4.4:商用車輛電子憑證管理
功能簡介	提供商用車輛的電子憑證、稅務、許可證、與違規處理等
適用性	低度適用(Low Feasibility)
分析與評估	本使用者服務主要的強調重點在於資訊安全系統的建置，用以輔助商用車輛營運時的相關工作；此處大部分的營運事務乃是到達相關的定點(如海關、倉庫、檢查站等)才需要進行，因此傳統上使用短距無線通訊技術作為車機與路側設備的傳輸通道，以輔助營運事務的進行。MANET 同樣可運用在此種運作模式，使得營運事務可使用的資料交換時間較長，不過對於整體營運效能的增加有限。

服務名稱	USR-4.5:重車安全管理
功能簡介	提供重車等危險車輛的安全管理
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	重車(含砂石車或危險載物等)的安全監控可利用 MANET 來建立事故通報或動態調度的資料交換通道，路側設施可透過 MANET 提前取得重車或危險貨品的到達通知，進而提醒其他用路人相關安全警訊，而在事故發生時，能夠動態建立緊急事故處理的通報與聯絡網路，增加事故處理的效率；在重車的視覺改善或警訊通報(如弱勢用路人的接近警訊)等，由於即時性過高且資料偵測距離較短，多半使用車上感知設備或雷達等技術加以達成，因此 MANET 所能提供的效益相對較低。

5. 電子付費服務之適用性評估：

服務名稱	USR-5.1:電子付費服務
功能簡介	提供快速且方便之電子付費服務，而無須使用現金
適用性	低度適用(Low Feasibility)
分析與評估	電子付費的系統運作模式多半採到達式收費，如車輛到達計費站台，或電子票證於路側設備或大眾載具上的扣款等，因此就一般狀況而言，傳統之短距無線通訊技術以能滿足電子付費的需求；MANET 在此處的助益可用於提早告知用路人或駕駛員關於道路使用費用、收費方式、以及停車費率與停車場資訊等，或對於安全性要求較高的電子交易，提供較長時間的交易資料通訊時間；但由於電子交易所需要的通訊可靠度較高，是否使用 MANET 進行電子交易需要進一步考量。

6. 緊急事故管理服務之適用性評估：

服務名稱	USR-6.1:緊急事故通告
功能簡介	提供緊急事故通報的服務
適用性	高度適用(High Feasibility)
分析與評估	緊急事故的通報服務包含對監管與處理單位的通報，並包括對鄰近區域之路側設備、行動台的事務發生通知等，這些通報資訊相當適合利用 MANET 來進行即時資料的傳輸與廣播；由於緊急事故多半具備急迫性與危險性，MANET 所提供區域性的事件廣播功能十分重要，可提供其他駕駛先行避開事故區域或小心通過，並能夠在其他通訊系統無法涵蓋的範圍內，讓通報資訊利用跳接式傳輸送達遠處的路側事故事件接收站或處理中心等，以加速事故通報的效率。

服務名稱	USR-6.2:緊急救援車輛管理
功能簡介	提供緊急救援車輛的動態調度、派遣、通訊等服務
適用性	高度適用(High Feasibility)
分析與評估	MANET 特別適用於緊急救援車輛間通訊網路的建立，由於緊急救援車輛在值勤時需要彼此協調，並且這些救援車輛可能來自不同單位，MANET 擴大了救援車輛間的資訊交換範圍，並由於其動態自行組織的特性，可在任何事故發生的區域與地點即時建立彼此的救援聯絡網。



服務名稱	USR-6.3:自然災害交通管理
功能簡介	提供颱風，地震，水災以及土石流等異常天候資訊以及災害發生時之交通管理服務功能。
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	自然災害的預警可透過大範圍的區域訊息廣播來達成，尤其是當自然災害發生時，受影響的交通狀況地點(如道路坍方)可以緊急裝設災害廣播設施，或由位於災害發生地點的災害處理車輛進行災害的通報與廣播。MANET 對於區域性的災害通報有相當程度的助益，由於用路人透過 MANET 提早得知可能遭遇的災害或災害發生點，能夠提高用路的安全性，並可以依照狀況改道行駛，避開災害發生地點鄰近的擁塞現象。如同緊急事故處理之救援車輛調度與派遣，自然災害的排除與處理車輛間，亦可透過 MANET 動態建立車間語音與數據通訊網。

7. 先進車輛控制與安全服務之適用性評估：

服務名稱	USR-7.1:縱向防撞
功能簡介	提供縱向防撞系統之服務
適用性	低度適用(Low Feasibility)
分析與評估	縱向防撞系統多半利用雷達或短距無線通訊技術進行縱向車況與路況偵測，並於車機系統內彙整相關資料後提出警訊；MANET 雖然能夠輔助車機系統取得較大範圍的路況與車況資料，但由於遠處的路況與車況資料對於碰撞防護來講不具備其緊急的程度，因此 MANET 在此項使用者服務的助益有限。

服務名稱	USR-7.2:側向防撞
功能簡介	提供側向防撞系統之服務
適用性	低度適用(Low Feasibility)
分析與評估	側向防撞系統多半利用雷達或短距無線通訊技術進行縱向車況與路況偵測，並於車機系統內彙整相關資料後提出警訊；MANET 雖然能夠輔助車機系統取得較大範圍的路況與車況資料，但由於遠處的路況與車況資料對於碰撞防護來講不具備其緊急的程度，因此 MANET 在此項使用者服務的助益有限。

服務名稱	USR-7.3:路口防撞
功能簡介	提供路口防撞系統之服務
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	防撞系統所使用的雷達或感知設備多半屬於直線偵測，對於路口多位向的複雜交通狀況，除了需要多方向的偵測技術外，透過各路口的路況資訊以及鄰近車輛的車況資訊進行彙整與評判，亦可取得有效的防撞警訊。這些動態且即時的資料交換與網路建構工作，適合運用 MANET 來達成；由於短距無線通訊或無線區域網路的涵蓋範圍較小，透過 MANET 來蒐集較大範圍的車況路況資訊，可提高路口防撞警訊的有效性，並提早辨別可能發生的危安狀況(如垂直方向高速行駛之車輛到達)。

服務名稱	USR-7.4:視覺改善
功能簡介	提供視覺改善之服務
適用性	低度適用(Low Feasibility)
分析與評估	視覺改善服務多半數於對車體本身視覺死角，或是路況視覺死角的改善服務，為於車外的監控設備可使用無線通訊技術將監控的視覺內容傳達至需要的鄰近車輛上；MANET 可提供較遠監控設備的資訊傳輸通道，然而對於車輛控制相關之視覺改善服務等，遠處的監控視訊較不具參考價值。

服務名稱	USR-7.5:安全準備
功能簡介	提供自動化車況偵測與安全系統之服務
適用性	低度適用(Low Feasibility)
分析與評估	此處的安全準備服務多半透過車機本身的監視與處理系統來達成，MANET 可用以作為車輛狀況與駕駛人狀況等資訊之上傳通道，然而透過上傳於監控中心所進行之安全準備服務，可能不具即時性與有效性。

服務名稱	USR-7.6:碰撞前安全防護
功能簡介	提供電腦化車內防護設備之啟動的服務
適用性	不適用(Infeasible)
分析與評估	車內防護設備之啟動發生在碰撞初期，並沒有無線通訊服務的需求，因此 MANET 在此服務並不適用。

服務名稱	USR-7.7:自動車輛駕駛
功能簡介	提供自動化行車控制系統
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	自動車輛駕駛除了需要智慧化的車輛控制系統外，並需要與自動公路上路側設施進行密集地資料交換；MANET 可以擴大與路側設施進行資料交換的區域範圍，並可與其他自動車輛進行車間通訊，取得鄰近的路況與車況資訊，作為自動化行車控制系統的參考數據與資訊。

8. 弱勢使用者保護服務之適用性評估：

服務名稱	USR-8.1:行人/自行車騎士安全
功能簡介	提供行人及自行車騎士安全維護之服務
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	行人或弱勢用路人的路徑引導可利用旅行人行動設備與鄰近車輛、路側設施之間建立之 MANET 進行資料交換，以提供動態的引導服務與安全警訊；由於傳統上使用短距通訊技術提供安全警訊時，安全的威脅已經相當接近，若使用 MANET 不但擴大評判安全警訊的範圍，旅行人行動設備亦可透過訊息廣播方式提供危安車輛駕駛人注意該弱勢用路人的存在，以降低安全事故發生的機率。

服務名稱	USR-8.2:機車騎士安全
功能簡介	提供機車騎士安全維護之服務
適用性	中度適用(Moderate Feasibility)
分析與評估	除了機車本身的避碰偵測系統外，機車騎士在可行的狀況下，亦可安裝智慧型的車機系統，藉由 MANET 蒐集鄰近的車況與路況資訊，以提高騎乘之安全性；MANET 同樣可用於安全事故發生時的通報，提高事故通報與處理的效率。

## 9. 資訊管理服務之適用性評估：

服務名稱	USR-9.1:資料蒐集彙整
功能簡介	提供歸檔資料蒐集彙整服務
適用性	低度適用(Low Feasibility)
分析與評估	歸檔資料之蒐集與彙整有別於交通管理系統等原始交通資料的蒐集，因此資料蒐集的傳輸路徑多半是與路側單元或專屬控制中心與 ITS 資料中心間的資料交換，而屬於固定點、有線的資料傳輸模式。MANET 所輔助的部分是原始交通資料的蒐集，除了特殊的需要外，MANET 對於歸檔資料之蒐集較無助益。

服務名稱	USR-9.2:資料歸檔
功能簡介	提供資料歸檔的服務
適用性	不適用(Infeasible)
分析與評估	資料歸檔的服務屬於資料中心內部作業，若採用分散式資料庫管理技術時，其傳輸通道亦屬於有線傳輸，而沒有無線傳輸的需求，是故 MANET 對於此服務並不適用。

服務名稱	USR-9.3:歸檔資料管理
功能簡介	提供歸檔資料的管理服務
適用性	不適用(Infeasible)
分析與評估	歸檔資料的管理服務屬於資料中心內部作業，沒有無線傳輸的需求，MANET 對於此服務並不適用。

服務名稱	USR-9.3:歸檔資料應用
功能簡介	提供歸檔資料的應用服務
適用性	不適用(Infeasible)
分析與評估	歸檔資料的應用服務屬於組織間資料分析與應用需求的管理服務，並沒有無線傳輸的需求，MANET 對於此服務並不適用。

根據 ITS 系統中 35 項使用者服務對於行動廣域免基地台式無線電系統的適用度分析與評估，我們可以歸納出我國所規劃之 ITS 系統，在整體上是否適合利用行動廣域免基地台式無線電系統來增加其效能。如圖 3-4 所示，本研究對於 35 項使用者服務之適用性分析，依照不同評等與不同服務領域的適用度統計結果如下：

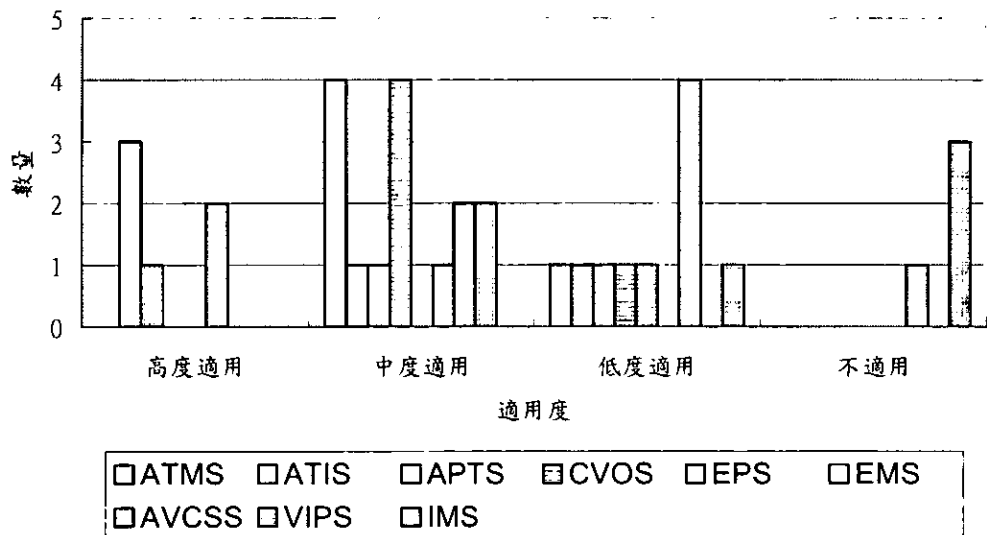


圖 3-4 ITS 使用者服務適用度分析統計圖表

根據圖 3-4 之統計數據，使用者服務對於行動廣域免基地台式無線電系統之適用度屬於中度適用者數量最多，共計 15 項，表示使用行動廣域免基地台式無線電系統可以有效輔助我國目前對於 ITS 系統之功能規劃，提昇其功能與效率，而非全然取代我國目前對 ITS 系統之通訊技術組合與平台規劃。由於部分 ITS 使用者服務需要涵蓋率較廣，並且可靠度較高的通訊服務，對於 ITS 之通訊平台規劃而言，蜂巢式廣域行動通訊系統還是有其存在的必要；部分屬於低度適用的使用者服務(共 10 項)，多半使用現行技術如短距無通訊技術、無線區域網路等，已可滿足其通訊需求，但對於若干使用者服務，主要包括緊急事故處理方面，以及隸屬於區域性訊息廣播服務等，特別適用於行動廣域免基地台式無線電系統，經由動態自行組織之無線網路，增進事務處理與調度的聯絡管道，或作為成本低廉的資訊傳輸通道，這些共計 6 項高度適用之使用者服務，實應進一步研發適用之行動廣域免基地台式無線電系統，以有效提高該服務的效能。至於隸屬於不適用的使用者服務(共 4 項)，均屬於本身不具備資料傳輸需求的使用者服務，是故不影響行動廣域免基地台式無線電系統應用在其他 ITS 服務之相關考量。

本研究所探討之行動廣域免基地台式無線電系統乃是利用目前較為廣泛使用之無線區域網路技術加以擴充其功能，因此並不違背原先我國對於 ITS 通訊平台的規劃，根據適用度的分析可知，超過半數的 ITS 使用者服務可藉由行動廣域免基地台式無線電系統增進其效益，因此對 ITS 系統整體而言，應用行動廣域免基地台式無線電系統應可作為 ITS 相關通訊與應用技術的研發方向。

## 3.2 行動廣域免基地台式無線電系統應用在智慧型運輸系統之成本分析

成本分析工作的進行能夠有效輔助智慧型運輸系統的規劃與建構，對於廣域免基地台式無線電系統應用於智慧型運輸系統之評估，除了在功能與技術上的考量外，在研發與建置成本上的評估也是極為重要的工作。此處的成本分析其主要的目的包括兩項：(1)藉著成本分析的結果，提出在系統建置、設備製造、以及系統營運與維護的整體性成本評估，用以輔助政府或產業界進行相關技術研發與建置的策略規劃；(2)透過成本分析工作的進行，發展出一套適用於研究主題之成本評估模式或方法學，以利日後系統建置者進行更為深入的系統成本分析與評估。

成本分析的內容大致尚可分為對於系統內各單元的成本特性評估，以及量化(quantitative)之子系統建置成本、設備成本、營運成本等綜合計算與評判。由於本研究所探討之廣域免基地台式無線電通訊技術與車機系統等上處於研發或雛形階段，因此現階段較難以從量化的成本因子進行分析；本研究之期中報告首先針對廣域免基地台式無線電通訊技術的成本特性進行評估，以作為其應用在智慧型運輸系統之評估依據。

為了有效進行系統化的成本評估，並為將來可能需要之量化成本分析工作，本研究參考美國交通部(U. S. DOT)公布之技術文件 EDL#5398 [57]以及相關文獻，歸納系統化之成本分析與評估的方法，以作為成本分析之依據。

### 3.2.1 成本分析方法

對於智慧型運輸系統之成本分析，最為直觀的方法就是對整個系統的建置與營運成本做系統化的評估與計算，其中最為基本的即為設備成本的定義(equipment package definition, EPD) [57]；EPD的內容主要是對特定系統單元或設備的相關成本量化參數之定義，這些參數可能包括：

1. 設備或產品在一定時間內估計銷售的數量
2. 應用產品內的軟體成本
3. 維護產品所需要的工具或測試儀器成本
4. 產品回收的成本
5. 產品定價策略

這些量化的參數需要參考設備與生產商的實際情況訂定，特別適用於對車機系統的成本分析。除了 EPD 的訂定與系統建置的成本分析外，還可透過預先假設之系統營運劇本(scenarios)，來估算系統營運時，在不同營運狀況下所需要的營運成本；這些營運劇本可以根據地域性加以區分，如都會區(urban)、郊區(suburban)、鄉村(rural)等，亦可以時間區間加以區分，如上下班的尖峰時間與一般時間等。總括而言，智慧型運輸系統的成本分析流程包括以下數項：

#### 1. 定義 ITS 系統之現有基礎

成本分析必須根據現有的基礎，計算所需要增加其功能與設備，才能準確地判斷所需要付出的成本。這些現有的基礎可能包括現有的

信號處理技術、交通控管設備之能力與限制、資料傳輸設備、緊急處理設備、以及路側設備與通訊網路基礎建設等。

## 2. ITS 市場商品的選擇

確定 ITS 使用者服務所提供之種類，以及所需要 ITS 各項子系統所配合的功能，並根據不同等級的使用者，提供不同的服務內容，以及對應之服務成本。

## 3. 查驗所需要使用的設備

針對特定的市場商品或服務，探討提供該服務時所需要的設備與系統單元等；這些服務與設備的對應關係可先行整理成為適當的工作表後供成本分析時查詢使用。

## 4. 查驗單位成本

分析提供特定 ITS 服務時所需要之設備元件單位成本。

## 5. 評估建置系統之規模

針對特定區域評估所需要的設備數量、市場規模、以及時間點。

## 6. 成本量化分析

根據所要提供的 ITS 商品或服務內容，以及已查驗的單位成本和所評估之系統建置規模，並根據這些分析項目的量化參數，計算其所需要的成本。這些成本可分類為非例行性(non-recurring)的成本，如路側單位與車機系統的建置；或是例行性(recurring)的成本，如交通資訊查詢的費用。

## 7. 建立設備套裝之成本支出表

針對特定之數項 ITS 服務，提出結合多項設備元件之設備套裝(equipment package)，並根據服務內容與元件種類計算該套裝之成本支出，最後把不同的設備套裝之成本支出整理成表。

## 8. 分析產品套裝之成本支出

根據設備套裝之成本支出表進行彙整，計算 ITS 商品套裝所需要的成本支出。

從系統生命期的角度來觀察，更可以依照成本投入的系統階段加以分析，輔以財貨(成本)屬性的界定，進一步評估 ITS 系統在不同系統生命期與時間點、以及不同使用者與組織，所需要負擔的成本[2]。這樣的成本分析過程將有助於政府或相關產業訂定適當的發展時程與預算，提高建置的效率與成功率。

### 3.3.2 廣域免基地台式無線電通訊系統應用於 ITS 之初步成本分析

根據第 3.2.1 節的成本分析方法說明，成本分析的基礎在於系統及終端設備的建置或生產成本、資料傳輸與提供的成本、甚至市場的定價策略等。然而本研究所探討的課題在於利用廣域免基地台式無線電技術，應用於智慧型運輸系統之評估；由於現階段的廣域免基地台式無線電技術尚處於研發階段，本研究雖然同時進行系統的模擬與實際量測，但使用之終端設備或應用服務仍處於研發階段，其相關系統單元或設備的成本評估並無法有效反應將來的實際情況，因此本研究首先針對廣域免基地台式無線電技術之成本特性，進行整體性的探討與比較，作為在進行 ITS 系統規劃階段成本評估課題之參考。

根據國內外對於 ITS 系統之通訊技術組合的研究與發展趨勢[1]，ITS 系統的無線接取網路可大致分為無線數位廣播(DAB, DVB, e.t.c.)、蜂巢式行動通訊系統(GSM/GPRS, 3G cellular network, e.t.c.)、以及短距無線通訊技術(ADSR, IEEE 802.11 WLAN, PHS, e.t.c.)，其中在短距無線通訊技術的應用模式上多半規劃使用所謂 hot-spot 的系統運作模式，也就是當行動台進入短距通訊路側設施(beacon)的訊號涵蓋範圍內，才能進行頻寬較高的資料傳輸。本研究特別針對這些通訊技術之成本特性與效能與廣域免基地台式無線電技術進行比較，並針對 ITS 應用服務中不同之系統運作模式，進行整體性的成本分析與評估；本研究初步之成本分析，主要分為三項適用於廣域免基地台式無線電技術的重要服務類別與運作模式進行探討，茲將相關的比較與分析說明於下：

#### 1. 車間通訊與行車輔助系統之成本分析

利用車間通訊進行行車輔助服務，如鄰近道路與車況資訊提供、車輛避碰等，相當適合利用短距通訊與廣域免基地台式無線電技術來進行行動車機系統間的資料交換。傳統上使用數位廣播進行路況資料的提供，並無法有效反應即時(real-time)的路況，並需要透過路側的人員、感知設備(sensor)或信號柱進行交通資料的蒐集，耗費較大的資料蒐集成本；若是利用蜂巢式行動通訊系統作為車間通訊的資料傳輸通道，則需要負擔較大的資料傳輸服務費用，並且僅限於使用相當有限的頻寬。使用廣域免基地台式無線電技術進行車間通訊與行車輔助服務，不但不需要負擔頻寬使用費，並可以透過車機間的資料交換，歸納出行車區域道路系統的路況，而不需要耗費交通資料蒐集的成本；相較於傳統的短距通訊技術而言，廣域免基地台式無線電技術利用跳接式的資料傳輸模式，可將資料交換的區域擴大為較為廣闊的區域，而非僅涵蓋單一天線所能到達的範圍(picocell)，因此能夠提供更具價值的交通資訊服務(如數公里前方的交通壅塞或事故等警訊的告知)。

#### 2. 區域性的訊息廣播服務之成本分析

區域性的訊息廣播服務多半運用在對行動車機或旅行者，提供與區域相關的資訊提供(如旅遊景點介紹)，或是區域性的廣告訊息(如附近的特惠活動)，甚至是提供一般使用者的訊息廣播服務(如區域尋人)。傳統上的區域訊息廣播乃是以特定的區域基地台為中心，將訊息傳送給該基地台涵蓋範圍內的所有行動設備；蜂巢式行動通訊



系統所提供之區域性的訊息廣播服務具有較大的涵蓋範圍，但是卻需要收取訊息傳送的费用，而短距無線通訊技術的基地台涵蓋範圍太小，若要達成具備商業價值的區域性的訊息廣播服務，密集性地增加基地台數目是必須且耗費建置與維護成本的作法；運用廣域免基地台式無線電技術不但提供免費的訊息廣播通道，並可在不增加路側基地台的條件下，擴大訊息廣播的範圍，無論在功能特性上、傳輸頻寬與成本考量上、以及路側設備的建置與維護成本上，都較其他通訊技術具備優勢。

### 3. 使用者之通訊與資訊服務之成本分析

在 ITS 系統之整體規劃下，除了車間通訊之應用服務外，大部分的 ITS 通訊與資訊服務乃是透過行動台與 ITS 服務中心、資料中心等，進行資料的交換與提供。依照過去相關研究的規劃，使用者通訊與資訊服務的資料上傳(uplink)多半透過蜂巢式行動通訊系統作為傳輸通道，而資料的下傳(downlink)可以經由數位廣播或是同樣透過蜂巢式行動通訊系統來達成；在成本的考量下，相對於短距無線通訊技術，使用蜂巢式行動通訊系統作為資料傳輸通道需要較高的資料通訊成本，導致服務費用過高而不易在一般消費性市場上推行。為了解決資料傳輸成本過高的問題，使用路側信號柱與行動台的短距無線通訊設備進行資料交換是有效的解決方案，然而相較於蜂巢式行動通訊系統較為廣大的涵蓋範圍，僅使用路側信號柱以 hot-spot 的方式建立行動台與 ITS 服務中心之傳輸通道，不但有訊息涵蓋範圍不足、建置路側設施成本過高的問題外，還有許多技術上的課題需要加以解決，如高速且頻繁的基地台換手問題、行動繞送(mobile routing)機制等，這些課題會進一步增加系統運作的複雜度與研發建置成本。廣域免基地台式無線電技術實為在成本與技術考量下，良好的解決與替代方案；廣域免基地台式無線電技術透過自行組織的動態繞送機制，建立涵蓋範圍較為廣闊，並具有較高頻寬的無線接取網路，由於短距無線通訊技術藉此擴大的資料傳輸涵蓋範圍，路側信號柱或基地台所需要的密集度可大幅降低，省卻了大量的設備建置與維護成本，也降低了網路端換手與繞送變更之頻率，更重要的是，在資料傳輸頻寬增加的同時，資料傳輸的费用同時得到節約，相較於蜂巢式行動通訊系統建立之資料上下傳通道，廣域免基地台式無線電技術應用於 ITS 通訊與資訊服務取得了雙贏的優勢。

為了清楚說明上面所提及的成本分析結果，本研究根據相關通訊技術與運作模式之成本特性進行比較，並從路側單元等系統建置成本、行動終端設備成本、系統營運與維護成本、資料通訊成本等角度加以分析與評估，作為規劃 ITS 系統相關通訊技術與設備的參考。如表 3-5 所示，根據不同的 ITS 應用服務與通訊系統運作模式，相關的成本分析與評估結果示列於下：

表 3-5 廣域無基地台無線電通訊系統應用於智慧型運輸系統之成本分析與評估

ITS 服務	使用之通訊技術與運作模式	系統建置成本	終端設備成本	系統營運成本	資料通訊成本	備註
車間通訊與行車輔助系統	數位廣播(提供服務中心下傳行車輔助資訊之通道)	高	低	中等 (資料蒐集成本較高)	低	無法進行即時性車間通訊
	使用蜂巢式行動通訊系統作為車間通訊之傳輸通道	高 (但現已有基礎建設)	中等	中等	高	
	利用短距無線通訊技術	無	中等	低	低	訊息涵蓋範圍小
	利用廣域免基地台式無線通訊技術	無	中等	低	低	
區域性訊息廣播服務	利用蜂巢式行動通訊系統基地台作為廣播中心	高	中等	中等	高	
	利用短距無線通訊技術建立無線區域網路	中等 (需要在特定區域建置密集的基地台)	中等	低	低	
	利用廣域免基地台式無線通訊技術	低	中等	低	低	
使用者通訊與 ITS 資訊服務	使用蜂巢式行動通訊系統搭配數位廣播技術	高 (但現已有部分基礎建設)	高 (需使用整合型終端設備)	中等	中等	
	使用蜂巢式行動通訊系統作為資料上下傳之傳輸通道	高 (但現已有基礎建設)	中等	中等	高	
	利用短距無線通訊技術廣設路側信號柱	高	中等	高 (設備維護成本過高)	低	
	利用廣域免基地台式無線通訊技術	中等	中等	中等	低	

## 4 廣域無基地台式無線通訊技術之頻譜與輻射強度對人體之影響分析

### 4.1 電磁生物效應回顧

微波頻段的電磁波屬於非游離性電磁輻射，亦即其單光子能量( $hf$  焦耳， $h = 1.054 \times 10^{-34}$  焦耳·秒為浦朗克常數， $f$  為頻率，單位為 Hz)遠小於游離人體內各種原子和分子所需的能量(在 12.5-25 電子伏特或  $2.4 \times 10^{-18}$  焦耳之間；亦即，游離輻射的最低頻率約為  $3 \times 10^{15}$  Hz)。非游離性輻射的此一特性顯示微波頻段的電磁波不太可能(unlikely)直接使人致癌。

非游離性電磁輻射對人體所產生的作用中已為科學界所確立的包含低頻的「感電作用」及高頻的「加熱作用」。在 100 MHz 以下人體組織具有導電作用，外來的電磁場可於人體內感應生成電流(離子的運動)，其作用機轉可由法拉第及歐姆定律解釋。感應電流若大於人體生理運作所自生的電流，即有可能干擾生理電氣機能，其嚴重者甚可造成心臟麻痺或電灼傷等急性健康危害(acute health hazard)。

在 10 MHz 以上，人體組織屬於有損介質(lossy dielectric)，外來的電磁場可造成分子的極化，加速分子間的摩擦而將電磁能量轉化為熱能，進而可能影響人體溫度調節機能。以全身性曝露為例，若全身組織以 4 W/kg 的速率吸收電磁能量(此一「比吸收率(Specific Absorption Rate, 簡稱 SAR, 單位為 W/kg 或 mW/g)」約與以 5 公里時速走路的人體內的新陳代謝率相當)，並持續 30 分鐘以上，則體溫可上升攝氏 1 度(約相當於感冒發燒的症狀)，使人陷入神智不清或昏迷狀態。其它已知的熱效應包括白內障、精子生成能力降低、和微波聽覺效應等。在微波頻段，電磁波滲透人體的能力隨頻率增高而降低；10 GHz 以上，則僅需考慮淺層皮膚的熱效應。

除上述與體溫顯著上昇有關的「熱效應(thermal/heating effects)」之外，也有少數研究宣稱在溫度無顯著改變的狀況下觀察到一些與人體健康可能有關或可能無關的生物效應發生；這些通常被稱為「非熱或無熱效應(athermal or nonthermal effects)」。整體而言，這方面的研究不是欠缺合理的理論依據，研究過程有瑕疵，研究結果無法由其它研究團隊予以獨立驗證，就是在其它研究人員的監督下無法重複獲得先前的研究數據。因此，從科學證據的審查標準來看，安全標準的制定很難將這些被宣稱可於低準位的電磁場環境下發生的「非熱或無熱效應」納入考量。

有關高頻電磁波與人體健康的研究非常多，附錄 A 和 B 提供兩份對相關科學文獻審查報告的總結。附錄 A 為英國衛生部委託 Sir William Stewart 所組成的 The Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP)於 2000 年所公佈的調查報告的總結內容[69]。附錄 B 則為英國國家輻射防護局(UK National Radiological Protection Board, 簡稱 NRPB)委託 Prof. Anthony Swerdlow 所主持

的 Advisory Group on Non-ionising Radiation (AGNIR)於 2003 年所公佈的調查報告的總結內容[70]。

## 4.2 現行電磁場安全曝露標準回顧

上述各種熱效應有明確的作用機轉理論加以支撐，並可據以設計相關的生物醫學實驗取得實驗數據的驗證，其證據份量可為科學界所接受，並據以作成現行電磁場安全曝露標準。

上述各種熱效應有明確的作用機轉理論加以支撐，並可據以設計相關的生物醫學實驗取得實驗數據的驗證，其證據份量可為科學界所接受，並據以作成現行電磁場安全曝露標準。

世界衛生組織(WHO)有鑑於世人對電磁場曝露安全的關切，於 1996 年起發起一個為期 10 年的「國際電磁場計畫(International EMF Project)」以統合各國的研究能量，期能對這個議題提供較完整的認識[41]。其中有關安全曝露標準的制定係委由「國際非游離輻射防護委員會(ICNIRP)」負責。1998 年 ICNIRP 公告全世界第一份 0 Hz 以上至 300 GHz 之間完整的電磁場曝露準則[40]，次年歐盟執委會並以建議案型式責成其會員國以其為基準制定各國的安全曝露標準[42]；我國環保署亦採用其中的「一般民眾」曝露類別的規範於民國 90 年 1 月公告我國第一份「非游離輻射環境建議值」[43]。此一建議值適用於全身性曝露狀況時的電場強度、磁場強度、或等效平面波功率密度；建議值所允許的最大曝露值依頻率而定。

在與局部性曝露有關的行動電話手機方面，主管機關交通部電信總局則採用美國聯邦通信委員會(FCC)對頭部比吸收率的管制標準(即每一公克組織的平均比吸收率不得超過 1.6 W/kg)[38]；比吸收率的規範不隨頻率改變。表一的數據顯示此一標準比 ICNIRP 及歐盟的標準(即每十公克組織的平均比吸收率不得超過 2.0 W/kg)嚴格[68]。

對非定點安置的無線電波發射裝置(如行動電話手機)以及雖屬定點安置但卻可輕易移動的無線電波發射裝置(如無線區域網路卡)，視其正常操作時發射天線與使用者或其周遭人體的最近距離是大於或小於 20 公分而定，FCC 將裝置分類為「行動式裝置(Mobile Device)」或「可攜式裝置(Portable Device)」；最新的澳洲 ACA 標準亦採相同的裝置分類方式。

在美國，符合下列操作條件的行動式或可攜式裝置皆需列管，亦即廠商或代理商向 FCC 申請 Equipment Authorization 時，皆得執行「環境評量(Environmental Evaluation)」，並確保其對人體所可能造成的最大曝露不得超過 FCC 所制定的電磁場安全曝露標準[38]：(1)發射頻率低於 1.5 GHz，有效輻射功率(ERP)高於 1.5 W；或(2)發射頻率高於 1.5 GHz，有效輻射功率高於 3 W。

澳洲的列管條件則為：(1)發射頻率介於 300 kHz 和 100 GHz 之間，平均發射功率(= Peak Envelope Power x Duty Factor；Duty Factor 小於 5%者以 5%計算)高於 20 mW，其使用距離離人體不到 2.5 公分者；(2)使用距離離人體不到 20 公

分者，其發射頻率在 0.1-450 MHz 之間且平均發射功率大於 1.4 W，或發射頻率在 450-2500 MHz 之間且平均發射功率大於 630/fMHz W 者(例：2500 MHz 的列管條件為平均發射功率需大於 0.25 W)；或(3)使用距離離人體 20 公分以上，其發射頻率在 0.1-450 MHz 之間且平均發射功率大於 1.4 W 者，或發射頻率在 450-2500 MHz 之間且平均發射功率大於 630/fMHz W 者。符合列管條件(1)或(2)的可攜式裝置必需滿足如表 4-1 所示的局部性曝露比吸收率規範。符合列管條件(3)的行動式裝置必需滿足澳洲 ARPANSA 所設定的電場強度、磁場強度、或等效平面波功率密度的「參考準位(Reference Levels)」規定；與我國環保署、歐盟、紐西蘭一樣，此一標準完全依據 ICNIRP 的 1998 年準則。

行動式裝置正常需符合於全身性曝露狀況時 FCC 所設定的電場強度、磁場強度、或等效平面波功率密度的「最大允許曝露(MPE)」極限。在 2450 MHz 頻段，FCC 的 MPE 極限與 ICNIRP(歐盟、我國環保署及交通部電信總局及世界上大部份的國家)標準相同(一般民眾或非受控環境的等效平面波功率密度不得超過 1.0 mW/cm<sup>2</sup>)。行動式裝置亦可選用比吸收率極限的規範，但場強或等效平面波功率密度的評量通常比較簡單和經濟。

可攜式裝置則需符合局部性曝露狀況比吸收率極限的規範，亦即受曝露區域內任一公克(約為 1 立方公分正方體體積內組織的質量)組織的比吸收率的平均值不得超過 1.6 W/kg。如前所述，比吸收率極限不隨頻率改變，但與人體曝露範圍的大小有關。在局部性曝露方面，電信總局所引用的美國 FCC 的規範比歐盟、日本與紐澳等國家的現行規範都要嚴格。

符合 47 CFR §15.247 條規定[39]，操作頻段為 902-928 MHz、2400-2483.5 MHz、或 5725-5850 MHz，的跳頻或直接序列展頻發射裝置(如符合 IEEE 802.11 序列標準的無線區域網路裝置)的操作功率通常較低(在頻譜規劃時，這類裝置的最大發射功率已被限制在可滿足 47 CFR §15.249 對「意圖輻射源(Intentional Radiator)」的「輻射性放射(Radiated Emissions)」的規定；亦即在不致於造成電磁干擾狀況下，所允許的最大發射功率)，理論上它們符合安全曝露標準的可能性很高，因此，它們被歸類為「categorically excluded from routine environmental evaluation」，簡言之，「不受列管(Exempted)」的器材。這類裝置原則上並不需執行前述的例行性環境評量(亦即，產品上市銷售前並不需要執行 SAR 或 MPE 測試；澳洲的規範亦同)，但仍需確保不致對使用者和其周遭民眾造成過度曝露。為確保這點，FCC OET Bulletin 65, Supplement C, Section 3 提出如表 4-2 所列的一些指導性評量原則。

表 4-1 「一般民眾」曝露類別比吸收率極限比較

國家	澳洲 ACA	美國 FCC	歐盟 ICNIRP	日本 MPTC	紐西蘭
規範	ARPANSA	C95.1	EN50361	ARIB	NZS 2772.1
全身性曝露	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.04 W/kg	0.08 W/kg
局部性曝露	2 W/kg	1.6 W/kg	2 W/kg	2 W/kg	2 W/kg
平均時間	6 min	30 min	6 min	6 min	6 min
計算局部性曝露所使用的平均組織質量	10 g cube	1 g cube	10 g cube	10 g cube	10 g cube

註：「職業性」曝露的極限比「一般民眾」曝露極限寬鬆 5 倍。電信總局現行標準與美國 FCC 相同。

表 4-2 FCC 所建議確保展頻發射裝置符合安全曝露規範的適用方法。

發射裝置或器材類別	等效均方性輻射功率(EIRP)	確保符合安全曝露規範的適用方法
無線電話手機及大部份以單極或偶極型天線為其整體構造的一部份的其它類型發射裝置。	$\leq 0.3 \text{ W at } 915 \text{ MHz}$ 或 $\leq 0.2 \text{ W at } 2450 \text{ MHz}$	這些發射裝置通常並不被預期會超過 MPE 極限( $0.61 \text{ mW/cm}^2$ at 915 MHz, $1.0 \text{ mW/cm}^2$ at 2450 MHz)；正常無需透過特別說明或警告標識的方式來確保符合安全曝露規範。
隨身攜帶或操作時離使用者本人或鄰近人體不到 5 公分距離的無線電話手機及其它類型發射裝置。	$> 0.3 \text{ W at } 915 \text{ MHz}$ 或 $> 0.2 \text{ W at } 2450 \text{ MHz}$	通常當 EIRP $> 300 \text{ mW}$ ( $200 \text{ mW}$ at 2450 MHz)時，MPE 和/或 SAR 極限被超過的可能性視天線的設計與裝置操作條件而定。 警告說明或標識或可用來限制曝露時間和/或條件以確保符合安全曝露規範。然而，製造商若認為這類的警告說明和標識並無法有效的讓使用者保持可確保符合安全曝露規範的最短距離時，該裝置即有可能需要展示確可符合 SAR 極限的規範；尤其是當輸出的 EIRP 高於 400-500 mW 時。

表 4-2(續)

<p>以單極或偶極型天線為其整體構造的一部份的發射裝置，離使用者本人或鄰近人體的正常操作距離在 5-20 公分之間。</p>	<p>&gt; 0.3 W at 915 MHz 或 &gt; 0.2 W at 2450 MHz</p>	<p>使用手冊內以操作或警告說明顯示天線與鄰近人體所需保持的最小距離以避免長期以短於可能超過 MPE 極限的距離接受曝露。 當操作或警告說明效果不彰時，或有需要於發射單元張貼警告標識以警告鄰近的人限制其曝露時間和／或條件來確保符合安全曝露規範。若製造商不欲使用警告標識，評量裝置的 MPE 或 SAR，即使這些規範並非必要，或可用來展示該裝置確實符合安全曝露規範以排除使用警告標識的必要。</p>
<p>使用包含全向性、塊狀、對數、拋物面反射器和碟形天線等外接天線的發射裝置。室外運轉時，天線通常係安裝在偏遠地點如大多數建物離鄰近人體至少 20 公分的屋頂或外牆。</p>	<p>&gt; 2.5 W at 915 MHz(1.5 W ERP)  &lt; 2.5 W at 915 MHz 或 ≤ 4 W at 2450 MHz</p>	<p>由專業人員安裝：提供安裝人員說明以提示發射裝置／天線與鄰近人體確保符合安全曝露規範所需的距離，並告知安裝人員應透過適當的安裝以確保符合安全曝露規範。這類運轉方式宜由專業人員安裝。然若由最終使用者自行安裝時，製造商應提供某些必要的額外資訊以允許不具專業技術者能適當的完成可確保符合安全曝露規範的安裝。915 MHz 的發射裝置所用的 EIRP 小於 2.5 W(1.5 W ERP)，或 2450 MHz 時 EIRP 小於 4 W(2.4 W ERP)，當鄰近人體離大部份類型的天線距離在 20 公分以上時，通常並不致於超過 MPE 極限；正常無需透過特別說明或警告標識的方式來確保符合安全曝露規範。</p>

表 4-2(續)

<p>採用室內天線且操作距離離鄰近人體在 20 公分以上的發射裝置。</p>	<p>2.5 W at 915 MHz (1.5 W ERP)                   &lt; 2.5 W at 915 MHz 或                  ≤ 4 W at 2450 MHz</p>	<p>若 MPE 距離大於裝置正常操作所需距離時，或可利用操作說明、警告說明、和／或警告標識提示符合 MPE 極限所需最短距離的方式來確保符合安全曝露規範。                  若天線係由專業人員安裝且確可符合安全曝露規範，則無需警告說明和警告標識。                  915 MHz 的發射裝置所用的 EIRP 小於 2.5 W(1.5 W ERP)，或 2450 MHz 時 EIRP 小於 4 W(2.4 W ERP)，當鄰近人體離大部份類型的天線距離在 20 公分以上時，通常並不致於超過 MPE 極限；正常無需透過特別說明或警告標識的方式來確保符合安全曝露規範。</p>
<p>採用高增益天線供室內或室外運轉的發射裝置。</p>	<p>&gt; 4 W at 2450 MHz</p>	<p>若天線主波束範圍內可能超過 MPE 極限，或可利用前述的安裝程序、警告說明和／或警告標識提供專業安裝人員和最終使用者提示應將天線主波束指向無人員佔用的區域，並警告其它人應與天線保持一定的最短距離，來確保符合安全曝露規範。</p>



## 5 廣域免基地台式無線電系統之系統效能軟體模擬與分析

根據本研究的規劃，對於 MANET 的系統效能的模擬與量測，其實體層與資料鏈結層乃是以現行無線區域網路(wireless LAN, WLAN)以及 IEEE 802.11b 協定為基礎。選用 WLAN 與 IEEE 802.11b 的主要原因在於設備與系統整合較為容易，以便於在短時間內對 MANET 其他效能進行研究與實驗；此外，使用 WLAN 技術作為 MANET 實體層技術亦是國際趨勢；使用 WLAN 技術作為 MANET 資料通訊的基礎雖然有若干問題需要克服[58]，不過由於 WLAN 技術的成本低廉、技術成熟度高、並已考慮 ad hoc 傳輸模式，相當適用於作為車機與行動設備進行 MANET 傳輸模式的基礎。本章節分成三個小節。首先，第 5.1 節探討 WLAN 技術應用在 ad hoc 傳輸模式與 MANET 跳接傳輸等相關文獻的效能量測結果，以作為本研究進行模擬與實測的參考。第 5.2 節將介紹本研究自行研發的網路模擬軟體 NCTUns 1.0，包含此軟體的基本功能介紹，以及本年度為了模擬與分析廣域免基地台式無線電系統，所作的功能增進與各項設計。節 5.3 將闡述本計畫針對廣域免基地台式無線電系統的系統資料傳輸速率與訊息傳播延遲所進行的研究。節 5.4 提出本雛形系統之效能評估。關於 MANET 實地量測的結果與效能分析，將詳述於第 6 章。

### 5.1 以 WLAN 為基礎 MANET 相關效能報告

國際上針對 WLAN 及 IEEE 802.11 為基礎的效能量測與分析多半著重於室內(indoor)與工業生產等環境[59]，對於 ITS 所應用的環境較為有限。ITS 之行動通訊環境除了強調在車機間的絕對速度與相對運動外，還包括了室外不同特性的傳輸環境。本研究主要在於探討 MANET 應用在 ITS 系統的適用性，因此不論是效能模擬或是實地測試均以車流模式與室外環境為主，因此國際上對於 WLAN 的室內傳輸效能相關報告並不適於全然作為評估 MANET 應用在 ITS 系統的基礎。

為了進行 WLAN 在室外環境的傳輸效能，文獻[60]中使用傳輸通道模擬器(channel emulator)來模擬不同無線網卡間的傳輸通道；使用傳輸通道模擬器的優點在於能夠有效控制特定的通道特性如相對速度造成的都普勒效應(doppler effect)或是傳輸延遲的分散程度(delay spread)等。總括而言，WLAN 網卡的資料傳輸速率會隨著相對速度的增加與傳輸延遲分散的增加而降低其效能，其主要原因在於封包漏失率(packet loss rate)因此提高所致，並且這些網卡的效能表現除了與傳輸通道特性相關外，亦與網卡本身的基頻設計，以及所進行的傳輸模式而有所不同(IEEE 802.11b 可允許不同的傳輸模式，包括 1、2、5.5、11Mbps 等)；在該模擬的研究中顯示，即使在相對速度到達每小時 200 公里，若干網卡或傳輸模式仍有超過 0.5Mbps 的效能表現。對於表現多重路徑特性的傳輸延遲分散模擬實驗中，過大的傳輸延遲分散對資料傳輸速率的表現影響較大，這表示現階段的 WLAN 網卡並不完全適用於廣大且複雜的室外環境。

在參考文獻[61]中，作者首先對於 IEEE 802.11b 之 ad hoc 模式單一鏈結端點間(single hop)進行室外環境的效能量測，其重點在於對不同室外環境與行動台間不同移動特性之傳輸效能、訊號強度量測；根據該研究的實驗結果，對於不同的效能評估參數均與室外環境與行動特性相關，茲簡述於下：

### 1. 連線品質的變化

連線品質的量測主要以訊雜比(signal-to-noise ratio, SNR)為基準；如圖 5-1 所示，在車間距離小於 400 公尺的傳輸條件下，市郊環境(suburban)明顯優於其他傳輸環境，具有最好的連線品質，而市區道路的連線品質平均來說較差；至於大於 400 公尺之連線品質在不同的傳輸環境相差不大。對於高速交錯(freeway crossing)的傳輸環境，其距離與傳輸品質的關係較為特殊，在 400~500 公尺左右品質最佳，且應該與道路交錯的方式相關。

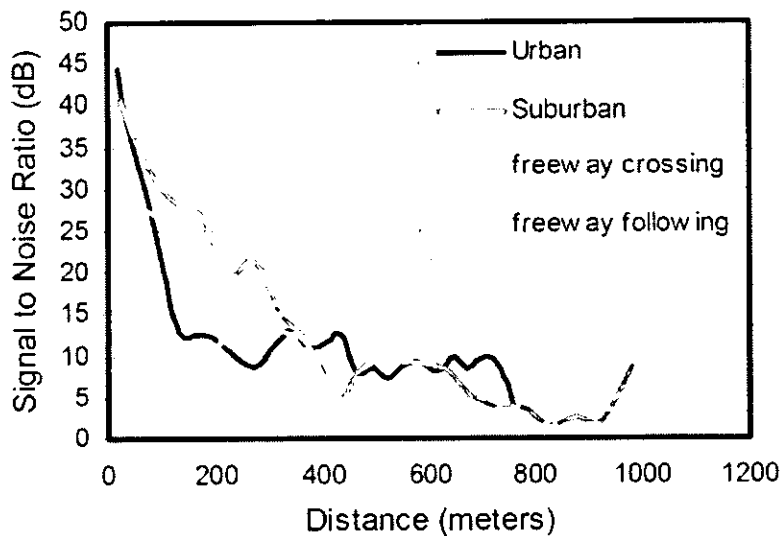


圖 5-1 不同傳輸環境中傳輸距離與連線品質之變化曲線

### 2. 資料傳輸速率的變化

根據該研究的結果顯示，資料傳輸速率與傳輸距離呈現明顯的負相關，由圖 5-2 所示，在連線品質較佳的市郊道路上，資料傳輸速率隨著傳輸距離增加而遞減；另外在車輛的移動特性方面，相對速度的增加跟兩車平均的絕對速度增加都會影響資料傳輸速率，而呈現不同程度的遞減現象，其結果如圖 5-3 所示。

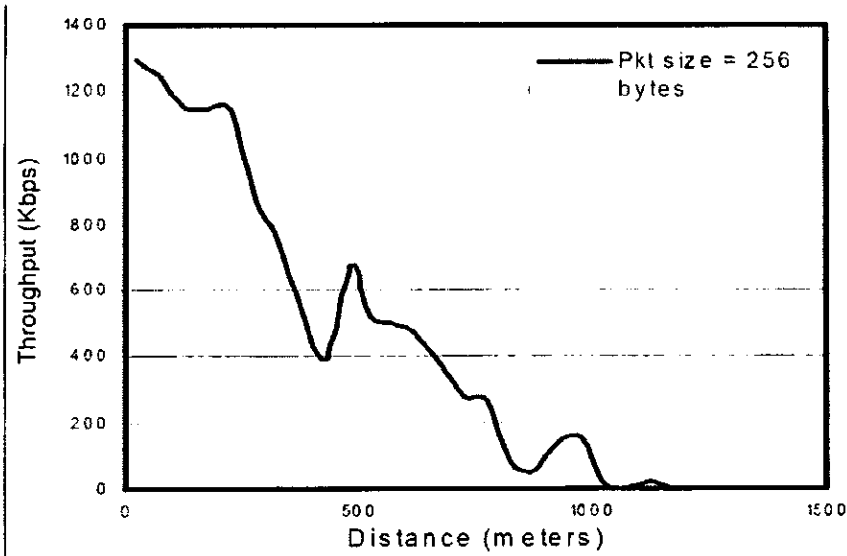
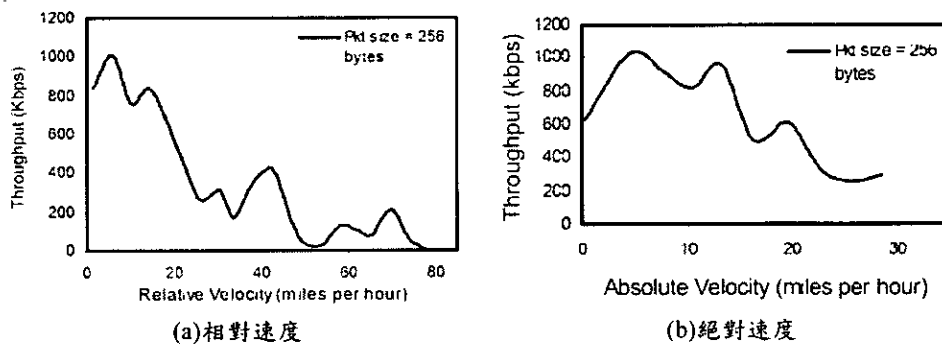


圖 5-2 市郊道路環境中傳輸距離與資料傳輸速率之變化曲線

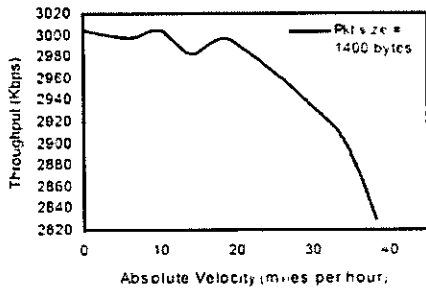


(a)相對速度 (b)絕對速度  
圖 5-3 車輛相對速度與絕對速度對資料傳輸速率之變化曲線

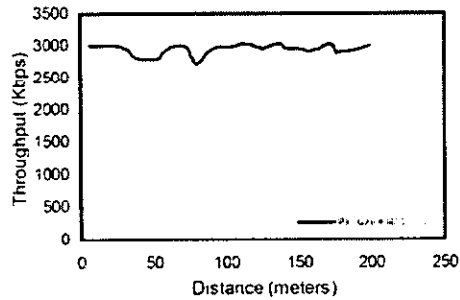
### 3. 連線傳輸距離

根據圖 5-2 以及其他環境的量測結果顯示，以 WLAN 為基礎的點對點通訊距離最大值約在 1000 公尺左右；當然傳輸距離的最大值與設備本身與天線等都具有相關性。該研究同時發現使用較小的封包長度能夠進行較遠距離的資料傳輸。

該研究同時對於較佳的傳輸環境進行效能量測，即在市郊道路上保持可視連線(line of sight)的傳輸品質量測，如圖 5-4 所示，作者在這項實驗中發現資料傳輸速率與連線距離的相關性不大(見圖 5-4(a))，反而是絕對速度的增加會影響資料傳輸速率(見圖 5-4(b))。



(a)絕對速度



(b)連線距離

圖 5-4 可視連線下距離與絕對速度對資料傳輸速率之變化曲線

在多重鏈結(multihop)所組成的 MANET 效能量測與評估方面，除了如德國 Fleetnet 計畫等具有較為完整的測試平台外，現階段的研究多半處於模擬與分析階段，並少有實際量測的結果，而 Fleetnet 計畫中所研究的 MANET 並非以 WLAN 技術為基礎，因此其效能量測結果對於本研究的參考性並不大。參考文獻[62]中使用電腦模擬的方式進行不同網路拓模型態的 MANET 效能分析，其中使用 TCP 與 UDP 等兩種常用的傳輸層通訊模式；其研究結果指出在多重鏈結的傳輸環境下，使用非連結導向的 UDP 傳輸模式具有較低的封包漏失率，並且發現封包漏失率會隨著所經過連線(hop)的增加而同時遞增，而封包的大小同時亦影響封包漏失率。如表 5-1 所示，在長條形的網路拓模中，封包漏失率隨著所經過的連線數目增加而增加，同時封包的大小明顯地影響封包漏失率。

表 5-1 MANET 多重鏈結傳輸模式在不同封包大小與不同 hop 數條件下之傳輸效能

(a)單一語音傳輸在不同 hop 數與封包大小之封包漏失率

Hop 數目	UDP 封包大小		
	600 bytes	400 bytes	300 bytes
1	0.25%	0.3%	0.4%
2	0.31%	0.85%	0.75%
3	1.5%	1.3%	1.2%
4	2.05%	1.4%	1.7%
5	2.1%	2.0%	1.7%
6	2.6%	3.5%	4%
7	6.0%	6.0%	4%

(b)同時進行 4 項語音傳輸時，不同 UDP 封包大小之封包漏失率

100 bytes	200 bytes	300 bytes	400 bytes	600 bytes
1.97%	2.27%	3.23%	3.54%	3.13%

然而前面所述之實驗與量測結果並未有效考慮到 MANET 中各節點可能相互移動的若干特性，若要取得具有參考意義的模擬與量測結果，仍然要結合 MANET 網路層的繞送機制並搭配節點移動模式；本研究為了取得初步的效能評估結果，將採用理論性的車流模式作為 MANET 的節點移動模式，並進行實地量測。在以下的章節中將詳述本研究對於 MANET 系統模擬與量測的結果

## 5.2 無線網路運作模式模擬、電波涵蓋模擬

此項工作之目的，在於開發並改進網路模擬器之功能，使之可以模擬廣域免基地台式無線電網路，並且可以分析此類行動免基地台式無線網路的可行性(feasibility)、可用性(applicability)、效能(performance)及對現有網際網路常用的應用軟體的支援程度(support)。由我們自行研發的模擬器定名為 NCTUns 1.0，目前為止已完成的實作成果條列如下：

### 一、可模擬的網路設備：

包含了 hosts, Ethernet hubs, switches, routers, links, 搭載 IEEE 802.11 WLAN NIC(using infrastructure mode or ad-hoc mode)的手提電腦或汽車及基地台等。

### 二、可模擬的網路通訊協定：

這包含了 Ethernet 802.3 MAC, ARP, IP, ICMP, UDP, TCP, IEEE 802.11 Wireless LAN MAC 等。

### 三、模擬網路上執行的常用應用程式

由於此計畫使用我們自行研發的模擬軟體 NCTUns 1.0，模擬網路裡的常用應用程式將可直接真實世界的程式，不需特製模擬環境專用的常用應用程式。

### 四、模擬網路中移動的車輛或個人的行為。

包含了模擬車輛的移動路線、移動速度、超車行為、跟車行為、變換車道行為。車輛行為的模擬，我們採用了德國研發的專業級交通行為模擬器 VISSIM，透過 VISSIM 來產生高達一千輛或兩千輛的車輛，及指定它們的行為的記錄檔(Trace File)，經由格式轉換，使該檔案成為 NCTUns 1.0 的網路拓樸及行為描述檔，而可以被我們所開發的模擬器所讀入。

### 五、模擬器模擬規模能力(scalability)的修正。

修改模擬器的運作架構及結構，使之最大可支援到 4096 個網路節點(車輛)，並且加大模擬時間從原來的 999 秒到 2000 秒。

### 六、分析模擬所需要之各項功能配套的實作。

這包含了模擬網路的描繪及設定 (topology editing)、模擬資料的紀錄(logging)、模擬資料效能圖的繪製(plotting)、模擬資料封包的動畫播放(animation)及道路背景圖的貼圖效果(background graph)(圖 5-5)等。

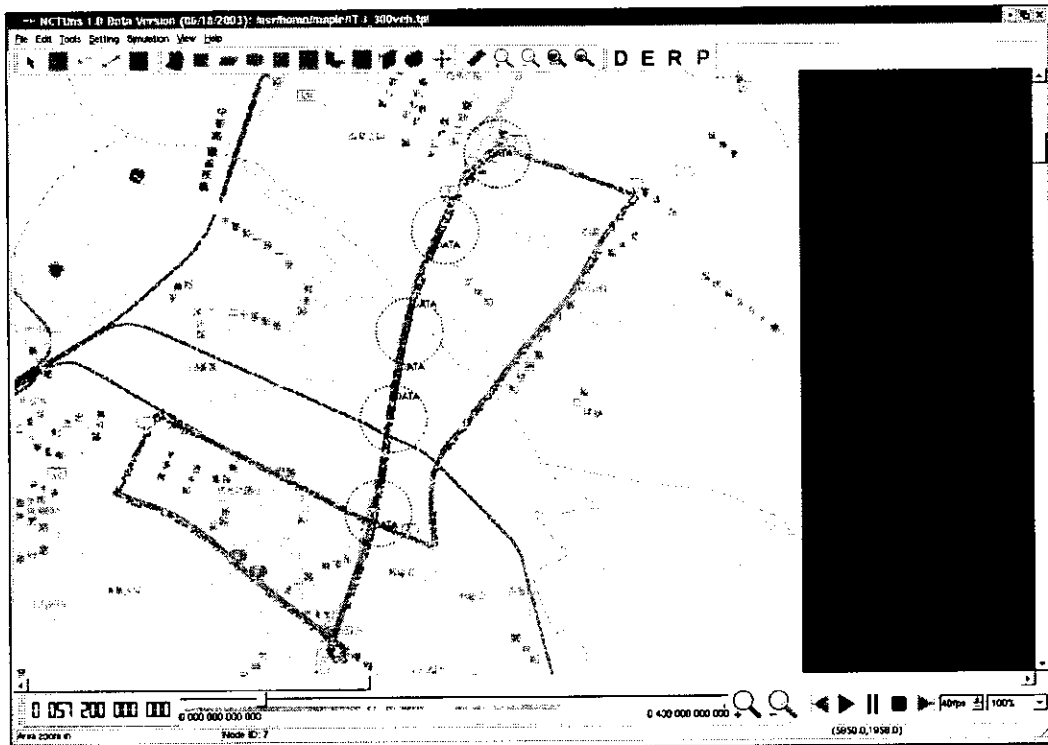


圖 5-5 模擬器搭配實際道路背景進行網路封包傳輸模擬的記錄檔重播

針對無線網路運作模式的模擬，目前已完成的實作條列如下：

#### 1. IEEE 802.11 WLAN MAC 模組

目前已完成 IEEE 802.11(b) WLAN MAC 模組的實作，並可搭配兩種電波涵蓋模型(後面將提及)。

#### 2. 無線區域網路免基地台模式繞送協定模組

目前已完成四種無線區域網路免基地台模式繞送協定(MANET Routing Protocol)：DSR,ADV,AODV,DSDV 及原有的最佳化繞送模組(Optimization Routing Module)。

#### 3. 網路層的模擬支援

無線區域網路免基地台式繞送協定常常需要不同的網路層傳輸模式支援。舉例來說，一個移動節點(Mobile Node)上的繞送協定如果需要哈囉訊息>Hello Message)來告知鄰近網路節點它的存在，此類型的訊息傳送常以廣播方式(Broadcast)傳送。而一般的資料傳送常以單點播送(Unicast)方式傳送。目前的實作已完成單點傳送(Unicast)及廣播(Broadcast)功能。並可在很短的時間內升級成具有多點傳送(Multicast)的功能。

#### 4. 傳輸層的模擬

在網路傳輸層最常用的兩個傳輸協定為 TCP 與 UDP，其中，TCP 為一種必須事先建立傳輸連線且提供可信賴(reliable)的傳輸品質，適用於

需要確保傳送資料封包不能遺失的網路連線應用，例如 FTP。而 UDP 則與 TCP 相反，為一種不須事先建立連線但是為不可信賴(unreliable)的傳輸品質，適用於可容許資料封包遺失的網路連線應用，例如聲音與影像的傳遞。我們所發展的模擬器並不發展 TCP 與 UDP 的模組，而是利用特殊的設計架構，將 FreeBSD 作業系統(一種 UNIX 環境的作業系統)核心的 TCP 與 UDP 傳輸協定與模擬器結合(未來模擬器亦可以執行在 Linux 作業系統之上，即與 Linux 的傳輸協定結合。)，簡單來說，我們發展的模擬器所模擬的 TCP 與 UDP 傳輸協定的行為，與實際上 FreeBSD 作業系統上的 TCP 與 UDP 的行為是一樣的，這個特殊的設計架構，將使得我們模擬器對於 TCP 與 UDP 傳輸協定的模擬更趨於真實的情況。

#### 5. 應用層系統流量(System Throughput)效能模擬：

為了量測各種應用程式在車間通訊上的效能，我們的模擬器提供支援各種實際應用程式執行的平台，如 web server、ftp server/client、email 以及使用 UDP 封包來傳送聲音或影像的程式等車間通訊的應用程式，不須經過修改，就可以在我們所發展的模擬器上執行，模擬器的這個特點對於在大規模車隊模擬中量測應用程式的效能提供很大的能力與彈性。

#### 6. 模擬器架構的實作

模擬器架構的實作至今已趨穩定，採用具有彈性的模組化設計，使用者可以簡單地新增自行研發的網路協定至模擬器，如鍊結層(MAC Layer)、實體層(Physical Layer)或是各式各樣的繞送協定(Routing Protocol)。此項特徵，將非常有助於我們針對廣域免基地台式無線網路研發新型的通訊協定或繞送協定。其二，模擬器針對廣域免基地台式無線網路具有大量的移動節點特性，增強了最大可模擬節點數的能力。並且改採先進的事件觸發式排程，大幅增加了模擬效能，以因應模擬廣域免基地台式無線網路所需處理的複雜計算。

電波涵蓋的模擬目前完成兩種模型的實作，條列如下：

##### 1. 學術界常用簡單模型

此種模式定義了兩個距離基準值(threshold)：有效傳輸範圍(available transmission range)及訊號干擾範圍(interference range)。訊號干擾範圍應大於有效傳輸範圍。此方法的精神在於，訊號經由空氣介質的傳送，信號強度將逐漸衰減(與高度及距離有相關性)。此模型簡化了計算信號強度的部分，以距離來當作實體層可否傳輸成功的判斷基準。其運作如下：當傳輸距離小於有效傳輸範圍時，則此訊號將可被收端實體層成功收到。當傳輸距離大於有效傳輸範圍但小於訊號干擾範圍時，則此訊號無法被收端實體層成功收取，但是此訊號仍可被收端實體層聽到，即成為干擾的雜訊。當傳輸距離大於訊號干擾範圍時，則收端實體層，完全無法聽到發送端所送出的訊號。

## 2. 進階型無線網路實體層模型(Advanced Wireless Physical Layer Model)

Advanced Wireless Physical Layer Model(我們實作為 AWPBY 模組)可以模擬在真實世界中訊號傳輸的情況，主要分成兩個部分—訊號傳遞(Propagation)與調變(Modulation)。訊號在空氣中傳遞會造成能量的損失，這個損失我們稱為 Path Loss，AWPHY 中使用了兩個模型來模擬傳輸時的能量耗損(Propagation decay)：一個是 Free Space Propagation Model，另一個是 Two Ray Ground Propagation Model。Free Space Propagation Model 是用來預測在一個無阻礙的空間中，傳送端與接收端能量的耗損的 Model，它的公式如下：

$$P_r = P_t \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{G_t G_r}{\alpha}$$

$P_r$ : 接收到的能量

$P_t$ : 傳送的能量

$\lambda$ : 波長( $\lambda = c/f$ )

$d$ : 距離

$G_t, G_r$ : 傳送端與接收端的天線損耗

$\alpha$ : 為一常數，在此我們使用 1.0

可是在環境中很難遇到完全的無阻礙空間，至少都會受到地面反射的干擾，如下圖 5-6 所示：

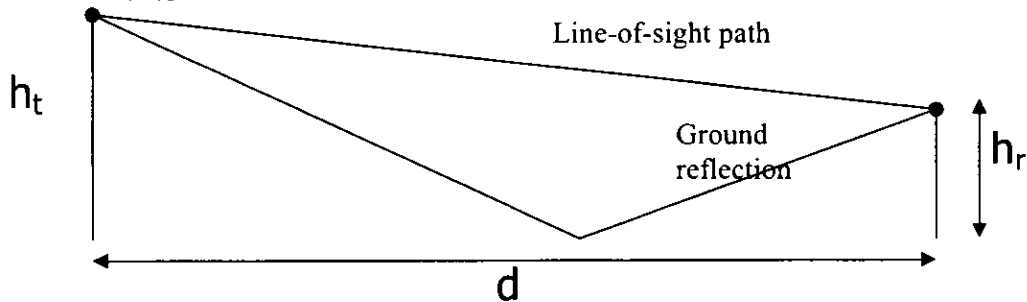


圖 5-6 無線傳播多重路徑效應示意圖

造成 multi-path(多重路徑)的效應，multi-path 就是指電磁波在空氣中傳遞，因為遇到反射導致接收端會收到兩個一樣的訊號，但是會反射的訊號所走的路徑會比直接到達的訊號所走的路徑長，所以兩個訊號所到達的時間是不同的，也就會造成一定程度的能量衰減，在此我們使用的 Model 為

$$P_r = \left[ \frac{h_t h_r}{d^2} \right]^2 \frac{G_t G_r}{\alpha} P_t$$

其中與 Free Space Model 所不同的是多了  $h_r, h_t$  兩個變數， $h_r, h_t$  代表傳送端與接收端的高度，如此，利用上面兩個 Model 我們可以計算出接收端所收到的訊號強度，進而算出他的噪訊比(SNR)。



在無線網路中所有的訊號都會經過 Modulation 來調變，隨著 Modulation 的方式不同，訊號對於所攜帶的資料的數目與對於環境中的噪訊抵抗力也會有所不同，在 802.11b 中分成四種傳輸速度模式：1Mb/s, 2Mb/s, 5.5Mb/s, 11Mb/s，在這四種模式中 1Mb/s 所攜帶的資料最少，但對於噪訊的抵抗力也最強，11Mb/s 則相反。而 1Mb/s 所使用的是 Binary Phase Shift Keying Modulation(BPSK)，利用 Baker Sequence 每個 11 個訊號代表一個資料，而 11Mb/s 是使用 M-ary Orthogonal PSK，每 8 個訊號代表一個資料。我們利用 Modulation 來獲得 Bit Error Rate 與噪訊比的關係，如下：

BPSK:

$$P_{e,DBPSK} = \frac{1}{2(1+\Gamma)}$$

M-ary Orthogonal PSK:

$$P_r = \sum_{n=1}^{M-1} (-1)^{n+1} \left( \frac{M-1}{m} \right) \left( \frac{1}{n+1} \right) \exp \left( (-1) \times \left( \frac{m}{m+1} \right) \times k \times ENR \right)$$

如此便可以算出每個封包的錯誤的機率，AWPHY 便可以模擬出類似真實無線環境的中，資料傳輸速率會隨著距離的增加而降低的行為。

## 5.3 系統資料傳輸速率效能、資訊傳播延遲分析及封包遺失率分析

### 5.3.1 系統資料傳輸速率效能分析

廣域免基地台式無線電系統的系統資料傳輸速率分析可以無線串列網路為基本拓模(topology)開始分析。無線串列網路拓模為一個網路節點集合(A set of network node)，以大略一直線方式排列，如圖 5-7。網路節點可以是固網節點(fixed node)或是移動式節點(mobile node)。

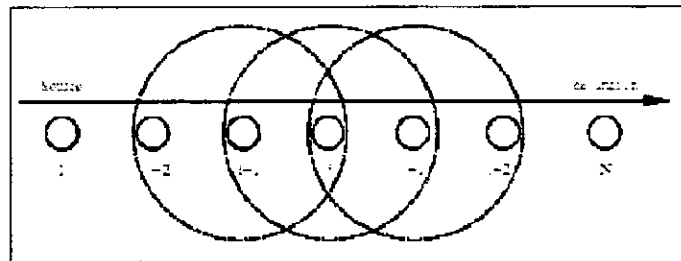


圖 5-7 無線串列網路的拓模示意圖(The topology of wireless chain network)

此種網路型態的系統資料傳輸速率，我們經由兩個方式來分析：一是實地測試，一是模擬分析。實驗與模擬二者所得出的趨勢皆一致。系統的資料傳輸速率與網路節點的個數成反比。如網路節點的個數為 N，則系統的資料傳輸速

率為所有可用頻寬的  $1/N$ ，而最終會在  $1/5$  穩定(或者更低，當網路節點個數更多時)。如圖 5-8 所示：

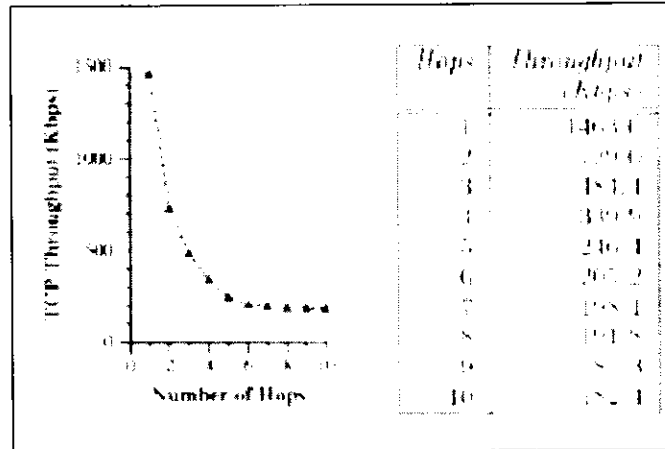


圖 5-8 無線串列網路系統資料傳輸速率有  $1/N$  的趨勢

這主要是由於兩個網路節點在傳輸時，在其有效範圍(transmission range)外，仍會有一個範圍，會對該範圍內的其他網路節點產生訊號干擾。該範圍我們稱為訊號干擾範圍(interference range)。因此，在兩個網路節點傳輸時，在兩者的訊號干擾範圍的其他節點，無法正常收送封包(packet)，因而造成系統資料傳輸速率的大幅滑落。

在這裡，我們提出一個方法改善無線串列網路的系統資料傳輸速率，稱為雙頻方案(two-frequency scheme)：在這個方案底下，雖然需要使用到兩個無線網路頻道，但是每個網路節點只需要配備一張無線網路卡。時間被切割成一個個小的等長 time slot。只有在 time slot 的邊界(boundary)可以傳送框架(frame)。而在每一個 time slot，每一個網路節點只能被設定為跟它其中一個鄰近節點(左邊或右邊)溝通，並且必須在下一個 time slot，跟另外一個鄰近節點溝通。

此方案搭配一個簡單的溝通協通(signaling protocol)，在每個 time slot 結束時，發出命令通知鄰近節點 time slot 已結束，必須趕快轉換其傳輸的鄰近節點為另一邊的節點，或是其使用的頻率(如果需要的話)。轉換溝通的網路節點很容易，只是切換其兩個方向之間的 output queue。但是切換頻率則要小心分析，因為切換的時機掌握不好的話，將會使得傳輸遭遇到不必要的封包遺失，降低傳輸效能。以下是收到轉換頻率命令的各種可能情形分析：

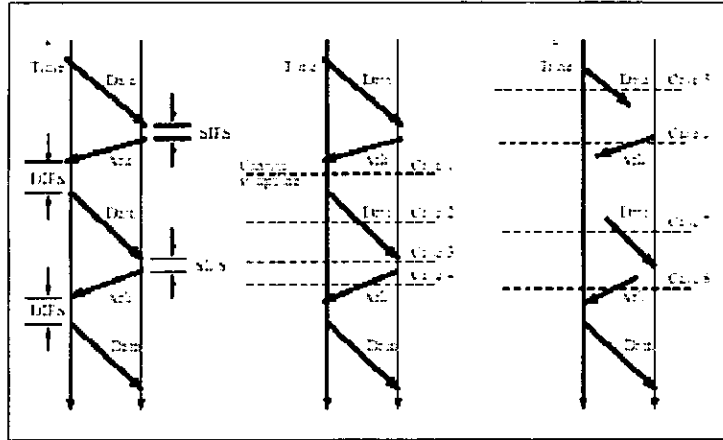


圖 5-9 收到轉換頻率命令的各種時機可能性

- Case 1: 在一組 DATA-ACK 成功傳送與收到之後。
- Case 2: 在傳送 DATA frame 的過程中，收到命令。
- Case 3: 在完成傳送 DATA frame 之後，但對方還未開始傳送 ACK，收到命令。
- Case 4: 在對方開始傳送 ACK 時，收到命令。
- Case 5: 在本地端，DATA frame 已經傳送完成，但是收送端還未收到時，收到命令。
- Case 6: 在對方已經傳送完 ACK frame，但本地端尚未收到時，收到命令。
- Case 7: 在本地端 DATA frame 已經完全送出，但是收送端還正在接收中時，收到命令。
- Case 8: 在接收端已經傳送完 ACK frame，但是本地端還正在接收中時，收到命令。

由每個 case 的可能持續時間來看，可以知道 case 2 是有最大發生機率的 case。因為 DATA frame 的傳輸時間遠大於傳送 ACK 的時間(因其長度常原大於 68 bytes)，及 DIFS 與 SIFS。ACK frame 的長度為 68 bytes，在 11Mbps 的 802.11 WLAN 底下需要傳送 74 microsecond。這是因為 50 microsecond 的 ACK payload 傳送時間需要加上 24 microsecond 的 MAC 802.11 physical-header 的傳輸時間。在標準裡面，此實體層的標頭僅以 1 Mbps 傳輸，在達到往後相容性(backward compatible)。另外，DIFS 是 50 microsecond 而 SIFS 是 10 microsecond。

因此，case 1 的可能發生時間為 50 microsecond，case 2 的時間最大可到 1114.9 microsecond(1090.9microsecond 為 1500byte Ether DATA frame 加上 24 microsecond 的 MAC 802.11 標頭傳輸時間)；case 3 的最大可能發生時間為 10 microsecond；case 4 為 74 microsecond。而 case 5,6,7,8，則肇因於資料在空氣介質流動的傳輸延遲(propagation delay)。由於一個 802.11 WLAN 的網路設備其傳輸範圍不會超過 1000 公尺，因此最大的 propagation delay 將小於 3 microsecond(  $1000 \text{ m} / (3 \times 10^8 \text{ m/s})$  )。

為了提高此方案的效能，我們將轉換頻率的條件(criterion)條列如下：

1. 轉換頻率只發生在網路卡在 idle 狀態。因此若在傳輸狀態中，收到轉換頻率的命令，必須等到傳輸完成後才進行頻率轉換。此設計將大幅

減少因為不當的頻率轉換造成的不必要封包遺失。因此，有效的資料傳輸速率 (goodput) 將不會因為頻率轉換而下降太多。

2. 在命令發出後，網路節點必須在此次傳輸完成後立刻轉換頻率。即使是 DATA-ACK 順序之間。此方式將使得一個頻率的佔用時間縮短，使得收送雙方可以調整到相同頻道的準備時間縮短。有利於封包轉送，因此轉送的效能將大幅提昇。
3. 本雙頻方案，除了轉換的命令之外，沒有任何其他的控制封包來交涉收送雙方。來減少用於信號交換的頻寬，以增加有效的資料傳輸頻寬。

除了上述的設計，努力降低因為頻率轉換造成的封包遺失。還是會有封包遺失的可能，例如介質突發性地 BER 提高，Mobile station 移出傳輸範圍或暫時 shutdown 等等。因此有兩種態度處理這些可能狀況，一是樂觀態度，另一種是悲觀態度。兩者的差別在於如何處理 case 2 與 case 3。在 case 2 中，在傳送端封包傳送完後，將進行轉換頻率。若是樂觀態度，則總是認為剛才傳送的封包 (DATA frame in case 2 and ACK frame in case 3) 總是成功的，因此不進行重傳。相反的，悲觀態度則是假設每次這兩種 case 發生都會無法成功傳送封包，而進行重傳。

對 case 1 而言，由於 DATA-ACK 均順利收送。兩種態度的處理方法一樣。對 case 4 的話，由於本地端已經開始收 ACK，因此會等 ACK 收回才轉換頻率，無樂觀悲觀問題。對 case 5,6 而言，由於傳輸延遲勢必會造成收送兩端對傳輸狀況的認知不同，而造成封包遺失。但是 case 5,6 的持續時間很短，因此發生機會不高。Case 7,8，雖然收送兩端對傳送狀況的認知仍有不同，但是由於一端已經開始收取封包，因此不會有不必要的封包遺失。

模擬的細節不在本篇報告中詳細列出，而根據模擬的結果，本雙頻方案 (two-frequency scheme) 可以將  $1/N$  資料傳輸速率提升至  $1/2$ 。而  $1/2$  已經是理論最佳值，因為無線網路採用半雙工方式：收的同時不能送，送的同时不能收。因此我們的設計達到了無線串列網路資料傳輸速率最佳化的目標。

### 5.3.2 資訊傳播延遲分析

信號傳輸的傳播延遲，為距離除上無線電波的速度。以目前 802.11 WLAN 的涵蓋能力，最大傳輸距離不會超過一公里，這使得信號傳輸的最大傳播延遲不會超過 3 microsecond。若以鏈結層來看，其感受到的傳播延遲也是與實體層相同，最大 3 microsecond。若以網路層來看，由於鏈結層 802.11 有偵測錯誤並要求送端重送的機制，因此其感受到的傳播延遲，將會因為連線品質而受影響。對網路層而言，其所選擇的繞送路徑也會影響其傳輸延遲，但情形較難以分析。例如，若繞送協定選擇信號較強的節點，而使得繞送路徑的跳接數變多。由於信號較強，遭遇的 BER 可能會較低，使得框架需要重送的機率降低，因而降低了重送所可能造成的延遲。但也由於跳接數變多，每一個 hop 所新增加的轉送 overhead，也會增加網路層感受到的延遲。究竟哪種選擇哲學會有好的效果，得視網路品質而定。若網路連線間品質都很好，那沒有必要選擇最強

信號的節點作為繞送節點，而最好依據可以最短路徑轉送為第一考量。但是網路狀況，若並不理想，則選擇最短路徑將會遭遇可能需要重送封包的風險。如何定義網路狀況則是一個無法精準定義的問題。例如前面章節提到的 conference 論文, D.S.J De Couto, D. Aguayo, J bicket, R. Morris(MIT), “A High-Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Routing”, MobiCom 03’, 即是以預期的傳輸次數 ETX 來概括定義網路連線的狀況，並一定程度提升資料傳輸速率。

### 5.3.3 封包遺失率與訊息傳送失敗率

封包遺失率和訊息傳送失敗率，與車間路徑的存活時間有很大的關係。因為如果車間距離過大，則不論怎樣的機制來保護訊息和封包，都不可能正確送到。如果在路徑斷掉後，存在另一條路徑，而可以很快地發現它，則遺失的封包會較少。因此一輛車子所擁用的路徑數也會影響封包遺失率與訊息傳送失敗率。我們採用了 VISSIM 交通網路模擬器，來產生車流行為記錄檔。並利用產生出來的紀錄檔，計算各車之間的距離，來計算各車之間，所擁有的有效繞送路徑有多少。

#### 5.3.3.1 模擬設定

我們的模擬設定如下：

1. 模擬器 VISSIM
2. 車輛總數：2000 與 1000
3. 道路拓樸：每方向三線道，每線 26 公里(如圖 5-10)，每方向有一半的車輛總數。因此，車間距分別為 78 公尺(2000 輛車的 case)與 156 公尺(1000 輛車的 case)
4. 速度分佈：採用兩種分佈
  - (a) 20%: 100 -110 km/hr, 40% 90 – 100 km/hr, 20 % 80-90 km/hr, 20% 70-80 km/hr
  - (b) 20%: 80- 90 km/hr, 40%: 70-80 km/hr, 20%: 60 -70 km/hr, 20: 50-60 km/hr
5. 無線網路設備有效傳輸範圍: 50 公尺與 100 公尺

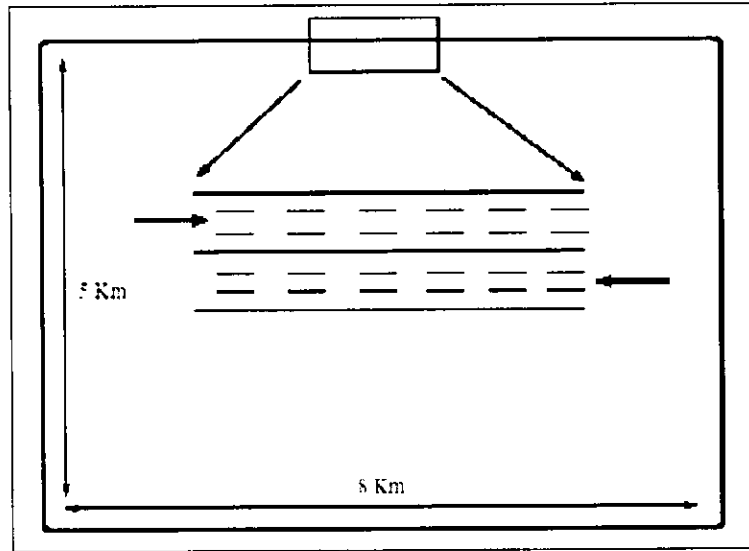


圖 5-10 模擬中使用的網路拓模

### 5.3.3.2 模擬結果分析

圖表中曲線的定名為 xxxxCyyyMHS，其中 xxxx 指的是車輛總數，yyy 指的是有效傳輸範圍。MHS 指的是高速移動，MLS 指的是低速移動。

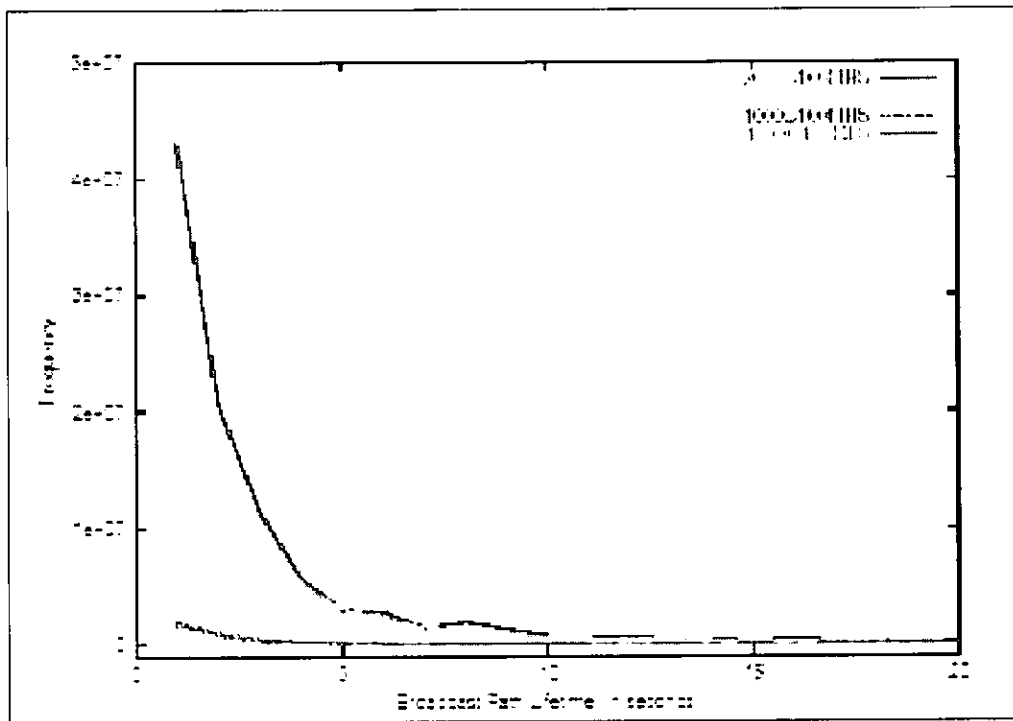


圖 5-11 廣播路徑與廣播頻率的關係圖：廣播路徑存活時間的分佈圖

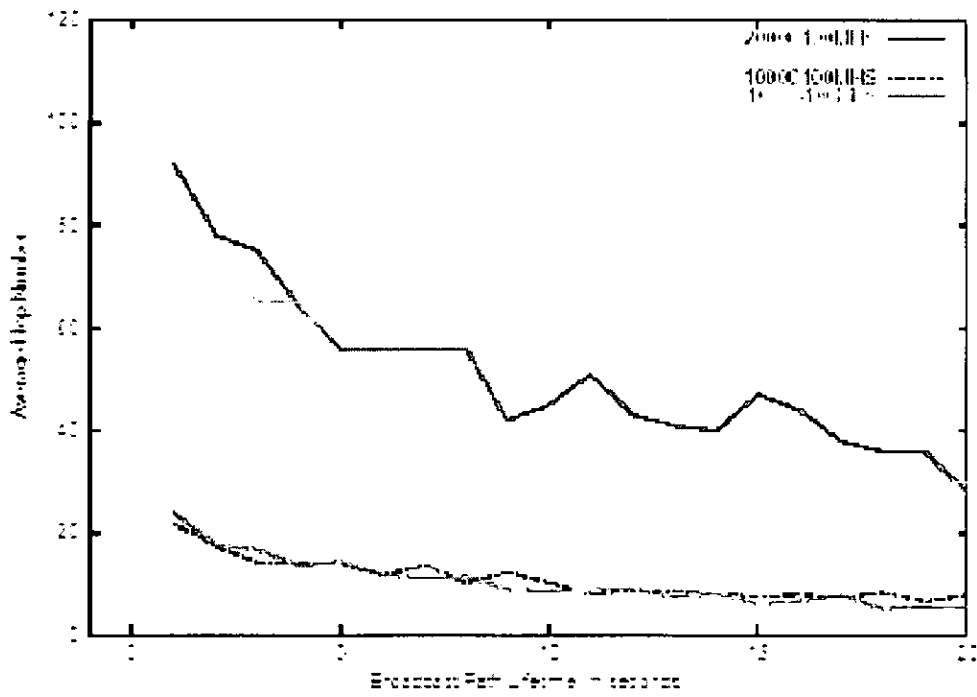


圖 5-12 廣播路徑的平均跳接數與存活時間關係

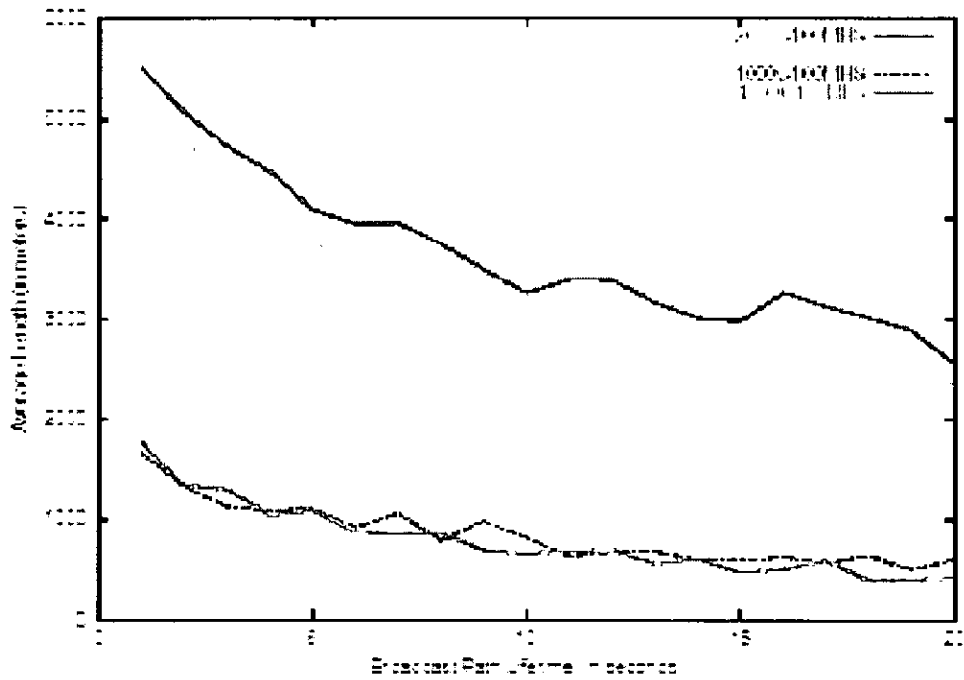


圖 5-13 廣播路徑的平均實際長度

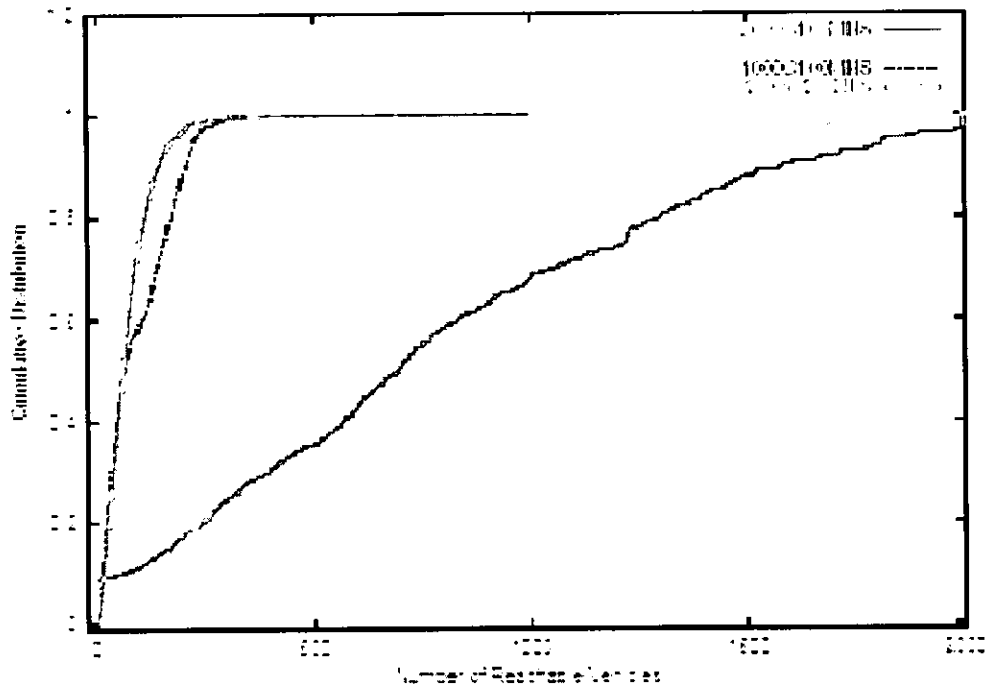


圖 5-14 廣播路徑可以到達的車輛總數之累加分佈

由圖 5-11 可以得知，94%的廣播路徑存活時間低於 20 秒。而且有大多數集中在五秒以內，這對 MANET 的繞送協定是個很不利的環境。因為繞送協定，需要時間來找尋路徑，如果路徑本身就存活不久，將使得繞送協定的效果很差。

其次，道路上車輛總數越多，則廣播路徑則越多。但不代表，車間通訊網路的效能會越好，因為越多的汽車在同一地區，表示越多的無線網路設備聚集在一起，競爭使用頻道的權利將越激烈。但若是廣播，則影響較小，因為所有人在送端有效傳輸範圍內，都可以收到此廣播訊息，不需競爭。

第三，高速移動的車子比低速移動的車子，有更多的繞送路徑數。這主因是因為高速移動的車子，其所可以遇見的車子也較多。但大多數增加的繞送路徑集中在五秒以內的區間，表示其用於 unicast 的實用價值不大。

由圖 5-12 可以得知廣播路徑的存活時間與其平均跳接數的關係。圖上顯示跳接數越多的繞送路徑，其存活時間越短。其次是車輛總數多，平均的跳接數也較多，這是由於車輛總數越多，一條路徑所可以 traverse 的車輛數(hop count)自然會較高。

圖 5-13 顯示路徑的真實距離與存活時間的關係，大致趨勢都與圖 5-12 吻合。至於圖 5-14 則展示了經由廣播路徑可到達的車輛總數其累加分佈。我們可以看到，若道路交通的車輛總數為 1000 部，97%的繞送路徑只能到達 250 部車以下。若是總數 2000 部，則此分佈較呈現均勻分佈。但這也表示，也有相當多



的路徑只能到達低於少數的車輛。這對 AODV,DSR 等仰賴廣播或是氾送 (flooding)機制的繞送協定，又是一個不利的環境。

針對估量封包遺失率，我們提出了一個方法來量測網路的封包遺失率。我們修改 FreeBSD 的 kernel，並假設該機器為壅塞的繞送器，我們可以蒐集其內部的 queue 長度，來估量網路的封包遺失率。細節礙於篇幅，這裡不贅述，可以參考 reference[46]。

## 6 無線通訊系統之整合、測試與驗證

在實際製作車機系統之前，除了以模擬分析來實驗開發車間通訊所需要的繞送機制外，以實地路測的方式來得出現實環境下的實驗結果，進而相互比較兩者結果的異同，瞭解模擬環境是否能真實反映出實際環境的複雜程度，模擬結果是否可靠等等。因此實地路測實驗有其必要性。在先期階段，車機系統尚未製作之前，本計劃將發展雛形系統進行實地測試，評估廣域免基地台式無線網路用於車間通訊的可行性與可適性。第 6.1 節將介紹雛形系統並利用該系統進行初步實地測試之施行方式，第 6.2 節將介紹車機系統及其相關之規格，第 6.3 節對本計畫實際量測的數據與分析提出完整的說明。

### 6.1 雛形系統之整合、測試與驗證

本計劃之雛形系統乃是整合現有可得的設備而成之車機系統。第 6.1.1 節介紹整個雛形系統之架構，第 6.1.2 節介紹實地道路測試規劃與實行，第 6.1.3 節則為本章節之小結。

#### 6.1.1 雛形系統之整合

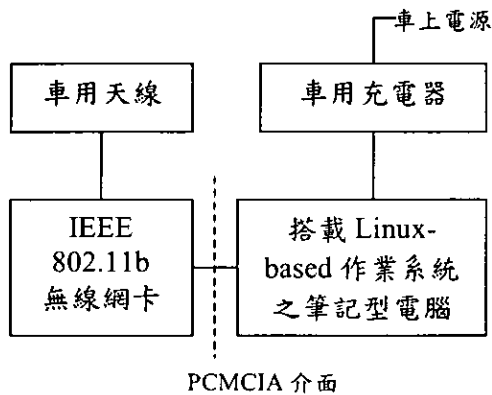
本研究現階段所開發之實測系統乃是整合現有市面上可購得的軟硬體，實作出一個小型車間通訊網路雛形系統以供實地道路測試，選定之硬體及軟體分述於第 6.1.1.1 及 6.1.1.2 節。

##### 6.1.1.1 硬體設備之選定：

圖 6-1(a)及(b)分別顯示雛形系統之系統方塊圖以及四套系統實體照片，本測試總共準備了四套硬體設備，該硬體設備包含車用 12V 直流轉 110V 交流之充電器、附 PCMCIA 插槽之筆記型電腦、PCMCIA-type 無線網路卡及外接式車用天線。詳細數量及規格如表 6-1 所列。

表 6-1 雛形系統的硬體設備列表

設備	數量	規格
車輛	4	自用小客車
手提筆記型電腦	4	IBM
PCMCIA-type 無線網路卡	4	由 Lucent technology 公司設計，符合 IEEE 802.11b 標準之無線網路卡，輸出功率約 19dBm。
車用磁鐵吸附式外接天線	4	2.4GHz 天線增益 2dBi、omni 場型。纜線長 1.5 公尺，材質 RG-178 線材，纜線功率損耗約 0.7dB，接頭損耗約 0.3dB。
車用充電器	4	12V 直流轉 110V 交流



(a) 雛形系統方塊圖

(b) 雛形系統實體照片

圖 6-1 雛形系統之系統方塊圖與設備實體照片

### 6.1.1.2 雛形系統軟體之選定：

本雛形系統所選定之作業系統軟體種類為 Linux 作業系統，並搭配本研究自行開發之 AODV 繞送驅動程式，以及適當之資料流流量產生器，版本如表 6-2 所列。

表 6-2 雛形系統的軟體列表

設備	版本
Linux 作業系統	Red hat 8.0 版
AODV 繞送程式	AODV 1.0 版，以 UDP 模式產生資料封包傳送至目的端，並記錄下傳輸速率及該路徑所經過的節點 (node)。
Traffic generator 資料流量產生器	以 TCP/IP 及 UDP 模式產生資料封包傳送至目的端，並記錄下各時間點對應之傳輸速率

### 6.1.1.3 雛形系統硬體及軟體之整合

如圖 6-2 所示，將選定之各軟體安裝於筆記型電腦，並安裝無線網路卡於筆記型電腦之 PCMCIA 插槽內，以 AODV 繞送程式及 Traffic generator 資料流量產生器產生封包，由編號 A 的電腦發射無線訊號，可順利經由編號 B 及 C 電腦為中間站傳送到編號 D 的電腦，完成室內跳接式資料傳輸。

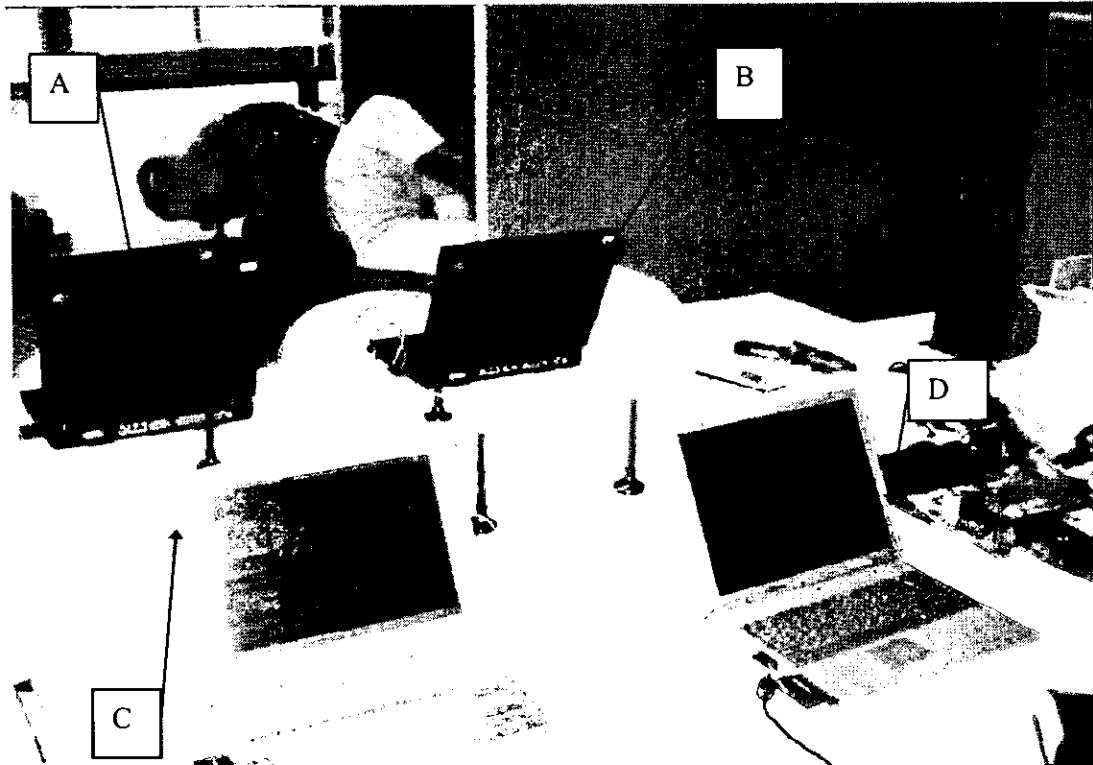


圖 6-2 以編號 A、B、C、D 等 4 套雛形系統進行室內跳接式資料傳輸實驗

### 6.1.2 MANET 雛形系統效能評估

目前本研究之雛形系統無線電設備有效涵蓋率(有效傳輸範圍)，在不使用外加車用天線的條件下，可達到 450 公尺左右，而點對點直接傳送的傳輸速度，經由實測(兩點間幾乎無遮蔽物)，最大可達 4.8 Mbps(約 5 公尺內)，兩點距離約 400 公尺時，最大約為 0.9 Mbps。而當在兩點距離 200 公尺左右時，傳輸速度最大可達 2.4 Mbps。200 公尺的距離，依照台灣都會區或高速公路的交通狀況，可以視為合理的車距。點對點傳送有 2.4 Mbps 的效能，顯示行動廣域免基地台式無線網路有相當潛力可以被應用在這樣型態的網路。但是我們所面臨的挑戰仍相當多，我們將問題點條列如下：

1. 天線的高度若不夠高，非常容易受到兩點間移動物體的影響而造成封包遺失。因此，要有良好的車機結構設計。
2. 當一地區的车辆數增大到一個程度，車輛間的傳輸，會受到彼此干擾。此乃肇因於 802.11 WLAN 的 MAC 層設計，為 CSMA/CA，必須要在半雙工的模式下運作，當訊號涵蓋範圍(訊號干擾範圍)內，有任何一個車輛發出封包，則所有在該車訊號干擾範圍內的車輛，都不能傳送封包，這會大幅影響整體網路的資料傳輸速率。直覺的解決方法有三：一是切分地區內的汽車為不同子網路，使用不同的頻率溝通。但是這種方法沒有具規模性(scalability)；另兩種解決方案是切分時槽或是為每一個位元的資料以更長的符號編碼。這三種方法即是電信網路常用的 FDMA,TDMA 與 CDMA。車間通訊要如

何很平順地解決 contention resolution problem，即 scalability 的問題，尚待研究中。

3. 繞送演算法的設計：要以最短路徑來選擇？要以信號最好的路徑來選擇？還是要以流量分散來考慮？低密度的時候，前兩種方法比較切合網路需要，但是在高密度的網路底下，若仍以前兩種演算法來計算路徑，可能會造成某些節點形成流量吃重的節點，造成系統的轉送效能被限制在該節點的傳輸速度上。因此流量分散的演算法也有其價值。設計一個演算法如何能切合各種需要，或要用什麼樣的指標來選擇演算法，必須要在大規模實驗、模擬進行之後，才能得出成果。
4. 廣播訊息的效能：根據我們的模擬實驗，廣播訊息的效能在總數 1000 部車，長約 8 公里的三線道上，97% 的路徑僅能到達 250 輛車，大約四分之一的涵蓋率。這對很多繞送協定的機制，特別是不使用位置資訊的繞送協定，是很不利的情况。
5. 實驗場所問題：本實驗室已經發展品質良好的模擬器來模擬 MANET (Mobile Ad-hoc Network)，並逐步地改良成適合模擬 ITS 的大規模移動無線網路。但是實體層的模擬，不論是採用哪種模型，都無法完全取代真實世界的複雜性。因此真實的路測非常重要。但是台灣目前似乎沒有很好的測試路段，例如足夠長(希望能有 3 公里以上，起碼完成離形系統的路測)，例如不夠平整，不夠直，等等。場所問題，使得多段繞送的路測實驗遲遲無法順利取得有價值的數據。

總結來說，MANET 使用在車間通訊的潛力無窮，但必須解決上述的問題才能夠真正實用在生活之中。目前的研究方向，也有將各種異質網路結合在一起，例如結合電信網路(如 3G network)和 MANET，或是 MANET 搭配 WLAN infrastructure network，以彌補各種網路缺點的解決方案，我們亦著手進行研究中。

## 6.2 車機系統之整合、測試與驗證

### 6.2.1 車機系統研發計劃研擬

車機系統的需求在全世界迅速成長中，尤其是在美國，在美國車輛是每日的主要交通運輸工具，許多人對於安裝車機系統於車上具有高度的興趣，對於那些擁有車輛且喜歡(或需要)到陌生地區的人而言，車機系統確實很有幫助且有實用性。然而在市場發展之初，車機系統並不普遍，因為人們對它並不熟悉，而且認為產品價格昂貴。在本章的開始，介紹目前國內有關車機系統發展狀況，大致上可分成三個系統：(1)車用導航系統、(2)保全監控系統、及(3)車隊管理系統介紹。

在車用導航系統方面，主要的功能在於行車導航、提供行車資訊(例如最近的商店或是加油站等等)以及車內的娛樂服務(例如影音播放，歌曲下載等服務)，國內最具典型的例子便是裕隆的 NAVI 系統，在最近幾年由於市場的需求，汽車導航類型的車機系統，也由單純車內使用的設計，轉變成為手持或是分離式的方式。因此在功能上也由原本的導航與地圖功能，演變成含 MP3、錄音、照相與錄影功能。汽車導航系統過去受到價格的影響，只有在日本的普及率較高，未來在 GPS 技術逐漸成熟的影響下，整體價格將日趨降低，另外，未來導航系統也將整合資訊及通訊相關功能，例如音響、多媒體、無線通訊等，讓車用導航系統提升為一項多功能產品，預計此改變將有助於汽車導航系統在歐洲及美國市場的普及，進而帶動車用電子產業的成長。

其次在保全監控系統方面，主要由於汽車竊案的不斷提昇，汽車安全的保護一直都是開車人員很擔心的問題，因此傳統防盜器屬於被動式防盜的功能，由於行控中心(Call Center)的成立，將汽車防盜的觀念與行控中心結合的主動式的保全監控儼然而生，主要的功能是提供包含防盜、盜警、斷油、緊急通知等，透過 GSM 或是 GPRS 的通訊方式，將車輛即時的狀況傳回監控中心。新式防盜設備整合 GPS 全球衛星定位系統，利用內部主動式監控設備，檢知汽車目前的動態，當車體受到不正常撞擊，甚或不正常移動，防盜器材內建的 GSM 無線電話系統也會隨即將汽車座標傳回行控中心(Call Center)或是用戶手機，即使用戶人不在汽車附近，也能透過電話即時確認汽車所處座標，或利用 GPS 衛星定位防盜設備，車主就能取得失車位置經緯度資訊，搭配電子地圖，馬上就能找到失車所在地，目前也有多家汽車防盜業者推出整合 GPS 衛星定位技術的防盜裝置，不僅整合汽車防盜與系統監控功能，並加強失車尋回功能，這些防盜裝置售價均在 2 萬至 5 萬元之間。除了怕被偷，被搶，也是名車車主的困擾之一。像是新光保全所提供的人身安全保護服務，就利用 GPS 技術確定被保護人位置。而整合 GSM 雙向通訊功能設計的 GPS 衛星定位防盜設備，也能在車室內加裝 SOS 求救緊急按鈕。當車主不幸遭逢搶案，按下 SOS 按鈕就能隱密地發出求救訊號，在行控中心取得求救訊息後，隨即啟用緊急處理程序即時動態監控汽車所在位置，甚或會同警政資源查緝追蹤，日前不少搶車擄人案件，多是因車主安裝了這套系統而獲救。

最後有關車隊管理系統，主要來自於競爭日益激烈的運輸物流業者對車隊管理系統的需求。面對不景氣的大環境，企業必須不斷尋求有效監控人、車、

貨物等企業資源的管理方法，尤其是運輸物流業者，因此針對企業所設計的行動監測系統即能符合這種需求，在這類監控系統中扮演不可或缺的角色，由於企業的需求，因此車隊管理系統主要的功能便是進行商務車輛的監控與管理，包含的功能有一般的保全監控系統、透過 GPRS 的方式將車輛的位置與速度資訊即時的回傳，與後端系統的比對與監控，協助管理者管理旗下車隊行為，讓過去商務車管理的問題能有有效的解決。

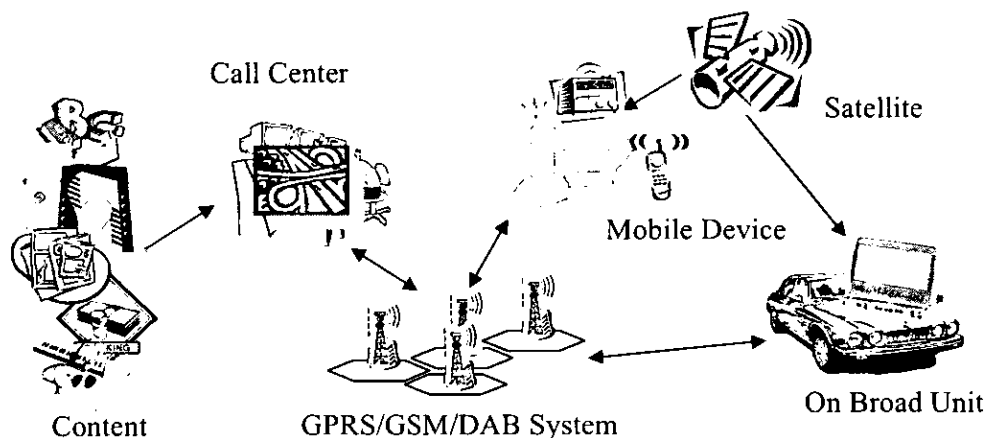


圖 6-3 車機系統架構示意圖

傳統的汽車導航系統提供電子地圖、路徑規劃及導航等功能，為 GPS 應用產品中所佔產值比例最高的項目。然而隨著科技進步，駕駛者對於汽車所能提供的功能也越來越高，許多應用產品或功能開始與傳統汽車導航系統結合走入車內，於是產生了 Telematics。隨著汽車產業的電腦化以及無線通訊的發達，再加上自身特有的行動化，這種結合資訊 (Informatics) 與通訊 (Telecommunications) 技術，應用於車上，我們稱之為 Telematics。

Telematics 究竟可以做什麼用呢？其實，車主平常最擔心的問題，如被拖吊、失竊、被撞到、迷路、找加油站、找路、導航、塞車等，它通通可以解決，可見其重要性了，也難怪會被國際汽車大廠視為自汽車發明以來的第三次汽車工業革命，(第一次為 1950 年代高壓縮比引擎發明，第二次為 1970 年代汽車微電子應用)。理想的 Telematics 服務平台，有一個智慧型人機界面，可以用語音方式交談，透過 Controller Access Network Bus，接上週邊設備，如碰撞偵測器、DAB/DVB、GSM/GPRS 等，可以提供三大功能：安全、行車品質、與路況資訊。

Telematics 擁有這麼多功能，我們就先說明其系統組成，主要有三大模組：汽車電腦、位址定位與無線通訊三部分。其中最特別的就是位址定位，它是靠全球定位系統(Global Positioning System；GPS)晶片，以當時所在地，用天線接收並鎖定住 4 顆衛星，以進行三角定位，然後算出經緯度座標，再經過座標轉換為台灣地區所使用的二度分帶座標系，即可與地理資訊系統(GIS)相結合，以平面(2D)或鳥瞰圖(2.5D)方式顯示，提供汽車駕駛行進方向的導引。在無線通訊方面，主要是透過行動通訊網路與客戶服務中心或資訊內容提供者

(Content Provider)進行資訊(路況、天氣、旅館、娛樂、金融等)的雙向接收與傳送。

Telematics 之特點除了 On Board Unit 之外，還有一個服務中心，因為大部分的應用服務資訊不在汽車內，而在服務中心，利用無線傳輸的方式，將路況資訊或更新軟體，傳送至車內，而服務中心也可以利用車輛所在位置提供車主車輛狀況最新資訊，所以近年來汽車業者，也開始踏入這種 e-Service，如國外的 GM On-Star 和國內裕隆的 TOBE 系統，其主要功能包括：

- 透過 GPS 作汽車定位，可做路況報導及導航指引；
- 車禍或車輛故障之主動聯繫與急難救援；
- 車輛失竊之預防或被竊後之尋找；
- 連接網際網路，以及收發電子郵件；
- 接收個人化的金融資訊或多媒體影音娛樂內容；
- 可與 PDA 或手機進行資料同步，成為個人行動資訊中心。

現今 Telematics 裝置的功能，已經不再侷限在簡易的通訊功能，還包含網路、資訊、消費性電子等，透過整合 3C 技術以達到資訊擷取，以及汽車智慧化的目的，將是汽車廠商的目標。國內汽車電子廠商也開始投入 OBU 的設計與製作，如：積智、公信、怡利、行毅等，一般的系統架構只有圖三的 OBU 而已，其實服務中心扮演成功關鍵的一個角色，就如同 OnStar 一般，服務才是使用者所願意付費的，單純靜態導航對平常開車上下班的人吸引力不大；但是對意外事故的處理與提醒倒是蠻得人心的。

在這種架構下，OBU 端可以採用 Win CE 或 Linux 平台，相關的應用軟體如 Email, Browser/Wap, Handsfree, DVD/VCD，以及導航等，都可以加上，連交通資訊的解碼都可以列為選項。

本計劃所需研發的車機系統主要的工作項目分成幾個部分，由計劃開始車機系統便針對未來兩年所欲執行，廣域免基地台式無線電系統的車機系統進行車機系統軟硬體的系統分析，透過系統分析的結果，決定本計劃所需的車機的軟硬體，進行系統硬體的選購與測試以及軟體系統的安裝與測試，在期中報告後，將正式的進行系統軟硬體的整合測試與驗證，來確保硬體系統與軟體程式(包含 OS 與應用程式)能正常運作，並進一步規劃與分析適合明年測試的 ITS 應用測試軟體，整體流程圖如下圖所示：



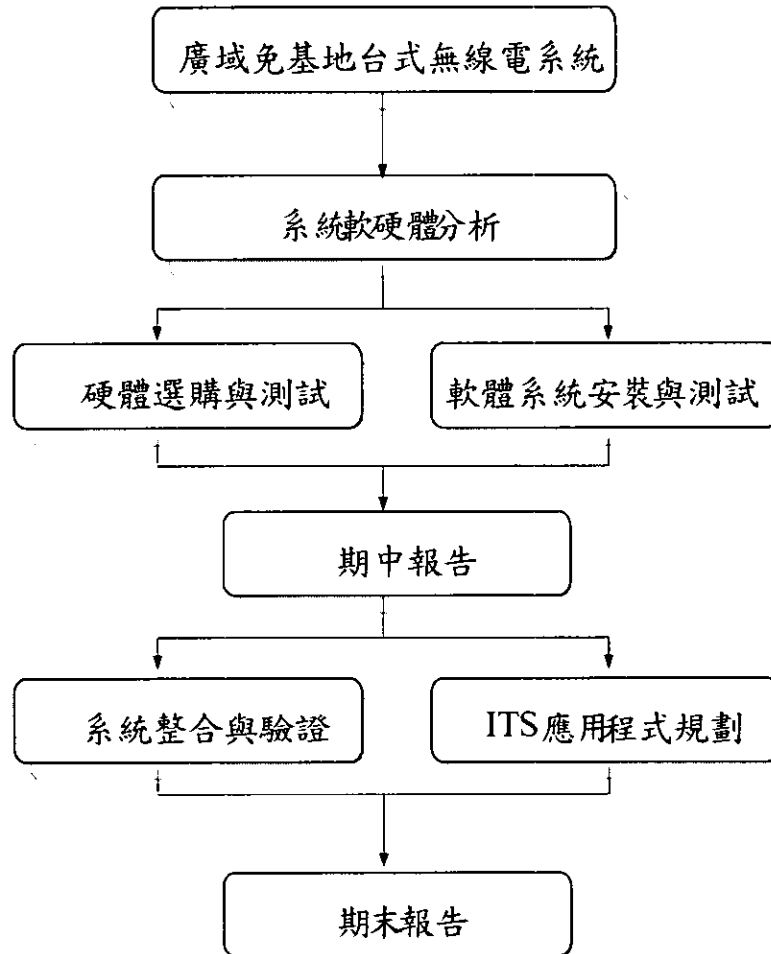


圖 6-4 車機系統專案規劃流程圖

後面將依據計劃流程順序依序介紹有關車機系統開發的系統分析與軟硬體規劃內容。

### 6.2.2 系統軟硬體分析

目前的車用資訊系統在市場上，已日趨蓬勃發展；而應用上主要分為電子地圖與導航、車輛派遣與監控、防盜保全、資訊服務及電子化行動辦公室等應用。其中，電子地圖與導航應用已經日趨成熟，對於廣域免基地台式無線電系統 Ad-Hoc 所需的車機系統來說，目前的市售的車機系統並不合宜於系統的整合與驗證，主要的原因除了目前市面上的車機系統並未內建 WLAN 的介面外，市面的車機系統在傳輸上所需的系統軟體與驅動程式並未符合於 Ad-Hoc 模式傳輸，因此本計劃採用的車機系統主要是採用現有市售的車機模組以及外接的 GPS、WLAN 板件來進行整體功能的建置；以目前市售的車機系統而言，最常於市售的車機系統出現的外接介面為 RS232，並未包含有足夠快速的連接管道，來連接 WLAN 的裝置(802.11b)，因此對於本計劃的需求而言，在硬體的選擇上，需要能實際連結外接的 GPS 與 WLAN 設備，在連結的介面上主要考量能與設備傳輸速度搭配的傳輸速率介面，因此將介面的最低需求訂立如下，整體系統的硬體架構如下所示：

- GPS 採用 RS232 的連接介面，
- WLAN 設備採用 PCMCIA 介面。

另外在選擇軟體方面的考量，配合在 MANET 網路運作模式及繞送協定演算法之設計，所以在系統的要求上，需要能修改介於系統 OS 和 WLAN 網路卡間的傳輸模式，因此對於軟體系統必須要有極佳的控制能力，來修改本計劃的需求。以目前常用 IA 作業系統而言，大部分以 WinCE、Palm、EPOC 與 Embedded Linux 四個方面來開發系統。

在授權方面 WinCE 是比較高的，當然其功能上也會比較豐富。而 Palm 因為自己有生產硬體，故在授權態度上較為保守。Linux 為 open source 所以免授權金。系統大小以 WinCE 較大，不過因為每一家作業系統的定義多不一樣，例如在 WinCE 裡系統核心可能代表著排程器、記憶體管理和部份驅動程式，而 Linux 就包含了上述部分和系統呼叫 API 等，在這裡的系統 Size 則是指整體系統。其次所需記憶體基本上會跟系統大小成正比，所以我們看到通常用 WinCE 的 PDA 配備的記憶體會比較多。

就本計劃的需求而言除了考慮到基本的技術層面外，我們也必須考慮到產品在應用上的定位和與其他平台的相容性。以 Palm 和 WinCE 而言，其應用程式可多達數百個，雖然說 Palm 與 WinCE 擁有較多的資源，但本計劃的軟體架構需要進行 Routing 協定的更換，這在 WinCE 與 Palm 這些未開放原始碼的作業系統下進行並不容易。此外在整體計劃未來一年大規模推動的需求下，Linux 具有免費且容易更新與修改的優點，將有助於本計劃的執行，因此決定採用 Linux 平台來作為基礎的作業系統平台。

### 6.2.3 硬體系統選購與測試

本計畫的車機系統必須具有可在車內溫度運作的能力，且對於車內的震動環境必須能有效克服，此外除了需要 WLAN 的網路卡模組外，亦必須安裝 GPS 的模組，來達到定位的功能。在本計畫中廣域免基地台式無線電系統 Ad-Hoc 傳輸的資訊中可透過 GPS 與資訊互相結合的方式，讓車間通訊的資訊內容能分析出發出資訊的位置，而可將資訊作進一步分析以及在利用，其次在 ATIS、APTS、ATMS、CVO 與 ETC 的應用上都可發揮其作用因此考量上述內容本計劃所採用的在車機系統規劃的環境需求如下所示：

#### 一、系統環境需求

1. Operating Temperature : 0°C ~ +75°C
2. Humidity : 0% ~ 90% (40°C)
3. Intel Xscale PXA-250 200MHz
4. Display Module (LCD/CRT Monitor)
5. PCMCIA-WLAN Communication Module (802.11b)
6. RS232-GPS Antenna, GPS Receiver
7. FLASH Memory Module

## 二、 軟體規格

1. OS : Linux/FreeBSD/Windows
2. Network Driver : Comp. 802.11b
3. Video : Mpeg video player
4. GUI : VGA graph mode display

本計劃擬採用的車機硬體，主要分成三大部分，分別是主機板模組，GPS 模組與 WLAN 模組，首先在主機板模組部分，主要考量能連接其他兩項的外接介面以及未來在明年數十台測試的可行性，因此考量使用研華所量產的 PCM7210 模組，其中 PCM7210 主機板模組，採用 Intel 的「XScale」架構核心，此為 ARM 架構，具有低電耗、低成本之優勢，並可提升無線上網裝置的運作效能。且由於車上的高震動性，如使用一般硬碟作為程式儲存裝置，其可靠度與耐用性都不適合，故使用 Flash Memory 及 CF Card 作為車機系統的儲存裝置。

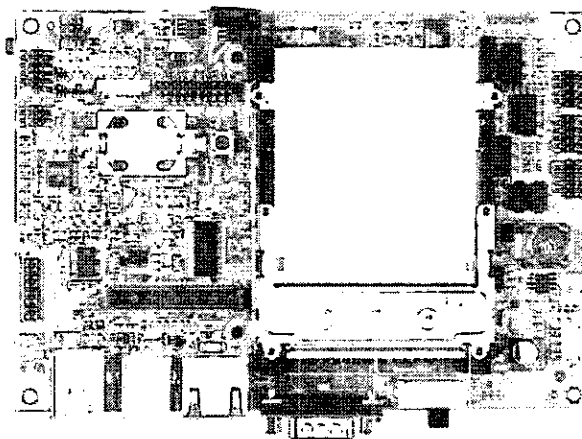


圖 6-5 主機板實物圖

## 6.2.4 軟體系統安裝與測試

在計劃的車機軟體架構方面主要考量能有方式可調整 Ad-Hoc 模式的 Routing protocol 以及在平台上的技術開發容易度，未來移植性、相容性等問題。且由於車機系統為避免使用耐震性低的硬碟，故作業系統須縮小至能於 16 M 的 Flash Memory 內正常工作，故車機系統採用 Embedded LINUX 技術，將 Linux 作業系統縮小移植至車機系統內。因此計劃將系統軟體架構規劃如下所示，最下層為 Linux Kernel 主要考量是 Windows 在網路底層的演算法更改上較不易，因此採用 Linux 架構的 kernel，對於新的 Ad-Hoc Routing 演算法，只要利用掛載方式進入 Linux 即可，此外目前初期預計採用的 Ad-Hoc Routing Protocol 是利用 AODV (Ad-Hoc On-demand Distance Vector Routing) 的方法。為了考量系統在 ITS 智慧型運輸系統的運用方便性，部分應用程式的展示需有圖形化的介面。因此基於應用程式開發的靈活度，且避免使用對硬體需求較大的 X-Windows，故應用程式使用 Qt 來進行程式的圖形化輸出部分的撰寫。Qt 是一個用來寫 GUI 應用程式的 C++ 類別函式庫，可以在 Unix、Windows 95/98 與 Windows NT 平台上執行—跨平台。當使用 Qt 寫完應用程式，只要重新編譯後，在 Windows 系統上就具備可攜性。除了使用者介面的類別之外，Qt 對存取檔案系統、處理日期與時間以及網路程式設計都提供了可攜性的支援。

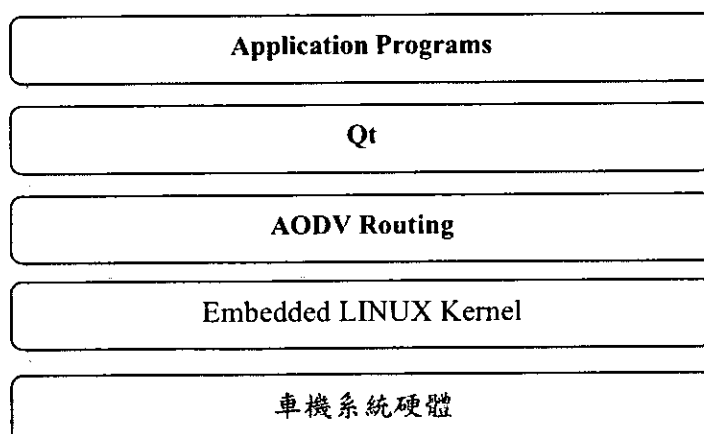


圖 6-6 車機系統軟體架構圖

本計劃期望透過現有車用電腦模組與 WLAN 設備的整合，來表達目前計劃的內容可適用性，此外只要由於使用的模組均為量產設備，不需昂貴的額外開發時間，對於未來在推廣的可行性也相對性提高，此外 WLAN 屬於小範圍的無線上網工具，可以彌補現有 GPRS 基地台無法覆蓋的死角，結合兩者的功能將可提供行車的用路人，在行動中上網接取資訊，應用部分包括收發電子郵件或直接獲取網路資料，因此兩者整合後的力量將會更大。

### 6.2.5 系統整合與驗證

在車機系統各模組間的整合連接，本計劃預計將 GPS 傳輸速度較慢的模組使用 RS232 介面連接，而 PCMCIA 介面則連結 WirelessLAN 模組。模組詳細規格如表 6-3 所列。

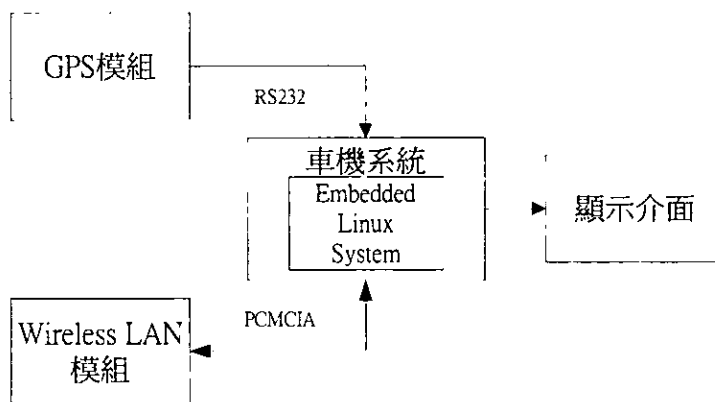


圖 6-7 系統硬體架構圖

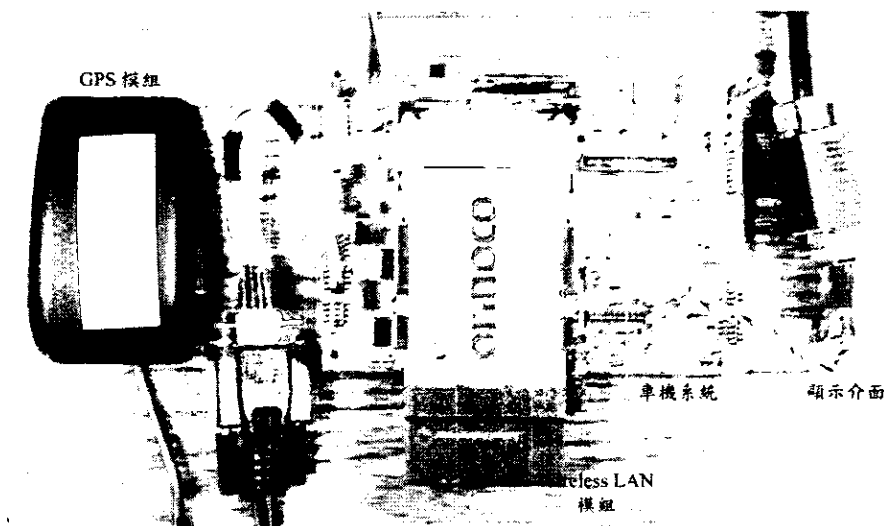


圖 6-8 整合車機系統實物

表 6-3 車機系統的硬體設備列表

設備	規格
車機系統	ADVANTECH PCM7210
GPS 模組	GARMIN GPS35PC
PCMCIA-type 無線網路卡	由 Lucent technology 公司設計，符合 IEEE 802.11b 標準之無線網路卡，輸出功率約 19dBm。
車用磁鐵吸附式外接天線	2.4GHz 天線增益 2dBi、omni 場型。纜線長 1.5 公尺，材質 RG-178 線材，纜線功率損耗約 0.7dB，接頭損耗約 0.3dB。

### 1. Embedded Linux

Embedded Linux 為 Linux OS 的一項應用，對 Embedded Linux 而言，其主要工作放在軟體支援與硬體支援兩個主要方向。對軟體而言，主要針對應用程式執行環境需求作系統整合；對硬體而言，主要針對不同的硬體架構作核心設定與編譯。

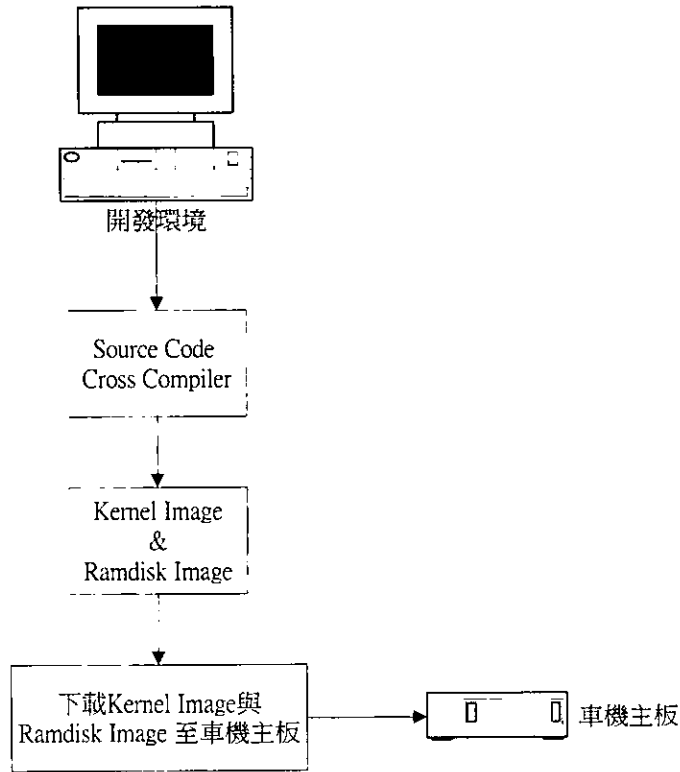


圖 6-9 Embedded Linux 系統開發流程

Linux 之所以具備了移植到不同硬體平台的能力，就是在於它提供了一個硬體抽象層的概念(Hardware Abstraction Layer)，透過這樣的架構我們可以把與硬體有關的部分和與硬體無關的上層應用程式部分做一個切割。

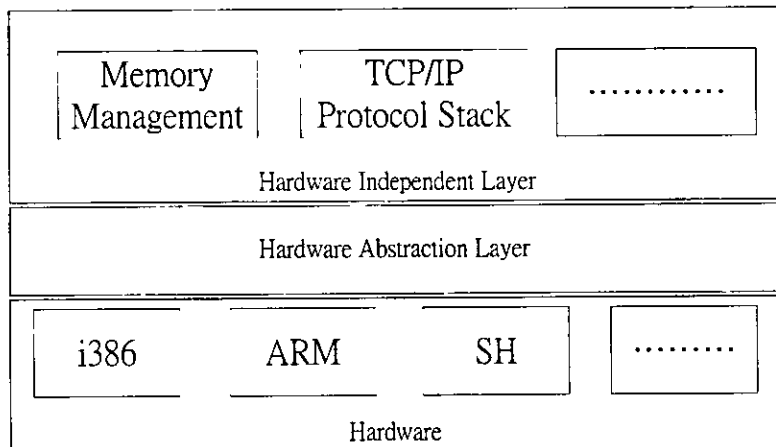


圖 6-10 Linux 系統之硬體抽象層概念圖

在 Linux 核心的原始碼的 arch 目錄下，這個目錄所包含的內容就是 Linux 與硬體平台有關的程式碼，每個目錄的名稱則是依據所屬的處理器類型。在 Linux 編譯的最後階段，會把各核心所編譯完成的模組目的檔連結成一個 vmlinux。因此可以透過與這些目的檔有關的程式碼，來得知與硬體有關的部分提供了哪些函式。透過這些與硬體有關的基本函式，在上層運作的其它模組，便可以在最小修改的情況下，適用於這樣的架構。因為有了硬體抽象層與 Linux 上其它核心模組的運作，所以在 Linux 環境下運作的上層應用程式，可以在不需要修改的情況下，便可以透過跨平台的編譯器(Cross Compiler)來重新編譯，以使得應用程式可以在不同的硬體平台上順利運作。



圖 6-11 車機系統核心編譯

在 Embedded Linux 的開發上我們主要分為三個層次：bootloader 與 Linux kernel 與 Filesystem。bootloader 通常是在任何硬體上執行的第一段程式碼。在車機系統開發時，使用 Jflash 程式從 JTAG 埠將 bootloader 程式從開發環境載入車機主板上的 Flash memory 中。在車機電源啟動後，bootloader 開始執行下列工作：

- (1) CPU 工作速度初始化
- (2) 記憶體初始化，包括啟用記憶體庫、初始化記憶體配置暫存器等
- (3) 序列埠初始化
- (4) 啟用指令與資料快取記憶體
- (5) 設置 stack pointer
- (6) 設置參數區域並完成參數結構和標記
- (7) 執行 POST 標識存在的週邊並回報異常問題
- (8) 為電源管理提供復起與支援
- (9) 移至到 kernel 的起始段

表 6-4 車機系統記憶體配置

記憶體配置	
bootloader	0x00000000 ~ 0x00040000
Partition Table	0x00040000 ~ 0x000C0000
Kernel	0x000C0000 ~ 0x001C0000
Filesystem	0x001C0000 ~ 0x0010000

在執行完上述的起始化工作後，系統便開始接收來自主機的 Kernel 與 Filesystem。當載入 Kernel 後，bootloader 便將控制權移交給 Kernel。

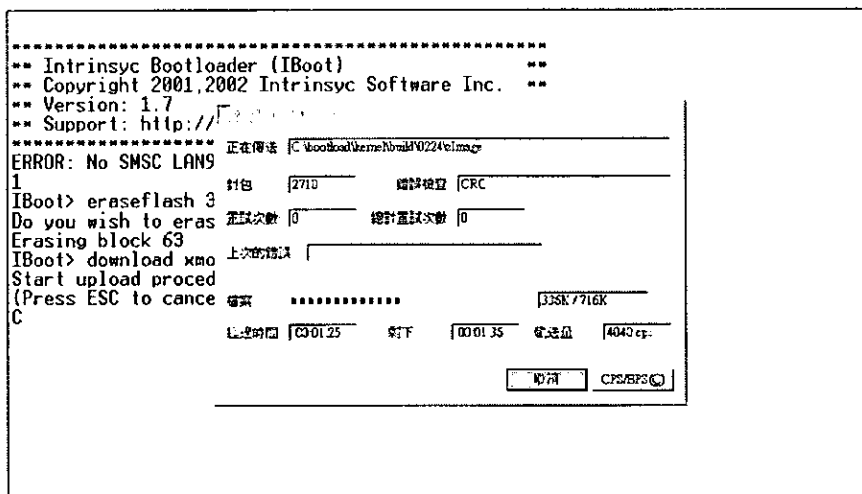


圖 6-12 車機系統之載入 Kernel 程序

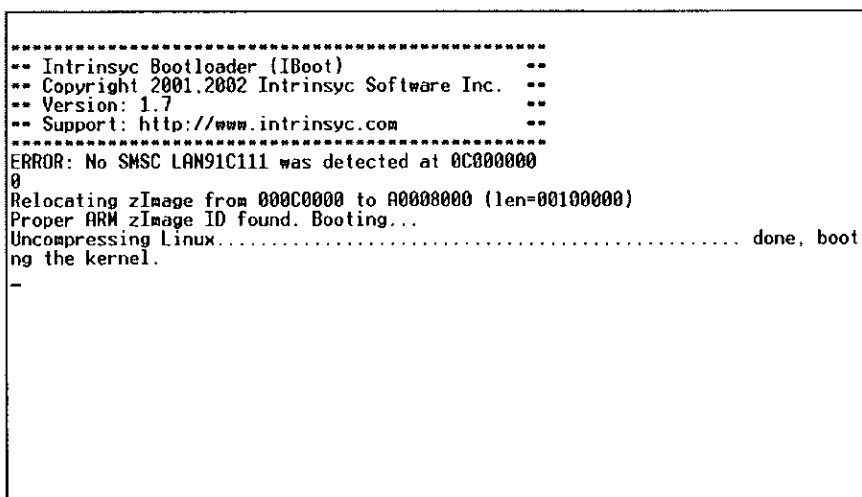


圖 6-13 車機系統 bootloader 將控制權轉移至 Kernel

依據所需的系統功能與硬體週邊將 Linux Kernel 編譯成 zImage，透過 RS232 介面將 Kernel Image 載至車機的 Flash memory 中，並將控制權移至 Kernel 的位址。Linux Kernel 首先會設定 CPU 的暫存區，接著便執行 start\_kernel，這是 Hardware Independence Layer 的起始點。Linux Kernel 接下來會進行 caches 與其他車機主板上硬體裝置的初始化，並掛載 Filesystem。



Filesystem 是一種結構化格式存儲和檢索資訊的方法，由於在本車機系統上並無硬碟裝置，故使用 Ramdisk 機制透過 RAM 來作為創建與掛載 Filesystem。在 Filesystem 類型的選擇上，Ext2fs 是 Linux 上的標準文件系統，但由於其是為了 IDE 設備那樣的區塊設備所設計的，這些設備的邏輯區塊大小是 512 位元組或 1 K 位元組等的倍數，其並不適合於磁區大小因設備不同而不同的 Flash memory。且由於當其欲在磁區中擦除某個位元組時，必須將整個磁區複製到 RAM 中，然後擦除並重寫入。考慮到 Flash memory 具有有限的擦除次數，在此之後就不能繼續使用。加上在出現電源故障時，Ext2fs 並不能防止系統崩潰，故在本車機中改用 JFFS2 文件系統。其具有下列幾項優點：

- (1) JFFS2 在磁區級別上執行 Flash memory 的讀寫與擦除，在操作上要比 Ext2 文件系統好。
- (2) JFFS2 提供了更安全的斷電安全保護。當需要更改少量資料時，Ext2 文件系統是將整個磁區複製到 SDRAM 中，在 SDRAM 中合併新資料，並寫回整個磁區。此意味著為了更改單一位元，系統須對整個磁區執行讀寫擦除，如在 DRAM 中合併資料時發生了系統斷電，那麼將遺失整個資料，因為 Ext2 在將資料讀入 DRAM 後就擦除了 Flash memory 磁區。而 JFFS2 文件系統不是重寫整個磁區，故具有斷電安全保護此一功能。
- (3) JFFS2 是專門為具有 Flash memory 那樣的嵌入式系統設計的，所以它的整個設計提供了更好的 Flash memory 管理。

將編譯出來的 JFFS2 Filesystem 載入 Flash memory 中 0x001C0000 ~ 0x0010000 的位置後，Kernel 便能掛載它。

```

*****
** Intrinsic Bootloader (iBoot)          **
** Copyright 2001,2002 Intrinsic Software Inc. **
** Version: 1.7                          **
** Support: http://www.intrinsic.com     **
*****
ERROR: No SMSC LAN91C111 was detected at 0C000000
1
iBoot> eraseflash 3
Do you wish to erase flash blocks 3-63? (y/n) y
Erasing block 63
iBoot> download xmodem 0xa0020000
Start upload procedure using Xmodem-CRC Protocol.
(Press ESC to cancel.)
CIBoot> flashverify 0xc0000 0xa0020000 0x100000
Flashing: 0x001C0000
iBoot> download xmodem 0xa0020000
Start upload procedure using Xmodem-CRC Protocol.
(Press ESC to cancel.)
CIBoot> flashverify 0x1c0000 0xa0020000 5242880
Flashing: 0x00380000

```

圖 6-14 車機系統之載入 Filesystem 程序

## 2. GPS 模組

為取得車輛所在的位置以進行 ITS 上的應用，與紀錄車輛間的相對位置來對 AODV 應用程式效能測試上的評估，車機使用 RS232 介面來接收 GPS 模組所接收的資料。

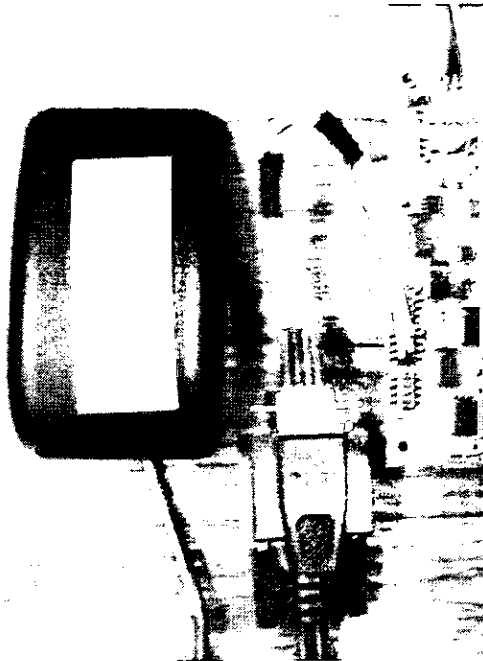


圖 6-15 車機系統 GPS 裝置圖

車機系統從 RS232 所接收到的 GPS 資料為下圖所示，其資料格式需經過程式切割解讀才能取出所需的資訊。其中在車機程式撰寫上所需要的資料格式如表 6-5~6-8 所示。

```

$GPRMC,A,1.0000000000000000,E
$GPRMC,2.1,00.04,00.225,,07.21,200,,00.00,200,,11.00,000.071
$GPRMC,2.2,00.20,39.124,,27.21,200,,20.43,226,,31.23,000.070
$GPRMC,031623,U,2000.4470,N,12122.0100,E,0.00,0.000,0.200004,000.4,10071
$GPRMC,031623,2000.4470,N,12122.0100,E,0.00,,N,,N,,000
$GPRMC,A,1.0000000000000000,E
$GPRMC,2.1,00.04,00.225,,07.21,200,,00.00,200,,11.00,000.071
$GPRMC,2.2,00.20,39.124,,27.21,200,,20.43,226,,31.23,000.070
$GPRMC,031624,U,2000.4470,N,12122.0100,E,0.00,0.000,0.200004,000.4,10070
$GPRMC,031624,2000.4470,N,12122.0100,E,0.00,,N,,N,,000
$GPRMC,A,1.0000000000000000,E
$GPRMC,2.1,00.04,00.225,,07.21,200,,00.00,200,,11.00,000.071
$GPRMC,2.2,00.20,39.124,,27.21,200,,20.43,226,,31.23,000.070
$GPRMC,031625,U,2000.4470,N,12122.0100,E,0.00,0.000,0.200004,000.4,10077
$GPRMC,031625,2000.4470,N,12122.0100,E,0.00,,N,,N,,000
  
```

圖 6-16 GPS 接收資料

表 6-5 GPGSA 資料格式

1	Mode: M=Manual, forced to operate in 2D or 3D A=Automatic, 3D/2D
2	Mode: 1=Fix not available 2=2D 3=3D
3-14	PRN's of Satellite Vehicles (SV's) used in position fix (null for unused fields)
15	Position Dilution of Precision (PDOP)
16	Horizontal Dilution of Precision (HDOP)
17	Vertical Dilution of Precision (VDOP)

表 6-6 GPGSV 資料格式

1	Total number of messages of this type in this cycle
2	Message number
3	Total number of SVs in view
4	SV PRN number
5	Elevation in degrees, 90 maximum
6	Azimuth, degrees from true north, 000 to 359
7	SNR, 00-99 dB (null when not tracking)
8-11	Information about second SV, same as field 4-7
12-15	Information about third SV, same as field 4-7
16-19	Information about fourth SV, same as field 4-7

表 6-7 GPRMC 資料格式

1	UTC time of fix
2	Data status (A=Valid position, V=navigation receiver warning)
3	Latitude of fix
4	N or S of longitude
5	Longitude of fix
6	E or W of longitude
7	Speed over ground in knots
8	Track made good in degrees True
9	UTC date of fix
10	Magnetic variation degrees (Easterly var. subtracts from true course)
11	E or W of magnetic variation
12	Mode indicator, (A=Autonomous, D=Differential, E=Estimated, N=Data not valid)
13	Checksum

表 6-8 GPGGA 資料格式

1	UTC time of fix	
2	Latitude of fix	
3	N or S of longitude	
4	Longitude of fix	
5	E or W of longitude	
6	Fix - 0 = Invalid - 1 = GPS fix - 2 = DGPS fix	Quality: Invalid fix
7	Number of Satellites	
8	Horizontal Dilution of Precision (HDOP)	
9	Altitude	
10	meter	
11	Height of geoid above WGS84 ellipsoid	
12	meter	
13	Time since last DGPS update	
14	DGPS reference station id	
15	Checksum	

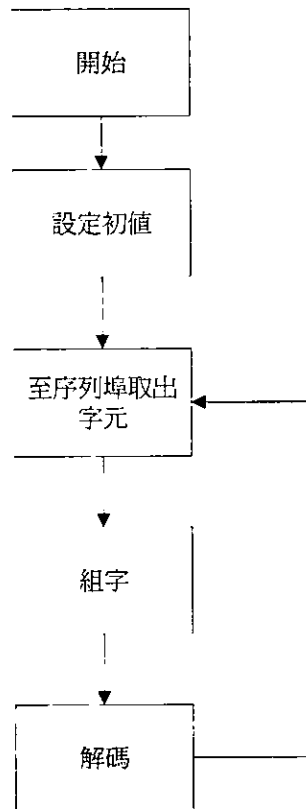


圖 6-17 GPS 應用程式流程

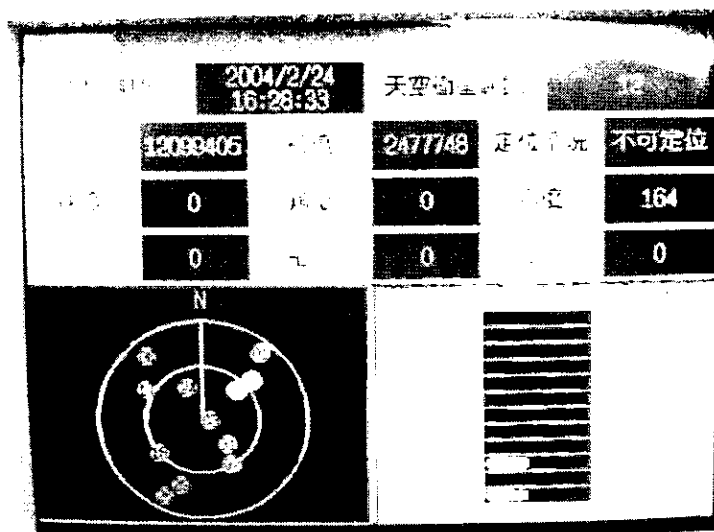


圖 6-18 GPS 程式執行畫面

### 3. Wireless 模組

因市售無線網路卡多為 PCMCIA 介面，故本系統的 Wireless 模組使用 PCMCIA 介面與車機系統進行整合。在 Linux 上的 PCMCIA 資源是透過 Card Services 來控制，Linux 系統為 PCMCIA Card 維護一組資源，必要時才加以配

置，而不是為個別裝置提供專屬的系統資源。在無線網卡插入車機時，cardmgr 系統程序負責指揮整個裝置的組態設定過程，在過程中 cardmgr 會將系統資源、Kernel 元件與驅動程式模組透過/etc/pcmcia 的組態檔結合，其過程如下：

- i. 當卡片插入 PCMCIA 插槽時，cardmgr 會查詢卡片的 CIS(Card Information Structure)，判斷插入卡片的種類及所需的資源。
- ii. cardmgr 查詢/etc/pcmcia/config 內的卡片資料，判斷所插入的卡片為何，並將卡片與網路類別連結起來。
- iii. cardmgr 判斷有哪些資源可以配置給卡片。在主要組態檔中會保留系資源區塊給 PCMCIA 卡使用，且將所需的資源發放給卡片。
- iv. cardmgr 所配置的資源會在 PCMCIA 控制晶片上加以設定，該控制晶片將與驅動程式互動，並將所需的資源對映到可用的系統資源。
- v. 依據裝置類別設定進一步的使用者空間組態。

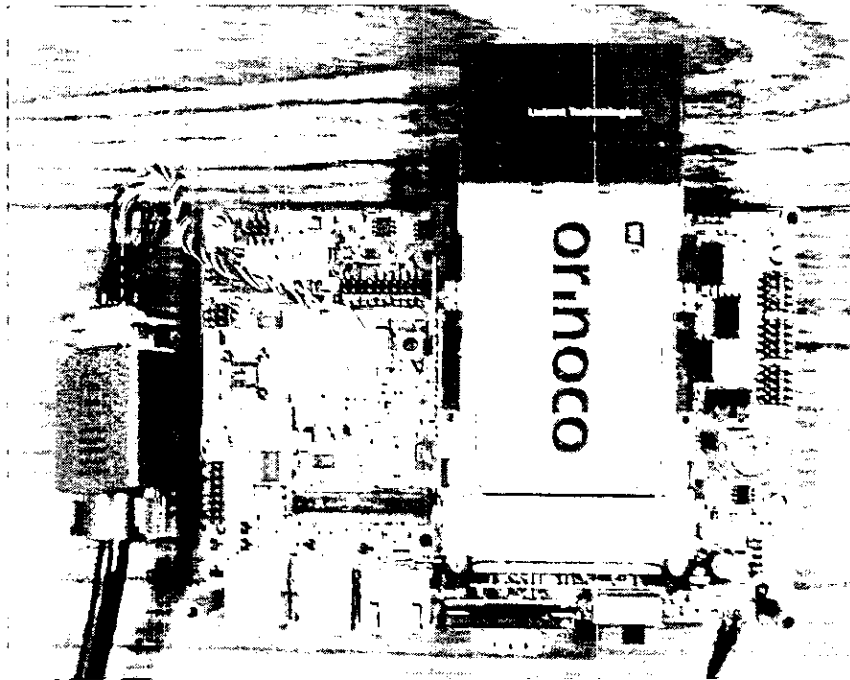


圖 6-19 車機系統無線網卡安裝圖

本系統所使用的無線網卡為 Lucent Technologies 所生產的 PCMCIA 介面無線網卡。由於車機系統的 PCMCIA 介面使用 PXA250/210 Card Bus 故在 Kernel 設定上需將其支援開啟。

Arrow keys navigate the menu. <Enter> selects submenus --->. Highlighted letters are hotkeys. Pressing <Y> includes, <N> excludes, <M> modularizes features. Press <Esc><Esc> to exit, <?> for Help. Legend: [\*] built-in [ ] excluded <M> module < > module capable

```

<M> PCMCIA/Cardbus support
    [ ] 82365 compatible bridge support
    [ ] atabook TC1C host bridge support
    <M> XA25C/210 support
  
```

<Select> <E> <H>

圖 6-20 車機系統之 PCMCIA 介面 Kernel 設定

Arrow keys navigate the menu. <Enter> selects submenus --->. Highlighted letters are hotkeys. Pressing <Y> includes, <N> excludes, <M> modularizes features. Press <Esc><Esc> to exit, <?> for Help. Legend: [\*] built-in [ ] excluded <M> module < > module capable

```

[*] Wireless LAN (non-harradio)
< > TRIP (Metricom starnode radio IP)
< > TGT TaveLAN & DEC Rea>About DS support
< > ironet Arlan 655 & IC2200 DS support
< > ironet 4500/4800 series adapters
<M> ermes chipset 802.11b support (Orinoco/Prism2/Symbol)
< > ykbol spectrum24 802.11b support (spectrum24t)
... Wireless Pcmcia cards support
<M> ermes PCMCIA card support
< > icco/Aironet 34X/35X/4500/4800 PCMCIA cards
<M> vlan_cs driver for Orinoco/Lucent cards
< > prism2 driver for Intersil Prism2 cards
  
```

<Select> <Exit> <H>

圖 6-21 車機系統之無線網卡 Kernel 設定

在插入無線網卡後，/etc/pcmcia/wireless 就會被執行，同時載入 /etc/pcmcia/wireless.opt 中的組態選項。執行 iwconfig 顯示該無線介面的功能資訊，並透過無線網路連接其他電腦，以確定無線網卡與車機系統的整合正確。

```

root@car:~# iwconfig
lo        no wireless extensions.

wlan0    : Device wlan0 has been compiled with version 13
Some things may be broken...

eth1     IEEE 802.11-DS  ESSID:"Wan-5804"  Nickname:"Wan-5804"
         Mode:Managed  Frequency:2.412 GHz  Access Point: 08:00:0E:54:00:22
         TxPower=0.00 dBm  Sensitivity:12
         Encryption key:off
         TxMgmtCmd=off  Signal level:-61 dBm  Noise level:-22 dBm
         TxQueueLen=0  Mode:Managed  Mode:Managed

root@car:~# ping www.yahoo.com -c 1
PING www.yahoo.com (72.14.209.104): 64 bytes of data:
64 bytes from www.yahoo.com: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.27 ms
--- www.yahoo.com ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss,
round-trip min/avg/max = 1.07/1.57/1.92 ms

```

圖 6-22 無線網卡在車機系統上的連結狀態

### 6.2.6 測試系統之整備

在系統測試階段由於須長時間紀錄測試資料，而車機系統並無規劃大容量的記憶模組以紀錄資料。且基於測試程式與參數修改上的便利性，故將車機程式移植至 x86 架構的準系統上進行測試。其中準系統與車機系統不同之處只有底層 Linux Kernel 版本的不同，其餘上層程式皆與車機系統相同。

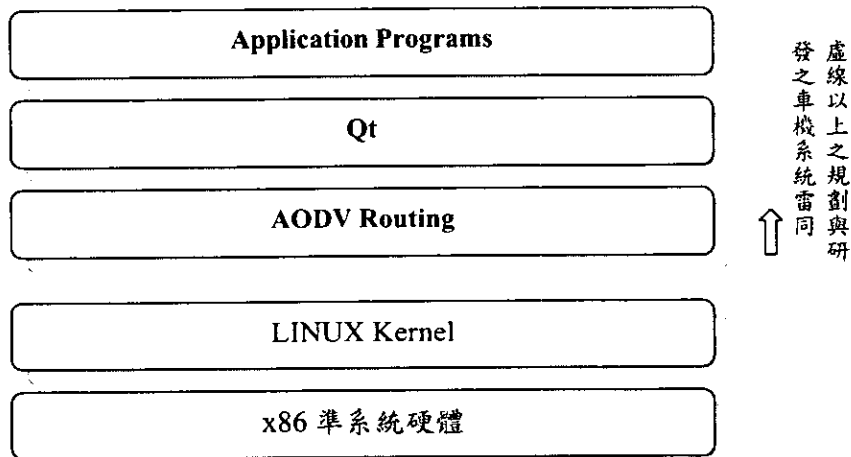


圖 6-23 準系統軟體架構圖

#### 1. 準系統的硬體規格

圖 6-24(a)及(b)分別顯示準系統之系統方塊圖以及系統實體照片，本測試總共準備了四套準系統設備，該硬體設備包含車用 12V 直流轉 110V 交流之充電器、穩壓用不斷電系統、準系統主機、車用顯示器、GPS 衛星定位模組、PCMCIA-type 無線網路卡及外接式車用天線，詳細數量及規格如表 6-9 所列。準系統硬體規格的考量除了功能之相榮幸與完整性外，另外亦考量空間與系統穩定性等問題，由於準系統之機構設計本身已加強考慮空間與散熱等問題，是故本研究的設備整備著重於電源穩定性與防震等課題；然而為了要使系統能夠在車內較為惡劣的操作環境進行測試，這些問題仍需要再加以改進。圖 6-25 顯示車機準系統能夠成功裝置於車輛上，並同時能夠容納操作人員進行測試。

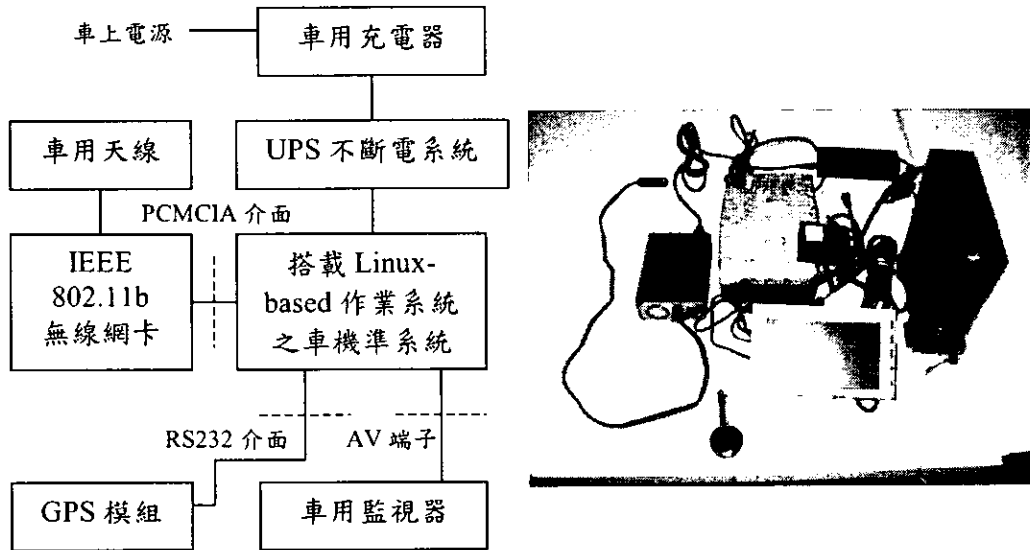


圖 6-24 準系統之系統方塊圖與實體照片

表 6-9 測試用準系統之硬體規格表

模組名稱	型號	功能
主機板與外殼	符合 Micro-ATX 標準之主機板與主機外殼	提供 x86 基礎系統暨周邊介面輸入與顯示能力
中央處理器	支援 Intel x86 核心之處理器	系統運算能力核心
動態記憶體	256M DDR333	系統運算所需之記憶體
儲存媒體	2.5 吋容量 20G 之硬碟	具防震功能之行動硬碟，用以儲存軟體與量測資料
車用顯示器	7 吋液晶平面顯示器	具有 AV 訊號輸出功能之顯示器
無線網路卡	符合 IEEE 802.11b 無線區域網路協定之 PCMCIA 介面無線網路卡	提供以 IEEE 802.11b 為基礎之 ad-hoc 傳輸模式
定位模組	具備 RS-232 介面之衛星定位模組	進行車輛即時衛星定位與行徑追蹤



(a) 安裝於車內之準系統

(b) 實驗時可進行動態操作

圖 6-25 準系統於車輛內的安裝方式



## 2. 準系統的軟體規格

準系統所選定之軟體規格與第 6.1 節所提及之雛形系統雷同，由於這些系統之硬體規格均以使用 x86 為基礎之個人電腦規格為考量，因此其軟體規格具備相容性；使用具備相容性的軟體規格有助於加速測試設備整備的效率，並且便於在將來使用同樣具備 x86 相容性之系統或應用軟體在其上進行測試。作業系統軟體種類為 Linux 作業系統，並搭配本研究自行開發之 AODV 繞送驅動程式，以及適當之資料流流量產生器，版本如表 6-10 所列。

表 6-10 準系統的軟體列表

設備	版本
Linux 作業系統	Red hat 8.0 版
AODV 繞送程式	AODV 1.0 版，以 UDP 模式產生資料封包傳送至目的端，並記錄下傳輸速率及該路徑所經過的節點 (node)。
Traffic generator 資料流量產生器	以 TCP/IP 及 UDP 模式產生資料封包傳送至目的端，並記錄下各時間點對應之傳輸速率

## 6.3 系統實測之規劃與實行

本研究考量使用雛形與車機系統進行實地測試之必要性，並依據計畫書之規劃，已進行對 MANET 系統之初步實地量測以及效能分析與評估。本研究目前已進行之量測實驗包括於高架道路環境進行最多四輛動態車機之端點連線測試(其跳接傳輸模式最多為 3 hops)，並進行如最遠傳輸距離測試、路徑回復時間與生命期測試、資料傳輸率(throughput)測試、以及如動態影像和多媒體網頁之傳輸測試等；根據計畫期中審查會議之意見，本研究同時進行了不同道路環境之實地測試，茲將這些道路環境之特性與實驗重點描述於下：

1. **高架道路：**高架道路實驗具有開闊的環境，車輛密度較市區道路稀疏，傳輸節點具有較高的移動速率等特點；無線電傳輸環境屬於視線內傳輸(LOS)或是低度遮蔽(lightly obstructed)的環境。位於高架道路進行量測較能夠設定相關量測參數與變因，並且高架道路的實驗環境較接近現階段 MANET 應用於 ITS 系統之規劃，因此本研究在高架道路的量測重點在於取得 MANET 技術中重要的實地效能數據，包括點對點最大傳輸距離、資料傳輸率、路徑回復時間等，並根據不同的變因(包括車輛相對速度、相對距離、hop 數、TCP 或 UDP 傳輸模式等)進行效能評估與分析。
2. **市區平面道路：**市區平面道路實驗具有複雜的車輛移動模式以及較嚴苛的傳輸環境，雖然車機之絕對速度較低，然而無線電傳輸所可能受到的遮蔽、干擾因素等較為複雜；現階段在擁擠的市區道路進行較為精準的實驗設定較為困難，本研究使用 4 輛行動車機於較為擁擠的市區道路進行資料傳輸率的量測與記錄，進而根據資料傳輸率在時間軸上的變化(snapshot)做進一步解釋，並與高架道路環境之量測結果進行比較。
3. **郊區道路：**郊區道路的特點在於行動車輛或遮蔽物較少，但在地形地物的遮蔽上較多；本研究選擇交通大學校園作為郊區道路之實驗環境，其實驗重點在於探討藉由 MANET 技術進行跳接式傳輸時，訊息涵蓋範圍以及資料傳輸率的變化；郊區道路同時進行了不同資料模式的傳送測試，報告中將針對這些測試結果進行文字說明。

### 6.3.1 高架道路之實驗與結果分析

為了實地測試車機與 MANET 系統於各種車輛行駛狀況下對車間通訊的影響，本實驗目前設計三種情境，包括(1)單點連線距離、(2)兩車於不同相對速度下對資料傳輸的影響、及(3)資料多段式跳接傳輸進行實測；下面將分述實驗目的、情境、數據及結果：

#### 6.3.1.1 實測規劃介紹

基於人力、無線網路設備、可使用車輛的限制及道路測試環境的考量，在初期的實地路測實驗裡，我們將規劃最多做四輛車之間的車間通訊效能量測。道路環境選擇在南寮漁港附近及 68 快速道路一段長約 1 公里，高度差小的道路(見圖 6-26)。選擇道路環境的考量為：一、必須車流量較少，以利實驗設定車輛位置及控制車輛相對速度及位置較容易。二、道路高度差必須符合不同的實

驗目的要求，例如當需要探討高度對信號的影響時，必須找到高度落差適合的路段；反之，當希望高度因素不要成為變因時，必須找尋平整無高度差的路段；圖 6-27 至圖 6-29 顯示本研究進行高架道路量測之實際情況與路況。

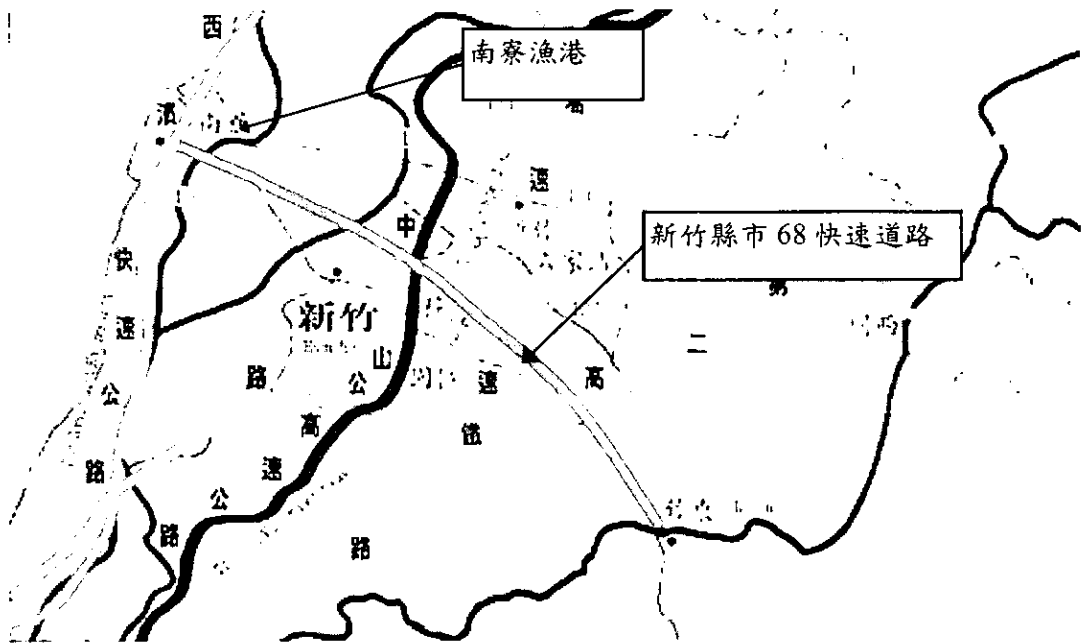


圖 6-26 新竹南寮漁港及 68 快速道路之位置圖



圖 6-27 以編號 A、B、C 三車於 68 號快速道路進行跳接式資料傳輸測試圖

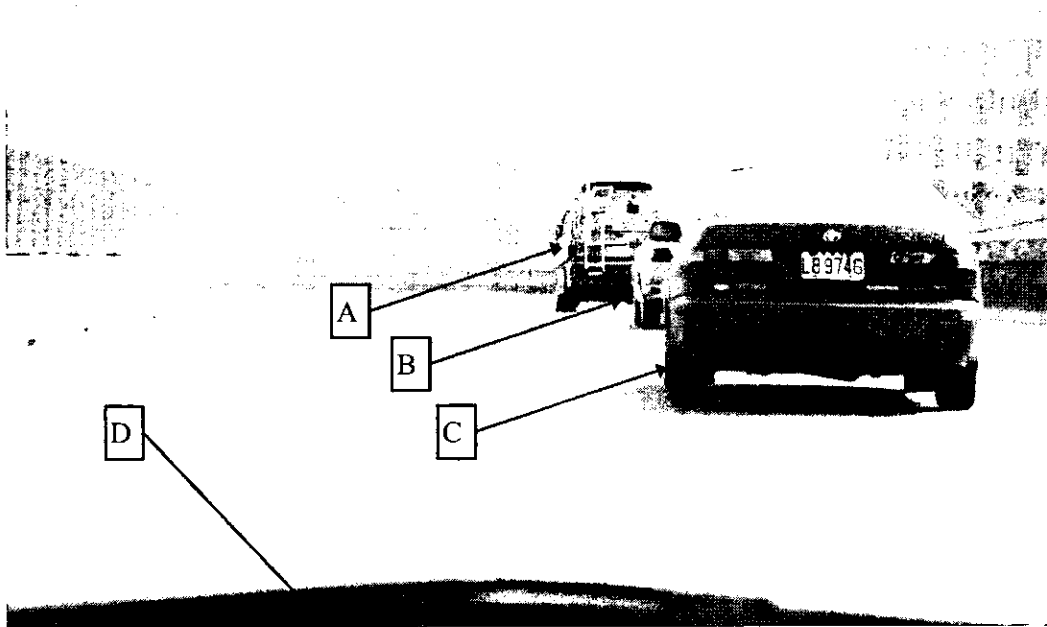


圖 6-28 使用四輛車於 68 號快速道路進行跳接式資料傳輸測試圖(初始狀態)

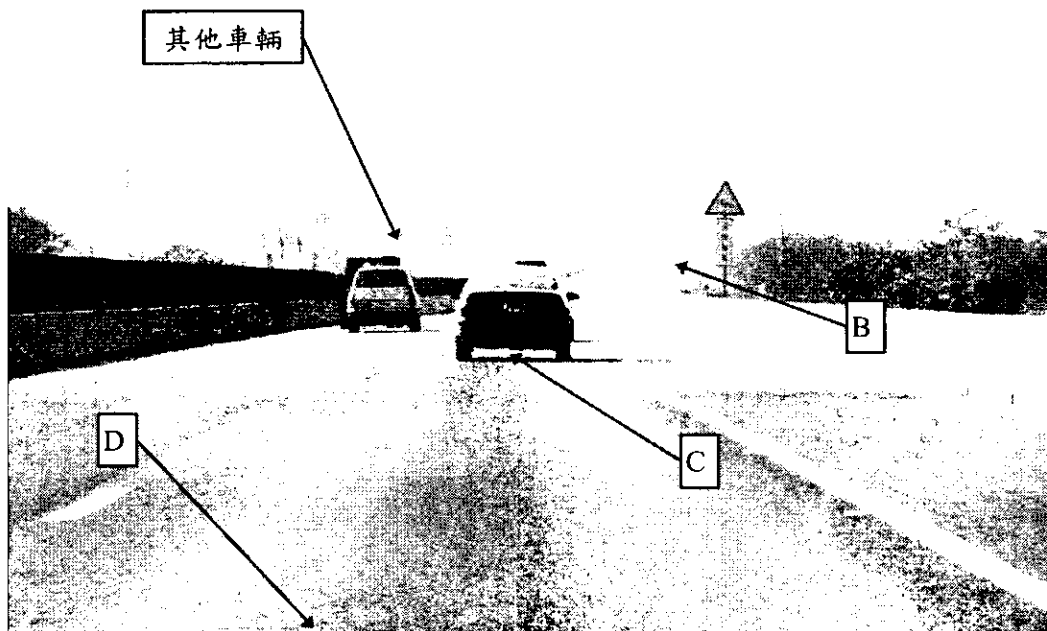


圖 6-29 使用四輛車於 68 號快速道路進行跳接式資料傳輸測試圖(車距遠離狀態)

每部車必須搭配兩個人(見圖 6-30、6-31)，包含一個駕駛員，一個溝通及操作者。溝通者手持無線對講機與各車的溝通者及路測指揮官溝通，收取指揮官的指令，並命令駕駛員調整行車速度及車輛位置，及命令操作者開啟或關閉網路功能，以按照規劃的測試方式進行資料之收集。



圖 6-30 以 2.4GHz 車用外接天線進行道路實測示意圖



圖 6-31 實驗前設定 LINUX 作業系統內封包傳輸軟體示意圖

### 6.3.1.2 單點連線距離與資料傳輸率測試

此測試注重觀察兩個網路節點(Mobile Node)的傳輸信號覆蓋範圍以及資料傳輸速率；本研究同時針對不同傳輸模式(TCP 與 UDP)進行深入的效能評估。實驗中使用兩部車機，在傳輸距離的測量方面，其中一輛 A 車靜止不動，對 B 車發送資料封包，B 車逐漸向前移動，直到無法連線為止，如圖 6-32 所示，

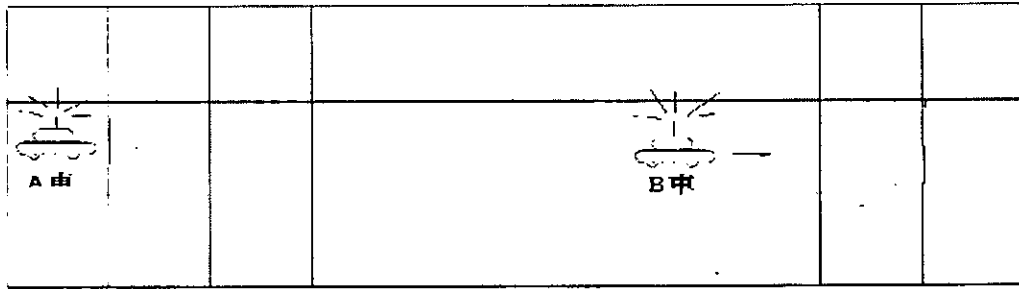


圖 6-32 訊號覆蓋範圍測試示意圖

本研究於 TCP/IP 模式進行五次測試，結果如圖 6-33 所示；於 UDP 模式亦進行五次測試，結果如圖 6-34 所示。

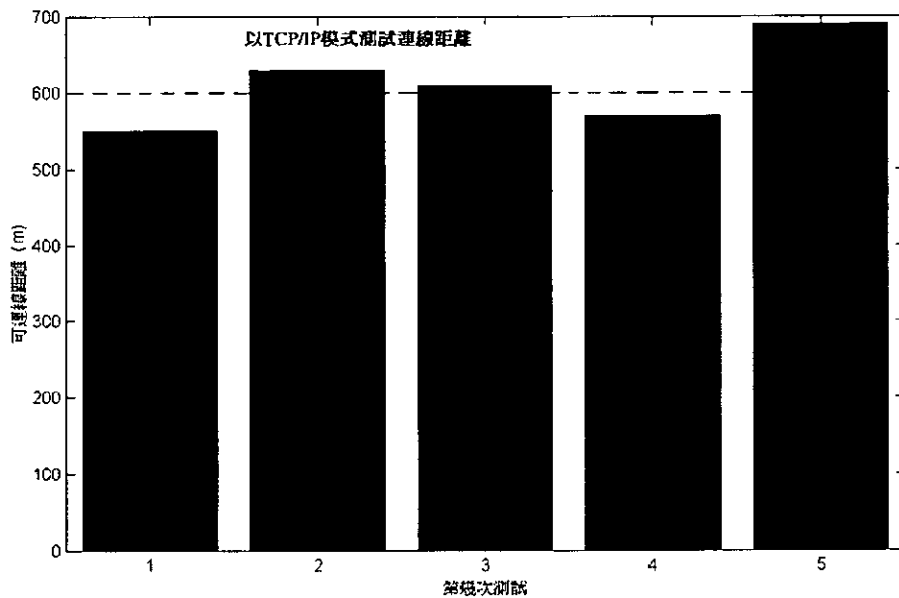


圖 6-33 以 TCP/IP 模式測試連線距離

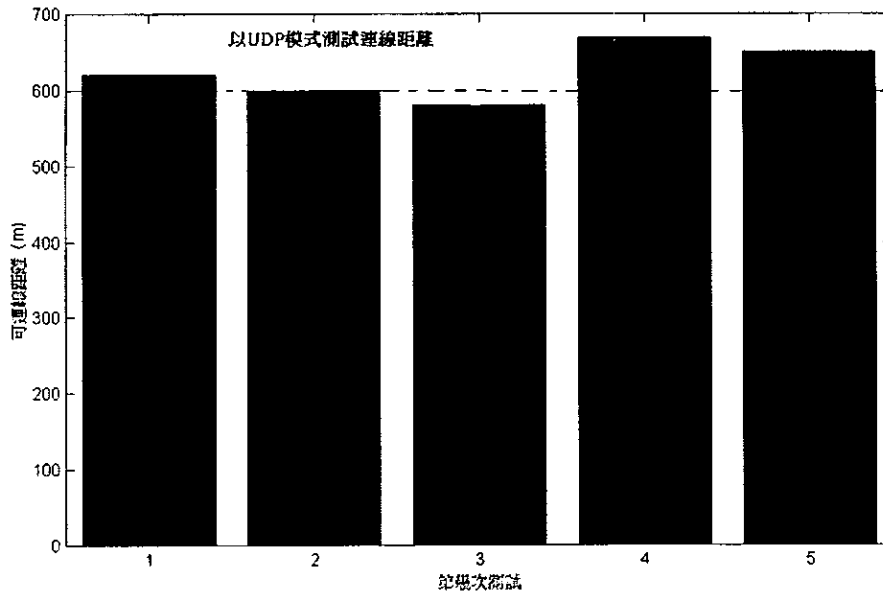


圖 6-34 以 UDP 模式測試連線距離

依據各五次實測的結果，發現 B 車離開 A 車平均約 600 公尺才會有中斷連線的情形發生，超過內建天線式 200 公尺的連線距離，因此單點連線距離超過 600 公尺。分析此實驗結果為發射和接收端皆使用外接式的鉛垂天線，其水平方向增益約為 2dBi，優於一般內建式天線約 -5~0dBi 的增益值。

在資料傳輸速率的測試方面，主要觀察兩個移動網路節點(Mobile Node)於相對速度 120、80、20 公里下是否對傳輸資料傳輸速率有影響(見圖 6-35)。

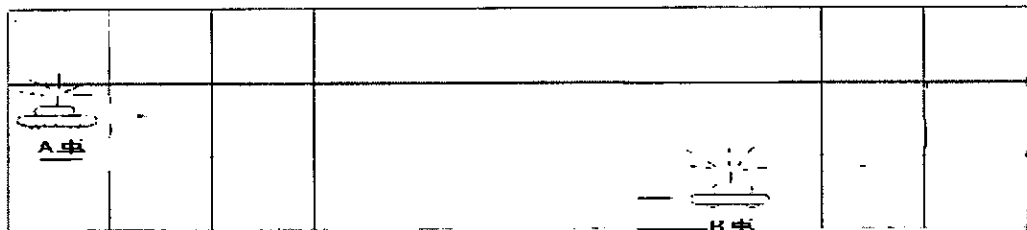


圖 6-35 兩車相對移動情況下測試連線速度示意圖

A 車及 B 車同時以時速 10 公里互相對開，則兩車在相對速度 20 公里的情況下，分別以 TCP/IP 及 UDP 模式測試連線速度；再同時以時速 40 公里互相對開，則兩車在相對速度 80 公里的情況下，分別以 TCP/IP 及 UDP 模式測試連線速度；最後以時速 60 公里互相對開，則兩車在相對速度 120 公里的情況下，分別以 TCP/IP 及 UDP 模式測試連線速度。

1. 兩車在相對速度 20 公里的情況下，以 TCP/IP 模式做測試時可以發現(見圖 6-36)，在 100 公尺內連線速度高達 500kbytes/sec(4000kbits)以上，在 200

公尺內連線速度也維持在 200kbytes/sec 以上，最長連線距離約在 350 公尺左右。

2. 兩車在相對速度 20 公里的情況下，以 UDP 模式做測試時可以發現(見圖 6-37)，在 100 公尺內大部分連線速度亦可達 500kbytes/sec(4000kbits)以上，在 200 公尺內連線速度也可維持在 200kbytes/sec 以上，但變化較 TCP 模式劇烈，最長連線距離約在 420 公尺左右。

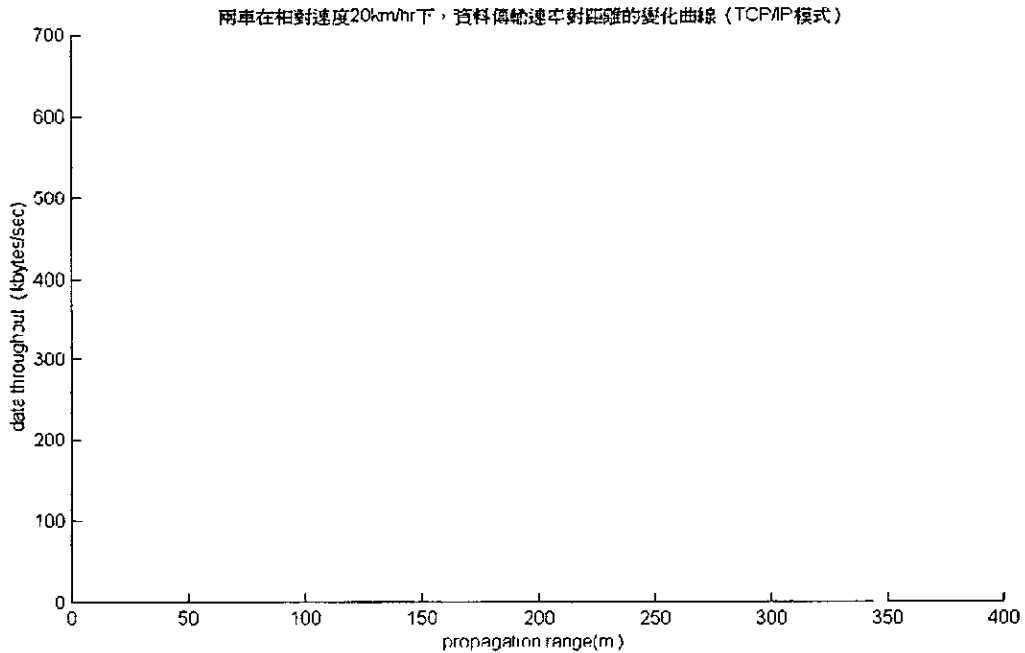


圖 6-36 兩車在相對速度 20 公里的情況下，以 TCP/IP 模式做連線速率測試

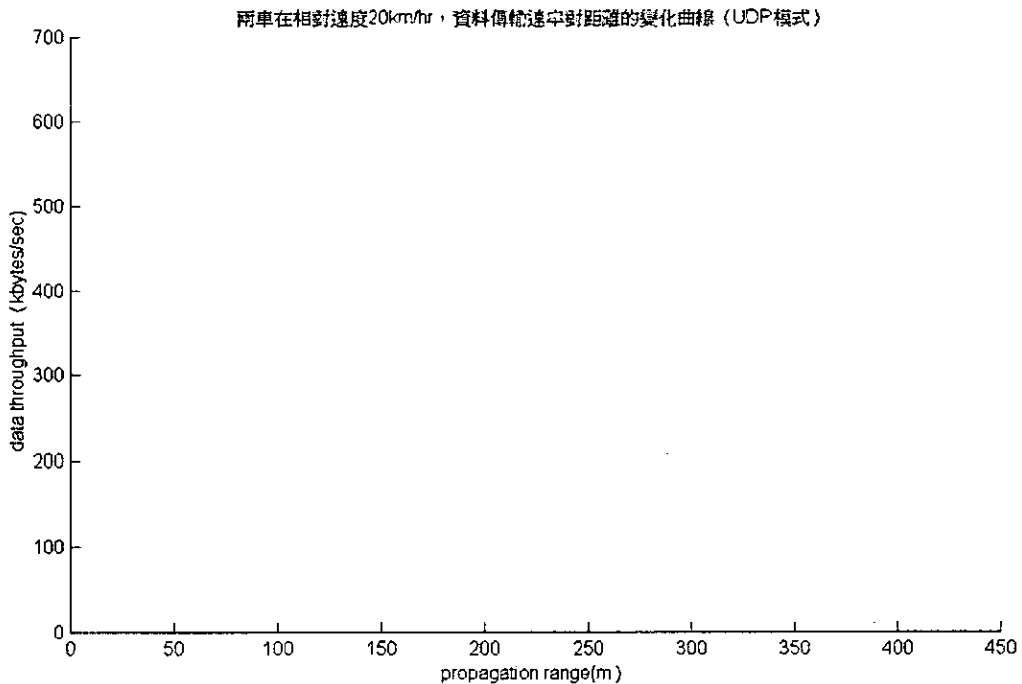


圖 6-37 兩車在相對速度 20 公里的情況下，以 UDP 模式做連線速率測試



3. 在相對速度 20 公里，兩種模式下傳送資料(見圖 6-38)，可以得知兩種模式差異不大，但以 UDP 模式傳送距離可多出約 100 公尺。

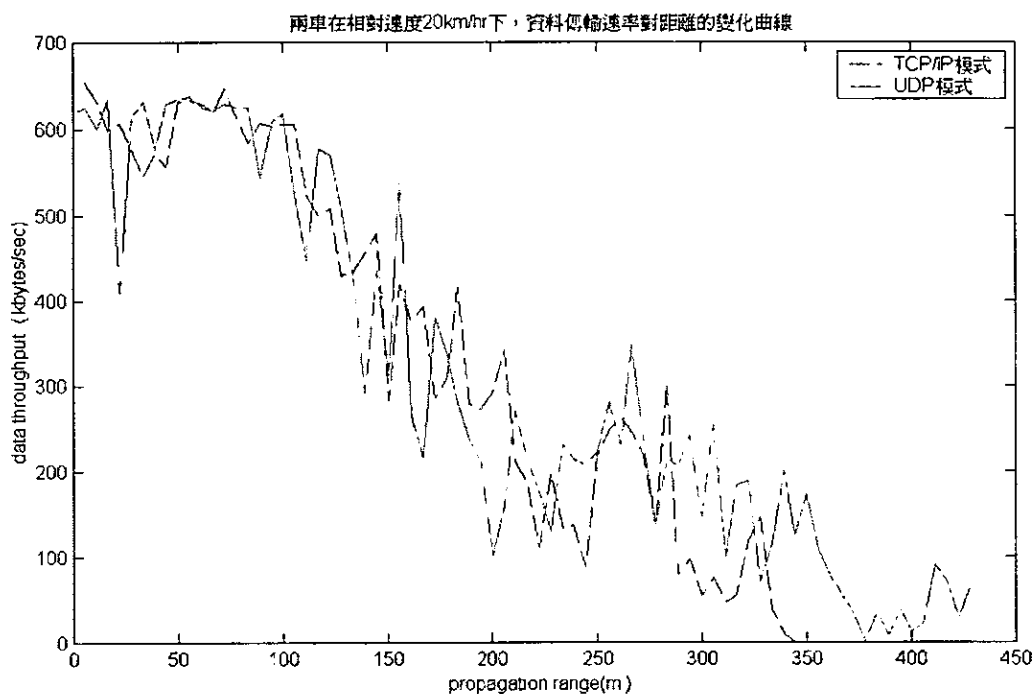


圖 6-38 在相對速度 20 公里的情況下，TCP 及 UDP 模式下連線速率之比較

4. 在相對速度 80 公里的情況下，以 TCP/IP 模式做測試時發現(見圖 6-39)，在 100 公尺內連線速度皆可達 500kbytes/sec(4000kbits)以上，在 200 公尺內連線速度也可維持在 400kbytes/sec 以上，最長連線距離約在 500 公尺左右。
5. 在相對速度 80 公里的情況下，以 UDP 模式做測試時發現(見圖 6-40)，在 100 公尺內部分連線速度可達 500kbytes/sec(4000kbits)以上，在 200 公尺內連線速度也可維持在 400kbytes/sec 以上，但變化亦較 TCP 模式劇烈，最長連線距離約在 650 公尺左右。
6. 在相對速度 80 公里，兩種模式下傳送資料(見圖 6-41)，可以得知兩種模式差異不大，但以 UDP 模式傳送距離可多出約 150 公尺。

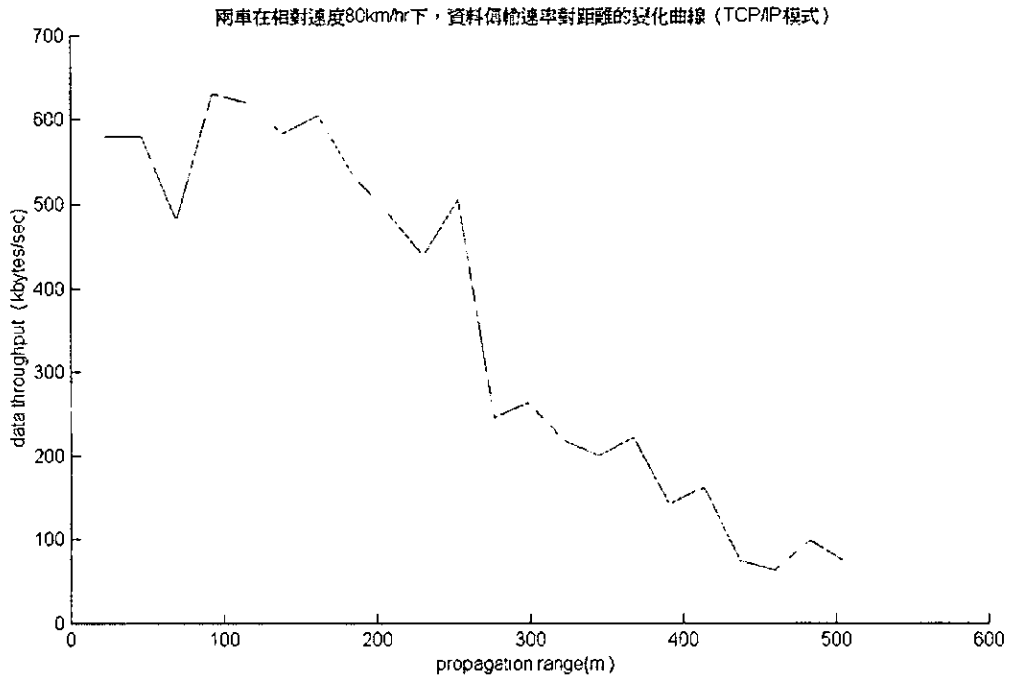


圖 6-39 兩車在相對速度 80 公里的情況下，以 TCP/IP 模式做連線速率測試

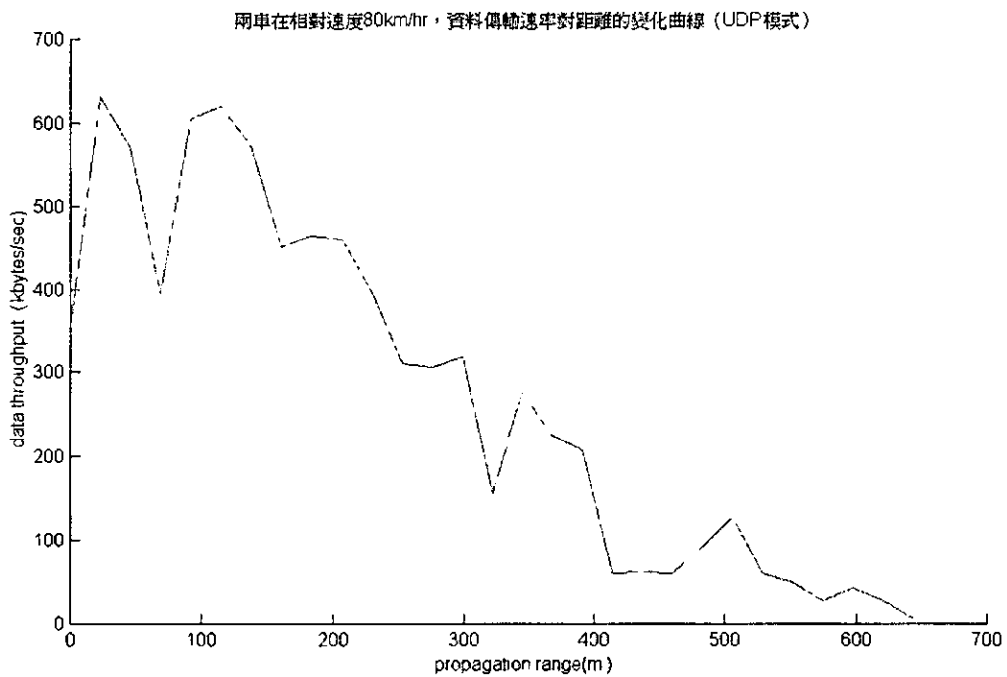


圖 6-40 兩車在相對速度 80 公里的情況下，以 UDP 模式做連線速率測試

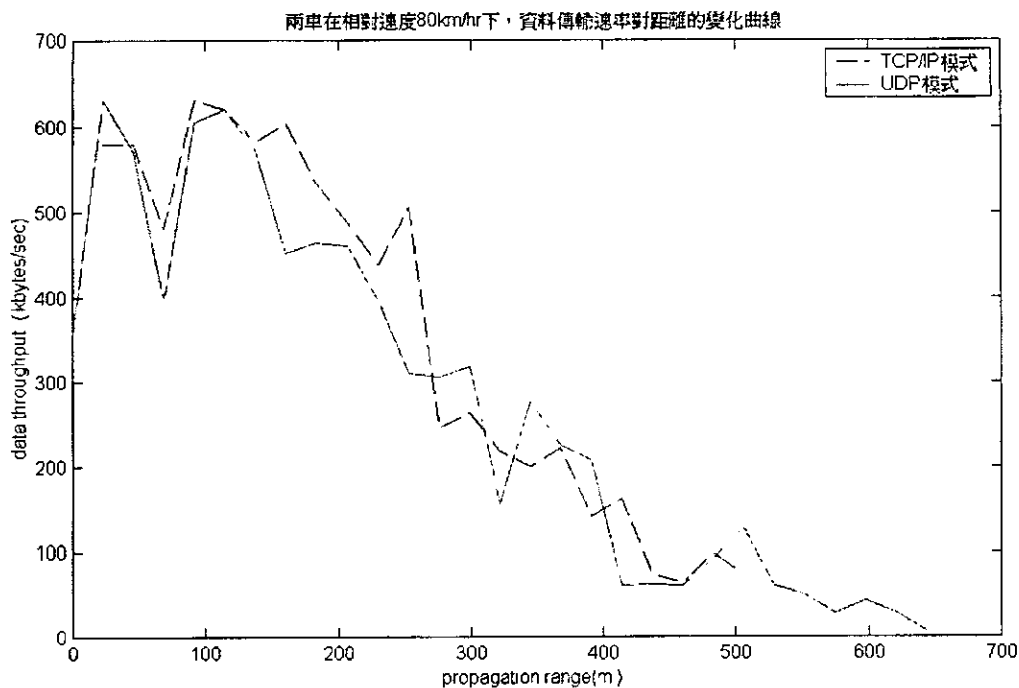


圖 6-41 在相對速度 80 公里的情況下，TCP 及 UDP 模式下連線速率之比較

7. 兩車在相對速度 120 公里的情況下，以 TCP/IP 模式做測試時可以發現(見圖 6-42)，在 100 公尺內部分連線速度可達 600kbytes/sec(4800kbits)以上，在 200 公尺內連線速度也可維持在 250kbytes/sec 以上，最長連線距離約在 420 公尺左右。
8. 兩車在相對速度 120 公里的情況下，以 UDP 模式做測試時可以發現(見圖 6-43)，在 100 公尺內部分連線速度亦可達 600kbytes/sec(4800kbits)以上，在 200 公尺內連線速度也可維持在 400kbytes/sec 以上，但變化較 TCP 模式劇烈，最長連線距離約在 480 公尺左右。
9. 在相對速度 120 公里，兩種模式下傳送資料(見圖 6-44)，以 UDP 模式傳送速度較快且傳送距離可多出約 100 公尺。

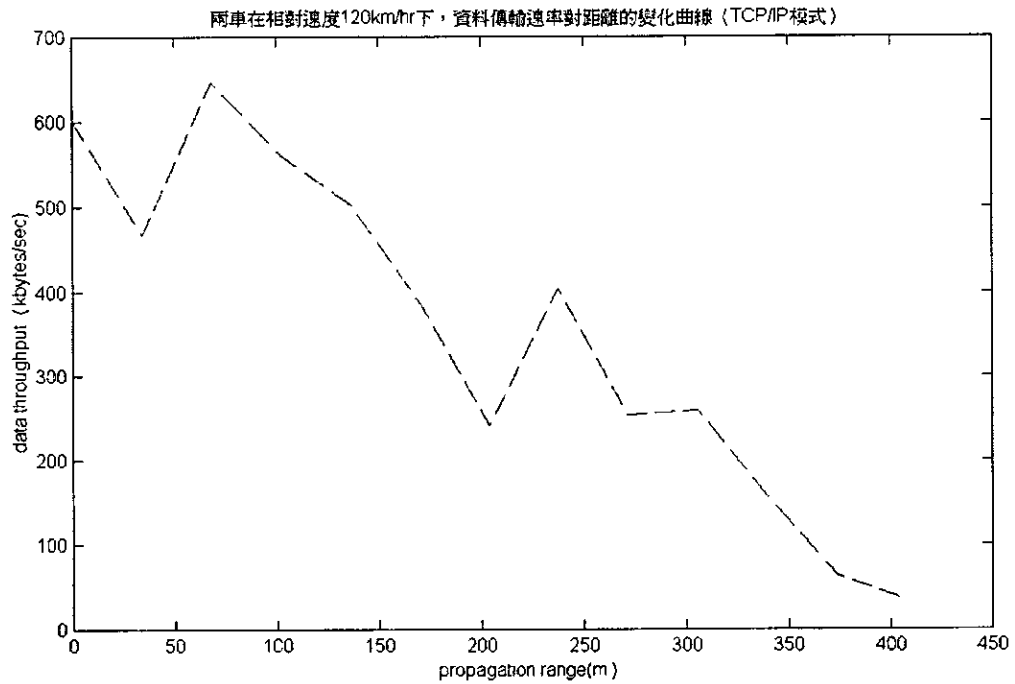


圖 6-42 兩車在相對速度 120 公里的情況下，以 TCP/IP 模式做連線速率測試

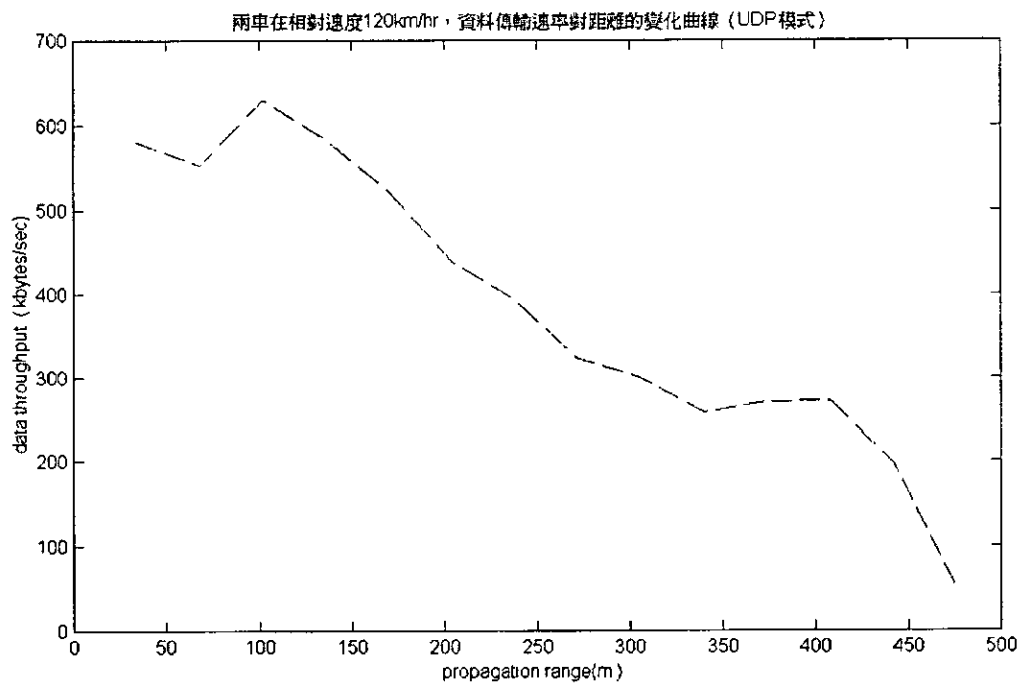


圖 6-43 兩車在相對速度 120 公里的情況下，以 UDP 模式做連線速率測試

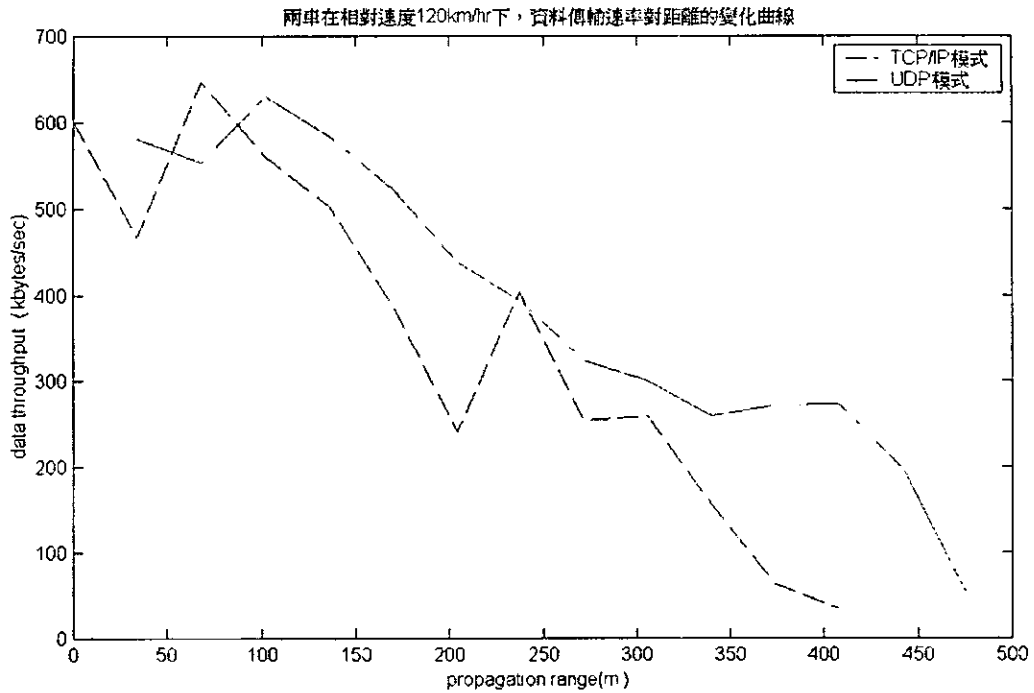


圖 6-44 在相對速度 120 公里的情況下，TCP 及 UDP 模式下連線速率之比較

10. 根據圖 6-45、6-46 所示，資料傳輸速率與距離和訊號強度較有關聯性。兩個移動節點的相對速度與訊號強度比較沒有關聯，但在高速移動以 UDP 模式傳送速度較 TCP 模式快且傳送距離較遠。

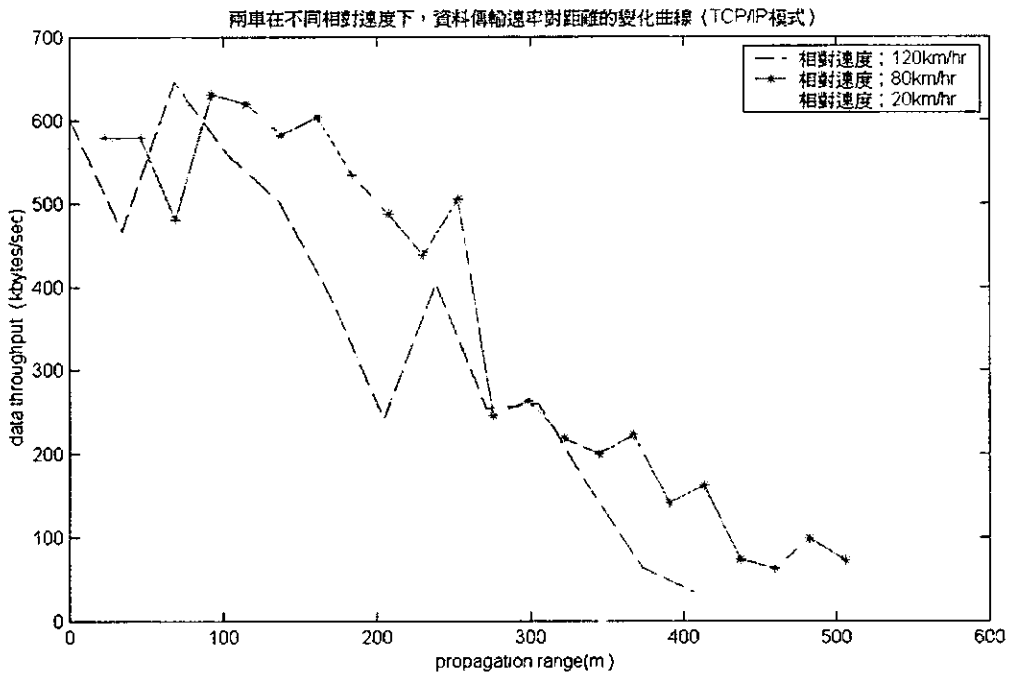


圖 6-45 兩車在不同相對速度下，以 TCP/IP 模式做連線速率測試之比較

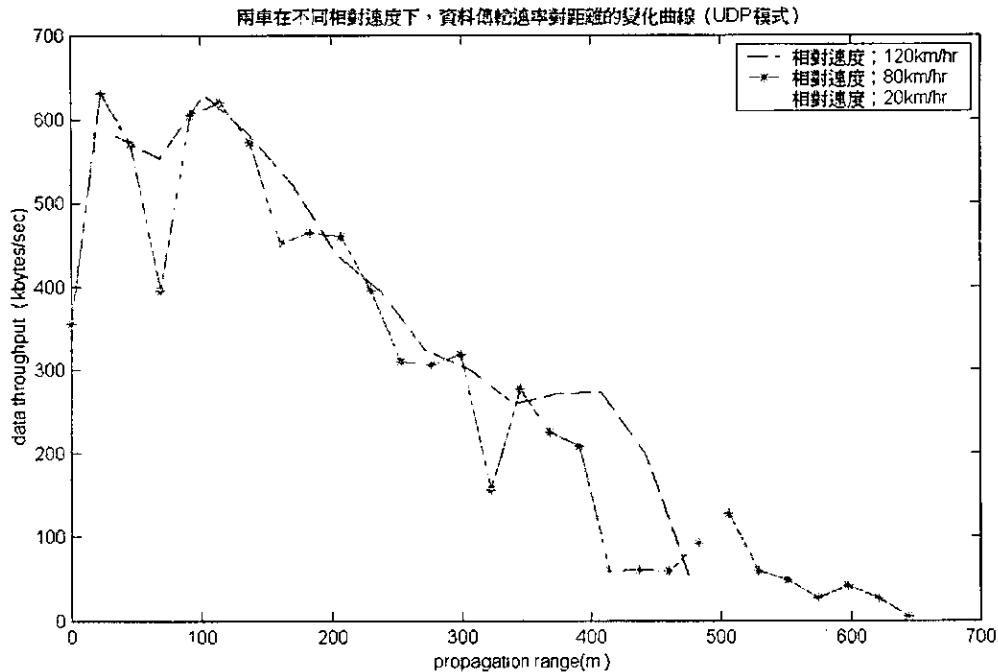


圖 6-46 兩車在不同相對速度下，以 UDP/IP 模式做連線速率測試之比較

### 6.3.1.3 多段跳接式繞送實驗

每一個無線網路設備都有其涵蓋範圍(coverage)，在其發射器涵蓋範圍內，可直接通訊。但在其涵蓋範圍外，若仍想能彼此交換訊息，則需仰賴在兩個設備之間的其他設備(Intermediate Node)，為它們繞送訊息(routing)，廣域免基地台式無線網路的繞送機制比遠比固網更加複雜，因為其網路拓模(topology)的可能一直在改變，一條繞送路徑(routing path)的存活時間(lifetime)，可能很短，因此廣域免基地台式無線網路的繞送機制，必須要有以下的特點：

- 一、很快地找尋到繞送路徑
- 二、很快地發現繞送路徑中斷(Link failure)，在路徑中的某段中斷之後。
- 三、在發現繞送路徑中斷後，很快第找到另一條路徑(如果存在的話)，以恢復傳輸(path recovery)。

由於車子之間，彼此的相對位置、相對速度時常在變化，網路的拓模改變很快，兩車之間的繞送路徑在形成之後，在很短的時間內就會因路徑中的汽車移動造成其鄰近的車子無法再收到它的訊號而形成「連結失敗」(link failure)。在「連結失敗」之後，用於廣域免基地台式無線網路的繞送協定，必須要有能力在極短時間內偵測「連結失敗」，進而啟動「重新找尋路徑」，最終可以再度找尋到一條繞送路徑(path recovery)。因此項實驗目的是實驗當兩個移動網路節點(如搭配無線網路的汽車)，以「免基地台方式」(ad-hoc mode)溝通時，當兩者的距離大過無線網路設備的有效傳輸範圍時，測試能否透過其他汽車以免基地台方式運作為兩者轉送封包，也就是多段跳接繞送實驗。該實驗另一目的是搭配繞送協定，實地量測繞送協定對於「連結失敗」、啟動回復機制到成功選擇另一條路徑的反應時間(response time)。

本研究於高架道路設計了三車同方向移動之實驗情境，是行車時時常遇見的情況，三輛汽車行駛在新竹 68 快速道路(往南寮方向)，順序如右：A→B→C。A 車為發送端，C 車為接收端，B 車為當 A 車與 C 車連線失敗後，A 車可以使用的轉送節點。A, B, C 三車開始以時速 50 公里同方向前進並由 A 車傳資料給 C 車，A、B 及 B、C 間距離各 200 公尺，C 車再以時速 70 或 90 公里遠離 B 車。觀察當 C 車逐漸遠離 B 車後，A、C 車間連線速度變化情形。其實驗示意於圖 6-47：

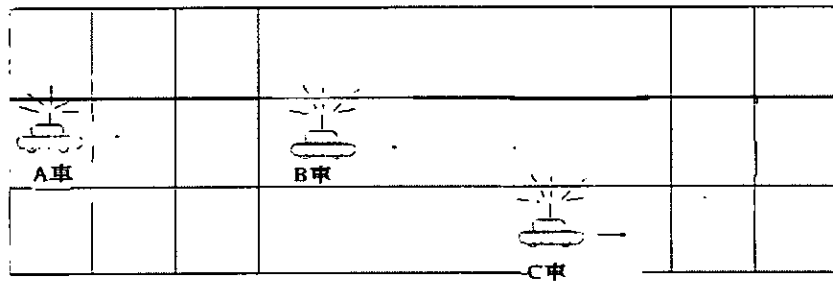


圖 6-47 多車跳接式繞送實驗示意圖

由圖 6-48 可以得知，可知在 C 車以時速 70 公里離開，且距離 A 車 1400 公尺內均可順利連線，甚至可遠至 1500 公尺的連線距離，可見 A、C 車可透過 B 車做長距離跳接式連線。

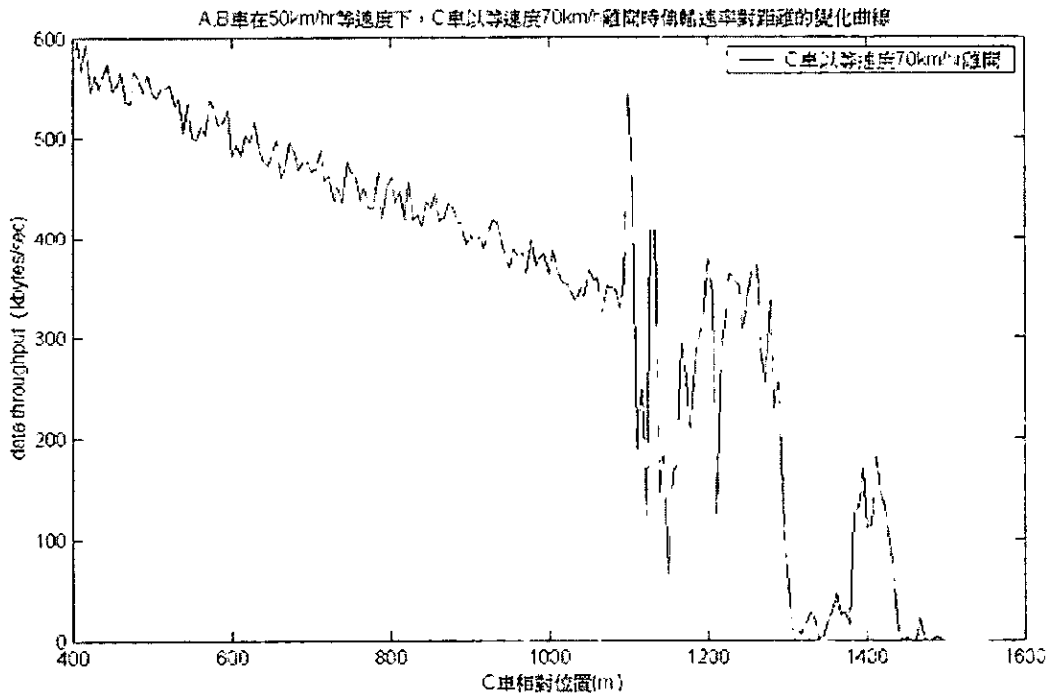


圖 6-48 A、B、C 車在相對移動速度下測試 A、C 連線速率

由圖 6-49 可以得知，可知在 C 車以時速 90 公里離開，在距離 A 車 1000 公尺內連線速度變化很小，也可遠至 1300 公尺的連線距離，可見 A、C 車可透過 B 車做跳接式連線。

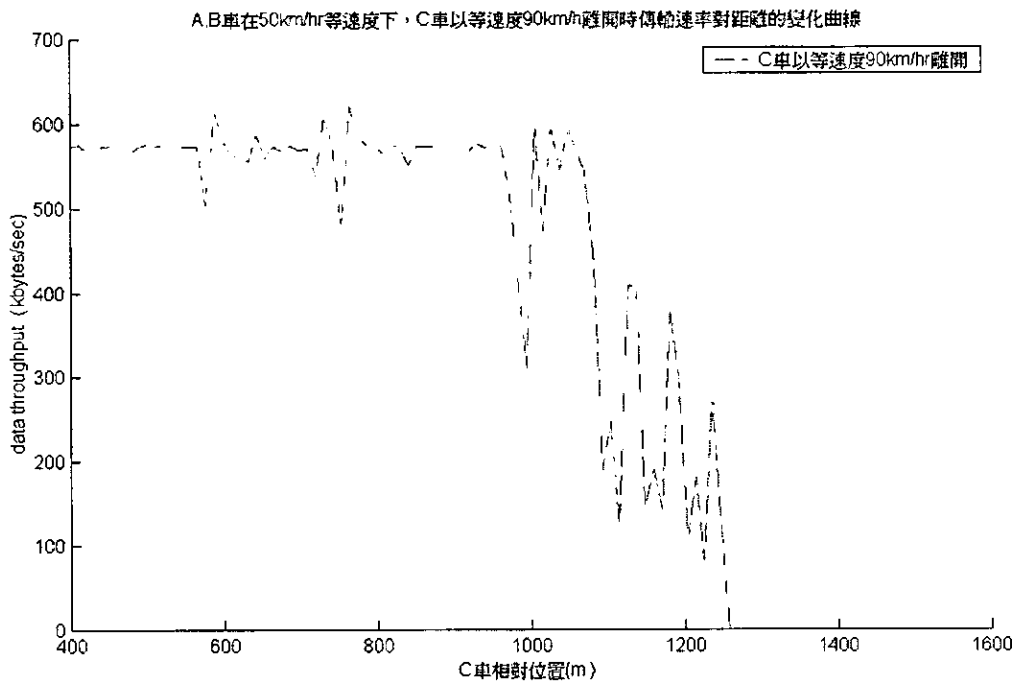


圖 6-49 A、B、C 車相對移動速度下測試 A、C 連線速率

由圖 6-50 比較得知，C 車以時速 70 公里離開時連線速度較 90 公里時慢，但連線距離可稍遠。

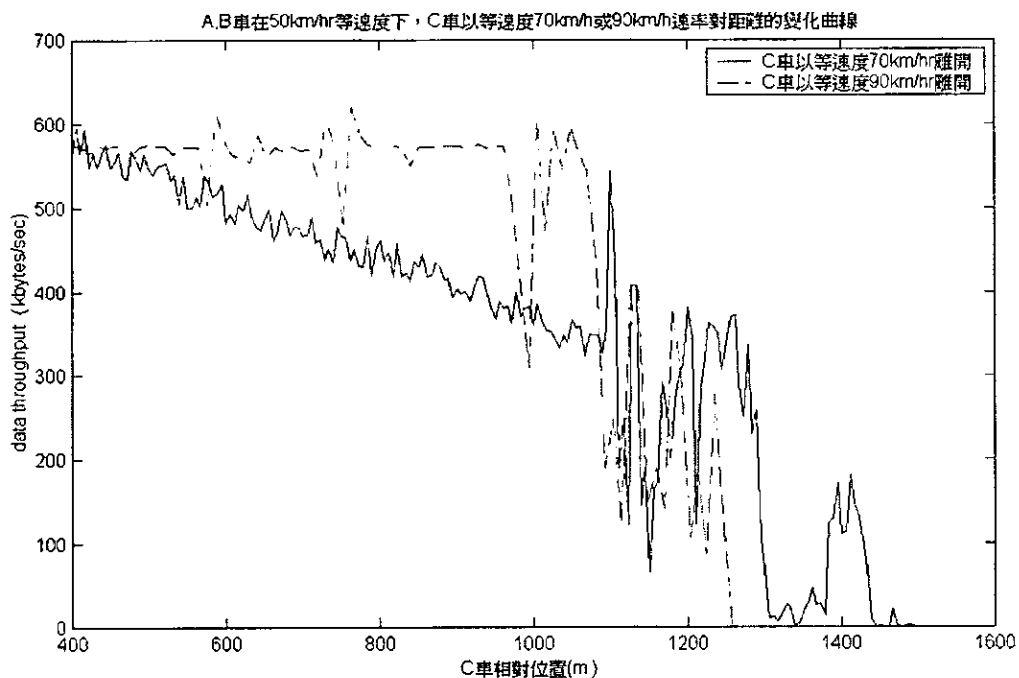


圖 6-50 A、B、C 車在兩種相對移動速度下測試 A、C 連線速率



在資料傳輸速率(throughput)與路徑跳接數(hop-count)的關係方面，以此次實驗的統計來看，直接相連(1-hop)的平均每秒資料傳輸量為 159 Kbytes，但是 2-hop 的平均每秒資料傳輸量僅為 40 Kbytes。3-hop 的表現則如模擬預期地較前兩者更差。而即使是直接相連的路徑，其流量的標準差也高達 190.84 Kbytes，充分顯示出因為高移動性(high mobility)造成的不穩定的網路環境。跳接數大於 1 的路徑的資料傳輸速率低落的原因，可以歸納如下：

1. 跳接路徑使無線網路卡只能使用半雙工(half-duplex)模式傳送因而降低，此降低的趨勢為  $1/N$ ， $N$  為路徑上的網路卡個數。
2. 跳接數增加使得路徑上出現遮蔽物的機率增加，降低無線電訊號品質。
3. 跳接數增加意味參與傳送的節點數變多。使得路徑受到網路高移動性的影響更大，路徑的不穩定性提升。

由以上三點，我們也可以預期 3-hop 路徑的穩定度更低，從實驗數據亦可取得相同的結果，而也由於當目前 802.11b 無線網路卡發現連線中斷時，已是兩車有相當遠的距離，因此 2-hop 與 3-hop 路徑本身的車間距離就會比 1-hop 路徑遠，此因素也會影響資料傳輸速率。我們也從實驗觀察中，發現 2-hop 路徑資料傳輸速率遠低於 1-hop 的結果作為印證。而 3-hop 路徑從資料傳輸速率來看比 2-hop 路徑低，穩定度亦低上許多。

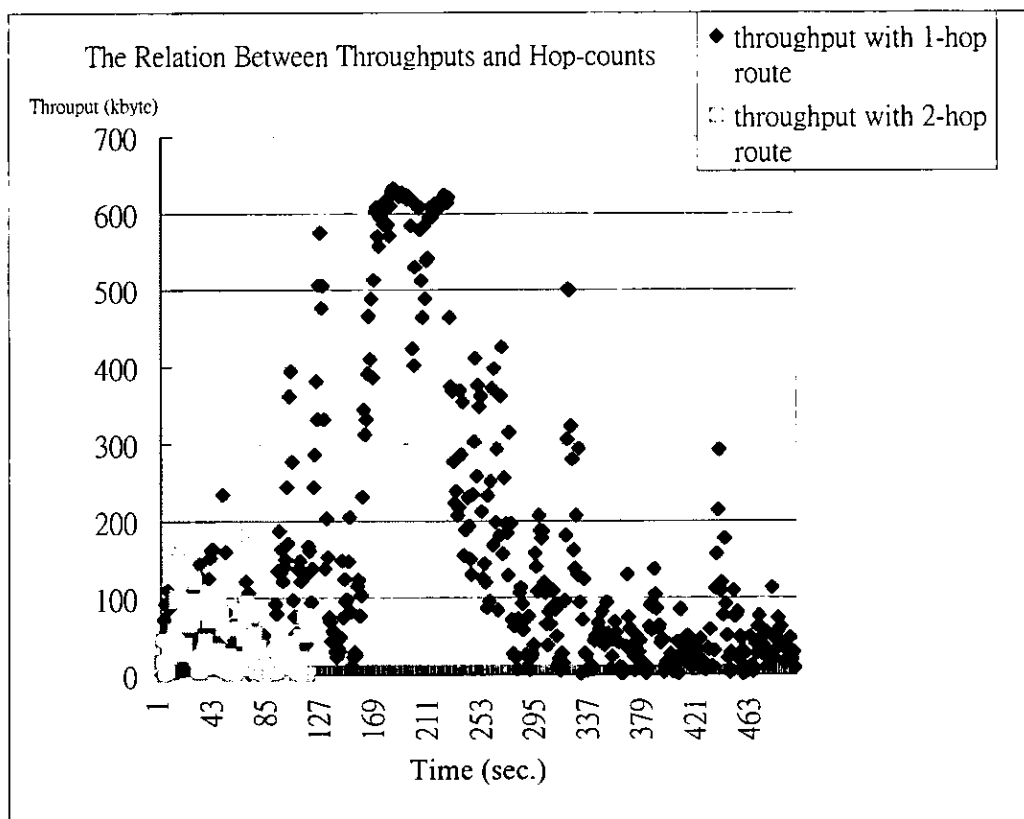


圖 6-51 不同路徑跳接數時資料傳輸速率與時間軸之關係

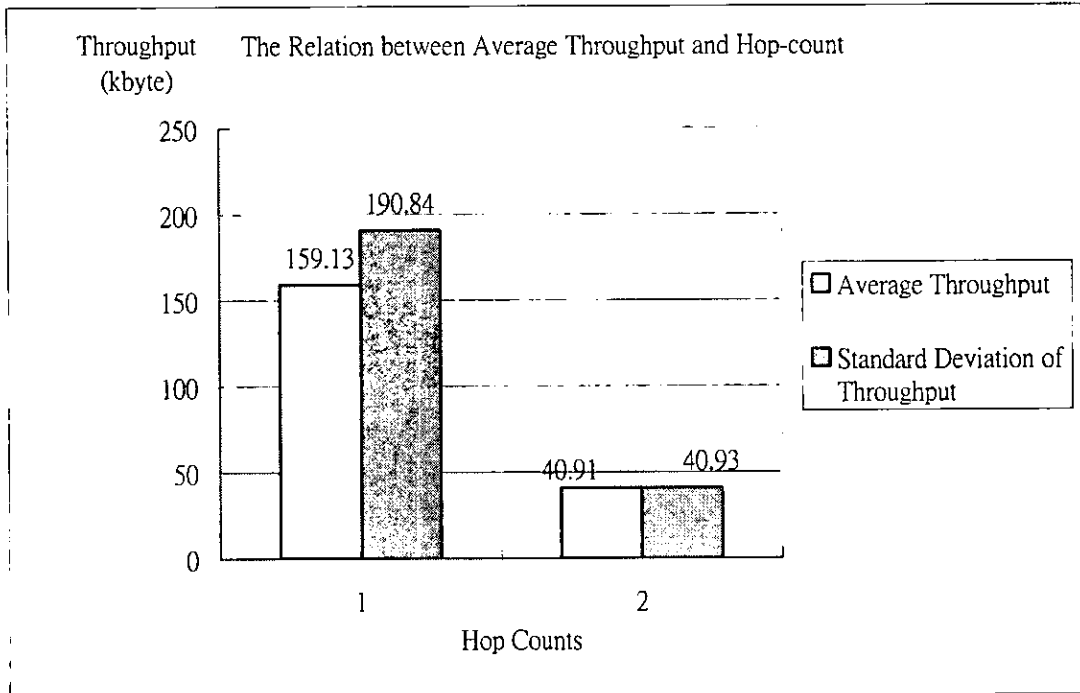


圖 6-52 平均資料傳輸速率、標準差與路徑跳接數關係圖

由取得的數據統計分析，路徑跳接數越大，路徑的存活時間(life-time)越短。此一趨勢非常明顯，本研究針對 4 輛車機進行路徑存活時間與回復時間量測之網路拓模分為兩種，如圖 6-53 所示，A,B,C,D 四車排列成一直線，彼此以最長兩兩可連線距離前進。行進中，四車間的車間距離會改變，但由於受限於道路上有其他車輛，並無法很明確地控制車間距離。由於遮蔽效應或實際道路高度或彎度影響，非鄰近兩車有時也可以直接連線。

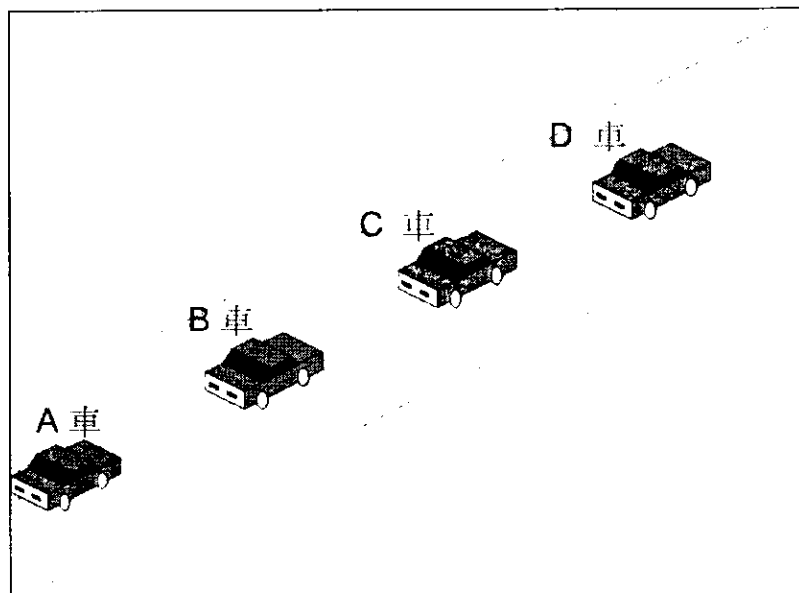


圖 6-53 以 4 輛車同時移動進行 MANET 測試之網路拓模

我們可以由圖 6-54 看出，1-hop 的路徑平均存活時間為 20.91 秒，但是 2-hop 的路徑平均存活時間已經降為 4.15 秒，而 3-hop 的路徑存活時間更皆低於 3 秒以下，這與 3-hop 路徑本身車間距離就已經在無線電訊號邊緣值有關。值得注意的是 1-hop 的路徑存活時間標準差也很大，顯示此網路環境的不穩定。不穩定的原因為：

1. 網路節點的高移動性(high mobility)，兩節點的相對距離將影響訊號品質。
2. 遮蔽物、干擾物(obstacles)太多且不易避免，因此在距離稍遠的情形下，遮蔽物和干擾物的效應很明顯。

而路徑跳接數對存活時間的影響，可以視為上述因素的效應加重。分析如下：

1. 路徑跳接數越多，參與的網路節點數越多。由於節點都具有高移動性，任一個節點離開都會造成此路徑的終止。因此，存活時間會因參與節點數增加而降低。
2. 路徑跳接數越多，使得路徑對遮蔽物、干擾物的影響更敏感，因為有更多段的子路徑之間可能有遮蔽物或干擾物存在而影響路徑存活。

未來若想增加路徑的存活時間，可以從兩方面下手：一方面，加強實體層無線電發射裝置的設計或是改善配置方式來增加成功收到訊號的機率。另一方面是，可以透過修改繞送協定演算法，在車間彼此涵蓋範圍與路徑穩定度兩者之間，在各種不同的環境與情境下，選擇最好的設定來取得兩者的平衡。

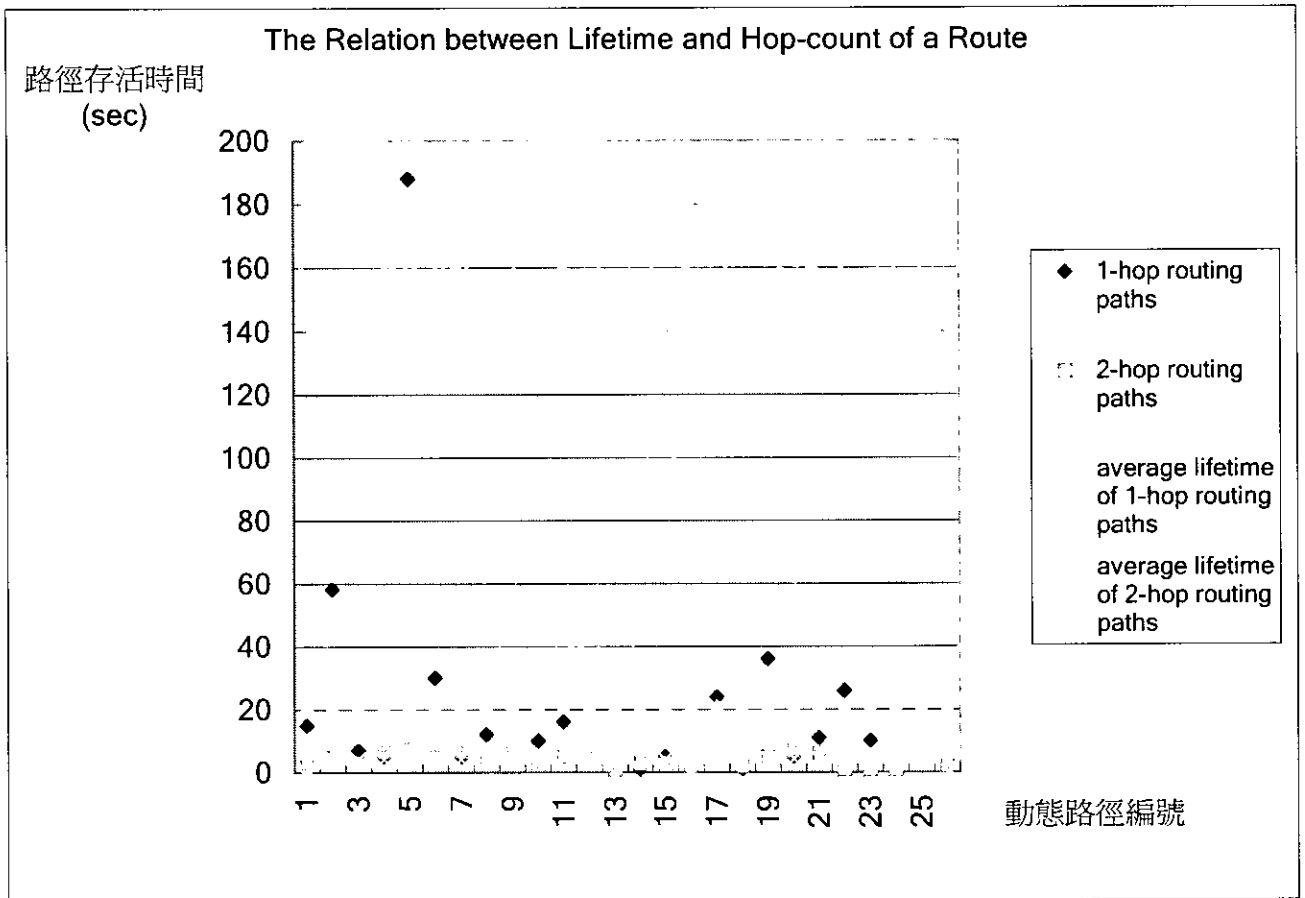


圖 6-54 動態產生路徑與路徑存活時間在不同路徑跳接數條件下的關係圖

除了路徑存活時間外，路徑回復時間亦是評估 MANET 可靠度的指標之一；經過此次道路實測記錄下來的資料分析顯示，大部分的繞送路徑都低於平均恢復時間 8.92 秒，此次數據的標準差為 19.52。兩個最差的案例(35 秒與 96 秒)，因為實體層無線電訊號已經無法正確收到，如車距較遠又受到遮蔽物的干擾，因此當時並沒有可用的路徑。在這種情形下，繞送協定也無法發揮效果。

因此評斷繞送協定恢復路徑的效能指標應該扣除上述兩點最差狀況來做計算。若是扣除差異最大的兩點(35 秒與 96 秒)，則標準差為 3.84，平均恢復時間為 4 秒。若不計入第三差的案例(17 秒)，則平均時間為 3.26 秒，標準差為 2.7。顯示若是當時有可用路徑可以選擇，繞送協定的執行效率有可以接受的表現。

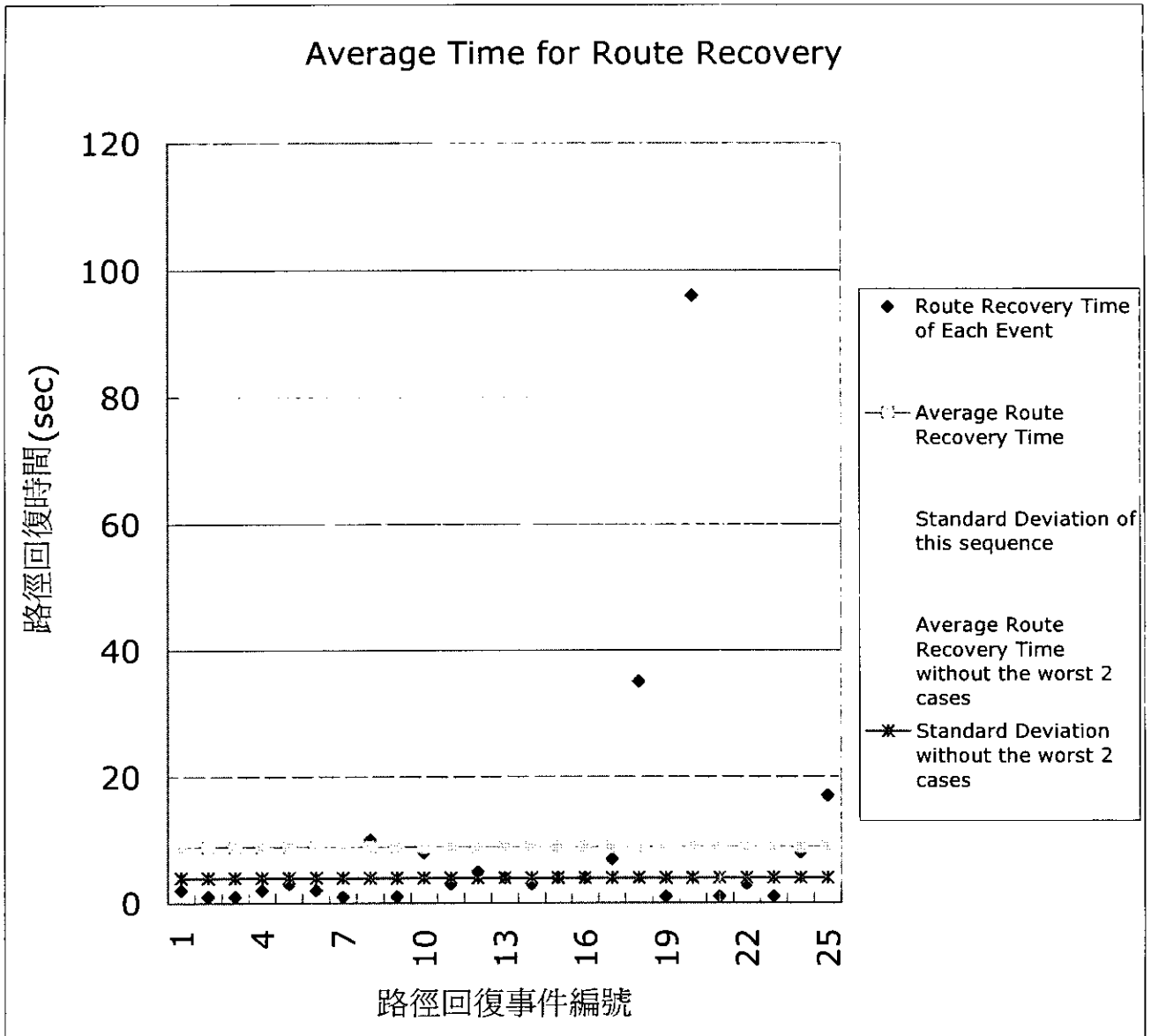
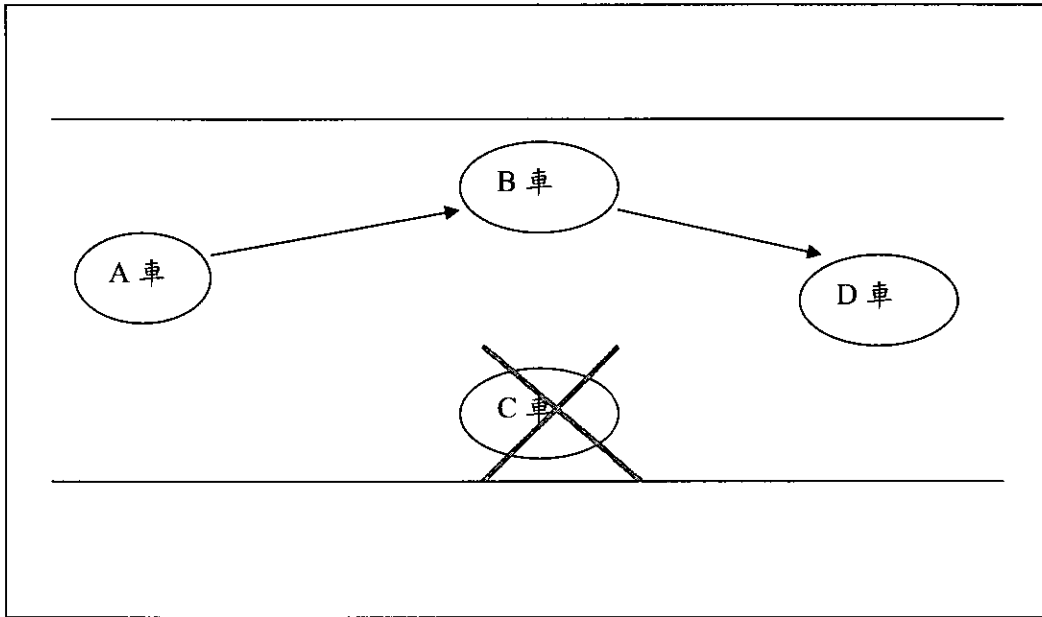
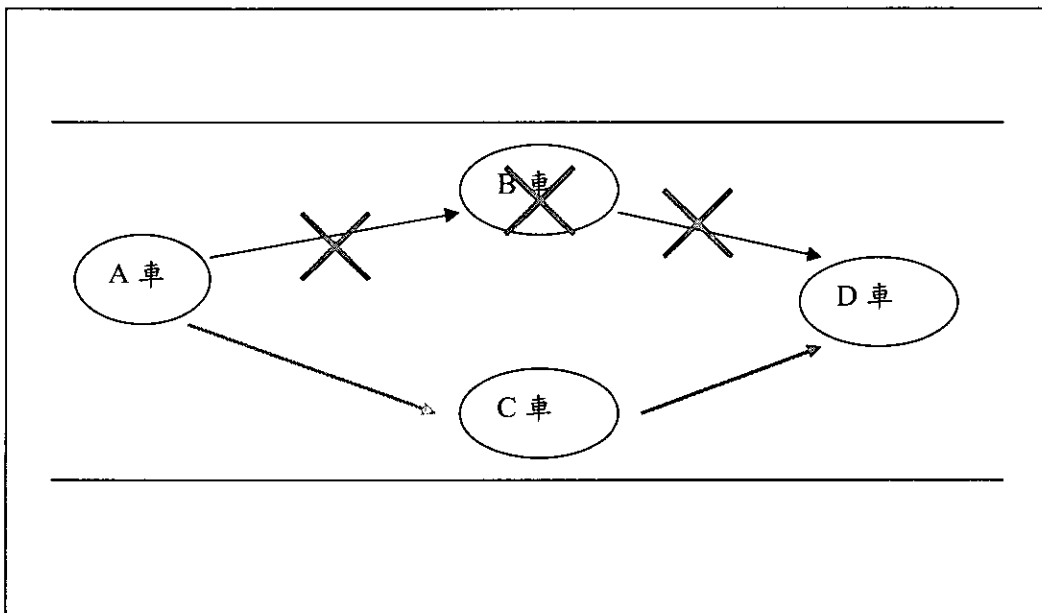


圖 6-55 路徑回復事件之路徑回復時間在不同路徑跳接數條件下之關係

第二種網路實驗拓撲如圖 6-56 所示，A、B、C、D 四車依照圖 6-56(a) 方式排列不移動。C 車的無線裝置先關閉功能，使得車只能透過 B 車來轉送到 D 車。而傳輸穩定後，如圖 6-56(b) 所示，C 車的網路功能啟動後，關閉 B 車的網路功能。使得 A-B-D 的連線中斷，觀察 A 車需要花費多少時間來偵測 C 車的存在並選擇 C 車來作為跳接點。



(a) C 車的無線裝置先關閉功能，使得車只能透過 B 車來轉送到 D 車



(b) C 車的網路功能啟動後，關閉 B 車的網路功能

圖 6-56 以起開 C 車 AODV 功能所進行之 MANET 測試

此實驗實驗三次的結果為 10 秒、1 秒、1 秒，A 車即可找尋到 C 車並且重新建好路徑起始傳輸。此結果低於前述動點實驗的結果。由此實驗結果可知，MANET 繞送協定對於定點網路或可以解釋成低移動性的網路有很不錯的找尋路徑效能。

### 6.3.2 市區平面道路之實驗與結果分析

本研究於市區平面道路的實驗，主要使用 4 輛車機，在新竹市區光復路一段之區域進行端點連線之資料傳輸速率量測，並依據傳輸速率在時間軸的變化進行說明與分析。

本實驗進行的方式主要透過車機系統以及離形系統等，在資料由 A 車傳遞至 D 車時同時進行資料傳輸速率(throughput)、車輛位置(GPS 定位資訊)、以及繞送表(route table)之紀錄，然後將這些紀錄在量測後進行分析與時間比對，進而推論車機系統在相對位置以及跳接數(hop-count)與資料傳輸速率的關係。為了順利進行市區平面道路的實驗，車機系統整合 GPS 定位模組，並同時使用 GPS 訊息進行不同車機系統間的時間同步動作，以利實驗紀錄資料之處理；茲將市區道路之量測步驟列示於下：

1. 開啟車機系統，使用 GPS 模組資訊進行系統時間同步
2. 啟動車機系統之 AODV 為基礎之 MANET 繞送功能
3. 由 A 車開始傳送 TCP 或 UDP 封包給 D 車，D 車進行接收並計算資料傳輸速率
4. 啟動車機系統之資料記錄功能，每秒紀錄 GPS 定位資訊、資料傳輸率、以及動態更新之繞送表
5. 車輛行動，於特定區域進行一般性的車輛移動
6. 根據繞送表資訊依需要控制車輛相對位置進行跳接式傳輸
7. 經過事先設定量測時程後，結束實地路測實驗，關閉記錄檔
8. 於實驗室利用個人電腦進行記錄檔的分析與時間比對處理

如圖 6-57 所示，為本實驗進行平面道路量測的情形與路況。

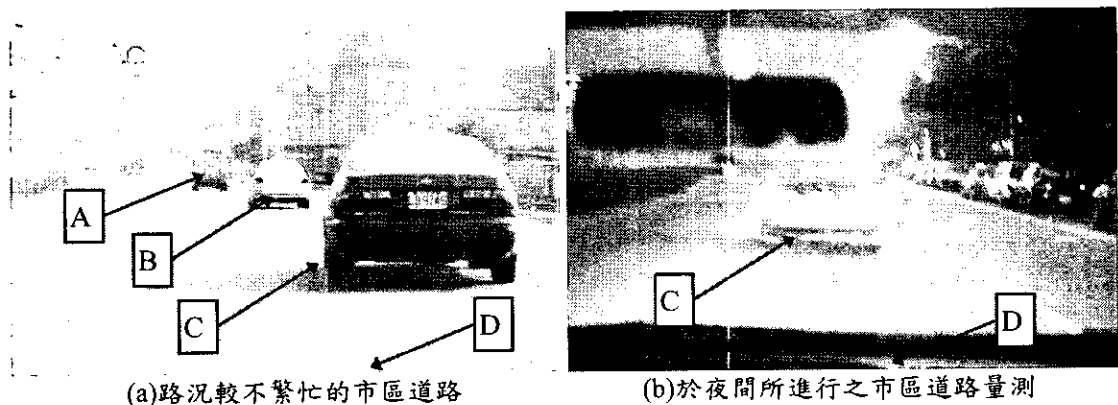


圖 6-57 市區平面道路之量測情形

本節首先節錄了高架道路行車記錄的片段，記錄的資訊為流量(Kbyte)，如圖 6-58 所示：

1. 第一個圈圈指出了當資料傳輸速率降為零時，為 A 與 D 直接相連，顯示當時訊號狀況不好。並且沒有適合的其他路徑可以選擇。
2. 兩個紅色圈圈之間為 A 與 D 直接相連。

3. 第二個圈圈處為 A 與 D 訊號狀況不好，但是有其他路徑 (A->C->D)，只是該路徑的品質也不好。因此流量起起伏伏。
4. 第二個圈圈後，區塊 3 代表選用路徑 (A->B->D)，區塊 4 為 A,D 直接相連 (A->D)。顯示當有狀況不錯的路徑可以選擇時，動態繞送協定可以很快地選擇新路徑，繼續傳輸。

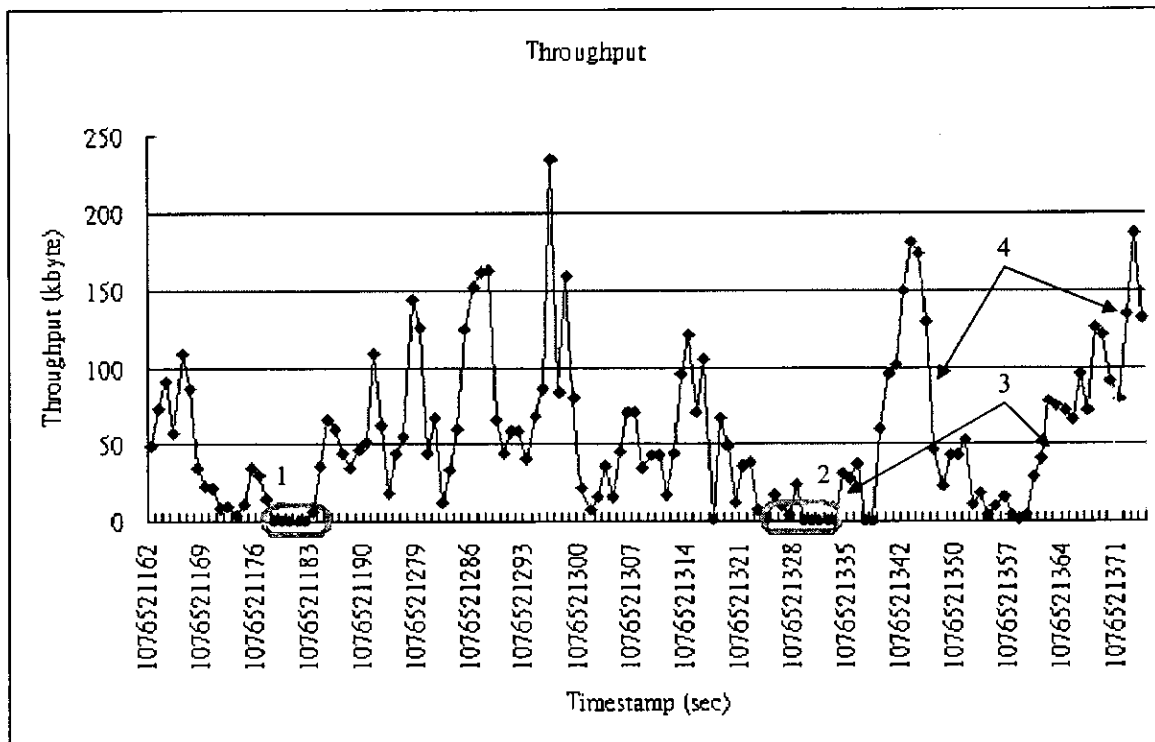


圖 6-58 高架道路流量記錄之片段

另一實驗對照組，是使用相同的車隊組態在新竹市區道路進行效能測試。由於市區道路環境複雜，控制不易，車間距離難以掌控。因此，實驗取得的數據經分析後，發現皆為直接相連不經繞送的案例。顯示 IEEE 802.11 在都會區道路此類車間距離並不遠的環境上，提供一個相對很大的涵蓋範圍。此次市區道路實驗的資料傳輸速率平均為 401.63 Kbytes，標準差為 147.72。

從平均值來看，802.11 設備所提供的使用者流量遠大於目前 GPRS 網路所能提供的最大值 20kbps，也高過第三代行動電話的使用者流量。顯示以無線區域網路來發展車間通訊系統的優勢，而從標準差在 147 左右可以看出，由於市區的遮蔽物和道路環境，使得無線電發射設備並不在制高點的無線區域網路，其通訊品質不夠穩定。實體層的問題也許可以從車體、車機的發射設備設計等方面著手。



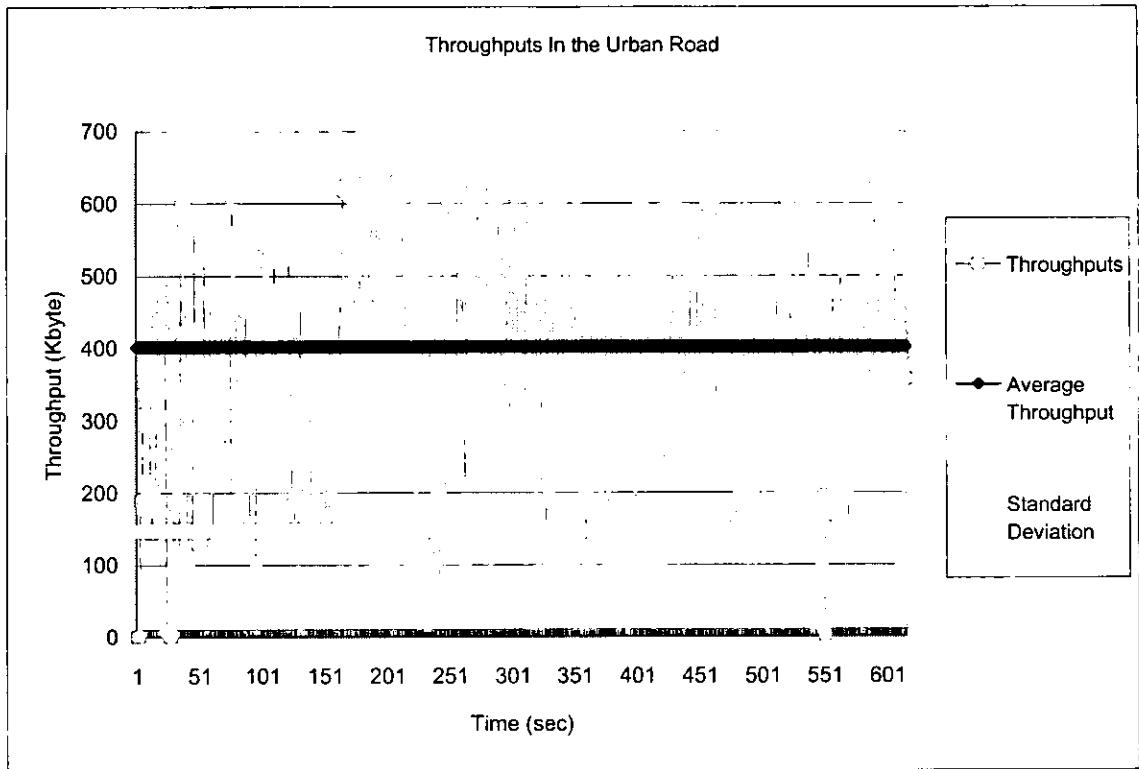


圖 6-59 市區道路實驗的資料傳輸速率快照(snapshot)

### 6.3.3 郊區道路之實驗與結果分析

郊區道路繞送於車輛較為稀少，有利於實驗劇本之設定與進行；本研究選定使用交通大學校園作為郊區道路實驗之量測環境，本實驗有別於之前的高架道路實驗，郊區道路的無線電傳輸環境具有較為複雜之地形地物遮蔽，與一般平面道路較為類似，因此其量測結果可作為 MANET 系統在平面道路環境的效能評估參考。除此之外，郊區道路實驗利用方便進行實驗劇本設定等優點，使用 MANET 固定點搭配 MANET 移動點之運作模式，進而探討在此種運作模式下資料傳輸率與訊息涵蓋範圍等系統效能；由於使用 MANET 固定點參與動態繞送是進行 MANET 系統初步建置之有效輔助方式，並且這些固定點可視為將 MANET 與有線網路連接之接取點，因此本實驗利用固定點搭配移動點之運作模式量測結果亦具有參考價值。

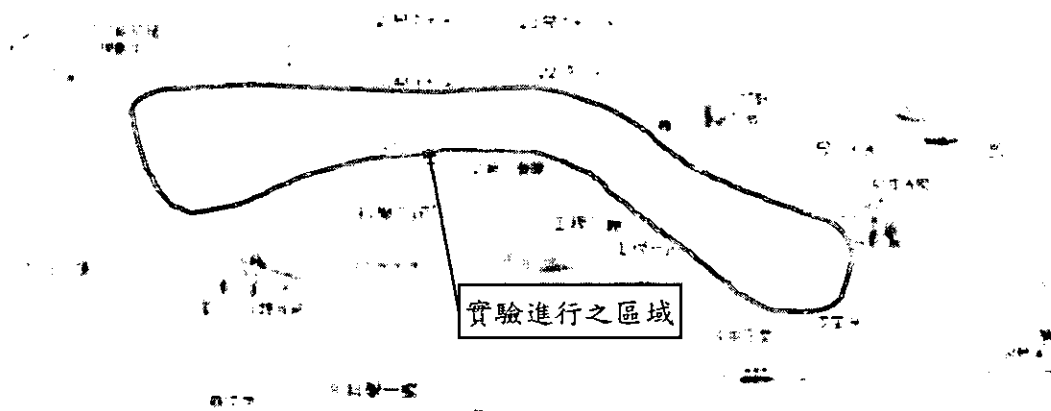


圖 6-60 校園道路測試之實驗區域

根據固定點所設置的數目，本實驗可進行最多透過 1 hop、2 hops、3 hops 之傳送模式，資料傳送過程中節點間使用 AODV 動態繞送機制提供端點間連線，並有效擴大端點連線的訊息涵蓋範圍。如圖 6-61 所示，本實驗使用離形系統與固定電源模擬 MANET 固定點。



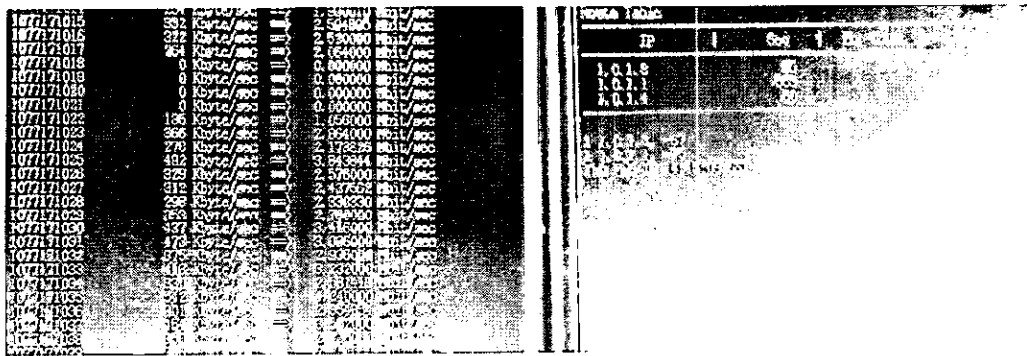
(a)路側所使用的 MANET 固定節點



(b)車輛行進中所經過之固定節點

圖 6-61 校園道路測試之 MANET 固定點設定

行動車輛上之車機系統負責接收來自特定固定端點之資料，實驗進行時同時紀錄資料傳輸速率與動態繞送表，這些紀錄將作為效能分析與評估的基礎；如圖 6-62 所示，這些量測值每秒更新一次：



(a)資料傳輸速率 (b)動態更新之繞送表  
圖 6-62 車機系統所顯示與紀錄之實驗數據

如圖 6-63 所示，行動車機在 1-hop 的傳輸情況下，輔以車用天線已有不錯的涵蓋範圍與效能。以標記 1(及固定點 1 所在位置)為參考點，參考點以左由於屬於較直的道路，遮蔽以路旁樹木及行人為主，因此涵蓋範圍較遠，並且傳輸速率(如圖藍色標記之數據)隨距離降低的趨勢較為緩慢；而參考點以右由於實際的道路與環境較為複雜，並有較多的大型車輛、建築物等產生遮蔽，傳輸速率隨距離降低的趨勢較為迅速，並具有較不穩定的傳輸品質。

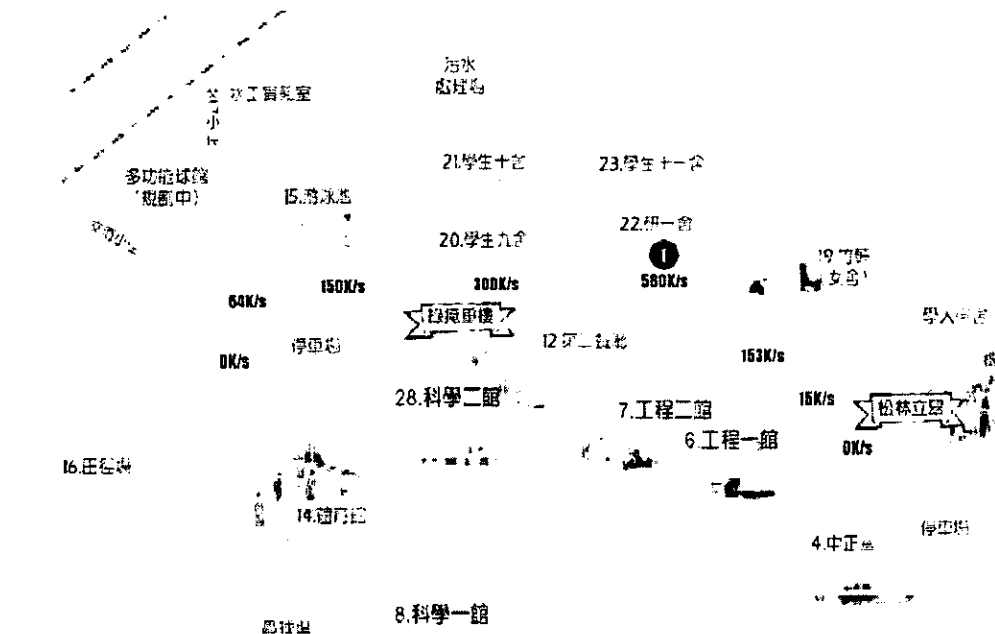


圖 6-63 交大校園 1-hop 傳輸模式之傳輸速率與涵蓋範圍

為了有效觀察行動車機在利用跳接傳輸模式所產生的效益，本實驗選擇位於參考點 1 右側設置第二個固定點，其資料傳輸速率產生的變化如圖 6-64 所示；由實驗結果可知，接近參考點 2 右側具有較低的傳輸速率(20K/s)，此為行動車機直接與參考點 1 進行通訊之效能，並由於距離較遠而傳輸速率較低，此與圖 6-63 所進行之 1-hop 實驗結果類似，然而更往右側行進後，由於行動車機離開參考點 1 的涵蓋範圍，而後透過參考點 2 進行 MANET 多段跳接傳輸，反而由於各 hop 之傳輸通道較為穩定，使得資料傳輸率增加。

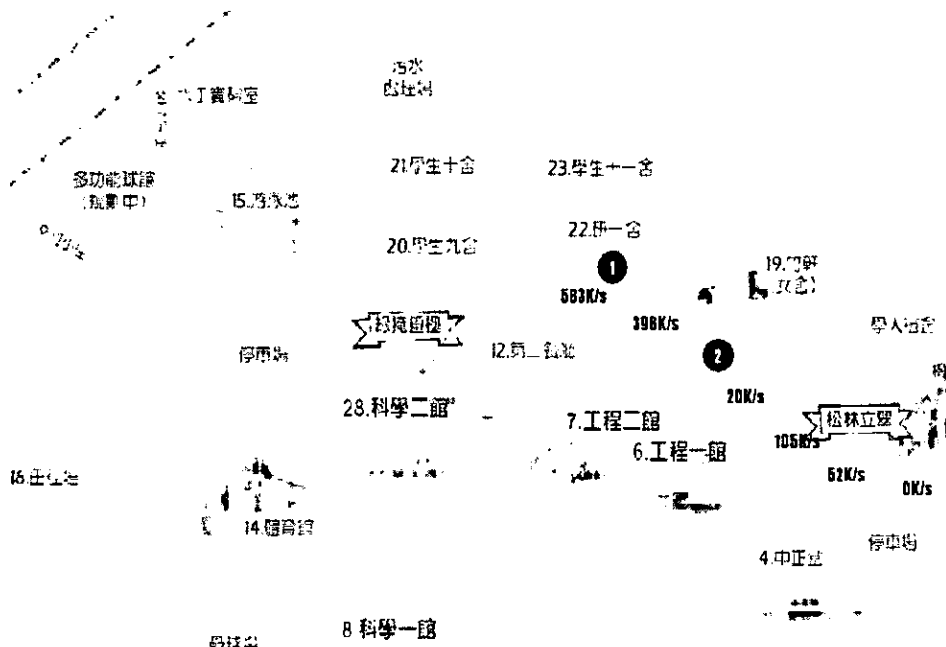


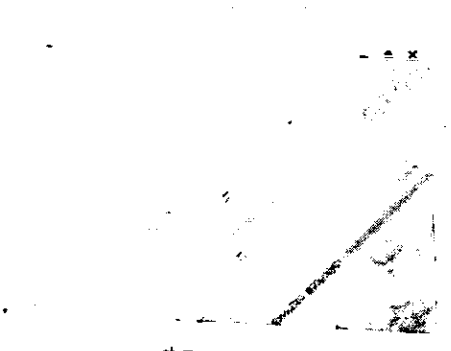
圖 6-64 交大校園 2-hop 傳輸模式之傳輸速率與涵蓋範圍

經過圖 6-63 與圖 6-64 的比較，可明顯發現 MANET 跳接式傳輸可擴大 WLAN 的訊息涵蓋範圍，並且在較遠的距離能夠取得較為良好的傳輸效能，不過由於現階段所使用的 MANET 繞送機制是以最短路徑為考量，多半在變更繞送表之前會有傳輸率較差的區域產生(如本實驗鄰近參考點 2 之右側)，此乃導因於連線端點間為了使用較少的跳接數(hop 數)之路徑，選擇使用距離較遠而傳輸品質較差的傳輸通道，如何改良現有的繞送機制來解決此類問題亦是目前在技術上的研發重點。

為了評估 MANET 應用於 ITS 服務之可行性，本研究同時進行多媒體網頁以及動態影像之傳送測試。對於整合文字、語音、以及圖片之多媒體網頁，由於在技術上仍屬於一般性的資料傳送，其效能與資料傳輸率之效能相關；即時動態影像傳輸涉及連線穩定性等課題，與一般性之資料傳輸模式較為不同，在本實驗亦特別進行量測與效能分析。本研究使用預先錄製之影像檔，利用透過固定點進行 MANET 動態繞送傳送模式，將影像資料傳送至車機系統進行播放，如圖 6-65 所示，為本實驗進行影像傳輸之情形。



(a)位於車內之影像傳送測試



(b)車機系統之影像播放

圖 6-65 使用預先準備之影像檔案進行影像傳送測試

根據本實驗所進行之影像傳輸測試結果，使用 MANET 進行影像傳輸在現階段有下面數項特點：

1. 使用 WLAN 為基礎之 ad-hoc 模式進行動態影像傳送在頻寬需求方面已經足夠，尤其在僅有 1-hop 的連線條件下，影像播放的情形十分良好，畫面清楚流暢並且封包損失率(frame loss rate)極低。
2. 在行動車機移動的同時，若發生需要進行動態繞送或路徑回復的情形時，由於需要等待繞送演算法偵測路徑逸失的時間以及路徑重建的時間等，可能造成端點連線中斷而產生影像中斷的現象，若能即時完成路徑回復工作，中斷的影像便能夠繼續播放。
3. 對於使用連線導向的影像播放模式如使用 TCP 模式之影像播放，有可能因為車機處於連線通道不穩定的位置而不斷發生動態繞送需求，進而發生由於路徑回復時間過長導致 TCP 連線斷線的情形，由於在 TCP 連線斷線時，影像播放的工作必須建立在 TCP 連線重建的基礎上，其所需要進行播放工作回復的時間更長，所提供的播放效能較差。

由以上的特性可推論，使用 MANET 進行影像傳送以位於內容提供節點較近的區域具有叫令人滿意的效能，若要利用 MANET 的特行進行多重跳接、距離較遠的影像傳送，使用非連線導向的傳送模式(如 UDP 模式)，進行如影像廣播的方式應是較為可行的方案。

### 6.3.4 小結

分析本節各項實驗數據，可歸納出下列數個結論：

1. 單點連線距離  
使用 2.4GHz 頻段、增益 2dBi、omni 場型的車頂吸附式外接天線，功率輸出約為 19dBm 的環境下，單點 WLAN 在空曠地區的連線距離可超過 600 公尺。
2. 兩車相對移動情況下之連線測試  
在空曠無他車的道路下，ad-hoc 連線速率在兩台汽車行駛於相對速度 120 公里以下不受影響，據以推估超過 120 公里也影響不大。
3. 多段跳接式繞送實驗
  - (a) A, B, C 三車同方向前進，三車之間亦有少數他車行駛的情況下，由 A 車傳資料給 C 車，C 車距離 A 車 1050 公尺內均可順利連線，甚至可遠至 1400 公尺的連線距離，因此可以跳接方式遠距離傳送資料。
  - (b) 實驗過程中，若有大型車輛穿插於 A、B、C 三車之間，則 B 車與 A 車 C 車的連線常常不穩定。顯示實際在道路進行連線測試時，實體層的信號會受到障礙物的影響，比模擬使用的模型更加的不穩定。
  - (c) 本實驗現階段所使用的 AODV 繞送機制能夠有效於數秒內重新建立新的路徑，然而路徑的 hop 數越大，路徑的平均生命期(life time)越短，而需要進行重新動態繞送的機會也越大，造成端點間連線的不穩定。
4. 市區平面道路之 MANET 效能量測實驗  
顯示 IEEE 802.11 在都會區道路此類車間距離並不遠的環境上，提供一個相對很大的涵蓋範圍，而從資料傳輸速率平均值來看，802.11 設備所提供的使用者流量遠大於目前 GPRS 網路所能提供的最大值，也高過第三代行動電話的使用者流量；其通訊品質不夠穩定是其目前的缺憾，而實體層的問題可以從車體、車機的發射設備設計等方面著手，相關研究指出繞送演算法也可以針對市區道路為考量進行改進。
5. 郊區校園道路之 MANET 效能量測實驗  
郊區使用 MANET 固定點結合行動點進行資料傳輸服務可擴大 WLAN 的訊息涵蓋範圍，並且在較遠的距離能夠取得較為良好的傳輸效能；目前使用 MANET 所擴大的訊息涵蓋範圍其全域之資料傳輸率並不一致，有賴繞送演算法的精進來解決此課題。
6. 利用 MANET 進行多媒體影像傳輸實驗  
當行動台較接近資料提供之接取點(約 1~2 hops)能夠提供令人滿意的影像傳送服務，然而在較遠距離由於路徑之存活時間較短造成較頻繁之路徑重建機制產生作用，不利於使用 TCP 協定之連線導向傳送服務，因此若考慮使用 MANET 進行影像播送，建議以非連線導向之 UDP 協定為佳。

由以上實地道路測試實驗可以得知，MANET 網路裡的傳輸行為不穩定的主因為先天上 MANET 所具有的特性——每個節點(network node)都具有高移動

性，使得網路拓撲也具有極度高變化性。此趨勢可以從我們所做出的實驗量測中發現，路徑中所參與的節點數一增加，路徑的存活時間就急速減低可以看出。但這不是一個完全無解的問題，我們將處理這樣一個惡劣的網路特性的方法分成三個層面來討論：

- i. 繞送協定的演算法修正
- ii. 天線接收端的架構改良
- iii. 網路組成架構的改良

#### 6.3.4.1 MANET 系統穩定性評估

以繞送協定的觀點來看，系統穩定度可以由路徑存活的時間來作為指標。以訊號的觀點來看，可以 SNR 值來評估。以使用者的角度來看，傳輸的成功率及傳送時間來感受系統的穩定程度。亦即，使用者的資料平均需要傳送幾次才能成功。平均傳送次數必大於等於一，越接近一表示穩定性越好。影響平均傳送次數的主要因素有二：

##### 1. 路徑存活時間：

若路徑存活時間太短，使用者的資料必須被迫要分成多次傳送。路徑存活時間越長，傳送次數越可能可以減少。

##### 2. 路徑所提供的頻寬

若路徑所提供的頻寬太小，即使路徑存活時間很長，傳送時間也會很長。若是路徑本身非常穩定，則使用者至多僅是感受到傳輸時間的冗長。例如，GPRS 網路，雖然使用者所能使用的頻寬並不大，但是使用者並不會認為 GPRS 網路為不穩定的網路。但是以 ad-hoc 網路而言，路徑本身並不穩定，因此路徑的頻寬將會影響傳輸次數。頻寬越大，越有利於縮短傳輸時間，使得在較少路徑次數下傳輸完成的機率提高。

我們以 ATIS 為例來進行分析，使用的行為模型採用『智慧型運輸系統 (ITS) 通訊協定之研究—通訊網路評選模式之建立』[1]裡所採用的 ATIS 模型。下表為該報告所列出的每段連結所需傳輸的資料量：

表 6-11 ATIS 系統的傳輸資料量

平方公里中資料傳輸平均次數	平方公里中資料傳輸最大次數	基本資料傳輸量	
2	20	13byte	Detector to Roadside
2	2	21byte	Roadside to Center
10	100	24byte	Car to Center
0.1	0.1	22byte	Center to Value-added
0.1	100	22byte	Value-added to User

由表 6-11 可知，每次的最大傳輸基本資料量為 24byte。我們以量測得出的平均路徑 throughput 來計算出平均傳輸時間，結果如下表：

表 6-12 ATIS 訊息平均傳輸時間案例

hop count	1	2
average throughput	159.1354	40.91304
standard deviation	190.8431	40.9316
average transmission time	0.000151	0.000587

我們可以算出平均在 1-hop 路徑下，需要 0.000151 秒，而 2-hop 路徑上需要 0.000587 秒。因此，可以說，只要路徑能真的存在，資料幾乎都可以在一次傳送出去。根據我們的實驗，1-hop 的路徑平均存活時間為 20.91304 秒，2-hop 的路徑平均存活時間為 4.153846 秒，皆遠大於所需要的時間。相反地，我們假設 2-hop 的存活時間與 throughput 為所可以忍受的最低限度，可以推導出：

$$40.91304(kbyte/sec) \times 4.153846(sec) = 169.946kbyte$$

也就是說，169.946 kbytes 大小以內的資料大體而言可以在一次 2-hop 的路徑裡傳送完成。

然而，我們必須要考慮實驗結果，其標準差非常大的影響。這樣的數字分佈顯示在路徑真的因為訊號中斷而死亡之前，已有一段時間 throughput 會很低。原因多半是傳輸兩點的距離已遠，或有遮蔽物。雖然我們已經估計出，2-hop 路徑可以傳送的資料量最大值。但是我們仍要考慮 ITS 網路若使用純粹動點的節點組成，若節點數不夠多，其本身節點的不穩定性會影響整體系統穩定度。即使實驗出來的結果證實傳輸 100kbyte 上下的資料沒有問題，為了確保穩定度不受節點移動性的影響，ITS 網路的建構應採用動點定點皆採用的折衷方案。

#### 6.3.4.2 繞送協定的演算法修正

現行的 MANET 繞送協定可粗分為三大派，茲將其考量處與優劣逐一討論於下：

##### 1. 以最短跳接數為指標的演算法：

在 802.11 MAC 使用的 CSMA/CA 協定上，轉送的次數越少，將使得頻道上用在轉送的時間縮短，對一個無線共享頻道而言，頻道的可利用時間提高，實際可用的流量將有所提高。但是跳接點間的距離可以太遠使得信號不好，或者是有遮蔽物或遮蔽效應存在，使得最短跳接點為指標所選擇出來的路徑未必比較多跳接點數的路徑好。

##### 2. 以實際最短路徑為指標的演算法作為基礎：

直接將行動通訊系統搭配可以提供位置資訊的裝置如 GPS，可以幫助繞送協定判斷網路節點間的相對關係。再根據所要達到的效果，選擇適當的下一節點。此一方法的缺點為 GPS 裝置的可用性受限於天候與地形，GPS 三點定位的演算法仰賴三顆衛星以上所量測出的經緯度。若採樣數低於三，將使得計算得出的位置資訊誤差過大而不可使用。



另一個問題是，位置資訊也不代表信號的好壞，因此單純的位置資訊為基礎的演算法仍然無法處理好實際上遇到的問題。

### 3. 以信號強度為指標的演算法作為基礎：

此類演算法在無線網路環境上，可說是想直接切入要害，直接以最根本的信號強度來作為繞送選擇的判斷。這樣的方法在遼闊空間(open space)應該是很有利的選擇方式，但是對於 ITS 網路來說，信號的強弱受到距離、移動性、市區道路建築物或車輛間的遮蔽使得信號變動劇烈。此類演算法必須使用信號高低門檻(threshold)來觸動路徑選擇，否則會使路徑選擇機制太過敏感。另外，這樣的方式也同樣無法應付變化劇烈的網路拓撲。

因此，根據上述演算法的優缺點，以及我們實地測量實驗的結果。繞送協定無法完全地彌補網路拓撲高變化性所造成的問題。以目前 2-hop 路徑仍有相對穩定的存活時間來看，我們將繞送協定的改良，目標訂為可以使 3-hop 或是 4-hop 路徑的存活時間達到一個可接受程度。可以採用的作法為：融合以上三種演算法，依據我們在各種環境實地測試的結果來得出各種環境裡比較適合的各項參數設定，如 hello message 的重複週期、繞送機制等待回應的時間、繞送要求封包的發送頻率、控制機制訊息的保護與否等等，在搭配實際距離資訊與信號強度，來算出較好的下一個跳接點。而每一條繞送路徑限制其跳接點數不可以超過四點，以降低路徑的因參與節點數太多所造成的脆弱性。若需要傳送資訊到達更遠處，則可以透過路徑的接收端先收下訊息，再繼續起始路徑找尋傳送到下一點。或者可以透過較穩定的節點，如預先設置的定點來幫助轉送。

#### 6.3.4.3 天線接收端的架構改良

天線接收端的穩定性直接影響 MANET 系統的效能。由於可靠的多跳接(multi-hop)路徑與存活時間，必須以點對點傳輸通道的穩定為基礎；此外由於能夠相連的 MANET 節點必須處於訊息相互干擾的區域，如何降低節點相互的干擾亦是在天線方面進行改良的方向。

在傳輸通道與訊息穩定度的改良方面，技術上可使用具備較大增益值的天線，雖然一味增加天線增益值對 MANET 系統而言並不是最佳的作法，(因為使用增益值高的天線雖能夠擴大訊息涵蓋範圍，但也增加節點相互影響的機率，)但使用適當地天線增益確能有效強化端點間的穩定性；另外使用雙天線技術(diversity antenna)亦是目前在無線電工程較為成熟的作法，雙天線技術能夠依據不同天線所接收到的訊號強度自動選擇較佳的傳輸通道，不但能夠提供較佳的點對點傳輸，並改善因環境變動所造成的傳輸通道不穩定的問題，加上目前如 IEEE 802.11b 相關產品與晶片以能夠支援此種運作模式，因此可作為改善訊息穩定度的解決方案之一。

節點相互干擾的問題目前多半建議使用智慧型天線技術，將訊息涵蓋的區域侷限於特定的傳送方位；智慧型天線技術目前仍處於學術研發階段，是故短期內僅能利用固定式的方向性天線來改善相互干擾的問題，然而對於 MANET 所應用的環境，由於屬於網路拓撲與節點相對位置變化較大的環境，固定式方向性天線與 MANET 技術的互用還有待考量；關於智慧型天線的說明可參考報告第 2.2.6 小節。

#### 6.3.4.4 網路組成架構的改良

由於問題的根源在於 MANET 網路本身網路拓樸的高度變化性，因此我們可以從降低拓樸變化性的程度著手。以都會區或市區道路而言，我們可以在重要地點上安裝 ad-hoc 網路裝置，設立這些定點(fixed point)將使繞送協定有更高的機會有狀況良好的路徑可以選擇。而設立 ad-hoc 協定定點的成本將遠低於建構 Access point，因為 ad-hoc 定點只需要電源供應和天線架設，不需要鋪設後端的固網，因此此網路架構將比建構 infrastructure 網路有更大的成本優勢。並且可以有效地提升 MANET 的網路特性。

前述章節所列出的實驗結果，舉出了目前 MANET 的實際應用困難。根據前三小節的分析，我們提出了三個層面的解決方案。一方面，我們希望在通訊協定與硬體裡尋求補償網路拓樸不穩定的特性。另一方面，也透過架構可行的網路拓樸來根本改善此一問題，並且尋求更有價值的應用。未來的工作將在這三個層面上並進，使得在較別的網路解決方案更低的成本為前提下，提升 ITS 系統的可行性與可用性，並實際應用於生活上。

## 7 第二年度之系統建構與測試計畫

第二年本研究將針對廣域免基地台式無線電系統進行大規模系統網路之建構與性能測試，在時程中分析與探討車間通訊在 ITS 的架構下的應用以及透過 MANET 網路來傳輸行動多媒體資訊於 ATIS、ATPS、ATMS 等領域的示範以及系統在 Mobile Internet 的測試與展示，整體計畫的研究主要是依照第一期廣域免基地台式無線電系統的研究成果，將少量的測試延展成為大規模的系統網路建構與性能測試以及在計畫的過程中探討網路可用性與傳輸效能，另外針對 Mobile Internet 以及行動多媒體資訊透過廣域免基地台式無線電系統的傳輸能力作更進一步的驗證，並且展示車間通訊(Inter-Vehicle)在 ITS 的應用可行性與方便性。

大致上規劃的工作項目與內容如下所示：

### 一、大規模系統網路之建構與性能測試

第二階段本研究擬進行大規模系統網路效能實地測試及驗證該系統在智慧型運輸系統之應用，在此一階段的工作項目中包含兩各子項首先第一子項是車機系統的開發與製造，在本階段開始後便進行車用電腦模組與 WLAN 設備以及 GPS 系統模組的整合，並透過實際安裝進行實體功能與環境測試，在完成第一階段所預期的驗證測試項目均達到要求後，將進行 30 台的小量生產與製造。第二子項的工作項目是大規模的系統網路之建構與性能測試，本研究計畫於交大的校園中進行 20 個 MANET 節點的佈建，如下圖所示，在圖中預計將 10 個以上的 MANET 固定節點安裝於交大的校園內，並計算好所涵蓋的功率範圍，加上 10 個移動車機節點，在透過此一架構網路實地測試資訊傳輸效能，其中包含網路的涵蓋性(coverage)、傳輸率(throughput)及網路的穩定性等。

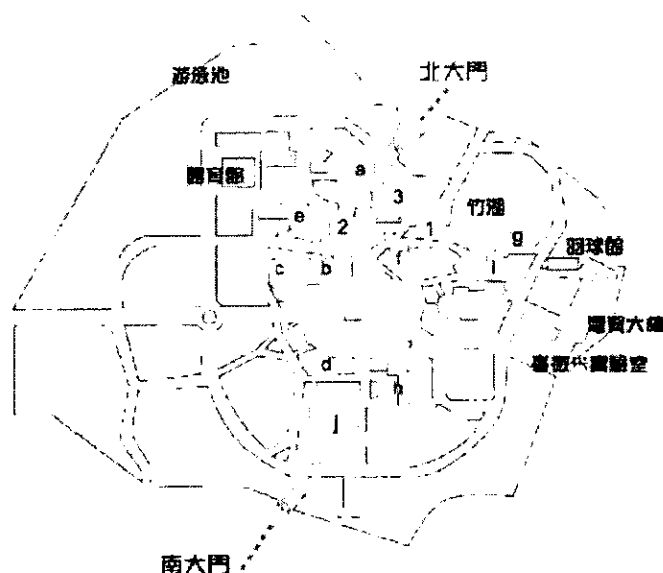


圖 7-1 大規模系統網路測試架構示意圖

## 二、系統在 Mobile Internet 應用之測試及展示

網際網路的興起讓人們體驗了資訊無國界的便利，行動通訊的快速發展則讓人享受到隨時隨地溝通的快感。Mobile Internet 適切地結合兩者的優點，其所創造將是一個沒有地域限制、溝通便利、快速的環境。也因此，IP(網際網路通訊協定)及 TELECOM(通訊)整合的行動網路(Mobile Internet)時代正以迅雷不及掩耳的速度改變大家的通訊模式的改變，及生活與工作的型態。再以網際網路的發展來看，以「網際網路協定」(IP)為基礎的服務，已經超過「骨幹」電信網路使用量的一半。而未來大多數的通訊與資訊服務，也將在 IP 環境內發展。對大多數電信業者來說，行動數據將成為通話費收入的主要來源。只要想想電子郵件在網路上對 IP 使用量所帶來的營收成長—您就可以看出，同樣的趨勢，也會推動行動數據的成長空間。由於在 IP 世界與行動通訊領域內的加成效益非常驚人，因此行動通訊與網際網路的快速整合是不可避免的趨勢。本計劃擬透過一垂直整合之車機驗證平台，將交大校園的廣域式無基地台之通訊的測試環境鏈結上 Internet，透過轉址語定位的技術進一步探討廣域免基地台式無線電系統於 Mobile Internet 之應用。

## 三、實地展示此系統應用行動多媒體功能及在 ATIS、ATMS、APTS 等之應用

無線通訊在智慧型運輸系統中的應用，包含前端的路況偵測與資訊收發，以及傳遞後端系統的調度與使用者資訊。在先進大眾運輸系統 (APTS) 中，車輛透過無線傳輸方式，將 GPS 訊號與車內文字及影像資訊傳回中央控制系統；控制中心結合路側偵測器接收之資料以及各方路況資訊，可進行車輛監控、即時車輛調度、派遣以及車輛運行控制等，再以無線傳輸方式將調度資訊回傳至車輛接收器。

過去各種資料的匯整、運算、加值與發佈，都是透過統一的中央控制系統，以無線通訊或無線加有線的通訊方式，將路側設施與車輛所獲得的資料傳輸至控制中心。由於部份資訊之收發僅限於某一區域之車輛，例如在 APTS 調度已發班車之行車間距時，僅有間距過長或過窄之車輛需調整，但因所有資料收集、處理與發佈均於控制中心進行，需先於眾多資料中篩選出行車間距有問題之車輛，經由處理後，再根據特定 IP 或全體廣播發佈調度訊息。不僅造成控制中心運算負荷高，無線通訊網路的傳輸與接收涵蓋範圍、有線通訊網路之佈設與維護亦耗費相當大的成本。

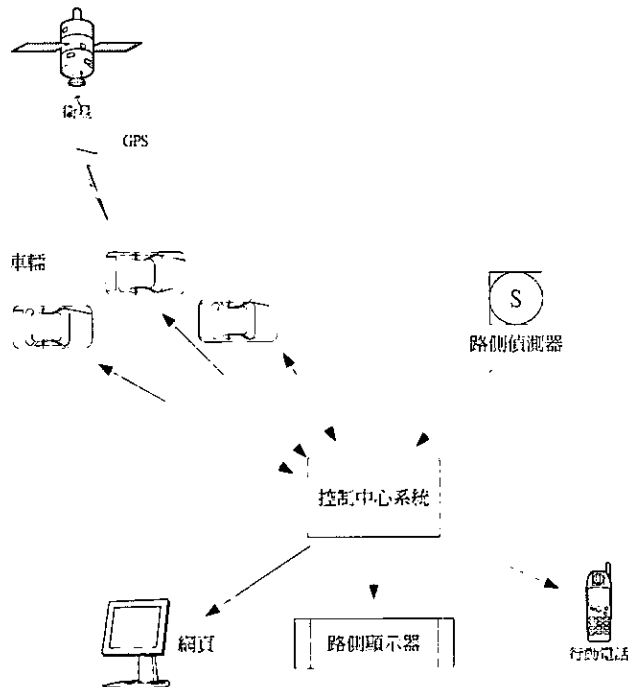


圖 7-2 現有 ITS 系統行動資訊蒐集與發送模式

MANET 技術將車上主機從單純的收發資訊轉變為無線網路中繼站，可提供鄰近車與車之間的資料交換；若車輛密度夠高，則可形成綿密的無線通訊網路，使各車輛直接進行溝通，甚至可將部份控制系統功能安裝至車上主機，車輛資料直接交換、匯整、運算與處理，取代部份控制中心功能。除加速區域性資料的傳遞外，廣域、全面性之資料處理與發佈亦可與區域性資料交換與溝通產生區隔，將控制中心定位為全體資料之匯整、處理與發佈。

MANET 技術在功能上亦適用於 ATMS 系統；由於對 ATMS 系統中路測偵測器、智慧型號誌、影像監控等，若是需要使用有線的通訊方式進行佈建，將耗費極大的建置與維運成本；而傳統之 WLAN 技術由於訊息涵蓋範圍的限制，亦需要建置密集之網路接取點，才得以讓這些 ATMS 路測設備與控制中心通訊。MANET 技術若運用在 ATMS 將可有效降低實體網路佈線與佈建接取點的成本，同時這些建置在偵測器或號誌的 MANET 節點可同時作為 ATIS 系統之資料蒐集與下傳設備，對於整體 ITS 系統的建置有相當大的幫助。

在大眾運輸系統中，由於不適當的行車間距可能造成載運旅客數量不均或旅客等候時間過長，影響營運效率並可能造成旅客不滿。因此可運用 MANET 技術於 APTS 之已發班車間距調整，利用班車與班車間相互提供之經緯度資訊，於車上主機進行距離運算或地圖上點位標示，車上主機可自行研判附近其他班車之相對位置，進而了解行車間距是否過長或過短。車上主機處理結果可直接顯示於駕駛端顯示設備，告知駕駛應適度加速或減速，並將資訊傳遞給周邊班車，動態調整附近區域之班車，而不需透過控制中心處理。

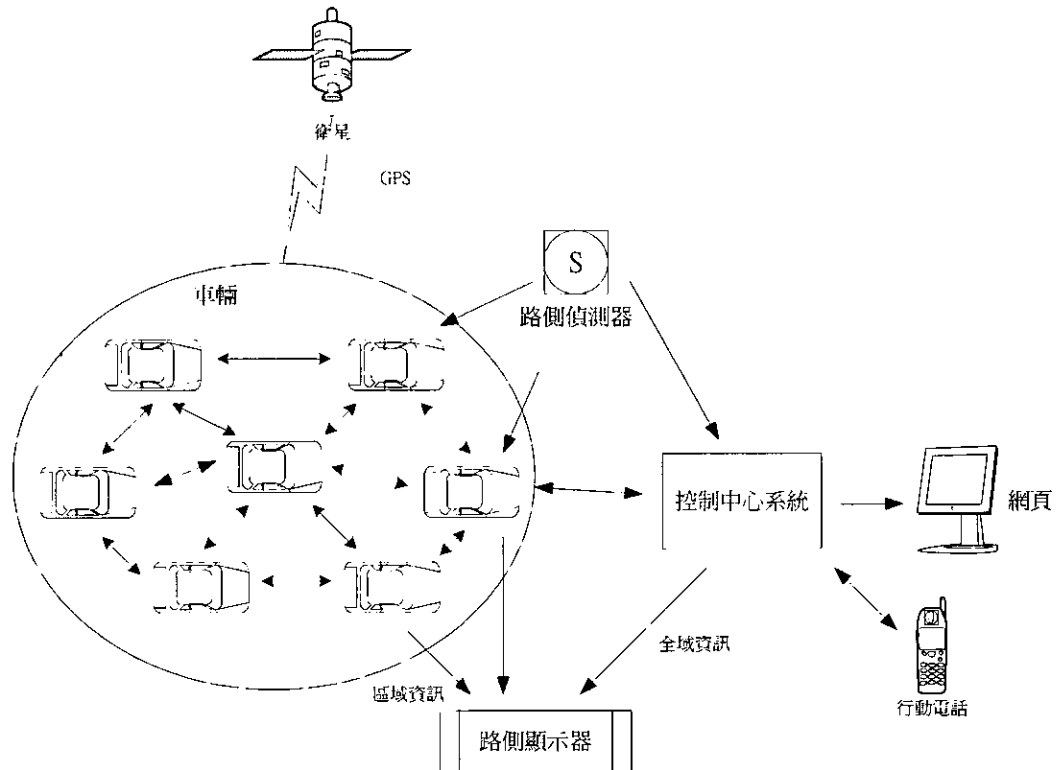


圖 7-3 使用 MANET 技術之行動資訊蒐集與發送模式

本研究將參酌我國現階段對 APTS、ATIS、ATMS 之功能需求與系統規劃，並利用 MANET 技術作為通訊平台，開發部分系統功能，用以驗證 MANET 應用於 ITS 系統的可行性，並評估將這樣的運作模式擴大至都會規模時，其技術可行性、建置維運成本等，並提出在商業模式等相關課題的建議。

#### 四、展示此系統在車間(Inter-Vehicle)通訊功能及其在 ITS 之應用

汽車使用者應該是無線通訊系統的主要使用者之一，並且他們對於 Internet 的使用、緊急狀況的通知與預防和路況資訊的獲得需求最為迫切，不過常常產生的問題包括：Telematics 集中式的資訊中心往往無法立即有效反應車況變化、架設網站的費用太高和高速下的信號干擾等等問題。因此當您以 100 公里的時速飛馳在高速公路上時，能夠立即被告知前面發生車禍的這種服務。基本上，除了兩輛車子之間의 直接通訊以外，其他的通訊服務的方式都會造成成本高昂的問題。因此，廣域免基地台式無線電系統的技術在時候便發揮其功效與能力透過無線通訊頻道協定，將錯誤的辨識提昇加入以位置為基礎的通訊機制後，在 ITS 系統架構的服務便比現行資訊收集的解決方式要來的可行。本計畫預計透過車機測試環境的建置，來實際測量透過車間通訊功能來進行路況資訊的收集與車輛位置即時監控等應用來展示廣域免基地台式無線電系統在 ITS 系統下的可行性。

## 總 結

本計畫目的在研究行動廣域免基地台式的無線通訊系統(mobile ad-hoc network, MANET)於智慧型運輸系統之應用，主要規劃為兩年期，第一年工作以研究開發為主，依據計畫時程的規劃，本研究已獲得相關預期之研究成果，並以彙整於期中報告之中，並分章節加以呈現與說明。在智慧型運輸系統(ITS)所應用之通訊技術進行回顧方面，其重點在於行動廣域免基地台無線電技術的相關文獻回顧，包括行動廣域免基地台無線電技術應用於 ITS 之國內外發展現況，相關系統效能資料蒐集，以及行動廣域免基地台無線電系統相關核心技術之發展現況探討。尤其在 MANET 技術的應用上，主要分為兩大類別，一為以蜂巢式行動通訊為基礎之 MANET，其使用的頻帶多半為 3G cellular 網路所使用的頻帶，並透過 UTRA TDD、ODMA 等技術，使得蜂巢式行動通訊技術的功能擴充，達到動態組織 MANET 的目的，由於使用蜂巢式行動通訊技術的訊息涵蓋範圍較廣，傳輸穩定度亦高，適合用來作為蜂巢式網路的增值服務；另一類為以短距無線通訊技術如 WLAN 等為基礎之 MANET，其資料傳輸頻寬高為其主要優點，尤其以 WLAN 建構之 MANET，具有足夠之訊息涵蓋範圍，並具有較高的移動性(mobility)，而成為 MANET 中無線通訊技術的主流。本研究根據實際的需要以及國內外發展趨勢，選擇以 WLAN 為基礎之 MANET 深入研究與探討，並開發離形系統與車機系統等作為實地測試之設備與實驗平台。

除了國際上的應用案例外，本研究同時對於 MANET 之繞送核心技術進行回顧與探討，並進行其對 ITS 應用的評估；由評估的結果顯示，圖表導向繞送協定較不適合應用於 ITS，而 AODV、TORA、SSR 都有實用在 ITS 網路上的機會，AODV 由於不需要額外的設備，且較 SSR 簡單，而形成目前的主流，如果可以搭配一些額外的設備，例如 GPS 來得知節點的位置，則現有的 MANET 協定可以有更好的效能。

本研究針對行動廣域免基地台式無線電系統應用於智慧型運輸系統下，所可能衍生出的各類型之應用範疇進行分析、探討。MANET 應用於 ITS 系統主要的應用模式包括車間通訊、區域性的資料廣播服務、以及使用者的通訊與資訊服務等；根據我國 ITS 應用服務的規劃，本研究加以探討 ITS 之 9 大服務領域運用行動廣域免基地台無線電系統的特性與優缺點，然後針對第二級之 35 項使用者服務單元，進行應用行動廣域免基地台無線電技術的適用性評估，評估結果顯示使用行動廣域免基地台式無線電系統可以有效輔助我國目前對於 ITS 系統之功能規劃，提昇其功能與效率，對於若干使用者服務，主要包括緊急事故處理方面，以及隸屬於區域性訊息廣播服務等，特別適用於行動廣域免基地台式無線電系統，經由動態自行組織之無線網路，增進事務處理與調度的聯絡管道，或作為成本低廉的資訊傳輸通道，因此對 ITS 系統整體而言，應用行動廣域免基地台式無線電系統應可作為 ITS 相關通訊與應用技術的研發方向。在成本考量方面，根據本研究所進行的初步成本分析，MANET 應用於 ITS 系統可有效降低傳統上對 ITS 通訊平台規劃的建置與運作成本，因此無論在技術上、功能上、成本上，利用 MANET 技術將具備優勢。

在頻譜與輻射強度在無線通訊上之影響分析及對於人體影響的探討方面，本研究所探討之 MANET 所使用的操作頻段包括 902-928 MHz、2400-2483.5 MHz、或 5725-5850 MHz 等，並參酌美規與歐規的安全標準與規範，這些裝置的操作功率通常較低，它們符合安全曝露標準的可能性很高，原則上，這類裝置並不需執行前述的例行性環境評量，但仍需確保不致對使用者和其周遭民眾造成過度曝露。

為了於研究前期進行 MANET 相關的效能測試與評估，本研究使用自行研發之網路模擬軟體 NCTUns 1.0，進行行動廣域免基地台式無線電系統之模擬與分析，根據模擬與分析的結果，以 WLAN 為基礎的 MANET 在系統資料傳輸速率上與傳輸延遲上都具有不錯的效能，而對於封包遺失率與傳輸失敗率方面，以及 MANET 的車輛涵蓋數目方面，還有許多可改進的空間。由於 ITS 所適用的 MANET 與一般性的 MANET 有性質上的不同，在接下來的相關研究中可根據 ITS 系統的需要研發適當的繞送機制，以解決封包遺失率與傳輸失敗率較高之問題。

本研究依照工作項目的規劃與實際需要，進行離形系統的實地量測。量測的結果指出，使用 WLAN 為基礎之 MANET 具有其可行性，無論在涵蓋範圍上，或是資料傳輸速率上，都有不錯的表現；根據實測的結果，實地測試與系統模擬的結果仍有不同，由於實際的傳輸環境較理想狀況嚴苛，因此發展 MANET 應用於 ITS 系統仍有其實測的必要。由實測的結果得知，在使用車頂吸附式外接天線，功率輸出約為 19dBm 的環境下，單點 WLAN 在高架道路的連線距離可超過 600 公尺；在空曠無他車的道路下，ad-hoc 連線模式在兩台汽車行駛於相對速度 120 公里以下不受影響，據以推估超過 120 公里也影響不大；而在三輛車的跳接傳輸方面，在少數他車行駛的情況下，距離 1050 公尺至 1400 公尺的連線距離，均可順利傳送資料。本研究已進行最多 4 輛行動車機、最長達 3-hops 之跳接式傳輸，並根據不同道路類型與傳輸環境進行測試與比較；實驗結果指出使用 MANET 技術與 AODV 動態繞送機制確實能夠有效擴大 WLAN 之訊息涵蓋範圍，並且提高遠距傳輸的資料傳輸率達 150KB/s，同時在動態繞送方面，平均之路徑回復時間約在 4 秒左右，應可滿足大部分的資料傳輸需求；市區道路相對於高架道繞送於車間距離較短具有較高的傳輸速率，但也由於傳輸環境複雜而在多重跳接傳輸時連線穩定度較差；本研究於郊區校園道路搭配 MANET 固定點進行實驗，其多重跳接通訊品質品質較佳，不過對於使用 MANET 技術來提供連線導向之動態影像傳送服務，仍有改進的空間。本研究亦針對將來實測所預期使用的車機系統進行介紹與規劃，以作為計畫第二年期實測工作之準備。



## 參考文獻

- [1] “ITS 資訊與通信發展平台整體架構規劃與標準化之探討,” ”交通部科願室計畫報告 MOTC-STAO-90-01701, Dec. 2001.
- [2] “智慧運輸系統資訊通訊實驗平台建構及系統標準與應用測試之研究,”交通部科願室計畫報告 MOTC-STAO-91-01708, June 2003.
- [3] P. Macker and M.S. Corson, “Mobile Ad Hoc Networking and the IETF,” ACM Mobile Computing and Communication Review, vol.2, no.2, 1998.
- [4] W. J. Franz et al, “Internet on the Road via Inter-Vehicle Communications,” WDR Computernacht, Nov. 2001.
- [5] M. T. Sun et al, “GPS-based Message Broadcasting for Inter-vehicle Communication,” Proc: International Conference on Parallel Processing, 2000.
- [6] S. V. Bana and P. Varaiya, “Space Division Multiple Access (SDMA) for Robust Ad hoc Vehicle Communication Networks,” Proc: ITSC, 2001.
- [7] I. Chisalita and N. Shahmehri, “A Peer-to-Peer Approach to Vehicular Communication for the Support of Traffic Safety Applications,” IEEE 5th International Conference on ITS, 2002.
- [8] N. S. Fahmy et al, ”Ad Hoc Networks with Smart Antennas Using IEEE 802.11-Based Protocols,” 2002.
- [9] E. Welsh et al, ”A Mobile Testbed for GPS-Based ITS/IVC and Ad Hoc Routing Experimentation,” IEEE International Symposium on Wireless, Personal, Multimedia Communications, 2002
- [10] R. Onishi et al, “The Multi-agent System for Dynamic Network Routing,” Proc: 5th International Conference on Autonomous Decentralized System, 2001.
- [11] T. Kosch et al, “Information Dissemination in Multihop Inter-Vehicle Networks,” ” IEEE 5th International Conference on ITS, 2002.
- [12] C. E. Perkins and P. Bhagwat, ”Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers.”, Comp. Commun. Rev. , Oct 1994, pp.234-44.
- [13] C.-C. Chiang, “Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks With Fading Channel.” Proc. IEEE SICON '97 , Apr. 1997 , pp 197-211.
- [14] C. E. Perkins and E. M. Royer, “Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing.” Proc. 2nd IEEE Wksp. Mobile Comp. Sys. And Apps., Feb. 1999, pp.90-100.
- [15] J. Broch, D. B. Johnson, and D. A. Maltz, “The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks.” IETF internet draft, draft-ietfmanet-dsr-01.txt, Dec. 1998.
- [16] C-K. Toh, “A Novel Distributed Routing Protocol To Support Ad-Hoc Mobile Computing.” Proc. 1996 IEEE 15th Annual int'l. Phoenix Conf. Comp. And Commun., Mar. 1996, pp480-86.
- [17] M. Mauve, J. Widmer, and H. Hartenstein, “A survey on position-based routing in mobile ad hoc networks,” IEEE Network, vol. 15, no. 6, pp. 30–39, 2001.

- [18] B. Karp and H. Kung. "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," Proceedings of the sixth annual international conference on Mobile computing and networking, pp. 243-254, 2000.
- [19] L. Blazevic, L. Buttyan, S. Capkun, S. Giordano, J.-P. Hubaux, and J.-Y. Le Boudec, "Self organization in mobile ad hoc networks: the approach of terminodes," IEEE Communications Magazine, vol. 39, no. 6, pp. 166-174, 2001.
- [20] Lj. Blazevic, S. Giordano, and J. Y. Le Boudec, "Self organized routing in wide area mobile ad hoc networks, " Proceedings of the Global Telecommunications Conference, vol. 5, pp. 2814-2818, 2001.
- [21] Y. B. Ko, and N.H. Vaidya, "Location-aided routing(LAR) in mobile ad hoc networks," Proceedings of the ACM/IEEE Int'l Conf. Mobile Computing and Networking, pp. 66-75, 1998.
- [22] E. Kranakis, H. Singh, and J. Urrutia, "Compass routing on geometric networks," Proceedings of the 11th Canadian Conference on Computational Geometry, pp. 51-54, 1999.
- [23] X. Lin, and I. Stojmenovic, "GEDIR: Loop-free hybrid single-path/flooding routing algorithms with guaranteed delivery for wireless networks," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 12, no. 10, pp. 1023-1032, 2001.
- [24] I. Stojmenovic, M. Russell, and B. Vukojevic, "Depth first search and location based localized routing and QoS routing in wireless networks," Proceedings of the International Conference on Parallel Processing, pp. 173-180, 2000.
- [25] S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk and B. A. Woodward, "A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM)," The fourth annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, pp. 76-84, 1998.
- [26] Y.-S. Chen and K.-C. Lai, "MESH: multi-eye spiral-hopping routing protocol in a wireless ad hoc network," Proceedings of the Ninth International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 657-661, 2000.
- [27] W. Su, S.-J. Lee, and M. Gerla, "Mobility prediction in wireless networks," Proceedings of the 21st Century Military Communications Conference, vol. 1, pp. 491-495, 2000.
- [28] D. Kim, C.-K. Toh, and Y. Choi, "Location-aware long-life route selection in wireless ad hoc networks," Electronics Letters, vol. 36, no. 18, pp. 1584-1586, 2000.
- [29] D. Kim, Y. Choi, and C.-K. Toh, "Location-aware long-lived route selection in wireless ad hoc network," Proceedings of the Vehicular Technology Conference, vol. 4, pp. 1914-1919, 2000.
- [30] L. Barrire, P. Fraigniaud, and L. Narayanan, "Robust position-based routing in wireless ad hoc networks with unstable transmission ranges," Proceedings of the 5th international workshop on Discrete algorithms and methods for mobile computing and communications, pp. 19-27, 2001.
- [31] P. Bose, P. Morin, I. Stojmenovic, and J. Urrutia, "Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks," Proceedings of the 3rd international workshop on Discrete algorithms and methods for mobile computing and communications, pp. 48-55, 1999.

- [32] J. Li, J. Jannotti, D. S. J. De Couto, D. R. Karger, and R. Morris, "A scalable location service for geographic ad hoc routing," Proceedings of the sixth annual international conference on Mobile computing and networking, pp. 120-130, 2000.
- [33] P.-H. Hsiao, "Geographical Region Summary Service for Geographical Routing," The ACM Symposium on Mobile ad hoc Networking & Computing (MobiHoc 2001) Poster Paper., vol. 5, num. 4, October 2001.
- [34] Y.-C. Tseng, S.-L. Wu, W.-H. Liao, and C.-M. Chao, "Location awareness in ad hoc wireless mobile networks," Computer, vol. 34, no. 6, pp. 46-52, 2001.
- [35] C. E. Perkins and E. M. Royer, "ad hoc on demand distance vector (AODV) algorithm," Proceedings of the Mobile Computing Systems and Applications, pp. 90-100, 1999.
- [36] M. Joa-Ng, and I.-T. Lu, "A GPS-based peer-to-peer hierarchical link state routing for mobile ad hoc networks," Proceedings of the Vehicular Technology Conference, vol. 3, pp. 1752-1756, 2000.
- [37] M. Joa-Ng, and I.-T. Lu, "A peer-to-peer zone-based two-level link state routing for mobile ad hoc networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 17, no. 8, pp. 1415-1425, 1999.
- [38] Federal Communications Commission (FCC), "Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields," FCC OET Bulletin 65, and "Supplement C: Additional Information for Evaluating Compliance of Mobile and portable Devices with FCC Limits for Human Exposure to radiofrequency Emissions," Edition 97-01, August 1997.
- [39] 47 CFR §15.247: Operation within the bands 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, and 5725-5850 MHz.
- [40] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "ICNIRP Guidelines: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)," Health Physics, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, April 1998.
- [41] World Health Organization (WHO) International EMF Project web site: [www.who.int/peh-emf](http://www.who.int/peh-emf).
- [42] 1999/519/EC: Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), Official Journal L199, 30/07/1999, p. 0059-0070.
- [43] 環保署空字 3219 號公告「非游離輻射環境建議值」，中華民國 91 年 1 月 12 日。
- [44] S.Y. Wang, " Optimizing the Packet Forwarding Performance of Wireless Chain Networks " , Computer Communications, Vol. 26, Issue 14, pp 1515-1532, 2003.
- [45] S.Y. Wang, "On the Effectiveness of Distributing Information among Vehicles Using Inter-Vehicle Communication", (accepted and to appear in) IEEE ITSC'03 (International Conference on Intelligent Transportation Systems), October 12-15, ShangHai, China
- [46] S.Y. Wang, "On Comparing the Real and Probed Packet Drop Rates of a Bottleneck Router: The TCP Traffic Case", Computer Communications, Vol. 26, Issue 6, April 2003, pp.591-602.
- [47] D.S.J De Couto, D. Aguayo, J bicket, R. Morris(MIT), "A High-Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Routing", MobiCom 03'

- [48] Jungkeun Yoon, Mingyan Liu, and Brian Noble, "Random Waypoint Considered Harmful," IEEE INFOCOM 2003, March 2003.
- [49] Walter J. Franz, Hannes Hartenstein, Brend Bochow, "Internet on Road via Inter-Vehicle Communications," Workshop der Informatik 2001: Mobile Communications over Wireless LAN: Research and Applications, Gemeinsame Jahrestagung der GI und OCG, 26-29 September 2001, Wien
- [50] Robert Morris, John Jannotti, Frans Kaashoek, Jinyang Li, and Douglas S. J. De Couto, "Carnet: A Scalable Ad Hoc Wireless Network System", 9th ACM SIGOPS European workshop: Beyond the PC: New Challenges for the Operating System, Kolding, Denmark, September 2000.
- [51] Zong Da Chen, H.T. Kung, and Dario Vlah, "Ad Hoc Relay Wireless Networks over Moving Vehicles on Highways", The ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc 2001) Poster Paper, October 2001.
- [52] Linda Briesemeister, Lorenz Schafers, and Gunter Hormmel, "Disseminating Messages among Highly Mobile Hosts based on Inter-Vehicle Communication", IEEE Intelligent Vehicle Symposium, pp. 522-527, October 2000.
- [53] Linda Briesemeister and Gunter Hormmel, "Role-based Multicast in Highly Mobile but Sparsely Connected Ad Hoc Networks", The First Annual Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc 2000), August 2000.
- [54] Tomoyuki Yashiro, Tempei Kondo, Hirotaka Yagome, Masafumi Higuchi, and Yuyuka Matsushita, "A Network Based on Inter-Vehicale Communication", IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, pp. 234-250, 1993.
- [55] "台灣地區智慧型運輸系統(ITS)綱要計畫," 交通部運研所計畫報告, Jan. 2001.
- [56] "台灣地區發展智慧型運輸系統(ITS)系統架構之研究," 交通部運研所計畫報告, Nov. 2002.
- [57] "National ITS Architecture Documents: Cost Analysis," U. S. DOT EDL #5398, Jan. 1997.
- [58] S. Xu and T. Saadawi, "Does the IEEE 802.11 MAC Protocol Work Well in Multihop Wireless Ad Hoc Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 39 no. 6, June 2001.
- [59] "Measured Performance of 5-GHz 802.11a Wireless LAN System," Atheros Communications' White Paper on 802.11a Range and System Capacity.
- [60] C. Steger, P. Radosavljevic, and J. P. Frantz, "Performance of IEEE 802.11b Wireless LAN in an Emulated Mobile Channel," IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 1479-1483, 2003.
- [61] J. P. Singh, N. Bambos, B. Srinivasan, and D. Clawin, "Wireless LAN Performance under Varied Stress Conditions in Vehicular Traffic Scenarios," IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 1479-1483, 2002.
- [62] M. Petrovic and M. Aboelaze, "Performance of TCP/UDP under Ad Hoc IEEE 802.11," 10<sup>th</sup> International Conference on Telecommunication, 2003.
- [63] H.-Y. Hsieh, K.-H. Kim, Y. Zhu, and R. Sivakumar, "A Receiver-Centric Transport Protocol for Mobile Hosts with Heterogeneous Wireless Interfaces".

- [64] S.Y. Wang and H.T. Kung, "Use of TCP Decoupling in Improving TCP Performance over Wireless Networks".
- [65] H. Balakrishnan, S. Seshan, E.Amir, and R. H. Katz, "Improving TCP/IP Performance over Wireless Networks".
- [66] H. Balakrishnan and Randy H. Katz, "Explicit Loss Notification and Wireless Web Performance".
- [67] H. Luo, P. Sinha, and S. Lu, "UCAN: A Unified Cellular and Ad-Hoc network Architecture".
- [68] C. Zombolas, "SAR Testing and Approval Requirements for Australia," Symp. Record 2003 IEEE Symp. On EMC, pp. 273-278, Boston, MA, Aug. 18-23, 2003.
- [69] Sir William Stewart (Chairman), Mobile Phones and Health. A report from the Independent Expert Group on Mobile phones, Chilton, IEGMP Secretariat, May 2000.
- [70] NRPB (2003). Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields. Report of an independent Advisory Group on Non-ionising Radiation. Doc NRPB, 14(2), 2003.

## 附錄 A：英國 IEGMP(2000)調查報告的總結內容原文

Despite public concern about the safety of mobile phones and base stations, rather little research specifically relevant to these emissions has been published in the peer-reviewed scientific literature. This presumably reflects the fact that it is only recently that mobile phones have been widely used by the public (paragraphs 2.1-2.12) and as yet there has been little opportunity for any health effects to become manifest. There is, however, some peer-reviewed literature from human and animal studies, and an extensive non-peer-reviewed information base, relating to potential health effects caused by exposure to RF radiation from mobile phone technology.

The balance of evidence to date suggests that exposure to RF radiation below NRPB and ICNIRP guidelines do not cause adverse health effects to the general population (Chapter 5, paragraphs 6.33-6.42).

There is now scientific evidence, however, which suggests that there may be biological effects occurring at exposures below these guidelines (paragraph 5.176-5.194, 6.38). This does not necessarily mean that these effects lead to disease or injury, but it is potentially important information and we consider the implications below.

There are additional factors that need to be taken into account in assessing any possible health effects. Populations as a whole are not genetically homogeneous and people can vary in their susceptibility to environmental hazards. There are well-established examples in the literature of the genetic predisposition of some groups, which could influence sensitivity to disease. There could also be a dependence on age. We conclude therefore that it is not possible at present to say that exposure to RF radiation, even at levels below national guidelines, is totally without potential adverse health effects, and that the gaps in knowledge are sufficient to justify a precautionary approach (Chapter 5, paragraphs 6.35-6.42).

In the light of the above considerations we recommend that a precautionary approach to the use of mobile phone technologies be adopted until much more detailed and scientifically robust information on any health effects becomes available (Chapter 5, paragraphs 6.35-6.42).

We note that a precautionary approach, in itself, is not without cost (paragraph 6.16) but we consider it to be an essential approach at this early stage in our understanding of mobile phone technology and its potential to impact on biological systems and on human health.

In addition to these general considerations, there are concerns about the use of mobile phones in vehicles. Their use may offer significant advantages – for example, following accidents when they allow emergency assistance to be rapidly summoned. Nevertheless, the use of mobile phones whilst driving is a major issue of concern and experimental evidence demonstrates that it has a detrimental effect on drivers'

responsiveness. Epidemiological evidence indicates that this effect translates into a substantially increased risk of an accident. Perhaps surprisingly, current evidence suggests that the negative effects of phone use while driving are similar whether the phone is hand-held or hands-free (paragraph 5.213). Overall we conclude that the detrimental effects of hands-free operation are sufficiently large that drivers should be dissuaded from using either hand-held or hands-free phones whilst on the move (paragraphs 5.201-5.214, 5.262-5.263 and 6.93-6.95).

## 附錄 B：英國 AGNIR(2003)調查報告的總結內容原文

This report examines possible health effects of exposure to radiofrequency (RF) fields, with an emphasis on studies conducted since the review by the Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP) in 2000. There are many sources of RF fields – at work, at home, and in the environment – but recent emphasis in health-related studies has been on mobile phones and broadcasting masts. Studies reviewed by IEGMP suggested possible cognitive effects of exposure to RF fields from mobile phones, and possible effects of pulse modulated RF fields on calcium efflux from the nervous system. The overall evidence on cognitive effects remains inconclusive, while the suggestions of effects on calcium efflux have not been supported by more recent, better-conducted studies. The biological evidence suggests that RF fields do not cause mutation or initiate or promote tumor formation, and the epidemiological data overall do not suggest causal associations between exposures to RF fields, in particular from mobile phone use, and the risk of cancer. Exposure levels from living near to mobile phone base stations are extremely low, and the overall evidence indicates that they are unlikely to pose a risk to health. Little has been published specifically on childhood exposures to RF fields, and no new substantial studies on this have been published since the IEGMP report.

In aggregate the research published since the IEGMP report does not give cause for concern. The weight of evidence now available does not suggest that there are adverse health effects from exposures to RF fields below guideline levels, but the published research on RF exposures and health has limitations, and mobile phones have only been in widespread use for a relatively short time. The possibility therefore remains open that there could be health effects from exposure to RF fields below guideline levels; hence continued research is needed.



## 附錄 C：短距無線通訊技術應用於 ITS 之頻譜配置與干擾課題

針對 ITS 系統之資料通訊需求，除了核心網路之有線固定式網路技術外，最重要的莫過於行動設備與 ITS 基礎設施連接之無線接取網路系統(wireless access network)，尤其 DSRC 能夠在足夠的行動性條件下提供傳輸速度快、頻寬高的通訊效能，實為提供多元化 ITS 應用服務的良好解決方案，因此目前國內外發展 ITS 相關應用服務時，亦特別重視 DSRC 的技術研發與應用模式之規劃。總括而言，DSRC 的研發與應用是發展 ITS 系統時不可或缺的重要課題。

根據 DSRC 所使用的通訊媒介，可區分為無線電技術與紅外線技術，尤其在無線電技術的部分，主要包括 900MHz、5.8GHz、以及 60GHz 等，而在移動性與傳輸頻寬的雙重考量下，目前以 5.8GHz 的技術研發較為成熟；另外在與路測設施的通訊模式方面來區分，有可分為主動式、半主動式、被動式等，使用主動式與被動式的 DSRC 系統各有其缺點，可以依不同的需要選擇適當的通訊模式，近幾年來由於 ITS 應用服務的規劃日趨多元化，各國亦逐漸採用無線區域網路技術(如 IEEE 802.11a)等作為 DSRC 系統的解決方案。

ISO(International Organization for Standardization)針對 ITS 通訊平台所提出的標準架構為 CALM(Continuous Air-interface for Long and Medium distance)，由於考慮專用短距通訊技術在 ITS 應用上的重要，CALM 協定著重於專用短距通訊系統相關技術的標準制訂，包括 5GHz、60GHz、以及紅外線通訊等，特別是 5GHz 通訊系統的部分(CALM M5)，將採用現行常見的無線區域網路技術(IEEE 802.11a)以及參考美國對於專用短距通訊系統的技術與應用規範等；如圖 C-1 所示，CALM 的標準規劃特別考慮了與目前各國 DSRC 標準的相容性，選擇適當的無線電頻段，並規劃保留 5.85~5.925GHz 作為專為行車安全輔助之用，以避免使用公用頻段所容易產生的訊息干擾問題。

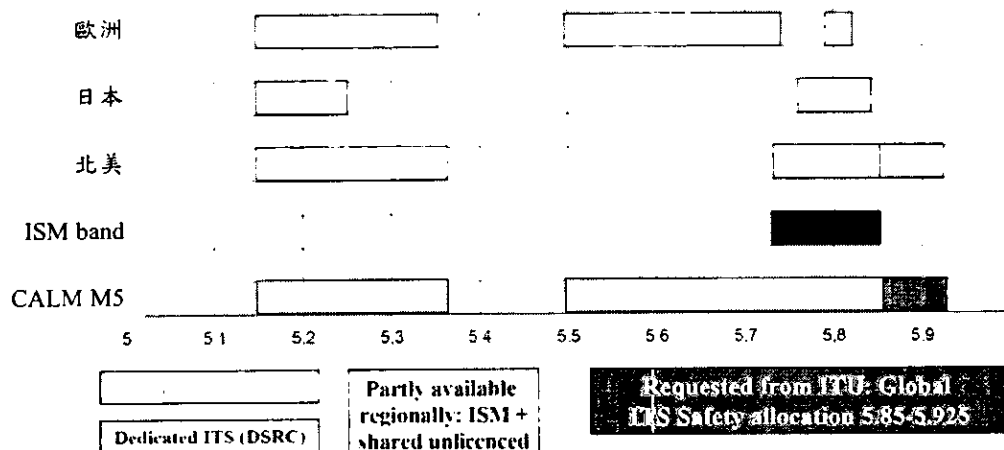


圖 C-1 CALM M5 與各國 5GHz 相關標準之頻段比較

## 期中報告審查意見回覆表

審查意見編號	審查意見	回覆辦理情形
主席科技顧問室賈玉輝主任總結		
一	本期中報告已對 MANET 應用於 ITS 之技術、產業近況及實測提出充分之資料收集。此技術在國際上有不同的研究方向，宜進一步整理初期技術成熟度及引進我國之可行性。	期末報告中已針對各國在 MANET 技術與應用之發展方向進行探討，並已整理 MANET 技術成熟度及引進我國之可行性；請見第 2.2.7 小節與第 2.4 節。
二	有關以 WLAN 為基礎之 MANET，建議輔以國外實驗數據，比較其效能是否正確。	國際上以 WLAN 為基礎之 MANET 實驗數據目前較為缺乏，本研究已探討相關實驗結果；請見第 5.1 節。
三	建議個章節文字加以編輯，將 overview 做有系統的整理。	遵照辦理。
四	對於隧道，如何處理 GPS 輔助之 MANET 應用，應深入評估。	本研究已對 MANET 應用於 ITS 的行動定位替代方案進行探討；相關內容請見第 3.1.1 節。
五	Ad-hoc 無線通信系統為電信國家型計畫中之一項，應加強合作交流。	本研究團隊積極與國家其他相關研究進行合作與交流，期末報告已說明本計畫與其他相關重要計畫之相關性；請見第 1.4 節。
六	本計畫之成果如系統效能軟體模擬分析、電波涵蓋模擬、廣域免基地台無線電系統應用在 ITS 之評估皆可供交通部參考。	遵照辦理。
七	建議本報告第二章的名稱改為行動廣域免基地台無線通訊技術應用於 ITS 之文獻回顧及發展現況。	遵照辦理。
八	建議報告之第六章內容移為第三章的內容。	遵照辦理。
九	建議加入本系統適用之道路種類及型態。	本研究於下半年度執行期間對不同道路環境與系統運作型態進行測試，進而探討其適用性；相關內容請見第 6.3 節。
1.台灣大學 吳靜雄副校長		
1-a	在無線電頻譜與輻射強度對人體的影響方面，歐盟與瑞典的規範似乎比美國更為嚴謹，應依需要加以探討。	期末報告已加入歐洲地區在無線電頻譜與輻射強度之安全規範探討；請見第 4.2 節。
1-b	期中報告的實地量測僅限於高架道路為主的傳播環境，應同時考慮一般平面道路的傳播環境進行量測。	本研究除了依據研究計畫書進行預定的實地量測項目外，已增加對平面道路傳輸環境的實地量測與效能評估；相關內容請見第 6.3 節。

1-c	我國電信國家型計畫或軍方單位是否有 MANET 相關的研究正在進行？這些計畫成果是否能互相參考與整合？	我國電信國家型計畫與軍方單位確有 MANET 相關研究正在進行，本研究團隊亦積極參與並加強合作，期末報告已說明本計畫與其他相關重要計畫之相關性；請見第 1.4 節。
2.政治大學理學院 連耀南教授		
2-a	期中報告結論中所描述的適用性與系統效能似乎與實驗結果不一致。	MANET 技術之適用性在本研究之探討與相關文獻回顧輔證下可驗證其正確性，而系統效能與資料傳輸率與訊息涵蓋範圍的增進上確有其優勢，只是有若干 MANET 技術細節仍有待加強；期末報告結論已加強適用性與實驗結果之一致性；請見總結一章。
2-b	請探討以 WLAN 為基礎之 MANET 可否利用方向性天線或智慧型天線增加其系統效能。	根據本研究的文獻探討，利用方向性天線或智慧型天線實可增加 WLAN 為基礎之 MANET 系統效能；相關內容請參考第 2.2.6 小節。
2-c	請加入網路第三層(IP addressing)與第四層(TCP/UDP)等以上的測試與實驗。	本研究之實地量測與效能評估已屬於網路第三層與第四層的測試，並對 TCP 與 UDP 協定之效能分別進行說明；關於本研究的實測結果與評估請參考第 6.3 節。
2-d	請評估使用 WLAN 之 MANET 與其他技術間(如 GSM 或 3G 系統)成本與功能性的優缺點比較。	本研究已針對 WLAN 與其他通訊技術之比較，提出技術面與需求面的探討(第 3.1 節)，並補充成本方面的初步評估(第 3.2 節)。
2-e	建議本研究可從服務需求面來觀察與評估 MANET 應用於 ITS 之適用性	本研究評估 MANET 應用於 ITS 之適用性即是從服務需求面來觀察，並以交通部運研所公佈之 ITS 服務需求為基礎；相關內容請參考第 3.1.2 節。
3.交通大學 張仲儒研發長		
3-a	對於 MANET 應用於 ITS 系統的適用性探討，可否加入針對不同網路型態(道路種類)的考量？	本研究除了對不同道路型態進行實地量測外，關於不同道路型態的適用性探討，已加強說明於第 6.3 節。
4.台灣大學 蔡志宏教授		
4-a	請將研究報告中相關章節的文獻探討與概論整理於單一章節之中，避免類似的探討內容散落在報告中多處。	遵照辦理；除了與特定內文相關性較高的文獻探討於不同章節之中，主要的文獻與概論已整理於第 2 章。
4-b	請進一步比較已發表之國內外文獻與實驗成果。	遵照辦理；相關內容請見第 2 章。
4-c	研究報告中提及使用 GPS 輔助的路由機制與應用服務在 GPS 無法涵蓋的範圍應如何解決？	並非所有 ITS 應用服務均需參考行動台的定位資訊，而當定位資訊為必要時，若是行動台位於 GPS 無法涵蓋

		的範圍，可利用其他常見的定位技術加以輔助；關於適合用於輔助 ITS 系統進行行動台定位的技術請參考第 3.1.1 小節。
4-d	請考量 ITS 中路測設備(基地站台)是否適於使用方向性天線。	除了報告中對智慧型天線應用於 MANET 的文獻回顧外，報告中亦提及使用智慧型天線實可增加 MANET 系統效能之可行性評估；相關內容請參考第 2.2.6 小節。
5. 電信總局 高凱聲副局長		
5-a	請探討與說明 MANET 應用在 ITS 系統的實際案例。	國際上使用 MANET 應用在 ITS 系統的實際案例以德國 Fleetnet 與南非 ODMA 技術較為成熟，本研究亦針對這兩個案例進行探討；相關內容請見第 2.2.1 與第 2.2.3 小節。
5-b	請評估 MANET 系統如何解決一般無線通訊技術之換手問題？	由於 MANET 屬於自組式網路技術，端點間的連線通道為動態建立，因此不需要進行換手；有關 MANET 的特性說明請參考第二章前言。

## 期末報告審查意見回覆表

審查意見編號	審查意見	回覆辦理情形
一	期末報告已對 MANET(Mobile Ad-hoc Network)應用於 ITS 之技術與國內外發展現況進行探討，關於如報告中所提及之北美與歐洲 FleetNet 建置案例宜進行更詳細的探討與說明。	德國 FleetNet 等 MANET 應用於 ITS 之建置計畫雖具有較為完整之 ITS 應用服務規劃，然而截至 2003 年底為止，以 FleetNet 平台為基礎之實際 ITS 應用服務效能迄今尚未對外公佈；期末報告已加強 FleetNet 計畫對於 ITS 應用服務規劃的說明，請參考第 2.2.1 小節。
二	本研究對於 MANET 應用於 ITS 之可行性評估除了以功能可行性為考量外，宜加強對於網路基礎建設成本、商業模式、以及具都會規模之系統建置為考量加以評估。	本研究已提出 MANET 應用於 ITS 之功能可行性與成本優勢評估；第二年度計畫將根據委員意見提出都會規模之系統運作模式與維運成本評估，在商業模式的建立上亦會加以探討。
三	國外如 ODMA 等相關技術已趨成熟，本研究所研發之技術對於 ITS 通訊平台之切入點為何？	在國內以 WLAN 為基礎之 ODMA 技術目前僅在固定點進行跳接之效能驗證較為成熟，本研究首先以技術最為困難的移動點跳接為研究與效能量測重點，最重要的目的在於讓國內 MANET 技術生根。
四	建議研究團隊探討國內 ITS 相關應用服務(如高雄 APTS 系統)現行通訊平台與 MANET 技術之優缺點比較。	研究團隊現正進行國內相關系統之資料蒐集，將根據委員建議於第二年度計畫補充 MANET 技術與國內現行技術之優缺點比較。
五	本研究之 MANET 技術以 ISM 頻段為基礎，如何解決在系統運行時可能造成之干擾問題？	ISM 頻段的干擾問題可利用動態跳頻、調整無線電訊號強度等技術觀點補強，此外目前國際上面對此干擾問題，擬規範特定頻段作為 ITS 專用，其中以 ISO 組織所制訂的 CALM 協定為主；關於 CALM 協定對 ISM 頻段的規範請見報告附錄 C。
六	建議研究團隊根據 ITS 資訊之即時性進行分類，作為評估通訊技術效能的基礎。	本研究第二年度計畫將進行若干 ITS 應用服務之建置，屆時將詳細考慮各項 ITS 資訊之即時性進行分類，進而評估現行 MANET 是否有效滿足其即時性需求。
七	建議研究團隊考慮 MANET 系統穩定性進行效能評估。	本研究已根據實驗結果進行系統穩定度的初步評估，請參考報告第 6.3.4.1 小節。

GPN : 1009301500

定價 : 200