

國立交通大學

電機與控制工程學系

碩士論文

802.11 無線點對點網路
傳輸率之改善及延遲時間之分析

Improvement of Throughput and Analysis of the Delay Time
for 802.11 Wireless Ad-hoc Network

研究生：林宗翰

指導教授：徐保羅 教授

中華民國九十五年六月

802.11 無線點對點網路 傳輸率之改善及延遲時間之分析

學生：林宗翰

指導教授：徐保羅 博士

國立交通大學電機與控制工程學系碩士班

摘 要

在本篇論文中，我們修改了原本無線網路 802.11 的實體層規範，使其具有單一頻道的跳頻功能。利用 802.11 的點對點模式並且搭配我們提出的 channel allocation procedure (CAP)方法，以及 ad-hoc on-demand distance vector routing (AODV)，建立一個適合多重智慧型代理人交通控制系統的網路通訊介面。這個方法解決了影響網路傳輸率的隱藏節點問題，成功地改善其因競爭通訊行為而造成的網路傳輸率下降問題，本研究所設計的方格狀點對點網路系統，可作為未來 ITS 的行動通訊平台。透過 NCTUns 網路模擬軟體，模擬結果顯示相較於原本的 802.11 點對點網路，不同網路節點的傳輸率有 75%到 2300%的改善量。

此外，由於網路控制系統 (network control system; NCS) 中，需要估測因通訊所造成的延遲時間作為史密斯估測器 (Smith predictor) 的設計參數，我們進而透過實驗的設計，分析了點對點網路中的延遲時間，藉由客戶端／伺服端的程式，量測從應用層到應用層的延遲時間平均值，探討其特性。我們發現不同的網路傳輸速率，及不同的封包資料量，皆會影響網路延遲時間。實驗指出距離因素不影響延遲時間，但隨著封包負載的成長，網路延遲也會增加，若使用高速率傳

輸則能得到較小的網路延遲。

關鍵詞：隱藏節點問題、無線點對點網路、IEEE 802.11、CAP、AODV、NCTUns、
延遲時間



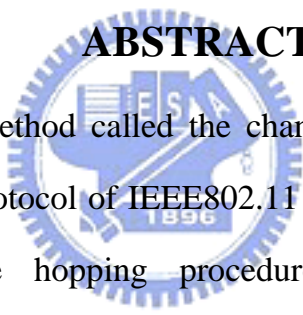
Improvement of Throughput and Analysis of the Delay Time for 802.11 Ad-hoc Network

Student: Tsung-Han Lin

Advisor: Prof. Pau-Lo Hsu

Department of Electrical and Control Engineering
National Chiao-Tung University

ABSTRACT



In this thesis, a new method called the channel allocation procedure (CAP) is proposed and its physical protocol of IEEE802.11 ad-hoc network is further modified to sequentially apply the hopping procedure based on the single-channel communication. By combining both the proposed CAP method and the ad-hoc on-demand distance vector routing (AODV), an effective communication interface for the multi-agent traffic control system is thus established. By applying the CAP method, the hidden terminal problem which is the main cause of the degradation of network throughput is solved. By evaluating the CAP method using the NCTUns network simulator, results revealed that the throughput of the proposed CAP method increases by 75% to 2300% compared with the original 802.11 ad-hoc networks.

Furthermore, since the value of the delay time caused by the wireless communication is required in the design procedures of the Smith predictor in the network control system (NCS), the average delay time of the ad-hoc network between the two application layers of the server and the client is measured and analyzed to

suppress the delay effect. It is found that various transmit rates and payload sizes mainly affect the delay time. Experimental results further indicate that the delay time is independent of the transmission distance and it increases when the payload size increases. Moreover, applying the higher transmit rate leads to the lower time delay in NCS.

Keyword: hidden terminal problem, wireless ad-hoc network, IEEE802.11, CAP, AODV, NCTUns, delay time



誌 謝

對我來說，這本碩士論文的意義非凡，除了是兩年研究所生活的成果結晶之外，同時也代表兩年來，在指導教授 徐保羅博士的教誨下，研究思路上的長進與突破。尤其在撰寫這本論文的期間，老師的信任給了我許多的力量，甚至在後期口試準備期間，勞心費力地跟我做了更深刻的討論，並給予受用的建議與指導，讓我能用有限的的能力，使這本論文在有限的時間內趨於完善，因而在此，我要對徐保羅教授致上最真誠的敬意與感激。

也要感謝王伯群院長、簡榮宏教授以及李俊賢博士等口試委員，在論文上的建議與指導，幫助我用有限的文字做出最好的呈現。

感謝師門謝鎮洲學長在研究上的建議、生活的分享還有健身時期的種種鼓勵；感謝幸琮政學長豐富了我的研究所生活，我不會忘記這兩年研究與音樂上所激起的火花；感謝賴建良與黃煒生兩位學長，在研究上的討論與幫助；感謝鄭景文學長，當我在研究遭遇瓶頸時，建議我正確的方向，並多所鼓勵；感謝室友兼同學的興漢，不論在實驗室或是寢室，我們都可以分享彼此的生活並給予鼓勵；感謝同窗六年的元銘，對我生活上的扶持，六年共同生活的記憶實在難以抹滅；感謝同月同日生的孝麟，抬槓式的生活交談，著實讓研究所生活增添許多趣味；感謝同學瑞元，學弟雨坤、林億、宗勝陪伴了我的研究生生活。

還要再次感謝琮政學長、興漢、元銘、以及學弟雨坤、林億、也強，在炎炎夏日下不厭其煩地幫我完成實驗。

最後要將此論文獻給父親 林倉敏先生、母親 黃琬嬪女士，以及所有關心我的家人與朋友，沒有你們，研究的路途不會如此順暢，不會充滿感激，我也不能心無旁騖地專心課業，也就不會有這本論文的出現，所以真的謝謝你們。

目錄

中文摘要		i
英文摘要		iii
誌謝		v
目錄		vi
表目錄		ix
圖目錄		x
第一章	緒論	1
	1.1 研究動機與目的	1
	1.2 研究背景與發展概況	3
	1.3 問題陳述	5
	1.4 研究方法	6
	1.5 論文架構	7
第二章	IEEE 802.11 基本原理	8
	2.1 MAC 層的運作機制	8
	2.2 使用模式與頻道規範	9
	2.3 隱藏節點與無遮蔽節點問題	13
	2.4 RTS/CTS 淨空程序	15
第三章	模擬與網路品質分析	17
	3.1 NCTUns 網路模擬器	17
	3.2 交通路網架構下的隱藏節點問題	18

3.3	方格狀點對點網路模擬建置	20
3.3.1	-各型態節點的網路傳輸率	22
3.3.2	-各型態節點的封包碰撞率	23
第四章	以 CAP 方法提升網路傳輸率	24
4.1	頻道配置程序 (Channel Allocation Procedure -CAP)	24
4.1.1	-程式架構與流程	27
4.2	AODV 繞徑協定	29
4.3	CAP 方法應用於路網架構	31
4.3.1	-角落型態節點的網路傳輸率比較	31
4.3.2	-邊緣型態節點的網路傳輸率比較	32
4.3.3	-中央型態節點的網路傳輸率比較	34
4.4	封包碰撞的表現	35
4.5	討論	36
第五章	點對點無線通訊網路延遲時間	37
5.1	文獻回顧	37
5.1.1	-網路控制系統	37
5.1.2	-史密斯估測器	38
5.1.3	-無線 802.11 延遲時間	40
5.2	實驗環境	42
5.2.1	-量測精準度	44
5.3	兩節點的延遲時間表現	45
5.3.1	-距離因素	45
5.3.2	-封包負載因素	46



5.3.3	-延遲時間變異與系統負載	47
5.4	三節點的延遲時間表現	53
5.4.1	-以 5.5Mbps, 11Mbps 速率傳輸	54
5.4.2	-低傳輸速率的不穩定情形	55
5.4.3	-以 1Mbps, 2Mbps 速率傳輸	58
5.5	網路控制系統模擬	59
5.6	討論與建議	62
第六章	結論以及未來展望	64
6.1	結論	64
6.2	未來展望	65
參考文獻		66



表目錄

表 2-1	Frequency of IEEE 802.11b	11
表 3-1	各型態節點的平均傳輸率與封包碰撞資料率	23
表 4-1	不同方法下，各型態節點的平均傳輸率與封包碰撞資料率	36
表 5-1	802.11 傳輸機制的各項符號說明	40
表 5-2	兩節點的點對點網路延遲時間比較	62
表 5-3	三節點的點對點網路延遲時間比較	62



圖目錄

圖 1-1	交通控制智慧型代理人架構組織圖	3
圖 1-2	無線感測網路的基本架構示意圖	4
圖 2-1	IEEE 802.11 家族，以及與 OSI 模型的關係	8
圖 2-2	MAC 協調功能	10
圖 2-3	The channel 1, 5, 9 and 13 in ISM band	12
圖 2-4	隱藏節點問題	13
圖 2-5	無遮蔽節點問題	14
圖 2-6	RTS/CTS 淨空程序示意圖	15
圖 3-1	交通路網中的隱藏節點問題	18
圖 3-2(a)	路網中三節點，沒有屏障的網路傳輸率表現	19
圖 3-2(b)	路網中三節點，具有屏障的網路傳輸率表現	20
圖 3-3	3 × 3 路網架構在 NCTUns2 上的模擬	21
圖 3-4	各型態節點在隱藏節點問題下的網路傳輸率 (throughput)	22
圖 3-5	各型態節點在隱藏節點問題下的封包碰撞資料率	23
圖 4-1	Channel 的選用以及設置	24
圖 4-2	大型網路內，被動節點的頻道設置規則與情形	25
圖 4-3	遞增、遞減模式的主動節點與被動節點在大型網路的設置分布	26
圖 4-4	程式流程圖	27
圖 4-5	主動節點的物理層模組編輯使用者介面	28
圖 4-6	CAP 方法下，角落型態節點的網路傳輸率	31
圖 4-7	隱藏節點問題下，角落型態節點的網路傳輸率	32
圖 4-8	CAP 方法下，邊緣型態節點的網路傳輸率	33

圖 4-9	隱藏節點問題下，邊緣型態節點的網路傳輸率	33
圖 4-10	CAP 方法下，中央型態節點的網路傳輸率	34
圖 4-11	隱藏節點問題下，中央型態節點的網路傳輸率	35
圖 5-1	網路控制系統架構	37
圖 5-2	等效 Smith Predictor 系統方塊圖	38
圖 5-3	等效系統方塊圖	39
圖 5-4	802.11b 的最大傳輸率與 TUL(Mbps)	41
圖 5-5	802.11b 的最小的延遲時間與 DLL(秒)	41
圖 5-6	802.11 封包格式	42
圖 5-7	延遲時間定義	42
圖 5-8	延遲時間計算	43
圖 5-9	Echo TCP/IP Client/Server 使用介面	44
圖 5-10	距離因素下，兩節點的延遲時間實驗	45
圖 5-11	不同的 Payload 大小，各傳輸速率的延遲表現	46
圖 5-12	圖 5-11 放大以比較 5.5Mbps 與 11Mbps 的延遲表現	47
圖 5-13	兩節點中，最大延遲時間的標準差	48
圖 5-14	兩節點中，延遲時間的母體標準差	49
圖 5-15	1Mbps 速率傳輸下，50 筆 600Bytesz 封包大小的延遲時間	50
圖 5-16	兩節點 ad-hoc network 使用 11Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔	50
圖 5-17	兩節點 ad-hoc network 使用 5Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔	51
圖 5-18	兩節點 ad-hoc network 使用 2Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔	51
圖 5-19	兩節點 ad-hoc network 使用 1Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔	52
圖 5-20	三節點的網路架構	53
圖 5-21	三節點的封包路徑	53
圖 5-22	不同的 Payload 大小，5.5Mbps 與 11Mbps 的延遲表現	54

圖 5-23	三節點 ad-hoc network 使用 11Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔	55
圖 5-24	三節點 ad-hoc network 使用 5.5Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔	56
圖 5-25	三節點 ad-hoc network 使用 2Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔	56
圖 5-26	三節點 ad-hoc network 使用 2Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔 (低 payload)	57
圖 5-27	三節點 ad-hoc network 使用 2Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔 (高 payload)	57
圖 5-28	不同的 Payload 大小，1Mbps 與 2Mbps 的延遲表現	58
圖 5-29	系統方塊圖	59
圖 5-30	$t_p = 0$ 的步階響應	59
圖 5-31	$t_p = 1$ 的步階響應	59
圖 5-32	$t_p = 1.5$ 的步階響應	60
圖 5-33	$t_p = 2$ 的步階響應	60
圖 5-34	等效 Smith Predictor 系統方塊圖	60
圖 5-35	Smith Predictor 與 $t_p = 1$ 的步階響應	61
圖 5-36	Smith Predictor 與 $t_p = 1.5$ 的步階響應	61
圖 5-37	Smith Predictor 與 $t_p = 2$ 的步階響應	61

第一章 緒論

本章主要在說明本論文的研究動機與目的、研究背景與發展概況、陳述我們所界定的問題、研究方法與步驟，以及本論文的架構。

1.1 研究動機與目的

近年來，許多的研究學者專注於智慧型運輸系統（intelligent transportation system; ITS），這個系統係藉由先進之電腦、通訊、電子、資訊與感測相關技術的應用，透過即時資訊的溝通與連結，以改善人、車、路等運輸次系統間的互動關係，進而增進運輸系統的安全、效率與舒適，同時減少交通環境衝擊的有效整合型運輸系統，促進人類生活的便利。簡單來說，利用先進科技使運輸系統智慧化，就是 ITS 的本質[9]。

其所包含的領域相當廣泛，早從 1930 年代就陸續被提出來[1-3]，但由於相關的整合技術不夠成熟，因而沒有顯著的進展，一直到了 1980 年代末期，才漸漸受到關注，尤其 90 年代以後，汽車已經成為路地上最重要的交通工具之一，當普及率越來越高，伴隨而來的是交通路況壅塞的問題，為了解決此一問題，交通路網控制系統漸成了一個新興的項目。目前有許多的研究傾向使用多重代理人的架構，來建置交通路網控制系統，藉由代理人與代理人之間的溝通，每個智慧型代理人做出較佳的號誌判斷，協調路口與路口尖的交通流量，以避免道路車輛壅塞的情形發生。[10-12]

代理人（Agent）的概念始於 MIT(Massachusetts institute of technology)，屬於人工智慧（artificial intelligence; AI）的一個分支，他藉由擬人的思考特性，譬如說自主性，互動性以及智慧性等等，應用在廣泛的領域，舉凡商業應用的資訊管理、電子商務和商業流程管理；醫療應用

的病人監視、健康監視；娛樂工業的互動式電影、網路電玩連線遊戲；而工業應用中的製造與控制系統[4-7]、核電廠控制[8]，都有引入代理人的觀念。

然而，目前多重代理人交通控制系統的相關研究，大多仍在模擬的階段，雖然這個研究課題的發展潛力無窮，但要實際在交通路網建置多重代理人系統，仍有其實際運作上的困難，最值得注意的即是代理人之間的溝通介面建置問題，少有研究者在此著墨，但這卻是一個必要思考的問題。因為若要使用預先規劃好的有線網路，例如乙太網路（Ethernet），則佈線工程的成本十分驚人，由於每個控制系統內的路口都必須開挖，以利建置網路，因此建置有線網路作為我們的溝通網路，除了工程浩大、費用昂貴之外，也涉及到了路權的問題，必須要在相當精確的規劃之下，配合相關政府機關單位的支持，才能順利建置溝通網路。

多重代理人交通控制系統，一直是智慧型運輸系統（ITS）這個領域的熱門課題，但是考量實際佈建網路時的成本問題，無線網路省去了有線網路的佈線成本與工程，更適合多重智慧型代理人交通控制系統。考量路口間的距離因素以及現存的網路種類，本篇論文我們選用了 IEEE 802.11 應用在多重代理人的交通控制系統。由於 IEEE 802.11 與發展成熟的乙太網路有許多相似的設計規劃，因而在應用的整合上，也能夠更順利的發展相關技術。

1.2 研究背景與發展概況

多重代理人交通控制系統的相關研究[10-12]裡面，將路口的代理人定為成 local traffic agent (LTA)，如圖 1-1，若有其他延伸的功能則交由 coordinate traffic agent (CTA) 協調處理，再者，若控制系統必須涵蓋超大型網路時，才在 coordinate traffic agent 之上架構 global traffic agent (GTA) 作為協調分擔 coordinate traffic agent 的負擔之用。

但原則上 LTA 就能組織成多代理人交通控制系統，且希望每一個路口的代理人，能夠獲得足夠的資訊，藉此判斷號誌的變換，這些資訊可能包含了周圍路口的車流量、壅塞程度、周圍路口紅綠燈號誌的變換情形，甚至是意外事故的偵測與警告等等。

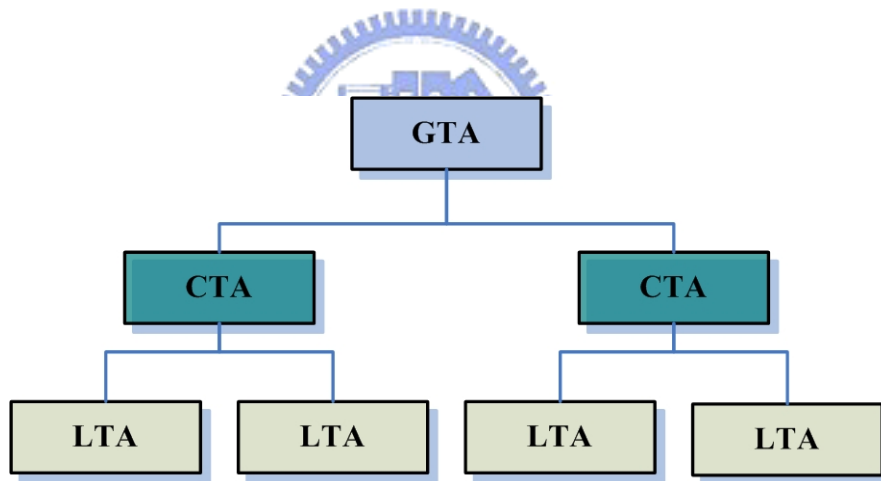


圖 1.1 交通控制智慧型代理人架構組織圖

若觀察多重代理人的溝通模式，每一個代理人除了收集自己所處路口的必要資訊之外，也希望透過與其他代理人的溝通，獲得周圍四個路口的資訊，因而這方面的研究涉及到了感測技術的整合應用。從感測資料的行為，還有資料收集的形式而言，概念與無線感測網路 (wireless sensor network; WSN) [13]相當吻合，示意圖如圖 1-2，資料收集站 (base station) 會收集感測節點 (sensor node) 的資料，而感測節點本身可以轉遞其他感

測節點的資訊。而在我們的多代理人控制系統裡，由於每個代理人希望收集周圍路口的感測資料作為智慧型判斷的資料，但同時也提供自身路口資訊給鄰近的代理人，更精確的說，每個網路節點除了是資料收集站（base station），同時也是感測節點（sensor node），因而使用無線感測網路中，點對點的方式建置我們的網路，確是可行的方式，而且如同先前所說，無線網路可以快速發展所需的網路規模，建立符合需求的點對點網路(ad-hoc network)。

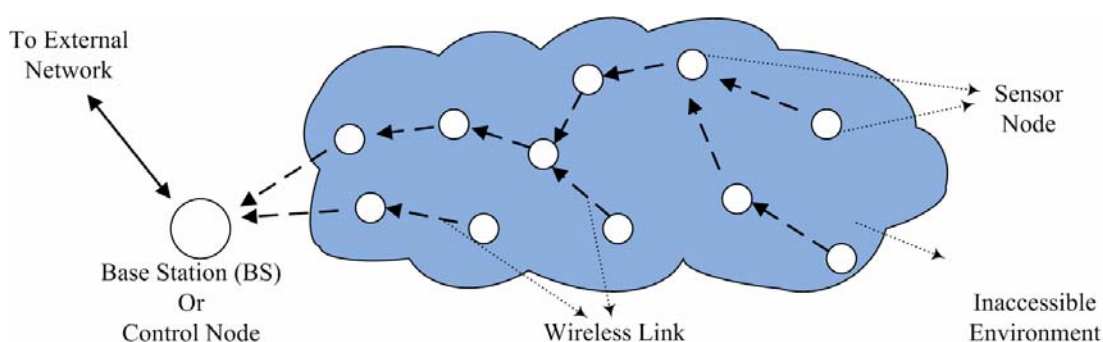


圖 1-2：無線感測網路的基本架構示意圖

一般而言，無線感測網路所面臨的問題，不外乎無線節點的溝通能力（network performance）、資料的累積爆炸（bursty convergecast）、安全性問題（security），甚至是應用整合上的設計。面對這些問題，有許多的研究都朝向從繞徑規範（routing protocol）的設計去解決相關的問題，但也有不少的電機領域研究者朝向從頻道的動態切換[14]，或者是智慧型天線（smart antenna）的設計來解決無線節點溝通的問題。不過由於無線感測網路的應用領域十分廣泛，因而問題也常涉及到形形色色的各種層面。

1.3 問題陳述

一旦使用 802.11 作為代理人的溝通介面，我們關切的是網路品質是否優良，還有能否滿足我們的交通控制系統的要求。一般而言，衡量網路品質的兩大重要指標：1.網路傳輸率（throughput）、2.延遲時間(delay time)。

在我們交通路網架構下，市區道路與住宅大廈交錯而形成了宛如棋盤一般的方格狀網路，在這樣的環境架構無線點對點網路，會有許多封包繞徑規劃以及頻道能量干擾的情形。我們知道無線節點向外發出放射狀的能量，以探尋其他節點的存在，甚至與其他節點溝通，然而頻譜的能量卻會受到許多環境介質的影響。以交通路網控制系統為例，不管是車輛的行進、環境建築物的屏蔽，還有同一空間下共存的同頻譜異類網路，都確實會影響到網路的品質表現。

而對於整合型的網路控制系統，網路的延遲時間會造成控制系統的不穩定性，為了達到穩定強健的控制，必須知道網路延遲時間的性質，以便在設計控制器時有較佳的參數規劃。因而本篇論文，會以網路品質為主軸，分析造成網路傳輸率（throughput）下降的原因，提出相應的解決辦法，使以 802.11 建立的點對點無線網路架構，能夠提供多重代理人交通控制系統穩健可靠的溝通介面。並且測量分析影響網路延遲時間（time delay）的各項因素，針對網路控制系統提出建議與討論。

1.4 研究方法

本論文的研究方法主要可分為兩個部份，以探究無線網路應用於交通控制系統的性能表現。

1. 網路傳輸率 (throughput) :

要在實際市區道路建立多點的點對點網路群組，有其實際的困難，因而我們使用 NCTUns 這套網路模擬器，模擬一個大型的點對點網路，藉此分析網路傳輸率的問題，並且提出頻道設置程序 (channel allocation procedure; CAP) 這個方法，建立物理層動態變換傳輸頻道的機制，以解決造成網路傳輸率下降的問題。

2. 延遲時間 (delay time) :

考量到無線網路與代理人結合之後，要對電機元件進行控制 (例如號誌切換，甚至是以馬達為致動器的元件)，發展成網路控制系統 (network control system; NCS)，甚至是與工業網路結合，完成一個整合型的交通控制系統，我們實作了一個延遲時間量測系統，實際在交通大學工程五館與工程三館之間的道路進行實驗，量測點對點網路的延遲時間平均值，分析延遲的表現，以提供未來 NCS 設計中：Smith Predictor 的參數，減低因時間延遲所造成的系統不穩定性。

除了基本的雙節點例子 (1-hop ad-hoc network)，並加入了一個中繼點 (relay node)，形成三節點的點對點網路(2-hop ad-hoc network)，觀察量測實驗的結果，可以知道在不同的情形下，延遲時間會有變異的表現，藉此提供控制系統在設計規劃時的指標。

1.5 論文架構

本論文共分六章，首先第一章中主要說明研究的動機與目的、研究的背景與發展、陳述我們的問題以及研究方法。第二章會簡述一些 IEEE802.11 的規範，包含 MAC 層的運作機制、802.11 的使用模式與頻道規範、還有 802.11 遭遇的常見問題：隱藏節點與無遮蔽節點問題，最後是 RTS/CTS 淨空程序。（註：RTS: Request to Send, CTS: Clean-to-Send）

第三章是模擬與網路品質的分析，利用我們所使用的 NCTUns 網路模擬器，分析路網架構下的隱藏節點問題；模擬建置方格狀點對點網路，分析角落、邊緣以及中央型節點的網路問題；最後是這三類節點的封包碰撞表現。第四章提出 CAP 方法以解決第三章提到的問題，並提高網路傳輸率，透過與 AODV 繞徑規範的結合，應用於我們的網路架構，分析各型態節點的網路表現提昇率，並作詳細的討論。

第五章實驗測量點對點無線網路延遲時間，包含文獻回顧、程式的架構與量測精準度、兩節點的延遲表現、三節點的延遲表現。第六章對本論文做出結論，並提出未來的展望。

第二章 IEEE 802.11 基本原理

本章主要闡述本論文的重心：IEEE 802.11。分別描述 MAC 層的運作機制、網路使用模式與實體層的頻道規範，並將使用 IEEE 802.11 所必然面對的傳輸問題加以說明，且描述 RTS/CTS 淨空程序的機制與作用，以深入淺出的方式，提供概要性的背景知識。[15, 16]（註：RTS: Request to Send, CTS: Clean-to-Send）

2.1 MAC 層的運作機制

802.11 屬於 IEEE 802 的成員之一，如下圖所示，而 IEEE 802 主要規範 OSI 模型最底下的兩層：實體層（PHY Layer）、資料鏈路層（Data Link Layer）。只要是 802 系列的網路，必然具備上述兩種元件，其中 MAC 用以決定如何存取媒介與傳送資料的規則，至於傳送與接收的細節，則交由 PHY 負責處理。

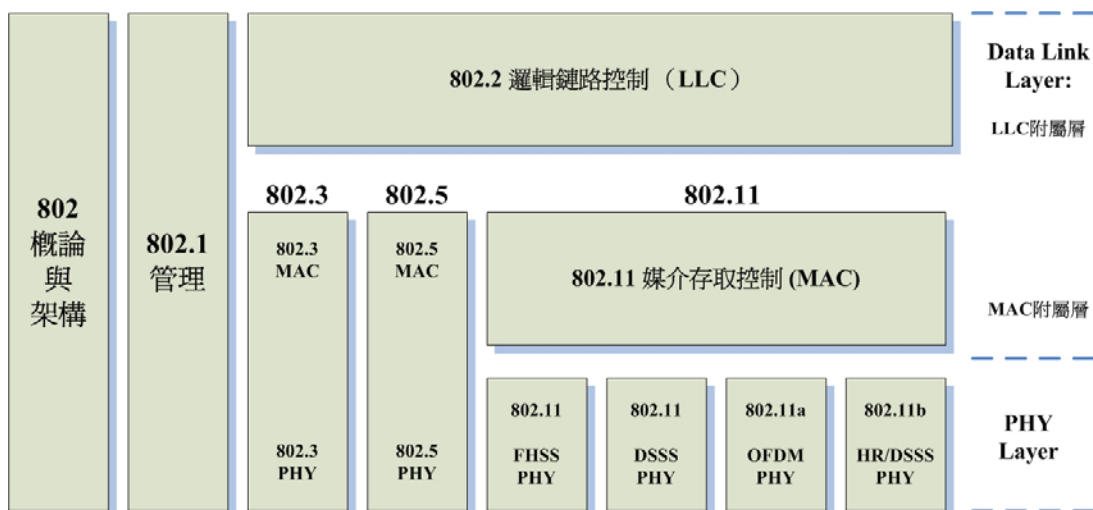


圖 2-1：IEEE 802.11 家族，以及與 OSI 模型的關係

802.11 規格的關鍵在於媒介存取控制層 (MAC)，MAC 層位於實體層之上，控制資料的傳輸，負責核心的訊框封裝作業 (core framing operation)，以及與相連接的骨幹網路作必要的互動。至於實體層 (PHY)，則可能提供不同的傳輸速度，不過實體層之間必須能交互作用。

相較於與 Ethernet 有關的 802.3，802.3 是載波偵測多重存取／碰撞偵測 (carrier sense multiple access network with collision detection; CSMA/CD)，802.11 同樣採用載波偵測多重存取 (carrier sense multiple access; CSMA) 機制來控制傳輸媒介的存取，不過由於底層媒介的不同，802.11 無法達到碰撞偵測的要求，為了避免封包碰撞 (collision) 浪費了寶貴的傳輸資源，因此 802.11 轉而使用載波偵測多重存取／碰撞避免 (carrier sense multiple access network with collision avoidance; CSMA/CA)。然而和 Ethernet 一樣，802.11 採用的是不具中樞控制功能的分散式存取機制，因而每部 802.11 工作站存取媒介的方式都一樣，主要差異只在於所使用的底層媒介不同而已。

2.2 使用模式與頻道規範

使用模式：

IEEE 802.11 提供了兩種使用模式：(1)ad-hoc mode、(2)infrastructure mode。

(1)ad-hoc mode：

使用這種模式建立的網路，通常是因應各種特殊的需求所建立的特設網路 (ad-hoc network)，由於此網路的點對點性質 (peer-to-peer)，又稱點對點網路，具有便利性與可移動性，不像 infrastructure network，必須架設基礎設備，就能提供工作站之間的傳輸。(註：ad-hoc 係拉丁文，原意是「特別的」、「針對特殊情形的」。)

(2)infrastructure mode :

使用這種模式建立的網路，必須使用基地台（access point; AP）負責傳輸範圍內的所有工作站通訊行為，通訊行為包括兩個步驟，首先由起始對話的工作站將訊框傳遞給基地台，然後再由基地台將此訊框傳送到目的工作站，意味著所有的通訊都必須透過基地台運作。

平時使用的無線網路即是使用這個模式，來與 Ethernet 作連結，透過基地台，可以作異類的網路連接，並且協助工作站節省電力，甚至是更進一步的網路服務。最常見的例子即是速食店、學校、醫院、機場、飯店提供的無線上網，甚至最近台北提出的無線城市，皆是中控型網路（infrastructure network）的典型例子。

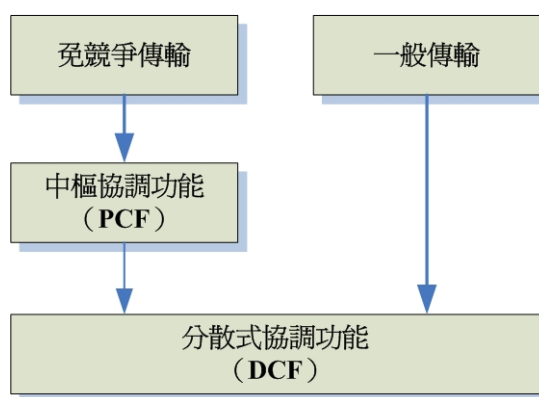


圖 2-2：MAC 協調功能

延續上一節所提到的 CSMA/CA 機制，此機制是由分散是協調機制（distributed coordination function; DCF）所控管，如果需要用到免競爭服務（contention-free service），則可透過架構於 DCF 之上的中樞協調功能（point coordination function; PCF）來控管，而此服務只提供中控型網路（infrastructure network）協助校調相關功能。

而本論文採用的是 ad-hoc mode，針對交通路網中，方格狀的架構限制，建立一個大型的點對點網路（ad-hoc network），來滿足代理人的通訊需求。就網路協調機制而言，使用的是 DCF。

頻道規範：

802.11 所使用的是 2.4GHz ISM 頻段，除了 802.11a 使用 5GHz，後來的 802.11b、802.11g 也都是使用 2.4GHz ISM 頻段。所謂 ISM，分別代表產業（industrial）、科學（scientific）與醫療（medical），意味著此頻帶提供給產業免費使用，因而不用申請執照，不必經授權使用。

根據 802.11b 標準的訂定，其使用 2.4GHz 但允許不同的管理組織各自訂定使用的頻率範圍，因而每個國家會有些許差異。譬如 FCC(美國)、ETSI(歐洲)、MPHPT(日本) 及 IC(加拿大)運作的頻率範圍是 2.4 GHz ~ 2.4835 GHz，日本還額外的使用 2.471 GHz ~ 2.497 GHz，法國允許的運作頻道為 2.4465 GHz ~ 2.4835 GHz，西班牙為 2.445 GHz ~ 2.475 GHz，雖然各個管理組織與國家訂定的頻率範圍(frequency range)不盡相同，但各個頻道的中央頻率(The channel center frequencies)則是相同的，因此美國與台灣使用的頻道為 1~11，日本為 1~14，西班牙為 10~11，法國為 10~13。

表2-1： Frequency of IEEE 802.11

Channel Number	Frequency [MHz]
1 [F1]	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5 [F2]	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9 [F3]	2452
10	2457
11	2462
12	2467
13 [F4]	2472

一般來說，我們會認知802.11b使用13到14個頻道，如上表所示。由於每個頻道的中央頻率間隔5MHz，而每個頻道約佔25MHz，因此頻道間可能有相互重疊的區域而產生干擾，為了避免這方面的干擾，802.11b標準訂定不重疊的頻道選擇可以有1、6、11三個頻道（其為四個頻道間隔）。802.11g在頻道的使用上面是同於802.11b。

然而以韓國為例，他們提供了 13 個頻道以供使用，因而不少進展中的研究使用 1、5、9、13 四個頻道（其為三個頻道間隔），來達到頻道空間的重複使用，這些頻道彼此有三個通道的間隔。先前也有相關的研究[17]對這兩個例子：四個頻道間隔、三個頻道間隔，進行相關的頻道干擾實驗，發現有些許差異的結果。

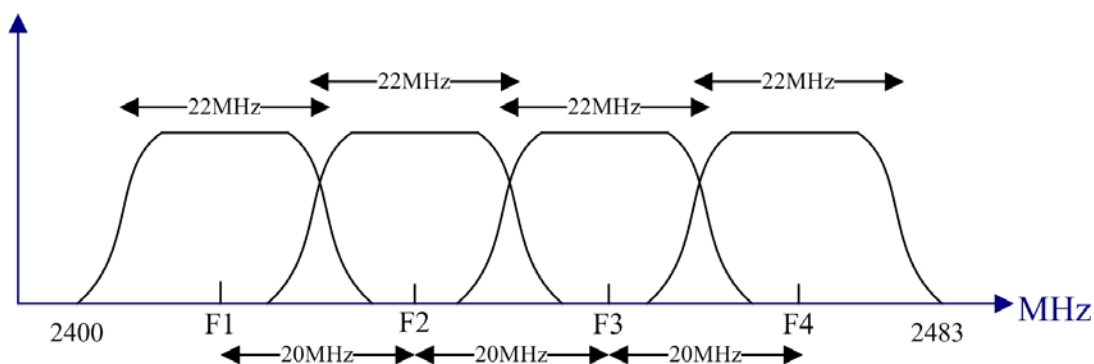


圖 2-3：The channel 1, 5, 9 and 13 in ISM band

儘管如此，這些差異卻不會影響本論文的相關結果，如圖 2-3 所示，這四個通道之間雖有少許重疊，但在我們的應用系統內，仍足以滿足頻道空間重複使用的需求，因而本論文針對交通控制系統的通訊介面，提出以 1、5、9、13 四個頻道作為頻道設置程序(channel allocation procedure; CAP)的頻道使用規範。而頻道設置程序 (CAP) 方法會在第四章詳細介紹，並且分析相關的網路效能。

2.3 隱藏節點與無遮蔽節點問題

無線網路環境相較於傳統有線網路，固然提供了許多的便利性，還有可移動性，但也相對了面臨許多挑戰。對無線網路來說，傳輸的介質不再具有遮蔽性，而是直接利用能量透過空氣傳送，進一步說，開放性的傳輸介質必然有許多相同頻帶的能量干擾。

上述的情形一般都是為雜訊，然而也有因為射頻訊號在因為發送端的直線訊號與物體（例如汽車、建築物）反射的反射訊號相位相反且振幅相同，重疊總和之後，造成接收端所接收的訊號總和為零，形成收訊死角。這種因多重的路徑傳輸造成的訊號衰弱，稱多重路徑衰落（multi-path fading），也是可能造成網路品質下降的原因之一。除此之外，無線通訊中最顯著的兩個問題：(1) 隱藏節點問題、(2) 無遮蔽節點問題，分述如下：

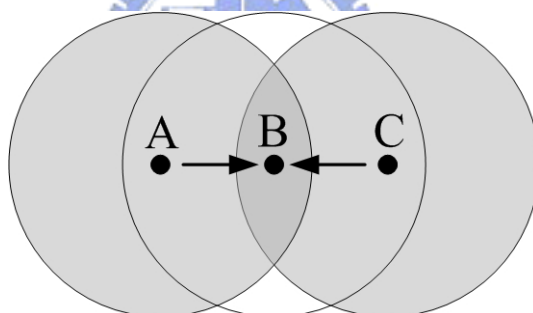


圖 2-4：隱藏節點問題

(1) 隱藏節點問題 (Hidden Terminal Problem)

如圖 2-4，節點 B 可以直接與節點 A 還有節點 C 通訊，然而有可能因為距離因素，甚至是其他原因（如障礙物），導致節點 A 與節點 C 無法直接通訊，因而在此例子，兩者互為隱藏節點。一旦節點 A 要傳送資料給節點 B，節點 C 無從感測到節點 A 的動作，進而也傳送資料給節點 B，此時，極可能節點 B 無法辨識封包，導致封包碰撞（collision），兩邊的

傳輸行為都被破壞了。一旦封包碰撞發生，封包重傳機制啟動，網路傳輸率（throughput）也為之下降，此為隱藏節點問題。

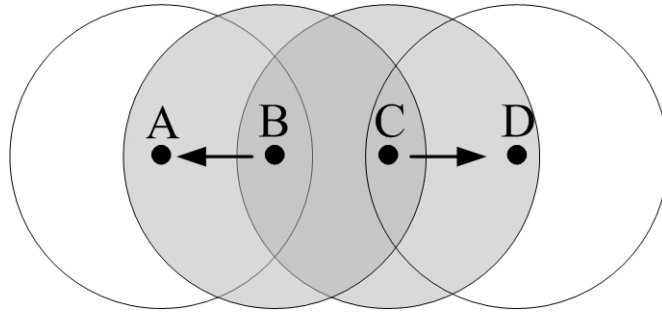


圖 2-5：無遮蔽節點問題

(2) 無遮蔽節點問題 (Exposed Terminal Problem)

如圖 2-5 所示，節點 B 正在傳輸訊息給節點 A，接著節點 C 也企圖傳輸訊息給節點 D，然而既然節點 C 可以感測到節點 B 的訊號能量與傳輸行為，節點 C 就會等到節點 B 的傳輸行為結束，才繼續進行與節點 D 的傳輸行為。但理論上，節點 B 與 A 之間的通訊行為，以及節點 C 與 D 之間的通訊行為，兩者應該彼此獨立，且同時發生，這類無效率的通道使用，即是無遮蔽節點問題。

即便是小規模的點對點網路，都會因為使用相同的頻道，而遇到上述的問題，首先，隱藏節點導致的封包碰撞難以偵測甚至是避免，因為無線收發器(wireless transceiver)通常只允許半雙工（half-duplex），無法通時收發資料，因而有許多的研究往全雙工以及多重頻道（multi-channel）的方向出發，想要避免相關的問題，截至目前為止，比較成熟的處理機制為 RTS/CTS 淨空機制（RTS/CTS clearing procedure），下一節會有進一步的討論。

再來即是無遮蔽節點所造成的無效率頻道使用，其實這與隱藏節點問

題一樣，都是由於所有的網路節點都使用相同的頻道，對於頻道空間而言，這些網路行為太過擁擠，造成效率的低落。

而我們交通控制系統，若使用同一頻道通訊，則會因為市區道路的建築物遮蔽了部份的頻道能量，更突顯了上述問題，對我們的網路系統所造成的衝擊。本論文即是為了解決上述的問題，而提出了新的改善辦法，藉以提昇網路品質，完成可靠的通訊介面。

2.4 RTS/CTS 淨空程序

這個機制使用了 RTS(Request to Send)訊框還有 CTS(Clear to Send)訊框，使用 RTS 訊框基本上有兩個目的：預約頻道的使用權，並且令收到的此訊框的非目的地工作站，停止網路傳輸行為。以圖 2-6 為例，節點 A 發出了 RTS 訊框，接收端節點 B 以 CTS 訊框回應，如同 RTS 封包，CTS 也會要求接收範圍內的其他工作站（如節點 C）保持靜默，一旦完成了了這兩個訊框的交換程序，表示節點 A 與節點 B 附近的工作站知道媒體已經被保留，因而訊框的傳送就可以進行而不會受到干擾。

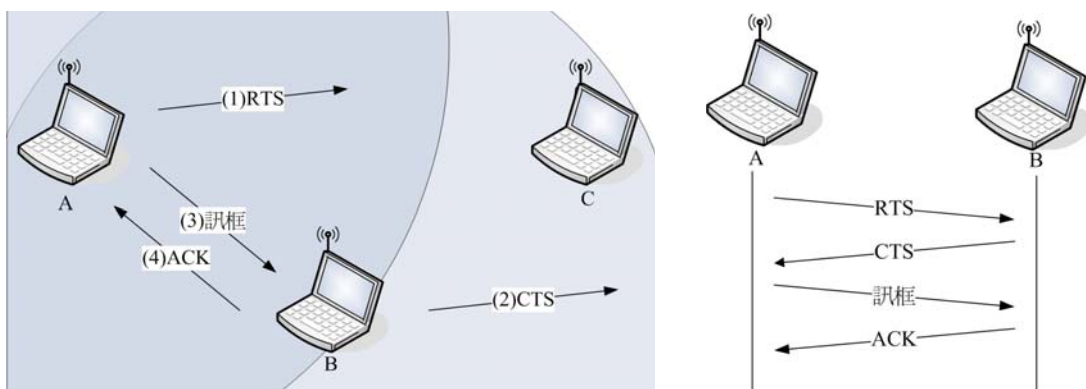


圖 2-6：RTS/CTS 淨空程序示意圖

然而我們可以發現節點 C 在這個程序裡面，沒有任何的網路行為，亦即 RTS/CTS 機制只能解決隱藏節點的問題，對同頻道下的無遮蔽節點問題，卻無能為力。因此，我們可以瞭解，RTS/CTS 淨空程序只能大致改善小型點對點網路的網路品質，但對於較大型且為數眾多的點對點網路而言，並無法增進頻道空間的有效使用。而且使用了 RTS/CTS 程序，實際的傳輸過程也會因為多了些程序而造成延遲，以及頻寬消耗，因而本論文，在第四章會針對交通控制系統架構下的網路品質問題，提出以 CAP 方法搭配 AODV 繞徑協定的頻道使用方式。



第三章 模擬與網路品質分析

為了瞭解網路競爭的相關問題在交通控制系統的影響程度，我們利用了 NCTUns 網路模擬器建置一個模型，藉以模擬實際情形，本章透過網路傳輸率 (throughput) 以及封包碰撞資料率 (collision packet rate) 作為兩個分析網路品質的指標。(註：這裡定義的封包碰撞資料率，為每秒產生的封包碰撞資料量。)

3.1 NCTUns 網路模擬器

目前常用的模擬器有 NS2、OPNET、NCTUns，其中 OPNET 則是需付費的商用軟體。我們所使用的模擬軟體是 NCTUns[18]，是由台灣交通大學資訊科學與工程研究所，網路與系統實驗室所研究發展的模擬軟體，已經有越來越多的研究者使用這套軟體進行網路研究。此外，下面幾點因素為 NCTUns 模擬平台相較於 NS2 的特點：

- (1) NCTUns 可以加入障礙物，而 NS2 則必須修改程式源碼 (Source Code) 才能滿足需求，相較之下，在 NCTU 的模擬平台中，模擬交通路網的建築物屏障較為容易建立。
- (2) NCTUns 使用真實世界的 TCP/IP 協定，能夠產生較為準確的模擬結果。
- (3) NCTUns 具有完整友善的使用者圖形介面，並且內建各種網路模組，而 NS2 則必須撰寫 otcl script 來建立網路拓樸，相較之下，NCTUns 能夠快速的建立我們所需的點對點網路。
- (4) NCTUns 同樣使用開放式源碼 (open source) 架構，允許研究者容易地建立符合研究的模組，嵌入到模擬軟體內並與平台整合。

3.2 交通路網架構下的隱藏節點問題

為了評估交通路中，因為建築物屏障所造成的隱藏節點問題，我們在 NCTUns 模擬器建立了一個三節點網路，用以模擬三個路口之間，節點封包傳送的情形，如圖 3-1 所示，我們使用 11Mbps 802.11 模組，假設每個節點路口彼此相距 200 公尺，節點的傳輸範圍（transmission range）設為 350 公尺，干擾範圍（interference range）設為 550 公尺，所以節點 1 在節點 2、3 的傳輸範圍內，但節點 2、3 卻因屏障的阻隔而無法感測到對方存在，至於路口之間存在的建築物，則用紅色屏障（shield）表示。在這個例子中，節點 1 與節點 2、節點 3 以單一頻道進行傳輸，模擬過程中，使用 TCP 規範的封包，並以網路傳輸量（throughput）作為網路品質分析的指標。

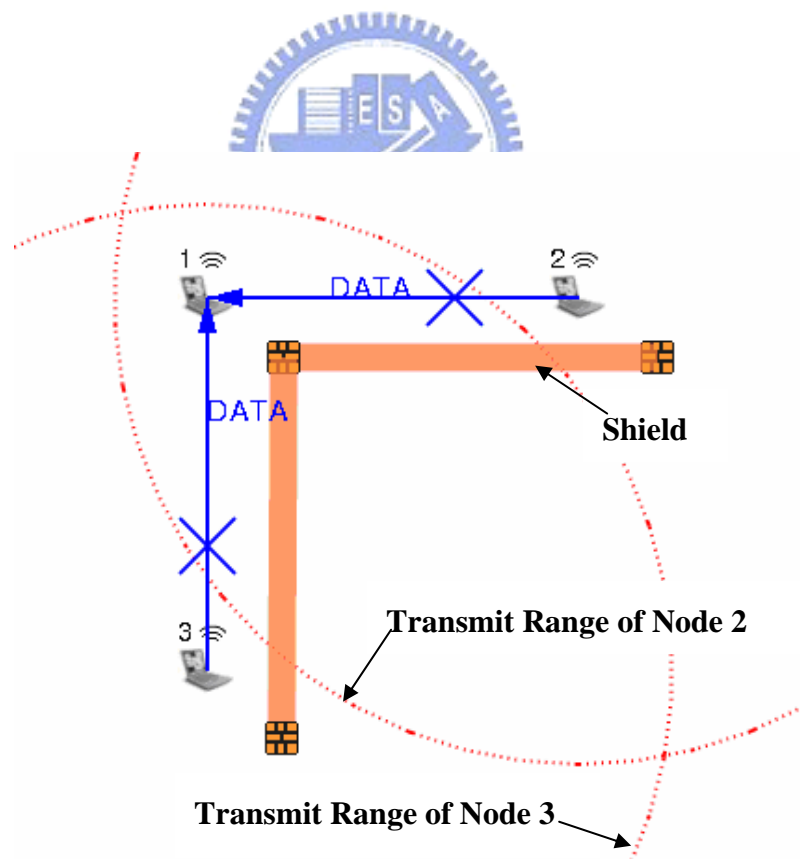


圖 3-1：交通路網中的隱藏節點問題

經模擬之後，我們可以得到不同狀況下傳輸率（throughput）結果的

比較，圖 3-2 (a) 是圖 3-1 架構下，不具有屏障的情形，圖 3-2 (b) 則是具有建築物屏障的情形。我們可以發現，不具屏障的情形下，網路品質較為穩定，其變異量較小，由於節點 2 與節點 3 都要跟節點 1 作傳輸活動，因而節點 1 的網路傳輸量自然就是節點 2 與節點 3 網路傳輸量的總和，如圖 3-2 (a) 所示。

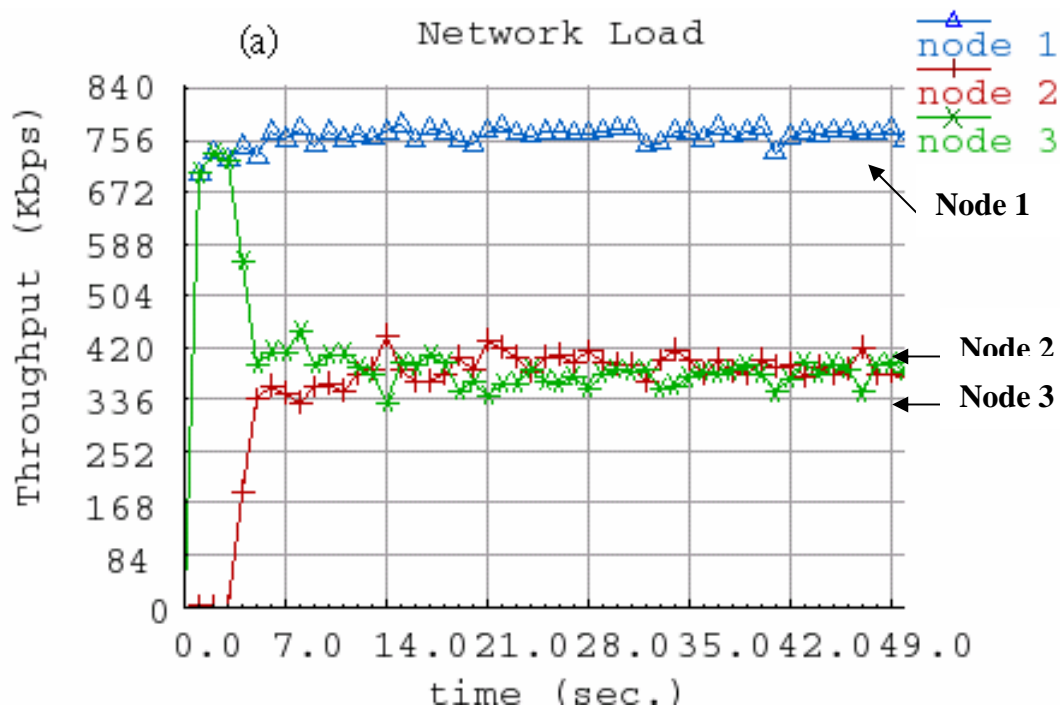


圖 3-2 (a)：路網中三節點，沒有屏障的網路傳輸率表現

但在圖 3-2 (b)，具有屏障的情形下，我們可以很明顯的看到，網路呈現競爭導致的不穩定情形，這是由於屏障的存在，讓節點 2 與節點 3 互為隱藏節點，無法感測到對方的存在，如果同時跟節點 1 作傳輸，則容易發生封包碰撞的問題。我們也可以從 3-2 (a)、3-2 (b) 兩圖的節點 1 網路傳輸率，觀察發現，一旦網路的競爭激烈，隱藏節點的問題就會造成總體的網路傳輸率下降。

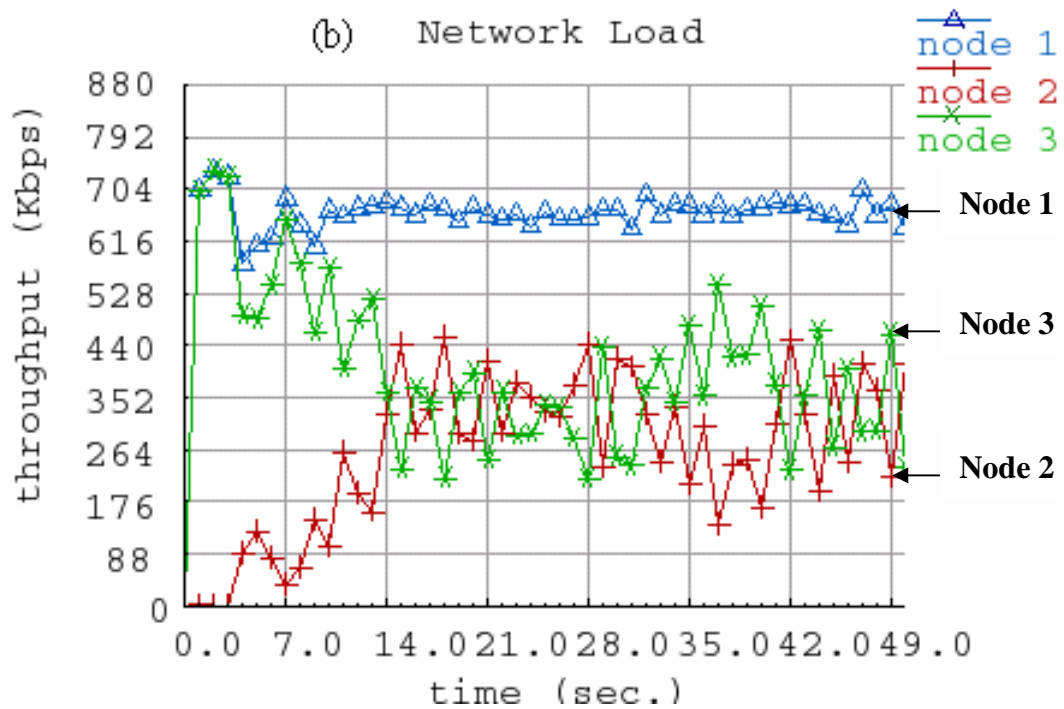


圖 3-2 (b)：路網中三節點，具有屏障的網路傳輸率表現

3.3 方格狀點對點網路模擬建置



如圖 3-3，我們設立一個 3×3 架構，共九個節點的方格狀網路模擬環境，同樣使用 11Mbps 802.11 作為通訊的介面，每個節點相距 200m，節點的傳輸範圍 (transmission range) 設為 350 公尺，干擾範圍 (interference range) 設為 550 公尺。每個節點在封包路徑規劃下，都可以跟周圍四個節點溝通。並且用屏障模擬市區中的建築物所造成的屏蔽效應。由於多代理人交通控制系統中，局部交通代理人 (local traffic agent; LTA) 在資料獲得的要求上，只需周圍四個路口的交通資訊，因而我們的規劃可以滿足一個多代理人交通控制系統的要求。

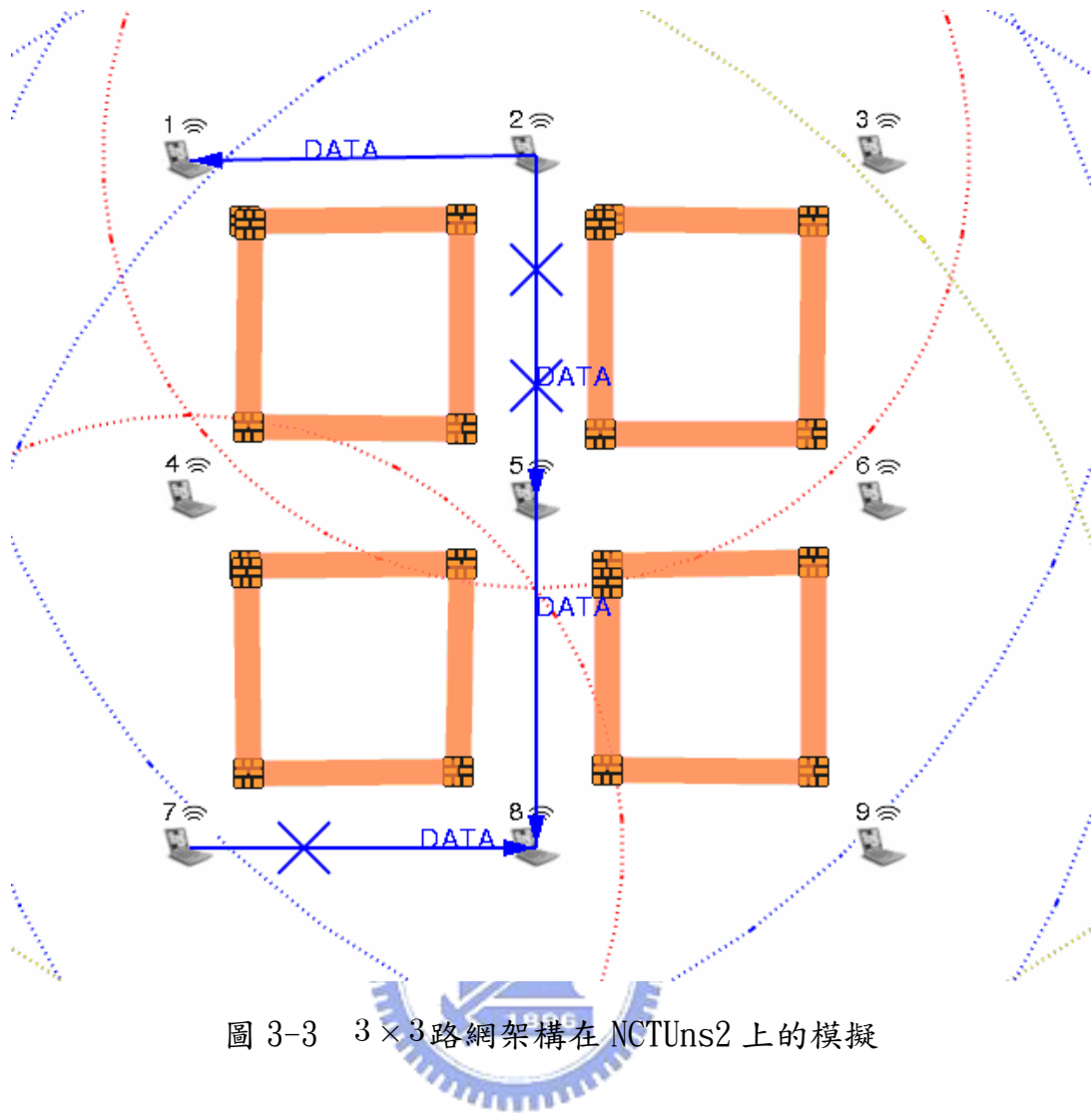


圖 3-3 3×3 路網架構在 NCTUns2 上的模擬

在圖 3-3 中，這樣基礎形態的網路架構包含了三種形式的無線傳輸節點，分別是 1.角落、2.邊緣、3.中央，而我們選用 node1、node2 以及 node5 作為代表。之所以分類成這三種，是由於角落型態的節點有兩個鄰近的工作站；邊緣型態的節點有三個鄰近的工作站；中央型態的節點則有四個鄰近的工作站。透過網路節點數量的差異，分析網路競爭的情形。

3.3.1 各型態節點的網路傳輸率

我們可以觀察出中央型態節點 (Node5) 在整個網路的競爭下，由於面臨到周圍四點的同時傳輸行為，造成了資料封包的大量碰撞，使得穩定之後的傳輸速率約 20kps 左右，而角落型態節點 (node1) 與邊緣型態節點 (node2) 的資料傳輸速度也遠小於沒有干擾情形的 760kpbs(由圖 3-2(a) 可觀察出)，這說明了在方格狀路網的架構下，傳輸品質嚴重下降，網路面臨極大的挑戰。

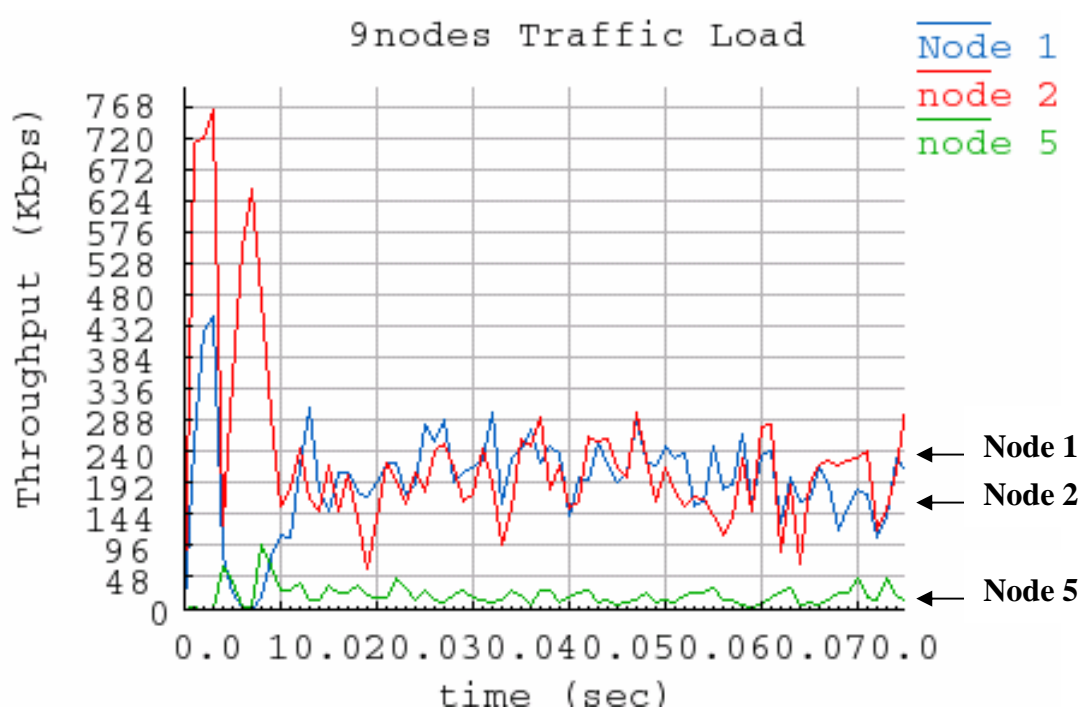


圖 3-4：各型態節點在隱藏節點問題下的網路傳輸率 (throughput)

模擬結果也指出，角落型態節點 (node1) 與邊緣型態節點 (node2) 的網路傳輸率相仿，細部的原因，我們可以透過封包碰撞 (collision) 的情形來觀察。

3.3.2 各型態節點的封包碰撞表現

為了觀察觀察各型態節點的網路表現，我們用封包碰撞資料率 (collision packet rate) 作為另一個觀察的指標。從圖 3-5 可以觀察，中央型態節點 (node5) 的封包碰撞最為嚴重，而邊緣型態節點 (node2) 並未因為鄰近節點數目大於角落型態節點 (node1) 的鄰近節點數目，而有更多的封包碰撞，這是因為對 node2 來說，node1 與 node3 並沒有屏障阻隔，因而感測的機制依然作用，避免掉了部份封包碰撞的機會。表 3-1 為各型態節點的平均傳輸率與封包碰撞率，亦清楚地顯示中央型態節點面臨的網路競爭最為嚴重。

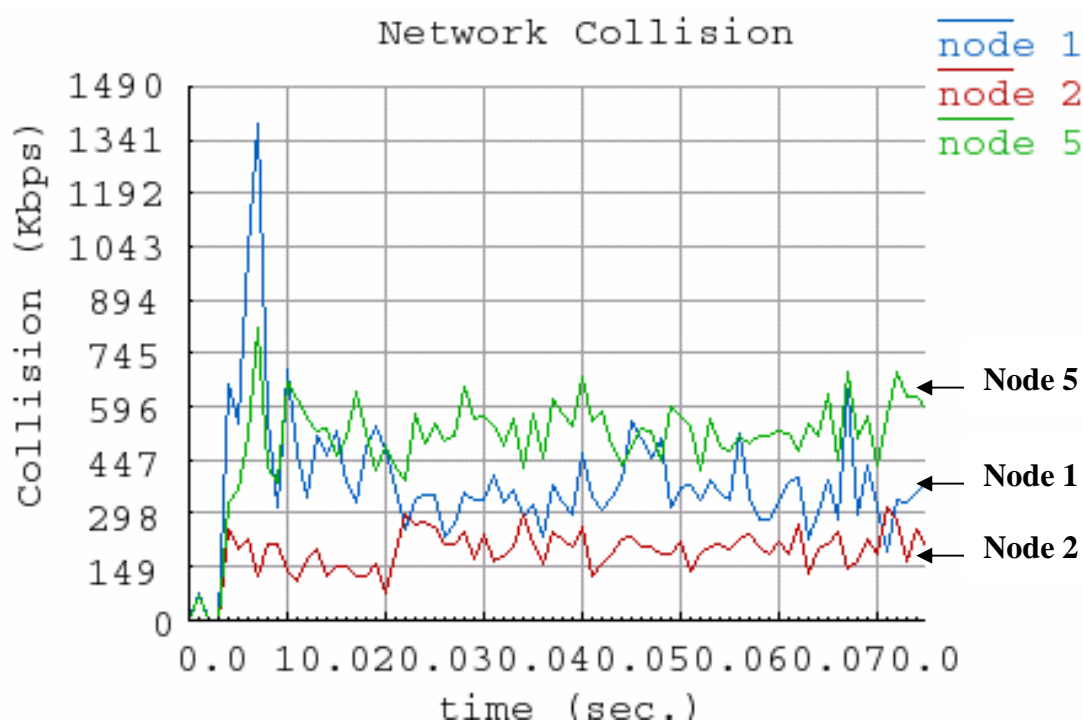


圖 3-5：各型態節點在隱藏節點問題下的封包碰撞資料率

表 3-1：各型態節點的平均傳輸率與封包碰撞資料率

	Throughput(Kbps)	Collision(Kbps)
Corner node (node 1)	200	370
Edge node (node 2)	200	200
Center node (node 5)	25	520

第四章 以 CAP 方法提升網路傳輸率

本章為了提昇網路傳輸率，提出一個動態變換頻道的設置方法，稱之為頻道配置程序 (CAP)，搭配 AODV 繞徑協定，應用於我們方格狀路網架構上，並且與上一章中網路各型態節點網路傳輸率作比較，最後提出詳細的討論。

4.1 頻道配置程序 (Channel Allocation Procedure; CAP)

本論文規劃了一個動態變換頻率通道的方法，稱之頻道配置程序 (Channel Allocation Procedure; CAP)。

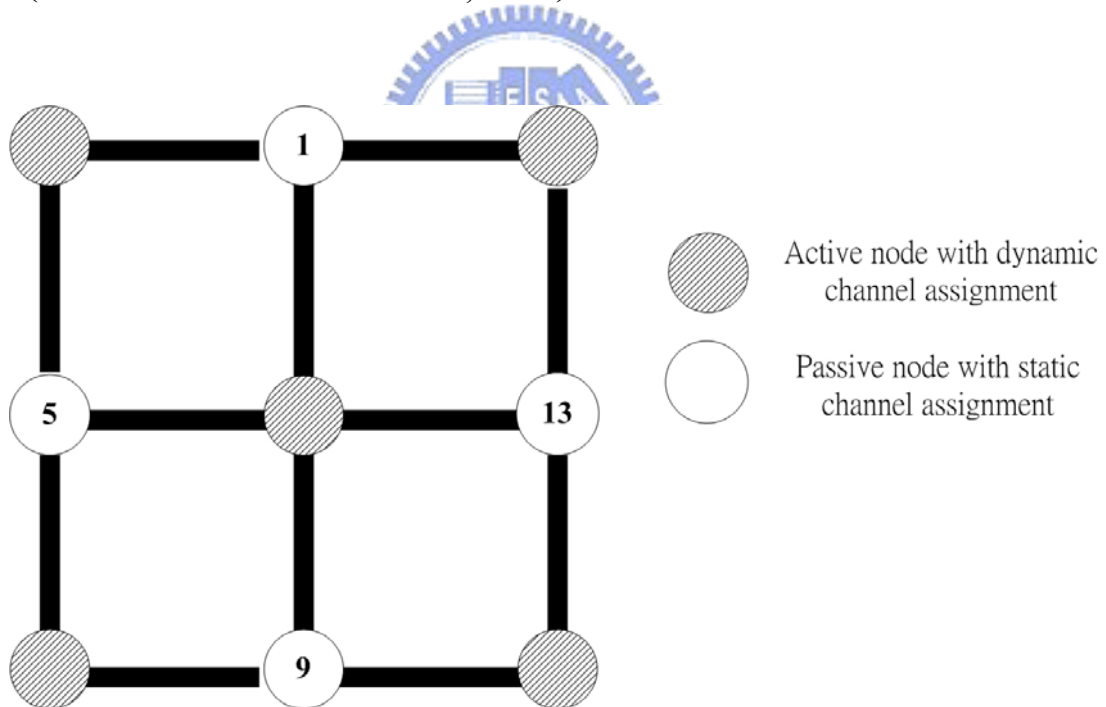


圖 4-1：Channel 的選用以及設置

首先在這個通道設計規則裡面，有兩種型態的節點：(1) 主動節點 (active node) (2) 被動節點 (passive node)，其中被動節點都被賦予固定的頻道，並且使用原先的 IEEE 802.11 規範，主動節點則使用我們修

改過的 802.11 模組，其實體層具有單一頻道的跳頻功能。

被動節點所被設定的頻道只有 1、5、9、13 這四個頻率通道，為的是有較小的頻率干擾，如圖 4-1，我們有順序地環繞中央的主動節點設置周圍四個節點（亦即被動節點）的頻道，分別以逆時針順序設置 channel 1、channel 5、channel 9、channel 13，其餘節點都設置主動節點。在我們的規劃裡面，每一個主動節點的通道變換，依序使用上、左、下、右這四個被動節點的頻道，並與其溝通。以中央那個主動節點為例，跳頻的順序依序為 channel 1、channel 5、channel 9、channel 13。

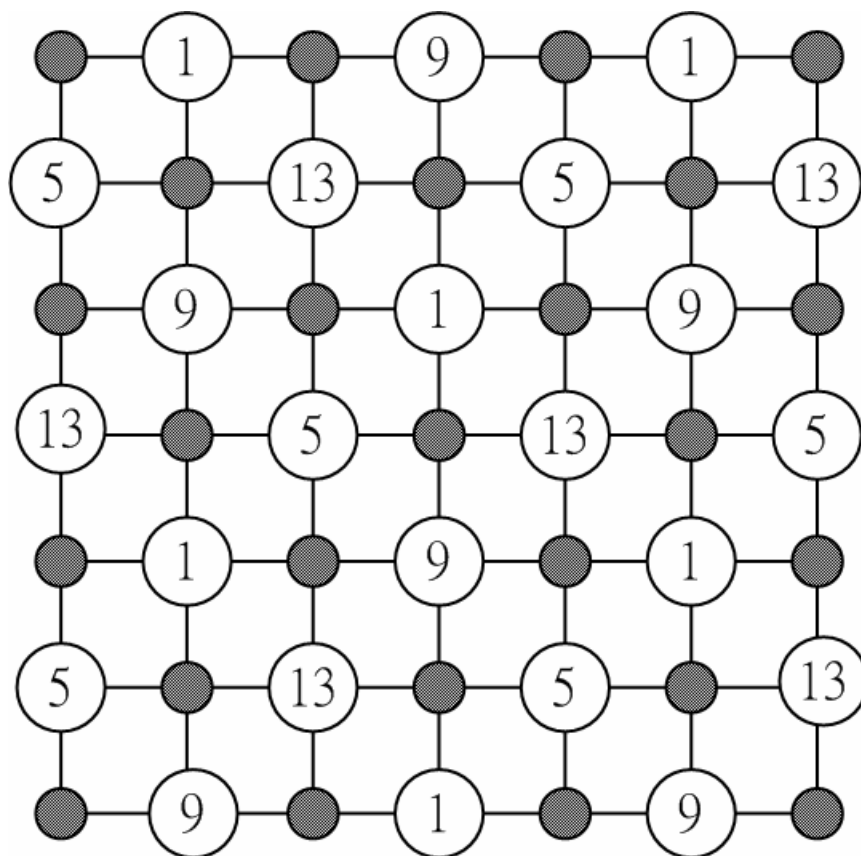


圖 4-2：大型網路內，被動節點的頻道設置規則與情形

由於交通路網可能包含大型的區域，因而頻道配置程序（CAP）設置在大型網路的規則如圖 4-2 所示，其中主動節點與被動節點交錯設立。但被動節點的設置順序有兩種模式：

(1) 遞增模式 (increasing mode) : 逆時針順序增加頻道編號

(2) 遞減模式 (decreasing mode) : 逆時針順序減少頻道編號

因而每個主動節點 (Active Node) 為了符合我們一開始設定的規則，依序跟前左後右四個方向的節點作傳輸，變換頻道的方式，亦使用遞增模式，還有遞減模式，且每個 Active node 的初始頻率都必須設定跟前方的那個節點一樣，並以週期性的方式做同步的變化。

在此點對點網路的規劃下，如圖 4-3，主動節點與被動節點交錯設置，儘管主動節點用兩種不同的模式跳頻(channel hopping)，不過每個主動節點都做同樣方向的傳輸，且同一時間內，每個點都只跟相鄰且具同樣頻道的節點作通訊溝通，這樣的作法也避免掉在同一區域內，與使用同樣頻道的其他網路，所造成的交互干擾，當然也就省去了隱藏節點的問題，達到降低封包碰撞(collision)的情形。這樣的作法，是為了達到了頻道空間的重覆使用。

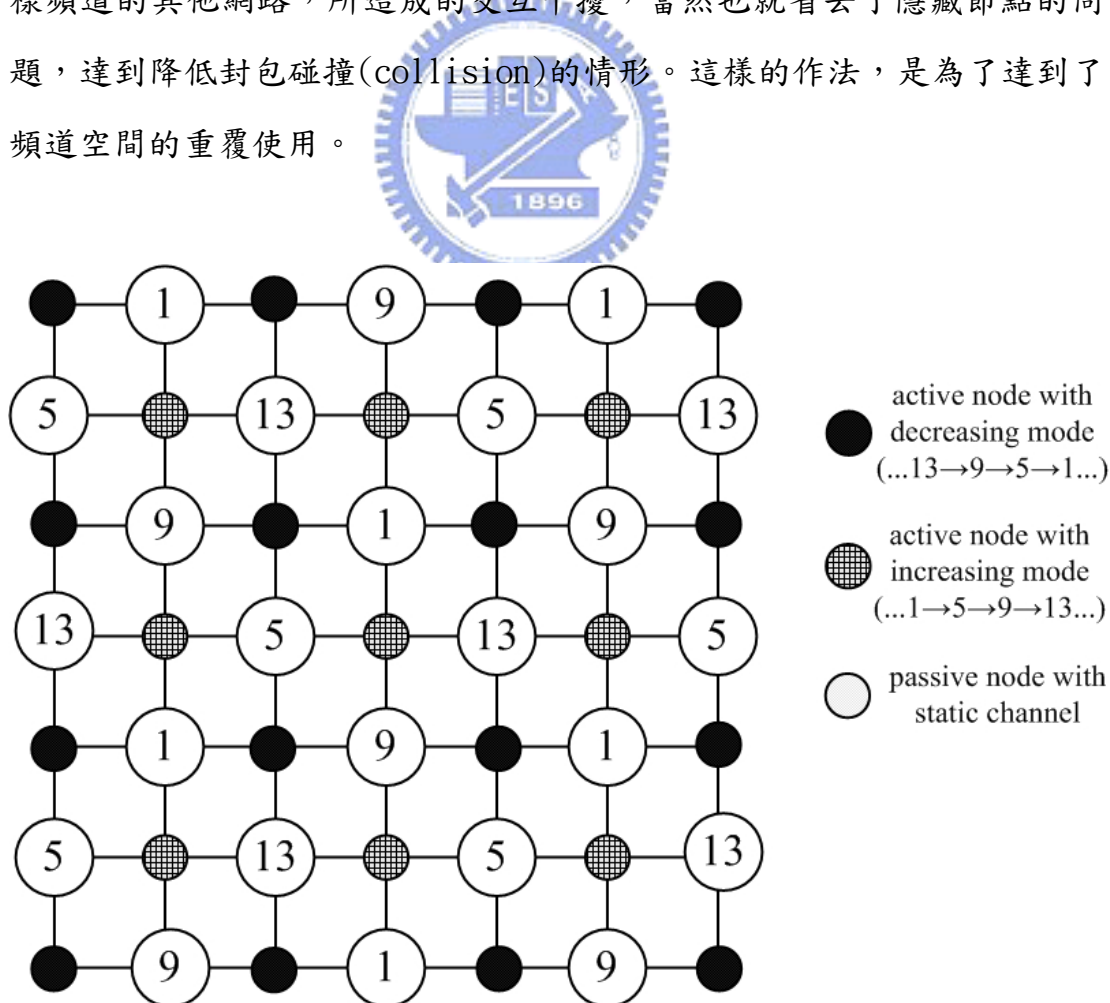


圖 4-3：遞增、遞減模式的主動節點與被動節點在大型網路的設置分布

4.1.1 程式架構與流程

NCTUns 模擬器允許研究者寫入自己的模組，為了完成主動節點跳頻的功能，我們寫了一個新的模組，並且加入必要的跳頻函式，如圖 4-4 所示，我們使用 Timer Trigger 去驅動我們的函式。初值設定的部份，我們將初始頻率，設給 $freq_$ ，使程式以實際 $freq_$ 的數值，作為溝通的頻道與其他節點溝通，並設定跳頻程序起始時間，還有跳頻週期。在本論文裡，我們將跳頻週期設為 10 秒。

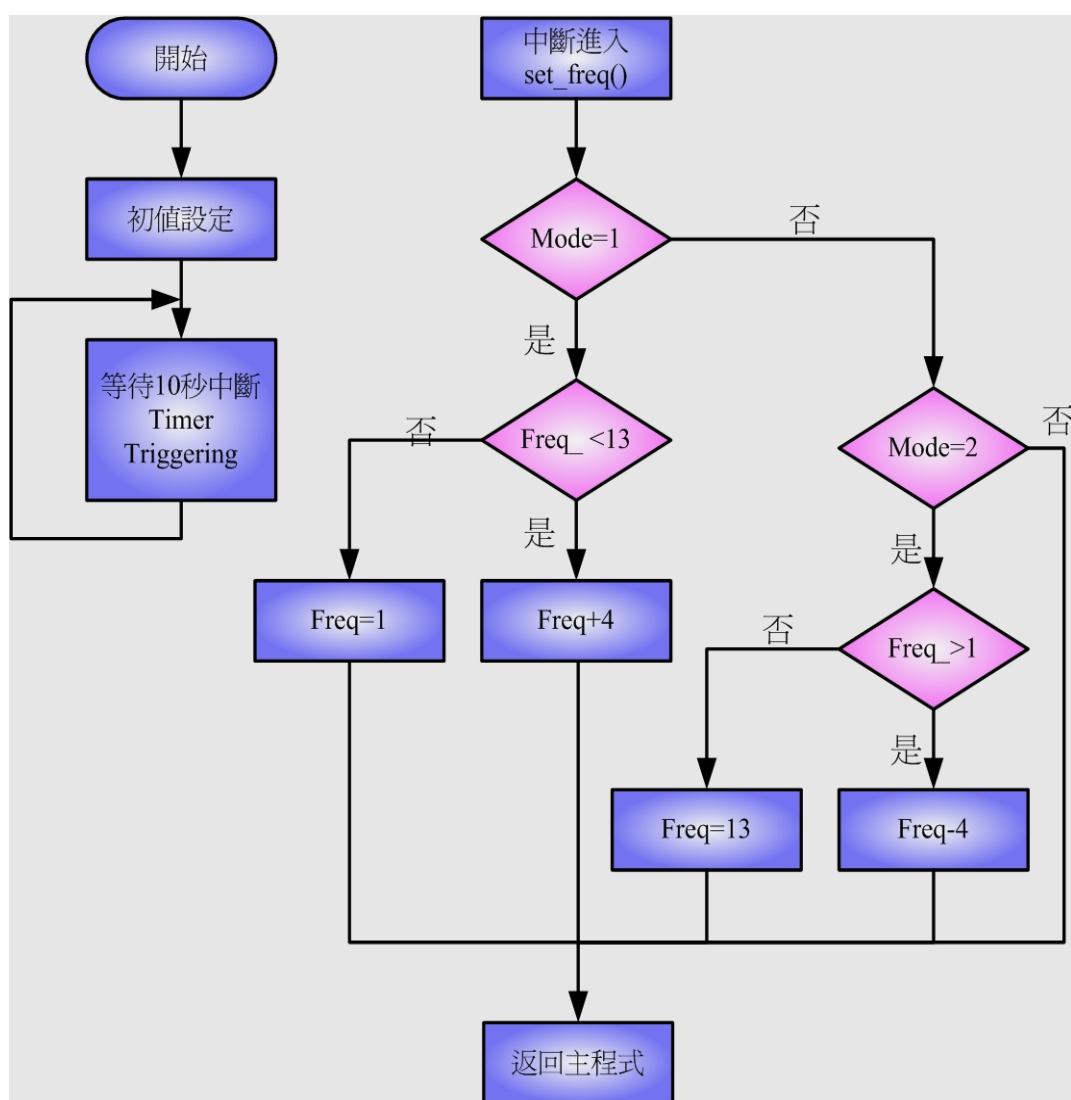


圖 4-4：程式流程圖

由於每個主動節點的起始頻道、跳頻模式都會因為因所處位置而異（每個主動節點的起始頻道都必須與上面的被動節點相同），因而程式部份撰寫了與使用者互動的介面，如圖 4-5 所示，除了原始 802.11 可以調整的參數，我們亦加入了初始頻率（Initial Frequency Channel）的設定還有跳頻模式(Hopping Mode)的選擇，方便設定我們的網路節點。

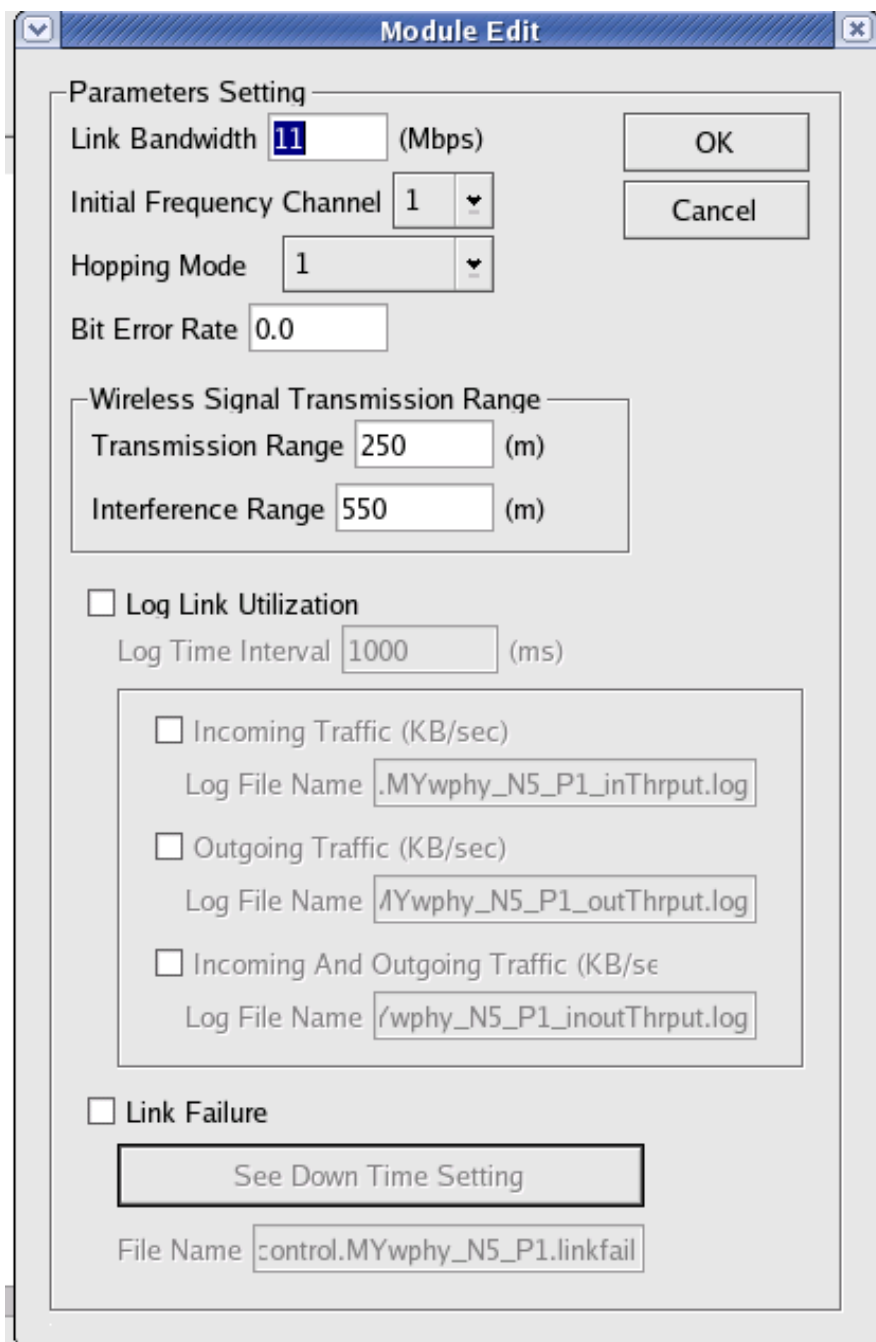


圖 4-5：主動節點的物理層模組編輯使用者介面

4.2 AODV 繞徑協定[19]

在一般 Wireless Ad-Hoc 環境中已提出的 routing protocol 可分成兩大類：

1. Proactive routing protocol：

每個無線節點，每間隔固定一段時間就會發送一些路徑相關資訊，各個無線節點就依據蒐集進來的資訊去改變自己的路徑表（routing table），其中 Distance-Vector protocol 就屬於這一類。

Proactive routing protocol 可以讓每個送出去的封包立刻得知到達目的地的路徑，不會有任何的 delay。但是這種協定必須週期性地廣播訊息，所以相當的浪費無線網路的頻寬與無線節點的電源，但是如果降低廣播所造成大量頻寬的消耗，就要拉長每次廣播的間隔時間，這又將會造成 routing table 不能正確反應網路拓樸的變化。

2. Reactive routing protocol：

無線節點想送封包時，卻找不到到達目的地的路徑，才會去開始運作，像 Dynamic Source Routing(DSR)、Zone Routing Protocol、Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing(AODV) 等就屬於這一類。這類 protocol 的最大好處就是頻寬的使用量較小，只是某一個 mobile node 欲送封包時未必能從 routing table 找到路徑，所以平均延遲時間較長。

當我們使用跳頻的機制去完成頻道配置程序（CAP），以解決隱藏節點的問題，完全是從物理層的角度，去處理訊號干擾以及封包碰撞的問題，然而對於資料鏈結層（Data Link Layer）而言，每次跳頻的動作都讓原先的路徑表（routing table）無法使用，所以原先使用的 Global Routing Protocol 已經不能使用，因為即便通訊頻道相同的兩個節點，在傳輸路徑尚未建立之前，也無法作通訊的動作。

因而我們加入了 Ad-hoc On Demand Distance Vector Routing (AODV) 到我們的節點模組內，這個 Routing Protocol 在 1999 年已經被提出，使用這個協定的節點，都會如同路由器(Router)，當有需要的時候，就會建立必要的傳輸路徑。

AODV routing protocol 在運作機制上有四點要點：

1. 當某一個無線節點發送的封包在路徑表 (routing table) 找不到適合的路徑可以到達它所要傳送的目的節點 (destination node)，它就廣播 Route Requests (RREQs) 去找尋到達目的節點的新路徑。
2. 當 RREQs 的訊息到達它所指定的目的節點，便會傳回 Route Replies (RREPs)給原本發送 RREQs 的 mobile node。
3. 處理封包在轉送的途中發生找不到路徑的情況時，即 Route Errors (RERRs)之處理。
4. 利用定時且局部性的 Hello Message 去維護傳輸範圍內的連線，當有新的無線節點加入時，就可以將其加入路徑表中。



接下來的模擬裡面，網路中的每個無線節點都使用 AODV routing protocol，而主動節點使用 CAP 中的跳頻機制搭配 AODV routing protocol，模擬結果在下一節做說明。

4.3 CAP 方法應用於路網架構

如同第三章所描述的路網架構，每個節點相距 200 公尺，將主動節點與被動節點配置好之後，在將其分類成三種型態的節點：(1) 角落型態、(2) 邊緣型態、(3) 中央型態。並且在下面三個小節，分析 CAP 程序增進各種型態節點的網路傳輸率 (Throughput)。

4.3.1 角落型態節點的網路傳輸率比較

我們依然以 Node 1 作為角落型態節點的代表。由於我們設定每 10 秒作跳頻的動作，若要完成一個週期的動作，則需 40 秒的時間，而角落型態節點因為只有兩個鄰居節點 (neighbor node)，因而 40 秒的週期時間內，只會有 20 秒的通訊時間。但這 20 秒內，都能維持約 750kbps 的網路傳輸率。

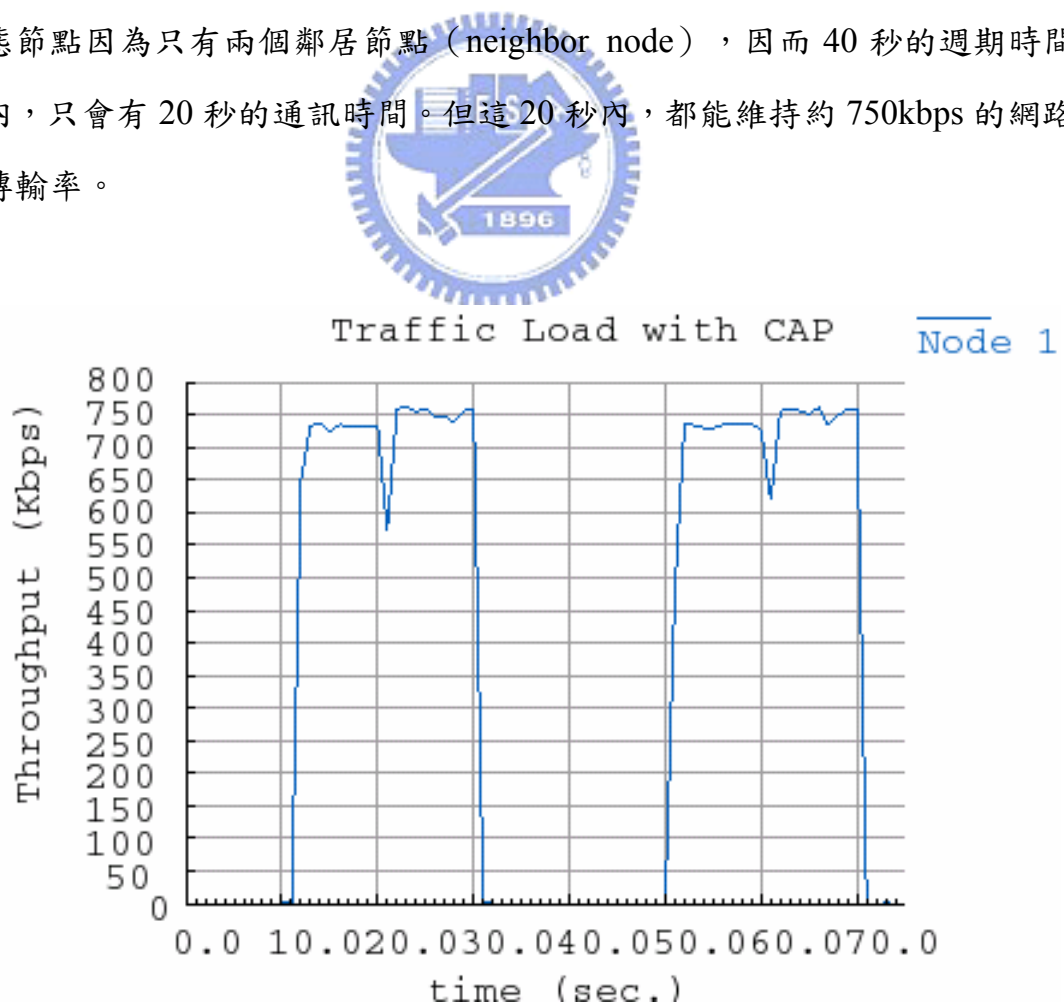


圖 4-6：CAP 方法下，角落型態節點的網路傳輸率

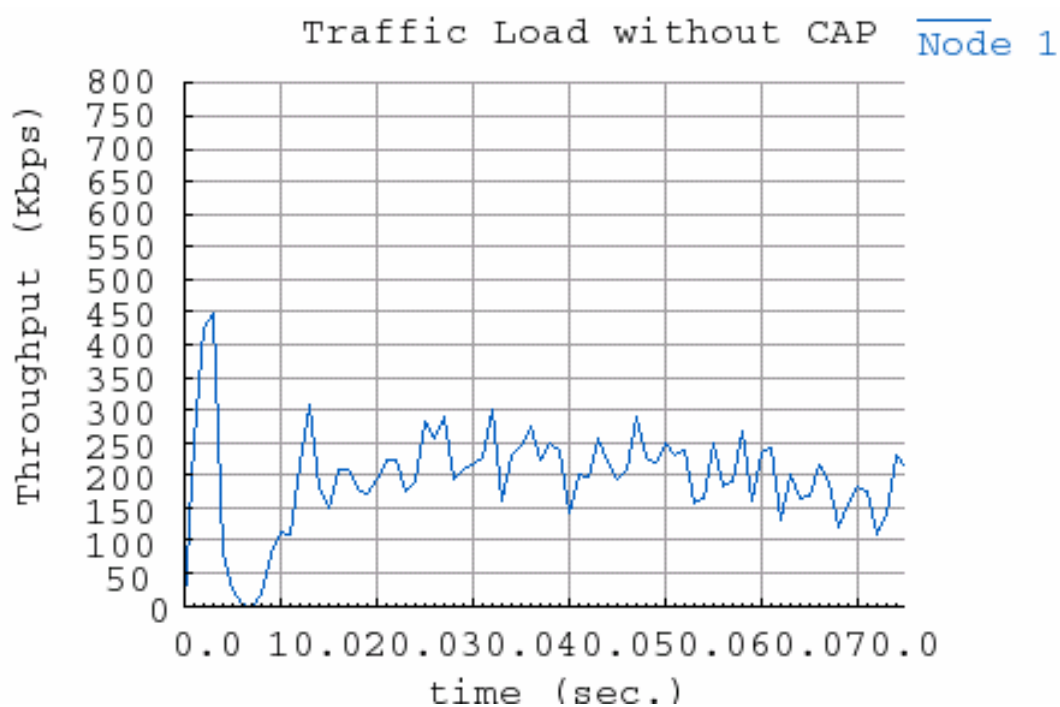


圖 4-7：隱藏節點問題下，角落型態節點的網路傳輸率

從圖 4-7 可以看出，在原先隱藏節點問題下，角落型態節點因為媒體競爭與封包碰撞的問題，網路傳輸率因而下降，約只有平均 200kbps。若將圖 4-6 與圖 4-7 相比較，並以跳頻週期 40 秒內的傳輸量相比較，CAP 方法下的網路傳輸率則約有 350kbps，提昇了 75%。

4.3.2 邊緣型態節點的網路傳輸率比較

我們依然以 Node2 作為邊緣型態節點的代表。如圖 4-8 所示，邊緣型態節點只具有三個鄰居節點 (neighbor node)，所以在 40 秒跳頻週期內，只會有 30 秒的時間進行通訊的行為。然而在通訊時間內，依然能維持 750kbps 左右的網路傳輸率，計算 40 秒內的平均傳輸率則有 525kbps。

但在隱藏節點問題下的邊緣型節點，同樣因為網路競爭與封包碰撞，而只有約 200kbps 的網路傳輸率(從圖 4-9 可看出)，相較圖 4-8 與圖 4-9，我們可以比較得到 CAP 下的邊緣型態節點提昇了 163%。

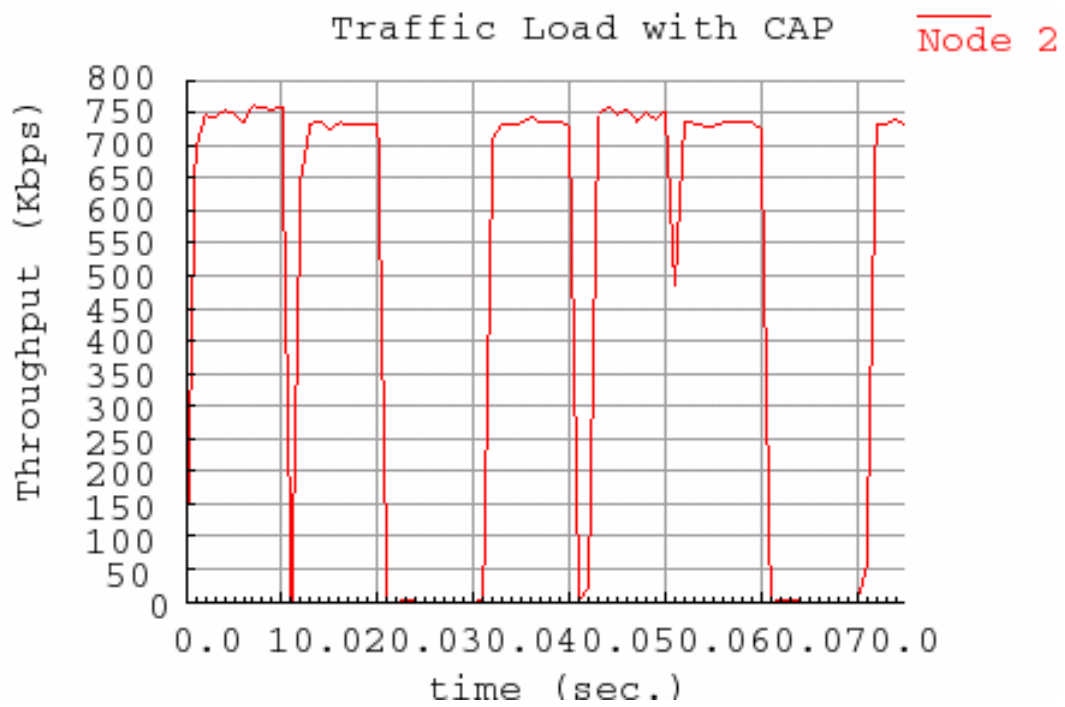


圖 4-8：CAP 方法下，邊緣型態節點的網路傳輸率

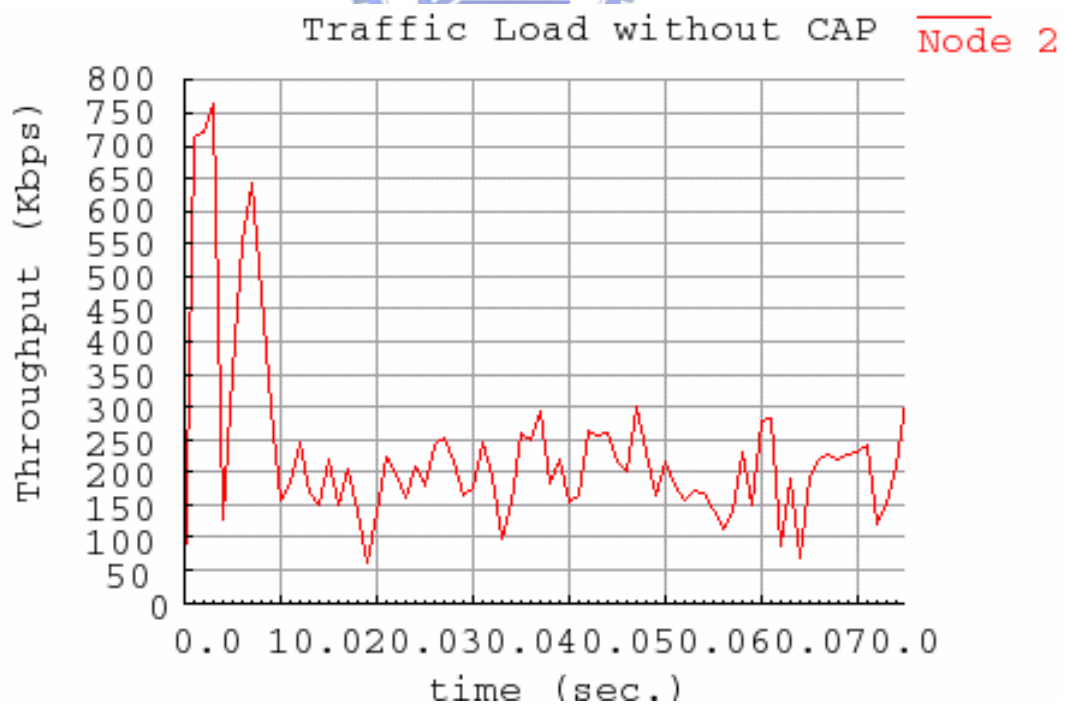


圖 4-9：隱藏節點問題下，邊緣型態節點的網路傳輸率

4.3.3 中央型態節點的網路傳輸率比較

最後是中央型態節點的比較，我們以 Node 5 作為代表。中央型態節點的問題，在上一張的結果討論已經很清楚的指出，周圍四個節點形成多組的隱藏節點，在這四個鄰居節點的競爭之下，網路品質往往下降到惡劣的程度，從下頁圖 4-11 可以觀察得知，隱藏節點問題讓網路傳輸率下降到了 25kbps 以下，我們可以想見，當路網系統越大時，中央型態節點的比例升高，進而拖垮整體的平均傳輸率。

然而在使用 CAP 方法之後，如圖 4-10 所示，40 秒跳頻週期間，都能維持通訊行為，若取平均的網路傳輸率則有 600kbps。比較圖 4-10 跟圖 4-11 的平均網路傳輸率，CAP 方法提昇中央型態節點的網路傳輸率，有 2300% 的改善量。

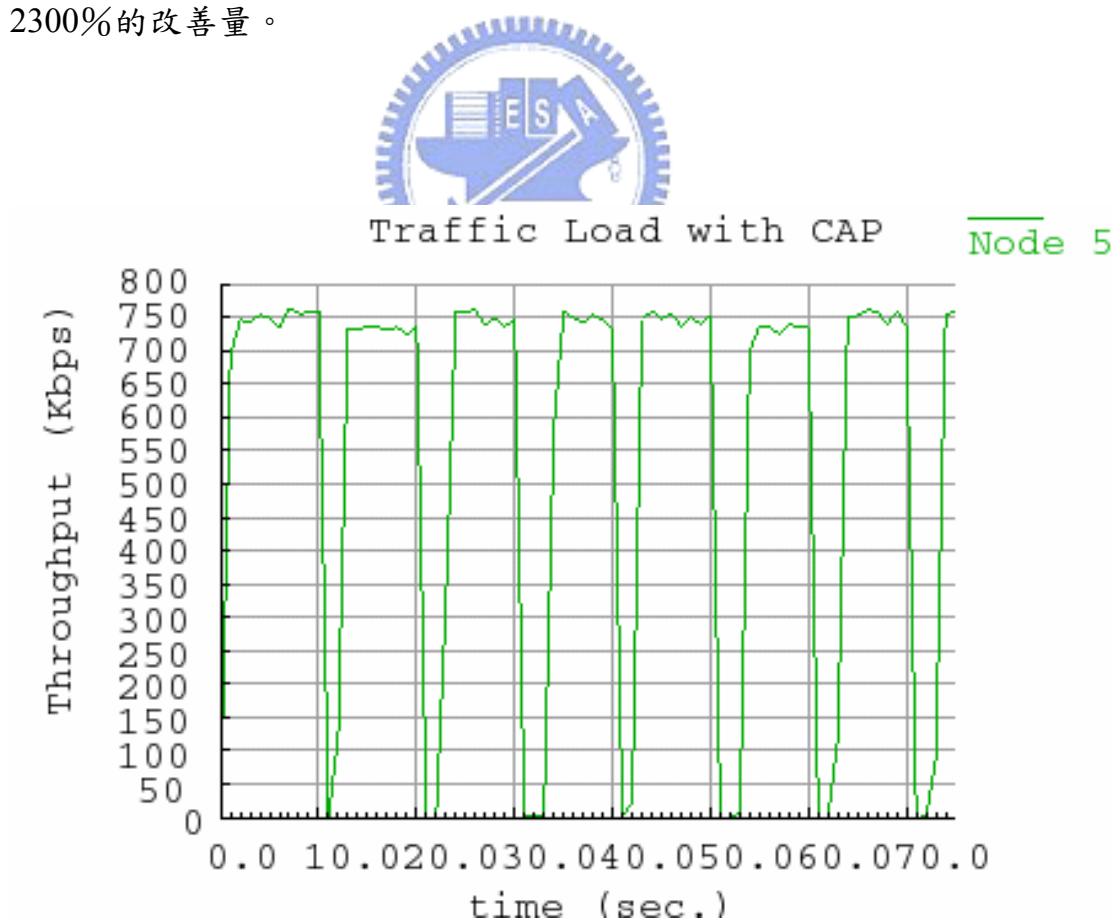


圖 4-10：CAP 方法下，中央型態節點的網路傳輸率

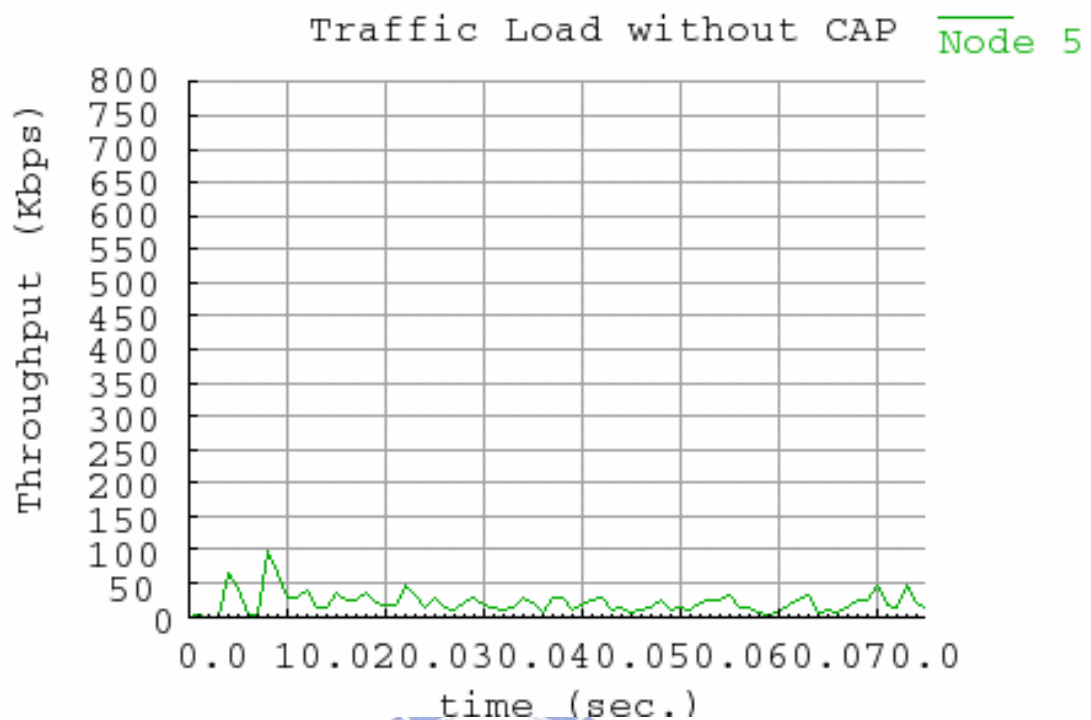


圖 4-11：隱藏節點問題下，中央型態節點的網路傳輸率



4.4 封包碰撞表現

在 CAP 的架構下，透過 NCTUns 模擬軟體的驗證，得到的封包碰撞是零。回顧圖 4-2，我們可以發現，同頻道的被動節點相差的距離差距為 600 公尺（四個市區區塊的對角線），完全沒有干擾的機會，即便與其他頻道有少許能量覆蓋的情形，也在感測機制（carrier sensing）能忍受的範圍內。模擬結果指出，在這樣的網路架構下沒有隱藏節點的問題。

4.5 討論

我們整理了第三、四章各節點的網路傳輸率與封包碰撞率，作成表 4-1，我們可以瞭解，雖然使用了頻道設置程序（CAP）之後，同一時間內，每一個節點都只與另一個節點通訊，因而沒有網路競爭的問題，然而無可避免地，使用單一頻道跳頻的方式也損失了網路的即時性，進一步的說，就是每一個節點必須等待四分之三的週期時間（以本論文為例，需等待 30 秒），才能再與相同的節點通訊。不過，由於交通控制系統的號誌控制也是週期變化，甚至一個燈號的維持時間就超過了 30 秒，因而網路即時性的損失仍是可以其他方式達到最佳的情形。

此外，CAP 方法必須在每一個主動節點皆同步跳頻才能達到最佳的情形，一旦有某些主動節點的跳頻動作延遲，則同頻道下競爭干擾的問題又會因跳頻動作的延遲長短而產生不同程度的影響。



表 4-1：不同方法下，各型態節點的平均傳輸率與封包碰撞資料率

	Original 802.11		CAP+AODV	
	Throughput	Collision	Throughput	Collision
Corner Node (node 1)	200	370	350	0
Edge Node (node 2)	200	200	525	0
Center Node (node 5)	25	520	600	0

第五章 點對點無線通訊延遲時間

對於以網路為傳輸介面的整合型即時控制系統，延遲時間會降低系統反應時效，當延遲時間嚴重時，甚至會造成系統不穩定而失控，因而本章實驗測量 802.11 點對點網路的延遲時間，分析不同變因下的網路延遲表現，藉以提供整合型網路控制系統（NCS）實作時的參考。

5.1 文獻回顧

本節回顧了（1）網路控制系統、（2）史密斯估測器，與（3）802.11 延遲時間的相關文獻。本論文並延續此三個部份的內容，在 5.2 節發展 802.11 延遲時間相關的實驗設計與的實測結果。



5.1.1 網路控制系統

最常見的網路控制系統為網路遠端監控，其中使用的網路可能包含有線網路：Ethernet、工業網路（CAN...），無線網路：802.11、802.15 等。

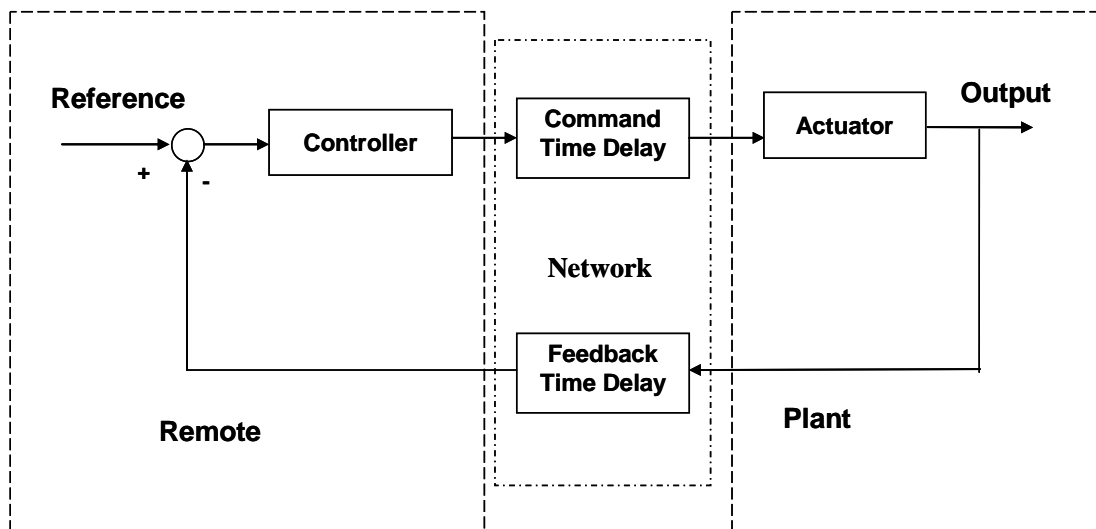


圖 5-1：網路控制系統架構

架構如圖 5-1，為達到遠端控制的目的，則必須透過網路將控制端與受控端連接起來，然而網路延遲時間對於整體控制效能而言，輕則降低系統反應速度，嚴重則使系統不穩定而失控，因而若要以網路作為控制系統的資料傳遞媒介，則必須先行確定網路環境的性質，由於網路傳輸所耗費的時間延遲對控制效能最為重要，且此延遲時間通常具時變性（time varying），以我們所使用的 802.11 為例，其時變性的主要原因為：

- (1) 網路競爭的情形下，感測機制會使同頻道下多組的傳輸行為只能有一個動作發生，因而封包在物理層的等待時間會增加。
- (2) 使用 TCP/IP 協定時，若封包發生碰撞，傳輸資料發生錯誤時，必須進入重傳的機制，直到資料正確無誤被接收，而重傳的過程中，又會耗費必要的程序時間。
- (3) 封包所經過路徑的情形不同，延遲時間也會因而改變。

一般而言考慮延遲時間的研究可分為兩部份，一為降低延遲時間，二為改善既有的回授控制，加入估測的元件。

5.1.2 史密斯估測器[21]

Smith(1958,1959) 提出一個控制架構來補償具有時間延遲的系統，如圖 5-2 所示，從 $R(s)$ 到 $Y(s)$ 的系統轉移函數，可經運算得到 (5-1) 式，其等效系統方塊圖可表示為圖 5-2。虛線部份為史密斯估測器（Smith predictor），其轉移函數為 (5-2) 式。

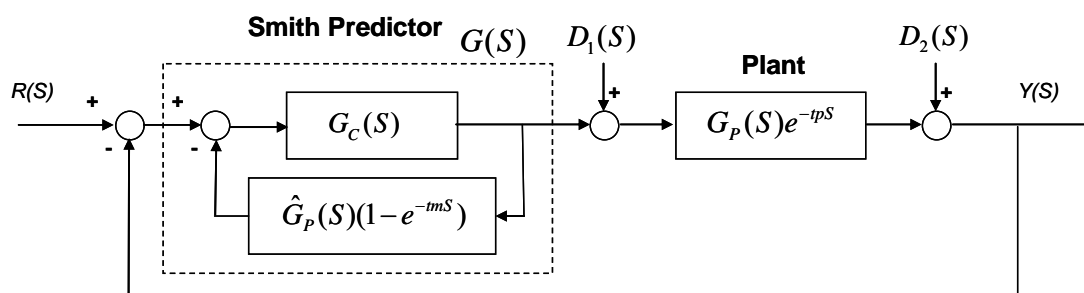


圖 5-2：等效 Smith Predictor 系統方塊圖

$$\frac{Y(S)}{R(S)} = \frac{G_P(S)G_C(S)e^{-tpS}}{1 + \hat{G}_P(S)G_C(S) + G_P(S)G_C(S)e^{-tpS} - \hat{G}_P(S)G_C(S)e^{-tmS}} \quad (5-1)$$

$$G(s) = \frac{G_C(S)}{1 + (1 - e^{-tmS})\hat{G}_P(S)G_C(S)} \quad (5-2)$$

若 $\hat{G}_P(S) = G_P(S)$ 且 $t_m = t_p$ ，則系統轉移函數可表示成 (5-3) 式，系統等效方塊為圖 5-3。

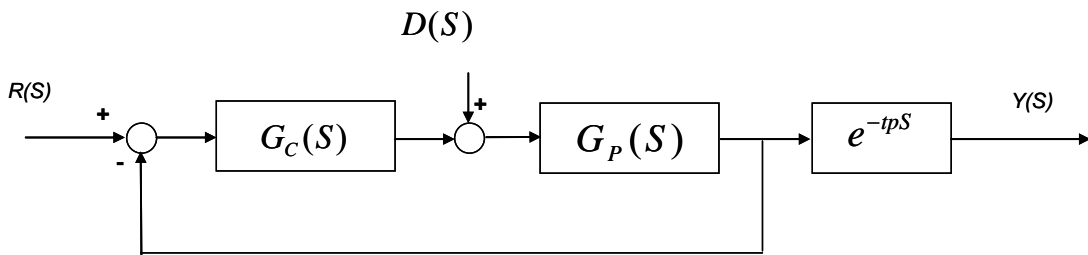


圖 5-3：等效系統方塊圖

$$\frac{Y(S)}{R(S)} = \frac{G_P(S)G_C(S)}{1 + G_P(S)G_C(S)} e^{-tpS} \quad (5-3)$$

一個具有時間延遲的系統，經 Smith predictor 控制器補償後，在 $\hat{G}_P(S) = G_P(S)$ 且 $t_m = t_p$ 的條件下，延遲時間項已經被獨立出來，意謂我們只要能測量出 t_m （延遲時間的平均值），設計控制器 $G_C(S)$ 就可以不用受時間延遲的影響。

然而儘管如此，時變性與隨機性的無線網路延遲時間，難以維持固定的常數，因而有研究[20]考量時間延遲與取樣時間的關係，推論 Smith 估測參數的最佳選取範圍。為此我們在 5-3 節也會對 802.11 延遲時間的變異量做一觀察分析。

5.1.3 無線 802.11 延遲時間

Yang Xiao(August, 2002)發表了一篇論文[22]，內容推導了理論上 802.11 能夠表現的網路傳輸率上限 (throughput upper limit; TUL) 還有延遲時間下限 (delay lower limit; DLL)，結果如(5-4)、(5-5)式。

此篇文章在做模擬時，做了兩個基本的假設條件：(1)使用的頻道為理想且無錯誤發生、(2)在任何的傳輸循環中，只有一個主動工作站傳送封包，其他的工作站只接收封包以及回覆 ACK (acknowledgments)。在此兩個假設下，相關的模擬結果如下圖 5-4、圖 5-5，我們可以觀察得知，802.11 的延遲時間會因為封包資料負載 (payload) 的大小而等比例地提高，且傳輸速率的選擇越小，延遲時間增加斜率變化越大。

而此 DLL 的推導結果，意味著即便網路傳輸速率無限制的提昇，也會因為 802.11 傳輸機制的必要程序而有最小值，對於點對點網路而言，封包轉移的次數 (number of hops) 會直接地增加網路延遲，之後的實驗也會針對此結果驗證並且分析。

$$TUL = \frac{8L_{DATA}}{2T_P + 2T_{PHY} + 2\tau + T_{DIFS} + T_{SIFS} + \frac{CW_{min}T_{slot}}{2}} \quad (5-4)$$

$$DLL = T_P + T_{PHY} + \tau + T_{DIFS} + \frac{CW_{min}T_{slot}}{2} \quad (5-5)$$

表 5-1：802.11 傳輸機制的各項符號說明

T_{slot}	: A slot time
T_{SIFS}	: SIFS time
T_{DIFS}	: DIFS time
CW_{min}	: Minimum backoff window size
T_P	: Transmission of the physical preamble
T_{PHY}	: Transmission of the PHY header
τ	: Propagation delay
L_{DATA}	: Payload size in bytes

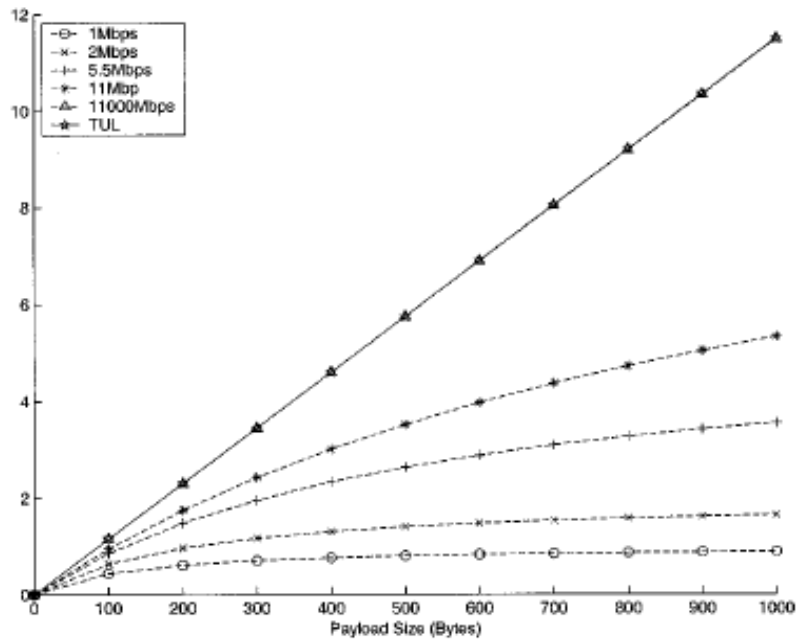


圖 5-4：802.11b 的最大傳輸率與 TUL(Mbps)[22]

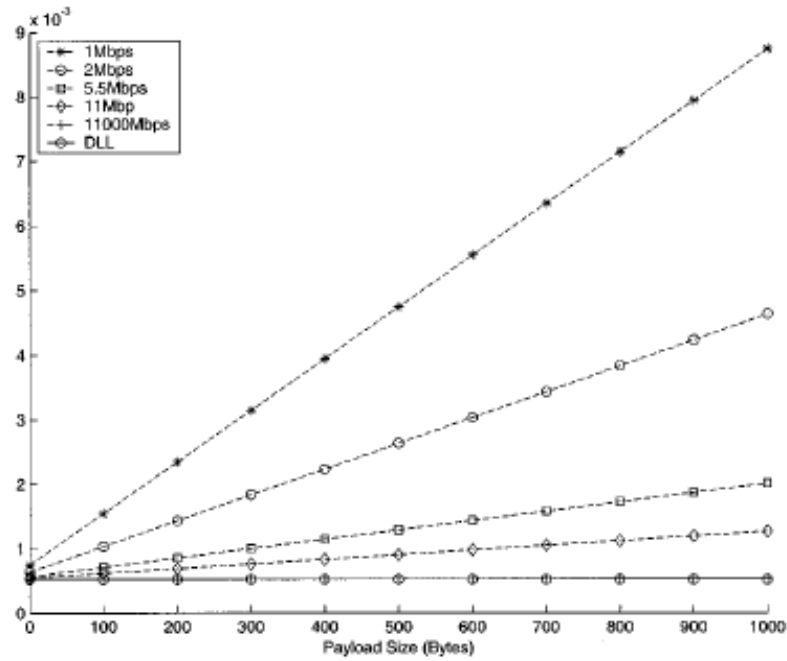


圖 5-5 802.11b 的最小的延遲時間與 DLL(秒)[22]

封包資料負載 (payload)

802.11 封包的格式裡面，包含許多必要的欄位，例如儲存目的位址，來源位址，還有機制上要求的標頭 (header)，而所謂的 payload 指的就是訊息資料的大小，如圖 5-6，一個封包可以儲存 0 到 2312bytes，也就是說，我們可以藉由調整訊息資料量，改變 payload 的大小(不包含 header)。

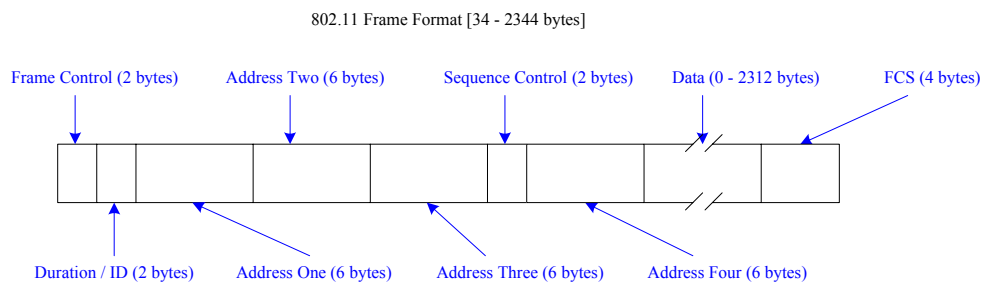


圖 5-6：802.11 封包格式

5.2 實驗環境



我們在交通大學工三館與工五館的綠色大道上進行我們的實驗，藉以在道路環境，周遭有大型建築物以及眾多干擾源的環境下，實測網路延遲時間的表現。事實上，在我們實驗的過程中，搜尋到附近數十台的 AP(access point)訊號，類似的眾多無線訊號干擾，也是實作整合型控制系統(如多代理人交通控制系統)時，會遭遇到的情形，因此在可以接受的範圍。

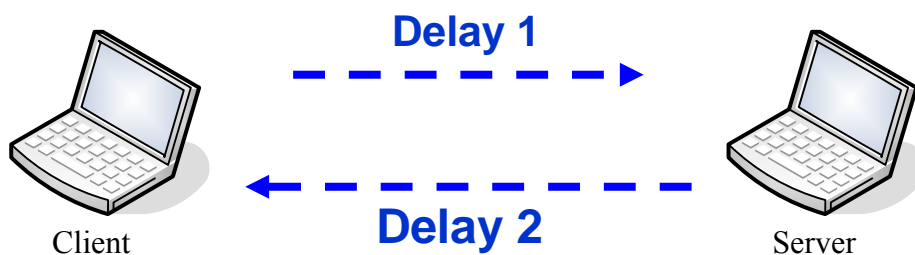


圖 5-7：延遲時間定義

本論文用 C# 語言實作了一個 Echo TCP/IP Server/Client 的程式，如圖 5-7 所示，由 Client 端負責傳送訊息，一旦 Server 端收到訊息，則傳送相同大小的訊息回 Client 端，而本論文的延遲時間定義為訊息來回的時間加總（亦即 $\text{delay 1} + \text{delay 2}$ ，而非單程延遲時間），由 Client 端負責計算延遲時間。

且考慮網路控制系統與架構，這裡我們的延遲時間為從應用層到應用層（application layer），而非先前參考文獻中，單純 802.11 網路部份的延遲，因而程式的運作時間也會包括在訊息封包的延遲計算裡面。

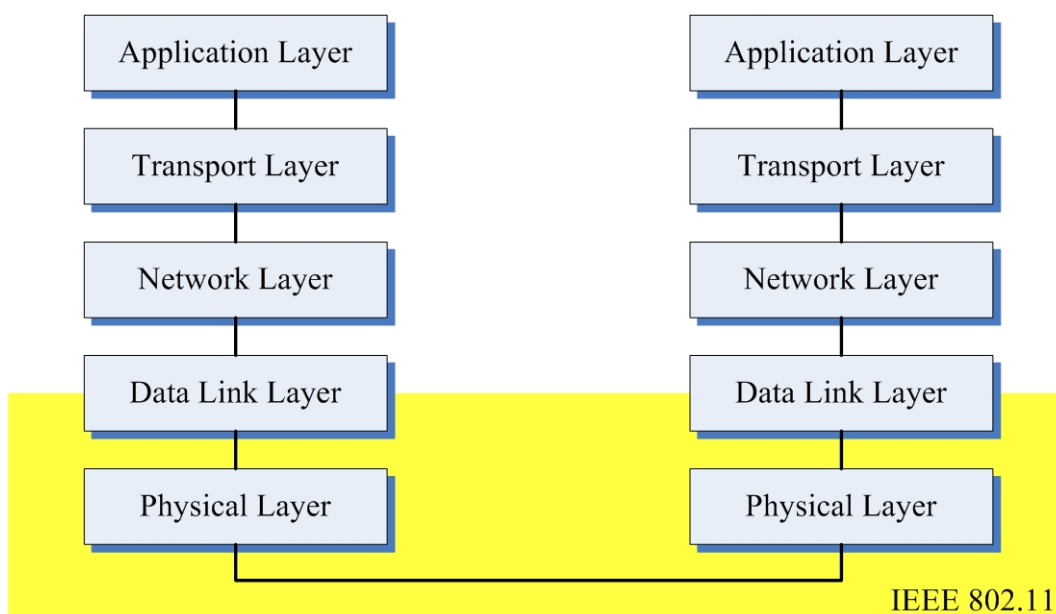


圖 5-8：延遲時間計算

實驗的過程中，我們針對了幾項變因去測量：（1）距離因素、（2）傳輸速率因素、（3）封包資料負載（payload）因素、（4）系統負載因素。Client 端每次發送 50 筆訊息，並等待訊息回傳，因而一次會有 50 筆延遲時間的紀錄，而針對每個實驗情形，又做了多次的樣本，以取得較準確平均延遲時間的變化。

5.2.1 量測精準度[23]

由於 Windows 作業系統的計時器 (timer) 只有 10 毫秒的精確度，延遲時間的紀錄若有 10 毫秒的誤差，對於網路控制系統而言，就會造成形成不可控的因素，換言之，必須有更精確的計時器，才符合需求。

幸而 Win32 內提供了精確度更高的計時器：高解析度效能計數器 (high-resolution performance counter)，他提供了兩個函式可供使用，分別是取得計數器頻率的 QueryPerformanceFrequency，還有取得計數器數值的 QueryPerformanceCounter。

以實驗的電腦硬體為例，取得的工作頻率為 3579545Hz (次/秒)，亦即時間間隔為 2.79×10^{-7} 秒，約 0.8 微秒的解析度，藉由次數除以頻率的運算，可以得到微秒等級的延遲時間計數。

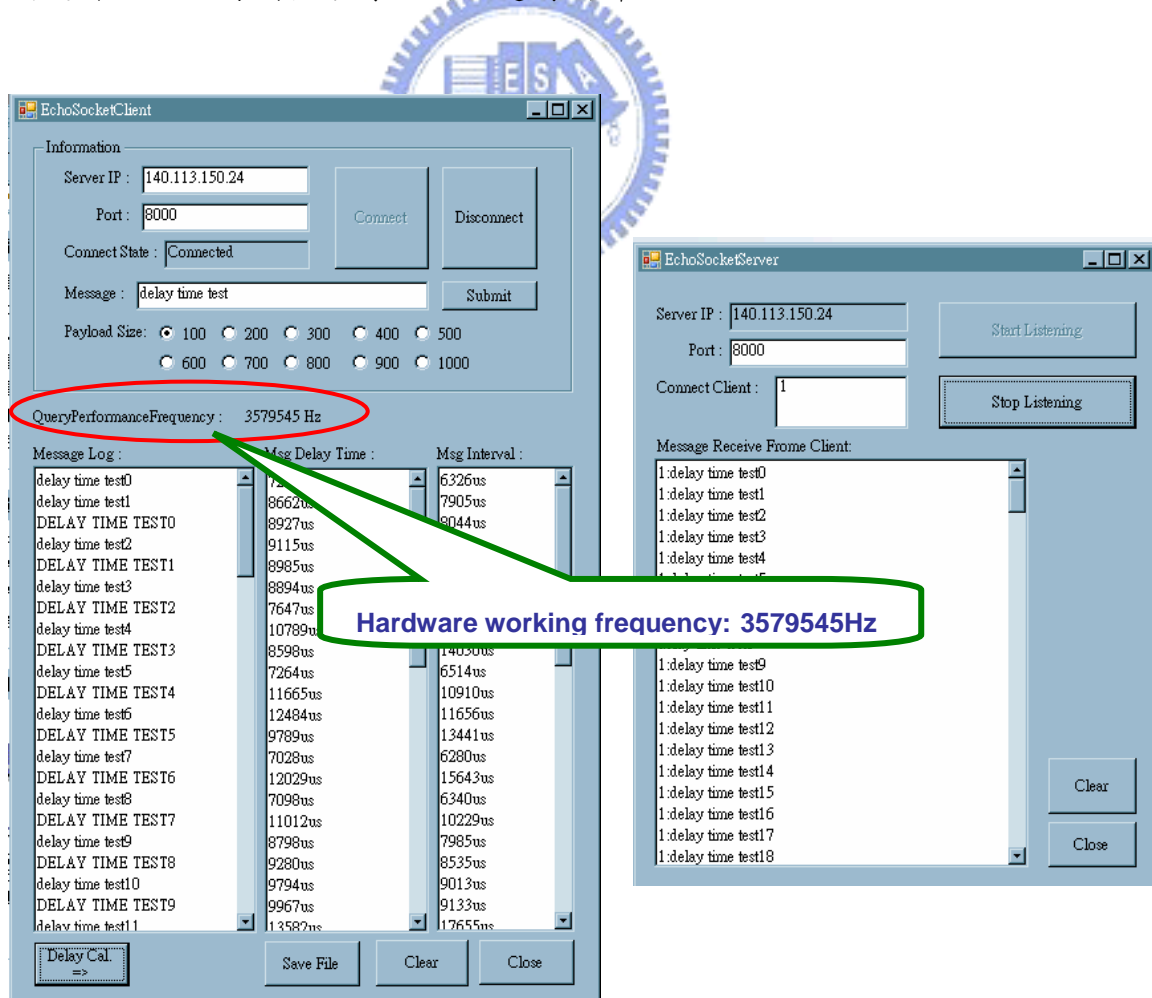


圖 5-9：Echo TCP/IP Client/Server 使用介面

5.3 兩節點的延遲時間表現

實驗環境如 5-2 節所描述，我們使用 Z-Com XI-735 IEEE 802.11b 無線網卡在交大校園內進行實驗。

5.3.1 距離因素

此次實驗使用小於 100bytes 的封包負載 (payload) 進行實驗，從圖 5-10，可以得到幾個觀察：(1) 在可傳輸的情形下，延遲時間與距離無關，(2) 802.11b 實際的傳輸範圍約 80、90 公尺，(3) 5.5Mbps 與 11Mbps 的延遲時間差不大。

關於第三點，我們在後面會有更清楚的分析比較。

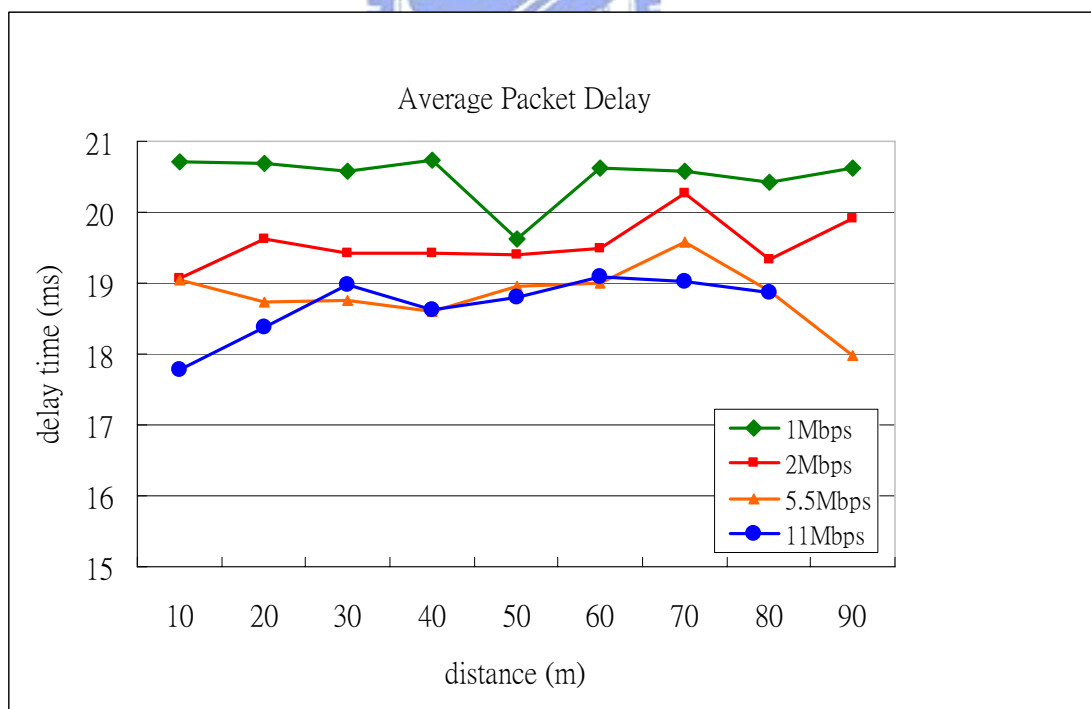


圖 5-10：距離因素下，兩節點的延遲時間實驗

5.3.2 封包負載因素

我們用 100byte 等差地調整封包負載，根據 1Mbps、2Mbps、5.5Mbps、11Mbps 這四種傳輸速率去得到四條延遲時間的曲線，如圖 5-11，我們發現實驗與 5.1.3 節的文獻有相似的結果，實驗指出較高的傳輸速率可以得到較小的延遲，但高封包負載（700bytes 以後）使用 1Mbps 速率傳輸，延遲時間有劇增的情形。

雖然封包負載導致延遲時間增加，但若使用 2Mbps 以上的傳輸速率，延遲時間仍在 40 毫秒以下的區間內。

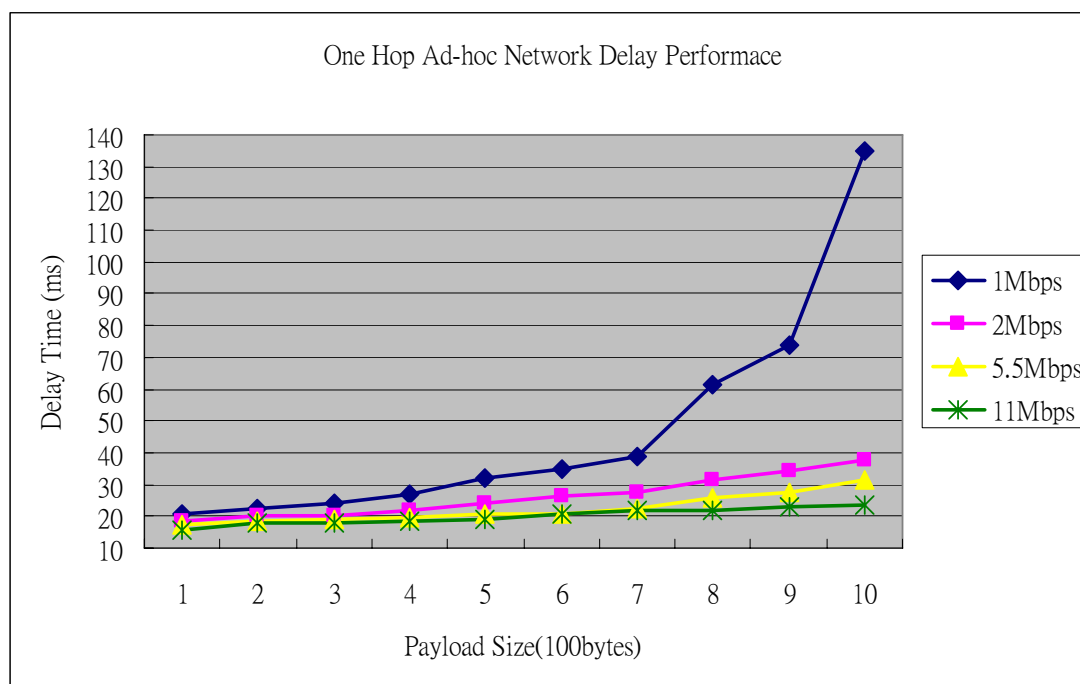


圖 5-11：不同的 Payload 大小，各傳輸速率的延遲表現

圖 5-12 將圖 5-11 比例放大，我們可從中觀察出，700bytes 以下的封包負載，5.5Mbps 與 11Mbps 的延遲曲線相近，大於 700bytes 的封包負載，5.5Mbps 則會有較大的延遲，延遲曲線開始上升。

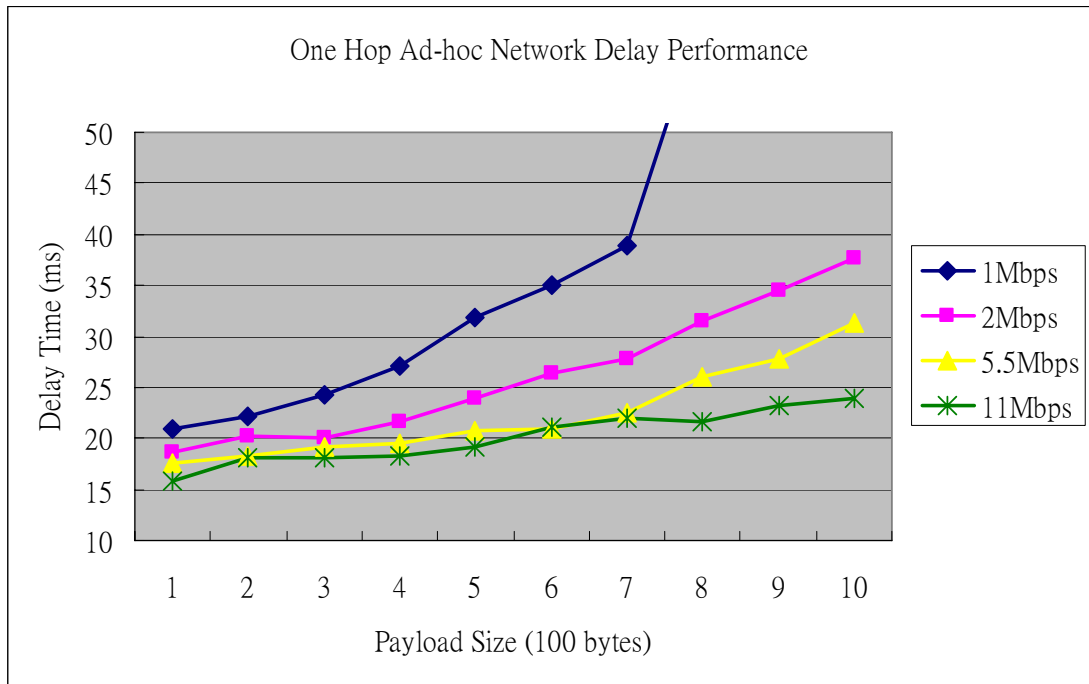


圖 5-12：圖 5-11 放大以比較 5.5Mbps 與 11Mbps 的延遲表現

5.3.3 延遲時間變異與系統負載



延遲時間變異

延續之前所提的網路控制系統與史密斯估測器，若能取得平均延遲時間與其標準差，則能滿足控制設計的需求。因而我們選用 1Mbps 為例分析之，並作為延遲變異的參考資料。

如圖 5-14，我們計算五十筆訊息在不同距離，不同封包負載的情形下的母體標準差（正負差值的樣本都考慮進去），結果顯示標準差有隨著封包負載（payload）增加的趨勢，且資料隨著封包負載變大，變異性也就更大。圖 5-13 則是找出最大延遲時間，求其的最大延遲時間樣本的離差，我們發現，與母體標準差的走勢相仿，但比例約有五倍左右。

- 註：
1. 離差 (deviation from the mean) 定義為每個數減去平均數。
亦即 $X_i - \mu$
 2. 母體標準差 (population standard deviation) 定義為離差平方和的平均數開根號。

$$\text{亦即 } \sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}} \quad (5-6)$$

其中 μ 是母體平均數， N 是個數。

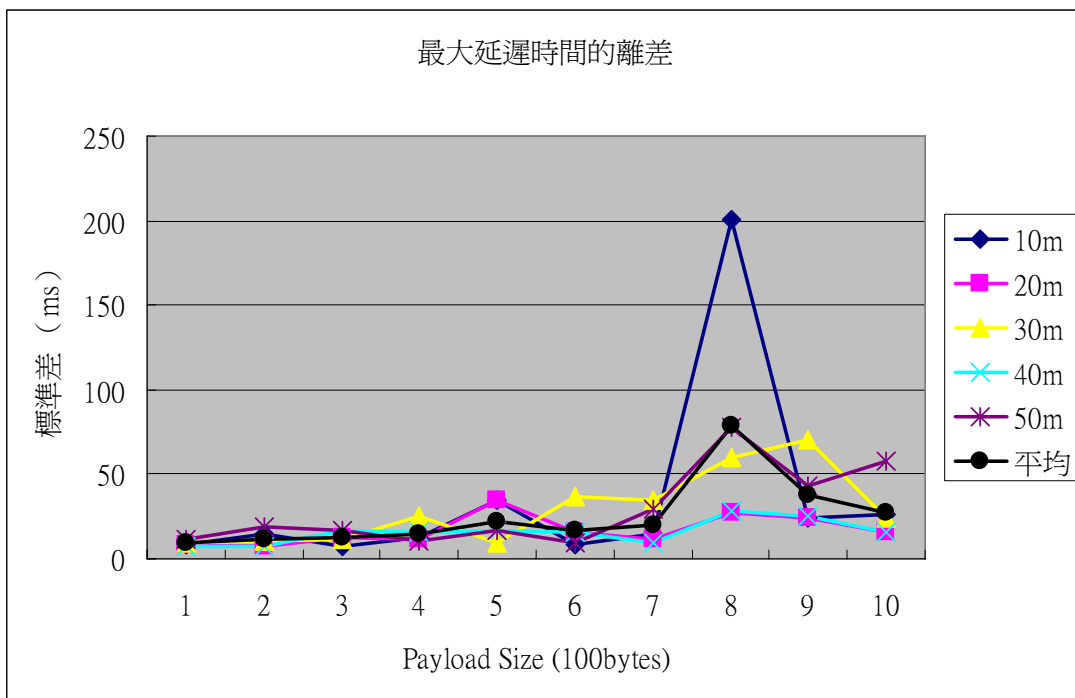


圖 5-13：兩節點中，最大延遲時間的標準差

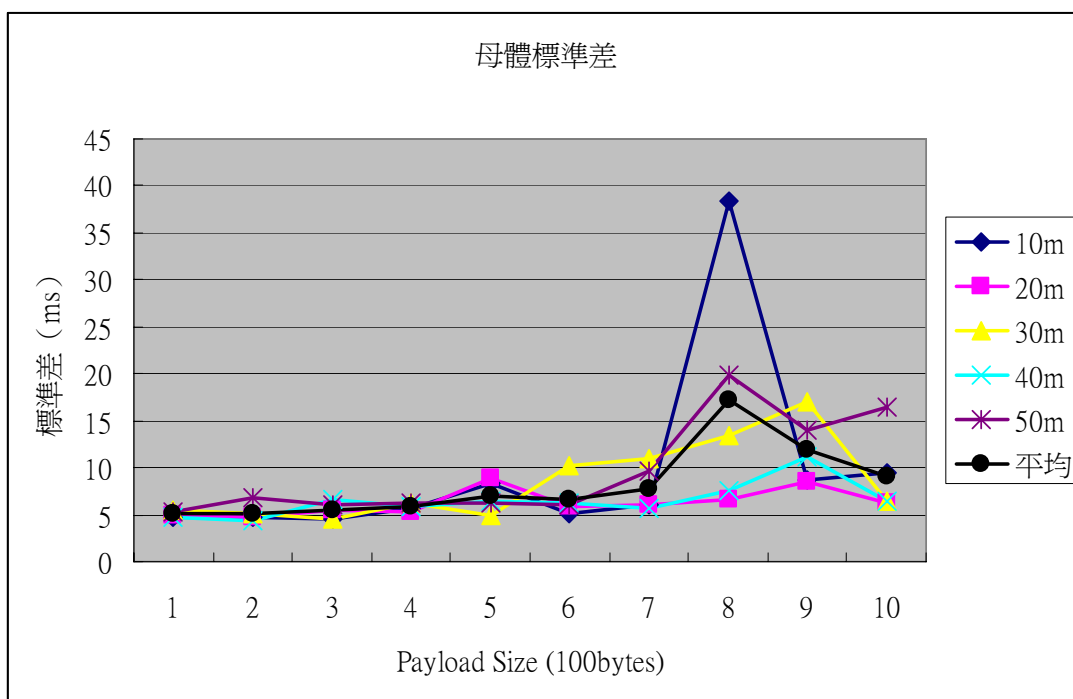


圖 5-14：兩節點中，延遲時間的母體標準差

系統負載



至於通訊系統負載，我們利用發送的訊息間隔（Message Interval）來觀察之。程式為突顯系統負載問題，採連續發送 50 筆訊息的方式（故有 49 筆訊息間隔），由圖 5-15 可看出，每個樣本的延遲時間仍是常態地在平均數的附近跳動。本論文只是藉訊息間隔的指標來觀察系統負載的問題，並且與之後三節點的 Ad-hoc Network 作比較，凸顯高系統負載所造成的問題。

實際的訊息間隔，如圖 5-16、圖 5-17、圖 5-18、圖 5-19 所示，當使用高 payload 時，訊息間隔會因為應用層的工作而延宕，50 筆訊息間隔有上升的趨勢，此為合理的反應，而且不管是哪一種速率傳輸的情形，系統負載的情形都一樣，意味著訊息間隔單純是反應應用層的工作負載情形，與網路傳輸速率無關，主要的實驗結果不會有延遲提昇的問題。

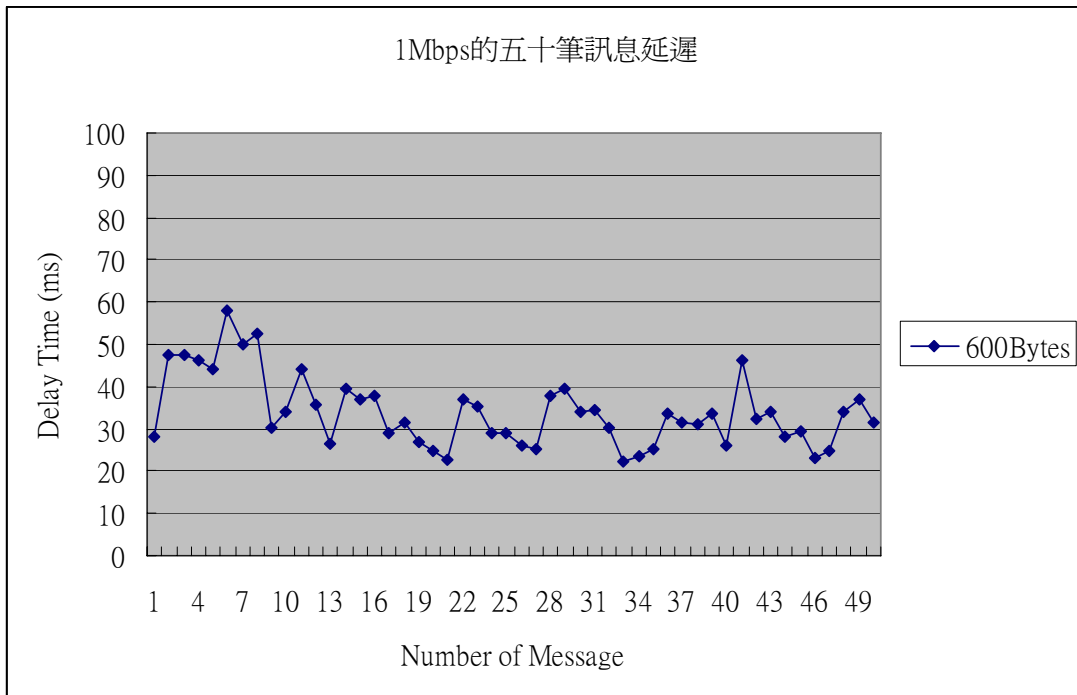


圖 5-15：1Mbps 速率傳輸下，50 筆 600Bytesz 封包大小的延遲時間

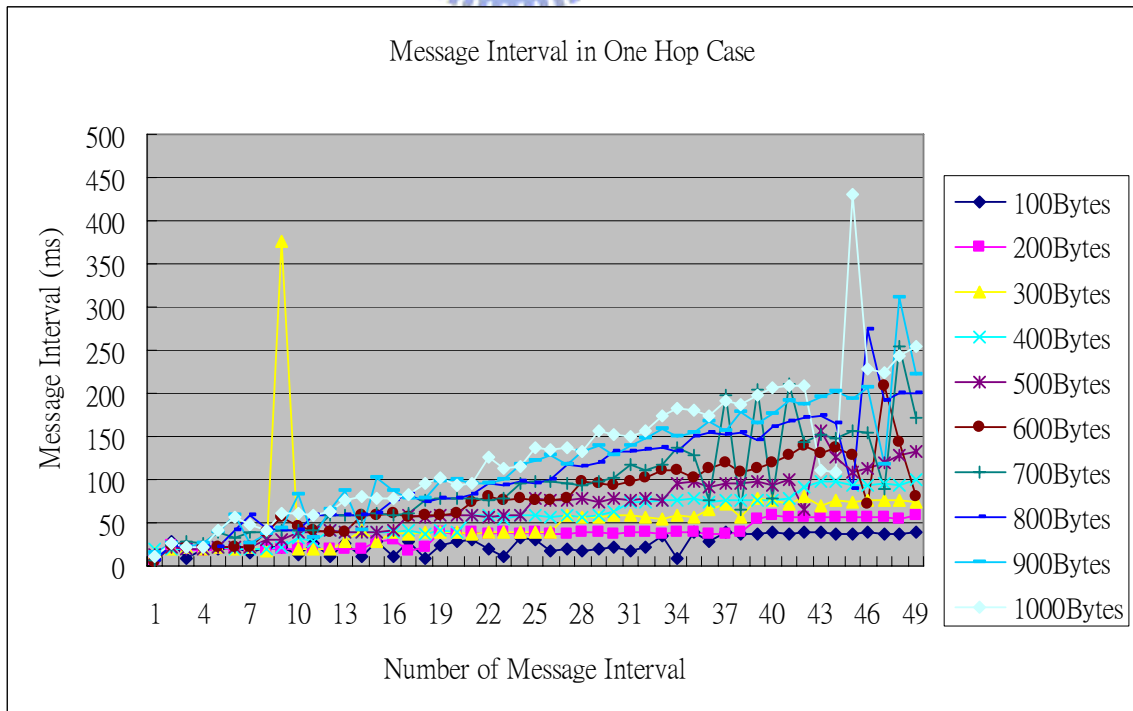
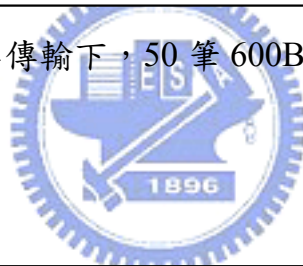


圖 5-16：兩節點 ad-hoc network 使用 11Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔

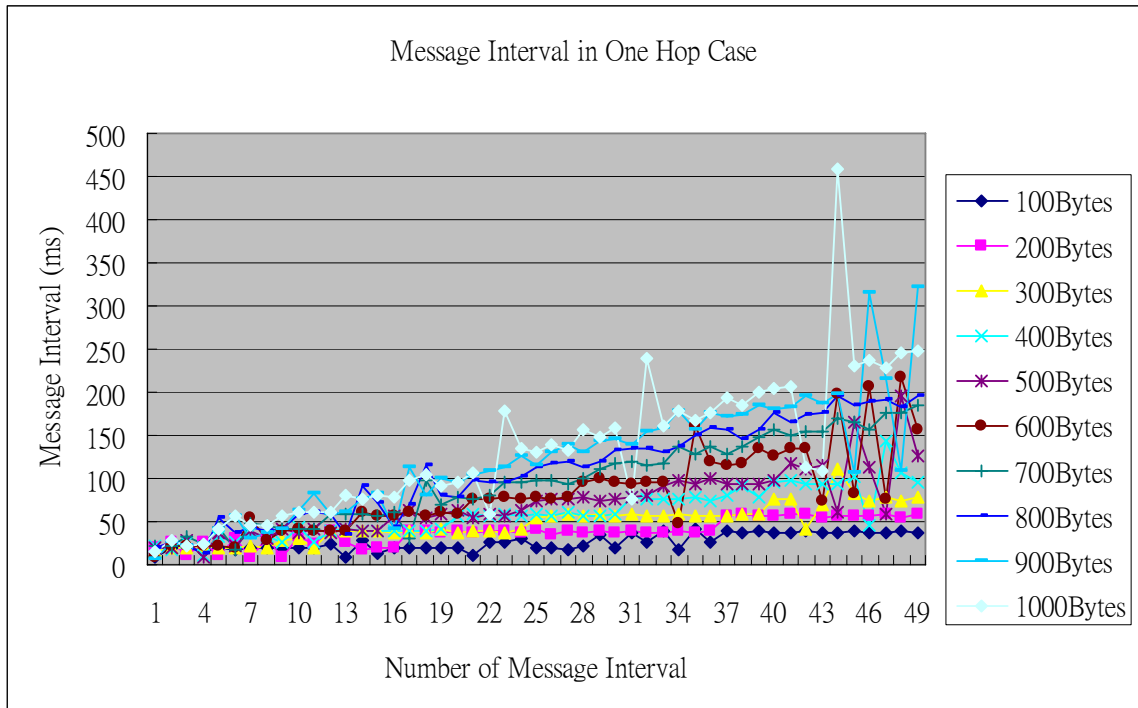


圖 5-17：兩節點 ad-hoc network 使用 5Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔

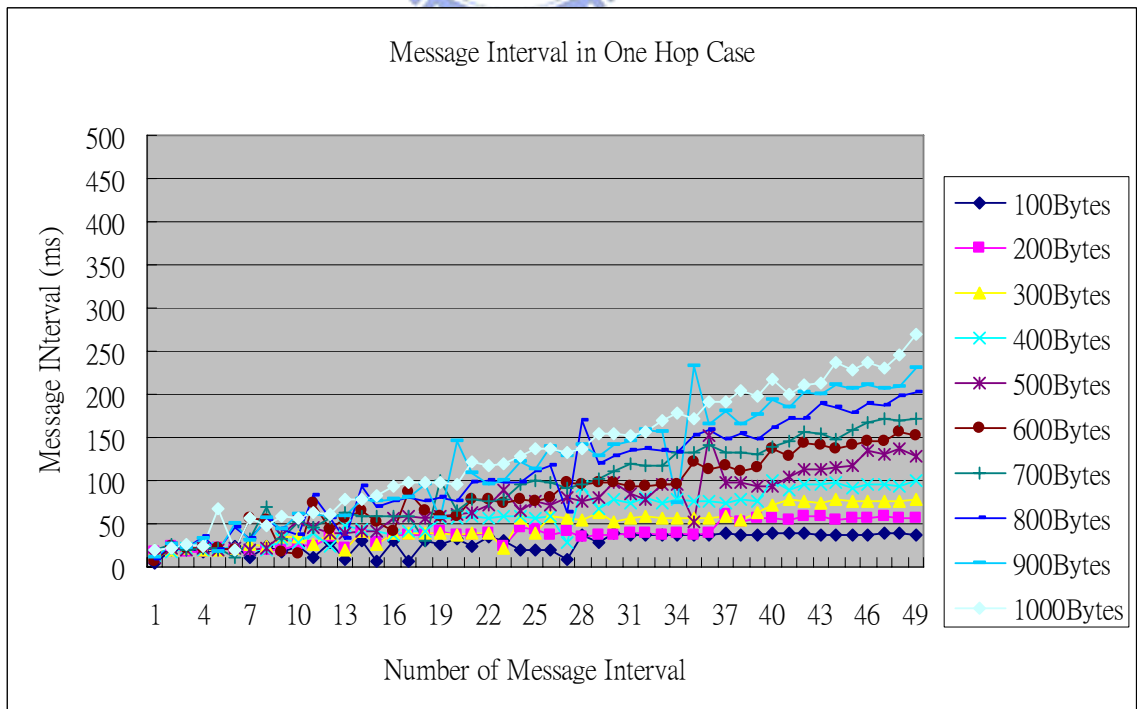


圖 5-18：兩節點 ad-hoc network 使用 2Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔

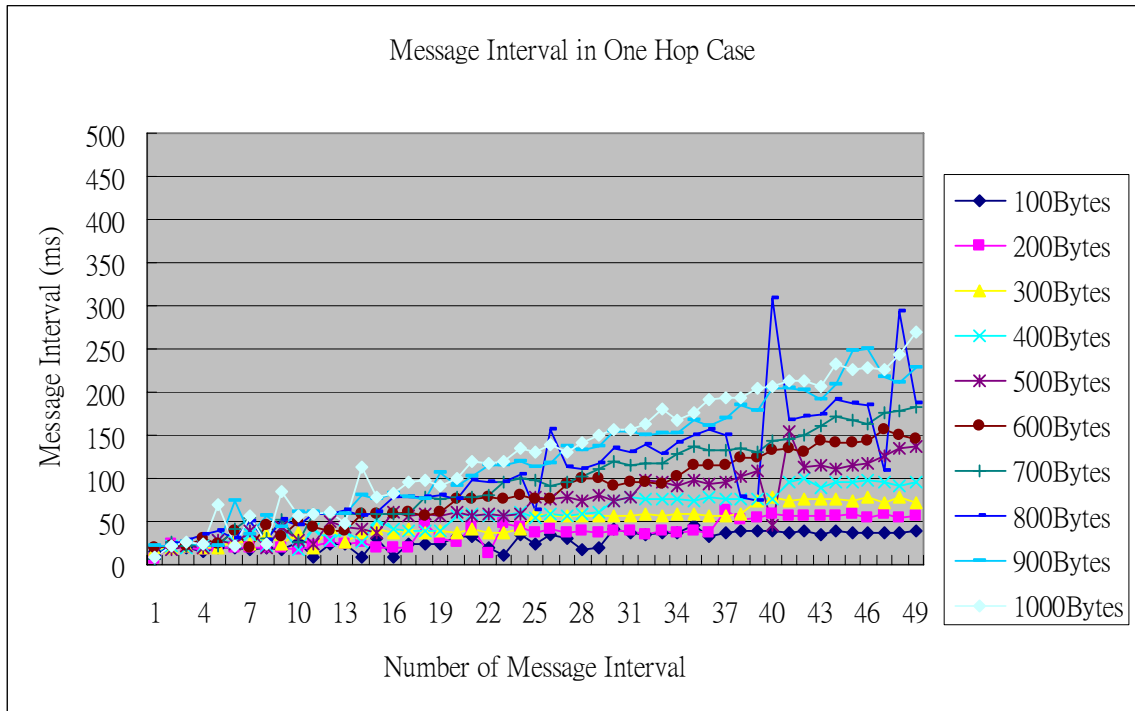


圖 5-19：兩節點 ad-hoc network 使用 1Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔

由圖 5-16、圖 5-17、圖 5-18、圖 5-19，可看出，越大的 payload 有越大的訊息間隔，這是由於軟體必要的處理時間所致，隨著發送越來越多的訊息，越大的 payload 封包，訊息間隔上升的斜率越大，這在各個傳輸速率的情形都一樣，至於偶發的幾筆特別高或特別低的值，可能是因為系統工作的壅塞所致。上面描述的情形乃採連續發送的處理方式所致，若是以定時定量發送訊息的機制，則必然是接近定值的平穩曲線。

5.4 三節點的延遲時間表現

為測量三節點的延遲時間表現，我們加入第三台電腦作為 relay node，並將其無線網卡模式設定為 ad-hoc mode，並修改 Register，設為可轉送封包模式，如同路由器。最後再將三台電腦的路由表（routing table）固定，使 server/client 之間的封包傳送，都必須透過中間的 relay node，其餘的的架構則與兩節點的無異。

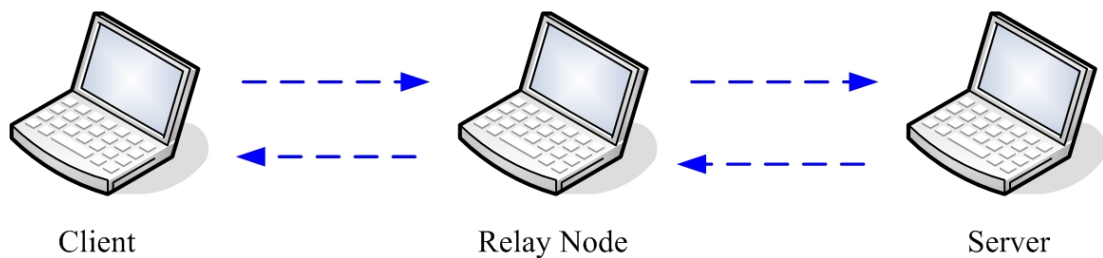


圖 5-20：三節點的網路架構

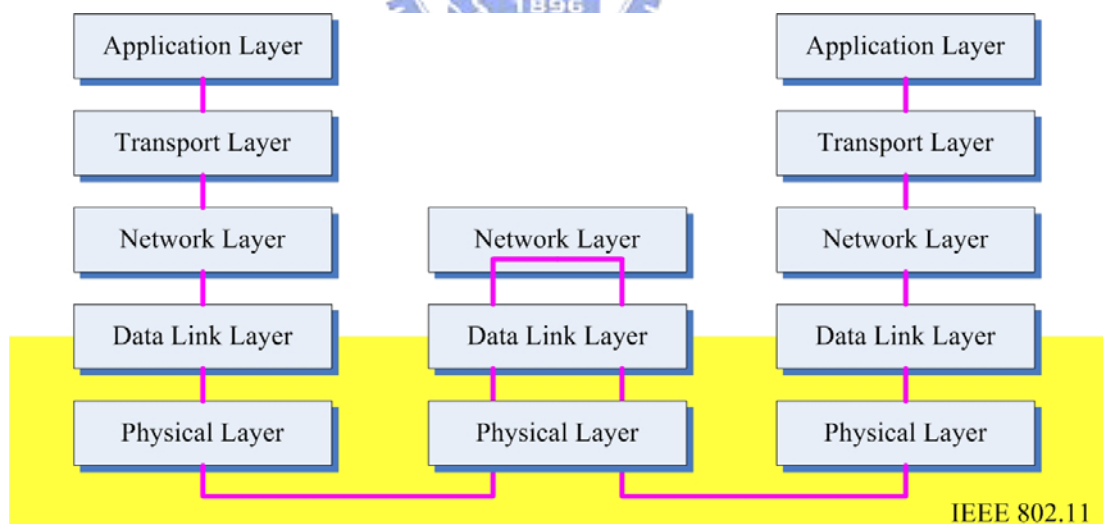


圖 5-21：三節點的封包路徑

5.4.1 以 5.5Mbps, 11Mbps 速率傳輸

以此封包路徑規劃作為實驗的環境時，封包的回覆動作從原本只有一組的收發行為，變成了兩組，雖然 relay node 只負責遞送轉移封包，沒有應用層的工作延遲，然而實際 802.11 網路的機制延遲，必然使得三節點相較於兩節點情形有較高的整體平均延遲時間。

如下圖 5-22，以 100bytes 為例，相較圖 5-12，延遲時間增加了約 10 毫秒，此為三節點因為增加封包路徑所耗費的延遲時間。而且這兩圖的結果都顯示，5.5Mbps 與 11Mbps 在低封包負載的情形下，延遲時間差異不大，雖然 5.5Mbps 的延遲時間總體來說都略大於 11Mbps，不過也只有在高封包負載的情形下，才有明顯的差異。

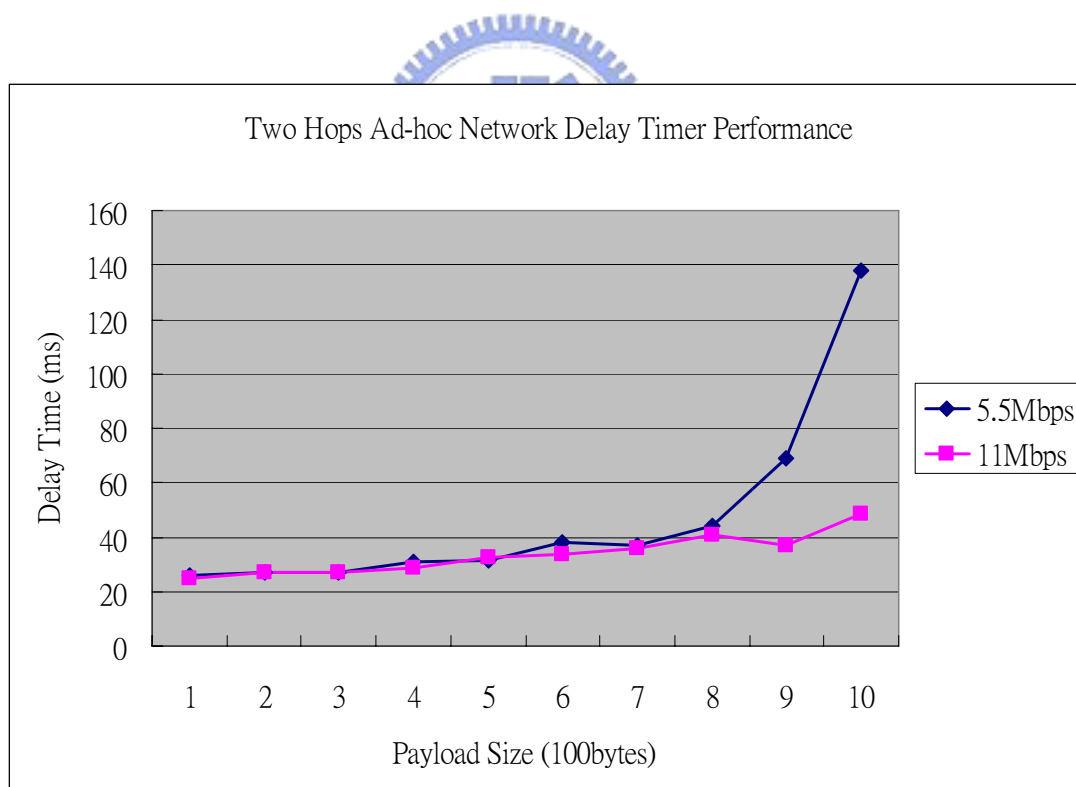


圖 5-22：不同的 Payload 大小，5.5Mbps 與 11Mbps 的延遲表現

5.4.2 低傳輸速率的不穩定情形

在三節點的實驗過程中，在量測低速率傳輸（1Mbps,2Mbps）的延遲時間時，發現 50 筆回傳的延遲時間，後面約 30 筆的資料變動太大甚至有負值出現，此為不合理的情形，所以我們選擇用訊息間隔來觀察系統的狀況。

圖 5-23 與 5-24 為 11Mbps 與 5.5Mbps 的訊息間隔狀況，如同前一節兩節點 Ad-hoc Network，為穩定變化的情形，然而我們可以從圖 5-25、圖 5-26 與圖 5-27 的比較發現，在三節點使用 2Mbps 傳輸的情況下，高 payload 的封包，有了訊息間隔不穩地發展的狀況，這是由於低速率傳輸的效能不足以反應系統的工作需求，而三節點的競爭本來就會耗損較多的傳輸效能，此時系統負載過大，也讓延遲時間的計量發生問題。

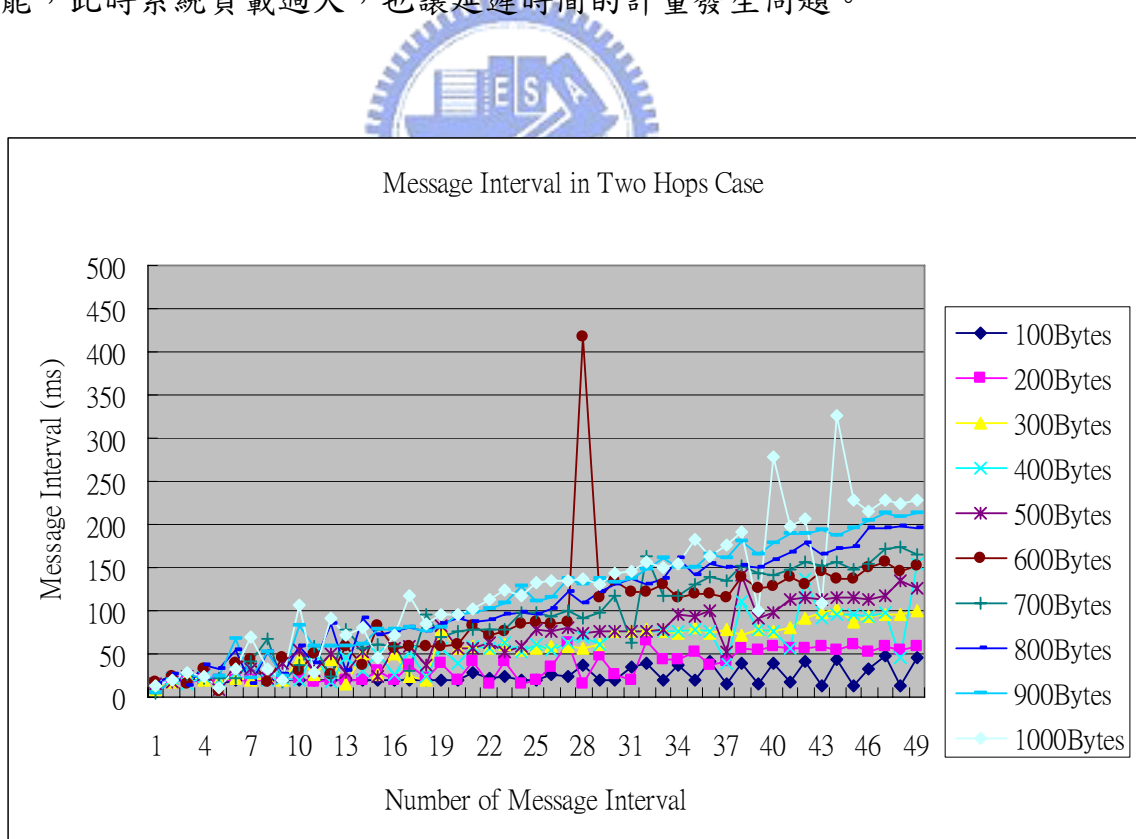


圖 5-23：三節點 ad-hoc network 使用 11Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔

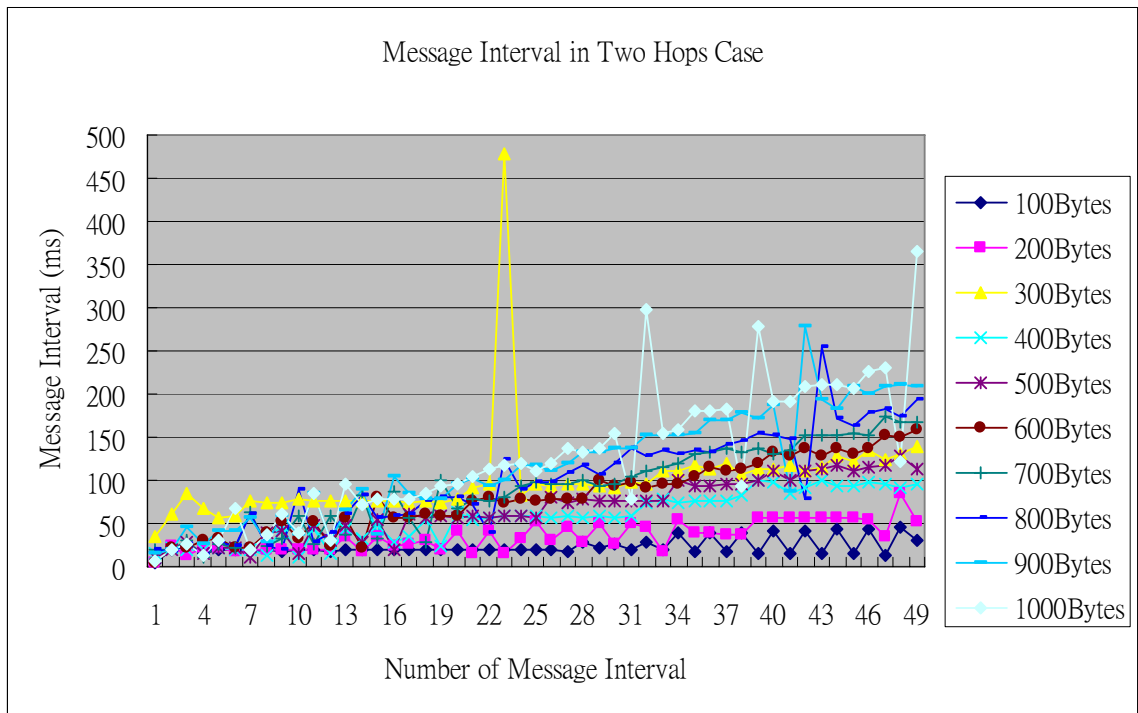


圖 5-24：三節點 ad-hoc network 使用 5.5Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔

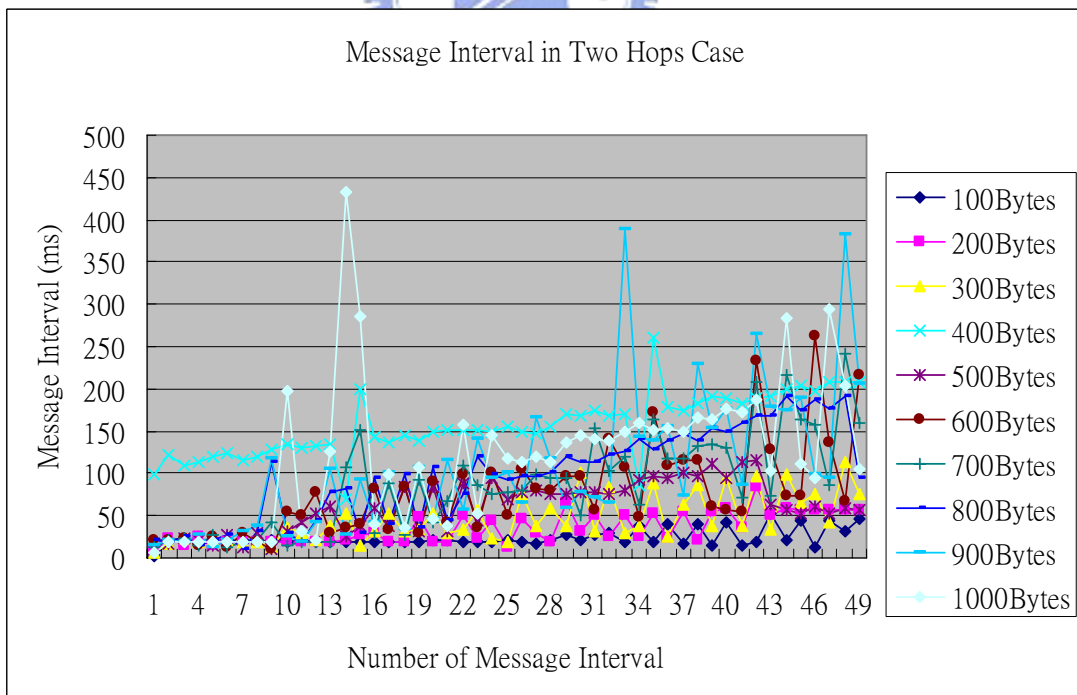


圖 5-25：三節點 ad-hoc network 使用 2Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔

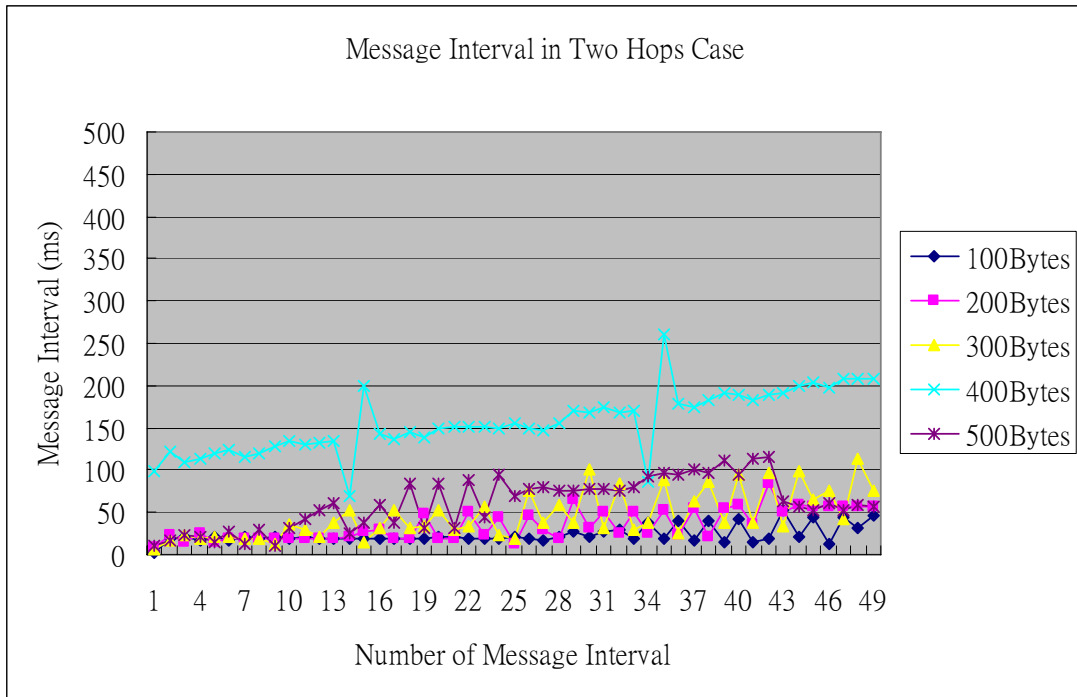


圖 5-26：三節點 ad-hoc network 使用 2Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔（低 payload）

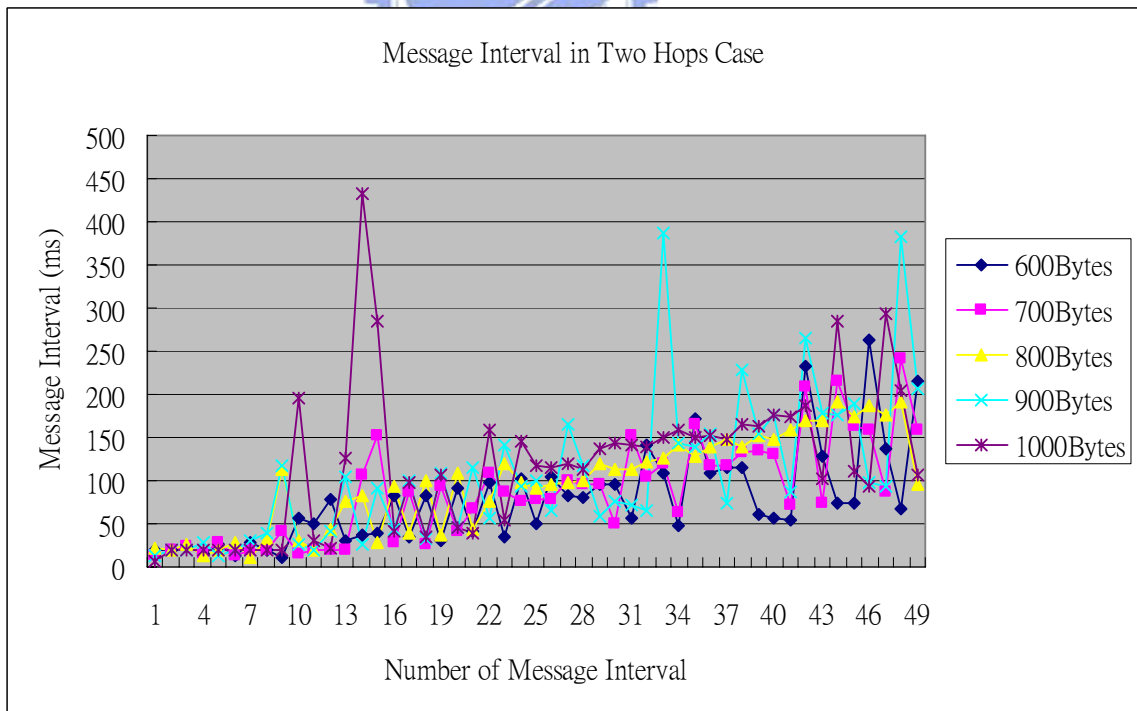


圖 5-27：三節點 ad-hoc network 使用 2Mbps 速率傳輸的訊息發送間隔（高 payload）

5.4.3 以 1Mbps, 2Mbps 速率傳輸

雖然發生了上述的問題，但觀察系統訊息間隔，可以發現前 10 筆訊息尚在穩定的範圍內，為了實驗的完整性，我們只取前 10 筆的延遲資料，但仍作 5 次實驗以達到相同的樣本數，我們將實驗的資料作成下圖 5-28。雖然顯示的結果合理，但仍必須了解到，低速率傳輸容易造成系統不穩定的情形，因而可想而知結果的變異量範圍很大。

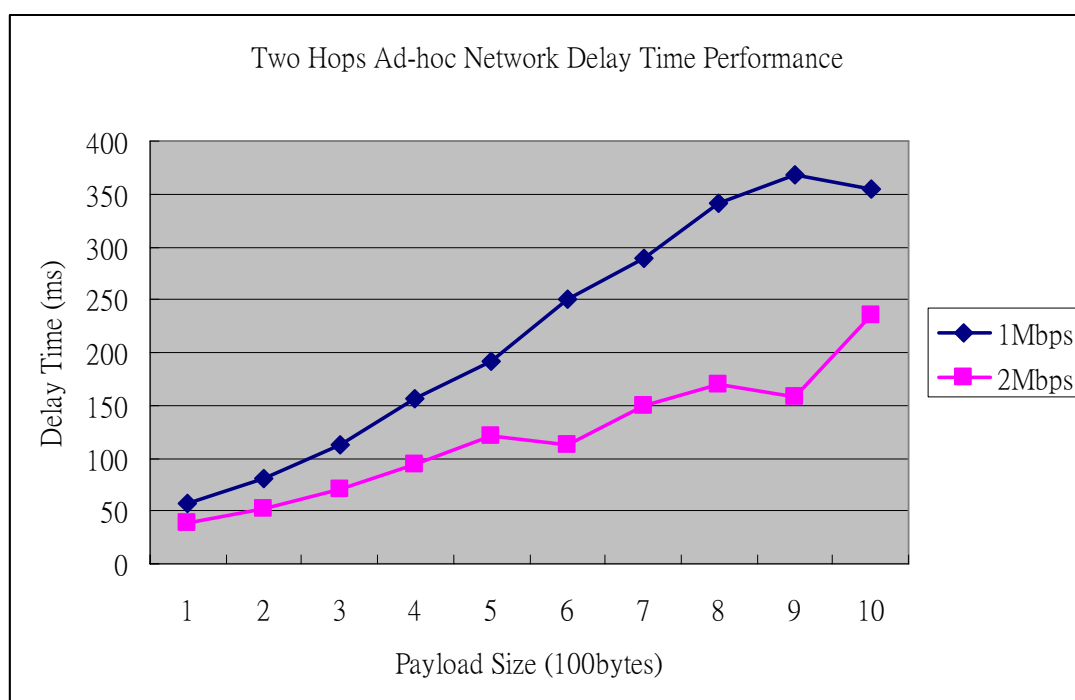


圖 5-28：不同的 Payload 大小，1Mbps 與 2Mbps 的延遲表現

5.5 網路控制系統模擬

此節為網路控制系統的案例模擬，藉此瞭解延遲時間於網路控制系統的重要性。如圖 5-29，我們考慮一個轉移函數為 $G_P(S)e^{-t_p S}$ 的系統，其中 $G_P(S) = \frac{1}{s(s+1)(s+2)}$ ， $G_C(S)$ 為 PD 控制器， $K_p = 1$ ， $K_d = 0.5$ ， t_p 為延遲時間。藉模擬步階響應 (Step Response) 來瞭解延遲時間所造成的不穩定性。

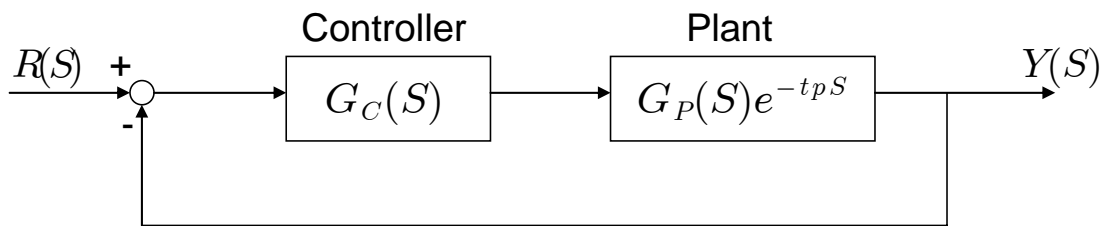


圖 5-29：系統方塊圖

圖 5-30 為 $t_p = 0$ 時，系統的步階響應圖，圖 5-31 為 $t_p = 1$ 時，系統的步階響應圖。我們可以發現，當延遲時間 $t_p = 1$ 時， $e^{-t_p S}$ 造成系統的不穩定性，先是歷經了延遲時間過後才開始反應，然後才緩慢的進入穩態，比較圖 5-32 與圖 5-33，我們可以發現當延遲時間繼續增加，則此不穩定情會加劇，甚至發散。

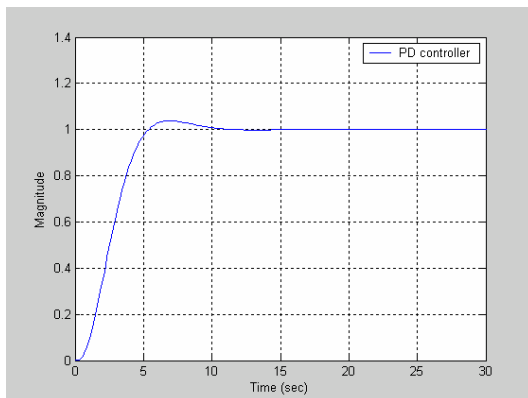


圖 5-30： $t_p = 0$ 的步階響應

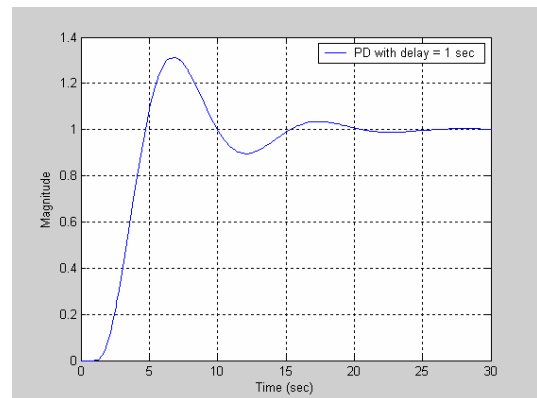


圖 5-31： $t_p = 1$ 的步階響應

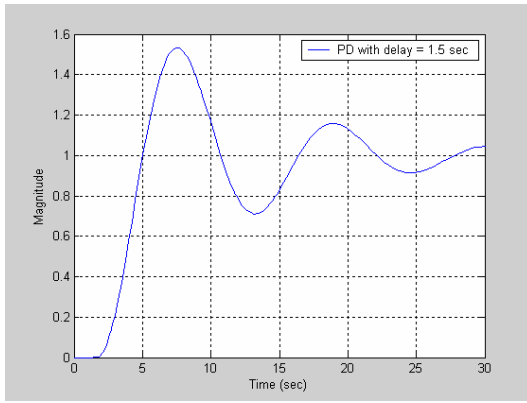


圖 5-32： $t_p = 1.5$ 的步階響應

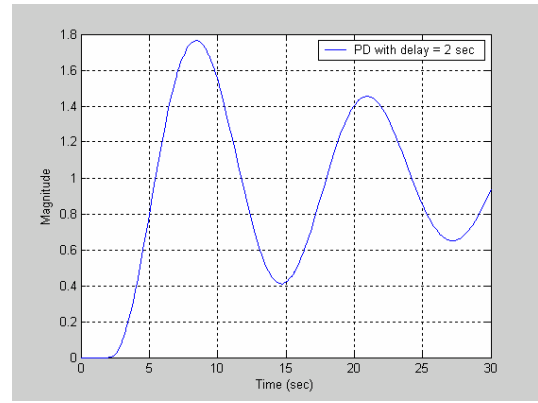


圖 5-33： $t_p = 2$ 的步階響應

當我們加入了 Smith Predictor 之後，架構如圖 5-34，模擬結果（圖 5-35、圖 5-36、圖 5-37）顯示，延遲時間項（ e^{-tpS} ）只造成系統響應起始的時間延遲，而不對系統造成不穩定性，例如圖 5-35，延遲時間 $t_p=2$ 在經由 Smith Predictor 控制後，從 $t=2$ 時開始進入響應，且相較於圖 5-28，步階響應只平移了 2 秒，其餘皆同。因而一旦經由史密斯估測器作系統控制，只要能獲得實際網路控制系統的延遲時間 t_p ，就可以進行穩定控制。

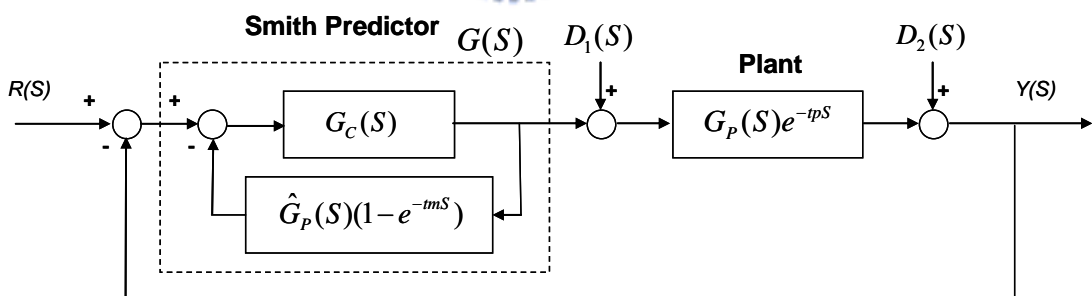


圖 5-34：等效 Smith Predictor 系統方塊圖

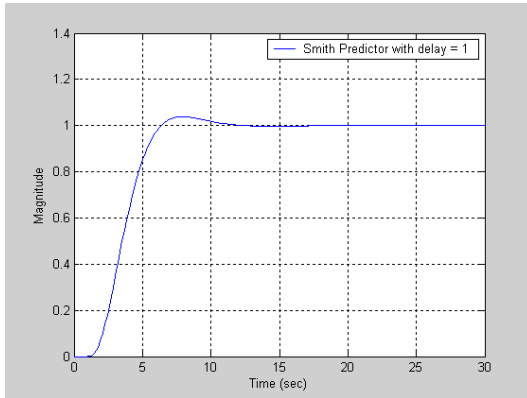


圖 5-35 : Smith Predictor 與 $t_p = 1$ 的步階響應

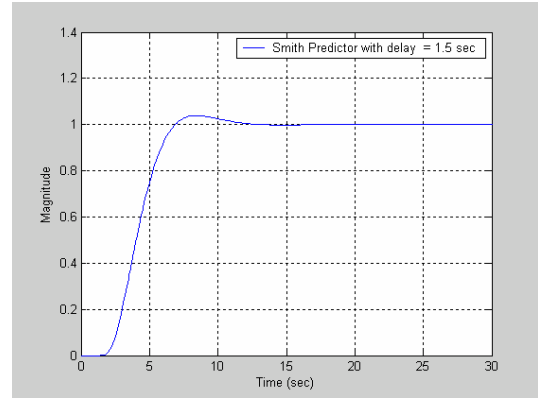


圖 5-36 : Smith Predictor 與 $t_p = 1.5$ 的步階響應

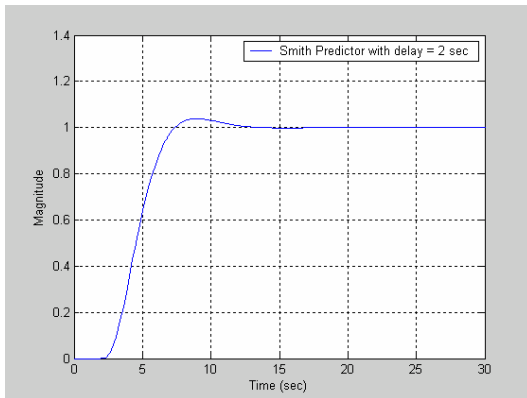


圖 5-37 : Smith Predictor 與 $t_p = 2$ 的步階響應



5.6 討論與建議

經由以上幾個小節的討論與結果分析，我們將實驗結果製成表 5-2 和表 5-3。其中分類：

Lower Transmit Rate : 1Mbps, 2Mbps

Higher Transmit Rate : 5.5Mbps, 11Mbps

Lower Payload Size : 100~500bytes

Higher Payload Size : 600~1000bytes

表 5-2：兩節點的點對點網路延遲時間比較

1-Hop Case: Delay Time(ms)		Transmit Rate	
		Lower	Higher
Payload Size	Lower	18~32	16~21
	Higher	30~105	20~32

表 5-3：三節點的點對點網路延遲時間比較

2-hop Case: Delay Time(ms)		Transmit Rate	
		Lower	Higher
Payload Size	Lower	45-200	25-40
	Higher	110-370	35-140

針對網路控制系統，本論文對延遲時間的實驗結果作出以下的討論與建議：

1. 在可傳輸的範圍約 90 公尺之內，距離因素不影響延遲時間的表現。
2. 在兩節點的點對點網路中，較低的封包負載（500bytes 以下）導致小於 32 毫秒的延遲時間。當封包負載增加，亦使得延遲時間增加，然

而若使用高於 5.5Mbps 的速率傳輸，依然能得到小於 32 毫秒的延遲時間。

3. 在三節點的點對點網路中，由於網路的傳輸路徑增加，相較於兩節點的點對點網路，每種情形的延遲時間也都增加，所以只有在較小封包負載以及高傳輸速率時，才能獲得較低的延遲時間。
4. 在高封包負載以及低傳輸速率的情形下，實驗結果指出三節點的點對點無線通訊系統變得不穩定。
5. 一般而言，使用 11Mbps 的傳輸速率，傳送小於 500bytes 的封包負載，可以得到小於 40 毫秒的延遲時間，因而以上條件適合以 802.11 作為傳輸介面的網路控制系統。

事實上，一般的控制系統命令不會太大，較不會有因封包大小過大而使延遲時間上升的問題，所以選擇上以 11Mbps 為速率傳輸即可有較低的延遲時間。但由於我們考量網路控制系統的結構，選擇量測應用層到應用層的訊息延遲時間，而應用層的工作負載是看程式的寫法、結構，與要完成的項目而定，所以實際延遲時間的平均數值，視實驗環境的硬軟體而有所不同。

第六章 結論與未來展望

最後，本章對此論文做一結論，並對未來的展望作一描述。

6.1 結論

在現實生活中，交通控制系統是一個大型的網路，其中中央型態節點的網路傳輸率往往決定了整體平均的網路傳輸效率，一旦網路規模變得更大，必須提高網路傳輸效率。

本論文使用 IEEE 802.11 作為多代理人交通控制系統的通訊介面，並且以頻道設置程序 (CAP) 以及近年來多所提及的 AODV 繞徑規劃，解決了隱藏節點問題，且成功地增加方格狀點對點網路的各種型態節點的網路傳輸率 (throughput)。與原先單純，沒有任何改善方法的 802.11 點對點網路比較，不同型態的節點包括角落、邊緣、中央三種型態，分別有 75% 到 2300% 的網路傳輸率的改善比率。因此採用本文所發展的 CAP 方法，可讓無線傳輸成為可靠的多代理人通訊介面。

最後為了與網路控制系統結合，達到在延遲時間因素下的強健控制，則平均延遲時間是設計的必要參數，本論文設計了完整的延遲時間量測實驗，分別依據：距離因素、傳輸速率因素、封包資料負載 (payload)、系統負載因素。而這些分析結果提供了實作網路控制系統時，有效的依據。

實驗指出：(1) 距離因素不會影響延遲時間、(2) 越高的傳輸速率會有越低的延遲時間、(3) 網路延遲隨著封包負載提昇、(4) 在三節點傳輸的情形下，低傳輸速率與高封包負載易導致網路傳輸不穩定，使延遲時間遽增。

6.2 未來展望

1. 在未來的研究發展上，週期性的跳頻機制，其跳頻時間可與交通號誌的切換時間相互協調，達到多代理人系統間訊息傳遞的最佳化。
2. 為了達到 CAP 方法的最佳化情形，在實作上必須考慮同步機制的協調設計，此外路徑 (route) 建立的方式，仍可過其他方式快速建立，以彌補因跳頻動作的路徑喪失情形。
3. 在延遲時間的研究上，異種網路的特性也會呈現相異的結果，若系統是由雜錯的網路組成，可深入研究整體的網路表現。



參考文獻

- [1] M. Tomizuka, “Advanced Vehicle Control Systems (AVCS) Research for Automated Highway Systems in California Path”, *Proceedings of the IEEE Vehicle Navigation and Information Systems*, pp. 41-45, 1994.
- [2] S. E. Shladover, “Research and Development Needs for Advanced Vehicle Control Systems”, *IEEE Micro*, Vol. 13, pp. 11-19, Feb., 1993.
- [3] I. Masaki, “Machine-Vision Systems for Intelligent Transportation Systems”, *IEEE Intelligent systems*, pp. 24-31, 1998.
- [4] W. Shen, “Distributed Manufacturing Scheduling using Intelligent Agents”, *IEEE Intelligent Systems*, Vol 17, pp. 88-94, Jan.-Feb. 2002
- [5] L. Wang, S. Balasubramanian, D. H. Norrie and R. W. Brennan, “Agent-Based Control System for Next Generation Manufacturing”, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control*, on 14-17 Sept. 1998, pp. 78 - 83,
- [6] J. C. Fraile, C. J. J. Paredis, C. H. Wang and P. K. Khosla, “Agent-Based Planning and Control of a Multi-Manipulator”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 1219-1225, 10-15 May 1999.
- [7] N. R. Jennings and S. Bussmann, “Agent-Based Control Systems”, *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 23, pp. 61-73, June 2003.
- [8] H. Wang and C. Wang, “Intelligent Agents in the Nuclear Industry”, *Computer*, Vol. 30, pp. 28-31, Nov. 1997
- [9] 交通部運輸研究所，<http://www.iot.gov.tw/>
- [10] J. France, A. A. Ghorbani, “A multiagent system for optimizing urban traffic”, in IEEE CNF, *Proceedings of the IEEE/WIC International*

Conference on Intelligent Agent Technology (IAT'03) on Oct. 2003, pp.411 - 414

- [11] J. France, A. A. Ghorbani, "Cooperative Multiagent Systems for The Optimization of Urban Traffic", in IEEE CNF, *Proceedings of the IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT'04)* on 2004, pp.176 - 182
- [12] F.Y. Wang, "Agent-Based Control for Networked Traffic Management System", in IEEE JNL, *IEEE Intelligent Systems*, vol.20, on Sept.-Oct 2005, pp.92 – 96
- [13] H. Karl and A. Willig, "A short survey of wireless sensor networks", on August 18,2003.
http://www.tkn.tu-berlin.de/publications/papers/TechReport_03_018.pdf
- [14] 林炳榕, IEEE 802.11 無線網路基地台動態分配頻道的策略, 國立交通大學 資訊工程系所 碩士論文, 2004.
- [15] IEEE Std 802.11b Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, on November 2001.
- [16] M. S. Gast, *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*, O'REILLY, 2002.
- [17] J. A Park, S. K. Park, P. D. Cho, K. R. Cho, "Analysis of Spectrum Channel Assignment for IEEE 802.11b Wireless LAN", in IEEE CNF, *Proceedings of The 5th International Symposium on Wireless personal Multimedia Communications*, Hawaii, U.S.A, Oct. 2002 pp.1073 – 1077.
- [18] S. Y. Wang, C. L. Chou, C. H. Huang, C. C. Hwang, Z. M. Yang, C. C. Chiou, and C. C. Lin, "The Design and Implementation of the NCTUns 1.0 Network Simulator", *Computer Networks*, Vol. 42, Issue 2, June

2003, pp.175-197

- [19] C. E. Perkins and E. M. Royer, “Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing”, In WMCSA’99, *Proceedings of Mobile Computing Systems and Applications*, New Orleans, Louisiana, USA, Feb. 25-26, 1999. pp.90-100
- [20] P. Chen, Y. Dong, and Sun. Ji, “The Study of Smith Prediction Controller in NCS Based on Time-Delay Identification”, in IEEE CNF, Proceeding of Control, Automation, Robotics and Vision, Vol.3, on 6-9 Dec. 2004, pp1644-1648.
- [21] 陳俊生, 發展以史密斯預測器為基礎之強健性 H_∞ 控制器及其應用於壓電致動器磁滯補償之研究 國立中正大學 機械工程研究所 碩士論文 2000
- [22] X. Yang, J. Rosdahl, “Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11”, in IEEE JNL, *Communications Letters*, vol.6, Issue8, Aug. on 2002. pp. 355-357
- [23] 陳寬達, C++Builder 深度歷險, 2002