

國立交通大學  
運輸科技與管理學系

碩士論文

NTCIP通訊網路績效評估之研究

The Study of Performance Evaluation of NTCIP-based  
Communication Network



研究生：梁竣凱

指導教授：王晉元

中華民國九十三年七月

NTCIP 通訊網路績效評估之研究  
The Study of Performance Evaluation of NTCIP-based Communication  
Network

研究生：梁竣凱

Student：Jiunn-Kai Liang

指導教授：王晉元

Advisor：Jin-Yuan Wang

國立交通大學  
運輸科技與管理學系  
碩士論文



Submitted to Department of Transportation Technology and Management

College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Transportation Technology and Management

July 2004

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年七月

# NTCIP 通訊網路績效評估之研究

學生：梁竣凱

指導教授：王晉元

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

## 摘 要

結合了資訊、通訊、控制與運輸的專業知識而成的智慧型運輸系統已經成為現今解決交通問題的趨勢。透過智慧型運輸系統的運作，交通管理單位能掌握人、車、路三者間的即時資訊，而即時資訊的溝通傳播則需透過 NTCIP 通訊協定的運作方能成功。

本研究之目的為參考資料通訊網路運作架構及分散式交通控制系統架構，提出一個通訊網路模擬模式，用以衡量在不同交通狀況下，採用 NTCIP 當作通訊網路架構時該通訊網路系統之績效，其中包含了三大子系統下的終端設備傳輸需求，ATMS—偵測器、號誌化路口，ATIS—可變資訊標誌，及 APTS—智慧型站牌；並且根據實際交通狀況，將模擬環境區分為尖峰小時與非尖峰小時，單一控制中心與三控制中心，利用系統平均延滯時間與系統平均等候列長度兩項來探討不同環境的系統績效。

由數值實驗結果得知，本研究所提出之模擬模式具有合理性，根據模擬之數值樣本的迴歸分析顯示，本模式具有良好之解釋能力，在非尖峰小時與三控制中心的情況下更為良好，可用來預測與分析建置 NTCIP-based 通訊網路時的系統績效，所獲得之結果亦具有相當的參考價值。

關鍵字：NTCIP、通訊網路績效評估

# The Study of Performance Evaluation of NTCIP-based Communication Network

Student : Jiunn-Kai Liang

Advisor : Jin-Yung Wang

Department of Transportation Technology and Management

National Chiao Tung University

## Abstract

NTCIP plays an important role to communicate the real-time information of people, vehicles and roads. Therefore, how to evaluate the performance of NTCIP-based communication network is a serious problem.

This thesis proposes a simulation model which refers to the data communication network architecture and distributed traffic control system architecture, as the evaluating approach. In numerical experiments, we consider the real traffic transmission requirements and take system average delay and queue length as the performance evaluation indices.

The results show that our model is reasonable. The regression analysis of experimental statistics presents our model with well-explaining ability to interpret the relationship between performance evaluation indices and queue server processing time. It means that the model we proposed can be as a significant reference when constructing the NTCIP-based communication network.

Keywords : NTCIP, communication network performance evaluation

## 誌 謝

本論文得以順利完成，最要感謝的是恩師 王晉元老師在學業上的指導和生活上的鼓勵，尤其是在經歷生死關頭後，老師的協助令我銘感五內。研究計畫案的訓練與學術論文的研討，再加以日常生活上的言教身教，亦師亦友的感情彌足珍貴，能在研究所就讀期間跟隨到王老師，實在是一生中一大福氣。

感謝交通大學電信系唐震寰老師與交通大學運科管系卓訓榮老師在論文口試時惠賜卓見及不吝指正，使本論文更臻完備；感謝系上卓訓榮老師與黃寬丞老師在論文進度審查其間給予學生許多寶貴意見，特此感謝。

今年對我來說是一個特別的一年，生死一瞬間的感覺第一次體會如此深刻，研究室裡的伙伴們，大師兄至康及其家屬 s、治維、欣潔、信彥、嘉龍、建明，畢業學長紀舜及其家屬、偉剛和國琛，你們的關心和協助，有時我在夜裡都會痛哭感激，你們是支撐我走過來的主要信念之一，一句話——謝謝！另外特別給予至康祝福，希望明年能順利取得博士學位並成家立業。

研究室的學弟妹忠儒、怡君、及彥佑，也謝謝你們在計畫案和生活上的協助；研究所好友——我們可愛的 93 級同學，有好友才能讓我度過這一關，也由衷至上我的謝意；家族學弟妹貞諭、詩敏、至傑、苡菽、新祐也謝謝你們一起陪伴我度過這段艱苦又難得的生活體驗。

最要感謝的是我的家人，對不起！讓你們擔心了！我愛你們！

最後感謝菩薩，讓我繼續在娑婆世界中感受體驗，繼續累積智慧和經驗。

將此論文獻給所有關心我的人，以及自己。

梁竣凱

新竹交大  
2004/7

## 目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究範圍.....	5
1.4 研究流程.....	6
第二章 文獻回顧.....	8
2.1 智慧型運輸系統通訊協定(NTCIP).....	8
2.1.1 NTCIP 簡介.....	8
2.1.2 NTCIP 的效益.....	8
2.1.3 NTCIP 架構與 OSI 架構.....	10
2.2 資料通訊網路績效評估.....	13
2.2.1 簡介.....	13
2.2.2 通訊網路模擬之績效評量指標.....	13
2.3 小結.....	17
第三章 模式構建.....	18
3.1 資料通訊網路架構.....	18
3.2 分散式交通控制系統架構.....	21
3.3 NTCIP-based 通訊網路模擬模式.....	24
第四章 數值實驗.....	29
4.1 模擬環境.....	29
4.1.1 環境設定.....	29
4.1.2 參數設定.....	30
4.2 數值實驗結果.....	32
4.2.1 模式合理性.....	32
4.2.2 單中心模擬結果.....	35
4.2.3 三中心模擬結果.....	38
4.3 小結.....	40
第五章 結論與建議.....	44
5.1 結論.....	44
5.2 建議.....	45
參考文獻.....	47

## 表目錄

表 4.1-1 事件產生器參數表.....	30
表 4.1-2 等候伺服器參數表.....	31
表 4.3-1 t 檢定結果.....	41
表 4.3-2 系統平均延滯時間比較表.....	42
表 4.3-2 系統平均等候列長度比較表.....	43



## 圖目錄

圖 1.4-1 研究流程圖.....	6
圖 2.1-1 NTCIP 標準架構.....	11
圖 2.1-2 NTCIP 與 OSI 架構對照圖.....	12
圖 3.1-1 資料通訊網路架構.....	19
圖 3.1-2 分散式交通控制系統架構示意圖.....	23
圖 3.3-1 NTCIP-Based 通訊網路模式.....	26
圖 3.3-2 多重事件產生器示意圖.....	28
圖 4.2-1 單中心尖峰系統平均延滯時間圖.....	33
圖 4.2-2 單中心尖峰系統平均等候列長度圖.....	33
圖 4.2-3 三中心尖峰系統平均延滯時間圖.....	34
圖 4.2-4 三中心尖峰系統平均等候列長度圖.....	34
圖 4.2-5 單中心尖峰系統平均延滯時間趨勢圖.....	36
圖 4.2-6 單中心尖峰系統平均等候列長度趨勢圖.....	36
圖 4.2-7 單中心離峰系統平均延滯時間趨勢圖.....	37
圖 4.2-8 單中心離峰系統平均等候列長度趨勢圖.....	37
圖 4.2-9 三中心尖峰系統平均延滯時間趨勢圖.....	38
圖 4.2-10 三中心尖峰系統平均等候列長度趨勢圖.....	39
圖 4.2-11 三中心離峰系統平均延滯時間趨勢圖.....	39
圖 4.2-12 三中心離峰系統平均等候列長度趨勢圖.....	40



# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

運輸為實業之母，便捷的運輸系統是促進經濟成長的首要條件，具有效率且安全的運輸環境可以大幅提升一個國家的競爭力，顯著地降低社會的成本。同時運輸系統的建設，往往也是帶動國家景氣向上發展的重要原動力。

交通運輸的整體系統由需求產生、工程規劃、工程建造到營運管理，週而復始不斷的動態發展。傳統上解決交通運輸問題都是以建設更多的工程，提供更多的容量來加以滿足，但因為交通工程的建設不斷推展，反而吸引了更多的交通運輸活動需求，也因此導致交通運輸的環境越來越惡化，盲目的交通建設已不再是解決運輸問題的好方法。因應電腦、資訊與通訊科技的發展，傳統的運輸系統管理方式結合了上述新科技的應用與傳統運輸的管理概念，也因此呈現出了另一番嶄新的風貌。

智慧型運輸系統( Intelligent Transportation System, ITS )，為美國於 1988 年開始所推展之新的交通運輸管理方式，以用來改善逐步惡化的交通運輸環境。智慧型運輸系統其主要特色為結合了交通運輸、電腦資訊技術及通訊傳播等專業領域，進而發展出有效的運輸系統管理方法，共同來解決現今社會所面對的交通運輸問題；ITS 推展至今成果顯著，建設交通運輸系統所造成的環境影響及社會成本也大幅改善，因此結合先進科技和交通運輸專業來解決交通運輸問題已經逐漸成為世界的潮流。

ITS 和傳統運輸系統的差異點為，它能溝通傳播運輸三要素—人、車、路的即時資訊( Real-time Information )，即時資訊的提供讓管理者能夠對不斷改變的交通運輸環境作出相對應的決策，如即時的號誌時制、即時的道路資訊提供等，而 ITS 的主要特色—由許多的電子設備所組成，使得即時資訊能在 ITS 中被靈活的運用。

但是為了確保讓各電子設備間能夠溝通無誤，管理者必須定義好各設備間交談的“共同語言”，也就是所謂的通訊協定(Communication Protocol)。當電子設備間要溝通時，必須雙方均能接受“要溝通什麼？”、“如何溝通”及“何時溝通”等三項協定，這些協定即被稱之為通訊協定，其可被定義為是一組用來管理各電子設備間進行資料交換的規則<sup>[1]</sup>。而傳統上各設備製造商皆會針對本身所開發出之產品制定其專有的通訊協定，並且各家廠商間所定義之協定內容也不盡相同，因此當我們建立一個複雜的運輸系統，裡面包含各種不同製造來源的電子設備時，管理者必須另外投注心力在各通訊協定內容的軟硬體整合，而此工作也往往造成管理者在成本與時間上的極大投資與困擾。

為了解決上述課題，美國針對智慧型運輸系統各類應用的電子裝置間資料傳輸，提出了智慧型運輸系統通訊協定(National Transportation Communications for ITS Protocol, NTCIP)，其目標是確保 ITS 各組成子系統彼此之間的軟硬體設備能達到『相互操作性』(Interoperability)與『相互置換性』(Interchangeability)，即是讓在各電子設備間傳播的即時資訊能正確的解讀。

NTCIP 是由一系列的通訊協定和資料定義所組成的開放標準，它能让 ITS 各子系統間所建置的電子設備溝通傳遞無誤，並且滿足智慧型運輸系統國家系統架構(National ITS Architecture)內所定義之使用者服務(User Service)。NTCIP 採用類似國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)所設計之開放式系統相互連接(Open System Interconnection, OSI)模型，採用層級(layer)分類方式來建構其通訊協定架構，各電子設備間傳遞特定訊息時至少必須於每一層選定一通訊協定，而各層中一連串的通訊協定組合則稱為通訊堆疊(Protocol Stacks)，而任一系統所採用的通訊堆疊則根據軟硬體設施及實際交通狀況不同而有所差異。

當我們採用 NTCIP 當作通訊協定標準來建立運輸通訊網路時，不論是公部門或私部門都會有提出相同的問題：為什麼不使用原來的系統，而必須採用 NTCIP 標準呢？因為實際上當要把現存的通訊網路系統轉換成 NTCIP-based 的通訊網路時，必須付出極大的軟硬體更換成本，這也是大眾對 NTCIP 存有懷疑的地方，所以本研究希望提出一個方法，讓交通運輸設施的管理階層在建置

NTCIP-based 的通訊網路前，能對其通訊網路的績效能夠有所了解，進而提高推展 NTCIP 的意願。

本研究的重點在於當一都市地區欲建立一個以 NTCIP 為通訊協定基礎的運輸通訊網路時，如何去評估整個通訊網路的績效，我們會提出一個方法來告訴管理階層，在特定的交通環境下若採用 NTCIP 來當作運輸通訊網路的通訊協定架構時，該通訊網路系統運作的績效將會如何，該結果則會透過幾項通訊網路系統績效評量中幾個常用的指標來呈現。



## 1.2 研究目的

本研究的主要目的為提出一個通訊網路模擬模式，用以衡量在不同交通狀況下，採用 NTCIP 當作通訊網路架構時該通訊網路系統之績效，此模式會包含 NTCIP 各層內所定義之通訊協定，並且是一個一般性的模式，可適用在不同架構下的運輸網路，輸入資料則會依據現實交通狀況來產生，並且會考量其他的網路因子如 Time-Out 的機制、資料流失及資料錯誤等判斷機制，至於輸出的資料方面會包含延滯時間及等候列長度等評量性指標，用以說明該通訊網路系統之績效，本研究除了提出一個 NTCIP 通訊網路的評量模式外，更希望藉由此模式的發展能夠進一步促使 NTCIP 於現實世界的推廣與應用。



### 1.3 研究範圍

本研究所建構之通訊網路模擬模式，同時包括 ITS 下的三大子系統及其下終端設備傳輸需求：先進交通管理系統(ATMS) — 路口號誌系統、偵測器，先進用路人資訊系統(ATIS) — 可變訊息標誌及先進大眾運輸系統(APTS) — 智慧型公車站牌，換言之，本研究於測試時將同時考量到四個終端設備的通訊傳輸需求，每個設備依其特性而具有不同的傳輸頻率需求，並據以此驗證模式的正確性，進一步提出測試的結果，針對以 NTCIP 為基礎的通訊網路績效提出結論與建議。

參酌國內交通運輸網路系統架構，目前共分為『中央式控制系統架構』及『分散式控制系統架構』，中央式控制系統架構為目前國內最常採用且已實施多年的網路架構，而分散式控制系統架構則未被普遍採用，而相關的研究亦不甚多，分散式控制系統架構中，控制中心至區域控制器間的通訊傳輸相關探討更為稀少，但在都市地區通訊需求甚高的情形下，分散式控制系統架構會使通訊傳輸量減少，進一步提升通訊網路的績效，因此可以預見的是分散式系統架構將會逐漸被推行採用，本研究也因而著重在分散式系統架構中，控制中心與區域控制器之間的通訊需求傳輸過程，據以架構一通訊網路模擬模式，衡量二者之間所建立的通訊網路之績效，而後端的終端設備則不被考量於本研究當中。

四個終端設備的傳輸需求則以不同的時間傳輸頻率以茲區別，也就是說本研究所產生的事件只具有時間一個維度，不同的事件其產生的封包大小為固定值，並無考量到通訊系統的傳輸頻寬及容量的問題，也不考量傳輸介質之硬體特性。

## 1.4 研究流程

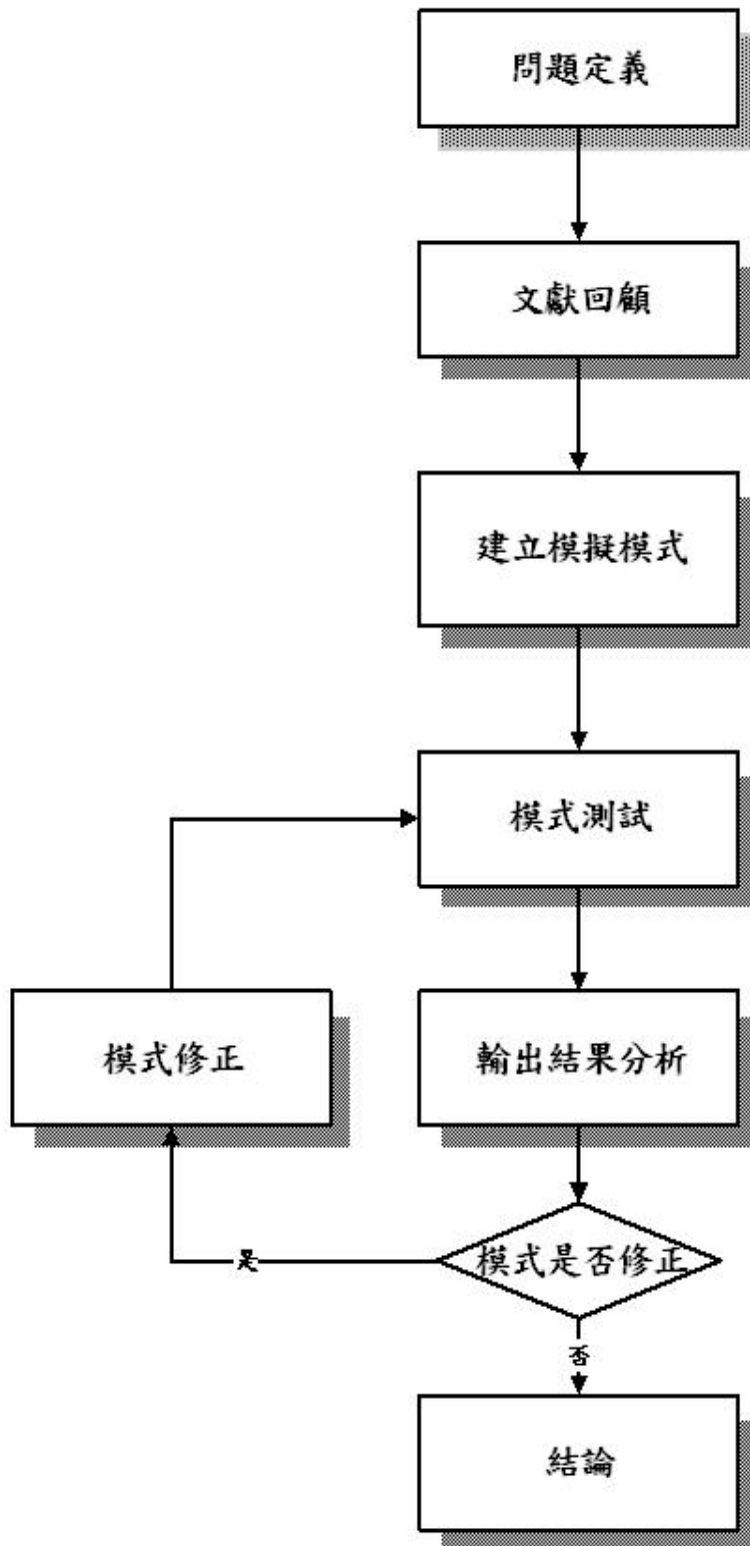


圖 1.4-1 研究流程圖

如前述之研究流程圖，首先我們會定義出本研究的研究問題本質和研究的範圍，於問題定義完後則回顧有關 NTCIP 及評量通訊網路績效的相關文獻，文獻回顧的重點將放在以層級為分類依據的通訊網路績效評量方式、NTCIP 內所定義之各通訊協定的特性及影響通訊網路運作的關鍵因子。

接下來我們會根據文獻回顧的結果，提出一 NTCIP 通訊網路績效評估的模擬模式，此模式可表現出現實交通狀況的通訊網路架構，並包含 NTCIP 內通訊堆疊的特性。

最後我們會利用實際交通環境資料進行模式的測試，並利用資料分析工具檢視相關輸出資料是否符合本研究目的，若不符合則進行模式的修正並重新測試，若符合要求則撰寫相關結論。






## 第二章 文獻回顧

### 2.1 智慧型運輸系統通訊協定(NTCIP)<sup>[2][3]</sup>

#### 2.1.1 NTCIP 簡介

如前章所述，通訊協定為規範電子設備間相互傳遞及辨識訊息的一連串規則，而欲互相傳遞訊息的兩個設備間必須遵守相同的通話規則，才能確保訊息能正確無誤的被解讀，其所扮演的角色就如語言中的單字、字彙及文法規則，讓語言的內容本身能夠具有意義而讓雙方能夠溝通；NTCIP 則可視為眾多電腦溝通語言中的一種，其專門設計讓運輸各子系統內的設備能夠互相談話，更重要的是，它能滿足 ITS 國家系統內所欲達成的使用者服務內容，以達到 ITS 解決交通運輸問題的目的。



NTCIP 是美國針對智慧型運輸系統的電子裝置間資料傳輸所制定的標準通訊協定。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』與『相互置換性』，簡言之，NTCIP 希望能成為運輸工業未來的 Internet。所謂『相互操作性』，是指在 NTCIP 通訊網路內不同種類的系統裝置之間可以相互引用對方提供的服務，此系統裝置可以是安裝在相同通訊鏈路的不同種類交通控制終端設施，或是不同控制中心之間的遠端系統線上資料交換；所謂『相互置換性』，是指軟硬體設備具有多個供應商，系統不會受限於供應商而導致軟硬體設備置換時與系統連線的困難。

#### 2.1.2 NTCIP 的效益

NTCIP 提供了各交通管理者在運輸系統的操作上更多的彈性及選擇。藉由統一的標準，NTCIP 去除了不同單位協調上的藩籬並允許同一通訊線路上存在不同的設備種類及製造商之產品。即使原先整套系統並沒有採行 NTCIP，但各交通單位在採購新設備時如能夠考慮相容 NTCIP 之產品，依然能獲得 NTCIP 所



帶來的效益。NTCIP 主要的效益如下：

#### 1. 避免設備過早淘汰

NTCIP 不可能針對早期的設備來訂定標準，但是有了統一的標準後，大多數的供應商都會生產製造 NTCIP 相容的設備。因此，一個交控系統可能混雜著 NTCIP 及非 NTCIP 的設備，而這些設備使用不同之通訊線路，或是這些設備雖支援 NTCIP 但仍使用既有的通訊協定。只要交通單位在採購設備時選擇 NTCIP 相容的產品，不論是上述那種情形，都能夠避免設備過早淘汰，延長設備使用期限。

#### 2. 提供更多的供應商選擇

若使用單位決定其系統採用 NTCIP 架構，就可以向不同的供應商購買 NTCIP 相容之產品、現場設備、軟體等。也許只有同一供應商之產品才能夠充分運用其產品的功能，但至少在同一標準下，任何供應商都可以提供基本功能，交通單位選擇廠商的機會將更多樣化，也可避免單一供應商的壟斷。

#### 3. 跨單位間的協調

NTCIP 允許不同單位間進行資料交換，同時在相互授權的情形下，執行某些指令以監控其他單位的系統狀態。像這類的資訊交換與協調可以透過手動或是自動的方式來進行。如此一來，各單位間能夠分享資訊，並且進行跨單位的控制，以提供用路人即時資訊、連鎖化的匝道儀控等。

#### 4. 單一的通訊網路

NTCIP 使得管理系統能夠用相同的通訊頻道與混合的設備種類進行傳輸。例如透過系統電腦上的軟體來控制號誌化交叉路口旁的可變訊息標誌( Variable Message Sign, VMS )以顯示適當訊息。通訊網路通常是運輸管理系統中花費最大的組成元件，採用 NTCIP 則確保這項投資在未來使用上的彈性。

### 2.1.3 NTCIP 架構與 OSI 架構

原先 NTCIP 遵照 OSI 參考模式的規範，對於控制中心與現場設備或控制中心之間連接的標準，分別定義 Class B、Class A、Class C 及 Class E 四種 Profile。新版的 NTCIP 標準已不再使用 Class 來分級，而採用模組及分層方式來傳輸，類似 ISO 的 OSI 7 層分類模型。一般而言，兩台電腦或其他電子設備間的資料傳輸和下面這幾層有關，為了有別於 ISO 和 Internet 所定出的 Layer，NTCIP 以 Level 來分層。NTCIP 的架構如圖 2.1-1 所示，其中包含 NTCIP 的 Level 層級以及各通訊協定之分類，括弧內數字為其所對應之文件編號。圖 2.1-2 則為兩網路架構之對照。

1. 資訊層 ( Information Level ) – 此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，所定義之內容專為 ITS 各子系統間溝通所用，獨立於傳統的 OSI 架構之上。
2. 應用層 ( Application Level ) – 此層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，大致等同於 OSI 中 Application、Presentation、Session 等 Layer。
3. 傳輸層 ( Transport Level ) – 此層主要提供資料訊息封包之切割、組合及繞送方面等功能，諸如 TCP, UDP, IP 等，屬於 OSI 中 Network、Transport 等 Layer。
4. 子網路層 ( Sub-network Level ) – 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 與 Physical Layer。
5. 實體層 ( Plant Level ) – 此層包含了 ITS 中的通訊傳輸設施，例如銅導線、銅軸纜線、光纖、無線通訊等，此層的通訊協定選擇會影響到子網路層通訊協定的決定。

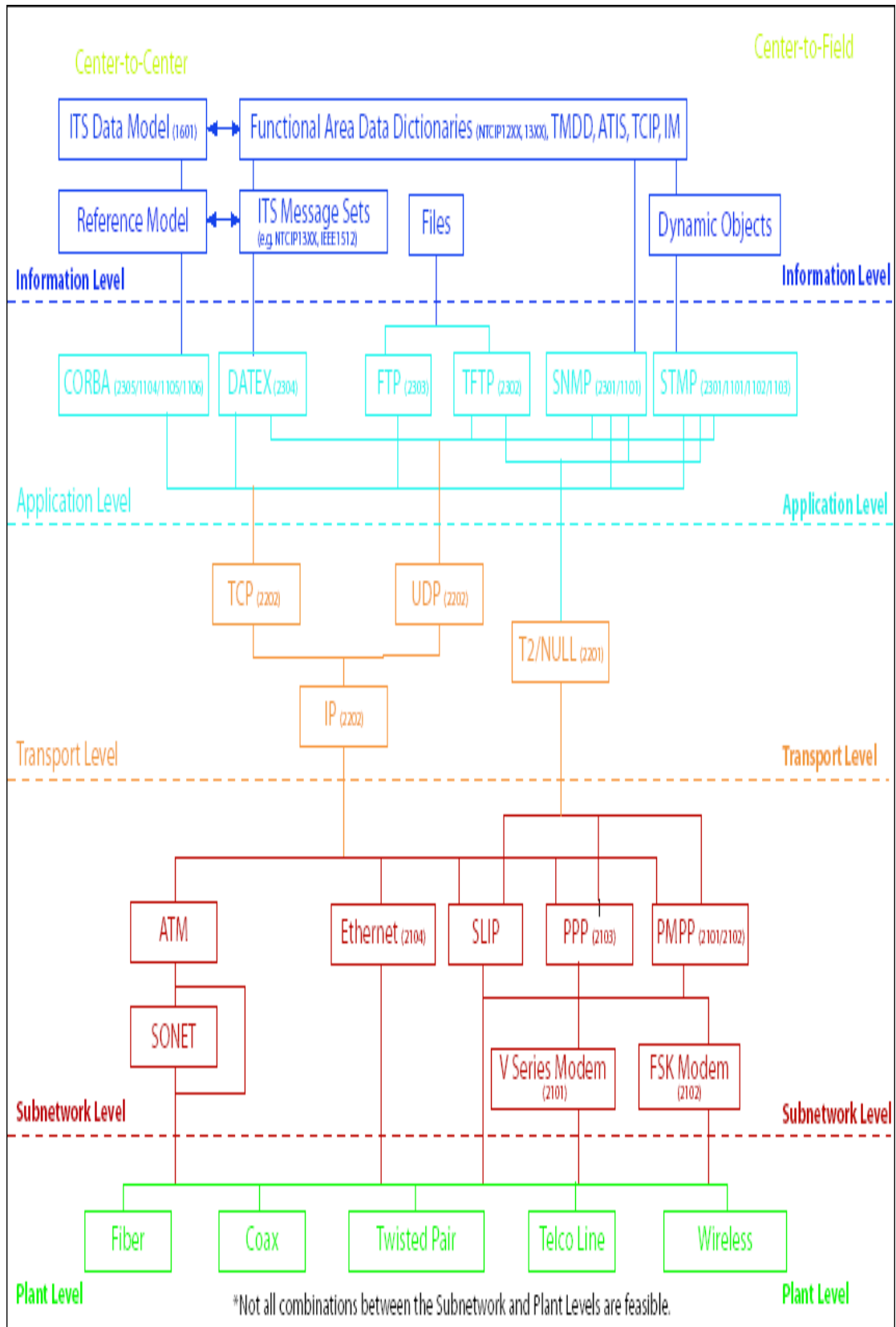


圖 2.1-1 NTCIP 標準架構

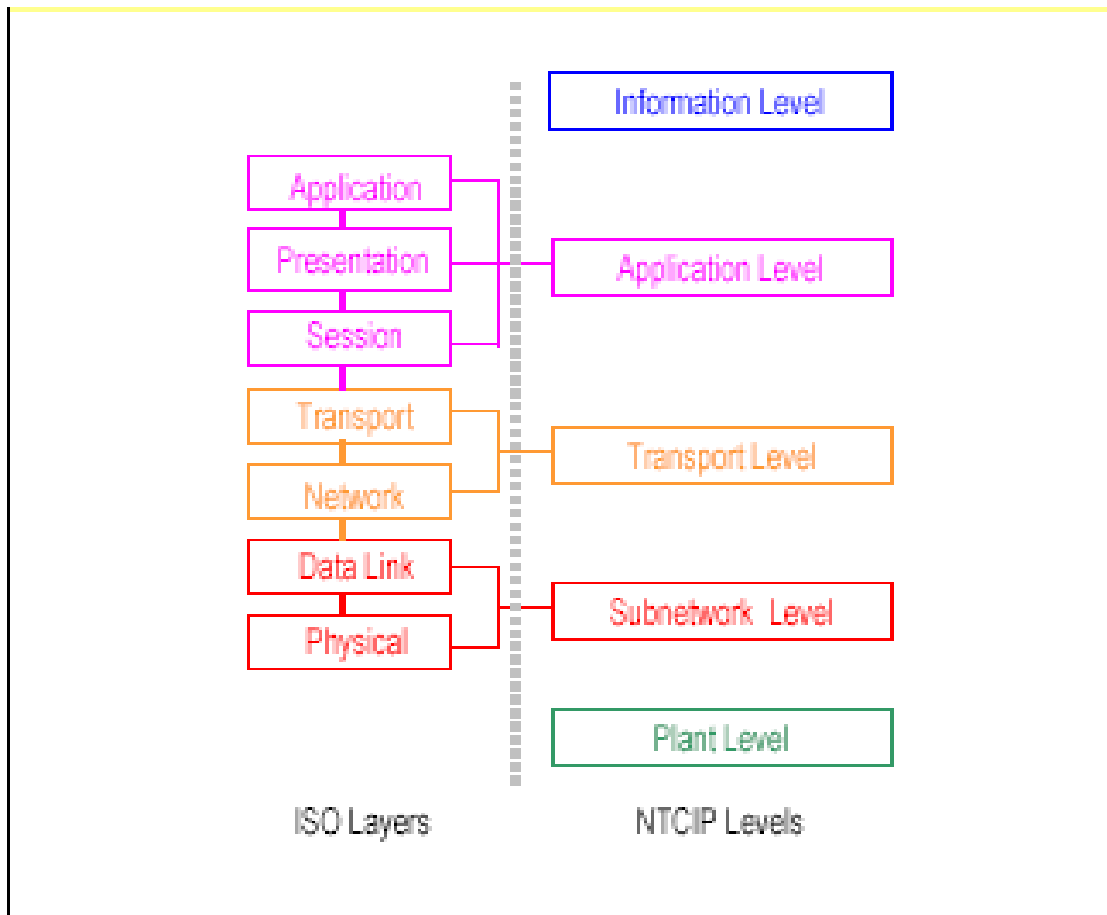


圖 2.1-2 NTCIP 與 OSI 架構對照圖

## 2.2 資料通訊網路績效評估

### 2.2.1 簡介

現實世界中存在著各式各樣的通訊網路，每一個通訊網路皆具有其不同的特性，且負責傳遞不同的資訊內容，也因此不同的資訊內容對網路而言產生了不同的流量，也對通訊網路本身造成了程度不等的負擔，學理上利用了數學分析與建構模擬模式兩個方式，針對通訊網路的流量進行分析工作，進一步去評估該通訊網路的績效及會影響該通訊網路績效的各種因素。

數學分析與電腦模擬為學理上探討通訊網路績效的兩個主要方法<sup>[4]</sup>，透過這兩個方法所建構出的模式，可將複雜的通訊網路系統與以簡化卻也不失去其運作機制與特性，對於通訊網路的績效評估而言是非常良好的研究工具。

數學分析主要是建立多條方程式並結合統計學相關理論，建立數學模式來推導並評估通訊網路系統的績效，其中包括影響通訊網路績效的固定和變動參數等；電腦模擬則是利用程式的撰寫或是模擬軟體的應用來模仿(imitate)通訊網路的運作架構，主要是以等候理論為基礎，建構出等候伺服器端(Queue Server)來表現通訊網路系統的運作過程，並藉由相關統計指標來評估整個通訊網路系統的績效，一般說來，當我們面對的是複雜且龐大的通訊網路系統時，數學分析往往非常困難發展出方程式來表現通訊網路的特性，而此時利用電腦模擬的方式就成為較為良好的研究工具；現實世界中運輸通訊網路系統因多樣且不斷變動的資訊需求，而使得整個網路行為極為複雜，再加以上述之 NTCIP 網路架構其實極為複雜，因此本研究使用電腦模擬為此次的研究工具，針對研究目的進行後續的研究工作。

### 2.2.2 通訊網路之模擬

電腦模擬主要應用在解決產生隨機離散(stochastic discrete)事件/需求的通訊網路或是通訊協定模式，而在隨機離散事件的模擬中，實際通訊網路在運作時

的各項元件都會被納入電腦模擬模式的考量當中，主要的目的為能夠完整表現通訊網路間的連接情形，以求能真實的呈現真實通訊網路的運作狀況，進一步能利用績效評估指標獲得正確的通訊網路績效值；在事件產生的類型方面則包括事件到達、事件傳遞及錯誤訊息產生等，此三種類型也是真實通訊網路會產生的資訊需求；而常用的通訊網路績效評量的指標方面則包含容量( capacity )、有效輸出( Throughput )、資料遺失/錯誤率( loss/error probability )、延滯( delay )及等候列長度( queue length)等<sup>[4]</sup>。

容量乃是指一個通訊網路系統與特定時間內所能應付的最大通訊量，而衡量容量的單位一般來說有 Erlang/s, bit/s 和 packet/s，Erlang/s 是最常被採用的衡量單位，目前也是電信交通( teletraffic )中所認定的標準單位，但是在某些情形下 Erlang/s 並不適合當作衡量容量的單位，如乙太網路( Ethernet )和大部分的區域網路( Lans )架構，在此情形下採用 packet/s 或 bit/s 來作為單位較為適合，而運輸通訊網路其基本架構是採用區域網路的概念，因此本研究中將考量 packet/s 或 bit/s 來當作容量的衡量單位。

有效輸出是指網路的終端設施於特定時間內所能成功接收到的訊息總量，所以理論上有效輸出的最大值會等於系統的容量值，但現實世界中的通訊網路系統有效輸出，依其伺服器端所發出的需求不同而有所變化，此項目可被視作通訊系統網路的負擔能力指標，以用來評估通訊網路的績效。

資料遺失率則是表示從伺服器端發出的資料於通訊網路中傳遞時遺失的機率，於實際通訊網路系統中資料遺失的情形可能因為碰撞、網路擁擠或不明原因等而發生，當資料遺失的情形發生時，系統必須有一個機制通知伺服器端重新發送該筆資料，以確保該筆資料能夠正確傳遞至終端設備。資料錯誤表示從伺服器端發出的資料於通訊網路中傳遞至終端設備時其資料內容發生錯誤的機率，於實際通訊網路系統中資料錯誤的情形可能因為封包重組錯誤、電腦病毒及網路碰撞等原因，當資料錯誤的情形發生時，系統也必須有一個機制通知伺服器端重新發送該筆資料，本研究中將其和資料遺失時的處理機制整合在一起，當上述兩種情形發生時則通知系統伺服器端重新送出該筆資料。



延滯時間則可視為真實通訊網路運作中，資料抵達某一終端設施時等待處理的時間，相對於等候理論中可視為某一事件於等候列中等待等候伺服器端處理的時間，延至時間一直以來被當作是常用的通訊網路績效評量指標，電腦模擬中設置了許多等候伺服器端來表現真實世界的通訊網路運作情形，而延滯時間則和等候伺服器端的處理效率息息相關，在應用上以區域網路通訊協定及高速通訊網路系統採用最多。

等候列長度則是指等候伺服器內事件排列的長度，此項指標也常常被用來當作通訊網路績效評量的指標，和延滯時間相同都可表現出等候伺服器端的處理效率，因此等候列長度被視作通訊網路績效評估的重要參考依據。

Ozgur Ulusoy<sup>[5]</sup>針對即時通訊網路系統發展出一個新的通訊協定，根據載波偵測多重存取碰撞重送( Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection, CSMA/CD )而設計，並利用電腦模擬的方式進行績效評估，其績效評量指標採用資料傳送成功率來計算。

Hala ElAarag, Mostafa Bassiouni<sup>[6]</sup>則針對TCP通訊協定於理想和非理想網路狀態下的績效進行評估，針對理想網路狀態發展出一模擬模式，此模式採用有效輸出及延滯時間當作評量指標，其實驗結果大致符合實際TCP通訊協定之運作情形，並可供TCP協定於無線通訊技術中延伸參考之用。

Erol Gelenbe, Ricardodo Lent, Zhihuang Xu<sup>[7]</sup>則利用不斷改變網路流量的方式，配合建立一樣版(demo)模式模擬cognitive packets network( CPN )運作情形，其評估指標為延滯時間。

Samphel Norden, S. Balaji, G. ManiMaran, C. Siva Ram Murthy<sup>[8]</sup>則針對多重存取的即時通訊網路之介質存取控制協定進行績效評估，提出在此環境下載波偵測多重存取碰撞重送通訊協定表現較好，該文章以延滯時間作為績效衡量的評估指標。

連紀舜<sup>[9]</sup>則建立一通訊網路模擬模式，呈現NTCIP中傳輸層的通訊協定運作

情形，其以封包之inter-arrival time及arrived data packets當作模式的衡量指標，並針對queue length, timeout period及retrial次數進行敏感度分析，該文為首次探討到NTCIP內部運作之相關文獻，與本研究內容較為相關，其結論將被當作本研究之重要參考依據。





## 2.3 小結

綜上所述，運輸通訊網路系統採用 NTCIP 網路架構實為一複雜且龐大的網路系統，難以使用數學分析方法來進行績效模擬評估，故對於本研究來說，採用電腦模擬當作 NTCIP 通訊網路績效評估的研究工具較為可行，但相關文獻中多針對特定通訊協定內容或介質存取技術進行研究探討，甚少以整個通訊網路系統加以考量，也未有文獻考量到運輸通訊網路的真實運作情形，本研究將嘗試突破此一限制，嘗試以電腦通訊系統設計的巨觀角度，建置出一模擬模式來表現以 NTCIP 為基礎的運輸通訊網路，並參考文獻上所利用之績效評估指標對發展出之模擬模式進行評估衡量，而本研究未探討到通訊系統的容量問題，不同通訊需求則以不同的傳輸頻率以茲區別，也就是說本研究的所產生的事件只具有時間單一維度，因此於績效評估指標則只考量系統平均延滯時間及等後列長度，以用來進一步驗證本研究所提出之模式的正確性及代表性。



# 第三章 模式構建

## 3.1 資料通訊網路架構

NTCIP 既由多種通訊協定組合而成，讓資料經由通訊網路傳遞至終端設備，以達到控制中心與設備互相溝通訊息的目的，其運作的過程必仍遵循既定的資料通訊網路架構，本研究的所欲建立之通訊模擬模式也據以此概念發展而來，以下就傳統資料通訊網路傳輸過程做一說明。

就兩電腦設備欲相互進行資料交換的工作時，首先兩電腦之間必須有網路或直接連線之資料路徑，稱之為通訊網路，有了通訊網路的聯結之後，兩溝通電腦之間仍須完成下列事項：

1. 來源系統必須啟動直接連線的通訊路徑或是通知通訊網路所欲傳送之目標系統的辨識資料。
2. 來源系統必須確定目標系統已經準備好可以接收資料。
3. 在來源系統上之檔案傳輸應用程式必須確定目標系統上之檔案管理或接收程式已準備好接收來源系統所欲傳輸的資料項目。
4. 若兩系統所使用的傳輸資料格式不同則必須進行轉換的工作，或是必須訂定的傳輸格式。

我們可以看出兩電腦間在傳遞資料時，必須要有高度的合作才能完成傳遞資料溝通的工作，而電腦間為了共同的作業而進行之資訊交換作業過程，一般稱之為電腦通訊(computer communication)，而交換作業由多部電腦或終端設備透過通訊網路進行時，所有的電腦設備即形成一個電腦網路(computer network)。而在實際應用中，資料通訊的傳輸過程是由應用程式、電腦及網路三者所組成，其中電腦利用網路相互連接，而電腦中之應用程式則利用通訊協定完成資料的交換，因此，整個通訊的作業過程可以分成三層次(layer)，NTCIP 所採用的層級分類乃據以此觀念發展而來，其架構如圖 3.1-1 所示。

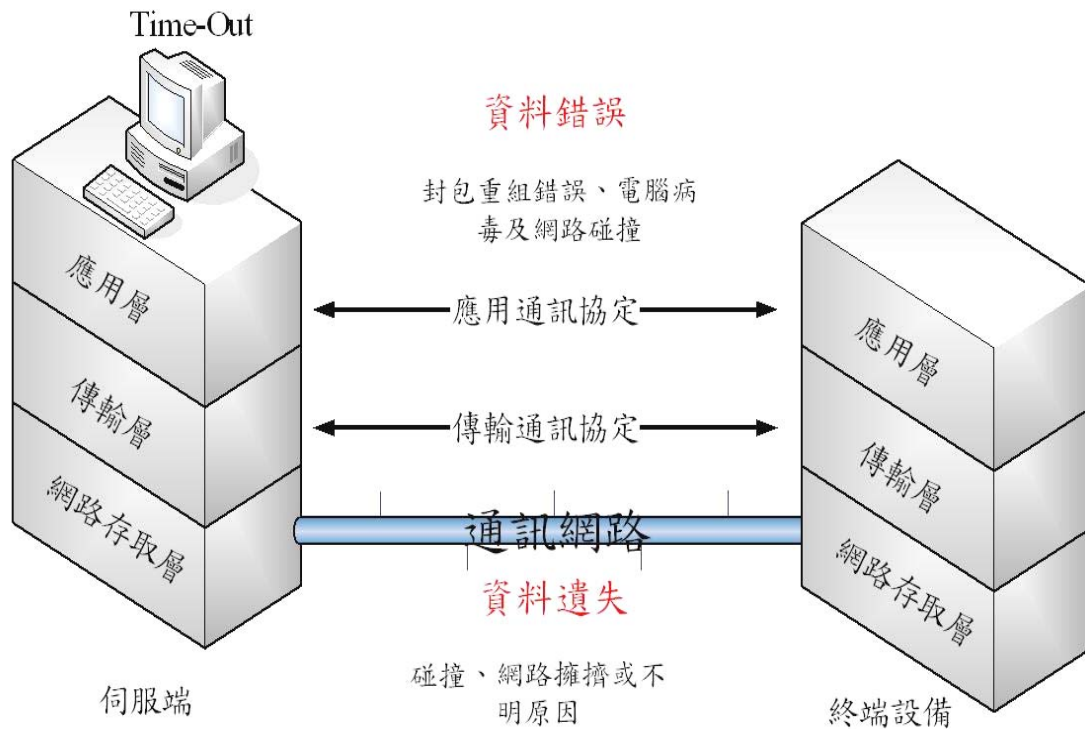


圖 3.1-1 資料通訊網路架構

首先就電腦中的三個層級所負責的工作內容做一說明。網路存取層(network access layer)負責電腦與所連接之通訊網路間資料的交換工作。送出資料之電腦必須提供目標電腦之位址給通訊網路，以使網路能將資料送達目標電腦，網路存取層獨立於上方之其他通訊層級，採用如此區分方式，其上方的其他通訊軟體便不需要所採用之網路規格，而能正常的進行資料傳輸作業。傳輸層(transport layer)則負責確保資料能被可靠的交換，亦即此層提供了一些資料可靠性的運作機制，以保護所欲傳輸的資料內容能夠依順序且完整的到達目標電腦。最後，應用層(application layer)則是含有支援各種使用者應用程式的邏輯功能，提供使用者對網路環境的存取或資訊取的服務。

而不同的電腦上皆具有此三層級之架構，兩電腦各層之間的溝通則需利用共同的語言，亦即通訊協定，此為一組規則或是共同的協議，以用來管理雙方之資料交換作用，其中包含了雙方溝通時所必須遵照的共同格式或是控制碼，以及傳輸雙方所必須遵循的傳遞程序，而欲傳輸的資料則被包裝成封包(package)的形

式，每一層協定皆有規定封包的規格或切割方式，包裝完成後則由來源電腦出發經由通訊網路前往目標電腦。

封包在傳遞至目標電腦的過程中，並不是完全順利毫無錯誤的抵達目的地，在過程中因為封包重組的順序錯誤、電腦病毒侵入網路作用或封包於通訊網路內發生碰撞的情形，此時的資料封包已與從來源電腦發出的原封包內容所含有的資訊不同，此情形便稱之為資料錯誤，此種情形為當資料封包進入目標電腦後，藉由一些檢查的機制得知；另一種情形則為封包因碰撞、通訊網路擁擠或不明的原因，使得原來的資料封包從通訊網路上遺失，無法傳遞至目標電腦進行資料的溝通工作，此狀況稱之為資料遺失。當上述兩種情形發生時，我們必須提出一個應對的機制，就電腦通訊系統設計角度而言，Time-Out 機制的存在此時就顯得極為重要。

Time-Out 機制啟動的時機有二，當資料封包於通訊網路上發生資料錯誤或資料遺失的情形，表示來源電腦所傳出的資料無法順利傳遞至目標電腦或是資料無法正確被解讀，此時 Time-Out 機制就必須啟動，於 Time-Out 機制所設定之時間內來源電腦若無法得到目標電腦所傳回的確認訊息，就必須通知來源電腦重新發送該筆資料，以確保所欲傳送的資料能正確且順利的傳達給目標電腦，達到溝通資訊的目的；另一啟動時機為，當資料封包從來源電腦出發時，通訊網路或目標電腦正忙碌於處理資料或是擁擠，該筆資料便會進行等候以待處理，但這個時間能夠毫無限制嗎？當然不行，所以此時 Time-Out 機制便會啟動，該筆資料等待處理的時間過久，導致來源電腦遲遲無法收到目標電腦的確認訊息，此時 Time-Out 機制便會通知來源電腦重新發送該筆資料，以期該筆資料封包能夠再次到達目標電腦處理，並且能完整且正確的完成資料傳輸的過程。

NTCIP-based 的電腦通訊網路基本上遵循此一運作架構，再加以 NTCIP 為交通所設計之資訊層及實體層，如此便形成了本研究之基本模擬架構，詳細之模式於後說明之。

## 3.2 分散式交通控制系統架構

首先先針對目前我國都市地區發展中的運輸通訊網路架構作一說明，並介紹其通訊網路系統架構，以供後續模擬模式建立之參考依據，並將 NTCIP 的分層系統架構融入當中，構建出符合我國都市地區智慧型運輸系統之系統架構且滿足 NTCIP 協定架構的通訊網路模擬模式。

我國都市地區目前所發展的通訊網路架構，大致皆依循交通部運輸研究所頒布訂定之『電腦化交通號誌控制系統—通訊系統與通訊協定』，再加以 NTCIP 內所定義可支援之路側設備項目，並參酌國內智慧型運輸系統的發展趨勢，我們可以發現在我國都市地區目前所發展的研究計畫內，多屬於先進交通管理系統 (Advanced Traffic Management System, ATMS)，其支援設備包括車輛偵測器、號誌化路口及 CCTV 等，先進用路人資訊系統 (Advanced Traveler Information System, ATIS)，其支援設備包括可變資訊標誌，先進大眾運輸系統 (Advanced Public Transportation System, APTS)，其支援設備包括智慧型公車站牌，其三大子系統之通訊網路架構基本上可分類為兩大類：『中央式控制系統架構』及『分散式控制系統架構』。

所謂中央式控制系統架構為，所有設備皆直接與控制中心作連線，且由控制中心直接發送命令至設備端，其連接採點對點連接形式，此類型之系統架構為目前我國通訊網路最常採用的形式，不過此次並不在本研究討論範圍之內。

所謂分散式控制系統為依系統控制功能的需要，將直接相關連的控制系統組成一個獨立的控制單元，並且能透過通訊網路與其他間接相關連的控制系統作資料分享，就工業控制系統而言，分散式控制系統是一個開放的、整合性的且分散式專為高速自動控制而設計的系統架構，目前已成為自動控制系統上的主流技術。分散式系統架構具有多項優點：

1. 資源分享：分散式系統內的各個運作元件，彼此可以分享對方的資源，如檔案系統、資料庫系統或高速處理的硬體等。
2. 加速計算：可將欲處理的資訊分成多個元件執行，如此可加快處理的速度與



資料處理的時間。

3. 可信度高：於分散式系統中若有某一元件發生故障的情形，並不會使整個資料通訊網路運作癱瘓。
4. 通訊選擇多：經由網路聯通的各個元件交換訊息可透過多種通訊協定，如 E-mail 或 FTP 等。

分散式的控制系統為三層式的設計，也就是在來源電腦與目標電腦中間，插入一個中介層(middle layer)，可將其視為處理邏輯層，負責處理來源電腦所欲傳輸的資料封包進行邏輯操作，分配給其下的目標電腦。對目標電腦而言，三層式的架構可以省去同時面對許多種不同來源電腦的窘境，目標電腦可以用一致的程式介面與協定與中介層溝通，來源電腦的異質性則被中介層所隱藏住。對來源電腦而言，分散式的架構可免除直接面對目標電腦的情形，而中介層的存在可以讓一群來源電腦同時提供服務，而分散單一來源電腦的負擔。分散式控制系統的特點為來源電腦與中介層兩者間的通訊極為頻繁且通訊量大，兩者間的通訊時間會嚴重影響系統績效，因此本研究將著重在這兩者之間的通訊過程與資訊傳遞流程探討。



目前我國運輸網路之分散式控制系統架構為，部份路口設備係與區域控制器連線，再由區域控制器與控制中心連線。區域控制器可處理下轄路口之觸動、動態與全動態（適應性）時制運作控制計畫，而定時時制之運作則由控制中心直接管理號誌控制器之定時時制。區域控制器啟動特殊控制作業（指觸動、動態、全動態控制）後，在與中心正常連線的情況下，負責向中心回報下轄路口之運作狀況，區域控制器可下轄一個至多個設備，並可處理訊息轉傳與代傳之功能。圖 3.2-1 為我國交通分散式控制系統架構之示意圖。

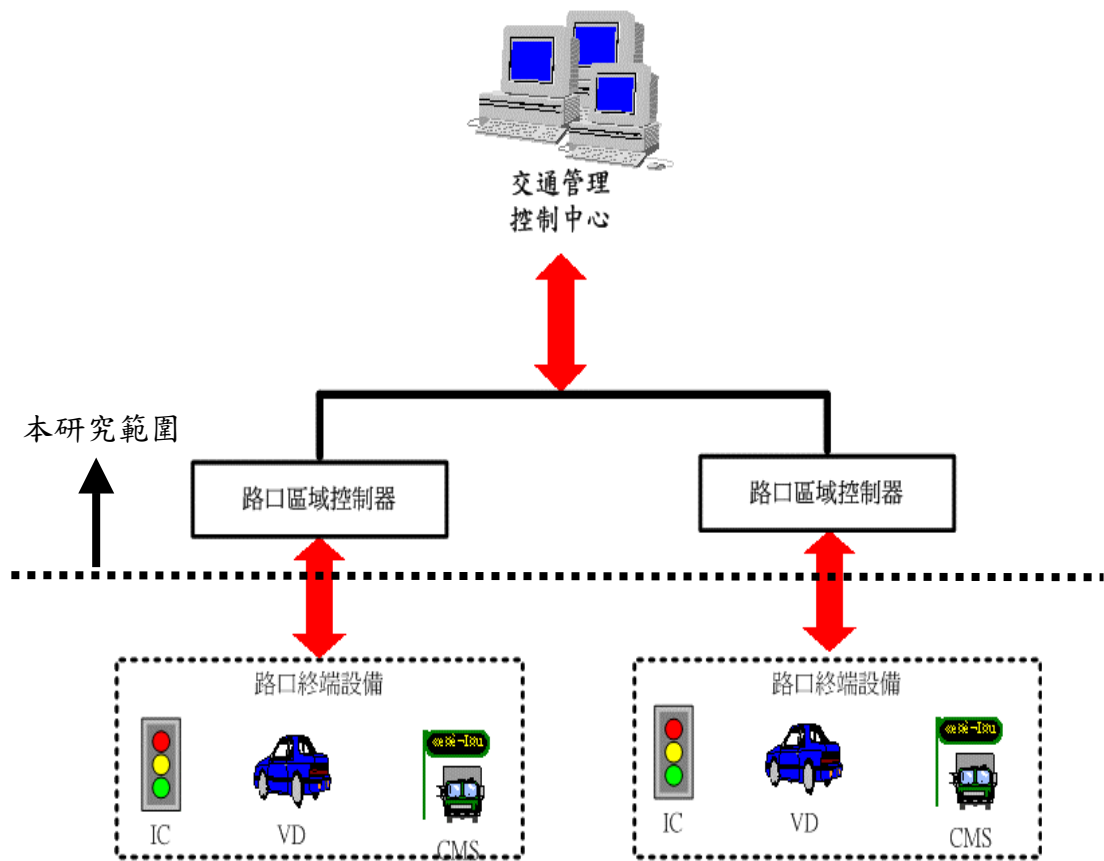


圖 3.1-1 分散式交通控制系統架構示意圖

### 3.3 NTCIP-based 通訊網路模擬模式

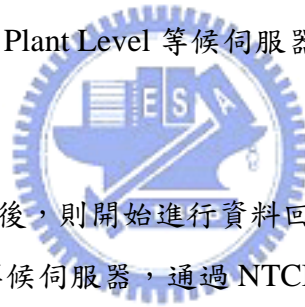
本研究所提出之 NTCIP-based 通訊網路模式乃由控制端伺服器、區域控制器及資料錯誤、遺失和 Time-Out 機制所共同組成，模式如圖 3.3-1 所示，以下就每個運作元件詳細說明之。

1. 控制端：依據 NTCIP 協定運作流程，於控制端部分我們設計了 5 個等候伺服器，分對應到 NTCIP 內之資訊層、應用層、傳輸層、子網路層及實體層，需求/事件由事件產生器出發，依序經過資訊層、應用層、傳輸層、子網路層及實體層進行封包的編譯工作，每層依其所設計功能的不同，而具有不同的等候伺服器處理平均時間及變異數，當事件離開實體層這個等候伺服器時，則是為該事件已離開控制端準備開始進行傳送。
2. 區域控制器：站在整個通訊網路系統的角度而言，區域控制器扮演的是訊息傳遞與收集的角色，而就電腦網路系統而言，區域控制器亦可視為一種受控制端控制之電子設備，因此取兩者觀念的集合，本研究將區域控制器設計成一個單獨之等候伺服器，以表示其訊息傳遞與收集的角色，並加入資料錯誤、遺失及 Time-Out 的判斷機制，以表示區域控制器亦具有電子設備的特性，該等候伺服器亦具有其平均處理時間與變異數。
3. Time-out 機制：如前所述，當資料在通訊網路上進行傳遞時，會因許多的因素而產生資料遺失及資料錯誤的情形發生，因此就一通訊網路系統設計而言，為確保控制端預發送的訊息能正確無誤的傳遞至設備端，必須設計一個機制來處理當資料錯誤及遺失的情形發生時，要求控制端重新發送該筆資料，此機制稱之為 Time-out。當上述控制端所發出之資料內發生資料遺失或錯誤的情形時，該筆資料必須進入 Time-out 等候伺服器等待處理，經過 Time-out 等候伺服器後，發生的錯誤及遺失的資料將會回到控制端的資訊層伺服器，重新進行資料傳送；另一情形則為



資料封包經過等候伺服器接受服務時，其處理時間會處記憶於系統中，若經過等候伺服器處理過後其時間超過 Time-Out 設計的等候時間，此時資料封包也需回到 Time-Out 等候伺服器，再回到控制端的資訊層伺服器重新發送。

茲就本模式中之資料流向搭配圖 3.3-1 作一說明。首先敘述為資料下傳 (down-link) 的部分，資料從控制端(1)產生後經過 NTCIP 5 層等候伺服器，經過 Plant Level 後等候伺服器時必須進行 Time-out(A)的判斷，以確定資料通過這些等候伺服器時的處理時間不會超過 Time-out 的時間限制，若是發生則進入 Time-out (2)，資料離開 Plant Level 等候伺服器後進入通訊網路傳輸階段；進入區域控制器端(3)前先進行判斷資料遺失(B)，若否進入區域控制器等候伺服器，若是則進入 Time-out (2)，重新傳送；通過區域控制器後進行資料錯誤(C)及 Time-out(D)判斷，接著進行資料遺失(E)的判斷，表示資料已離開區域控制器，若否資料進行回傳至控制端 Plant Level 等候伺服器，若是則進入 Time-out (2)，重新傳送。



資料離開區域控制器之後，則開始進行資料回傳 (up-link) 的部分，資料接著進入控制端 NTCIP 5 層等候伺服器，通過 NTCIP 5 層等候伺服器後，進行資料錯誤(F)判斷，若是則進入 Time-out (2)，若否，則進行最後一個 Time-out(G)的判斷，若是則進入 Time-out (2)，進行重新傳送的動作；若否，則離開系統代表完成訊息回送過程，如此便完成一完整事件之模擬過程，接著便離開本模擬系統。

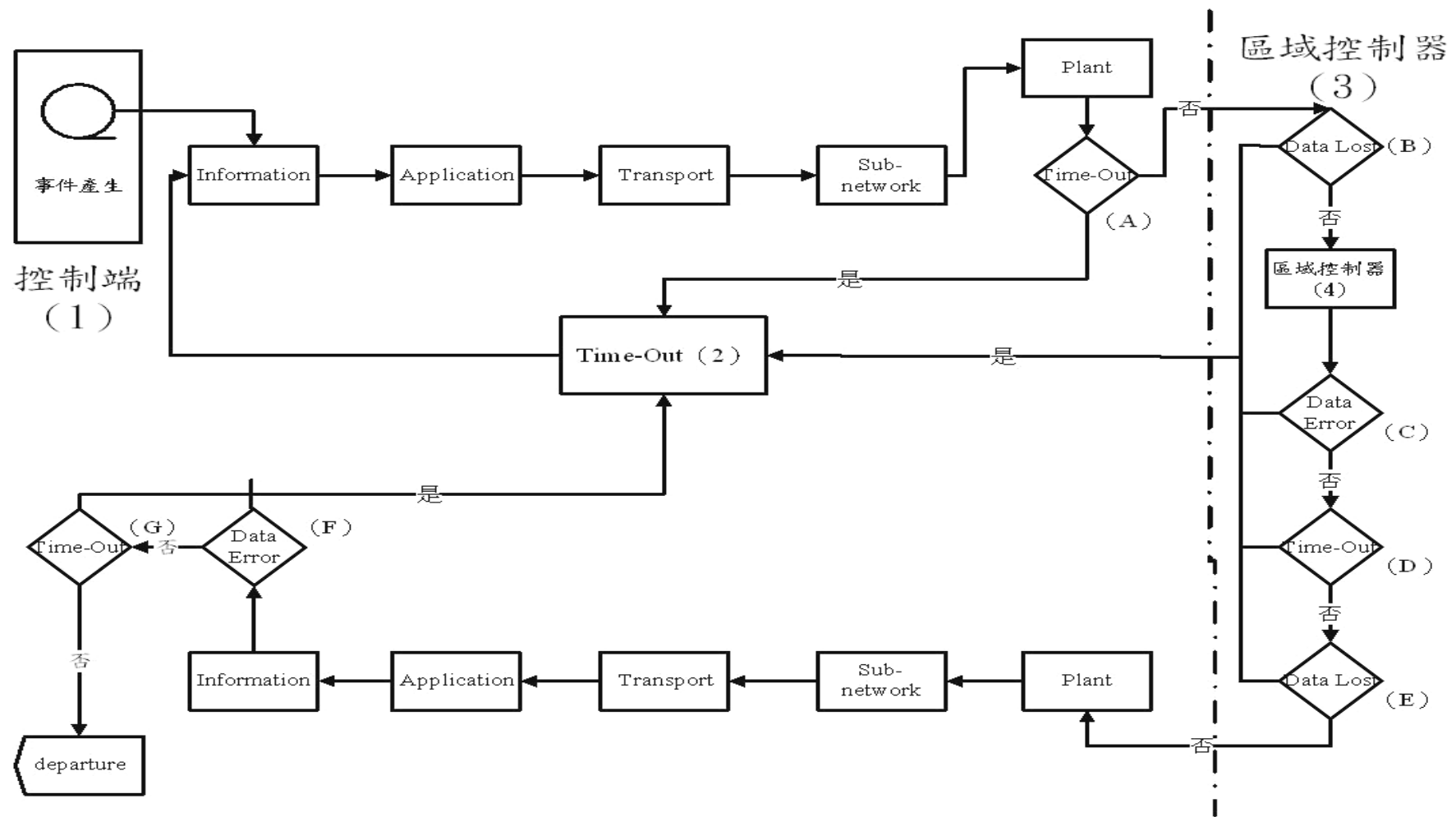


圖 3.3-1 NTCIP-Based 通訊網路模式

在控制端的需求/事件產生方面，依據現實交控系統的架構只具有單一控制中心，意即將三個子系統的資訊皆集中在同一個控制中心進行發送，本研究除遵照此一架構，設計一個事件產生器來產生符合三個子系統的不同訊息之外，另外也設計了另一類型的事件產生方式，即利用不同的三個事件產生器分別產生三個子系統的資料訊息，並經由數據實驗結果來比較兩種產生方式的不同，對整個通訊網路績效會產生的不同程度影響；和單一控制中心不同的是，三個子系統擁有各自的 NTCIP 五層伺服器與 Time-Out 處理機制，其他運作機制皆相同。圖 3.2-2 表示多重事件產生器之運作方式。

綜觀本研究所提出之 NTCIP-based 通訊網路模式，參照了資料通訊網路架構、NTCIP 通訊協定架構及我國都市地區分散式交通控制系統架構，以系統的巨觀角度切入，提出相對應之通訊網路模擬模式，既考量到通訊網路系統的整體架構，也不限於只探討特定通訊協定或介質存取技術的範圍，試圖突破前述相關研究的範疇，更符合實際通訊網路的實際運作情形，其績效評估結果更具有參考之價值。接下來章節將就本研究採用的測試參數及相關結果作一詳細說明。



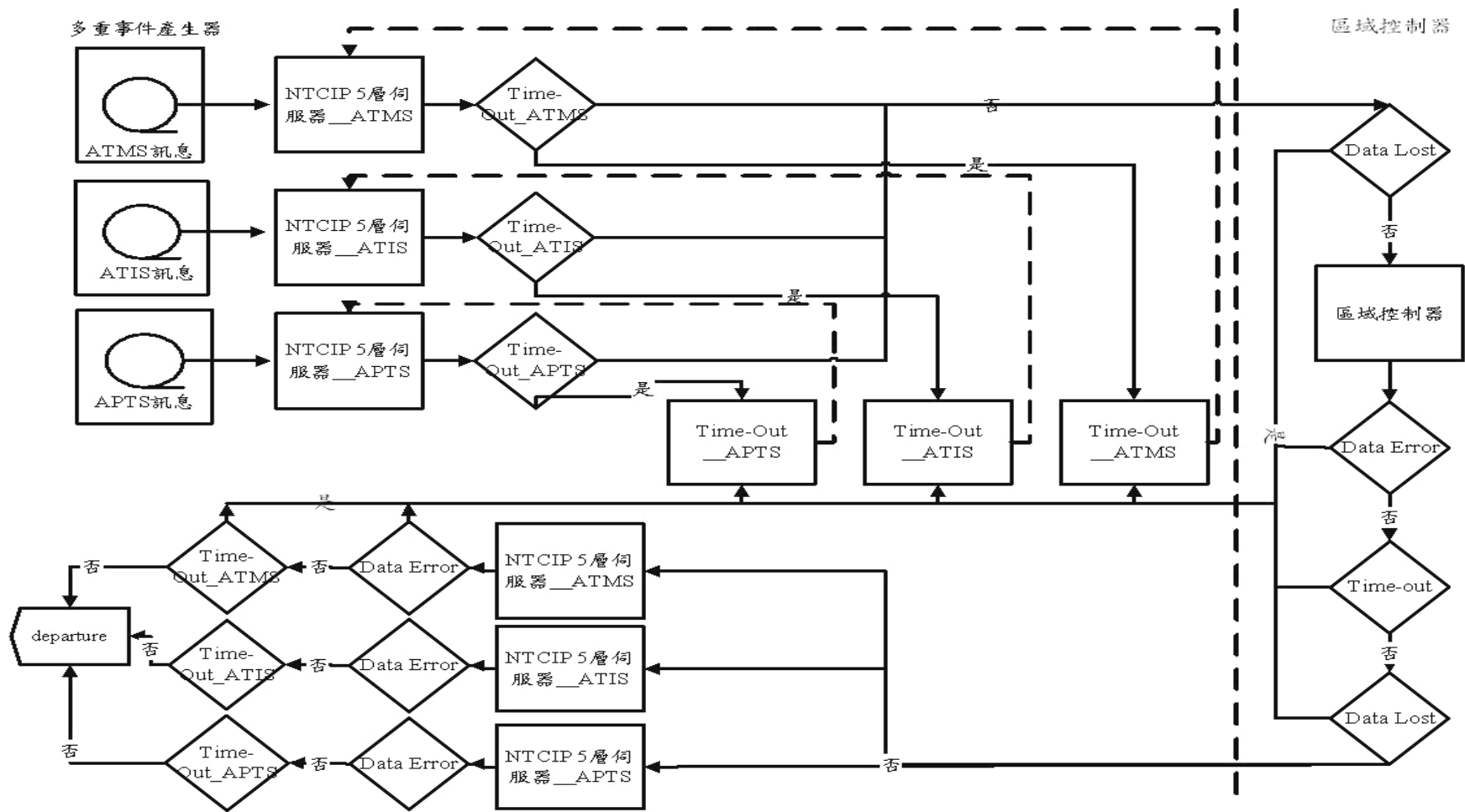


圖 3.3-2 多重事件產生器示意圖

## 第四章 數值實驗

承續上述章節所提出之模擬模式，本研究利用 Arena 模擬軟體進行數值實驗的驗證工作，以相關的實驗數據來說明本研究所提出之模擬模式的正確性，接著說明該些實驗數據所代表的含意及應如何解讀與應用，並進一步比較單一事件與多重事件產生器的數值實驗結果，說明此兩種不同設計對系統績效產生的影響。相關的參數設定及假設將於下文中詳述之。

### 4.1 模擬環境

#### 4.1.1 環境設定

有鑑於現實世界中不斷變動的交通需求，交通環境也時時在改變當中，本研究為使實驗環境更近似於現實交通狀況，將模擬的環境分為兩大類—尖峰(peak)小時與非尖峰(off-peak)小時，兩者間的最大差異為事件需求產生的頻率不同，就尖峰時刻而言，其時段多位於上下班時間或假日時節，此時道路上的車流量增大，相關交通設施的負荷量增加，所發生的交通狀況也增多，因此藉由道路終端設備取得或發佈相關道路資訊的頻率自然必須增加，讓交通單位能更完全的掌握道路即時資訊，以進一步針對目前的交通狀況採取適當的交通管理手段，改善尖峰時刻的交通設施運作效率及提供用路者更完整的即時資訊，因此本研究認為區分出尖峰小時與非尖峰小時分別進行實驗實有其必要性；在數值實驗中以事件產生器產生的頻率不同來設定兩種交通狀況，我們設定尖峰小時的事件產生頻率為非尖峰小時的 2 倍。

單一交通管理中心一直是目前我國都市地區交通資訊中心的設置形式，亦即所有的交通資訊皆匯集到一個管理中心，並統一進行管理的命令發佈或控制，但是多變的交通狀況不僅對交通管理人員產生極大的處理壓力，同樣的也對資料通訊網路有著極大的負擔；本研究於數值實驗時利用單一與多重事件產生器的元件設計技巧，依據 ATMS、ATIS、APTS 三個子系統的終端設備需求，分別設計了

單一交通管理中心與三交通管理中心的模擬機制，針對通訊網路系統績效的部分，透過數值實驗的模擬數據加以比較說明，可供相關單位於設計都市地區交通管理中心時參考之用。

#### 4.1.2 參數設定

模擬參數的設定實為本研究所面對的最大困擾，目前並無文獻針對 NTCIP 的通訊協定提出深入的探討，對於各層級協定的相關參數描述更是缺如，因此本研究主要參照連紀舜君碩士論文內通訊系統模擬的參數設定當作基礎，並參酌 NTCIP Guide 相關實作參數設定，交通部運輸研究所研究計畫--「國家智慧型運輸系統標準通訊協定(NTCIP)整合式通訊平台之研究、開發與實作(1)」內容，及新竹市交通局交通工程與管理課、綜合規劃課訪談資料，作為此次數值實驗之參數來源，但需強調的是本研究並無法證實該些數據的正確性，因此我們採用的測試方式為，調整一些等候伺服器的參數，做出系統績效的變化趨勢，如此便能給相關人員更具有彈性的參考依據，相關的電腦系統設計時則可參照本研究的對照圖表，依據不同的數據標準可預測該通訊系統網路的系統績效，不過對於該如何達到這些數據標準，本研究將不會論述到此相關內容，但會於最後研究建議中提出可行的檢查機制。以下就本研究數值實驗之參數分別作一說明。

1. 事件產生：本研究共討論到 3 個子系統的 4 個終端設備傳輸需求，分別是 ATMS—偵測器、號誌化路口，ATIS—可變資訊標誌，APTS—智慧型公車站牌，相關參數如下表所示：

表 4.1-1 事件產生器參數表

	ATMS		ATIS	APTS
	偵測器	號誌化路口	可變資訊標誌	智慧型公車站牌

數量		10	267	10	10
傳輸 頻率	尖峰	1 分鐘	1 分鐘	30 分鐘	30 秒
	非尖峰	2 分鐘	2 分鐘	60 分鐘	60 秒
事件產生服從 之機率分配		卜瓦松分配 (Poisson)	卜瓦松分配 (Poisson)	卜瓦松分配 (Poisson)	卜瓦松分配 (Poisson)

2. 等候伺服器：模擬模式中共有 3 大類等候伺服器，分別為控制端等候伺服器、區域控制器等候伺服器及 Time-Out 等候伺服器，而控制端等候伺服器處理傳輸與回傳訊息的處理時間參數則有所不同，相關參數設定如表 4.1-2 所示：

表 4.1-2 等候伺服器參數表

	控制端等候伺服器	區域控制器等候 伺服器	Time-Out 等候伺 服器
處理時間	傳輸訊息：10ms、 50ms、100ms、500ms、 1000ms、5000ms、 10000ms、50000ms  回傳訊息：為傳輸訊息 的 3/4 倍	10ms、50ms、 100ms、500ms、 1000ms、 5000ms、 10000ms、 50000ms	10ms、50ms、 100ms、500ms、 1000ms、 5000ms、 10000ms、 50000ms

服務時間服從之分配	指數分配(Exponential)	指數分配(Exponential)	指數分配(Exponential)
等候列長度	無限	無限	無限
事件處理原則	先進先出 (FIFO)	先進先出(FIFO)	先進先出 (FIFO)

3. 資料遺失率：事件於系統中傳遞時會發生遺失的百分比，設定為 5%。
4. 資料錯誤率：事件於系統中傳遞時會發生錯誤的百分比，設定為 5%。
5. Time-Out 長度：若事件經處理時間超過此一設定值必須重新發送，設定為 30 秒鐘。
6. 模擬停止條件：當系統每模擬實際交通狀況 1 小時，表模擬完成一次。
7. 績效衡量指標：系統平均延滯時間與系統平均等候列長度。



## 4.2 數值實驗結果

### 4.2.1 模式合理性

由上述之參數設定可以發現，本研究事件知道到達時間小於等候伺服器的處理時間，根據等候理論本研究所提出模擬模式結果應會呈現系統穩定狀態，即系統平均延滯時間與系統平均等候列長度會趨向穩定，此處分別以單中心尖峰時刻(等候伺服器處理時間 10ms)及三中心尖峰時刻(等候伺服器處理時間 10ms)為實驗範例，其結果如圖 4.1-1~4.1-4 所示。由圖中可看出不論是單中心或多中心的模擬模式，其系統平均延滯時間與系統平均等候列長度皆呈現穩定狀態，可證實本研究所建立之模擬模式符合等候理論，並說明模式的合理性，可進行接下來的



數值實驗分析。(橫軸為模擬次數，縱軸單位為秒)

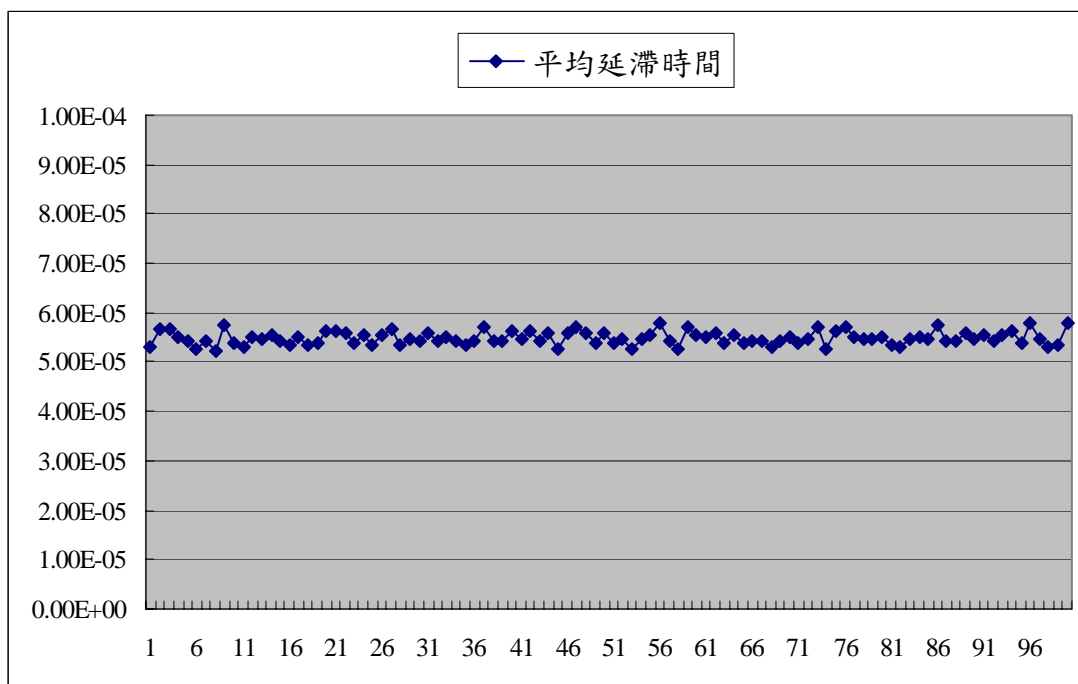


圖 4.2-1 單中心尖峰系統平均延滯時間圖

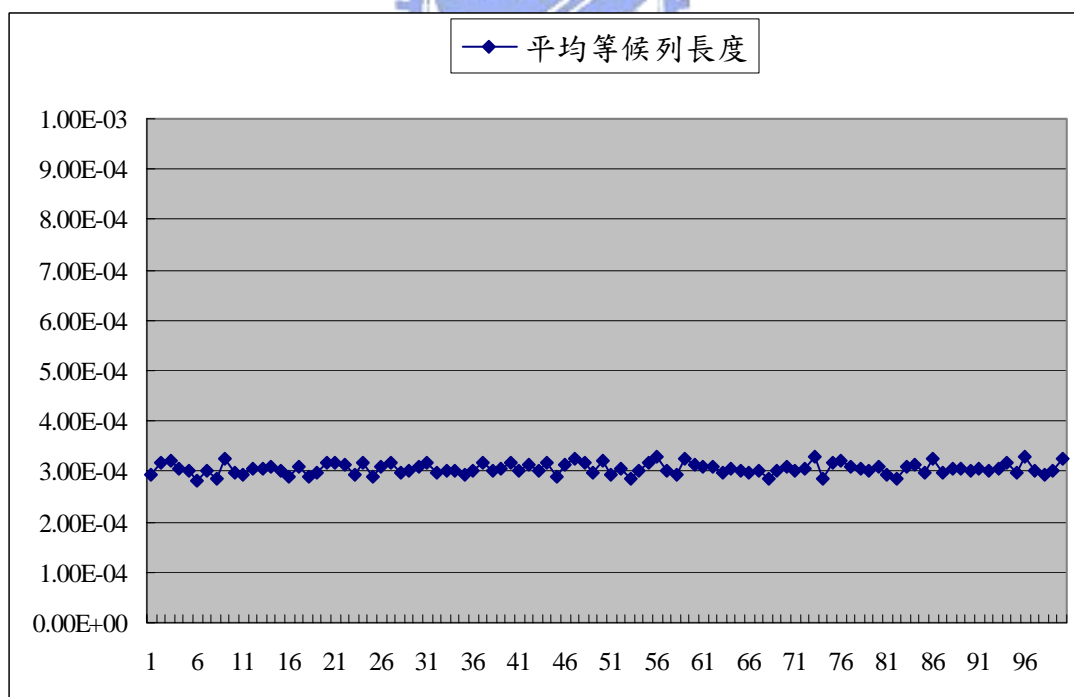


圖 4.2-2 單中心尖峰系統平均等候列長度圖

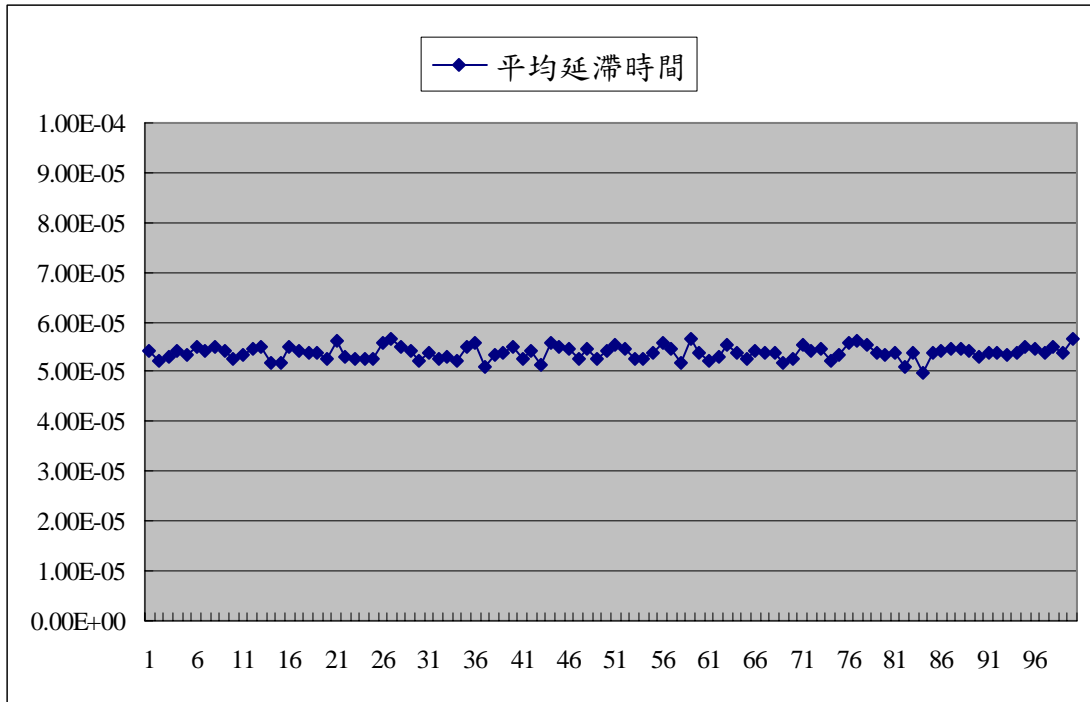


圖 4.2-3 三中心尖峰系統平均延滯時間圖

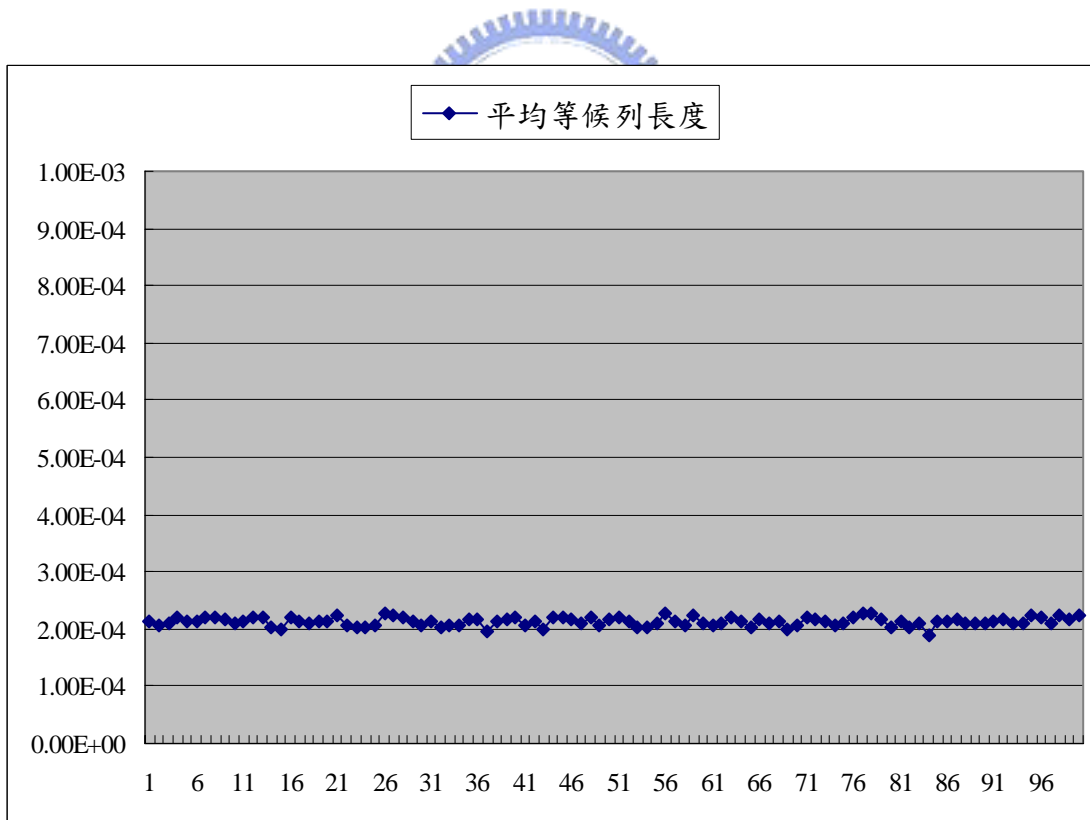


圖 4.2-4 三中心尖峰系統平均等候列長度圖

## 4.2.2 單中心模擬結果

單中心的模擬情況為，所有的傳輸與接收訊息的資料於控制端時皆由單一等候伺服器來處理，系統中設定 1 個區域控制器等候伺服器及 1 個 Time-Out 等候列伺服器。如前所述，數值實驗進行時，我們同時變動控制端、區域控制器及 Time-Out 等候伺服器的處理時間，數值由 10ms~50000ms，模擬的情況也區分為尖峰小時與非尖峰小時；依照文獻所述，系統平均等候時間與等候列長度隨著等候伺服器的處理時間增加，其對應的結果將呈現指數增加趨勢，而本研究的單中心模擬結果隨著等候列伺服器的處理時間增加其趨勢亦呈現指數分配，和文獻相吻合。

判斷係數(coefficient of determination,  $R^2$ )係用來衡量迴歸方程式的配適度，主要的目的為說明根據模式模擬數據所推估出的迴歸方程式其解釋的程度高低，判斷係數值域介於 0~1 之間，若其數值越大，表示模式解釋能力越強，其配適度也較高。單中心模擬數據之趨勢圖如 4.2-5~4.2-8 所示。由其中可看出根據本研究單中心模擬數據所計算出之判斷係數為 0.99 以上，顯現模式解釋能力頗高，其所推估之迴歸方程式足以作為相關單位或人員於預測 NTCIP-based 通訊網路系統績效參考之用，尤其對於離峰狀況，其判斷係數值又較尖峰時之值為高，顯現於離峰時本研究之模擬模式解釋能力更高。(橫軸表伺服器處理時間，平均延滯時間圖之縱軸單位為秒，平均等候列長度之縱軸表事件數)

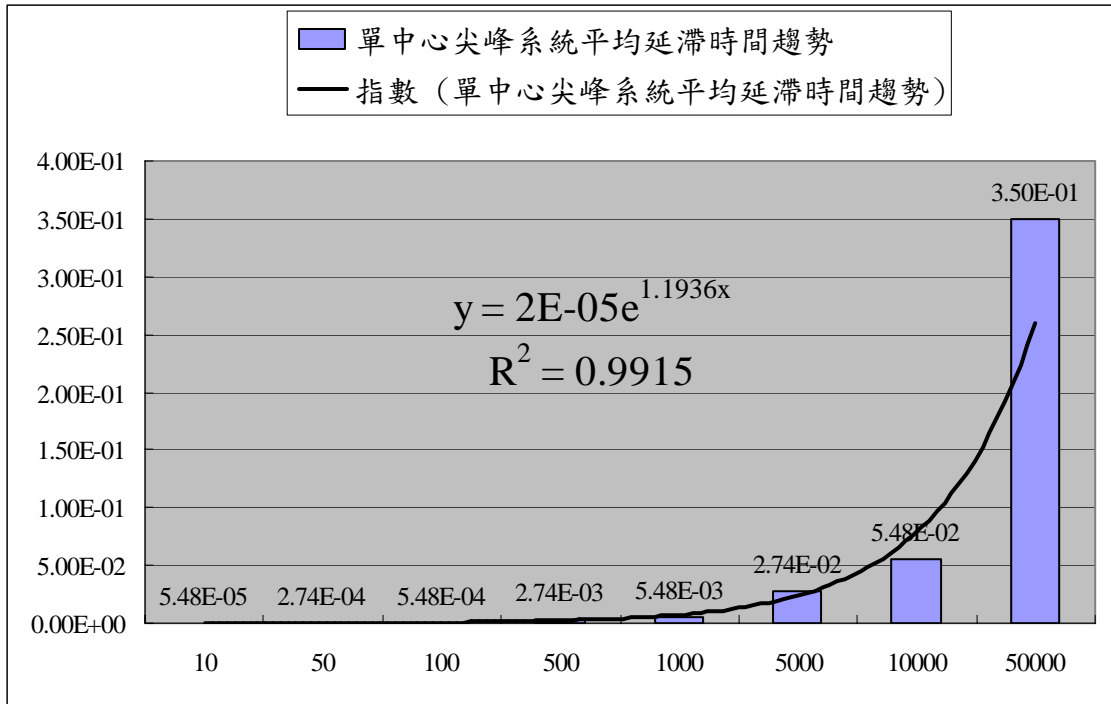


圖 4.2-5 單中心尖峰系統平均延滯時間趨勢圖

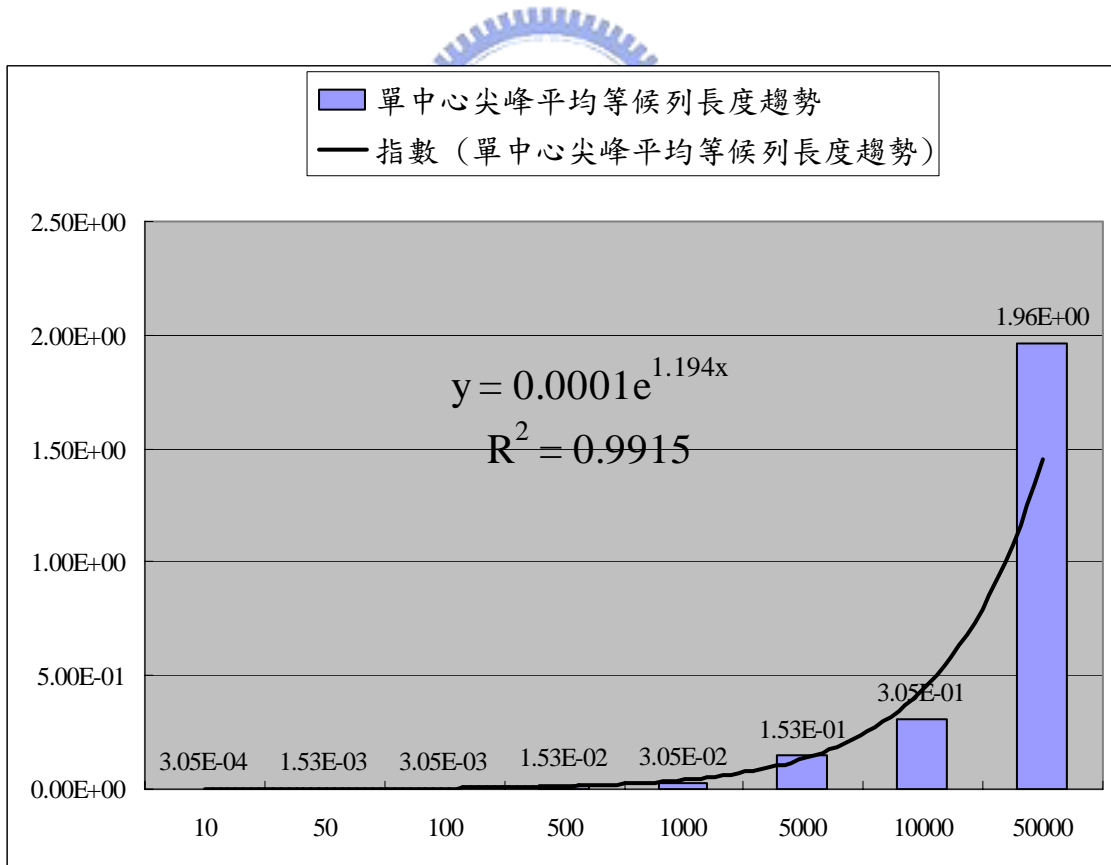


圖 4.2-6 單中心尖峰系統平均等候列長度趨勢圖

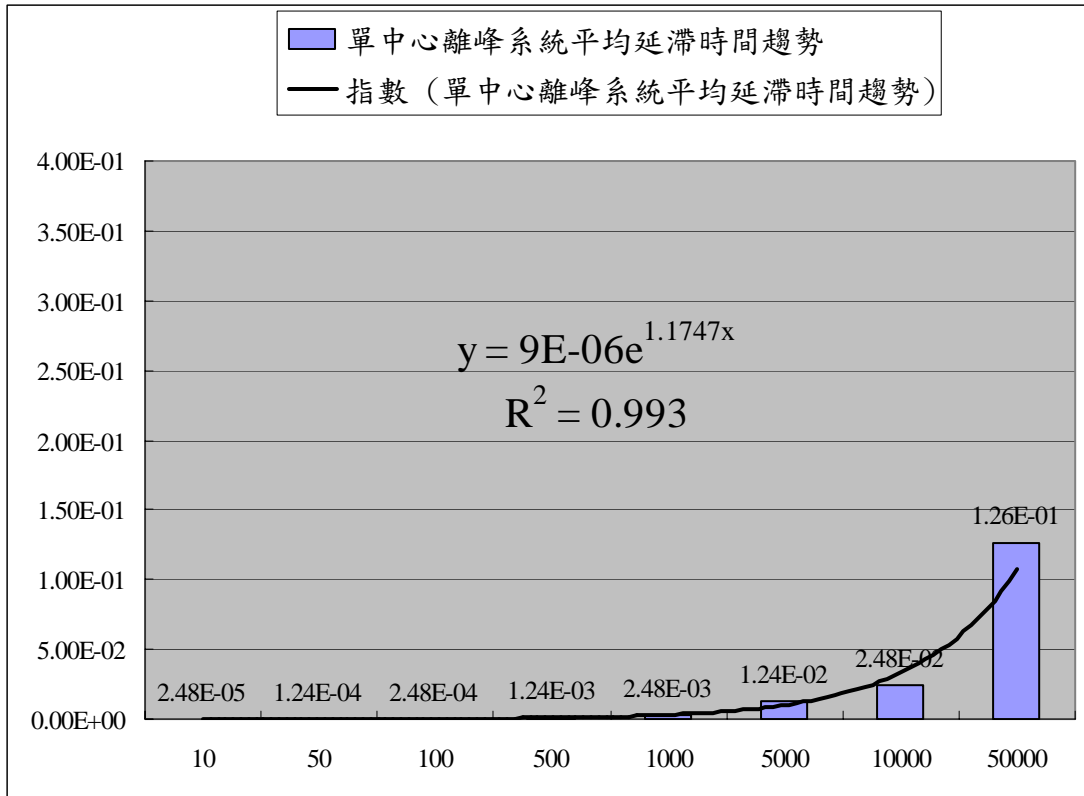


圖 4.2-7 單中心離峰系統平均延滯時間趨勢圖

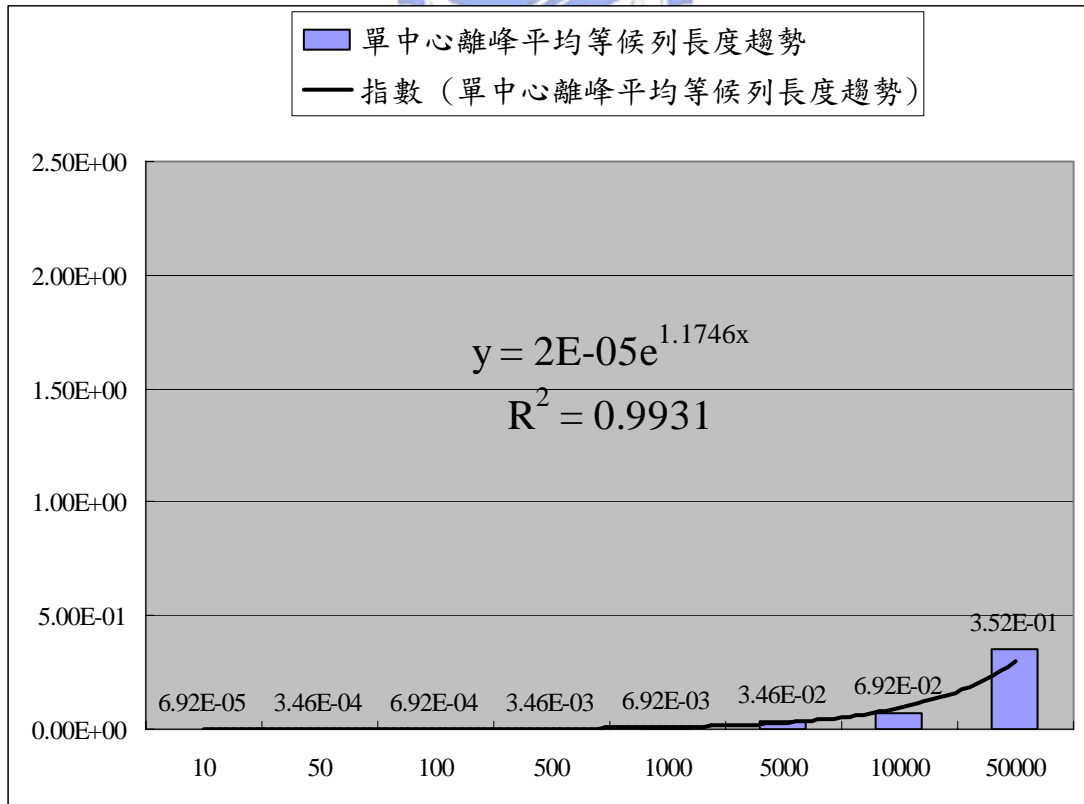


圖 4.2-8 單中心離峰系統平均等候列長度趨勢圖

### 4.2.3 三中心模擬結果

三中心的模擬情況為，對應 3 個子系統我們於控制端設計了 3 個等候伺服器，分別負責各子系統內資料的傳輸與接收處理，Time-Out 等候伺服器也設計了 3 個，分別處理各子系統之 Time-Out 資料，區域控制器等候伺服器仍只有 1 個。如同單中心模擬，我們也同時調整三大類等候伺服器的處理時間，數值由 10ms~50000ms，模擬情況亦區分為尖峰小時與非尖峰小時；觀察其模擬結果，不論系統平均處理時間與系統平均等候列長度，亦呈現指數增加趨勢，和文獻所述內容吻合。至於根據模擬模式實驗數據所推估之迴歸方程式，不論尖峰或離峰的情況，其值皆在 0.99 之上，顯現三中心的模擬模式亦具有頗高的解釋能力，其所歸估出之迴歸方程式亦具有參考之價值，可作為預測 NTCIP-based 通訊網路系統績效之用，尤其對於離峰狀況，其判斷係數值又較尖峰時之值為高，顯現於離峰時本研究之模擬模式解釋能力更高。三中心模擬數據之趨勢圖如 4.2-9~4.2-12 所示。

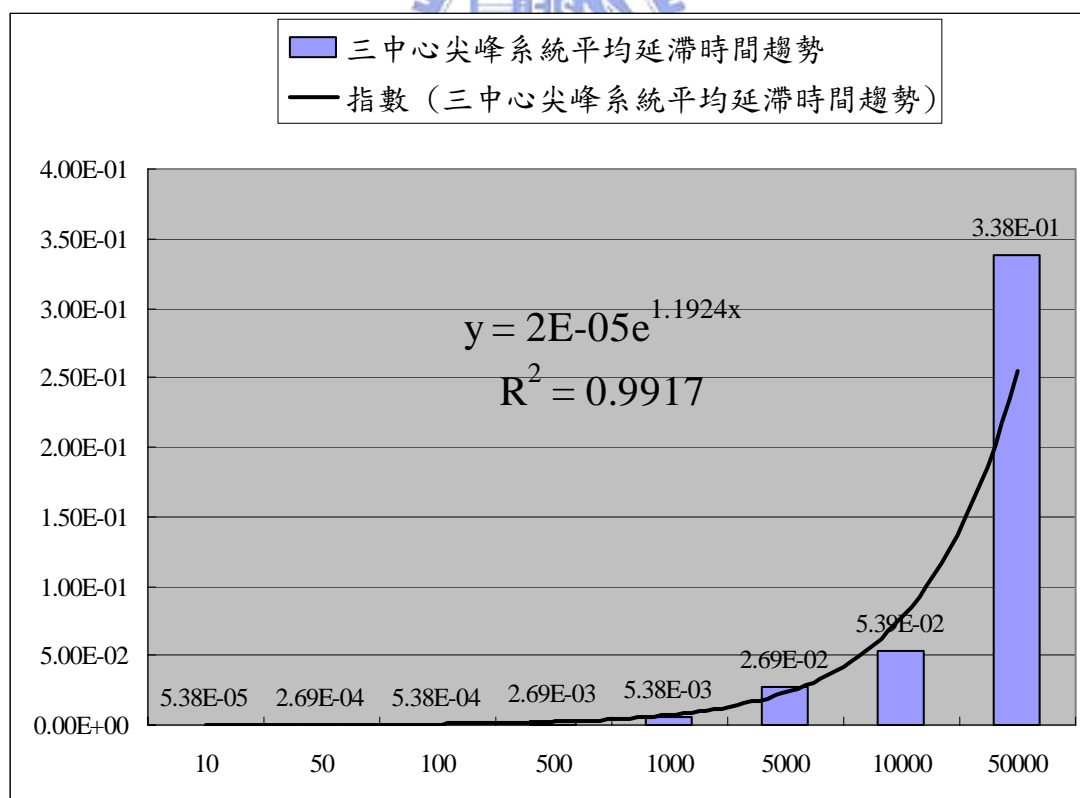


圖 4.2-9 三中心尖峰系統平均延滯時間趨勢圖

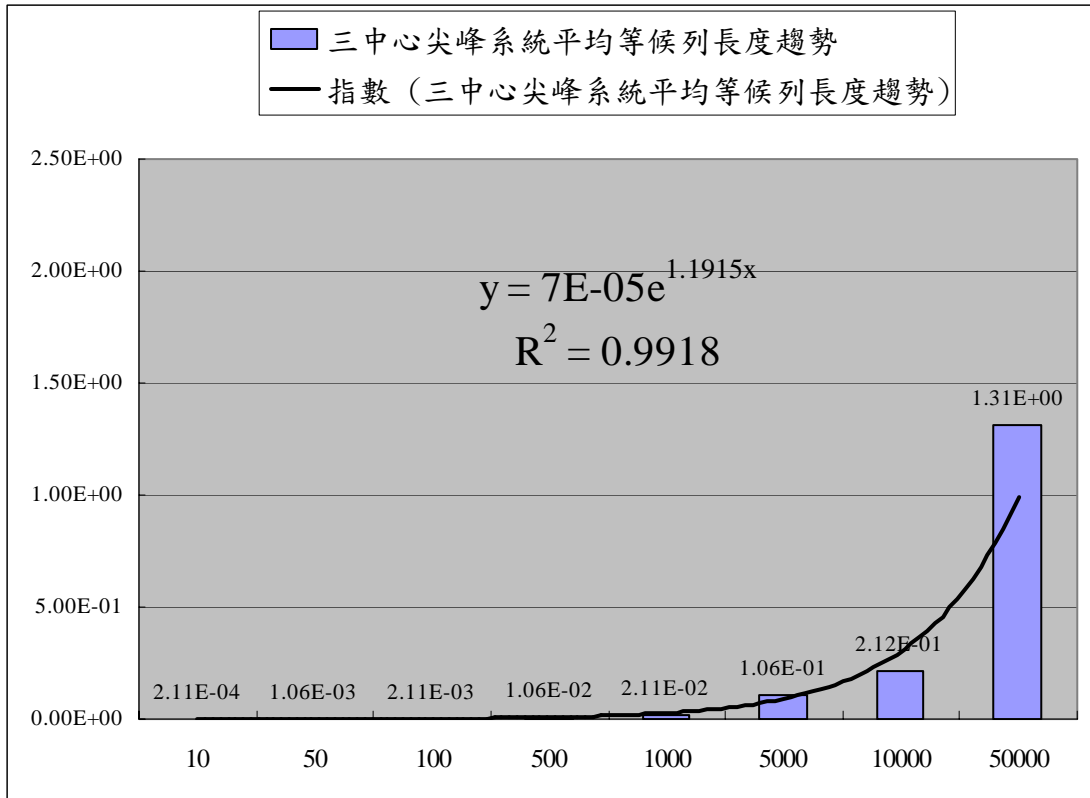


圖 4.2-10 三中心尖峰系統平均等候列長度趨勢圖

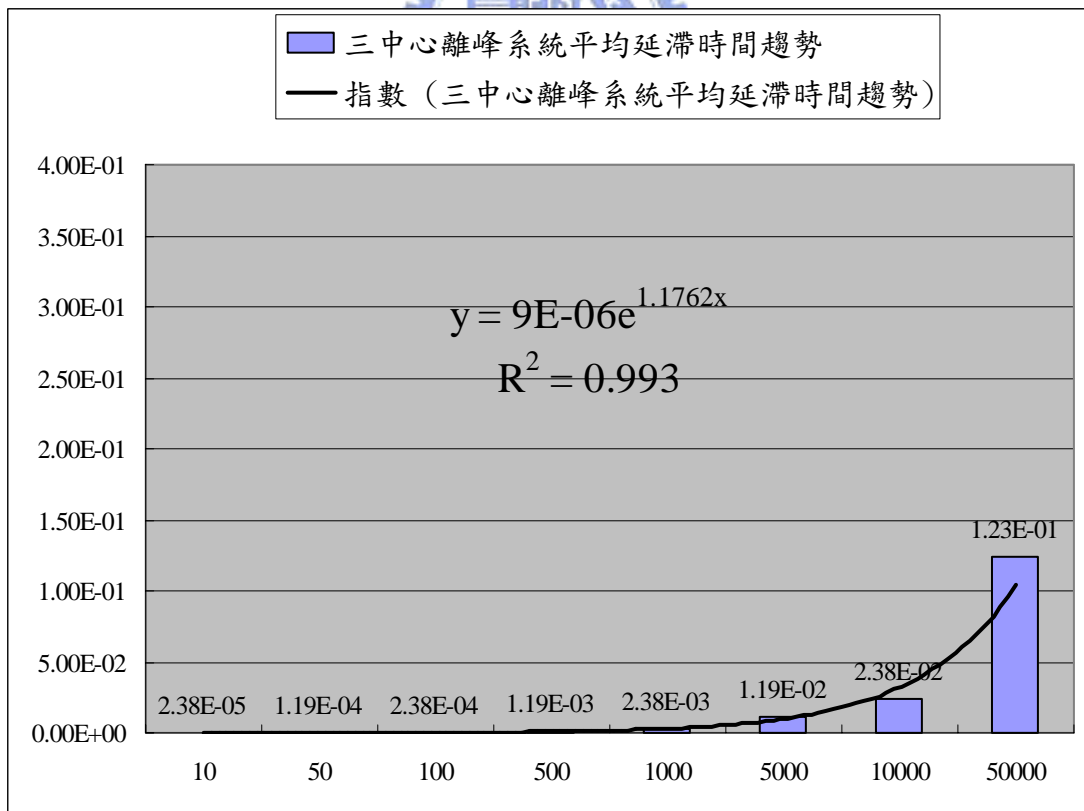


圖 4.2-11 三中心離峰系統平均延滯時間趨勢圖



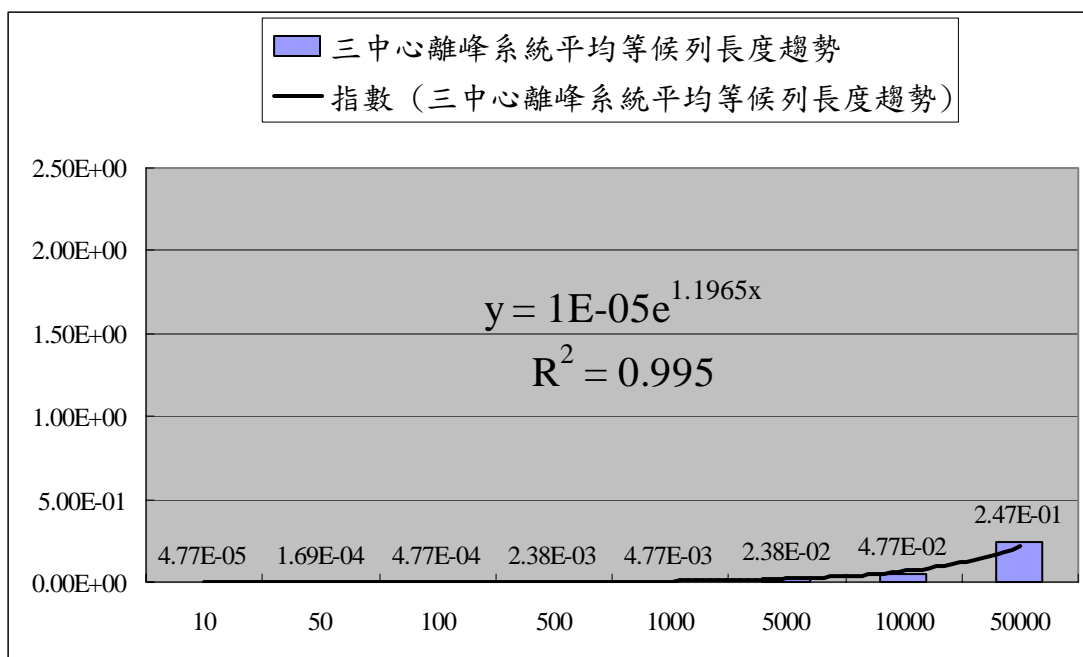


圖 4.2-12 三中心離峰系統平均等候列長度趨勢圖

### 4.3 小結



綜合上述單中心與三中心的模擬結果，可得到下列幾項訊息：

1. 本研究所提出之模擬模式，於等候伺服器處理時間增加時其指標趨勢呈現指數增加，於文獻中所述之結論相符，更進一步加強說明本研究所提模式之合理性。
2. 判斷係數於單中心或三中心所呈現的數值皆大於 0.99，表示在兩種情況下本研究所提出之模擬模式解釋能力良好，其數據所形成之迴歸方程式配適度頗高，數值實驗結果甚為理想，故本模式整體架構可作為相關單位或人員於預測 NTCIP-based 通訊網路系統績效時參考之用。以下並就數值實驗所得之迴歸方程式進行顯著性檢定，茲以說明本模式所獲得之結果具有統計上的代表性；我們使用 t 檢定來說明本研究所獲得之結果，相關結果如表 4.3-1 所示。由表中可窺知，本研究所建立之模擬模式所獲得之結果，包含單中心、三中心在尖峰小時及非尖峰小時情況下，等候伺服器的處理時間和系統績效指標兩者間具有顯著之指數關係，再加以迴歸方程式之判斷係數值皆大於 0.99，

其結果應可供相關單位於分析或預測 NTCIP-based 通訊網路績效時參考之用。(顯著水準  $\alpha = 0.05$ ，自由度為 6，雙尾檢定 t 值為 2.447，若大於此值則接受等候伺服器的處理時間和系統績效指標兩者間具有顯著之指數關係)

表 4.3-1 t 檢定結果

	系統平均延滯時間				系統平均等候列長度			
	單中心		三中心		單中心		三中心	
	尖峰	非尖峰	尖峰	非尖峰	尖峰	非尖峰	尖峰	非尖峰
t 值	53.5507 9	609.97 37	57.278 03	323.816 6	52.6917 3	666.454 3	60.1733 6	329.873 3
結果	等候伺服器的處理時間和系統平均延滯時間兩者間具有顯著之指數關係		等候伺服器的處理時間和系統平均延滯時間兩者間具有顯著之指數關係		等候伺服器的處理時間和系統平均等候列長度兩者間具有顯著之指數關係		等候伺服器的處理時間和系統平均等候列長度兩者間具有顯著之指數關係	

- 不論單中心或三中心的模擬模式，就尖峰小時和非尖峰小時兩種情況，我們可以發現非尖峰小時的系統平均延滯時間與系統等候列平均長度，其判斷係數值皆高於尖峰小時，顯現本研究所提出之模擬模式於非尖峰小時的情況下具有較高的解釋能力。
- 就單中心與三中心的比較而言，不論是尖峰小時或非尖峰小時的情況，三中心其數值所推估之判斷係數皆高於單中心，顯現三中心模擬模式的結果具有較高的解釋能力。
- 就尖峰小時情況而言，三中心的系統平均延滯時間及系統平均等候列長度分別較單中心平均減少了約 1.82% 與 30.82%；就非尖峰小時情況而言，三中

心的系統平均延滯時間及系統平均等候列長度分別較單中心平均減少了約4.03%與31.2%。由此結果觀之，以系統平均延滯時間及系統平均等候列長度當作衡量指標而言，三中心設計的資料通訊網路其系統績效會較單中心設計來的優良；不過可以從數據裡看出，於尖峰小時的情況下，不論是系統平均延滯時間或系統平均等候列長度，三中心與單中心之間的差距有擴大的趨勢，可得知在此情形下三中心的設計會較單中心更能夠處理較高傳輸頻率下的交通設備傳輸需求；但就非尖峰小時的情況而言，三中心與單中心之間的差距則有縮小的趨勢，所以低傳輸頻率的交通設備傳輸需求，單中心和三中心的設計對於系統績效所造成的影響較小；綜上所述，仍可做出三中心設計的資料通訊網路其系統績效會較單中心設計來的優良的結論，相關數據可參照表4.3-2~3內容。

表 4.3-2 系統平均延滯時間比較表

		等候伺服器處理時間 (ms)	尖峰小時 (sec)	非尖峰小時 (sec)
系 統 平 均 延 滯 時 間	10	單中心	5.48E-05	2.48E-05
		三中心	5.38E-05 (-1.82%)	2.38E-05 (-4.03%)
	50	單中心	2.74E-04	1.24E-04
		三中心	2.69E-04 (-1.82%)	1.19E-04 (-4.03%)
	100	單中心	5.48E-04	2.48E-04
		三中心	5.38E-04 (-1.82%)	2.38E-04 (-4.03%)
	500	單中心	2.74E-03	1.24E-03
		三中心	2.69E-03 (-1.82%)	1.19E-03 (-4.03%)
	1000	單中心	5.48E-03	2.48E-03
		三中心	5.38E-03 (-1.82%)	2.38E-03 (-4.03%)
	5000	單中心	2.74E-02	1.24E-02
		三中心	2.69E-02 (-1.82%)	1.19E-02 (-4.03%)
	10000	單中心	5.48E-02	2.48E-02
		三中心	5.39E-02 (-1.64%)	2.38E-02 (-4.03%)
	50000	單中心	3.50E-01	1.26E-01
		三中心	3.38E-01 (-3.4%)	1.23E-01 (-2.38%)

表 4.3-2 系統平均等候列長度比較表

等候伺服器處理時間 (ms)		尖峰小時	非尖峰小時	
系統 平均 等候 列 長 度	10	單中心	3.05E-04	6.92E-05
		三中心	2.11E-04 (-30.8%)	4.77E-05 (-31.1%)
	50	單中心	1.53E-03	3.46E-04
		三中心	1.06E-03 (-30.7%)	1.69E-04 (-51.2%)
	100	單中心	3.05E-03	6.92E-04
		三中心	2.11E-03 (-30.8%)	4.77E-04 (-31.1%)
	500	單中心	1.53E-02	3.46E-03
		三中心	1.06E-02 (-30.7%)	2.38E-03 (-31.2%)
	1000	單中心	3.05E-02	6.92E-03
		三中心	2.11E-02 (-30.8%)	4.77E-03 (-31.1%)
	5000	單中心	1.53E-01	3.46E-02
		三中心	1.06E-01 (-30.7%)	2.38E-02 (-31.2%)
	10000	單中心	3.05E-01	6.92E-02
		三中心	2.12E-01 (-30.5%)	4.77E-02 (-31.1%)
	50000	單中心	1.96E+00	3.52E-01
		三中心	1.31E+00 (-33.2%)	2.47E-01 (-29.8%)

# 第五章 結論與建議

## 5.1 結論

根據上述章節內容，本研究之相關結論如下：

1. 本研究依據資料通訊網路架構、NTCIP 層級概念及我國都市地區分散式交通控制系統架構，以電腦系統設計的角度出發，提出 NTCIP-based 的資料通訊網路績效評估模擬模式，對於傳輸量大且溝通頻繁的控制端至區域控制器之間的關係進行探討，為相關研究之首見，為 NTCIP 的研究跨出了不同的一步。
2. 本研究所參照之輸入參數係採用現實交通終端設施之傳輸需求，並包含了 ATMS、ATIS、APTS 三個在台灣都市地區積極推行的 ITS 子系統，依據交通狀況的不同將模擬環境區分為尖峰小時與非尖峰小時，其數值實驗結果較能貼近現實交通情況，其數值也可供參考之用。
3. 為解決模擬參數來源的問題，本研究採用逐步調整參數做出整個系統績效變化趨勢的方式來呈現研究結果，雖未能說明參數的正確性，但經由數值實驗驗證，本研究所提出之模式具有合理性且相關結果亦與文獻內容相吻合，足見本研究具有所建立之模擬架構具有一定程度的參考價值，使用者只需根據該都市的交通狀況需求，改變數值實驗的輸入參數值，便可得到符合該都市地區的通訊網路系統績效值。
4. 就數值實驗結果而言，等候伺服器處理時間增加時其指標趨勢呈現指數增加，與文獻論述相符；不論單中心或三中心之模擬架構，於尖峰小時與非尖峰小時的情況下，皆具有良好的解釋能力；以系統平均延滯時間及系統平均等候列長度當作系統績效衡量指標而言，三中心設計的資料通訊網路其系統績效會較單中心設計來的優良，該相關結果可供參考之用。

## 5.2 建議

本研究因時間因素，仍有諸多方面未納入研究考量，故仍有許多值得探討與調整之處，相關建議如下所示：

1. 本研究著重在控制端與區域控制間的資料傳輸關係探討，但於現實交通環境中仍有終端傳輸設備，建議於後相關研究可將設備端納入模擬模式中，如此便可完整考量到從控制端至設備端的完整傳輸過程。
2. NTCIP 的運作機制相關參數仍然是 NTCIP 相關研究的最大難題，績效評估值沒有比較的基準問題目前也無法解決，故建議後續研究可採用相關統計理論，建立隨機最佳化之數學統計模式，推證出 NTCIP 協定運作機制的相關參數值，利用該結果修正模擬模式中的參數並進行校估的工作，可使得模擬的結果更為準確。
3. 本研究所提出之系統績效趨勢圖，係改變各等候伺服器之處理時間所得之結果，為使電腦系統內對應的處理機制也能達到本研究中某一特定的處理時間能力，建議可採用模擬測試的方式，逐步的改善電腦系統內處理機制的處理時間。
4. 本研究之事件產生只考量到時間維度，但事實上每個子系統的傳輸資料大小亦有所不同，所以具有雙維度的事件更能貼近現實交通狀況；通訊網路系統的容量問題，於現實網路傳輸中也是一項極為重要的系統績效衡量指標，因此結合時間與資料大小的雙維度事件，可同時衡量通訊網路系統時間與容量的績效值；而另一項重要因子為管理中心與終端設備的空間分佈狀況，兩者之間的距離長短也將會影響到通訊網路的運作及其績效，後續研究可繼續擴充考量之，結合上述其他影響因子將可得到更為完整的系統績效值，其結果也將更具有參考價值。
5. 本研究數值實驗結果顯示，三交通管理中心其系統績效將會優於單一交通管理中心，但卻只是就通訊網路之系統平均延滯時間與系統平均等候列長度兩



項指標而言，但實際上在建置交通管理中心上仍有諸多考慮因素，如建置經費、軟體開發成本等，因此本研究之研究成果只可列為參考之用。

6. NTCIP 中的最佳化通訊堆疊選取問題，本研究仍無法解決，不過本研究提出的層級架構為這個問題開啟了一個解決的途徑，若將本研究中之 5 個等候伺服器視為積木，欲採用 NTCIP 的單位可根據目前的硬體設備狀況，於每一層級選取適合的通訊協定，並可設計一績效評估最佳化目標函數，根據模擬的數值結果比較各通訊堆疊的績效，進一步選出最佳的通訊堆疊，此類似決策支援系統的評估建議機制，將對 NTCIP 的實務推展更具有助力。





## 參考文獻

- [1] William Stallings, 蕭裕弘譯, “Data and Computer Communications”, 滄海書局, 1999, pp11-23, pp415-418.
- [2] NTCIP Guide V3.0
- [3] <http://www.ntcip.org/>
- [4] Gary N.Higginbottom, “Performance Evaluation of Communication Networks”, Artech House Publishers, 1998, pp1-6, pp95-150.
- [5] Ozgur Ulusoy, “Network Access protocol for hard real-time communication systems”, Computer Communications, Vol.18, 1995, pp943-948.
- [6] Hala ElAarag, Mostafa Bassiouni, “Performance evaluation of TCP connections ideal and non-ideal network environments”, Computer Communications, Vol.24, 2001, pp1769-1779.
- [7] Erol Gelenbe, Ricardodo Lent, Zhihuang Xu, “Design and performance of cognitive packet networks”, Performance Evaluation, Vol.46, 2001, pp155-176.
- [8] Samphel Norden, S. Balaji, G. ManiMaran, C. Siva Ram Murthy, “Deterministic protocols for real-time communication in multiple access networks”, Computer Communications, Vol.22, 1999, pp128-136.
- [9] 連紀舜, “The Study of the Evaluation of NTCIP Protocol Stack”, 交通大學運輸科技與管理學系碩士論文, 2002.
- [10] “電腦化交通號誌控制系統—通訊系統手冊與通訊協定”, 交通部運輸研究所, 1997.