

國立政治大學資訊科學系
Department of Computer Science
National Chengchi University

碩士論文

Master's Thesis

預算法全 IP 核心網路服務品質管理之分散式資源管理

與允入控制

Distributed Resource Management and Admission Control in

Budget-Based QoS Management for All-IP Core Networks

研 究 生：陳明志

指 導 教 授：連耀南

中華民國九十二年九月

September 2003

預算法全 IP 核心網路服務品質管理之分散式資源管理與允入控制

摘要

通訊與資訊科技的大幅進步，電信自由化帶來的激烈競爭，以及網際網路的蓬勃發展，刺激大量多媒體網路資訊的流通，為了因應此種趨勢，網路提供者已趨向合併數據及電信網路朝單一的 All-IP 網路方向發展。為了保證時效性服務在 All-IP 網路上的品質，網路服務品質(QoS)已成為 All-IP 網路的主要研究議題。不同的網路應用各有不同的特性與需求；對於那些比較不注重傳輸延遲時間的應用，增加網路頻寬或許就已足夠應付需求，但是對於那些具有互動特性(interactive)、重視傳輸延遲時間的應用，像 VoIP，除了增加網路頻寬外，All-IP 網路必須提供服務品質保證才能獲得網路營運者的支持。本研究團隊設計一個管理架構，在此架構上提供完整的 End-to-End QoS 保證，以符合 All-IP 網路上各種不同服務需求。本文中另外提出以預先批購頻寬的方式進行核心網路資源規劃，根據需求預測，考量批購成本期望值，決定出適當之頻寬預購值。於執行時段提出數個允入控制資源不足解決方案，並且配合執行時段頻寬管理機制，掌握頻寬使用情形，以達到順利允入網路訊務之目的。最後於 NS2 平台以實驗模擬的方式，評估本文中所提出之預先批購頻寬與執行時段頻寬管理機制，從結果中我們發現本研究所提出之頻寬預購方法可以有效預防因為預測誤差所造成之資源不足現象，配合執行時段頻寬管理機制可根據執行時期之資源使用狀況，在資源缺乏時提前進行頻寬補充，以順利允入訊務，提升使用率。

Distributed Resource Management and Admission Control in Budget-Based QoS Management for All-IP Core Networks

Abstract

Because of great progress of communication and computer technology, aggressive deployment of broadband fiber optical network, advance of Internet technology, and the global standardization of IP technology, the telecommunication industry is moving toward a converged network, which uses a single global IP based packet-switching network to carry all types of network traffics. In these types of network traffics, different traffic types require corresponding service to ensure end-to-end quality. For carrying all types of network traffics on All-IP network, BBQ (Budget-Based QoS) research group propose a QoS system architecture to provide end-to-end QoS guarantee. In this thesis, basing on BBQ QoS system, we propose resource pre-planning mechanism to management core network. According to demand forecast from historical data and considering pre-planning cost, pre-planning mechanism will find optimal policy to reduce management cost. Besides resource pre-planning, we also propose several solutions to avoid resource shortage at run-time. Through intensive evaluation in network simulation-2(*ns2*), we demonstrate that our resource pre-planning can minimize resource cost and cover some forecasting error. And run-time resource management can maintain reasonable in-hand resource at run-time to reduce the effect of resource shortage.

目錄

第一章	簡介	1
1.1	電信產業的趨勢	2
1.1.1	整合型網路 (Network Convergence—All-IP Network)	3
1.1.2	封包網路上乘載具時效性應用問題 (Real-time Application on Packet-Switching Networks)	4
1.2	服務品質保證定義 (QoS Definitions)	6
1.2.1	分歧的品質保證期望 (Diversified QoS Expectations)	6
1.3	全 IP 網路之服務品質保證 (QoS over All-IP Network)	7
1.4	UMTS 服務等級 (UMTS QoS Service Class)	7
1.5	QoS 管理方法 (QoS Management)	9
1.5.1	Intergrated Service	9
1.5.2	Differentiated Service	9
1.6	研究動機與目的 (Motivation and Research Objective)	10
1.7	解決方案 (Solution Approaches)	11
1.8	論文組織架構	12
第二章	相關研究 (Related Work)	13
2.1	QoS 管理架構	13
2.1.1	Integrated Service	13
2.1.2	Differentiated Service	14
2.1.3	TEQUILA	18
2.1.4	Victor O.K. Li's System	20
2.2	評論 (Summary)	21
第三章	以預算為基礎之服務品質保證 (Budget-Based QoS)	23
3.1	BBQ 架構 (Budget-Based QoS Framework)	24
3.1.1	簡化的 All-IP 網路架構 (A Simplified All-IP Network Architecture)	24
3.1.2	以預算為基礎之管理 (Budget-Based Management)	25
3.1.3	路徑定義 (Paths Definitions)	26
3.1.4	承載服務架構 (Bearer Service Architecture)	27
3.1.5	服務品質熵數 (Quality Entropy)	28
3.1.6	即時資源分配與預先資源管理 (Pre-Planning vs. On Demand Allocation)	30

3.1.7 集中式配置與分散式配置 (Centralized Allocation vs. Distributed Allocation)	31
3.1.8 需求預測	32
3.2 管理系統架構 (Management System Architecture for BBQ)	33
3.2.1 BBQ 管理系統假設 (BBQ System Assumptions)	33
3.2.2 分散式分層管理系統 (Distributed Management System Hierarchy)	34
3.2.3 管理系統軟體架構 (Management System Software Architecture)	35
3.2.4 簡化的端對端服務品質建立流程 (A Simplified End-to-End Path Setup Procedure)	36
3.3 BBQ 中的核心網路架構與 QoS 元件 (Core Network Architecture and QoS Components for BBQ)	37
3.3.1 核心網路資源規劃方法	38
3.3.2 核心網路內的資源規劃元件	39
3.3.3 分散式資源規劃運作流程	41
 第四章 資源管理與允入控制	 44
4.1 預購法頻寬規劃	44
4.1.1 Historical Traffic Pattern	44
4.1.2 最佳預購頻寬	46
4.1.2.1. 最佳化模型(Optimization Model)	48
4.1.2.2. 索取費率與預購頻寬	52
4.1.2.3. 多重服務等級之預購方案	52
4.1.3 預購資源不足之解決方案	53
4.2 執行時段(Current Execution Time Period)之允入控制與資源管理	55
4.2.1 允入控制流程	55
4.2.2 執行時段資源管理	56
4.2.3 執行時段資源不足之解決方案	57
4.2.3.1. 資源再分配	57
4.2.3.2. 訊務降級	58
4.2.3.3. 臨時批購	58
4.2.4 執行時段頻寬管理最佳化模型	59
 第五章 效能評析	 63
5.1 評估指標	63
5.1.1 效能評估指標	64
5.1.1.1. 完全滿足比例(Ratio of Full-Satisfied Traffic Request)	64

5.1.1.2. 部分滿足比例(Ratio of Partially-Satisfied Traffic Request)	64
5.1.1.3. 拒絕比例(Ratio of Rejected Traffic Request)	64
5.1.2 管理成本(management cost)與獲利(profit)	64
5.2 模擬環境	65
5.2.1 NS2 模擬平台	65
5.2.2 訊務類型(Traffic Source Type)	65
5.2.3 拓樸設計(Topology Design)	66
5.3 實驗設計	66
5.3.1 訊務產生函式(Traffic Generating Function)	66
5.3.2 頻寬預購法	66
5.3.2.1. 頻寬預購法實驗設計	66
5.3.2.2. 頻寬預購法模擬過程	66
5.3.3 執行時段(Current Execution Time Period)資源管理	67
5.3.3.1. 執行時段資源管理實驗設計	67
5.3.3.2. 執行時段資源管理模擬過程	68
5.4 實驗結果	71
5.4.1 預購頻寬規劃實驗結果	71
5.4.1.1. 訊務分佈對於獲利之影響	71
5.4.1.2. 收費比例對於獲利之影響	73
5.4.1.3. 訊務型態對於獲利之影響	76
5.4.2 執行時段(Current Execution Time Period)資源管理實驗結果	78
5.4.2.1. 訊務分佈對於效能評估指標之影響	78
5.4.2.2. 訊務型態對於效能評估指標之影響	81
5.5 總結	85
 第六章 結論	 86
6.1 結論	86
6.2 結論與未來發展方向	87
 Acknowledgement	 88
 Reference	 88

圖目錄

圖 1.1 : 各 UMTS 服務類別對三大品質指標之容忍度	8
圖 2.1 : DIFFSERV DOMAIN & NON-DIFFSERV DOMAIN	15
圖 2.2 : TEQUILA 架構	19
圖 2.3 : 分散式管理架構	20
圖 3.1 : 簡化的全 IP 網路架構	25
圖 3.2 : 端對端承載服務	28
圖 3.3 : 服務品質熵數與品質參數對應	29
圖 3.4 : BBQ 管理系統軟體元件架構	35
圖 3.5 : 簡化的端對端服務品質建立流程	36
圖 3.6 : BBQ 架構之核心網路	38
圖 3.7 : 核心網路管理架構	41
圖 3.8 : 核心網路資源分配流程	42
圖 4.1 : 以時段作為區分的流量統計 X:時段; Y:該時段之 BANDWIDTH; Z:DAY	45
圖 4.2 : BANDWIDTH DEMAND AT RTPS WITH RESPECT TO A CTP	45
圖 4.3 : DEMAND DISTRIBUTION AT RTPS WITH RESPECT TO A CTP	46
圖 4.4 : 根據歷史資料決定 Θ , 用來當作預先批購的頻寬	47
圖 4.5 : 左圖 : 批購的頻寬大於該時段的頻寬需求	47
圖 4.6 : 最佳 BANDWIDTH REQUEST VALUE Θ	48
圖 4.7 : EXPECTED COST、PRE-ORDER COST AND ON-DEMAND COST	49
圖 4.8 : EXPECTED COST、PRE-ORDER COST、ON-DEMAND COST AND OPTIMAL Θ	50
圖 4.9 : 頻寬預購流程	54
圖 4.10 : 允入控制流程	55
圖 4.11 : 處理不規律之訊務需求所剩資源	57
圖 4.12 : 執行時段頻寬管理流程	59
圖 5.1 : 實驗流程	68
圖 5.2 : 訊務依照進入時間點的統計情形	70
圖 5.3 : 透過 NS2 圖形介面觀察不同時間點的網路情況	70
圖 5.4 : 四種 CBR TRAFFIC 分佈對於 MEAN、 Θ 與 TOTAL ON-DEMAND 之結果	72
圖 5.5 : 四種 CBR TRAFFIC 分佈對於 MEAN、 Θ 與 TOTAL ON-DEMAND 之 PROFIT	73
圖 5.6 : 費用比例(C_2/C_1)與最佳頻寬預購值	74
圖 5.7 : 四種 CBR TRAFFIC 分佈對於不同費用比例之結果	75
圖 5.8 : 四種 CBR TRAFFIC 分佈對於不同費用比例之 PROFIT	76
圖 5.9 : 四種 EXPONENTIAL 分佈對於 MEAN、 Θ 與 TOTAL ON-DEMAND 之結果	77
圖 5.10 : 四種 EXPONENTIAL 分佈對於 MEAN、 Θ 與 TOTAL ON-DEMAND 之 PROFIT	77

圖 5.11：CBR 不具執行時段頻寬管理之完全滿足比例	79
圖 5.12：CBR 具執行時段頻寬管理之完全滿足比例	79
圖 5.13：CBR 不具執行時段頻寬管理之部分滿足比例	80
圖 5.14：CBR 具執行時段頻寬管理之部分滿足比例	80
圖 5.15：CBR 不具執行時段頻寬管理之拒絕比例	81
圖 5.16：CBR 具執行時段頻寬管理之拒絕比例	81
圖 5.17：EXPONENTIAL 不具頻寬管理之完全滿足比例	82
圖 5.18：EXPONENTIAL 具頻寬管理之完全滿足比例	82
圖 5.19：不具頻寬管理之部分滿足比例	83
圖 5.20：具頻寬管理之部分滿足比例	83
圖 5.21：EXPONENTIAL 不具頻寬管理之拒絕比例	84
圖 5.22：EXPONENTIAL 具頻寬管理之拒絕比例	84

表目錄

表 1.1：各種新興的網路技術	2
表 1.2：傳統電信網路，網路網路和整合型網路特性比較表	3
表 1.3：CIRCUIT-SWITCHING 與 PACKET-SWITCHING NETWORK 特性比較	5
表 1.4：3GPP UMTS 品質分及與各項特性	8
表 1.5：UMTS QOS 與 DIFFSERV QOS 間之服務對應	8
表 2.1：各種 PHB 的服務範例	17
表 3.1：分層之路徑定義	27
表 3.2：BBQ 管理系統層級分工	34
表 5.1：TRAFFIC DISTRIBUTION SET OF OFF-LINE PLANNING	67
表 5.2：DISTRIBUTION SET OF CURRENT EXECUTION TIME PERIOD MANAGEMENT	

第一章

簡介

整合型 All-IP 網路將以一個單一傳輸平台提供固定網路及行動網路上所有服務[1、2]，包括語音、多媒體、資料等各類服務[3、4]。此種革命性網路不但可以降低建置成本與營運管理成本，更可以提供一個新的服務平台，供營運者建置跨網路的應用服務。但欲達到整合型網路的理想之前，我們仍須克服許多困難，其中最關鍵的問題之一即是品質問題[5]。All-IP 網路受限於 packet-switching 原有的特性，有三大品質問題有待克服：long delay time, jitter 以及 packet loss。這些品質問題對某些諸如語音或多媒體等應用服務有關鍵性的影響。此外，由於未來的網路係由特性差異極大的異質性網路所組成，而欲在此種網路上支援品質要求差異極大的多樣應用服務，其品質管理變得異常複雜，難以引用現有的品質管理方案。本論文旨在探討整合型 All-IP 網路之品質管理各項問題，並提出適當的管理機制。

我們提出 Budget-Based QoS 架構，以簡化管理、追求效率、不增加管理複雜度為原則，利用預算分配和預先資源分配規劃，來達成 End-to-End 的網路服務品質保證。根據此簡化管理原則，我們提供一套服務品質的管理工具，採用分層分權的方式將 QoS 管理權責以預算的方式分散至每個網路元件，如此可以避免繁複的折衝協調和即興式(real time on demand)的資源管理。此套管理工具，可供網路營運業者依其需要調整，在有限資源下追求使用者之整體最大滿意度。

本文中另外提出以預先批購頻寬的方式進行核心網路資源規劃，並且配合執

行時段頻寬管理機制，以達到順利允入網路訊務之目的。最後以實驗模擬的方式，根據整體利益考量評估本文中所提出之方法，從結果中歸納出結論。

1.1 電信產業的趨勢

面對通訊與資訊科技的大幅進步、網際網路的蓬勃發展、以及電信自由化帶來的激烈競爭，通訊網路正在進行一個巨大的變革，企圖將原有 circuit-switching 與 packet-switching 網路整合成一個單一網路以支援所有的應用服務。此種整合性網路將以一個單一傳輸平台提供固定網路及行動網路上所有的應用，包括語音、多媒體、資料等各類服務。

而推動此種趨勢的主要因素如下：

- 電信自由化的浪潮，刺激網路的大量建設、新技術的加速引進、與新服務的提供。
- 光纖技術的進步，使得以 DWDM 技術為基礎的高容量光纖可輕易地取代銅線網路，長途頻寬的供應大幅增加，價格降低。
- 近年來網際網路的蓬勃發展，刺激大量多媒體網路資訊的流通，使得頻寬需求大幅增加，網路的應用多樣化，對品質的要求亦隨之複雜化。
- 網際網路在全球蓬勃發展，間接使得 IP 技術變成全球網路的共同標準。
- VoIP 技術的發展，使得 packet-switching 網路可以支援語音與即時影像服務。

由於以上的這些因素，網路服務正朝向多媒體化，多樣化的演進，而網路架構則朝向寬頻化、光纖化、扁平化、整合化發展。為因應這種趨勢，許多新興網路技術正被積極的研究，如表 1.1 所示：

表 1.1：各種新興的網路技術

交換網路	VoIP, MPLS, Network Convergency
------	---------------------------------

交換網路	VoIP, MPLS, Network Convergency
傳輸網路	DWDM, IP over SDH, IP over Fiber
接取網路	FTTx, xDSL, HFC, LMDS, 3G
智慧型網路	LNP, MNP, Service Creation

1.1.1 整合型網路 (Network Convergence—All-IP Network)

這些新興技術中，對現有網路衝擊最大的當屬 Network Convergence，企圖將目前分離的 circuit-switching 與 packet-switching 傳統網路整合成單一的網路。為了打破以往不同製造商設備無法完全互通的問題，這個整合性網路將採用全球統一開放標準，而 IP 通訊協定正因為網際網路以全球使用率最高而成為唯一的選擇。此種革命性的整合型 All-IP 網路不但可以降低建置成本、營運管理成本，更重要者，還可提供一個新的服務平台，使得跨網路的應用成為可能。表 1.2 列出傳統電信網路及現在的網路網路和整合型網路的特點比較：

表 1.2：傳統電信網路，網路網路和整合型網路特性比較表

	PSTN/IN	Internet	Converged Network
多媒體服務承載	否	是	是
QoS-enabled	是(語音部分)	否	是
Network Intelligence	是	否	是
Intelligent CPE	否	是	是

	PSTN/IN	Internet	Converged Network
底層傳輸媒介 Underlying transport network	Circuit-switching Network	Packet-switching Network	Packet-switching Network
服務可信度 Service reliability	High	Low	High
Service creation	Complex	Ad-hoc	Systematic
服務易用度 Ease of use of service	Medium	High	High
Evolvability/mod ularity	Low	Medium	High
Time to market service	Long	Short	Short
Architecture openness	Low	High	High

1.1.2 封包網路上乘載具時效性應用問題 (Real-time Application on Packet-Switching Networks)

在傳統網路具有時效性的服務是由 circuit-switching 之承載技術，而

packet-switching 技術大多用以傳送資料。表 1.3 簡單比較 packet-switching 和 circuit-switching 網路的特性。若要在未來的整合型 All-IP 網路上承載所有服務時，受限於 packet-switching 的天生特性，將會面臨以下三大問題：

- 封包傳送延遲時間過長 (Long Delay)：在 IP 網路中，資料是以封包的形式傳送，經過每一個 Hop 時的處理時間將導致傳送時間較 circuit-switching 網路長，且較難預測。
- 封包傳送時間抖動 (Jitter)：封包是在一個一個的 Hop 中交遞傳送，在每一個 Hop 中容易受到其他的因素影響，如過多的封包在同一時間傳送、每一個封包的傳輸路徑不同等，而造成在接收端收到封包的時間間隔不定。
- 封包遺失問題 (Packet Loss)：封包在傳送過程中，易因網路阻賽等問題，使得封包在傳送中被丟棄(Drop)。

表 1.3：Circuit-Switching 與 Packet-Switching 網路特性比較

比較項目	Circuit-Switching	Packet-Switching
指定傳送路徑	是	否
可使用頻寬	固定	動態調整
可靠性	良好	較差
循序傳送	是	否
儲存後傳送	是	否
傳送初始化	需要	不需要
阻塞可能發生時間	初始階段	每個封包傳送時
計費方式	以時間為單位	以傳送資料量或以時間為單位

1.2 服務品質保證定義 (QoS Definitions)

處理服務品質的問題，除了對網路品質問題要有深入的瞭解外，還要對使用者與網路營運者對品質保證的期望有所瞭解。不同的服務，不同的使用者，不同的網路營運者對品質的定義不一定相同。此外，他們對品質的期望也不盡相同。例如 VoIP 注重傳送延遲時間與傳送延遲抖動(Delay and Jitter)，而 FTP 注重封包是否遺失。

1.2.1 分歧的品質保證期望 (Diversified QoS Expectations)

不同的使用者對網路所提供之品質服務保證，可能有不同的期望。例如，一般的使用者可能會有下列不同的期望：

- 以最低的價格，買到最好的服務品質
- 以最低的價格，買到需要的服務品質
- 以可接受的價格，買到最好的服務品質
- 以最低的價格，買到可忍受的服務品質

另一方面，網路營運者依據其策略上的目的，也可能有不同的服務品質政策。例如，網路營運者可能：

- 以可接受的售價，提供使用者最好的服務品質
- 以最高的售價，提供使用者可接受的服務品質
- 以最低的售價，提供使用者可忍受的服務品質

本研究之目的是設計一個有彈性的服務品質保證管理架構。網路營運者可根據自己的營運目標調整自己的網路管理系統，以達到營運者策略上的目的。

1.3 全 IP 網路之服務品質保證 (QoS over All-IP Network)

All-IP 網路受限於封包交換網路原有的特性，有前述三大品質問題有待克服。近年來雖然有極多的 QoS 研究，但是絕大多數著重於研究既有的數據服務 QoS。其品質管理偏重頻寬之管理，並不適用於欲提供全面性服務之整合性全 IP 網路。舉例而言，台灣連接到美國的通訊鏈路中，有海底電纜亦有衛星通訊，只要求頻寬的傳統數據服務並不排斥運用衛星鏈路。但是，對於封包延遲有嚴格要求的語音服務 (Voice over IP) 而言，衛星鏈路即使可以提供充足的頻寬，但因傳輸距離所造成的 delay time 將嚴重影響通話品質。因此，一個好的全 IP 網路管理，應該針對各種應用服務的各種品質需求參數提供適當的資源分配與管理，而非只針對頻寬進行管理。

面對品質要求即時化、多樣化且負載極高的全 IP 網路，其品質管理複雜度遠比單純的語音或數據網路複雜。猶如管理大小汽車與機車爭道的一般街道遠比車種單純，車速相距不大的高速公路複雜一樣，全 IP 網路上的品質管理是一大技術挑戰。網路管理系統必須提供適當的品質資源管理機制，並讓管理者可輕易的調校網路，使得各類服務都可以獲得適當的品質服務。

1.4 UMTS 服務等級 (UMTS QoS Service Class)

UMTS 系統將網路上風行的應用依時效與品質需求分為四大類[6]：交談式 (conversational class)，串流式 (stream class)，互動式 (interactive class)，背景式 (background class)。以下是簡要分析：

交談式主要用來支援人類雙向溝通，根據人類感官之經驗歸納，此種服務對 delay time 與 jitter 相當敏感，使用者在 delay time 超過 300 ms 時，就難以忍受其通話品質。串流式則要求持續穩定的 packet flow，因此對 jitter 相當敏感。互動式與背景式都屬於 data communication 的服務，可容忍較長的資料傳送時

間，但是要求精準的資料傳送，因此幾乎無法忍受資料的遺失。圖 1.1 顯示每個類別品質指標之容忍度；表 1.4、表 1.5 表示各類別的特性與品質需求。

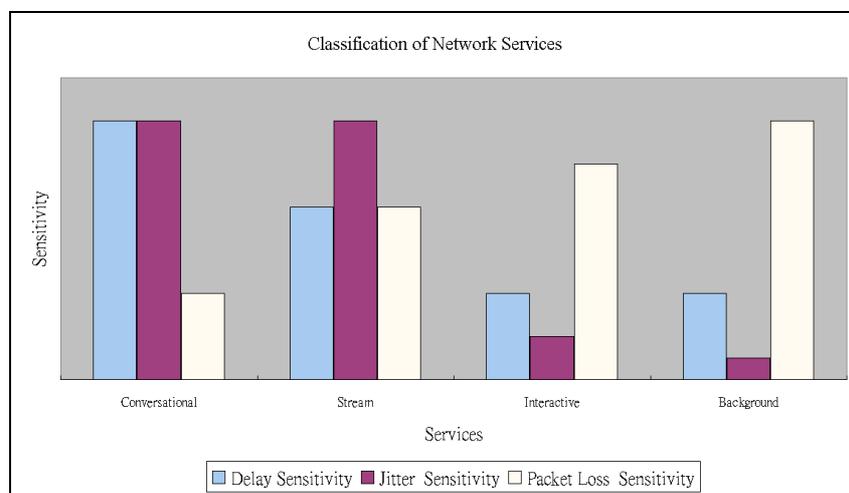


圖 1.1：各 UMTS 服務類別對三大品質指標之容忍度

表 1.4：UMTS 品質分類及與各項特性

Traffic class	Max Bit Rate	Transfer Delay	Guaranteed Bit Rate	Traffic Priority	SDU Error Rate
Conversational	X	X	X		X
Streaming	X	X	X		X
Interactive	X			X	X
Background	X				X

表 1.5：UMTS QoS 與 DiffServ QoS 間之服務對應

Traffic Class	Service Class	Max Bit Rate	Lost Rate	Delay	Jitter

Conversational	EF1	2Mb/s	<10 ⁻⁶	< 100ms	low jitter
Streaming	EF2	2Mb/s	<10 ⁻⁶	150ms ~ 400ms	
Interactive	AF[1..3]	2Mb/s	10 ⁻³ ~ 10 ⁻⁴		
Background	BE	2Mb/s			

1.5 QoS 管理方法 (QoS Management)

IETF 制定了 Intserv (integrated service) 與 DiffServ (differentiated service) 兩種機制，對於異質性網路提供服務品質保證的環境。

1.5.1 Intergrated Service

IntServ 使用 RSVP (Resource Reservation Protocol) [7] 針對各個訊務建立一保留頻寬的 virtual circuit 來滿足 QoS 上的需求。這樣的架構有其相當的好處，首先，它對使用者提供了絕對的端對端品質保證，再者，每個使用者的資料流都可以輕易地監控管理，並且可以運用現有的 routing protocols。但因 overhead 過多，使得網路在擴充性 (scalability) 上受到極大的限制。

1.5.2 Differentiated Service

DiffServ[8] 則是採用與 IntServ 不同的策略來提供服務品質保證。DiffServ 是將具有相似 QoS 需求的訊務合併一起處理，對同一類型的資料提供一致性的服務與相對性的保證，而不是針對各別的訊務提供保證。每一類型的資料會有其相對應的 Per-Hop Behavior 在 DiffServ domain 上傳送。這樣的方

法雖然沒有辦法達到如 IntServ 般絕對的服務品質保證，但卻可以解決 IntServ 在擴充性和實作上的問題，因此 DiffServ 的架構漸漸取得其主流地位，但如何在 DiffServ 的架構上，提供各個的訊務的 End-to-End QoS 保證正是亟待解決的主要問題。

綜觀以上兩種服務品質保證之方法，若是以 Intserv 方法來提供服務品質保證，則服務網域會因為訊務控制資訊量成長快速而受到限制，並且 RSVP 路徑尋找方法所產生的訊務量(RSVP message)也會導致整個網路要負擔額外增加流量。若是採用 DiffServ 方法來提供服務品質保證，所有的訊務被歸納為三個不同的 QoS 服務等級，只在每個 Core Router 提供相對的品質保證，所以在純粹 DiffServ network 環境下，我們無法針對每個 flow 做到真正的 End-to-End QoS。

1.6 研究動機與目的(Motivation and Research Objective)

對於使用者而言，真正獲得的服務品質保證，不是由單一網路所提供。而是由端對端所經過之所有網路共同提供。所以，使用者關心的服務品質保證，是端對端服務品質保證，而非單一網路之服務品質保證。因此，在 All-IP 網路中，僅提供單一網路之服務品質保證將無法滿足使用者之需求。通訊網路事實上是由全球大大小小的電信公司所轄網路藉由彼此之間的網路互連協定連接而成一個四通八達無遠弗屆的通訊網，一個長途通訊需求(request/traffic flow/phone call) 可能必須橫跨數個不同營運者的網路，其端對端品質管理是一大技術挑戰。

本論文提出一套資源規劃及實際執行的架構，供網路營運者運用以提供具端對端品質保證的各種網路服務予使用者。此架構以簡化管理、追求效率，不增加管理複雜度和具高度適用性為原則。除了提供端對端品質保證予使用者之外，本架構能協助網路營運者追求網路資源的有效利用，在所擁有的資源中，盡力提高服務滿足度以獲取最大利益。

由於 DiffServ 並沒有辦法提供每個資料流端對端的品質保證，也不對個別
的資料流做品質管理，所以在核心網路的架構中，必須有一中央統籌元件負責找
出每個資料流適當的傳送路徑，並配置頻寬來滿足不同資料流的品質需求。

這樣的架構卻有許多缺點：

- 中央統籌元件附近的節點會因大量的資源配置與路徑規劃訊息交遞而造成
壅塞
- 中央統籌元件必須記錄所有網域上訊務(traffic flow)的資源使用資訊，
overhead 過大
- 中央統籌元件如遇當機，會使得網路癱瘓，風險過高。

所以即時的由中央統籌元件管理個別資料流會造成不論是元件或是網域的
負荷都過大，這樣的機制並不適合使用在大型網路上。因此，為了解決上述的問
題，在路徑選擇與資源配置上，必須事先規劃，以批發零售的方式，先為一段時
間內可能進入的訊務事先規劃路徑與分配資源。

為了解決集中式資源管理所產生的問題，在本研究中改採用分散式資源管理
方法，將資源管理與允入控制分別由核心網路內不同元件管理。資源管理由 BB
負責分配 domain 裡的頻寬給各 Ingress Router，允入控制由 Ingress Router
內部元件完成。

1.7 解決方案(Solution Approaches)

在本論文當中，Ingress Router 內有三個元件負責整體運作，分別是
Bandwidth Order Agent(BOA)、Admission Control Agent(ACA)與 Path Planning
Agent (PPA)。BOA 負責資源規劃，包括預先頻寬批購與執行時段頻寬管理；PPA
負責將 BOA 預先批購所分得的頻寬進行路徑規劃形成不同服務品質的可用資

源；ACA 利用 PPA 規劃好的可用資源，對於訊務進行允入控制。ACA 對於嘗試進入核心網路的訊務依目前所掌握的頻寬資源進行允入控制，由於無法顧及核心網路整體的 utilization，只能依照先後順序對於先允入的訊務提供服務保證。

本研究架構對於核心網路的頻寬管理是由 CNC 裡的 Bandwidth Broker(BB) 元件以中央統籌機制按照各個 Ingress Router 內之 BOA 元件所提出的預估頻寬進行分配。預估的方式會因為預測不準確而產生誤差，產生的誤差若是造成預估頻寬過多，則會浪費網路資源降低 utilization；若是誤差造成頻寬不足，則會造成網路壅塞或是訊務無法順利進入。所以本研究設計一套預估方法，以取得適當頻寬，並以動態資源管理降低預測不足所帶來的損失。

對於預先頻寬批購，如果過去所發生的 traffic pattern 有重複性質，在同一個時段所觀察到的 traffic pattern 可將其紀錄下來，經過長期累積之後形成具有代表性質的 distribution，根據 distribution 進行分析，依照分析結果 BOA 可以選擇一個適當頻寬批購量，依此向 BB 提出 resource request。

BOA 將分配結果交由 PPA 進行規劃成具有 QoS 保證的 path，在執行時段進行中，由 ACA 依照這些可用資源(path set)進行允入控制(admission control)。由於訊務可能超過預先所評估的數量導致可用資源不足，所以必須有一套動態資源管理方法，在不同時間點設定適當的資源底限以足以應付未來可能出現的超額訊務，在 Ingress Router 所剩餘的資源到達底限時由 BOA 進行 on-demand request 向中央取得更多可用資源以應付未來可能超出的訊務。

1.8 論文組織架構

本文第一章簡介網路技術的演進和關於網路傳輸服務品質所遭遇的各種問題；第二章將各種提供服務品質保證的網路架構作簡介和評論；第三章介紹本研究團隊所提出的 BBQ 服務品質管理架構和運作流程；第四章進入本研究重點，提出預先與執行時期資源管理方法和允入控制管理流程；第五章中以模擬方法評估本研究所提出資源管理方法之效能；第六章為本文結論與未來展望。

第二章

相關研究(Related Work)

為了提供異質性網路上各種QoS service，需要有一套完整的QoS架構與管理機制。目前的研究大多將整體QoS service分為data plane與control plane。Data plane為分類服務，將packet依照其需求之服務等級進行區分，目前廣為採用的是IETF制定的DiffServ。DiffServ依照各種服務需求屬性，將封包分為EF、AF、BE三個等級。Control plane即是以data plane為基礎所衍伸出的管理架構，隨著管理架構不同，管理方式也就有所不同。以下將就管理架構與管理方式討論目前著名的研究。

2.1. QoS 管理架構

2.1.1 Integrated Service

IntServ 利用 RSVP(Resource Reservation Protocol)為各個資料流做品質管理，保留資源建立一個專屬的虛擬通道(virtual circuit)來滿足 QoS 上的需求。在建立通道時順便保留資源，傳送端每隔一段時間會傳送 PATH 的訊息至接收端，內容包含訊務的種類與需求的資源等訊息，接收端在收到此訊息後會傳送 RESV (reserve)訊息，循著 PATH 訊息傳送的路徑回到傳送端，沿途每個節點會處理 RESV 訊息並保留資源，當 RESV 訊息回到接收端後，一個保留資源的虛擬通道便建立完成。

除了實行簡單外，這樣的架構還有其相當的好處，首先，它設計對使用者提供端對端品質上絕對的保證，由於從傳送端至接收端都執行 RSVP 來保留資源與建立通道，因此每個資料流都可以被監管，避免資料流消耗超過其請求保留的資源，再者，每個使用者的資料流都可以輕易地監控管理，並且建立資料流路徑可以運用現有的路由協定。

IntServ 之重大的缺點在於建立 virtual circuit 時，路徑中每個節點都要參與，並保留每個資料流的使用狀態和負擔許多在通道建立上計算的 overhead，然而網際網路上卻有數量龐大且壽命極短的資料流，保留和管理每個資料流的使用資源與狀態，會對網路造成相當大的負荷，此特性使 IntServ 在擴充性(scalability)上受到嚴重限制，不適用於大型網路。

2.1.2 Differentiated Service

DiffServ 是將具有相似 QoS 需求的訊務合併視為同一 aggregation 一起處理，對同一 aggregation 的資料提供一致性的服務與相對性的保證，然而在沒有指定資料傳送路徑的情況下，有時間敏感度的訊務並無法得到端對端品質保證。每一類型的資料會有一個固定的 DSCP (DiffServ codepoint)讓網域內的節點來分辨，傳遞資料時，每一個 DiffServ 節點會根據此類型資料的 DSCP，依其相對應的 PHB (Per-Hop Behavior)傳送。

一個 DiffServ Domain 是由許多個提供 DiffServ 服務，執行相同 PHB 且相連的節點所組成，這些節點主要可以分為 Edge Router 和 Core Router。如圖 2.1，X domain 為一沒有 DiffServ 功能的網域，Y 和 Z domain 為各別的兩個 DiffServ 網域，兩者可能執行不同的 PHB，對同類別的資料可有不同的 DSCP。與其他網域連結的點統稱為 Edge Router，又分為 Ingress Router 和 Egress Router，分別表示訊務進入網域和離開網域的節點；沒有與其他 domain 相連接的節點稱為 Core Router。

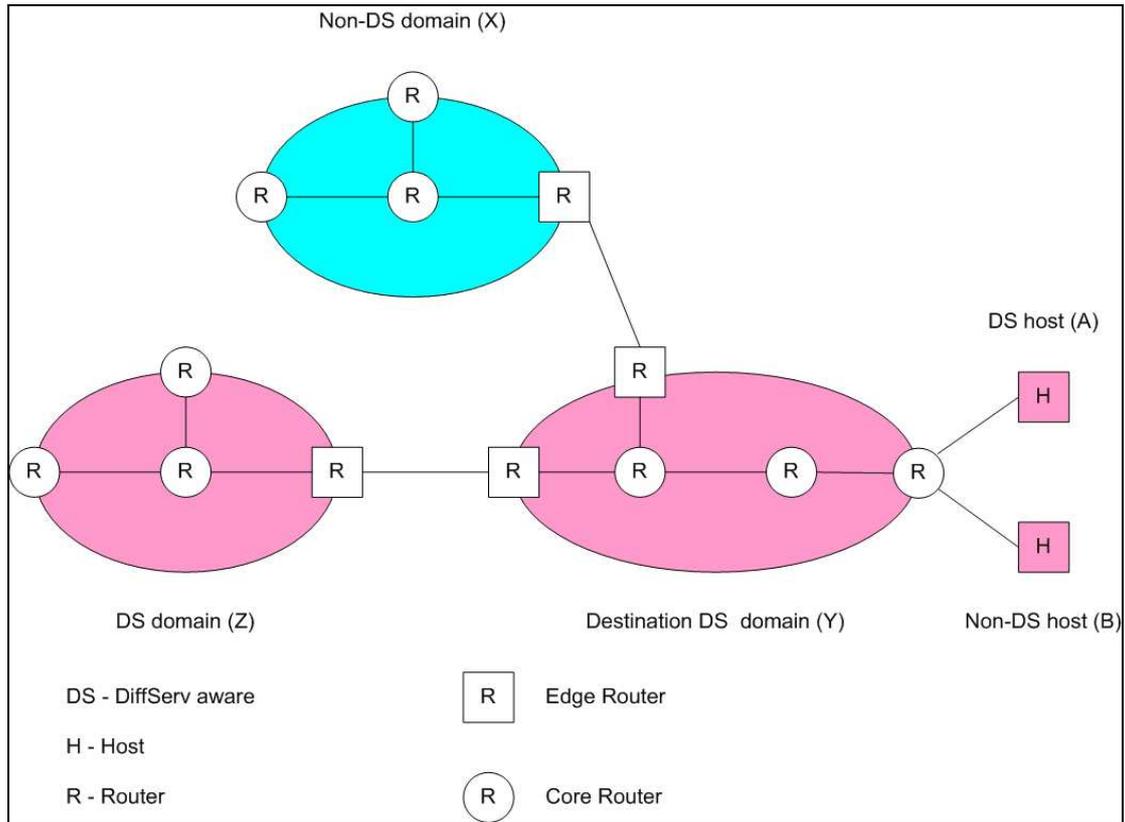


圖 2.1 : DiffServ Domain & Non-DiffServ Domain

DiffServ 架構的設計主要有兩個機制來管理和控制網路上的資料傳遞：

- Classifying

依據如來源和目的地的 IP 位址、應用程式、埠號(port number)、或是網路通訊協定等來分類。

- Policing

- Metering - 測量某一資料流的 flow rate 與 burst size 等參數，這些即時的數據可以提供給其他如 Marker、Shaper、Dropper 等控制網路流量或計費之參考

- Shaping - 控制同一個資料流的封包傳送速度與整批傳送的數量，以符

合傳送前所訂定的 traffic profile

- Dropping - 根據上面的結果放棄封包來減低網路負荷。

不同性質的應用所產生的資料有不同的品質特性。例如部份的資料有時效性，如果傳遞的延遲太長，即使接收方無誤的接收到資料，也是無效，反而造成網路頻寬的浪費；反之，部份的資料並不要求時效，但不能忍受遺缺或錯誤。

在 DiffServ 的架構中，根據需求之不同提供不同等級的服務，識別方法是利用在 IP header 上的 DSCP 來指定不同的傳送方式。針對訊務本身的特性，IETF 的 Network Working Group 定義了數種基本的 PHB 傳遞資料，其中包含 Assured Forwarding (AF)[9]將資料分成數個不同的類別(class)來傳送與一個高品質的 PHB 稱為 Expedited Forwarding (EF)[10]：

- Best Effort - 支援沒有特別需求與還沒有 DiffServ(backward compatibility)的網路訊務。[11]
- Assured Forwarding - 依據不同類別資料的 drop precedence 來決定當網路壅塞時可捨棄之封包，並不以優先權區別不同的訊務。
- Expedited Forwarding - 降低任何網路壅塞時可能的延遲，以支援高時效性的服務。

表 2.1 列出了各個 PHB 適於使用的各種不同應用。

表 2.1：各種 PHB 的服務範例

PHB	Examples
BE	E-mail, FTP
EF	Voice over IP(VOIP), Video on Demand(VOD)
AF	Web Browsing, Telnet

除了提供不同等級的服務，AF 每一個類別中的封包可以被指派數種不同的 drop precedence，超過的部份則會有較高的 drop precedence。當網路壅塞時，DiffServ 網域上的節點會優先捨棄較高 drop precedence 的封包來保護較低 drop precedence 的封包。由上述得知，在 DiffServ 網域中，不同的傳遞品質保證是受到配置給其所屬 AF 類別的資源、此 AF 類別的負荷與同一類別中封包的 drop precedence 所影響。

EF 是用來提供通過 DiffServ 網域，低 latency、低 loss、低 jitter，保證頻寬的高品質服務。不論是 packet loss、latency 或 jitter 都是由於資料傳送時在網域某節點的 queue 上等待的所造成的，所以要達成上述的目標，在網域的節點設定上，不論網域與其他 aggregation 忙碌與否，EF 的資料要有一個最小的離開速率。此外，必須對進入網域 EF 的資料嚴格控管，使得不論在網域任何一個節點，訊務離開的速率要比進入得快。

在資源配置上，每個 aggregation 都必須有基本的資源配置，對 AF 而言，部份網段的壅塞或許不會對高優先權的訊務產生影響，但會使得大量的低優先權訊務遺失，造成其他網段的資源浪費，甚至惡化網路壅塞的情況。EF 則以控制訊務進出節點的流速來提供高品質的服務，當網域某些地方訊務繁忙時，為了不降低服務品質，只好減少進入網域或通過節點的訊務，造成其他網段資源的浪

費，整體資源的使用率與系統業者的收入也相形降低。

DiffServ 的缺點是沒有辦法如 IntServ 提供個別訊務絕對的端對端服務品質保證，僅能對同一個 aggregation 的資料提供相對的品質保證，在沒有指定路徑的情況下，對於有時間敏感度的訊務，並沒有辦法提供個別資料流端對端的品質保證。由於不必對個別資料流提供品質保證及管理，可大幅降低 overhead，避免了在擴充性和實作上的問題，所以 DiffServ 的架構已被廣泛接受採用。但由於 DiffServ 的架構並沒有辦法對各別訊務提供端對端品質保證，如欲在 All-IP 網路上使用 DiffServ，必需有其他的網路管理架構來提供各個訊務端對端的品質保證。

2.1.3 TEQUILA

The Traffic Engineering for Quality of Service in the Internet at Large Scale (TEQUILA)是許多歐洲的電信業者所共同贊助的一個計畫，目標是研究網路服務的定義並提出一些 traffic engineering 的工具來達成兼具質和量的服務品質保證。在 2001 年，P. Trimintzios 等人於 IEEE Communication Magazine 上發表了「A Management and Control Architecture for Providing IP Differentiated Service in MPLS-Based Network」 [12]，就是 TEQUILA 計畫中的 QoS 管理架構。

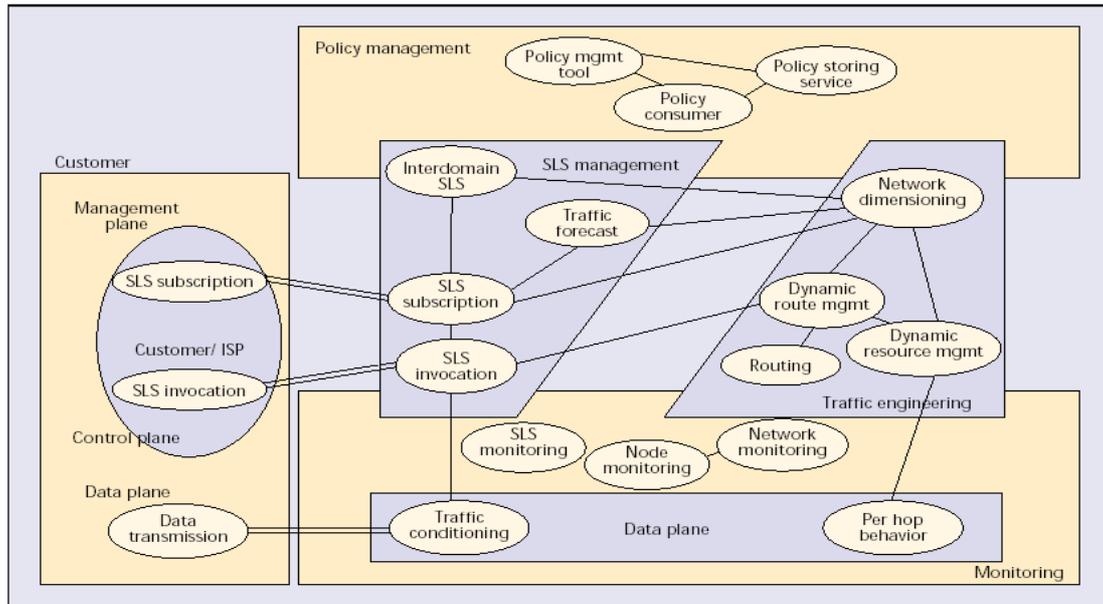


圖 2.2 : TEQUILA 架構

TEQUILA 的架構(如圖 2.2)可分為三個主要的部分，Service Level Specifications Management (SLS Management) 主要負責處理客戶的服務品質要求，Traffic Engineering 是網路中主要負責 QoS 的協調工作，而底層的 Data plane 則是負責實際資料的傳送，目前其假設的底層服務為 MPLS。

一個 end-to-end 的服務品質保證是由客戶的 Service Level Specifications (SLS) 開始，客戶端將其對於服務品質的需求以 SLS 的形式與服務架構中的 SLS Management 進行協調，系統則根據目前的負荷能力，來決定是否接受此 SLS。若接受，則 Traffic Engineering 下的 Network Dimensioning 元件則會根據 SLS Management 和系統的管理政策制訂者 Policy Management 所給予的資訊來協調網路上資源的運用，然後由 Dynamic Route Management 和 Dynamic Resource Management 等元件來執行真正的資源管理和封包的傳送。

目前 TEQUILA 計畫仍在進行當中，許多細部的功能元件尚在討論研究階段，P. Trimintzios 等人在 2002 發表「A Policy-Based Quality of Service Management System for IP DiffServ Networks」[13] 說明了其中在 TEQUILA 架構

中 Policy 的制訂方法，而 2003 的「Admission Control for Providing QoS in DiffServ IP Networks: The TEQUILA Approach」 [14]中則說明關於允入控制等相關的議題。

2.1.4 Victor O. K. Li's System

在階層式管理架構，資源允入管理可分為集中式與分散式管理。分散式允入管理架構眾多，其中較具參考性由 Victor O. K. Li 等人於 2002 年 IEEE International Conference on Communications 發表之管理架構[15]，由 Bandwidth Broker 將資源分配給所屬核心網路之 Ingress Router，由 Ingress Router 進行允入控制。

該管理架構中(圖 2.3)，基本網路分成多個核心網路，核心網路所採用的 QoS 機制為 DiffServ。

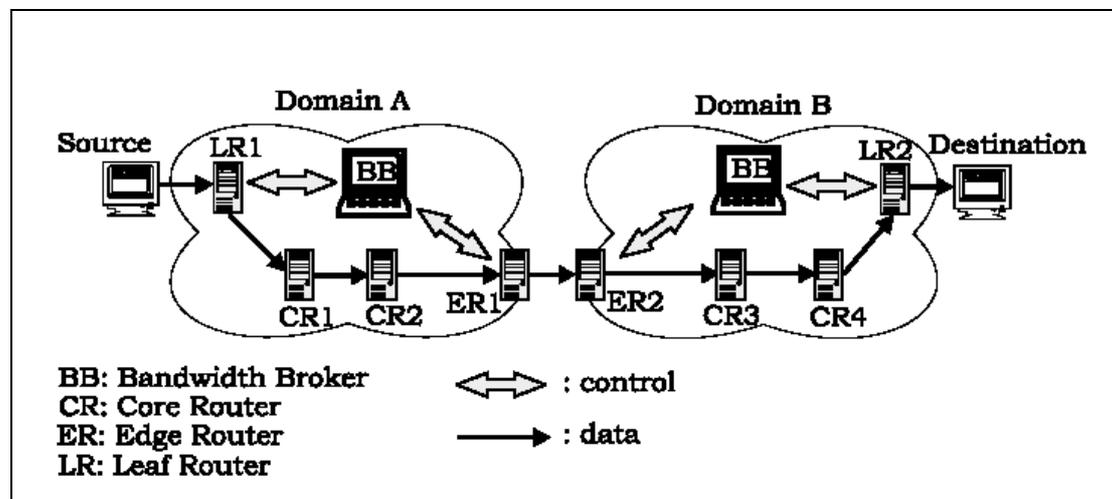


圖 2.3：分散式管理架構

不同於以往集中管理資源之作法，此架構以核心網路為管理單位，核心網路之各個 Ingress Router 與各個 Egress Router 間有數條預先計算好的路徑，路徑的頻寬資源由 BB 分配，再由 Ingress Router 進行允入控制。每隔一段固定時間，BB 檢視各個 Ingress Router 之路徑資源使用效能，依據平均資源使用情況

與最新資源使用情況調配路徑資源。分配資源時，若 BB 僅著重於整體的利益考量，就容易出現公平性(fairness)的問題，某些比較重要的 Ingress Router 分到較多資源，而有些 Ingress Router 分不到資源或是過少而使得 Edge Router 允入量差異過大。

Victor O.K. Li's system 以類似 RSVP 的方式進行允入控制，分為 inter-domain 與 intra-domain。Inter-domain 為跨核心網路之允入控制(如圖 2.3 之 ER1 到 ER2)；intra-domain 則為該核心網路之允入控制與路徑選擇(如圖 2.3 之 LR1 到 ER1)。在此架構下，由於 intra-domain 之資源分配是以固定時間方式分配，於進行分配時 BB 參考上個時段各個 Ingress Router 允入控制情形與進入流量，再加以重新配置資源。若是網路流量隨著時間不同而有所差異，此作法不易對當時情形作出反應而難以掌握突然大量出現的訊務；intra-domain 之允入控制為管理跨核心網路之允入情形，在此架構下目前只考慮 DiffServ 核心網路，對於其他類型的 QoS 網路(如 UMTS)尚未提及。由於不同類型的 QoS 網路對於 QoS 服務類別有不同的定義，當跨 QoS 網路時則必須考慮到服務類別對映(mapping)的問題，必須以恰當的對映使得訊務在進行跨網路時依然能夠得到適當的 QoS 服務，因此在核心網路部分可引用其他類型的核心網路以此研究所提出之管理架構與方法為基礎作更進一步的研究。

2.2 評論(Summary)

如果對每一個訊務以 real-time on-demand 去要求資源建立路徑以提供端對端的品質保證，其 overhead 將極為可觀，例如 IntServ 使用 RSVP 的方式預留資源，必須針對每個訊務的需求在核心網路內逐步搜尋，得到一條保留路徑，因其 overhead 太大，只能適用於小型網路。而 DiffServ 雖然以 per-aggregate 的方式減低管理的複雜度，但是這種 per-aggregate 的服務品質保證，卻沒有辦法對於單一個訊務提供絕對的端對端服務品質保證。

現階段的資源管理多以集中的方式配置資源，網域的允入控制由一元件統一執行。這樣的作法於資源易受限於核心網路大小與網路流量，當網域過大或者流量過多，除中央統籌元件負荷量重與網路 overhead 過大外，在實際執行上也有困難存在。

在上述的架構中，在路徑規化與資源分配上，多半是以事先規劃的方式，減低即時運算的過量負荷。在 TEQUILA 的架構中，品質參數多，品質管理的模型較為複雜，其 Dynamic Route Management 的目標為平衡負荷(load balance)，Dynamic Resource Management 則負責管理與調整連線頻寬(link bandwidth)與暫存器空間(buffer space)，然而對於訊務預測的誤差並沒有辦法有效彌補，當預測誤差過大時，系統會有過多的即時運算，承擔過多的負荷。至於 Victor O. K. Li' s system 以分散式的方法配置資源，可能會有較高的資源浪費，所以每隔一段時間便會依各個 Ingress Router 的使用情況重新調整，然而這樣的方式在突然進入大量訊務(burst)的情況下會無法處理。

鑑於提供端對端具品質管理所面臨的問題，本論文之研究目標在於提出一個簡單的端對端品質服務架構，以預算分配為基礎，使用簡化的單一品質參數，使得系統業者可以調整自己的品質管理策略，來增加系統效能，減低管理效率。除此之外，系統佈署(deployment)的容易與否也是我們考量的重點之一。

在本研究架構，我們以分層管理的方式解決問題，將資源管理與允入控制分開進行。資源管理方面，核心網路內部頻寬資源由 BB 統一控管，依照核心網路各個 Ingress Router 需求不同進行適當的分配，由 Ingress Router 內部元件事先進行路徑規劃，接下來再依照規劃結果對於訊務進行 per-flow 允入控制。在下面章節先簡介 BBQ 管理架構，以 Ingress Router 作為研究重點，提出兩套資源管理方法於 Ingress Router 執行，分別是預先頻寬批購與執行時段頻寬管理。

第三章

以預算為基礎之服務品質保證 (Budget-Based QoS)

在異質性極高的下一代網路上，要提供 per flow End-to-End QoS 是一項管理複雜度極高的工作，但唯有 per flow End-to-End QoS 才可提供使用者絕對的服務品質保證。BBQ 之設計目的即為提供一個簡單易行的 per flow End-to-End QoS 管理架構。

要提供適當的 QoS 管理，其成功之關鍵主要在於是否能提供一個簡單易行之架構，再據此設計各種解決方案。以目前管理趨勢，由於 Per flow QoS 將造成大量的管理負擔，多使用訊務集合技術 (Traffic aggregate) 將許多 flow 歸併，減低管理負擔。另一技術則將網路上的資源依照服務品質優劣做等級區分，採用分級分流管理，分級收費的方式。目前最風行的 DiffServ，即基於此兩種理念。惟無法提供 per flow 的服務品質保證，也無法提供端對端品質保證，仍為極大缺憾。為了克服此問題，BBQ 之目標即在設計一個可提供 per flow 端對端服務品質的保證。

BBQ(Budget-Based QoS)採用預算為基礎之服務品質管理，以簡化管理、追求效率，不增加管理複雜度為原則。根據這種簡化管理的原則，利用分層分權的方式將 QoS 管理權責以預算之方式分散到每個網路元件。並且，避免繁複的折衝協調，尤其是應盡量避免即興式 (real time on demand) 的資源管理，盡量以預先規劃取代即興式資源分配。BBQ 管理提供一個高適用性的管理模型和管理工

具，可適用於不同的下層網路技術和上層營運者管理目標。以下將簡介 BBQ 的網路架構和管理系統架構。

3.1 BBQ 架構 (Budget-Based QoS Framework)

本章節將先介紹一個簡化之全 IP 網路架構，並且分析重要的網路節點，設定 BBQ 的 QoS 元件所需之功能和元件位置；以預算為基礎之管理為 BBQ 分散管理權責、化簡系統複雜度的概念；路徑定義和乘載服務架構則將端對端的服務分解為各元件所能負擔之服務；資源分配的時機和資源配置方式。

3.1.1 簡化的 All-IP 網路架構 (A Simplified All-IP Network Architecture)

一個遍及全世界的通訊網路，是由各個獨立營運的大小網路所共同組合而成。傳統上，多數的國家只有一個由政府營運的網路。但過去十年來，許多國家進行電信自由化，開放許多商業網路執照。這些網路利用網路互連協定互相連接，組織成遍及全世界的通訊網路，如此便可將訊息傳遞到世界上大部分的地區。本研究假設一個全世界的全 IP 網路也是利用相同的方式部署，但為了使此網路架構簡明易懂，做了以下的假設。

一個獨立營運的網路包括了一個核心網路 (Core network) 和數個接取網路 (Stub Network)。一個核心網路涵蓋了整個營運網路所能服務的區域，而接取網路則是只涵蓋了較小的區域，例如一個城市。接取網路可能是固定或無線接取網路，例如 Wi-Fi WLAN 或 3G Radio Network。一般而言，兩個連接在同一個接取網路的終端設備，可以不透過核心網路直接通訊，但為了簡化問題，本研究假設一個 IP 封包將由本地接取網路經過核心網路傳遞，再送到遠端接取網

路。本地接取網路將稱為入口接取網路 (Entrance Stub network)，遠端則稱為出口接取網路 (Exit Stub network)。所有核心網路的營運者利用 interconnection 鏈結相互連接成的網路，稱為骨幹網路 (Backbone Network)。當傳送一個封包到其他網路時，將先從入口接取網路出發，經過數個核心網路(骨幹網路)後，最後送到出口接取網路。核心網路中連接接取網路的邊緣路由器 (edge router)，稱為邊界入口閘道器 (Border Gateway, BG)，在接取網路與核心網路間執行閘道器的功能。以提供服務品質保證的目的而言，邊界入口閘道器也需要執行允入控制 (Admission control)。另一方面，接取網路連接核心網路的邊緣路由器，稱為接取閘道器 (Access Gateway, AG)。核心網路互連之路由器則稱為 Inter-Domain Gateway。下圖 3.1 為簡化之全 IP 網路架構。

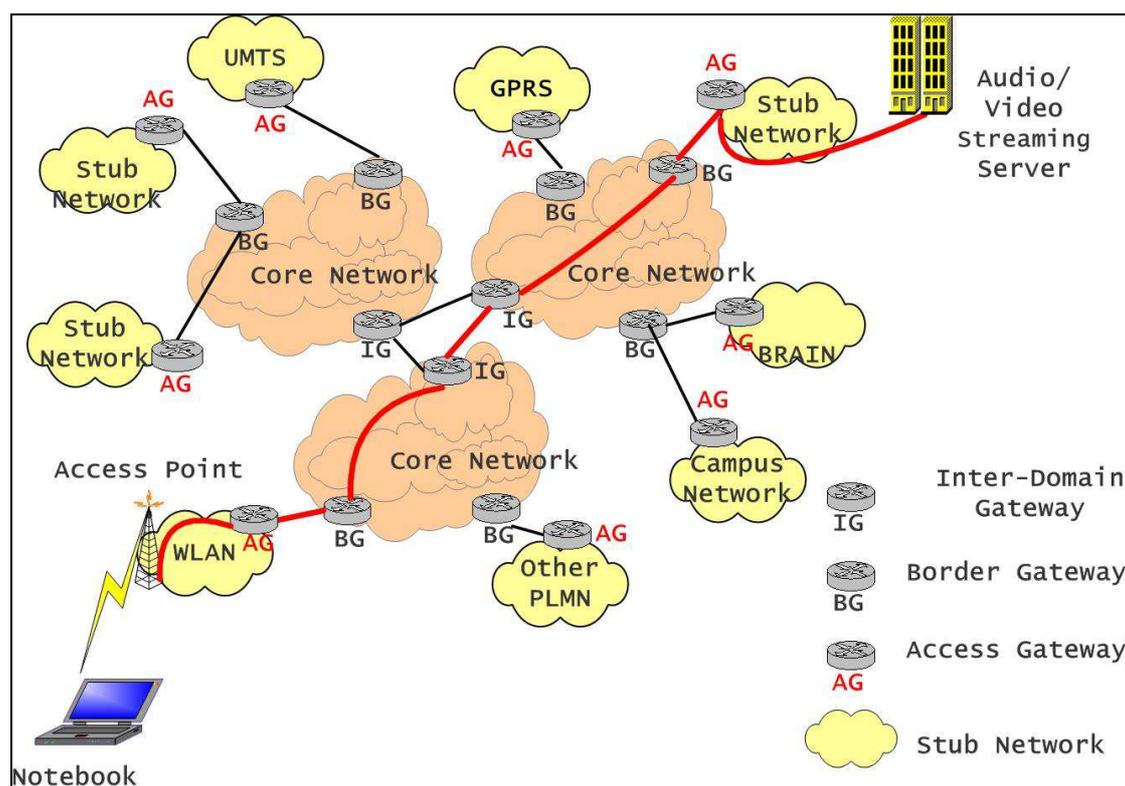


圖 3.1：簡化的全 IP 網路架構

3.1.2 以預算為基礎之管理 (Budget-Based Management)

為了提供端對端網路服務，網路必須提供端對端服務品質保證。在實際的

通訊中，一個封包可能必須穿越數個不同營運者的網路，並非單純地在同一網路當中我們將一個封包所經過的路程，稱為一條端對端路徑（End-to-End path），端對端路徑包含了許多網路元件，例如接取網路和核心網路。

以預算為基礎之概念就是，我們可以依據網路元件的能力，將使用者所要求之頻寬、服務品質以預算方式分配在這些網路元件上面。透過如此預算分配的方式，由網路元件負責提供分段的品質保證。此係一個實際網路能否成功運作之關鍵因素。

雖然以預算為基礎之管理架構無法達到最佳的整體資源運用效率，但是卻能大幅減低管理複雜度。所以，BBQ 架構將全面使用預算(budget)的方式，將管理權責以最佳方式分配到各個網路元件。

3.1.3 路徑定義 (Path Definitions)

封包所行經一連串的節點和鏈結，就是所謂的路徑。一般來說，在封包交換網路當中，封包並無事先定義的路徑。不過，為了某些目的，網路營運者可能會為一個封包指定一條路徑，此條路徑可能是預先靜態指定或是動態指派。為一個封包找一條路徑的程序稱為路由。某些路由執行方法是由網路營運者依據路由的結果為所有的路由器設定路由表。封包的行進路徑可能根據由路由模組為路由器設計的靜態路徑，也可能根據由路由模組為封包規劃的動態路徑。如果封包能依規劃的路徑行進，將更容易確保服務品質保證。

因此，BBQ 將利用規劃具服務品質保證的路徑，以達到服務品質保證。BBQ 採用透過分層分權的方式，各層元件各自規劃該層級的資源成一路徑片段，提供給上層元件規劃成較長之路徑片段。Short Path 為一穿越某一個 Core Network 且提供服務品質保證之路徑，由核心網路路徑規劃元件，PPA (Path Planning Agent) 負責規劃；Long Path 為一穿越 Backbone 且可提供服務品質保證之路徑，

由核心網路另一個路徑規劃元件，LPPA (Local Path Planning Agent)負責規劃。End-to-End Path則為 end user 到 end user 且實際提供端對端服務品質保證之路徑，由接取網路元件 global ACA(Admission Control Agent)負責維護。如此，每一個核心網路負責兩個路徑規劃任務：一是負責將各自網路內鏈結(link)組成一條條附有品質保證的 short path。另一則是負責為連接到各自網路的接取網路所產生的訊務規劃 long path(規劃時需與其他核心網路協調)。

表 3.1：分層之路徑定義

規劃路徑	管理元件	路由能力
Short Path	核心網路之 PPAs	Short path 為通過核心網路之路徑，並且可提供服務品質保證。
Long Path	核心網路之 LPPAs	Long path 為可通過骨幹網路之路徑，並且可提供服務品質保證。
End-to-End Path	接取網路之 global ACAs	End-to-End path 由通過接取網路之路徑和 long path 相連而成，同樣可提供服務品質保證。

3.1.4 承載服務架構 (Bearer Service Architecture)

每當一個封包需要傳遞至目的地時，封包所行經的子網路均需要為該封包提供承載服務。一般來說，全 IP 網路需要三類基本的承載服務，分別為 Entrance Stub network，Exit Stub network，和 Backbone。一條 short path 由一個核心網路承載，一條 long path 由幾個核心網路共同承載，一條 End-to-End 則由以上這條子網路共同承載。

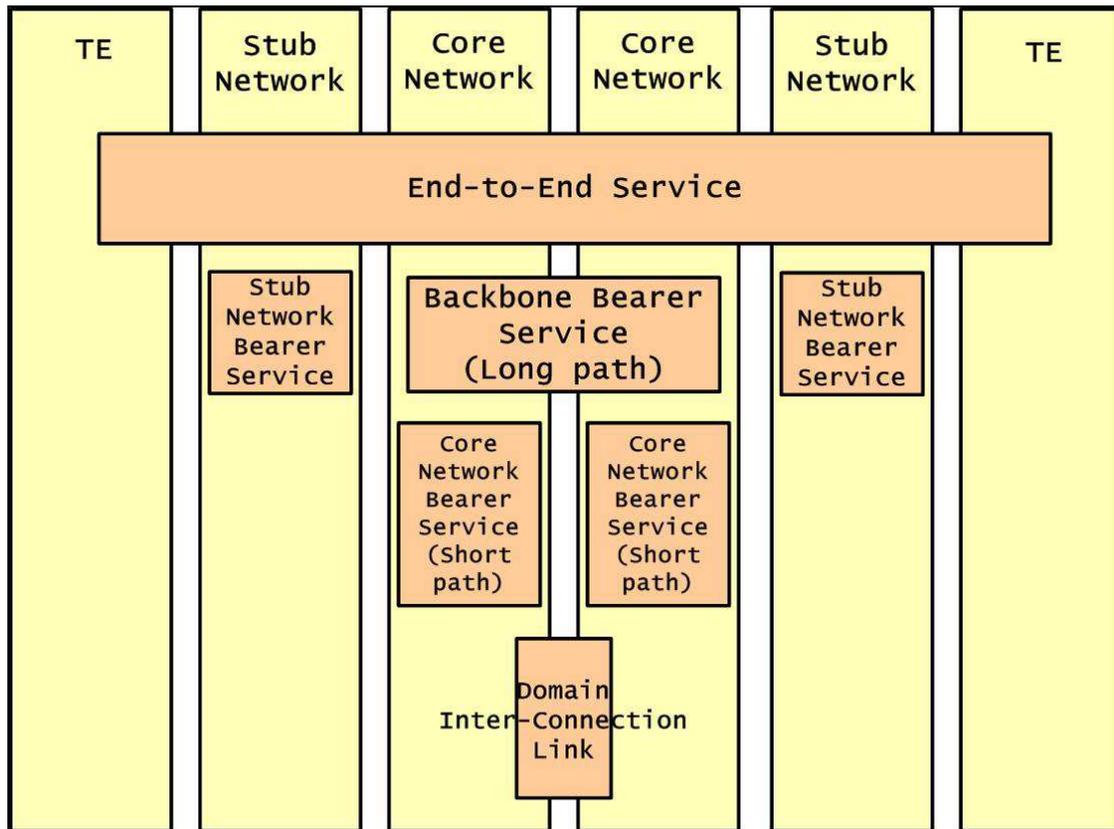


圖 3.2：端對端承載服務

由於規劃之需求，我們需要一個單一數值具可加性的品質量度，此量度由使用者之品質期望轉換而成，也可轉換成低層網路之品質參數。我們假這網路營運者可以自行定義轉換之公式。

3.1.5 服務品質熵數 (Quality Entropy)

服務品質熵數 (Quality Entropy) 為一與服務品質高低相反、具有可加性質之數，此值愈小則服務品質愈高。服務品質熵數可由營運者根據自身需求定義，通常可包含 delay time、jitter、packet loss 等品質參數，最簡單者可將此熵數訂為 delay time。本研究的各種品質相關機制均假設網路營運者應提供品質熵數之定義。

使用者對服務品質之定義與網路提供服務品質之定義不一定一致，例如，UMTS 為使用者所定的 class 與 DiffServ 所提供的 class 就不相同，於網路規劃

時莫所適從。本研究所定義的服務品質熵數可作為規劃時的一個通用指標，使得規劃方法及工具具高度適用性，適用於各種不同的服務要求。

在使用本研究提出的方法，須將使用者需求轉換成服務品質熵數，再利用本研究所提供之方法規劃品質政策。如圖 3.3：

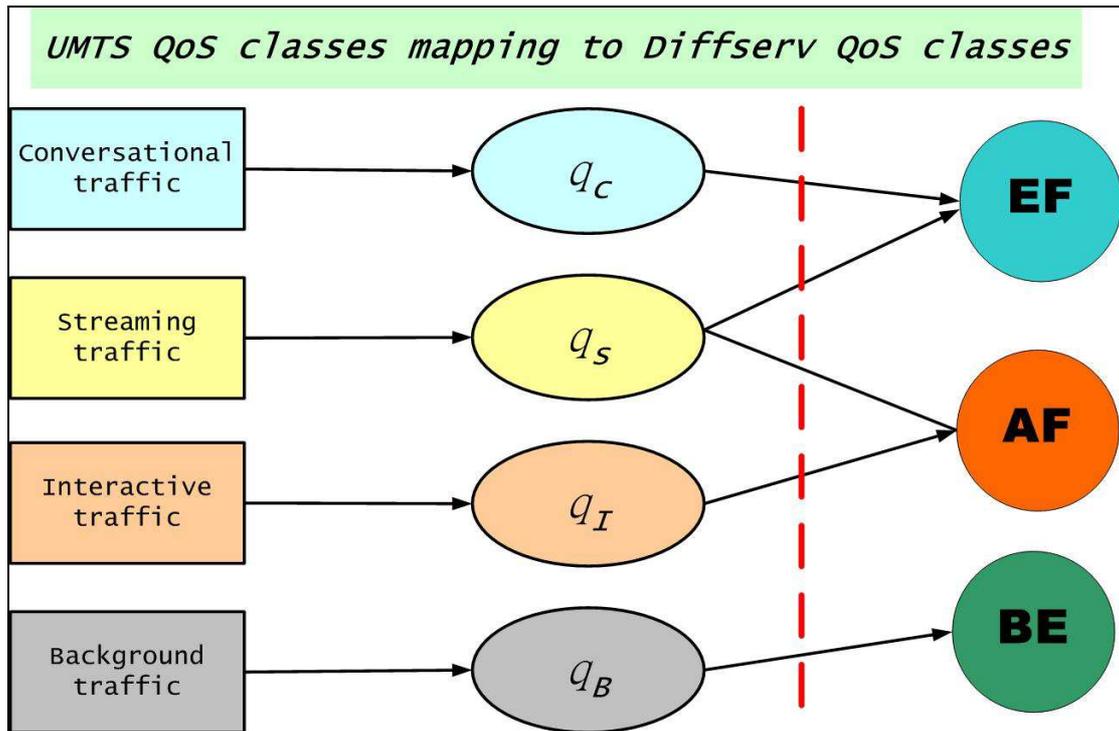


圖 3.3：服務品質熵數與品質參數對應

左方矩形代表服務等級（不一定為四類，可依照 operator 所欲提供的服務類型增減），中間橢圓形表示對應之服務品質熵數（Quality Entropy），每類的服務均對應到一個服務品質熵數的範圍，而右方的橢圓型則表示所對應的 network layer 的 QoS 等級。舉例來說，Conversational class 所對應之服務品質熵數為 q_c ，代表該 class 所需要之服務品質保證，又對應到 Network Layer 的 DiffServ 之 EF class 來管理。所以，我們提供能滿足 q_c 之資源，作為供給此 class demand 之資源。

3.1.6 即時資源分配與預先資源管理 (Pre-Planning vs. On Demand Allocation)

資源之管理可使用預先分配法或即時管理法。即時管理用於 QoS 中較著名的協定為 RSVP。在即時管理的方式之下，允入控制元件(Admission Controller)對於可用資源的掌握較少，只在訊務要進入網域時才臨時去向資源配置元件提出資源配置要求並選擇路徑，以此做允入控制。這樣方式之好處是不會有資源配置過量造成浪費，且進入網域的訊務都可以得到一定的品質保證，‘但是當網路上的流量逐漸增大，繞徑及資源管理訊息會隨著成長，漸漸成為管理上的一大負擔，並且尋找路徑的 overhead 會對網路造成相當的影響。在尋找路徑時，必須耗費相當的運算時間才能求得好的路徑，因此對於時間敏感度高的訊務並不適用即時的繞徑運算。綜合以上，即時管理在實際執行上易受到較多限制，不適合大型網路。相較於即時管理，預先分配可容忍較高的計算時間，但受限於預測不準確而不易與現實情況結合。但，如果訊務可預測，則可以設計一套好的預測方式以求預先分配最佳化。

在 BBQ 架構下的核心網路及核心網路所組成的骨幹網路中，其資源分配採用事先規劃的策略進行分配，事先規劃不同於即時資源分配，可容許較複雜之計算程序以及耗費較高時間以達到資源分配最佳化。網域的資源現僅涵蓋附有品質保證之 link 頻寬。每個 Ingress Router 紀錄過去各時間點各種需求的累積流量分布，利用這些歷史資料來預測各不同時段所需頻寬，並且經過計算整理成可使用資源，接下來等到實際執行階段依照實際流量做適當分配。

網路上的流量需求並不一定非常規律，預測的頻寬需求可能與實際情況出現誤差。對於預測形成的誤差，除盡可能提高預測之準確度之外，可以採取適當方案以減少因估計誤差所導致的資源浪費。

3.1.7 集中式與分散式資源配置 (Centralized vs. Distributed Resource Allocations)

本研究歸納了幾種不同的資源配置實作方式，分為集中式與分散式配置以及兩者之混合。前者由資源配置元件統一配置網域資源，後者則是將整個網域資源先分配給網域內的各個 Ingress Router 自行運用。

集中式的資源配置由資源配置元件統一配置網域資源，例如：由路徑規劃的元件參考歷史的訊務資料，規劃出附有品質保證及頻寬上限的路徑後，將路徑視為資源即依照路徑規之起點分配給各個 Ingress Router。

這樣的方法最大的優點是簡單且容易實行，且資源配置時的考量是整個網域中的資源，可以獲得較高效率的規劃。但頻繁的資源配置由單一元件統籌也會有許多缺點：

- 集中式的規劃方式不易解決公平性的問題(fairness problem)。系統為了達成最佳化目標(如獲利最高)，可能不能顧及公平性造成部分 Ingress Router 沒有獲得公平的對待。
- 中央集中式資源分配雖然可以因為擁有全部網路資訊作統一規劃而有較好的效率，但也因為問題較大通常無法得到最佳解。
- 由於對訊務的預測有其不準度，需要即時資源配置來輔助，在執行時期，即時的資源配置對中央資源分配元件造成可觀負荷，難以擺脫即時分配法之原有缺點。因此集中式資源配置的架構因應訊務流量異常變化的能力較差。

分散式的方法則將資源配置交由幾個不同的元件負責。例如：由 Ingress Router 預測某一段時間內可能的資源需求量，依據預測的結果對資源配置元件要求資源配置，資源配置元件綜合所有需求後將資源分配給各個 Ingress Router

自行運用。當有新的資料流欲進入網域時，Ingress Router 只需檢視自己手上所擁有的資源，再決定是否讓訊務進入網路，不用再由資源配置元件處理訊務的資源配置。

分散式資源配置方法是將路徑規劃的工作分散至個別 Ingress Router，每個 Ingress Router 負責規劃由自己進入的資料流路徑。分散式的方法減輕了中央統籌元件的負荷，可避免集中式分配所可能造成的公平性問題，而且在發生訊務異常時，可以由 Edge Router 作小幅度的內部調整，可以增加應付訊務異常之能力。但分散式的架構較為複雜，且整體的資源使用率會較低，此點可藉混合式彌補。

混合式的一種方法是以集中式的方法作初步規劃，再以分散式的方法做細部調整，在執行時段也採用分散資源分配。如此，可增加集中式資源規劃的效率提高最佳化能力，減低公平性問題，又可避免即時資源分配的問題。

3.1.8 需求預測

BBQ 架構規劃網域的資源必須依靠精準之需求預測，以過去具有相關性的歷史資料預測未來某個時段的訊務需求。在規劃的時間點(planning time，例如每天晚上 12:00)、規劃的時間長度(length of time period，例如以一小時為單位)與規劃範圍(planning cycle)都有彈性可供選擇。在時間長度部份，根據 BBQ 網路在不同環境下，對於流量變異性較小之網路，我們可以取較長的規劃時間長度，例如以每小時為一個單位，將一天分成 24 個時段，再以一天為一個規劃範圍。對於流量變異性較大之網路，則可以縮短規劃時間長度，例如以半小時為一個單位，將一天分成 48 個時段進行規劃。當然也可以採用不規則的時間長，尖峰時段較短而離峰時段較長。

系統業者可根據該網路狀況進行調整，較長的規劃時間長度可以減少事先進

行預測與配置資源的流程次數，適合用在流量相對於時間的變異性較小之網路；而較短的規劃時間會耗費較多次的預測與資源配置流程，但是在流量相對於時間的變異性較大之網路可以較為精準的預測需求。

決定了規劃時間長度(length of time period)後，應在適當的時機對於下一個規劃範圍(planning cycle)，針對規劃範圍內各個 Concerned Time Period (CTP, 欲規劃資源需求的時段)進行需求分析並進行資源配置(例如前天晚上進行隔天每個規劃時間的需求預測與資源配置)。對於每一個 CTP 都可以定義一組 Reference Time Period (RTP, 預測 CTP 資源需求之參考時段)，RTP 為 Ingress Router 紀錄的歷史資料中，與該 CTP 之需求特性類似的時候，舉例而言，如果 CTP 為本週週一早上 8 - 9AM，則預測中所參考的 RTP 可設為之前所有週一早上 8 - 9AM。RTP 的流量需求紀錄，可作為 CTP 需求預測的參考，根據需求分佈的情況來調整資源批購方針。

3.2 管理系統架構 (Management System Architecture for BBQ)

3.2.1 BBQ 管理系統假設 (BBQ System Assumptions)

B 為了簡化設計的複雜度，我們將有以下的假設。第一，quality entropy 為由營運者根據自身需求定義之函數計算的單一數值評估指標。第二，本研究假設 quality entropy 為一具可加性之數值，可透過預算分配的方式，將服務品質熵數分配在各個網路元件之上。第三，BBQ 假設於核心網路等大型網路當中，具有 periodical traffic pattern。第四，BBQ 將不同服務等級之資源視為獨立的網路資源分開規劃。

3.2.2 分散式分層管理系統 (Distributed Management System

Hierarchy)

為了降低管理的複雜度，BBQ 採用分散式階層式相當於 3.1.7 所述的混合式管理系統，負責規劃資源的使用以及提供服務品質的路徑規劃。其主要目標是要讓網路管理者在所擁有的網路資源下，提供最多符合品質的服務。以預先資源規劃的方式在各元件之間事先協調資源分配，允入控制元件在獲得資源後，再整合各項資源形成符合各項 QoS 條件的訊務路徑留待執行時期提供給允入的訊務使用。

BBQ 將服務品質管理依照階層架構做分類。由上而下，端對端服務品質保證協調層 (End-to-End Network QoS Coordination Layer) 負責提供端對端服務品質保證，利用下層元件所提供之資源，規劃 long path 和 End-to-End Path；核心網路資源管理層 (Core Network Resource Management Layer) 負責核心網路之資源管理分配；核心網路資源控制層 (Core Network QoS Control Layer) 負責執行服務品質保證之策略以提供服務品質保證，例如允入控制等。DiffServ 或其他 IP 層網路則負責執行上層元件所規劃出來服務品質管理策略，屬於下層網路技術。BBQ 為具適用性之管理架構，可更換底層之網路技術，目前 BBQ 採用以 IETF 所制定的 DiffServ 為底層網路架構。

表 3.2：BBQ 管理系統層級分工

層級	作用
端對端服務品質保證協調層	端對端品質控制，含資源和路徑規劃。
核心網路資源管理層	核心網路資源管理分配
核心網路資源控制層	執行核心網路服務品質策略
DiffServ	執行上層資源管理架構所設定策略。

3.2.3 管理系統軟體架構 (Management System Software Architecture)

每個核心網路均有一個軟體元件為 Core Network Coordinator, CNC, 其中一個元件, Long Path Planning Agent, LPPA, 負責 long path 規劃。而接取網路的網路接取伺服器上則有一個軟體元件為 global ACA, 負責端對端服務品質保證之允入控制。

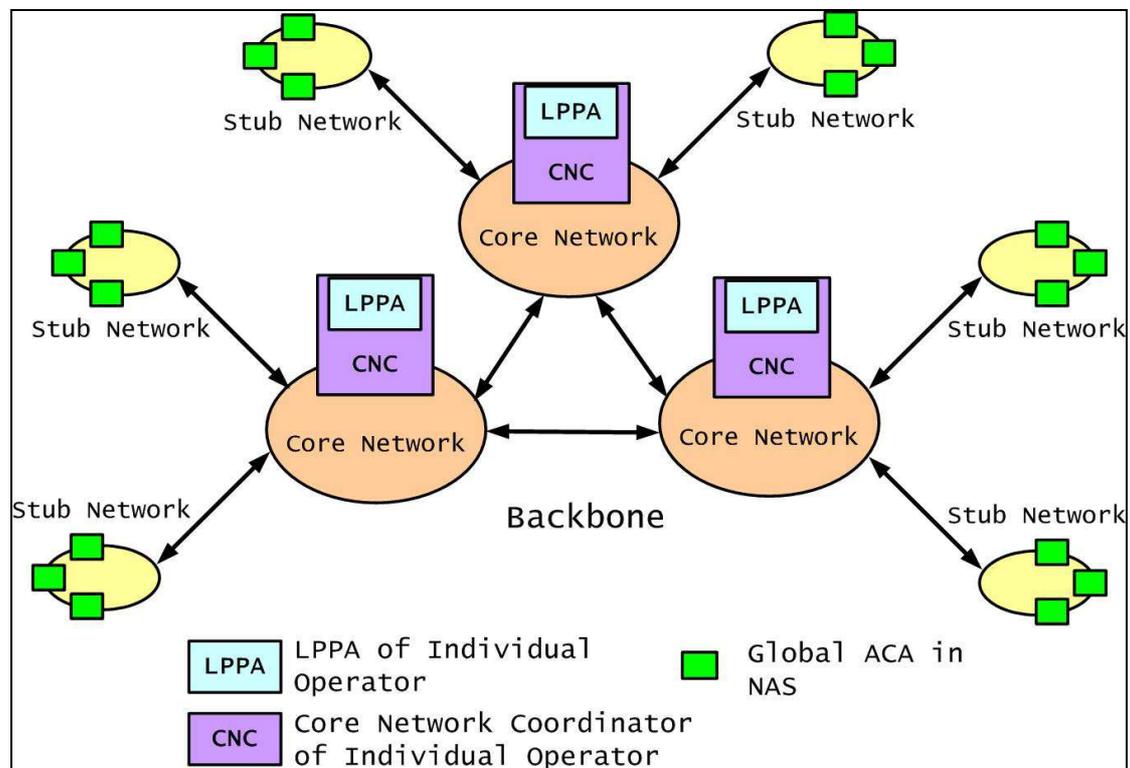


圖 3.4 : BBQ 管理系統軟體元件架構

3.2.4 簡化的端對端服務品質建立流程 (A Simplified End-to-End Path Setup Procedure)

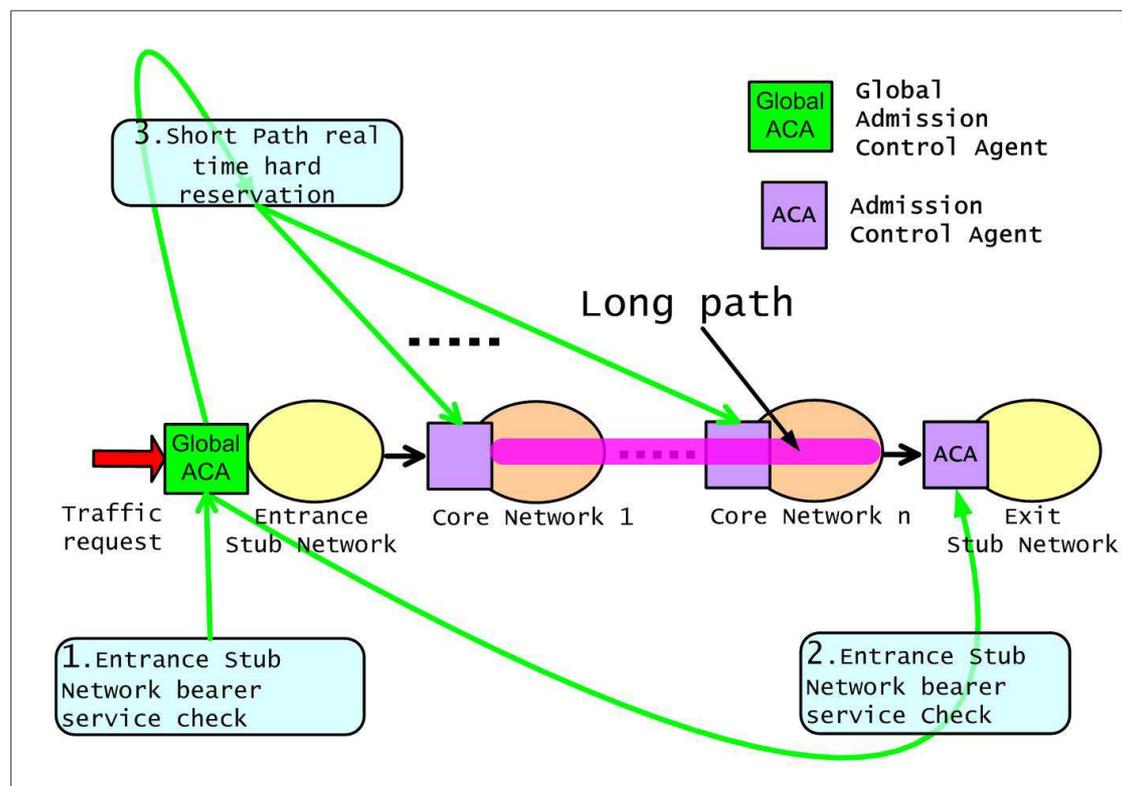


圖 3.5：簡化的端對端服務品質建立流程

上圖為簡化的端對端服務品質建立流程。當即時的訊務流要求進入全 IP 網路時，由接取網路 Access Network 上的 Global ACA 負責允入控制。由於 BBQ 採用資源預先規劃，即時分配的管理方式，因此，允入訊務流之前需要先建立具有服務品質保證之端對端路徑。簡單分為三步驟：

- 入口接取網路承載服務資源之取得
- 出口接取網路承載服務資源之取得
- Long path 資源使用權之取得。Long path 由數條 short path 所組成，此階段將需要取得所需之 short path 資源使用權。

3.3 BBQ 中的核心網路架構與 QoS 元件 (Core Network Architecture and QoS Components for BBQ)

一個端對端的網路架構中包含許多的核心網路。在 BBQ 的架構之下，我們假設一個核心網路是由一個電信公司所獨自擁有的網路，而各個核心網路的營運者都有其管理自身的管理政策。在 BBQ 分層管理的概念下，一個端對端具服務品質保證的資料流可能會由多個不同電信公司所管理的，當最上層端對端管理元件將 QoS budget 分配到至核心網路後，核心網路上執行 QoS 保證的元件就負責滿足品質要求，完成具品質保證的端對端服務 Ingress 至 Egress，如此分工可有效降低管理的複雜度。

而為了提供每個訊務通過核心網路的品質保證，在核心網路中，我們採用資源預先配置方式，訊務若被允許進入此網路中，則會獲得一定的資源，以保證訊務通過網路時，可以達成所需之服務品質保證。

在 BBQ 中的核心網路架構，將會在 DiffServ 的為基礎的網路架構中，加入我們所提出的資源管理和傳輸服務品質架構之機制，藉以提供網路營運業者一套簡單易行的管理工具，來達成 End-to-End 服務品質保證，讓網路營運者調整其品質政策以達成其最大的滿意度。

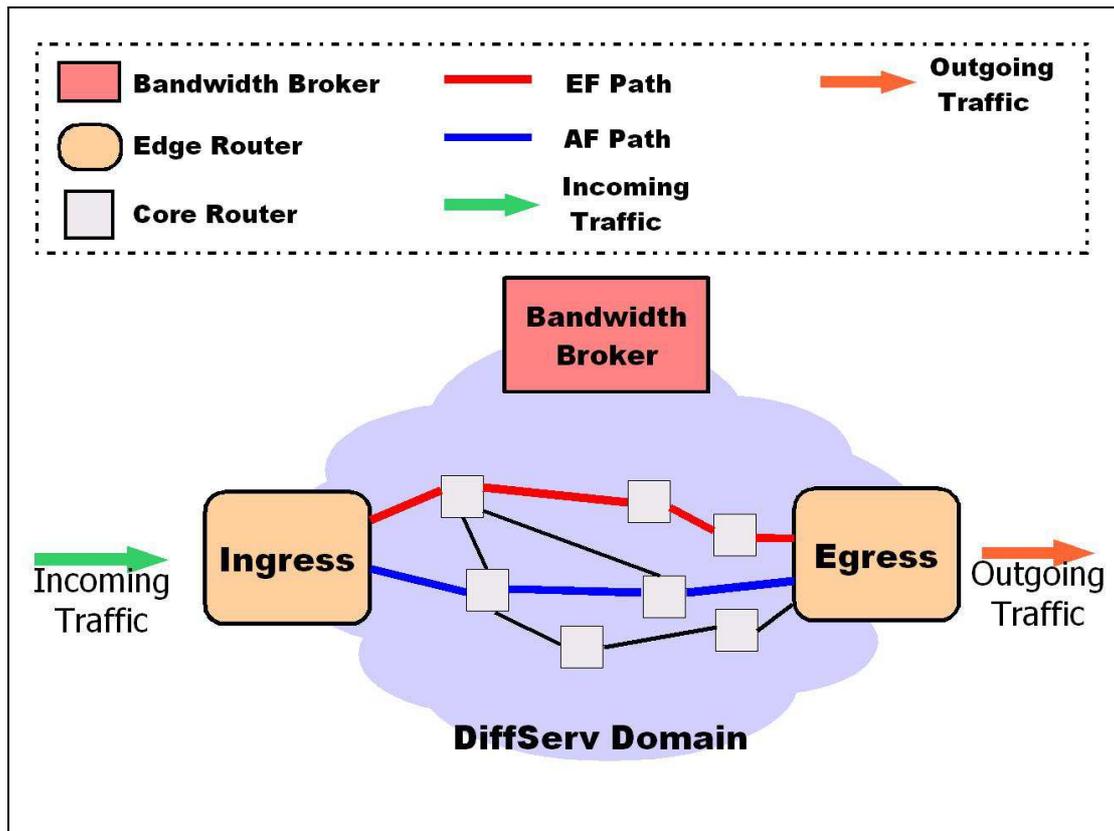


圖 3.6：BBQ 架構之核心網路

3.3.1 核心網路資源規劃方法

為了提供每個訊務通過核心網路的品質保證，我們建議指定每個訊務的傳送路徑。在路由方法上，主要可以分為集中式(centralized approach)與分散式(distributed approach)兩種，集中式是由一元件負責所有 Ingress Router 進入資料流的路徑規劃選擇；分散式則由各個負責允入的 Ingress Router 找出可以滿足資料流品質需求的路徑。

本研究考量網路資源的使用率與網域內各 Ingress Router 的公平性問題，以分散式搭配集中式的方法路由，並配合上適當的資源配置法，規劃成一個個完整路徑，給 Ingress Router 允入使用。資源配置法考量時效性問題與管理複雜度，避免採用即時資源配置受到較多限制，而採用預先分配法，事先進行資源規劃。

3.3.2 核心網路內的資源規劃元件

在 BBQ 的架構之下，我們假設一個核心網路是由一個營運者所獨自擁有的網路，因此而一個端對端的網路架構中包含許多的核心網路。在 BBQ 分層管理的概念下，負責 long path 及 short path 的元件各自負責在指定的品質預算內規劃出一組組 long path 及 short path。

目前我們假設核心網路為一 DiffServ 網路，由數個 Edge Router 與 Core Router 組成，除了 Core Router 僅負責傳遞資料外，QoS 的管理主要分散在核心網路協調元件與各個 Edge Router 上。如圖 3.7 所示，核心網路 QoS 管理元件主要有核心網路協調元件與 Edge Router，Edge Router 又分為 Ingress Router 與 Egress Router，其中核心網路協調元件包含資源管理元件與核心網路路徑規劃元件，Ingress Router 則包含頻寬訂購代理人、允入控制代理人與路徑規劃元件，上述元件的功能分別如下：

- 核心網路協調元件(Core Network Coordinator, CNC)

在每一個核心網路之中皆有一個核心網路協調元件(以下簡稱 CNC)，是核心網路主要控制元件，也是管理上核心網路對外的窗口，其內包含兩個元件：

- 資源管理元件(Bandwidth Broker, BB)：負責對核心網路內的資源做適當的分配，主要採用分層管理的精神，在系統初始的時候將核心網路內的頻寬資源交與各個入口路由器做利用。

- 核心網路路徑規劃元件(Short Path Planning Agent, Short PPA)：

主要負責將欲進入該核心網路之訊務預測，以中央集中式繞徑及資源分配方式計算出其路徑需求，再轉換成每一個鏈路(link)的需求，交由負責批購頻寬的元件，購買頻寬時的參考。

- Edge Router

在網域最外圍連結其他網域的 router 稱為 Edge Router，資料流的進入的 Edge Router 稱為 Ingress Router，離開的 Edge Router 則為 Egress Router。

- Ingress Router：

訊務進入的 Edge Router，其負責的任務與功能如下。

頻寬訂購代理人(Bandwidth Order Agent, BOA) - 根據以往的訊務統計由 short PPA 供給計算最佳批購量，向 CNC 元件訂購所需的頻寬交由 LSPPA 規劃成可用路徑。

允入控制代理人(Admission Control Agent, ACA) - 依據所掌握的路徑資源來決定是否可以滿足資料流的需求，若允許進入網域，就表示可以滿足此資料流對於傳送品質的要求。

路徑規劃元件(Local Short Path Planning Agent, LSPPA) - 此元件會將 BOA 所批購回來的資源，規劃成有各種品質的路徑所組成的路徑組，供 ACA 在系統執行時使用，各個 LSPPA 可根據各個 Edge Router 的情況選擇規劃方法，不一定強求一致。

- Egress Router：

訊務離開的 Edge Router，當資料流結束傳送時，Egress Router 負責釋放原先配置的資源，以利之後進入的資料流使用。

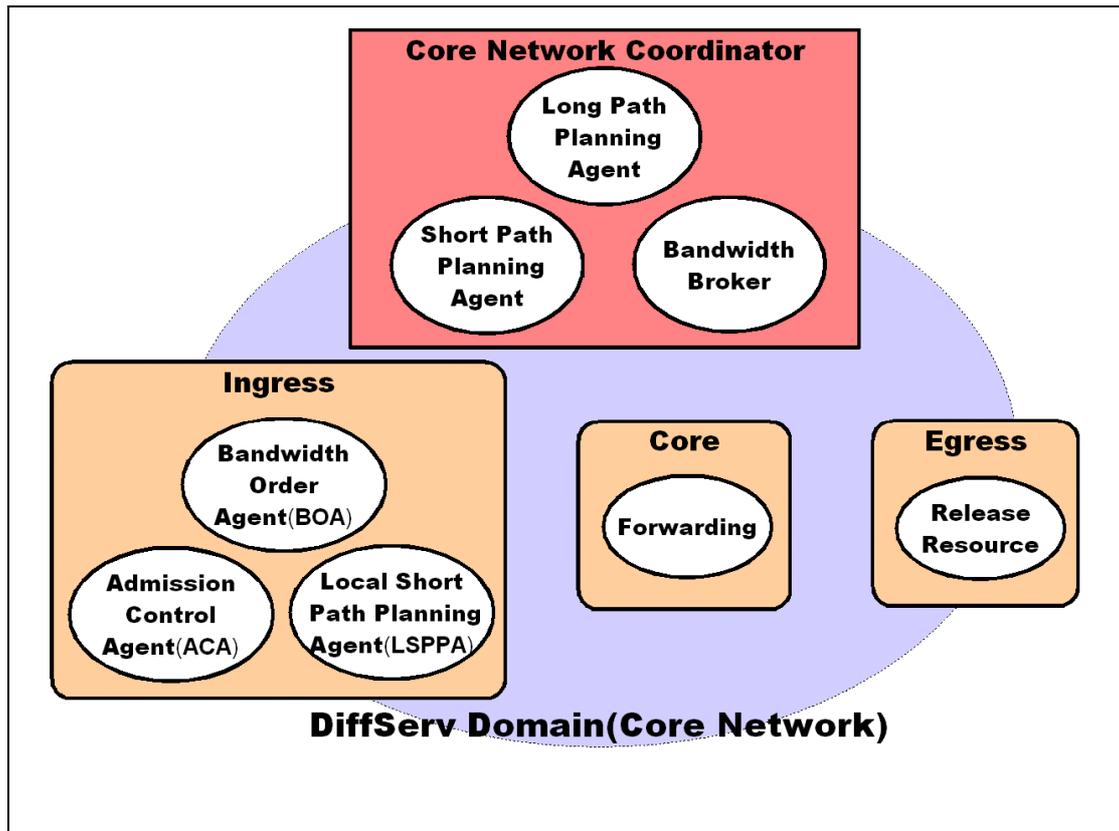


圖 3.7：核心網路管理架構

3.3.3 分散式資源規劃運作流程

BBQ 架構是以預測的方式規劃網域的資源，來應付未來訊務的資源需求，因此需要一套良好的資源規劃方法，在 BBQ 的核心網路中利用分層管理，權責區分的精神，採用批發零售的方式，來管理網域內的資源。每一個 link 的頻寬均由 CNC 中的 Resource Manager 統一分配，BOA 根據預測，預先向 BB 批購每一個 link 的部份頻寬，批購來的各段 link 頻寬由 Edge Router 自由使用，組成各種路徑分配給進來的資料流使用，整個批發零售的過程如圖 3.8：

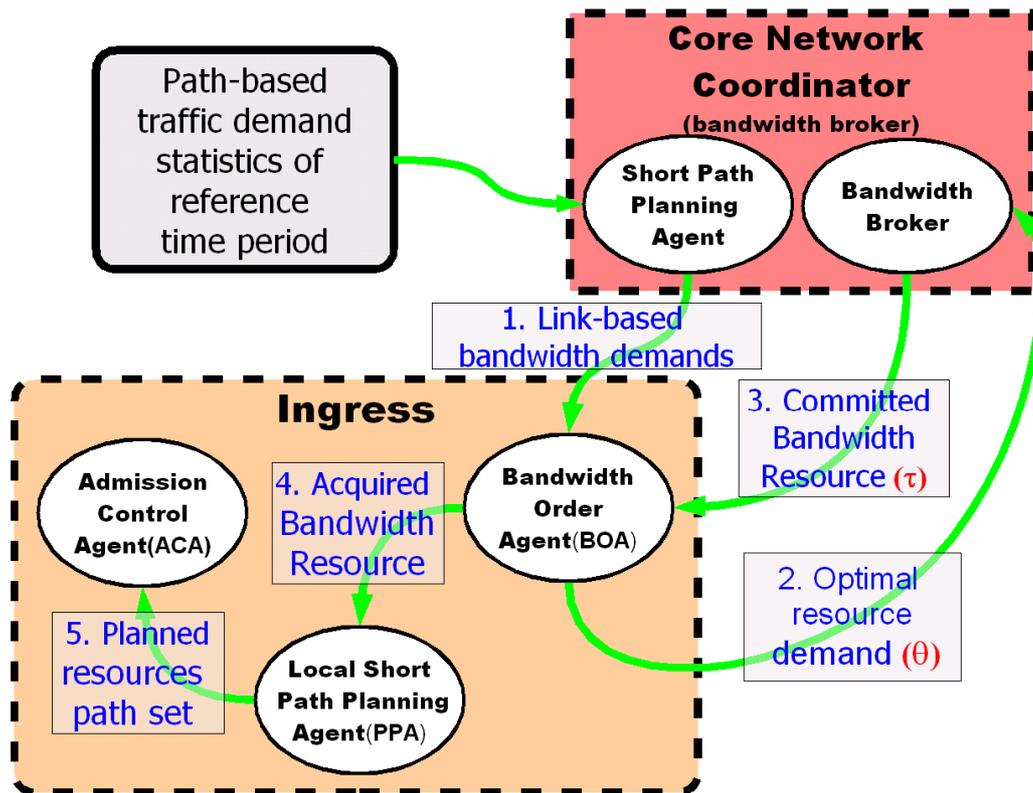


圖 3.8：核心網路資源分配流程

首先將整個訊務型態的歷史資料分成幾個時段，挑選出與下個預測時段相似的參考時段，根據這一個時段的訊務特性還有先前資源的使用情形，為各個 Ingress Router 某個未來時段資源需求做預測，此一個預測的結果為一個資源需求的分佈圖。此時 Short Path Planning Agent (SPPA)會根據各個 Ingress Router 上的需求分佈圖和核心網路內的頻寬，計算出最適合此時段訊務的一組路徑組，此路徑組是由從各個 Ingress Router 出發具有不同 QoS 品質的路徑所組成，預料將可以滿足該時段中不同應用的品質要求。

步驟一、SPPA 會在將此整體路徑組轉換成每一個 Ingress Router 在各 link 上的資源需求，其結果也是一個各個 Ingress Router 的資源需求分布圖，然後此資訊交給 BOA。

步驟二、BOA 會根據此一資訊加上自身的特殊考慮，決定所需之資源批購量，向 CNC 中的 Bandwidth Broker 批購。

步驟三、Bandwidth Broker 會根據所有 BOA 的需求及整體資源存量來決定資源配置。

步驟四、當每個 Ingress Router 上的 BOA 購得資源之後，會將此 link-base 的資源交給各個 Ingress Router 之中的 Local Short Path Planning Agent (LSPPA) 做路徑的規劃。

步驟五、LSPPA 會利用這些資源規劃出適合的路徑組，儲存在各個 Ingress Router 的 Resource Database 中，供 Admission Control Agent 和 end-to-end 的 Agent 使用。

第四章

資源管理與允入控制

4.1 預購法頻寬規劃

以預購法規劃頻寬之程序為：各 Ingress Router 中的 Bandwidth Order Agent(BOA)向 Bandwidth Broker (BB)批購資源供實際使用。批購的內容包含指定 link、quality(以 quality entropy 表示)與其所需頻寬，BOA 據此啟動 bandwidth order procedure 向 BB 發送 resource request message 以取得資源，而 BB 則會依照各個 BOA 需求情況，考量如何進行資源分配。在選取 link 方面，BOA 會根據 Concerned Time Period 相關之 Referenced Time Period 找出該 Ingress Router 在 Reference Time Period 所選用過的路徑(由 LPPA 提供)，以這些路徑上所經過的 link 當作選取目標，以 link 為單位一一向 BB 批購資源。

4.1.1 Historical Traffic Pattern

預購所需之資源預測需要利用歷史資料，如果使用者需求具有重複性，即可用來預測。首先對每個不同時段，將 traffic 在各時段之 bandwidth 統計出來(圖 4.1)，根據使用者的行為不同，對於頻寬的需求也就不同，例如在離峰時段頻寬的需求量小，在尖峰時段頻寬的需求量大。頻寬需求在不同時段所顯現出來的差距較為明顯，以時段方式區分較具代表意義。以圖 4.1、4.2 為例，圖 4.2 為相同時段(亦為圖 4.1 對 x 軸作切割)，不同日期，在該時段之 bandwidth 紀錄。依照圖 4.2 之紀錄結果進行統計分析，分佈的狀況會依照時段不同而有所區別(圖 4.3)，如平均值(mean)、變異數(deviation)與範圍。

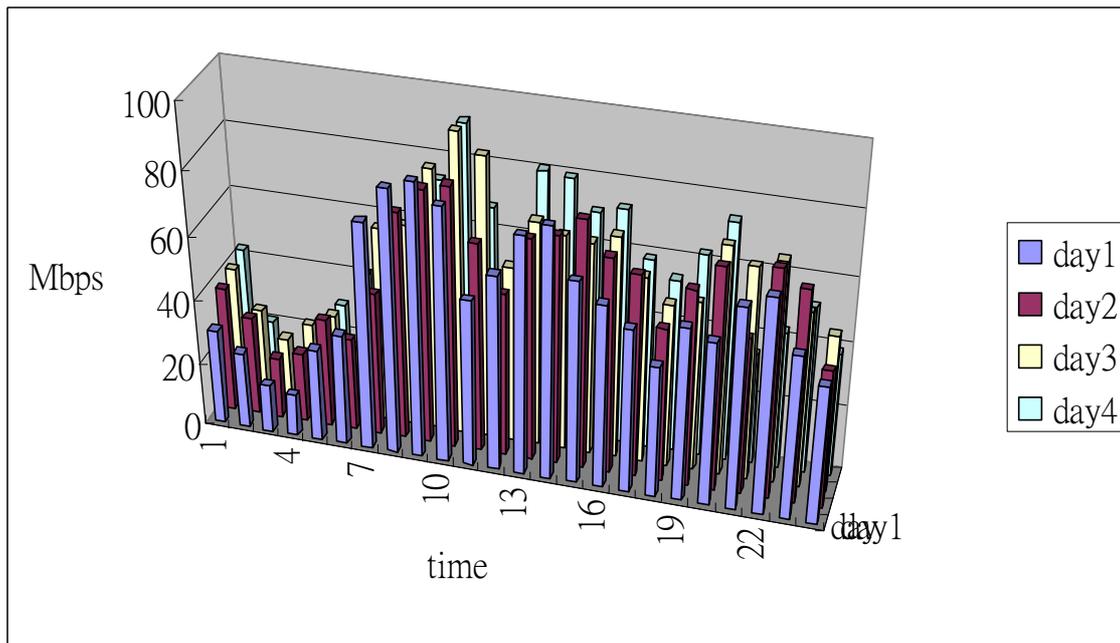


圖 4.1 : 以時段作為區分的流量統計 X:時段; Y:該時段之 bandwidth; Z:day

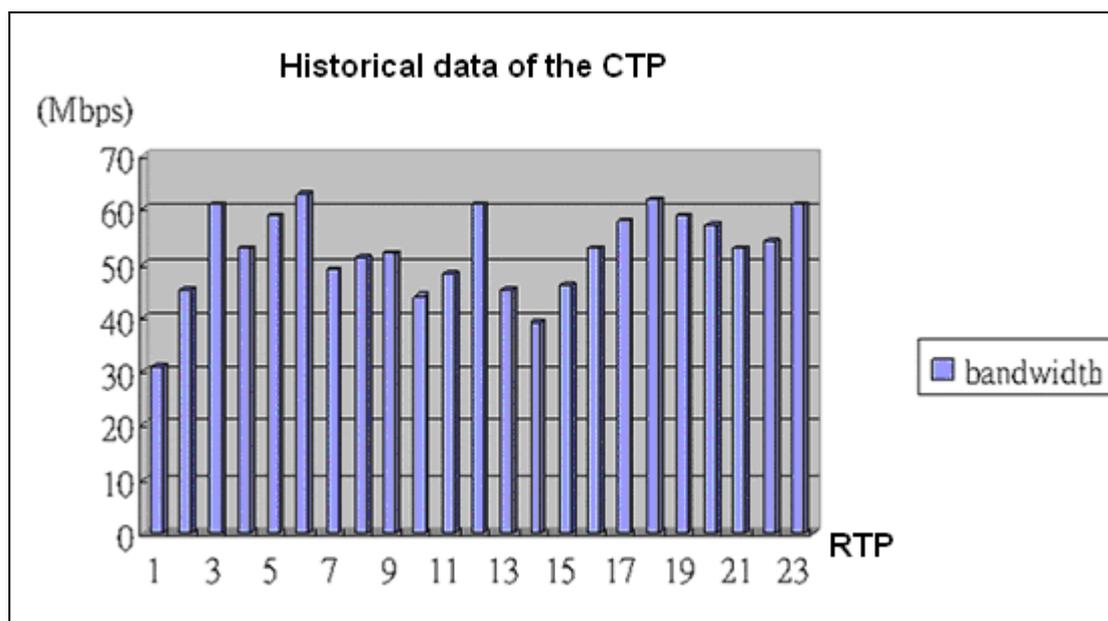


圖 4.2 : Bandwidth demand at RTPs with respect to a CTP

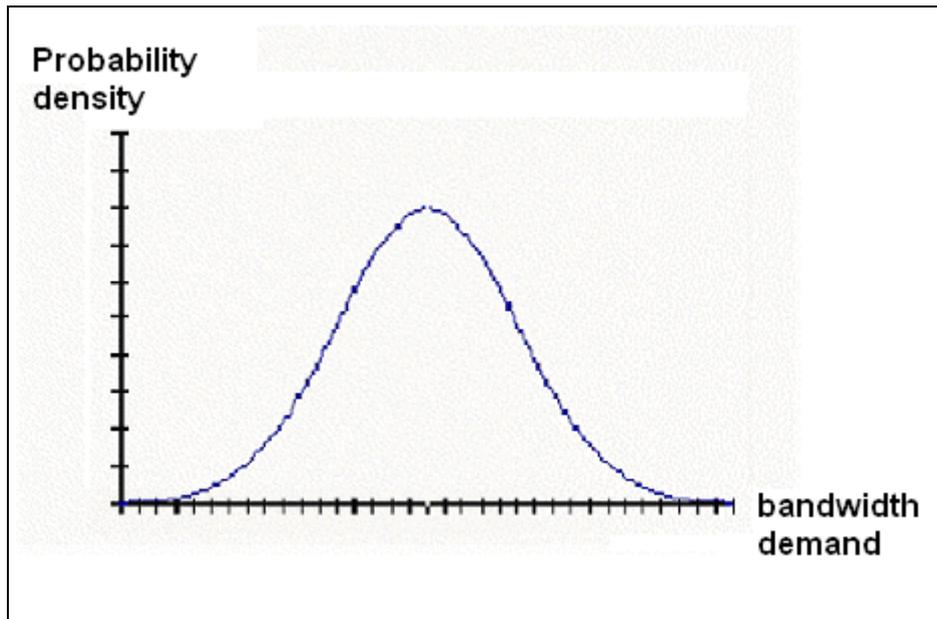


圖 4.3 : Demand distribution at RTPs with respect to a CTP

4.1.2 最佳預購頻寬

根據過去不同時段之 traffic pattern、link 之 bandwidth distribution 與 Bandwidth Broker(BB)索費方式，BOA 以此針對各 link 預估出相對應的最佳 bandwidth request value θ (圖 4.4)。我們假設 BB 對於預先批購之單位頻寬價格為 C_1 ，而對於 Real-Time on-demand 批購之單位頻寬價格為 C_2 。

由於我們無法準確預測未來該 CTP 於執行時段之實際頻寬需求，若是採用保守的方式批購頻寬，雖然於預先批購頻寬階段以較低的成本預購頻寬，但是於執行時段易發生不能夠應付超過預期的頻寬需求而尋求較高成本的臨時批購 (on-demand) 方式解決頻寬不足的問題，並且臨時批購所產生的訊息(signal)交換，當數量到達一定程度時，會造成 BB 附近的網路須負擔額外的負荷。若是採用大膽的方式預先批購較多頻寬，首先於預先批購階段就得付出較多的頻寬成本，雖然在執行時段較不易出現臨時批購的現象，但是由於批購過多，當執行時段所需頻寬少於預先批購量時，即造成網路資源的浪費。(圖 4.5)。

因此 BOA 批購頻寬時當力求精準，避免預購太多(超過實際所需)造成頻寬浪

費，或批購不足以至於必須以較高價格臨時批購所需頻寬。

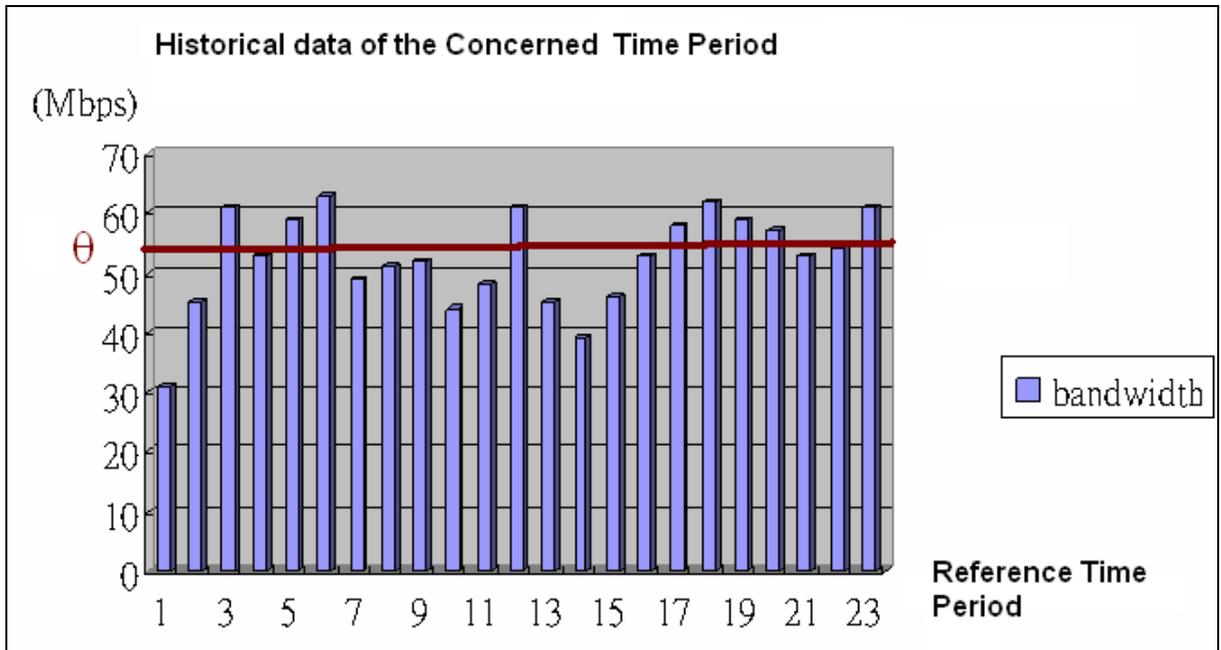


圖 4.4：根據歷史資料決定 θ ，用來當作預先批購的頻寬

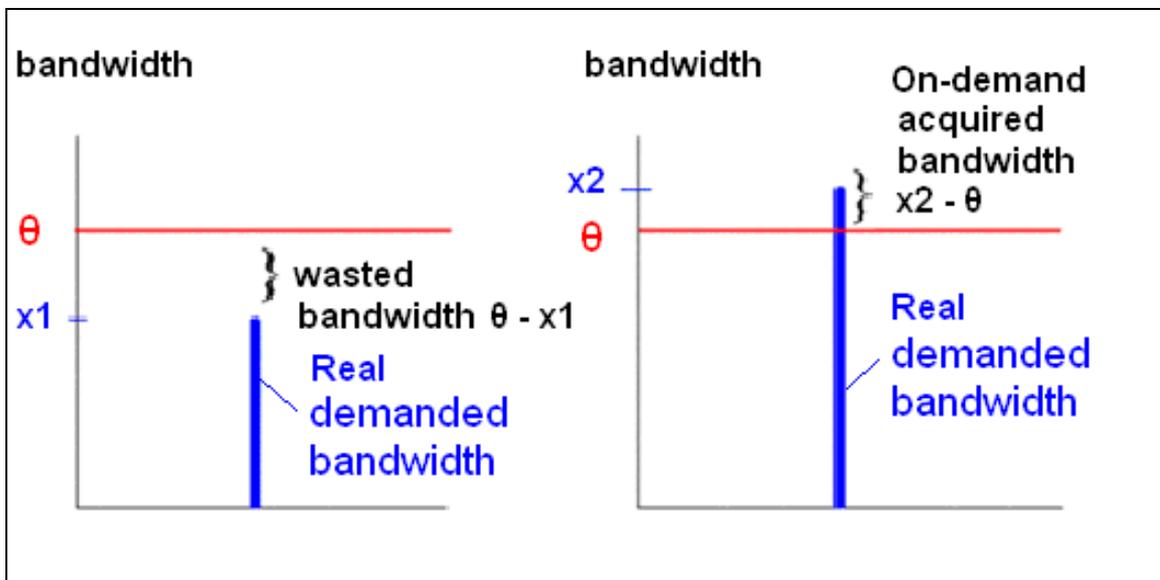


圖 4.5：左圖：批購的頻寬大於該時段的頻寬需求
右圖：批購的頻寬小於該時段的頻寬需求

4.1.2.1.最佳化模型(Optimization Model)

由於一則預測有其不準度，且 RTP 的參考頻寬需求也是機率分佈，無法選定某一特定的 RTP 作為預測批購量，所以本研究找出最佳頻寬批購量的計算公式，納入機率分佈特性，根據過去不同時段的 traffic pattern、bandwidth distribution 與 Bandwidth Broker(BB)費率規則，可求得批購價格之最佳期望值並估計出每個時段適當的 bandwidth request value θ (如圖 4.6)。

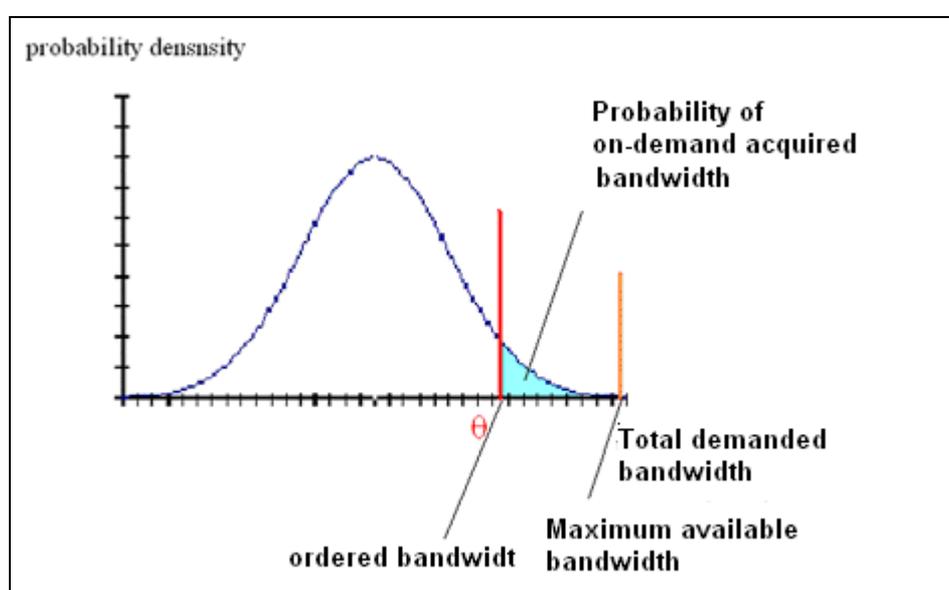


圖 4.6：最佳 bandwidth request value θ

如圖 4.6 所示，整個機率密度曲線代表過去各個 RTP 之頻寬使用情形，圖 4.6 以 normal distribution 作為例子。

我們以 $E\{C(\theta)\}$ 表示 expected cost，expected cost 分為兩個部分，第一個部分為預先批購成本，由預購頻寬量乘上 Bandwidth Broker(BB)對於預購所索取之成本 C_1 。第二個部分為 on-demand request 成本，由每次因為頻寬不足所補足的頻寬量乘上 BB 對於預購所索取之成本 C_2 ，在實際執行時段累計這些即時批購成本成為該時段所付出之 on-demand request 成本。將預先批購成本與 on-demand request 成本總合起來即為 expected cost(圖 4.7)。

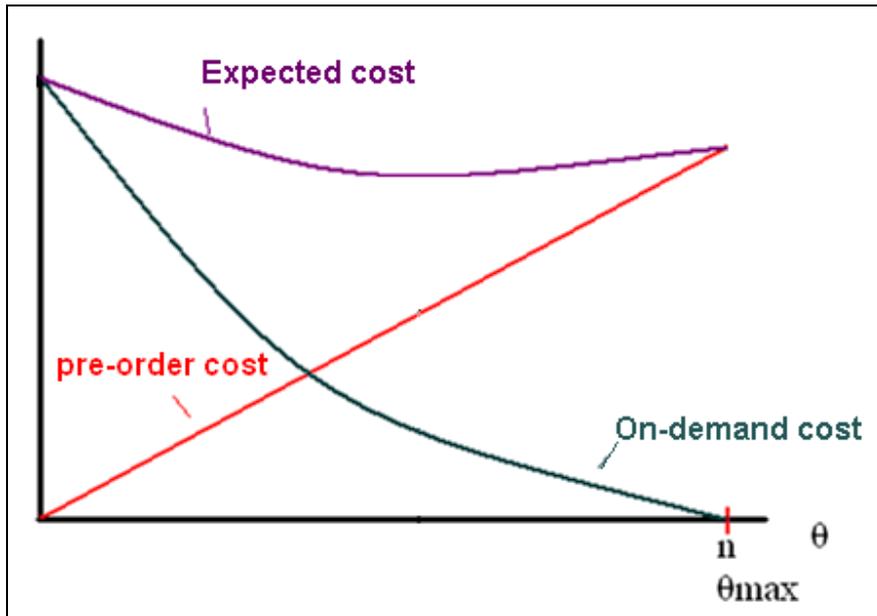


圖 4.7 : Expected cost、pre-order cost and on-demand cost

Parameter List

- C_1 Pre-order request unit cost
- C_2 On-demand request unit cost
- i Bandwidth demand at CTP
- P_i Probability of demand bandwidth i
- θ Optimal pre-order bandwidth request
- $E\{C(\theta)\}$ Expected bandwidth cost

每個 CTP 之 expected cost ($E\{C(\theta)\}$) 為 pre-order cost 與 on-demand cost 之總合，如 Eq. 4-1(a) 表示。

$$E\{C(\theta)\} = C_1 * \theta + C_2 * \int_0^n (i - \theta) * P_i di \quad 4-1(a)$$

由於 Eq. 4-1(a) 必須在所使用的頻寬機率分佈 P_i 為連續時才適用，但是關於頻寬之統計方式有可能為了方便起見，採用不連續的方式(discrete)作紀錄，所以我們將 Eq. 4-1 稍作修改成 Eq. 4-1(b)，以供不連續之頻寬紀錄方式計算最佳批購值。

$$E\{C(\theta)\} = C_1 * \theta + C_2 * \sum_{i=0}^n (i - \theta) * P_i d_i \quad 4-1(b)$$

Eq. 4-1(a)、4-1(b) 中第一項是預購頻寬的成本，第二項是臨時批購的期望成本。圖 4.8 為舉例表示 $(E\{C(\theta)\})$ 的組成關係。

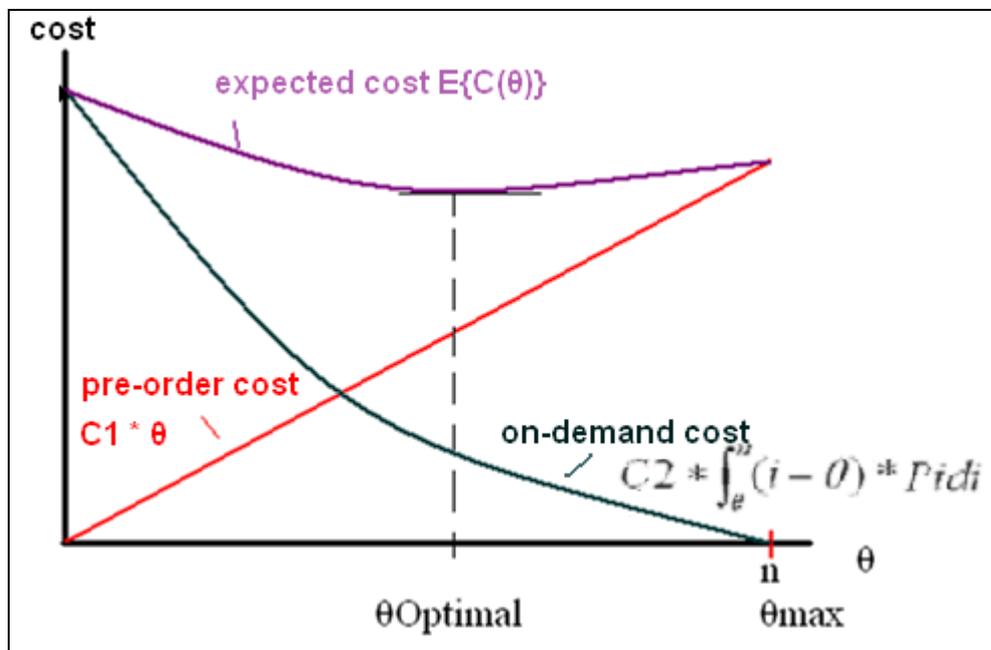


圖 4.8：Expected cost、pre-order cost、on-demand cost and optimal θ

當頻寬 i 小於預先批購量 θ 時，於執行時段(run-time)預先批購的頻寬足以應付在該時段所使用的頻寬 i 而不需進行 on-demand request，在臨時批購成本皆為零，因此 Eq. 4-1(a) 與 Eq. 4-1(b) 中的臨時批購成本可化簡成 Eq. 4-2(a) 與 Eq. 4-2(b)。

$$\text{ondemand_cost} = C_2 * \int_{\theta}^n (i - \theta) * P_i d_i \quad 4-2(a)$$

$$\text{ondemand}_{\text{cost}} = C_2 * \sum_{i=\theta}^n (i - \theta) * P_i \quad 4-2(b)$$

Eq. 4-1(a)、Eq. 4-1(b)可簡化為 Eq. 4-3(a)與 Eq. 4-3(b)

$$E\{C(\theta)\} = C_1 * \theta + C_2 * \int_{\theta}^n (i - \theta) * P_i \quad 4-3(a)$$

$$E\{C(\theta)\} = C_1 * \theta + C_2 * \sum_{i=\theta}^n (i - \theta) * P_i \quad 4-3(b)$$

如果 Eq. 4-3(a)中的 $i * P_i$ 與 P_i 皆具有反導函數，最佳頻寬批購量可計算而得如下：

推導過程

$$E\{C(\theta)\} = C_1 * \theta + C_2 * \int_{\theta}^n (i - \theta) * P_i$$

$$E\{C(\theta)\} = C_1 * \theta + C_2 * \left[\int_{\theta}^n i * P_i - \int_{\theta}^n \theta * P_i \right]$$

$$\frac{dE\{C(\theta)\}}{d\theta} = C_1 + C_2 * \left[-\theta * P_{\theta} - \int_{\theta}^n P_i + \theta * P \right]$$

$$\frac{dE\{C(\theta)\}}{d\theta} = C_1 - C_2 * \int_{\theta}^n P_i$$

$$\frac{d \frac{dE\{C(\theta)\}}{d\theta}}{d\theta} = C_2 * P_{\theta}$$

根據上述之推導過程，我們可以導出當 $C_2 \geq C_1$ 時最佳頻寬批購值之數學解 Eq. 4-4，並且推導可知預購法恆有最低預期成本，所以 BOA 可根據最低預期成本所對應之最佳預購頻寬值向 BB 預購。

$$\frac{C_1}{C_2} = \int_{\theta}^n P_i \quad 4-4$$

4.1.2.2. 索取費率與預購頻寬

其次我們就 C_1 與 C_2 比例討論 bandwidth request value θ 之決策。由於不同的 Bandwidth Broker(BB)可能對於 pr-order cost(C_1)與 on-demand cost(C_2)有不同的制定原則而影響兩者之間的比例，若是 $C_2 \leq C_1$ 則臨時批購成本較預購成本低，BOA 於預購階段不會採取任何預購的動作，在執行時段對於每個 incoming 訊務進行臨時批購取得頻寬允入；若是 $C_2 \geq C_1$ 則臨時批購成本較預購成本高，假設 C_1 與 C_2 之比例相近，於預先批購階段批購較保守估計所需頻寬，執行時段超出預估的部分則採取 on-demand request 會比較有利，如此可避免因為批購過多頻寬浪費成本；若是 C_1 與 C_2 比例相差懸殊，代表 on-demand cost 偏高，則宜於預先批購階段批購較多，減少於實際執行階段發生 on-demand request 的機率，以降低執行時段之預期成本。隨著 on-demand cost 越高，使得 Bandwidth Order Agent 在進行頻寬批購時，會預先批購較多的頻寬，也就是從 Eq. 4-4 中可得知 θ 會越靠近 n (maximum available bandwidth)。

當 Eq. 4-3(a)之 $i * P_i$ 與 P_i 其中任一變數不具有反導函數，不適用積分時，只能用 Eq. 4-3(b)，而 Eq. 4-3(b)則可用簡單的計算方式求出最佳頻寬批購值。

4.1.2.3. 多重服務等級之預購方案

由於我們以 Diffserv domain 作為核心網路，在 Diffserv 架構之下，某一 link 之使用可能分成數個等級，如 EF、AF1、AF2...、BE。當某一 link 頻寬有等級區分時，本研究所提出的 BOA 最佳頻寬批購之計算只需稍微修正即可沿用，我們可將每一個不同等級之頻寬於同一個 link 上視為不同各別單獨的 link，在套用所提出的最佳頻寬計算公式即可。

4.1.3 預購資源不足之解決方案

BOA 向 BB 批購頻寬，但是 BB 不一定有足夠頻寬滿足所有 Ingress Router 的批購。當 BOA 所獲得之分配頻寬低於預期時，BOA 可選擇不再批購替代資源，等到實際執行時段(Current Execution Time Period)將資源不足的部分以臨時取得頻寬的方式解決不足的問題。或者提前採取因應措施，提高 BOA 之需求滿足度。如果容許提升服務等級時，即可批購替代頻寬，將某個服務等級(service class)的不足頻寬差額以較高等級的頻寬替代，若是有對該服務等級定義相對應替代之服務等級，則 BOA 會將頻寬差額部份提升為替代服務等級向 BB 再度提出頻寬批購。

圖 4.9 為批購檢查流程，當 BOA 收到來自於 BB 所分配的頻寬(resource)時，先檢查是否符合預購量。若符合，則繼續完成批購程序，將資源交由 Path Planning Agent(PPA)依照各 link 上之可用頻寬進行路徑規劃。若 BB 所分配的頻寬少於預購的頻寬 θ ，則向 BB 要求次一等級頻寬作為替代。當 BB 各項服務等級的資源皆無法滿足 BOA 在預先批購階段以資源替代的方式對於預購不足之服務等級事先取得足夠的資源，則將問題延後到實際執行時段(Current Execution Time Period)，等到真正發生資源不足時，再採取 on-demand request 或是 resource reallocate 來補救。

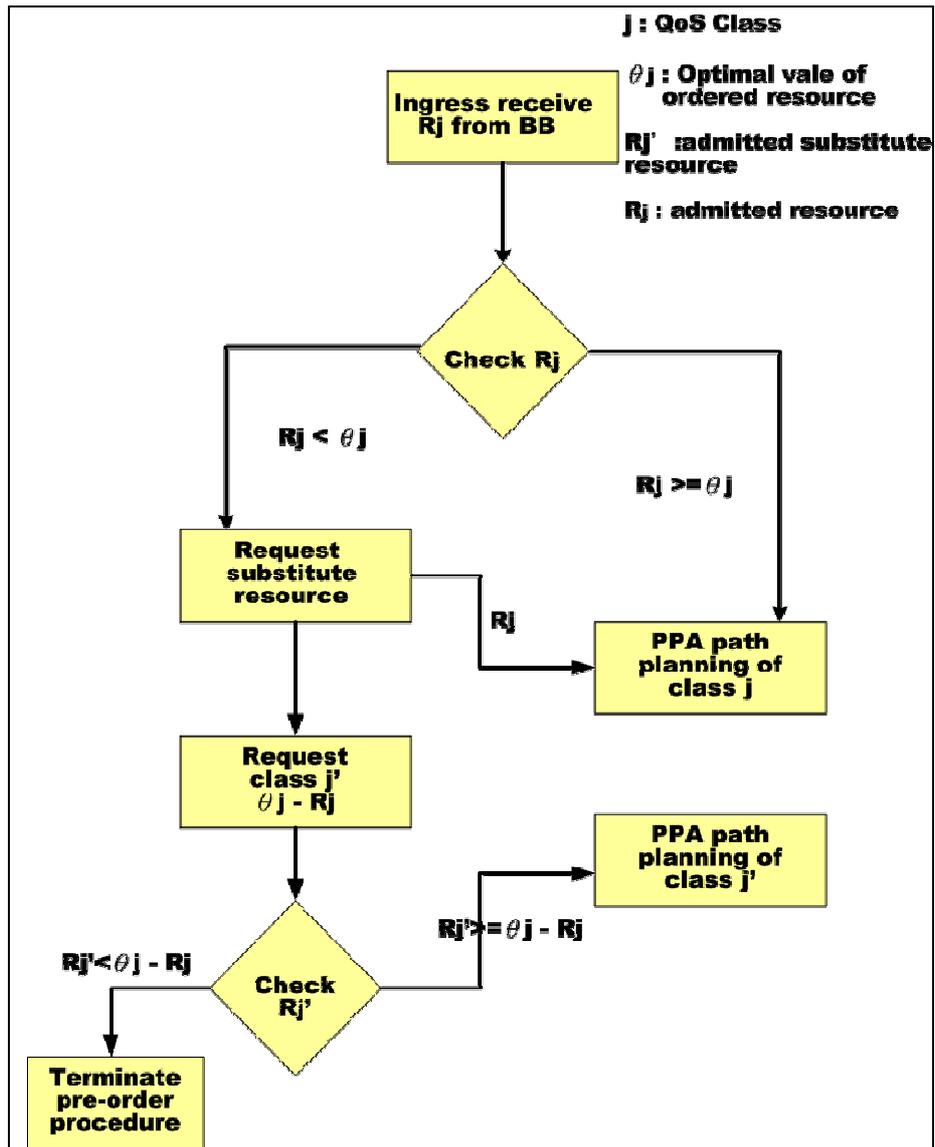


圖 4.9：頻寬預購流程

4.2 執行時段(Current Execution Time Period)之允入控制與資源管理

4.2.1 允入控制流程

經過事前的資源規劃，由 Bandwidth Order Agent(BOA)依照不同服務等級(service class)之預測結果向 Bandwidth Broker(BB)批購資源，其後將所批得的資源由 Path Planning Agent(PPA)規劃路徑，為不同服務等級之服務需求組合出適當的可選用路徑。Admission Control Agent(ACA)將這些具有不同服務品質的路徑選擇適當者分配給允入之服務需求。當某個訊務要進到某個 BBQ 核心網路時，ACA 會依照當時所能掌控的路徑資源作為允入的依據。在得知該訊務所需的品質需求後，若該服務等級的路徑所餘頻寬足夠，則允入該訊務，反之若該服務等級之資源不足，則尋求替代資源，當無替代資源時，則拒絕該訊務之進入，圖 4.10 為允入控制流程示意圖。

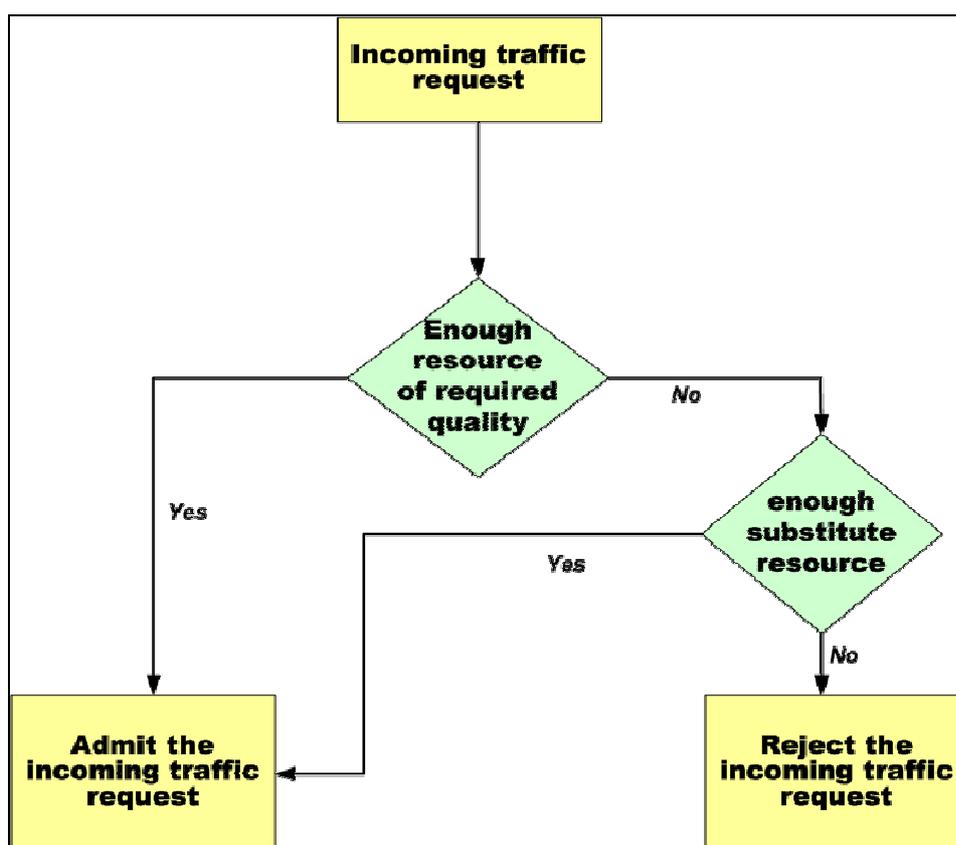


圖 4.10：允入控制流程

4.2.2 執行時段資源管理

執行時段(Current Execution Time Period)為之前各個預購資源規劃階段之 CTP 進入到實際執行階段，開始陸續出現提出資源需求之訊務，由 Ingress Router 負責接收需求訊息。Ingress Router 內部資源管理由 Bandwidth Order Agent(BOA)與 Admission Control Agent(ACA)共同負責，BOA 負責預購頻寬，ACA 則是負責允入控制。由於預購頻寬是根據 Bandwidth Broker(BB)之索費方式與過去統計的結果，選擇一個較適當頻寬預購值 θ ，經由 PPA 路徑規劃成可用之 path 資源交給 ACA 進行允入控制。但在執行時段(Current Execution Time Period)所出現之訊務並不規律，ACA 之剩餘資源也就不穩定(圖 4.11)，有可能會超出之所預購或所分配之頻寬造成資源不足，使得 ACA 無法再允入更多訊務，或者保留過多形成浪費。當 ACA 可掌握的資源過多，無法全數分配給進來的訊務，則會形成頻寬浪費，此時若是 BB 有頻寬回收的機制，則 ACA 必須繳回多餘的資源。當掌握的資源過少時，為了接下來能順利允入新產生的訊務則必須以較高成本批購頻寬或者以資源再分配的方式重新分配 Ingress Router 內部之頻寬。因此我們需要在執行時段設計一套執行時段頻寬管理機制，依照該時期內各個不同時間點與當時 ACA 所掌握的資源狀況來調整臨時批購決策，以維持適當頻寬存量以備允入往後出現之訊務。

執行時段頻寬管理機制的程序如下：在執行時段，ACA 對於 Ingress Router 所掌握之各 service class 會設定一個資源底限 y^* ，根據該時段的剩餘時間修正 y^* 值，以維持合理之資源存量，並於實際執行時段定時每隔一段時間檢查目前所擁有的資源是否大於底限，達到足以應付接下來可能出現之訊務，而時間間隔長度宜根據臨時補足頻寬所耗費的時間(On-demand order latency)訂定。

在執行時段頻寬管理機制下，於每個執行時段(Current Execution Time Period)根據 On-demand order latency 之時間長度設數個 check point，在每個 check point 檢查目前頻寬存量是否達到該 check point 所希望維持的資源底限 y^*_c 。隨著 check point 離執行時段結束時間越近，該 check point 之資源底限 y^*_c 也就越小，以避免保留資源過多使用不完形成浪費。

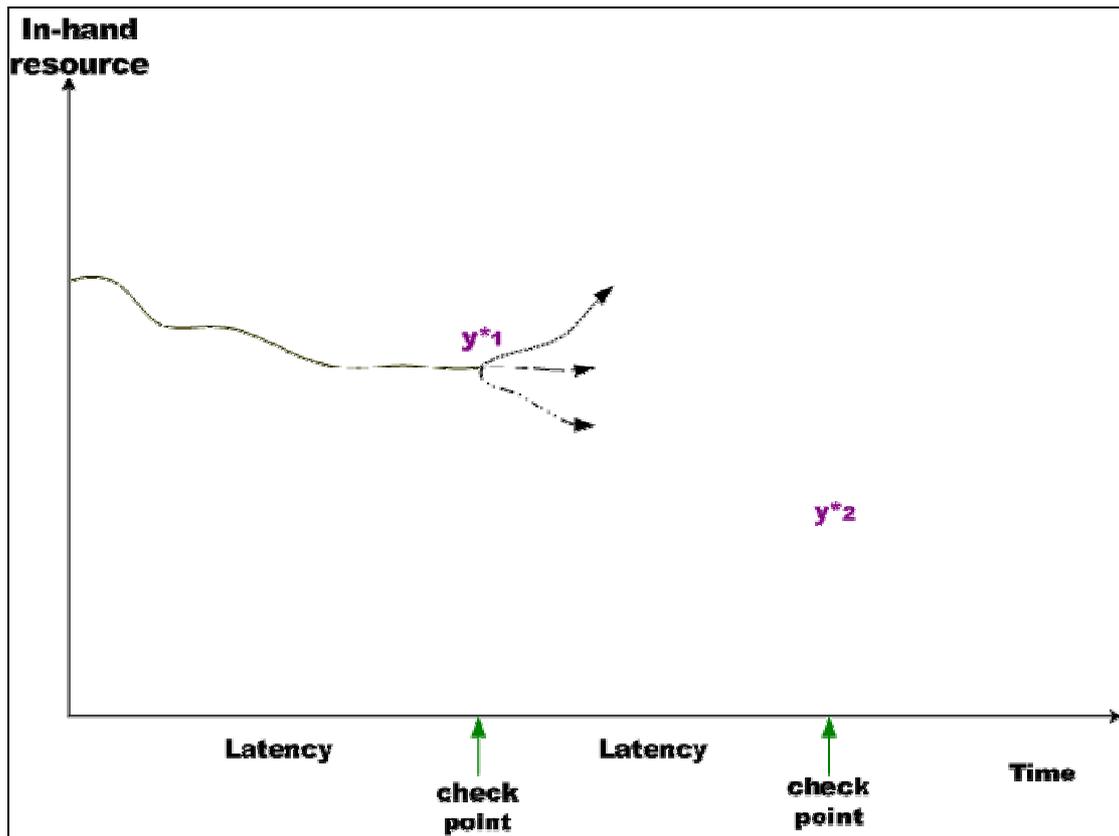


圖 4.11: 處理不規律之訊務需求所剩資源

4.2.3 執行時段資源不足之解決方案

ACA 於執行時段發現資源不足時，可以根據 BB 於預購階段採用的配置策略不同，選擇以資源再分配(resource reallocation)、臨時批購(on-demand request)與訊務降級(traffic flow degradation)三種不同方式來解決資源不足的問題。

4.2.3.1. 資源再分配

ACA 可先嘗試將所擁有多餘之資源重新分配。資源再分配是將在同一個 ACA 所擁有的資源，取相同服務等級互補，也就是不同 path 上具有相同的 quality entropy 之 link 頻寬可以互相流用。當一個新產生之訊務提出允入申請，ACA

根據目前可掌握的頻寬發現該訊務所要求之頻寬超出與目前可用 path 之頻寬，ACA 可要求 Local SPPA 一一檢視該路徑(path)所經之 link，找出不足頻寬之 link，嘗試在這些 link 上作資源重分配，使用這些 link 的 path 如有超額存量，其配額即可考慮流用。而流用之決策尚待未來之研究深入探討。

4.2.3.2. 訊務降級

當新產生的訊務要求某一服務品質之 path 資源，但是 ACA 當時所掌握的資源數量不足，無法滿足該訊務時，若是該訊務可接受以較低等級之服務品質，則 ACA 可採用降級服務的方式，將該訊務所要求之服務品質降級，並檢視降級後相對應的服務等級資源是否足夠，若是可以滿足該訊務所提出的頻寬數量，則採用降級服務的方式允入該訊務。訊務降級雖然可以用替代的方式繼續維持允入服務，但是在各個服務等級的資源皆不充裕的情況下，降級服務的方式就再不適用。

4.2.3.3. 臨時批購

在執行時期，如果 BB 仍有保留統籌頻寬(中央保留法，或頻寬回收)以應付各 Ingress Router 資源不足時之臨時批購請求。於執行時段 ACA 直接根據目前最佳頻寬存量 y^* 與目前實際頻寬存量資源數目之差額透過 BOA 向 BB 發送臨時批購 message 進行即時的資源要求，以維持安全頻寬存量的方式預防臨時頻寬不足的現象。在每個 check point，ACA 會根據 check point 離執行時段結束之時間長度計算出所需維持的頻寬 y^* 。圖 4.12 展示執行時段頻寬管理流程。經過 BOA 向 BB 批購頻寬後，再由 PPA 重新計算形成可用之 path 資源，交由 ACA 對於後續之訊務進行允入控制。本研究以臨時批購的方式處理於執行時段維持安全存量以預防資源不足的問題，並於第四章以模擬的方式觀察效能與管理成本。

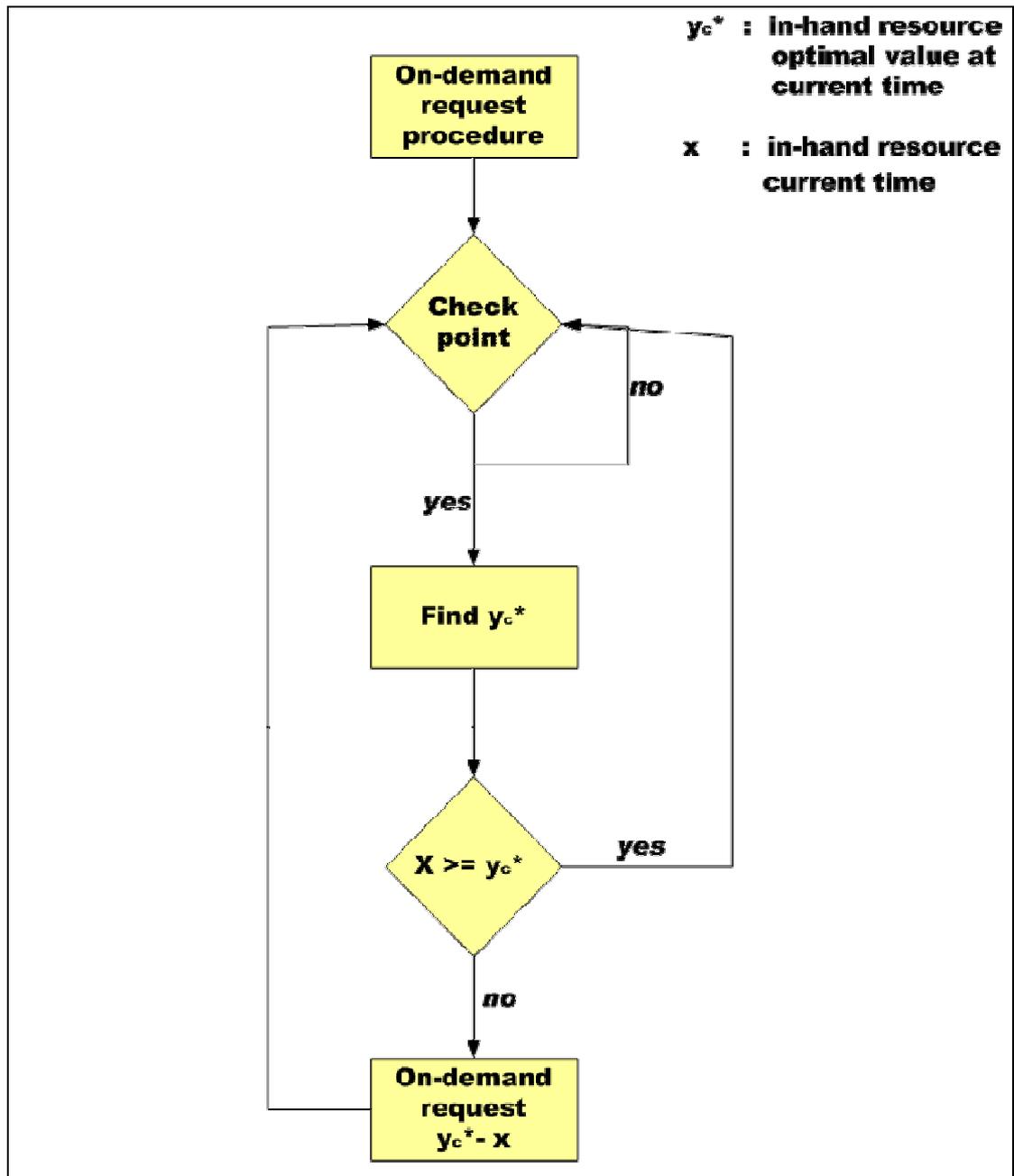


圖 4.12: 執行時段頻寬管理流程

4.2.4 執行時段頻寬管理最佳化模型

在某個執行時段當中，ACA 選定幾個時間點(check point)檢查資源使用情形，以提供服務給可能出現之訊務。

我們以 $E\{B(x)\}$ 表示 Current Execution Time Period expected profit，藉由分析 Current Execution Time Period expected profit，我們可以計算出各時段 ACA

之最佳頻寬持有量。Current Execution Time Period expected profit 分為兩部分，第一部分為臨時批購成本，其計算方法為預期頻寬持有量(y)與目前頻寬持有量(x)之差額乘上 Bandwidth Broker(BB)對於臨時批購索取的費率 C_2 。第二部分為 ACA 維持該時段所需之最佳頻寬對於接下來剩餘時段訊務分佈 $P_t(D)$ 之收益期望值(expected revenue)。於本架構中，假設 Ingress Router 對於每個允入之訊務可得到獲利 r ，若是拒絕允入訊務，則每拒絕一個訊務必須承受損失 p ，並且於同一個 Current Execution Time Period，單位獲利 r 與單位損失 p 之比例不會因為剩餘時間長短改變。

根據 Bandwidth Broker(BB)所訂定之每單位臨時批購價格(C_2)，各個 Ingress Router 對於允入每個訊務之獲利和拒絕允入之損失比例(r/p)，與剩餘時間之訊務分佈 $P_t(D)$ ，我們可以計算出該時間點之最大 Current Execution Time Period expected profit，據此決定出該時間點之最佳頻寬持有量(y_t^*)。

Parameter List

- | | |
|---------------|---|
| ● $P_t(D)$ | PDF of traffic demand D at time t |
| ● X | Current in-hand resource |
| ● Y | Resource level |
| ● y_t^* | Optimal resource level at time t |
| ● p | Unit rejecting penalty |
| ● r | Unit admitting revenue |
| ● C_2 | On-demand unit cost |
| ● $E\{B(x)\}$ | Current Execution Time Period expected benefit |

每個 Current Execution Time Period 內不同時間點(check point)之 expected profit $E\{B(x)\}$ 為臨時批購成本與收益期望值之加總，如 Eq. 4-5(a)表示。

$$E\{B(x)\} = -C_2 * (y - x) + \int_0^y rD * P_t(D)dD \quad 4-5(a)$$

$$+ \int_y^\infty [ry - p(D - y)] * P_t(D)dD$$

由於 Eq. 4-5(a) 必須在所使用的頻寬機率分佈 $P_t(D)$ 為連續時才能夠使用，但是關於頻寬之統計方式有可能為了方便起見，採用不連續的方式(discrete) 作紀錄，所以我們將 Eq. 4-5(a) 稍作修改成 Eq. 4-5(b)，以供不連續之頻寬記錄方式計算 Current Execution Time Period expected profit。

$$E\{B(x)\} = -C_2 * (y - x) + \sum_{D=0}^y (rD * P_t(D)) \quad 4-5(b)$$

$$+ \sum_{D=y}^\infty ((ry - p(D - y)) * P_t(D))$$

當目前持有頻寬為 x 時，若是 x 小於最佳頻寬 y ，則必須向 BB 批購 y 與 x 之差額 Eq. 4-6，服務往後會出現之訊務。

$$C_2 * (y - x) \quad 4-6$$

對於最佳持有頻寬為 y 時，我們以進入的 traffic 與 y 的關係進行討論。假設 incoming traffic 為 D ，發生的機率為 $P_t(D)dD$ ，當 traffic demand D 小於最佳頻寬持有量 y 時，收益為 $r * D$ 。對於最佳頻寬持有量 y 大於 traffic D 之期望值我們以 Eq. 4-7(a)、Eq. 4-7(b) 表示之。

$$\int_0^y rD * P_t(D)dD \quad 4-7(a)$$

$$\sum_{D=0}^y rD * P_t(D) \quad 4-7(b)$$

當 traffic demand D 大於最佳頻寬持有量 y 時，收益為單位收益 r 乘上最佳頻寬持有量 y ，且不足的部分會乘上單位損失 p 作為因頻寬不足拒絕允入訊務之損失。對於最佳頻寬持有量 y 小於 traffic demand D 之期望值我們以

Eq. 4-8(a)、Eq. 4-8(b)表示之。

$$\int_y^{\infty} [ry - p(D - y)] * P_t(D) dD \quad 4-8(a)$$

$$\sum_{D=y}^{\infty} ((ry - p(D - y)) * P_t(D)) \quad 4-8(b)$$

本研究在某個執行時段內每個 check point，依其所在時間 t 修正最佳頻寬持有量 y ，並以 on-demand request 向 BB 要求頻寬補足不足之部分。根據時間點 t 不同與最佳頻寬持有量 y ，Current Execution Time Period expected profit 也就不同。由於 check point 在本研究中時間是固定的，所以我們必須根據該時間點離執行時段結束時間之長度決定最佳頻寬持有量 y ，使得 Current Execution Time Period expected profit 之期望值為該時間的大值。

如果 Eq. 4-5(a) 中的 $P_t(D) * D$ 與 $P_t(D)$ 皆有反導函數，最佳頻寬持有量可計算而得如下(Eq. 4-9)。

$$\int_0^{y^*} P_t(D) dD = (p + r - c) / (p + r) \quad 4-9$$

從 Eq. 4-9 我們可以得知，假設 penalty，on-demand cost 與 revenue 皆不會在執行時段進行更動，由於根據 $P_t(D)$ 所代表的分佈維持頻寬持有水準。

第五章

效能評析

本研究將預購頻寬與執行時段(Current Execution Time Period)資源管理計算出來的最佳化結果套入模擬環境，分別與其他預購和執行時段資源管理方法進行比較，觀察最後執行結果來討論所設計之數學模型得到的最佳化分配是否能夠提升整體效率以及其反映出之管理成本。本章節先介紹實驗評估指標、實驗環境與實驗設計，再依序討論預購頻寬規劃與執行時段資源管理之實驗結果。

對於預購頻寬規劃，本研究以第四章所提之頻寬預購計算方式作為實驗組，以 on-demand 與其他預購方法作為對照組，在不同 traffic distribution 與不同類型的 traffic type(Constant Bit Rate 與 Exponential)下，比較各個方法之管理成本(management cost)、收益(revenue)與獲利(profit，為 revenue 與 management cost 之差值)，並根據實驗結果進行評論。

執行時段資源管理模擬實驗包括測試不同類型的 traffic(Constant Bit Rate 與 Exponential)並按照選定的分佈方式(Normal distribution)隨機產生訊務進入核心網路，以具有執行時段資源管理之模擬過程作為實驗組，不具有資源管理之模擬過程為對照組來進行比較。

5.1 評估指標

本研究以效能評估和管理成本作為評估指標，對於不同之頻寬預購方式與在執行時段是否具執行時段資源管理進行評估。

5.1.1 效能評估指標

由於提供完整的 End-to-End QoS 必須以訊務整體所得到的服務品質進行考量，從該訊務開始送出到結束都必須在所要求的品質範圍之內。所以本研究在進行效能評估時，以訊務為單位進行評估。以 ratio of full-satisfied traffic、ratio of partially-satisfied traffic 與 ratio of rejected traffic 作衡量效能之觀察指標。

5.1.1.1. 完全滿足比例(Ratio of Full-Satisfied Traffic Request)

Ratio of full-satisfied traffic 為進行模擬時，實際產生之所有訊務當中，能被完全滿足該訊務所提出的需求頻寬之 request 比例。

5.1.1.2. 部分滿足比例(Ratio of Partially-Satisfied Traffic Request)

Ratio of partially-satisfied traffic 為進行模擬時，實際產生之所有訊務當中，部分滿足該訊務所需求頻寬(介於完全頻寬滿足與所需頻寬之 70%)之 request 比例。

5.1.1.3. 拒絕比例(Ratio of Rejected Traffic Request)

Ratio of rejected traffic 為進行模擬時，實際產生之所有訊務當中，小於部分滿足該訊務所需求頻寬之 request 比例。

5.1.2 管理成本(management cost)與獲利(profit)

管理成本分為預購頻寬規劃之管理成本與執行時段資源管理成本討論。預購頻寬之管理成本為計算出之頻寬預購值乘上 BB 對於預購頻寬之索取費用(C_i)，根據預購頻寬數量於實際實行階段允入訊務，其收益為允入之訊務數量乘上單位收益(r)，以預購頻寬之管理成本和允入收益作為不同預購頻寬規劃方式的比較

指標。執行時段資源管理成本為臨時批購頻寬乘上 BB 對於臨時批購之索取費用 (C_2)，根據 ACA 所能掌握之頻寬數量於實際實行階段允入訊務，其收益為允入之訊務數量乘上單位收益(r)，以執行時段資源管理成本和允入收益作為是否具有執行時期頻寬管理的比較指標。

5.2 模擬環境

5.2.1 NS2 模擬平台

NS2 是一套模擬 IP 網路的模擬平台，NS2 (Network Simulator - version 2)。利用這套軟體，我們可以比以前更容易去模擬一套完整的實驗。簡單的先建立起自己的情境模擬、需要的可能網路狀況，然後設定好相關的參數、通訊協定... 組態後，交給 NS2 去執行得出一個輸出檔，再透過一些軟體如 Nam、Xgraph 的輔助，做進一步的分析。比起傳統的做法容易得多，也省了不少經費和時間。NS2 內建了不少的 protocols (TCP、UDP...) 可以提供我們使用，但網路上的協定並不止於那些而已，並且根據自行發展的理論我們可以自行套用到 NS2 觀看結果。因此本研究採用 NS2 作為模擬環境，以具公信力之平台配合本研究所提出的理論，觀察實際結果並評論之。

5.2.2 訊務類型(Traffic Source Type)

實驗當中以 NS2 內所提供的 traffic source type 作為實驗的變因，觀察預購頻寬規劃與執行時段資源管理在不同 traffic source 之下所表現的效能與反映出來的管理成本。在本研究中我們以 CBR 與 Exponential 兩種不同型態作為各個 incoming flow 的 type，套用於預購頻寬規劃與執行時段資源管理兩組實驗當中，並且設定每個 traffic source 需求頻寬訂為 448kb/sec(NS2 CBR 之預設值)。

5.2.3 拓樸設計(Topology Design)

本研究之實驗著重於觀察頻寬存量與隨機產生之訊務間對於各種管理方法之允入結果與呈現出之管理成本與收益，對於路由(routing)議題並未討論，所以在設計實驗時簡化網路環境，以單一條路徑(path)連結 Ingress Router 與 Egress Router，於實驗當中根據公式計算結果改變路徑上之頻寬與產生訊務之亂數分佈以觀察結果。

5.3 實驗設計

5.3.1 訊務產生函式(Traffic Generating Function)

我們在 NS2 模擬器上加入 Traffic Generating Function，依照設定之隨機產生變數來改變每次實驗之訊務總數以套用至 NS2 模擬器，並在每個產生訊務之 source node 指定 traffic type，依照 traffic type 不同，採用不同的方式送出封包來模擬各種網路應用。

5.3.2 頻寬預購法

5.3.2.1. 頻寬預購法實驗設計

於頻寬預購法 model 中，給定 traffic distribution 與 BB 對於不同批購方式索取費用之比例(C_1 與 C_2 之比例)，即可推導出相對應的最佳頻寬預購值 θ 。本實驗以最佳頻寬預購值 θ 作為實驗組，以完全 total per-flow on-demand 批購頻寬方式允入訊務與預購 traffic distribution 之平均值(mean)作為對照組，觀察在不同 traffic distribution 下各組之管理成本、收益與獲利。

5.3.2.2. 頻寬預購法模擬過程

在預購頻寬規劃結果套用於實際模擬過程當，每一次模擬所產生之訊務數量皆由 Normal distribution 之亂數產生，一組 Normal distribution(相同 range、

mean、deviation)進行多次實驗，將各次的批購成本與收益個別加總取平均值作為最後結果。在實驗當中，我們以下面四組 Normal distribution 作為實驗變因，代表不同流量分佈(表 5.1)。在表 5.1 中，Set1 為基本測試組，利用該組之 traffic distribution 計算出最佳頻寬預購值 θ 與對照組之批購頻寬，於模擬過程當中以 Set1 到 Set4，此四組分佈產生訊務。四組 distribution 中，Set1 代表正常流量，Set2 到 Set4 代表實際發生的訊務超過預期之測試組，藉由四組不同 distribution 觀察實際執行結果。

表 5.1 : Traffic distribution set of off-line planning

Parameter Distribution	Range	Mean	Deviation
Set 1	0~100 flows	50 flows	15 flows
Set 2	0~125 flows	62.5 flows	18.75 flows
Set 3	0~150 flows	75 flows	22.5 flows
Set 4	0~175 flows	87.5 flows	26.25 flows

5.3.3 執行時段(Current Execution Time Period)資源管理

5.3.3.1. 執行時段資源管理實驗設計

執行時段實驗為模擬現實網路情況中，出現之訊務呈不規則分佈以及每個訊務進入網路時間不固定，因而設計一套模擬流程以切合實際行情。執行時段 (Current Execution Time Period) 資源管理之模擬流程分為兩個階段，第一個階段為 off-line setup，事先產生實驗設定，實驗設定包括網路架構與訊務；第二階段為 Current Execution Time Period process，依照第一個階段產生之實驗設定進行實際模擬，模擬過程再區分為是否具執行時段資源管理，以最後結果討論執行時段資源管理之優劣。

5.3.3.2. 執行時段資源管理模擬過程

執行時段資源管理模擬實驗分為兩個階段，共五個步驟(圖 5.1)，前三個步驟為第一階段，屬於 Off-line setup，後兩個步驟為第二階段，主要的功能為進行實際模擬程序。在第一個階段(off-line setup)，首先以過去的訊務累積統計分佈為依據，隨機產生該次實驗產生之訊務總數(*Step1*)，再針對各個訊務隨機賦予 NS2 執行階段時之進入時間(*Step2*)。依照 *Step1* 與 *Step2* 所產生的 traffic information 配合事先設定之網路架構，將整體實驗的環境(link、node、traffic type of all flows)和時間相關之事件設定(如各訊務啟動的時間)，編排匯整成 NS2 event and topology script(*Step3*)，接下來進入第二階段(Current Execution Time Period process)將 script 交由 NS2 模擬器按照實驗編排動態執行(*Step4*)，並觀察 NS2 執行結果分析之(*Step5*)。

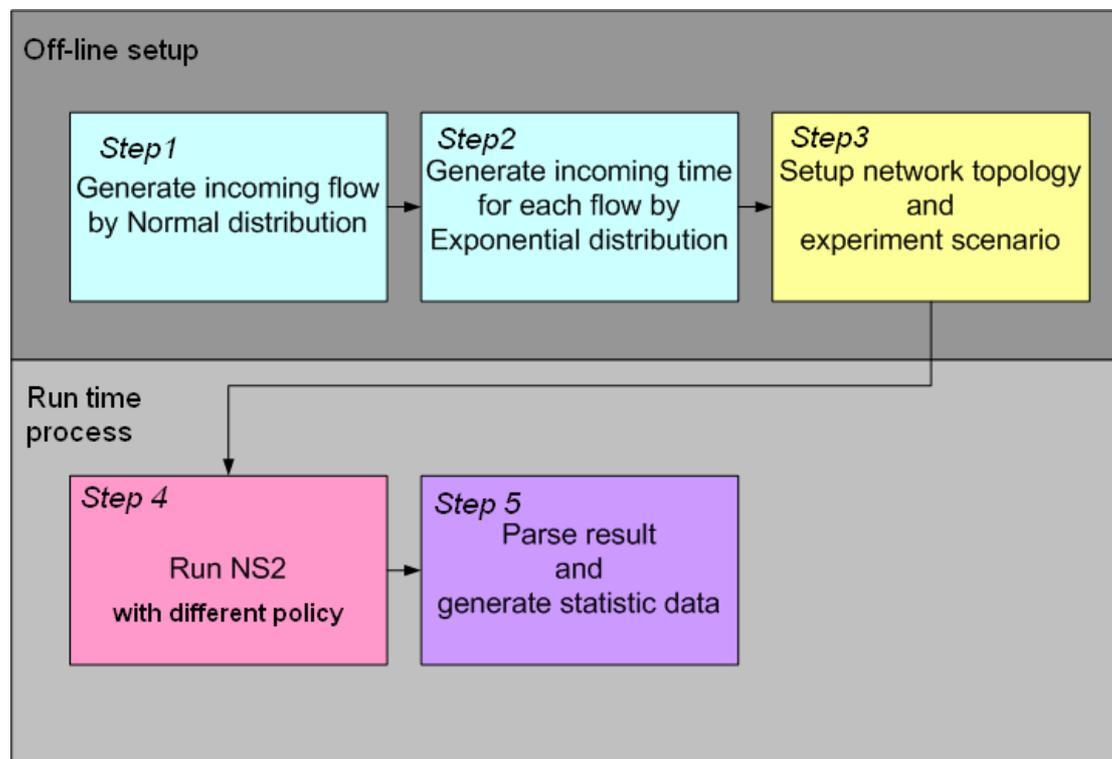


圖 5.1：實驗流程

本研究以 Normal distribution 亂數產生訊務，每個被產生出來的訊務再以亂數事先給定一個啟動時間點，在執行時段動態進入核心網路，以此模擬真實的網路流量。對於訊務總數，本實驗可調整 traffic distribution 的範圍(表 5.2)、平均與變異數，形成流量變化以觀察流量對於實驗結果的影響。

表 5.2 : Distribution set of Current Execution Time Period management

Parameter Distribution	Range	Mean	Deviation
Set 1	0~100 flows	50 flows	15 flows
Set 2	0~125 flows	62.5 flows	18.75 flows
Set 3	0~150 flows	75 flows	22.5 flows
Set 4	0~175 flows	87.5 flows	26.25 flows
Set 5	0~200 flows	100 flows	30 flows

如圖 5.2 為某個 test set 裡所有訊務的進入時間，按照每 5 個單位時間統計所得的結果。

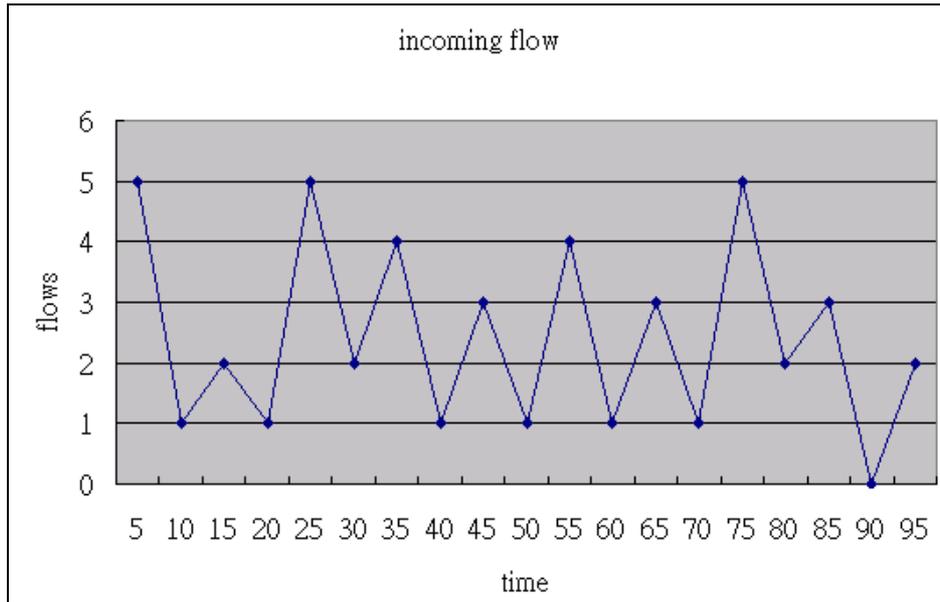


圖 5.2：訊務依照進入時間點的統計情形

接下來利用先前決定的訊務數量與各個訊務進入核心網路的時間，於 *Step3* 產生網路架構、流量設定與設定每個訊務傳送時之 traffic type(CBR、Exponential)，由於流量的消長會隨著實際執行時的時間產生變化，所以可以利用 NS2 之圖形介面觀察實際進行的狀況，如圖 5.3。

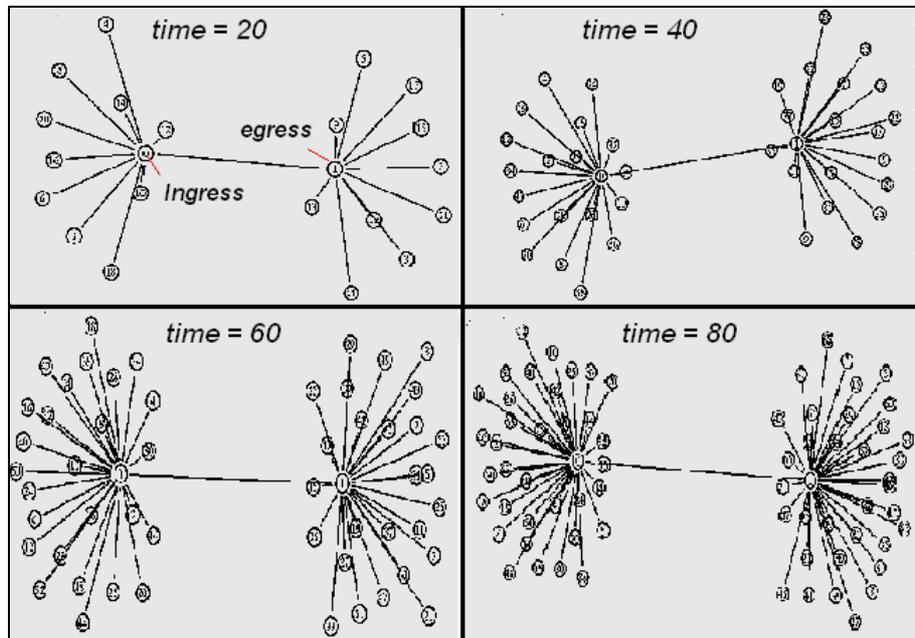


圖 5.3：透過 NS2 圖形介面觀察不同時間點的網路情況

於實際執行時段，透過 NS2 模擬器執行事先編排好之網路與流量設定 (Step4)，在 NS2 模擬器執行之前可決定於執行時段 Ingress Router 所採用的 resource management policy，藉由套用不同 policy 以觀察實驗結果。本次研究所採用的 policy 分為兩種，第一種為不採用任何執行時段資源管理機制，在 NS2 動態執行時段維持原本在 Step3 中所設定的 ingress-to-egress path 頻寬，不會根據網路使用情形或者頻寬短缺而進行動態頻寬調整。第二種為採用執行時段資源管理機制，主要的做法為根據 NS2 在執行時段所剩餘的時間，依照訊務可能分佈調整 ingress-to-egress path 頻寬，當 ingress-to-egress path 頻寬到達一定的底限時，以臨時批購(on-demand request)的方式，依照第四章提出之執行時段(Current Execution Time Period)資源管理最佳化模型所計算結果，向 Bandwidth Broker(BB)批購頻寬。在本實驗中皆假設 ingress-to-egress path 頻寬能夠依照臨時批購需求補充至理想值。

5.4 實驗結果

5.4.1 預購頻寬規劃實驗結果

5.4.1.1. 訊務分佈對於獲利之影響

圖 5.4 為表 5.1 中四個分佈測試組，將訊務設定為 Constant Bit Rate(CBR) 方式傳送，對於以 Set 1 計算出之 θ 、Set 1 之分佈平均值(mean)與 total per-flow on-demand 之實際執行統計結果，測試中所採用的批購成本(cost)與收益(revenue)對於每個訊務之比例為單位批購成本(unit pre-order cost)：單位臨時批購成本(unit on-demand cost)：單位收益(unit revenue) = 1 : 2 : 2.5。

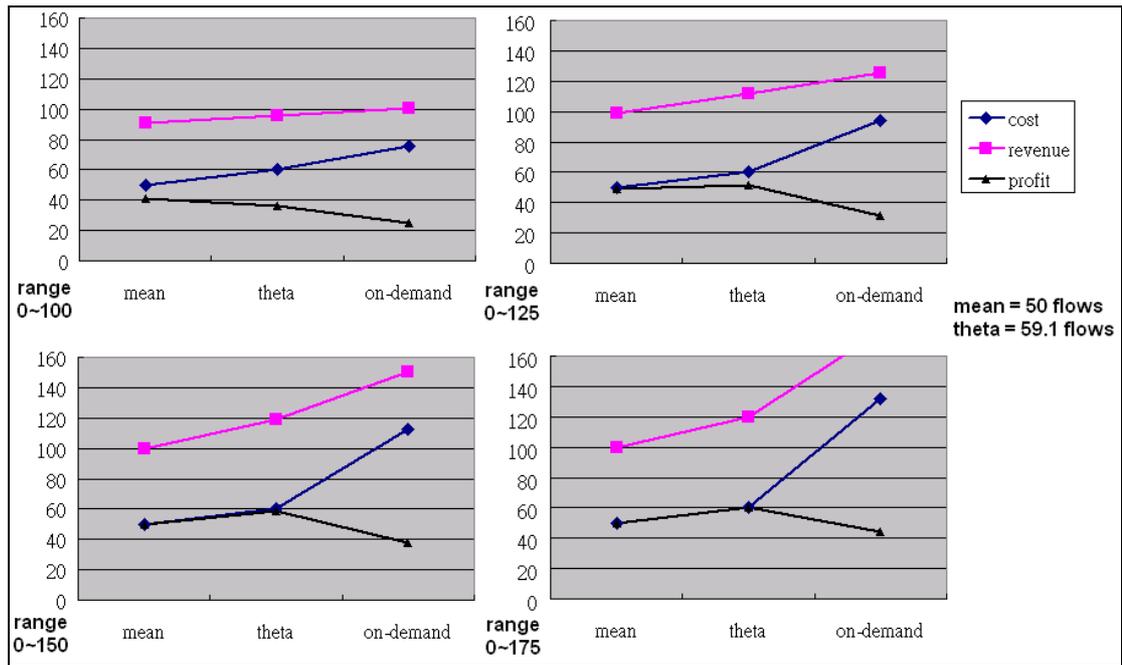


圖 5.4：四種 CBR traffic 分佈對於 mean、 θ 與 total on-demand 之結果

圖 5.4 中之獲利(profit)為根據允入訊務數量之總收益(total revenue)與頻寬成本(cost)之差值。我們可以從實驗結果(圖 5.4)觀察出事先預購頻寬的成本皆為定值，total per-flow on-demand 則是根據出現的訊務量計算頻寬成本，隨著訊務分佈越高，頻寬成本也隨之升高。當訊務以 Set 1 的分佈穩定出現時，則獲利(profit)為批購分佈平均值(mean)時最高，因為平均值批購頻寬與實際所出現的訊務最為接近，訊務出現過少之高估現象或者訊務出現過多之低估現象的差距較小。而以批購頻寬 θ 該組對於訊務以 Set1 之分佈出現，容易出現批購之頻寬用不完的現象，造成浪費，降低獲利(profit)。若是考量訊務分佈超出原本的預估範圍(如 Set 2 到 Set 4)，則事先批購 θ 因為以較低成本批購預留頻寬以容納超出預估的訊務，所以整體的獲利(profit)較預先批購平均值(mean)與 total per - flow on-demand 高。

接下來將各組實驗結果之獲利(profit)依照頻寬取得方法以圖 5.5 表示。從圖 5.5 可觀察出兩種事先取得頻寬之方式皆在訊務分佈超過原本估計的範圍時，獲利(profit)成長會漸漸趨緩。以平均值(mean)批購由於並未事前預購較多頻寬以預防超過預期之需求，所以當訊務分佈一起出原本預估的範圍時，由於無

法容納超出預估的訊務，獲利(profit)成長會馬上趨緩。以 θ 批購頻寬則因為預先批購較多頻寬以因應超過預期之需求，所以當訊務分佈超過原本估計的範圍時，起初還能夠維持一定的獲利(profit)成長率，隨著訊務分佈超過之程度越高，獲利(profit)成長會漸漸趨緩而到水平。Total per-flow on-demand 的方式需要以較高的價格即時取得頻寬，但是獲利(profit)隨著訊務出現越多，可以維持一定的成長。整體看來，在進行事先頻寬規劃時，Bandwidth Order Agent 需要多預估一些頻寬以應付超出之訊務，減少發生 on-demand request 的機會，但是當實際執行階段訊務大幅超出原本預估的範圍，則必須以 on-demand request 批購頻寬，繼續提供服務。

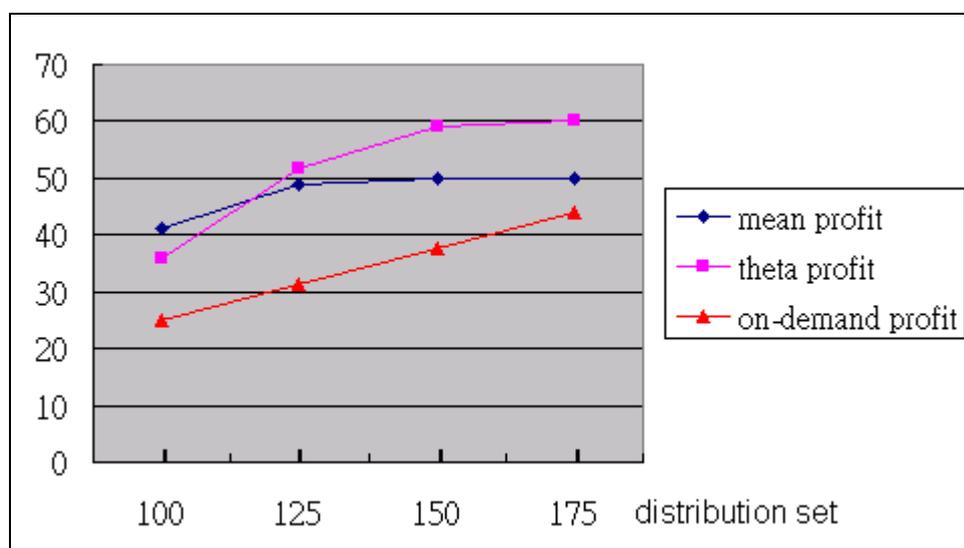


圖 5.5：四種 CBR traffic 分佈對於 mean、 θ 與 total on-demand 之 profit

5.4.1.2. 收費比例對於獲利之影響

首先我們利用先前於第四章提出之最佳頻寬預購公式，套用 Set 1 之訊務分佈(mean 為 50 之 normal distribution)，改變 Bandwidth Broker(BB)對於預先頻寬批購(C_1)與臨時頻寬批購(C_2)之費用比例，觀察最佳頻寬預購值的變化(圖 5.6)。根據結果顯示當費用比例越高時，最佳頻寬預購值也會隨之升高，但升高的趨勢有趨緩的現象，這是因為預測誤差越大發生機率越小。本實驗組取用三種不同費用比例，分別是 C_2/C_1 為 2、3、4，套用不同訊務分佈以進行對照測試。

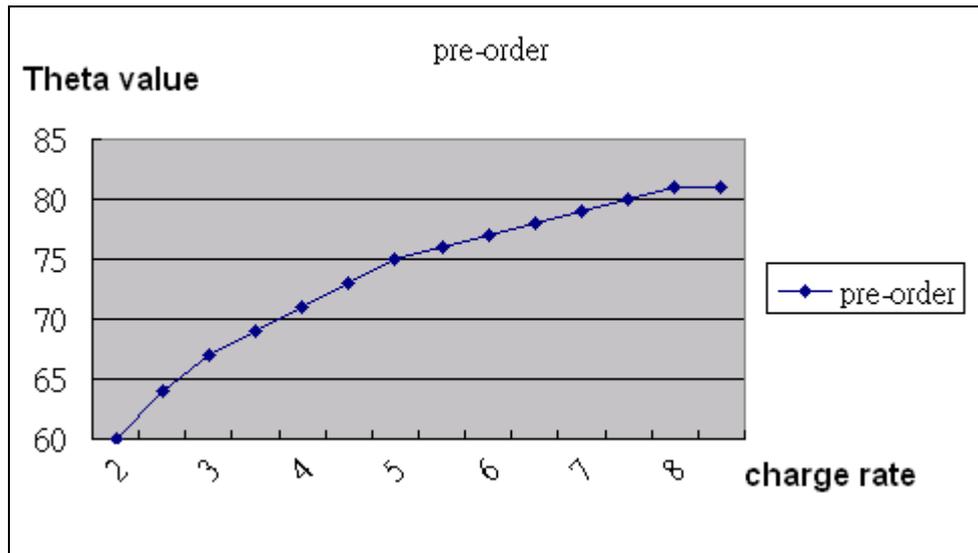


圖 5.6: 費用比例(C_2/C_1)與最佳頻寬預購值

我們以相同之實驗環境設定，將 Bandwidth Broker(BB)對於預先頻寬批購(C_1)與臨時頻寬批購(C_2)之費用比例進行調整，測試不同費用比例在不同訊務分佈下對於允入控制與獲利(profit)的影響。實驗當中，對於不同比例之測試我們採用相同的單位訊務允入收益(revenue)，著重於觀察不同費用比例對於預先頻寬批購量之影響，與其於執行時段所能夠允入的訊務數量。由各組實驗結果(圖 5.7)可知當費用比例越高時，頻寬預購值也就隨之升高，在訊務以 Set1 之分佈出現時各組之收益(revenue)皆相同，獲利(profit)則因為收費比例影響，收費比例較低預購頻寬量較接近 Set 1 訊務出現總數期望值，所以獲利較高。

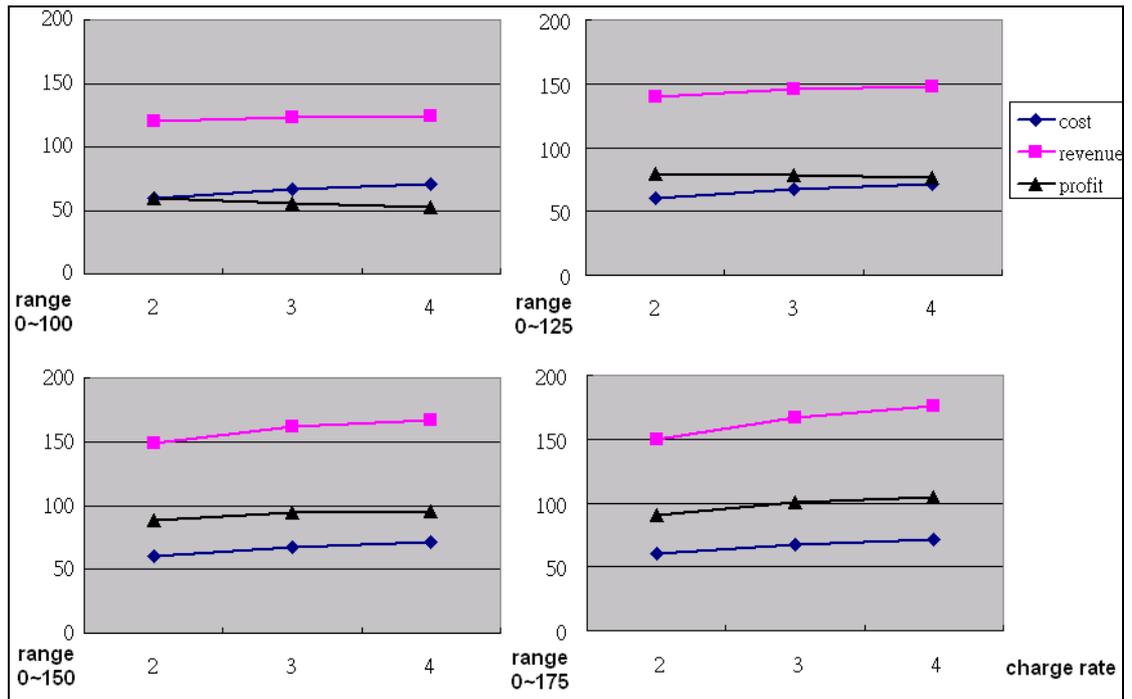


圖 5.7：四種 CBR traffic 分佈對於不同費用比例之結果

當出現之訊務分佈超過預期時(Set2 ~ Set4)，如圖 5.8 所示，超過預期的範圍越多，對於費用比例較高者有利，這是由於費用比例高迫使預先批購時預購較多頻寬以允入超過預期出現的部分訊務。所以，當 BB 費用比例較小時，BOA 宜採用較保守的方式預購頻寬，反之費用比例懸殊，則宜預購較多頻寬以減少臨時批購。

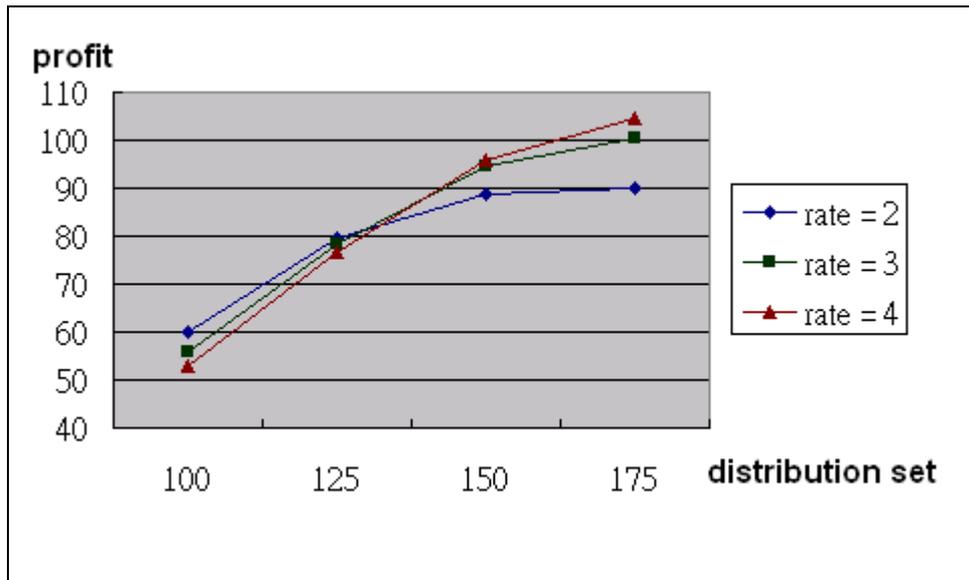


圖 5.8：四種 CBR traffic 分佈對於不同費用比例之 profit

5.4.1.3. 訊務型態對於獲利之影響

接下來我們以相同之實驗設定，將 traffic 傳送方式由 CBR 改成 exponential，測試 exponential traffic 對於允入控制與獲利(profit)的影響。由各組實驗結果(圖 5.9)可知，exponential 之測試結果與 CBR 類似，在 Set 1 測試組中流量在預期的範圍內還是以分佈平均值批購所獲得的獲利(profit)最高，以 θ 值批購次之。由於 exponential traffic 之使用頻寬有間歇性質，在相同 path 頻寬存量時可滿足之訊務較 CBR 多，所以於 Set 2 中超出預期範圍依然還是批購平均值獲利(profit)最高，等到超出的範圍達到一定程度時，以 θ 批購才能顯示出其成效(Set 3、Set 4)，比批購平均值得到更高的獲利(profit)。因此，BOA 對於 exponential traffic 進行資源規劃時，在 BB 費用比例不變的情況下，可採用較 CBR 保守的方式預購頻寬。

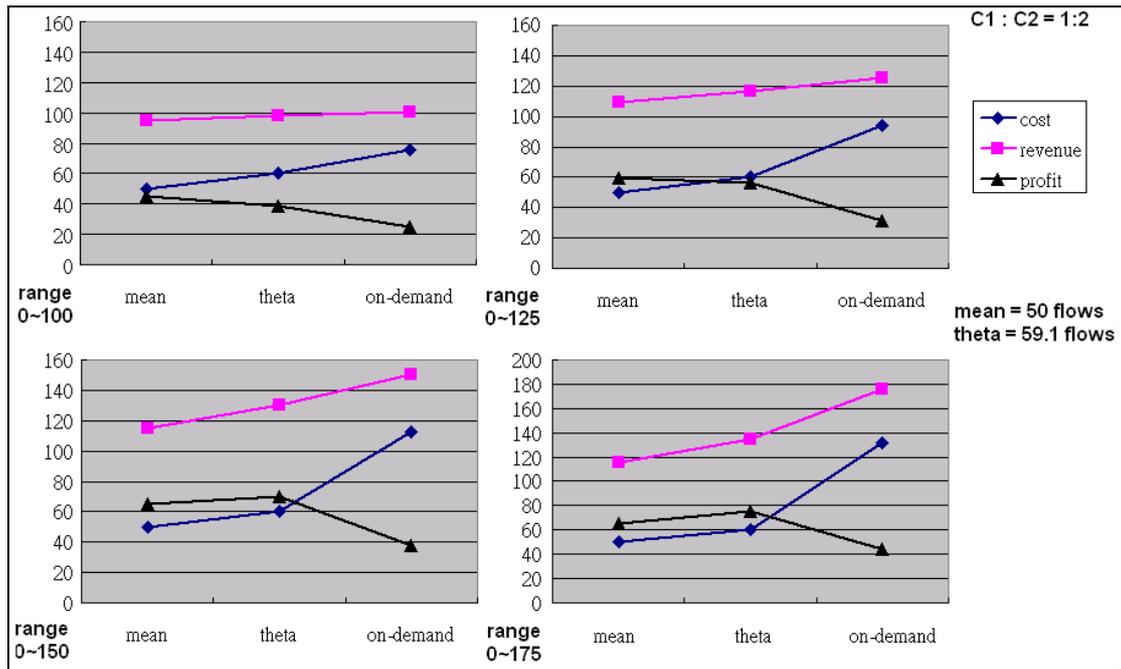


圖 5.9：四種 exponential 分佈對於 mean、 θ 與 total on-demand 之結果

我們將各組 exponential 測試之獲利(profit)繪制成圖觀察(圖 5.10)，從圖 5.9 中可觀察出造成獲利(profit)成長趨緩之預估超出範圍較 CBR 測試組大，這是因為 exponential 傳送時有間歇性質，雖然訊務所要求的頻寬為 448kb/sec，但是整體而言，該 exponential 訊務依照事先設定之 burst time 與 idle time 進行傳送時，平均每秒所使用的頻寬會小於 448kb/sec，所以在 ACA 持有相同的頻寬量時，可允入之 exponential 訊務比 CBR 訊務多。

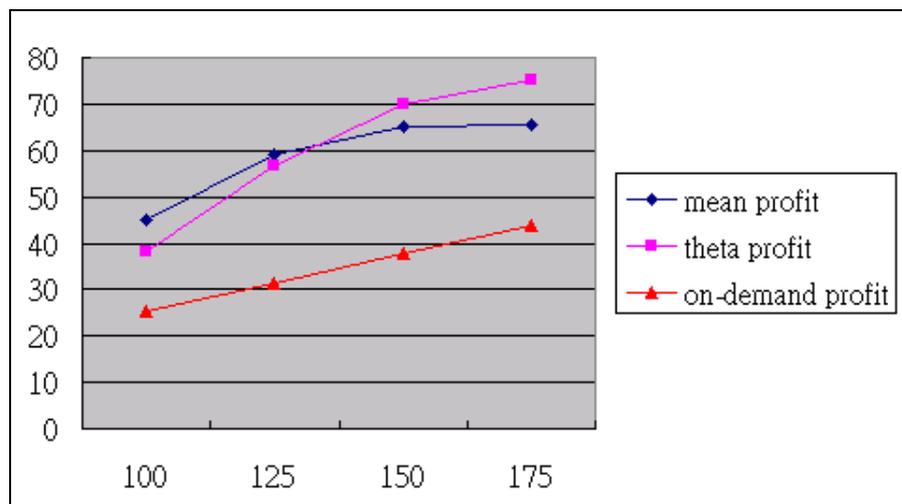


圖 5.10：四種 exponential 分佈對於 mean、 θ 與 total on-demand 之 profit

5.4.2 執行時段(Current Execution Time Period)資源管理實驗結果

本研究以 traffic type 作為實驗對象。將 traffic type 分為 constant bit rate(CBR)與 exponential on/off，service class 則採用 DiffServ 所定義之 Expedited Forward (EF) QoS class。

執行時段資源管理實驗組一為 CBR traffic 測試，觀察訊務分佈對於是否具資源管理之測試結果；執行時段資源管理實驗組二為 exponential traffic 測試，改變執行時段資源管理實驗組一的訊務傳送方式，觀察訊務分佈對於是否具資源管理之結果。針對每個實驗組在執行時段採用原本 NS2 不進行動態頻寬調整之 policy 與套用本研究所提出之 Current Execution Time Period resource management policy 兩種不同方法，比較以上兩種 policy 之效能並提出結論。

5.4.2.1. 訊務分佈對於效能評估指標之影響

此實驗組以 EF 作為固定之 service class，以 CBR 作為受測之 traffic type。實驗開始之初，首先利用訊務分佈產生多組 test set，將每組 test set 中所有的訊務以亂數的方式產生啟動時間，接下來於實驗環境編排(Step3)時，指定訊務統一以 CBR 方式傳送資料，並且套用不同訊務分佈反覆進行實驗，以最後模擬結果觀察 Current Execution Time Period resource management 在不同訊務分佈下對於整體效能的影響。

我們依照選定之 Normal distribution set 重複進行實驗，利用每個 distribution set 隨機產生多組 test sets 分別將每組 test sets 裡所有的訊務設定為 CBR 並賦予起始時間，訊務皆以 CBR 的方式傳送，改變 NS2 頻寬管理 policy，觀察比較兩種管理方式，以各個 test set 測試結果分別就 ratio of fully-satisfied traffic request、ratio of partially-satisfied traffic request 與 ratio of rejected traffic request 表示。

CBR 不具執行時段頻寬管理對於各個訊務分佈(set 1~set 5)之測試結果以

ratio of fully-satisfied traffic request、ratio of partially-satisfied traffic request 與 ratio of rejected traffic request 表示，分別列於圖 5.11、圖 5.13、5.15。CBR 具執行時段頻寬管理對於各個訊務分佈(set 1~set 5)之測試結果分別列於圖 5.12、圖 5.14、5.16。由圖 5.11 與 5.12 比較，當訊務分佈範圍與預期相近時，如 set 1 與 set 2，於時間快結束時有可能發生資源不足的現象。

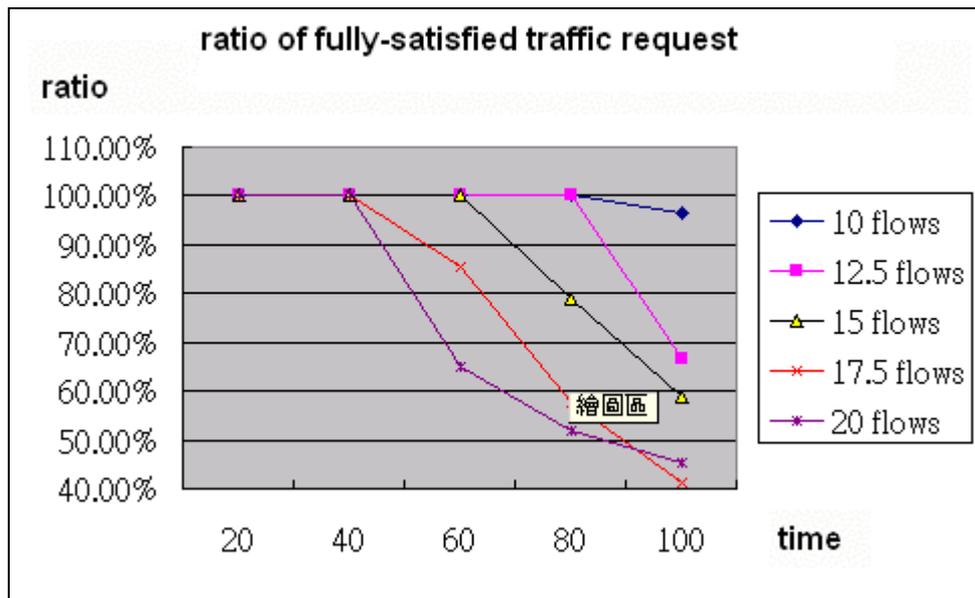


圖 5.11：CBR 不具執行時段頻寬管理之完全滿足比例

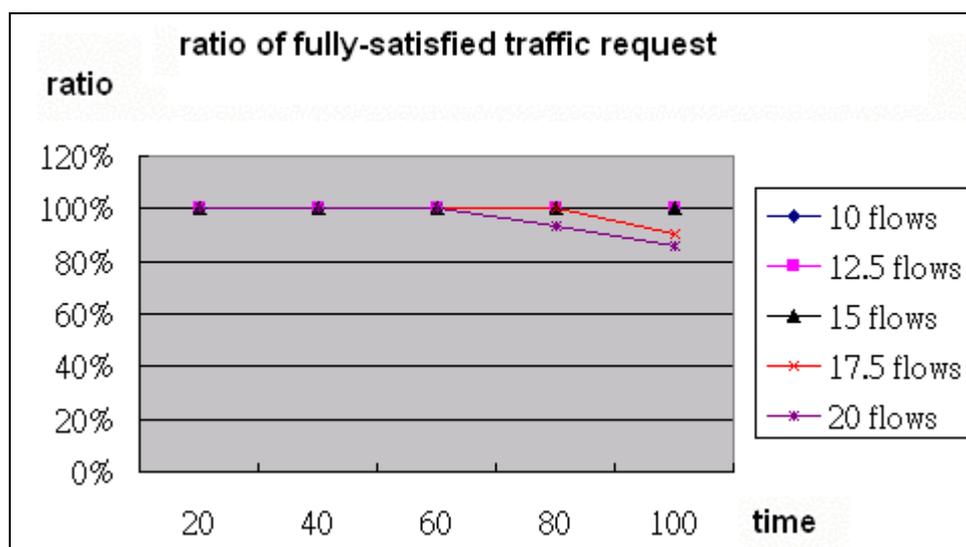


圖 5.12：CBR 具執行時段頻寬管理之完全滿足比例

若訊務分佈超過預期較多(set 3-set 5)，不具執行時段頻寬管理組會在實驗進行到一半時，開始降低 full-satisfied ratio，因為資源不足無法完全滿足訊務，而以部分頻寬滿足(圖 5.13)或是拒絕允入的方式處理(圖 5.15)。在訊務分佈超過預期過多的情況之下，以執行時段頻寬管理進行測試，則可延後資源不足的時間，提高 full-satisfied ratio 降低部分滿足(圖 5.14)或是拒絕允入之比例(圖 5.16)。

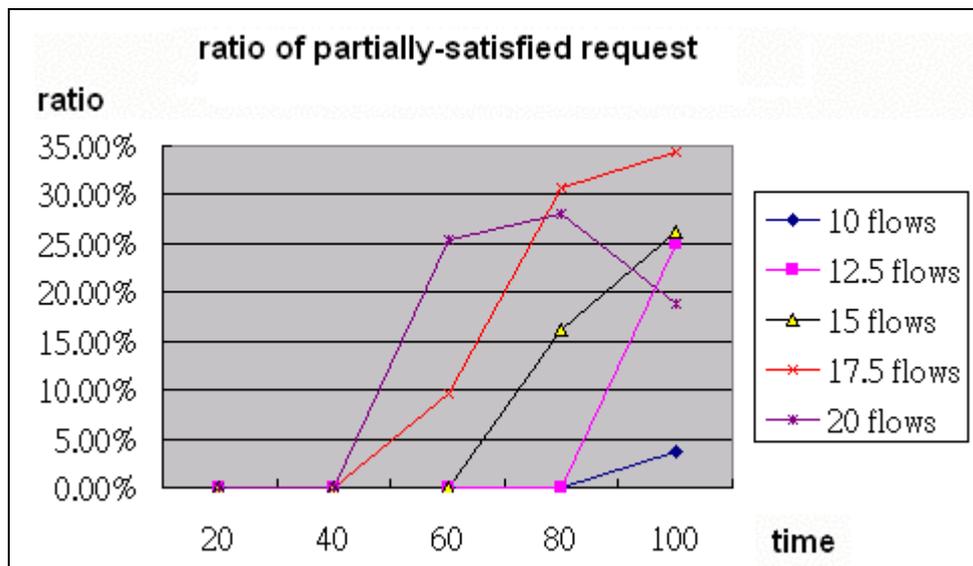


圖 5.13：CBR 不具執行時段頻寬管理之部分滿足比例

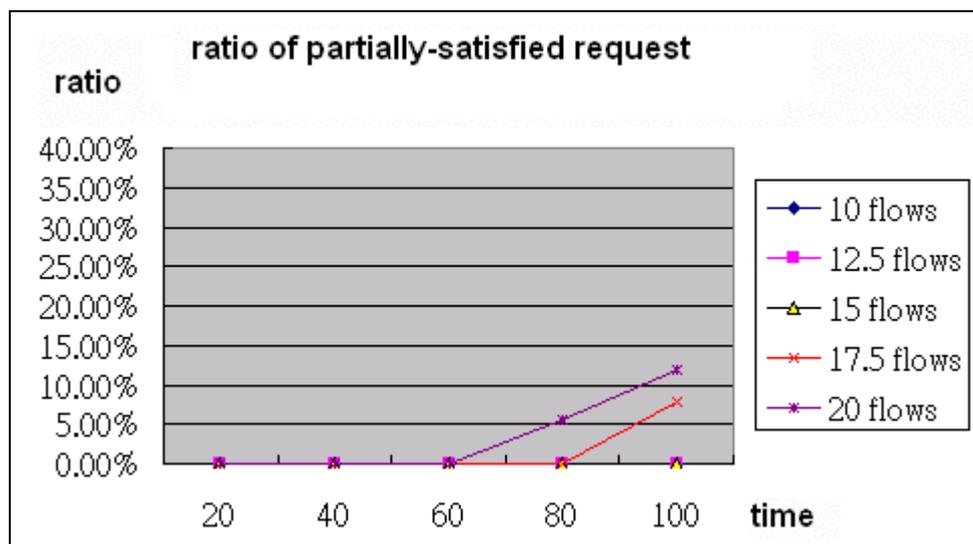


圖 5.14：CBR 具執行時段頻寬管理之部分滿足比例

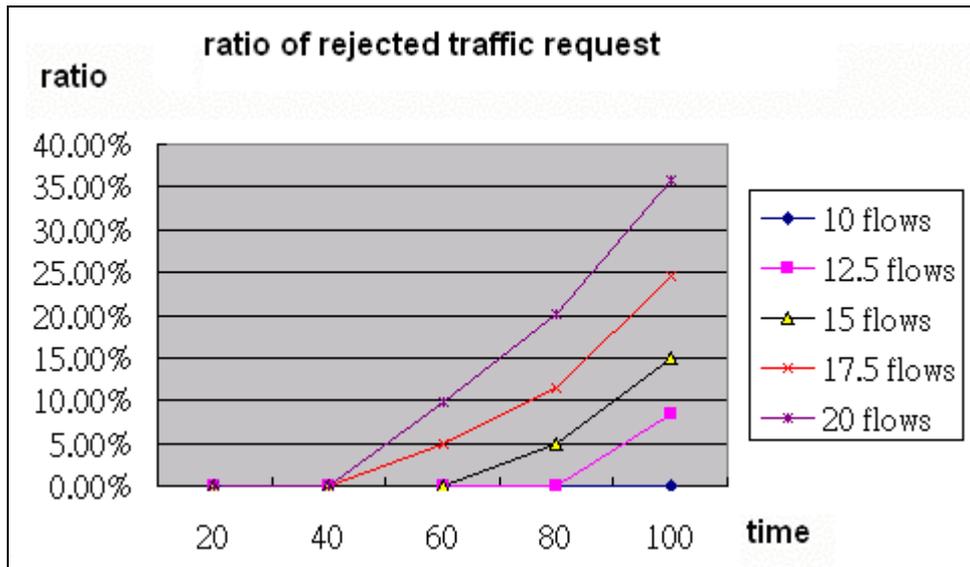


圖 5.15：CBR 不具執行時段頻寬管理之拒絕比例

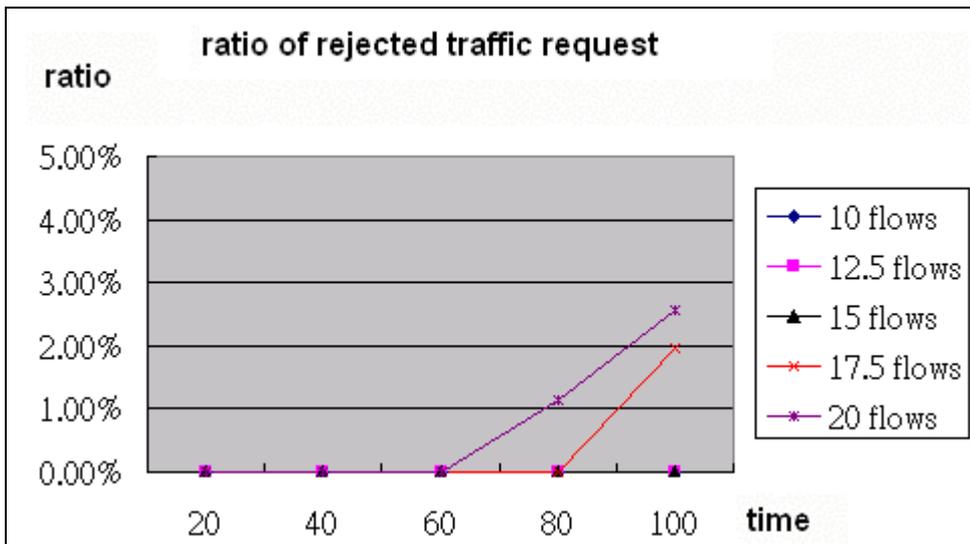


圖 5.16：CBR 具執行時段頻寬管理之拒絕比例

5.4.2.2. 訊務型態對於效能評估指標之影響

實驗設定與前組實驗相同，以 exponential 作為受測之 traffic type。實驗中改變 NS2 頻寬管理 policy，觀察並比較兩種管理方式，以各個 test set 測試結果分別就 ratio of fully-satisfied traffic request、ratio of partially-satisfied traffic request 與 ratio of rejected traffic request

表示。

Exponential 不具執行時段頻寬管理對於各個訊務分佈(set 1~set 5)之測試結果分別列於圖 5.17、圖 5.19、圖 5.21。Exponential 具執行時段頻寬管理對於各個訊務分佈(set 1~set 5)之測試結果分別列於圖 5.18、圖 5.20、5.22。

Exponential 不具執行時段頻寬管理之測試結果顯示(圖 5.17)訊務分佈超過預期時依然會出現無法完全滿足所有訊務需求的情況，隨著超出的範圍越大，出現資源缺乏的情況也就越早出現，但是其完全滿足之比例在各組訊務分佈測試中皆比 CBR 不具執行時段頻寬管理之測試高(圖 5.11)。



圖 5.17：exponential 不具頻寬管理之完全滿足比例



圖 5.18：exponential 具頻寬管理之完全滿足比例

Exponential 測試組在不同訊務分佈下，雖然拒絕允入的比例會隨著超過預期的程度增加(圖 5.21)，但是 set 1 至 set 5 各組訊務測試之拒絕允入的比例差距不大，至多不超過 10%。如此現象的原因是因為 Exponential 訊務之需求頻寬較小，所以當資源使用到一定程度時，新出現之訊務只要以降級的方式，使用部分滿足允入即可。所以我們可以從 Exponential 不具頻寬管理之 partially-satisfied ratio(圖 5.19)觀察出，訊務超出預期程度反映出之 partially-satisfied ratio。

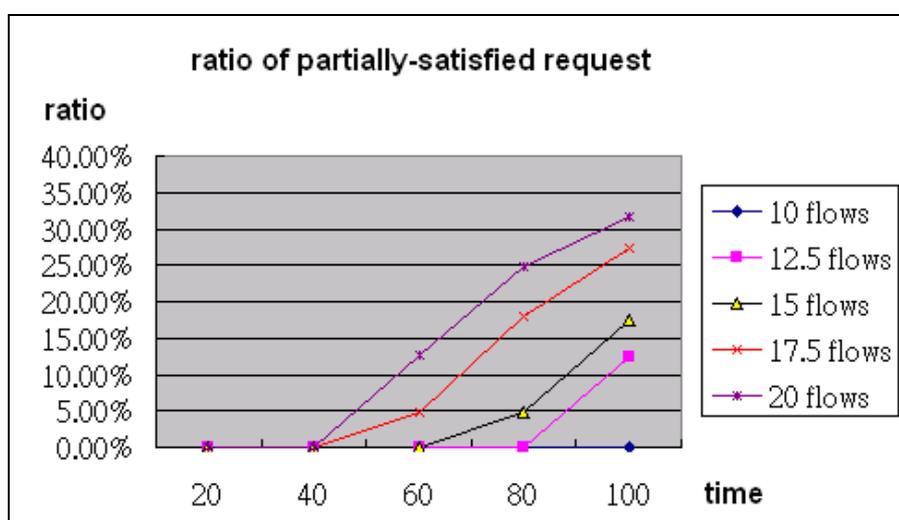


圖 5.19：不具頻寬管理之部分滿足比例

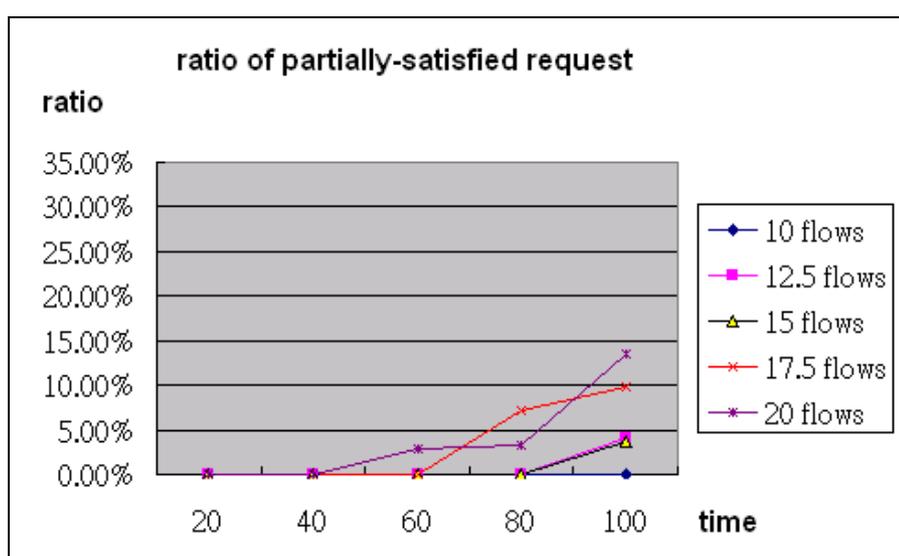


圖 5.20：具頻寬管理之部分滿足比例

Exponential 具執行時段頻寬管理之測試結果顯示，以頻寬管理控制資源存量對於各組訊務分佈皆可降低 partially-satisfied ratio(圖 5.20)，並且提升 fully-satisfied ratio(圖 5.18)，但是對於 reject ratio(圖 5.22)並無明顯的改善。

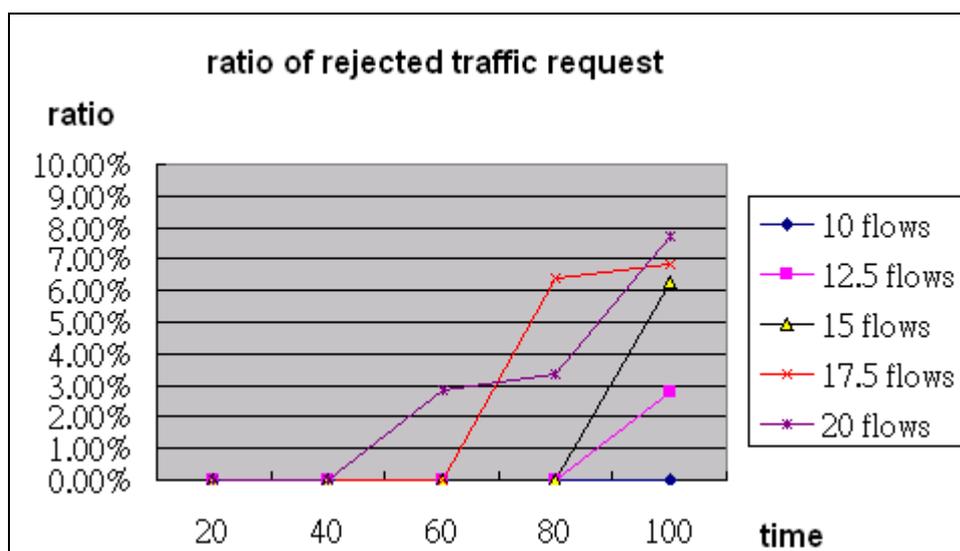


圖 5.21：exponential 不具頻寬管理之拒絕比例

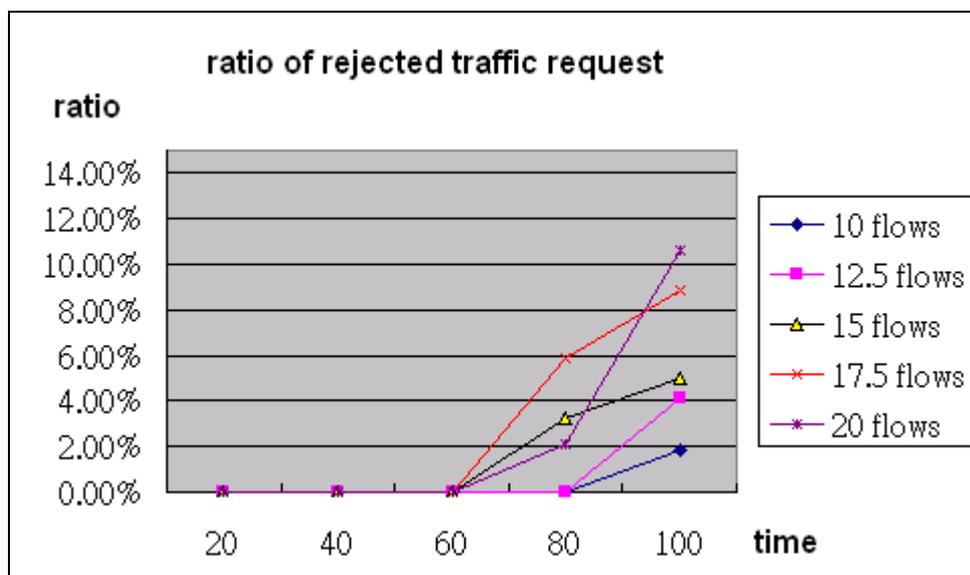


圖 5.22：exponential 具頻寬管理之拒絕比例

5.5 總結

頻寬預購法實驗顯示，訊務預測準確度將影響獲利(profit)，當預測完全準確，依照預測結果決定最適當之頻寬預購值，如此可獲得最大獲利。若是預測有一定的誤差存在，以臨時批購(on-demand request)取得頻寬彌補不足的部分需要付出較多成本時，則可採用本研究提出之頻寬預購法，於規劃時多批購部分保留頻寬，以處理於執行時段超過預期之訊務差額。由實驗中可觀察出頻寬預購法所批購之頻寬可以容許 20%之預測誤差，超過 20%之預測誤差時則會產生拒絕允入訊務的現象。

為了彌補頻寬預購法所預購之頻寬無法應付大幅超出預期之訊務或是瞬間湧入之訊務，本研究採用執行時段資源管理以預防因為頻寬不足而造成高比例之拒絕允入比例。從實驗當中可知，採用執行時段資源管理，雖然必須以較高成本批購臨時向 Bandwidth Broker(BB)批購頻寬，但是可以在訊務超過預期範圍時提高允入之訊務或者部份滿足訊務的需求，以維持掌握資源量，順利允入進入核心網路之訊務。從測試中可發現，對於 CBR traffic 採用執行時段資源管理，可有效降低因為預測誤差所造成的拒絕允入比例(ratio of rejected traffic)，亦可以改善部分滿足比例(ratio of partially-satisfied)的情況，以提升允入訊務數量。由於 exponential traffic 所需求的頻寬較 CBR 小，所以在相同之頻寬存量時，預測誤差對於 exponentail traffic 所造成的影響較小，但是在誤差範圍過大時同樣有拒絕允入比例(ratio of rejected traffic)攀升的情況。對於 exponential traffic 採用執行時段資源管理，當預測誤差越大時，所改善之部分滿足比例(ratio of partially-satisfied)較明顯，對於拒絕允入比例(ratio of rejected traffic)之改善狀況則不如 CBR traffic 測試組，但是在不同預測誤差下，exponential traffic 測試組之訊務允入比例(部分滿足與完全滿足之總合)還是皆比 CBR traffic 測試組高。

第六章

結論

6.1 結論

要提供 per-flow end-to-end QoS 是一項管理複雜度極高的工作，要提供適當的 QoS 管理，其成功之關鍵主要在於是否能提供一個簡單易行之架構，再據此設計各種解決方案。由於 Per flow QoS 將造成大量的管理負擔，必須使用 aggregation 技術將許多 flow 歸併，減低管理負擔。

本研究團隊提出 Budget-based QoS 架構以預算分配和預先資源分配規劃，來達成 end-to-end 的網路服務品質保證。利用目前提出之服務品質分類方法與網路服務機制，設計一個管理架構，在此架構上提供完整的 End-to-End QoS 保證，以符合 All-IP 網路上各種不同服務需求。於論文當中另外提出以預先批購頻寬的方式進行核心網路資源規劃，並且配合執行時段頻寬管理機制，以達到順利允入網路訊務之目的。

根據 NS2 網路模擬器模擬簡化網路架構與訊務產生分佈，套用論文中所提出之預先頻寬批購法與執行時段頻寬管理機制。我們可發現當 BB 對於預購與臨時批購之費用比例為 1:2 時，出現之訊務超過預期分佈之比例在 20% 以內時，則預先頻寬批購法所額外預購的頻寬皆可以滿足大多數訊務之需求，但是當訊務超過預期之比例更多，則容易因為資源短缺而開始拒絕允入訊務。此外於實驗當中我們亦可觀察出 BB 訂定之費用比例不同，ACA 所可以容忍的訊務誤差也就不同，當 BB 訂定的費用比例高時，預購的頻寬較多，可容忍的訊務誤差範圍也就

越大。

6.2 結論與未來發展方向

由於預先頻寬批購法與實行時段頻寬管理法目前只適用於 CBR，對於傳輸率不穩定之訊務並未作最佳化修正，所以於實驗中若是採用 exponential 訊務進行實驗，最佳頻寬預購值與資源底限會有高估的現象，形成少部分的資源浪費，因此我們必須針對各種不同傳輸方式之訊務修改最佳頻寬預購值之公式與資源底限管理辦法或是找出一個共通的解法。此外，論文當中尚未提出資源再分配之完整問題描述、議題與實際解決方案，以及不同品質服務之間的關係以及對本文中所提出管理方法之影響，並且如何針對各種服務品質進行適當的資源規劃。未來希望能夠結合 traffic type 以及各種品質服務以將運用於更複雜與實際之環境下。

Acknowledgement

本研究係國科會計劃「All-IP核心網路品質管理研究」研究成果，編號 NSC 91-2219-E-004-001，特此感謝。另外感謝政治大學應用數學系陸行老師的協助，與資訊科學系行動計算實驗室所有老師與同學的大力幫助。

Reference

- [1] Xiao, X., L. -M. Ni, "Internet QoS: A Big Picture", IEEE Network, 13(2):8-18, March-April 1999.
- [2] Miras, D., "Network QoS Needs of Advanced Internet Applications", Internet2 - QoS Working Group, November 2002.
- [3] Pascal Lorenz, "Quality of service and new architectures for future telecommunications networks", MILCOM 2000 - IEEE Military Communications Conference, no. 1, October 2000 pp. 695-698.
- [4] D. Goderis, S. Van den Bosch, Y. T'Joens, P. Georgatsos, D. Griffin, G. Pavlou, P. Trimintzios, G. Memenios, E. Mykoniati, C. Jacquenet, "A service-centric IP quality of service architecture for next generation networks", NOMS 2002 - IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, no. 1, April 2002 pp. 139-154
- [5] Mahbulul Alam, Ramjee Prasad, John R. Farserotu, "Quality of service among IP-based heterogeneous networks", IEEE Personal Communications, no. 6, December 2001 pp. 18-24

- [6] Vijay K. Garg, Oliver T. W. Yu, "Integrated QoS support in 3G UMTS networks", WCNC 2000 - IEEE Wireless Communications and Networking Conference, no. 1, September 2000 pp. 1187-1192
- [7] E. Crawley, Editor, L. Berger, S. Berson, "A Framework for Integrated Services and RSVP over ATM", RFC 2382, August 1998.
- [8] D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, "An Architecture for Differentiated Services", RFC 2475, December 1998.
- [9] Jacobson, V., K. Nichols, K. Poduri, "An Expedited Forwarding PHB", RFC 2598, June 1999. C. Hedrick, "Routing Information Protocol", RFC 1058, June 1988.
- [10] Heinanen, J., F. Baker, W. Weiss, and J. Wroclawski, "Assured Forwarding PHB Group", RFC 2597, June 1999.
- [11] P. Trimintzios et al., "A Management and Control Architecture for Providing IP Differentiated Services in MPLS-Based Networks", IEEE Commun. Mag., vol. 39, no. 5, May 2001, pp. 80-88.
- [12] P. Trimintzios et al., "A Policy-Based Quality of Service Management System for IP DiffServ Networks," IEEE Network., vol. 16, no. 2, Mar 2002, pp. 50-56.
- [13] Eleni Mykoniati et al., "Admission Control for Providing QoS in DiffServ IP Networks: The TEQUILA Approach," IEEE Commun. Mag. Jan 2003, pp. 38-44.
- [14] Spiridon Bakiras and Victor O.K. Li, "Efficient Resource Management for End-to-End QoS Guarantees in DiffServ Networks", IEEE International

Conference on Communications, 2002.

- [15] Clark, D., W. Fang, Explicit Allocation of Best Effort packet Delivery Service, IEEE/ACM Transactions on Networking, 6(4):364-373, August 1998.
- [16] Douglas S.Reeves and Hussein F. Salama, ``A Distributed Algorithm for Delay-Constrained Unicast Routing'', IEEE Transaction on Network, April 2000.
- [17] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog and S. Jamin, ``Resource Reservation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification'', RFC 2205, September 1997.
- [18] K. Chan, R. Sahita, S. Hahn and K. McCloghrie, ``Differentiated Services Quality of Service Policy Information Base ", RFC 3317, March 2003.
- [19] Bill Goodman, ``Internet Telephony and Modem Delay'', IEEE Network, May 1999, pp. 8-16.
- [20] J. Garcia-Luna-Aceves and J. Behrens, ``Distributed scalable routing based on vectors of link states'', IEEE J. Select on Communication, October 1995.
- [21] Jon Postel, ``Internet Protocol'', RFC 791, September 1981.
- [22] Mark A. Sportack, ``IP Routing Fundamentals'', Cisco ISBN: I-57870-071-x, May 1999.
- [23] R. Widelyono, ``The Design and Evaluation of Routing Algorithms for Real-Time Channels'', International Computer Science Institute, Univ. of California at Berkeley, Tech Rep. ISCI TR-94-024, June 1994.
- [24] S. Rampal and D. Reeves, ``An evaluation of routing and admission control

- algorithms for multimedia traffic", Proc. of the 5th IFIP Conf. on High Performance Networks, October 1995.
- [25] S. Lavenberg, "Mean Value Analysis of Closed Multichain Queuing Networks", Journal of the Association for Computing Machinery, vol. 27, no. 2, April 1980, pp. 313-322.
- [26] Z. Wang and J. Crowcroft, "Quality of Service Routing for Supporting Multimedia Applications", IEEE Select on Communication, September 1996.
- [27] Walter Weiss, "QoS with Differentiated Services", Bell Labs Technical Journal, October – December 1998.
- [28] Nicolas Christin and Jörg Liebeherr, "A QoS Architecture for Quantitative Service Differentiation", IEEE Communications Magazine, June 2003
- [29] Fall, K., K. Varadhan, The ns Manual, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, April 2002.
- [30] 吳柏林與陸行, 國立政治大學應數系, "航空機位超額預售與收益經營策略"。