

全 IP 網路中以預算為基礎之端對端服務品質管理

摘要

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整合型網路—All-IP 網路以支援所有的應用服務。

All-IP 網路受限於封包交換網路原有的特性，有服務品質問題 (QoS) 有待克服，因此有必要在 All-IP 網路上提供服務品質管理機制以實現整合型網路的目標。而要提供適當的 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。本論文先提出 BBQ(Budget-Based QoS)採用以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。BBQ 提供一個高適用性的管理架構和相關的管理工具，可適用於不同的下層網路架構和不同營運目標的網管政策。

本論文為提出在 BBQ 管理系統中之端對端服務品質解決方案。透過承載服務的概念，端對端之服務由接取網路和骨幹網路之承載服務提供支援。本論文依據分層負責的精神提出一系列的資源規劃及路徑建構方式，提高網路資源運用效率，並可快速的以即時方式建構具服務品質保證的端對端路徑給使用者。骨幹網路由許多核心網路相連而成，各個核心網路各自獨立規劃內部路徑而端對端的路徑規劃只需選擇所欲通過的核心網路即可，計算量可大幅降低，因此可適用即時的路徑建構。路徑規劃之研究重心為如何挑選最佳核心網路路徑，以規劃具服務品質之端對端路徑並可達到資源之最有效利用。

Budget-Based End-to-End QoS Management for All-IP

Networks

Abstract

In response to the great progress of communications and computer technologies, 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 services. Diverse types of services demand diverse QoS requirements making it a great challenge to support potential services with guaranteed QoS on All-IP networks. Our research group proposes a Budget-Based QoS (BBQ) management architecture to facilitate network operators of diversified networks. With BBQ management architecture, network operators can adjust their network architectures and management policies to support as many services as possible with End-to-End QoS guarantee.

In this thesis, based on BBQ QoS architecture, we propose an End-to-End QoS solution in BBQ management system. By bearer services concepts, an End-to-End service is decomposed into Backbone and Stub Network bearer services. Each sub-network will carry the responsible bearer service with committed QoS guarantee. Based on the proposed hierarchical management infrastructure, we design a methodology to allocate resource and path planning in a progressive manner. This methodology will give network operators sufficient time to configure and deploy networks according to long time demand forecast. Furthermore, it allows admission controller to efficiently acquire resource in real time in admitting a service with End-to-End QoS guarantee. Because each Core Network plans its own internal path independently, End-to-End path planning is only to choose Core Networks to pass through. This scheme could reduce the enormous computation overhead such that it is adequate for real time path setup. One critical challenge is to choose the best End-to-End paths with QoS guarantee for incoming service requests in terms of optimal resource utilization. We have developed a mathematical programming method to solve the problem. The simulation evaluation shows that our optimization would perform more efficient resource utilization and forecasting error tolerable than OSPF and trunk approach.

誌謝

本研究係國科會計劃「All-IP 網路 End-to-End 品質管理之研究」研究成果，編號 NSC91-2219-E-004-005，特此感謝。

能夠完成論文，通過口試，首先要先感謝連耀南教授這兩年多來的莘莘教誨，無論是論文撰寫、思考邏輯，連耀南教授嚴謹的研究態度都是我最佳的示範，也讓我學習到了作研究的方法和為人處事的道理。

另外，要感謝林一平教授、蔡志宏教授、陳銘憲教授、陳耀宗教授、張宏慶教授及蔡子傑教授能在百忙之中撥冗參加我的論文口試，並且在口試時針對我做研究的盲點，給予指教。

再來要感謝張宏慶教授、蔡子傑教授這兩年來給予的指導與協助，從平時的 group meeting 到口試前的指導，均讓我受益匪淺。還有感謝應數系的陸行教授，一年來和陸行教授的討論，促使我更加積極努力，而且在陸行教授的大力協助之下，也使我的論文能及早完成。另外也謝謝系上的助教，韓嘉蓮助教、譚儷文助教、楊昇財助教平時的幫忙。

在撰寫論文的一年來，剛開始囿於生活之不順遂，所以常常感到進度落後而惶恐不安。感謝一同努力的勳哥、Rayman 和 Jerry，在我心情苦悶煩躁時，總能彼此互相打氣加油，在我分身乏術時，也能夠互相支援幫忙。所以，每當達到進度時，午夜的籃球場上總有我們馳騁的身影，以及一起期待一個星期一次的電視節目等等，這些都為苦悶的生活添加無比樂趣，同時也是我永遠無法忘記的美好回憶。

此外，要感謝 Kenex，每次與 Kenex 的討論，總能導正我研究上的缺失。感謝

Richard, Elliot, Appollo, Tudidi, Aiwa, Ic, Jeffery, Bein, Zealboy, Shower, Isa, Osbike, Tightsman, 弘奇, 國展, 旭本及所有的同學，在這一年來，給我的協助和關懷，讓我可以熬過這艱苦的時刻。

最後，感謝盈惠這些日子耐心的陪伴，體諒情緒起伏不定的我，並且時常幫忙我、鼓勵我。還有，最要感謝我的父母和家人，由於他們長期的關懷、鼓勵和支持，我才得以完成研究所的學業。

在政大的兩年中，在生活、課業等方面，獲得很多人的幫忙協助。感謝所有幫助過我的人，謝謝！

陳建同於台北·政大 October 8, 2003

目錄

第一章 簡介 (INTRODUCTION)	1
1.1 電信產業的趨勢	2
1.1.1 整合型網路—全 IP 網路 (Network Convergence—All-IP Network)	3
1.1.2 封包網路上承載具時效性應用問題 (Real-time Application on Packet-Switching Networks).....	5
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 NETWORKS)	7
1.4 UMTS 服務等級 (UMTS QoS SERVICE CLASS)	8
1.5 QoS 管理方法 (QoS MANAGEMENT)	10
1.5.1 Integrated Service	10
1.5.2 Differentiated Service.....	11
1.6 研究動機及目的 (MOTIVATION AND RESEARCH OBJECTIVE)	12
1.7 解決方案 (SOLUTION APPROACH)	13
1.8 論文組織結構	13
第二章 相關研究 (RELATED WORK)	15
2.1 QoS 管理架構 (QoS MANAGEMENT ARCHITECTURE)	15
2.1.1 Integrated Service	15
2.1.2 Differentiated Service.....	16
2.1.3 Trunk.....	20
2.1.4 TEQUILA.....	21
2.1.5 分散式管理架構 (Victor O.K. Li's System)	23

2.2	評論 (SUMMARY)	24
第三章	以預算為基礎之服務品質保證 (BUDGET-BASED QOS)	27
3.1	BBQ 架構 (BUDGET-BASED QOS FRAMEWORK)	28
3.1.1	簡化的 All-IP 網路架構 (A Simplified All-IP Network Architecture)	28
3.1.2	以預算為基礎之管理 (Budget-Based Management)	30
3.1.3	路徑定義 (Path Definitions)	31
3.1.4	承載服務架構 (Bearer Service Architecture)	32
3.1.5	服務品質熵數 (Quality Entropy)	33
3.1.6	即時資源分配與預先資源管理 (Pre-Planning vs. On Demand Allocation)	35
3.1.7	集中式與分散式資源配置 (Centralized vs. Distributed Resource Allocations)	36
3.1.8	需求預測 (Traffic Forecast)	37
3.2	管理系統架構 (MANAGEMENT SYSTEM ARCHITECTURE FOR BBQ)	38
3.2.1	BBQ 管理系統假設 (BBQ System Assumptions)	38
3.2.2	分散式分層管理系統 (Distributed Management System Hierarchy)	38
3.2.3	管理系統軟體架構 (Management System Software Architecture)	40
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)	41
第四章	以預算為基礎之端對端服務品質保證 (END-TO-END QOS FOR BBQ)	42
4.1	資源保留/分配 (RESOURCE RESERVATION/ALLOCATION)	43
4.1.1	保留時間範圍 (Reservation Time Frame)	43
4.1.2	保留等級 (Reservation Certainty)	44
4.1.3	資源保留方案 (Resource Reservation Scheme)	46
4.1.4	端對端資源保留之計價方案 (Charging Scheme)	50
4.1.4.1	符號定義 (Notation Definition)	50

4.1.4.2	累進計價 (Progressive Charging)	51
4.2	訊務流集合需求預測 (TRAFFIC AGGREGATE DEMAND FORECAST)	53
4.3	服務品質熵數預算分配 (QUALITY ENTROPY BUDGET ALLOCATION)	54
4.4	LONG PATH 規劃 (LONG PATH PLANNING)	56
4.5	端對端服務品質保證規劃元件, LPPA (END-TO-END QOS COMPONENT, LPPA)	58
4.5.1	集中式與分散式規劃 (Centralized vs. Distributed Plannings)	61
4.5.2	整體規劃 LPPA (Global Planning LPPA)	63
4.5.3	本地規劃 LPPA (Local Planning LPPA)	64
4.6	端對端服務品質保證規劃元件, GLOBAL ACA (END-TO-END QOS COMPONENT, GLOBAL ACA)	67
4.7	端對端服務品質保證工作流程 (END-TO-END QOS PROCEDURE)	68
4.7.1	Long Term Soft 資源保留 (Long Term Soft Reservation)	70
4.7.2	Short Term Soft 資源保留 (Short Term Soft Reservation)	71
4.7.3	即時資源保留 (Real-time Hard Reservation)	73
4.8	LPPA 最佳化模型 (LPPA OPTIMIZATION MODEL)	75
4.8.1	問題描述 (Problem Statement)	76
4.8.2	最佳化模型 (Optimization Model)	77
4.8.3	非線性目標整數規劃 (Nonlinear Goal Mixed Integer Programming)	78
第五章	效能評估 (PERFORMANCE EVALUATION)	85
5.1	效能評估指標 (PERFORMANCE EVALUATION METRICS)	86
5.1.1	Long Term Soft 資源保留階段 (Long Term Soft Reservation)	86
5.1.1.1	資源保留成本 (Resource Reservation Cost)	86
5.1.1.2	收益損失 (Lost Revenue)	87
5.1.2	Real Time Hard 資源保留階段 (Real Time Hard Reservation)	87
5.1.2.1	訊務要求拒絕率 (Blocking Ratio)	87

5.2	實驗設計 (EXPERIMENT DESIGN)	88
5.2.1	實驗環境 (Experiment Environment)	88
5.2.1.1	BBQ Computational Simulator	89
5.2.2	實驗測試組產生 (Test Instance Generation)	89
5.2.2.1	網路拓樸之產生 (Network Topology Generation)	89
5.2.2.2	訊務實驗組產生 (Traffic Request Generation)	90
5.2.3	實驗 (Experiments)	91
5.3	實驗結果 (EXPERIMENT RESULTS)	92
5.3.1	實驗一、訊務流集合預測需求量之敏感度測試	92
5.3.1.1	對資源保留成本之影響	93
5.3.1.2	對收益損失之影響	95
5.3.2	實驗二、網路連接率之敏感度測試	96
5.3.2.1	對資源保留成本之影響	97
5.3.2.2	對收益損失之影響	99
5.3.3	實驗三、預測誤差之敏感度測試	100
5.3.3.1	對訊務要求拒絕率之影響	103
5.3.4	與最佳解之比較 (Comparison with The Optimal Solution)	106
5.4	實驗總論 (EXPERIMENT SUMMARY)	106
第六章	結論及未來展望 (CONCLUSIONS AND FUTURE WORK)	108
6.1	結論 (CONCLUSIONS)	108
6.2	未來展望 (FUTURE WORK)	109
	參考文獻 (REFERENCES)	111

圖目錄

圖 1.1	各 UMTS 服務類別對三大品質指標之容忍度。	9
圖 2.1	DIFFSERV DOMAIN & NON-DIFFSERV DOMAIN.	17
圖 2.2	TRUNK TWO-STAGE BLOCKING MODEL.	21
圖 2.3	TEQUILA 架構。	22
圖 2.4	分散式管理架構。	23
圖 3.1	簡化的全 IP 網路架構。	30
圖 3.2	端對端承載服務。	33
圖 3.3	服務品質熵數與品質參數對應。	34
圖 3.4	BBQ 管理系統軟體元件架構。	40
圖 3.5	簡化的端對端服務品質建立流程。	41
圖 4.1	保留時間範圍。	44
圖 4.2	保留等級。	46
圖 4.3	SHORT TERM SOFT 資源保留頻寬單價。	51
圖 4.4	REAL TIME 資源保留頻寬單價。	52
圖 4.5	第一階段之服務品質熵數預算分配。	55
圖 4.6	端對端路徑示意圖。	57
圖 4.7	LPPA 規劃能力分類。	62
圖 4.8	總體規劃 LPPA。	63
圖 4.9	本地規劃 LPPA。	65
圖 4.10	端對端服務品質保證程序。	68
圖 4.11	LONG TERM SOFT 資源保留元件互動圖。	70

圖 4.12	SHORT TERM SOFT 資源保留元件互動圖。	71
圖 4.13	REAL TIME HARD 資源保留元件互動圖。	73
圖 4.14	REAL TIME HARD 資源保留流程圖。	74
圖 4.15	REAL TIME HARD 資源保留虛擬碼。	75
圖 4.16	骨幹網路示意圖。	77
圖 5.1	訊務流集合需求總量對資源保留成本之影響 (1)。	93
圖 5.2	訊務流集合需求總量對資源保留成本之影響 (2)。	94
圖 5.3	訊務流集合需求總量對收益損失之影響 (1)。	95
圖 5.4	訊務流集合需求總量對收益損失之影響 (2)。	96
圖 5.5	網路連接率對服務保留成本之影響 (1)。	97
圖 5.6	網路連接率對服務保留成本之影響 (2)。	98
圖 5.7	網路連接率對收益損失之影響 (1)。	99
圖 5.8	網路連接率對收益損失之影響 (2)。	100
圖 5.9	不同預測誤差之訊務流集合需求量比較。	102
圖 5.10	測試組於不同預測誤差之標準差變化。	102
圖 5.11	預測誤差對服務拒絕率之影響 (1)。	103
圖 5.12	預測誤差對服務拒絕率之影響 (2)。	103
圖 5.13	預測誤差對服務拒絕率之影響 (3)。	104
圖 5.14	預測誤差對服務拒絕率之影響 (4)。	104
圖 5.15	預測誤差對服務拒絕率之影響 (5)。	105

表目錄

表 1.1	各種新興的網路技術。	3
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 網路特性比較。	5
表 1.4	UMTS 品質分類及與各項特性。	9
表 1.5	UMTS QOS 與 DIFFSERV QOS 間之服務對應。	10
表 2.1	各種 PHB 的服務範例。	19
表 3.1	分層之路徑定義。	32
表 3.2	BBQ 管理系統層級分工。	39
表 4.1	資源保留方案。	47
表 4.2	各式資源保留方案比較。	49
表 4.3	計價方案符號定義表。	50
表 4.4	LPPA 之輸入及輸出參數。	59
表 4.5	LONG PATH 路由表。	60
表 5.1	實驗數值範圍表。	91
表 5.2	實驗目標表。	92

第一章 簡介 (Introduction)

簡介 (Introduction)

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，包括語音、多媒體、資料等各類服務[1-4]。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。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。

本研究著重於以預算分配之方式，將預算分配至下層網路元件之上，並預先規劃具端對端服務品質保證之路徑，搭配即時資源分配的方式，以達到提供端對端服務品質的目的。

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的取代銅線網路，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的服務。

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
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—全 IP 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

	PSTN/IN	Internet	Converged Network
Intelligent CPE	否	是	是
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 封包網路上承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 之技術承載，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 網路為長，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，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，易因網路阻塞等問題，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

比較項目	Circuit-Switching	Packet-Switching
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 注重傳送延遲時間和傳送延遲抖動(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，可能以不同之方式來提供服務品質。

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 Networks)

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 All-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 All-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 All-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，All-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)

3GPP 在 1999 年初所開始制訂的 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) [6]系統上有提出完整的 QoS 階層式架構，其中包含對即時性訊務的服務考量。UMTS 在不同的網路上有不同的方式支援 QoS，主要分成 Radio Network、Radio Network – Core Network interface 與 Core Network。

Radio Network 主要是以 W-CDMA 為標準，其服務範圍包含所有類型的訊務，以 Dedicated Channel 與 Shared Channel 來滿足不同服務所需求的服務品質，並以 Soft Handover 與針對即時訊務所做的 Optimized Handover 來彌補在 handover 時品質上可能造成的損失。每個資料流有個別的 PDP (packet data protocol) contexts，配合 GTP (GPRS Tunnel Protocol)建立從 Radio Network 起至 Core Network 有 QoS 功能的 tunnel，以 ATM 為基礎來傳送資料，IP 層也可配合使用 DiffServ。

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：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、1.5 表示各類別的特性與品質需求。

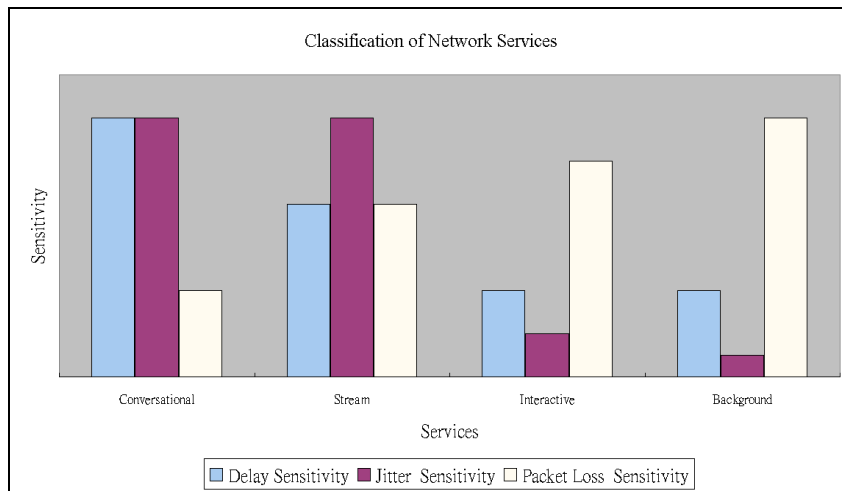


圖 1.1 各 UMTS 服務類別對三大品質指標之容忍度。

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)

為了在 IP 網路上提供具品質保證的服務，IP community 中的 IETF (Internet Engineering Task Force) [7] 制定了 IntServ (integrated service)[8] 與 DiffServ (differentiated service) (Ref.) 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 Integrated Service

IntServ 使用 RSVP (Resource Reservation Protocol) 針對各個訊務建立一保留頻寬的虛擬通道 (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，每個資料流都可以監控管理，並且可以運用現有的路由協定 (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 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。

DiffServ 中依服務需求型態不同定義了幾種基本的 behaviors 為標準:

1. Expedited Forwarding (EF)[9]: 係最高等級的服務，必須提供足夠的資源以降低任何網路壅塞時可能的延遲，可用來支援 VoIP, VoD 等對延遲時間極度敏感的服務。
2. Assured Forwarding (AF)[10]: 本服務等級提供較 EF 為寬鬆的 QoS 保證，亦即 QoS 較為不穩定，系統並不必提供十足的資源以獲得絕對的 QoS 保證。AF 依據所服務的 flow 之 drop precedence 決定哪些 flow 之封包優先被捨棄，並不採用 priority 的方式讓某些 flow 優先獲得服務。
3. Best Effort (BE)[11]: BE 並不刻意保留資源，因此幾乎不提供任何 QoS 保證，可用以支援沒有時效性需求之服務（例如：email 或 ftp）或是來自沒有 DiffServ 網域之訊務。

DiffServ domain 裡的 core router 依據服務等級採取不同的遞送方式，對於每個訊務之 End-to-End 品質卻不提供保證。

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 研究動機及目的 (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，在全 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。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。

因此，本論文提出一套端對端資源規劃及實際可行的解決方案，以提供具端對端品質保證的各種網路服務予使用者。並且，除了提供端對端品質保證予使用者之外，

更以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營運者最大利益為設計目標。

1.7 解決方案 (Solution Approach)

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。

本論文將在 BBQ 的架構中，於 End-to-End Network QoS Coordination 層架構兩個元件 LPPA 和 Global ACA。先依訊務流集合需求的歷史資料預測未來可能的訊務流集合需求，再以預算分配及預先資源規劃的方式，提供以預算為基礎之端對端服務品質保證。

LPPA 負責依照訊務流集合需求預測建立最佳化模型，以網路營運者之最大經營利益為最佳化之目標，以線性規劃之方式求得最佳之 Long Path 路徑規劃，並且建立 long term soft 資源保留。Global ACA 則是於 real time 之環境當中，依 LPPA 預先規劃之 Long Path，依即時訊務流需求建立 real time hard 資源保留，以其得到較高的網路使用效率。

1.8 論文組織結構

在本論文中，一共有六個章節。第一章簡介網路技術演進、整合性網路、和相關

的問題描述；第二章簡介和評論各種提供服務品質保證的網路架構；第三章為本研究團隊所提出的 BBQ 之設計理念和服務品質管理架構；第四章則是本論文之研究重點，於 BBQ 架構當中提出端對端服務品質保證的解決方案中將以模擬方法來評估本研究提出架構的效能，最後是本文結論和未來展望。

第二章 相關研究 (Related Work)

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 (QoS Management Architecture)

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 的訊息至接受端，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 [9-11]。

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。

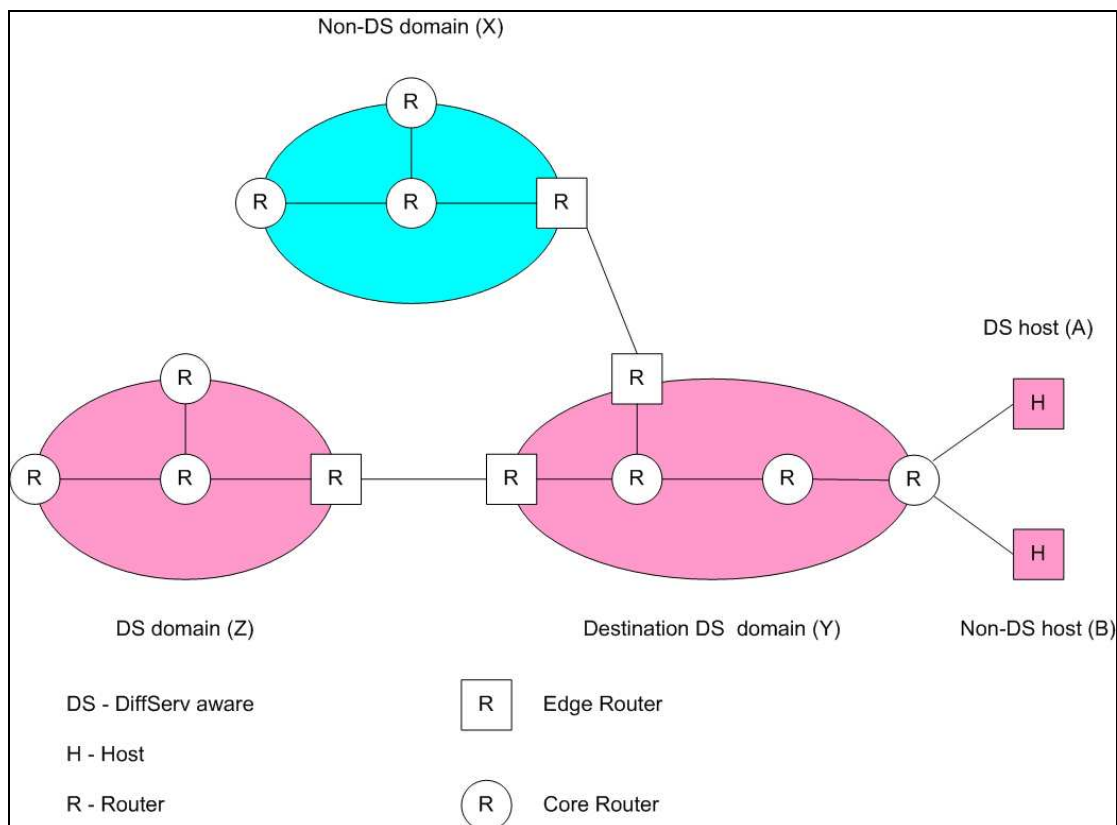


圖 2.1 DiffServ Domain & Non-DiffServ Domain.

DiffServ 架構的設計主要有兩個功能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) 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)：

- Best Effort – 支援沒有特別需求與還沒有 DiffServ (backward compatibility)的網路訊務。
- 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，必須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 Trunk

核心網路中的鏈結通常為高頻寬的光纖，與 flow 之頻寬需求相差很大。舉例而言，一個高速的鏈結(如 10Gb/s)，就可能包含一百萬個 voice call。如果每個 router 均需要管理每個 flow，那麼由於 router 之管理成本會非常高。所以，於高速的骨幹網路當中，無可避免的需要採用 flow-aggregation 之管理方式來降低 router 之負擔。

Trunk[12]為一個 flow 集中管理機制，trunk 為一個包含許多 flow 之管理單位，以起點、終點分類。利用 trunk 管理的網路，router 只需管理 trunk，而非一個個的 flow。所以，當一個 flow 要求進入網域時，只需將此 flow 歸類至已保留資源之 trunk；若無已保留資源之 trunk 時，則保留網路資源以建立一個 trunk 至此 Egress，爾後所需至此 Egress 的 flow 都利用此 trunk 傳送，不需建立個別的連線。

但是使用 trunk 也有其缺點，如圖所示，使用 trunk 會造成 blocking rate 提高及資源使用效率過低。舉例而言，一個容量可容納 m 個 flows 之 trunk，當要求進入的 flow 只有一個時，其餘 $m-1$ 個 flow 的資源都是浪費的。另外，一個鏈結之資源被 k 個 trunk

保留時，此時新進的 flow 也會被 block。此時，就算其他相同鏈結之 trunk 有多餘的資源時，trunk 之間也無法彼此資源流用，所以資源使用效率較差。

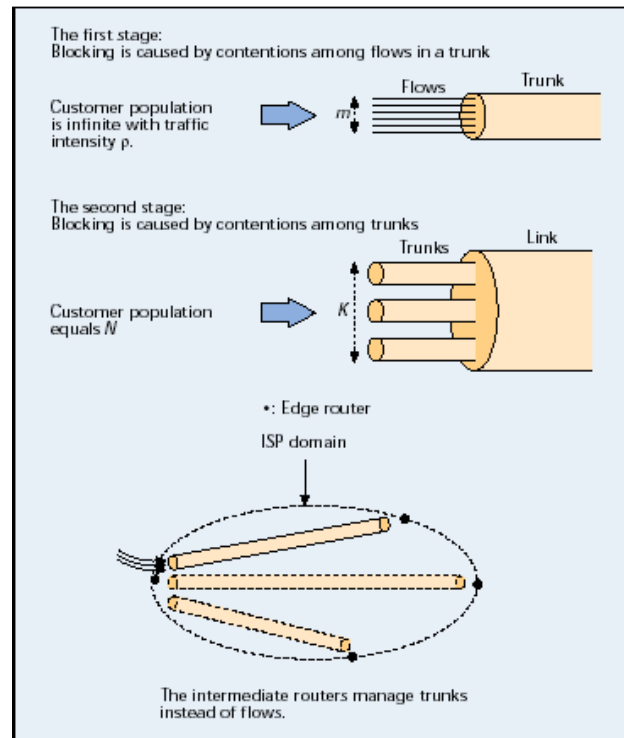


圖 2.2 Trunk two-stage blocking model.

2.1.4 TEQUILA

TEQUILA (The Traffic Engineering for Quality of Service in the Internet at Large Scale)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」[13]，就是 TEQUILA 計畫中的 QoS 管理架構。

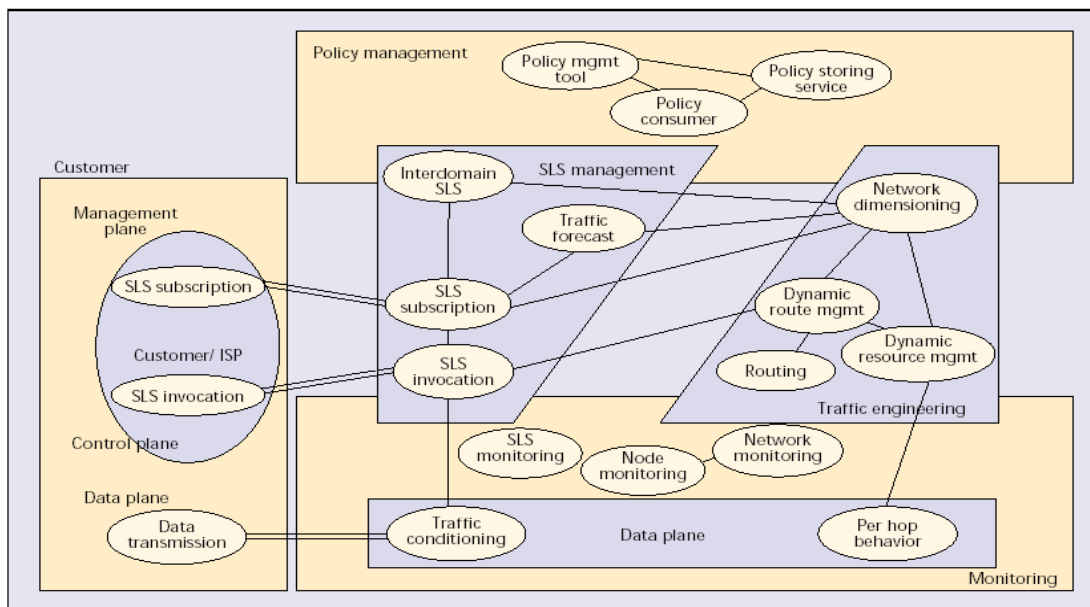


圖 2.3 TEQUILA 架構。

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。

一個端對端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」[14]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」[15]中則說明關於允入控制等相關的議題。

2.1.5 分散式管理架構 (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「Efficient Resource Management for End-to-End QoS Guarantees in DiffServ Networks」[16]管理架構。

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。

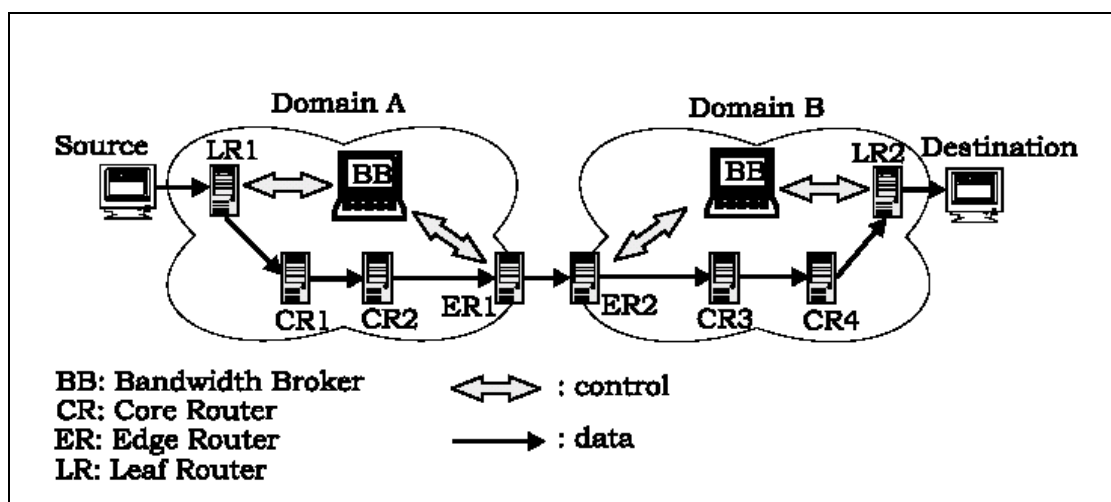


圖 2.4 分散式管理架構。

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 Ingress 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，在路徑規畫與資源分配上，多半是以事先規畫的方式，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 以集中式的方法配置資源，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。

鑑於提供端對端品質管理所面臨的問題，本論文之研究目標在於提出一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。

若是將 aggregate 方法改成 per-flow 進行管理，勢必造成大量管理的負擔，如 IntServ 使用 per flow RSVP 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。

而 DiffServ 雖然以 aggregate 的方式減低管理的複雜度，但是這種 per-class 的服務

品質保證，卻沒有辦法對於單一個訊務提供絕對的 End-to-End 服務品質保證。

本論文觀察以上幾種架構的優缺點後，提出一套 BBQ 管理架構，希望可以彌補其缺點並達到 End-to-End per flow 服務品質保證。本論文將著重於 BBQ 架構中，端對端服務品質保證的規劃及管理。BBQ 架構將融合 IntServ 和 DiffServ 的優缺點，採用 aggregation by source、destination、class 的方式，簡化管理項目，並且透過分層的服務品質保證已提供可行的 per flow QoS。最後，將提出合適的端對端資源保留方案，提供端對端之網路資源保留，以提高網路資源使用效率。

第三章 以預算為基礎之服務品質保證 (Budget-Based QoS)

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，也無法提供端對端服務品質保證，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 端對端服務品質保證的架構與工具。

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 提供一個高適用性的管理架構和相關的管理工具，可適用於不同的下層網路

架構和不同營運目標的網管政策。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[17-19]，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；路徑定義和承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的方式是影響資源管理效率及實用性的一大重點，本研究將先分析介紹，並且於不同的管理層中採用相異的方案；最後分析介紹 BBQ 的管理系統架構。

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。

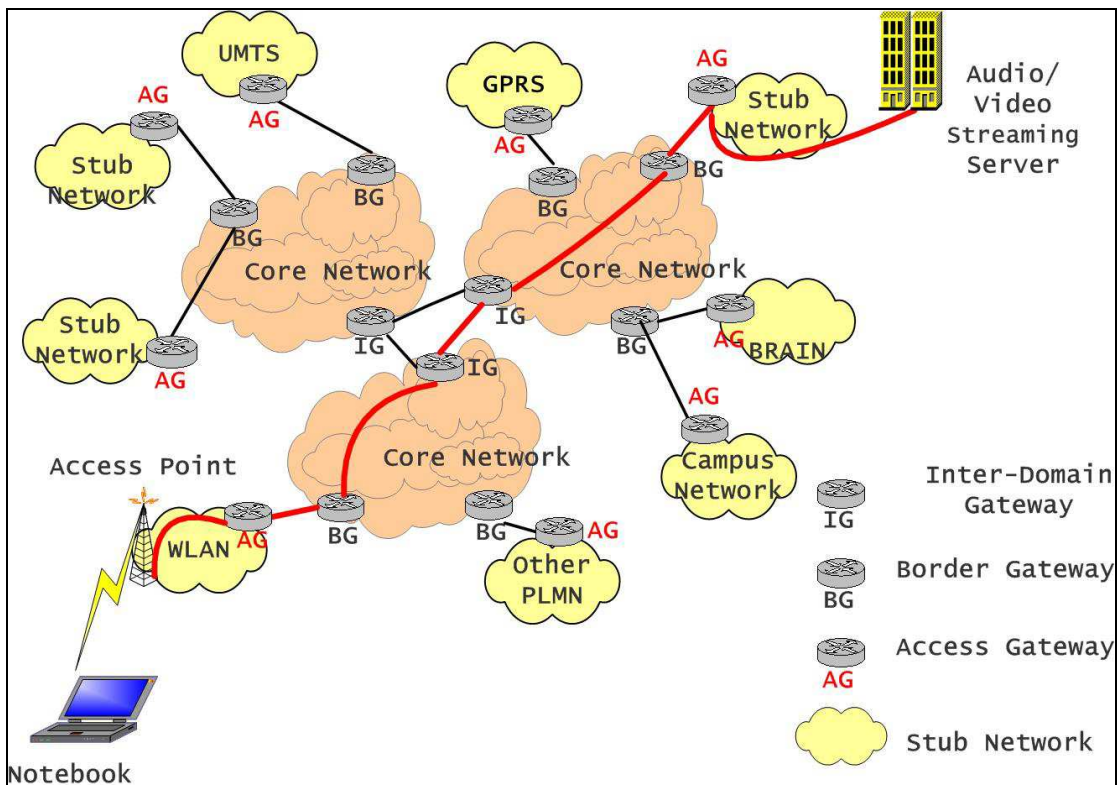


圖 3.1 簡化的全 IP 網路架構。

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	路徑能力
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，如下圖 3.2：

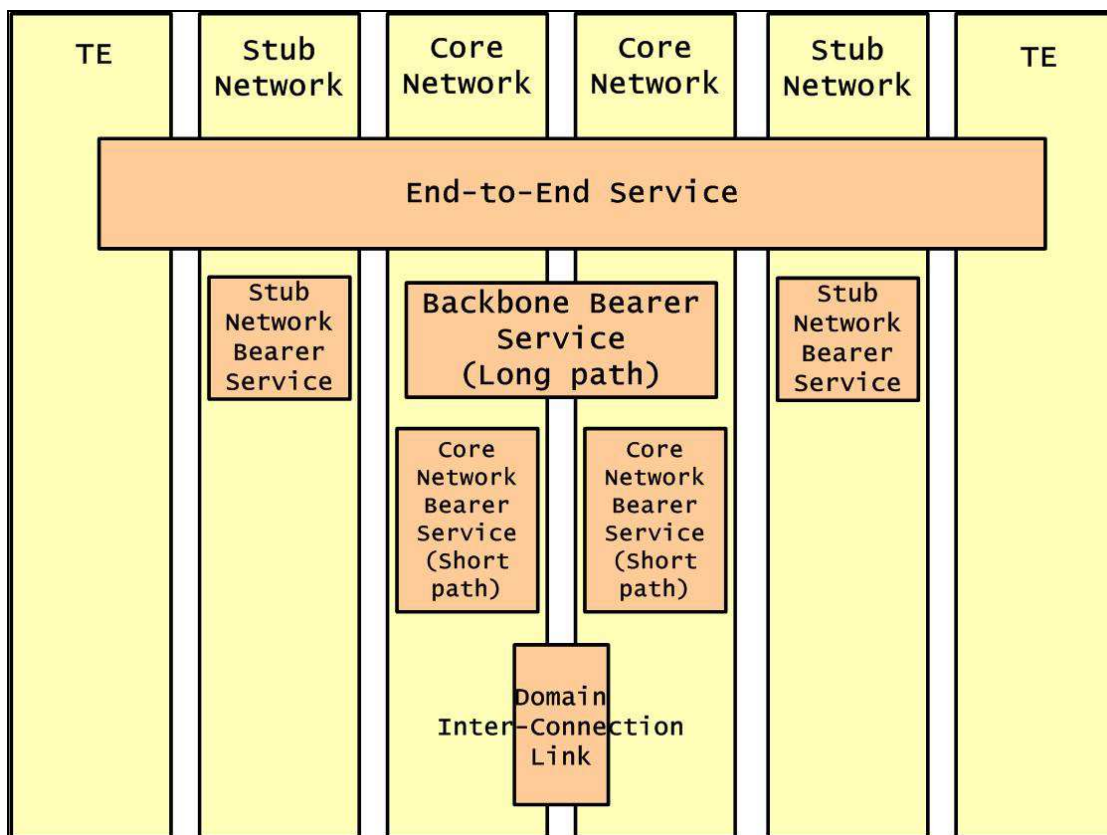


圖 3.2 端對端承載服務。

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。如下圖 3.3：

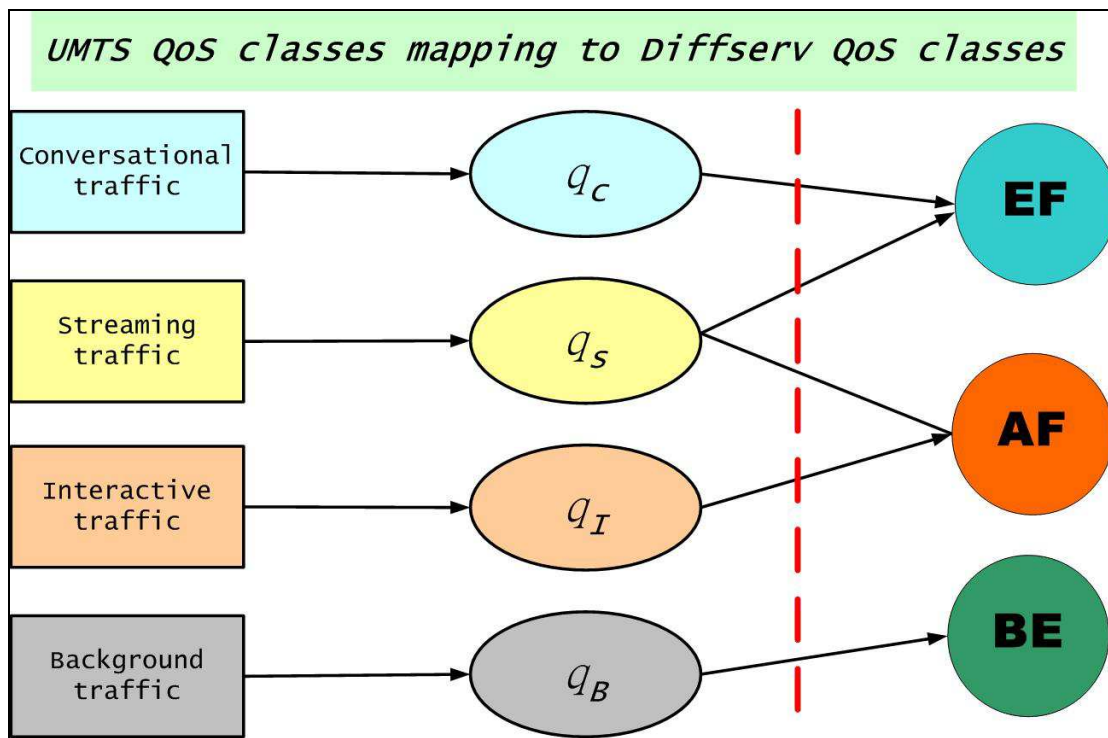


圖 3.3 服務品質熵數與品質參數對應。

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。在尋找路徑之時，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，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統計資料，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 (Traffic Forecast)

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段，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)

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，未來可進一步考慮將不同等級之資源統一規劃。

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	端對端服務品質控制，包括資源和路徑規劃
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, 如下圖 3.4:

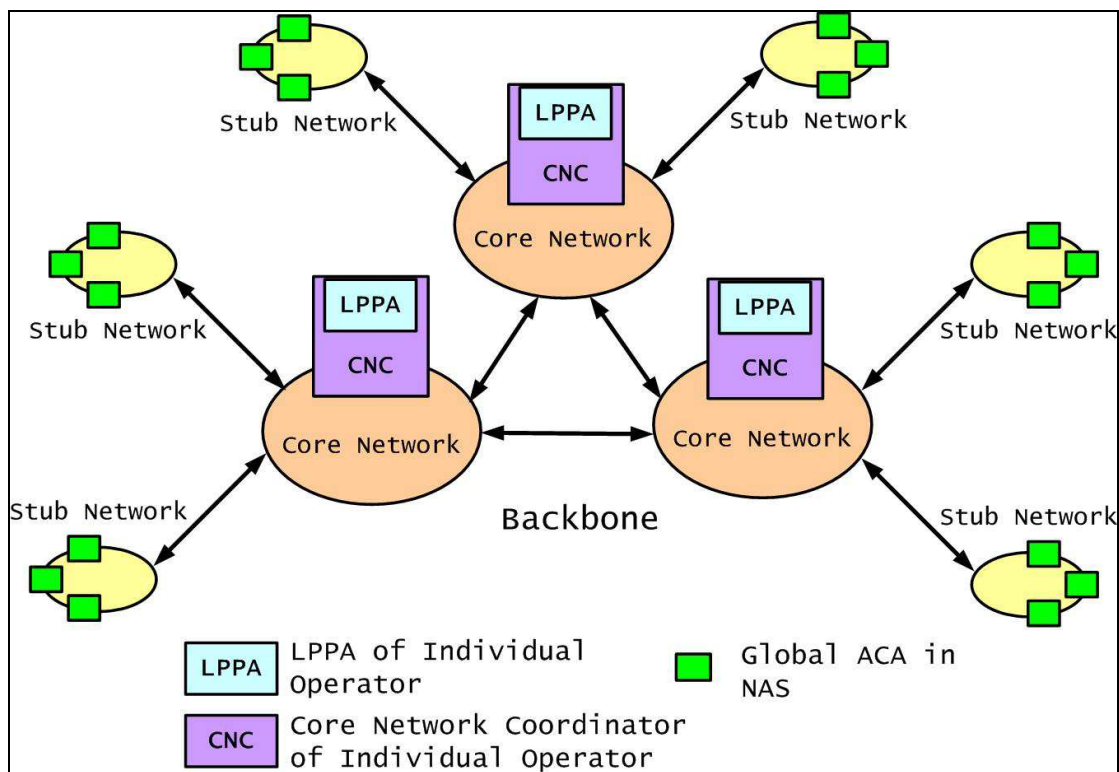


圖 3.4 BBQ 管理系統軟體元件架構。

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)

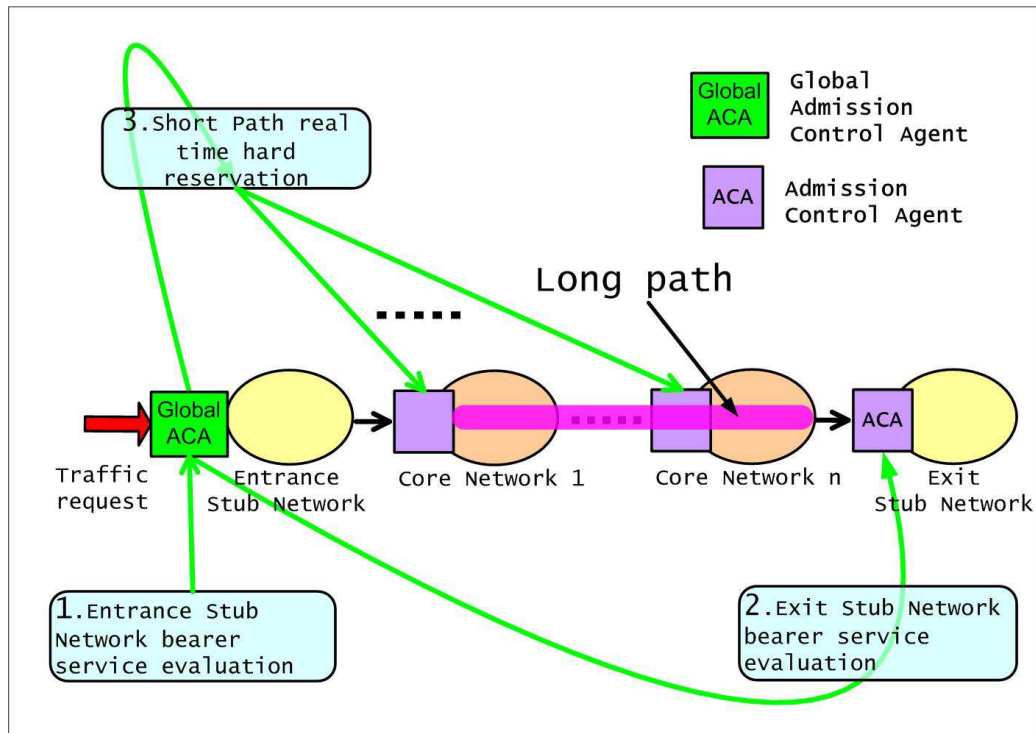


圖 3.5 簡化的端對端服務品質建立流程。

上圖 3.5 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 (Stub Network) 中的 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。

第四章 以預算為基礎之端對端服務品質保證 (End-to-End QoS for BBQ)

以預算為基礎之端對端服務品質保證 (End-to-End QoS for BBQ)

為了提供 End-to-End 服務，網路必須提供 End-to-End 服務品質保證。實際的網路中，一個封包可能必須穿越數個不同營運者的網路，並非單純在同一網路當中。所以，我們將一個封包所經過的路程，稱為一個 End-to-End path。End-to-End paths 依照所承載的服務等級不同，所以需要不同等級的服務品質保證。因此，本研究目的為規劃滿足封包服務品質需求的 End-to-End path，並於傳遞封包時保留所需之資源，以提供 End-to-End 服務品質保證。

本章節將提出一個於 End-to-End Network QoS Coordination Layer 做 End-to-End path 規劃之架構，本架構為一具高度適用性的管理模型，負責規劃如何使用 Core-Network Resource Management Layer 所提供之 Short Path。所以，上層的使用者應用程式需求和下層之 Core-Network Resource Management Layer 管理技術將是可替換。也就是說，本研究不限定下層元件如何規劃 Short Path，提供一個具適用性之管理模型。

4.1 資源保留/分配 (Resource Reservation/Allocation)

在大規模之網路當中，為數眾多的資源需要不同的資源保留方式。保留的方式可因時間範圍、保留等級和保留數量呈多樣的變化。從資源開始保留至資源開始使用的時間差，即是保留時間範圍。保留等級暫時大略分為 hard 和 soft。以 soft 方式所保留的資源，可在沒有協商之情況下，將資源使用權撤回。另一方面，以 hard 方式所保留的資源則不可在沒有協商之情況下將資源的使用權撤回。為降低複雜度，暫不考慮更細的保留等級。保留數量則為要求保留的數量，可分為批購 (batch order) 和依訊務流需求 (per flow)。批購為一次要求保留較多的資源，而依訊務流需求則是每次只求保留一個訊務流所需要之資源。

本章節將提出適合 End-to-End QoS 使用之資源保留方案，本研究將以此資源保留方案來發展。

4.1.1 保留時間範圍 (Reservation Time Frame)

保留時間範圍可依時間長短大約分成三類，long term、short term 和 real time，如下圖 4.1：

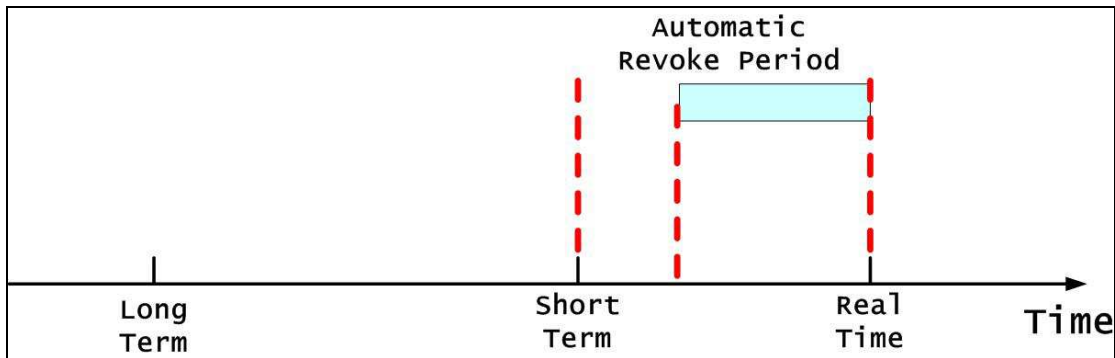


圖 4.1 保留時間範圍。

時間數列上以 real time 為中心，BBQ 管理架構採用的時間範圍如下：

1. Long Term：long term 為較長的時間範圍。long term 好處為提早要求資源，網路營運者可提早網路建設及資源調度；缺點為難以掌握資源的需求量。
2. Short Term：short term 之時間長度由網路營運者自行定義。short term 與 long term 相較起來，好處是資源需求預測可更精確，避免資源浪費的程度。但與 real time 相較起來，仍難免資源預測不準確，造成資源浪費。
3. Real Time：real time 為訊務流要求進入網路的時間點。Real time 資源保留好處是沒有資源預測準確性的問題，但是，卻提高資源調度及網路建設的困難度。
4. Automatic revoke period：和航空公司的機位預定相同，所有的資源預訂都需要在此時間之前和網路營運者確認。之前確認的話，將保證可得到完整的資源，如果超過這個時間還沒有確認，那網路營運者將會把資源重新分配給其他人。

4.1.2 保留等級 (Reservation Certainty)

本論文將資源保留等級間單分為 Hard 資源保留和 Soft 資源保留。Hard 資源保留

為資源使用權不可在沒有協商的情況下被撤回的保留方式。舉例來說，本地網路營運者以 hard 資源保留向遠端網路預訂資源，遠端網路一定要將資源完全保留本地營運者；換句話說，只要資源使用量不超過所預訂的量，本地營運者絕對可取得資源之使用權。

Hard 資源保留的好處為可取得 100% 資源使用權，資源使用權不可在沒有協商的情況下被撤回，預訂資源者可以直接使用該資源，不需要再確認是否擁有資源使用權。但是，hard 資源保留缺點為缺乏彈性。如下圖 4.2，當未使用頻寬時，預訂的資源一樣會被保留下來，無法提供給其他顧客使用，造成資源浪費、網路使用效率降低。所以，如果能縮短 hard 資源保留的時間，勢必能避免資源浪費的程度。

本研究提出 Soft 資源保留之概念，以期提高資源使用效率。舉例來說，由本地網路營運者以 soft 資源保留向遠端網路預訂資源，但是該資源不是完全保留給本地營運者。如下圖 4.2，以 soft 方式所保留的資源，可在沒有協商之情況下，將資源使用權撤回，分配給其他顧客使用。所以，當需要使用資源時，仍需以 hard 資源保留確認是否擁有資源使用權。

因為 soft 資源保留的機制下，在 real time 之前，有一段時間稱為 automatic revoke period，如圖 4.2，automatic revoke period 之前的時間，所保留之資源將獲得無條件保留，但在 automatic revoke period 之內時，資源提供者可不經協商取消所保留之資源。需確實保流資源之使用者，可於適當時間改用 Hard 資源保留。Automatic revoke period 的時間長度可由網路營運者自行定義。

Soft 資源保留可讓資源提供者提早知道可能的資源需求量為何，並且提早將此資源需求量納入網路管理及建設規劃當中。而且，利用 soft 資源保留所賣出之資源，在 automatic revoke period 之內沒有絕對保證。但是，soft 資源保留需負擔額外成本來確

認是否擁有資源使用權。

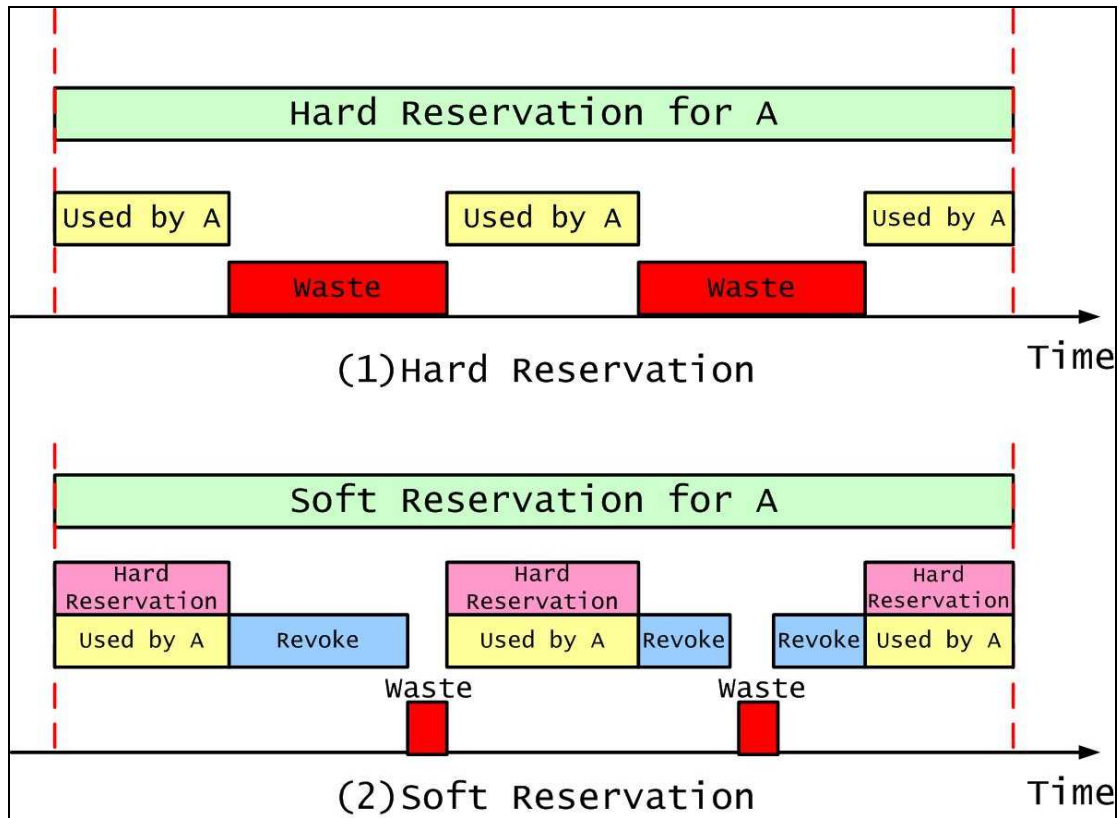


圖 4.2 保留等級。

4.1.3 資源保留方案 (Resource Reservation Scheme)

由於網路訊務需求量不穩定，難以預測。所以 long term 資源保留可能導致較低的資源使用效率。Short term 資源保留則是能夠增加訊務需求預測的精確度，但是卻會增加資源調度的困難度，這種情況在大規模之網路當中尤其明顯。舉例來說，一條洲際的海底電纜必須要花上好幾年才能建構完成，並非隨時可取得。在本研究當中，將在各式的情況下，採用不同的漸進式資源保留。漸進式資源保留在不同的時間範圍內

混和利用 soft 和 hard 這兩類資源保留，以達較好的資源使用效率。例如，網路營運者可利用 long term 的需求預測，向國際頻寬要求三年的 soft 資源保留；每個月再利用更精確的需求預測，hard 資源保留。當然，為了避免濫用資源，導致降低資源使用效率，將需要一個設計精良的計價方案。

不同的保留時間範圍和保留等級，將形成不同的資源保留方式。利用不同的資源保留方式，以處理長期網路營運為前提，可搭配成五種資源保留方案，如下表 4.1：

表 4.1 資源保留方案。

資源保留方案 (Resource Reservation Scheme)	保留時間範圍 (Reservation Time Frame)		
	Long Term	Short Term	Real Time
Simple Long Term Reservation	Hard (Batch Order)		
Simple Short Term Reservation		Hard (Batch Order)	
Real-time Batch Reservation			Hard (Batch Order)
Real-time Reservation (RSVP)			Hard (Per Flow)
Progressive Reservation	Soft (Batch Order)	Hard (Batch Order)	
Proposed Approach for End-to-End	Soft (Batch Order)	Soft (Batch Order)	Hard (Per Flow)

1. Simple long term reservation：採用 long term hard reservation，由雙方簽訂長期契約，一次批購大量頻寬。由於網路訊務需求量不穩定，難以精確預測。通常要保

留足夠頻寬以應付大量需求，所以 long term hard 資源保留可能導致較低的資源使用效率。此資源保留方案為現在網路營運者普遍採用之方法。

2. Simple short term reservation：採用 short term hard 資源保留，由雙方簽訂短期契約，一次批購大量頻寬。此資源保留方案能增加訊務需求預測的精確度，但卻會增加資源調度及網路建設的困難度。
3. Real-time batch reservation：採用 real-time hard 資源保留，一次批購大量頻寬。此資源保留方案比上述兩方案更能掌握精確的資源需求量，可減少資源浪費，但仍難免浪費。並且，因為是即時提出需求，資源調度及網路建設更困難。
4. Real-time reservation：採用 real-time hard 資源保留，依訊務流需求量，即時保留所需資源。此資源保留方案更加精確，完全不造成資源浪費。但是，資源調度及網路建設卻更困難。
5. Progressive reservation：先做 long term soft 資源保留，於 short term 再做 hard 資源保留，直接批購所預測的資源需求量。此資源保留方案改進了 simple short term 資源保留的缺點，利用 long term soft 資源保留使資源提供者納入事前建設。因為採用事前批購的方式，所以仍無法避免預測不準所造成的資源浪費。
6. Proposed Approach for End-to-End：先做 long term soft 資源保留，預訂大概的資源需求。如果訊務發生巨大變動時再做 short term soft 資源保留，預訂更精確的資源需求。real-time hard 資源保留則依訊務流需求量，即時的一一確認是否可取得資源使用權。此資源保留方案讓資源提供者可事前建設，且於 short term 時可重新預訂資源，real time hard 資源才實際保留所需資源，不造成資源浪費。同時，透過三階段的資源保留，可讓資源使用者提出更精確的資源預訂量，提高資源使用效率。但此方案類似於 Real-time reservation 方案，需負擔額外成本來確認是否擁

有資源使用權（real-time hard reservation）。

綜合以上分析，可利用事前建設困難度（Construction difficulty）、資源調度困難度（Reallocation difficulty）、資源使用效率（Efficiency）以及額外成本（Overhead）等四項指標分析以上六種資源保留方案，如表 4.2 所示。

表 4.2 各式資源保留方案比較。

資源保留方案 (Resource Reservation Scheme)	事前建設 困難度	資源調度 困難度	資源使用 效率	額外成本
Simple Long Term Reservation	Low	High	Low	Low
Simple Short Term Reservation	High	High	Medium	Medium
Real-time Batch Reservation	High	High	High	High
Real-time Reservation(RSVP)	High	High	High	High
Progressive Reservation	Low	Medium	Medium	Medium
Proposed Approach for End-to-End	Low	Low	High	High

本研究中之端對端服務品質保證所採用的資源保留機制，將採用端對端保留方案。

4.1.4 端對端資源保留之計價方案 (Charging Scheme)

端對端保留方案將資源保留分三階段提出，為避免資源浪費造成保留不公或保留資源不足造成即時資源失衡等情況發生。所以，需要一個設計精良的計價方案來避免以上情況發生。計價方案之目標，希望所有提出資源保留的使用者均能依需求提出資源保留，而非以投機之方式保留過多或過少的資源。如此才可提高資源使用效率。

4.1.4.1 符號定義 (Notation Definition)

本節所使用之符號如表 4.3 所示。

表 4.3 計價方案符號定義表。

符號	定義
B_1	Long term soft 資源保留之頻寬
B_2	Short term soft 資源保留之頻寬
B_3	Real time 資源保留之頻寬
C_1	Long term soft 資源保留之頻寬單價
C_2	Short term soft 資源保留之頻寬單價
C_3	Real time 資源保留之頻寬單價
$f_2 ()$	計算 C_2 之 piecewise 函數
$f_3 ()$	計算 C_3 之 piecewise 函數

4.1.4.2 累進計價 (Progressive Charging)

如果使用者能提早告知所需之頻寬需求量，那網路營運者將可有效率調配資源。所以，本計價方案採用累進計價的方式，愈早預訂資源收費較低廉，愈晚預訂資源則收費較昂貴。

1. Long term soft 資源保留之頻寬單價

C_1 為一個常數值，不因 B_1 大小改變。

2. Short term soft 資源保留之頻寬單價

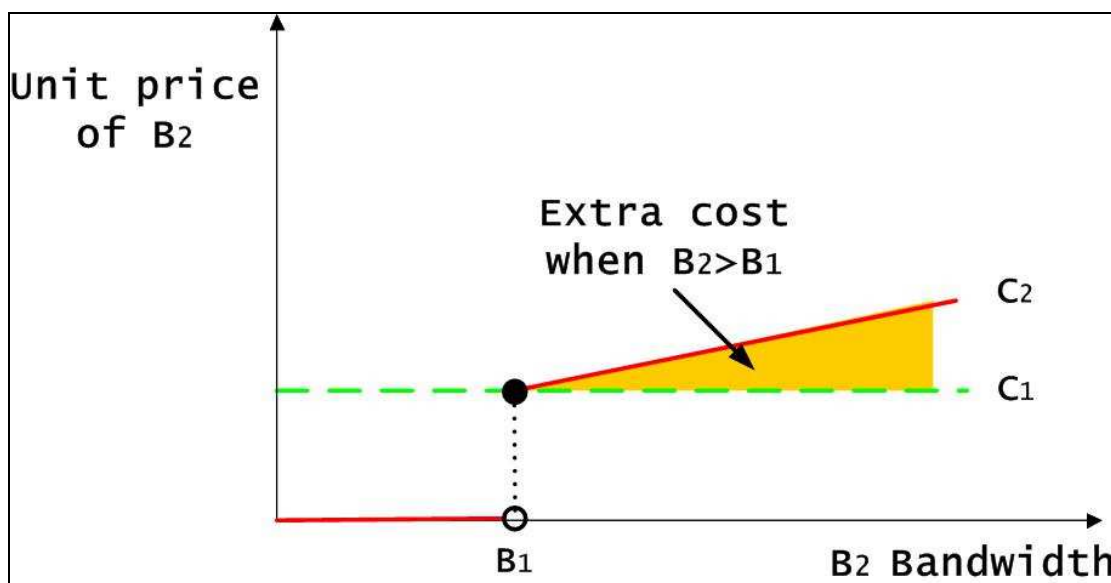


圖 4.3 Short term soft 資源保留頻寬單價。

C_2 大小受 B_1 、 B_2 關係影響， $f_2 = C_2(B_1, B_2)$ ，如圖 4.3 所示。

$$f_2(B_1, B_2) = \begin{cases} 0, & \text{if } B_1 \geq B_2 \\ m_2(B_2 - B_1), & \text{otherwise} \end{cases}$$

3. Real time 資源保留之頻寬單價

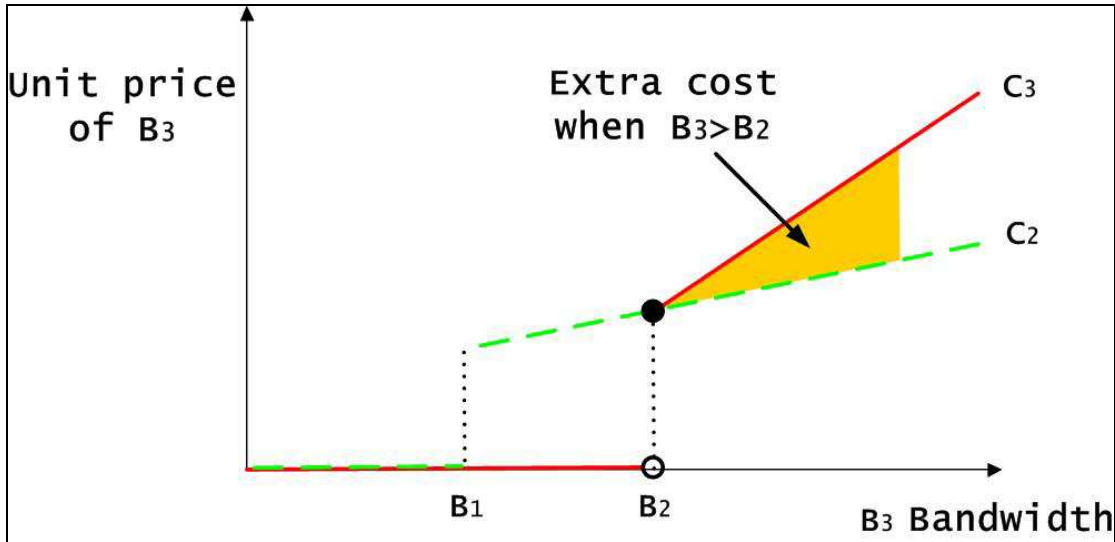


圖 4.4 Real time 資源保留頻寬單價。

C_3 大小受 B_2 、 B_3 關係影響， $C_3 = f_3(B_2, B_3)$ ，如圖 4.4 所示。

$$f_3(B_2, B_3) = \begin{cases} 0, & \text{if } B_2 \geq B_3 \\ m_3(B_3 - B_2), & \text{otherwise} \end{cases}$$

Note: $m_3 > m_2 > 0$

4. 總成本 (Total Cost)

$$\begin{aligned} TotalCost &= B_1 \cdot C_1 + (B_2 - B_1) \cdot C_2 + (B_3 - B_2) \cdot C_3 \\ &= B_1 \cdot C_1 + (B_2 - B_1) \cdot f_2(B_1, B_2) + (B_3 - B_2) \cdot f_3(B_2, B_3) \end{aligned}$$

計價方案的頻寬單價將隨著保留時間範圍的變化而愈來愈高，所以將可避免資源浪費或保留資源不足。資源提供者可以愈來愈高的售價，促使資源使用者提早提出需

求，以提早規劃資源建設和分配。而資源使用者受限於此計價方案，也會儘早提出資源需求。

4.2 訊務流集合需求預測 (Traffic Aggregate Demand Forecast)

訊務流以一個一個的方式進入 All-IP network，如果要詳細規劃每一個訊務流，將會造成龐大的計算問題，此法只能適用於小型網路。因此，我們將擁有相同起點、相同終點和相似品質需求之交通流量聚集成單一的訊務流集合 (Traffic aggregate)。如此一來，將會大量減少所需要規劃之負擔。

現在有其他研究採用 Trunk 的方式，亦是利用聚集訊務流的方式，以減少規劃之負擔。但與 Trunk 不同的是，本研究僅規劃此訊務流集合，而不預先保留資源。Trunk 則採預先保留資源法，如此將造成資源浪費，網路效率降低。

因此，訊務流將會依照 (s (Source, 起點), d (Destination, 終點), b (Bandwidth requirement, 頻寬需求), q (Quality entropy budget, 服務品質熵數預算)) 分類成訊務流集合。換句話說，訊務流集合依照不同服務等級需求分類，因為相同的服務等級需求將會對應至同一組服務品質熵數，所以也就會有相同的服務品質熵數預算。頻寬需求將利用歷史資料 (reference time period historical patterns) 來預測 (forecast)。所以，如果使用者的使用情況有其重複性，可利用此預測之資料來做預先規劃。

舉例而言，一天當中根據使用者的行為不同，對於頻寬的需求也就不同，例如在清晨時段頻寬的需求量小，在上班時間頻寬的需求量大。可以觀察出頻寬的需求在不同時段所顯現出來的差距較為明顯，相較於累積一天的頻寬使用量，再對不同天的累積量做比較，以時段的方式區方較具有代表的意義。利用這些在時間上有相關性的 Concerned Time Period 作為每次系統規劃的時間週期。(e.g. the same hour in week days)

所以，規劃路徑時，除了考慮訊務流集合有限之服務品質熵數預算外，還需要考慮各個訊務流集合之頻寬需求 (bandwidth requirement)，並將流量平衡分配 (Load balancing)。所以，骨幹網路之 border gateway 必須統計通過該點之訊務流集合歷史資料，以供預測未來某一個 concerned time period 之使用者需求。

4.3 服務品質熵數預算分配 (Quality Entropy Budget Allocation)

假設服務品質熵數具有加成性 (additive)，End-to-End service 則可將其服務品質熵數預算分配到所經之網路元件 (ex. Core Networks)。由於每個 End-to-End service 均會跨越進入/結束之 Stub Network，這些網路元件可負擔之服務品質熵數較無選擇餘地，不必納入規則之範圍。所以，我們採用兩個階段分配服務品質熵數預算，分別為網路營運者定義和預先 Long Path 規劃。

第一階段，採用網路營運者定義之方式，由路營運者依據 Stub Networks 的承載能力，定義出第一階段之服務品質熵數預算分配，如圖 4.5 所示。

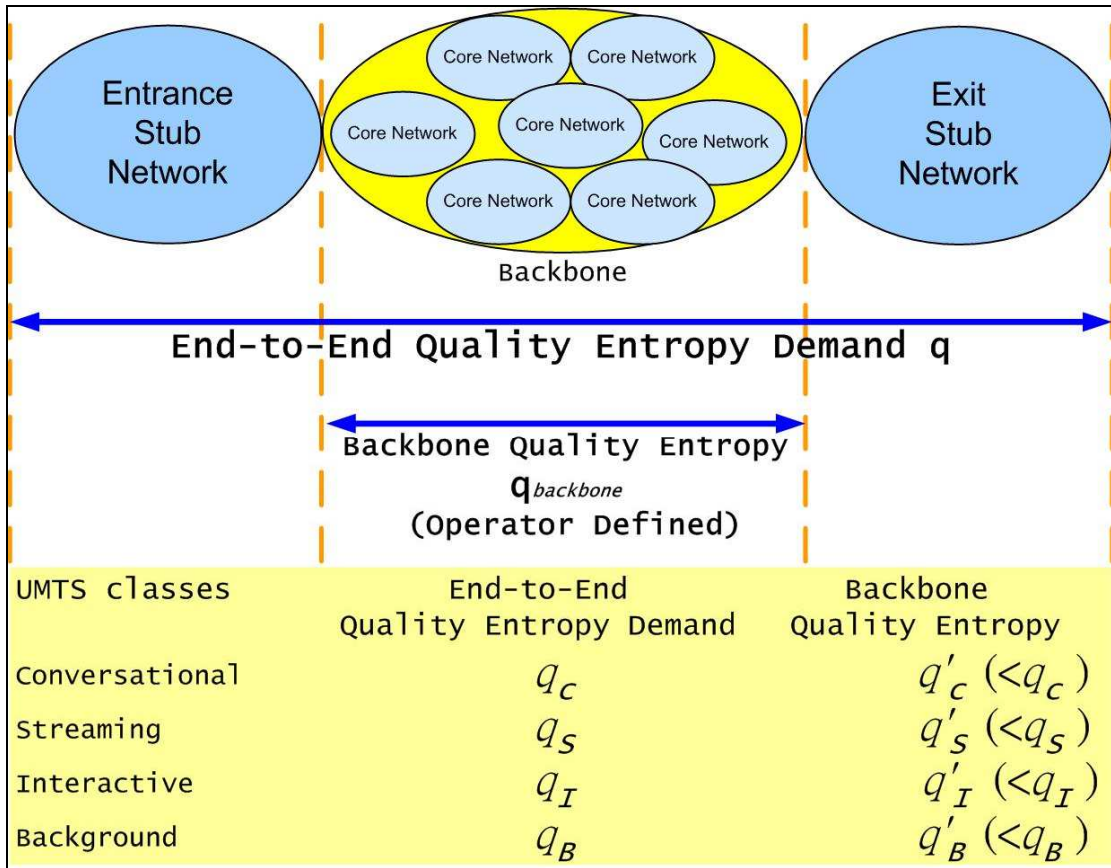


圖 4.5 第一階段之服務品質熵數預算分配。

舉例而言，Conversational class 透過 class mapping 的方式得到一個服務品質熵數預算 q_c 。由 operator 第一階段之服務品質熵數預算分配，對於 Conversation class，Backbone 需要負擔 q'_c 之服務品質熵數預算。

第二階段，採用預先 Long Path 規劃之方式。將由骨幹網路負擔之服務品質熵數預算 $q_{Backbone}$ ，依照各個核心網路之服務能力，分配到端對端路徑所需經過之核心網路上。且由該核心網路負責提供該服務品質熵數預算之保證。

實際上，可能有不只有一種的不同路由方式可以通過骨幹網路。所以，第二階段將利用預先規劃的方式，選擇最有利之路由滿足各個訊務流集合之需求。這些預先規

劃之路徑稱為 Long Path。

4.4 Long Path 規劃 (Long Path Planning)

骨幹網路由不同的電信公司之核心網路互相連接而成。所以，長途之端對端服務將由各個電信公司之核心網路共同提供服務。但是，骨幹網路的組成卻是相當繁雜；除了核心網路屬於不同之網路營運者之外，核心網路所能提供的服務品質保證、頻寬等均不相同，所能搭配出之路徑組合非常多。如果，隨意啟用一組路徑，必定無法提供網路營運者有效率之資源使用；所以，必須提供一個管理方式來規劃有效率之路徑 [21]。

為了簡化全 IP 網路之規劃複雜度，本論文提出 Long Path 之概念。如果能將複雜的骨幹網路，簡化為一條條預先規劃好、具有服務品質保證的 Long Path，負責提供服務品質熵數預算 $q_{Backbone}$ 之內的保證。那麼，電信公司就不必煩惱端對端路徑及服務品質保證，只需要知道封包之目的地和該封包之服務品質需求，就可以利用預先規劃之 Long Path，搭配本地 Stub Network 及目的地 Stub Network 所對應具服務品質保證之承載服務，即可提供一條具有服務品質保證端對端路徑負責傳遞封包。圖 4.6 為端對端路徑示意圖：

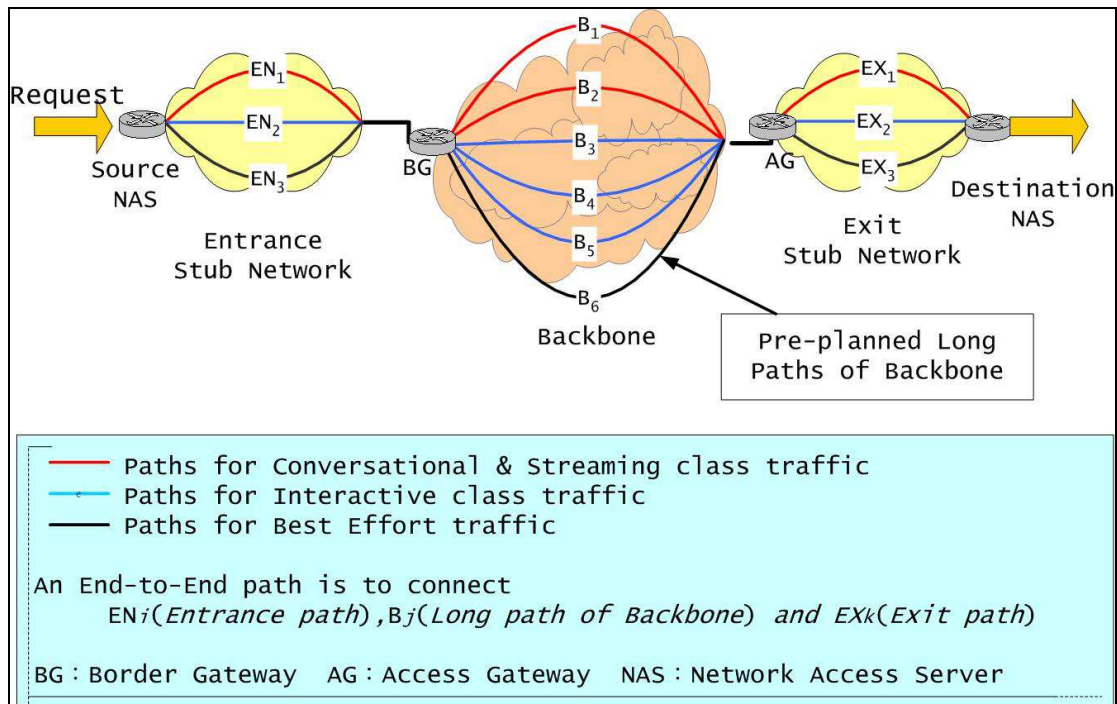


圖 4.6 端對端路徑示意圖。

圖 4.6 中，通過骨幹網路的路徑為 Long Path，Long Path 由核心網路規劃之 Short Paths 所組成。而兩端則為通過 Stub Network 之具服務品質保證的承載服務。因此，一條具有服務品質保證之端對端路徑將由 $EN_i + B_j + EX_k$ 組成。

規劃出 Long Path 後，為了提供服務品質上的保證，仍需要處理資源保留的問題，這是個需要克服的兩難問題。傳統上，有兩種資源保留法，一是 real time per flow hard reservation，依照 per flow 需求即時保留資源，但此方法需要龐大的額外訊息負擔，對於具時效性服務產生重大傷害。另一種則是 short term batch hard reservation，於規劃時間週期前批購資源，但此方法需要保留所有 source 到所有 destination 所需的資源，浪費太多資源。本研究將採用預先規劃資源的方式，但不實際保留資源，以避免資源浪費。於訊務產生時，再以 real time 方式保留 Long Path 資源。實務上，一條 Long Path 只包含數條 Short Path，因此 real time 保留 Long Path 所需之訊息負擔很少，不會耗費

太多時間。Short Path 內部 link 的資源保留則由核心網路自行負責。

所以，本研究定義一個軟體元件，LPPA(Long Path Planning Agent)，負責規劃 Long Path，以預先規劃 (Off-line Planning) 之方式，利用以預算為基礎之管理，將服務品質熵數預算分布到各個核心網路上，LPPA 的位置及權限將於下節中說明。為了避免即興式 (ad hoc) 繞徑造成低效率的網路資源運用，本研究將以網路營運者利益為最佳化之目標，利用訊務需求預測為規劃依據，將訊務流分配至可行之路徑上。這些最佳規劃得到的路徑即為 Long Path。

4.5 端對端服務品質保證規劃元件，LPPA (End-to-End QoS Component, LPPA)

LPPA 為一工作於 End-to-End Network QoS Coordination layer 之元件。LPPA 服務的對象為此核心網路內之接取網路，目的是為這些接取網路規劃 Long Path，以達成骨幹網路內之服務品質保證。LPPA 的規劃對象為接取網路上來之訊務流，因為本研究採用預先規劃，所以將這些訊務流之需求預測規劃。下表為 LPPA 之輸入及輸出之參數：

表 4.4 LPPA 之輸入及輸出參數。

Input	
<p>訊務流集合預測 (Traffic Aggregates Forecast)</p>	<p>LPPA 利用預先規劃之方式，利用 Reference Time Period 之歷史資料，預測 Concerned Time Period 訊務流集合需求預測。每一筆訊務流集合需求預測有下列資訊(<i>Source, Destination, Bandwidth Demand, Quality Entropy Budget</i>)。</p> <p><i>Source</i> 和 <i>Destination</i> 表示訊務流集合起點和終點，代表不同之 Border Gateway。<i>Bandwidth Demand</i> 表示此訊務流集合頻寬需求預測值。<i>Quality Entropy Budget</i> 表示此訊務流集合之服務品質熵數預算。</p> <p>LPPA 所計算出來之 Long Path 必須滿足起點、終點、服務品質熵數預算等三項要求，此為必要條件。訊務流集合頻寬需求預測之滿足則是 LPPA 之最佳化目標。若無足夠資源時，其目標則為極大化營運者設定之衡量指數。</p>
<p>可利用之 Short Path (Available Short Paths)</p>	<p>可供 LPPA 規劃之 Short Paths。每一條 Short Path 將有下列資訊(<i>Source, Destination, Available Bandwidth, Guaranteed Quality Entropy</i>)。</p> <p><i>Source</i> 和 <i>Destination</i> 表示訊務流集合起點和終點，代表不同之 Border Gateway。<i>Available Bandwidth</i> 表示此 Short Path 所能提供之頻寬。<i>Guaranteed Quality Entropy</i> 表示此 Short Path 所能保證之服務品質熵數。</p> <p>對於 LPPA 而言，可供 LPPA 規劃之 Short Paths 為可利用之資源。LPPA 利用這些資源來規劃 Long Path。換句話說，LPPA 使用這些 Short Paths 來組成 Long Path，以滿足訊務流集合之頻寬需求。</p>

Output	
預先規劃之 Long Path	參看表 4.5。
Planned Long Path	

表 4.5 Long Path 路由表。

(CN: Core Network, SP: Short Path)

Long Path table for Border Gateway 1			
Destination	Service classes		
	Class 1	Class 2	
Border Gateway 2	1. (CN1, SP3)→(CN5, SP2) 2. (CN1, SP7)→(CN3, SP1)→(CN5, SP3) 3. ...	1. (CN1, SP2)→(CN4, SP5)→(CN5, SP2) 2. (CN1, SP2)→(CN4, SP5)→(CN5, SP2)	...
Border Gateway 3	1. (CN1, SP1)(CN2, SP6) 2. ...	1. (CN1, SP9)(CN2, SP7)	...
...

以上的 Long Path Table 為一個以 border gateway 1 為 source border gateway 的 Long Path Table。以訊務流 (1,2,B,Q) 為例，如果 Q 屬於服務等級一 (Class 1) 之訊務流，

則此訊務流將先通過核心網路一當中的第三條 Short Path；接著，再通過核心網路五當中的第二條 Short Path。所以，訊務流（1,2,B,Q）將以此繞徑方式通過骨幹網路。對於某一個（source, destination），可能有不止一種的 Long Path，視最佳整體利益而有不同的變化。

由於 BBQ 管理架構採用階層式的分層管理，Long Path 規劃僅限於規劃採用那些 Short Path，而不干涉 Short Path 的內部路由方式。換言之，在規劃階段 Short Path 並未有預定之路徑，而且可能為 multiple path，其路由方式則由 Engress Router 決定。所以，Long Path 的路由方式並不像有固定的路徑 virtual circuit。

4.5.1 集中式與分散式規劃（Centralized vs. Distributed Plannings）

如何定位 LPPA 在全 IP 網路上的管理角度為 LPPA 議題之一。不同的管理角度將影響到各家電信公司的管理策略和 LPPA 的輸入、輸出參數及資源保留流程。本研究以是否擁有總體規劃之能力，作為 LPPA 分類之依據，如下圖 4.7：

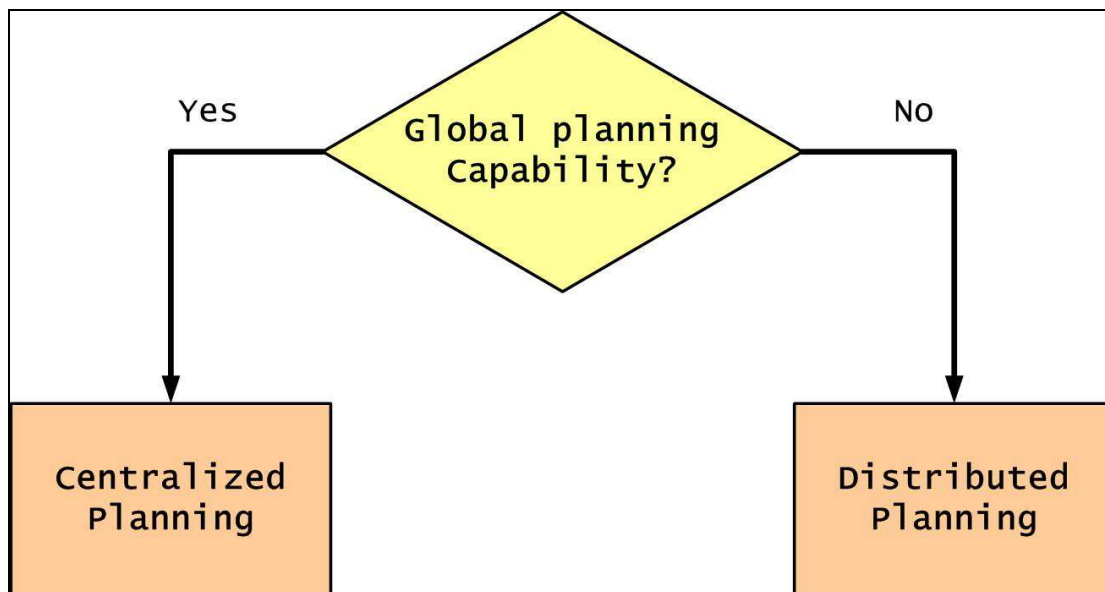


圖 4.7 LPPA 規劃能力分類。

LPPA 屬於規劃管理元件，依照是否能夠擁有整體規劃能力，可區分為集中式規劃（Centralized Planning）和分散式規劃（Distributed Planning）。所以採用集中式的總體規劃（Global Planning）和採用分散式的本地規劃（Local Planning）均為可行的方案。前者較難實現，因為整合各家電信公司的困難度太高；後者則無法提供較佳的網路使用效率。

欲得到較佳的資源使用效率，使用總體規劃是較佳選擇。因為，總體規劃由單一元件（LPPA）取得全部的資訊，所有提供服務的 Short Path 及訊務流集合需求預測。利用這些完整資訊做總體規劃，勢必可得到較好的資源使用效率。但是，問題在於總體規劃無法符合實際環境之需求；因為要整合全世界的網路營運者，是一件相當困難的工作。另外一種方案，本地規劃。本地規劃與總體規劃比較，勢必無法得到較佳之使用效率。不過，卻可以讓每一個本地規劃管理者設計自己的目標和策略，這樣的方式較具有彈性。當然，亦符合實際網路管理上之需求。本研究將提議以本地規劃 LPPA

作為解決方案。

4.5.2 整體規劃 LPPA (Global Planning LPPA)

總體規劃將所有的不同電信公司的核心網路整合，並且由一個跨電信公司的總體規劃 LPPA 統籌規劃。如圖 4.8 所示。

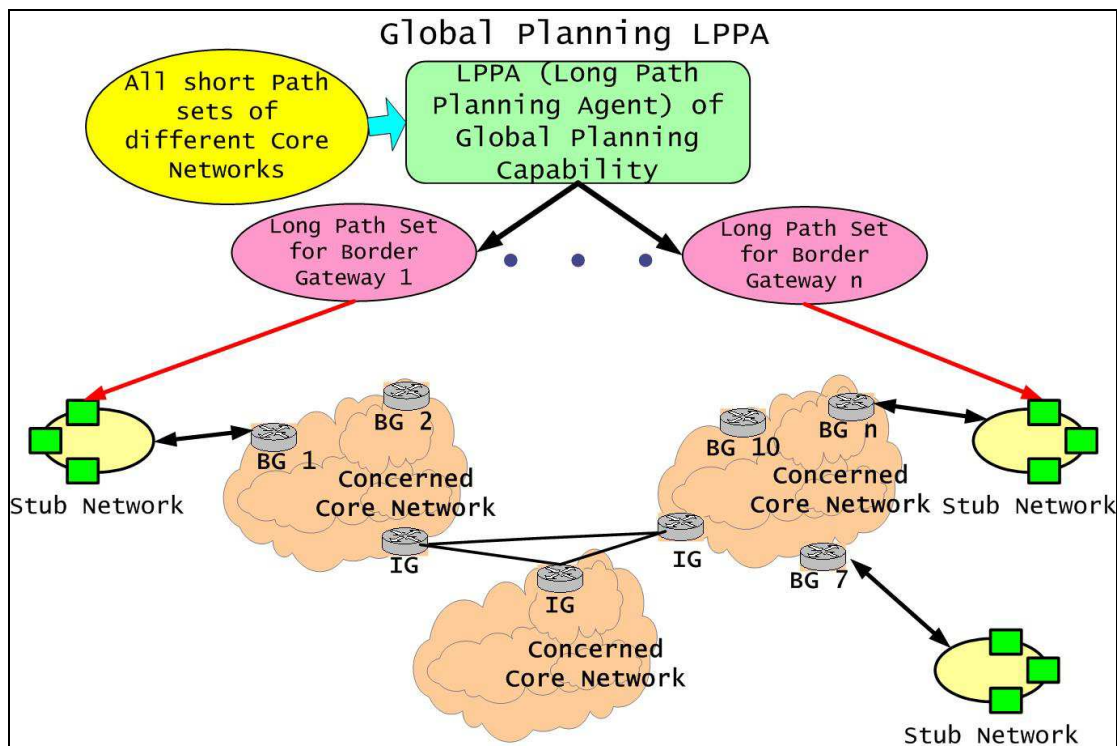


圖 4.8 總體規劃 LPPA。

中央規劃管理之 LPPA 必須要向各家電信公司收集兩大類的資訊，分別為訊務流集合需求預測及可利用之 Short Paths。LPPA 利用由各個網路營運者提供之 Short Paths 來滿足訊務流集合需求。各個網路營運者只需管理自己的核心網路，將核心網路之資

源規劃為 Short Paths；而 Long Path 之規劃，則交由總體規劃 LPPA 負責。

如此規劃的優點，是可得較佳的整體網路資源使用效率。但是，由於每一個核心網路都歸屬不相同的網路營運者，每個網路營運者均由自己的營運策略及利益目標。例如，有些電信公司以語音服務為主要收入來源，但有的電信公司卻已隨選視訊之客戶為主要服務對象；所以，每家電信公司的規劃策略可能均不相同。要整合所有的網路營運者之核心網路，並共同規劃，是一個較不可能實行的方式。本研究將不建議採用此方式作為解決方案。

4.5.3 本地規劃 LPPA (Local Planning LPPA)

本地規劃 LPPA 不將所有電信公司的核心網路放在一起規劃；而是每一個電信公司之核心網路均有自己的 LPPA，負責為來自其轄下之接取網路之訊務規劃 Long Path，如圖 4.9 所示。

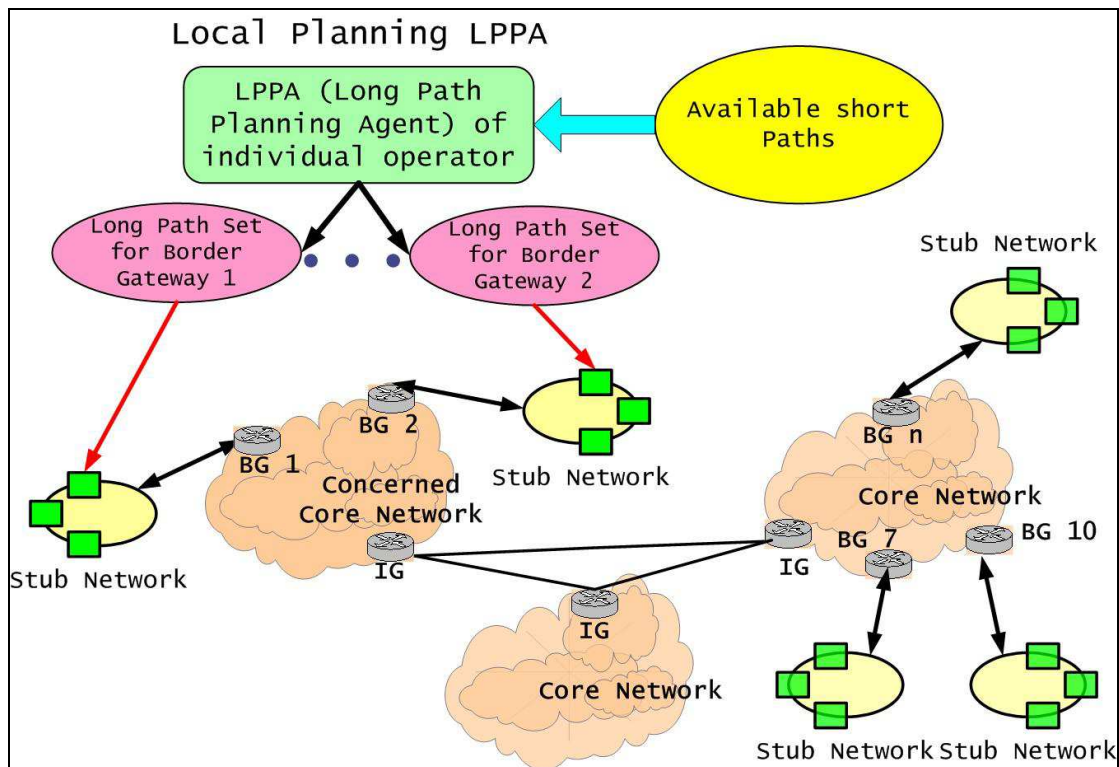


圖 4.9 本地規劃 LPPA。

本地規劃 LPPA 必須要收集兩大類的資訊，分別為本地電信公司之訊務流集合需求預測及可利用之 Short Paths。LPPA 利用這些 Short Paths 來滿足訊務流集合。在本地規劃的方案中，各家電信公司除了需要管理自己的核心網路，將資源規劃為 Short Paths 以外，尚需有一個本地規劃 LPPA 來負責規劃由本地接取網路發出之 Long Path 需求。各個接取網路互相合作，規劃出所需之 Long Path。

如此規劃較符合實際需求。因為，所有的電信公司均有自己公司之管理和運作方式，也有自己的營運策略和目標。要將所有的電信公司的資源整合起來，可說是相當困難。況且，要放置一個管理全球核心網路的 LPPA，也有實作上的困難。所以，利用區域規劃管理的方式，將會較符合實際環境需求。但是，區域規劃管理除了必須承擔整體網路使用效率較差的後果之外，仍然有一些問題尚待解決。

本研究所定義之 LPPA 有兩大類輸入：一類是訊務流集合需求預測，另一類是可利用之 Short Paths。本地規劃 LPPA 對於前項參數沒有影響，只是將所需考慮之交通流量，由全部電信公司交通量縮減為本地電信公司之交通流量即可。但是，對於後項參數的影響較大。因為，本地規劃 LPPA 無法直接利用每一個核心網路所提供之 Short Paths 來規劃 Long Paths。如同前面所提，各家電信公司均有屬於自己的 LPPA，因此必須對 Short Path 做某種頻寬保留以適度安排資源分配，否則會因各個 LPPA 各自為政，導致資源運用之衝突，不利於網路品質之維持。

所以，需要利用資源保留的方式保留屬於本地可利用之 Short Path。在第 4.1.3 節所列出的方案中有三種適用於本地規劃 LPPA 之定位與權限能力，如下：

- **Simple Long Term Reservation**
- **Progressive Reservation**
- **Proposed Approach for End-to-End**

一般來說，本地電信公司與遠端電信公司間需有長期的資源保留協議，如 SLA，根據本研究之觀察，全 IP 網路各核心網路之 SLA 將比傳統網路互連之 SLA 複雜許多。所以適用於端對端的資源保留方案一定要具備 long term 資源保留的特性，這才符合實際網路營運情況。以上三種資源保留方案都具備 long term 資源保留，所以都適合本地規劃 LPPA 使用。但是，由於 long term 資源保留的保留時間範圍太大，難以精確掌握所需保留的數量，「Simple Long Term Reservation」資源保留方案又採用 hard 保留，將使資源使用效率不彰，這是後面兩個方案所沒有的缺點。然而於 short term 資源保留的時間範圍內，並非隨時都需要相同的保留數量，「Progressive Reservation」資源保留方案，卻強制保留一些暫時不需要的資源，同樣也會導致資源使用效率較差。「Proposed Approach for End-to-End」資源保留方案則採用預先規劃資源保留、即時保留資源的方

式，能夠避免上述缺點。不過，此方案仍不可避免即時保留資源所必須承擔之額外成本。

由以上的優缺點分析，本研究採用第 4.1.3 節之「Proposed Approach for End-to-End」資源保留方案，向遠端電信公司預訂所需要之 Short Paths。在 long term 開始之前，以 long term 之需求預測向遠端電信公司提出 long term soft 資源保留，此時的需求預測較不精確，只能提出大概需求以供遠端電信公司進行網路建設和規劃。而在 short term 的 automatic revoke period 前，再利用更精確之需求預測做 short term soft 資源保留，此時較接近所需保留之時段，且 short term 保留時間範圍較小，所以需求預測將更精確。以上兩階段的 soft 資源保留具有資源可被撤回的特性，因此，當 real time 訊務流要求進入全 IP 網路時，再依據訊務流需求量要求 per flow 之 hard 資源保留。如此一來，資源將由需要資源者取得，而非由不需資源的人霸佔。

本地規劃 LPPA 為本研究所建議之方法，本地規劃 LPPA 的工作流程和最佳化模型於第 4.10 節及第 4.11 節介紹。

4.6 端對端服務品質保證規劃元件，Global ACA (End-to-End QoS Component, Global ACA)

Global ACAs 也是屬於 End-to-End Network QoS Coordination layer 之元件，此元件應放置在入口接取網路中之網路接取伺服器上，負責動態允入控制、端對端路徑管理和動態資源保留。由於網路上所有的資源於預先均沒有 hard 資源保留給特定訊務流集合使用。所以，global ACAs 除了以網路營運者決定是否允入之外；在允入之前，仍需要以 real-time 之 per flow hard 資源保留，確定是否可取得完整之 End-to-End path。如果可取得 End-to-End path 之資源時，則允入該訊務流；反之，則拒絕該訊務流進入全 IP 網路。Global ACA 之工作流程於第 4.10.3 節介紹。

4.7 端對端服務品質保證工作流程 (End-to-End QoS Procedure)

本論文採用端對端資源保留方案。所以，端對端服務品質保證流程分為三階段進行。前兩階段為 LPPA 的工作，屬規劃階段，分別為 long term soft 資源保留和 short term soft 資源保留，第三階段則為 global ACA 的工作，屬即時資源保留，為 real time hard 資源保留，參考圖 4.10。

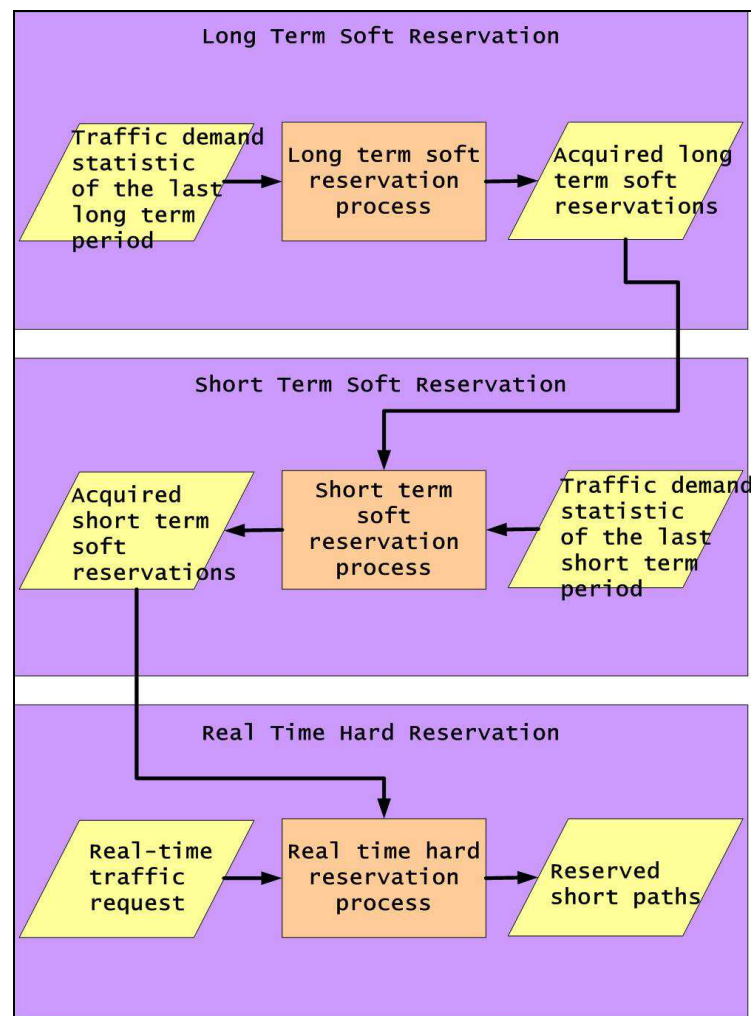


圖 4.10 端對端服務品質保證程序。

Long term soft 資源保留為 long term 開始前所做的 soft 資源保留，由每個電信公司之 LPPA 負責規劃。long term 保留時間範圍可由簽訂保留協議雙方共同訂定，常見者為一年或是半年（目前網路營運者相互簽訂之 SLA 即屬 long term 的保留時間）。本地電信公司先以需求預測計算所需保留之資源類型和數量，再向遠端電信公司要求 long term soft 資源保留，主要目的為建立雙方保留協議、預訂可能的資源需求及提供遠端電信公司提早網路建設。最後，透過雙方的協議取得獲得的 long term soft 資源保留。由於，此時預測的需求量為 long term 平均值或更大的值，是網路營運者之 policy 而定。因網路訊務需求量不穩定，所以，此 long term soft 資源保留勢必無法滿足所有的 short term 之實際需求。因此，由 short term soft 資源保留彌補預測不精確之不足。

Short term soft 資源保留則為訊務產生巨大波動時，於 automatic revoke period 前所做的 soft 資源保留，由每個電信公司之 LPPA 負責規劃。本地電信公司依據此 short term 之需求預測和獲得的 long term soft 資源保留，計算負擔此 short term 需求預測時所需要之資源，並於衡量是否符合成本效益後（4.1.4，累進計價方案），向遠端電信公司要求 short term soft 資源保留。最後，由遠端電信公司回報給予的 short term soft 資源保留。

Real time hard 資源保留為每個訊務流愈進入全 IP 網路時，所做的 hard 資源保留，由入口接取網路之網路接取伺服器上之 global ACAs 負責執行。一個 short term 時間範圍內會有許多的訊務流要求進入，每當一個訊務流要求進入時便需作一次 real time hard 資源保留。所以，real time hard 資源保留的次數取決於要求進入之訊務流數目。hard 資源保留有兩個用意，

- 一、 確認是否可取得資源，因為資源均為 soft 資源保留，資源不一定確實保留。

- 二、 取得資源使用權，因為資源均為 soft 資源保留，資源可在沒有協商下被撤回，資源一但被 hard 資源保留後，將不可再沒有協商下撤回。

4.7.1 Long Term Soft 資源保留 (Long Term Soft Reservation)

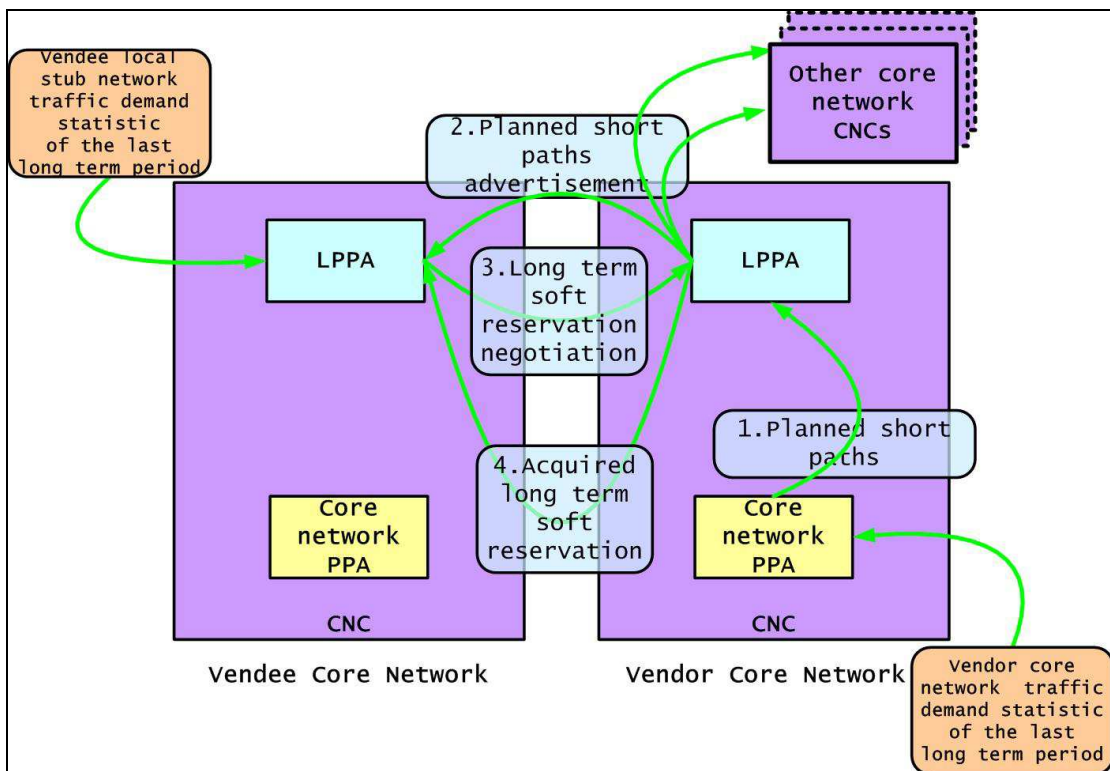


圖 4.11 Long Term Soft 資源保留元件互動圖。

此 long term soft 資源保留需在 long term 保留時間範圍內完成，有四個步驟：

1. 遠端電信公司以本地 long term 頻寬需求預測，由 Core Network PPA 規劃 Short Paths，以此 Short Paths 提供其他電信公司簽訂 long term soft 資源保留。
2. 遠端電信公司 LPPA 將規劃好之 Short Paths，通知所有電信公司 LPPA。
3. 本地電信公司 LPPA 以 long term 頻寬需求預測和其他遠端電信公司所規劃之

Short Paths，規劃最佳之 Long Paths（此時有不同電信公司所提供之 Short Paths，規劃目的重心為挑選合適之 Short Path）。由本地電信公司 LPPA 向遠端電信公司之 LPPA 針對最佳 Long Paths 所需之 Short Paths 進行 long term soft 資源保留協商（建立長期合作關係）。

4. 本地電信公司 LPPA 取得獲得之 long term soft 資源保留（協商結果）。

4.7.2 Short Term Soft 資源保留（Short Term Soft Reservation）

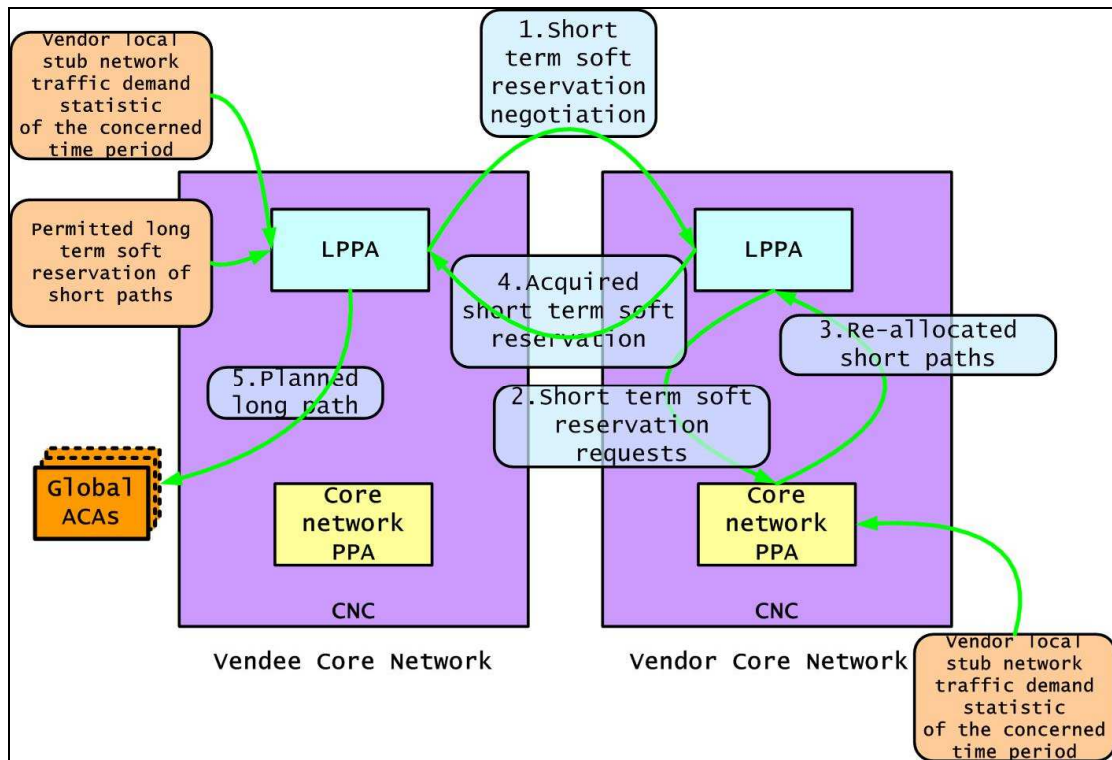


圖 4.12 Short Term Soft 資源保留元件互動圖。

此 short term soft 資源保留不會常常被啟動，只有訊務產生巨大波動，且需在 automatic revoke period 開始前完成，有五個步驟：

1. 本地電信公司 LPPA 以 long term soft 資源保留預測和 short term 需求預測，重新規劃最佳之 Long Paths (此時以 long term soft 資源保留之 Short Paths 規劃，規劃目的為計算所需之資源量)。由本地電信公司 LPPA 向遠端電信公司之 LPPA 針對所需之資源量進行 short term soft 資源保留協商。
2. 遠端電信公司 LPPA 將所有電信公司要求之 short term soft 資源保留整理回報給 Core Network PPA。
3. Core Network PPA 依據 short term soft 資源保留和本地 short term 需求預測重新分配資源，計算出適合此次 short term 之 Short Paths，並將結果回報給遠端電信公司 LPPA。
4. 遠端電信公司 LPPA 決定獲得之 short term soft 資源保留，並回報給本地電信公司 LPPA。

本地電信公司 LPPA 以獲得之 short term soft 資源保留重新規劃 Long Paths，並將規劃好之 Long Paths 通知本地之 global ACAs。

4.7.3 即時資源保留 (Real-time Hard Reservation)

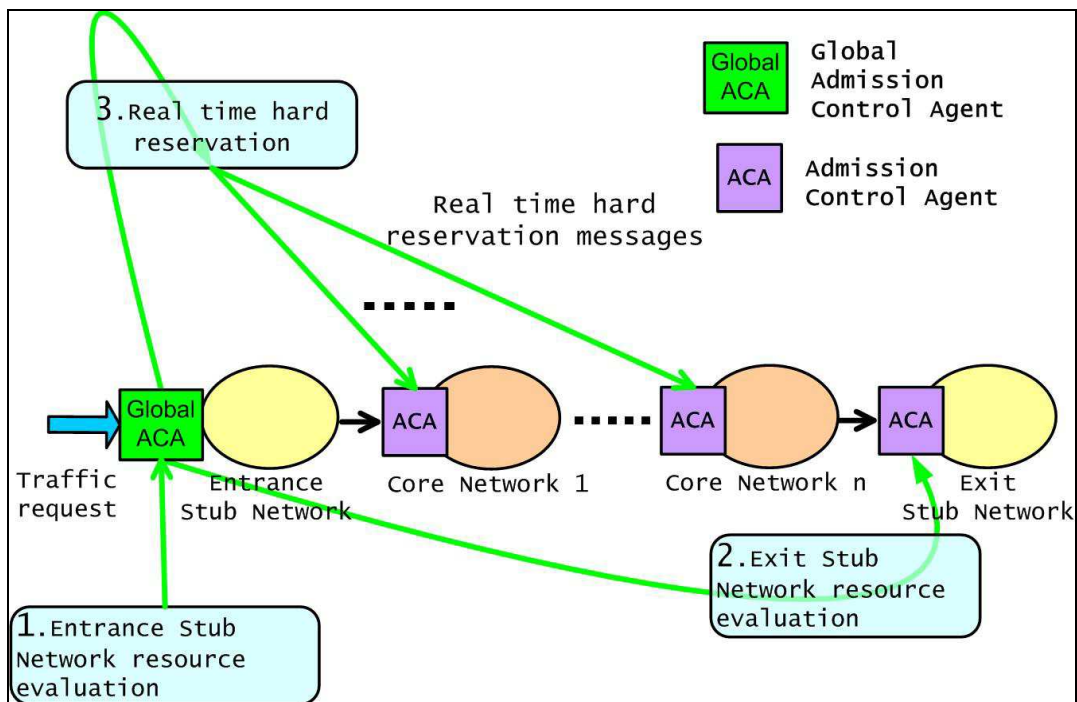


圖 4.13 Real time hard 資源保留元件互動圖。

此 real time hard 資源保留由訊務流要求進入全 IP 網路時觸發，有三個步驟：

1. Global ACA 取得入口接取網路中，能滿足該訊務流之承載服務。
2. Global ACA 取得出口接取網路中，能滿足該訊務流之承載服務。
3. 依據由本地電信公司 LPPA 所規劃出 Long Paths，分別向遠端電信公司要求 Short Paths real time hard 資源保留。

如圖 4.14 及圖 4.15 所示，分別為流程圖和虛擬碼。

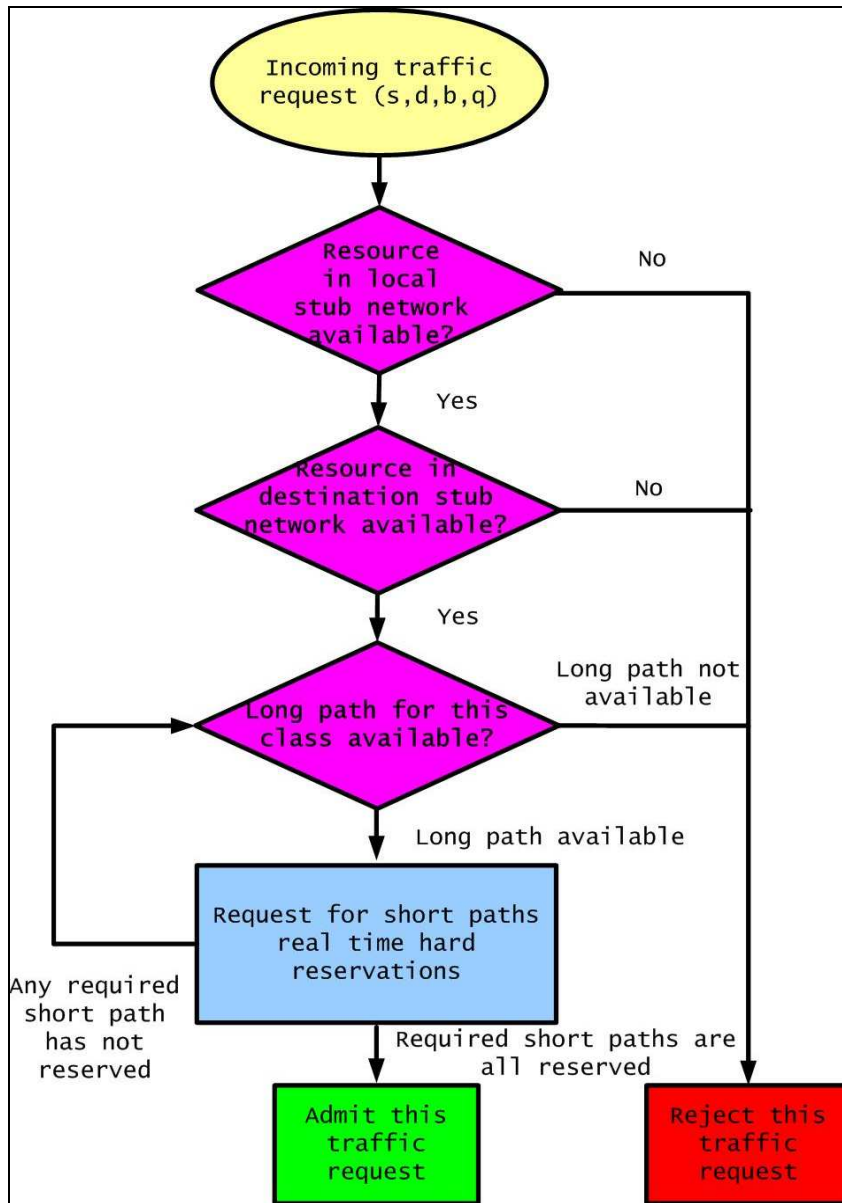


圖 4.14 Real time hard 資源保留流程圖。

```

Global ACA( traffic request (s,d,b,q) )
{
    if Entrance Stub Network bearer service for this class is available
    AND
    Exit Stub Network bearer service for this class is available
    then
        while
            do L ← Long path (Long Path Table, d )
                for each S ← Decompose to Short Paths(L)
                    if real time hard reservation (S, b)
                        then allReserved = true
                        else
                            allReserved = false
                            exit for
                        end if
                    end for
                if allReserved = true
                    then return ACCEPT
                end if
            end while
        else
            return REJECT
        end if
    }
}

```

圖 4.15 Real time hard 資源保留虛擬碼。

4.8 LPPA 最佳化模型 (LPPA Optimization Model)

本節當中，將先描述 LPPA 所需要規劃之資源和最佳化之目標，然後提出最佳化的模型，最後再以作業研究之線性規劃方式來尋找近似解。

4.8.1 問題描述 (Problem Statement)

LPPA 需負責做兩階段之 Long Path 規劃，依據規劃結果再分別做 long term soft 資源保留和 short term soft 資源保留。LPPA 之目的是規劃出通過骨幹網路的路徑(Long Paths)，Long Paths 由通過核心網路之 Short Paths 所組成，如圖 4.16 所示。

Long path 規劃除了要滿足封包繞徑的正確性以外，還需要滿足訊務流集合之服務品質需求。以圖 4.16 為例，從 source 到 destination 則有 24 條可行之路徑。但是，這 24 條可行之路徑，並非每一條均能滿足訊務流集合之服務品質熵數預算。所以，LPPA 規劃 Long Path 的首要目的為計算能夠滿足服務品質熵數預算之路徑，此為必要條件。

訊務流集合頻寬需求預測之滿足為 LPPA 之最佳化目標。若無足夠資源時，其目標則為極大化營運者設定之衡量指數。在以下的最佳化模型當中，採用 penalty 之最小化，依照營運者營運之重點，為每類服務設定未能滿足時之 penalty。LPPA 依照 penalty 之輕重，作為先後滿足之依據。另外，LPPA 亦需將訊務流集合之間的相互影響列入考慮。因為不同的訊務流集合可能皆需要相同之 Short Path，若該 Short Path 之頻寬不足以同時滿足時，則 LPPA 將負責判斷取捨，以營運者最佳利益為目標[20-21]。

成本控制也為 LPPA 之最佳化目標之一，由於 Short Path 為營運者向遠端電信公司所要求保留，如 4.1.4 所提之計價方案，每階段資源保留均有所需負擔之累進成本。營運者可以設定所負擔之成本，在該成本以內，LPPA 將試圖盡量容納較多的訊務流集合，並且盡量降低成本。若超過該成本時，LPPA 則把限制成本列為必要條件。

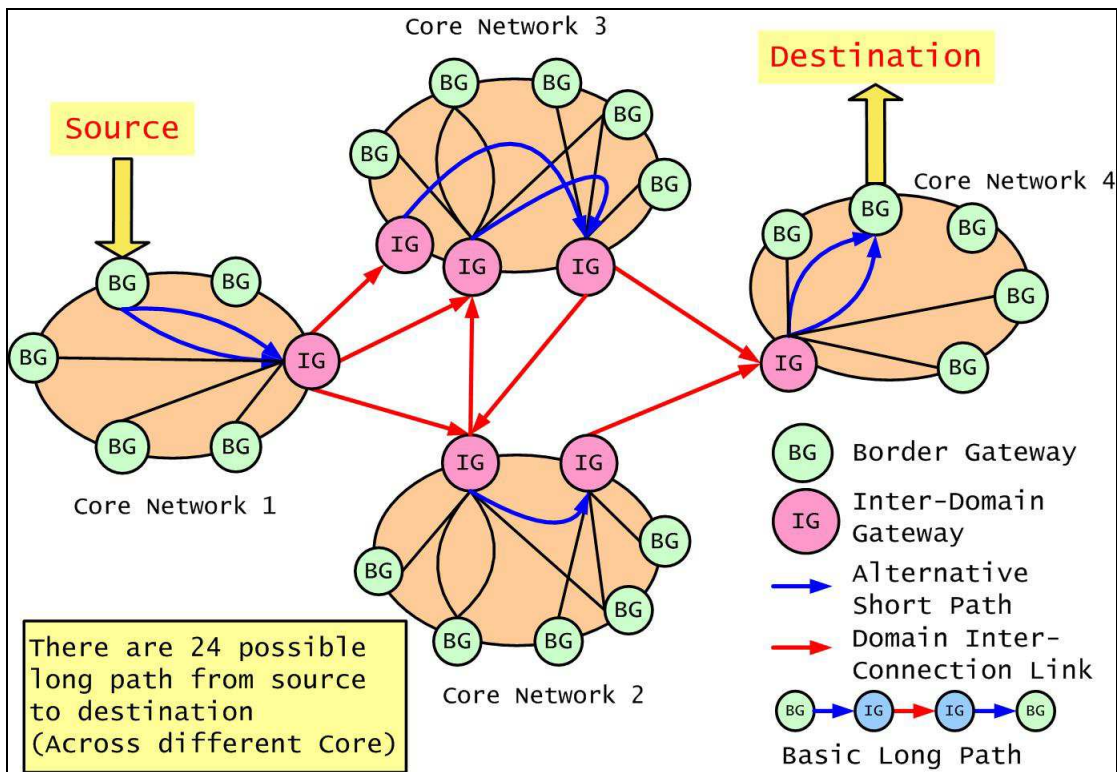


圖 4.16 骨幹網路示意圖。

4.8.2 最佳化模型 (Optimization Model)

由 4.8.1 節，可歸納出一個最佳化模型。以網路營運者之最大利益為最佳化目標，有限之資源、服務要求達成、營運成本和網路服務品質要求為限制式。

Minimize

Penalty made by unsatisfied traffic aggregate Forecasts

Total cost for long term soft reservations

Subject to

Fixed operating cost

Traffic aggregate quality entropy requirement must be satisfied

Allocate resource to traffic aggregates according to the penalty

4.8.3 非線性目標整數規劃 (Nonlinear Goal Mixed Integer Programming)

(1) Notation

Input data	
Notation	Description
N_{BG}	The number of BGs (border gateway)
$N_{NodePair}$	The number of node pairs. A Node pair contains two nodes that connect to each other with at least one Short Path.
N_{Class}	The number of classes. This number is defined by operator, and depends on how many kinds of services the operator provides. For example, if the operator only provides rough services according to UMTS service classes, this number equals to four.
L	A very large number, which must be greater than any other number in the solution space. Used for conditioning.
n_i	The number of Short Paths of the i_{th} node pair, $i = 1, 2, \dots, N_{NodePair}$

M_{SD}	<p>The number of possible Long Paths from border gateway S to border gateway D,</p> $\begin{cases} S = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ D = 1, 2, \dots, N_{BG} \end{cases}$
B_{in}	<p>The maximum available bandwidth of the n_{th} Short Path in the i_{th} node pair,</p> $\begin{cases} i = 1, 2, \dots, N_{NodePair} \\ n = 0, 1, \dots, n_i \\ i \neq j \end{cases}$
$R_{SD}^{(m)}$	<p>The average bandwidth requirement of the traffic aggregate from border gateway S to border gateway D on class m in current time period,</p> $\begin{cases} S = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ D = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ m = 1, 2, \dots, N_{Class} \\ S \neq D \end{cases}$
$Q^{(m)}$	<p>The least quality entropy requirement of class m,</p> $\begin{cases} S = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ D = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ m = 1, 2, \dots, N_{Class} \\ S \neq D \end{cases}$

p_m	<p>The penalty per unit bandwidth of class m,</p> $m = 1, 2, \dots, N_{Class}$
I_{inSDk}	<p>The matrix indicates whether the k_{th} Long Path from S to D passed through the n_{th} Short Path of the i_{th} node pair,</p> $\begin{cases} i = 1, 2, \dots, N_{NodePair} \\ n = 0, 1, \dots, n_i \\ S = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ D = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ k = 0, 1, \dots, M_{SD} \end{cases}$
$Cost_{in}$	<p>The unit price of the n_{th} Short Path in the i_{th} node pair.</p> $\begin{cases} i = 1, 2, \dots, N_{NodePair} \\ n = 1, \dots, n_i \\ i \neq j \end{cases}$

Decision Variables	
Notation	Description
$y_{SDk}^{(m)}$	<p>The allocated bandwidth of the k_{th} Long Path of traffic aggregate from border gateway S to border gateway D on class m,</p> $\left\{ \begin{array}{l} S = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ D = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ m = 1, 2, \dots, N_{Class} \\ k = 0, 1, \dots, M_{SD} \\ S \neq D \end{array} \right.$
BC_{in}	<p>The bandwidth consumption of the n_{th} Short Path in the i_{th} node pair,</p> $\left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, N_{NodePair} \\ n = 1, \dots, n_i \\ i \neq j \end{array} \right.$
OQ_{in}	<p>The obtained quality of the n_{th} Short Path in the i_{th} node pair,</p> $\left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, N_{NodePair} \\ n = 1, \dots, n_i \\ i \neq j \end{array} \right.$

$S_{SD}^{(m)-}$	<p>The amount which the allocated bandwidth is numerically under the traffic aggregate bandwidth requirement from border gateway S to border gateway D on class m,</p> <p>$m = 1, 2, \dots, N_{Class}$</p>
$S_{SD}^{(m)+}$	<p>The amount which the allocated bandwidth is numerically exceed the traffic aggregate bandwidth requirement from border gateway S to border gateway D on class m,</p> <p>$m = 1, 2, \dots, N_{Class}$</p>
$C_{SDk}^{(m)}$	$= \begin{cases} 1, & \text{if } y_{SDk}^{(m)} > 0. \\ & \text{(There is bandwidth allocated to the } k^{\text{th}} \text{ long path} \\ & \text{from border gateway } S \text{ to border gateway } D \\ & \text{on class } m. \text{.)} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$

(2) Mathematical Model

Minimize

$$\sum_{S=1}^{N_{BG}} \sum_{D=1}^{N_{BG}} \sum_{m=1}^4 p_m S_{SD}^{(m)-} + \sum_{i=1}^{N_{NodePair}} \sum_{n=1}^{n_i} BC_{in} \cdot Cost_{in} \quad (1)$$

Subject to:

$$y_{SDk}^{(m)} \geq 0 \quad \text{for all} \quad \begin{cases} S = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ D = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ k = 1, 2, \dots, M_{SD} \\ m = 1, 2, \dots, N_{Class} \end{cases} \quad (2)$$

$$S_{SD}^{(m)-} \geq 0 \quad \text{for all} \quad \begin{cases} S = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ D = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ m = 1, 2, \dots, N_{Class} \end{cases} \quad (3)$$

$$S_{SD}^{(m)+} \geq 0 \quad \text{for all} \quad \begin{cases} S = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ D = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ m = 1, 2, \dots, N_{Class} \end{cases} \quad (4)$$

$$BC_{in} = \sum_{S=1}^{N_{BG}} \sum_{D=1}^{N_{BG}} \sum_{m=1}^4 \sum_{k=1}^{M_{SD}} (y_{SDk}^{(m)} \cdot I_{inSDk}) \quad \text{for all} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, N_{NodePair} \\ n = 1, 2, \dots, n_i \end{cases} \quad (5)$$

$$B_{in} \geq BC_{in} \quad \text{for all} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, N_{NodePair} \\ n = 1, 2, \dots, n_i \end{cases} \quad (6)$$

$$R_{SD}^{(m)} = \sum_{k=1}^{M_{SD}} y_{SDk}^{(m)} + S_{SD}^{(m)-} - S_{SD}^{(m)+} \quad \text{for all } \begin{cases} S = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ D = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ m = 1, 2, \dots, N_{Class} \end{cases} \quad (7)$$

$$y_{SDk}^{(m)} \leq L(1 - C_{SDk}^{(m)}) \quad \text{for all } \begin{cases} S = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ D = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ k = 1, 2, \dots, M_{SD} \\ m = 1, 2, \dots, N_{Class} \end{cases} \quad (8)$$

$$-Q_m + \sum_{i=1}^{N_{NodePair}} \sum_{n=1}^{n_i} (OQ_{in} I_{inSDk}) \leq LC_{SDk}^{(m)} \quad \text{for all } \begin{cases} S = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ D = 1, 2, \dots, N_{BG} \\ k = 1, 2, \dots, M_{SD} \\ m = 1, 2, \dots, N_{Class} \end{cases} \quad (9)$$

第五章 效能評估 (Performance Evaluation)

效能評估 (Performance Evaluation)

本實驗之目的在於驗證本研究所提出的最佳化模型之效能。BBQ架構以預先規劃取代即時運算，本實驗將以LPPA預先規劃Long Path之結果和即時運算之路徑規劃比較，測試以預算為基礎之端對端服務品質保證之效能。

本實驗包括兩部分，一部份為long term soft資源保留階段，此部份屬於預先資源規劃。另一部份為real time hard資源保留階段，屬於動態即時資源分配。Short term階段因為與long term性質相同，只是規劃之時間點不同。因此，以long term作為評比代表。

Long term soft資源保留階段，LPPA利用訊務流集合需求預測資訊和骨幹網路中之Short Path資訊，建立最佳化模型後，利用非線性目標整數規劃，採用linear relaxation尋找Long Paths，因為此方式可找出近似解，所以，本階段主要分析重點為LPPA在各類不同的情況下，近似解之範圍和趨勢，以了解LPPA之規劃特性。

Real time hard資源保留階段則是為real time要求進入全IP網路之訊務流，依long term soft資源保留階段規劃之Long Path，動態向核心網路要求資源。所以，主要評估重點為評估預先規劃之Long Path是否能夠符合real time之需求，以及當預測值產生誤差時，預先規劃之Long Path和即時運算之路徑規劃的效能表現差異。

本論文將利用著名之最佳化分析軟體ILOG[22]，建立long term soft資源保留之最佳化模型，分析LPPA預先規劃的Long Path之特性。再利用最佳之路徑規劃，本研究團隊以C++開發之BBQ Real Time Simulator，實際模擬BBQ環境，以即時訊務流測試本研究之效能。

5.1 效能評估指標 (Performance Evaluation Metrics)

本實驗一共有三個效能評估指標，分別為

- 資源保留成本 (Resource reservation cost)
- 收益損失 (Lost revenue)
- 訊務流拒絕率 (Blocking ratio)

前二個為評比 LPPA 於 long term soft 資源保留階段所規劃之近似解特性，最後一個則為於動態環境中，評估 LPPA 於預先規劃之 Long Path 與即時路徑計算之效能。

5.1.1 Long Term Soft 資源保留階段 (Long Term Soft Reservation)

5.1.1.1 資源保留成本 (Resource Reservation Cost)

LPPA 為了滿足預測之訊務流集合需求，所需之頻寬乘上頻寬單價，即為該訊務流集合需求之資源保留成本。

於 3.1.4 之計價方案中，資源保留的成本可分為三階段。由於效能評比對象為 long term soft 資源保留之成本，因此，頻寬單價將設為常數。實際上，不同網路營運者之

Short Path 的頻寬單價不盡相同，由營運者自行訂定。但是，為了簡化效能評比，本研究將把不同之 Short Path 設為相同的成本單價。

$$TotalCost = \sum_{i \in ShortPathNo} BC_i \cdot C_i$$

BC_i : Required bandwidth of Short Path i

C_i : Unit price of Short Path i

$ShortPathNo$: The number of Short Paths

5.1.1.2 收益損失 (Lost Revenue)

收益損失是當訊務流無法進入全 IP 網路時，流失該客戶所造成的損失收益。

每個等級的訊務流均由網路營運者定義其單位收益損失，通常需要較高服務品質之等級，營運者的收費較高，所以相對的單位收益損失較高；反之，則單位收益損失較低。

$$Lost\ revenue = \sum_{S=1}^{N_{BG}} \sum_{D=1}^{N_{BG}} \sum_{m=1}^4 p_m S_{SD}^{(m)-}$$

p_m : Unit lost revenue of class m .

$S_{SD}^{(m)-}$: Insufficient bandwidth for traffic aggregate from BG S to BG D on class m .

5.1.2 Real Time Hard 資源保留階段 (Real Time Hard Reservation)

5.1.2.1 訊務要求拒絕率 (Blocking Ratio)

訊務要求拒絕率是當訊務流要求進入全 IP 網路時，遭到拒絕的比例。訊務要求

拒絕率愈高，表示有愈多的訊務無法進入全 IP 網路。

本實驗中以訊務流要求進入全 IP 網路之順序，由 Global ACA 依序做允入控制。進入拒絕訊務流的條件僅考慮資源不足，忽略其他條件（例如：優先權高低）以獲得客觀之效能評比。

訊務拒絕率定義為遭到拒絕之訊務流和所有要求服務之訊務流的比例。

$$\text{Blocking Ratio} = \frac{d}{T}$$

d : Number of denied flows

T : Number of request flows

5.2 實驗設計 (Experiment Design)

5.2.1 實驗環境 (Experiment Environment)

本實驗分為兩部分，第一階段以 Windows 2000 Professional 為平台，利用著名的最佳化軟體 ILOG，並在此平台上建立最佳化模型，以求得可獲得網路營運者最大利益之 Long Path，並將結果輸出到第二階段。第二階段以 FreeBSD 為作業平台，利用 GNU C++3.2 建構一個簡化的 BBQ Environment 作為 Real-Time Simulator，內含有簡單的 BBQ 功能元件，用來模擬整個 End-to-End QoS 的運作流程，並且實作 real time 訊務流要求進入邊界入口閘道器 (BG) 時，Long Path 指定、real time hard 資源保留及允入控制等程序，以觀察端對端服務品質規劃之效能。

5.2.1.1 BBQ Computational Simulator

BBQ Computational Simulator 是本實驗室所以 C++ 所實作的一套模擬程式主要的功能為模擬網路系統的運作流程和簡單的 BBQ 功能，此一模擬系統以兩種繞徑模式進行模擬，一為傳統的 OSPF 演算法[23]，要求進入全 IP 網路之訊務流將以 OSPF 演算法來進行即時運算、保留所需資源和允入控制。另一種則是 BBQ 系統之運作流程，先由 LPPA 預先規劃好 Long Path，再由 Global ACA 進行 real time hard 資源保留。BBQ Computational Simulator 將利用 Network Simulator 2 產生 exponential 之訊務流，訊務流所要求之頻寬則為常態分布。

5.2.2 實驗測試組產生 (Test Instance Generation)

5.2.2.1 網路拓樸之產生 (Network Topology Generation)

本實驗採用圖 4.16 作為效能評比之基礎網路拓樸。此網路拓樸一共有四個核心網路，包含 27 個網路節點，其中 20 個為邊界入口閘道器(BG)，7 個 Inter-Domain Gateway (IG)。此拓樸包含四個核心網路，核心網路之間則利用 interconnection link 彼此相連。而每條 Short Path 上之服務品質熵數則利用亂數的方式產生，服務品質熵數的範圍將限制於 10-50 (ms) 之間。同時，為了簡化實驗，擁有相同服務品質熵數的 Short Path 和 interconnection link 的頻寬單價均相同。所以，於亂數取得 Short Path 之服務品質熵數時，亦將同時設定 Short Path 之頻寬單價。

為了使實驗數據不因 Short Path 上的服務品質熵數不均造成嚴重偏差，本實驗利用亂數為每個網路拓樸產生 10 組測試組，分別對這 10 組測試組實驗。以此 10 組測試

組之平均值，作為實驗組之實驗結果。

本實驗將以網路拓樸之網路連接率作為實驗變因。網路連接率的定義為每個節點所擁有的鏈結比例，100%定義為至其他節點均有一條鏈結互連。舉例而言，當網路中有 m 個節點時，當每個節點均有 $(m-1)$ 條鏈結時為 100% 網路連接率，而 50% 網路連接率則表示有 $(m-1)/2$ 條鏈結，而每條鏈結的終點以亂數決定。同樣為了避免亂數結果不夠平均，本實驗利用亂數為每個網路鏈接率產生 10 個網路拓樸測試組，分別對此 10 個拓樸進行相同實驗。以此 10 組測試實驗組之平均值，作為實驗組之實驗結果。

5.2.2.2 訊務實驗組產生 (Traffic Request Generation)

Long term hard 資源保留階段，訊務流集合需求預測為 LPPA 規劃的輸入值。以圖 4.16 之基礎網路拓樸而言，最多一共會有 5 (起點) \times 15 (終點) \times 4 (服務品質熵數等級) = 300 組訊務流集合產生。為了使實驗結果容易比較，本實驗以限定總需求量的方式，先限定所有的訊務流集合得總需求量為何，將此總需求量以亂數方式分配於上述的 400 組訊務流集合。如此一來，我們將可獲得一組訊務流集合需求預測供 LPPA 規劃 Long Path。為了避免亂數之結果過於偏重某些訊務流集合，造成實驗結果偏差。我們一樣產生 10 組測試組，以獲得一個較客觀之實驗數據。

Real time hard 資源保留階段為求模擬資料的真實性，本研究採用 Network Simulator 2 (NS2) [24]，來產生 real time 之 Request Data，NS-2 (Network Simulator Version 2) 是一個用來提供網路相關研究的物件導向模擬器，可提供完整、趨於真實的網路模擬環境，是個具有擴充性、可程式化事件驅動模擬引擎、支援各種網路通訊協定與路由排程演算法的網路模擬器。發展至今，已經是一個很成熟的網路模擬環境。訊務流產生採用 NS2 的 exponential 來模擬 traffic 產生的型態，而每一個訊務流 request 之要求頻寬則是一個常態分

布。

表 5.1 實驗數值範圍表。

參數	數值範圍
Short Path 之服務品質熵數	10,20,30,40,50
Short Path之頻寬單價 (dollar)	60,30,15,5,1
服務品質熵數預算	150,400,700,60000
訊務流集合預測需求量 (Gbps)	10,30,50,70,100,150
網路連接率 (%)	30,40,50,60,70
資源保留成本限制 (k dollar)	1000,3000,5000,7000,10000
服務達成率限制 (%)	10,30,50,70,100

5.2.3 實驗 (Experiments)

本研究建立以下的實驗：

- 實驗一評估最佳化模型對訊務流集合預測需求量之敏感度
- 實驗二評估最佳化模型對網路連接率之敏感度
- 實驗三評估預先規劃對預測誤差之敏感度

表 5.2 實驗目標表。

實驗	目標
實驗一、訊務流集合預測需求量之敏感度測試	以 <u>資源保留成本及收益損失</u> 分析此最佳化模型之行為
實驗二、網路連接率之敏感度測試	評估指標：資源保留成本、收益損失
實驗三、預測誤差之敏感度測試	以 <u>服務拒絕率</u> 評估預算為基礎之端對端服務品質保證之效能 評估指標：服務拒絕率

5.3 實驗結果 (Experiment Results)

以下實驗將利用 CN 表示網路連接率 (Connectivity)、SR 表示要求服務達成率 (Satisfaction Ratio)、CL 表示資源保留成本限制 (Cost Limit) 等符號簡化表達。

5.3.1 實驗一、訊務流集合預測需求量之敏感度測試

實驗一為改變訊務流集合需求總量的方式，來測試對兩個評估指標的影響。

5.3.1.1 對資源保留成本之影響

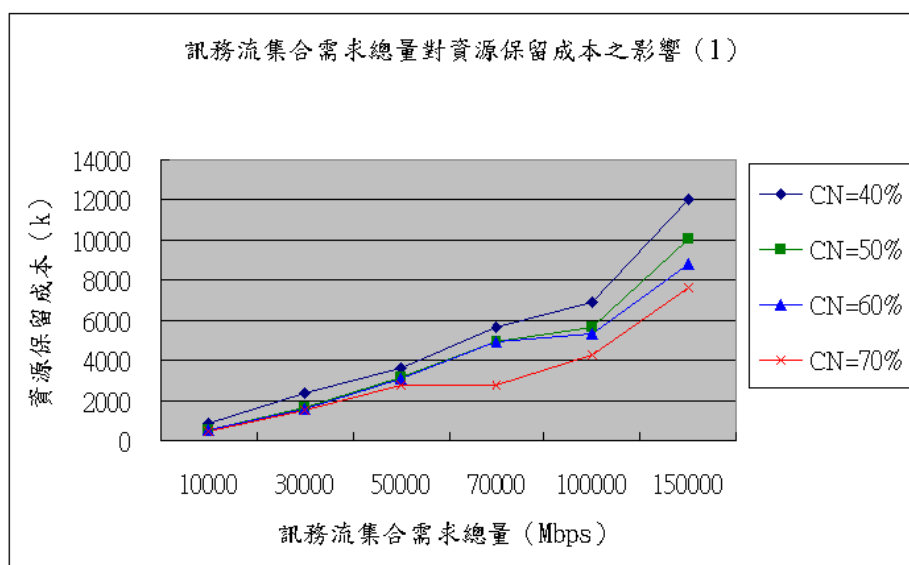


圖 5.1 訊務流集合需求總量對資源保留成本之影響 (1)。

本實驗以邊界入口閘道器之訊務流集合需求總量為實驗變因，探討當服務達成率為 100% 時，訊務流集合需求總量變化以及網路連接率對資源保留成本之影響。

於上圖 5.1 中觀察相同之訊務流集合需求總量時可發現，當網路連接率增加時，所需之資源保留成本則是相對減少。因為，此時網路上可供選擇之 Short Path 增加了，也就是 LPPA 將有更多之繞徑選擇。因此，LPPA 能夠找到相對較少成本之 Long Path 服務相同之訊務流集合需求。

另外需注意的是，圖 5.1 沒有網路連接率為 30% 的曲線。原因是當網路連接率為 30% 時，因為連接率太低形成無法全連通之網路拓樸。但亂數產生之訊務流集合預測卻是需要到很多終點。所以在無路可通的情況下，有部分訊務流集合的服務達成率為零，因此也導致整體服務達成率無法達到 100%。

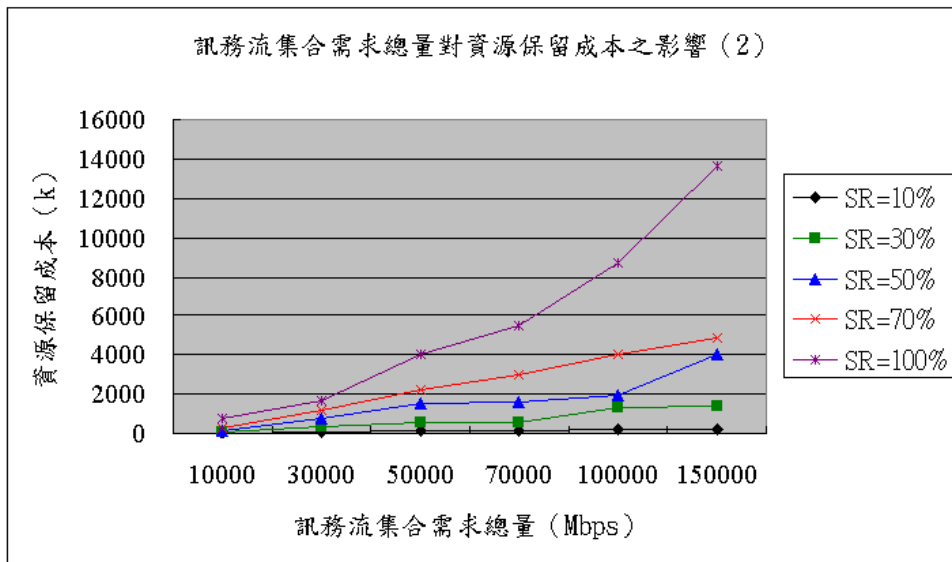


圖 5.2 訊務流集合需求總量對資源保留成本之影響 (2)。

圖 5.2 為探討當固定網路連接率時，訊務流集合需求總量變化以及服務達成率對資源保留成本之影響。當訊務流集合需求總量增加時，資源保留成本也相對增加。再觀察相同之訊務流集合需求總量時可發現，當要求服務達成率增加時，所需之資源保留成本則是相對增加。因為，此時需要滿足的訊務流集合量增加。

5.3.1.2 對收益損失之影響

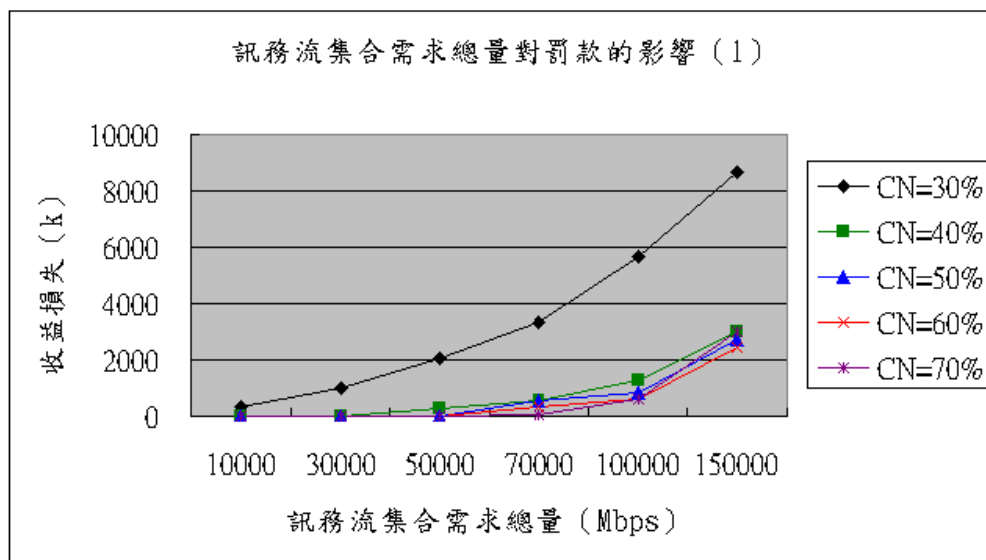


圖 5.3 訊務流集合需求總量對收益損失之影響 (1)。

本實驗以邊界入口閘道器之訊務流集合需求總量為實驗變因，探討當資源保留成本為 3000k 時，訊務流集合需求總量變化以及網路連接率對收益損失之影響。

於圖 5.3 可發現，當訊務流集合需求總量增加時，收益損失會同時增加。因為 LPPA 受限於固定的資源保留成本，而無法保留更多資源以服務增加的需求量。再觀察相同之訊務流集合需求總量時可發現，當網路連接率減少時，所造成的收益損失則相對增加。因為，此時網路上可供選擇之 Short Path 減少了，LPPA 的繞徑選擇也減少。因此，LPPA 能夠無法找到較低成本之 Long Path 以服務訊務流集合需求，所以會造成收益損失增加。

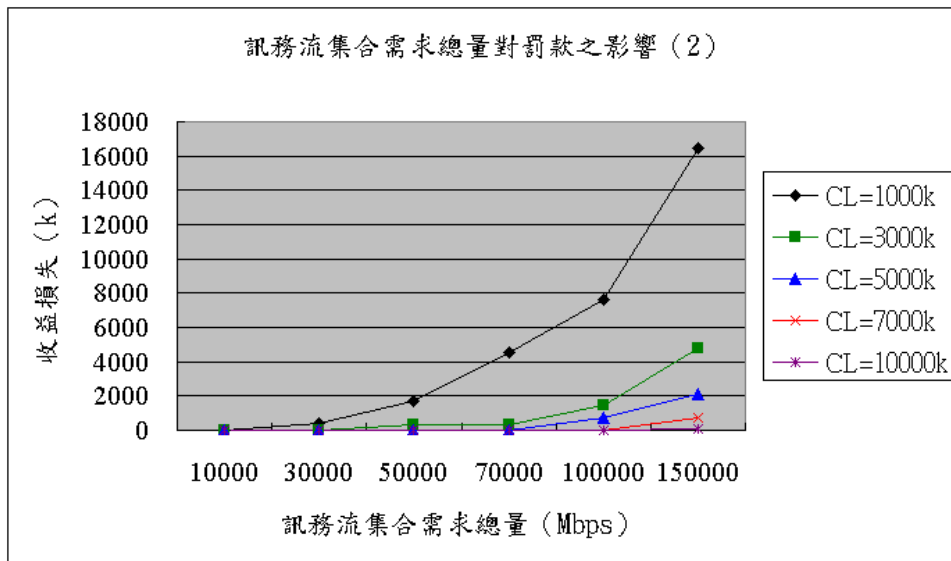


圖 5.4 訊務流集合需求總量對收益損失之影響 (2)。

圖 5.4 為探討當固定網路連接率時，訊務流集合需求總量變化以及資源保留成本對收益損失之影響。當訊務流集合需求總量增加時，收益損失同時增加。因為，LPPA 受限於固定的資源保留成本，而無法保留更多之資源服務增加之需求量。再觀察相同之訊務流集合需求總量時可發現，當資源保留成本增加時，收益損失則會減少。因為，此時資源保留成本增加，LPPA 可保留更多之資源服務增加之需求量，以避免無法服務造成之收益損失。

5.3.2 實驗二、網路連接率之敏感度測試

實驗二為改變網路連接率的方式，來測試對兩個評估指標的影響。

5.3.2.1 對資源保留成本之影響

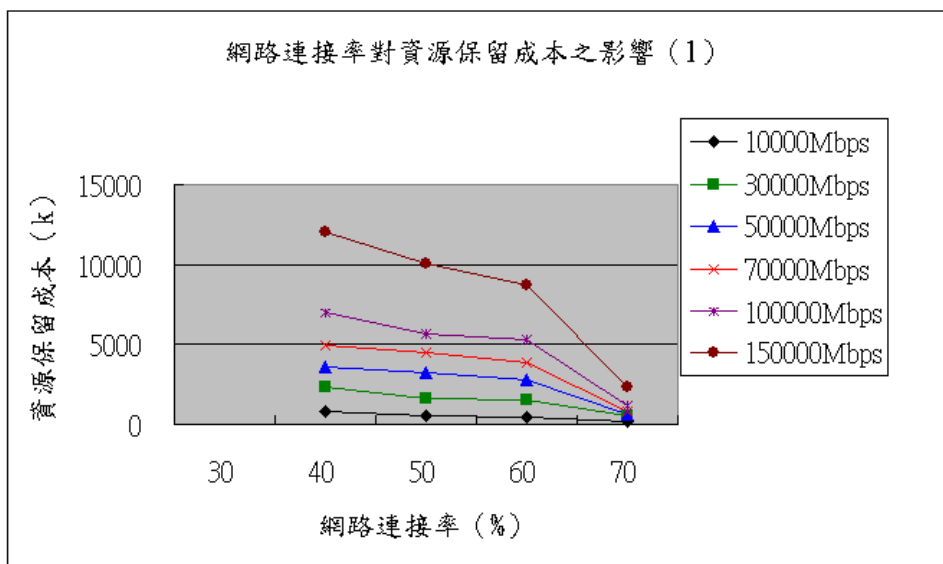


圖 5.5 網路連接率對服務保留成本之影響 (1)。

本實驗以網路連接率為實驗變因，探討當限制服務達成率為 100% 時，變化網路連接率以及訊務流集合需求總量對資源保留成本之影響。

於圖 5.5 可發現，當網路連接率增加時，資源保留成本則相對減少。因為，此時網路上可供選擇之 Short Path 增加了，也就是 LPPA 將有更多之繞徑選擇。因此，LPPA 能夠找到相對較少成本之 Long Path 服務相同之訊務流集合需求。

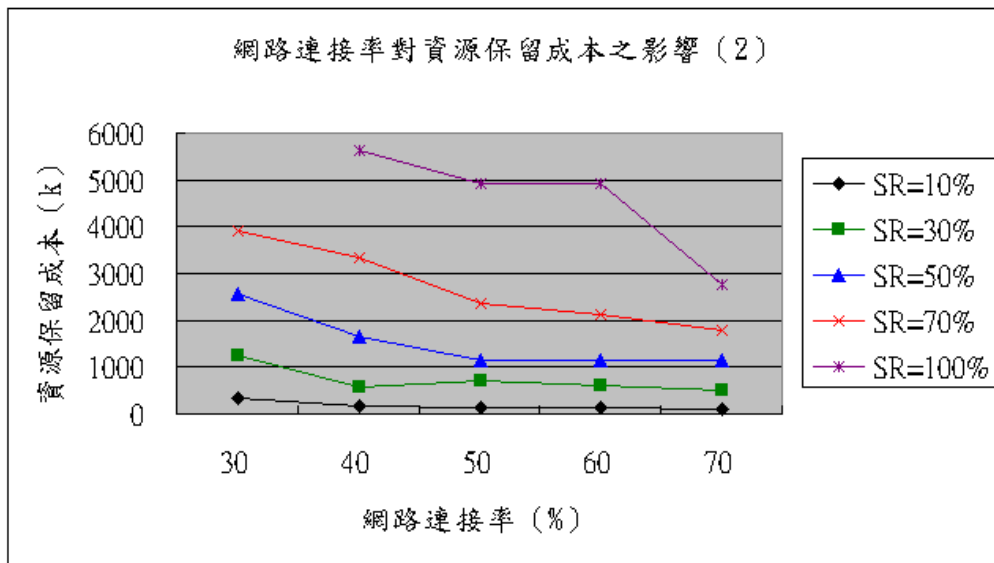


圖 5.6 網路連接率對服務保留成本之影響 (2)。

圖 5.6 為探討當限制訊務流集合需求總量為 70Gbps 時，變化網路連接率以及服務達成率對資源保留成本之影響。當網路連接率增加時，資源保留成本則相對減少。因為，此時網路上可供選擇之 Short Path 增加了，也就是 LPPA 將有更多之繞徑選擇。因此，LPPA 能夠找到相對較少成本之 Long Path 服務相同之訊務流集合需求。再觀察相同之網路連接率時可發現，當服務達成率增加時，所需之資源保留成本是同時增加。因為，LPPA 需要增加資源保留之成本，以保留更多之資源以服務增加之需求量。

5.3.2.2 對收益損失之影響

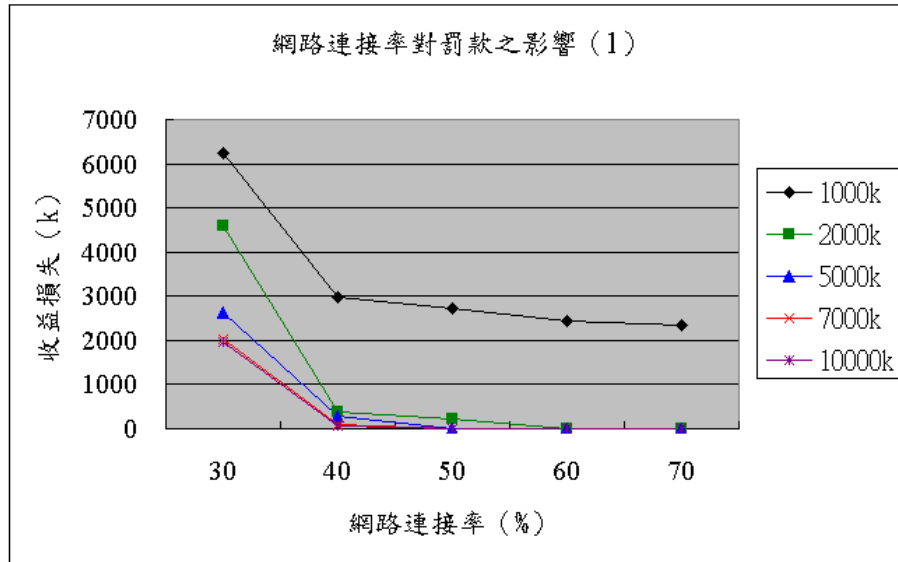


圖 5.7 網路連接率對收益損失之影響 (1)。

本實驗以網路連接率為實驗變因，探討當限制訊務流集合需求總量為 70Gbps 時，變化網路連接率以及資源保留成本對收益損失之影響。

於圖 5.7 可發現，當網路連接率增加時，收益損失將跟著減少。因為，此時網路上可供選擇之 Short Path 增加了，也就是 LPPA 將有更多之繞徑選擇。因此，LPPA 能夠在相同的成本下滿足更多的訊務流集合需求，所以收益損失會減少。再觀察相同之網路連接率時可發現，當資源保留成本增加時，收益損失也會減少。

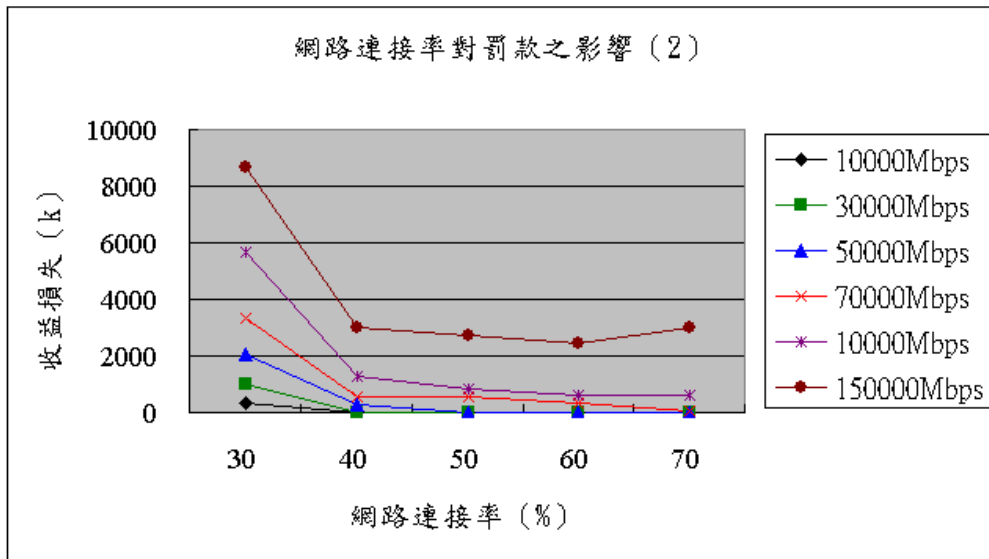


圖 5.8 網路連接率對收益損失之影響 (2)。

圖 5.8 為探討當限制資源保留成本為 3000k 時，變化網路連接率以及訊務流集合需求總量對收益損失之影響。當網路連接率增加時，收益損失減少。再觀察相同之網路連接率時可發現，當訊務流集合需求總量增加時，收益損失也會跟著增加。

5.3.3 實驗三、預測誤差之敏感度測試

實驗三測試 LPPA 預先規劃之 Long Path 於預測誤差發生時，對服務拒絕率的影響。由實驗一可發現，如果頻寬需求增加時，需要更多的資源來服務使用者，基於此點，本實驗將不測試頻寬需求增加之預測誤差部分，僅測試頻寬總需求為固定值，而將預測誤差定義為各個 border gateway 之間的需求量偏移。

預測誤差率主要定義為，real time 頻寬需求與預測頻寬需求差異性的比例，預測誤差率 = $|$ 預測頻寬需求 - 實際頻寬需求 $|$ / 預測頻寬需求。由於本架構採用預先規劃，預測的準確性相當重要，所以本實驗將探討當預測誤差發生時，對於本架構之影

響為何。

預測誤差為實驗變因，我們採用的方式為改變訊務流集合需求量，使其與原本的預測值產生偏移，我們並將此偏移量定義為預測誤差。因此，我們可透過圖 5.9 觀察到不同的預測誤差率其頻寬需求的變化。圖 5.9 簡略挑選 10 個 aggregate，觀察在不同的預測誤差率之頻寬需求，當預測誤差率高時，頻寬需求與預測值差異性同樣提昇。

另外，訊務流集合一共有三百個，這些訊務流集合需求之分散程度對於 LPPA 會有相當的影響。所以，我們利用標準差來觀察當發生預測誤差時，訊務流集合需求量的離散度，由圖 5.10 可發現，當預測誤差率愈高的時候，此時各個訊務流集合需求量的離散度會比原本預測值的離散度增加。

同時，原始的訊務流集合需求預測的離散程度也會影響到預測誤差發生時的表現，因此我們亂數產生五組不同標準差的訊務流需求預測，如圖 5.10 的五個測試組，並且分別對這五組訊務流需求預測測試對預測誤差敏感度。

實驗三利用 LPPA 預先規劃之 Long Path 作為允入控制時，分配給訊務流之路徑，並且假設 long term soft 資源保留均能取得預先規劃所需之資源，並將此資源作為實驗三當中的 Short Path 頻寬。實驗三中除了 LPPA 所採用的方法之外，另外有兩個比較對象 OSPF 和 Trunk。為了使這三類機制均能夠有相同的比較基準，因此，我們將 OSPF 的規劃資源也設為 Short Path。而 Trunk 的 source routing 則為 LPPA 所預先規劃之路徑，並且採取服務等級分類，但與 LPPA 不相同的是，Trunk 不像 LPPA 採用 real time hard 資源保留機制，而是直接將預先規劃之路徑保留給特定的 border gateway 使用。

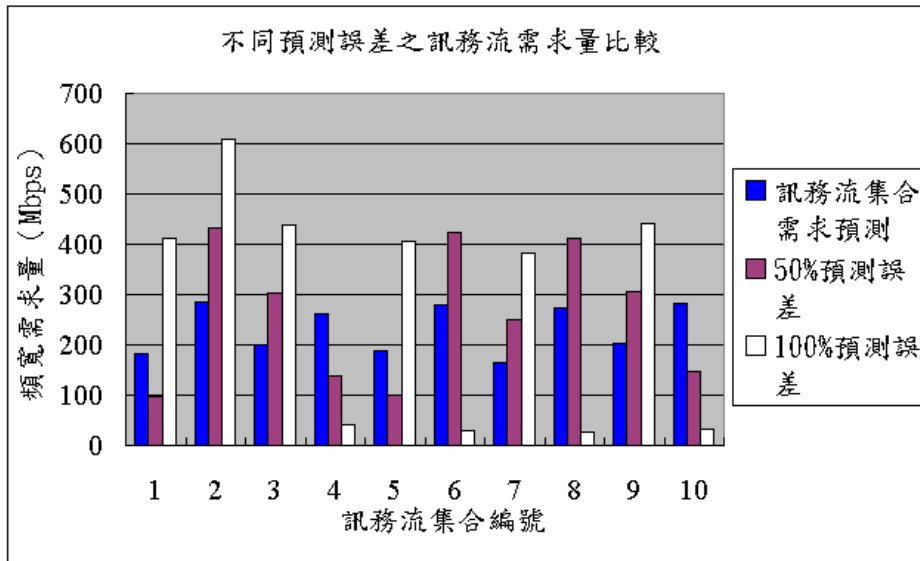


圖 5.9 不同預測誤差之訊務流集合需求量比較。

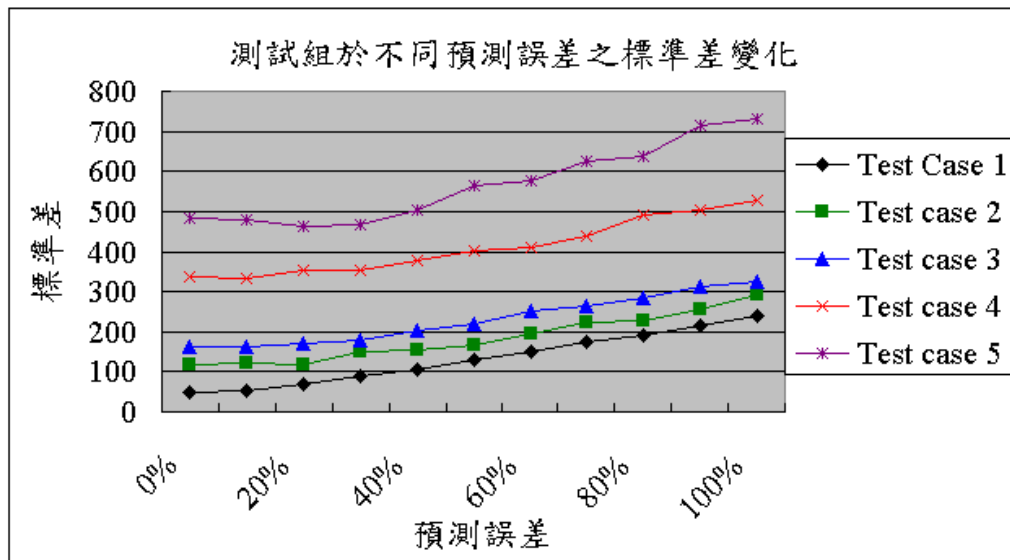


圖 5.10 測試組於不同預測誤差之標準差變化。

5.3.3.1 對訊務要求拒絕率之影響

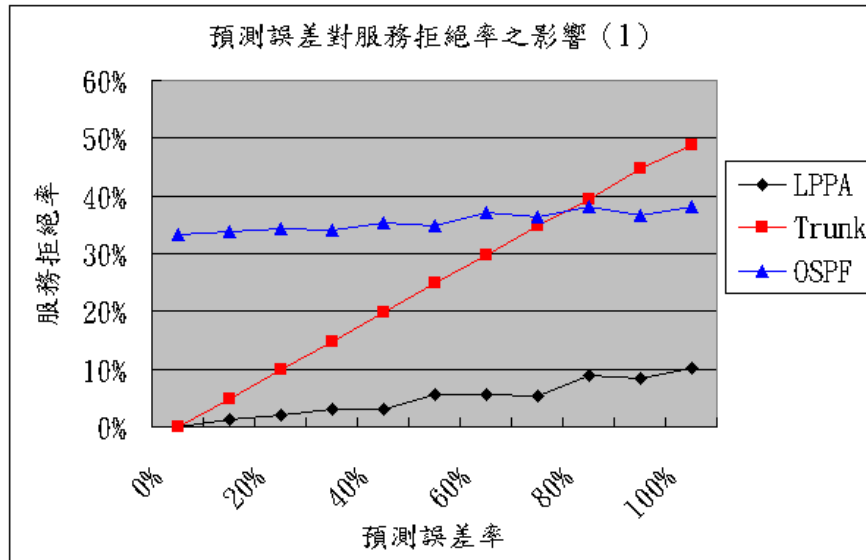


圖 5.11 預測誤差對服務拒絕率之影響 (1)。

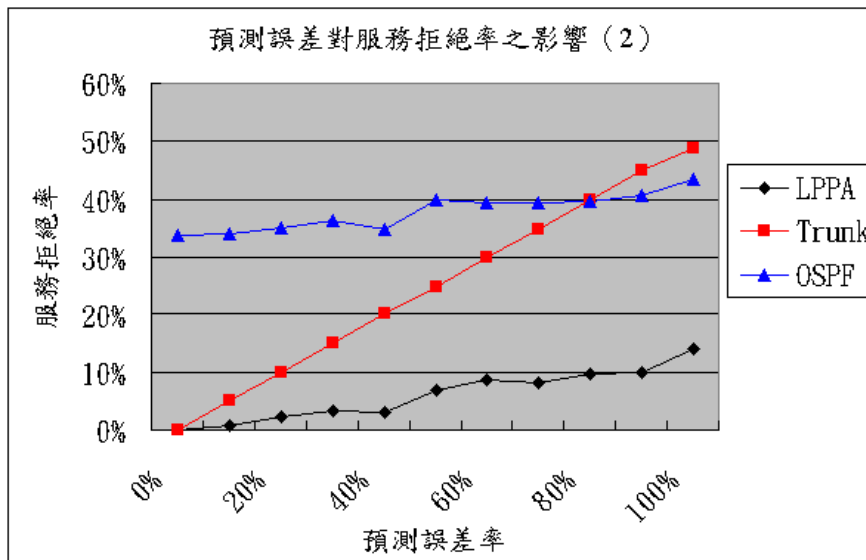


圖 5.12 預測誤差對服務拒絕率之影響 (2)。

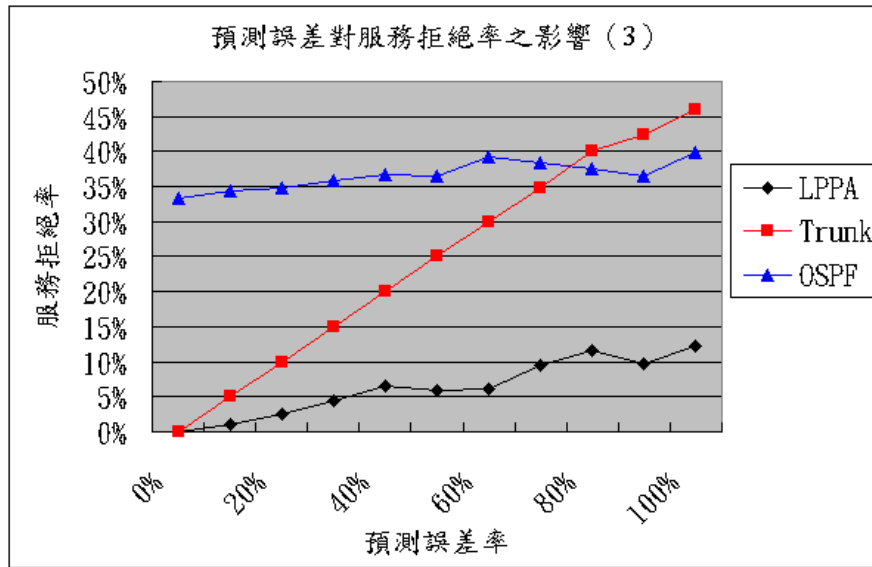


圖 5.13 預測誤差對服務拒絕率之影響 (3)。

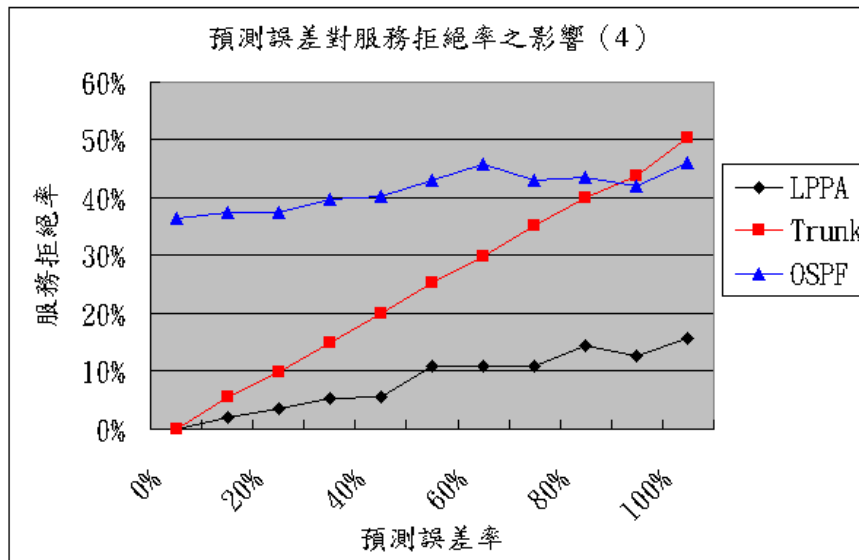


圖 5.14 預測誤差對服務拒絕率之影響 (4)。

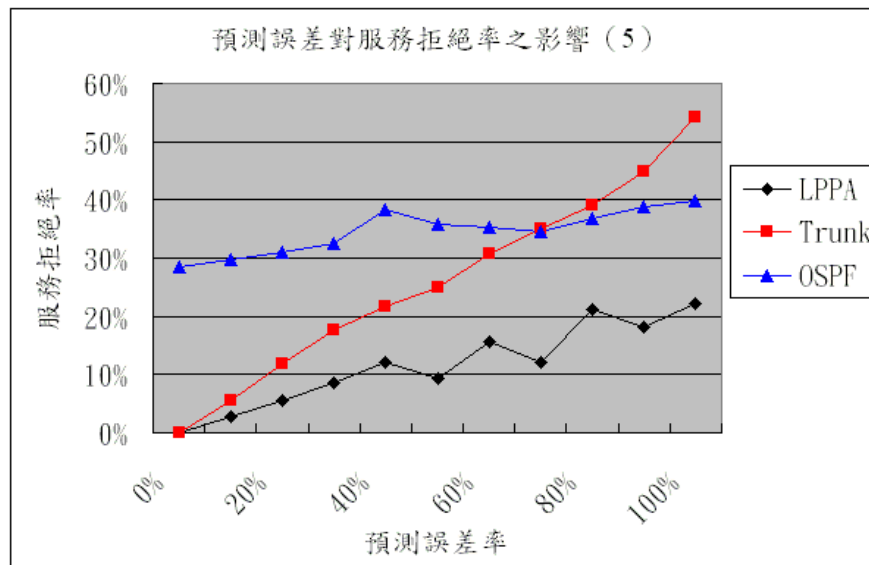


圖 5.15 預測誤差對服務拒絕率之影響 (5)。

本實驗以預測誤差率為實驗變因，探討當限制訊務流集合需求總量為 70Gbps 時，變化預測誤差率以及訊務流集合離散度對服務拒絕率之影響。以上圖 5.11 到圖 5.15 分別為訊務流集合預測標準差為 50-500 的測試組。

由圖 5.11-5.15 可發現，當預測誤差率增加時，服務拒絕率也跟著增加。因為，此時網路上原本規劃的 Long Path 已漸漸不能滿足誤差後的訊務流集合了，這種情形在以上五組的測試組當中均會發生。並且，可以發現 OSPF 的表現維持平的，因為 OSPF 原本就不倚賴訊務流集合預測來計算。而 Trunk 的方式則由於採用 LPPA 的規劃結果，因此，在沒有預測誤差時，服務拒絕率與 LPPA 相同，一樣為 0。但是，隨著服務拒絕率會隨預測誤差率升高而變大，於 70%-80% 左右會有比 OSPF 更高的服務拒絕率。LPPA 由於沒有預先保留資源，因此資源於誤差發生時可互相流用，所以服務拒絕率不會像 Trunk 一樣嚴重攀升。

另外我們可以發現，當訊務流集合預測的離散度愈大的時候，發生預測誤差時，

LPPA 的服務拒絕率攀升較快，原因應為離散度大時，LPPA 所要求資源保留之 Short Path 會傾向於需要資源的那些 border gateway，一旦發生誤差時，這些 Short Path 不一定能夠流用給其他的 aggregate 使用。反之，若離散度小的訊務流集合，由於 Short Path 的重複性較高，發生誤差時，彼此流用的效率會較好。

5.3.4 與最佳解之比較 (Comparison with The Optimal Solution)

為了估計 LPPA 之近似解之確實效能，本論文於一個簡化的測試環境之下，做了以 Integer programming 得到的最佳解和以 linear relaxation 得到的近似解的比較。我們以圖 4.16 作為骨幹網路之拓樸，測試當訊務流集合需求為 10Gbps-150Gbps 時，比較最佳解和近似解。在這五組的測試組當中，近似解的結果恰巧均與最佳解之結果相同。同時，於 5.3.1-5.3.3 的實驗測試組當中，我們隨機選取幾組測試組求其最佳解，與近似解之結果均為相同。

在這個簡單的比較當中，不能夠表示 LPPA 所尋找出之 Long Path 絕對為最佳的 Long Path；只是，在較簡化的測試環境當中，可發現 linear relaxation 後之近似解有很大的機率可以搜尋到最佳解。所以，此近似解在尋找 Long Path 的問題中，應為適當的近似解。

5.4 實驗總論 (Experiment Summary)

實驗一當中，我們可以發現當訊務流集合需求總量增加時，資源保留成本一定是需要提昇的，如此才可滿足增加的需求量；如果固定成本時，能服務的訊務流也為固定的，收益損失則隨需求增加而增加。

實驗二我們可發現，隨著網路連接率增加，LPPA 可以利用的路徑增加，所以，

資源保留成本則會隨之下降，因為 LPPA 將試圖尋找較低保留成本的方案；同理，收益損失也會隨之減少。

實驗三可說明當預測誤差率提高時，事先規劃的方案都會受到影響。但 LPPA 抵抗預測誤差的能力比 Trunk approach 明顯的高很多，原因是 LPPA 不會實際保留資源給特定的 traffic aggregate，採用事前規劃即時配置的策略，而 Trunk approach 則會時間將資源保留給特定的 traffic aggregate，所以預測誤差發生時資源也無法互相流用。

第六章 結論及未來展望 (Conclusions and Future Work)

結論及未來展望 (Conclusions and Future Work)

6.1 結論 (Conclusions)

本研究首先提出了 BBQ 系統，為一個具有 End-to-End 服務品質保證的網路架構，以分層管理和與預算分配，和資源的預先規劃來減輕系統即時運算的負擔達成 End-to-End 服務品質保證的目的。

本研究將研究重心放在骨幹網路之路徑規劃。因為，規劃具服務品質保證之路徑是 BBQ 架構達到絕對的端對端服務品質保證之方法。本文分析網路服務品質保證之重要性後，在相關研究中，對於可能提供 QoS 保證的網路架構作了相關研究之探討。接著在 BBQ 架構下，於 End-to-End Network QoS Coordinator Layer 提出端對端服務品質保證之方式，透過承載服務的概念，端對端之服務區由接取網路和骨幹網路之承載服務支撐，而骨幹網路由許多核心網路所組成，要如何挑選核心網路之路徑成為主要的問題。因此，本研究重心為規劃通過骨幹網路之路徑，由最佳化模型的分析，利用線性規劃之方式取得近似解。另一方面，資源保留的方式也是本研究之重點，透過資

源保留方案之分析，提出高效率之端對端資源保留方案，改善資源配置方式，避免無用之資源保留，以提高網路資源使用效率。

根據實驗的分析，可得網路連接率對於大型網路之重要性，在高連接率的情況下，通常可以找到較符合網路營運者目標之路徑，可以以較低的資源保留成本來提供服務，同時也可以得到較低的收益損失。本研究採用預先規劃之方式以減少即時資源管理之負擔，所以不可避免的，本研究之服務拒絕率將會隨著需求預測誤差的嚴重程度升高。本研究也同時比較即時資源管理（OSPF）和預先資源規劃並保留之方案（Trunk）；在這三種方案下，OSPF 的服務拒絕率受到預測誤差率的影響不大，而 Trunk 受預測誤差率的影響則相當大，為三種方案中，受影響最大的。所以，由實驗可發現，本研究所提出之方案，於全 IP 網路的架構當中，的確可節省資源保留成本和提高資源使用效率，並且容忍發生預測誤差。

6.2 未來展望 (Future Work)

於 long term soft 資源保留和 short term soft 資源保留階段，均假設 vendor 核心網路之 LPPA 具有 Short Path 資源分配之能力。由於研究時間之不足，此部份將可為未來研究之方向。並且，LPPA 目前的 Long Path 採用線性規劃之方式求得近似解，但是當網路複雜度過高時，可設計 heuristic algorithm 於 short term soft 資源保留階段以較快的速度求 Long Path。

資源保留方案中之端對端資源保留方案中，僅提及簡單之計價方式。但是將無法應付複雜的實際情況。未來將可設計較複雜的計價方案，包括收費和收益損失，以減少資源保留浪費之情況發生。

實驗中提到網路連接率與資源保留成本的關係，但是，核心網路不可能與太多的

核心網路相接，因為每一條 interconnection 均需要耗費相當的成本。所以，將可修改最佳化模型，將網路連接率納為成本之一，以增加網路營運者之營運成本考量。

參考文獻 (References)

- [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] 3rd Generation Partnership Project, "QoS Concept and Architecture (Release 5)"; *3GPP TS 23.107 V5.3.0*, January 2002.
- [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.
- [10] Heinanen, J., F. Baker, W. Weiss, and J. Wroclawski, "Assured Forwarding PHB Group", *RFC 2597*, June 1999.
- [11] Clark, D., W. Fang, "Explicit Allocation of Best Effort packet Delivery Service", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 6(4):364-373, August 1998.
- [12] Tetsuya Takine et al., "Performance Evaluation of the Architecture for end-to-end Quality-of-Service Provisioning", *IEEE Communications Magazine*, April 2000.
- [13] P. Trimintzios et al., "A Management and Control Architecture for Providing IP Differentiated Services in MPLS-based Networks," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 39, no. 5, May 2001, pp. 80-88.
- [14] 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.
- [15] Eleni Mykoniati et al., "Admission Control for Providing QoS in DiffServ IP Networks: The TEQUILA Approach", *IEEE Communication Magazine*, Jan 2003, pp. 38-44.
- [16] 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.
- [17] 3rd Generation Partnership Project; "Architecture for an All IP network", *3G TR 23.922 version 1.0.0*, October 1999.

- [18] Ivano Guardini, Paolo D'Urso, and Paolo Fasano, CSELT, "The Role of Internet Technology in Future Mobile Data System", *IEEE Communications Magazine*, November 2000.
- [19] Girish Patel Nortel Networks, Steven Dennett Motorola, "The 3GPP and 3GPP2 Movements Toward an All-IP Mobile Network", *IEEE Personal Communications*, August 2002.
- [20] Mark A. Sportack, "IP Routing Fundamentals", *Cisco ISBN: I-57870-071-x*, May 1999.
- [21] André Girard, "Routing and Dimensioning in Circuit-Switched Networks", Addison-Wesley, 1990, pp. 256-369.
- [22] ILOG Software, version 3.5.1, 2001.
- [23] J. Moy, "OSPF version 2", RFC 1583, March 1994.
- [24] Fall, K., K. Varadhan, The ns Manual, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, April 2002.
- [25] D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua, M. O'Dell and J. McManus, "Requirements for Traffic Engineering Over MPLS", RFC 2702, September 1999.
- [26] Bill Goodman, "Internet Telephony and Modem Delay", *IEEE Network*, May 1999, pp. 8-16.
- [27] Nicolas Christin and Jörg Liebeherr, "A QoS Architecture for Quantitative Service Differentiation", *IEEE Communications Magazine*, June 2003.
- [28] 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.

- [29] Tomás Robles et al., "QoS Support for an All-IP System Beyond 3G", *IEEE Communications Magazine*, August 2001.
- [30] S. Floyd, and V. Jacobson, "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 1, no. 4, August 1993, pp. 397-413.
- [31] Thomas Engel et al., "AQUILA: Adaptive Resource Control for QoS Using an IP-Based Layered Architecture", *IEEE Communications Magazine*, January 2003.
- [32] Tan Miller, "Hierarchical Operations and Supply Chain Planning", Springer, 1997, pp. 159-180.
- [33] Yao-Nan Lien, Ming-Chin Chen, "Distributed Resource Management and Admission Control in Budget-Based QoS Management for All-IP Core Networks ", *Master Thesis*, September 2003.
- [34] Yao-Nan Lien, Tsung-Hsung Li, "Path Planning in Budget-Based QoS Management for All-IP Core Networks", *Master Thesis*, September 2003.
- [35] Yao-Nan Lien, Yi-Ming Chen, "Forecasting Error Tolerable Resource Allocation in Budget-Based QoS Management for All-IP Core Networks", *Master Thesis*, September 2003.