



網際網路服務品質保障之促成工具(子計劃三):  
差別服務架構下的網際網路費率策略及促成工具

## Pricing Policy and Enablers for Differentiated Services in Internet

計劃類別：整合型計劃

計劃編號：NSC89-2213-E-002-174

執行期限：2000.08.01 至 2001.07.31

整合型計劃：總計劃主持人：蔡志宏教授

子計畫主持人：張時中教授

子計畫參與人員：林宗慶 朱紹儀 周怡廷 錢廣仁 林志修 李育全

執行單位：國立台灣大學電機工程學系

### 一. 中文摘要

本計畫以前一年度對單一 ISP 差別服務架構下的費率策略及促成工具研究成果為基礎，進而研究兩個網路服務提供者間差別服務計價協議問題，並利用台大校園網路進行虛擬計價系統實作及流量控制實驗。拆帳問題研究主要是針對提供相對品質網路服務下的雙邊拆帳，設計市場交易機制、費率，以及計算在相互網接的網路下頻寬的買賣量大小。費率可以分成本地費率以及網際間拆帳費率。網際間拆帳費率在傳送端以及接收端兩個方向通常是不對稱。我們將拆帳問題描述成一個不充分訊息的多階段耐許賽局，利用連續二次規劃法及兩方疊代來解各自方的利潤最大化問題，此外，我們並分析數值實驗結果。

在台大校園網路虛擬計價系統實作及流量控制實驗方面，為促成宿舍網路資源於各個宿舍 IP 間使用的公平性，紓解網路壅塞，提昇宿舍網路資源使用效率，以及提供有等級區隔的服務選擇，提高服務品質，我們與台大計中孫雅麗教授合作設計完成一套實驗系統，提供宿舍學生二種網路服務等級，一般等級與受限等級，並每日給予每個宿舍學生固定的配額來使用一般等級的服務。我們進行了實驗，研究以給使用者之配額來作流量控制，及使用者的相關需求行為。我們並完成了以計價收費來做流量控制的實驗設計。

關鍵詞：差別服務,拆帳,耐許賽局,服務品質,優先等級服務,計價收費

### Abstract

This project exploits our first year results on pricing policy and enablers for differentiated services of a single ISP. We further study bilateral settlement and pricing between two ISPs for end-to-end DiffServ provisioning and design and implement an experiment system for both priority and pricing control of traffic over NTU student dormitory network. Our research on the bilateral settlement problem is focused on qualitative network services, which includes the design of tariffs, the calculation of bandwidth to purchase and sell between two interconnected ISPs and the design of an underlying

market mechanism. The tariffs can be divided into intra-domain tariff and inter-domain settlement rate. The inter-domain settlement rates may usually be asymmetric on sending and receiving sides. We formulate the settlement problem as a multi-stage Nash game with incomplete information. We develop a sequential quadratic programming method to solve this game problem, which iteratively maximizes individual ISP's profit. Numerical experiments are conducted for pricing policy analysis.

To enable pricing control of network, we design and implement an experiment system, named virtual Internet pricing (VIP) system, over NTU student dormitory network. The goals of the system include fairness among users, congestion control, bandwidth efficiency and differentiated service provisioning. We collaborate with Prof. Y.-L. Sun of NTU computer center on this research task. The VIP system provides a two-priority service, regular and custody services respectively, and daily allocates to every dorm user a fixed quota for regular service. Experiments are carried out over NTU dormitory users to study traffic control by daily quota assignment to each user and to investigate user demands for network usage. We also complete the experiment design of traffic control by pricing.

Keywords: DiffServ, Settlement, Nash Game, QoS, Priority Service, Pricing

### 二. 研究緣由, 目的與成果

#### I. 多個網路服務提供者間差別服務計價協議問題之研究

##### I.1 多個 ISP 間計價協議問題

計價協議問題是在相互網接但卻各自擁有管理權與所有權的網路間所會發生的一個重要商業問題。網路傳輸服務提供者要向使用者收取網路服務使用費並且要付網路服務使用費給相互網接的網路傳輸服務提供者。現行的計價協議系統，共有下列幾種模式：

##### 1. 主客關係模型

這是依傳輸使用量作為拆帳計費單位的拆帳模式，而且是單方面被收費；也就是客戶端必須付費給

提供端。這種方式是大型網路公司對於想要和他們網接的新興網路公司的一種方式，當小型的網路公司想要透過提供端的網路由其它地方下載網路資源時，提供端就會依照傳送量向客戶端收費。這種模型就提供端而言，可以避免小型網路公司免費利用提供端的硬體線路投資。但是這個模型對於客戶端而言的缺點是提供端可能會惡意產生流量送到客戶端，而且提供端可以免費使用客戶端的線路資源。

## 2. 傳送端持有全部(SKA)

如同電信業者的作法，這個作法適用於當雙方的交通量差不多時或者是量測流量的成本比終止此流量的成本還高。這種架構的優點就是：簡單；但其缺點就是適用的情形並不多。

## 3. 雙邊協議折帳模式

網接的雙方同意一個相同的折帳費率，量測雙方傳送的流量，最後傳送較多的那一方要補給傳送較少的那一方中間的差額。這個差額的計算方式很簡單，就是「(流量的差異量) \* 談好的折帳費率」。這種架構的優點是因為雙方談好同一個折帳費率，所以雙方可以平均分攤成本。

## 4. 多邊協議折帳模式

這種模式多是發生在交換中心，每一個連到交換中心的會員只要負擔達到此一節點的線路成本即可，接下來他就和此交換中心所有連接上的成員形成網接關係，而網接關係可能是以 SKA 或是雙方同意的折帳方式。或者是另一種做法，就是也同意讓較小的 ISP 也可以連接上交換中心，只不過要繳交額外的對等連接費用。這種架構的優點是可以讓較小型的網路公司能以較低廉的價格和更多網路公司作網接。此外，因為協議是一次和多個網路公司達成的，因此具有較高的效益以及擴充性。缺點則是因為連接到交換中心後多是採用 SKA 的協議方式，因此可能會有濫用網路資源的現象。

本研究中主要是探討在提供「相對品質網路服務」(Qualitative Service) 的網路架構下關於雙邊折帳模型的研究(如圖一)。這類問題的重要性是無庸置疑的，因為正向網路外部性(positive network externality)的關係以及一家 ISP 的網路線路不可能鋪及每個地方，因此 ISP 一定會跟其它 ISP 相互網接，而雙邊折帳模式又是最常見的模式也是比較基礎的模式，因此我們選擇這個模式來研究。由於是採用供應者定價的方式，因此必須要找出使用者對於不完全替代的服務品質之需求函數，再者，必須根據網路的壅塞情形來決定折帳費率的大小以及網際間的頻寬買賣的多寡。

我們提出了一個差別式服務網路架構下重覆協議的折帳費率協議模型(Repeated Settlement Rate Negotiation Model)。每一個 ISP 都是要將它的私人利潤最大化，但是在兩個網接的網路下，這顯然是有衝突存在，ISP 應該如何協議使得雙方的衝突最低且讓雙方都能更有效地利用自己的資源是本研究的主题。我們的研究步驟如下所示：

- 1) 回顧差別式服務網路架構以及定義出「使用者與 ISP 之間」的交易模式和「ISP 之間」的交易模式。
- 2) 描述兩個相互網接的差別式服務網路之間

互動關係。這中間包含了描述使用者對於不同服務品質的連線時間與價格結構之間的關係、對方設定的折帳費率對於我設定本地費率的關係和我方所設定的折帳費率對於我整體利潤的影響關係。

- 3) 設計 ISP 的談判策略以及分析費率結構與「使用者的需求彈性大小」、「平均連線要求到達率」、「網際間頻寬需求大小」和「折帳週期大小」之間的關係。

目前考慮的是提供傳輸服務上的計價問題 (ISP 本身是擁有網路線路資源) 而暫不考慮資訊內容的計價問題。

為了解決如何設定折帳費率的問題，我們在差別式服務網路架構下提出合適的交易模式，以及訂出三個管理單元：1) 政策管理者、2) 資源管理者和 3) 服務管理者去控管這個網路並且和相互網接的網路做必要的通訊。有了這些基本的交易市場環境後，我們利用加州柏克萊大學「網路需求實驗計畫」中所提出的結果：使用不同傳輸速度的連線時間和價格結構的關係來描述使用者的需求行為，利用不同傳輸速度的連線時間來估計使用者會選用哪一種傳輸速度的機率，並假設 ISP 可以估測約有多少比例的網路頻寬需求是網際間頻寬需求；利用這些分析將使用者的行為受到價格結構影響的關係描述出來。將這些結果描述 ISP 在一個時段 T 中所預期賺到的利潤是多少，這個預期的利潤將會與折帳費率以及本地費率有關。ISP 藉由調整不同傳輸速度的費率以及折帳費率使其所獲得的利潤為最大。所計算出來的折帳費率以及本地費率應該要能有效的反映出使用者的需求彈性、網路壅塞程度和資訊內容豐富量與費率之間的關係。雙方面的協調過程則被描述成一個不充分訊息的重覆賽局。我們利用連續二次規劃法及兩方疊代來解各自方的利潤最大化問題，此外，我們並分析數值實驗結果。

本研究的主要貢獻是在相互網接的差別式服務網路架構下描述了一個「設計雙邊折帳費率」的問題，且可以決定所需的網際間頻寬需求量，這個量會與當時本地網路之平均連線要求到達率以及對方所提出的折帳費率有關。再搭配上動態資源調節機制，可以透過設定合適的折帳費率去間接影響對方對我的網際間頻寬需求量之大小使得自己的利潤得以最大化。我們並針對折帳費率結構和本地費率結構與網際間頻寬需求量和網路規模「大小」之間的關係作數值實驗及分析討論。

## II. 台大校園網路虛擬計價系統實作及流量控制實驗

在國內的校園網路環境裡，由於是免費的使用且常缺乏適當的流量控管機制，因此存在著不合理與不公平的網路使用情形，也造成了不良的網路使用品質。以台灣大學宿舍網路為例，少數的網路使用佔用了網路資源，造成了大多數使用者要忍受不好的網路品質，如何結合網路技術發展趨勢進行有效的網路管理，使得網路被合理與公平的使用，是重要而具挑戰性的研究課題。

我們研發出一套網路實驗環境來支援網路管理的研究，包括差別服務的導入，使用者使用模式的瞭解，利用優先權的管制，尖、離峰負載計價政策與頻寬分配等等。此一實驗環境利用現有的網路環境整合成一個簡單的、具二或三種差別服務等級環境，避免更動任何通訊協定與應用程式，達成一個可廣泛運用於校園網路的虛擬計價系統，並實際架構在台大校園網路的環境裡，以作為實驗平台。為達成優先權之差別服務等級與頻寬分配，我們選用了一種品質服務路由器；為了可以研究使用者的行為模式與對管理方式的反應特性，我們精心決定了網路流量的量測、讀取和記帳資訊項目；再者，尖、離峰負載計價政策的實行決定了我們運用使用者介面的方便性和記帳／收費運作模式，以達到使用者付費的基本原則。最後，我們就擴充性問題來分析此系統的效能，發現當網路使用者日趨增多時，在一個 Class B 的網路使用者的環境裡，如果考慮 Netflow 計算流量的機制，計價系統的統計週期為 3 分鐘。在服務品質路由器之效能方面，CPU 的負載與記憶體的使用也是可以勝任的。現分述各項成果如下。

### II.1 網路管理

台大目前校園網路管理是以流量監控為主，以下我們簡略的介紹兩個使用中的網路監控工具：MRTG、NetFlow。

#### 一、MRTG (Multi Router Traffic Grapher)：

MRTG 是一套適用範圍廣泛的流量統計工具，透過 SNMP 與指定的路由器溝通，經由路由器上的 MIB 得到一些與網路相關的統計值，再將這些統計值以圖表處理，以 GIF (Graphics Interchange Format) 圖檔和網頁 (HTML) 形式提供網管人員以瀏覽器 (Browser) 讀取。

#### 二、NetFlow：

此與 MRTG 最大不同在於：NetFlow 所量測到的資料是針對流經 Cisco 路由器上每個封包的詳細資訊，MRTG 則是針對於路由器上 MIB 的相關資訊。Netflow 可針對每個 IP 做流量的統計，產生許多關於流量的報表。NetFlow [Netflow99] 架構在 Cisco 7513 路由器下，並量測所有的經由此路由器之資訊流，量測資訊流的資料型態主要包含：來源、目的之 IP 位址，流量流入、流出路由器之介面卡號碼 (依據 MIB 值)，流量的封包數目、大小，來源、目的埠數 (port numbers)。

### II.2 校園虛擬計價系統的實作

我們在學校宿舍網路裡設計並實作了網際網路差別服務計價系統實驗平台，如圖二所示。在這個實驗平台的網路環境裡包括了一個品質服務保證 (QoS) 路由器、一個資料量測 (Metering) 路由器、一個量測讀取 (Metering reader) 伺服器、一個記帳／收費與流量控制伺服器和一個使用者介面伺服器。圖 1 中服務品質路由器左側是網路使用者所在的網段。

### II.3 服務品質路由器

服務品質路由器是由台大資管所孫雅麗老師的學生所發展出來，它包含了分類器 (Classifier)、佇列

組成 (Queue component)、排程器 (Scheduler)、調節器 (Regulator) 和網路介面驅動 (Interface Driver)。當一個封包進入路由器後，分類器為依據封包的來源 IP 與優先權表格的設定將該封包送入適當的優先權佇列。優先權佇列為三個佇列所組成：高、中和低優先權佇列。當高優先權佇列內有封包在裡面時，排程器會將該封包優先送出。此時在中優先權與低優先權佇列的封包會等候高優先權的封包全部送出去後，才會輪到中優先權的封包。由於此路由器符合我們所要求的功能，利用優先權的控制可以等化我們計費政策的服務等級，例如：高優先權即是快速服務等級 (Express service)，中優先權即是一般服務等級 (Regular service)，低優先權為低服務等級 (Custody service)。又經我們測試的結果，確實符合功能所宣稱，因此，我們以此路由器來當作網路資源管理的路由器。

### II.4 實作系統分析

目前在台大的宿舍網路的環境架構下，大約有 4500 個網路使用人數，且以每十分鐘為週期來統計網路使用者的傳送量。我們將分析此系統的可擴充性。

#### 計價系統之擴充性討論

當學生宿舍網路達到一個 Class B 時，即使用者大約為 64516 (254 × 254) 人。在此假設當網路使用者達到 65000 人時，一個週期十分鐘，Netflow 每秒量測到資訊流的資料為 1500000/(10×60)筆。由於 Cisco 路由器在目前是位於台大校園網路出口的樞紐上，所量測的資訊流記錄筆數恰是一個 Class B。

假設 Netflow 統計流量所需的時間可以由 10 分鐘縮減到 138 秒，則一個超過配額的使用者，至多可以超額的傳送 276 秒 (統計週期時間 + 系統處理時間)。但若考慮 Netflow 統計流量的機制，最快且合理的時間應該是 3 分鐘。因此，在此情形之下，一個超過配額的使用者，至多可以超額的傳送 5 分 18 秒。

#### 服務品質路由器之擴充性

當網路使用者增加時，服務品質路由器效能是個重要的問題。在作業系統核心裡需要記錄一個所有使用者優先權等級的表格，因此，會多佔用記憶體，又當流量增加時，CPU 負載也有可能會相對的增加。在記憶體方面，在路由器裡記錄每一個 IP 位址會佔用 32 個位元，又每個優先權等級佔用了 2 個位元，此服務品質路由器共支援三個優先權服務等級，假設共有 65000 個網路使用者，就需要：

$$\begin{aligned} 65000 \times 32 \times 3 \times 2 \text{ bits} &= 12.48 \times 10^6 \text{ bits} \\ &= 1.56 \text{ M Bytes} \end{aligned}$$

這對現行的網路設備而言是輕而易舉的達成。

在路由器的 CPU 負載方面，理論上會隨流經網路介面卡的封包流量速率而增加。而封包流量則隨所給定的輸出頻寬。依據上述所言，我們從目前環境裡，路由器輸出頻寬為 54Mbps，統計民國九十年五月二十六日路由器輸出封包的流量速率與 CPU 負載值，如圖三所示，其中 X 軸為當天的時刻，左邊之 Y 軸為當時 CPU 的負載值，右邊之 Y 軸為當時路由器輸出之以封包為單位之總流量速率。發現兩者的圖形走勢十分相識，依此繪製了民國九十年五月二十六日至民國九十年五月三十日 CPU 負載值對封包輸出總流量速率之

關係圖，如圖四所示，發現兩者之關係呈線性的走勢。當輸出頻寬約為 90Mbps 時，路由器的 CPU 負載約為 80% 左右，與使用者的人數無關。因此，當網路使用者到達 65000 人時，服務品質路由器與 Cisco 路由器在我們的分析之下是可以負荷的。

在校園網路、政府機關或企業網路架構 VPN 環境裡，此計價系統可以使用於任何的網路使用者，並針對不同的網路使用者給予不同的優先服務等級或不同的網路使用配額，已達到網路擁塞控制的目的。在社區網路方面，通常每個住戶每個時期繳交固定的上網費用來租用一條網路線，但是此種作法卻對低網路使用量的住戶極不公平，所以系統也可以運用在此，來達到公平的目的。因此，我們將此系統定位在 Ethernet 網路環境裡具有差別等級服務之可操作的系統，且可以服務小型規模的網路使用者。

## II.5 校園網路實驗結果與分析

為了改善現在台大宿舍網路不公平的使用情形及進一步達到宿舍網路流量控制，我們利用差別優先權服務(prioritized services)以進行流量控制的方法，搭配給每位使用者每天相同的配額(quota)，一開始每位使用者皆能用他的配額來使用一般服務等級(regular service)，若他使用完畢他的配額則他只能使用較差的服務等級(custody service)。而考量宿舍往校外的交通流量較往校內大，故我們本階段先以宿舍往校外為控制對象。

在實驗上，我們進行了配額實驗(quota experiment)以探討配額對使用者行為及網路品質之關係，首先，在配額實驗結果上(如表一)，在三個不同實驗階段：無控制(Baseline)，2GB 之配額量和 1GB 之配額量中，隨著 quota 制度之實行與配額量之減少，則針對一般服務等級，每人每天平均傳輸量，全宿舍的最大用戶日使用量及全宿舍使用者的日使用量標準差皆有顯著的下降。然而 1GB 之配額量，卻僅會影響到，全宿舍之前 3% 之大用戶。而觀察整個宿舍網路之使用者行為，我們發現當實行 1G 之配額量時，校外之流量下降了 29.8%，而校內流量上升了 42.7%，其詳細之統計量如表二。及一天之每隔十分鐘之流量統計圖如圖五。由以上統計結果表示經由我們的配額量控制機制，可有效地引導使用者降低 Internet 之稀少資源之使用，而鼓勵使用校內充裕頻寬之使用。

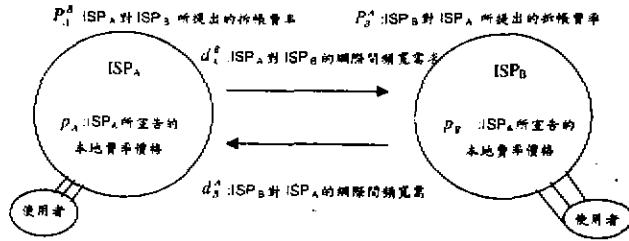
另觀察整體宿舍網路之壅塞情況，可由宿舍網路之拋棄量(drop rate)比較之，由實驗結果(如圖六)，我們得知隨著配額量之下降，平均之 drop rate 會從 Baseline 之 5.95Mbps 下降到 2GB 之 3.98Mbps 及 1GB 的 3.04Mbps，故我們亦可得知，經由我們的優先權流量控制，則網路之品質亦會有明顯地改善。

## 三、計劃成果自評

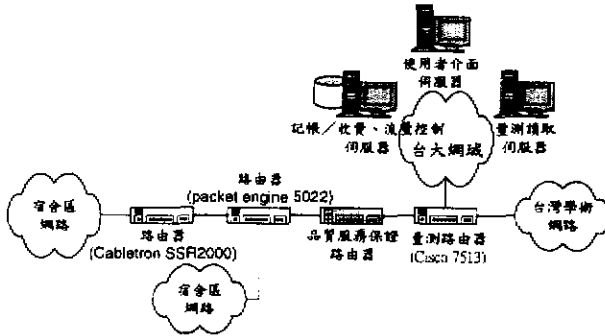
本計劃與原本的研究目標非常地接近，我們建構了多個 ISP 之間計價折帳模型與市場機制且提出演算法解決問題。此外在台大校園網路上，我們實作一虛擬計價系統且與其他子計劃的促成工具(服務品質路由器)作整合去進行網路交通控制的實驗，並已有初步的實驗結果及分析。

## 四、參考文獻

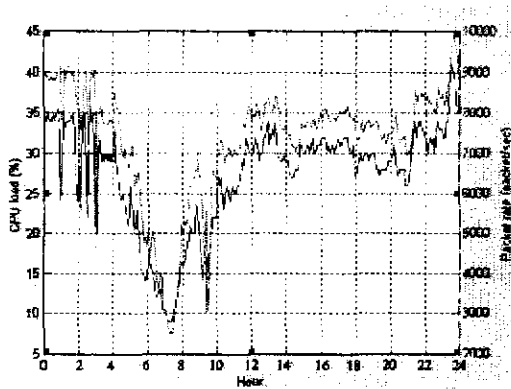
1. 周怡廷，“校園網路虛擬計價系統之設計與實作”，碩士論文，台灣大學，2001。
2. 錢膺仁，“相對品質網路服務雙邊折帳模型之研究”，碩士論文，台灣大學，2001。



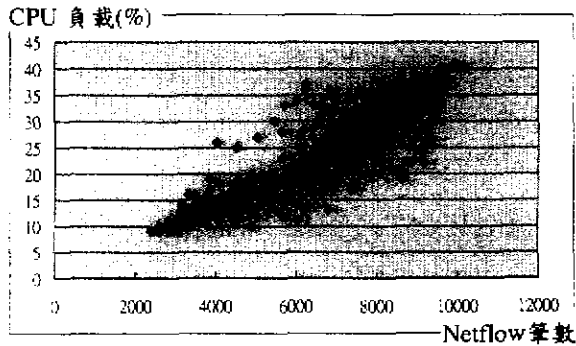
圖一、ISP 間之拆帳模型



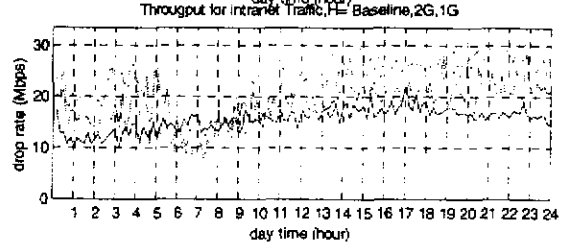
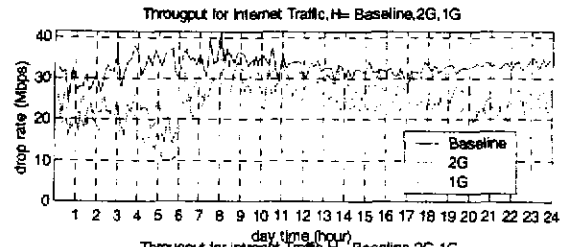
圖二、實驗環境的拓模圖



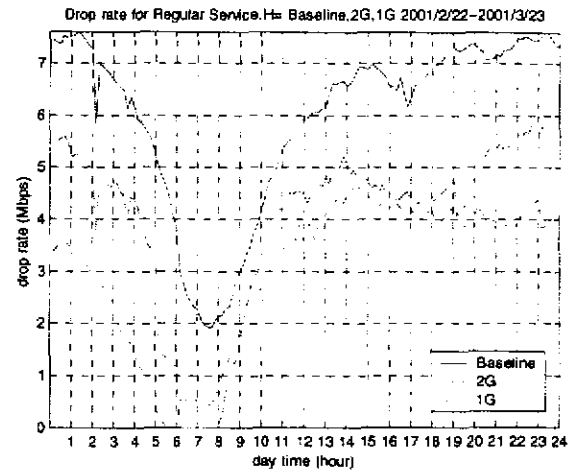
圖三、五月二十六日路由器 CPU 的負載值與輸出封包流量速率



圖四、五月二十六日至五月三十日 路由器 CPU 的負載值與輸出封包流量速率關係圖



圖五、校內及校外之一天每個時段之統計量



圖六、Drop rate 之比較

配額量 統計項目	Baseline	2GB	1GB
每人每天平均 傳輸量 (MB)	107.1	92.50	77.23
最大用戶之日 傳輸量(GB)	22.55	6.21	4.06
標準差 (MB)	641.5	415.81	319.24

表一、實驗結果中基本資訊之比較

配額量 統計項目	Baseline	2GB	1GB
校外之傳輸總 量(Mbps)	32.89	25.85	23.09
校外之傳輸總 量(Mbps)	15.52	18.66	22.15

表二、實驗結果中校內外流量之比較