

國立中山大學電機工程研究所

碩士論文

指導教授：李錫智 博士



一個簡易的利用排程器狀態資訊的動態網路流量調整機制

*A dynamic regulation scheme*

*with scheduler feedback information for multimedia network*

研究生 石翔任 撰

中華民國 九十年 七月

# 摘要

傳統的調整方法不考慮排程器的狀態，因此即使當排程器的貯列已接收過多細胞或已經空了時，欲被傳送的細胞仍然會在調整器內等待，造成較長或不必要的延遲，並浪費有限的資源。我們提出一種動態的調整機制，其調整的功能會隨著被調整的連線特徵及排程器的狀態而改變。對某一個連線來說，當有太多其他連線的細胞送入排程器時，會加速調整器的傳輸速度，藉由更準確地控制接鄰兩細胞由排程器送出的時間間隔，將網路的延遲降低下來，並且維持排程器該提供給某個連線的頻寬。而當排程器的貯列空了時，也會加速調整器的傳輸速度，藉以增加排程器的 throughput。同時我們亦加入 jitter 的考慮，以符合使用者對即時網路的服務品質 (QoS) 需求。而由於我們的方法並不需經過大量複雜的計算，所以其可適用在高速網路上。經由模擬的結果顯示出我們的動態調整機制可以比其他方法達到較好的效能。

**關鍵字：**調整器，排程器，延遲，速率變動，ATM 網路，probability mass function (PMF)。

# ABSTRACT

Most proposed regulation methods do not take advantage of the state information of the underlying scheduler, resulting in a waste of resources. We propose a dynamic regulation approach in which the regulation function is modulated by both the tagged stream's characteristics and the state information fed-back from the scheduler. The transmission speed of a regulator is accelerated when too much traffic has been sent to the scheduler by the other regulators or when the scheduler's queue is empty. As a result, the mean delay of the traffic can be reduced and the scheduler's throughput can be increased. Since no complicated computation is involved, our approach is suitable for the use in high-speed networks.

Keywords: ATM networks, regulator, scheduler, delay, rate jitter, probability mass function (PMF).

# 目錄

摘要 .....	i
Abstract .....	ii
<b>第一章 簡介 .....</b>	<b>1</b>
<b>第二章 調整及排程機制 .....</b>	<b>4</b>
2.0 概述 .....	4
2.1 調整機制 .....	6
2.2 排程機制 .....	7
2.3 系統架構 .....	8
2.4 RCSP .....	10
2.5 Dynamic R&S .....	11
<b>第三章 我們的方法 .....</b>	<b>14</b>
3.1 不考慮 jitter .....	14
3.2 考慮 jitter .....	21
<b>第四章 數學分析 .....</b>	<b>23</b>
<b>第五章 模擬結果 .....</b>	<b>29</b>
<b>第六章 總結與未來展望 .....</b>	<b>45</b>

參考文獻..... 46

# 圖表目錄

圖 2.1	系統架構圖.....	10
圖 3.1	第 $k$ 個細胞送入排程器時的排程器狀態 .....	16
圖 3.2	圖 3.1 經過 5 個 time slot 後的排程器狀態 .....	16
圖 3.3	圖 3.1 經過 6 個 time slot 後的排程器狀態 .....	16
圖 3.4	圖 3.1 經過 7 個 time slot 後的排程器狀態 .....	16
圖 3.5	time slot $S_0$ 時的系統狀態 .....	19
圖 3.6	RCSP 及 Dynamic R&S 在 $S_0+3$ 時的系統狀態.....	19
圖 3.7	我們的方法在 $S_0+3$ 時的系統狀態 .....	19
圖 5.1	ON-OFF model 狀態轉移圖 .....	29
圖 5.2	第一個模擬 source 0 的 PMF of $X$ .....	32
圖 5.3	第一個模擬 source 1 的 PMF of $X$ .....	32
圖 5.4	第一個模擬 source 2 的 PMF of $X$ .....	33
圖 5.5	第一個模擬 source 3 的 PMF of $X$ .....	33
圖 5.6	第一個模擬 source 4 的 PMF of $X$ .....	34
圖 5.7	第一個模擬 source 5 的 PMF of $X$ .....	34
圖 5.8	第一個模擬 source 6 的 PMF of $X$ .....	35
圖 5.9	第一個模擬的 $X$ 平均值.....	36
圖 5.10	第一個模擬的 throughput.....	36
圖 5.11	第一個模擬的平均延遲.....	37
圖 5.12	第一個模擬的最大延遲.....	37
圖 5.13	第二個模擬 source 0 的 PMF of $X$ .....	39

圖 5.14	第二個模擬 source 1 的 PMF of X.....	39
圖 5.15	第二個模擬 source 2 的 PMF of X.....	40
圖 5.16	第二個模擬 source 3 的 PMF of X.....	40
圖 5.17	第二個模擬 source 4 的 PMF of X.....	41
圖 5.18	第二個模擬 source 5 的 PMF of X.....	41
圖 5.19	第二個模擬 source 6 的 PMF of X.....	42
圖 5.20	第二個模擬的 X 平均值.....	43
圖 5.21	第二個模擬的 throughput.....	43
圖 5.22	第二個模擬的平均延遲.....	44
圖 5.23	第二個模擬的最大延遲.....	44
表格 5.1	第一個模擬的一些參數.....	29
表格 5.2	第二個模擬的一些參數.....	38

# 第一章 簡介

在設計支援多媒體或即時網路時的一大挑戰便是須能提供服務品質 (QoS : Quality of Service) 的保證 [7] , 這些品質保證通常是以峰對峰細胞延遲的變動 (Peak-to-peak Cell Delay Variation : peak-to-peak CDV 或非正式稱為 delay jitter)、最大細胞傳輸延遲 (Maximum Cell Transfer Delay : maxCTD)、細胞丟失的機率 (Cell Lose Rate : CLR)、細胞錯誤的機率 (Cell Error Rate : CER)、平均延遲、頻寬 (throughput) 及頻寬的變動 (rate jitter) 等或其組合的形式來表示 [20]。調整 (regulation) 與排程 (scheduling) 的機制是滿足服務品質保證的一個關鍵因素。許多的調整與排程演算法被提出 , 例如 Packet by packet Generalized Processor Sharing (PGPS) [14]、Rate Controlled Static Priority (RCSP) [19]、Carry Over Round Robin (CORR) [17]、Traffic Controlled Rate Monotonic (TCRM) [11]、the two class paradigm [18] 及 Dynamic Regulation and Scheduling (Dynamic D&S) [8] 等。一些靠計算 deadline 的服務策略如 PGPS 能提供較好的保證 , 但它卻因高複雜度而受到爭議 ; 其他一些較簡單的服務策略如 RCSP 等 , 利用調整器先將來源做適當



調整，將其流速控制在一事先協商好的速率下，再將調整過的流量送進排程器，透過適當的排程演算法來達成所要求的服務品質。RCSP 使用最簡單的 First Come First Served (FCFS) 貯列作為他的排程器；CORR 利用 round-robin 排程器以達到公平性 (fairness)；TCRM 使用 rate-monotonic priority queue 作為排程器；而 Dynamic R&S 基本上是動態版本的 RCSP。

一個 rate-base 調整與排程演算法的明顯缺點便是調整與排程的機制是分開動作的，這些方法無法達到較嚴格的 QoS 需求，並且也未將頻寬作最有效的應用。因為調整器的機制只考慮單一連線所造成的影響，而多個調整過的流量同時進入排程器，這時不同的連線間彼此也會互相影響到 QoS。同時一個連線的峰值流量通常遠大於平均流量，而為了達到較大的統計上多工 (statistical multiplexing)，當在作允入控制 (CAC : Connection Admission Control) 時，通常會取一個介於峰值流量及平均流量間的有效頻寬來做允入控制 [2, 5, 6, 9, 16]。因此雖然平均來講，允入的連線總流量可以使各個連線的 QoS 達到滿足，但在某一瞬間，各連線的總流量卻有可能大到足以使某些連線的 QoS 需求被破壞 (如遭遇較大延遲或獲得較少頻寬)，故有需要將此情況偵測出來以達到較佳的 QoS；另一方面在某一瞬間各連線的總流量也有可能小到令排程器的貯列經常處於沒有

細胞可排程的狀態，若當排程器的貯列已經沒有細胞可排程時，卻仍有細胞留在調整器的緩衝區裡，此時便造成不必要的延遲及資源的浪費。因為細胞需要經過調整通常只是為了不讓過多的流量破壞 QoS 的需求，當總流量不大時可在滿足 QoS 的情況下加快調整器送出細胞的速率，以善用多餘的頻寬來提高某些連線的 throughput 並降低延遲。而在一些較注重即時服務的網路系統下，調整器的機制也被用來控制瞬間的流量變動 (rate jitter)，因此我們在加快調整器送出細胞的速率時，也必須同時考慮到 rate jitter。

針對以上所提到的問題，我們提出一種動態調整機制，其同時參考個別連線特性並利用排程器狀態資訊以擷取其他連線對某一連線所造成的影響。經由模擬結果顯示我們的方法確實能比其他方法提供較好的 QoS。

本篇論文的架構如下：第二章概述 ATM 網路、調整及排程機制，並介紹兩種調整及排程演算法：RCSP 及 Dynamic R&S。第三章描述我們基於 RCSP 的改良演算法。第四章提供一些數學分析。第五章展示出模擬的結果，以比較我們的方法與 RCSP 及 Dynamic R&S。最後由第六章總結這篇論文。

## 第二章 調整及排程機制

### 2.0 概述

由於網路的使用在目前已達到相當普及的程度，在一個網路系統下隨時有著大量的資料在傳送著，同時隨著網路應用的多元化，網路的使用者已不像早期只要資料能送到目的地就好。為了能透過網路觀賞高品質的多媒體，或者為了經由網路達成即時的視訊會議，傳統只採用簡單 best effort 策略的 IP 網路已無法滿足使用者的需求。

各種不同的解決方案被提出以符合使用者的需求，包括由現有的 TCP/IP 網路加入一些控制旗標等。然而由於當初在制定 IP 協定時所造成的一些限制，如封包可能走不同的路徑等，即使到了 IPv6 仍然無法有效的提供使用者所需的品質保證。而另一被視為最有可能提供 QoS 的便是採用 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 網路，因為 ATM 在設計時便有考慮到要能滿足各種不同的需求，依據 ATM forum 的標準 [20]，將網路服務分為 Constant Bit Rate (CBR)、Real-Time Variable Bit Rate (rt-VBR)、Non-Real-Time Variable Bit Rate (nrt-VBR)、Unspecified Bit Rate (UBR)、Available Bit Rate (ABR)

及 Guaranteed Frame Rate (GFR)。並且 ATM 網路的封包為固定長度 (53 bytes) 的細胞，較容易達成硬體實作，因此目前有相當多的骨幹網路是採用 ATM。

當使用者要使用 ATM 網路時，須提供一些流量參數 (traffic parameter) 並建立契約 (traffic contract) 以作為提供 QoS 的依據，流量參數包括峰值細胞率 (Peak Cell Rate : PCR)、平均細胞率 (Sustainable Cell Rate : SCR)、最大暴衝尺寸 (Maximum Burst Size : MBS)、最小細胞率 (Minimum Cell Rate : MCR) 及最大訊框尺寸 (Maximum Frame Size : MFS) 等。網路系統參考所訂定的契約，並依據所採用的策略，提供為達到 QoS 所需的資源給一個網路連線，並對違反契約的連線給予適當的制裁，如丟掉過多的細胞等。

要達到良好的 QoS 保證通常需要配合良好的允入控制、調整機制及排程機制，有時也將設計完整的允入控制、調整機制及排程機制的組合稱為 service discipline。允入控制著眼於連線等級 (connection level)，給予粗略的評估是否接受一個新連線會破壞已經存在連線的 QoS；調整機制著眼於暴衝 (burst level) 或封包等級 (packet level)，確保各個連線在實際傳送時有符合所宣稱的流量特徵；而排程機制則用來解決不同連線間的競爭問題。這篇論文著重在調整機制，假設網路系統中存在的連線已經由適當的允入控制

處理，並且用最簡單的 FCFS 排程機制。

## 2.1 調整機制

有時調整也稱為 shaping，即將網路的流量削為某種形狀（即特性），以使網路能有較好的效能以滿足 QoS，或將與契約不符合的流量削為符合契約。有許多的調整機制被提出 [1, 3, 10, 15]，在此簡述一些調整機制。

Leaky bucket:

其應用一個會漏水的水桶的觀念，水桶有固定的容量，並且以固定的速率漏著水。對應到網路變化為兩個參數，水桶的容量（或稱之為水桶的深度）便代表封包緩衝區的大小  $b$ ，如果連線的來源端送出過多的封包使得緩衝區滿了（水桶滿了），則過多的封包將被捨棄；而當緩衝區裡有封包等著傳送時（水桶裡有水），便會以固定速率送出封包（以固定速率漏著水）。

Token bucket:

Token bucket 基本上是 leaky bucket 的變形，其加入 token 的觀念，token 以固定的速率產生，產生的 token 存放在 token buffer 中，token buffer 的大小限制在  $b$ 。每當封包緩衝區裡有封包等著傳送時，

便檢查 token buffer 裡是否有 token，若有 token 則可以輸出端實體鏈結 (link) 的速率送出封包，且每送出一個封包便須由 token buffer 裡移去一個 token，若 token buffer 裡沒有 token，則不能送出封包。

Burst spacing ( $X_{min}$ ,  $X_{ave}$ ,  $I$ ,  $S$ ):

其調整接鄰兩封包的送出時間， $X_{min}$  表示能送出接鄰兩封包的最小時間間隔， $X_{ave}$  表示在  $I$  這段時間內送出接鄰兩封包的平均時間間隔， $S$  則代表最大的封包尺寸。

## 2.2 排程機制

排程的目的是為了決定當同時有多個連線要傳送時，哪一個連線可以取得網路的使用權[12]。排程機制一般可分為沒有優先等級及有優先等級，而有優先等級的排程機制又可分為靜態優先等級及動態優先等級。

沒有優先等級的排程法如 FCFS 及 round-robin 等。FCFS 是最簡單的排程法，其只由封包進來的先後順序來決定網路資源的使用權，即先進來的先使用，通常 FCFS 的效能最差，然而其卻因最易於實作的特性而仍有其存在價值，並且在其他排程機制中也常需搭配 FCFS 使用。Round-robin 則以輪流的方式決定資源使用權，即若有三個連

線 A、B 及 C，則 A 傳完換 B 傳，B 傳完換 C 傳，C 傳完又換回 A 傳，至於每一次輪到某一個連線時可以傳多少個封包則又可分為靜態分配及動態分配而衍生出各種 round-robin 排程法的變形。

靜態優先等級的方法依據事先定義好的優先等級決定網路資源的使用權，當有較高優先等級的連線要傳送封包時，較低優先等級的連線便不能傳送。而又可將其分為有限個數優先等級及連續優先等級（即理論上可分為無限個優先等級）。有限個數優先等級如只將網路連線分為即時及非即時兩個類型，通常賦予即時連線有較高優先等級。連續優先等級如 rate-monotonic priority，其定義有較大速率的連線擁有較高的優先等級。

動態優先等級則是最複雜的一種，其優先等級會隨著時間或各種動態條件而變，例如以 rate-monotonic priority 為基礎，但會因 cell lose rate 的增大而提高優先等級等。理論上動態優先等級可以得到較好的效能，然而其常因演算法太過複雜或無法以硬體實作而不適用於高速網路。在 OC-192 將近 10G bps 的高速網路下，約只有幾十個 nano-second 的時間可以決定下一個將被傳送的細胞，因此複雜度在高速網路下是一個相當重要的參考因素。

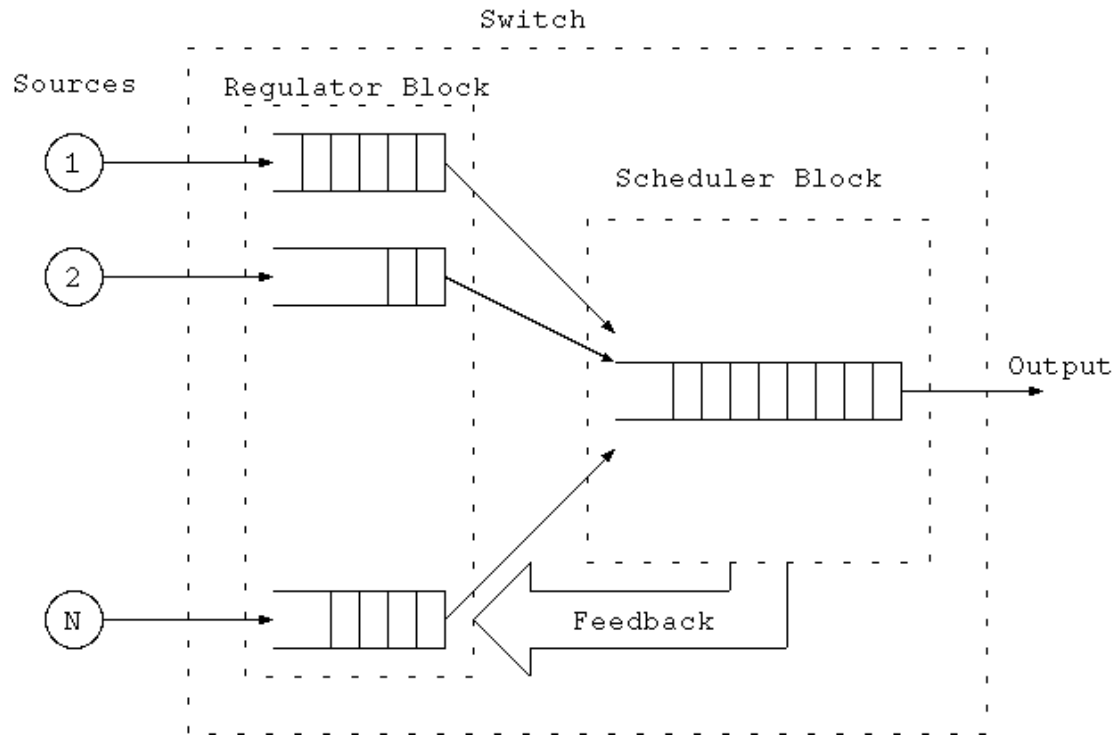
## 2.3 系統架構

我們所採用含有 N 個連線的系統架構如圖 (2.1) 所示，其若去掉 feedback 即為 RCSP 的系統架構，每一個連線經過一個 rate-jitter controlling 調整器以控制其流量，因為我們使用 rate-jitter controlling 調整器，這篇論文提到的 jitter 是指 rate-jitter 而非 delay-jitter。在一個 rate-jitter controlling 調整器中，第 i 個連線的第 k 個細胞允許由調整器送出的時間  $ET_k^i$  定義為：

$$ET_k^i = \begin{cases} AT_1^i, & k = 1 \\ \max(ET_{k-1}^i + T_i, AT_k^i), & k > 1 \end{cases} \quad (2.1)$$

其中  $AT_k^i$  表示第 i 個連線的第 k 個細胞進入調整器的時間， $T_i$  表示第 i 個連線經由協商所允許的接鄰兩細胞可送出的最小時間間隔，經過調整的流量便送入 FCFS 排程器中。而實際上接鄰兩細胞由排程器送出的時間間隔會影響到細胞所遭遇到的延遲，同時也影響到某一連線所獲得的頻寬，因此我們便設法減少實際上接鄰兩細胞由排程器送出的時間間隔。我們的方法雖不限制適用於 ATM 網路，然而取其封包具有固定長度的方便性，因此本篇論文中以 ATM 的細胞(cell) 通稱封包。





圖(2.1) 系統架構圖

## 2.4 RCSP

由於我們的方法是根據 RCSP 加以修改，因此先簡單描述 RCSP 的調整及排程機制。RCSP 採用將控制速率的調整機制及控制延遲的排程機制分開的方法，因為之前的一些 time-framing 的方法容易造成大頻寬有小延遲，而小頻寬卻有大延遲的缺點，而實際上一些連線雖要求大頻寬，然而其可容忍大延遲（如透過 ftp 傳送大檔案），相對的一些連線雖要求小頻寬，卻只能容忍較小的延遲（如語音）。在 RCSP 的方法下，調整器與排程器的動作是完全獨立的。調整器單純地依照

方程式(2.1)來決定細胞可以送出的時間，而排程器則單純地使用 FCFS 的策略。這樣的方法希望能以相單簡單的做法儘量滿足使用者的 QoS 需求，RCSP 的詳細做法如演算法一所示。

---

#### 演算法一 RCSP 調整與排程演算法

---

**常數：**

$T_i$ ：第  $i$  個連線預期每次細胞傳送間應等待的最小時間間隔。其值由 CAC 決定。

**變數：**

$t_i$ ：第  $i$  個連線目前距離下個可傳送細胞應等待的實際時間間隔。初始值設為零。

**排程器：**

在每一個時槽做以下動作：

檢查貯列裡是否有細胞等待傳送：

若有則由貯列最前頭取出一個細胞傳送出去。

**調整器：**

在每一個時槽做以下動作：

檢查  $t_i$  是否為零：

若為零則檢查貯列裡是否有細胞等待傳送：

若有則由貯列最前頭取出一個細胞傳送出去，將  $t_i$  設為  $T_i$ 。

若不為零則將  $t_i-1$ 。

---

## 2.5 Dynamic R&S

Dynamic R&S 以 RCSP 為基礎，但使用動態的調整機制。因為在

RCSP 的靜態調整機制下，雖然由調整器送出的相鄰細胞間的時間間隔為  $T_i$ ，但由於與其他連線間的互動，當由排程器送出時相鄰細胞間的時間間隔可能大於  $T_i$ ，即頻寬小於  $1/T_i$ 。Dynamic R&S 的調整器基本上還是依照方程式(2.1)來決定細胞可以送出的時間，然而其還會參考排程器所回授回來的資訊，若第  $i$  個連線發現其他連線送至排程器的細胞數已多於  $T_i - 2$  時，雖然依據方程式(2.1)其還沒到可以送出下一個細胞的時間，調整器會提前送出細胞，以期達到一個連線在經由排程器送出時，其相鄰細胞間的時間間隔不要大於  $T_i$ ，故其可降低實際由排程器送出相鄰細胞間的時間間隔大於  $T_i$  的機率。Dynamic R&S 的詳細做法如演算法二所示。

## 演算法二 Dynamic R&S 調整與排程演算法

---

### 常數:

$T_i$ : 第  $i$  個連線預期每次細胞傳送間應等待的最小時間間隔。其值由 CAC 決定。

### 變數:

$t_i$ : 第  $i$  個連線目前距離下個可傳送細胞應等待的實際時間間隔。初始值設為零。

$C_c$ : 排程器累積收到的細胞數。

$C_{c_i}$ : 第  $i$  個連線於上一個細胞送出時的  $C_c$  值。

### 排程器:

每收到一個由調整器送過來的細胞便將  $C_c + 1$ 。

在每一個時槽做以下動作:

檢查貯列裡是否有細胞等待傳送:

若有則由貯列最前頭取出一個細胞傳送出去。

### 調整器:

在每一個時槽做以下動作:

檢查  $C_c - C_{c_i}$  是否大於  $T_i - 2$ :

若是則將  $t_i$  設為零。

檢查  $t_i$  是否為零:

若為零則檢查貯列裡是否有細胞等待傳送:

若有則由貯列最前頭取出一個細胞傳送出去，將  $t_i$  設為  $T_i$ ， $C_{c_i}$  設為  $C_c$ 。

若不為零則將  $t_i - 1$ 。

---

## 第三章 我們的方法

### 3.1 不考慮 jitter

我們的動態調整機制包含兩個部分，第一個部份與 Dynamic R&S 的觀念一樣，均是利用排程器的狀態資訊以偵測是否其他連線送了過多的細胞，若使得某一連線從排程器送出相鄰細胞的間隔時間會大於  $T_i$  時便加速調整器送出的速率。然而我們使用更嚴謹的判斷條件，在 Dynamic R&S 中，調整器提前送出細胞的條件為當第  $k$  個細胞送出後，若在第  $k+1$  個細胞的可送出時間前，其他連線已送出多於  $T_i-2$  個細胞進入排程器，則調整器會提前送出第  $k+1$  個細胞。然而在某些條件下雖然從第  $k$  個細胞送出後，其他連線並未送出多於  $T_i-2$  個細胞進入排程器，由排程器送出的第  $k$  個細胞跟第  $k+1$  個細胞間的間隔時間仍會大於  $T_i$ 。設當第  $k$  個細胞進入排程器時，在排程器貯列中的細胞個數為  $Q_k^s$ ，經過  $p$  個 time slot 後，排程器貯列中的細胞個數變為  $Q^s$ ，若此時第  $k+1$  個細胞由調整器送入排程器，則第  $k+1$  個細胞由排程器送出的時間將比第  $k$  個細胞由排程器送出的時間晚  $Q^s - Q_k^s + p$ ，因此若  $Q^s - Q_k^s + p > T_i$ ，則第  $k+1$  個細胞由排程器送出的時間將

比第  $k$  個細胞由排程器送出的時間晚超過  $T_i$  個 time slot , 因此為了儘量讓第  $k+1$  個細胞由排程器送出的時間不比第  $k$  個細胞由排程器送出的時間晚超過  $T_i$  個 time slot , 便得在偵測到  $Q^s - Q_k^s + p \geq T_i$  時就提前將第  $k+1$  個細胞由調整器送出 , 移項得  $Q^s \geq Q_k^s + T_i - p$  。因此我們將判斷條件修改為若在第  $k+1$  個細胞的可送出時間前 , 若排程器貯列中的細胞個數  $Q^s$  大於或等於  $Q_k^s + T_i - p$  時 , 便提前送出第  $k+1$  個細胞 , 而  $T_i - p$  即表示依據方程式(2.1)第  $k+1$  個細胞還須在調整器內等待的時間 , 設以  $t_i$  表示 , 判斷條件變為 :

$$Q^s \geq Q_k^s + t_i \quad (3.1)$$

注意到我們的判斷條件包含了 Dynamic R&S 的判斷條件 , 因為若由第  $k$  個細胞進入排程器  $p$  個 time slot 後 , 其他連線送入多於  $T_i - 2$  個細胞進排程器 , 而每個 time slot 排程器只能送出一個細胞 , 因此排程器的貯列中的細胞個數  $Q^s \geq Q_k^s + T_i - p$  。

底下以圖示說明這個現象 , 設  $T_i=10$  。圖 3.1 為第  $k$  個細胞送入排程器時的排程器狀態 , 設此時間為  $S_0$  , 而  $Q_k^s = 2$  。在經過 5 個 time slot 後 , 假設調整器在這 5 個 time slot 中沒有細胞送進排程器 , 則排程器狀態如圖 3.2 所示 , 其中的虛線方格代表第  $k$  個細胞已離開排程器的 time slot 數。圖 3.3 則表示又經過 1 個 time slot 後的排程器狀態 , 若其他連線送入 6 個細胞進排程器 , 此時  $Q^s = 6$  ,  $p = 6$  ,

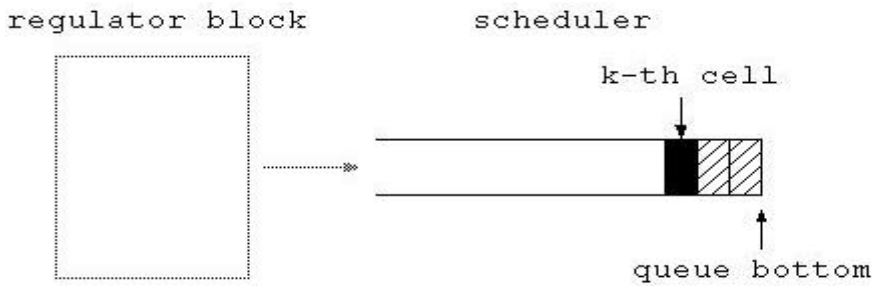


圖 3.1 第  $k$  個細胞送入排程器時的排程器狀態

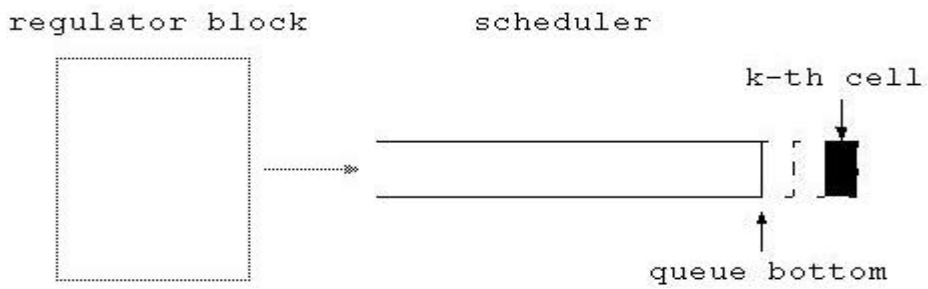


圖 3.2 圖 3.1 經過 5 個 time slot 後的排程器狀態

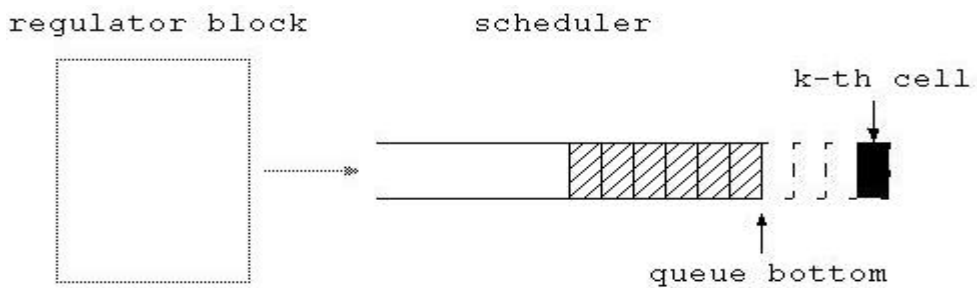


圖 3.3 圖 3.1 經過 6 個 time slot 後的排程器狀態

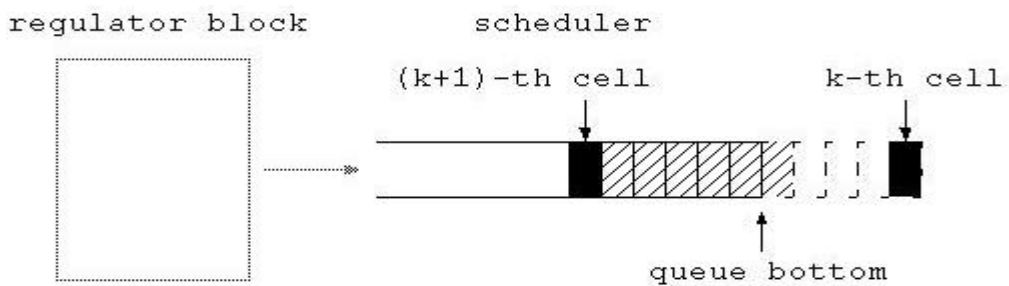


圖 3.4 圖 3.1 經過 7 個 time slot 後的排程器狀態

因為  $6 \geq 2 + 10 - 6$ ，因此依據我們第一部分的動態調整機制，調整器將會在下一個 time slot 提前送出第  $k+1$  個細胞，使得第  $k+1$  個細胞與第  $k$  個細胞由排程器送出的間隔時間等於  $T_i$ ，如圖 3.4 所示。但若使用 Dynamic R&S，此時並不會加快調整器送出細胞的速率，因為  $6 \leq 10 - 2$ 。

而第二個部分則是利用幾乎相反的條件，即各個連線送出的細胞太少時加速調整器送出的速率。如果 server 是在 idle 狀態（在此即指排程器沒有送出細胞），卻還有細胞停留在等待狀態（調整器的緩衝區裡有細胞），稱之為 non-work-conserving，其沒有將資源作最有效的應用；而若只要有細胞停留在等待狀態，server 即不會在 idle 狀態的，稱之為 work-conserving，其可善用有限的資源達到較好的效能，第二個部分的動態調整機制即是要使其成為較有效率的 work-conserving。

由於在大部分的網路系統上，網路的使用率並不會達到百分之百，因此排程器的貯列有不小的機率會是空的。而在傳統的靜態調整與排程演算法中，雖然排程器的貯列已經沒有細胞存在了，調整器仍然依照既定的調整機制來決定細胞的可送出與否，因此會有不必要的延遲產生。我們利用排程器的狀態資訊，當其貯列已經沒有細胞存在時，調整器便可以提前將還在調整器貯列內的細胞送出，以降低平均



的延遲時間並提高 throughput，而其提前的時間設為  $T$ ，其值等於目前所有連線中調整器的 buffer 不為空，且其可送出下一個細胞所需等待的時間中最小的一個。因此我們的做法不但可降低接鄰細胞由排程器送出的時間大於  $T_i$  的機率，並且可提高接鄰細胞由排程器送出的時間小於  $T_i$  的機率，即可提高排程器所給予某一連線的 throughput。

舉一個實例並以圖示說明我們第二部分的動態調整機制，假設在某一 time slot  $S_0$  時，排程器中還有三個細胞在等待傳送，而有三個連線尚須在調整器中等待的時間分別為 9、7 及 10 個 time slot，如圖 3.5 所示。經過 3 個 time slot 後，排程器已送完三個細胞，而在傳統的靜態調整機制及 Dynamic R&S 下，三個連線尚須在調整器中等待 6、4 及 7 個 time slot 方可送出下一個細胞，此時排程器已無細胞可送，故將會有 4 個 time slot 的 idle 時間，造成資源的浪費，如圖 3.6 所示。至於在我們的動態調整機制中，由於偵測到了排程器的貯列已經沒有細胞了，此時便在三個調整器中找出最小的  $t_i$ ，此即  $T$ ，將所有調整器所尚須等待的時間減去  $T$ ，亦即分別成為 2、0 及 3 個 time slot，而等待時間成為 0 個 time slot 的調整器便可立即將細胞送往排程器，以使排程器有細胞可送而減少 idle 的時間，如圖 3.7 所示。

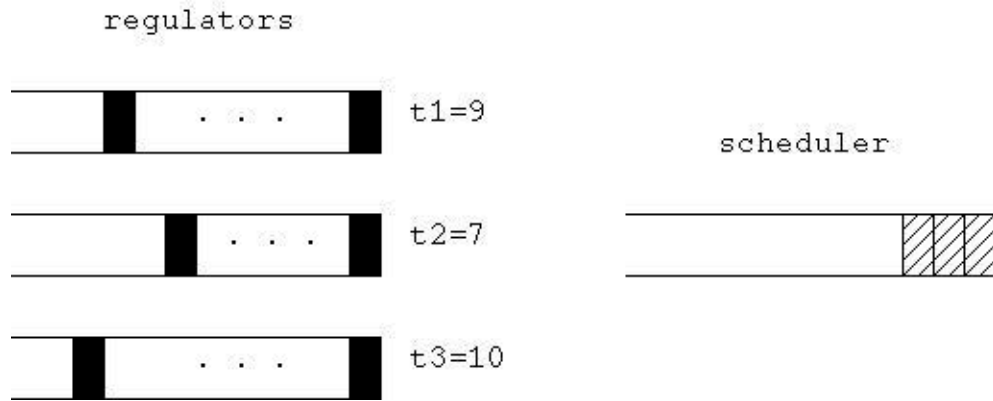


圖 3.5 time slot  $S_0$  時的系統狀態



圖 3.6 RCSP 及 Dynamic R&S 在  $S_0+3$  時的系統狀態

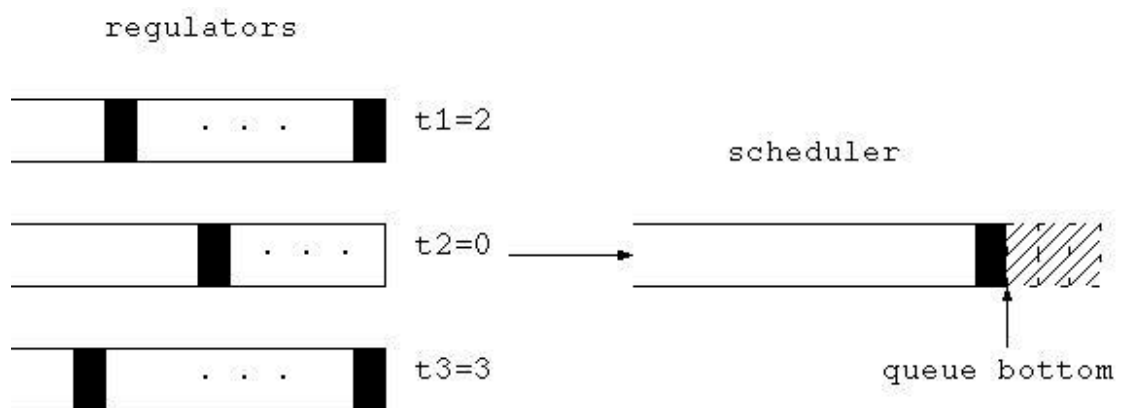


圖 3.7 我們的方法在  $S_0+3$  時的系統狀態

我們的詳細做法如演算法三所示。

---

演算法三 我們的調整與排程演算法(不考慮 jitter)

---

**常數:**

$T_i$ : 第  $i$  個連線預期每次細胞傳送間應等待的最小時間間隔。其值由 CAC 決定。

**變數:**

$t_i$ : 第  $i$  個連線目前距離下個可傳送細胞應等待的實際時間間隔。初始值設為零。

$Q^s$ : 目前排程器的貯列中的細胞個數

$Q_k^s$ : 當第  $k$  個細胞送入排程器時，排程器的貯列中的細胞個數

$t$ : 排程器回授給調整器的值，作為調整器調整  $t_i$  的依據。

**排程器:**

在每一個時槽做以下動作:

檢查貯列裡是否有細胞等待傳送:

若有則由貯列最前頭取出一個細胞傳送出去，讓  $t = 1$ 。

若無則找出調整器裡貯列不為空且  $t_i$  最小者，將  $t$  設為此  $t_i$  值。

**調整器:**

在每一個時槽做以下動作:

檢查是否  $Q^s \geq Q_k^s + t_i$ :

若是則將  $t_i$  設為零。

檢查  $t_i$  是否為零:

若為零則檢查貯列裡是否有細胞等待傳送:

若有則由貯列最前頭取出一個細胞傳送出去，將  $t_i$  設為  $T_i$ ， $Q_k^s$  設為  $Q^s$ 。

若不為零則將讓  $t_i = \max(t_i - t, 0)$ 。

---

### 3.2 考慮 jitter

我們之前的方法雖然可以利用排程器的貯列已經沒有細胞的空檔來降低延遲時間，然而其卻可能造成較大的 rate jitter，即其傳送的速率會有較大變動。在即時的應用環境下，jitter 是一個很重要的考慮因素，或者雖非即時的應用，但因 buffer 的考量而不希望速率變動太大。因此我們將演算法做些微修改，使用者於連線建立時便須告知其所需要的 jitter 參數  $J_i$ ，此參數限制調整器最多只可比  $T_i$  提前  $J_i$  個 time slot 將細胞送出，調整器在作動態調整時便會依照此參數以同時達到提高頻寬降低延遲及不違反 jitter 的需求，因此任一連線的接鄰兩細胞由排程器送出時間的機率分布便會集中在  $T_i$  與  $T_i - J_i$  之間。詳細做法如演算法四所示。

#### 演算法四 我們的調整與排程演算法(考慮 jitter)

---

##### 常數:

$T_i$ : 第  $i$  個連線預期每次細胞傳送間應等待的最小時間間隔。其值由 CAC 決定。

$J_i$ : 第  $i$  個連線可容忍的 jitter。

##### 變數:

$t_i$ : 第  $i$  個連線目前距離下個可傳送細胞應等待的實際時間間隔。初始值設為零。

$Q^s$ : 目前排程器的貯列中的細胞個數

$Q_k^s$ : 當第  $k$  個細胞送入排程器時，排程器的貯列中的細胞個數

$t$ : 排程器回授給調整器的值，作為調整器調整  $t_i$  的依據。

$j_i$ : 第  $i$  個連線還可被提前的  $t_i$  值，初始值設為  $J_i$ 。

##### 排程器:

在每一個時槽做以下動作:

檢查貯列裡是否有細胞等待傳送:

若有則由貯列最前頭取出一個細胞傳送出去，讓  $t = 1$ 。

若無則找出調整器裡貯列不為空且  $t_i$  最小者，將  $t$  設為此  $t_i$  值。

##### 調整器:

在每一個時槽做以下動作:

檢查是否  $Q^s \geq Q_k^s + t_i$ :

若是則將  $t_i$  設為零。

檢查  $t_i$  是否為零:

若為零則檢查貯列裡是否有細胞等待傳送:

若有則由貯列最前頭取出一個細胞傳送出去，將  $t_i$  設為  $T_i$ ， $Q_k^s$  設為  $Q^s$ ， $j_i$  設為  $J_i$ 。

若不為零則將讓  $t_i = \max(t_i - \min(t, j_i), 0)$ ， $j_i = j_i - \min(t, j_i)$ 。

---

## 第四章 數學分析

由於在 RCSP 中每個連線於進入 switch 時需先經過調整器的調整以控制住其進入排程器的最大速率，而其可由調整器送出的時間必須滿足方程式(2.1)，因此假設某一個連線的第  $k$  個細胞進入調整器時有  $Q_k^r$  個細胞（以上標  $r$  表示調整器：regulator，並且不包含這第  $k$  個細胞）存在調整器中，則這第  $k$  個細胞將在調整器中遭遇到介於  $Q_k^r T_i$  與  $(Q_k^r + 1)T_i$  個 time slot 的延遲。而設此第  $k$  個細胞進入排程器時有  $Q_k^s$  個細胞（以上標  $s$  表示排程器：scheduler，並且不包含這第  $k$  個細胞）存在排程器中，則這第  $k$  個細胞又會在排程器中遭遇到介於  $Q_k^s$  與  $Q_k^s + 1$  個 time slot 的延遲。因此若以保守一點的估計，在 RCSP 的方法下，一個細胞在 switch 中所遭遇到的延遲  $D^s$  可表示為：

$$D^s = (Q_k^r + 1)T_i + (Q_k^s + 1) \quad (4.1)$$

至於在 Dynamic R&S 及我們的方法中，由於採用動態的調整機制，因此細胞由調整器中送出的間隔時間不是一個常數  $T_i$ ，若以  $V_i$  表示第  $i$  個連線之細胞由調整器中送出的間隔時間的 random process，則一個細胞在 switch 中所遭遇到的平均延遲  $E[D]$  可表示

為：

$$E[D] = E[(Q_k^r + 1)]E[V_i] + E[(Q_k^s + 1)] \quad (4.2)$$

而實際由排程器送出時的接鄰兩細胞間隔時間  $X$  的倒數即為排程器在這一瞬間實際分配給這個連線的頻寬，亦即當 source 有細胞要傳送時，其 throughput  $H_T$  可表示為：

$$H_T = 1/E[X] \quad (4.3)$$

$X > T$  將使得連線所得到的頻寬比預期的  $1/T$  來的小，故我們利用第一部分的動態調整機制來減少因連線間的相互作用所造成  $X > T$  的情況。

而其實際由排程器送出時的接鄰兩細胞間隔時間  $X$  可由第  $k$  個細胞進入排程器時在排程器中的細胞個數  $Q_k^s$  及第  $k+1$  個細胞進入排程器時在排程器中的細胞個數  $Q_{k+1}^s$  決定，而以下將  $X$  加上上標  $s$ 、 $d$ 、 $o$  及  $oj$  以分別在 RCSP、Dynamic R&S、我們不考慮 jitter 的方法及我們考慮 jitter 的方法下實際由排程器送出時的接鄰兩細胞間隔時間。

基於分析的方便性，我們假設在一個暴衝中，調整器中總是有細胞等待傳送，至於調整器中無細胞時則解釋成 source 處於 idle 狀態，不予列入計算。因此在 RCSP 的方法中，一個連線的第  $k+1$  個細胞與第  $k$  個細胞由調整器送出的間隔時間必為  $T_i$ ，而可得其實際由排

程器送出時的接鄰兩細胞間隔時間  $X^s$ :

$$X^s = T_i + l \text{ when } (Q_{k+1}^s = j + l \mid Q_k^s = j) \quad (4.4)$$

$$\Pr\{X^s = T_i + l\} = \sum_{j=0}^{\infty} \Pr\{Q_{k+1}^s = j + l \mid Q_k^s = j\} * p_q(j) \quad (4.5)$$

其中  $p_q(j)$  表示  $Q_k^s = j$  的機率。

而在 Dynamic R&S 的方法下，由於調整器會偵測其他連線送入排程器的細胞個數，因此一個連線的第  $k+1$  個細胞與第  $k$  個細胞由調整器送出的間隔時間可以小於  $T_i$ ，其實際由排程器送出時的接鄰兩細胞間隔時間  $X^d$  需由其他連線送入排程器的細胞個數決定，以  $A^h$  表示在第  $k$  個細胞送入排程器後接連  $h$  個 time slot 中其他連線送入排程器的細胞個數，則在  $Q_k^s = j$  時， $X^d = T_i + l$  的條件機率為：

when  $l \geq 0$

$$\begin{aligned} \Pr\{X^d = T_i + l \mid Q_k^s = j\} &= \sum_{m=1}^{\min\{j+1, T_i\}} \Pr\{A^m = T_i + l - 1, A^{m-1} \leq T_i - 2\} \\ &+ 1_{\{j \leq T_i - 2\}} * \sum_{m=0}^{T_i - 2} \Pr\{A^{j+1} = m, X^d = T_i + l\} \end{aligned} \quad (4.6)$$

when  $l < 0$

$$\begin{aligned} \Pr\{X^d = T_i + l \mid Q_k^s = j\} &= 1_{\{j > T_i - 1\}} * \Pr\{A^{T_i} = T_i + l - 1\} \\ &+ 1_{\{j \leq T_i - 2\}} * \sum_{m=0}^{T_i - 2} \Pr\{A^{j+1} = m, X^d = T_i + l\} \end{aligned} \quad (4.7)$$



其中  $1_{\{\text{表示式}\}}$  為若表示式成立，其值為 1，否則其值為 0，而  $l \geq 0$  表示加速發生， $l < 0$  則沒有加速。將  $Q_k^s = j$  的條件除去便得到  $X^d = T_i + l$  的機率為：

$$\Pr\{X^d = T_i + l\} = \sum_{j=0}^{\infty} \Pr\{X^d = T_i + l \mid Q_k^s = j\} * p_q(j) \quad (4.8)$$

在我們第一部分的判斷條件中，若  $Q_k^s \geq T_i - 1$  則與 dynamic R&S 一樣，當  $Q_k^s \leq T_i - 2$  時則無法單純從其他連線送入排程器的細胞個數決定，因此方程式(4.6)、(4.7)須改為：

when  $l \geq 0$

$$\begin{aligned} \Pr\{X^{o1} = T_i + l \mid Q_k^s = j\} = & 1_{\{j \geq T_i - 1\}} \sum_{m=1}^{T_i} \Pr\{A^m = T_i + l - 1, A^{m-1} \leq T_i - 2\} \\ & + 1_{\{j \leq T_i - 2\}} * \sum_{m=1}^{T_i - 2} \Pr\{Q_{k,m}^s - Q_k^s = T_i - m + l\} \end{aligned} \quad (4.9)$$

when  $l < 0$

$$\begin{aligned} \Pr\{X^{o1} = T_i + l \mid Q_k^s = j\} = & 1_{\{j \geq T_i - 1\}} * \Pr\{A^{T_i} = T_i + l - 1\} \\ & + 1_{\{j \leq T_i - 2\}} * \Pr\{Q_{k,T_i}^s - Q_k^s = l\} \end{aligned} \quad (4.10)$$

其中  $Q_{k,m}^s$  表示第 k 個細胞進入排程器 m 個 time slot 後，在排程器中的細胞個數， $X^{o1}$  表示只考慮我們第一部分的動態調整機制時的  $X$ ，而  $X^{o1} = T_i + l$  的機率為：

$$\Pr\{X^{ol} = T_i + l\} = \sum_{j=0}^{\infty} \Pr\{X^{ol} = T_i + l | Q_k = j\} * p_q(j) \quad (4.11)$$

其期望值等於：

$$E\{X^{ol}\} = \sum_{l=-(T_i-1)}^{N-2} (T_i + l) \Pr\{X^{ol} = T_i + l\} \quad (4.12)$$

而由於從網路的觀點來看，之所以各個連線需經過調整才能進入排程器是為了避免某一個連線送入過快的細胞而造成 QoS 無法被滿足，因此在不違反 QoS 的情況下，越快將各連線的流量送出不僅可以降低各連線的延遲時間、加快提供給各連線的頻寬，也能提高網路的使用率，我們第二部分的動態調整機制即是要加大  $X < T$  的機率。當網路使用率等於  $r$  時，排程器的貯列將有  $(1-r)$  的機率會是空的，而依照第二部分的動態調整機制當排程器的貯列空了時，將會使調整器提前  $(T-1)$  個 time slot 送出細胞，若以  $\Pr\{T=j\}$  表示  $T=j$  的機率，加上第二部分的動態調整機制後，將可使  $X$  的值減少：

$$\sum_{j=1}^{T_{\max}} (j-1)(1-r) \Pr\{\Delta T = j\} \quad (4.13)$$

其中  $T_{\max}$  表示所有連線中最大的  $T_i$  值。而方程式(4.12)需修正為：

$$E[X^o] = \sum_{l=-(T_i-1)}^{N-2} (T_i + l) \Pr\{X^{ol} = T_i + l\} - \sum_{j=1}^{T_{\max}} (j-1)(1-r) \Pr\{\Delta T = j\} \quad (4.14)$$

而當考慮 jitter 時，由於  $T$  最大只會調整到使用者要求的參數  $J_i$ ，因此方程式(4.13)需修正為：

$$\sum_{j=1}^{J_i} (j-1)(1-r) \Pr\{\Delta T = j\} \quad (4.15)$$

而加上第二部分的動態調整機制後在我們考慮 jitter 的方法下  $X$  的期望值為：

$$E[X^{oj}] = \sum_{l=(T_i-1)}^{N-2} (T_i + l) \Pr\{X^{o1} = T_i + l\} - \sum_{j=1}^{J_i} (j-1)(1-r) \Pr\{\Delta T = j\} \quad (4.16)$$

## 第五章 模擬結果

我們使用 OPNET[21] 模擬一些網路的情況，並比較我們的方法與其他方法在效能上的差異。我們採用的是一個含有 7 個 ON-OFF Markov source 的網路系統，設  $P_{ON}$  表示目前是在 ON 的狀態，而下一個狀態仍然是 ON 的機率， $P_{OFF}$  表示目前是在 OFF 的狀態，而下一個狀態仍然是 OFF 的機率；而由 ON 跳至 OFF 及由 OFF 跳至 ON 的機率分別為  $1 - P_{ON}$  及  $1 - P_{OFF}$ ，其狀態轉移圖如圖(5.1)所示：

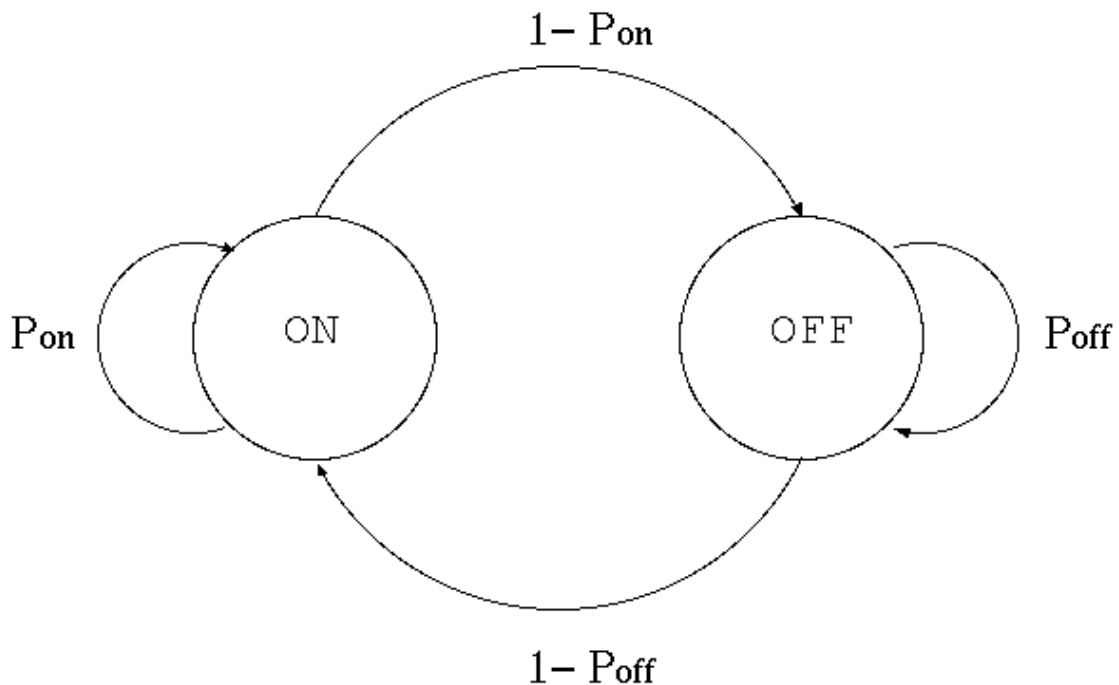


圖 5.1 ON-OFF model 狀態轉移圖

當一個 source 處在 OFF 狀態時，將不會有細胞產生，而當一個

source 處於 ON 狀態時，將會以峰值速率  $P_{arr}$  產生細胞。我們模擬兩種不同的流量條件，一個處於較低的網路負載，而另一個則處於較高的網路負載。

第一個模擬是處於較低的負載下，表格 5.1 列出第一個模擬條件下七個 source 預期的接鄰兩個細胞被送出的間隔時間  $T_i$ 、jitter 限制參數  $J_i$ 、經由量測所得的平均細胞產生率  $\lambda_{ave}$  及  $P_{on}$ 、 $P_{off}$  與  $P_{arr}$ ，其中  $T_i = 1$  的 source 表示其不需經過調整器的調整，即可直接送往排程器，既然不需經過調整，則  $J_i$  參數可被忽略，另外鏈結的容量  $C$  設為 1。

Source	$T_i$	$J_i$	$\lambda_{ave}$	$P_{on}$	$P_{off}$	$P_{arr}$
0	1	0	0.1697	0.8	0.9	0.5
1	1	0	0.1375	0.8	0.9	0.4
2	1	0	0.1393	0.8	0.9	0.4
3	10	4	0.0419	0.8	0.85	0.1
4	10	3	0.0430	0.8	0.85	0.1
5	5	2	0.1102	0.8	0.75	0.2
6	5	1	0.1112	0.8	0.75	0.2

表格 5.1 第一個模擬的一些參數

整個系統的使用率  $= 0.7528$ ，因此排程器的貯列將有  $0.2472$  的機率會是空的，此時我們第二部分的動態調整條件便會成立，因此加快細胞由調整器送入排程器的速率。對於原本就不需經過調整機制調整的 source 0、source 1 與 source 2 而言，四種方法所產生的結果都差不多。然而對於原先需經過調整的 source 3 ~ source 6 而言，可明顯的看出 RCSP 的平均接鄰兩個細胞由排程器送出的間隔時間  $X$  為最大，而我們不考慮 jitter 的動態調整機制有最小的  $X$ ，至於我們考慮 jitter 的動態調整機制則因加速的大小受到限制，因此比不考慮 jitter 的動態調整機制有較大的  $X$ ，然而其還是比 RCSP 及 Dynamic R&S 的方法有較小的  $X$ 。圖 5.2 至圖 5.8 展示各個 source 在四種方法下接鄰兩個細胞由排程器送出的間隔時間  $X$  的 probability mass function (PMF)。以 MDRSJ 表示有我們考慮 jitter 的方法，MDRS 則表示我們沒有考慮 jitter 的方法。

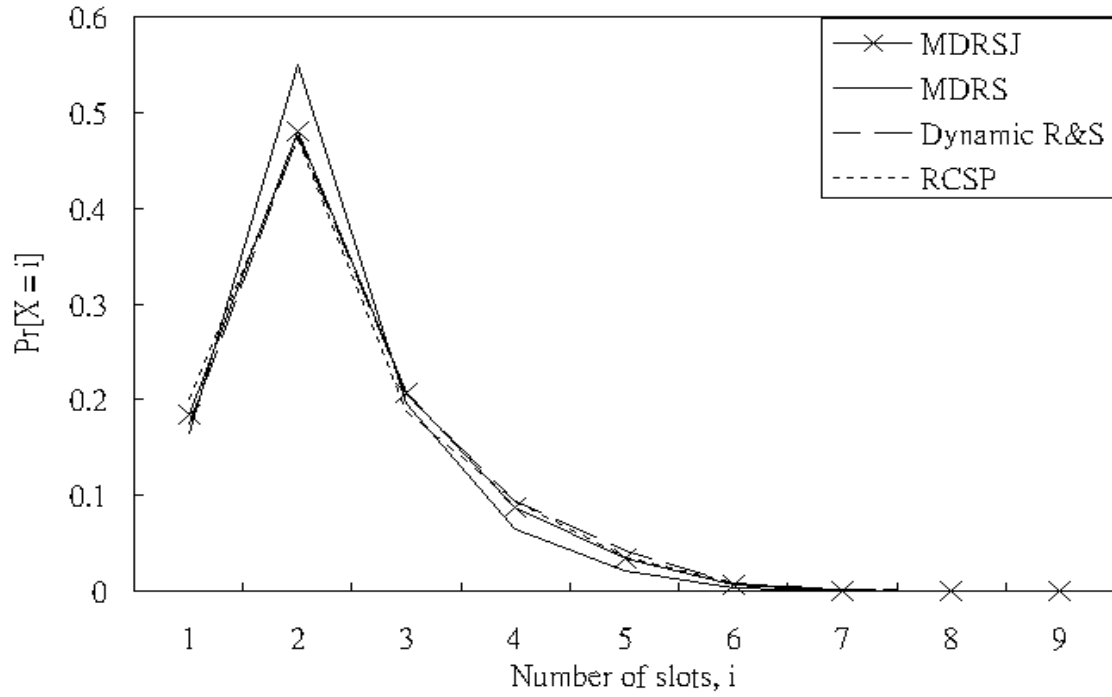


圖 5.2 第一個模擬 source 0 的 PMF of X

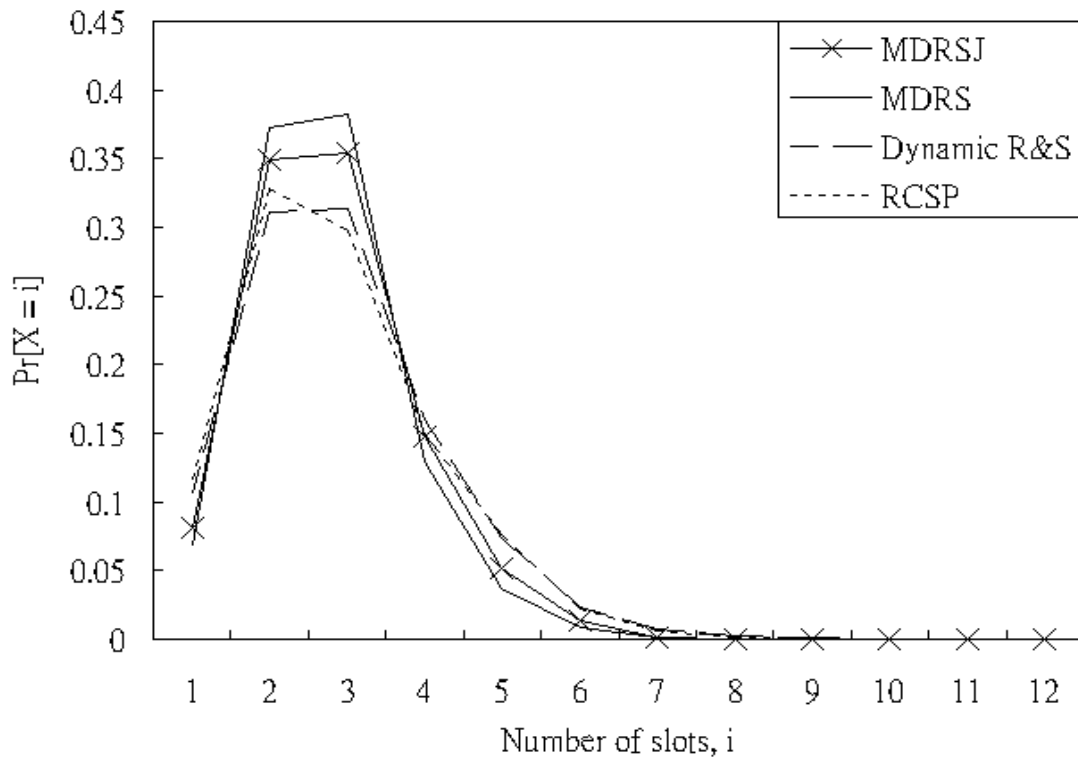


圖 5.3 第一個模擬 source 1 的 PMF of X

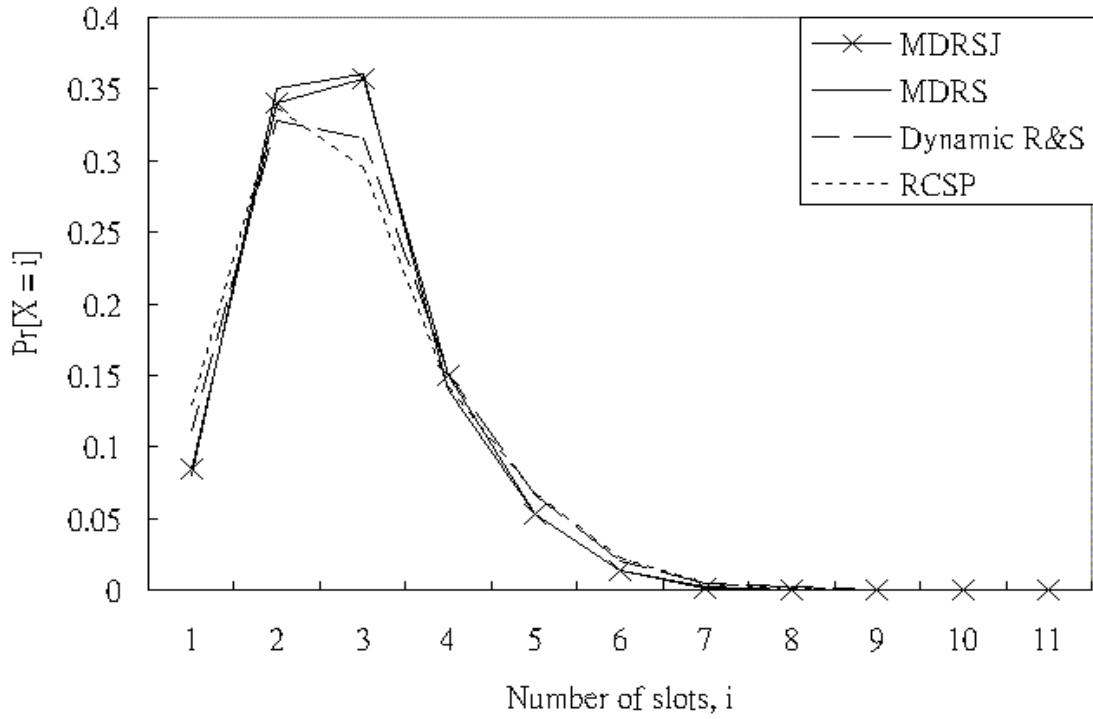


圖 5.4 第一個模擬 source 2 的 PMF of X

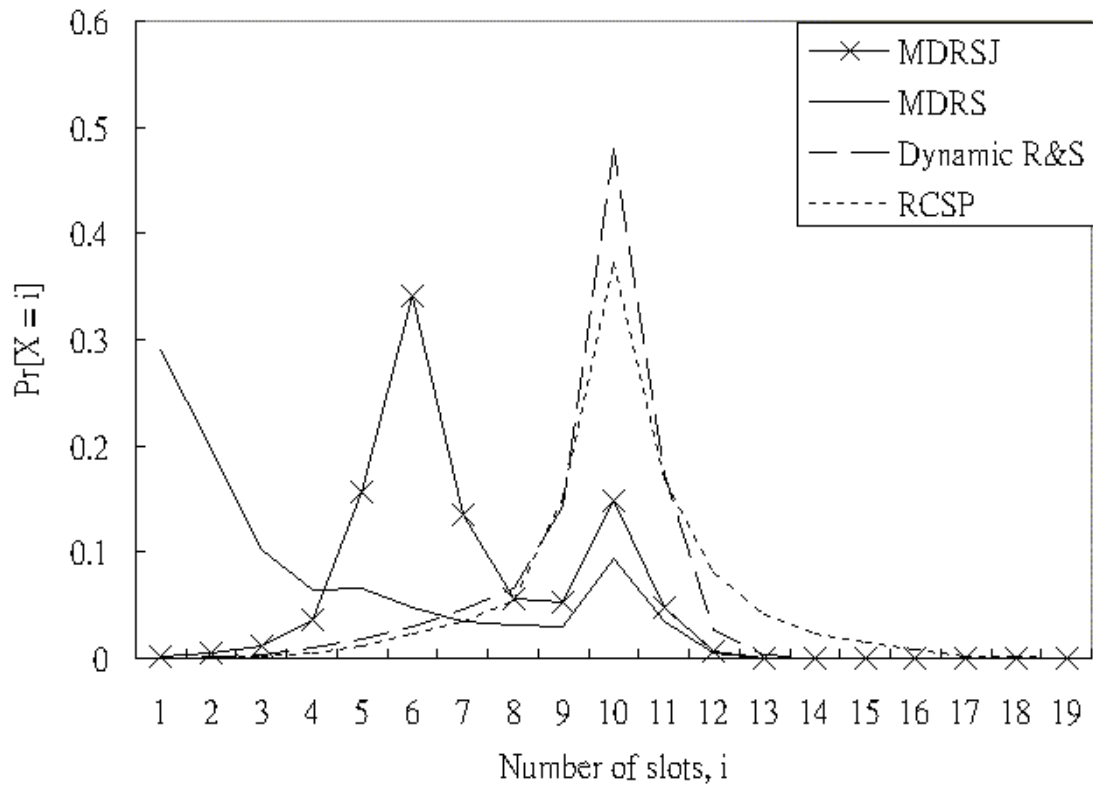


圖 5.5 第一個模擬 source 3 的 PMF of X



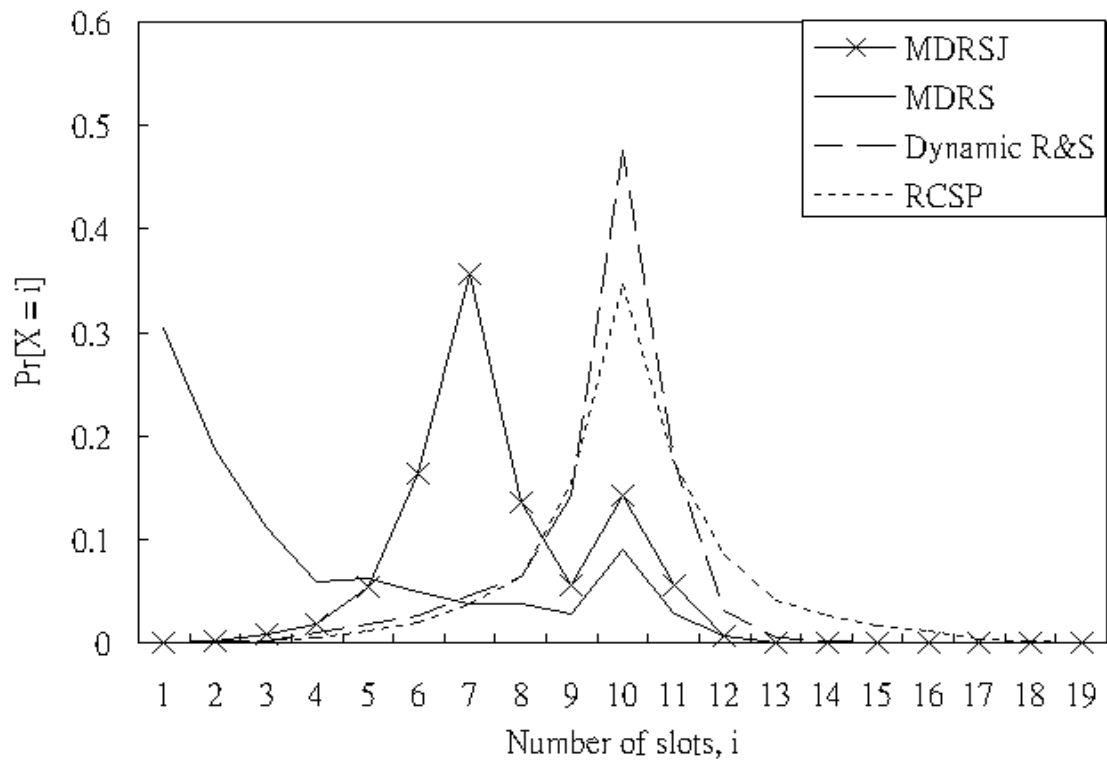


圖 5.6 第一個模擬 source 4 的 PMF of X

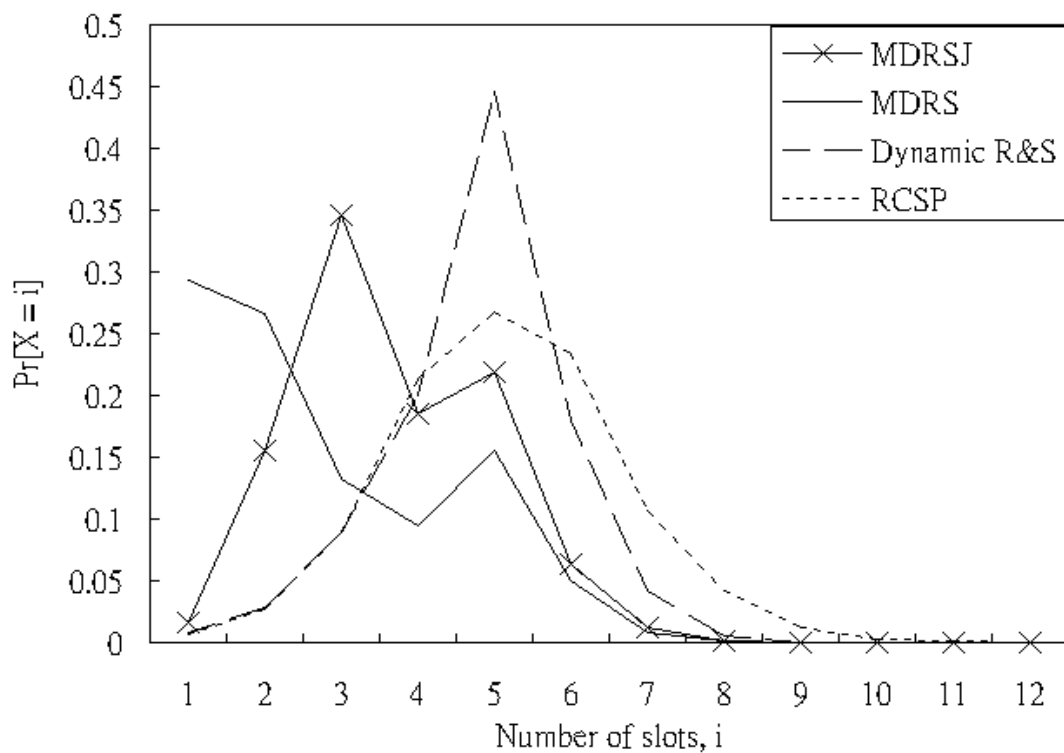


圖 5.7 第一個模擬 source 5 的 PMF of X

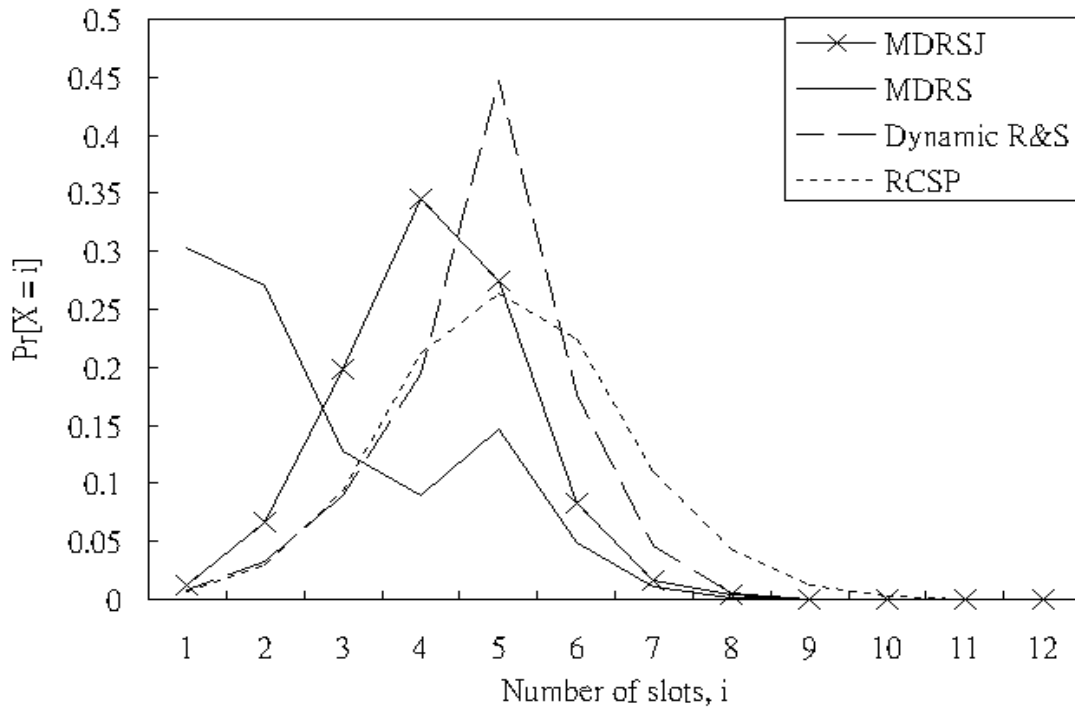


圖 5.8 第一個模擬 source 6 的 PMF of X

由圖中可看出 Dynamic R&S 的方法將原先 RCSP 中  $X > T$  的機率降低，並提高  $X = T$  的機率， $X < T$  的機率則幾乎不變。而在我們的方法下，除了讓  $X > T$  的機率降低外，並讓  $X = T$  及  $X < T$  的機率均提高。圖 5.9 為  $X$  的平均值，圖 5.10 為各個 source 在各種不同方法下的非 idle 時期的平均 throughput，圖 5.11 及圖 5.12 則分別為平均及最大延遲。由圖中可看出我們不考慮 jitter 的方法充分利用排程器的空閒時間加快對某一連線的 throughput，而我們考慮 jitter 的方法則為了讓速率變動維持在使用者可容忍的範圍內，因此效果較不明顯，其最差情況便是使用者要求不要有 jitter ( $J = 0$ )，此時即等於第二部分的動態調整機制不動作，然而即使只應用了我們第一部分的動態調整

機制，其效能仍然比 Dynamic R&S 及 RCSP 來的好。

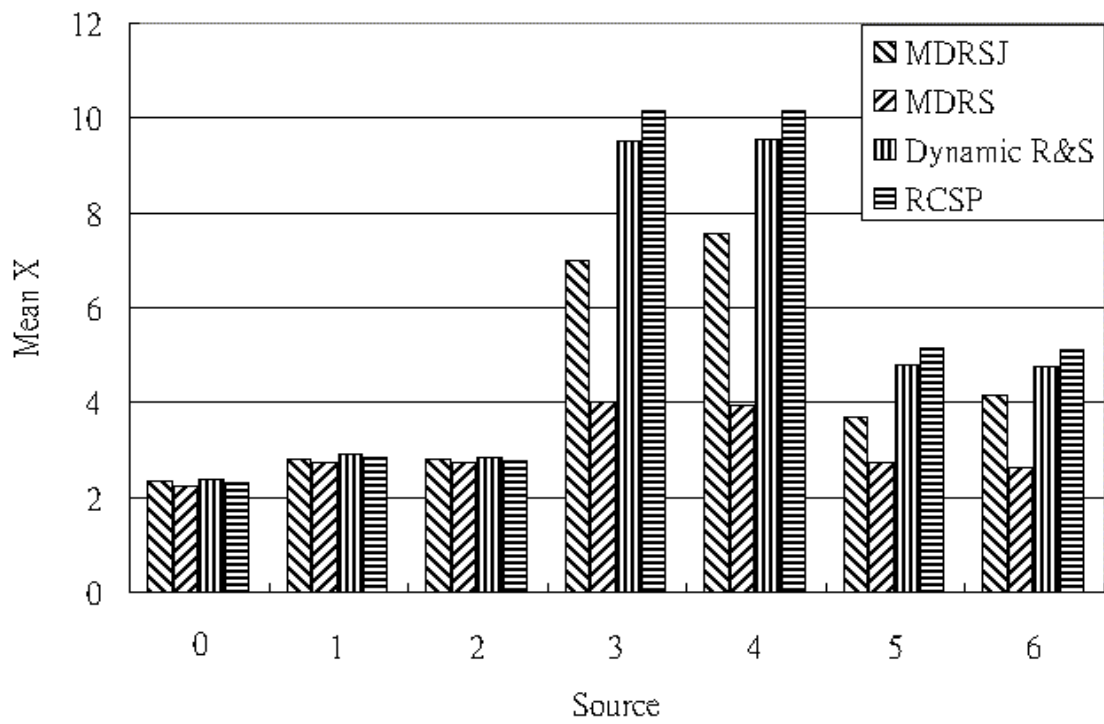


圖 5.9 第一個模擬的 X 平均值

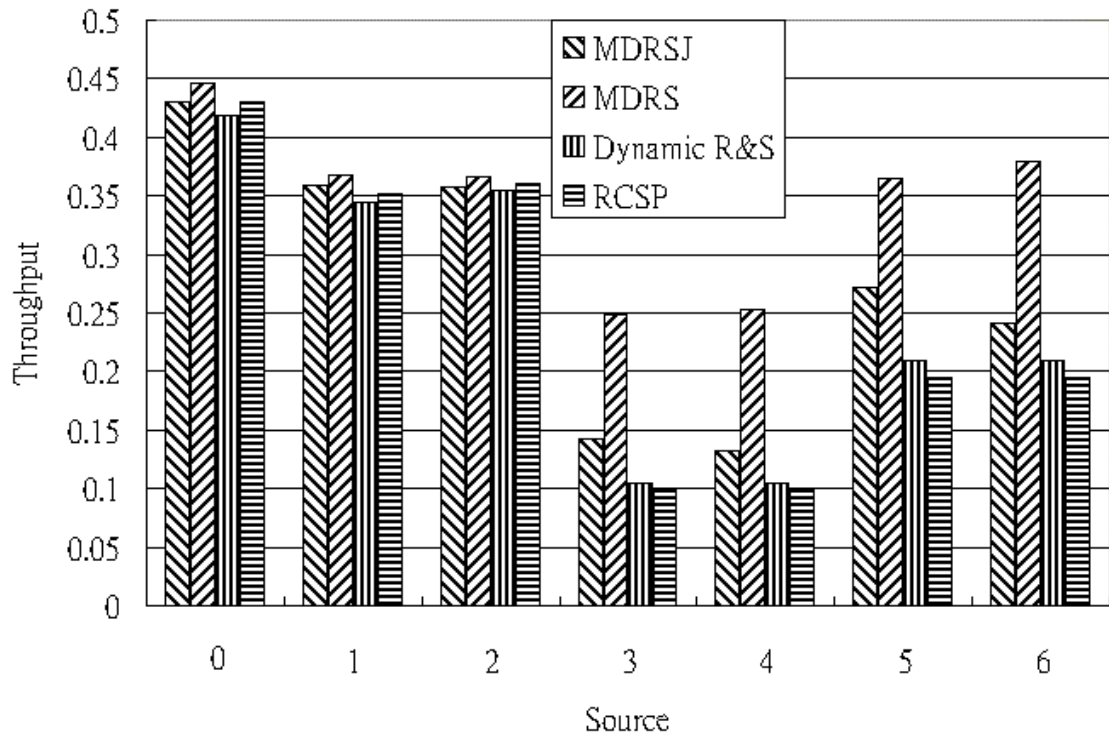


圖 5.10 第一個模擬的 throughput

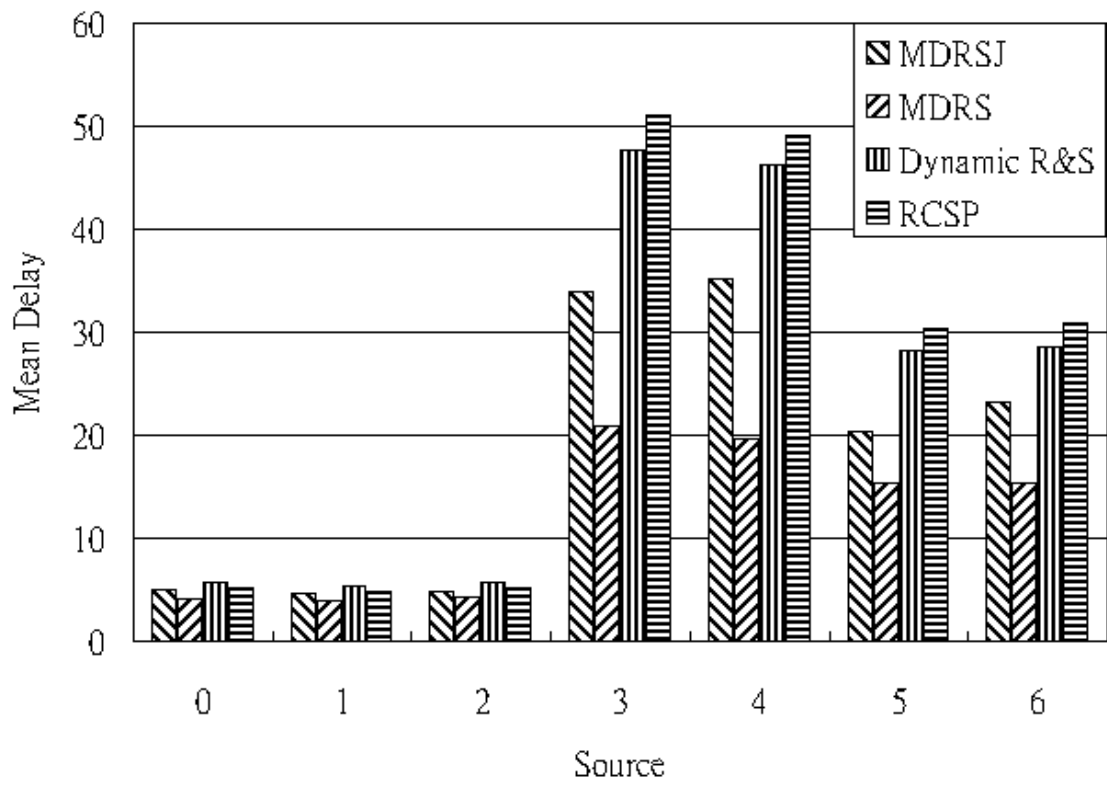


圖 5.11 第一個模擬的平均延遲

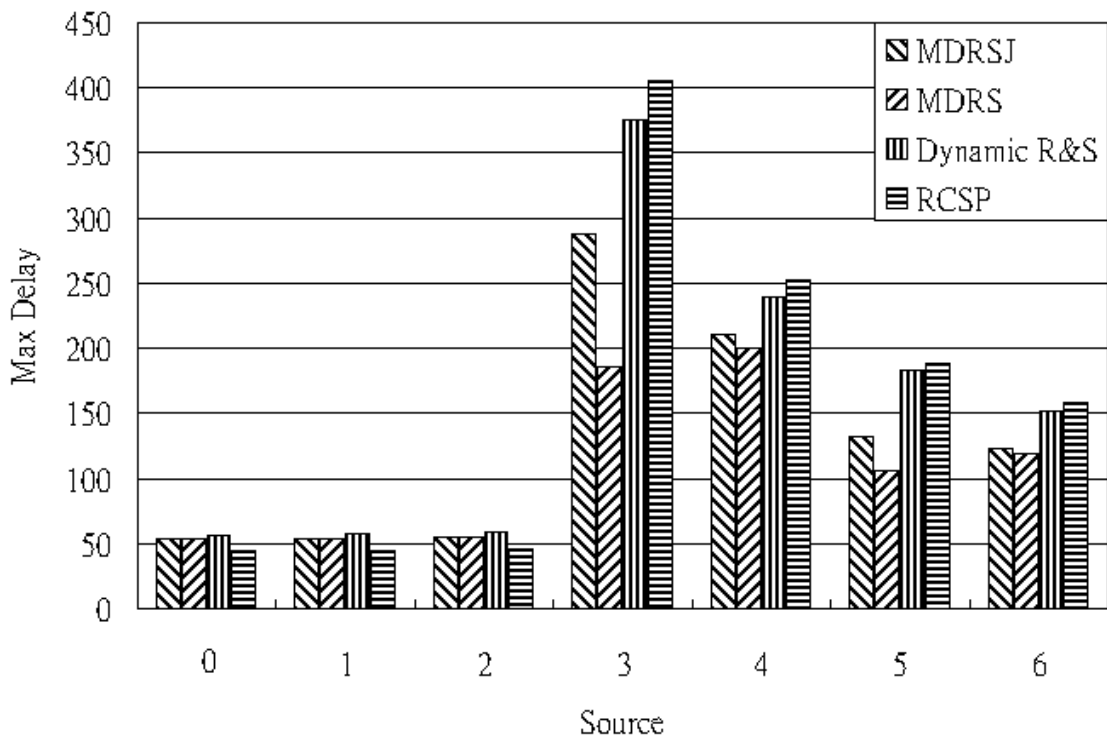


圖 5.12 第一個模擬的最大延遲

第二個模擬則是處於較高的負載下，表格 5.2 列出第二個模擬條件下七個 source 的一些參數。

Source	$T_i$	$J_i$	$\rho_{ave}$	$P_{on}$	$P_{off}$	$P_{arr}$
0	1	0	0.2506	0.8	0.8	0.5
1	1	0	0.2003	0.8	0.8	0.4
2	1	0	0.1998	0.8	0.8	0.4
3	10	4	0.0419	0.8	0.85	0.1
4	10	3	0.0430	0.8	0.85	0.1
5	5	2	0.1102	0.8	0.75	0.2
6	5	1	0.1112	0.8	0.75	0.2

表格 5.2 第二個模擬的一些參數

整個系統的使用率  $\rho = 0.9570$ ，因此排程器的貯列只有 0.043 的機率會是空的，因此第二部分的動態調整條件將較少成立，不過第一部分的動態調整條件仍舊使得我們的方法比起 RCSP 及 Dynamic R&S 有較小的平均接鄰兩個細胞由排程器送出的間隔時間。圖 5.13 至圖 5.19 展示第二個模擬各個 source 在四種方法下接鄰兩個細胞由排程器送出的間隔時間的 PMF。

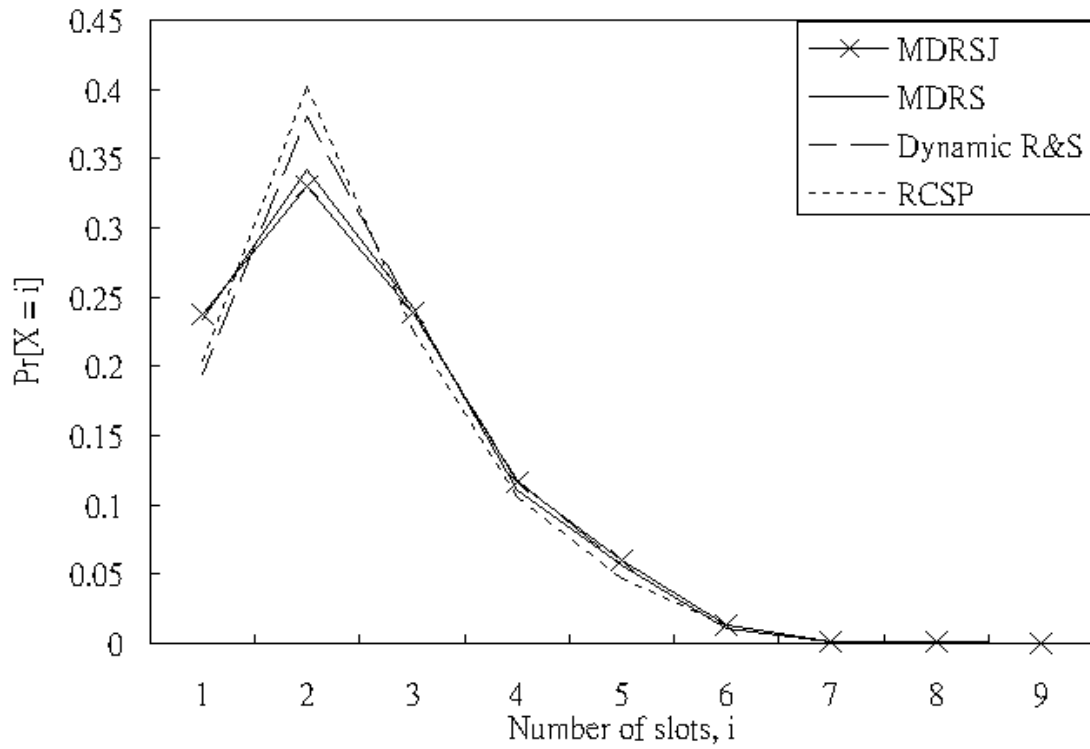


圖 5.13 第二個模擬 source 0 的 PMF of X

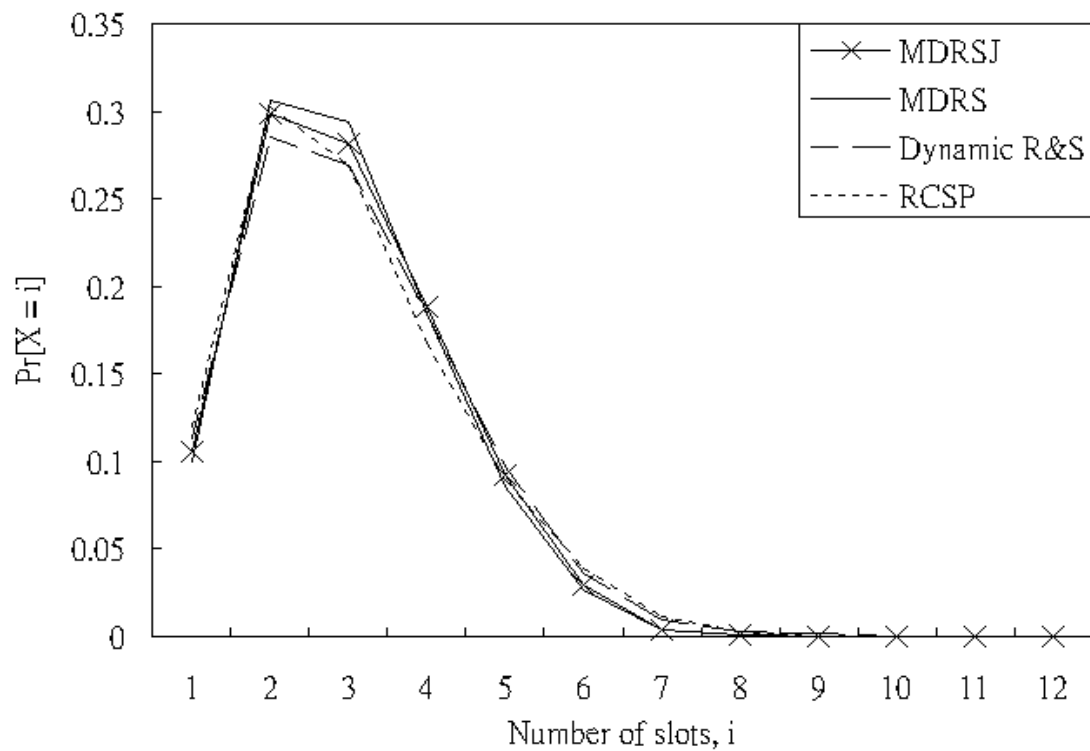


圖 5.14 第二個模擬 source 1 的 PMF of X

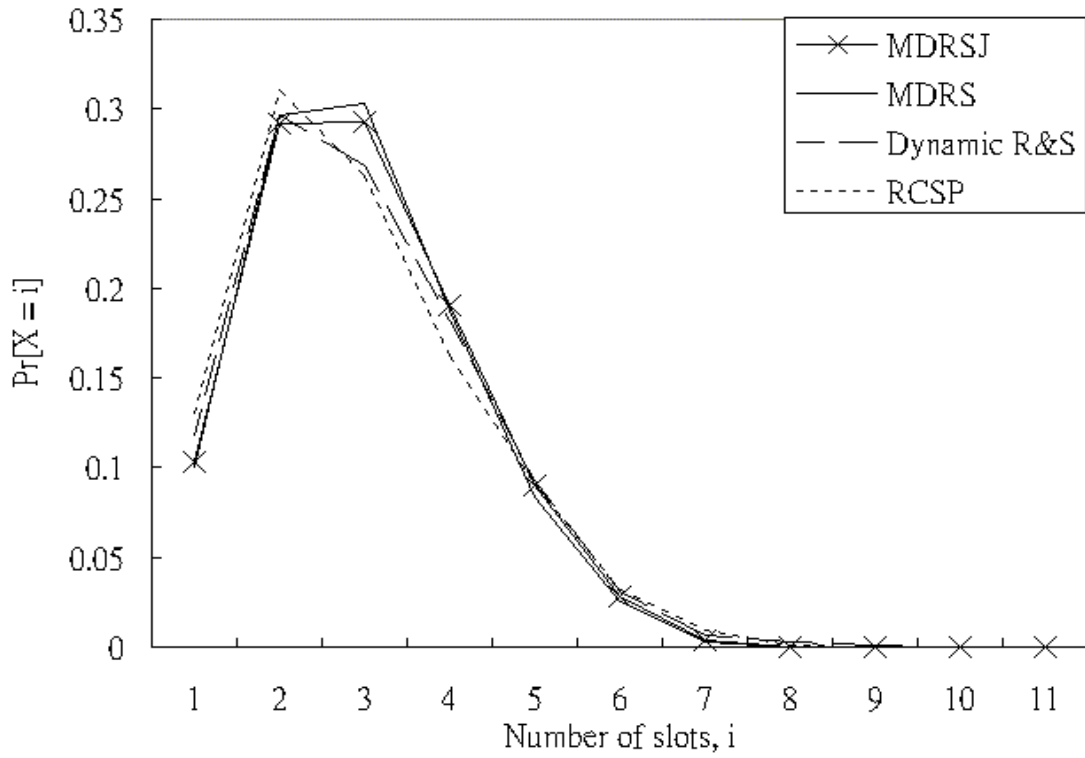


圖 5.15 第二個模擬 source 2 的 PMF of X

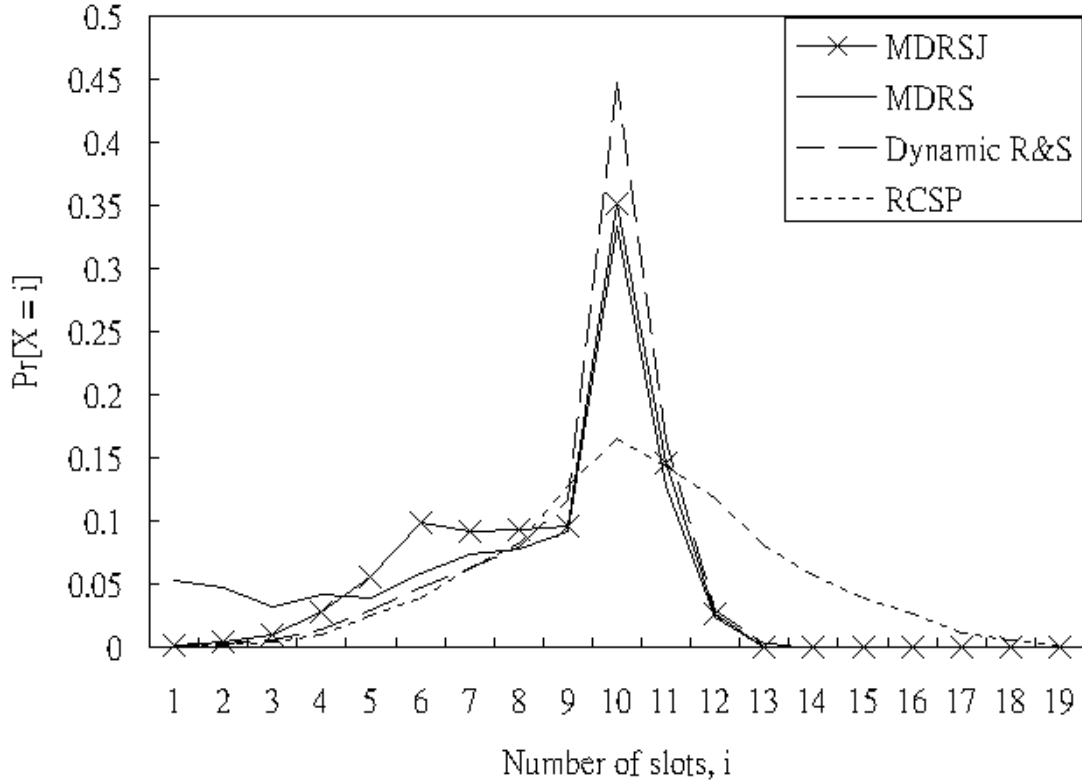


圖 5.16 第二個模擬 source 3 的 PMF of X

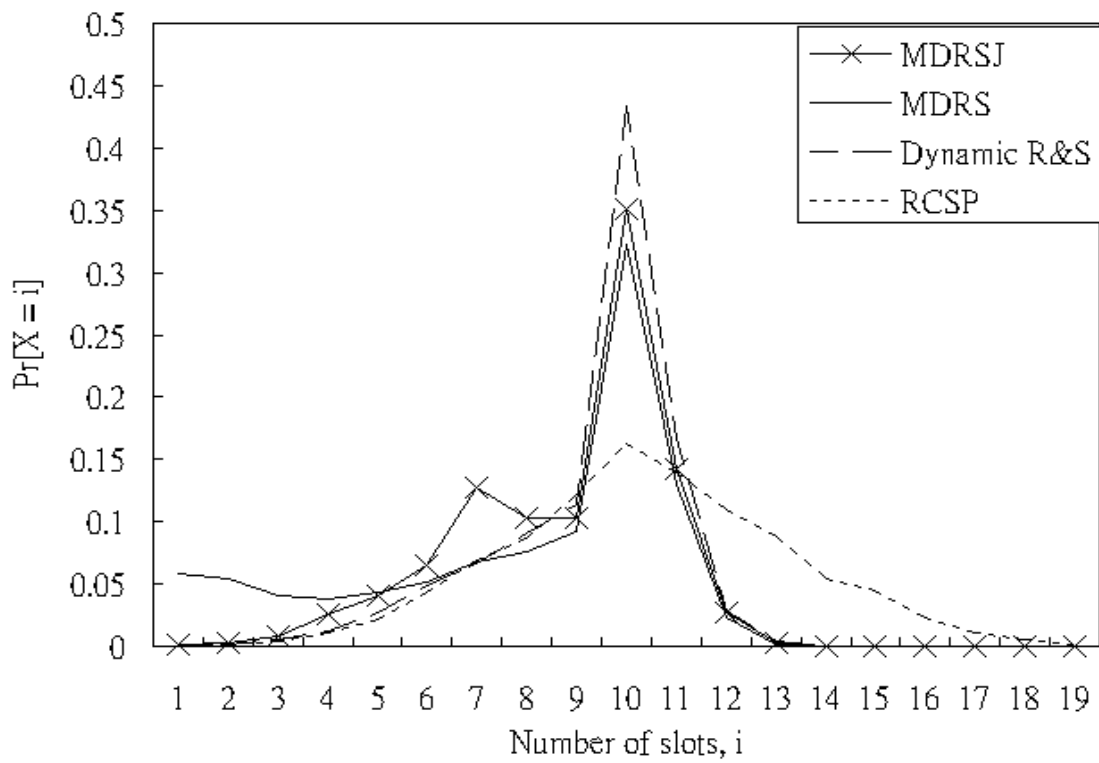


圖 5.17 第二個模擬 source 4 的 PMF of X

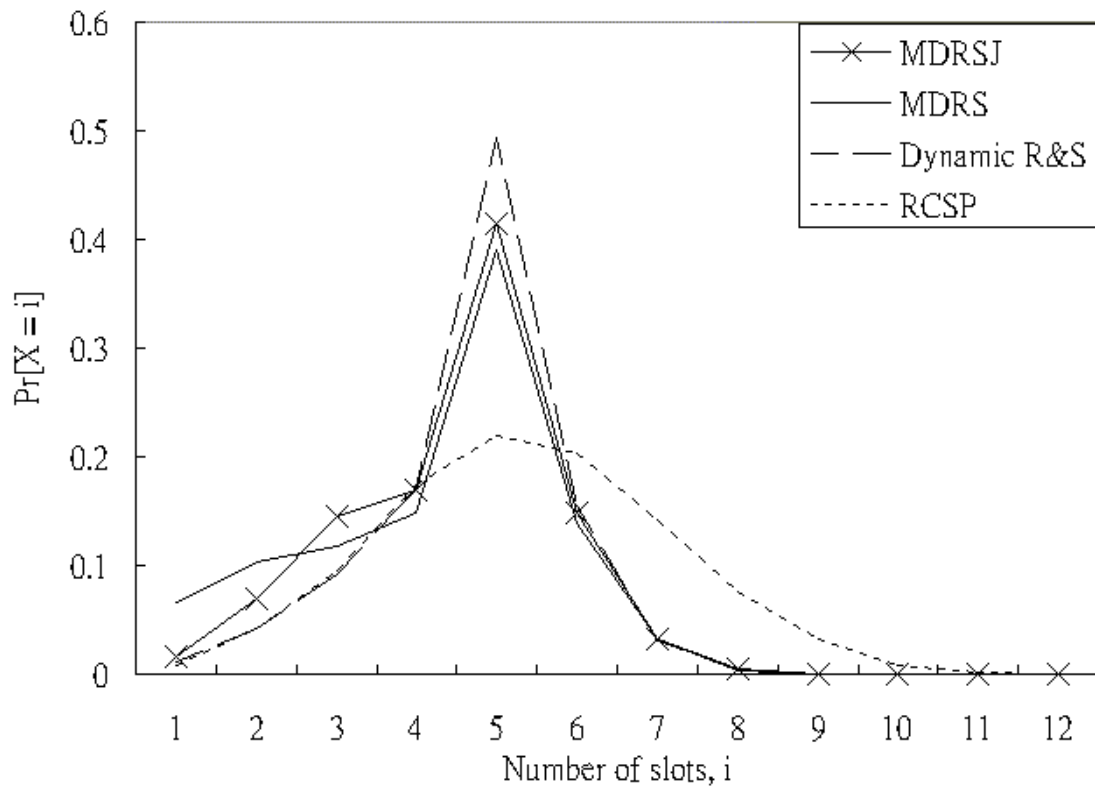


圖 5.18 第二個模擬 source 5 的 PMF of X



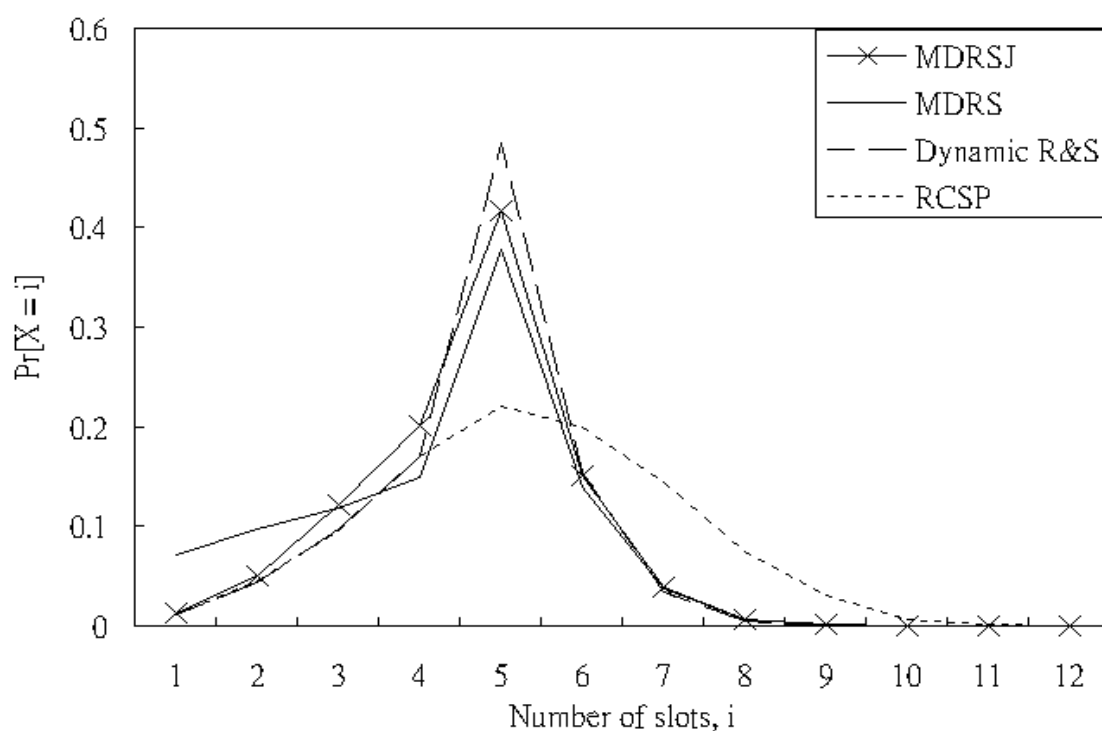


圖 5.19 第二個模擬 source 6 PMF of X

由圖中可看出在較高負載的情況下，由於我們第二部分的動態調整機制較少作用，因此對於提高  $X < T$  的機率較為有限，而第一部分的動態調整機制仍能明顯地降低  $X > T$  的機率並提高  $X = T$  的機率，故還是比其他方法有較好的效能。圖 5.20 為  $X$  的平均值。圖 5.21 為各個 source 在各種不同方法下的非 idle 時期的平均 throughput。圖 5.22 及圖 5.23 則分別為平均及最大延遲。在較高的負載下，雖然效果較不明顯，但仍然有少許效能上的增進。

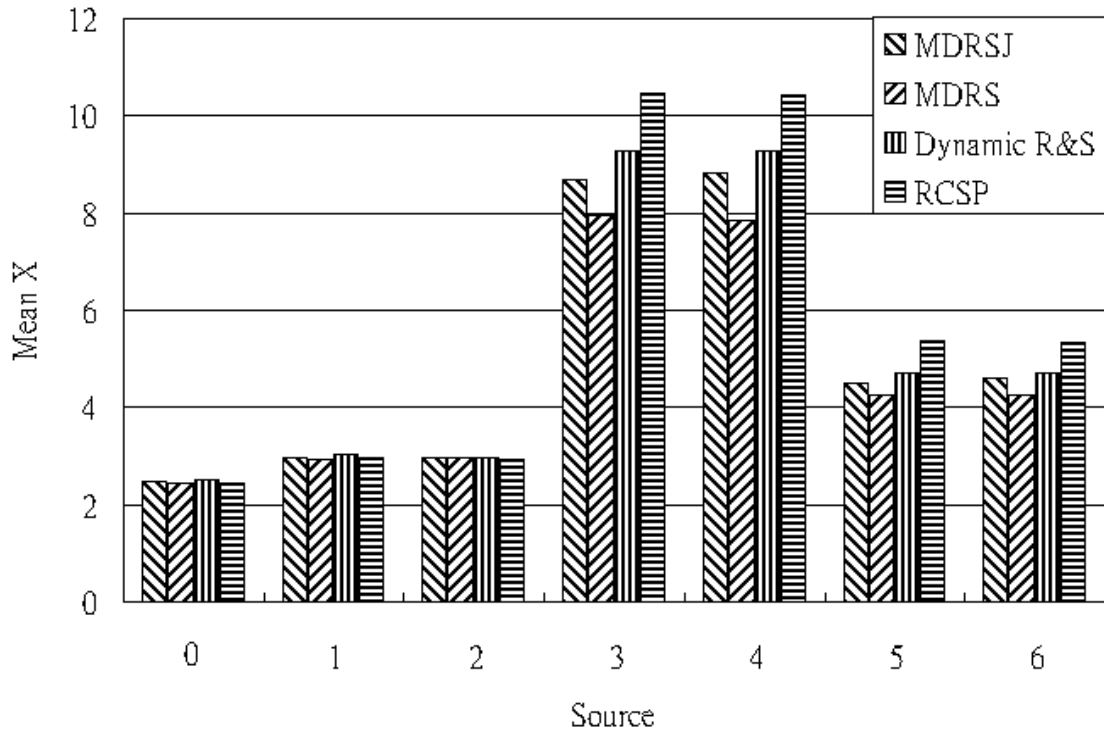


圖 5.20 第二個模擬的 X 平均值

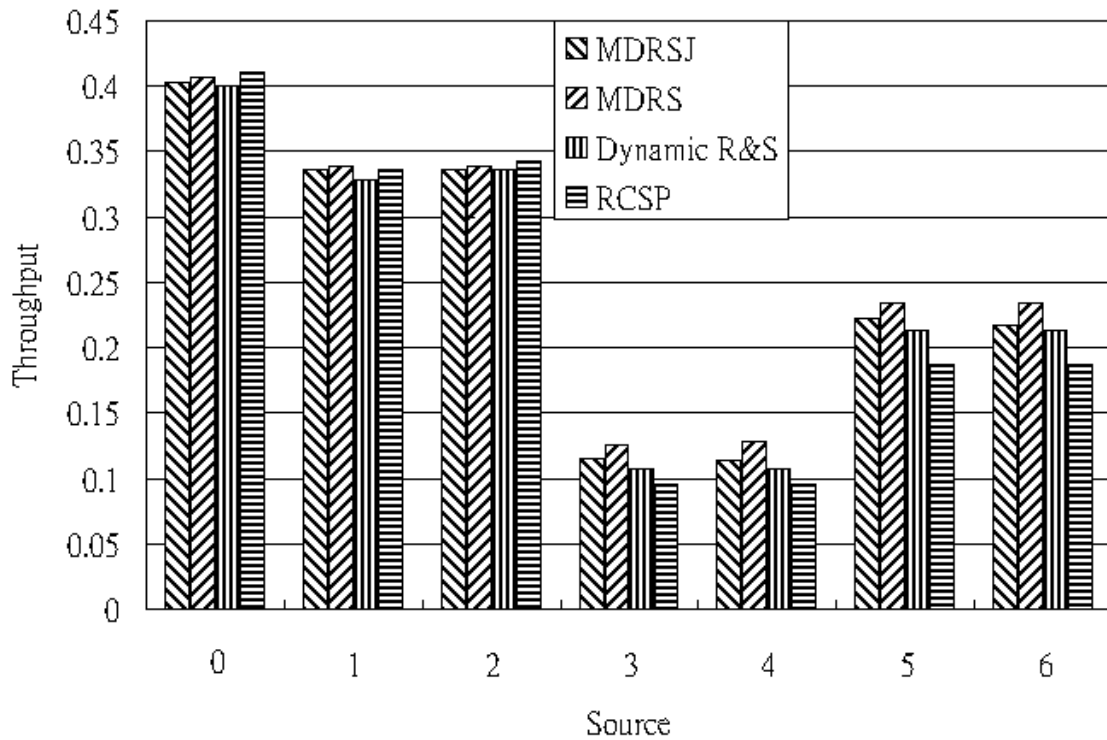


圖 5.21 第二個模擬的 throughput

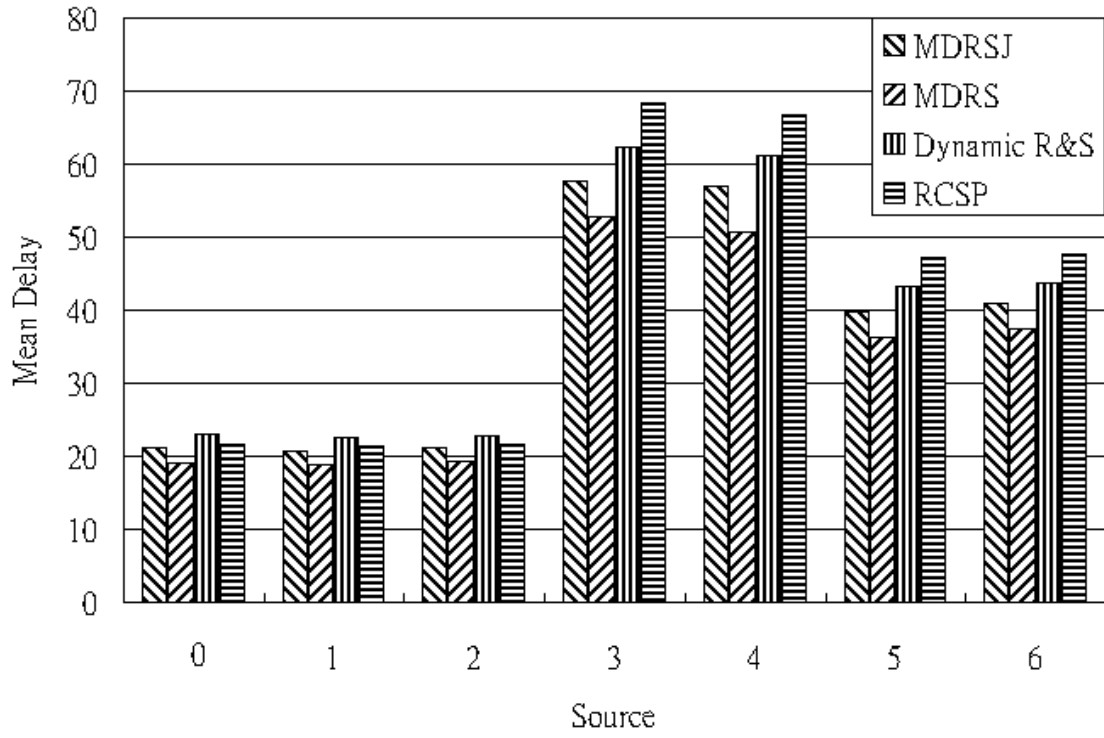


圖 5.22 第二個模擬的平均延遲

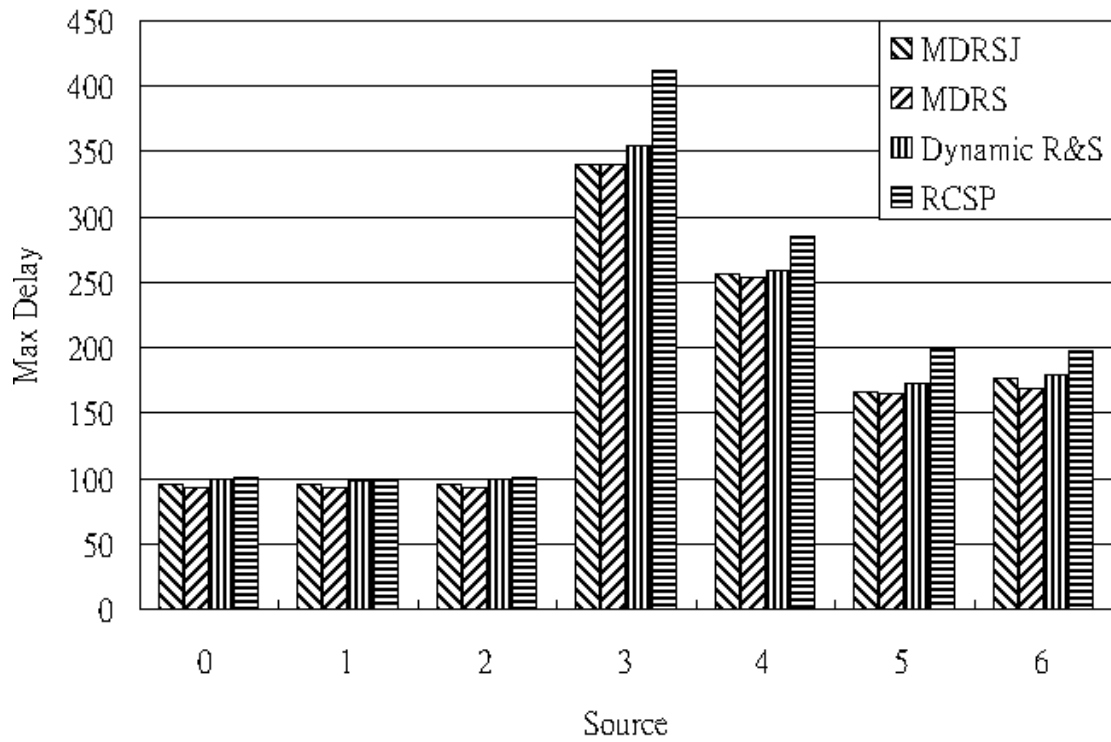


圖 5.23 第二個模擬的最大延遲

## 第六章 總結與未來展望

我們描述了一種動態網路流量調整機制，其利用排程器的狀態資訊以適時地加速調整器送出細胞的速率，使其從排程器送出時能儘量符合預期的接鄰兩細胞送出時間間隔，達到預期的頻寬，減低延遲，並且利用多餘的頻寬來減少不必要的延遲。

在我們的考慮中，均假設緩衝區有足夠的大小，不會有溢位發生。由於第一部分的動態調整機制會在偵測到其他連線送入過多的細胞至排程器時加速調整器送出細胞的速率，因此會比 RCSP 需要較多的排程器緩衝空間；而第二部分的動態調整機制因為是利用排程器的緩衝區裡已經沒有細胞時加速調整器送出細胞的速率，因此不會增加排程器緩衝空間的需求。在未來的研究中，應考慮我們的方法對緩衝區大小的影響，以決定適當的緩衝區大小；同時我們只考慮在單一節點的情況，未來也應考慮到多個節點間的相互作用，以使其更符合實際的網路狀況。

## 參考文獻

- [1]. V. Anantharam and T. Konstantopoulos, “A methodology for the design of optimal traffic shapers in communication networks,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 44, no. 3, pp.583-586, 1999.
- [2]. R. Bolla, F. Davoli, P. Maryni and T. Parisini, “An adaptive neural network admission controller for dynamic bandwidth allocation,” *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, vol. 28, no. 4, pp. 592-601, 1998.
- [3]. R. S. Chang, K. J. Pai and C. L. Chen, “Design of multiple leaky buckets shaper,” *Computer Communications*, vol. 23, issue: 13, pp. 1307-1318, 2000.
- [4]. R. L. Cruz, “A calculus for network delay, part I: network elements in isolation,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 37, no. 1, pp. 114-131, 1991.
- [5]. M. Fontaine and D. G. Smith, “Bandwidth allocation and connection admission control in ATM networks,” *Electronics & Communication Engineering Journal*, vol. 8, issue: 4, pp. 156-164, 1996.
- [6]. L. Georgiadis, R. Guerin and A. Parekh, “Optimal multiplexing on a single link: delay and buffer requirements,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 43, no. 5, pp. 1518-1535, 1997.
- [7]. A. Hac, *Multimedia Applications Support for Wireless ATM Networks*, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 2000.
- [8]. S. Iatrou and I. Stavrakakis, “A dynamic regulation and scheduling scheme for real-time traffic management,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 8, no. 1, pp. 60-70, 2000.

- [9]. S. Jordan and H. Jiang, "Connection establishment in high-speed networks," *IEEE Journal on selected areas in Communications*, vol. 13, no. 7, pp. 1150-1161, 1995.
- [10]. G. Kesidis and T. Konstantopoulos, "Extremal shape-controlled traffic patterns in high-speed networks," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 48, no. 5, pp. 813-819, 2000.
- [11]. S. K. Kweon and K. G. Shin, "Providing deterministic delay guarantees in ATM networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 6, no. 6, pp. 838-850, 1998.
- [12]. T. Lizambri, F. Duran and S. Wakid, "Priority scheduling and buffer management for ATM traffic shaping," *Proceedings of 7th IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems*, pp. 36-43, Cape Town, Source Africa, December 1999.
- [13]. N. M. Mitrou and K. Kavidopoulos, "Traffic engineering using a class of M/G/1 models," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 21, no. 4, pp. 239-271, 1998.
- [14]. A. K. Parekh and R. G. Gallager, "A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: The single-node case," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 1, issue: 3, pp. 344-357, 1993.
- [15]. B. V. Patel and C. C. Bisdikian, "End-station performance under leaky bucket traffic shaping," *IEEE Network*, vol. 10, issue: 5, pp. 40-47, 1996.
- [16]. H. G. Perros and K. M. Elsayed, "Call admission control schemes: A review," *IEEE Communications Magazine*, pp. 82-91, November 1996.
- [17]. D. Saha, S. Mukherjee and S. K. Tripathi, "Carry-over round robin: A simple cell scheduling mechanism for ATM networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 6, no. 6, pp. 779-796, 1998.

- [18]. J. Soldatos, E. Vayias and N. Mitrou, "CAC and traffic shaping for performance control in ATM: the two-class paradigm," *Computer Networks*, vol. 34, issue: 1, pp. 65-83, 2000.
- [19]. H. Zhang and D. Ferrari, "Rate-controlled static-priority queuing," *Proceedings of IEEE INFOCOM'93*, vol. 1, pp. 227-236, San Francisco, CA, April 1993.
- [20]. ATM Forum, *Traffic Management Specification Version 4.1*, March 1999.  
<ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-tm-0121.000.pdf>
- [21]. OPNET Technologies, Inc. *OPNET Modeler 7.0.B*. Bethesda, MD, June 2000. <http://www.opnet.com>