

國立交通大學

網路工程研究所

碩士論文



全球微波存取通信技術下行分配之公平的
頻道感知排程方法

Channel-Aware Fairness Scheduling in WiMAX Downlink
Assignment

研究生：吳俊傑

指導教授：簡榮宏 教授

中華民國九十七年九月

全球微波存取通信技術下行分配之公平的頻道感知排程方法
Channel-Aware Fairness Scheduling in WiMAX Downlink Assignment

研究生：吳俊傑

Student : Ng Chun-Kit

指導教授：簡榮宏

Advisor : Rong-Hong Jan

國立交通大學
網路工程研究所
碩士論文



Submitted to Institute of Network Engineering
College of Computer Science
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in

Computer Science

September 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年九月

全球微波存取通信技術下行分配之公平的 頻道感知排程方法

研究生：吳俊傑

指導教授：簡榮宏 博士

國立交通大學網路工程研究所



摘要

在全球微波存取通信技術工作群組所制訂的規格書當中，對於網路效能影響甚鉅的排程方法，為了讓各家廠商所提供的服務能展現其特色，所以並沒有作詳細的規定，而留有相當大的設計空間。由於無線傳輸環境相當複雜，經常會發生頻道因為干擾或遮蔽過於嚴重而無法順利傳送的情形，對於遭遇到這種情形的連線階段，要如何作適當的調節將是一大難題。在本論文研究中，我們以提供延遲限制以及公平分配的 WF^2Q+ 演算法作為核心排程方法，當有連線階段因遭遇錯誤而無法傳送，使得整體系統處於不平衡的情況下，此時便運用效能調節器來作搭配，以緩和的方式將這些連線階段作適當的調整，以期系統能達到較佳的效能與公平性。

Channel-Aware Fairness Scheduling in WiMAX Downlink Assignment

Student : Ng Chun-Kit

Advisor : Dr. Rong-Hong Jan

INSTITUTE OF NETWORK ENGINEERING
NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY



Abstract

To demonstrate characteristic service provided by each interest, the specification concluded by the WiMAX working group, does not delineate detail discipline about scheduling which would affect performance of systems significantly. Due to the complexity of wireless transmission environment, sessions transmitting packets under this circumstance would be suffered from interference or covering and result in error-prone data. It is a difficulty that adjusting system working in a error-prone environment. In this thesis, we apply WF^2Q+ algorithm, which possesses delay-bound and fairness distribution to BS scheduler. While sessions encounter fading due to a bad transmission channel, performance adapter will alleviate the unbalance problem for the system. By means of cooperation of WF^2Q+ algorithm and performance adapter, we expect it will bring better performance and fairness.

誌謝

首先要感謝我的老師簡榮宏教授，在這兩年的研究所生涯辛勤地指導與栽培，讓我在這兩年當中，學到了不少東西，提升了自己的能力，教導我們如何去多方面的思考問題以及解決問題，此篇論文才能順利完成。

在這兩年的日子裡，實驗室的學長姐(世昌、安凱、嘉泰、蕙如、家瑋、文彬)、同學(敬之、佑笙、宇翔、允琳)、以及學弟妹(子興、智賢、淑盈)的共同努力以及和樂相處，不管是學術上的研究或是活動的參與，都豐富了我的碩班時光，大家共同以實驗室為一個家族的回憶，深深地留在我心中。尤其感謝嘉泰學長忙於自己的博士研究外，也給予我指導與建議，另外也帶領我從事共同的休閒活動，讓我培養了自己的興趣。

最後要好好感謝我的家人，對於我的支持與鼓勵，不斷地給予我支援以及關心，總是能讓我在更加努力以赴，謹以此文獻給我摯愛的家人和朋友們。



目錄

第一章 簡介	1
1.1 無線環境背景	1
1.2 IEEE 802.16 標準的特性	1
1.3 研究動機	2
第二章 相關技術與研究	3
2.1 排程系統	3
2.2 無線網路排程	5
2.3 GPS 演算法	6
2.4 WF^2Q+ 演算法	8
第三章 研究議題	11
3.1 排程器設計架構	11
3.2 效能調節器	14
3.2.1 CINR 回報	14
3.2.2 優雅降級	15
第四章 模擬結果探討	18
4.1 模擬環境	18
4.2 環境參數	18
4.3 模擬結果	20
第五章 結論	23
參考文獻	24

表目錄

表 2.1 WFI 值符號表	7
表 2.2 WF^2Q+ 值符號表.....	8
表 4.1 環境參數表	19
表 4.2 各要求頻寬之系統效能(一).....	21
表 4.3 各要求頻寬之系統效能(二).....	22
表 4.4 公平性指標值	22



圖目錄

圖 2.1 流量系統示意圖	3
圖 2.2 封包系統示意圖	4
圖 2.3 GPS 演算法範例.....	6
圖 2.4 WF ² Q+演算法範例	10
圖 3.1 WiMAX 基地台媒介存取控制層	12
圖 3.2 系統架構圖	13
圖 3.3 CINR 門檻值比較表	14
圖 3.4 遞減指數函數圖	16
圖 3.5 系統流程圖	17
圖 4.1 實驗環境拓樸	18
圖 4.2 無錯頻道模擬結果	20
圖 4.3 錯誤頻道模擬結果	20
圖 4.4 文獻[8]方法模擬結果.....	21
圖 4.5 提出方法模擬結果	21



第一章 簡介

1.1 無線環境背景

由於現代對於網際網路具有極高度的需求，人們希望可以不受限於地點或線路等等限制，而能夠隨時隨地都使用到網際網路，也因此更快速地帶動了無線網路的發展，因為無線網路具有不受限於線路即可透過無線技術連結上網的特性，在佈建完整的無線網路環境之下，即可不受限於地點或線路而連結上網，這帶給了人們極大的方便性，因此對於無線網路的使用需求不斷地快速增加。雖然無線網路不受限於線路而可隨處上網，但是由於無線傳輸是處於相當複雜的環境，傳輸速率與範圍也因所使用的技術不同而有極大的差異，在現代的無線網路使用需求不僅僅要能夠隨處上網，更希望具有大範圍傳輸以及寬頻高速傳輸的能力。

目前最普遍被使用的無線網路接取技術，是由美國電機與電子工程師協會(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 簡稱 IEEE) [1]所制訂的一系列 IEEE 802.11 相關標準，也就是大家所稱的 Wi-Fi 網路，由於 Wi-Fi 網路的傳輸編碼技術，使得最大傳輸距離僅有一、兩百公尺，如果使用戶在無線擷取點間移動時，便會因為離開傳輸服務範圍而造成中斷，這對於使用戶來說相當不方便；近幾年來，由 Nokia、Ensemble Communication、Harries、Cross Span、OFDM 等全球多家通信大廠協力推動下的全球微波存取通信技術(Worldwide Interoperability for Microwave Access, 簡稱 WiMAX)，視為是一新世代的寬頻無線網路存取技術(Broadband Wireless Access System, 簡稱 BWA)。這是以 IEEE 802.16 [1][2][3]一系列的寬頻無線標準為基礎，利用無線媒介達到與有線電纜及數位用戶迴路線(Digital Subscriber Line, 簡稱 DSL) 相同的接取方式，透過此項技術的發展，將無線網路之傳輸距離提升為數十公里，此外 WiMAX 可以在與 Wi-Fi 的相同存取範圍之內承載更高的頻寬。

1.2 IEEE 802.16 標準的特性

各種程式在運作時會有不同的特性，例如；電話語音溝通為一低頻寬，但要求即時的服務；影音串流為高頻寬且需即時的服務；網頁瀏覽依內容而頻寬需求有大有小但是不需用到即時服務；針對不同的程式給予適當的服務方式以良好地分配系統資源，不僅能夠節省系統資源而更有效率，同時可以服務其他更多的使用者。因為對於各種不同的服務類型作區分有這樣的好處，不同於大多數的無線網路技術，在制訂 IEEE 802.16 規格時，就是以服務品質(QoS)為基礎來訂立的。

1.3 研究動機

在 IEEE 802.16 的規格當中，為了各個廠商的硬體之間能夠具有高度的可相容性，制定的內容鉅細靡遺，主要是讓使用者在不同的網路服務業者(Internet Service Provider，簡稱 ISP)所提供的無線網路下，也能夠連結上線而不出錯。但是對於系統效能有巨大影響的排程方面，卻是留給各家廠商來作設計而沒有硬性規定，排程方法的設計會直接影響到系統效能(Throughput)、延遲(Delay)、公平性(Fairness)以及抖動(Jitter)等等，並且現今的網路使用習慣以下傳多過於上載許多，因此本篇論文的主要目標在於針對 WiMAX 基地台下傳的排程方法，設計一較具有公平性且複雜性較低的架構。



第二章 相關技術與研究

本章節將會依序介紹排程方法設計的背景觀念，以及無線網路環境的排程設計方法，並說明現今最為廣泛使用的排程演算法。

2.1 排程系統

以理論所設計的排程方法藉由數學證明具備了某些性質，而這些性質也正是我們期望排程方法所具備的，例如：端點與端點間有限的延遲、公平地分配頻寬……等等，不過這些都是基於理想狀態的流量系統(Fluid system)所作的證明。所謂的流量系統就如同現實的水體流動，其所具備的特性有：

1. 不具最小基本傳送單元：

在流量系統上所傳送的資料並沒有定義最小的傳送單元，而是可以不斷地細分切割，如此便不會有剩餘的頻寬因為不足最小傳送單元而無法利用被浪費掉。

2. 可同時服務多個連線階段(session)：

如同由各個溪流所匯合而成的河流，會同時包含各個溪流的水體。由各個連線階段所匯集而來的資料，在流量系統中是同時並存而一起被處理的，因此具有平行化處理的特性。

流量系統示意圖如圖 2.1，該範例中有六個連線階段需要被服務，來自六個連線階段的資料會同時抵達根節點而一併被處理。

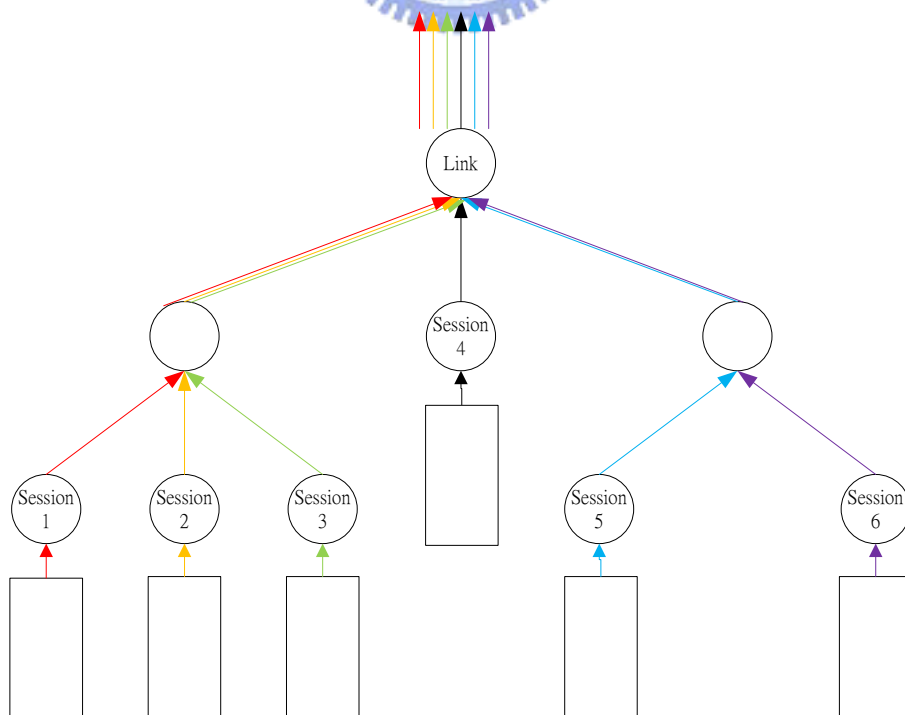


圖 2.1 流量系統示意圖

現實環境中處理資料因為硬體架構限制並沒有辦法實作出流量系統，取而代之的是封包系統(Packet system)：

1. 具有最小基本傳送單元：

因為計算機本身的硬體架構限制，所以必須定義一最小的基本處理單元，再加上額外的資訊封裝起來才有辦法在網路上準確地傳送，而這封裝起來最小的傳送單元就是封包。

2. 同時間只能服務一個連線階段：

由於計算機在同一時刻只能夠處理一個封包，而這封包是來自於其中某一個連線階段，因此同一時刻只能夠服務一個連線階段。

我們希望設計出的排程方法具備在流量系統下的性質，因為具備流量系統本身的特性，才能藉由數學證明推導出我們所想要的性質，所以必須透過在封包系統上實作近似於流量系統上的排程方法，這種方法就叫作接近(Approximating)。

封包系統示意圖如圖 2.2，該範例一樣有六個連線階段需要被服務，不過只會有其中一個連線階段被挑選到，並且每次處理的最小單位為一格封包。

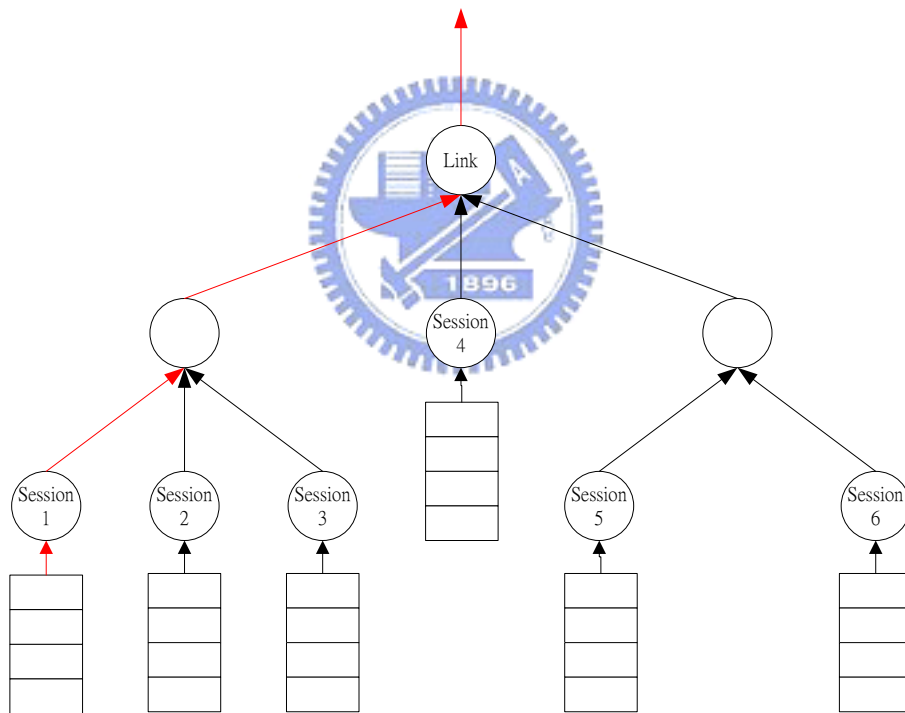


圖 2.2 封包系統示意圖

2.2 無線網路排程

有線網路因為是透過線路直接端點對端點傳輸，並且線路會藉由特別的設計而不會輕易地被外界的干擾影響到線路內傳輸的訊號，因此電子訊號在其中傳輸並不會快速地衰減，只要連接線路就可感測到訊號而不受距離影響，有線的傳輸環境相較之下比無線環境單純許多，因此大多的有線排程方法都是假設傳送過程不會出錯。

無線網路由於直接在開放式的空間中作傳輸，因此會直接地遭受到來自各方面外在亦或本身的干擾以及遮蔽，也因為無線傳輸受到干擾的情形相當普遍，所以在設計無線網路排程的時候，不只要設計排程方法，必須額外包含一些輔助於排程方法的元件，使得系統排程更有效率也較為公平。

從參考文獻[4]中列出一些現今設計無線方法排程所包含的幾個重要元件：

1. 無錯服務模組：

在無線排程設計中，會以頻道不遭受到干擾等錯誤為前提來設計一基礎的排程方法，通常會挑選一適當的有線網路排程方法來作為基本排程方法，挑選不同的基本排程方法便會影響到系統的整體特性。

2. 領先/落後計數器：

領先/落後計數器是用來記錄每一個連線階段所預期被保證服務的量與實際被服務的量之間的差距，這個計數器所記錄的值傳送給排程器來當作參考依據，對於服務量不足或是超出的連線作適當的調整以符合要求。

3. 補償模組：

當無線傳輸遭遇到干擾或是遮蔽而無法正確傳送時，為了有效利用系統資源而不浪費，會將此時原來傳送會使用到的資源先挪移給其它的連線階段所使用，如此就能夠避免掉不必要的傳送以提高整體系統效能。不過為了公平起見，原先因為頻道狀態不佳無法傳送的連線階段，當頻道回復到可傳送的狀態時，便會希望系統給予更多的服務，以能夠連同之前因頻道狀態不佳而無法傳送的資料，以及目前所需要傳送的資料都傳送出去以符合該時刻所應被保證服務的量。

另外有些方法還會包含以下設計：

- 對於每個連線階段將插槽(slot)與封包佇列(queue)分離開來：每次傳送時並非進入封包佇列即可傳送，必須獲得插槽方可順利傳送出去，這對於時間敏感以及錯誤敏感的連線階段具有良好的支援。
- 能夠監控以及偵測無線頻道狀態的方法：對於傳送所要使用的無線頻道狀態能夠事先掌握的話，就能改變調變使用適當的方式傳送抑或避免掉不必要的傳送。

2.3 GPS 演算法

在參考文獻[5]所發表的一般化處理程序分享(Generalized Processor Sharing, 簡稱 GPS)演算法為流量系統上一著名的排程方法，其運作的方式為對於每一個連線階段以分別給予保證的速率來同時服務，因為對於所有的連線階段同時服務，不會有任何一個連線階段遭受到飢餓，因此是最公平的排程演算法。GPS 演算法藉由流量系統本身不具最小基本傳送單元以及可同時服務多個連線階段的性質，再加上額外的限制條件之下，可以證明具有以下性質：

1. 在連線階段的資料流量為滴漏桶(Leaky bucket)的前提之下，能提供連線階段端點對端點的有限延遲。
2. 可以公平分配頻寬給予彼此之間競爭的連線階段。
3. 能夠以分散式的方法準確估算可用的剩餘頻寬。

以上這些性質都是我們希望在網路排程方法上所具備的，不過因為 GPS 演算法是基於流量系統下所設計的，在實作上並沒有辦法達成，所以必須藉由在封包系統上實作一很接近 GPS 的方法以達成目標；圖 2.3 為使用 GPS 演算法所排程的一個範例；在此範例中有四個連線階段，系統處理速度為 1，每個資料片段大小為 1，由左至右為系統經過時間，系統分別給予的保證速率比為 4:2:1:1，圖中每一列即為其中一連線階段排程結果 {1...8}, {9...12}, {13, 14}, {15, 16}。

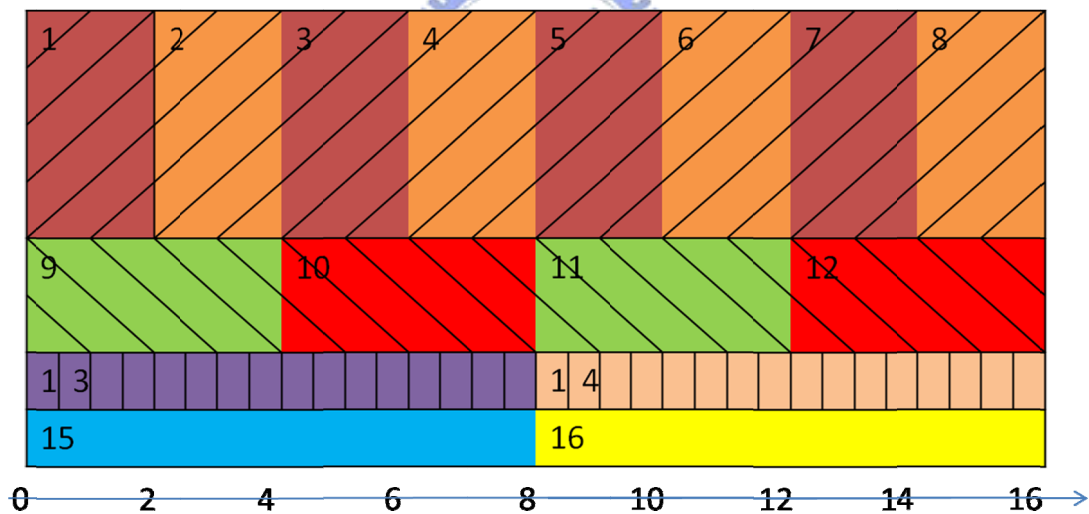


圖 2.3 GPS 演算法範例

當設計完一封包系統上的方法，要知道此方法是不是夠接近於 GPS 就必須有一衡量的數值，在參考文獻[6]中已經證明一個在封包系統上夠接近於 GPS 的排程方法將會有很小的最差情形公平指標(Worst-case Fair Index, 簡稱 WFI)值，在 GPS 這個值永遠都會是 0；這個值如果越小不僅代表越接近於 GPS，而且意謂著所排程的法則越公平，因此我們以這個公式來計算所設計的方法的指標值，藉由比較與 0 的差值大小來評量所設計的方法是否夠接近於 GPS。WFI 值中，所使

用的符號與說明整理於表 2.1 中。

表 2.1 WFI 值符號表

符號	說明
s	所評估的系統
i	連線階段 i
k	第 k 個封包
$d_{i,s}^k$	連線階段 i 中編號 k 的封包離開佇列的時間
a_i^k	連線階段 i 中編號 k 的封包抵達佇列的時間
$Q_{i,s}(T)$	在時間 T 時，連線階段 i 的佇列大小
r_i	對於連線階段 i 的保證速率
r	系統總速率
$C_{i,s}$	連線階段 i 的 WFI 值
$c_{i,s}$	正規化後的 WFI 值
c_s	挑選最差的 $c_{i,s}$ 值當作系統的 WFI 值

WFI 值的定義如下：

$$d_{i,s}^k \leq a_i^k + \frac{Q_{i,s}(a_i^k)}{r_i} + C_{i,s} \quad (1)$$

$$c_{i,s} = \frac{r_i C_{i,s}}{r} \quad (2)$$

$$c_s = \max_i \{c_{i,s}\} \quad (3)$$

2.4 WF²Q+演算法

在多個有線網路的排程方法之中，參考文獻[6]作者所提出的最差情形公平權重公平排隊(Worst-case Fair Weighted Fair Queueing，簡稱 WF²Q)演算法，相同作者在參考文獻[7]中，提出改良式的 WF²Q+，即為我們用以作為無線網路排程方法的無錯服務模組，WF²Q+為封包系統上實作一接近 GPS 的排程方法，相較於其他的有線網路排程方法，WF²Q+的 WFI 值比起大家所熟知的循環式(Round Robin，簡稱 RR)以及過去被當作公平排程演算法中的代表－權重公平排隊(Weighted Fair Queueing，簡稱 WFQ)都還要小，所以是一個更為接近 GPS 的封包系統上的演算法。WF²Q+選擇封包的策略與 WF²Q 相同，不同之處在於使用了新的虛擬系統時間函數，以將計算複雜度自 O(N)降為 O(logN)。在介紹 WF²Q+運作之前，我們將其使用的符號與說明整理如表 2.2 所示。

表 2.2 WF²Q+值符號表

符號	說明
$V_{WF^2Q+}(t)$	WF ² Q+虛擬系統時間
$\hat{B}(t)$	佇列中有負載的連線階段
$h_i(t)$	在時間 t 時，處於連線階段 i 的佇列開頭的封包編號
S_i^k	編號 k 的封包在連線階段 i 中的虛擬起始時間
S_i	連線階段 i 的虛擬起始時間
F_i	連線階段 i 的虛擬結束時間
$V(t)$	虛擬系統時間
a_i^k	連線階段 i 中編號 k 的封包抵達佇列的時間
$Q_i(P)$	封包 P 到達連線階段 i 時的佇列大小
L_i^k	連線階段 i 中編號 k 的封包長度
r_i	系統對連線階段 i 所保證的速率

WF²Q+的詳細運作方式介紹如下：

1. 使用一個虛擬系統時間函數來計算時間，定義如下：

$$V_{WF^2Q^+}(t + \tau) = \max \{ V_{WF^2Q^+}(t) + \tau, \min_{i \in \hat{B}(t)} (S_i^{h_i(t)}) \} \quad (4)$$

更新虛擬系統時間的方式為從各個有負載的連線階段中選取具有最小起始時間的值，以及之前的系統時間加上所經過的時間，從兩者之中選出最大的值來當作新的系統時間，這樣的虛擬系統時間函數的複雜度較低，其好處為：

- a. 虛擬系統時間為具有最小斜率 1 的嚴格單調遞增函數，由參考文獻[5]中得知如此可以提供延遲限制給予資料流為滴漏桶的連線階段。
 - b. 新負載的連線階段其虛擬起始時間至少跟已存有負載的連線階段一樣大，而不會搶先於原本即有負載的連線階段。
 - c. 至少有一個的虛擬起始時間小於或等於虛擬系統時間，如此可以保證這樣的運作方式符合工作保留¹(Work-conserving)機制。
2. 以流量系統下封包的到來順序為準，每一次有封包來到或離開，使用虛擬系統時間更新各自連線階段的虛擬起始時間以及虛擬結束時間：

$$S_i = \begin{cases} F_i & \text{if } Q_i(a_i^k) \neq 0 \\ \max(F_i, V(a_i^k)) & \text{if } Q_i(a_i^k) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$F_i = S_i + \frac{L_i^k}{r_i} \quad (6)$$

3. 每次挑選要傳送的封包時，從各個有負載的連線階段開頭中，挑選出虛擬起始時間小於或等於目前虛擬系統時間的封包，再從中選出具有最小虛擬結束時間的封包來作為此次所要傳送的封包。

¹ 工作保留為一但佇列有封包存在，便會馬上處理而不停頓。

圖 2.4 主要運用 WF^2Q+ 對圖 2.3 範例進行排程的結果，由於 WF^2Q+ 為封包系統下的排程演算法，由於一個時間點只能夠處理來自某一個連線階段的封包，處理一個封包的時間正好是一秒，每次挑選封包依圖 2.3 從四個連線階段中，選取已經開始並且結束時間最早的，若結束時間相同，則以編號較小的優先。

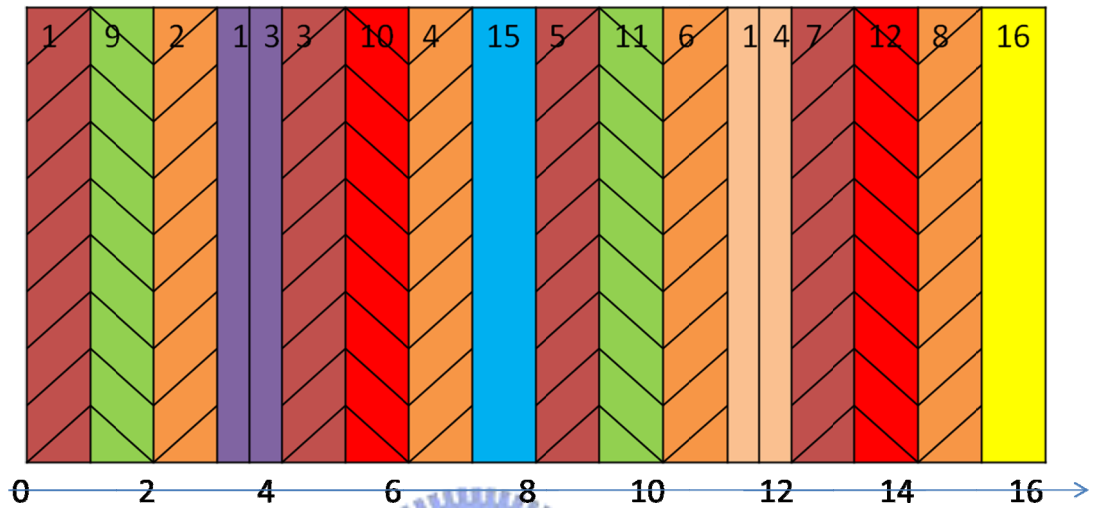


圖 2.4 WF^2Q+ 演算法範例



第三章 研究議題

本章節主要闡述本篇論文中所使用的設計架構，並針對系統架構中各主要元件的運作方式以及功能作進一步的說明。

3.1 排程器設計架構

由於 WiMAX 是基於服務品質所設計的無線網路架構，對於每一個需經過排程發送的封包都要標示屬於某一種服務品質類別(QoS class)，在參考文獻[3]中已制訂的服務品質類別有以下五種：

- UGS (Unsolicited Grant Service): 提供需要即時性跟週期性並且資料流為固定位元速率(Constant Bit Rate, 簡稱 CBR)以及固定尺寸大小的服務，優先權為最高的，由於基地台會週期性地主動分配固定的所需頻寬，所以在作排程時，可以直接從系統所有的頻寬中先分配所需部份的給這類型的服務，而不用放入排程器中作排程。
- RT-VR (Real-Time Variable Rate Service): 資料流為變動速率以及變動尺寸大小，需要有即時性的處理，基地台會週期性地給予詢問(Polling)來變更其所需資料流速率跟頻寬，但是行動節點並不可參與競爭頻寬，優先權次於 ERT-VR。
- NRT-VR (Non-Real-Time Variable Rate Service): 屬於非即時性的服務，資料流為變動速率以及變動尺寸大小，由於並非需要即時性的服務，所以是屬於延遲容忍(Delay-Tolerant)的，優先權次於 RT-VR，分配頻寬時要等比其優先權高的服務都分配完後，才會分配給此種服務，行動節點可藉由競爭的方式來搶得機會送出頻寬要求(Bandwidth Request)。
- BE (Best Efforts Service): 已定義的服務中優先權最小的，有剩餘頻寬時才會分配給此種服務，行動節點可藉由競爭的方式搶得機會送頻寬要求。
- ERT-VR (Extended Real-Time Variable Rate Service): 為參考文獻[3]中所新制訂的服務品質類別，結合了 UGS 以及 RT-VR 的優點，優先權次於 UGS，資料流為變動速率以及變動尺寸大小，但是如同 UGS 服務，基地台會週期性地主動給予預設部分的頻寬，所以也可以不必經由排程器就先直接分配預設頻寬，頻寬不足時行動節點可藉由詢問或是競爭等額外方式獲得更多所需的頻寬。

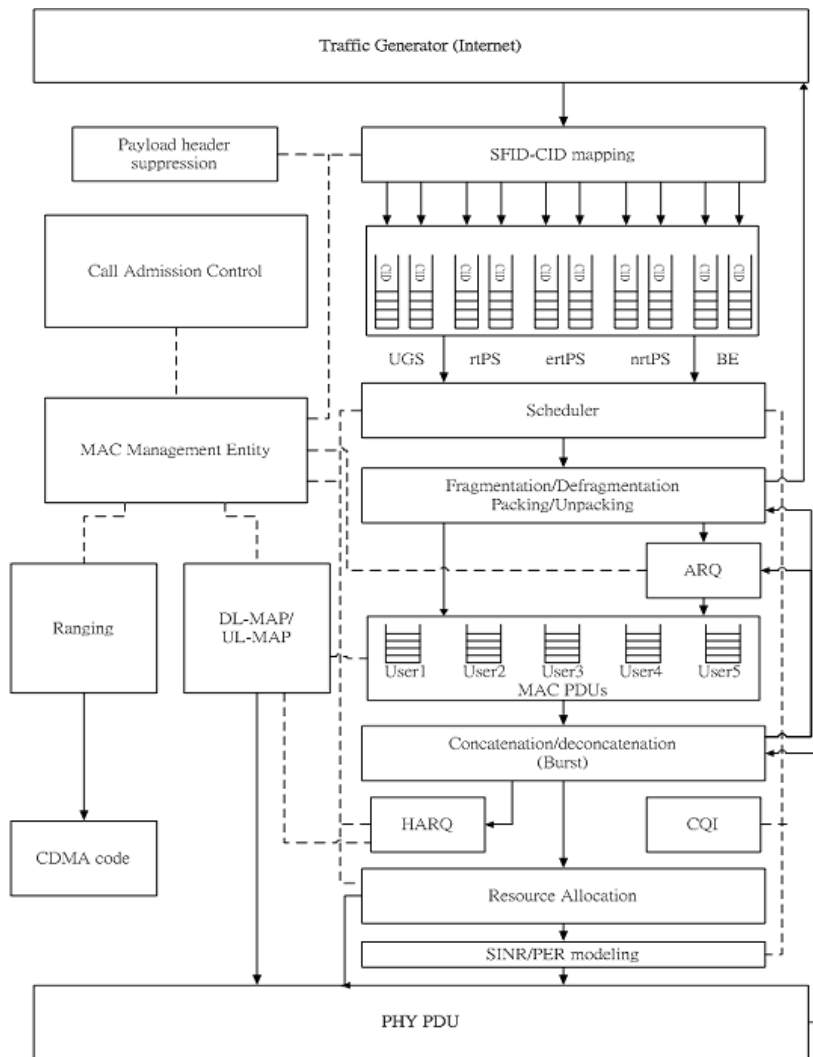


圖 3.1 WiMAX 基地台媒介存取控制層

圖 3.1 為 WiMAX 系統下基地台的媒介存取控制層(Media Access Control Layers, 簡稱 MAC Layers)結構圖[2], 基於此架構, 經排程器排程過後的封包在無線環境傳輸過程中, 會因為遭遇到干擾或是遮蔽而無法順利地傳送資料, 為了不浪費系統資源作不必要的傳送以提高整體系統效能, 而將系統資源改為分配給其他可以順利傳送的連線階段, 等到頻道恢復至可傳送的狀態時, 再對於這些連線階段作補償以達到公平性, 於是我們基於參考文獻[8]的設計架構理念, 將原先的補償器(Compensator)修改為效能調節器(Performance Conditioner), 以期系統資源分配能更為公平, 在下一節我們將會詳細介紹該元件的功能。

本篇論文設計的系統架構如圖 3.2。

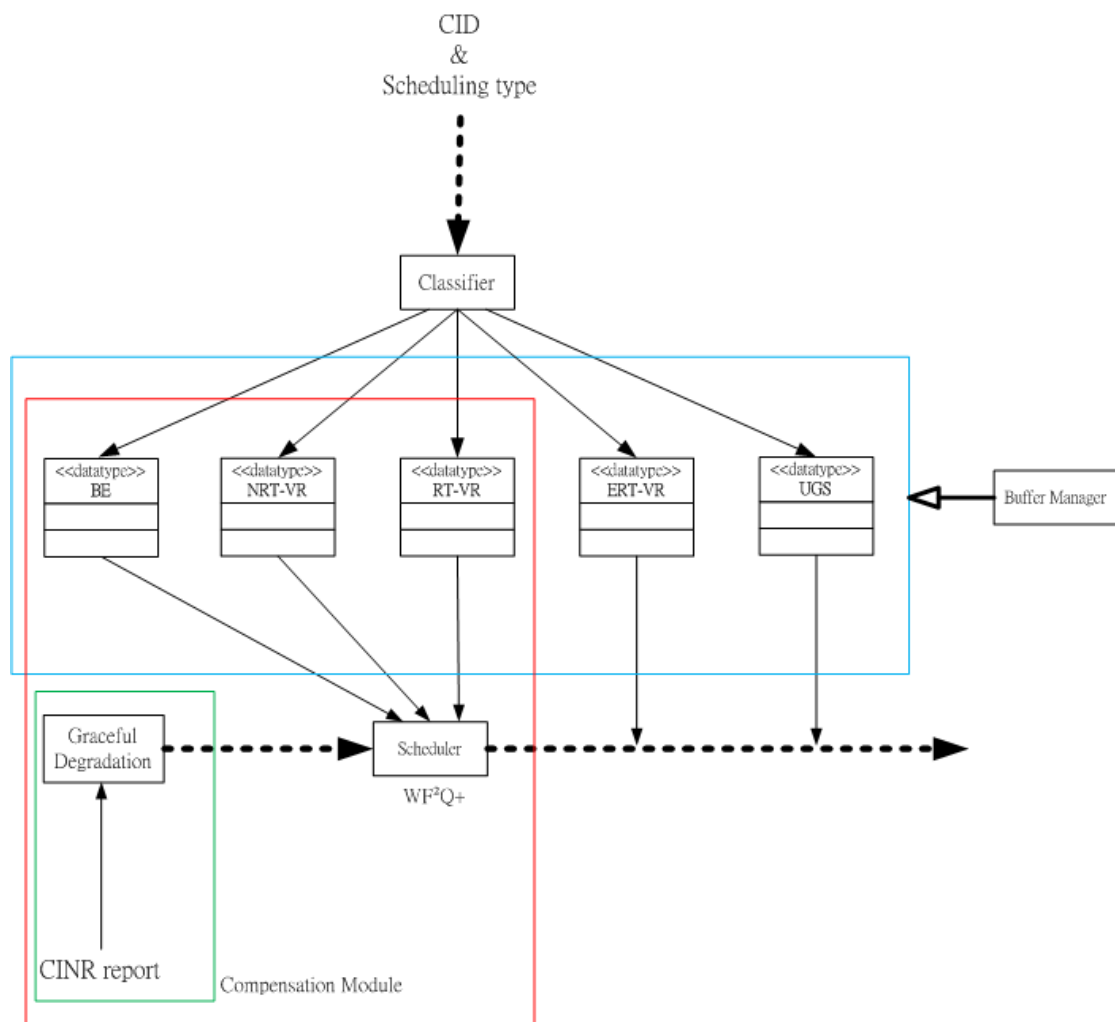


圖 3.2 系統架構圖

3.2 效能調節器

本論文系統架構中，所使用的效能調節器，主要有兩個功能，以下分兩個小節來詳細說明。

3.2.1 CINR 回報

在 WiMAX 所制定的規格當中，在使用正交分頻多工存取(Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access, 簡稱 OFDMA)技術之下，行動節點對於所接收到的訊號跟其他干擾相除得到的實際載波對干擾與雜訊比(Carrier to Interference-plus-Noise Ratio, 簡稱 CINR)值，藉由運算可以將實際 CINR 值轉換成有效 CINR 值，而此數值也就是實際上行動節點向基地台申請改變調變編碼技術(Modulation Coding Scheme, 簡稱 MCS)時的下行間隔使用碼(Downlink Interval Usage Code, 簡稱 DIUC)值，將這個值回報給基地台後，基地台可以藉由跟預設的各種調變速率上限門檻值以及下限門檻值作比較，以便讓基地台知道目前的調變技術對於該行動節點來使用是否不夠可靠抑或太過保守而作改變，門檻值的比較方法如圖 3.3[2]。

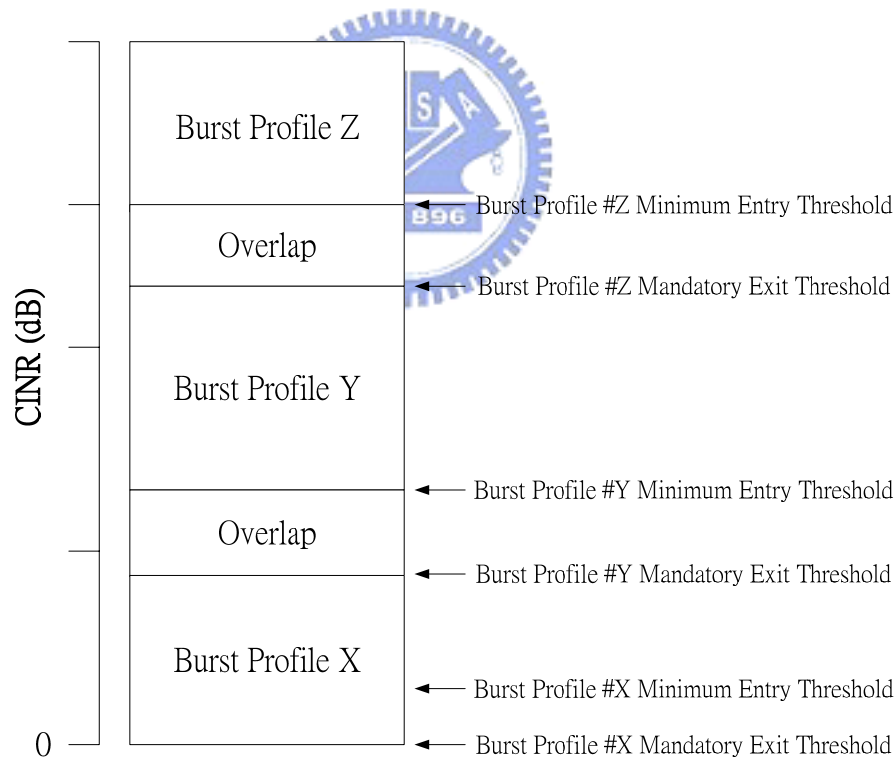


圖 3.3 CINR 門檻值比較表

在效能調節器中即具有得知行動節點回報頻道訊號狀況的功能，得到此數值之後便將其資訊傳遞給排程器，再讓基地台來決定是否要改變 MCS 以符合行動節點的狀況。倘若 MCS 已經設定改為 BPSK 1/2 後，行動節點仍然覺得不夠可

靠以用作傳輸資料，這種情況之下則視為該行動節點目前所使用的頻道狀況不良而無法順利傳送，於是就先不再對該行動節點服務，而將這段時間的系統資源改為分配給其他的連線階段。在行動節點無法傳送的這段期間內，每次被挑選到可以傳送資料的時候，由於頻道無法傳送而必須將機會讓給其他的連線階段，此時便會去更新該行動節點以及相對應得到機會的連線階段的領先/落後計數器，以便知道該行動節點損失了多少機會，並且是讓給了哪些連線階段，等到頻道恢復正常可以傳送資料時，再從之前得到額外傳送機會的連線階段取得傳送機會當作補償，以使得系統服務趨於公平，但補償方式如果不適當將會使得領先的連線階段遭受短暫沉寂(Temporal Silence)，在下一小節我們將詳述此問題，以及改善此問題的方法。

3.2.2 優雅降級

當在作補償機制的時候，因為求好心切想趕緊將落後的連線階段彌平而必須從其他的連線階段搶得傳送機會，此時便會先從這些領先的連線階段來取得傳送機會，因為這些連線階段之前額外多得到傳送機會傳送了更多的資料，為了以示公平，所以在此時作補償時就必須犧牲自己的傳送機會給這些落後的傳送機會，我們稱這種補償方式為落後優先(Lag First)。使用落後優先的補償方式將會使得領先的連線階段遭遇到短暫沉寂，因為系統從這些連線階段取走傳送機會給予落後的連線階段，使得在這段補償落後的連線階段的時間內，這些領先的連線階段將沒辦法傳送任何的資料而呈現類似於中斷的現象，這情況就類似於；當我們在跟別人通話的時候，我們期望從對方那邊得到回應時卻都沒有傳來任何的聲音，此時我們便會覺得通訊不穩而連線中斷了；又或者在連線上網觀看直播體育賽事時，突然畫面就停格或是無畫面的情形，會讓我們對於服務品質覺得不滿意。

在參考文獻[8]中所使用補償方式策略便是落後優先，使用這種補償方式來看整體系統公平性，可以發現似乎是不錯甚至完美的，但是如果我們進一步對於各個連線階段去觀察，便會發現這所謂的公平其實是個假象，我們以參考文獻[9]的 *Jain's fairness index* 來評估各連線公平性：

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 / \left(n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \quad (7)$$

，其中 x_i 代表連線階段 i 的吞吐量(Throughput)，而 n 表示在同一服務類別中競爭資源的連線階段數目，當指標值等於 1 時，即為完美的公平性分配。

用公式(7)來評估各連線的公平性，就會發現遭遇到短暫沉寂的連線階段的值相較於其他連線階段是較差的，而這種現象並不是我們所樂見的，為了改善這種情形，我們提出以下的方法來作補償：

對於系統的資源我們把他分作 α 還有 $1-\alpha$ 兩部份； α 的部份是分配給落後的

連線階段，而 $1-\alpha$ 的部份是分配給其他的連線階段，其中包括領先以及持平的連線階段，以這種方式來分配系統資源的話，領先的連線階段就不會像在落後領先補償方式中每次都無法傳送任何的資料，而能保持在一最低限度的資料量。不過 α 這個值該如何設定就比較困難，如果給予一固定值肯定無法適用於不斷變動的無線環境，所以 α 必須是動態變動的。另外從使用者以及連線階段的角度去思考，如果資料傳輸是突然性的變化，都是比較不令人滿意的，舉例來說：在傳輸過程中如果資料傳輸只是瞬間的突然變慢，使用者便會覺得服務品質不太穩定；如果資料傳輸如果突然變快，但是又馬上回覆到正常的傳輸，因為資料的傳輸忽然變快又變成慢的，一樣會對服務品質覺得不太滿意，因此資料的傳輸過程能夠以緩和的方式變化，如此才不會因為立即性的變化而查覺到服務品質有突然的變化而覺得不滿意。

為了不讓 α 值變化太過急遽，因此我們選擇使用一遞減指數函數作為設定 α 值之用，因為遞減指數函數在座標軸數值變動時，會呈現緩和的曲線圖，我們所使用的遞減指數函數如下：

$$\alpha = \frac{1-\alpha_{\min}}{e-1} e^{-x} + \frac{e\alpha_{\min}-1}{e-1} \quad (8)$$

，其中 α_{\min} 代表落後的連線階段最少會被分配到的比例，而 x 表示持平以及領先的連線階段與落後的連線階段的比，遞減指數函數曲線圖如圖 3.4。

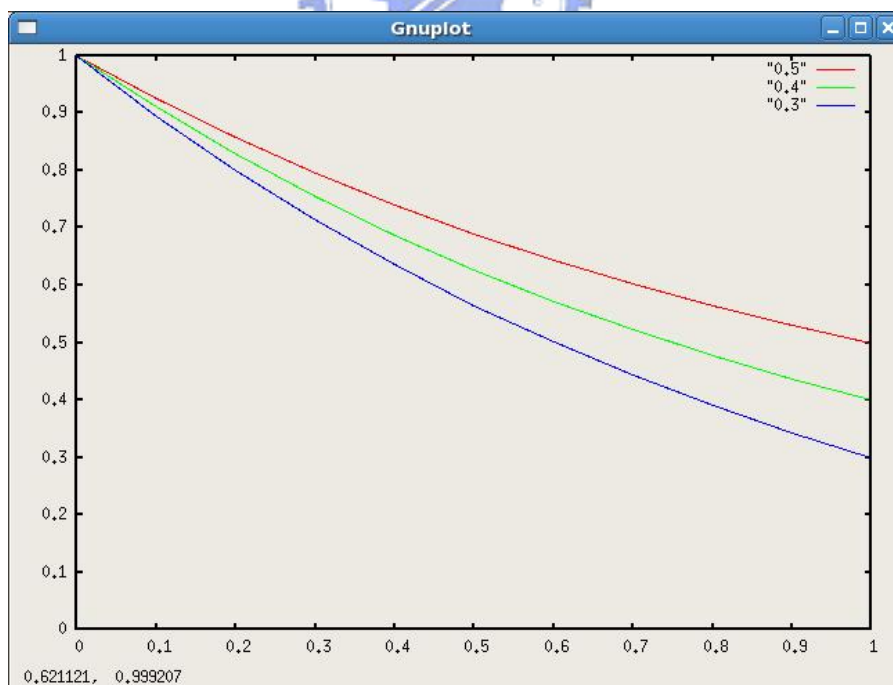


圖 3.4 遞減指數函數圖

藉由公式(8)的運算來作分配，當整個系統都屬於落後的連線階段時，則 $\alpha=1$ ，也就是所有的系統資源都分配給落後的連線階段；當非落後的連線階段與落後的連線階段一樣多時，則 $\alpha=\alpha_{\min}$ ，也就是落後的連線階段會被分配到預設最少的系統資源，如此就能兼顧所有的連線階段都被服務到而不會有短暫沉寂的情形發生。系統將資源依比例分配給落後以及非落後連線階段後，會再次從中挑選出可以分配到資源的連線階段，此時便會再一次經由演算法挑選出適當的連線階段。

補償系統流程圖如圖 3.5 所示，圖中流程所示為每次挑選要傳送封包之程序，由 WF^2Q+ 挑選出的連線階段，倘若在調變過程中無法順利傳送，則回到 WF^2Q+ 挑選另一個可順利傳送的連線階段，挑選出之連線階段藉由判斷領先/落後計數器是否不為零，倘若存有值即代表之前有發生過頻道錯誤而無法傳送之情形，便需要將系統資源作分配給落後以及非落後的連線階段，並再次挑選適當的連線階段，每次流程結束都必須對領先/落後計數器作更新。

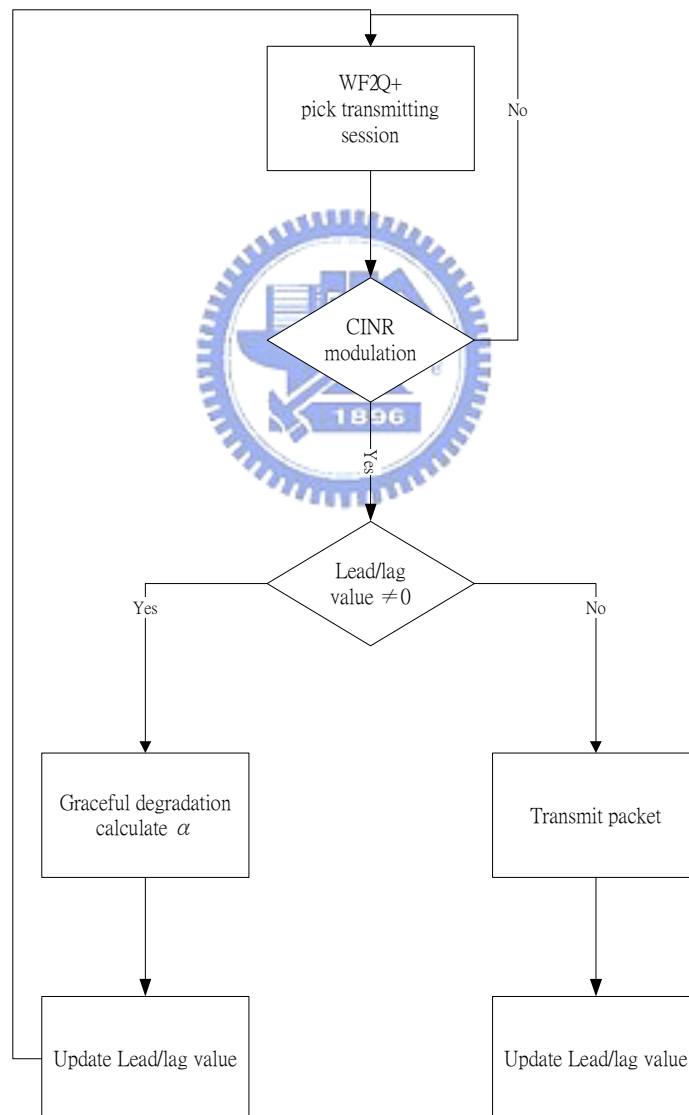


圖 3.5 系統流程圖

第四章 模擬結果探討

本章首先描述所使用的模擬環境平台以及實驗環境參數，再將撰寫的程式模擬結果與參考文獻[8]作比較，並探討兩者之間結果的差異性。

4.1 模擬環境

本篇論文的結果是以 NS2 網路模擬器[10]為實驗平台，並使用美國國家標準與技術局(The National Institute of Standards and Technology, NIST)[11]所開發的 WiMAX 模組來作修改，在排程器上改用 WF^2Q+ 演算法來作排程，並自行加入效能調節器於媒介存取控制層。

4.2 環境參數

實驗環境以參考文獻[8]為準，在 1000×1000 公尺的平面上，設立一台傳輸半徑範圍 500 公尺的基地台在中心，總共有五個行動節點在該基地台的傳輸範圍內，網路拓樸如圖 4.1。

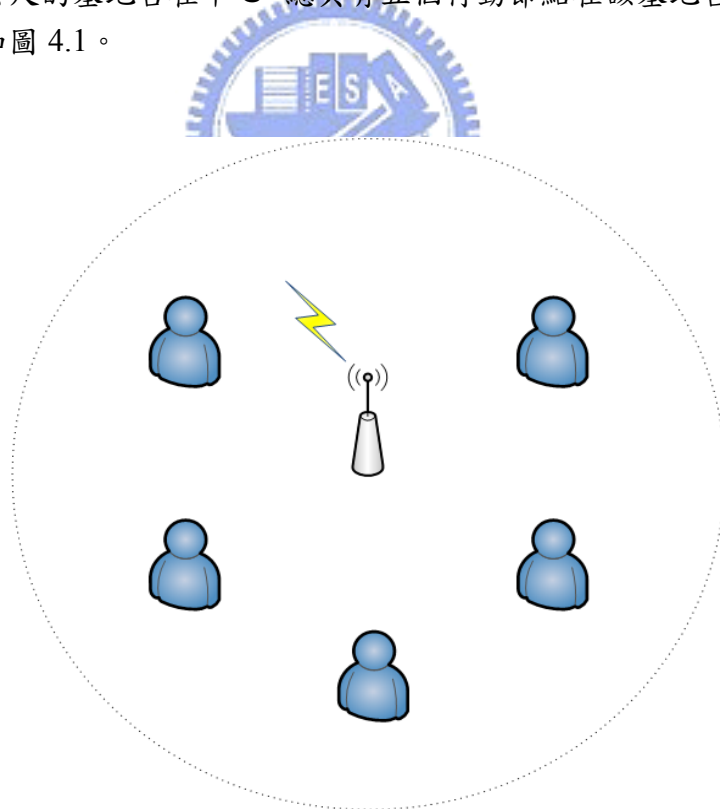


圖 4.1 實驗環境拓樸

基地台與所有的行動節點以正交分頻多工存取(Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access, 簡稱 OFDM)無線技術在 2.4GHz 的頻帶溝通, 預設以 64-QAM 3/4 作調變編碼, 由基地台傳送十條資料流到各個行動節點, 採用使用者資料流的通訊協定(User Datagram Protocol, 簡稱 UDP), 傳送的封包大小為 100 位元組, 使用固定位元速率(Constant Bit Rate, 簡稱 CBR), 間隔時間為 2 毫秒, 分別以六種不同的要求速率模擬, 分別為 50、100、150、200、250、300 千位元/秒, 模擬傳輸時間皆為 300 秒, 詳細參數整理於表 4.1。

表 4.1 環境參數表

實驗環境	環境範圍	1000 × 1000 公尺
	通訊頻率	2.4 GHz
	無線技術	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
各個行動節點以及服務流	行動節點一	Flow 1 (BE), Flow 2 (NRT-VR) Flow 3 (RT-VR)
	行動節點二	Flow 4 (RT-VR)
	行動節點三	Flow 5 (BE), Flow 6 (NRT-VR)
	行動節點四	Flow 7 (BE), Flow 8 (NRT-VR) Flow 9 (RT-VR)
	行動節點五	Flow 10 (BE)
資料流模組	資料來源類型	Constant Bit Rate (CBR)
	資料間隔	2 毫秒
	要求速率	50-300 千位元/秒
	封包尺寸	100 位元組

4.3 模擬結果

在 OFDM 無線技術下，頻道不受干擾的理想狀況系統總效能可達 1.76Mbps，橫座標為資料流的要求速率，十條資料流在六次模擬中，皆以 50、100、150、200、250、300 千位元/秒要求傳送的資料速率，縱座標為各資料流收到的封包效能，單位為千位元/秒，無錯頻道的實驗結果如圖 4.2。

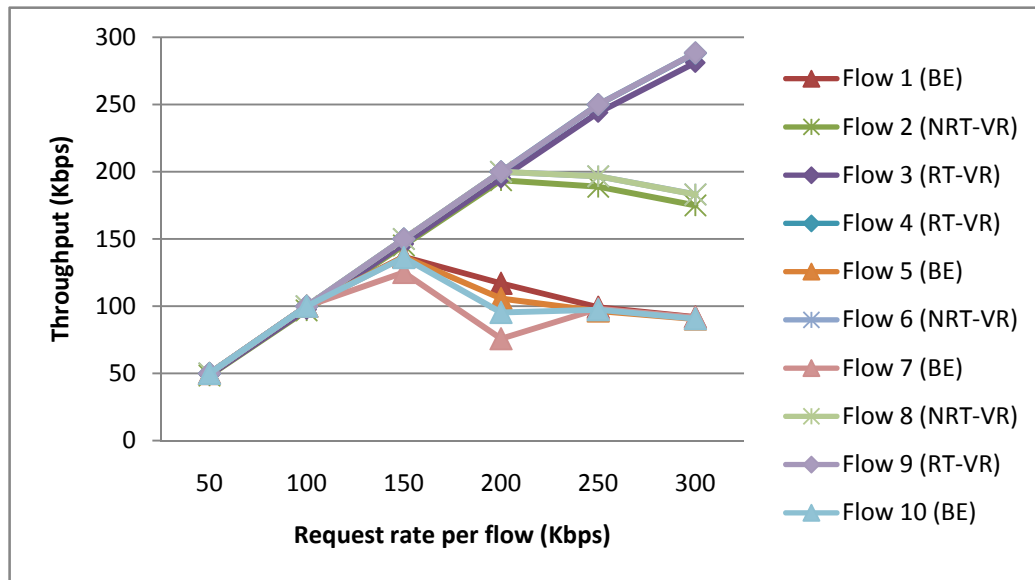


圖 4.2 無錯頻道模擬結果

為了能夠看出所提出的方法在補償時能有多少的改善，我們撰寫一個錯誤模組故意讓傳送無法順利進行，實驗結果如圖 4.3。

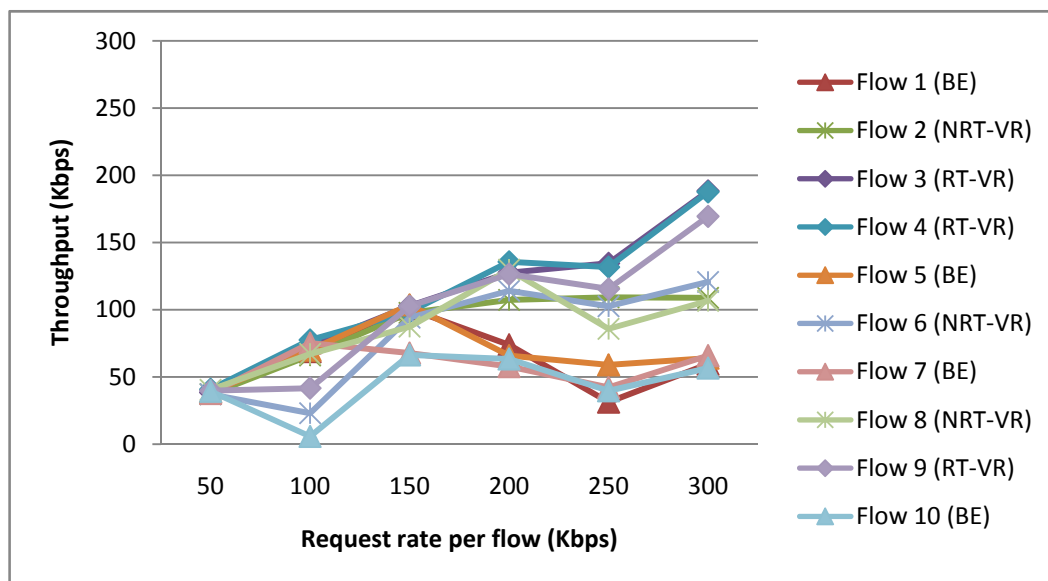


圖 4.3 錯誤頻道模擬結果

依照參考文獻[8]中的方法，我們重新實作其方法，實驗的結果如圖 4.4，各要求頻寬速率的系統效能如表 4.2。

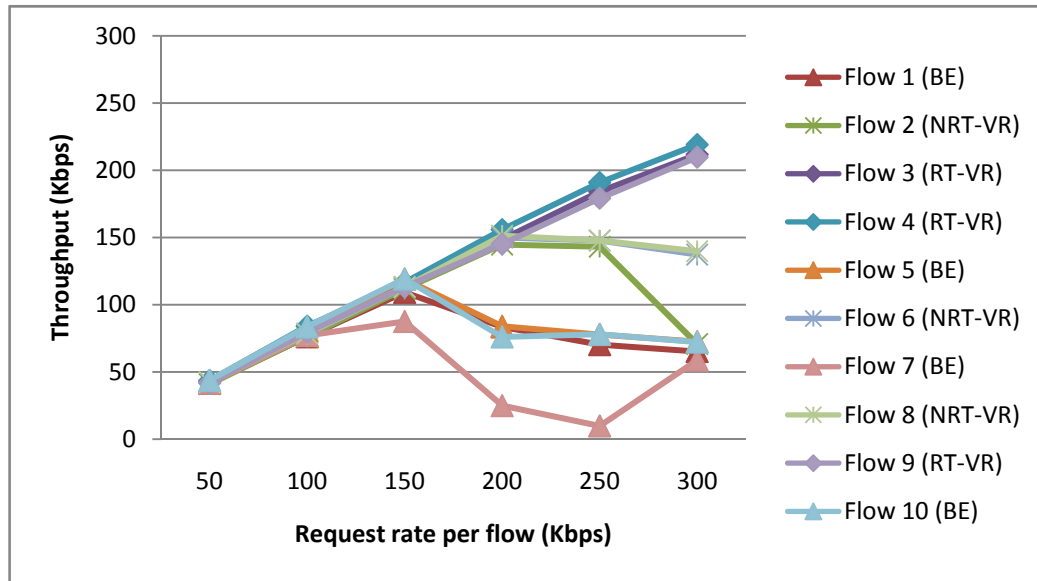


圖 4.4 文獻[8]方法模擬結果

表 4.2 各要求頻寬之系統效能(一)

	50 Kbps	100 Kbps	150 Kbps	200 Kbps	250 Kbps	300 Kbps
效能	0.42 Mbps	0.79 Mbps	1.12 Mbps	1.16 Mbps	1.23 Mbps	1.26 Mbps

利用我們所提出的方法，其實作的結果如圖 4.5，各要求頻寬速率的系統效能如表 4.3，經由比較之下可驗證出藉由改進後的方法，對於系統整體效能有將近 25%的改良。

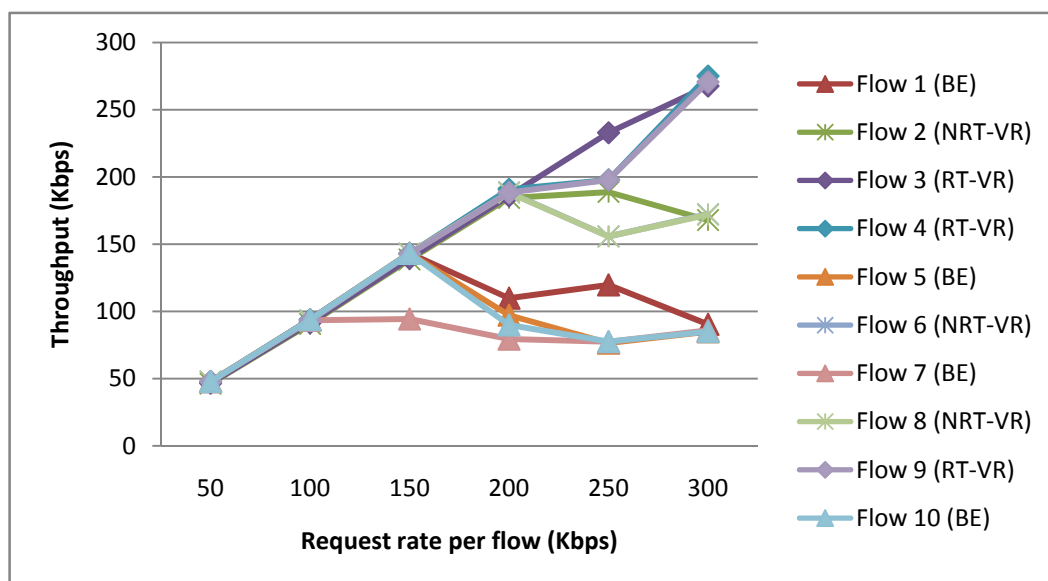


圖 4.5 提出方法模擬結果

表 4.3 各要求頻寬之系統效能(二)

	50 Kbps	100 Kbps	150 Kbps	200 Kbps	250 Kbps	300 Kbps
效能	0.48 Mbps	0.93 Mbps	1.37 Mbps	1.5 Mbps	1.48 Mbps	1.67 Mbps

對於各服務類別的公平性評比，以公式(7)來評估各連線的公平性指標值如表 4.4，藉由優雅降級的方法，的確能有效提升各服務類別的公平性。

表 4.4 公平性指標值

	RT-VR	NRT-VR	BE
無錯頻道	0.999914	0.999898	0.998798
文獻[8]方法	0.999498	0.996304	0.903447
優雅降級	0.999869	0.999704	0.993199



第五章 結論

本論文針對 IEEE 802.16 規格中所沒有制訂的排程演算法方面，藉由對於以不同的服務品質類別作分類的資料流用 WF^2Q+ 演算法來作核心排程，並且配合在媒介存取控制層中加入效能調節器來作輔助，效能調節器對於改變 MCS 以及補償落後的連線階段皆以動態的方式來調整。藉由 NS2 模擬結果可驗證出，運用此種架構設計對於系統整體效能有顯著的提升。



參考文獻

- [1] IEEE 802 Working group. [Online] <http://www.ieee802.org/>
- [2] IEEE Std. 802.16-2004TM, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oct. 2004.
- [3] IEEE Std. 802.16e-2005TM, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Feb. 2006.
- [4] H. Fattah and C. Leung, "An overview of scheduling algorithms in wireless multimedia networks," *IEEE Wireless Communication*, Oct. 2002, vol. 9, no. 5, pp. 76-83.
- [5] A. K. Parekh and R. G. Gallager, "A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Jun. 1993, vol. 1, no. 3, pp. 344-357.
- [6] J. C. R. Bennett and H. Zhang, "WF2Q: Worst-case fair weighted fair queueing," *IEEE INFOCOM*, vol. 1, Mar. 1996, pp. 120-128.
- [7] J. C. R. Bennett and H. Zhang, "Hierarchical packet fair queueing algorithms," *IEEE/ACM Transaction on Networking*, vol. 5, no. 5, Oct. 1997, pp. 675-689.
- [8] A. Lera, A. Molinaro, and S. Pizzi, "Channel-aware scheduling for QoS and fairness provisioning in IEEE 802.16/WiMAX broadband wireless access systems," *IEEE Network*, Sep./Oct. 2007, vol. 21, no. 5, pp. 34-41.
- [9] R. Jain, D. Chiu, and W. Hawe, "A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer systems," DEC res. Rep.TR-301, 1984.

- [10] The Network Simulator-Ns2. [Online] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [11] The National Institute of Standards and Technology (NIST). [Online] <http://www.antd.nist.gov/seamlessandsecure/doc.html/>
- [12] Y. Yi, Y. Seok, T. Kwon, Y. Choi, and J. Park, "W2F2Q: Packet fair queueing in wireless packet networks," *3rd ACM Workshop on Wireless Mobile Multimedia*, Aug. 2000, pp. 2-10.
- [13] 簡榮宏、廖冠雄, "無線區域網路," 全華科技圖書, 2007.

