

在 802.16e 網路中一個以時槽為基礎具最大等待時間保證與容量優先的基地台排程機制

高勝助

國立中興大學資訊科學與工程學系
sjkao@cs.nchu.edu.tw

王志宇

國立中興大學資訊科學與工程學系
s9656018@cs.nchu.edu.tw

摘要

本論文提出一個作用在 802.16e 基地台端以時槽為基礎具最大等待時間保證與容量優先的排程機制 Slot-based Maximum Latency Guarantee with Capacity First (SMLG-CF)。SMLG-CF 優先滿足最高時槽容量的連線，並輔以動態調整上行/下行子訊框，有效提升系統平均傳輸速率。以時槽(Slot)為計算單位，為緊急的連線安排適當的傳送時間及頻率，達到更佳的最大等待時間保證。在 802.16 所定義的各類型連線數相當的情況下，總連線數從 350 條(時槽滿載的情況)增加到 600 條時，SMLG-CF 的平均傳輸速率仍可從 8.3Mbps 上升到 10.8Mbps；最大等待時間違反的比例可限制在 16.2%以內，明顯要優於 DFPQ 的 35.3% 及 HUF 的 27.9%。

關鍵詞：802.16、SMLG-CF、最大等待時間、時槽容量

Abstract

This paper presents a scheduling mechanism for 802.16e base stations, called Slot-based Maximum Latency Guarantee with Capacity First (SMLG-CF). With SMLG-CF, the connection is chosen with highest slot capacity first. With the assistance of dynamic sub-frame adjustment, the average system transmission rate can be enhanced. Through the refined measure in slots and proper transmission time and frequency allocation, the maximum latency guarantee can be achieved for urgent connections. In the case of even distribution of all five QoS classes, as the number of connections increases from 350 (when slots are fully occupied) to 600, the average transmission rate of SMLG-CF increases from 8.3 Mbps to 10.8 Mbps and the maximum latency violation rate is constrained under 16.2%, which is apparently better than 35.3% of DFPQ and 27.9% of HUF.

Keywords : 802.16、SMLG-CF、Maximum Latency、Slot Capacity

1. 前言

網際網路的興盛，促進了無線通訊技術的發展。隨著網際網路使用者對分享資料、電子商務…等網路應用需求的上升，以及隨處皆可上網移動性(Mobility)的需求，網路通訊技術也逐漸朝向無線寬頻上網的目標前進。無線通訊技術正在改變人們的溝通、生活及工作模式。

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) 是一種屬於 IEEE 802.16[1][2][3]標準的無線寬頻接取技術，其定位在無線都會網路(Wireless Metropolitan Network, WMAN)，主要作為最後一哩(Last-mile)的終端接取網路，其通訊涵蓋範圍可到達數十公里，資料傳輸速度可達 130Mbps，並能支援每小時 70 公里的移動速度[17]。在缺乏網路基礎建設的開發中國家或新興的都市，佈建 WiMAX 可替代有線網路，節省佈線成本與維護費用，並擴大網路涵蓋範圍，讓幅員廣大地區的網路連接更為容易。在網路基礎建設較為完善的國家，部份區域可能因所在地離機房太遠，而無法使用寬頻網路的情形，在 802.16 上也幾乎都可以得到解決[18]。相較於現有已相當成熟的無線區域網路(Wireless Local Area Network, WLAN) IEEE 802.11 標準，802.16 由於這種支援長距離的傳輸特性及更高的頻寬，使其能夠滿足更大的涵蓋範圍且容納大量的用戶。

近年來，多媒體的應用快速的發展，如網路電視和多媒體視訊等應用，對於影音的品質要求也越來越高，使得多媒體應用在網路傳輸上的頻寬及即時性的需求逐漸增加[19]。因此，在 802.16 在設計之初，便考量到了資料傳輸上的 QoS。在 802.16 中，資源分配交由基地台來統一進行排程。各個用戶台在傳送及接收資料之前，需先與基地台建立連線，接著依循 802.16 所規定的頻寬請求機制，基地台便可以獲得相

關的訊息，統籌進行資料排程的工作，並依據用戶台的應用需求來配置適當的無線資源。根據不同的應用需求，802.16 定義了 5 種排程服務類型，包含各排程服務類型所需的 QoS 參數和功能。一個有效的排程機制，對整個 802.16 系統的效能影響是非常大的，然而，802.16 並沒有對每個排程服務定義其排程機制，而留給相關研究人員來進行定義。

在 802.16 所定義的 5 種排程服務類型當中，根據即時性的應用與否，可分為屬於即時性的 UGS(Unsolicited Grant Service)、ERT-VR(Extended Real-Time Variable-Rate Service)、RT-VR(Real-Time Variable-Rate Service)，及屬於非即時性的 NRT-VR(Non-Real-Time Variable-Rate Service)、BE(Best-Effort)。而即時性與非即時性排程服務類型的主要差異則在對最大等待時間(Maximum Latency)這個 QoS 參數的支援。在 802.16 當中，各即時性的封包，必須要在其所屬連線所規定的最大等待時間之前被送出。因此，設計出一個作用在 802.16 基地台，能有效保證最大等待時間並提升整體系統傳輸速率的排程機制，是一個相當值得研究的課題。

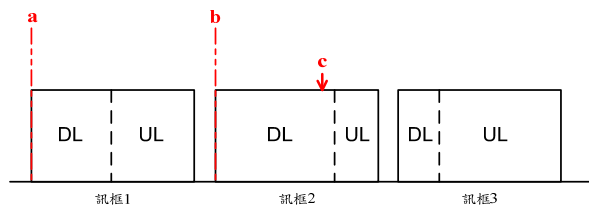


圖 1 剩餘訊框數的意義

一般在做最大等待時間保證時，通常是以前一個 Request 的剩餘最大等待訊框數來做計算。如圖 1，假設有一個即時性的 Request，稱作 R，其最大等待時間落在時間點 c，即 R 在時間點 c 之前就必須獲得頻寬分配，否則會違反最大等待時間。當基地台在時間點 a 要產生 MAP 時，R 剩餘一點多個訊框即逾期，此時一定要把 R 的頻寬需求排入訊框 1。否則，一旦到了時間點 b，R 剩餘零點多個訊框逾期，若將 R 的頻寬需求隨意的排入訊框 2 中，可能使得 R 在時間點 c 之後才獲得頻寬分配，造成 R 的資料逾最大等待時間，無法符合其即時性的需求。

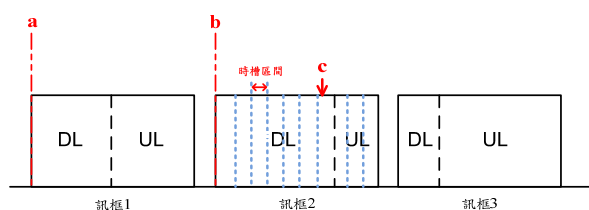


圖 2 剩餘時槽區間數的意義

為了解決這個問題，本論文在處理剩餘零點多個訊框即逾期的 Request 時，改以剩餘時槽區間數(Number of Remaining Slot Durations)為計算單位，盡可能地確保各 Request 能在最大等待時間所在的時槽區間之前獲得頻寬分配，以降低 Request 逾最大等待時間仍為未得到服務的情形。如圖 2，假設 Request R 的最大等待時間落在時間點 c，當在時間點 b 要產生 MAP 時，R 剩餘零點多個訊框數，經過進一步計算可以得出時間點 c 落在第 7 個時槽區間，則只要能夠將 R 的頻寬需求安排在第 7 個時槽區間之前，即可滿足 R 的即時性需求。

本論文提出了一個稱做 SMLG-CF(Slot-based Maximum Latency Guarantee with Slot Capacity First)的排程機制，以 802.16 實體層的時槽為時間計算單位，優先服務即將逾最大等待時間的即時性連線。接著，考慮剩餘連線中，相較之下較為緊急的即時性連線，參考其所能使用的調變狀況，計算同樣使用一個時槽時，所能載送的資料量的多寡，來做為得到服務的優先順序。最後，同樣依據各連線載送資料的能力，來依序服務剩餘的連線。SMLG-CF 能夠在對即時性的封包有較好的最大等待時間保證的同時，也能使系統有較佳的平均傳輸速率。實驗的結果證明 SMLG-CF 不僅能對即時性連線有較佳的最大等待時間保證，同時也提升了系統的平均傳輸速率。

本論文架構如下。Section 1 敘述本論文的研究動機及目的。Section 2 介紹本論文所需的 802.16 相關背景及研究。Section 3 介紹本論文所提出的 SMLG-CF 排程機制，並敘述其設計考量及方法。Section 4 介紹本論文模擬程式所套用的 802.16e 相關設定，包含 802.16e 的系統參數及流量模型...等，並分析討論 SMLG-CF 在各 Scenario 中效能表現。Section 5 對本論文所提之 SMLG-CF 排程機制作歸納總結，並提出未來可繼續研究的方向。

2. 相關背景及研究

本章節介紹本論文相關背景及研究，包括 802.16 的訊框結構、實體層的可適性調變與編碼、QoS 機制、頻寬請求機制、及目前已有的部分 802.16 基地台端排程機制。

2.1 802.16e 訊框結構與實體層概述

802.16 實體層支援分時多工(Time Division Duplex, TDD)與 OFDMA(Orthogonal frequency-division multiple access)，因此 802.16 的訊框結構呈現出一個時間-頻率的二維結構。802.16 的另一個特色是支援可適性調變與編碼，基地台排程機制可以根據各個行動台不同的通道品質，動態的分配各行動台不同調變機制，基於傳輸流量和傳輸品質之間的權衡。以下將介紹 802.16e 的訊框結構、實體層概述及可適性調變與編碼。

2.1.1 802.16e 訊框結構

圖 3 為 802.16e 的訊框結構。橫軸是時間，以符碼(Symbol)為單位。縱軸為頻率，以次載波(Sub-carrier)為單位。所有可得的次載波可以再進一步分成幾次載波群組。

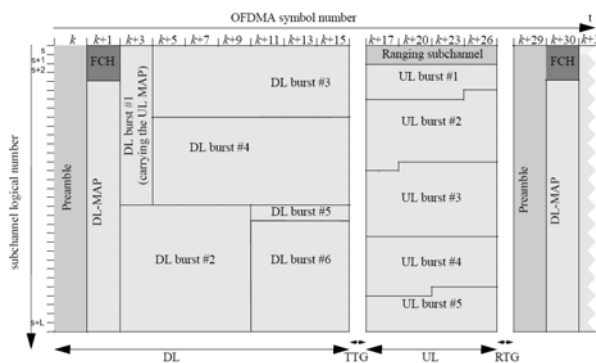


圖 3 802.16e 訊框結構

時槽(Slot)是最小的時間-頻率資源，其是基地台用來分配給行動台頻寬的最小單位。每個時槽包含了一個次通道，其中可能有一個至數個符碼，視其使用的次通道化方法而定。多個時槽可以組成一個 Burst，而同一個 Burst 內的每個時槽都有著相同的傳送或接收特性。通常一個 Burst 會被分配給單一用戶或一個群組的用戶，且使用相同的 Burst Profile。所謂的 Burst Profile 指的是該 Burst 的調變、編碼率和編碼方式的組合。

一個 802.16e 的訊框，又可分為下行子訊框(Downlink Sub-frame)和上行子訊框(Uplink Sub-frame)。其中下行子訊框在前，上行子訊框在後。兩個子訊框由基地台切換傳送模式和接收模式之間的緩衝時間 TTG (Transmit/Receive Transition Gap)隔開。訊框和訊框之間則由 RTG (Receive/Transmit Transition Gap)隔開。訊框的長度是可變動的，通常從 2ms 到 20ms 不等，端看系統設定而定。

在下行子訊框中，一開始是下行前置碼(Downlink Preamble)，由一些實體層的程序所使用，如頻率和時間的同步...等。接著是訊框控制表頭(Frame Control Header, FCH)，其提供了訊框的組態資訊，如 MAP 訊息長度，調變和編碼的方法與可用的次載波...等資訊。在 FCH 之後分別為 DL MAP 和 UL MAP 訊息，用來清楚標示各個不同用戶在目前訊框中所分配到的資料區域。經由對這些訊息的接收，每個行動台都可以辨識分配給其使用的 DL/UL 次通道和 OFDMA 符碼並從 MAP 訊息中獲得各自的 Burst Profile。最後是多個不同大小和種類的 Burst，其用來傳送資料給多個行動台。

上行子訊框由數個不同的上行 Burst 所組成。一部分的上行子訊框特別被用來給不同目的且具競爭性質的存取方法所使用，稱作距測次通道(Ranging Sub-channel)。這種次通道主要是用來當作距測通道，包括行動台一開始進入網路時以及之後定期的執行頻率、時間和功率調整。這個距測次通道也可以讓用戶來做上行的頻寬請求。除了距測通道和 Burst 外，上行的子訊框還額外有一個通道品質指示通道(Channel-Quality Indicator Channel; CQICH)，用來讓行動台回應通道品質的資訊，以便讓基地台的排程機制加以利用。

2.1.2 可適性調變與編碼

802.16 中採用了可適性調變與編碼。其基本原理為：在通道狀況良好的情況下，盡可能的以傳輸速率較高的調變及編碼來傳送，而當通道狀況轉差時，則以傳輸速率低，但較為強健的調變及編碼來傳送，以避免過高的錯誤率，造成封包被丟棄的狀況。

在下行方向，基地台使用 UL-MAP 訊息中的 CQICH Allocation IE 分配 CQICH 給行動台。行動台將接收到該訊息的訊號強度(Signal to Noise Ratio; SNR)，透過 CQICH 回覆給基地台做為該行動台下行通道品質的參考。在上行方向，基地台由接收到的訊號來估測各行動台上行的通道品質。如此一來，基地台排程機制可以將各行動台的上下行通道品質列入考慮，分配各行動台適當的調變和編碼方法來達到最高的傳輸流量。

一般來講，當行動台較靠近基地台時，會有較好的通道狀況，則基地台可以選擇使用傳輸速率較高的調變與編碼率，例如：64QAM 3/4。反之，當行動台較為遠離基地台時，會有較差

的通道狀況，為了避免過高的錯誤率，基地台可能會選擇傳輸速率較低的調變與編碼率，例如：QPSK 1/2。

基地台會依據行動台目前的訊號強度，分配給該行動台一個Burst Profile，決定該行動台在目前的訊框中所使用的調變機制、編碼方式及編碼率。表 1 條列出，在使用PUSC次載波排列方式時，不同Burst Profile，每個時槽所能載送的位元組數。

表 1 每個時槽所能載送的位元組數

調變	編碼率	位元組數
BPSK	1/2	3
	2/3	4
	3/4	4.5
	5/6	5
QPSK	1/2	6
	2/3	8
	3/4	9
	5/6	10
16QAM	1/2	12
	2/3	16
	3/4	18
	5/6	20
64QAM	1/2	18
	2/3	24
	3/4	27
	5/6	30

一般來說，離基地台越近的行動台能獲得越好的調變及越高的編碼率，因此其在一個時槽中所能載送的位元組數也越多。若是我們能夠總是優先處理調變最好及編碼率最高的連線，則能使整個系統有最高的系統平均傳輸速率。但這樣一來，基地台可能總是會把資源分配給離基地台最近的那幾個行動台，造成離基地台較遠的行動台長時間無法得到頻寬滿足的問題。

因此，為了保留可適性調變及編碼帶來的好處，卻又不至於使較遠行動台遭受長時間無法得到頻寬滿足的問題，SMLG-CF 優先考慮各連線的等待時間限制。在滿足系統中等待時間即將屆滿的連線之後，才利用調變及編碼率的好壞作為其餘連線優先權分派的依據之一，藉以提高整個系統的平均傳輸速率。

2.2 802.16 QoS 架構

圖 4 說明 802.16 的 QoS 架構[7]。在下行方向，基地台根據所需傳送的資料量大小及不同的 CID 來分配頻寬給每個行動台。當每個 CID 的 MAC PDU 抵達時，基地台便基於其 QoS 需求來將其排入使用 PHY 的資源排程中。一旦專用的 PHY 資源分配用來傳送該 MAC PDU，基地台便使用 DL-MAP 來指示行動台其安排。

在上行方向，當行動台 MAC 層有來自上層應用服務的 SDU(Service Data Unit)需要傳送時，首先必須要與基地台溝通所需的 QoS 參數並取得 CID 建立連線。行動台可以決定要為單一或一群應用服務向基地台要求建立連線。

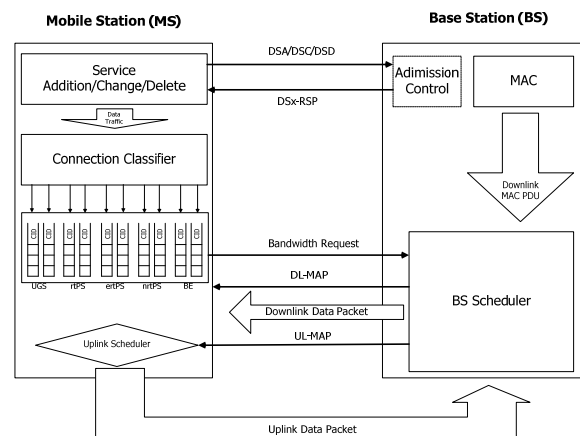


圖 4 802.16 QoS 架構

基地台的允入控制機制 (Admission Control)[9][10]會決定是否要接受此連線的建立。在連線建立之後，行動台才能開始為這條連線作頻寬請求。基地台的排程器，根據眾多行動台各連線的頻寬請求、及各連線保證的 QoS 參數...等眾多因素，以行動台為單位，安排上行總合資源給行動台。基地台會決定出一個 UL-MAP，指示各行動台其安排。在行動台中，所有來自上層的封包，都會透過連線分類器 (Connection Classifier) 分類到適當的佇列裡。行動台端的上行排程器 (Uplink Scheduler) 會從這些佇列中取得封包，並配合由基地台送過來的 UL-MAP 在適當的時槽中，將封包傳送出去。

2.3 802.16 基地台排程機制

在 802.16 網路中，所有的連線都必須先向基地台註冊，以便由基地台統一調派資源，並支援 QoS。雖然在 802.16 標準規格書中，定義了許多利於實作 QoS 的機制，但並無明確定義一個有效的排程方法來支援 QoS，因此如何設計一個簡單有效的 Scheduler，對整個網路的效

能是一個很重要的課題[6][8][11][12][13][14]。

在 802.16 網路中，各行動台以連線為基礎向基地台要求資源，也就是說，基地台可以得知現在哪個行動台有哪些連線需要分配時槽。綜合各行動台的需求之後，基地台以行動台為單位，在 UL/DL MAP 中，指明各行動台，在上行跟下行方向被分配到的時槽位置。由於基地台並不一定會分配完全足夠的頻寬給各行動台，因此在上行方向，行動台可以自己決定在所被分配到的有限無線資源內，要由哪些連線先送資料。因此在基地台端需要有一個上行和一個下行排程器，在行動台端需要有一個上行排程器，來決定封包傳送的先後順序。而各排程器所決定的封包傳送順序，與各連線所能獲得的 QoS 等級息息相關。本小節將針對部分 802.16 基地台端排程機制，進行介紹與分析。

2.3.1 DFPQ

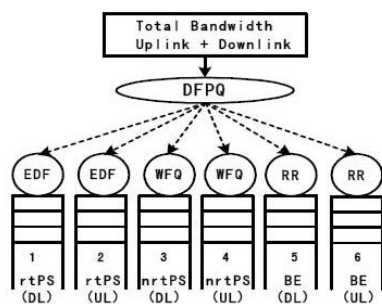


圖 5 DFPQ

Chen[14]中，在 802.16d 的環境下，提出了結合以優先權為基礎的佇列排程機制 (Priority-based Queuing)，並提出將上行和下行無線資源分配放在一起考慮的想法。如圖 5，將基地台全部的頻寬，透過一個 Two-layer Scheduling Architecture 做排程。首先，將所有的頻寬請求，依照上行、下行及排程服務，定義優先順序為：

- I. DL > UL
- II. RT-VR > NRT-VR > BE

由此可得 6 個優先順序不同的佇列。將各數據封包的頻寬需求依符合類型分類至該 6 個佇列。

加總基地台中各類排程服務的連線定義的最大持續訊務速率參數當作該類連線佇列的頻寬配額。接著按照各個佇列的優先順序，由高到低，分配頻寬，直到較高優先權的配額小於零，才服務下一個等級的資料流的佇列。

Chen[14]的方法雖然有著將上行及下行一

起考慮的概念，但下行流量及即時性的排程類型給得過高，很容易發生低優先權的連線無法得到服務的現象。在網路負載重時，高優先權服務類型很容易佔據了整個訊框，造成其他服務得不到頻寬的不公平現象。再者，802.16 網路中每個訊框的總頻寬，並非固定值，理應由各個得到服務的連線，根據其被分配到的時槽數量、距離基地台的遠近、及所使用的調變... 等因素計算而得，每個訊框的總頻寬基本上都是不一樣的值，而其實驗假設系統總頻寬為一個固定值，顯然是不合理的。

2.3.2 APS

APS[8]主要概念是透過一些具時變性的資訊來決定 Priority。其根據連線 QoS 參數有限制的動態調整 Priority，並動態分配上行和下行的頻寬。這邊所謂的可調式 Priority 代表同一個連線的 Priority 在不同的訊框可能是不一樣的。

APS 並未考慮可適性調變與編碼。可適性調變與編碼是基地台排程機制中，增進系統平均傳輸速率非常重要的一個部分。再者，由於 802.16 中，每個訊框可利用的總頻寬並非固定值，關於總頻寬如何求得，如何定義，APS 也沒有交代。並且在頻寬分配的部分，並沒有考慮到實體層的問題。實體層的資源分配單位是時槽，若是單純的只考慮需求頻寬及總頻寬，最後在實體層實際分派無線資源時時，很可能會發生 MAC 層分派結果無法完全精準對應到 PHY 層的情形，造成無線資源的浪費，或根本沒有這麼多時槽可以使用的情形。

2.3.3 HUF

HUF[12]主要概念包括將可適性調變與編碼列入考量、以訊框為時間計算單位確保即時性封包的最大等待時間及動態調整上行及下行子訊框。在可適性調變與編碼的考量上，HUF 列出了使用不同的調變對單一時槽所能載送的位元組數的對應表，讓每個連線所需的頻寬能夠換算成所需要的時槽數，使得在頻寬分配時，能以實體層的時槽為分配單位，若是時槽已分配完畢，則結束該訊框的資源分配工作。如此一來，MAC 層的排程機制對實體層的無線資源能有較為精確的掌握，並能解決 APS 無法得知系統總可用頻寬，其頻寬分配結果可能無法精確對應到實體層無線資源的情形。

HUF 將實體層的時槽納入排程時的考量，但其僅止於將各連線所需要的位元組數轉換

成需要的時槽數，在其排程機制涉入到實體層的無線資源考量時，並未進一步對可適性調變與編碼在系統傳輸速率上可能帶來的好處作優化。再者，若考慮每個連線所使用的調變，假設有等量的資料要傳送，調變較好的連線所需要的時槽數較少，能使系統能有較佳的平均傳輸速率，理應先獲得服務，但觀察其所定義的 U-factor 的計算式，可看出卻是時槽數需求愈大越有可能得到頻寬滿足，顯得有些不合理。最後，HUF 對 deadline 的計算上，由於其將 deadline 取下限整數值，如此可能造成 deadline 值為零點多的請求，被當成 deadline 等於零，直接被視為違反最大等待時間，但是事實上，deadline 值為零點多的請求，若是妥善安排其在訊框中的位置，仍是有機會得到滿足的。

3. SMLG-CF 排程機制

為了解決前述的各項問題，本論文提出了 SMLG-CF 排程機制。SMLG-CF 排程機制 (Slot-based Maximum Latency Guarantee with Capacity First) 主要著重在降低 802.16 網路中違反最大等待時間的封包比例，並且提升整體系統的平均傳輸速率。3.1 節首先介紹 SMLG-CF 上行/下行子訊框的比例分配；3.2 節說明在決定完上行下行各自的子訊框大小之後，上行/下行子訊框進一步被分配給上行/下行連線的流程；3.3 節及 3.4 節再詳細說明 3.2 節頻寬分配流程中，所做的最大等待時間保證及優先權分派的方法。

3.1 上行與下行子訊框的比例分配

以一般網路使用者在使用網路的習慣，大部分時間都是下載居多，例如看線上影片、下載檔案、瀏覽網頁...等。少部分的時候才做上傳的動作，例如上傳檔案、視訊通話...等等。因此，整個網路在上傳及下載流量的差異是極大的。

在使用 802.16 上網的情形下，若是系統固定上行及下行子訊框的比例，很容易因為上傳及下載流量的差異，造成上行子訊框超過負載，下行子訊框卻未使用完，或是相反的情形，因而造成一個方向資源浪費，另一個方向卻是資源閒置，無法對系統頻寬做出最有效的利用。

動態調整上行及下行子訊框相較之下，可以根據網路的流量狀況，動態調整上行/下行子訊框(Uplink/ Downlink Sub-frame)的比例，適應網路的流量狀況，藉以減少因為上行及下行流量

不對稱造成的頻寬浪費。

因此，對於決定上行及下行子訊框的比例，本論文參考[12]，使用下列式子來決定：

$$\frac{UR}{DR} = \frac{(S_{total} - (SD_{DL} \times x)) / SD_{UL}}{x}$$

其中， S_{total} 代表全部可用的 Symbol 數。 SD_{DL} 和 SD_{UL} 分別代表 DL 和 UL 分配到的 Symbol 數。 x 代表 DL 在 time domain 被分配到的時槽數。

UR、DR 分別代表上行、下行頻寬需求。在本論文中，我們分別定義 UR 為滿足所有上行連線 $\min(\text{最小保留訊務速率} \times \text{上次得到頻寬分配到目前經過的時間, 頻寬請求的頻寬需求})$ 所需的時槽總和。DR 為滿足所有下行連線 $\min(\text{最小保留訊務速率} \times \text{上次得到頻寬分配到目前經過的時間, 該連線在基地台 Buffer 中的資料總長度})$ 所需的時槽總和。

3.2 資源分配流程

所有連線分為即時性及非即時性兩大類。即時性為 UGS、ERT-VR、RT-VR，非即時性為 NRT-VR、BE。

首先使用(3)式(見 3.4 節)計算每個即時性連線的 head-of-line 封包剩餘幾個訊框會過期。 r 值用來指示目前各連線須保留的頻寬。若 $r=1$ ，代表獲得頻寬分配的連線將給予最小保留訊務速率的頻寬；若 $r=2$ ，代表獲得頻寬分配的連線將給予最大持續訊務速率的頻寬。資源分配流程圖如圖 6。

先以最小保留訊務速率來保留頻寬。首先保留給 $deadline=1$ 的即時性連線，接著保留頻寬給 $deadline=2$ 的即時性連線，隨時判斷實體層的時槽是否已分配完畢，若分配完畢則結束資源分配的工作。若仍有可用時槽，則將 $deadline>2$ 的即時性連線及所有非即時性連線視為一個連線的集合，使用 3.3 節的優先權分派演算法，決定優先權，依序保留頻寬給 $deadline>2$ 的即時性連線及所有非即時性連線。若滿足所有連線的最小保留訊務速率後，仍有剩餘時槽，則以最大持續訊務速率來保留頻寬，重新執行上述的流程，直到時槽用完或各連線皆已得到滿足。若所有連線的最大持續訊務速率皆已得到滿足後，仍有可用時槽，則將剩餘的時槽全部分配給 BE 類的連線。

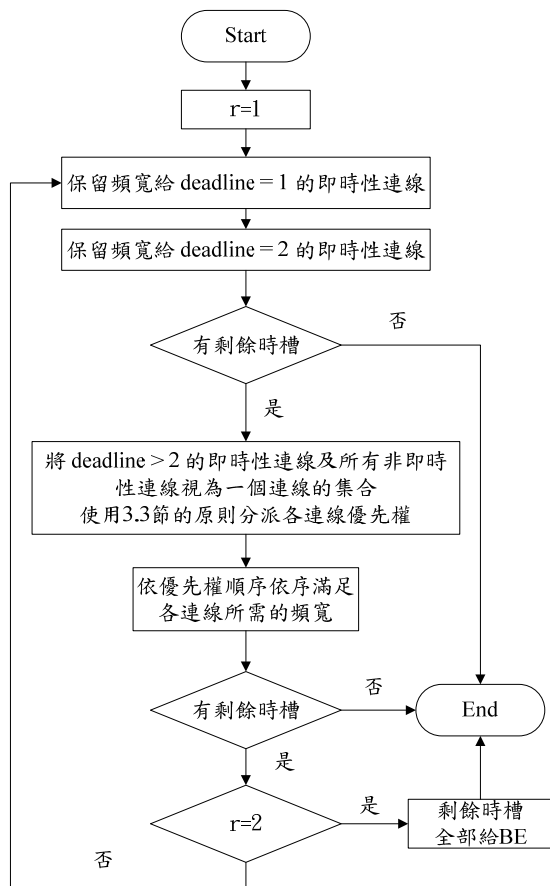


圖 6 SMLG-CF 資源分配流程圖

3.3 優先權分派

在綜合 2.1.2 節所提出的考量及相關研究中已有的部分基本優先權分配方式，演繹成了 SMLG-CF 所採用的優先權分派演算法，來決定在連線的集合內各連線獲得無線資源分配的優先順序。

優先權分派的原則為：以時槽容量較高者為優先。時槽容量相同時，以滿足該連線所需的時槽數較小者為優先。若時槽容量相同，所需時槽數也相同，則以 Traffic Priotiy 高者為優先。如式(1)。

時槽容量 \rightarrow 滿足該連線所需的時槽數 \rightarrow 該連線 Traffic Priority ----- (1)

詳細方法如下：

每個連線有以下屬性：

- Cid 代表該連線的 id，每個連線的 Cid 都是唯一的
- SlotCapacity 時槽容量，即該連線目前每使用一個時槽可以傳送的位元組數
- ReqSize 滿足該連線所需的時槽數

- TraPri 該連線的 Traffic Priority 參數值
- Precedence 該連線被分派的優先順序，數值越小表示優先權越高

現在有一個包含 n 個連線的集合 $S = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$ ，每個連線的 Cid、SlotCapacity、ReqSize、TraPri 屬性皆為已知，Precedence 屬性皆預設為 0。我們要指派給每一個連線一個優先順序，即給定 S 集合內每個連線的 Precedence 屬性值，這個值必須為自然數、不為零，且各個連線的 Precedence 屬性值不能重複。

首先，我們定義幾個需要用到的參數意義：

- sc 紀錄目前要比對的重覆 SlotCapacity 值
- rqs 紀錄目前要比對的重覆 ReqSize 值
- index 在尋找重覆屬性值時，當作參考基準的該連線的索引值

duplicate 用來判斷是否有屬性值重複的情形發生則優先權分派的演算法如圖 7。

先以最小保留訊務速率來保留頻寬。首先保留給 deadline=1 的即時性連線，接著保留頻寬給 deadline=2 的即時性連線，隨時判斷實體層的時槽是否已分配完畢，若分配完畢則結束資源分配的工作。若仍有可用時槽，則將 deadline>2 的即時性連線及所有非即時性連線視為一個連線的集合，使用 3.3 節的優先權分派演算法，決定優先權，依序保留頻寬給 deadline>2 的即時性連線及所有非即時性連線。若滿足所有連線的最小保留訊務速率後，仍有剩餘時槽，則以最大持續訊務速率來保留頻寬，重新執行上述的流程，直到時槽用完或各連線皆已得到滿足。若所有連線的最大持續訊務速率皆已得到滿足後，仍有可用時槽，則將剩餘的時槽全部分配給 BE 類的連線。

```

1. Sort S[0] to S[n-1] according to SlotCapacity
2. for ( i=0; i<n; i++)
3.     duplicate = 0
4.     sc = S[i].SlotCapacity
5.     index = i
6.     while ( i+1<n && S[i+1].SlotCapacity == sc)
7.         i++
8.         duplicate = 1
9.     end-while
10.    if(duplicate == 1)
11.        Sort S[Index] to S[i] according to reqSize
12.        for (j=index; j<i+1; j++)
13.            duplicate = 0
14.            rgs = S[j].reqSize
15.            index = j
16.            while (j<i && S[j+1].reqSize == rgs)
17.                j++
18.                duplicate = 1
19.            end-while
20.            if(duplicate == 1)
21.                Sort S[index] to S[j] according to TraPri
22.            end-if
23.        end-for
24.    end-if
25. end-for
26. for (k=0; k<n; k++)
27.     S[k].Precedence = k+1
28. end-for

```

圖 7 優先權分派演算法

行數	意義
1	將各連線依其 SlotCapacity 值大小，由大到小排序，目的是讓 SlotCapacity 高的連線，有較高的優先權
2-5	首先 i = 0，將編號 i 的連線的 SlotCapacity，暫存給 sc，接著將目前的索引值 i 暫存起來，並將判斷是否有重複屬性值的 duplicate 設為 0
6-9	開始比對編號 i 之後的連線的 SlotCapacity 值，若有發生重複則將 duplicate 設為 1，以茲識別，一直找到 SlotCapacity 值不重複的連線為止
10-11	將 6-9 行所找出的該段 SlotCapacity 值重複的連線，依 ReqSize 由小到大排序
12-23	類似 2-11 行的方法，找出 S[index]到 S[i] 之間，ReqSize 重複的連線，並將這些連線所在的位置，依照其 TraPri 值重新排序
24-25	重複 2-25 行的步驟，直到檢查完全部的連線
26-28	全部的連線檢查完之後，其在 S 集合中的位置，即為其優先順序。因此依序指派 Precedence 值

3.4 最大等待時間保證

在 802.16e 所歸類的多種排程服務中，可以

分為即時性及非即時性兩大類。屬於即時性的有 UGS、ERT-VR、RT-VR 共三種，屬於非即時性的有 NRT-VR、BE 共兩種。而區分這兩類的主要 QoS 參數便是對最大等待時間的支援。屬於即時性排程服務類型的連線在建立之初，都必須先和基地台溝通其最大等待時間的參數值，因此如何確保各個即時性連線的封包能在其最大等待時間到期之前得到服務，是基地台排程機制中非常重要的一個課題。Lin[12] 使用下列式子作為最大等待時間逾期的判斷依據：

$$\text{deadline} = \left\lfloor \frac{\text{ML}}{\text{FD}} \right\rfloor \quad \text{---- (2)}$$

其中 ML 代表該連線的最大等待時間，FD 代表 frame duration。此式子估算各個連線再過多少個訊框會過期。其在頻寬分配時，優先考慮 deadline=1 的連線，而 deadline=0 的連線直接視為違反最大等待時間。問題在於，deadline=0 的連線，代表尚餘零點多個訊框的時間，事實上仍然是有機會可滿足的。因此，若是單以剩餘訊框數來做最大等待保證，是有失精準的。因此，我們稍作修改，定義 deadline 為

$$\text{deadline} = \left\lceil \frac{\text{ML}}{\text{FD}} \right\rceil \quad \text{----- (3)}$$

在採用(3)式計算 deadline 之後，SMLG-CF 在判斷 deadline=1 的連線是否已逾最大等待時間時，以 802.16 實體層的時槽為單位，優先滿足 deadline=1 的連線。簡而言之，我們將剩餘不足一個訊框時間即屆滿最大等待時間的連線納入優先頻寬分配的考量，使得原先使用式子(2) 得到 deadline=0 的連線，能有多一次得到頻寬滿足的機會。

SMLG-CF 資源分配流程，首先計算上行及下行子訊框的比例。接著對上行及下行子訊框所分配到的無線資源做實際頻寬分配。使用以時槽為基礎的最大等待時間保證保留頻寬給 deadline=1 的即時性連線。接著保留頻寬給 deadline=2 的即時性連線。使用 3.3 節優先權分派方式分派優先權給 deadline>2 的即時性連線及所有的非即時性連線，依優先順序依序分配

頻寬給上述的連線。最後若頻寬仍有剩餘，則全部分配給 BE 類的連線。

在實際分配頻寬給 deadline=1 的連線時，我們以實體層的時槽是否用完作為頻寬是否已用完的判斷，直接以時槽來計算，將得到更精確的頻寬分配數值。在資源分配過程中，實體層時槽一旦用完，隨即結束頻寬分配流程，代表已完成頻寬分配的工作。定義每個 deadline=1 的連線，其 head-of-line 封包必須在第 MLS 個時槽(含)之前被送出，才不會違反最大等待時間。全部可得的時槽數定義為 NS。則步驟如下：

- I. 將 deadline=1 的所有即時性連線，根據其剩餘最大等待時間，由小到大排序。
- II. 將第一行的時槽分配給所有 MLS=1 的連線，直到第一行時槽被填滿或是所有 MLS=1 的連線皆已獲得頻寬分配為止。
- III. 從 II 結束的該時槽開始，分配頻寬給所有 MLS=2 的連線，直到第二行時槽被填滿或是所有 MLS=2 的連線皆已獲得頻寬分配為止。
- IV. 依此類推，依序分配時槽給 MLS=3、4、5、...、NS 的所有連線直到所有連線都被滿足或時槽已用盡。

詳細演算法如圖 8。二維陣列 MAP 代表 802.16 OFDMA 訊框結構，每個元素代表一個時槽，元素值代表擁有這個時槽使用權的連線 Cid。CIndex(sub-Channel Index)為當前使用到的次通道索引值。SIndex(Slot Index)為當前使用到的時槽索引值。reqSize 為各連線所需時槽數。NC(Number of sub-Channels)為可用次通道總數。NS(Number of slots)為可用時槽總長度。

```

1. Sort S[0] to S[n-1] according to MLS
2. for(i=0; i<n; i++)
3.     while(SIndex <= S[i].MLS && S[i].reqSize > 0)
4.         MAP[SIndex][CIndex] = S[i].Cid
5.         S[i].reqSize = S[i].reqSize - 1
6.         CIndex = CIndex + 1
7.         if(CIndex == NC)
8.             CIndex = 1
9.             SIndex = SIndex + 1
10.        end-if
11.        if(SIndex > NS)
12.            return
13.        end-if
14.    end-while
15. end-for

```

圖 8 以時槽為基礎的最大等待時間保證演算法

行數	意義
1	將各連線依其 MLS 值大小，由小到大排序
2	從編號 0 的連線開始
3-6	判斷目前處理的連線 MLS 值之前的時槽是否已被使用，若有時槽可以使用且該連線仍有時槽需求，則持續分配時槽給該連線，並以該連線 Cid 標記時槽，直到該連線已被滿足或是 MLS 之前的時槽已被用完
7-10	若某一行的時槽已被用完，則跳至下一行的第一個時槽繼續分配
11-13	若時槽用完則結束此程序

不論是上行或下行子訊框，皆可使用上述的方法保留頻寬給 deadline=1 的連線。差別在於下行方向，保留的頻寬為 $\min(\text{頻寬保留速率} * \text{上次得到頻寬分配到目前經過的時間}, \text{該連線在 Buffer 中的資料總長度})$ 。上行方向，由於無法得知行動台的 Buffer 中有多少資料要送，因此，保留的頻寬為 $\min(\text{頻寬保留速率} * \text{上次得到頻寬分配的時間}, \text{該連線頻寬請求的需求大小})$ 。頻寬保留速率依 3.2 節的 r 值，可能為最小保留訊務速率或最大持續訊務速率。

4. 系統模擬與效能評估

本章節主要針對本論文在 Section 3 所提出的 SMLG-CF 排程機制，做效能模擬評估。本論文使用 Java 語言來撰寫模擬程式。透過模擬不同的網路流量狀況，評估比較使用 SMLG-CF 排程機制，對系統平均傳輸速率及封包違反最大等待時間的比例，與使用其他排程機制在效能上的差別。

4.1 模擬環境及參數



圖 9 系統環境拓撲

系統環境拓撲設定如圖 9。有 1 個基地台固定在正中央，最大傳輸半徑為 2.84 km[6]。行動台數不固定，視各 Scenario 需要而有所調整。行動台在系統中的初始點為隨機分佈。當模擬啟動之後，各行動台以時速 72 公里朝其隨機選擇的一個方向直線前進。每當行動台碰到基地台可傳輸半徑的邊緣時，則再隨機選擇另一個方向直線前進，移動方向以行動台不立即超出基地台的涵蓋範圍為原則。每次的模擬時間為 1 分鐘，相當於 60000 毫秒。系統設定每個訊框的長度為 5 毫秒，因此每一次的模擬總共會產生 12000 個訊框。調變及編碼率的支援，使用表 1 所列之 QPSK 1/2、QPSK 3/4、16QAM 1/2、16QAM 3/4、64QAM 2/3 及 64QAM 3/4... 等六種 802.16e 必須支援的 Burst Profile。詳細模擬參數列於表 2[11]。此外，參考[12]，即時性連線的流量設定如表 3。非即時性的流量設定如表 4。

表 2 802.16e 模擬環境參數

參數名稱	值
Operating Frequency	2.5 GHz
System Channel Bandwidth	10 MHz
FFT size	1024
Duplex	TDD
Sub-Carrier Frequency Spacing	10.94 kHz
Frame Duration	5 ms
Number of OFDMA Symbols	48

OFDMA Symbol Duration		102.9 μ s
RTG/TTG Time		30.4 μ s
Total Simulation Time		60000 ms
DL PUSC	Sub-channels	30
	Symbols per Slot	2
UL PUSC	Sub-channels	35
	Symbols per Slot	3

表 3 即時性資料流流量設定

Scheduling Type	UGS	ERT-VR	RT-VR
Packet Size	Constant Size 70 bytes	Constant Size 70 bytes	Truncated Pareto Distribution Mean = 50 bytes Minimum = 20 bytes Maximum = 125 bytes $\alpha = 1.2$
Inter-arrival Time	Send One Packet Per 20 ms	ON : Exponential Distribution Mean = 1s Send One Packet Per 20 ms OFF : Exponential Distribution Mean = 1.5s	Truncated Pareto Distribution Mean = 6 ms Minimum = 2.5 ms Maximum = 12.5 ms $\alpha = 1.2$

表 4 非即時性資料流流量設定

Scheduling Type	NRT-VR	BE
Packet Size	Exponential Distribution Mean 20 bytes	Exponential Distribution Mean 20 bytes
Inter-arrival Time	Exponential Distribution Mean 30 ms	Exponential Distribution Mean 20 ms

4.2 模擬結果與討論

802.16 共定義了 5 種不同的連線類型，屬於即時性的有 UGS、ERT-VR 及 RT-VR，屬於非即時性的有 NRT-VR 及 BE。即時性及非即時性連線的差異在於即時性連線支援最大等待時間這個 QoS 參數。所有屬於即時性連線的

封包，從其進入 802.16 MAC 層開始，在其最大等待時間屆滿之前就必須要傳送出，以符合其即時性的需求。

為了驗證 SMLG-CF 在系統平均傳輸速率及最大等待時間違反比例上的改善，本論文設計了 3 個 Scenario，並與 DFPQ[14] 及 HUF[12] 做比較。DFPQ 是較早在 802.16 網路中提出動態調整上行及下行子訊框想法的論文，在 802.16 基地台排程機制的相關研究中，DFPQ 被廣泛的引用與比較。HUF 則在 2009 年被提出，著重動態調整上行及下行子訊框與最大等待時間保證，並且有著結合 MAC 層與實體層資源分配的概念。本論文即是基於 HUF 所提出的改善方法。因此，在每個 Scenario 中，本論文將同時呈現使用 DFPQ 及 HUF 的效能表現。本論文效能評估的兩個重點參數系統平均傳輸速率及最大等待時間違反比例定義如下：

$$\text{系統平均傳輸速率} = \frac{\text{所有得到服務的封包所佔的位元數}}{\text{總模擬時間}}$$

$$\text{最大等待時間違反比例} = \frac{\text{逾最大等待時間仍未被傳送的即時性封包數}}{\text{即時性封包總數}}$$

除此之外，各 Scenario 以不同比例的即時性及非即時性連線來測試 DFPQ、HUF 及 SMLG-CF 的效能。各 Scenario 的連線數比例條列於表 5。

表 5 各 Scenario 的連線數比例

Scenario 編號	UGS:ERT-VR:RT-VR:NRT-VR:BE	即時性連線數：非即時性連線數
Scenario 1	0:0:0:1:1	0:1
Scenario 2	1:1:1:0:0	1:0
Scenario 3	1:1:1:1:1	3:2

Scenario 1 以所有的連線皆為非即時性連線來測試，主要目的在於測試調變的好壞對於系統平均傳輸速率的影響。非即時性連線並沒有最大等待時間的限制，沒有封包違反最大等待時間的問題，因此 Scenario 1 將僅呈現各排程機制在系統平均傳輸速率上的表現。Scenario 2 以所有的連線皆為即時性連線來測試，主要目的在於測試各排程機制對於最大等待時間的保證。Scenario 3 則讓各種連線類型的連線數均等，測試在系統中同時有即時性及非即時性連線時，各排程機制在系統平均傳輸速率及最大等待時間保證上的表現。由於 802.16 定義了 3 種即時性服務、2 種非即時性服務，因此 Scenario 3 即時性與非即時性連線

數的比例為 3:2。

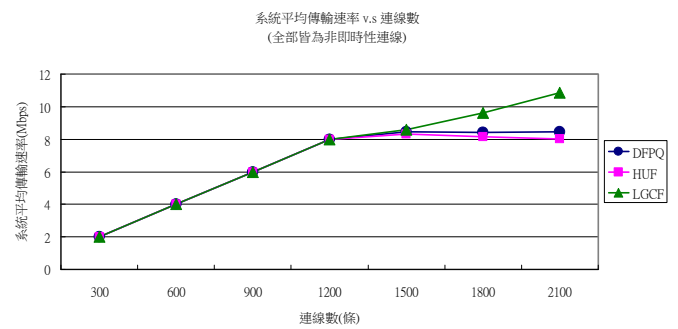


圖 10 Scenario 1-系統平均傳輸速率 vs. 連線數

Scenario 1 設定系統中全部皆為非即時性連線的情況，模擬結果如圖 10。當總連線數小於 1200 條時，由於系統並未達到滿載，因此所有連線中的封包都會得到服務，並且系統傳輸速率隨著流量增加而穩定成長。系統未達到滿載意指實體層在傳送完所有資料封包後，仍有時槽尚未被使用。當連線數超過 1200 條之後，由於 DFPQ 未考慮較佳的調變優先，在資料塞滿了每個訊框的所有時槽，系統平均傳輸速率便到達了極限。根據 2.1.2 節的概念可以推知，同樣大小的資料，若使用較差的調變去傳送，則相對需要較多的時槽。在每個訊框可用時槽數固定的情況下，若是讓調變較差的連線優先傳送，則系統能傳送的資料量相對較少，導致系統平均傳輸速率下降。觀察 HUF 決定優先順序的 U-factor 可以了解到，時槽需求越高，則有越高的傾向能獲得頻寬滿足的機會，但如前述，時槽需求越高，某種程度上，代表可能使用了較差的調變。因此在連線數越來越多情況下，相對調變較差卻獲得優先服務的連線數也越來越多，因而造成 HUF 的系統傳輸速率，在超過 1200 條連線之後，略有往下走的趨勢。相反地，在使用 SMLG-CF 的情況下，由於 SMLG-CF 會優先服務單一時槽能傳送資料量較多的連線。當總連線數越來越多時，調變較好的連線也會越來越多，這讓 SMLG-CF 在選擇要服務的連線時，能有更多的選擇優先服務調變最好的連線。因此，使用 SMLG-CF 能讓系統平均傳輸速率隨著連線數的增加而上升。SMLG-CF 的系統傳輸速率在本論文所設定的模擬環境中，理論上的最大值將發生在全部皆為下行的連線，且全部的時槽皆由 Burst Profile 為 64QAM 3/4 的連線所使用時，其系統平均傳輸速率將達到 31.104Mbps。

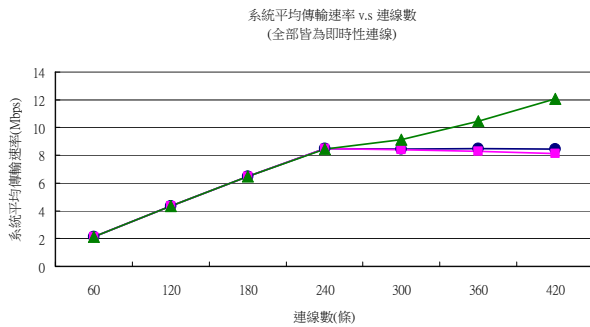


圖 11 Scenario 2-系統平均傳輸速率 vs.連線數

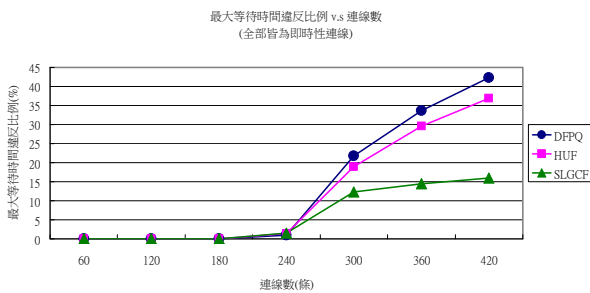


圖 12 Scenario 2-最大等待時間違反比例 vs.連線數

Scenario2 設定系統中所有的連線類型皆為即時性連線，模擬結果如圖 11、圖 12。當總連線數超過 240 條時，系統已達到滿載的情況。隨著即時性連線數的持續上升，越來越多的即時性連線需要先獲得服務。在同一個訊框中，基地台無法同時滿足如此多的即時性連線時，大量的即時性連線對彼此產生了排擠的作用，未被滿足的即時性連線需要等到下一個訊框才再度有被服務的機會。因為這樣的排擠效果，讓部分即時性連線的 deadline 值不斷的下降，當 deadline 下降到一定值時，該連線逾期最大等待時間的封包便會被丟棄，而產生封包違反最大等待時間的情形。顯而易見地，上述的問題在即時性連線數愈來愈多時會漸趨嚴重。

觀察使用 DFPQ 與 HUF 的情形，HUF 由於 U-factor 的計算讓時槽需求較大的連線有優先獲得服務的傾向，因此連線數越多，系統平均傳輸速率略為下降的趨勢依然存在。DFPQ 並未考慮即時性連線最大等待時間的保證，其依不同的服務類型依序給予服務，如此一來，DFPQ 無法保證較為緊急的連線優先得到服務。而 HUF 優先服務在本論文的定義下 deadline=2 的連線，再使用 U-factor 計算，分配剩餘的頻寬。因此，縱使 DFPQ 系統平均傳輸速率略大於 HUF，但 HUF 優先保留頻寬給 deadline=2 的連線，仍使得 HUF 的最大等待時間違反比

例低於 DFPQ。

HUF 及 SMLG-CF 皆優先服務即時性的連線。若有即時性封包違反其最大等待時間，意味著，至少有一個訊框，將無法滿足所有“緊急”的即時性連線。在 HUF 中，緊急代表的是屬於 deadline=2 連線的封包，若其無法在該訊框順利被送出，則以 HUF 的處理方式，其將在下一個訊框直接視為違反最大等待時間。同樣連線 deadline=2 無法被滿足的情況，若發生在 SMLG-CF，由於 SMLG-CF 能夠在 deadline=2 的連線降為 deadline=1 時，適當的安排可能的時槽位置來滿足此連線，相較於使用 HUF，使用 SMLG-CF 能夠給予這些緊急的連線多一次被服務的機會，而不至於直接視為違反最大等待時間，因此某種程度上緩和了封包違反最大等待時間的情形。再者，由於 SMLG-CF 對於較為不緊急的即時性連線，給予調變較好的連線優先被服務的機會，因此系統平均傳輸速率隨著連線數的增加而上升。由於 802.16 的訊框是一個固定的時間區間，例如在本論文的實驗中，一個訊框為 5ms。當系統平均傳輸速率越高，則同樣一個 5ms 的訊框可以傳送的資料量也越大。相較於 DFPQ 及 HUF，同樣一個訊框，SMLG-CF 能夠傳送較大的資料量，因此使用 SMLG-CF 能夠及時傳送較多的即時性封包。SMLG-CF 結合給予緊急的連線多一次被服務的機會及較高的系統平均傳輸速率，因此相較於 DFPQ 及 HUF，有著較低的最大等待時間違反比例。

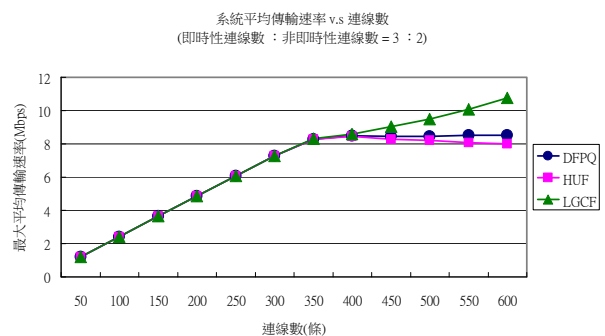


圖 13 Scenario 3-系統平均傳輸速率 vs. 連線數

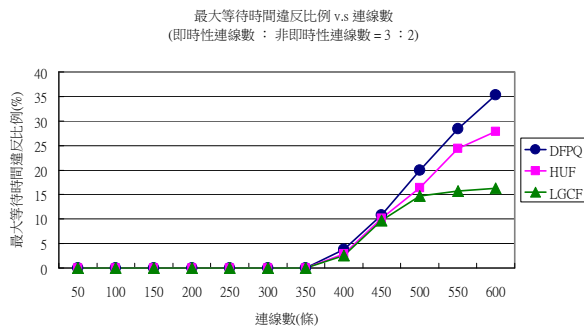


圖 14 Scenario 3-最大等待時間違反比例 vs.連線數

Scenario 3 設定各類型的連線數均相等的情況，模擬結果如圖 13 及圖 14。在總連線數到達 350 條以前，DFPQ、HUF 及 SMLG-CF 即時性封包違反最大等待時間的比例都是零，這同樣是由於基地台可服務的連線的數量，尚未達到滿載，因此幾乎所有的封包都可以順利的被送出。在連線數超過 350 條之後，由 SMLG-CF 有考量調變較好的連線優先，因此最大傳輸速率仍持續上升。DFPQ 及 HUF 因未考量調變較好連線優先，因此最大傳輸速率不再上升。同時，HUF 因讓時槽需求較大的連線有優先獲得服務的傾向，因此隨著連線數增加，系統平均傳輸速率略有往下降的趨勢。

觀察圖 14，DFPQ 並未考慮即時性連線的 deadline，因此很容易明明有緊急的連線需要頻寬，而 DFPQ 卻把頻寬分配給不緊急的連線，造成緊急的連線逾時，最大等待時間違反比例上升，因此可看到 DFPQ 的最大等待時間違反比例最高。HUF 讓 deadline=2 的連線優先傳送，能夠從需要服務的連線中，挑選出較為緊急的連線優先服務，因此相較 DFPQ 有較低的最大等待時間違反比例。而 SMLG-CF 不只保留頻寬給 deadline=2 的連線，更進一步的為在 HUF 中會被視為違反最大等待時間的 deadline=1 的連線在訊框中安排適當的位置，讓即時性的連線多一次被服務的機會，並且由於 SMLG-CF 有更高的平均傳輸速率，能夠服務更多的即時性連線，因此在 DFPQ、HUF 及 SMLG-CF 中，SMLG-CF 有著最低的最大等待時間違反比例。

5. 結論與未來展望

在 802.16 標準所定義的眾多 QoS 參數之中，與即時性的應用最為息息相關的便是最大等待時間，其意義為確保即時性的封包在到達

802.16 MAC 層之後，能在最大等待時間屆滿之前送出，以期滿足各多媒體應用的即時性需求。為此，本論文針對最大等待時間的保證，提出了 SMLG-CF 排程機制。相較於單純使用剩餘訊框數為判斷依據的方法，其最晚必須在剩餘訊框數仍大於一時，於該訊框的任意位置為該連線配置無線資源，若剩餘訊框數小於等於一，只能直接視為違反最大等待時間。而 SMLG-CF 以時槽為單位，為剩餘訊框數小於等於一的連線，適當的安排其在訊框中的確切位置，給予即將屆滿最大等待時間的連線，多一次被服務的機會，並輔以優先服務調變最好的連線，提升系統平均傳輸速率，同時降低即時性連線違反最大等待時間的比例。

透過 Section 4 的實驗結果，證明了本論文所提之 SMLG-CF 演算法，不論在即時性連線比例高或低時，相較於其他排程機制，皆能有效的降低最大等待時間違反比例並提升系統平均傳輸速率。

未來，我們仍有兩個方向。第一，將著重在考量更多的 QoS 參數，探討在考慮更多的 QoS 參數之後，對 SMLG-CF 及系統效能上的影響，並研究如何在多個 QoS 參數考量中，取得一個效能最佳的平衡。第二，期望能將 SMLG-CF 所提出之想法及概念，套用在 802.16 家族的其他成員，如 802.16j、802.16m... 等，甚至其他的無線寬頻存取技術上，並探討解決可能發生的問題及需要修改的部分，以期 SMLG-CF 能支援更多的無線寬頻存取技術。

參考文獻

- [1] IEEE. 802.16-2004: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. Standard, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, 2004.
- [2] IEEE. 802.16e-2005: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems – Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands. Standard, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, 2006.
- [3] IEEE. 802.16j/D7: Draft Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16 : Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Multi-hop Relay Specification, 2008.

- [4] Senarath, G., Tong, W., Zhu, P., Zhang, H., Steer, D., Yu, D., Naden M., and Kitchener, D., "Multihop System Evaluation Methodology: Traffic Models," IEEE C802.16j-06/024r1, <http://www.ieee802.org/16/relay>.
- [5] Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation," WiMAX Forum, 2006.
- [6] 陳銘揚, "無線都會網路中具有服務品質保證之跨層級訊框排程方法", 電子工程研究所, 碩士論文. 台灣科技大學, 2007.
- [7] Wongthavarawat, K. and Ganz, A., "Packet scheduling for QoS support in IEEE 802.16 broadband wireless access systems," *International Journal of Communication Systems*, vol. 16, pp. 81-96, 2003.
- [8] Wang, Y. H., Wang, S. S. and Huang, S. Y., "An Adaptive Priority-based Scheduling Scheme for IEEE 802.16 Networks," *The 3rd Workshop on Wireless, Ad Hoc, and Sensor Networks*, 2007.
- [9] Wang, H., Li, W. and Agrawal, D. P., "Dynamic admission control and QoS for 802.16 wireless MAN," *Wireless Telecommunications Symposium*, pp. 60-66, 2005.
- [10] Tung, H. Y., Tsang, K. F., Lee L. T. and Ko, K. T., "QoS for mobile WiMAX networks: Call admission control and bandwidth allocation," *5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, CCNC, pp. 576-580, 2008.
- [11] Sayenko, A., Alanen, O. and Hämäläinen, T., "Scheduling solution for the IEEE 802.16 base station," *Computer Networks*, vol. 52, pp. 96-115, 2008.
- [12] Lin, Y. N., Lin, Y. D., Lai, Y. C. and Wu, C. W., "Highest Urgency First (HUF): A latency and modulation aware bandwidth allocation algorithm for WiMAX base stations," *Computer Communications*, vol. 32, pp. 332-342, 2009.
- [13] Cicconetti, C., Erta, A., Lenzini, L. and Mingozzi, E., "Performance evaluation of the IEEE 802.16 MAC for QoS support," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 6, pp. 26-38, 2007.
- [14] Chen, J., Jiao, W. and Wang, H., "A service flow management strategy for IEEE 802.16 broadband wireless access systems in TDD mode," *IEEE International Conference on Communications*, pp. 3422-3426, 2005.
- [15] Andrews, J. G., Ghosh, A. and Muhamed, R., *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking (Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series)*. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA, 2007.
- [16] WIKIPEDIA, "Quality of service", http://en.wikipedia.org/wiki/Quality_of_service
- [17] 政府出版資料回應網, "WiMAX Forum Member Conference 參加報告書", 2007, http://open.nat.gov.tw/OpenFront/report/show_file.jsp?sysId=C09601777&fileNo=001
- [18] ITIS智網, "WiMAX服務市場發展現況分析", 2009, <http://www.itis.org.tw/rptDetailFreeEPaper.screen?loginState=1&industry=1&ctgy=5&rptidno=370687054>
- [19] 中央研究院資訊科學研究所, "多媒體處理與應用", 2008, <http://www.iis.sinica.edu.tw/page/research/MultimediaProcessingApplicationLabs.html?lang=zh>