

A Burst Fragmentation and Scheduling Algorithm (BFSA) for Downlink Traffic in IEEE 802.16 OFDMA Systems

石貴平

淡江大學

資訊工程學系

kpsih@mail.tku.edu.tw

陳弘璋

經國管理暨健康學院

資訊科技系

gileschen@ems.cku.edu.tw

蔣季陶

淡江大學

資訊工程學系

897410113@s97.tku.edu.tw

陳磬霖

淡江大學

資訊工程學系

697411691@s97.tku.edu.tw

摘要—本論文考量在 IEEE 802.16 OFDMA Frame 架構下，提出一個 Downlink 頻寬管理機制來分配與規劃 Downlink Subframe 中的 Subchannel 與 Symbol Time，此機制之基本概念在於針對不同使用者，配置可支援較高傳送速率的 Subchannel 藉以提升網路的整體傳輸效能。由於不當地分配 Subchannel 與 Symbol Time 會造成資源利用率下降與 Downlink Subframe 嚴重外部碎裂與內部碎裂且亦會增加 DL-MAP Control Overhead，進而降低網路整體執行效能。為了解決上述之問題，本論文針對 Downlink 頻寬之分配與排程，提出一 Burst Fragmentation and Scheduling Algorithm (BFSA) 去調整與分配每個排程的 Burst 之 Subchannel 位置與大小，透過適當的 Subchannel 配置與安排，能夠提升網路整體執行效能與增加 Subchannel 利用率。由實驗結果發現，BFSA 可以有效地降低內部碎裂及外部碎裂之問題發生，並且能夠提升 Downlink Subframe 的利用率。

關鍵詞—IEEE 802.16e, Fragmentation, Scheduling, Resource Allocation, OFDMA。

一、緒論

隨著無線通訊技術的快速成長，無線語音服務、資料通訊及各項行動影音多媒體的需求也如雨後春筍般地增加，然而目前的無線區域網路(Wireless Local Area Networks, WLANs)面臨涵蓋範圍與傳輸速率不足等瓶頸，除此之外，WLANs 對於後置網路(Backhaul Networks)的資料傳輸須藉由有線網路的支援，無線網路業者尚須額外負擔有線網路之建置成本。有鑑於此，以 WiMAX 為基礎的無線寬頻網路逐漸成為下一代網路架構的新興寵兒[4][15]。

WiMAX 所依據的技術標準為 IEEE 802.16[1]系列規範。一個 IEEE 802.16 的網路包含一個基地台(Base Station, BS)與數個用戶台(

Subscriber Stations, SSs)或行動站台(Mobile Stations, MSs)。在本論文中，MSs 與 SSs 均以 MSs 通稱。在 IEEE 802.16 標準中，實體層(Physical Layer)支援了五種高速傳輸技術，其中正交分頻多工存取(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA)技術，被視為下一代無線網路通訊的標準。OFDMA 可以同時服務多個使用者並且透過多重調變(Modulation)和編碼(Coding)方式，來提昇傳輸的服務品質。

在 IEEE 802.16 中，Burst 為 BS 配置給單一 MS 在 Frame 中的基本傳輸與接收資料之單位。一個 Downlink Burst 是由數個 Subchannel 與 Symbol Time 所構成的二維矩型空間，如圖一、所示。由於每個 MS 在不同的 Subchannels 會因為環境中的障礙物，造成 MS 不同 Subchannel 之間有著不同的雜訊，導致各個 Subchannel 所支援的調變技術不盡相同，進而影響傳輸速率。因此，在決策每個 MS 的 Downlink Burst 時，須考量每個 MS 在不同 Subchannels 的接收品質來決定可支援的傳輸調變與編碼技術。基於此項考量，BS 會透過 MS 對於不同 Subchannels 之有效載波與干擾雜訊比(Carrier to Interference and Noise Ratio, CINR)的回報並推估每個 MS 在各個 Subchannel 上所能支援之調變技術，接著考量每個 MS 的頻寬需求來進行 Subchannel 與 Symbol Time 之分配。然而，不當地分配 Subchannels 與 Symbol Time 會造成 Downlink Subframe 嚴重的外部碎裂問題(External Fragmentation Problem, EFP)與內部碎裂問題(Internal Fragmentation Problem, IFP)發生，除此

二、問題描述

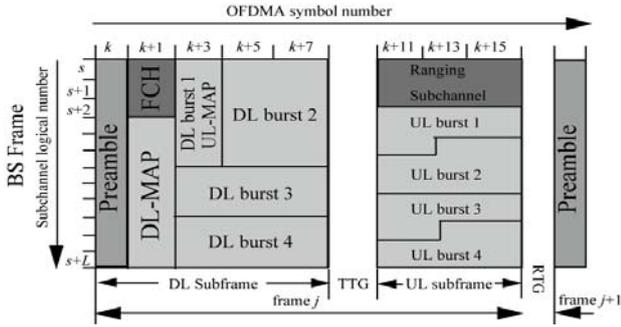
A. DL-MAP Control Overhead

在無線網路中，頻道的好壞會隨著時間有所改變，為了確保資料的傳輸正確，BS 必須定期蒐集每個 MS 在每個 subchannel 的接收品質，並且根據此訊號品質決定一個適當的調變與編碼來進行傳輸資料。因此，如何有效率地分配 subchannels 來提升網路的 Throughput，一直是目前值得關注之議題，在目前研究中資源配置的方式多採用 Subchannel 優先作為配置的準則，考量在調變技術分佈不連續的情況下，倘若 BS 在配置每個 Burst 位置時，均以該 MS 可支援之最高調變的 Subchannels 來作為依據時，將導致 Downlink Subframe Burst 數量增加，此時亦會增加 DL-MAP Information Elements (IEs) 數量，進而壓縮可用之頻寬，致使無法滿足部分的 MS 之需求。

DL-MAP 所包含的欄位資訊已經詳述在 IEEE 802.16 規格書中，透過其欄位大小可以計算出 DL-MAP 的大小，如式(1)所示：

$$\Theta = 108 + \sum_{b=1}^B (44 + 16 \times \xi^b) \quad (1)$$

其中 Θ 為 DL-MAP 的大小， B 為 Burst 數量， ξ^b 為 $Burst^b$ 所包含的 Connection 數量，由式(1)可得在 Downlink Subframe 中會影響 DL-MAP 大小為 B 與 ξ^b ，但經由觀察可以發現，Burst 中所包含的 connection 的數量並不一定會造成 DL-MAP 變大，假設將 Burst i 其中一條 Connection 資料完整轉移至 Burst j ，在這種情況下，Connection 總數量皆不會改變。因此，對於 DL-MAP 大小有最直接影響的資訊為 Burst 數量。假設為 Downlink Subframe 中可使用 Slots 數量為 $M \times N$ ，其中 M 為 Downlink Subframe 的 Symbol 數量， N 為 Subchannel 數量，實際在 Downlink Subframe 中可使用的資源為 $M \times N - \Theta$ ，當 Θ 愈大時，可分配之頻寬將會減少，網路的 Throughput 與頻寬利用率也隨之降低。

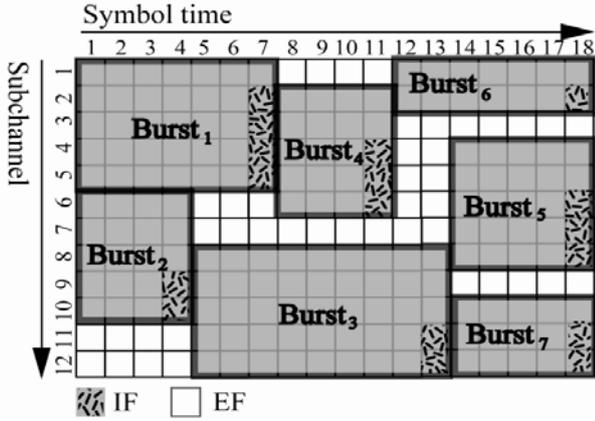


圖一、 IEEE 802.16e OFDMA frame 架構。

之外，由於 Downlink Subframe 中 Burst 的位置與大小資訊必須由 Downlink MAP (DL-MAP) 來進行公告，然而，不當分配 Burst 數量會增加 DL-MAP 之大小，進而壓縮可傳輸資料之頻寬，致使網路效能降低。因此，如何有效率地分配 Subchannels 與 Symbol Time 來提升 Downlink Subframe 利用率將是值得探討的研究議題之一。

目前考量 OFDMA Frame 架構下，根據 MS 的頻寬需求來決定 Burst 的大小與位置之研究有 [7][8][9][11][12][13][14][16][17][18][19]。然而在目前的研究中，皆有過多的 DL-MAP Control Overhead 發生且部分有外部碎裂 (External Fragmentation) 與內部碎裂 (Internal Fragmentation) 浪費情形之問題。因此，本論文針對 Downlink Subframe 頻寬規劃與排程提出一 Burst Fragmentation and Scheduling Algorithm (BFSA) 演算法，該演算法主要目的在於藉由調整 Burst 之結構來規劃每個 Burst 的 Subchannel 與 Symbol Time，該演算法能夠針對上述嚴重的外部碎裂 (External Fragmentation) 與內部碎裂 (Internal Fragmentation) 之浪費情形進行解決，除此之外，在調整 Burst 的結構時，亦考慮 Downlink Subframe 的資源浪費與 DL-MAP 大小之間的關係，進而增加 Downlink Subframe 之利用率，提升網路的效能。

本論文的架構如下：第二章探討不當地分配 Bursts 所衍生之問題；第三章為目前 IEEE 802.16 資源排程之相關研究；第四章則為本論文提出之 Burst Fragmentation and Scheduling Algorithm (BFSA)；第五章為實驗與效能分析；最後，第六章為本篇論文的結論。



圖二、 內、外碎裂示意圖。

B. 內部碎裂問題 Internal Fragmentation Problem (IFP)

假設 MS_k 向 BS 要求傳輸 Q_k bytes 資料的 $Burst^b$ 空間， $Burst^b$ 長寬分別定義為 L^b 與 W^b ，使用的調變為 ϕ^b ，編碼為 C^b ， λ 為一個 slot 所包含的 subcarrier 數量，對於一個 Burst 而言，其可用頻寬大小計算如式(2)。

$$L^b \times (W^b - 1) < \frac{Q_k}{\lambda \times \phi^b \times C^b} \leq L^b \times W^b \quad (2)$$

在矩形配置的條件下，BS 會配置超過實際需求資料量大小的 Burst，結果可能產生 Burst 內部頻寬的浪費，此問題在本篇論文定義為內部碎裂問題(Internal Fragmentation Problem, IFP)，其浪費之 Slots 定義為 IF^b ，計算方式如式(3)所示。

$$IF^b = L^b \times W^b - \frac{Q_k}{\lambda \times \phi^b \times C^b} \quad (3)$$

C. 外部碎裂問題 External Fragmentation Problem (EFP)

不當的 Burst 分配除了會導致內部碎裂的問題發生，同時亦會有外部碎裂的問題產生。假設一個 Downlink Subframe 有 $M \times N$ 個 slots，其中 M 與 N 分別表示 Subchannel 與 Symbol Time 的數量。考量一組 Downlink Subframe 中的 Burst 配置情形， $\rho_u^{k,n}$ 代表在 MS_k 在 Subchannel n ，BS 使用調變等級 u 傳送時，一個 slot 所能夾帶的資

料量， η_n 為 Subchannel n 剩餘可使用的 slot 數， Q_k 為 MS_k 的需求量，其外部碎裂問題(External Fragmentation Problem, EFP) 發生必須滿足式(4)與式(5)。

$$\sum_{n \leq N} (\rho_u^{k,n} \times \eta_n) < Q_k \quad (4)$$

$$M \times N - \sum_{b=1}^B (L^b \times W^b) > 0 \quad (5)$$

式(4)代表在 Downlink Subframe 中所有未使用的 slot 所能夾帶的資料量無法滿足 MS_k 的需求，式(5)表示考量在目前的一個好的配置演算法情況下，剩餘的 Slot 數是能夠滿足 MS_k 的需求。

以圖二、的配置情況，假設現在有一個 Burst 要排進這個 Downlink Subframe 中，此 Burst 需要 40 個 Slots，但是在此配置情況下，BS 沒有辦法分配一塊包含 40 個 Slots 的 Burst，但是倘若 40 個 Slots 的分布位置若能集中在特定幾個 Subchannels，卻可以滿足此 Burst 的需求。

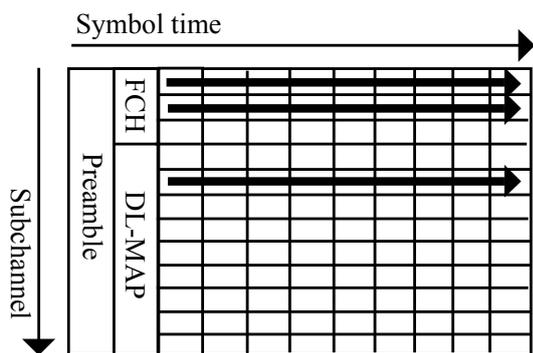
三、相關研究

考量在 OFDMA 環境下，目前有許多相關文獻 [7][8][9][10][11][12][13][14][16][17][18][19] 在探討 Downlink Burst 的分配

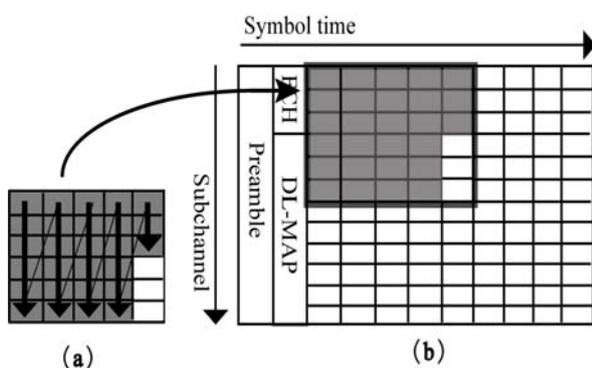
A. Raster Allocation

Raster Allocation 的相關研究有 [8][16][19]，其配置方式由最低的 Symbol Time 與 Subchannel 編號開始配置，其配置方式由 Symbol Time 開始以遞增的方式配置，當遞增配置到最後一個 Symbol Time 時，接著往下一個 Subchannel 的最小 Symbol Time 繼續配置資源。如圖三、所示。

Raster Allocation 為一個簡單的配置方式，每個使用者挑選對自己有利的 Subchannel 進行配置，然而這種配置方式會對 DL-MAP 佔用 Downlink Subframe 的空間產生極大的影響，進而壓縮到使用者實際能使用的 Downlink Subframe 空間，基於這樣的缺點，規格書中定義了另外一種配置方式。



圖三、 Raster 配置方式。

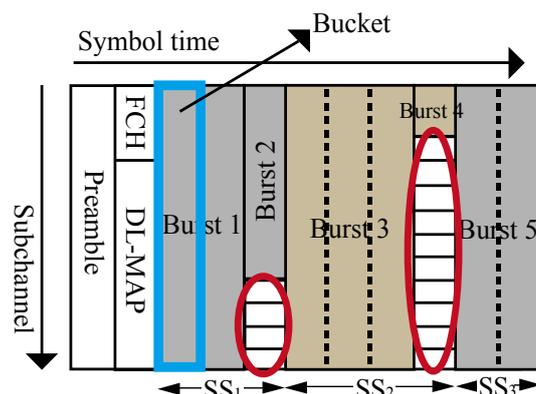


圖四、 Fixed 配置方式。

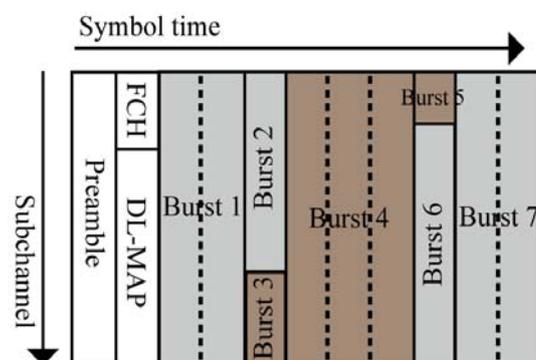
B. Fixed Allocation

Fixed Allocation 的方式是先針對 MS 的需求，配置一個適合大小的矩形空間，而一個矩形空間稱為一個 Burst，最後再將每個 Burst 排進 Frame 裡，對於每一個 Burst 中資料的排列是採取由上到下，由左到右進行配置，如圖四、(a) 所示。

目前 Burst-based 資源配置方式的相關研究有[2][7][10][12]，在[12]中，T. Ohseki 等人提出的資源配置演算法類似 Raster，但是不像一般的 Raster 使用橫向資源配置，而是使用直向的資源配置，作者使用 Bucket 的概念，而 Bucket 設定為整個 Frame 的 Subchannel 與一個 Symbol Time 所組成的二維空間，如圖五、所示。每一個 Bucket 只能給一個 MS 使用，當資料量超過 Bucket 所能容納的大小，此時 Bucket 會移動到下一個 Symbol Time 繼續填入資料，接著將同一個 MS 的數個相同大小 Buckets 可以合併成一個 Burst，因此，能夠有效地降低 DL-MAP Overhead，但是該作法會有嚴重的外部碎裂問題發生，如圖五、，其原因在於當一個 MS 資料都填入完畢之



圖五、 [12]作法示意圖。



圖六、 SDRA 演算法[7]示意圖。

後，即使 Bucket 還有空間可以填入資料，也必須無條件將 Bucket 移動到下一個 Symbol Time。

有鑑於此，A. Erta 等作者在[7]中提出 SDRA (Sample Data Region Allocation Algorithm) 去改善上述之問題，該演算法會延續尚未配置的空間進行配置，如圖六、所示，此作法其優點為 Downlink Subframe 中沒有內外部碎裂的產生，但是這種直向資源配置的作法都有著相同的缺點，由於配置的 Burst 跨所有的 Subchannel，造成 Burst 所使用的調變等級被其中品質最差的 Subchannel 所限制住，而且也造成 Burst 數量上升，相較於[12]會有嚴重的 DL-MAP Overhead 問題發生。

在[10]中，作者利用 QoS 的特性去決定 Burst 配置的先後順序，在[2]中，作者分析 Burst 該如何去擺放才能達到最好的資源利用，由於 Burst 擺放的方式不同，其結果差異非常大，如何設計一個好的 Burst 配置方式來避免嚴重的內部與外部碎裂問題將是一個很重要的議題。

四、Burst Fragmentation and Scheduling Algorithm (BFSA)

在開始介紹所提出之 BFSA 前，首先定義本論文所使用之符號，如表一所示：

表一. 符號定義

符號	定義
λ	一個 OFDMA Slot 中 Subcarrier 數量
N	Downlink Subframe 中 Subchannel 數量
n	第 n 個 Subchannel, $n = 1, 2, 3, \dots, N$
M	Symbol Time 數量
m	第 m 個 Symbol Time, $m = 1, 2, 3, \dots, M$
K	MS 數量
k	MS 索引, $k = 1, 2, 3, \dots, K$
B	Downlink Burst 數量
b	第 b 個 Burst, $b = 1, 2, 3, \dots, B$
U	可使用的調變等級數量
u	欲使用的調變等級
$Q_{k,i}^b$	編號 b 的 Burst 中 MS_k 的 Connection i 的資料量
$Q_{k,i}$	MS_k 的 Connection i 的資料量
Q_k^b	編號 b 的 Burst 中 MS_k 所含有的資料量
Q_k	MS_k 所含有的資料量, $Q_k = \{Q_{k,1}, Q_{k,2}, \dots, Q_{k,i}\}$
Q^b	Burst ^{b} 的資料量
C^b	Burst ^{b} 的 Coding Rate
ϕ^b	Burst ^{b} 所使用的調變
$\phi_{k,n}$	MS_k 在 Subchannel n 的調變, $\phi_{k,n} \in \{1, 2, 3, \dots, U\}$
ϕ_k	包含 MS_k 所有 Subchannels 可用的調變集合, $\phi_k = \{\phi_{k,1}, \phi_{k,2}, \dots, \phi_{k,n}\}$
S_k^u	MS_k 使用調變 u 的最長連續 Subchannel 個數
G_g	MSs 集合, 其中位於集合中的 MS_s 最高調變且最長連續 Subchannel 個數為 g , $g \in \{1, 2, \dots, N\}$
$\alpha_{k,g}$	MS_k 使用最高調變且最長連續 Subchannel 相同個數的統計
sl^b	Burst ^{b} 所使用的 Scheduling Length
γ^b	Burst ^{b} 資源釋放的門檻值
X^b	Burst ^{b} 在 Downlink Subframe 的 X 座標
Y^b	Burst ^{b} 在 Downlink Subframe 的 Y 座標
L^b	Burst ^{b} 所使用的 Symbol Time 長度
W^b	Burst ^{b} 所使用的 Subchannels 長度
L_{avai}	欲配置的 Burst 所使用的 Subchannel 中可用的資源
χ^b	Burst ^{b} 要切割出來的資料量

本論文 BFSA 演算法大略可分成 Burst 配置，調整，資源的釋放與 Downlink Subframe 資源壓

縮，該演算法考量連續可使用 Subchannel 數量較少的 MS 作為優先配置資源，讓有較多可用的 Subchannels 之 MSs 來配合，其演算法如 BFSA 所示。

Burst Fragmentation and Scheduling Algorithm (BFSA)

Input : $Q_k, \phi_k, k=1, 2, 3, \dots, K$

Output : DL-MAP

Begin

Burst Allocation and Release

Burst Fragmentation and Reallocation

End

演算法主要分成二個步驟，1) Burst 的配置與 Burst 資源的釋放，此步驟將著重於決定 Burst 的形狀；2) Burst 的切割與再配置，此步驟著重於 frame 可用資源的壓縮。

Procedure : Burst Allocation and Release

Begin

Step 1-1 : 將 MS 分群, G_1, G_2, \dots, G_N

Repeat

Step 1-2 : Group 挑選策略;

Repeat

Step 1-3 : MS 挑選與 Subchannel 配置策略;

Until ($G_g = \phi$ 或 $\sum_{n \leq N} (\rho_u^{k,n} \times a_n) < Q_k$)

Step 1-4 : 決定每個 MS 的 Burst 形狀;

Step 1-5 : IF 的資源釋放;

Until ($G_{g \in \{1, 2, \dots, N\}} = \phi$ 或 $\sum_{n \leq N} (\rho_u^{k,n} \times a_n) < Q_k$)

End

步驟 1-1. MS 分群: 根據每個 MSs 所回報的 CQI 值，BS 可以知道每個 MS 在每個 Subchannel 上可以使用的 Modulation 等級，為了使 Downlink Subframe 頻寬能夠有效的利用， MS_k 所使用的調變越高則代表 Downlink Subframe 資源的佔用越少，利用式(6)計算 MS_k 所能使用的最高調變

$$u = \max(\phi_{k,n}), \forall k \in G_g \quad (6)$$

計算 MS_k 使用調變 u 的最長連續 Subchannel 個數 S_k^u ，依照每個 MS_k 所能使用的最高調變且最長連續 Subchannel 數量做為每個 MS_k 分群的

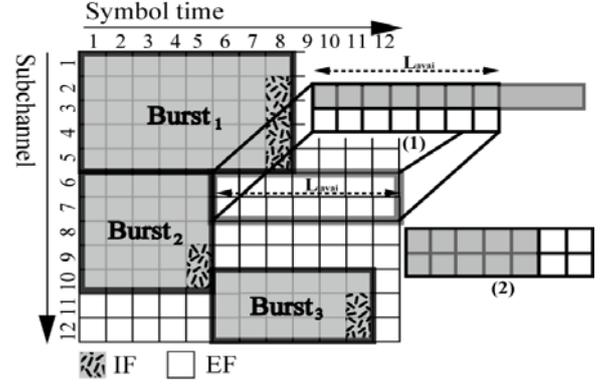
標準，Burst 能使用的 Subchannel 越多意味著 Burst 的形狀能有更多的變化，將 Burst 形狀變化性相同的 MSs 歸為同一組， G_g 代表此群組中 MSs 最高調變且最長連續的 Subchannel 個數為 g ，同一個群組中的 MS_k 都滿足 $S_k^u = g$ 。

步驟 1-2. Group 挑選策略：由步驟一分群的結果得到數個群組， $G_g \in \{1, 2, \dots, N\}$ ，編號越小的群組代表其中 MSs 的 Burst 形狀變化性越小，相對的也就越不能配合其它的 Burst 進行調整，所以本論文將挑選 Group 編號最小的群組優先挑選進行配置。

步驟 1-3. MS 挑選和 Subchannel 配置策略：經由步驟 1-2，挑選出優先配置的群組，此群組中所有的 MSs 都擁有相同最高調變且最長連續 Subchannel 的數目，然而實際上也許部份 MSs 同樣最高調變且最長連續的 Subchannel 不只有一個，此外，在最差情況下可能會需要將 Burst 降調變進行資源配置，在此步驟中考慮其它的調變等級，透過評估決定 MS 配置的先後順序。由式 (6) 與 S_k^u 可得知最高調變且最長連續 Subchannel 個數，雖然連續的 Subchannel 個數相同，但是可以使用最高調變 u 且最長連續的 Subchannel 數量 $\alpha_{k,g}$ 卻未盡相同，舉例來說，假設在 Downlink Subframe 中全部的 Subchannel 有 7 個， MS_1 對於每個 Subchannel 可以使用的調變等級分別為 $\{1, 3, 3, 1, 3, 3, 1\}$ ，數字越大代表調變等級越好，上例可支援最高調變等級 3 的連續 Subchannel 有兩組，分別為 Subchannel [2,3] 與 [5,6]，因此， $\alpha_{1,2} = 2$ ；同時考量此相同群組中的 MS_2 ，對於每個 Subchannel 可以使用的調變等級分別為 $\{1, 3, 3, 1, 2, 3, 1\}$ ，但僅有 Subchannel [2,3] 最長連續且可支援最高調變，因此， $\alpha_{2,2} = 1$ ，由上述的例子中可以發現，當 $\alpha_{k,g}$ 愈大時，表示 MS_k 可使用的連續 Subchannel 彈性越高。因此針對相同 Group g ，MS 的挑選策略定義如式 (7)。

$$k = \arg \min_k (\alpha_{k,\beta}), k \in G_g \quad (7)$$

透過式 (7)，挑選 Subchannel 彈性最小的 MS_k ，將優先配置填入 $Burst^b$ ，其中 $Burst^b$ 所夾帶



圖七、可用區域示意圖。

資料量為 Q^b ， b 為一個不重複的 Burst 編號。經過式 (8) 計算，可以得知將該 $Burst^b$ 配置在 MS_k 可支援最高調變且最長連續 Subchannel，並且從最低編號的 Subchannel n 開始配置，由式 (8) 決定 Burst 初始配置的形狀， W^b 初始狀態設定為 1，代表使用一個 Subchannel 來配置資源，令 L_{avai} 為欲配置 Subchannel 目前可用空間長度，如圖七、中之 L_{avai} 。

$$W^b = \begin{cases} W^b + 1, & \text{if } \left\lceil \frac{\left[\frac{Q^b}{\lambda \times \phi^b \times C^b} \right]}{W^b} \right\rceil > L_{avai} \times W^b \\ W^b, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

基於 $Burst^b$ 使用 W^b 個 Subchannel，其配置資源所需要的 Symbol times (L^b) 數量如下：

$$L^b = \left\lceil \frac{\left[\frac{Q^b}{\lambda \times \phi^b \times C^b} \right]}{W^b} \right\rceil \quad (9)$$

若 L^b 超過可用的配置空間 L_{avai} ，則必須多使用一個 Subchannel ($W^b + 1$) 來配置資源，直到有足夠的資源能夠滿足 Q^b 。以圖七、為例，假設配置 $Burst^b$ 需要使用 10 個 slot，且能使用最高調變等級的 Subchannel 為 [6,7]，初始化 $Burst^b$ 欲使用的 Subchannel 數量 W^b 為 1，配置在 Subchannel 6 上，此時 $Burst^b$ 的 Symbol offset 為 6， $L_{avai} \times W^b = 7 \times 1$ 為 7，因不滿足 $Burst^b$ 的需求 (< 10 slots)，故 $W^b + 1$ ， $Burst^b$ 使用二個 Subchannel

配置在[6,7]上,重複計算得 $L_{avail} \times W^b = 7 \times 2$ 為 14, 滿足 $Burst^b$ 所需的 10 個 slot, 透過式(9)的計算使用的 Symbol time L^b 為 5, 故配置 $W^b \times L^b (2 \times 5)$ 大小的 Burst 到 Frame 中。

步驟 1-4. 決定每個 MS 的 Burst 形狀：在步驟 1-3 中決定了 G_g 群組中所有 MSs 預設的 Downlink Subframe 配置位置, 為了得到最佳的 Burst 形狀, 此步驟將利用 Symbol Time 擠壓的方式動態調整 Burst 的形狀, 挑選要變形的 Burst 策略設計如式(10)所示。

$$b_{last} = \arg \max_b (sl^b), \forall b \quad (10)$$

其中 sl^b 為 $Burst^b$ 在 Downlink Subframe 中配置的位置所佔用的 Symbol Time 長度 (Scheduling Length), $sl^b = X^b + L^b$, 根據最大的 sl^b 可以知道目前編號 b_{last} 的 Burst 是 Downlink Subframe 中最晚傳輸結束的 Burst, 為了節省 Downlink Subframe 所佔用的時間, 之後將會針對這個 b_{last} 及其他跟 b_{last} 使用相同 Subchannel 的 $Burst^b$ 進行一次擠壓的動作, 每次 Burst 的擠壓都會使被擠壓的 Burst 所使用的 Subchannel W^b 增加一, 首先判斷欲增加使用的 Subchannel 是否已存在其他 Burst 導致 W^b 無法增加, 考慮其他 Burst 是否可以往下推擠移動, 也就是增加 Subchannel Offset ($Y^b + 1$), 被往下推擠的 Burst 都必須要判斷是否可以減少 OFDMA_Symbol_Offset ($X^b - 1$), 若無法向下推擠移動則 Burst 保持原來的的位置不變, 當 b_{last} 確認可以變形後, 其 Burst 所使用的 Symbol Time 長度如式(11)所示:

$$L^b = \left\lceil \frac{\lceil \frac{Q^b}{\lambda} \times \phi^b \times C^b \rceil}{W^b + 1} \right\rceil \quad (11)$$

重複步驟 1-4 直到 Group 中每個 MS 都無法變形, 結束此步驟。

步驟 1-5. IF 的資源釋放：此步驟用於檢查步驟 1-4 Group g 中所有的 $Burst^b$, 根據其 IF (Internal Fragmentation) 經由 IF Releasement Procedure 計算 Burst 資源釋放的門檻值, 首先需計算 $Burst^b$ 的 IF^b 大小 ($IF^b = W^b \times L^b - Q^b$), 透過 $W^b - IF^b$ 計算出 χ^b , 其中 χ^b 代表 $Burst^b$ 預計要釋放出來的

資料量, $Q_{k,i}^b$ 為 $Burst^b$ 中 MS_k 的 Connection i 的資料量, 若 CUT^b 等於 χ^b , 則代表 $Burst^b$ 中有可以剛好釋放出預計資料量的 Connections, DL-MAP 只需要額外產生紀錄新 Burst 的資訊 (2 slots), 否則則需要將某條 connection 的資料一分為二釋放出來, DL-MAP 除了紀錄新產生的 Burst 資訊外, 還多包含了一條額外 Connection 的資訊 (3 slots), Ψ^b 為 $Burst^b$ 要釋放出來的

Procedure : Internal Fragmentation Releasement

Input : $Q^b, b=1,2,3,\dots,B$

Output : γ^b

Initial

$CUT^b \leftarrow 0;$

$\Psi^b \leftarrow \{\};$

$\chi^b = W^b - IF^b;$

Begin

Repeat

$CUT^b \leftarrow CUT^b + \min(Q_{k,i}^b), \forall i, k \in b;$

$\Psi^b \leftarrow \Psi^b \cup \arg \min_i (Q_{k,i}^b), \forall i, k \in b;$

從 $Burst^b$ 中刪除 connection i 的資訊

Until ($CUT^b \geq \chi^b$)

IF ($CUT^b > \chi^b$)

$\gamma^b \leftarrow 3;$

ELSE IF ($CUT^b = \chi^b$)

$\gamma^b \leftarrow 2$

End

Connection 集合, γ^b 為內部碎裂資源釋放的門檻值, 此數值代表資源釋放對於 DL-MAP 所造成的 Control Overhead 的大小, 如果 IF^b 大於 γ^b 則表示 Burst 所釋放的資源比起 DL-MAP 所造成的 Overhead 還要多。根據 Internal Fragmentation Releasement 中的 Ψ^b 可以得知哪些 Connections 要被釋放出來, 將這些 Connections 集成一個新的 Burst。

步驟 2-1. 配置 Burst Allocation and Release 中釋放的資源：步驟 1-5 已經將釋放的資源各個集成唯一的 Burst, 根據 $\phi_{k,n}$ 將 Burst 配置於最高調變且最長連續的 Subchannel 上, 同樣執行步驟 1-4 決定 Burst 的形狀。

Procedure : Burst Fragmentation and Reallocation

Begin

Step 2-1 : 配置 Burst Allocation and Release 中釋放的資源;

Repeat

Step 2-2 : Burst 調整與切割;

Step 2-3 : 尋找 unused slot 進行填補;

Until ($\sum_{n \leq N} (\rho_u^{k,n} \times a_n) < Q_k$)

End

步驟 2-2. Burst 調整與切割：透過式(10)可以得知在 Downlink Subframe 中最晚傳輸結束的 b_{last} ，針對 b_{last} 進行切割，為了保證每次切割都不會使 Downlink Subframe 所佔用的 Symbol Time 增加，故 b_{last} 的切割必須切出超過 $W^{b_{last}}$ 大小的資料量，如圖八所示。

$$\left| \left(\sum Q_{k,i}^{b_{last}} \right) / \lambda \times \phi^{b_{last}} \times C^{b_{last}} \right| \geq W^{b_{last}}, \quad (12)$$

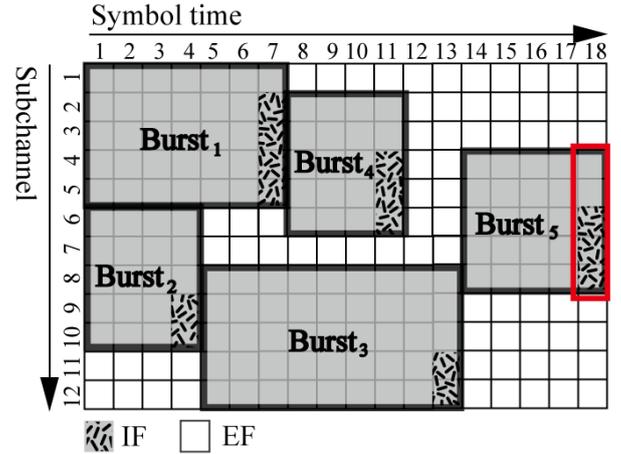
$$\forall k \in b_{last}, i \in b_{last}$$

式(12)將會決定 b_{last} 中哪些 Connections 要被切割出來並形成一個新的 Burst，在此步驟中的切割為預計的切割，實際的切割由步驟 2-3 執行。

步驟 2-3. 尋找 Unused Slot 進行填補：由步驟 2-2 中被切割出來的 $Burst^b$ 根據其 S_k^u 所決定的 Subchannel 往 Symbol Times 遞增搜尋是否有可以配置資源的空間，為了滿足步驟 2-2 切割一定不會使 Downlink Subframe 所使用的 Symbol Time 增加，所以此步驟搜尋可配置資源的空間最多只能到式(12)計算出來的長度減一，當此 Subchannel 找不到空間可以配置資源時，對此 Subchannel 降調變，重複步驟 2-3 的搜尋，直到找到可以配置 $Burst^b$ 的空間，才把步驟 2-2 預計切割的 Connections 實際切割出來配置。

五、實驗結果及分析

本論文的實驗是以模擬的方式進行，表二列出本實驗模擬的相關參數之設定。本論文假設網路環境中存在一個 BS 與 1-25 個 MSs，BS 與 MS 將以隨機的方式均勻佈建於網路中且每個 MS 的 Downlink 需求採 Poisson 分佈。在本



圖八、切割示意圖

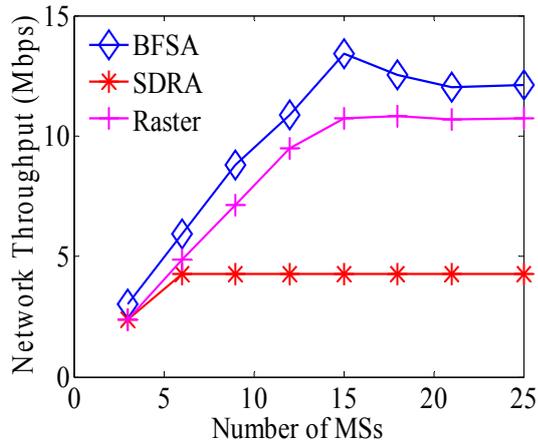
論文中，Downlink Subframe 與 Uplink Subframe 的比例為 2:1。

表二. 實驗相關參數

Frame size	5ms
Channel Bandwidth	10MHz
OFDMA symbol structure	PUSC
Number of subchannel	16
FFT size	1024
Symbol time duration	100.8 us
Packet size	64bytes~1518bytes
Channel model	Walfisch model Ikegami model
Modulation type	QPSK、16QAM、 64QAM
Coding rate	1/2、3/4

本實驗將比較本論文所提出的 BFSA 以及相關研究所提出的 SDRA、Raster 演算法。本實驗將分別對於 Burst 分配機制所造成之內部破碎、外部破碎、BS 可服務的 MS 數量以及 Network Throughput 進行探討以驗證本論文所提出之 BFSA。

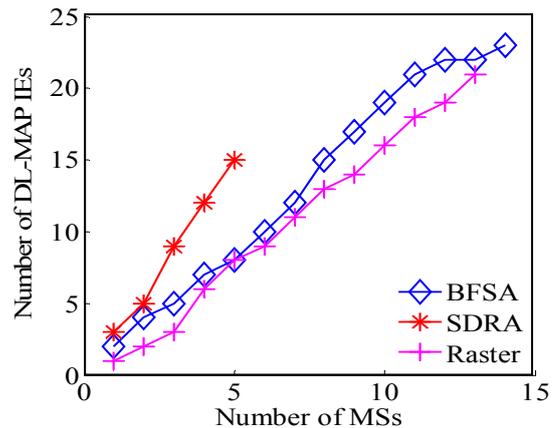
圖九為 Network Throughput 表現，橫軸為 MS 數量，縱軸為 Throughput，單位為 Kbps，其計算方式為，Downlink Subframe 實際傳輸資料量與傳輸一個 Frame 所需時間，由結果發現本論文提出之 BFSA 可以達到不錯的產能，由圖九、可以發現 SDRA 的 Throughput 是最差的，這是由於 SDRA 的 Burst 排程演算法是採用跨所有 Subchannel 配置，因為 Burst 只能使用一種，BS 在選擇調變技術時必須使用最差的調變以確



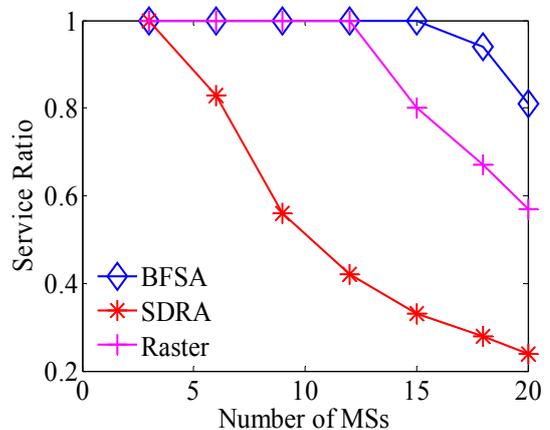
圖九、 Network Throughput。

保資料傳輸正確，因此使得每個 MS 所佔用的資源上升，換句話說，也就是每個 MS 所使用的 Burst 很大，進而使其它 MS 可以使用的資源減少，然而 Raster 演算法採用由左至右的資源分配，事實上本論文提出的方法類似 Raster，由於本論文所提出的方法混合了 Fixed 配置的精神，讓 MS 的資源可以集中在一個 Burst 中，這也是本論文所提出之作法勝過 Raster 的理由，由圖中可以看到當達到 15 個使用者時本論文所提出的方法在產能上有下降的趨勢，這是由於本論文所提出之 BFSA 作法是先採用配置單一 subchannel 接著才藉由擠壓變形來調整 Burst 的形狀，當 BS 分配資源給多個 MSs，越後面配置的 MSs 其可使用的資源會越靠近 Downlink Subframe 的右邊界，造成每個使用者資源的 MSs 其 Burst 所含資料量可能無法滿足 MSs 的需求，造成 Burst 的數量變多，使得 DL-MAP 變大，進而壓縮到其他 MSs 可使用的資源，當達到 21 個使用者時，Downlink Subframe 中的可用資源已經趨近飽滿，此時 Network Throughput 將會持平。

圖十一為針對 DL-MAP IEs 比較各個演算法的差別，圖中可以看到 SDRA 在服務到 5 個 MS 的時候就佔用了 15 個 DL-MAP IEs，對照圖



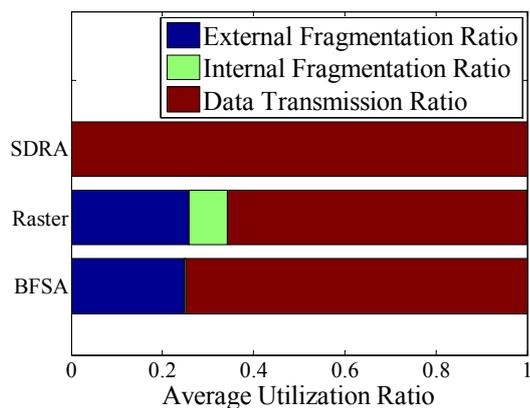
圖十、 DL-MAP IE 數量。



圖十一、 使用者服務比例。

九可以發現 SDRA 在服務超過 5 個使用者後產能都差不多，主要因為 SDRA 已經不能再服務更多的 MS，相較於 Raster 演算法，雖然本論文提出的方法在 DL-MAP IEs 上都比 Raster 還要多，但是由於每個 Burst 都是使用最好的調變技術，所以彌補了這個差距，因此在 Throughput 表現上反而是勝過 Raster 演算法。

圖十二為使用者服務比例，由圖中可以看到 SDRA 所服務的使用者比例越來越少，這是由於 SDRA 在服務五個使用者時就已經達到飽和，之後不管使用者再多，也只能服務五個使用者，所以在服務的比例上有快速下降的趨勢，然而本論文所提出之 BFSA 因為都是配置在對於 MSs 來說最好的 Subchannel 上，進而將 Downlink Subframe 的資源做最大的利用與壓縮



圖十二、資源的利用率。

，在模擬結果上可以看到本論文所提出之 BFSA 相較於 Raster 演算法能服務更多的使用者。

圖十二考量在 Downlink 飽和的環境之下，Downlink Subframe 資源利用的情形，由此數據結果顯示 SDRA 在實際上的資料傳輸雖有較大的比例，但是在 Network Throughput 上與使用者服務比例上均較 BFSA 差，其原因在於 SDRA 的配置資源是使用跨所有 Subchannel 的方式，導致必須遷就其中最低的調變，所以才能夠完整的利用整個 Downlink Subframe，相較於本論文提出的作法，雖然不管內、外部碎裂比起本論文所提之作法還要少上許多，看似 SDRA 對於 Downlink Subframe 的所有資源都作了最有效的利用，但是在 Downlink Subframe 中每個 Slot 所能乘載的資料量卻是非常少；由圖中可以看到本論文所提出之 BFSA 幾乎沒有內部碎裂，這是由於本論文所提出的 Burst Allocation and Release 釋放 Burst 內部碎裂資源，並且將釋放出來的資料填補在其他位於 Downlink Subframe 中的外部碎裂，此機制將有效減少 Downlink Subframe 中的內部碎裂與外部碎裂的問題發生，因此，BFSA 能夠服務更多的使用者，進而提昇 Downlink Subframe 的整體資源利用率。

六、結論

本論文考量在 IEEE 802.16 OFDMA 網路上的 Downlink 資源之管理進行研究。為了增加 Downlink Subframe 的利用率及減少內、外部碎裂所造成的資源浪費，本論文提出 BFSA，該機制考量 IEEE802.16 OFDMA Frame 的特性，並

能有效率地降低內、外部碎裂問題與 DL-MAP Control Overhead。由於 MS 挑選的先後順序將會影響 Downlink Subframe 內安排的情況，因此，針對挑選 MS 的先後次序提出簡單的策略：Subchannel 狀況最差的 MS 優先，此策略能夠有效的降低 MS 最後排不下導致需要降調變的問題與 DL-MAP Control Overhead。由實驗結果得知，BFSA 有能夠達到 75% 的資源利用率且內部碎裂均被釋放，因此，Throughput 與使用者服務比例相較於相關文獻均有較好的表現。

致謝

本研究感謝中華民國行政院國家科學委員會計畫經費補助(NSC 98-2221-E-032-018, NSC 98-2218-E-254-001 與 NSC 97-3114-E-119-001)。

參考文獻

- [1] *IEEE Draft Std. P802.16 Rev2/D9a, "IEEE Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks -Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems"*, IEEE Std., May, 2009.
- [2] T. Wang, H. Feng, and B. Hu, "Two-Dimensional Resource Allocation for OFDMA System," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2008, pp. 1 – 5.
- [3] A. Biagioni, R. Fantacci, D. Marabissi, and D. Tarchi, "Adaptive Subcarrier Allocation Schemes for Wireless OFDMA Systems in WiMAX Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 27, no. 2, pp. 217–225, Feb.2009.
- [4] H. Bolcskei, A.J. Paulraj, K.V.S. Hari, R.U. Nabar and W.W. Lu, "Fixed Broadband Wireless Access: State of the Art, Challenges, and Future Directions," *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, no. 1, pp. 100–108, Jan. 2001.
- [5] C. So-In, R. Jain, and A.-K. Tamimi, "Scheduling in IEEE 802.16e Mobile WiMAX Networks: Key Issues and a Survey," *IEEE*

Journal on Selected Areas in Communications, vol. 27, no. 2, pp. 156–171, 2009.

- [6] S.-I. Chakchai, J. Raj, and A.-K. A. Tamimi, “eOCSA: An Algorithm for Burst Mapping with Strict QoS Requirements in IEEE 802.16e Mobile WiMAX,” in *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2008, pp. 1–5.
- [7] A. Erta, C. Cicconetti, and L. Lenzi, “A Downlink Data Region Allocation Algorithm for IEEE 802.16e OFDMA,” in *Proceedings of the International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICSP)*, 2007, pp. 1–5.
- [8] S. A. Filin, S. N. Moiseev, and M. S. Kondakov, “Fast and Efficient QoS-guaranteed Adaptive Transmission Algorithm in the Mobile WiMAX System,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, no. 6, pp. 3477–3487, Nov. 2008.
- [9] H. Gowda, R. Lakshmaiah, M. Kaur, C. Mohanram, M. Singh, and S. Dongre, “A Slot Allocation Mechanism for Diverse QoS Types in OFDMA Based IEEE 802.16e Systems,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, 2007, pp. 13–17.
- [10] A. Israeli, D. Rawitz, O. Sharon, “On the Complexity of Sequential Rectangle Placement,” *Information and Computation*, vol. 206, no. 11, Nov. 2008, pp. 1334–1345.
- [11] Y.-N. Lin, C.-W. Wu, Y.-D. Lin, and Y.-C. Lai, “A Latency and Modulation Aware Bandwidth Allocation Algorithm for WiMAX Base Stations,” in *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2008, pp. 1408–1413.
- [12] T. Ohseki, M. Morita, and T. Inoue, “Burst Construction and Packet Scheme for OFDMA Downlinks in IEEE 802.16 Systems,” in *Proceeding of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*, 2007, pp. 4307 – 4311.
- [13] T. Ali-Yahiya and a. G. P. A.-L. Beylot, “Radio Resource Allocation in Mobile WiMax Networks using Service Flows,” in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIRMC)*, 2007, pp. 1–5.
- [14] L. Wan, W. Ma, and Z. Guo, “A Cross-layer Packet Scheduling and Subchannel Allocation Scheme in 802.16e OFDMA System,” in *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2007, pp. 1865–1870.
- [15] B. Webb, “Broadband Fixed Wireless Access as a Key Component of the Future Integrated Communications Environment,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, no. 9, pp. 115–121, Sep. 2002.
- [16] Y. Ben-Shimol, I. Kitroser, and Y. Dinitz, “Two-dimensional Mapping for Wireless OFDMA Systems,” *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 52, no. 3, pp. 388–396, Sep. 2006.
- [17] T. Yahiya, A.-L. Beylot, and G. Pujolle, “Cross-Layer Multiservice Scheduling for Mobile WiMax Systems,” in *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2008, pp. 1531–1535.
- [18] X. Zhu, J. Huo, S. Zhao, Z. Zeng, and W. Ding, “An Adaptive Resource Allocation Scheme in OFDMA based Multiservice WiMAX Systems,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, 2008, pp. 593–597.
- [19] X. Zhu, J. Huo, X. Xu, C. Xu, and W. Ding, “QoS-Guaranteed Scheduling and Resource Allocation Algorithm for IEEE 802.16 OFDMA System,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2008, pp. 3463–3468.