

# 第一章

## 緒論

### 1.1. 簡介

近十年來，我們注意到一個急速成長的無線網路，由於現有的區域無線網路(IEEE 802.11a/b/g)並無法滿足遠距離、高傳輸、且覆蓋大的區域。而 3G 又由於低傳輸無法達成需求，因而造就一個新興的無線都會寬頻無線技術的形成，它就是 WiMAX。

WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)具備了傳輸距離長(可達 50 公里)、傳輸速率高(最高可達 70Mbps)、快速佈建以及低成本的特性、適合在實體佈建困難，以及廣大地區的鄉村建置，也可做為無線高速接取網路的媒介，如最後一哩(last mile)。

由於 WiMAX 有支援 QoS(Quality of Service)，使得它的價值更為提高，因為可以針對傳輸的服務類型給予不同等級的服務模式，對於具有即時性的影音需求提供了最佳的解決方案，可以滿足現今急速成長的影音需求。由於 VoIP 的需求近來也日漸增多，WiMAX 在這方面也提供了支援，讓 Voice 可以在 WiMAX 運作，使得 WiMAX 成爲一個具備未來趨勢的無線技術。

目前 WiMAX 的規格主要以 802.16-2004 以及 802.16e 爲主，802.16-2004 只支援固接式的通訊，而 802.16e 則支援了 mobility 的功能，可以因應未來在移動性上的需求，在調變方面支援 TDD、FDD，目前則以 TDD 爲主。

因爲 WiMAX 支援 QoS，因此如何有效及充分使用資源將成爲 WiMAX 無線技術上的最大挑戰，近年來的研究多在 call admission control、bandwidth request、bandwidth allocation、packet scheduling 上，跨層設計也慢慢成爲目前主要相關研究的重點。

本研究將探討 WiMAX 網路目前現存的問題並提供解決方法，並使用網路模擬器 NS-2 (Network Simulator ver. 2.29)以及 CGU WiMAX\_v2.03 module[13]驗證評估我們所提方法的有效性。

我們將在第一章簡介 WiMAX MAC Layer 標準及其運作的方式，第二章為與本研究相關的文獻探討，第三章提出我們的研究方法，在第四章將介紹我們利用 NS-2 進行的模擬實驗及結果分析，最後提出本研究的結論與未來研究方向。

## 1.2. 背景

### 1.2.1. WiMAX MAC Layer 簡介

WiMAX MAC Layer 主要分三個子層，如圖 1.1 所示。由上到下分別為收斂子層 CS (Convergence Sublayer)、通用子層 CPS (Common Part Sublayer)和安全子層 PS (Privacy Sublayer)。其中收斂子層最主要用來對應(map)網路層的資料到 MAC Layer SDU，以及關連(associate)其相關參數到適當的 CID(Connection ID)和 SFID (Service Flow ID)。而通用子層則是擁有 MAC Layer 核心的功能，主要有系統存取(system access)、連線建立(connection establishment)、寬頻配置(bandwidth allocation)、寬頻請求(bandwidth request)、QoS(Quality of Service)。安全子層最主要功能為認證、授權、加密、密鑰交換。

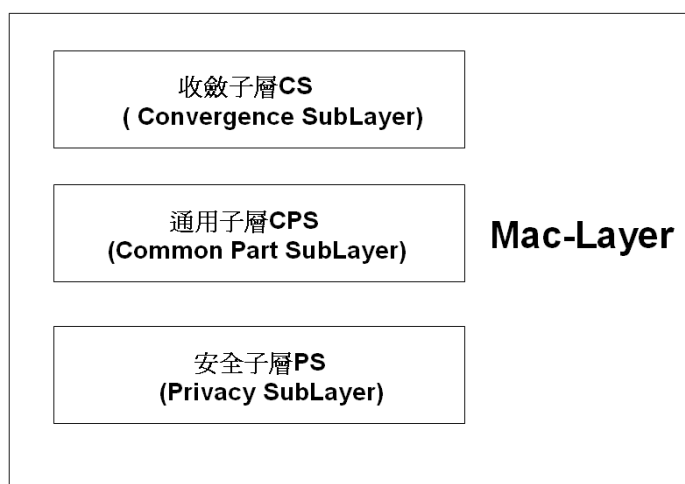


圖 1.1 Three sublayer of WiMAX MAC layer

### 1.2.2. WiMAX Frame Structure in TDD Mode 簡介

一個 WiMAX TDD mode frame 的架構主要如下圖 1.2 所示，一個 frame 在 WiMAX

可將它分成 DL\_SubFrame 及 UL\_SubFrame。DL\_SubFrame 中的 DL-MAP、UL-MAP 分別用來指示 DL\_SubFrame 及 UL\_SubFrame 頻寬配置(BW allocation)的狀況。頻寬配置除了競爭的部分外，其餘一律以 SS 為單位。如圖 1.2 中的 Data to SS<sub>i</sub> 則表示這一段時間是保留給 SS<sub>i</sub> 使用的，由於下行(DL)是一個 BS 面對所有的 SSs 所以下行的部分不必使用競爭的模式，寬頻配置全由 BS 來控制。上行(UL)則情況相反，為多個 SSs 對一個 BS，由於是多對一的情況，誰可以使用資源就必須要有一個機制來規範，在 WiMAX 中低優先權連線採用競爭(contention)的方式，因此必須在 UL\_SubFrame 中保留競爭使用的頻寬，如下圖 1.2 中的 ranging request contention 以及 BW request contention，分別用來給 SSs 請求進入系統及要求頻寬使用。

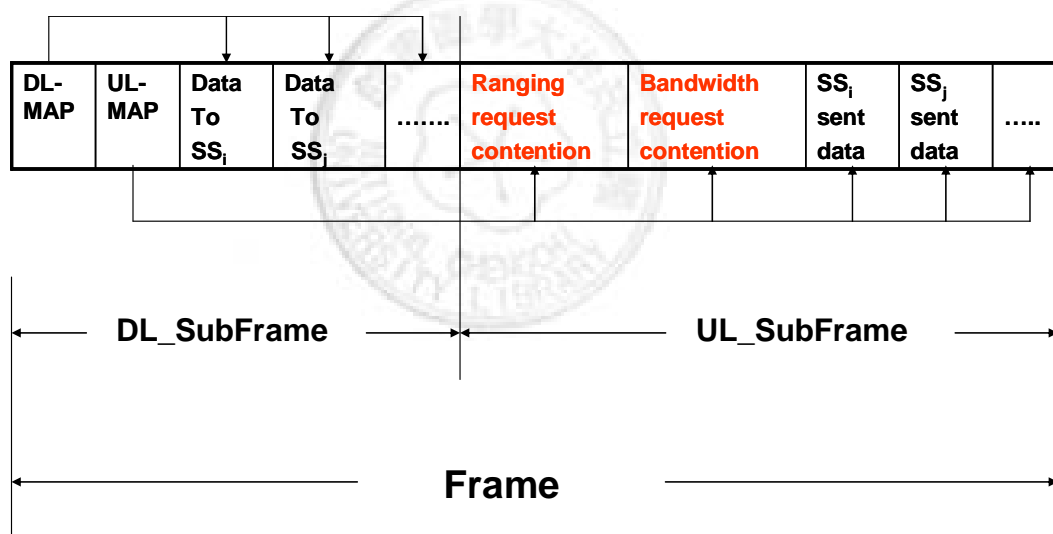


圖 1.2 Frame Structure in WiMAX TDD Mode

### 1.2.3. WiMAX QoS 簡介

WiMAX在802.16e中提供了五種不同等級的QoS，每種等級各有不同的參數要求，QoS的參數種類大致如表1.1所示，其縮寫分別為I、S、B、R、L、S、P、T、R，其中最常被用來區別QoS等級的參數分別是Maximum sustained traffic rate、Minimum reserved traffic rate、Maximum latency、Fixed-length versus variable length SDU indicator。

Position	Name	Size (bits)	Value
I	Uplink/Downlink indicator	1	0 or 1: 0=uplink; 1=downlink
S	Maximum sustained traffic rate	6	Extensible look-up Table (value 0b111111 indicates TLV to follow)
T	Traffic indication preference	1	0 or 1: 0=No traffic indication; 1=Traffic indication
B	Maximum traffic burst	6	Extensible look-up Table (value 0b111111 indicates TLV to follow)
R	Minimum reserved traffic rate	6	Extensible look-up Table (value 0b111111 indicates TLV to follow)
L	Maximum latency	6	Extensible look-up Table 124c (value 0b111111 indicates TLV to follow)
S	Fixed-length versus variable-length SDU indicator	1	0 or 1: 0=variable length; 1=fixed length
P	Paging preference	1	0 or 1: 0 = No paging generation 1 = Paging generation
R	<i>Reserved</i>	4	Shall be set to 0b0000

表 1.1 Global service flow class name information field parameters (802.16e standard)

WiMAX 在 802.16e 規範出五種不同 QoS 等級，它們分別為 **UGS** (Unsolicited Grant Service)、**ertPS** (Extended Real-Time Variable Rate Service.)、**rtPS** (Real Time-Variable Rate Service)、**nrtPS** (Non-Real Time Variable Rate Service)、**BE** (Best Efforts Service)。

其相關的參數值如下：

### UGS

主要用來支援那些有週期性固定長度packet需求的連線，如T1/E1 and Voice over IP without silence suppression。必要參數有：

- **Maximum Sustained Traffic Rate**
- **Maximum Latency**
- **Tolerated Jitter**
- **Request/Transmission Policy**
- (option) **Minimum Reserved Traffic Rate parameter**

在 UGS 中最重要參數莫過於 **Tolerated Jitter**，由於 UGS 是採用自動週期性配置頻寬，而其頻寬需求的大小則根據 Maximum Sustained Traffic Rate 所給定的值。

## rtPS

主要用來支援那些有週期性不固定長度packet需求的連線，如 video。必要參數有：

- **Minimum Reserved Traffic Rate**
- **Maximum Sustained Traffic Rate**
- **Maximum Latency**
- **Request/Transmission Policy**

在 rtPS 中最重要的參數莫過於 **Maximum Latency**，因為 video frame 通常有其時效性，要是 packet 來的太慢會造成播放不順暢，甚至過期的封包會被視為無效的封包，因此這類連線必需滿足其 delay time 不可以超過 **Maximum Latency**。

## nrtPS

主要用來支援那些有 delay-tolerant 的變動長度 packet 需求的連線，如 FTP 這類的連線。必要參數有：

- **Minimum Reserved Traffic Rate**
- **Maximum Sustained Traffic Rate**
- **Traffic Priority**
- **Request/Transmission Policy**

在 nrtPS 中最重要的參數莫過於 **Minimum Reserved Traffic Rate**，因為此類連線大部分用在 FTP 連線，此類連線要有最小流量需求，才不會讓人感覺是否斷線或是得不到 FTP 的服務。

## BE

主要用來支援那些沒有最小服務等級需求的連線，如 WWW 連線。必要參數有：

- **Maximum Sustained Traffic Rate**
- **Traffic Priority**
- **Request/Transmission Policy**

由於沒有最小服務等級需求，因此並無最重要的參數可言。

### 1.2.4. Connection Admission Control in WiMAX

在WiMAX Standard中並未規劃connection admission control (CAC)的作法，完全留待設備商以及服務提供商去實作，目前大部分的作法都是採用**Minimum Reserved Traffic Rate**的方式來規範，由於UGS、ertPS、rtPS、nrtPS各有其**Minimum Reserved Traffic Rate**的值，假設

其表示方式為  $r_{\min}(i,j)$  (the Minimum Reserved traffic rate of the  $j$ th connection in the  $i$ th class of service flow)，因此可以很容易的設計CAC機制，最簡單的公式如下式所示：其中  $C_a$  代表目前系統可使用的available capacity， $C_{total}$  代表系統所有的capacity。

$$C_a = C_{total} - \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^{J_i-1} r_{\min}(i, j) \quad (a)$$

一旦有新的連線要新增，代入上式(a)公式檢查其  $C_a$  是否大於 0，假如成立的話就允許新的連線進入系統，在此值得注意的是，沒有Minimum Reserved traffic rate的BE連線永遠得以進入系統，這在系統負載很重的情況下可能會有其不恰當之處。

### 1.2.5. Bandwidth Request in WiMAX

在 WiMAX 的環境中，頻寬的要求是利用 Bandwidth Request (BR) packet 來達成，而如何傳送 bandwidth request packet 在 WiMAX 中是很大的挑戰，在 WiMAX 中採用 polling 的方式來讓 SSs 送出 BR 封包，而 polling 又可分為二種，一種為 unicast-polling，另一種為 contention(又稱為 multicast-polling)。Unicast-polling 比較簡單，就是由 BS 在 UL-MAP 中指定什麼時間由哪一個 SS 送出 BR 封包，unicast-polling 通常使用在 rtPS 連線。而 multicast-polling (contention)則比較麻煩，其作法大抵取自 802.11 contention 的作法，由 BS 規定一段時間作為 contention period，在這段時間內，只要有頻寬需求連線的 SS (大部分為 nrtPS、BE 連線)即可採用 random backoff 的方式來傳送 bandwidth request packet，大概的流程如下圖 1.3 所示：

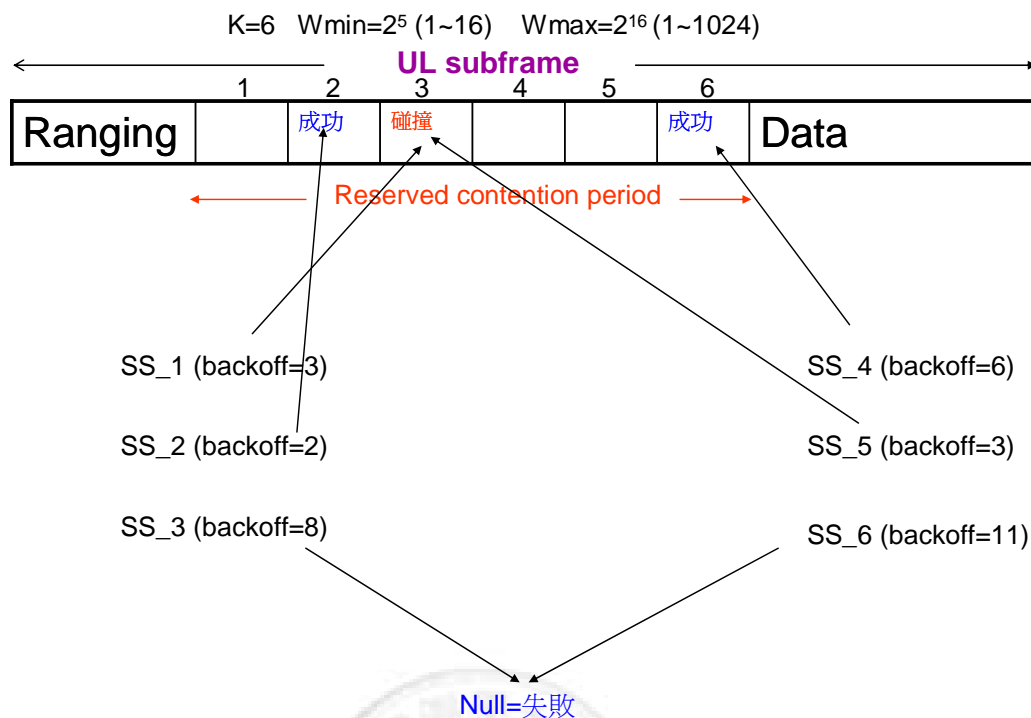


圖 1.3 Contention bandwidth request procedure in WiMAX

由上圖我們得知，一個 frame 中 Reserved contention period 可能是變動的(設為 K)，而  $W_{min}$ 、 $W_{max}$  則用來規範 backoff 亂數取值時的最小以及最大範圍，一切都仿照 802.11 的作法，一開始假設 SS1~6 都 random 取  $W_{min}$  (0~15)之間的值，因為 K 只有 6，所以大於 6 的數字全部視為無效，而如果有二個 SSs 搶到同樣的值如上圖的 3，則視為碰撞，如果僅有一個 SS 搶到值則視為成功。如上圖的 2 與 6。當 SS 出現碰撞以及無效的值時，則將其 contention window size 加大二倍，再重覆上述的動作。在此比較值得注意的是，即使成功的送出 BR 至 BS，也不一定代表一定可以拿到寬頻，因為在 WiMAX 中的是採用 Request/Grant 的方式配置頻寬，有可能此時頻寬已用盡，即使你的 BR 成功送至 BS 也不代表一定可以取得頻寬。

### 1.2.6. Bandwidth Allocation in WiMAX

在 WiMAX standard 中並未規劃 bandwidth allocation 的作法，完全留待設備商以及服務提供商去實作，到目前為止大部分的作法都是採用 strict priority queue 的方式來配置，除了

上下行的 UGS 連線頻寬需求是採自動保留之外，上下行的配置有很大的不同。對於 downlink 而言，由於 BS 掌控所有下行流量的 queue，所以很自然的先滿足高優先權的連線如 ertPS 連線，之後再依序滿足 rtPS、nrtPS、BE。然而對於上行而言，由於 BS 並無法得知所有 SS 內部 queue 的狀況，只能從 SSs 送出的 bandwidth request(BR)來得知 SSs 的需求，因此目前為止大部分的作法依然是採用優先權的方式來配置頻寬，當 BS 收到所有的 BR 封包之後，會先針對 BR 做分類，由於 BR 會帶有 connection ID 所以可以很容易將 BR 封包分成四大類，分別是 ertPS、rtPS、nrtPS 以及 BE。而 BS 配置頻寬依舊是先滿足 ertPS。之後再依序為 rtPS、nrtPS、BE。由於 WiMAX 支援 QoS 的設計，有可能導致低優先權的連線如(nrtPS、BE)在某些情況下會有 starvation 的狀況產生。

BS 在配置頻寬時會產生 DL-MAP 以及 UL-MAP，這二個封包分別會廣播出去讓所有的 SSs 收到，這二個封包最主要是依據時間順序來排定哪一段時間哪一個 SSs 該接收資料 (DL-MAP)，以及哪一段時間哪一個 SS 可以送出資料(UL-MAP)。

### 1.2.7. Scheduling in WiMAX

在 WiMAX standard 中並沒有規劃 scheduling 的作法，完全留待設備商以及服務提供商去實作，到目前為止大部分的作法都是採用 priority queue 的方式來配置。對於下行(DL)而言，由於 BS 掌控下行所有的流量，所以在 bandwidth allocation 階段，已經可以確立頻寬配置的順序大致上就是 BS scheduling 的順序。但對於上行(UL)而言，由於 BS 會收到來自 SSs 所有的 BR 封包，根據優先權的順序來配置頻寬，當頻寬配置好之後，BS 會把屬於同一個 SSs 的所有頻寬聚合在一起(假如同一個 SS 下同時存在 rtPS、nrtPS、BE 連線)，一次告訴 SS 它所擁有的全部頻寬，此時 SSs 必須根據它內部所有連線的 queue 狀況來傳送資料，稱之為 redistribute bandwidth scheduling。由於 SS 會在 UL-MAP 中得知哪一段時間是屬於它可以送出資料，因此在這段時間內 SSs 也會根據優先權的順序來排定送出資料的順序，在這種情況下，也很有可能造成低優先權的連線(如 nrtPS、BE)產生 starvation



的情況產生。

### 1.3. 研究動機與目的

雖然 WiMAX 標準至今已經日趨成熟，但在 MAC Layer 核心功能的設計上卻未詳細規劃，例如：QoS、connection admission control、bandwidth request、bandwidth allocation 及 scheduling 等。有些只給定參數，有些連相關參數都闕如，而是留待設備商及服務提供商實作。在沒有標準的規範下，各家有各家的作法，導致至今仍存在某些值得研究的議題，茲詳述如下：

#### 1.3.1 Bandwidth Request

WiMAX 在上行頻寬的請求，採用類似 802.11 競爭的作法，詳細過程如圖 1.3 所示。由於在 WiMAX 的環境中，上行是採用 TDMA 的方式，也就是照時間來排程相關資料傳送的順序，於是所有的頻寬決定權全在 BS 上，以致於低優先權連線即使成功傳送 BR 至 BS，也無法保證能夠獲得頻寬。然而，在 802.11 卻是使用 CTS、RTS 封包來宣告此時此刻是由喊話者來傳送資料而非經由 BS 來規劃，因此會發現在 WiMAX 上設計 contention 必須使用不同於 802.11 作法。最主要的原因是在 WiMAX 的環境上有 QoS 的設計，當系統處於高負載的情況下，即使低優先權的連線成功傳送 BR 封包至 BS 也無法保證一定能獲取相對應的 bandwidth。

#### 1.3.2 rtPS 封包需在限定時間到達才算有效

rtPS 連線通常使用在像 video 這類的連線，因此會有時間限制的考量。當影片在播放時會有一段緩衝時間(buffer time)，當超過緩衝時間而封包卻未到時，會造成影片播放不流暢或影片中斷等現象，這段緩衝時間通常稱之為 Max\_Latency。假設 rtPS 進入 queue 的時間為 T，則其限制時間(deadline) = T + Max\_Latency，在限制時間

內接收者收到的封包都算有效。假如超過限定時間，即使成功接收也應視為無效的封包。因此，必須針對 rtPS 的 queue 做 deadline time 的控管，以免頻寬被用來傳送無效的封包，而浪費了資源。

### 1.3.3 Bandwidth Allocation

在頻寬配置議題上，由於標準並未訂定實作方法，於是各家有各家的作法，至今最常見的方法為 strict priority queue。該方法最大的優點在於可以滿足高優先權連線的頻寬需求。但最大的缺點是可能會造成低優先權的連線 starvation，如何在高低優先權連線間取得平衡向來是研究者努力的方向，既要保證高優先權連線的 QoS 又能讓低優先權的連線得以傳送資料。

### 1.3.4 Scheduling

Scheduling 可分為 BS scheduling 與 SS scheduling。BS scheduling 通常是配合 bandwidth allocation 完成，而 SS scheduling 則是重新分配(redistribute)取得的頻寬，因此在 SS 重新分配的過程中，仍舊有可能遭遇如 bandwidth allocation 所遇到的問題而造成低優先權連線的 starvation。因此在設計 SS scheduling 時應考量如何在高低優先權連線間取得平衡，即既要保證高優先權連線的 QoS 等級，又能讓低優先權的連線得以傳送資料不至於 starvation。

### 1.3.5 CAC 放任 BE 連線無止盡進入是否恰當？

在 QoS 的設計上，BE 連線是屬於沒有任何服務要求的連線，因此在測試 CAC 公式時，會發現 BE 連線永遠被允許進入系統，但會發現由於 BE 連線取得寬頻的方式是採用 contention 的方式，也就是說當連線一多，BR 成功的機率會急速下降，此時如再考量系統負載，會發現當系統負載已經很高的情況下，根本無法分配頻寬給那些成功送出 BR 封包的 BE 連線。因此，在考量系統高負載的情況下，CAC 放

任 BE 連線無止盡進入是否恰當，是個值得研究的議題。

綜合上述所提出的議題，我們希望能達到以下目的：

- 有效率的頻寬請求
- 公平的資源分配
- 避免 real-time 連線送出無效的封包

