

WiMAX 與 Wi-Fi 的比較

李彥輝 陳世揚 林義能 林盈達

國立交通大學資訊科學系

新竹市大學路 1001 號

TEL : (03)5712121 EXT. 56667

E-mail: andycyrus.cs94g@nctu.edu.tw, sychen@nbl.org.tw, {ynlin, ydlin}@cis.nctu.edu.tw

摘要

802.11 (Wi-Fi)的 PHY (physical layer)因傳輸功率的限制，以及其 MAC (Medium Access Control layer)因 CSMA/CA 的 IFS (Interframe Space)的限制，使其不適合在長距離傳輸的 WMAN (Wireless Metropolitan Area Network 無線都會區域網路)環境下使用。比較 802.11 和 802.16 (WiMAX)在 PHY 與 MAC 上的差異可發現，PHY 主要的差異是在於傳輸功率以及頻帶，MAC 的差異則是在 802.11 用 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)，802.16 則是 TDMA (Time Division Multiple Access)。而 802.16 又有分 fixed (802.16-2004) 與 mobile (802.16e)，這兩者的差異主要在 802.16e 多了和 Handover 與節省能源的相關機制。

1. WiMAX 與 Wi-Fi 的簡介

WiMAX [1]是 Worldwide Interoperability for Microwave Access 的簡寫，是泛指符合 802.16 無線通訊標準製作出的 WMAN 通訊器材。這個名詞是由 WiMAX forum(一個由許多通訊器材製作公司組成的聯盟)提出的。這個組織的主要目的就是為了能讓所有不同公司根據 IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) 802.16 無線通訊標準製作出的 WMAN 通訊器材能有互通性。802.16 有針對 fixed WMAN (根據 802.16-2004)與支援 mobile WMAN (根據 802.16e)。

Wireless Fidelity [2]，簡稱 Wi-Fi，是泛指符合 802.11、802.11a、802.11b 和 802.11g 這幾個無線通訊標準製作出的 WMAN 通訊器材。這個名詞則是由 Wi-Fi alliance(類似 WiMAX forum 的組織)提出，這個組織則是為了能讓不同公司根據 IEEE 802.11 標準製作出的 WLAN (Wireless Local Area Network 無線區域網路)的通訊器材能有互通性。

802.11 [2]與 802.16 都是由 IEEE 所制定的無線通訊標準。802.11 是針對 WLAN 設計的，而 802.16 則是針對 WMAN 設計的。802.16 與 802.11 雖然都是針對無線通訊網路而制定出的標準，但是這兩者卻也因其所針對的環境，而在標準的設計上有顯著的差異。WiMAX 的 fixed 與 mobile 兩個版本之間因其環境的差異而使得標準上的制定也有所不同。這將是我們這篇文章將會探討的內容。

2. 為何 802.11(Wi-Fi)的 PHY 與 MAC 不能直接用在 802.16(WiMax)?

早在 802.16 問世的時候 802.11 就已經是一個已經風行於市場上的無線區域

網路通訊標準，那為何換到無線都會區域網路的時候卻要重新制定新的標準？為什麼不能直接繼續使用 802.11 的標準呢？主要是有以下的理由。

802.11 PHY 的 power 不適用

Wi-Fi 所使用的頻帶是在無須執照的 ISM 頻帶，此頻帶雖然任何人都能來使用但為了維持所以使用此頻帶者的公平性，其傳輸功率不可太大(見表一)。而影響無線傳輸的傳輸距離的一個主要因素就是訊號的功率，所以 802.11 標準所制定的傳輸功率強度本身就限制了 802.11 能傳輸的距離。這是 802.11 不適合用在無線都會區域網路的一個主因。

另外，802.11 所選用的頻帶和頻寬會限制在一個 AP (Access Point)的涵蓋範圍內能有多少個其他的 AP。由於 802.11 最多同時可有 3 個不同的頻道(channel)進行傳輸，所以在一個 AP 的涵蓋範圍內，最多只能再出現兩個 AP。這同時也就會對於我們在單位面積內能服務多少個 MT (Mobile Terminal)有了限制。就應用方面來說，因為這個限制，所以 802.11 並不適用在需要服務多個 MT 的公眾服務環境。

802.11 MAC 的 CSMA 不適用

CSMA/CA 因為要確定媒介是否有人要使用，必須要等一個 IFS (interframe space)的時間。這個時間的長度也就是決定了我們所能容忍的 propagation delay 的時間長度，而直接決定最長的傳輸距離。如果要把傳輸距離拉長，勢必要把 IFS 的時間拉長，但是這就會造成花過多的時間在等 IFS 而浪費了本來可以用來傳輸資料的時間。另一方面來說，CSMA/CA 主要是為了能處理 hidden terminal 與 exposed terminal 的問題。如果在傳輸距離比較長的都會區域網路下，所有的 station 有效傳輸距離加長，也就會增加 hidden terminal 與 exposed terminal 發生的機會。如果還要使用 CSMA/CA 來解決這個問題必須要拉長 IFS 的時間，就會發生同上段的問題。

3. WiMAX 與 Wi-Fi 的 PHY 與 MAC 之差異?

由上述我們可以了解到 Wi-Fi 因為 802.11 標準上的限制所以不適用在 WMAN 的環境。接下來，我們更進一步地從 PHY、MAC、QoS 等層面探討 Wi-Fi (802.11)和 WiMAX (802.16)的差異。

802.16 與 802.11 PHY 的比較

兩者 PHY 的比較如同(表一)所示。從 base band 來說，802.16 與 802.11 並沒有太大的差距。當我們數位的資料要傳輸出去時，首先就就要進行 modulation，然後再透過 channel access 的方法將資料透過載波傳送出去。802.16 和 802.11 兩者 modulation 的方式都差不多；從 channel access 來說，802.11 是到 802.11a/g 採用 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)。OFDM 能解決在 NLOS

(Non-Line of Sight) 的傳輸因 multipath 產生的 ISI (Inter Symbol Interference) 干擾。802.16 的設計也是因考慮這項因素而採用 OFDM。資料的傳輸是雙向的，有分上傳和下載。802.16 是使用 TDD (Time Division Duplexing) 或 FDD (Frequency Division Duplexing) 讓上傳跟下載在不同的時間或不同的頻帶傳輸來達到雙向的溝通，也需要搭配 MAC 的協助才能做到這點。802.11 的上傳還有下載則都是透過 MAC 的 CSMA/CA 機制讓上傳和下載去競爭使用媒介的機會。

在 802.11n 有提出 MIMO-OFDM (Multiple Input and Multiple Output)，利用多個天線，每個天線都運用 OFDM 的方式傳遞部分的資訊，再由接收端透過多個天線來接收由發送端各個天線送來的資料。因為從每個傳送端的一個天線到接收端的一個天線所走的路徑會因 multipath 而不見得相同，所以藉由數個不同路徑傳遞的資料，我們可以有數個頻寬進行傳送。舉例來說，假如有兩個不同的路徑，每個路徑各有 54 Mbps 的頻寬，則兩個路徑合起來就有 108 Mbps 的頻寬。然而這需要在 multipath 較容易影響的室內環境才容易運作。802.16 並沒有使用這種方法增加傳送速度，雖然在 NLOS 的情況下也會有 multipath，但是經過長距離的傳輸後，要分辨出兩個路徑的差異並不容易。就應用的角度來說，MIMO 很適合在室內的環境，提供像是多媒體等需要高傳遞速率的服務。

當資料經過 modulation 再透過載波送出，802.16 比起 802.11 有更多種的頻寬與頻帶的選擇。如果使用需要執照的 10~66GHz，802.16 還可以用更強的傳輸功率來增加傳輸距離。只是此頻帶頻率較高，所以只能進行 LOS (Line of Sight) 的傳輸。就傳輸功率來說，802.16 可以使用的傳輸功率比起 802.11 高很多，也因此讓 802.16 有比 802.11 更遠的傳輸距離。

	Wi-Fi (802.11)	WiMAX (802.16)
BB (base band)		
Modulation	.11/.11b: BPSK, QPSK .11a/g: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM
Channel access	.11/.11b: DSSS .11a/g: OFDM	LOS: SC NLOS: SCa, OFDM, OFDMA .16e: OFDMA
Duplexing	Done by MAC	TDD or FDD with support of MAC
Space utilization	.11n: MIMO-OFDM	N/A
RF (radio frequency)		
Channel bandwidth	20 or 22 MHz	LOS: 25 or 28 MHz NLOS: 1.25~28 MHz
Frequency band	.11/b/g: 2.4GHz (83MHz wide) .11a: 5.2GHz (260MHz wide)	LOS: 10~66 GHz NLOS: 2~11 GHz License-exempt: 5~6 GHz 16e: 2~11 GHz
Power	.11/11b/g: 100mW .11a: 1W	63.5dbm (2238.72W) ~ 64dbm (2511.89W)
Ideal PHY's		
Max. distance	90m	9.6KM
Max. bitrate	54 Mbps	75Mbps
Max. velocity of MT	30 km/hr	.16e: 70 km/hr

表一： 802.11 與 802.16 的 PHY 的比較。

802.16 與 802.11 MAC 的比較

兩者 MAC 的比較如同(表二)所示，可從媒介共用方式、連線、QoS 等方面探討。

媒介共用方式的比較

802.16 是用 TDMA (Time Division Multiple Access) 讓 BS (Base Station) 去排定每個 SS (Subscriber Station) 可以傳送資料和聽取 BS 傳送的資料的時間。802.11 則是用 CSMA/CA 讓所有的 station 去競爭傳輸機會(不過也有無競爭由 BS 來排定 SS 可以傳輸的時機，在此不額外贅述)。

802.16 雖然主要都是 TDMA 為主，但是當有新的 station 要進入或有 station 要跟 BS 取得更多頻寬發送 request 的時候，必須要透過上傳中一段利用類似 Ethernet 的 exponential backoff 的機制讓每個 station 隨機決定再傳送的時間。如果兩個 stations 選擇相同的時間則會發生碰撞，BS 也就無法對發生碰撞的 station 給予回覆。未收到回覆，則 station 就會知道發生碰撞而進行 backoff 重新選擇傳送時間。802.11 的 CSMA/CA 需要所有的 Station 去競爭媒介的使用權，每個 station 都會在要傳的時候先等一個 IFS 的時間再加上一個隨機長度的 CW (Contention Window) 的時間。經過這段時間如果媒介還是沒人使用傳送端就會發送 RTS (Ready to Send) 來告知接收端準備接收資料，同時也讓在傳輸端週遭的 stations 知道他要進行傳送。接收端則會發送 CTS (Clear to Send)來告知傳送端可以傳送資料，同時讓週遭的 station 知道他要進行接收。

連線的比較

就 BS 和 SS 的連線來說，802.16 除了要知道哪些 SS 和他建立連線，也必須要考慮到每個 SS 和 BS 建立的連線所佔有的頻寬，但 802.11 的 BS 只純粹關切有哪些 SS 和他建立連線。在連線建立後，必須要考慮資料傳輸的可靠性(reliability)還有安全性(security)。802.16 是使用 ARQ (Automatic Repeat Request)，ARQ 只要發送針對某個封包發送 ACK 就表示在這個封包之前所有的封包都被接收到。802.11 則是確保封包傳送後有被接收的作法是讓接受端發送一個 ACK (acknowledge)的封包，來告知傳送端有順利接收到這個封包，沒收到 ACK 傳送端就會認定這個封包沒有被送達而重傳。但是 802.11 發送 ACK 只是確保封包有被接收端收到並不會去理會這個封包是由哪個連線送出，因而沒有連線的觀念。而 802.16 使用的 ARQ 則會針對各個連線來做。就安全性來說，802.16 是利用 cryptographic suite 和 PKM (key management protocol)；由 cryptographic suite 來讓 BS 與 SS 得知要使用的加密與認證的演算法，再由 PKM 來管理 BS 與 SS 間共用的 encryption key。而 802.11 最初使用的 authentication 和 WEP(Wired Equivalent Privacy)機制其實很弱。所以後來 Wi-Fi Alliance 便依照 802.11i [5]提出 WPA (Wi-Fi Protected Access)和 WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2)來加強 Wi-Fi 的安全性。Wi-Fi 在採用 WAP 與 WAP2 之後，其安全性才能和 WiMAX 匹敵。

QoS 相關比較

在進行資料傳輸的時候也必須要考慮到 QoS，來維持一定的傳輸品質。

802.16 是在標準中就有提出對於 QoS 的各種標準與要求，是 parameterized 的 QoS。802.16 另外也有定義 4 種 scheduling 的服務分別：UGS (Unsolicited Grant Service)、rtPS (real-time Polling Service)、nrtPS (non-real-time Polling Service)、BE (Best Effort)。而要能達到這些服務的需求，則需要 QoS 的搭配。而 802.16 也有訂出讓 SS 向 BS 要求更多頻寬的方法與過程，以便達到其所需要的通訊品質。802.11 的 QoS 則是在 802.11e [6] 定的，他是在 MAC 的 DCF (distributed coordinate function) 之上增加兩個 function: EDCA (HCF (Hybrid coordination function) contention-based channel access) 和 HCCA (HCF controlled channel access)，分別提供以 priority 的 QoS 與 parameterized 的 QoS。相對於此，Scheduling 跟要求頻寬在 802.11e 是有提到由 HCCA 實現，只是並沒有提出詳細的方法。就應用的角度來說，QoS 對於多媒體這一類需要有固定傳輸量的應用需求比較高；對於企業的內部來說，資料的傳輸大概都是 data 為主，不需要用到 QoS。

其他項目的比較

除了基本 BS 與 SS 間的 unicast，802.11 與 802.16 都還能提供 multicast。然而 802.11 的 multicast 比起 802.16 較不可靠，因為 802.11 的 multicast 在 BS 發送 multicast 的封包後所有的接收端都不回傳 ACK，雖然可以增加傳輸效率，但卻降低資料傳輸的可靠性。802.16 則是讓所有要接收 multicast 封包的接收端共用一個 CID (connection identifier)，所以所有的接收端只要聽到由 BS 送來的資料是該 CID 就接收下來，各個 SS 也能在之後各自上傳的時間回傳確認訊息。

由於 WiMAX 是用於距離較長的室外環境，傳輸媒介的變化對於傳輸品質的好壞有很大的影響。故在 802.16 中有定義 Ranging 的程序，來調整傳輸時 PHY 的各種參數 (ie. Burst profile，包含 modulation 方式、使用的 bandwidth、等等)。由於好的傳輸品質就會有比較低的資料傳輸量，而高資料傳輸量卻常導致較低的傳輸品質，因此 Ranging 主要就是從傳輸品質與資料傳輸量取得一個平衡。802.11k 也有提出 Ranging 的功能，來讓 BS 能適應 MT 位置上的變化造成的影響。

	Wi-Fi(802.11)	WiMAX(802.16)
Medium Access Method	CSMA/CA	TDMA
	Contention & polling	Polling (contention during initial ranging and request)
Contention resolution	By CSMA/CA and RTS/CTS	Binary exponential backoff
Connection	Pure connection of AP with MT	Connection of BS & SS, and bandwidth allocation
Reliable delivery	By ACK	By ARQ
Security	11: authentication and WEP 11i: WAP & WAP2	By cryptographic suite & PKM
QoS	Provided by .11e using HCCA & EDCA	Defined spec and types of service flows
Scheduling	Defined in HCCA of .11e	4 service type: UGS, rtPS, nrtPS, BE
Bandwidth allocation	Defined in HCCA of .11e	Defined request/grant flow
Multicast (receiver)	designated by the sending SS	using the same CID
Ranging	Supported by .11k	Specified procedure

表二： 802.11 與 802.16 的 MAC 的比較。

從應用的角度來說，802.11 和 802.16 的安全性都不足以讓企業採用。乙企業的角度來說，通常會希望能限制所有企業內的人員都使用企業本身的網路系統。在有線的情況下這點很容易達成，但是無線的情況就很難掌控。企業內部的員工有機會可以透過非企業本身 AP 連上線，也很有可能讓外面的人透過企業內部的 AP 連入企業內部的網路系統。

4. WiMAX 的 fixed(802.16-2004)版本與 mobile(802.16e)版本的差異？

802.16-2004 的標準主要是針對定點的用戶端，而 802.16e [7]則是除了定點的用戶端，還能提供服務給具有移動性的用戶端。802.16e 目前還仍然在制定中，主要是以 802.16-2004 為基礎。

與移動性最密切的有兩個議題：HO (Handover)與 Power。為 HO 發生在 MT 因移動而從原本的 BS 涵蓋範圍進入另一個 BS 的涵蓋範圍時切換的動作。或是 MT 同時在多個 BS 的涵蓋範圍內，由訊號較弱的 BS 換到訊號較強的 BS。Power 則是指 MT 本身的電能的損耗，由於 MT 能攜帶的電量有限，進行傳輸或接收資料的時候都會消耗電能，所以有效的使用 MT 的電源也是很重要的議題。我們下面就針對這兩點來探討在 802.16e 上新增的部份。

802.16e 的 MAC 增設項目

802.16e 在 MAC 上增加的項目如表三所示。從 HO 的角度來說，802.16e 主要的修改與新增的項目在於其管理訊息。對於 Ranging 的訊息新增與 HO 相關的參數。另外也新增了許多在 HO 過程中會需要的管理訊息，像是(1)由周遭其他 BS 提供給 MT 有關 BS 狀況的 Neighbor advertisement 訊息，(2)由 MT 主動提出向周遭 BS 發送 scanning interval allocation request 訊息來尋找適合連線的 BS 再由 BS 發送 scanning interval allocation report 回覆 MT，(3)由 BS 發給 MT 要求其進行 HO 的 handover request，或是由 MT 主動向 BS 要求進行 HO 而發送的 handover request，再由 BS 回傳 MT handover response，以及(4) MT 在進行 HO 前告知 BS 的 Handover indication 訊息，等等。這些都是在 HO 進行時做溝通用的訊息。

從 Power 的角度來說，802.16e 針對各種 scheduling 服務定義了 3 種不同的 Sleep mode 以達到省電的目的。這些模式的切換是 MT 透過 Sleep request 告知 BS 它所要採用的省電模式，BS 再透過 Sleep response 回應表示確認。

類別		細項
Handover	Modification of MAC manage messages	Ranging request/response message with addition parameter for HO
	Additional MAC manage messages	Neighbor advertisement, Scanning interval allocation request/report, BS handover request, MT handover request/response, Handover indication messages.
Power	Additional MAC management messages	Sleep request/response, Power mode change request/response message.
	Power saving	Sleep mode for mobility-supporting MT, MT idle mode (optional)
Others	Additional MAC management messages	BS broadcast paging
	Scheduling	Extended rtPS
	Multicast and broadcast	Single and multiple BS
	QoS	Global service flows

表三： 802.16e 的 MAC 增設項目。

802.16e 的 PHY 增設項目

從 PHY 的角度來說，802.16e 在 802.16-2004 低頻率(2~11GHz)的部分增加了 mobility 的選擇性，其增加的項目主要都在 OFDMA 的部分，如表四所示。

在 mobile 的環境下，一個 MT 可能同時在好幾個 BS 的涵蓋範圍內，這些 BS 統稱為 Active BS。其中，只有一個 BS 是 MT 透過它來連上網路，也就是所謂的 Anchor BS。

在 HO 來說，因為在處裡 SHO (soft handover)的時候 MT 會同時和兩個以上的 BS 做資料上的交換來完成 HO 的整個流程。因此，在 DL-MAP (BS 告知所有 MT 在下載時所有 station 共用媒介的方法)和 UL-MAP (BS 告知所有 MT 在上傳時所有 station 共用媒介的方法)增加表中的各種 IE (Information Element)。HO anchor active DL-MAP IE 是在一個 Active BS (但不是 anchor)的 DL-MAP，告知在該區間傳遞的資料是從 Anchor BS 來的。HO active anchor DL MAP IE 是在一個 Anchor BS 的 DL-MAP，告知在該區間傳遞的資料是從 Active BS (但不是 anchor)來的。HO anchor active UL MAP IE 與 HO active anchor UL MAP IE 則是反過來表示 MT 可以傳遞資料到 Active BS 或 anchor BS 的時機。HO CID translation MAP IE 是爲了能把 Active BS 對 MT 的 CID 與 Anchor BS 對 MT 的 CID 做轉換用的，因爲不同的 BS 對同一個 MT 不會給予相同的 CID，所以透過此 IE 來做轉換。

就 Power 來說，增加了 open loop power control 來控制 MT 上傳時的訊號強度。Open loop power control 是 MT 透過 DL 的訊號強度直接去推算 UL 應該傳遞的強度，沒有任何由 MT 回傳給 BS 的資訊。

其他方面來說，802.16e 還有增加告知 Multicast 或 Broadcast 傳遞時機的 Multicast & Broadcast service MAP IE。DL PUSC allocation in other segment IE 和 UL PUSC allocation in other segment IE 則是讓 MT 與其他的非 Anchor BS 透過別的 Segment (在 OFDMA 切分眾多 subcarrier 的單位)進行溝通。

	類別	細項
Handover	DL-MAP	HO anchor active DL MAP IE, HO active anchor DL MAP IE, HO CID translation MAP IE
	UL-MAP	HO anchor active UL MAP IE, HO active anchor UL MAP IE
Power	Power control	Open loop power control
Others	DL-MAP	Multicast & Broadcast service MAP IE, DL PUSC allocation in other segment IE
	UL-MAP	UL PUSC allocation in other segment IE

表四： 802.16e 的 PHY 增設項目。

5. 結論

802.11 因為 PHY 與 MAC 上分別有對於 power 的限制 CSMA/CA 的 IFS 限制因而未被運用在有長距離傳輸的 WMAN 環境。

我們進一步探討了 802.11 和 802.16 兩者的差異點，就 PHY 來說 802.16 的訊號功率比起 802.11 強許多，而且能使用的頻帶也比 802.11 多；不僅能傳的遠，也可以提供服務給更多的 MT。就 MAC 來說，802.11 使用 CSMA/CA 而 802.16 則是 TDMA；一個以競爭為基礎，另一個則是以 BS 來進行排程。最後，我們也探討了 802.16e 為了支援 mobility 新增處理 handover 與節省電源的相關項目。

就應用的角度來說，WiMAX 主要會被用在公眾服務，而 Wi-Fi 主要是被運用在像是家庭這一類室內環境。Wi-Fi 的產品就只能收取賣出硬體後的錢，WiMAX 則是可以額外從提供公眾服務有更進一步的獲利。不過這兩者的安全性都無法被企業所接受，而無法應用在企業的內部環境。而 WiMAX 與 Wi-Fi 唯一會有互補的情況就是以 fixed WiMAX 作為 last mile，Wi-Fi 運用在 LAN 的部份。

參考文獻

- [1] WiMAX Forum, <http://www.wimaxforum.org/home>.
- [2] Wi-Fi Planet, <http://www.wi-fiplanet.com/>.
- [3] ANSI/IEEE Std 802.11, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 1999 Edition (R2003).
- [4] IEEE Standard, "802.16-2004 Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," Oct 2004.
- [5] IEEE Standard, "802.11i Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 6: Medium Access Control (MAC) Security Enhancements," 2004.
- [6] IEEE Standard, "802.11e Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment: Medium Access Control (MAC) Quality of Service (QoS) Enhancements," Jan 2005.
- [7] IEEE Standard, "Draft IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands," Feb 2005.