CH 5 無線寬頻網路

Prof. Yuh-Shyan Chen

Department of Computer Science and Information Engineering

National Taipei University

目錄

5-1 WiMAX無線寬頻網路簡介
5-2 無線寬頻網路市場趨勢與應用
5-3 WiMAX無線寬頻網路架構
5-4 WiMAX無線寬頻網路存取技術
5-5 WiMAX無線寬頻網路框架結構
5-6 WiMAX 無線寬頻網路運作
5-7 結語

無線寬頻網路簡介

- 傳輸媒介：空氣
- 利用無線電波往返於基地台與用戶端設備間直接傳輸及接收資料
- 發展優勢
  - 將網路服務延伸到有線網路無法佈建的地區
  - 支援高速連網存取

WiMAX無線寬頻網路簡介

- 主導單位:電機電子工程師學會
  - Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE
- 於1999年開始制定
- 提供固定式和移動式用戶寬頻無線連接服務
- 被視為是低佈建成本的最後一哩解決方案
- 穩定版本:
  - IEEE 802.16-2001
  - IEEE 802.16-2004
  - IEEE 802.16-2009
  - IEEE 802.16-2012

圖5.1: IEEE 802.16 規格演進示意圖

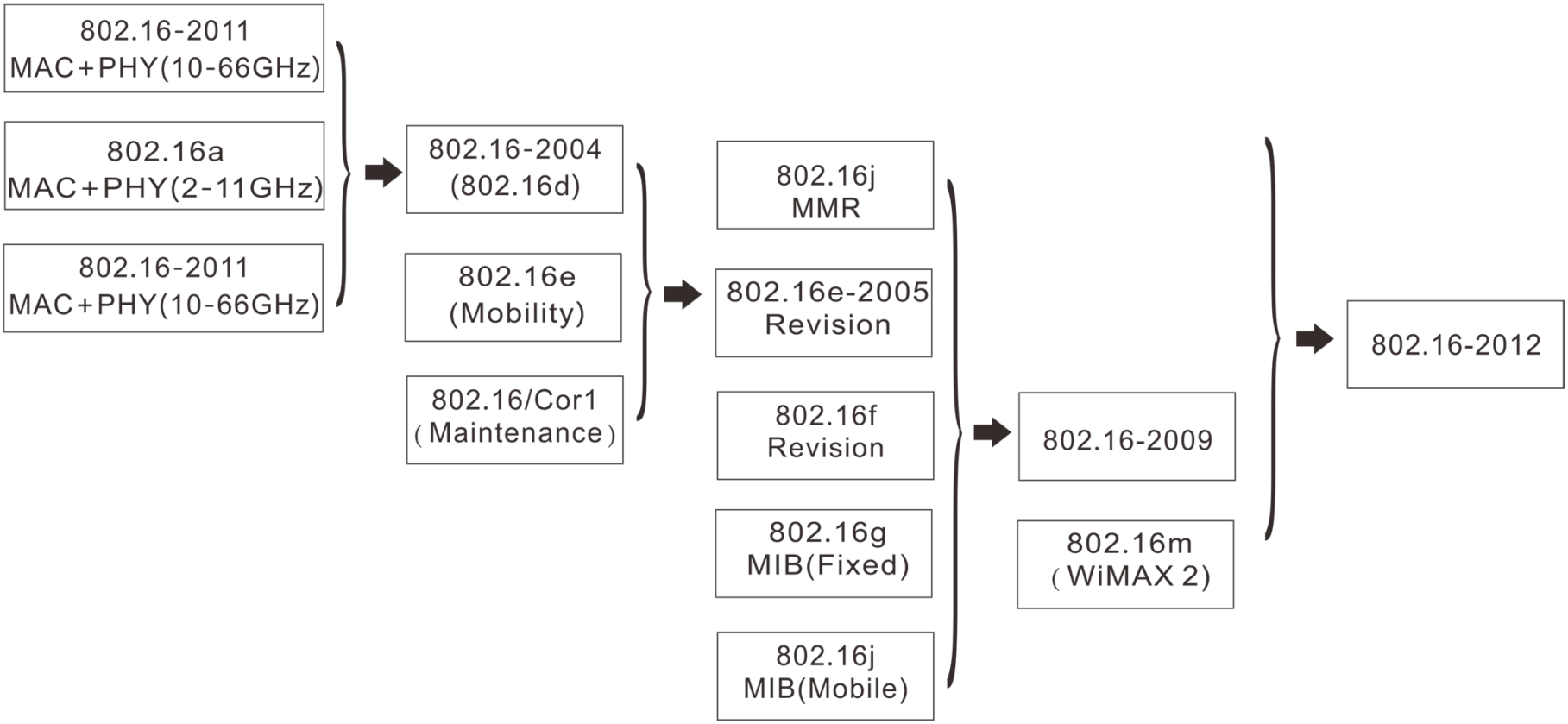


表5.1: IEEE 802.16規格差異比較

	IEEE 802.16-2001	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16-2009	IEEE 802.16-2012
完成時間	2001 年12月	2004 年6月	2009 年5月	2012 年8月
移動性	僅支援固定式	僅支援固定式	固定式與移動式	固定式與移動式
多步轉傳	不支援多步轉傳	不支援多步轉傳	不支援多步轉傳	支援多步轉傳
實體層傳輸技術	WirelessMAN-SC、WirelessMAN-SCa	WirelessMAN-SC、WirelessMAN-SCa、WirelessMAN-OFDM、WirelessMAN-OFDMA	WirelessMAN-SC、WirelessMAN-SCa、WirelessMAN-OFDM、WirelessMAN-OFDMA	WirelessMAN-SC、WirelessMAN-OFDM、WirelessMAN-OFDMA
運作頻帶	10-66 GHz	< 11 GHz	< 11 GHz	< 11 GHz

無線寬頻網路市場趨勢與應用

- 前WiMAX運作的頻段主要是以2-11GHz為主，其間包含了授權頻段 (Licensed Band) 與免授權頻段 (Unlicensed Band)。授權頻段由各國政府統一分配協調，國家分配的頻段影響了無線網路的規劃及系統容量，電信業者必須依國家的法規取得使用執照才能使用頻段。
- 目前台灣分配頻段的機構為國家通訊傳播委員會 (National Communications Commission, NCC)
- 主要扮演整合通訊與傳播市場的監理角色，使得電信、傳播及資訊等三大領域之產業均能在公平的基礎上從事良性競爭與互動。電信業者透過競標的方式來取得頻段使用執照。

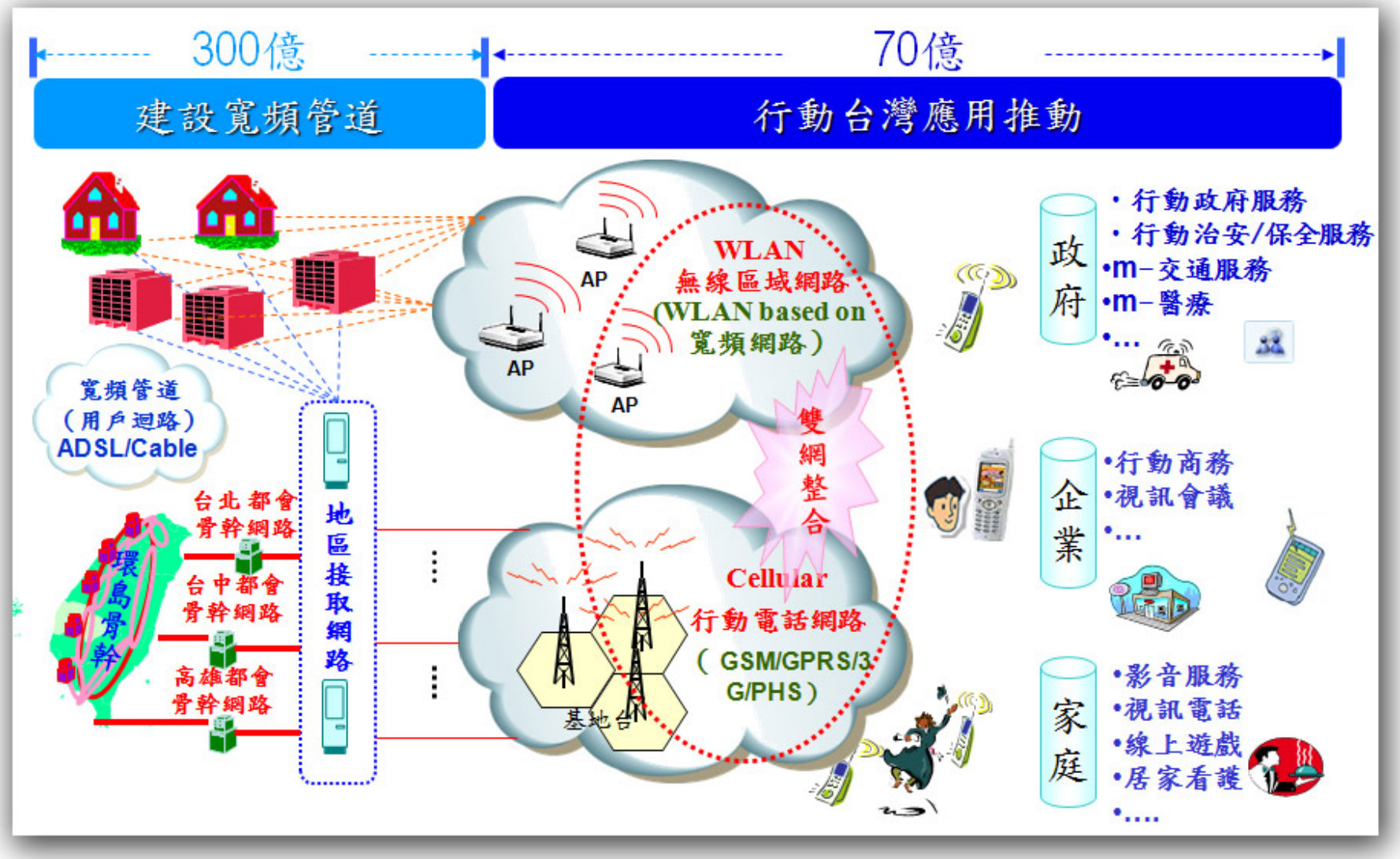
行動台灣 (M-Taiwan)

- 「行動台灣計畫」是台灣新十大建設之一，該計畫於2005年開始推動。其願景為打造「行動台灣、應用無限，躍進新世界」，使台灣從e化進步到M化；並以行動服務、行動生活、行動學習三項無線寬頻應用為主軸，期望以應用服務帶動產業發展。所以，從建置無線寬頻網路基礎著手，推廣無線寬頻網路建設，帶動設備產業發展與民間投資，為台灣構建一個完善的寬頻網路環境，讓使用者可以在任何時間、任何地點擷取多元化的數位服務，亦可為寬頻網路相關業者創造無限商機，促進電信產業之發展，加速資訊化社會建設進程，提昇國家競爭力。

行動台灣 (M-Taiwan)

- 「行動台灣計畫」計畫內容包括「寬頻管道建置計畫」及「行動台灣應用推動計畫」兩大部份，其中「寬頻管道建置計畫」由內政部負責執行，主要是以建置WiMAX為基礎的無線寬頻網路，作為鋪設光纖網路之用；至於「行動台灣應用推動計畫」則由經濟部負責執行，由行動服務、行動生活、行動學習三項無線寬頻應用出發，希望提供民眾住、行、育、樂、醫、利、購的多樣化無線寬頻應用服務。希望藉由無線寬頻網路的廣建，加速新興無線寬頻應用服務的興起，進而帶動資通訊產業的發展。

行動台灣 (M-Taiwan)



圖片來源: 行動台灣網站
http://duct.cpami.gov.tw/

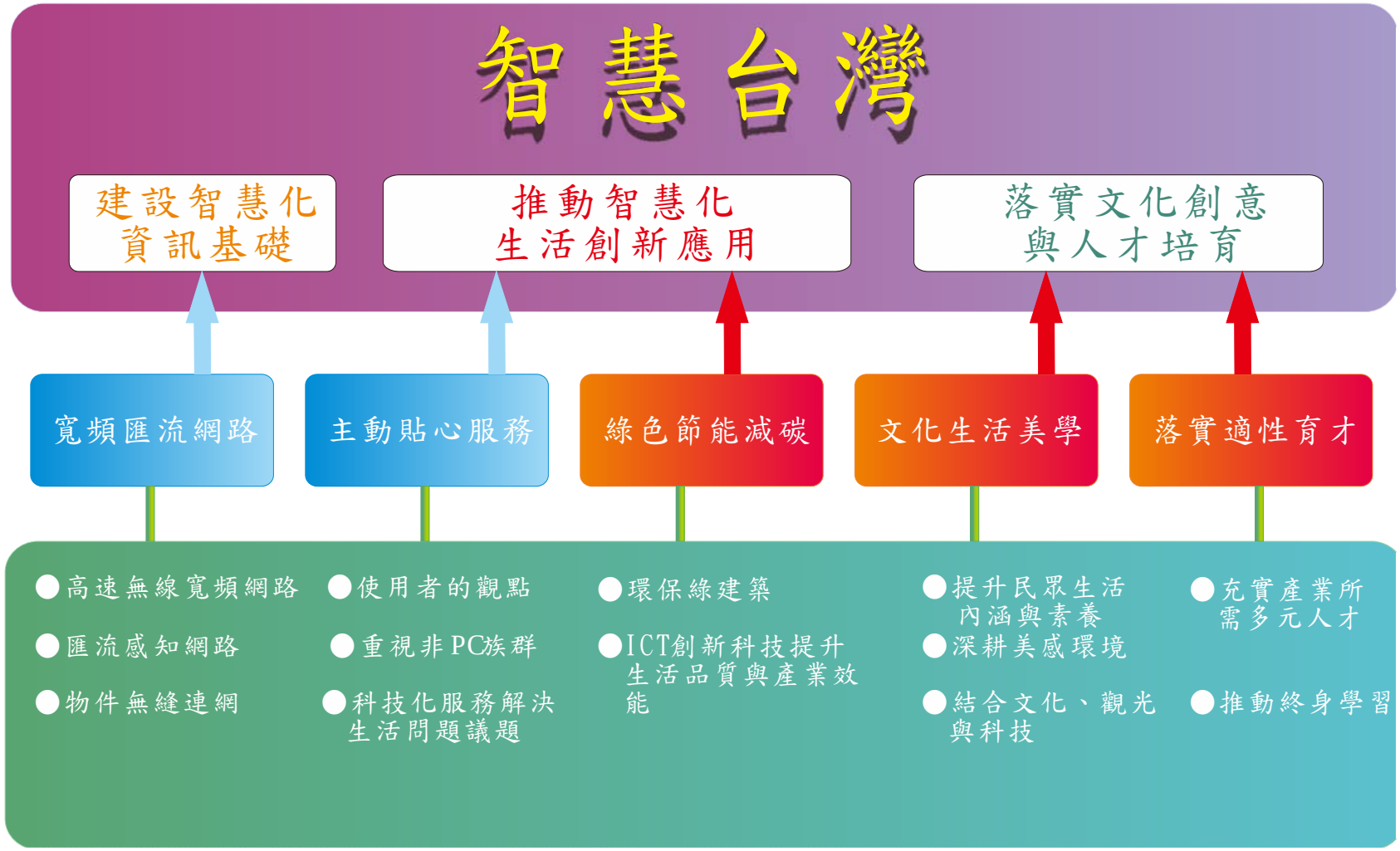
智慧台灣 (Intelligent Taiwan)

- 行政院經建會於97年12月15日通過「新世紀第三期國家建設計畫」，其中「國家發展政策主軸」之「空間再造」第五項即為「智慧台灣」。

智慧台灣 (Intelligent Taiwan)

- 寬頻匯流網路：以WiMAX為基礎建置高速寬頻網路，並連通不同網路與通訊系統，例如：WiFi、3G等，再配合有線與無線的感知網路，以達到物件無縫連網的目的。
- 主動貼心服務：由使用者觀點出發，規劃符合民眾需求的創新應用服務，以科技化服務解決生活議題。
- 綠色節能減碳：推動環保綠建築，同時提升生活品質與產業效能。
- 文化生活美學：提升民眾生活內涵與素養，深耕美感環境， 結合文化、觀光與科技。落實適性育才：充實產業所需多元人才，推動終身學習。

圖5.2: 智慧台灣核心概念

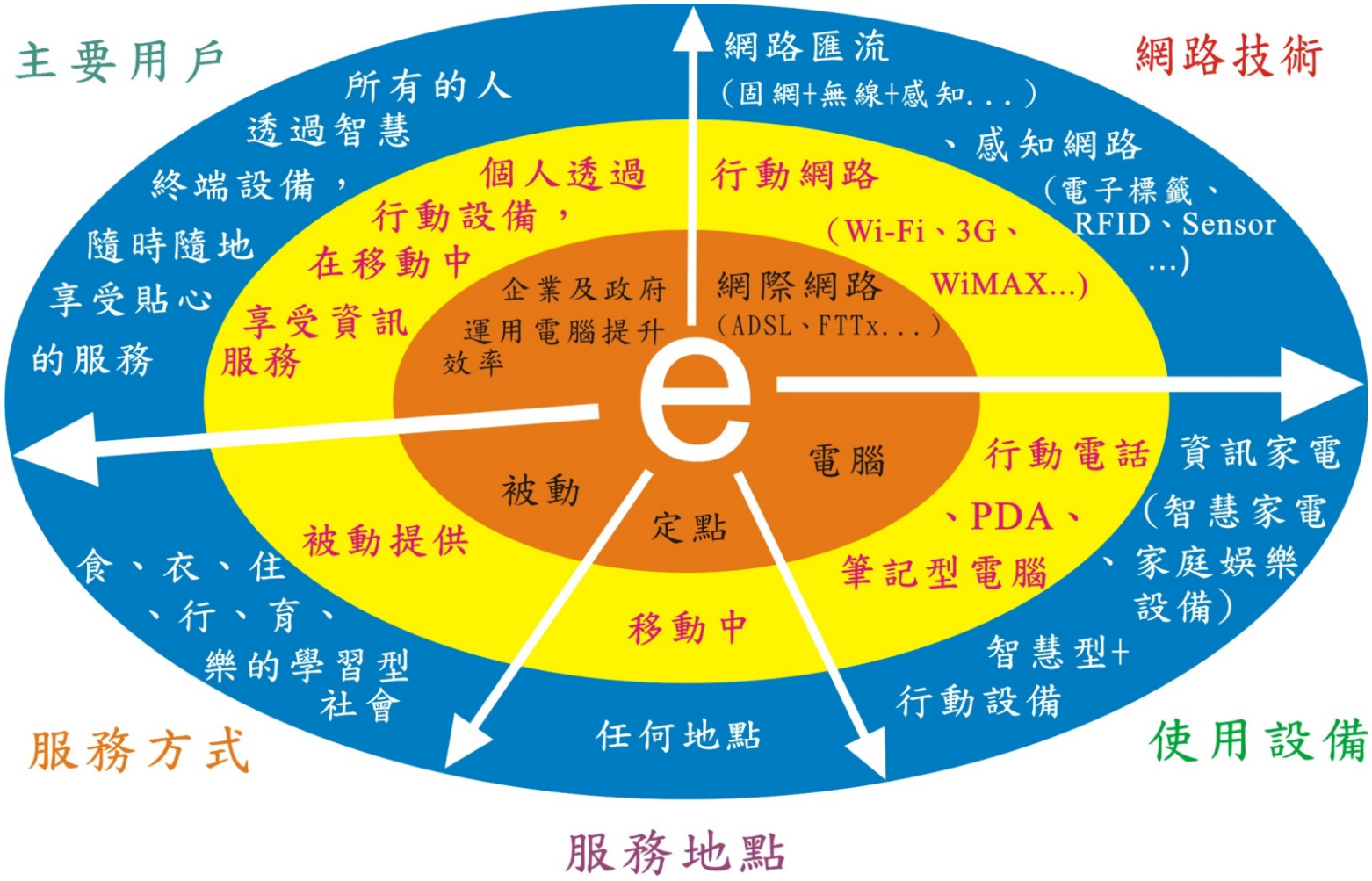


圖片來源: 行政院智慧台灣網站
http://www.intelligenttaiwan.nat.gov.tw

智慧台灣 (Intelligent Taiwan)

- 智慧台灣的願景，就是要建設台灣成為一個安心、便利、健康、人文的優質網路社會。期望在生活型態快速變遷趨勢下，建構智慧型基礎環境，發展創新科技化服務，不但符合節能減碳的目的，更提供國民安心便利的優質生活環境；使得任何人都能夠不受教育、經濟、區域、身心等因素限制，透過多種管道享受經濟、方便、安全及貼心的優質ｅ化生活服務，其智慧服務的定義如圖5.3所示。

圖5.3: 智慧台灣功能示意圖



圖片來源: 行政院智慧台灣網站
http://www.intelligenttaiwan.nat.gov.tw

WiMAX無線寬頻網路架構介紹

- 點對多點架構
  - 該網路架構適合提供骨幹網路及高速傳輸服務
  - 適用的環境在用戶端較稀疏的環境，例如郊區等。

- 中繼網路架構
  - 藉由設置中繼站來增加無線網路涵蓋範圍
  - 具有建置成本低與容易建置的優點。

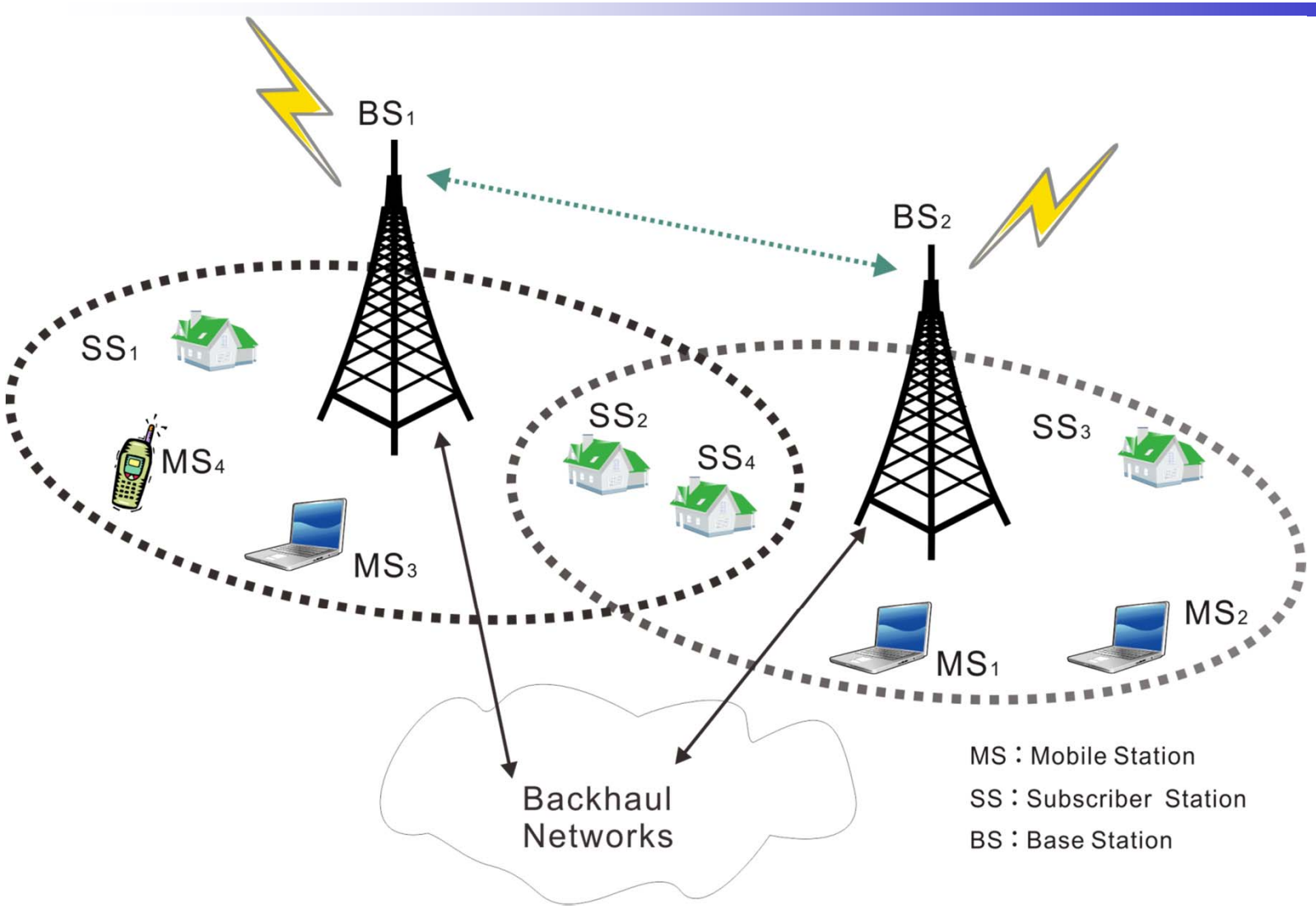
點對多點架構

- 點對多點架構 (PMP Architecture) 為WiMAX基本網路架構，如圖5.4所示。該網路架構適合提供骨幹網路及高速傳輸服務，適用的環境在用戶端較稀疏的環境，例如郊區等。
- PMP架構主要由三種功能性實體所組成：基地台 (Base Station, BS)、固定式用戶端裝置 (Subscriber Stations, SSs) 與移動式用戶端裝置 (Mobile Stations, MSs)。此架構是以星狀拓蹼為基礎，BS與SSs或MSs能夠直接進行通訊，BS集中管理網路中頻寬資源的使用，其後端連結至網際網路 (Internet)，負責協助SSs或MSs資料傳輸。

點對多點架構

- 在PMP架構中，距離BS的遠近將會影響訊號接收品質，當距離BS較近的SSs或MSs有較強的接收訊號，可享有較高的傳送速率。反之，若SSs或MSs與BS之間的距離愈遠時，訊號接收強度愈弱，能夠使用的傳輸速率也就相對降低。因此衍生出多躍轉傳中繼網路架構 (Relay Architecture)。

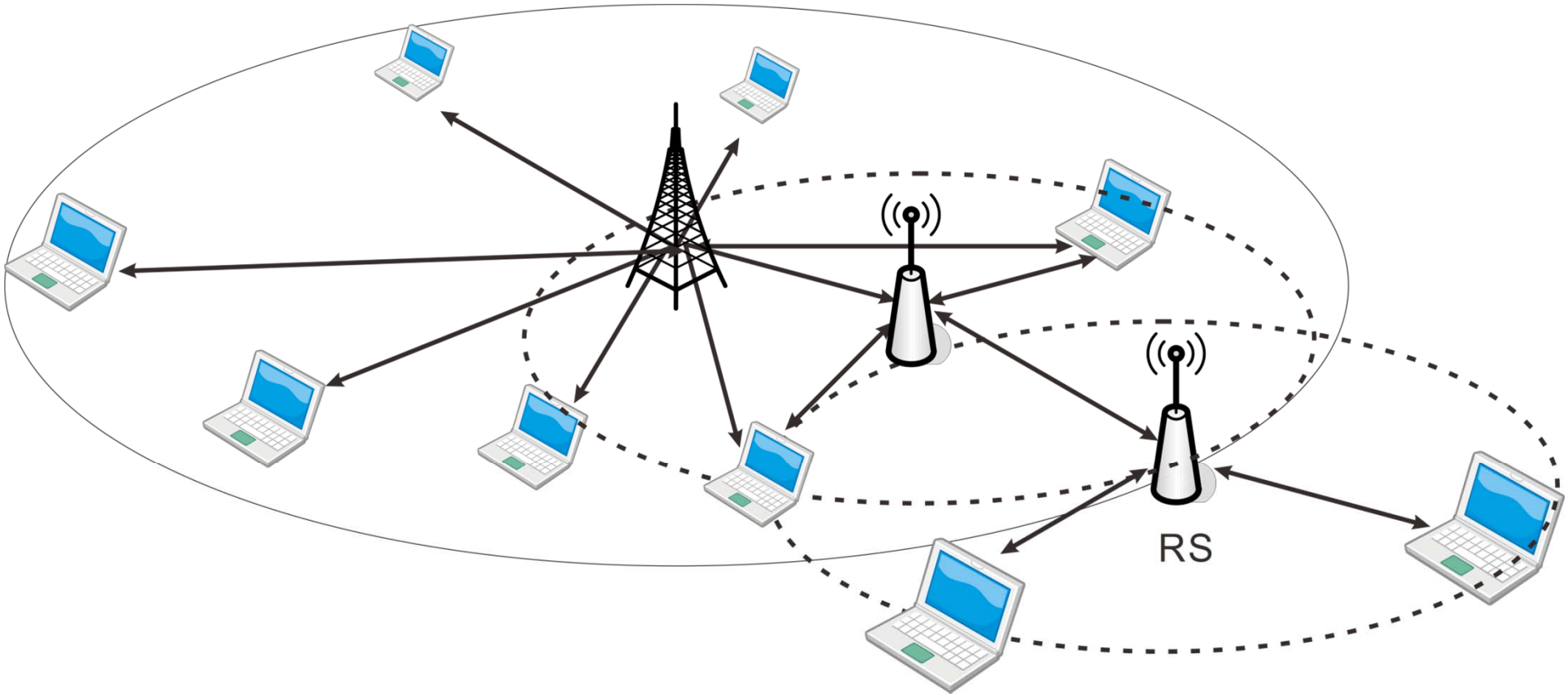
圖5.4: 點對多點架構


BS1
BS2
SS1
SS2
SS3
SS4
MS4
MS3
MS1
MS2
Backhaul
Networks
MS：Mobile Station
SS：Subscriber Station
BS：Base Station

多躍轉傳中繼網路架構 (Relay Architecture)

- 多躍轉傳中繼網路架構 (Relay Architecture) 是由BS及中繼站 (Relay Station, RS)所組成，如圖5.5所示，藉由設置中繼站來增加無線網路涵蓋範圍。基本上，多躍轉傳中繼網路架構具有建置成本低與容易建置的優點。RS將來自於使用者的資料封包傳送給連接有線網路的基地台 (可能通過其他的中繼點)，基地台依照目的MS的位置轉送給特定RS，RS接收後再將資料傳送給目的MS，如此，目的MS可以正確接到所需的資料。一般認為這樣的架構相較點對多點架構更適合真實環境的佈建。

圖5.5: 中繼網路架構 (Relay Architecture)



WiMAX無線寬頻網路存取技術

- 正交分頻多工 (OFDM)
- 正交分頻多工存取 (OFDMA)
- 智慧型天線 (Smart Antenna) 技術
- 適應性調變和編碼技術 (AMC)
- 服務品質保證

正交分頻多工 (OFDM)

- 正交分頻多工 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 是一種具備高速率資料傳輸的能力，加上能有效對抗頻率選擇性衰減，而逐漸獲得重視與採用。
- 在OFDM系統下，單一通道 (Channel) 會切割成數個頻寬相等的子通道 (Subchannel)，而每個子通道再由數個正交子載波 (Orthogonal Subcarrier) 所組成。OFDM的基本概念為將一高速傳輸資料，切割成數個低速傳輸資料，並將這些低速傳輸資料同時調變在數個相互正交的子載波上傳送。

正交分頻多工 (OFDM)

- 由於這些低速傳輸的資料所使用的頻寬遠小於正交子載波的頻寬大小，因此，具有消除信號間 (Inter-symbol Interference) 干擾問題，亦同時增強對抗頻率選擇性衰落能力。OFDM技術主要的優點有以下幾項：

免除延遲擴散的影響

- 無線電波在傳輸時，是以擴散的方式進行傳播，在傳送到接收端的途中，會因建築物等障礙物的影響，出現反射與折射的現象，因而訊號會因為不同的傳播路徑與環境，形成不同程度的延遲與衰減，此種現象稱為多路徑傳播效應 (Multipath Propagation Effect)。而在此種效應下，因多路徑訊號抵達接收端的時間不同，造成訊號波型的失真則稱為延遲擴散 (Delay spread) 。

免除延遲擴散的影響

- OFDM技術在每個OFDM符元 (OFDM Symbol) 加入保護區間 (Guard Interval)，來避免延遲擴散問題，然而一般使用全零 (zero padding) 的資料作為保護區間 (Guard Interval with Zero Padding)，會使子載波之間失去正交的特性，因此OFDM使用循環字首 (Cyclic Prefix) 來作為保護區間，如此一來在避免延遲擴散問題的同時仍然能夠保持各個子載波之間的正交特性。

較低的複雜度

- 傳統多載波調變需要使用數個弦波產生器來產生訊號，而OFDM的技術能夠容易的使用快速傅立葉轉換 (FFT) 與反快速傅立葉轉換 (IFFT) 來實作，取代傳統的弦波產生器降低實現OFDM技術的複雜度，增加數據的傳輸速率。

高頻寬利用率

- OFDM透過過多載波調變的技術，使子載波之間互相正交，因此相鄰子載波間可以互相重疊而不會相互干擾，如此一來即可達到高頻寬利用率的目的。儘管OFDM的技術有上述的優點，但同樣的也存在著以下的問題：(1) 對頻率偏移極為敏感: OFDM的技術是利用調變 (Modulate) 技術造成子載波之間的正交來達到高頻寬利用率，而在接收端的解調變 (Demodulate) 是利用子載波的正交性，然而傳送端與接收端的設備震盪出的頻率可能會有誤差，因而產生頻率誤差，或是因都卜勒效應造成的頻率偏移，使得子載波正交性遭破壞。

高頻寬利用率

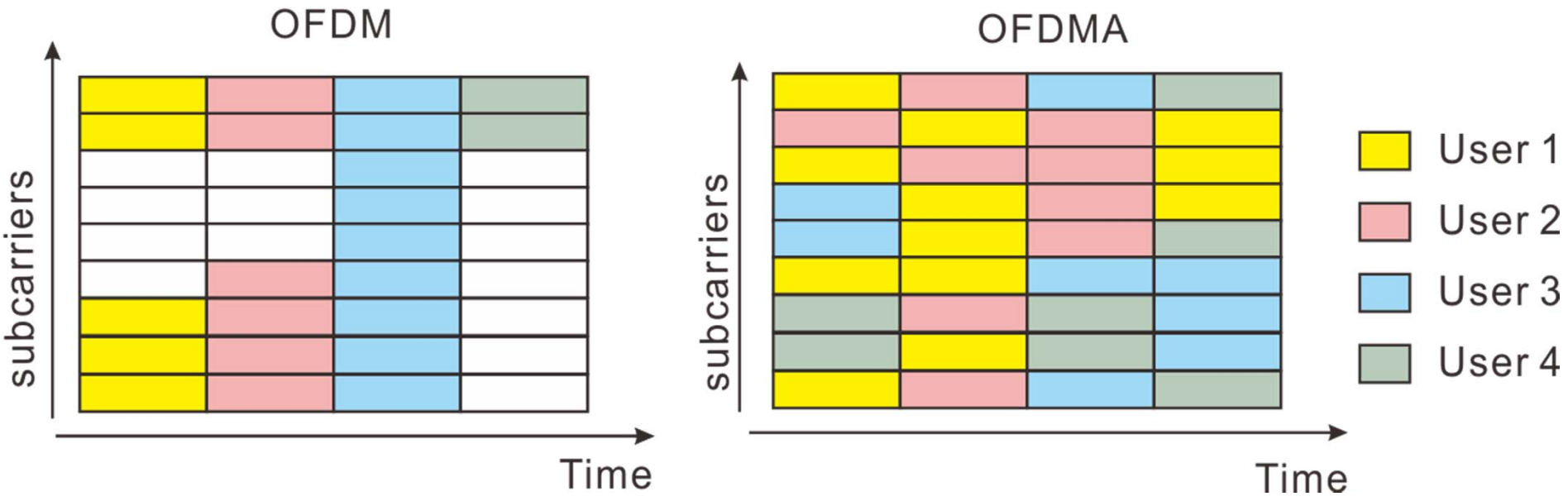
- (2)訊號失真: OFDM訊號是多個調變後的子載波訊號的疊加，因此，會有瞬間尖峰訊號，而此特性將造成放大器 (Amplifier) 所須操作線性區間過大，致使訊號失真。

正交分頻多工存取 (OFDMA)

- 在傳統的OFDM系統下，用戶端雖然可以選擇接收品質條件較好的Subchannels進行資料傳輸，但是單一通道只能指派給單一用戶，因此會有嚴重的頻寬浪費問題。使用OFDM技術User1, User 2與User4並未使用全部的子載波，但因為OFDM的限制，剩餘未使用的子載波無法供其他使用者使用。為了保有上述之抗干擾優點，同時要增加頻寬利用率，因此，正交分頻多工存取 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) 的技術也因此進行發展。

圖5.6: OFDM與OFDMA差異示意圖

- 根據每個用戶選擇對其條件較好的子通道來進行資料傳輸，不必像OFDM於整個頻帶內進行資料傳輸



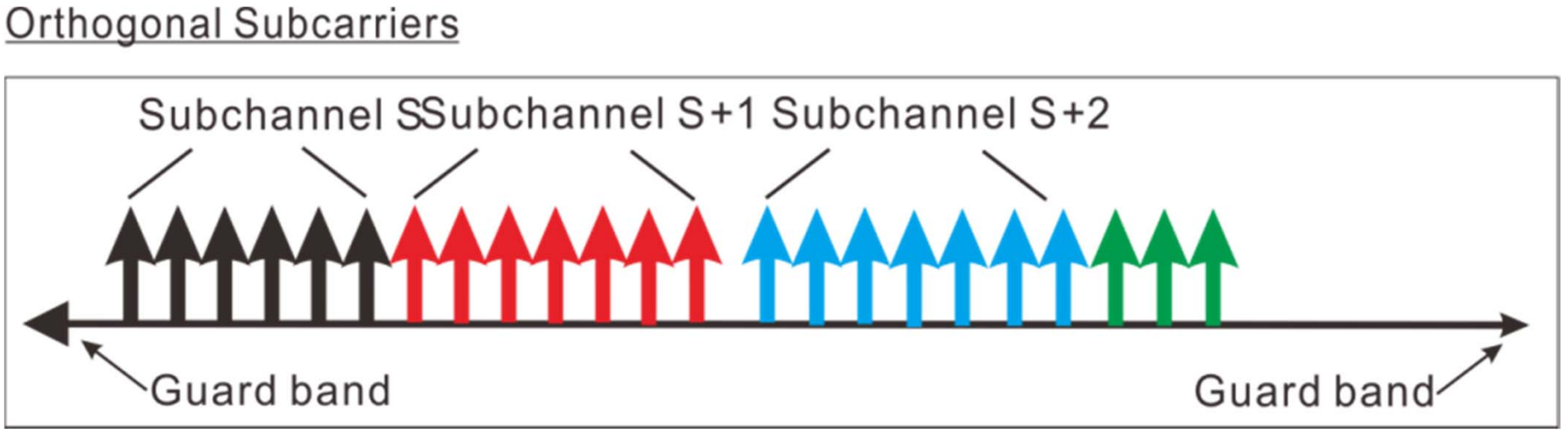
正交分頻多工存取 (OFDMA)

- OFDMA是OFDM的演進。OFDMA 以OFDM為基礎，OFDMA將數個子載波組合成一個子通道 (subchannel) 來進行資料的傳輸，OFDM與OFDMA的最大差別在於，OFDMA可以根據每個用戶選擇對其條件較好的子通道來進行資料傳輸。OFDMA的子通道為頻率的基本單位，一個子通道由數個子載波組成，而依照子載波是否連續可區分成以下兩類：
  - 相鄰式子載波
  - 分散式子載波

相鄰式子載波

- 子通道內的子載波是由相鄰的子載波組成，由於每個子通道是由相鄰的子載波所構成，因此，對於單一使用者在每個子通道上接收資料時會有不相同的接收品質，此種類型的組合方式適合低移動速度狀態的使用者使用，如圖5.7所示。

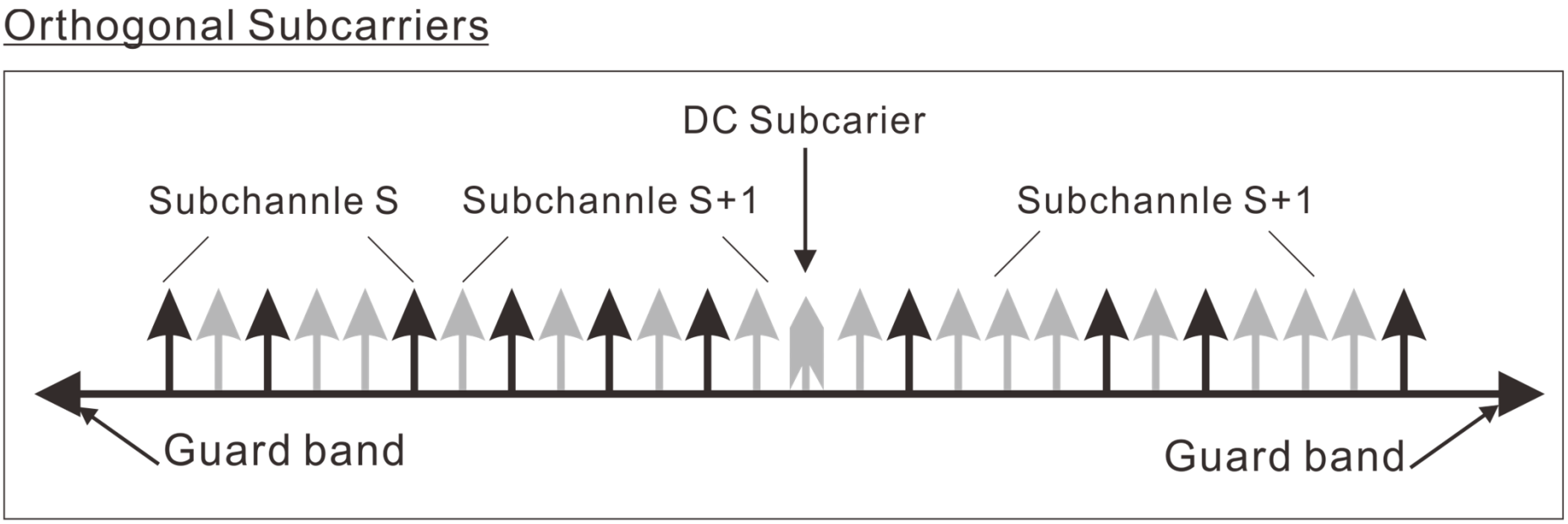
圖5.7: 相鄰式子載波


Orthogonal Subcarriers
Subchannel S
Subchannel S+1
Subchannel S+2
Guard band
Guard band

分散式子載波

- 子通道內的子載波由分散在頻段上的子載波組成，此種組成方式有較高的頻道多樣性，由於每個子通道是由分散的子載波所構成，因此，對於單一使用者在每個子通道上接收資料時會有相同的接收品質，此種類型的組合方式適合高移動速度狀態的使用者使用。如圖5.8所示。

圖5.8: 分散式子載波


Orthogonal Subcarriers
DC Subcarier
Subchannle S
Subchannle S+1
Subchannle S+1
Guard band
Guard band

正交分頻多工存取 (OFDMA)

- 在OFDMA技術下，用戶可以選擇接收品質條件較好的子通道進行數據傳輸，因此，就單一通道 (Channel) 而言，一組用戶可以同時到單一通道傳送或接收資料。相較於傳統的OFDM技術，OFDMA以提升頻寬利用率的優勢，同時具備OFDM抗干擾之特性，被認為是未來第四代無線通訊系統的實體層標準。

智慧型天線 (Smart Antenna) 技術

- 智慧型天線 (Smart Antenna) 的概念源自於於適應性天線陣列 (Adaptive Antenna Array)，最初是應用於雷達、聲納和軍事通訊領域，近年來由於數位訊號處理技術的迅速發展、IC 處理速度的提高和價格的普及，使得Smart Antenna在無線通訊系統中的運用可能性大幅提高。

智慧型天線 (Smart Antenna) 技術

- 所謂Smart Antenna，可視為一種充分利用空間資源進行訊號品質提升、干擾抑制 (或消除) 及適應性波束調整的機制。其最初的運用模式是利用天線陣列提供之天線增益 (Antenna Gain) 用以提升訊號接收品質，以對抗無線通道的多路徑衰落現象。另一種更具智慧的方式是利用方向性天線對於單一方向發射出波束 (Beamforming)，運用具自我適應、調整功能之演算法驅動陣列天線，使之產生特定的波束形狀，將主波束對準目標，用以強化接收品質。由於此技術有助於訊號接收的品質，對於抑制干擾與增加頻寬的使用率亦有莫大的助益，因此，亦被認為是未來第四代無線通訊系統的實體層標準。

適應性調變和編碼技術 (AMC)

- 適應性調變和編碼技術 (Adaptive Modulation and Coding, AMC)，支援多種調變以及向前糾錯 (Forward Error Correction, FEC) 的編碼技術。AMC 技術的核心概念是基於不犧牲誤碼率 (Bit Error Rate, BER) 的前提下，基地台 (Base Station, BS) 根據使用者回報的通道品質 (channel condition)，以及系統所要求的服務品質保證 (Quality of Service, QoS) 限制，自動對不同使用者調整適合的調變 (Modulation) 以及編碼 (Coding)。

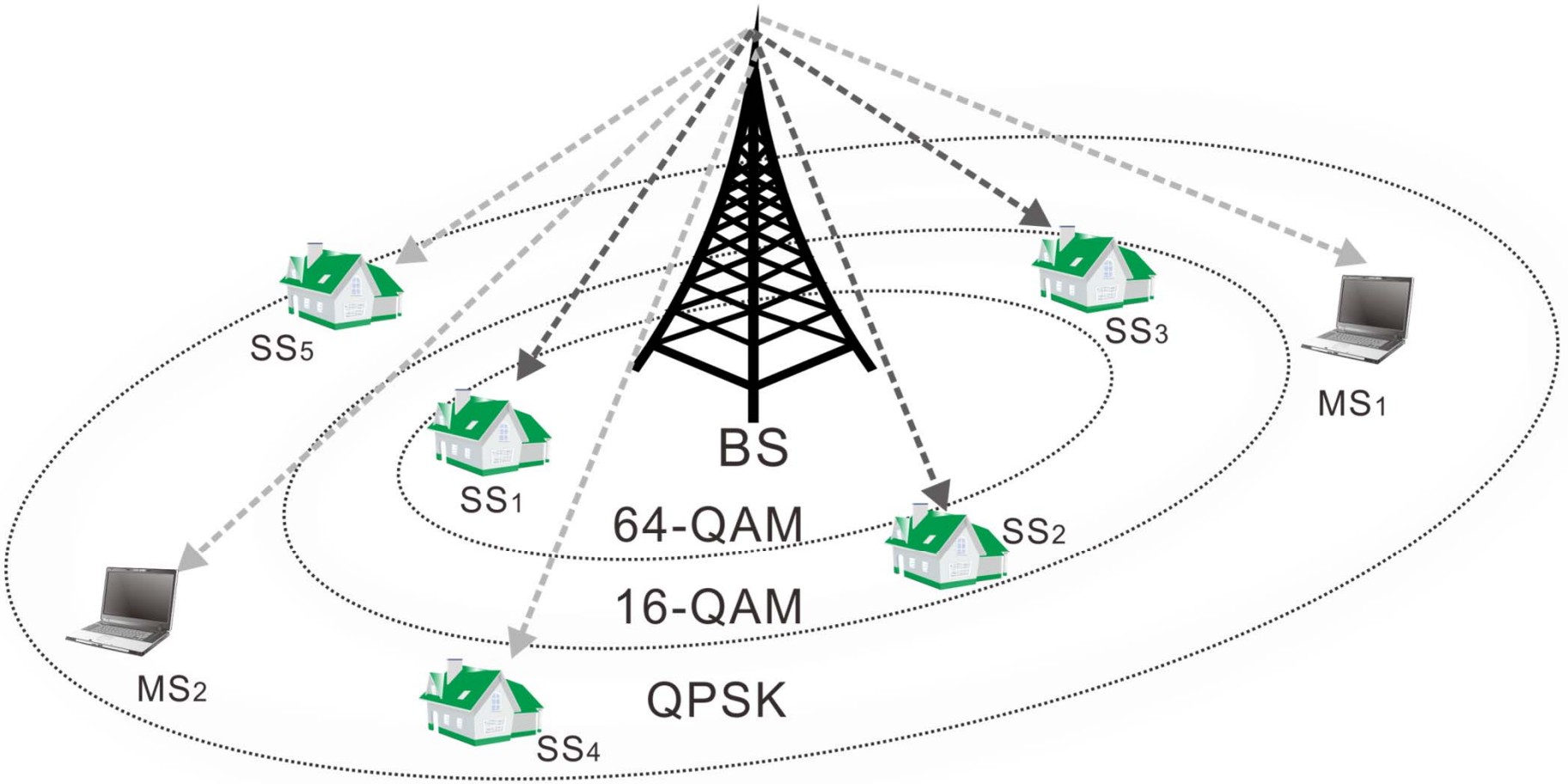
適應性調變和編碼技術 (AMC)

- 適應性調變和編碼技術是一種考量在Channel變化較大的環境中增加使用者資料傳輸成功率的傳輸技術，由於訊號在空氣中傳播會因為地形、天候等自然因素，Channel的接收品質好壞將會有所影響，然而在這些眾多的影響因素中，收送端之間的距離對於訊號接收的品質影響最直接，基本上，訊號接收的品質與收送雙方之間的距離關係是成反比的，收送雙方的關係較近通常會有越好的訊號接收的品質，反之，通常有較差的通道狀況。

適應性調變和編碼技術 (AMC)

- 如圖5.9，靠近BS的用戶，例如SS_1，可以使用比較快的傳輸速率 (如64-QAM) 進行資料傳送，而遠離BS的用戶，例如SS_4、SS_5、MS_1與MS_2，必須使用較慢的傳輸速率 (如QPSK) 進行資料傳送來確保資料能夠正確接收。
- 適應性調變和編碼技術是相當有效率的一種技術，其可在因時間而變動的通道條件下，對於不同收訊與雜訊的比值使用不同的調變與編碼技術來進行傳輸，使之提高資料傳輸成功率，因此，在未來第四代無線通訊系統中亦是重要技術之一。

圖5.9: 適應性調變和編碼技術



服務品質保證

- 免請求之服務 (Unsolicited Grant Service, UGS)
- 即時輪詢服務 (real-time Polling Service, rtPS)
- 延伸之即時輪詢服務 (extended real-time Polling Service, ertPS)
- 非即時輪詢服務 (non-real-time Polling Service, nrtPS)
- 盡力式傳輸服務 (Best effort service, BE)

免請求之服務 (Unsolicited Grant Service, UGS)

- 即時性資料

- 資料流特性
  - 資料量大小固定
  - 資料產生週期固定

- 服務品質參數
  - 最大持續速率
  - 最大容許延遲
  - 最大容許延遲變動

即時輪詢服務 (real-time Polling Service, rtPS)

- 即時性資料

- 資料流特性
  - 資料量大小不固定
  - 資料產生週期不固定

- 服務品質參數
  - 最大持續速率
  - 最大容許延遲

延伸之即時輪詢服務 (extended real-time Polling Service, ertPS)

- 即時性資料

- 資料流特性
  - 支援無訊號期間有壓縮的VoIP服務
  - 資料量大小固定
  - 資料產生週期固定

- 服務品質參數
  - 最大持續速率
  - 最大容許延遲
  - 最大容許延遲變動

非即時輪詢服務 (non-real-time Polling Service, nrtPS)

- 非即時性資料

- 資料流特性
  - 資料量大小不固定
  - 資料產生週期不固定

- 服務品質參數
  - 最大持續速率
  - 最小持續速率

盡力式傳輸服務（Best effort service, BE）

- 非即時性資料

- 資料流特性
  - 資料量大小不固定
  - 資料產生週期不固定

- 服務品質參數:無

表5.2: 五種不同的服務品質類別

服務品質類別	頻寬要求方式	應用	參數
UGS	連線最初建立時進行協調	無靜音抑制 VoIP	最大持續速率 最大容許延遲 最大容許延遲變動
rtPS	Bs單播詢問	IPTV, 視訊會議	最大持續速率 最大容許延遲
ertPS	Bs週期性配置	含靜音抑制 VoIP	最大持續速率 最大容許延遲 最大容許延遲變動
nrtPS	Bs單播詢問，競爭	FTP, 網頁服務	最大持續速率 最小持續速率
BE	競爭	E-mail	無

WiMAX無線寬頻網路訊框架構

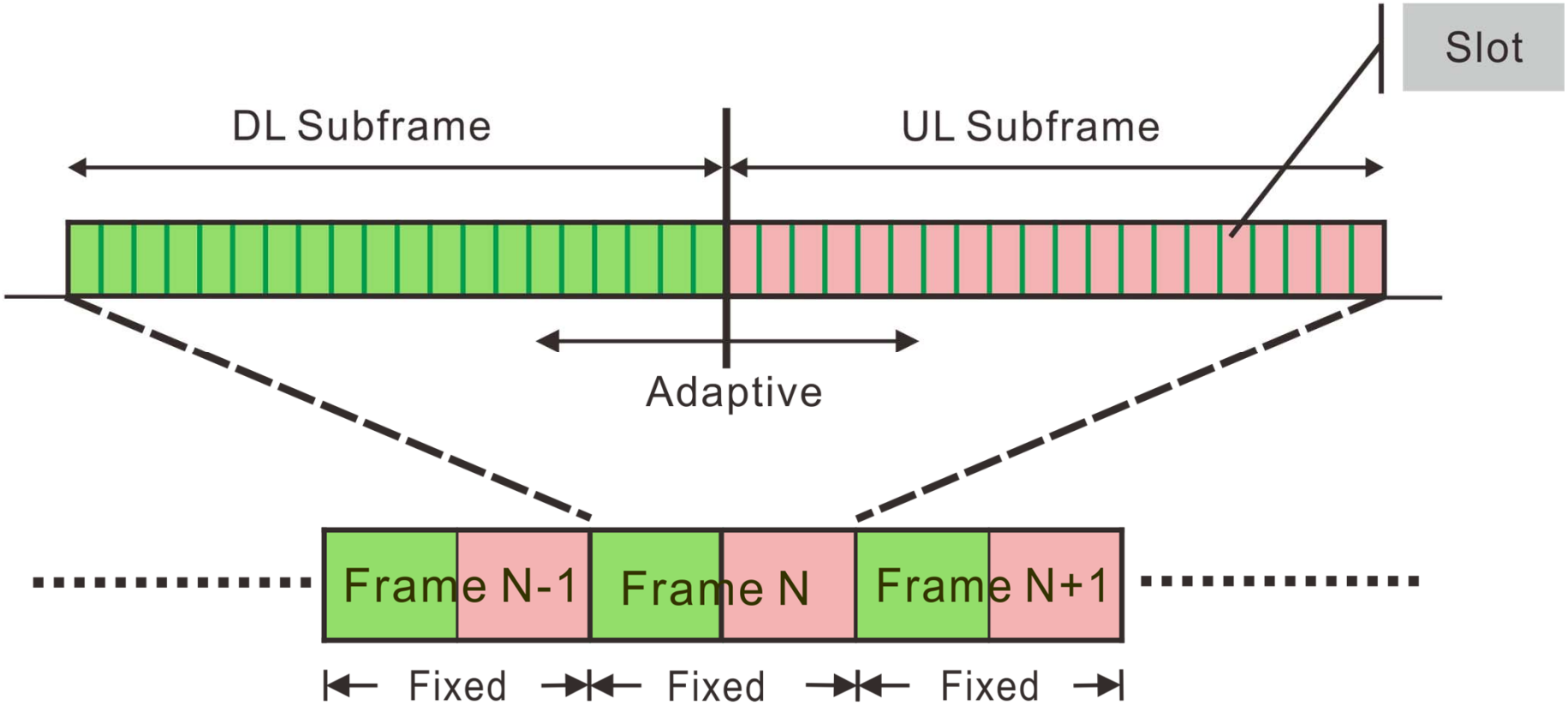
- 在無線寬頻網路中，資料傳輸主要可以分成兩方向：下載 (Downlink, DL) 與上傳 (Uplink, UL)。下載傳輸方向係指由基地台傳輸資料給用戶端，而上傳方向係指是由用戶端傳輸資料給基地台。為了要有效控管資料傳輸，避免網路傳輸碰撞發生，IEEE 802.16 標準對於資源存取方式主要可以分成兩類: 分時多工 (Time Division Duplexing, TDD) 與分頻多工 (Frequency Division Duplexing, FDD)。

分時多工 (Time Division Duplexing, TDD)

- 分時多工存取是利用時間分隔多工技術來分隔傳送及接收的信號，換言之，上傳與下載資料是發生在不同時間但是在相同的頻率。圖5.10為分時多工存取示意圖。分時多工存取的優勢在於可以根據上傳及下載的資料量，動態的調整對應的頻寬，如果上傳資料量大時，就會提高上傳的頻寬，若資料量減少時再將頻寬降低。

圖5.10: 分時多工存取示意圖

- 資料上傳與下載發生在不同時間，但在相同頻道

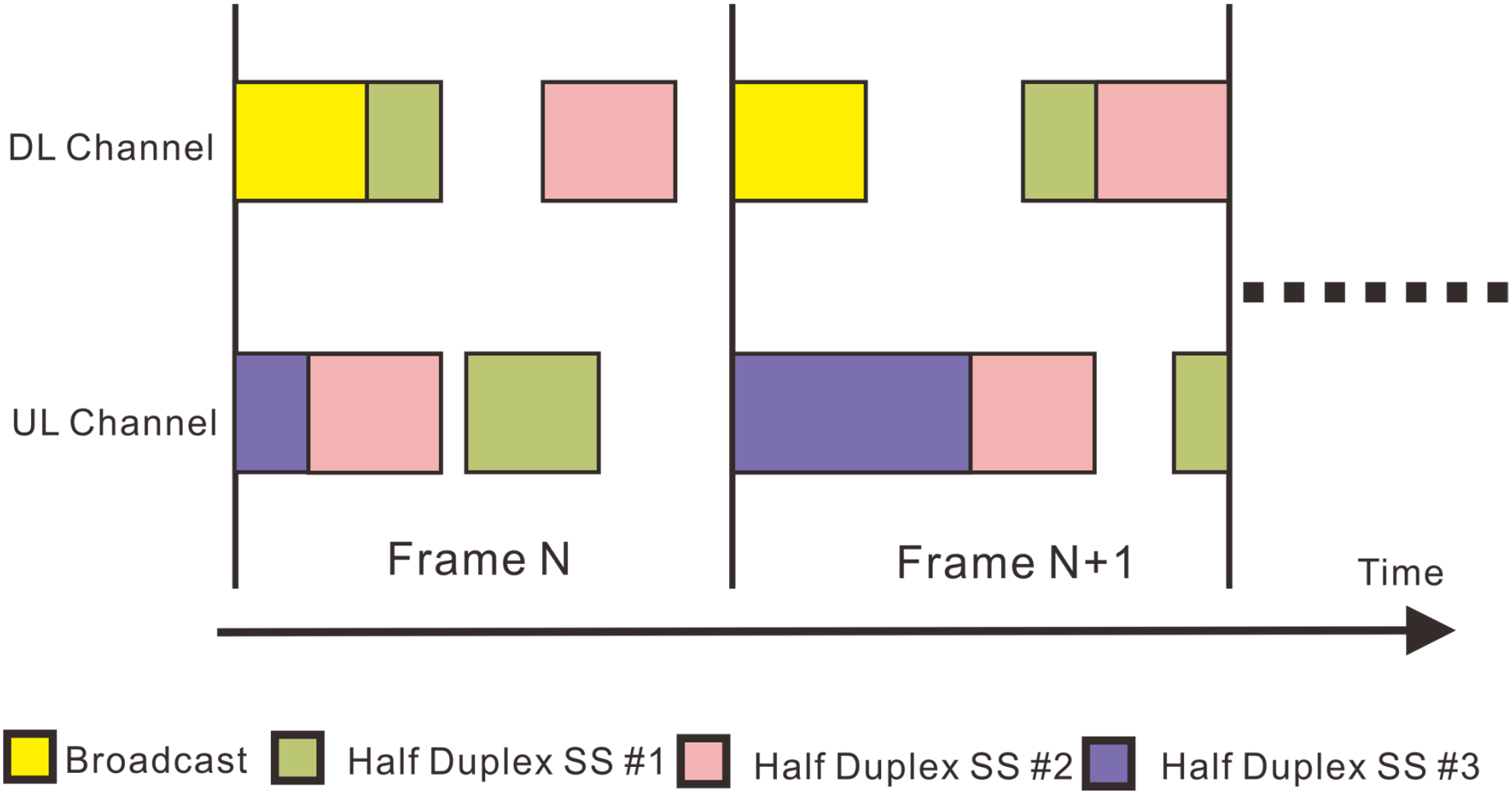


分頻多工 (Frequency Division Duplexing, FDD)

- 分頻多工存取是利用頻率分隔多工技術來分隔傳送及接收的信號，換句話說，資料上傳與下載發生在相同時間但是在不同頻率上。圖5.11為分頻多工存取示意圖。相較於分時多工而言，若上傳及下載的資料量相近時，分頻多工比分時多工更有效率。其原因在於，在上傳及下載的資料量相近下，分時多工會在切換傳送接收時，浪費一些頻寬，因此延遲時間較長，而且其線路較複雜且耗電。

圖5.11: 分頻多工存取示意圖

- 資料上傳與下載發生在不同頻道，但在相同時間



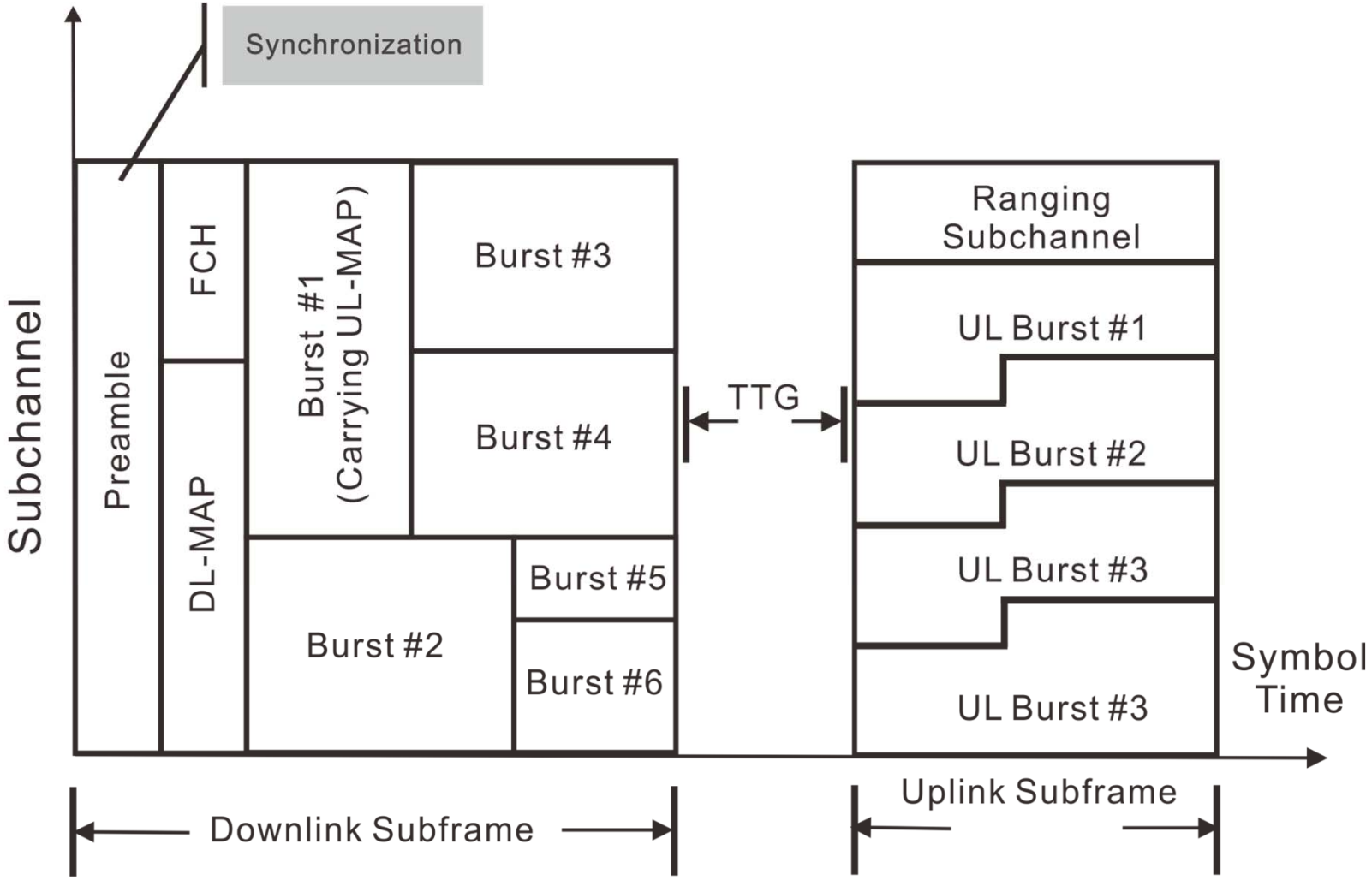
WiMAX無線寬頻網路訊框架構

- 在IEEE 802.16標準中，對於資源存取方式大多使用分時多工存取模式，分時多工存取模式主要是將整個頻譜以時間的方式切割成數個框架 (Frame)，而這些框架主要提供給基地台與用戶端進行資料的傳輸與接收。IEEE 802.16標準支援五種不同的實體層傳輸技術，不同的實體層傳輸技術所對應到個框架結構亦不相同，在這些支援的實體層技術中，正交分頻多重存取是目前最被廣泛討論與使用的實體層技術，因此，在此章節中，我們將以此實體層技術來說明IEEE 802.16框架結構。

WiMAX無線寬頻網路訊框架構

- 圖5.12為IEEE 802.16 OFDMA 框架結構示意圖，縱軸表示可使用的頻帶，透過不同的子通道化機制可以分割成數個子通道，橫軸表示OFDMA Symbols。由於是分時多工模式，每個框架可以進一步切割成兩個子框架 (Subframe)，每個子框架均是由數個實體時槽 (Physical Slot) 所構成，而一個實體時槽又是由一個或多個子通道與OFDMA Symbols所組成。依照資料傳輸方向不同，可以切割成下載子框架 (Downlink Subframe) 與上傳子框架 (Uplink Subframe)。以

圖5.12: IEEE 802.16 OFDMA 框架結構示意圖



下載子框架 (Downlink Subframe)

- 下載子框架主要是提供給基地台傳輸資料封包或公告控制封包給服務的用戶。首先，基地台會定期於框架一開始時傳送前導封包(Preamble)，其主要個功能是提供基地台與用戶端進行實體層的同步，該封包會包含目前是第幾個框架與基地台識別碼，用來告知用戶端框架開始，由於作為同步用途，基地台會將該封包資料分散在頻道中所有的子通道上進行傳輸，並為期一個OFDMA Symbol，用戶端接收到此基地台送來的封包後便可以知道該網路的相關訊息。

下載子框架 (Downlink Subframe)

- 緊接在前導封包後的是框架控制表頭(Frame Control Header, FCH)，該表頭為一控制封包，其內容包含了Downlink Frame Prefix，其主要的功能用來定義之後的控制封包大小與傳送時所使用的調變編碼技術。當用戶端接收了此封包後，便可以得知何時為開始為資料封包，控制封包何時結束。
- 在IEEE 802.16 系統中，由於要提供服務品質保證，所有的頻寬資源利用均由基地台統一集中分配，正由於統一管理，基地台有必要將整個頻寬資源的利用情況告知給所有的用戶知道，如斯，用戶端才可以知道自己該在哪個位置個時間點去進行資料接收與傳送。

下載子框架 (Downlink Subframe)

- 當接收完Preamble與FCH兩封包後，接著，基地台會廣播下載地圖 (Downlink MAP, DL-MAP)。DL-MAP為此框架中最重要的封包之一，此控制封包的主要功能在於說明下載子訊框中的資源配置情況，其中，該封包內含下載地圖資訊元素 (DL-MAP Information Element (IE))，用來說明用戶應在下載子訊框中的哪個OFDMA Symbol與子通道上進行資料接收，同時亦包含了接收時必須使用的調變編碼技術，因此，若用戶端在接收此封包時發生錯誤，便無法得知此下載子訊框中資源配置的情況，換言之，基地台在傳輸資料時也會造成傳輸錯誤而浪費頻寬。

下載子框架 (Downlink Subframe)

- 除了下載資源的規畫情況可以透過DL-MAP封包接收而得知，上載資源的配置也必須知道，因此，當用戶端接收完DL-MAP後，緊接傳送的是上載地圖(Uplink MAP , UL-MAP)，類似DL-MAP封包結構，UL-MAP亦會包含上載地圖資訊元素 (UL-MAP Information Element (IE))，用來說明用戶應在上載子訊框中的哪個OFDMA Symbol與子通道上進行資料傳送，同時亦包含了傳送時使用調變編碼技術。

下載子框架 (Downlink Subframe)

- 若用戶端在接收此封包時發生錯誤，便無法得知此上載子訊框中資源配置的情況，換言之，用戶端的資料必須持續等到下個下載子訊框所公告的UL-MAP資訊才能進行傳輸，資料傳輸延遲也就增加。
- 相同於DL-MAP封包，為了確保基地台服務範圍中的用戶均能穩定的接收，基地台在傳輸此封包時會使用較慢且安全的編碼機制來進行，可確保資料的正確接收。
- 當正確接收完這些控制封包後，用戶端便可以知道整個框架的頻寬規劃，並按照DL-MAP與UL-MAP上的指示到特定的子通道與OFDMA Symbol上去接收或傳送資料。

下載子框架 (Downlink Subframe)

- 在IEEE 802.16 網路中，頻寬資源的分配基本單元為Burst，如圖5.12所示，每個Burst是由子通道與OFDMA Symbol所組成的二維空間，為了要有效降低控制封包大小與公告的複雜程度，對於下載頻寬的配置必須為矩形，如此，基地台在公告DL-MAP封包時便可以使用四項資訊進行描述: Burst的起始Subchannel 編號、Burst的起始OFDMA Symbol編號、Burst佔的Subchannel數量與Burst佔的OFDMA Symbol數量，如斯，用戶端便可以利用推算的方式，準確知道該在哪個Subchannel與OFDMA Symbol開始接收收資料，為期多長。

上傳子框架 (Uplink Subframe)

- 上傳子框架主要是讓網路中的用戶上傳資料或是控制封包給基地台。透過UL-MAP的接收，用戶端可以得知上傳子框架資源利用狀況。上傳子框架可以分成兩部分測距子通道 (Ranging Subchannels) 與資料傳輸子通道。

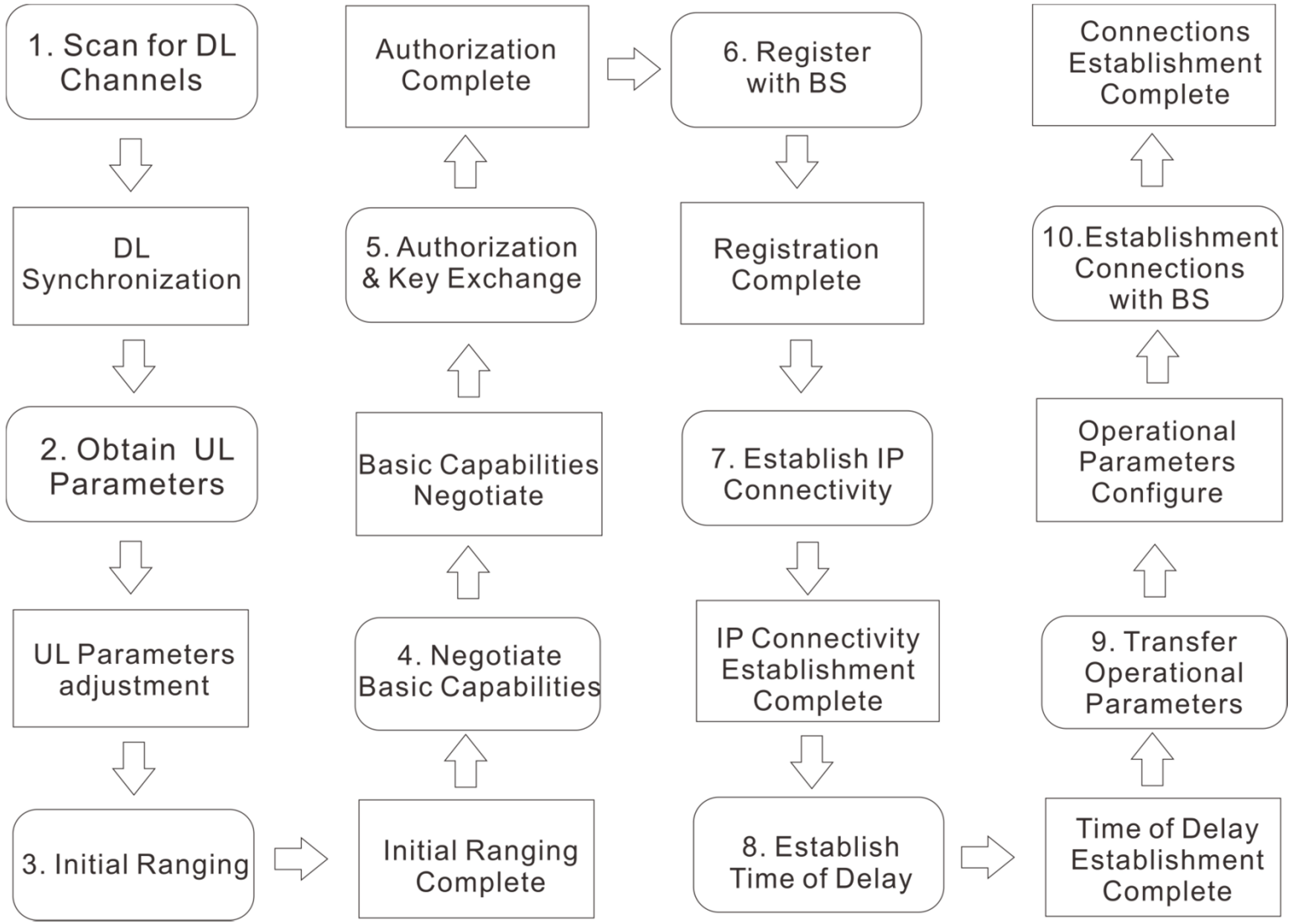
上傳子框架 (Uplink Subframe)

- 測距子通道 (Ranging Subchannels)，首先，基地台會切割數個子通道提供新進的用戶端加入網路時提出申請的機會，這些子通道稱為測距子通道，新進的用戶端欲加入網路時，必須在此競爭發言機會，詳細的流程將於下個章節進行描述，由於基地台無法準確的得知有多少新進用戶加入網路。
- 因此，測距子通道的大小僅只能利用預估的方式來進行分配，且並非每個框架均有此空間。若測距子通道的大小大於新進用戶端數量時，會造成資源的浪費，進而影響資料傳輸子通道的空間，反之，若測距子通道的大小小於新進用戶端數量，部分的用戶端會因為機會不足而延遲加入網路。

上傳子框架 (Uplink Subframe)

- 資料傳輸子通道，除了測距子通道外，上傳子訊框另一部分為資料傳輸子通道，顧名思義，這些子通道提供用戶端上傳資料與控制封包使用，相同於下載子訊框，每個提供給用戶端使用的頻寬為一個Burst，但是不同於下載子訊框的部分，每個Burst配置不為矩形，而是不規則形狀，其原因在於考量用戶端裝置傳輸電量限制，若採用矩形方式進行配置，將會導致用戶端在同一時間使用過多的電量來進行資料傳輸而耗盡用戶端裝置電量，倘若採取將使用者資料散布在不同的時間上進行資料傳輸，將可以有效延長用戶端裝置所使用之電量。

圖5.13: WiMAX無線寬頻網路運作



下行方向通道的掃描與同步

- 下行方向通道的掃描與同步 (Scan for Downlink Channel and Establish Downlink Synchronization)
- 當MS一開機時，首先會監聽空氣中各頻代的廣播訊號 (Preamble) 並找尋自己位於那些BS的服務範圍中，MS會監聽一段時間並將自己聽到的訊息儲存下來，同時MS會挑選接收訊號最強的BS作為連線的對象，並嘗試與BS進行下行方向(BS to MS)的同步。一旦下行方向同步完成後，MS便可知道該BS對於目前下行頻寬使用之規劃及相關傳輸時所使用之參數。

上行方向通道同步建立與獲取參數

- 上行方向通道同步建立與獲取參數 (Establish Uplink Synchronization and Obtain Uplink Parameters)
- 建立完下行通道的同步之後，MS亦要針對上行方向(MS to BS) 的頻道進行傳輸的同步。MS會透過監聽該BS廣播之封包，得知MS傳輸給BS資料時所必須遵守之規範，其中包括目前上行頻寬的使用情況、傳輸速率、傳輸電量等相關參數，並將此傳輸的參數儲存於MS中，以便之後加入該網路時傳輸之依據。

初始化距離量測 (Initial Ranging)

- 透過前述兩步驟，MS可以對於要加入網路中的BS有了基本認識，但此時的BS完全不知自己的服務範圍中有新的MS要加入，因此，初始化距離量測的主要目的就是要讓BS知道MS的存在，進而才能夠提供該MS應有的服務。
- 在初始化距離量測時，由於BS不知道有多少新的MS要加入此網路，因此，BS會切割一段頻寬供這些要求要加入網路的MS進行競爭並告知MS哪些頻寬可供使用，要求要加入網路的MS獲知此消息後，便會以競爭的方式發送CDMA 測距碼來取得與BS溝通的發言機會，當BS接收到之後，便會以相同的CDMA 測距碼告知接收成功。

初始化距離量測 (Initial Ranging)

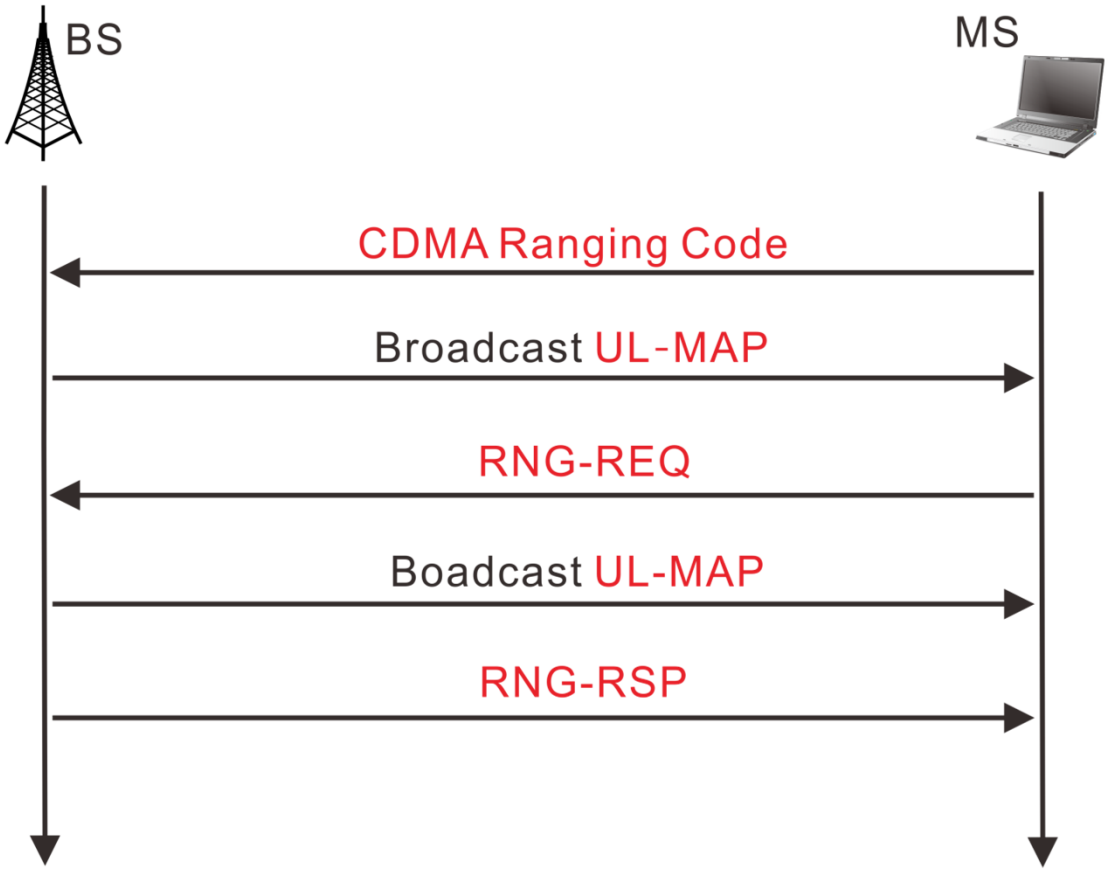
- 由於競爭的MS數量不只唯一，因此，若MS發送CDMA 測距碼後一直未收到BS任何反應，MS便會認為之前送出去的CDMA測距碼是不成功的，此時的MS會再嘗試發送CDMA測距碼給BS，因而造成頻寬之浪費。為了解決這項種競爭失敗而導致頻寬浪費的問題，IEEE 802.16使用指數倒退的方式來減少傳輸失敗之機率。簡單的來說，當MS發現自己競爭發生失敗後，會以類似擲骰子的方式決定一適當傳輸時間後重新發送，如斯，尚可避免傳輸失敗之問題。

初始化距離量測 (Initial Ranging)

- 當MS取得與BS溝通的發言機會後，BS會利用UL-MAP廣播封包的告知該MS測距要求封包 (RNG-REQ) 發送的時間，接著MS便會發送RNG-REQ與BS進行溝通，當BS正確接收到MS發送的RNG-REQ後，首先會先透過DL-MAP廣播封包告知MS何時會回復MS，接著MS在該時間去接收來自BS的測距回復封包 (RNG-RSP) 其中RNG-RSP包含了之後傳輸資料時所使用的連線識別碼等資訊。當MS接收到此回覆後，便完成測距之程序。詳細的初始化距離量測之程序如圖5.14所示。

圖5.14: 初始化距離量測之程序

- 初始化距離量測 (Initial Ranging)
  - 讓BS知道MS的存在，進而才能夠提供該MS應有的服務

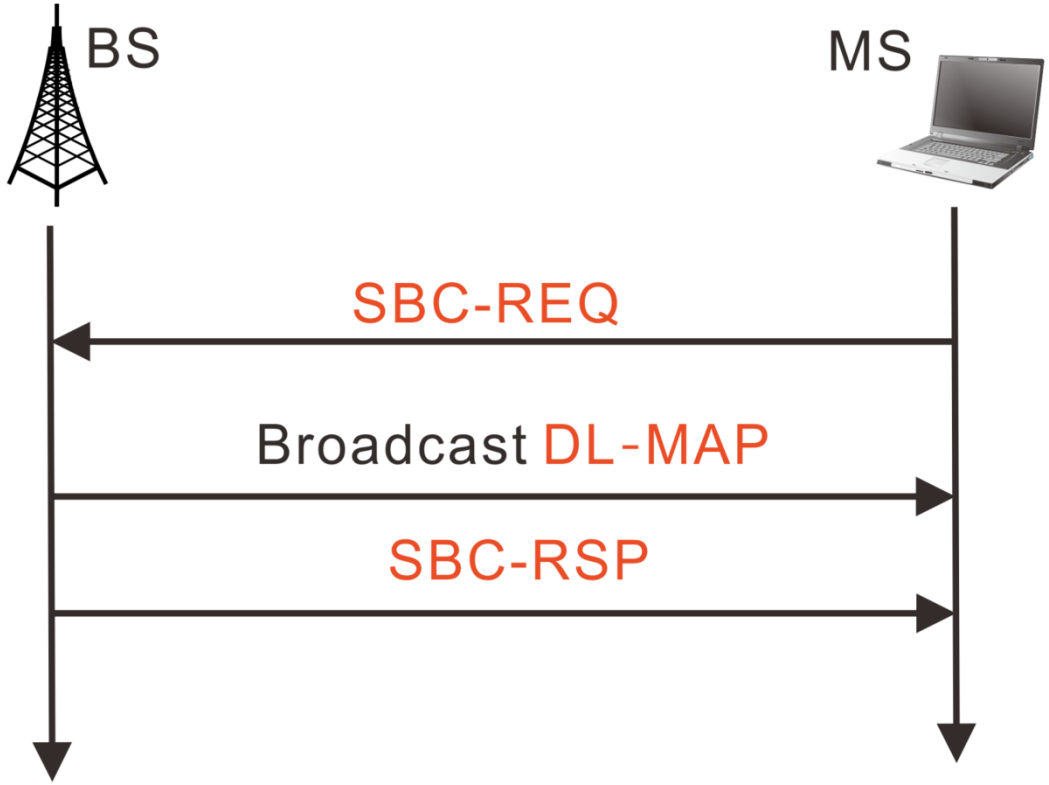


協商基本能力 (Basic Capability Negotiation)

- 初始化測距完成後，MS與BS進一步溝通與協調之後資料傳輸時有哪些傳輸基本能力必須事先具備。
- 此步驟中，MS會傳送一基本能力協調要求 (SS' Basic Capability Request, SBC-REQ) 給BS，其中包含傳輸電量，是否支援傳輸電量控制等能力，當BS正確接收到此封包後，同樣會利用DL-MAP廣播封包告知MS何時該去接收回覆封包 (SS' Basic Capability Response, SBC-RSP)，SBC-RSP會包含之前MS所提及的能力是否BS有支援，並利用SBC-RSP的封包告知SS，透過傳輸能力協調，若MS與BS達成共識，來往的封包交換便完成此程序，反之，須經過多次封包交換，直到MS與BS間有共識為止，方完成此程序。

圖5.15: 基本能力協商程序

- 協商基本能力
  - MS與BS進一步溝通並協調之後資料傳輸時有哪些必須事先具備的傳輸基本能力

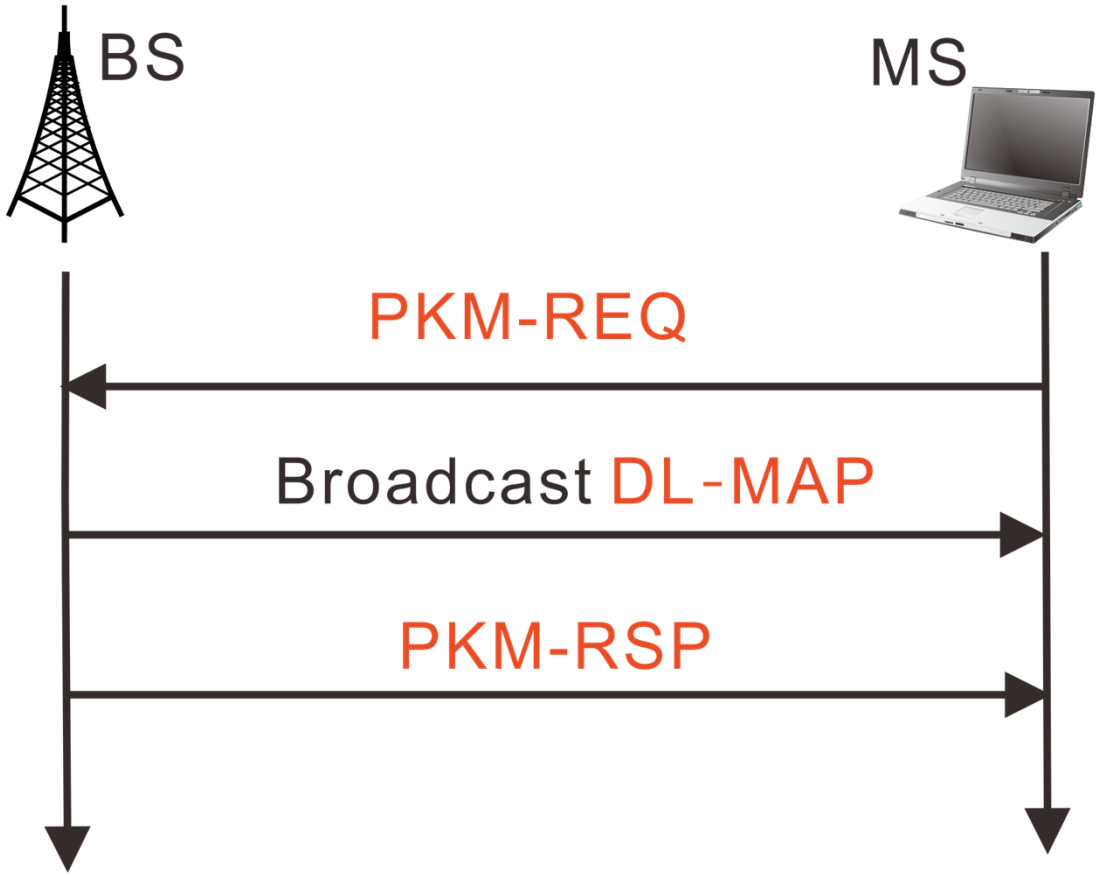


認證與私鑰交換 (Authorization and Key Exchangement)

- 當完成基本能力協調後，BS要如何驗證是否為合法的MS，因此，BS與MS間必須要進行認證與私鑰的交換來進行驗證其合法性。首先，MS會發送私鑰交換的請求封包 (Private Key Management, PKM) Request請求與BS進行私鑰的交換，當B接收到此封包後會私鑰將進行加密並透過私鑰交換的回覆封包 (Private Key Management, PKM) Response回覆給MS，此時，若該MS為合法的MS時，MS就可以取得私鑰進行之後加密資料的通訊，若為不合法的MS，該MS便無法取得私鑰進行解密之動作。詳細的封包交換程序如圖5.16所示。

圖5.16: 認證與私鑰交換程序

- 認證與私鑰交換
  - BS驗證MS是否為合法的

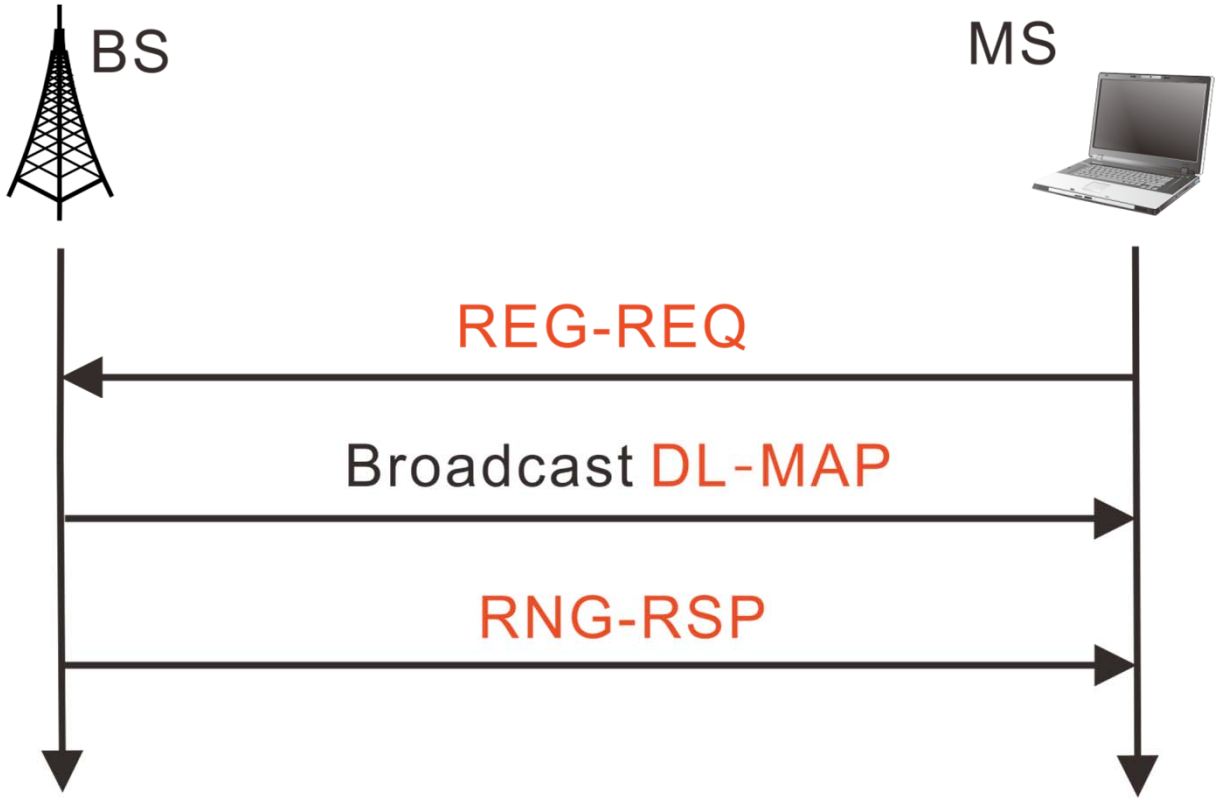


註冊 (Registration)

- 經過基本能力協商後，MS便要向BS進行註冊程序要求加入該網路，在WiMAX中，註冊是一種允許MS加入網路的重要程序，在此程序中，MS向BS發送註冊要求封包 (Registration Request, REG-REQ) 請求加入此網路。當BS接收到註冊要求封包後，會考量目前的網路負載狀況等相關網路因素，決定是否要讓該MS加入網路中，當BS決定要讓MS加入此網路時，BS會以DL-MAP廣播封包告知MS何時該去接收註冊回復封包(Registration Response, REG-RSP)，接著MS會依照BS規定的時間去接收註冊回復封包完成註冊程序。如圖5.17所示。

圖5.17: 註冊程序

- 註冊
  - 封包請求 (Registration Request, REG-REQ) /註冊回復封包 (Registration Response, REG-RSP) 交換



IP連結建立 (Establish IP Connectivity)

- 完成註冊後，MS必須取得網路協定位址 (Internet Protocol Address) 才能通訊，在WiMAX網路中，網路協定位址的分配主要是由動態主機設定協定伺服器 (Dynamic Host Configuration Protocol Server, DHCP Server) 進行分配，而非BS，但大多數的WiMAX網路中，DHCP Sever通常會與BS進行連結，因此，MS可以透過BS取得網路協定位址。

時間資訊同步 (Establish Time of Day)

- 由於準確的日期時間同步是WiMAX網路中非常重要的事，因此，在網路協定位址取得後，MS會嘗試與後端時間伺服器進行日期時間校準，其日期時間校準協定是基於網際網路工程任務小組 (Internet Engineering Task Force，IETF) 所定義的RFC 868檔案。MS請求日期時間校準封包與後端時間伺服器回應封包均是基於使用者資料流通訊協定 (User Datagram Protocol, UDP) 型式進行傳送，透過與後端時間伺服器的溝通，MS可以從時間伺服器取得的日期時間偏移推算目前網路中所使用的日期與時間。

運作參數的轉移 (Transfer Operational Parameters)

- 日期時間資訊校準完成後，MS會透過BS向所屬的電信業者下載該用戶訂閱之服務，同時取得服務的參數。

與BS建立連線 (Establish Connection with BS)

- 當MS完成上述的步驟之後，MS便可以與BS進行資料的傳輸。在WiMAX網路中，所有MS與BS傳輸資料前，會先與BS先建立連線，其原因在於BS可以針對不同的資料型態提供所需的頻寬資源，滿足不同的服務品質保證。當連線建立完成後，MS便可以向BS請求所需的頻寬，BS會透過頻寬請求的蒐集與目前頻寬使用狀況評估來分配所需的頻寬，接著，MS與BS才能進行資料的傳輸。

WiMAX 無線寬頻網路運作

- 無線寬頻網路的運作還包含了許多重要議題，這些議題點列並概述如下:
  - 換手機制 (Handoff / Handover Mechanism)
  - 群播與廣播服務 (Multicast and Broadcast Service)
  - 省電機制 (Power Saving Mechanism)

換手機制 (Handoff / Handover Mechanism)

- 由於使用者可能處於移動狀態而遠離目前提供服務的基地台，此時使用者就需要進行基地台服務的轉移，此基地台服務轉移的程序稱之為換手。換手機制主要可以分成兩種: 硬式換手 (Hard Handoff/Handover) 與軟式換手 (Soft Handoff/Handover)。

換手機制 (Handoff / Handover Mechanism)

- 當使用者裝置橫跨相鄰兩基地台通訊範圍間，使用者裝置在與新基地台進行連線前已先與原服務基地台切斷連線，此類換手稱之為硬式換手(Hard Handoff/Handover)，若使用者裝置在與新基地台進行連線時仍保有與原服務基地台連線，當原服務基地台將目前的服務完全轉移至新基地台後才切斷使用者裝置與原服務基地台的連線，此為軟式換手(Soft Handoff/Handover)。在無線寬頻網路中，兩種的換手方式均有支援。

群播與廣播服務 (Multicast and Broadcast Service)

- 在無線寬頻網路中，資料的傳輸除了單播(Unicast)外，當網路中的使用者有相同資料需求時，若仍然使用單播方式一對一傳輸時，將會導致網路中充斥相同的資料傳輸，不僅浪費頻寬，還會導致部分的資料無法傳輸降低封包接收率。因此，在無線寬頻網路中，針對具有相同資料需求的使用者，將使用者進行分群，以群播或廣播的方式使用單倍的頻寬來進行資料傳輸，如此，可以降低頻寬的浪費。

省電機制 (Power Saving Mechanism)

- 由於使用者裝置通常是使用電池進行供電，當裝置運作一段時間後可能會耗盡裝置的電池電量，因此，在無線寬頻網路運作中，使用者裝置支援省電機制有其必要性。同時，省電機制必須要能夠針對不同的資料服務來進行設計。在IEEE 802.16針對即時性的資料、非即時性的資料與控制封包提供不一樣省電模式，以提供服務品質保證。

結語

- 無線通訊技術正在改變人們的溝通、生活及工作模式，未來的無線寬頻網路，因為其寬頻且可攜式的特性，幾乎可取代今日有線與無線網路接取模式。以目前網路的使用情況，2012 年全球行動通訊用戶已達到 65.7 億，相信不久的未來，更多更便利的網路服務與需求會漸漸地出現，無線寬頻網路與有線網路如何相互合作，以滿足用戶多媒體及語音通話等服務品質之需求，將是現有的有線/無線電信業者努力的目標。

習題

1. 試比較正交分頻多工 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 與正交分頻多工存取 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) 之差異。
2. 試說明IEEE 802.16標準中，支援哪兩種的網路拓樸?
3. 在IEEE 802.16標準演進中，支援多躍轉傳的版本為何?
4. IEEE 802.16標準支援五種不同的服務，分別為何?
5. 試說明何謂適應性調變和編碼技術 (Adaptive Modulation and Coding, AMC)?

習題

6. 試列舉OFDM技術之優點與缺點。
7. 國家分配的頻段影響了無線網路的規劃及系統容量，電信業者必須依國家的法規取得使用執照才能使用頻段。在台灣負責管理電信業者使用頻譜的執照之政府機關為何？
8. 在台灣，目前取得WiMAX頻譜使用執照的電信業者為何？
9. 在行動台灣計畫中，何項計畫是由內政部負責執行，主要是以建置WiMAX為基礎的無線寬頻網路，作為鋪設光纖網路之用?
10. 試簡述WiMAX網路運作流程。

參考文獻

1. "IEEE Standard for Air Interface for Broadband Wireless Access Systems," IEEE Std 802.16-2012 (Revision of IEEE Std 802.16-2009) , vol., no., pp.1-2542, 2012.
2. "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems," IEEE Std 802.16-2009 (Revision of IEEE Std 802.16-2004) , vol., no., pp.1-2080, 2009

參考文獻

3. "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," IEEE Std 802.16-2004 (Revision of IEEE Std 802.16-2001) , vol., no., pp.1-857, 2004
4. "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," IEEE Std 802.16-2001 , vol., no., pp.1-322, 2002

參考文獻

5. "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Amendment 1: Multihop Relay Specification," IEEE Std 802.16j-2009 (Amendment to IEEE Std 802.16-2009) , vol., no., pp.1-290, 2009
6. The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards: http://www.ieee802.org/16/
7. Intelligent Taiwan: http://www.intelligenttaiwan.nat.gov.tw

參考文獻

8. 李蔚澤, 2006, WiMAX 藍海商機-通訊技術與策略佈局, 碁峰資訊股份有限公司。
9. 李蔚澤、許家華, 2007, WiMAX 技術原理與應用(Fundamentals of WiMAX), 碁峰資訊股份有限公司。
10. 資策會網路多媒體研究所, 2006, WiMAX都會寬頻無線之星, 資訊尖兵雜誌
11. 顏春煌，2008，行動與無線通訊，碁峰資訊股份有限公司。

參考文獻

12. Peters, S.W. and Heath, R.W., "The Future of WiMAX: Multihop Relaying with IEEE 802.16j," IEEE Communications Magazine, vol. 47, no.1, pp.104-111, Jan., 2009
13. 行政院國家資訊通信發展推動小組: http://www.nici.nat.gov.tw/