
Chapter 1: Introduction to Telecommunication Networks

Prof. Yuh-Shyan Chen

Department of Computer Science and
Information Engineering

National Taipei University

目錄

- 電信網路簡介
- 2G 行動通訊技術
- 2.5G 行動通訊技術
- 3G 行動通訊技術
- 3.5G 行動通訊技術
- IMT-Advanced國際技術標準
- 4G 行動通訊技術

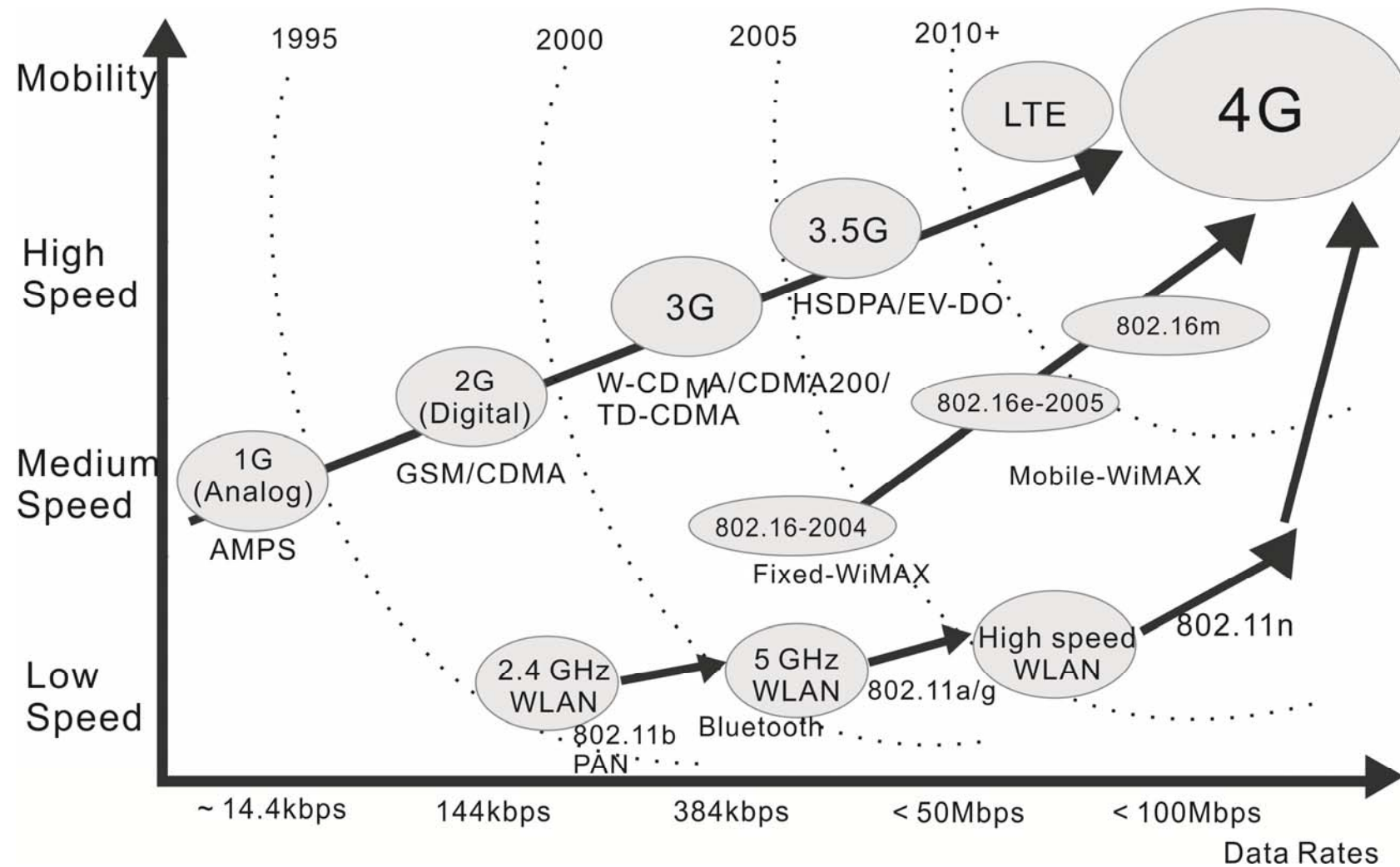
電信網路簡介

- 電信網路系統從第一代的類比式系統(Analog system)，進入到第二代的數位化系統(Digital system)，除了改善頻率的效率和提昇通訊的品質，也降低所造成的干擾。
- 第一代行動通訊標準簡稱為1G (The first generation)，從1980年代起開始使用，也稱為類比式行動電話系統。
- 第一代行動通訊標準(1G)和第二代行動通訊標準(2G)網路最主要的差異是1G使用類比調變(Analog modulation)，而2G則是使用數位調變(Digital modulation)。

電信網路簡介

- 雖然兩者都是利用數位信號(Digital signal)與發射基地台(Base station)做連接，不過2G系統的語音調製採用數位調變，而1G系統則將語音調製在更高的頻率上，一般在150MHz以上。
- 第一代行動通訊標準(1G)的通話方式，皆使用類比調製(Analog modulation)、分頻多重存取(Frequency Division Multiple Access)以及語音(Voice)進行傳送[1]。

圖 1: 電信網路相關發展



電信網路簡介

- 第二代行動通訊標準簡稱為2G (The second generation)，一般定義在無法直接進行資料傳送，如電子郵件、軟體等資訊，但卻具有通話的通訊技術規格。
- 手機簡訊SMS(Short Message Service)在2G的某些規格中能夠被執行。
- 全球行動通訊系統簡稱為GSM(Global System for Mobile communications)，是當前應用最為廣泛的行動電話標準。全球超過200個國家和地區超過10億人正在使用GSM電話。

電信網路簡介

- GSM標準的廣泛使用，使得行動電話運營商之間在簽署「漫遊協定」後用戶的國際漫遊變得很平常。
- GSM較其它標準最大的不同，則是GSM的信令和語音通道都是數位的，而GSM標準則是由3GPP (3rd Generation Partnership Project) 組織負責制定和維護。
- 第二·五代行動通訊標準簡稱為2.5G，是運作在第二代行動通訊標準(2G)與第三代行動通訊標準(3G)之間的手機通訊技術，比2G連線快速，但卻慢於3G的一種通訊技術規格。

電信網路簡介

- 2.5G除了能共享2G所開發出來的TDMA(Time Division Multiple Access)和CDMA(Code Division Multiple Access)的規格，也提供一些在3G才有的特別功能，例如封包交換技術。
- 最常見的2.5G系統就是GPRS(General Packet Radio Service)；GPRS系統的中文譯為「整體封包無線電服務技術」。

電信網路簡介

- 另外還有一些通訊系統的協議已具有3G標準的1秒達144Kbit的速度，但這已經是通訊系統的極限，而真正的3G速度是以Mbit計算的，故只能將GPRS系統列為2.5G。
- 第三代行動通訊標準為新一代的行動通訊系統，簡稱為3G (The third generation)，用來將無線通訊和網際網路等多媒體通訊做結合，除了可處理圖像、音樂、視訊等形式，並提供網頁瀏覽、電話會議、電子商務等資訊服務。

電信網路簡介

- 無線網路則必須能夠支援不同的數據傳輸速度，也就是說在室內、室外和行車的環境中，必須能夠分別支持至少2Mbps、384Kbps以及144Kbps的傳輸速度。
- 由於採用了更高的頻帶和更先進的無線(空中介面)存取技術(Access technology)，3G標準的網路通訊品質較2G、2.5G網路有了很大提高，例如軟切換技術(Soft switching)，可使處在高速運動中的移動用戶，在駛出一個無線小區域並進入另一個無線小區域時不再出現掉話現象。

電信網路簡介

- 而更高的頻帶範圍和用戶分級規則使得單位區域內的網路容量大大提高，同時通話允許量也大大增加。
- 3G最大的優點即是高速的數據下載能力，相對於2.5G（GPRS/CDMA1x）100Kbps左右的速度，3G隨使用環境的不同約有300K-2Mbps左右的水準。
- 4G (Fourth Generation)的縮寫，指的是行動通訊系統第四代，也是3G之後的技術延伸。

電信網路簡介

- 以技術標準的角度，按照ITU(International Telecommunication Union)的定義，低速移動狀態傳輸速率達到1Gbps，在高速移動狀態下可以達到100Mbps，為4G的技術標準。
- 從營運商的角度，除了與現有網路的可兼容性外，4G要有更高的數據吞吐量、更低時延、更低的建設和運行維護成本、更高的鑒權能力和安全能力、支持多種QoS等級。

電信網路簡介

- 4G 也意味著更多的參與方式，更多技術、行業、應用的融合，不再局限於電信行業，還可以應用於金融、醫療、教育、交通等行業；通訊終端能做更多的事情，例如除語音通訊之外的多媒體通訊、遠端控制等；或許區域網、網際網路、電信網、廣播網、衛星網等能夠融為一體組成一個互聯網，無論使用什麼終端，都可以享受高品質的資訊服務，向寬頻無線化和無線寬頻化演進，使4G滲透到生活各方面，並可為行動雲端作為行動終端的重要無線網路接口技術。

電信網路簡介

- 第五代行動通訊技術(5G)，因應智慧手機和平板電腦等裝置的銷售暴增，意味行動通訊網絡乘載的數據流量將日益增加。
- 雖然目前最新的第四代行動通訊(4G)技術有助紓緩流量堵塞，可見不久後可能連4G都無法滿足需求。
- 無線通訊業正開始思考第五代行動通訊(5G)技術，以因應日漸增加的需求。
- 每代通訊技術都提升一套新功能實現能力，2G是聲音傳輸，3G是數據傳輸，4G是影音傳輸，5G可能是套能處理數十億種網路裝置、且能穩定運作的智能網絡。

電信網路簡介

- 不過，就官方而言，5G技術還在研議當中，制定產業標準的國際電信聯盟（ITU）尚未完整發展出5G的定義。
- 圖1描繪了電信網路發展的過程 [2]。

2G 行動通訊技術

- 全球移動通訊系統(GSM，全名為Global System for Mobile Communication)，原稱為Group Special Mobile，在1990年底被制定為數位行動網路標準，是當前應用最為廣泛的行動電話標準，該標準主要說明如何將類比式的語音轉為數位的訊號，再藉由電磁波傳送出去，因此各國的電磁波頻道會有所差異，通常運作在900MHz、1800MHz及1900MHz。

2G 行動通訊技術

- GSM系統最早是將無線電波的操作頻率制定於900MHz，稱為GSM900，後來又另外加制定於1800MHz，稱GSM1800(又稱DSC1800、Digital Communication System)，因此900MHz、1800MHz都是GSM系統的無線電波發射頻率。也有為北美定義出操作頻率1900MHz的GSM1900 (稱為PCS，Personal Communication System)。
- GSM900、GSM1800、GSM1900最主要的不同只在於操作的頻率，頻率越高，系統可以容納的通話容量就越多，但是無線電波傳播時，高頻電波的衰減較低頻電波來的大。

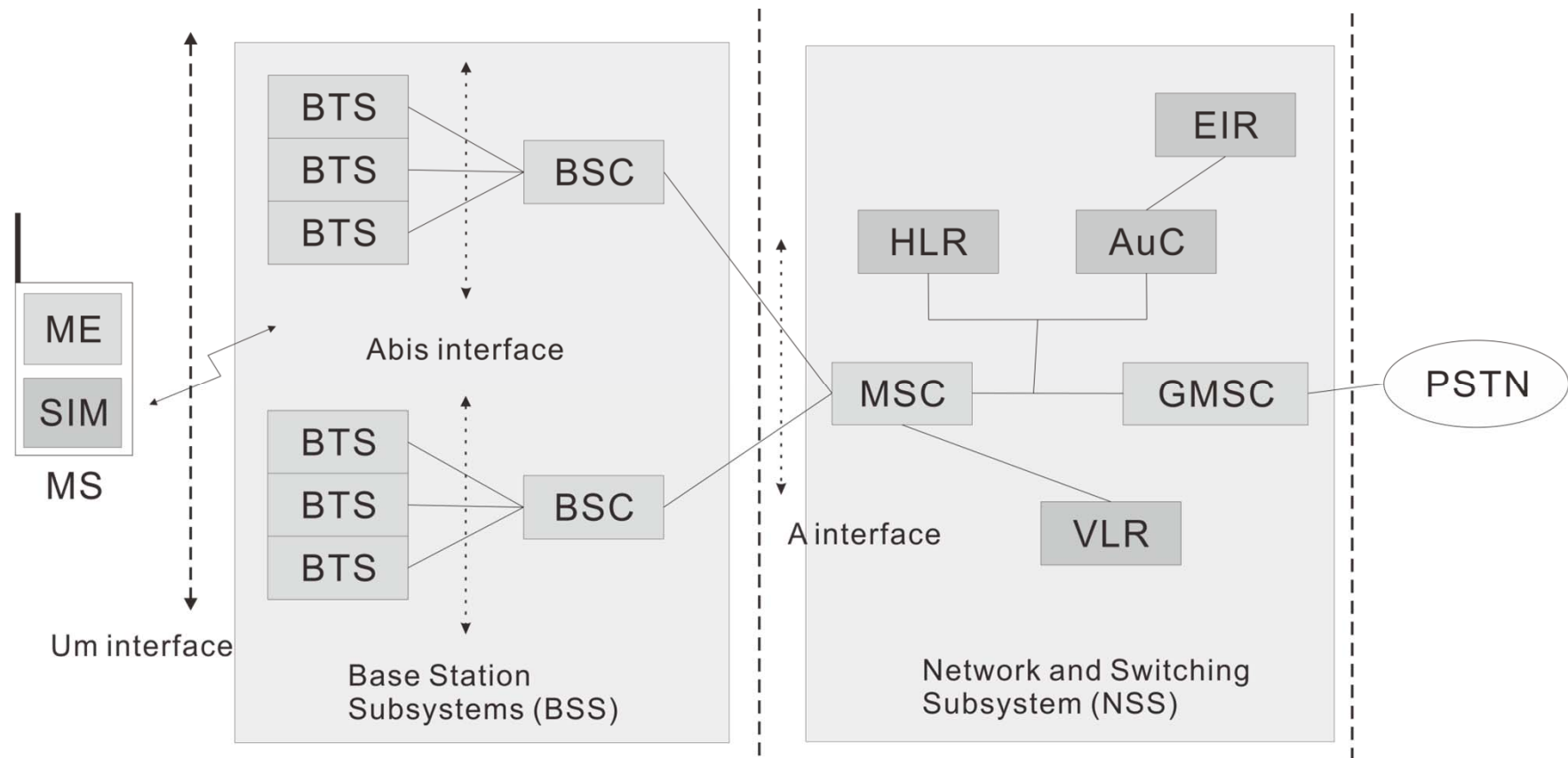
2G 行動通訊技術

- GSM在台灣被稱為泛歐式數位行動電話系統，是全球佔有率最大的第二代蜂巢式行動通訊系統，全球超過200個國家和地區超過10億人正在使用GSM行動電話，因此GSM被看作是第二代(2G)行動電話系統。
- 主要由用戶識別模組(Subscriber Identity Module，SIM)和手機通訊模組(Mobile Equipment，ME)組合而成，如圖6.2所示，透過無線電介面(Um interface)與基地台子系統(Base Station Subsystem，BSS)相互通訊，SIM的主要功用是儲存用戶的資料及認證加密的服務，例如：電話名單、短訊息和安全程序參數等相關資料。

行動台(MS，Mobile Station)

- ME的主要功用則是GSM手機(MS)與基地台(BS)通訊所需的無線軟體及硬體，SIM可以和不同的ME相結合，但必須同時存在MS中，否則無法使用GSM網路。
- MS在GSM的標準上，不只有目前最常見的手機，所有的MS設備約可區分為二個類別，第一種類別是Vehicular Mounted，手機固定於汽車內部，汽車內有固定的手機插座，手機天線安裝於汽車外。
- 第二種是Handheld，手機設計如手掌般大小，體積小重量輕，目前最流行的手機屬於此類別。

圖2: GSM系統架構



基地台子系統 (BSS)

- 基地台子系統(Base Station Subsystem, BSS)的系統架構，如圖2所示，包括有基地收發台(Base Transceiver Station, BTS)及基站控制台(Base Station Controller, BSC)，透過BSC將手機(MS)及行動交換中心(Mobile Switching Center, MSC)做連結，再與網路及交換子系統(NSS)相聯結 [4]。
- 說明如下：

基地台子系統 (BSS)

1. 基地收發台BTS (Base Transceiver Station, BTS) :
包括發射機(Transmitter)、接收機(Receiver)與無線介面(Abis interface)相關之訊號處理設備，負責接收及發送與手機間的無線電波訊號，透過無線電介面與MS進行資料的傳送與接收，並處理與手機通訊的無線電介面信號，在通話過程中執行信號強度測量(Signal strength measurement)，BTS則會把自己與MS的信號測量數據轉交給BSC做處理。

基地台子系統 (BSS)

- 基站控制台BSC (Base Station Controller, BSC)：為BSS系統的訊號處理中心，主要負責無線電資源管理、通道頻道的分配(Channel assignment)、跳頻控制、換手(Handover)管理、無線電性能量測、功率控制等程序，利用BSS的線路交換功能與GSM網路的MSC相連，分配及回收無線電通道以及MS換手(Handoff) 管理。

網路及交換子系統 (NSS)

- 網路及交換子系統(Network and Switch Subsystem, NSS)的系統架構，如圖2所示，包括有行動交換中心(Mobile Switching Center, MSC)、GMSC(Gateway MSC)、本籍註冊資料庫(Home Location Register, HLR)、客籍註冊資料庫(Visitor Location Register, VLR)、設備認證資料庫(Equipment Identity Register, EIR)及認證中心(Authentication Center, AuC) [5]。

網路及交換子系統 (NSS)

1. 行動交換中心(Mobile Switching Center, MSC)：為電信系統上的交換機，負責執行基本的線路交換功能和計費的工作，將BSC進來的撥號內容，透過無線介面(A interface)，將發話者撥號的目的地號碼，傳遞到另一個交換機MSC上，最後在所有交換機間建立一條撥號手機與受話手機間的連線。

網路及交換子系統 (NSS)

2. 閘道行動交換中心(Gateway MSC, GMSC)：包含MS的位置資訊，是PCS (Personal Communication Systems) 網路與PSTN (Public Switched Telephone Network) 等其他網路連接的閘道，可將電話轉接到使用者目前所在的MSC，當有來電時，此電話會先接到GMSC，才會向HLR詢問手機的位置。

網路及交換子系統 (NSS)

3. 本籍註冊資料庫(Home Location Register, HLR)：
主要功能除了記錄電話號碼及增值服務的紀錄外，另一重要的工作是紀錄目前手機使用者的所在地區，當GMSC需要建立連線時，會先查詢HLR裡有紀錄的使用者目前位置。
4. 設備認證資料庫(Equipment Identity Register, EIR)：
主要功能為防止手機失竊遭盜用，GSM系統包含一個驗證手機的資料庫EIR。EIR記錄所有手機的IMEI識別碼(如產品的序號)，可限制被竊或被盜的手機使用系統的權利。

網路及交換子系統 (NSS)

5. 認證中心(Authentication Center, AuC)：為通訊系統的驗證中心，主要用來認證用戶SIM卡之真偽，通常會與HLR結合在一起。除了記錄一些和驗證有關的資料，還負責計算驗證(Authentication)需要的SRES參數與編碼(Ciphering)需要的Kc參數。當手機使用者撥接上GSM系統時，手機上的SRES參數和Kc參數必須與系統的相同，才能進行加密及解密的訊號處理。

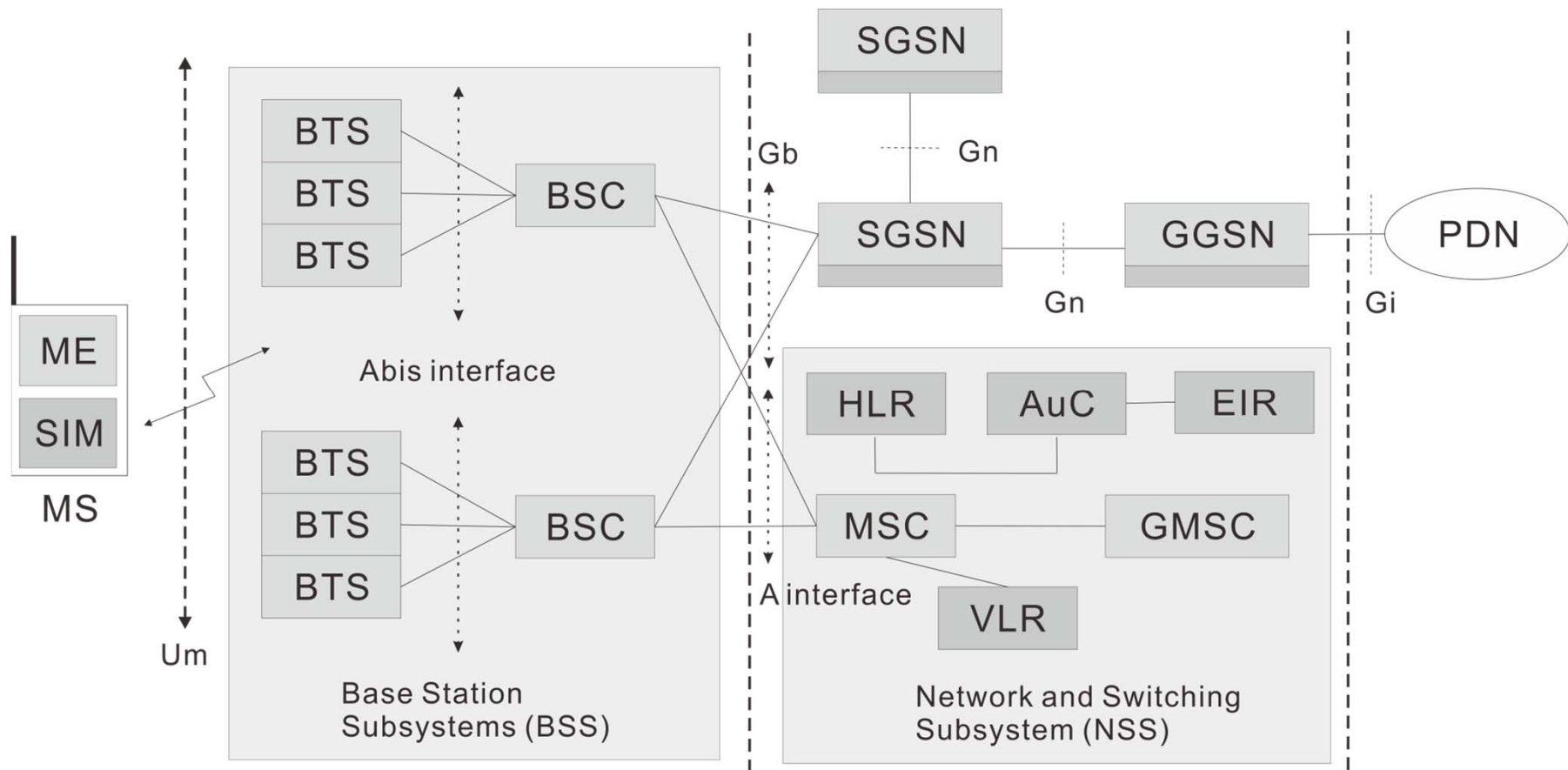
第2.5代行動通訊技術

- GPRS (General Packet Radio Service)系統的中文譯為「整體封包無線電服務技術」，是架構在現有 GSM 系統之上的服務，將通訊的內容改用封包(Packet)的方式來傳送，以降低 TDMA 分時技術可能產生的浪費情形，由於GSM電信網路的語音通話是以電路交換(Circuit-Switch)的方式，而網際網路上的資料傳遞則以封包交換(Packet-Switch)的方式，儘管這兩種網路皆有很好的發展，但是因為兩個網路不同的交換結構，導致彼此間的網路幾乎都是獨立運作，並不互相連接，對核心網路(Core Network)徒增許多信令負擔 [6]。

第2.5代行動通訊技術

- GPRS是GSM行動電話用戶可用的一種移動數據業務，經常被描述成「2.5G」，而這項技術位於第二代(2G)和第三代(3G)移動通訊技術之間。
- 在GPRS 核心網路(core network)有兩個主要的新增節點，如圖3所示，分別為Serving GPRS Supporting Node (SGSN) 和Gateway GPRS Supporting Node (GGSN)，通常合稱為GSN (GPRS Support Node) 節點。

圖3: GPRS 系統架構



Serving GPRS Supporting Node

- SGSN 具有路由轉發、邏輯鏈路管理及加密的功能，主要的工作是將使用者無線部分的資料轉送到 GPRS 網路中，負責將外部網路的資料，透過無線網路介面(Gn)傳送給GGSN(Gateway GPRS Support Node)，轉到無線網路介面(Gi)傳送給使用者。
- SGSN對封包數據使用者的行動性(Mobility)有著重要的任務，當手機(MS)連線到GPRS網路，MS會有一個Logical connection到它的SGSN，藉由無線網路介面(Gb)接收由BSC所傳送的訊號，並且在不同基地台之間執行handover，而不需要改變Logical connection。

Serving GPRS Supporting Node

- 當封包傳送到MS，SGSN則會紀錄所使用的 BSC (Base Station Controller)。
- SGSN的功能近似於標準的IP router，也可以用來處理行動網路的問題，例如：使用者的認證、IP位址的分配、編碼...等等。

Serving GPRS Supporting Node

- 通常一個使用者會在同一個SGSN很長一段時間，使用者假使移動到另一個SGSN的服務範圍內，則會執行Inter-SGSN handover，儘管大部分的使用者並不會特別注意到此情況，但也因此造成前一個的SGSN所暫存的封包，可能透過更高一層的網路Layer來丟棄並且重新傳送 [7]。

Gateway GPRS Supporting Node

- GGSN就如同是系統業者的閘道器(Gateway)、防火牆、IP router的組合，IPv4的網路位址數目並不足以讓每個手機都擁有一個IP位址，因此手機的IP位址可以分為靜態配置(固定使用者的IP位址存放在HLR)或是動態配給(由GGSN來負責配發)。

Gateway GPRS Supporting Node

- GGSN負責處理外界IP網路、Internet Service Providers(ISP)、Routers、Remote Access Dial-In User Service(RADIUS)伺服器以及其他鄰近節點的介面。
- 對外界IP網路而言，GGSN像是個Gateway可以在其網域中替使用者發送封包，而GGSN會將MS所使用的SGSN記錄下來並將封包個別地發送。

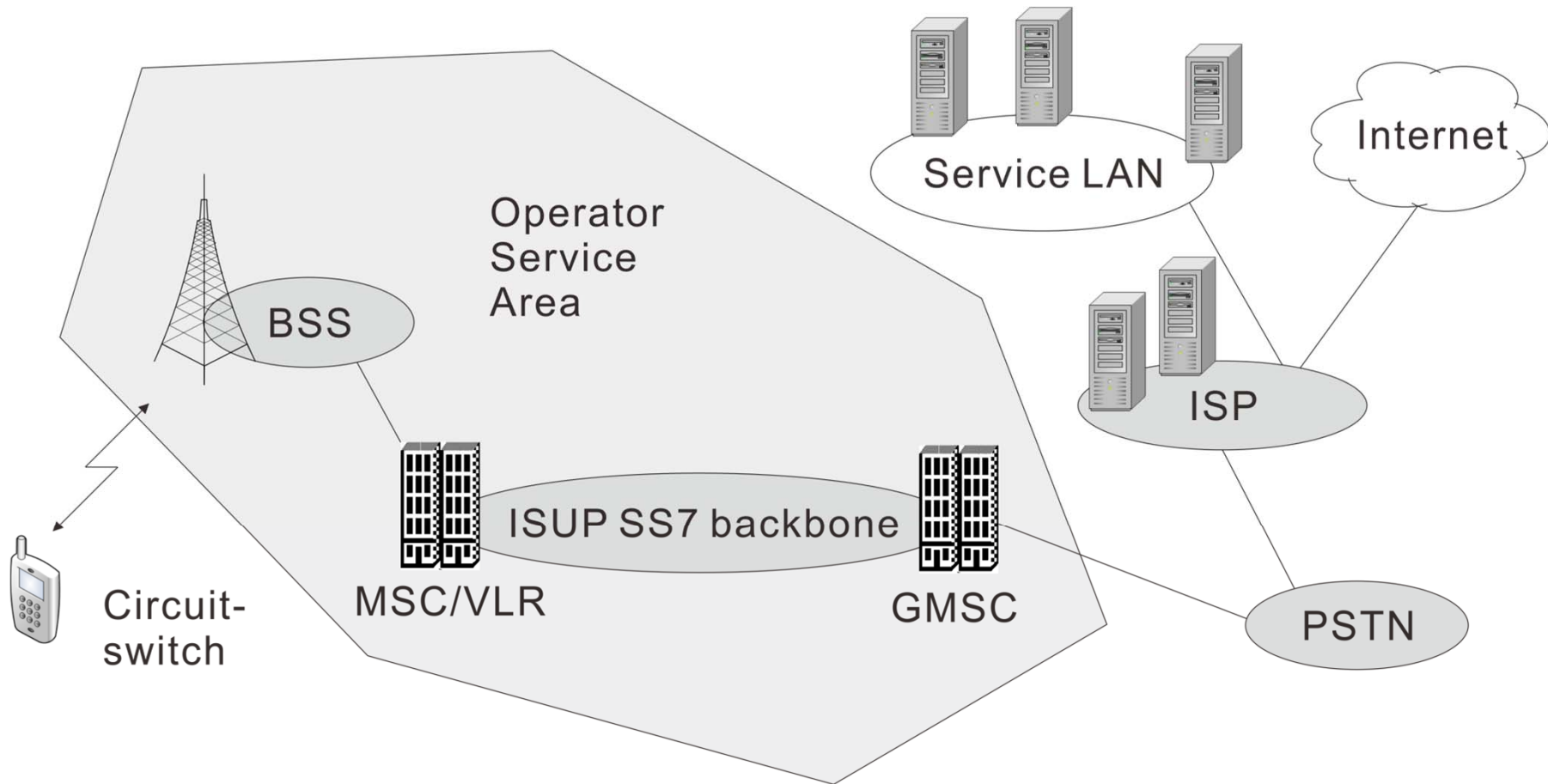
Gateway GPRS Supporting Node

- GGSN和SGSN不但可合併在同一節點成為Compact GSN (CGSN)來解決，也可以彼此放在相距很遠的地點，透過backbone來連結，因為backbone可以與其他系統業者或其他人(系統業者可決定架構)分享。
- 因此使用一個Tunneling protocol稱為GPRS Tunneling protocol (GTP)，經由GPRS backbone的封包在IP以及TCP兩層之間並不是最有效率的，但卻可以使GPRS更安全並且容易建置 [8]。

電信業者的GSM網路傳輸方式

- 由於GSM電信網路的語音通話是以電路交換(Circuit-Switch)的方式，而網際網路上的資料傳遞則以封包交換(Packet-Switch)的方式，儘管這兩種網路皆蓬勃發展，但是因為兩個網路不同的交換架構，導致彼此間的網路幾乎都是獨立運作，並不互相連接。
- 如圖4所示，電信業者的GSM網路只與有線公眾電話(PSTN)連接，在電信業者的服務區域(Service Area)內，皆為電路交換的傳輸方式 [9]。

圖4: 電信業者的GSM網路只能進行電路交換的傳輸方式



電信業者的GPRS網路傳輸方式

- 制定GPRS(General Packet Radio Service)標準的目標，就是要改變這兩種網路互相獨立的現況。
- GSM網路升級到GPRS網路的方法，是在現有的GSM網路上，加上GGSN與SGSN兩種數據交換節點設備，對於GSM網路原有的BTS、BSC等通訊設備，只需要軟體更新或是多加一些連接元件，因為GGSN與SGSN數據交換節點具有處理封包的功能，所以使得GPRS網路能夠和網際網路互相連接，如圖6.5所示，數據交換的數據資料(Data)與交換訊號(Signaling)皆以封包來傳送。

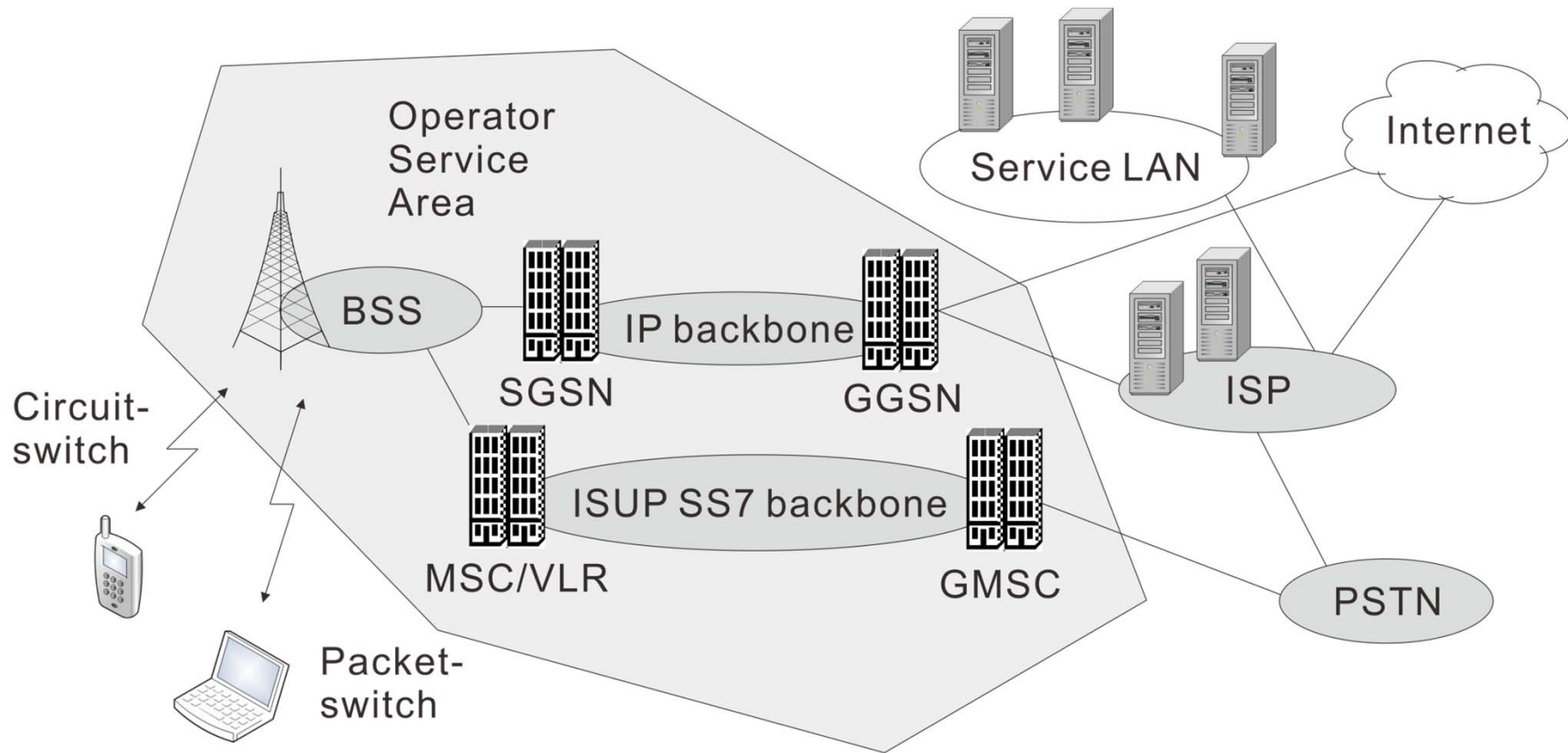
電信業者的GPRS網路傳輸方式

- 當手機用戶進行語音通話時，由原有GSM網路的設備負責電路交換的傳輸，當手機用戶傳送封包時，由GGSN與SGSN負責將封包傳輸到網際網路。
- GPRS手機(MS)和基地台間的無線電波傳輸速率，理論上最高可達到171Kbps，GSM網路上的數據傳輸只有9.6 Kbps，連個人電腦撥接常用的數據機速率也只有56 Kbps，因此GPRS網路171Kbps的傳輸速率使各種應用服務具多樣化。

電信業者的GPRS網路傳輸方式

- 除了傳輸速率提高外，GPRS網路將隨時保留一些網路資源做為數據傳輸的用途，因此當GPRS手機收到傳輸數據的指令到實際傳出封包的時間將能夠大幅降低，典型的時間介於0.5~1秒間，相較於GSM網路內，當手機開始撥號到傳送資料為止，必須歷經約5~25秒間。

圖5: 電信業者的GPRS網路能同時進行電路交換與封包交換兩種傳輸方式



電信業者的GPRS網路傳輸方式

- GSM網路升級成GPRS網路後，仍然延用原有的通訊頻譜(Spectrum)與TDMA多重存取方式，當使用GSM網路時，TDMA將200KHz頻道切割成8個時槽(Time Slot)，8個時槽皆用於語音通話，若使用GPRS網路時，系統將保留幾個時槽用於數據傳輸，其餘的時槽仍作為語音通話，電信業者可依照語音的通話量，彈性的調整數據傳輸與語音通話分別佔用的時槽個數，使通訊頻譜的使用更有效率。

電信業者的GPRS網路傳輸方式

- 舉例來說，在上下班時段的語音通話量較大，通訊頻段應保留較多的時槽供語音通話使用，在深夜時段的語音通話量較少，通訊頻段可將不傳送語音的時槽，提供給使用者作數據傳輸使用 [9]。

電信業者的GPRS網路傳輸方式

- 本章節介紹GPRS網路的多項優點後，GPRS網路非全然完美，GPRS網路商業化後，也面臨許多的問題。
- 傳輸速率遠低於理論速率：雖然理論上GPRS網路的傳輸速率最高可達到171Mbps，但因為GPRS手機的無線訊號易受到其他的GPRS手機用戶和基地台之間的干擾，因而無法在良好的無線傳輸環境下運作，也無法避免GPRS手機週遭通常有許多其他的GPRS手機用戶的干擾。

3G行動通訊技術

- 在介紹3G行動通訊技術之前，先說明為了3G行動通訊技術所準備的IMT2000國際技術標準。
 - IMT2000國際技術標準
 - 第三代無線行動通訊技術
 - UTRAN的主要介面 (UTRAN interfaces)及W-CDMA/UMTS核心網路架構
 - UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) 的架構介紹
 - 實體層(Physical Layer，PHY)
 - 傳輸通道至實體通道之對應
 - 媒體存取控制(Media Access Control，MAC)

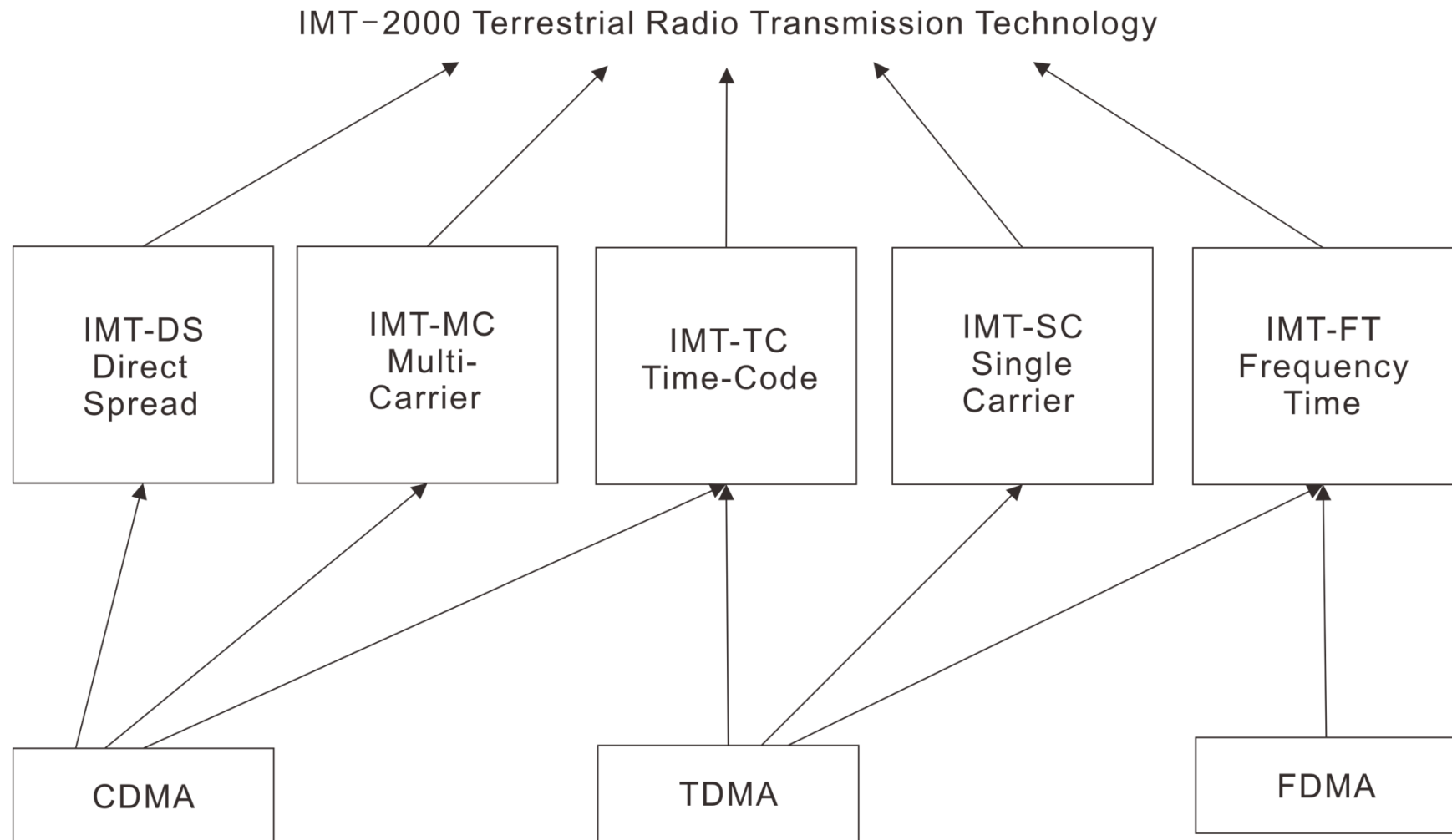
IMT2000國際技術標準

- 第三代(3G)行動通訊系統曾被稱為FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System)，後被國際電信聯合會ITU (International Telecommunication Union)更名為IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) [10]
 -

IMT2000國際技術標準

- 在國際電信聯合會ITU (International Telecommunication Union)提出規格上的需求，請各國各個區域性制定標準的組織依據其需求發展IMT-2000的規格，ITU選定的5種3G陸地無線電技術包括了IMT-DS (Direct Spread)、IMT-MC (Multi-Carrier)、IMT-TC (Time-Code)、IMT-SC(Single Carrier)和IMT-FT(Frequency Time)。
- 如圖6所示，說明如下。

圖6: 5種IMT-2000標準



IMT2000國際技術標準

- IMT-DS：採用直接序列(Direct Spread)展頻技術，亦可稱為IMT-2000 CDMA Direct Spread (DS)。此技術是由歐洲電信標準協會與日本的通信協會主導。
- IMT-DS的無線電技術是採取WCDMA-FDD (Wideband Code Division Multiple Access- Frequency Division Duplexing)方式，由3GPP組織來制定相關標準。

IMT2000國際技術標準

- 3GPP所制定的第三代行動通訊系統稱為UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)，其核心網路主要沿用GSM/GPRS核心網路技術並加以改進，同時具備與GSM/GPRS相容互運的特性。

IMT2000國際技術標準

- IMT-TC：採用分時編碼(Time Code，TC)技術，即採用分時多工(Time Division Duplexing, TDD)的分碼多重進接CDMA技術。
- IMT-TC包括兩種技術，分別為WCDMA TDD模式和分時-同步分碼多重進接TD-SCDMA (Time Division - Synchronous Code Division Multiple Access)。

IMT2000國際技術標準

- 由於採用分時多工，所以TDD技術最大的優點在於上下行傳輸雖然在相同的頻段上發送，但可以採用不同的調變技術，給予不同大小的傳輸時間。
- IMT-MC：採用多重載波(Multi-Carrier, MC)技術，由北美第二代行動通訊所演進而來，依循IS-95規範，其載波頻寬為1.25MHz。為了達到IMT-2000標準規範的速度，因此合併3個1.25MHz載波來提供更高的傳輸速率，故稱為Multi-Carrier。

IMT2000國際技術標準

- IMT-SC：採用單一載波(Single carrier，SC)的技術，由美國TIA主導。主要延伸自北美IS-136規範以及GSM增強數據率演進EDGE (Enhanced data rates for GSM evolution)，被稱為UWC-136/EDGE。它的核心網路沿用IS-41核心網路。

IMT2000國際技術標準

- IMT-FT：採用分頻/分時多重存取(FDMA/TDMA，FT)與分時多工(TDD)的技術。當初由歐洲ETSI所主導，基礎於數位增強無線電話系統DECT (Digital enhanced cordless telephone)架構上。

第三代無線行動通訊技術

- 第三代無線行動通訊技術(3G)的三大技術通訊協定標準目前主要包括了中國大陸的TD-SCDMA、美國的CDMA2000與歐洲和日本共同支持的W-CDMA/UMTS。W-CDMA/UMTS技術，為歐洲GSM業者所參與制定的規格 [11]。

第三代無線行動通訊技術

1. 分時同步分碼多重擷取系統(Time Division - Synchronous CDMA, TD-SCDMA)：TD-SCDMA是由中國大陸獨自制訂的第三代無線行動通訊技術標準，中國原郵電部電信科學技術研究院(大唐電信)於1999年6月29日向ITU提出，但技術發明始祖為西門子公司，TD-SCDMA在無線部分是透過分時雙工(Time-Division Duplex, TDD)的方式來傳輸資料。因此支援TD-SCDMA的手機與基地台設備彼此對於時間同步的掌握需要相當的精準。中國大陸龐大的市場，十分受到各大主要電信設備廠商的重視，全球一半以上的設備廠商都宣佈可以支援TD-SCDMA標準。TD-SCDMA具有低輻射的優點，也被稱為綠色3G。並且在頻譜利用率、頻率靈活性、成本及對業務支援等方面具有相當優勢。

第三代無線行動通訊技術

2. CDMA2000：CDMA2000是由CDMA IS95技術發展的寬頻CDMA技術，也稱為CDMA Multi-Carrier，美國高通北美公司所提出，摩托羅拉、Lucent和韓國三星皆是此系統的參與者，目前主導此標準者為韓國。這套CDMA2000系統是從窄頻CDMA One為基礎衍生而來，可以從原有的CDMA One結構直接升級到3G，硬體通訊佈建的成本較低廉。此系統目前使用的地區為日、韓和北美，使用的支持者較W-CDMA少。然而，CDMA2000的研發技術進度卻是領先目前各標準，許多3G手機皆已問世許久。CDMA2000的核心網路Core Network將會以CDMA One所使用的IS-41標準為基礎再延伸出去，以使得CDMA2000可以與CDMA One的核心網路相容，並達成通訊漫遊的目的。

第三代無線行動通訊技術

3. 寬頻分工多重擷取系統(Wideband Code Division Multiple Access, W-CDMA)：W-CDMA也稱為寬頻分碼多重存取(Wideband Code Division Multiple Access -Direct Spread)，是一種使用CDMA技術的無線行動通訊服務，這套系統主要是由日本的NTT DoCoMo所開發，而核心網路的部分是基於歐洲所定的GSM系統核心網路延伸發展出來的3G技術規範，目的為達到國際間漫遊。支持者主要是以GSM系統為主的歐洲廠商，日本公司也參與其中。包括歐美的易立信、諾基亞、阿爾卡特、朗訊、北電以及日本的夏普、富士通、NTT等廠商。

第三代無線行動通訊技術

- 在GSM系統相當普及的亞洲對這套新技術的接受度相當高。因此W-CDMA具有較先天的優勢。
- 歐洲所提出的UMTS陸地無線電接取網路(UMTS Terrestrial Radio, UTRA)由於與W-CDMA的技術內容大致相容，所以歐洲的行動電信開發廠商，也傾向採用W-CDMA的技術。

第三代無線行動通訊技術

- 1996年由國際電信組織(ITU)提出通用移動通訊系統(Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)，屬於3G蜂窩移動通訊系統的一個標準。
- 由於UMTS使用W-CDMA 空中介面技術的第三代行動通訊系統標準，所以UMTS也稱為W-CDMA系統。
- UMTS採用了第二代行動通訊系統類似的架構，為3GPP (3rd Generation Partnership Project) 組織制定的Release 6版本。

UMTS架構

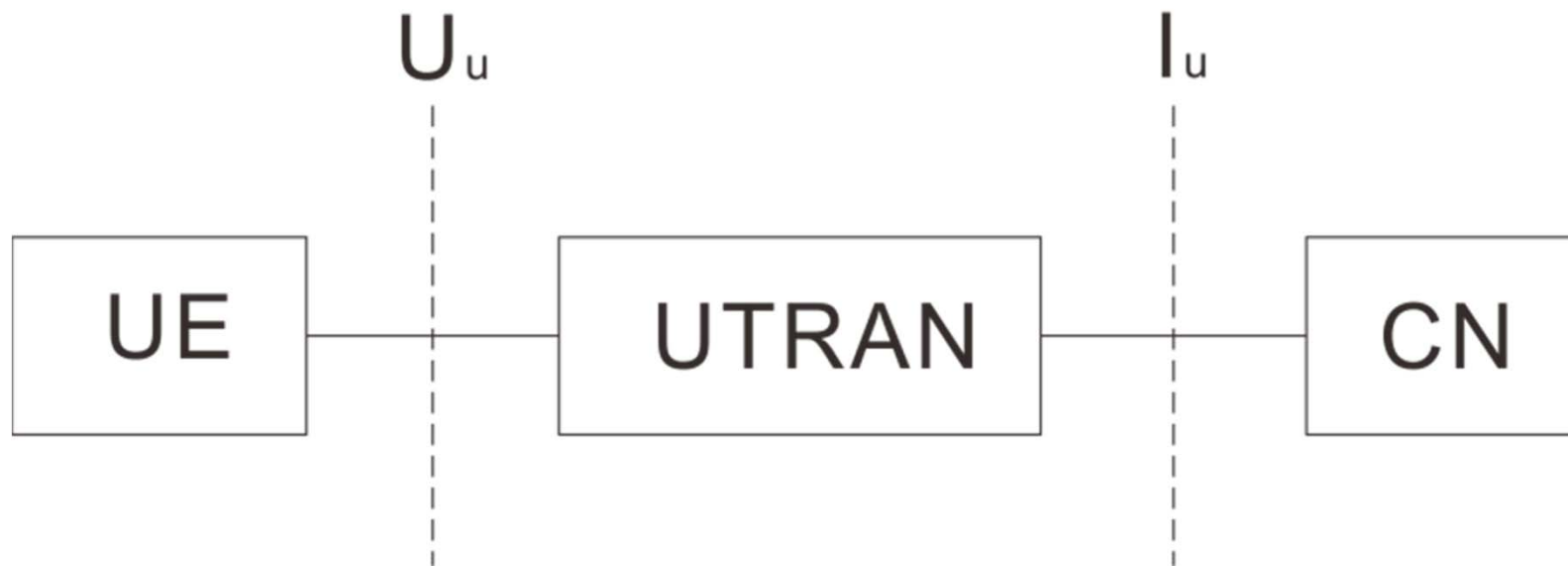
- UMTS Release 99的網路架構如圖7所示，主要分為三個部分：用戶端設備(User Equipment，UE)、UMTS陸地無線電接取網路(UMTS Terrestrial Radio Access Network，UTRAN)及核心網路(Core Network，CN)。
- UTRAN是由基地台(Node B)和無線電網路控制器(Radio Network Controller，RNC)所構成。

UMTS架構

- UTRAN處理所有與無線傳輸有關的功能，而核心網路則是負責語音和數據的處理並實現和外部網路介面的連接。從邏輯上核心網路又可以分為電路交換領域(Circuit Switch Domain，CS)和分封交換領域(Packet Switch Domain，PS)。

圖 7: UMTS架構(採用 Release 99)

- 用戶行動終端設備(UE)大部分是指手機，而介於UE和UTRAN之間的介面稱為Uu介面，Uu介面事實上是所謂的空中介面。介於UTRAN網路和核心網路之間的介面稱為Iu介面。



UTRAN的主要介面

- UMTS網路UTRAN部分的主要介面包括：Uu、Iub、Iur、Iu等。
- UTRAN的介面具有的特色為開放性的介面(Open interface)、無線網路層和傳輸層分離、控制面(Control plane)和用戶面(User plane)分離。
- IuCS, IuPS, Iub, Iur 介面均架設於非同步傳輸模式(Asynchronous Transfer Mode, ATM)網路的架構上, 透過ATM來傳送無線電層(Radio Layer)的通訊協定, 以提供較佳的服務品質。

UTRAN的主要介面

- W-CDMA/UMTS Release 99的核心網路架構如圖6.8所示。
- 在這個版本中核心網路的部分，沿襲了許多原本的GSM/GPRS核心網路架構，差別在Release 99中，無線電網路(Radio network)和核心網路做了一個清楚的區隔。
- UTRAN 由許多 RNS (Radio Network Subsystem)子網路所組成。
- RNS 包括一個 RNC 與數個Node B相連。RNC 與Node B 使用 Iub 介面相連。

UTRAN的主要介面

- 每一個 RNC 會透過 IuPS 介面與一個 SGSN 之間相連, 並透過 IuCS 介面與一個 MSC 相連。
- 一個 RNC 可與數個 RNCs 透過 Iur 介面相連。底下將分別介紹UTRAN的主要介面及W-CDMA/UMTS核心網路架構 [11]。
 - Uu介面(Uu interface)：Uu介面是W-CDMA的無線介面，UE透過Uu介面連到WCDMA系統的網路，因此Uu介面可以說是UMTS網路中最重要開放介面。

UTRAN的主要介面

- Iub介面(Iub interface)：Iub介面是連接3G基地台(Node B)和RNC之間的介面，Iub屬於開放式的標準介面，因此允許Node B和RNC可以是來自不同的電信設備製造商。
- Iur介面(Iur interface)：Iur介面是不同RNC之間連結的介面，因此Iur是UMTS系統特有的介面，RNC可以透過Iur對UE進行移動管理。例如在不同的RNC之間做軟交遞(Soft handover)，UE的所有訊息都是透過Iur介面從目前的RNC傳送至候選的RNC。Iur屬於開放式的標準介面。

UTRAN的主要介面

- Iur介面(Iur interface)：Iur介面是不同RNC之間連結的介面，因此Iur是UMTS系統特有的介面，RNC可以透過Iur對UE進行移動管理。例如在不同的RNC之間做軟交遞(Soft handover)時，UE的所有訊息都是透過Iur介面從目前的RNC傳送至候選的RNC。Iur屬於開放式的標準介面。
- Iu介面(Iu interface)：Iu介面是連接UTRAN和核心網路，此介面是一個開放式的標準介面，這使得UTRAN和核心網路可以分別由不同的電信設備製造商來生產。

圖8: W-CDMA/UMTS的核心網路架構

- 核心網路(Core Network, CN)：核心網路主要負責交換與傳送使用者通話或是資料的連線到外部網路。並且可分為電路交換領域(CS)及分封交換領域(PS)。
 - 電路交換領域是由傳統的電路交換服務構成，包含訊號傳輸。資源元件保留先前GSM的連接設置，包含MSC、GMSC、VLR。電路交換領域連接到RNS透過Iu介面的部分，稱為IuCS。電路交換領域仍然可以利用傳統的GSM網路部分連接到BSS，但是需要額外的功能(新的協定等)。
 - 分封交換領域(Packet Switch Domain)：分封交換領域使用GPRS元件SGSN和GGSN而且藉由IuPS部分的Iu介面連接RNS。兩者的領域需要資料庫EIR用於設備的識別，而HLR用於位置的管理(包括AuC用於認證和GR用於使用者個別的GPRS資料)。

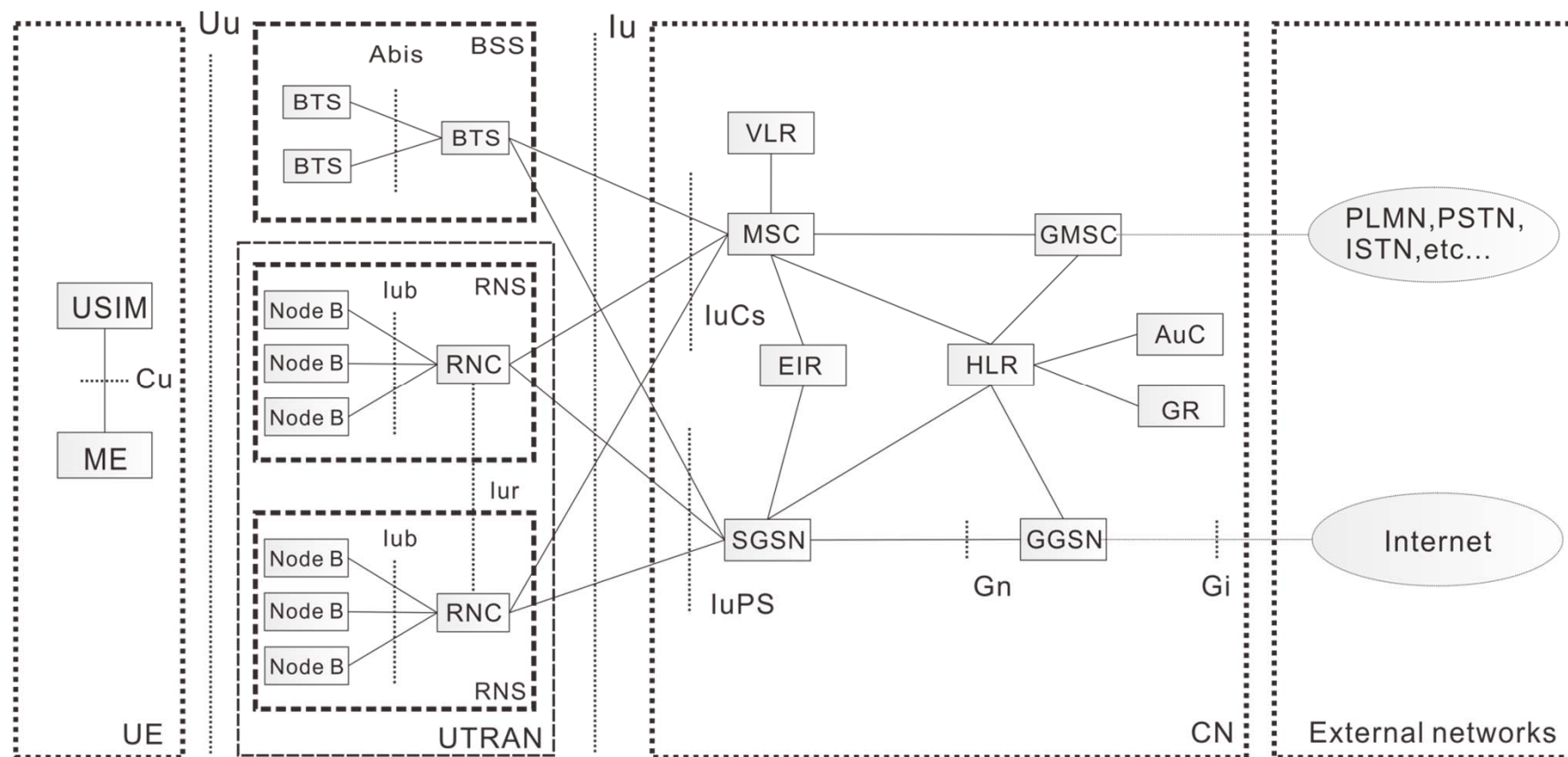
W-CDMA/UMTS的核心網路架構

- 用戶行動終端設備(UE)：UE由兩部分組成，包含行動設備（ Mobile Equipment， ME ）及UMTS 用戶識別模組(UMTS Subscriber Identity Module， USIM)，而USIM透過Cu介面連接到ME。
 - 行動設備通常指手提電腦、攜帶型遊樂器、個人數位助理(PDA)、行動電話、智慧型手機之類的行動計算裝置，行動設備的無線終端透過Uu介面用於之間的無線通訊。
 - UMTS 用戶識別模組是應用在UMTS手機的一種UICC智慧卡，可插入對應的3G手機來使用行動電話服務。USIM卡可儲存使用者資料、電話號碼、認證資料及為簡訊提供儲存空間。為提供認證服務，USIM卡儲存一組長期的加密鑰匙，與網路的認證中心（AuC）共用。

W-CDMA/UMTS的核心網路架構

- 無線接取網路(Radio Access Network, RAN)：RAN又包含了GSM(Global System for Mobile Communications)與GPRS(General Packet Radio Service)的基地台子系統(Base Station Subsystem, BSS)與UMTS 陸地無線電接取網路(UTRAN)。
 - RAN主要負責處理與無線電有關的工作，將原本 GPRS 和 SGSN 中 處理無線電的工作，拿到 RNC 來處理。
 - 例如Handover以及RRM (Radio Resource Management) 改由 RNC 負責。VLR 在CS domain中與MSC結合，而在 PS domain中與 SGSN結合。

圖8: W-CDMA/UMTS的核心網路架構



UTRAN的架構介紹

- UTRAN架構的架構如圖9所示。
- UTRAN負責提供用戶端設備(UE)接取核心網路(CN)服務的功能。
- UTRAN包含了多個無線電網路子系統(Radio Network Subsystem, RNS)，是由一組透過Iu介面連接到核心網路的無線電網路子系統(RNS)組成。
- 每個RNS都包含一個無線電網路控制器(RNC)以及許多基地台(Node B)。

UTRAN的架構介紹

- UTRAN 的介面內外部由四個實體組成：Iu、Uu、Iub、Iur。
- Node B 負責執行實體層的功能，包括展頻/解展頻、調變/解調變、編解碼、軟交遞(Soft handover)之訊務分流與合併，以及無線電資源管理功能的功率控制功能。

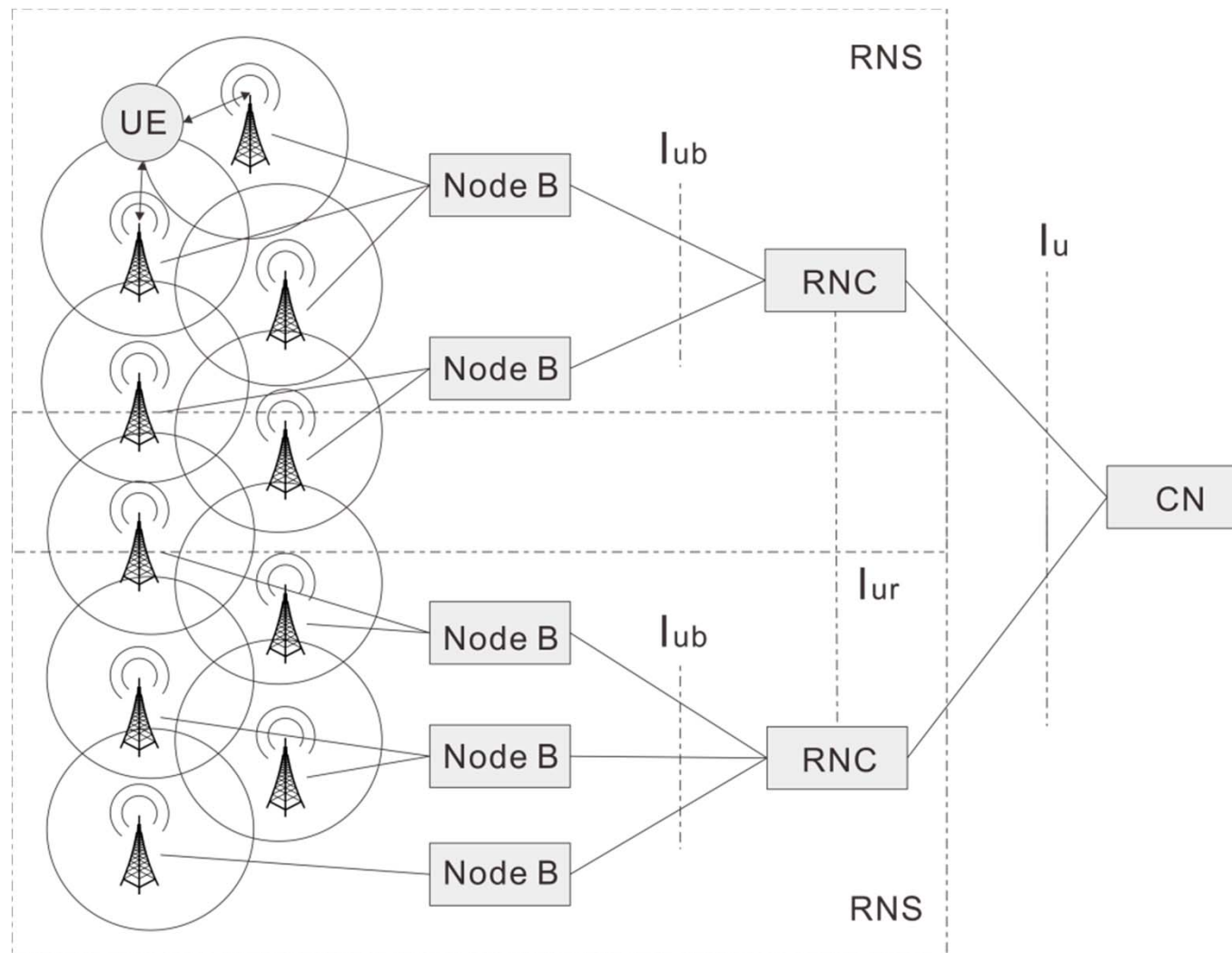
UTRAN的架構介紹

- RNC主要負責無線電資源管理及與核心網路介面連接的功能。RNC的無線電資源管理包括允許機制、交遞控制、功率控制及負載控制等。
- 每個Node B的涵蓋範圍稱為細胞(Cell)，而每個Node B可包含大約1到3個細胞。
- 核心網路是由HLR、3G-SGSN 和 GGSN 所組成 [12]
。

UTRAN的架構介紹

- 在UTRAN內，無線電網路子系統（RNS）內的RNC之間可透過Iur介面進行連接，Iur介面是特別為支援跨RNC之間的軟交遞通訊功能而設計的。
- 其中Iu和Uu是對外的介面，至於Iub和Iur則是對內的邏輯介面。
 - Iu介面是負責連接無線電網路控制器（RNC）與核心網路（CN）。
 - Uu介面是負責連接 Node B 與用戶端設備（UE）。
 - Iub 介面是負責連接 RNC 與 Node B，RNC負責控制Node B。
 - RNC與RNC之間是由Iur 介面負責連接。

圖9: UTRAN架構



實體層 (Physical Layer , PHY)

- 處理W-CDMA無線電傳輸技術的基頻與射頻為實體層的主要工作，實作主要是在UE及Node B上執行。
- 訊號透過射頻模組發射到空中的通道稱為實體通道 (Physical channel)，實體層與其上MAC層間的介面稱為傳輸通道 (Transport channel)，傳輸通道的資料會對應到下層的實體通道傳輸。

實體層(Physical Layer, PHY)

- 如圖10所示，W-CDMA無線電傳輸技術採用直接序列展頻(Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS)方式將用戶資訊展頻成約5MHz頻寬(3.84Mcps)，因此所有用戶是同時使用同一個頻率，但是每個用戶使用不同的展頻碼。
- 對於傳送速率較低者，需要較小的傳送功率；相對傳送速率較高者，需要較大的傳送功率。

圖 10: WCDMA 分碼多工

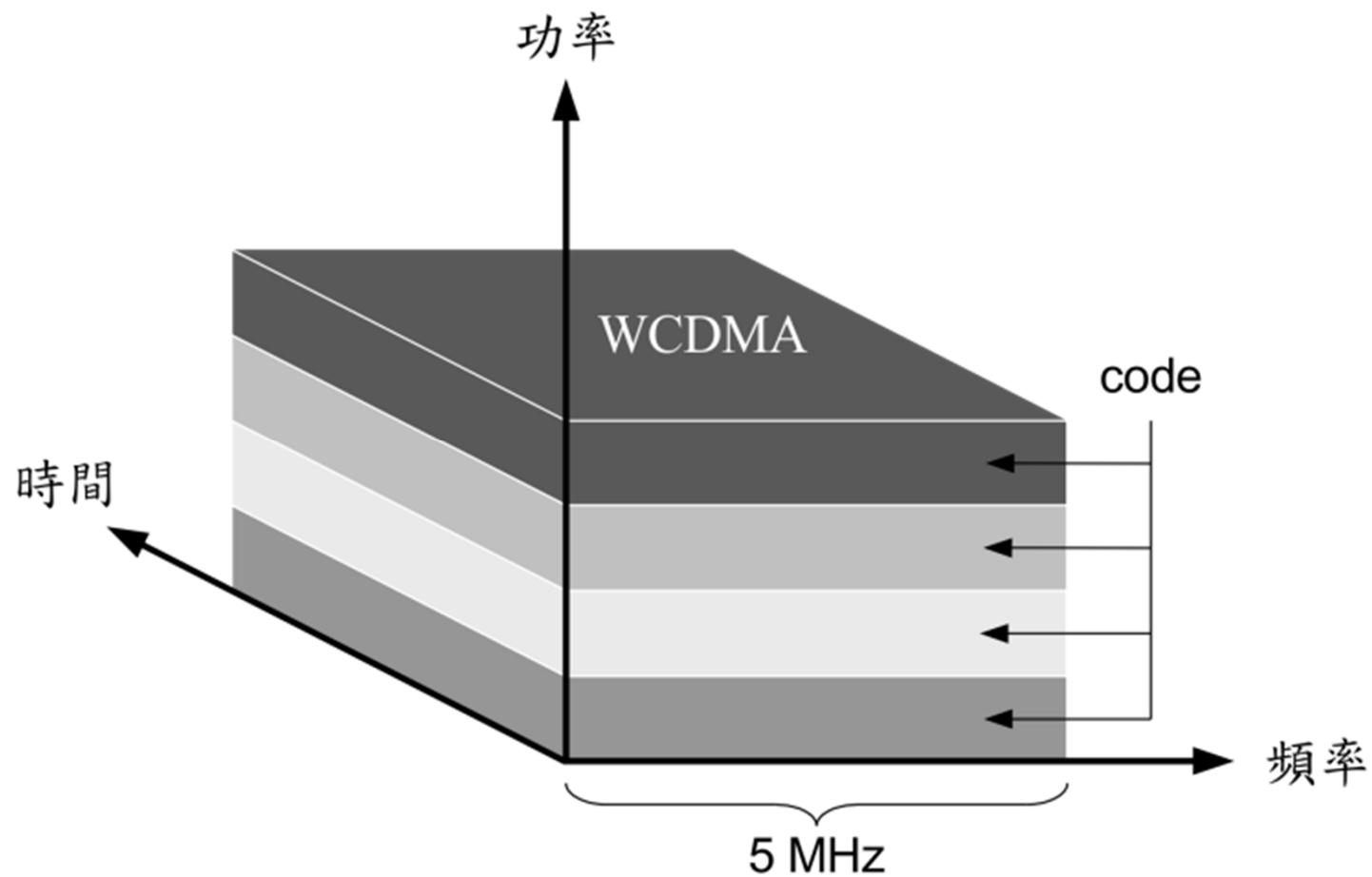
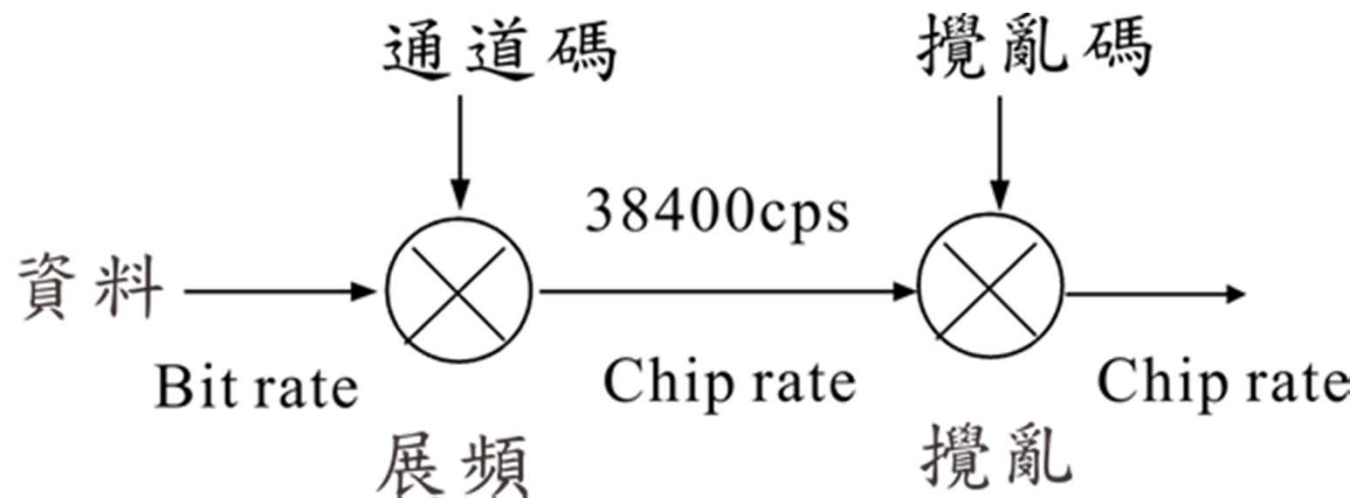


圖 11: WCDMA 展頻與攪亂程序

- 圖 11 為 W-CDMA 展頻與攪亂程序示意圖，手機除了要做展頻，也要做攪亂。
- 用戶資料傳送端使用通道碼 (Channelization code) 做完展頻至 38400chips, 之後再使用攪亂碼 (Scrambling code) 進行攪亂；所以攪亂碼不會影響訊號頻寬。



實體層 (Physical Layer , PHY)

- 如表1所示，通道碼採用正交可變展頻因子 (Orthogonal Variable Spreading Factor , OVSF)將用戶資料展頻至3.84Mcps。
- 傳送速率較高者，展頻因子(Spreading factor)相對較小；傳送速率較低者則使用較大的展頻因子。

實體層 (Physical Layer, PHY)

- 以上傳來說，通道碼主要用來分辨同一支手機送出的控制通道和資料通道；以下傳來說，是用來分辨同一細胞內的不同手機。
- 攪亂碼(Scrambling code)主要用來區別不同訊號源。
- 因此以上傳來說，攪亂碼是用來分辨不同的手機；以下傳來說，是用來分辨不同的細胞。
- 關於通道碼和攪亂碼的比較 [12]。

表1: 通道碼和攪亂碼的比較

	通道碼 (Channelization code)	攪亂碼 (Scrambling code)
種類	正交可變展頻因子(OVSF)	長碼採用 Gold code 短碼採用 Extended S(2) code
用途	上傳：分辨同一支手機送出的實體控制通道和資料通道。 下傳：分辨同一細胞內送給不同手機的通道。	上傳(Uplink)：分辨不同的手機 下傳(Downlink)：分辨不同的細胞
長度	可變長度： 上傳：4~256 chips (佔 1 ms ~66.7ms) 下傳：4~512 chips	固定長度：10ms frame (使用 38400 chips 的攪亂碼)
數量	視展頻因子長度而定。	上傳： 2^{24} 個 下傳：512 個

傳輸通道至實體通道之對應

- 傳輸通道的設計主要是配合實體層可變速率的需求。
。依屬性可分為：專用通道(Dedicated channel)和共用通道(Common channel) [13]。
- 專用通道是指專用的無線電，供某一個特定的UE來使用。共用通道是單一無線電提供給所有的UE或某一些UE共用。
- 一般來說不同的傳輸通道會對應至不同的實體通道，但有些傳輸通道會對應至相同的實體通道。傳輸通道與實體通道之間的對應關係如圖12所示，其中除了DCH是專用通道，其餘皆為共用通道。

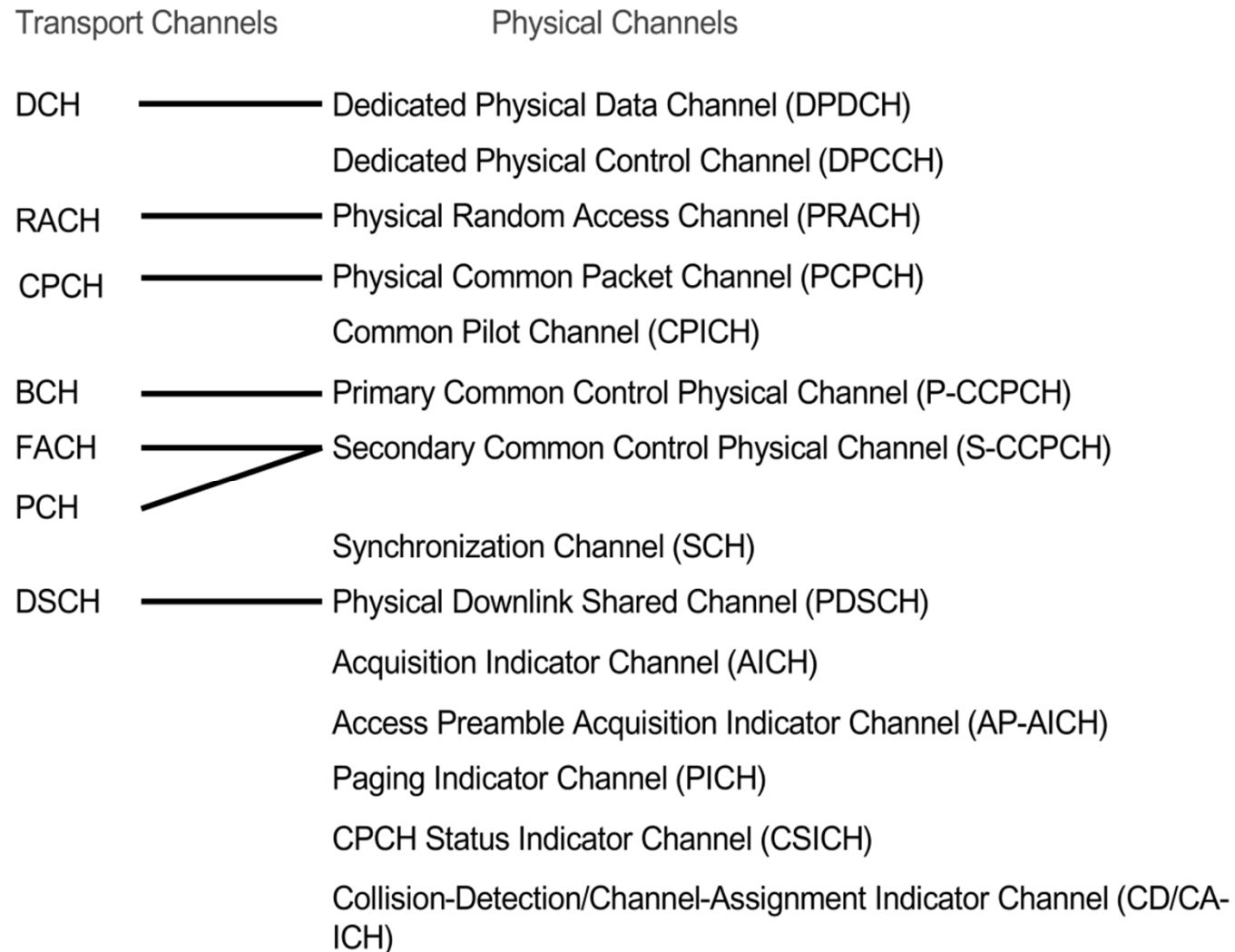
傳輸通道至實體通道之對應

- 專用通道(Dedicated Channel, DCH)：為雙向傳輸通道，負責傳輸UE的資料訊息。傳輸通道中唯一屬於專用的通道，負責傳送上層的資料(例如:語音或是封包資料)。
- 隨機存取通道(Random Access Channel, RACH)：為單向上傳的傳輸通道，負責傳輸UE發送的控制訊息。提供給UE用來傳送控制訊息給無線網路端(例如:要建立一個通話連線)，由於RACH傳輸可涵蓋整個細胞(Cell)的範圍，因此它所能提供的傳輸速率有限，僅能用來傳送小量的使用者資料。

傳輸通道至實體通道之對應

- 共用封包通道(Common Packet Channel, CPCH)：為共用的上傳的傳輸通道，負責傳輸資料訊息。CPCH主要用來傳輸UE上傳的大量資料封包，與RACH最大的不同在於它使用快速功率控制機制與實體層的碰撞偵測，使得CPCH可以提供較好的傳輸。
- 廣播通道(Broadcast Channel, BCH)：為單向下傳的傳輸通道，負責傳輸網路資訊給所有UE使用。BCH用來廣播系統相關資訊到無線網路所屬的Cell，當UE無法讀取BCH的資料時，將會造成該UE無法對目前的基地台註冊。所以說BCH傳輸功率必須夠大，以便讓UE可以順利讀取該通道的訊息。

圖12: 傳輸通道至實體通道之間的對應關係



傳輸通道至實體通道之對應

- 順向存取通道(Forward Link Access Channel, FACH)：為單向下傳的傳輸通道，負責傳輸控制訊息給特定的UE。FACH與PCH一樣都是透過實體層通道的S-CCPCH(Secondary-Common Control Physical Channel)來傳送資料。它可以獨立使用一個S-CCPCH或是與PCH共用S-CCPCH。由於FACH並不需要先建立一個專用的連線，也不具備快速功率控制，所以當無線網路收到UE透過RACH傳送的訊息，可以透過FACH傳送低速率的回應訊息給使用者通訊設備。如同BCH一樣，為了可以讓所有在無線通訊網路中的通訊設備都可以接收並解碼FACH的資料，所以FACH通道的傳輸速率並不高。

傳輸通道至實體通道之對應

- 呼叫通道 (Paging Channel, PCH)：為單向下傳的傳輸通道，負責傳輸呼叫程序的訊息。當無線網路要與使用者的通訊設備建立一個連線時，就會透過PCH來傳送訊息(例如:有人撥電話給該使用者)。根據系統規劃上的不同，可以針對使用者目前所在的Cell發送訊息，或是對一群Cell發送訊息。
- 下傳共享通道(Downlink Shared Channel, DSCH)：為單向下傳的傳輸通道，負責傳輸特定UE的資料封包或控制訊息。DSCH為共用通道，它的用途類似FACH，不同之處是它支援快速功率控制，並可以根據使用情況動態改變Frame的傳輸速率。DSCH不像FACH與BCH需要讓整個Cell的用戶都收到訊息，所以可以提供較充分彈性的傳輸速率。

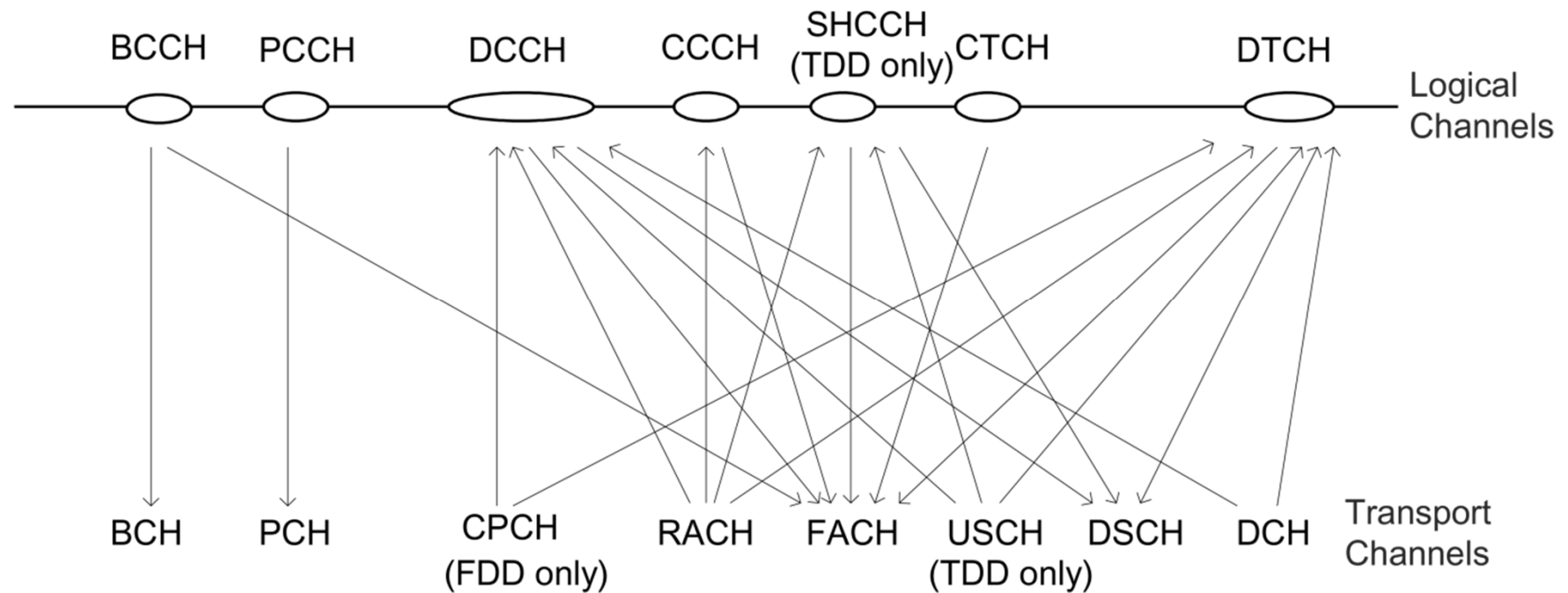
媒體存取控制(MAC)

- 第二層協定中最底層的通訊協定為MAC。
- MAC與下面實體層間的通道為傳輸通道，與其上的RLC協定間的通道稱為邏輯通道(Logic channel)。
- 而MAC的主要功能，依據邏輯通道是屬於共用、專用或廣播的特性來選用適當的傳送通道；依據RRC的控制，選擇適當的傳送通道格式，以達到UMTS可變速率和QoS要求 [13]。

媒體存取控制(MAC)

- 邏輯通道依據所載送資料的類別分成兩類：控制通道(Control channel)和訊務通道(Traffic channel)。UMTS定義的四種控制通道與其傳輸通道間的對應關係如圖13所示。
- 控制通道(Control Channel)用來傳送控制訊息，包括以下通道：
 - 廣播控制通道(Broadcast Control Channel，BCCH)：為下傳的邏輯通道，負責傳送系統控制資訊。
 - 呼叫控制通道(Paging Control Channel，PCCH)：為下傳的邏輯通道，負責傳送建立連線的呼叫訊息。

圖13: UTRAN端邏輯通道與傳輸通道間的對應關係



媒體存取控制(MAC)

- 共用控制通道(Common Control CHannel, CCCH)：為雙向且一對多的邏輯通道，負責傳送核心網路和使用者之間的控制資訊。CCCH通常對應到RACH/FACH等傳送通道。
- 專用控制通道(Dedicated Control CHannel, DCCH)：為雙向且一對一的邏輯通道負責載送UE與RNC之間的專用控制訊息。

媒體存取控制(MAC)

- 訊務通道(Traffic channel)用來傳送用戶所傳送的訊務資料，包括以下通道：
 - 專用訊務通道(Dedicated Traffic Channel，DTCH)：為使用者專用的一對一雙向通道，負責傳送使用者與使用者之間的通訊資料。
 - 共用訊務通道(Common Traffic Channel，CTCH)：為共用一對多的下傳通道。經由此通道，用戶專用的資訊傳送給所有的用戶，只會對應到 FACH。

媒體存取控制(MAC)

- 如上所述：
 - 下傳通道(Downlink)會對應到FACH、DSCH、DCH。
 - 上傳通道(Uplink)會對應到CPCH、RACH、USCH、DCH。
- 表示這些傳輸通道(Transport channel)也都會傳送用戶數據(User data)。

3.5G行動通訊技術

- 3.5G行動通訊技術，高速下行封包存取(High speed data downlink packet access，HSDPA)，是一種行動通訊協議。是3GPP Release 5協議中為了滿足上行/下行傳輸速率不對稱需求，而提出的一種演算法，它可以在不改變寬頻分碼多工WCDMA網路架構的情況下，把通用行動通訊系統UMTS (Universal mobile telecommunication system)下行封包的傳輸速度提高到14.4Mbps [14]。

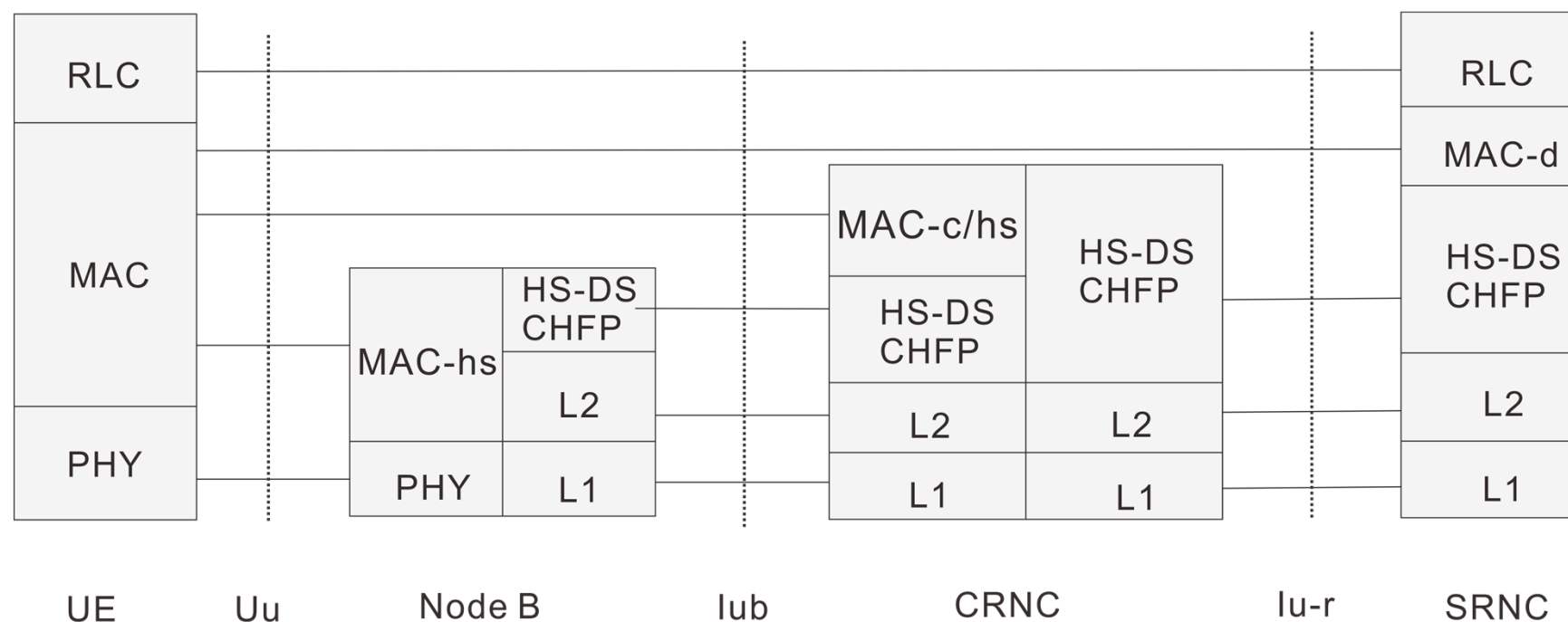
3.5G行動通訊技術

- HSDPA在通用行動通訊系統無線接入網UTRAN (Universal terrestrial radio access network)中的硬體架構上做了些許的變動，新增了一個高速下行共享通道HS-DSCH (High speed downlink shared channel)，因此在節點B Node B中的MAC層新增了一個新的實體MAC-hs子層來處理所需要的動作，即為混合自動HARQ (Hybrid ARQ)、適應性調變編碼(Adaptive modulation and coding schemes, AMC)與高速下行共享通道HS-DSCH的排程(Scheduling)。

3.5G行動通訊技術

- 再結合多重輸入與多重輸出MIMO (Multiple input multiple output)與快速細胞選擇(Fast cell selection)等新技術，將最大的下行傳輸速率大幅的提升到10Mbps 以上，高速下行封包存取HSDPA的協定架構如圖14所示。

圖14: 高速下行封包存取HSDPA的協定架構圖



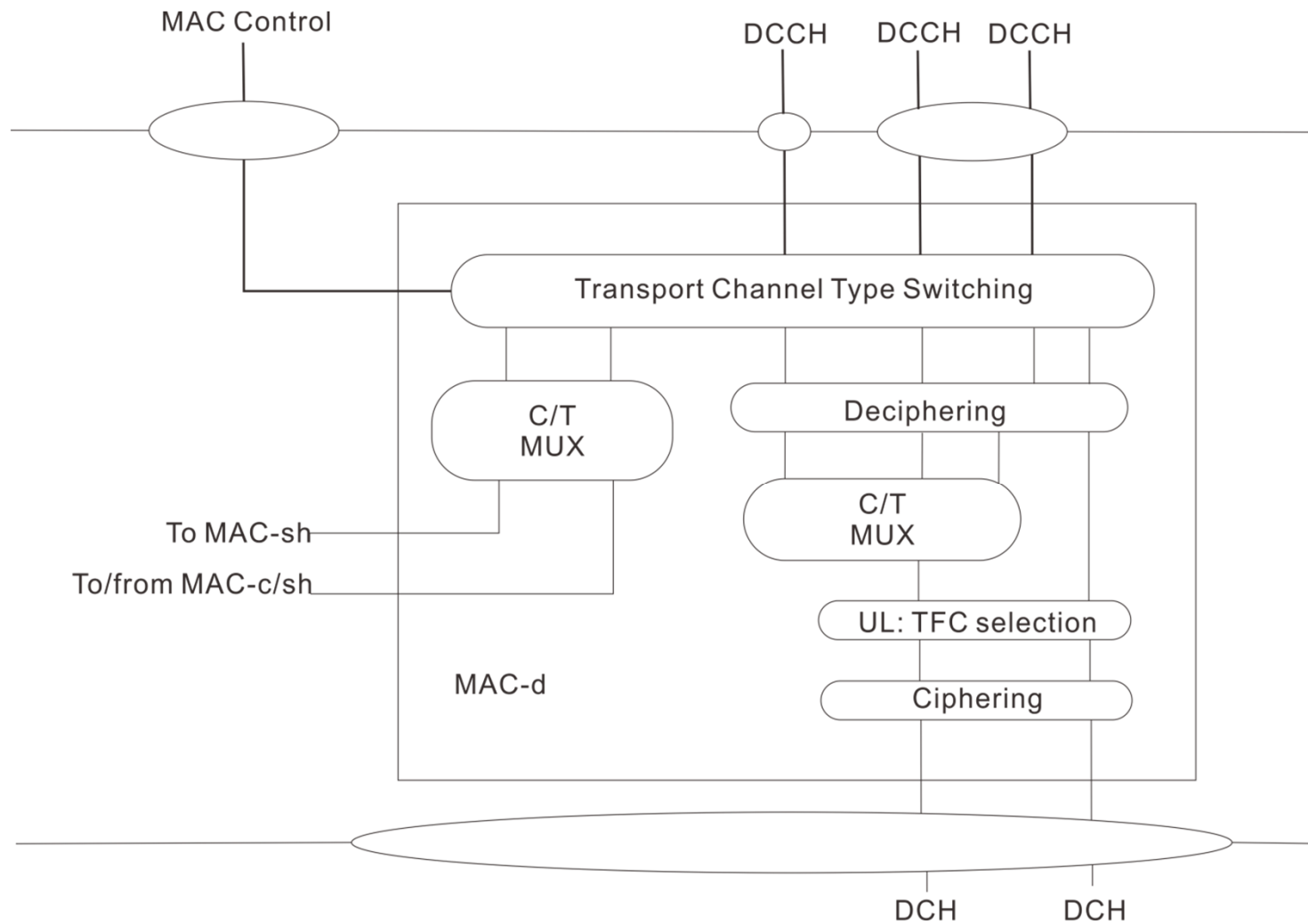
3.5G行動通訊技術

- 每一個Node B都會有一個RNC (Radio Network Controller) 控制其訊務、功率控制等運作，稱CRNC (Control Radio Network Controller)。
- 表示為此Node B所屬的無線電網路控制器RNC，負責細胞的負載與壅塞控制，而服務無線網路控制器SRNC(Serving Radio Network Controller)是負責處理此使用者終端設備 UE (User equipment)與UTRAN之間的訊號與處理資料經過無線電介面時的程序。

3.5G行動通訊技術

- 當使用者使用HS-DSCH通道時，無線電連結控制RLC (Radio link control)與MAC-d層位於SRNC上，而MAC-c/sh層位於CRNC (Control Radio Network Controller)上，而MAC-hs層位於Node B上，而HS-DSCH FP框架協定負責將資料由SRNC送至CRNC再由CRNC送至Node B，在Node B上的MAC-hs為HSPDA新提出的一層 [15]。

圖 15: UTRAN端MAC-d層架構圖



3.5G行動通訊技術

- 圖15指出MAC子層彼此之間的關係，可知道MAC-hs是透過MAC-d來傳輸。
- MAC-d會將專屬邏輯通道對應到傳送通道DCH、DSCH透過MAC-c/sh傳送過去，MAC-c/sh負責處理在共同通道與共享通道中的資訊，而在MAC-c/sh會對應到DSCH來往下傳送或HS-DSCH，其決定權則在無線電資源控制RRC。
- 位於SRNC上的RRC先與UE溝通協調之後，會告知RLC要使用哪一個傳輸模式來傳送。

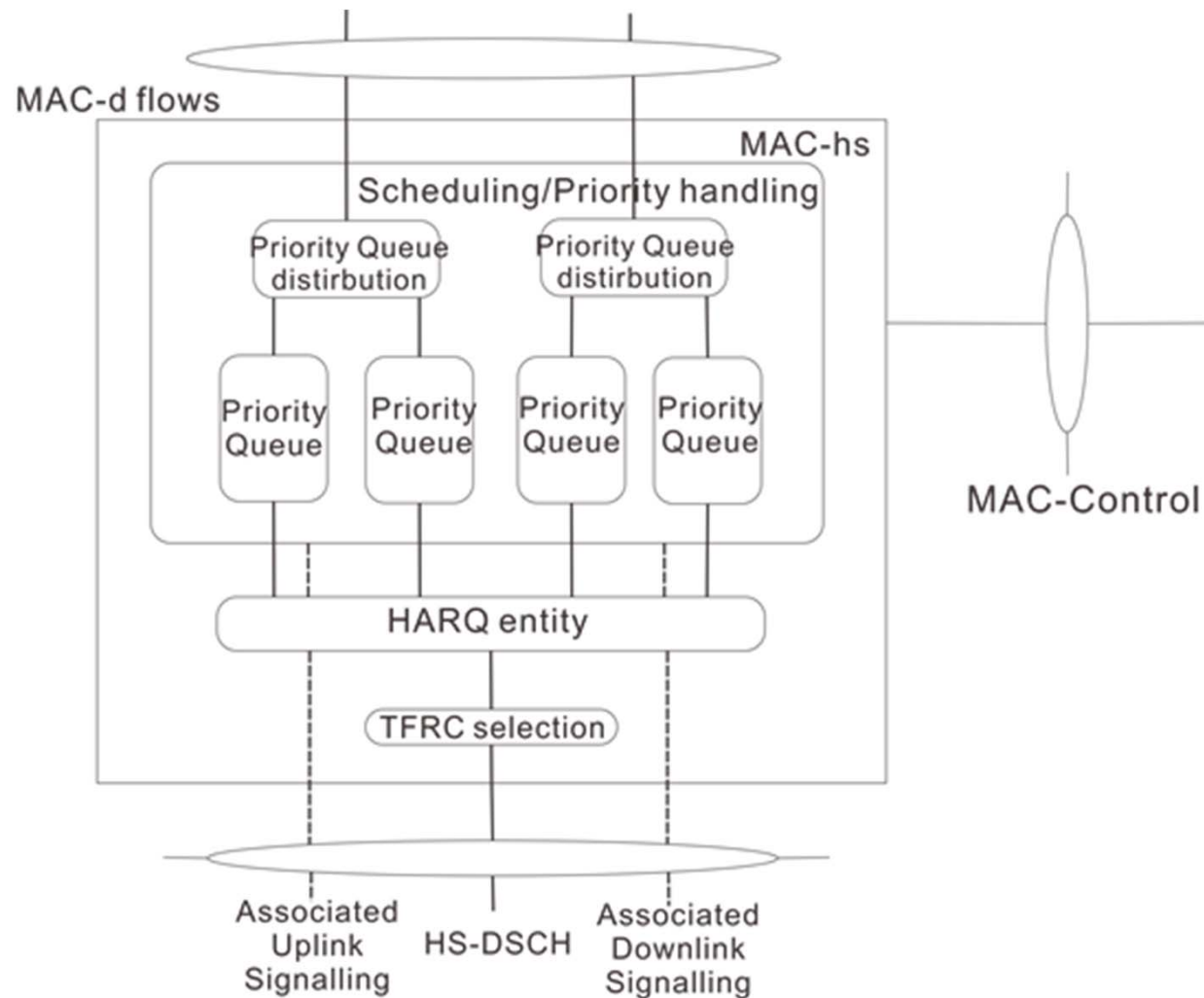
3.5G行動通訊技術

- 其做完分割動作之後將相關資料填入標頭，並選擇對應的邏輯通道來往下傳送。
- 若使用HSDPA所提供的HS-DSCH時，MAC-d透過C/T 數據選擇器MUX將不同的邏輯通道上的資料多工到一個MAC-d的封包資料單元PDU (Packet Data Unit)上。
- 而PDU在HS-DSCH通道中，路徑是否要經過CRNC上的MAC-c/sh，全依照架構中是否有MAC-c/sh而定。

3.5G行動通訊技術

- 當在Node B上的MAC-hs收到SRNC MAC-d的PUD後，會透過其包含的元件做處理，這些元件包括：
 - 格式與資源結合FRC選擇：TFRC (Transport format and resource combination)為傳輸格式與資源結合。TFRC負責在HS-DSCH上資料的傳輸，選擇合適的傳輸格式與資源[16]。
 - 流量控制：透過管理上層來的MAC-d的PDU以避免在HS-DSCH的流量過大而造成堵塞，透過流量控制我們可以限制許多信號封包與有效控制重傳的封包[16]。

圖 16: UTRAN端MAC-hs的架構圖



3.5G行動通訊技術

- HARQ元件(entity)：每一個使用者有專屬的HARQ元件，一個HARQ元件支援多個採用停止與等待的混合式自動重複請求SAW-HARQ(Stop-And-Wait hybrid ARQ)機制的HARQ程序。HARQ會處理錯誤的判斷與重傳動作，也會將收到的資訊報告給封包排程器(packet scheduler)[16]。

3.5G行動通訊技術

- 排程/優先權處理：這部份的功能根據資料流的優先權來管理在HARQ實體之間的HS-DSCH上的資源，除了HARQ元件回傳的狀態報告決定要重傳資料流或是新資料，也可以決定新近來MAC-hs層PDU的Queue ID和傳送順序數目 [16]。目前已確定將封包排程器放置於Node B，主要的考量在於Node B最能清楚且快速地掌握無線電資源使用狀況，並能在當下及時地決定該以何種傳輸通道與傳輸速率去傳送封包，使得封包可以盡快地傳出，不會有任何的延遲，因此可以提升傳輸的效率與速度。

3.5G行動通訊技術

- HSDPA設計了對應高速下行共享通道HS-DSCH (High speed physical downlink shared channel)的實體通道。從圖6.16中HSDPA定義了相對的上行訊號和下行訊號，讓UE和Node B溝通HS-DSCH的運作方式。一個應用層的封包當要使用HSDPA所提供的HS-DSCH，如何在無線電介面協定中傳送。由於在HSDPA中封包排程器移到Node B處理，並且引進新的技術，讓傳輸速率提高到14Mbps，但是不改變已存在的通用行動通訊系統UMTS網路架構，這些新的技術列於表6.2。

表2 高速下載封包存取HSDPA的相關技術和影響

HSDPA的相關技術名稱	對HSDPA的影響
混合式自動重複請求	透過在 Node B 與使用者終端設備的混合式自動重複請求元件，可以讓HSDPA傳輸資料的延遲降低。
適應行調變和編碼	封包排程器可以馬上針對目前的通道狀況，加以修正下一個封包的傳送速度，所以如果通道狀況良好時，可以將傳輸速率大幅提昇。
多重輸入多重輸出	可以讓 Node B 與使用者終端設備利用多重天線陣列互相溝通，以提升效能。
快速細胞選擇	使用者終端設備快速選擇適合的細胞，可以增加傳輸速率。

IMT-Advanced國際技術標準

- IMT-Advanced是國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)為4G行動無線寬頻通訊所制定的技術標準，關鍵技術的特徵是在於可支援最高使用頻寬為100MHz；而且對於固定式或著是低移動性的用戶提供到達1Gbit/s的資料傳輸速率(Data Rate)，而對於高速移動的用戶也能提供高達100Mbit/s的傳輸速率。
- 其他關鍵的特性包括具有高度的網路通用性，可與世界上其他存取網路，特別是IMT與固網系統互通。

IMT-Advanced國際技術標準

- 具有高成本效率、廣泛支援各種服務和應用以及用戶終端設備的使用等。
- 國際電信聯盟(ITU)在世界無線電會議(World Radio communication Conference , WRC-07)通過了新的主要於在行動服務和國際行動通信系統International Mobile Telecommunications (IMT)的分配在一個在特高頻/超高頻範圍，反映了蜂窩型系統頻寬日益增長的需求。

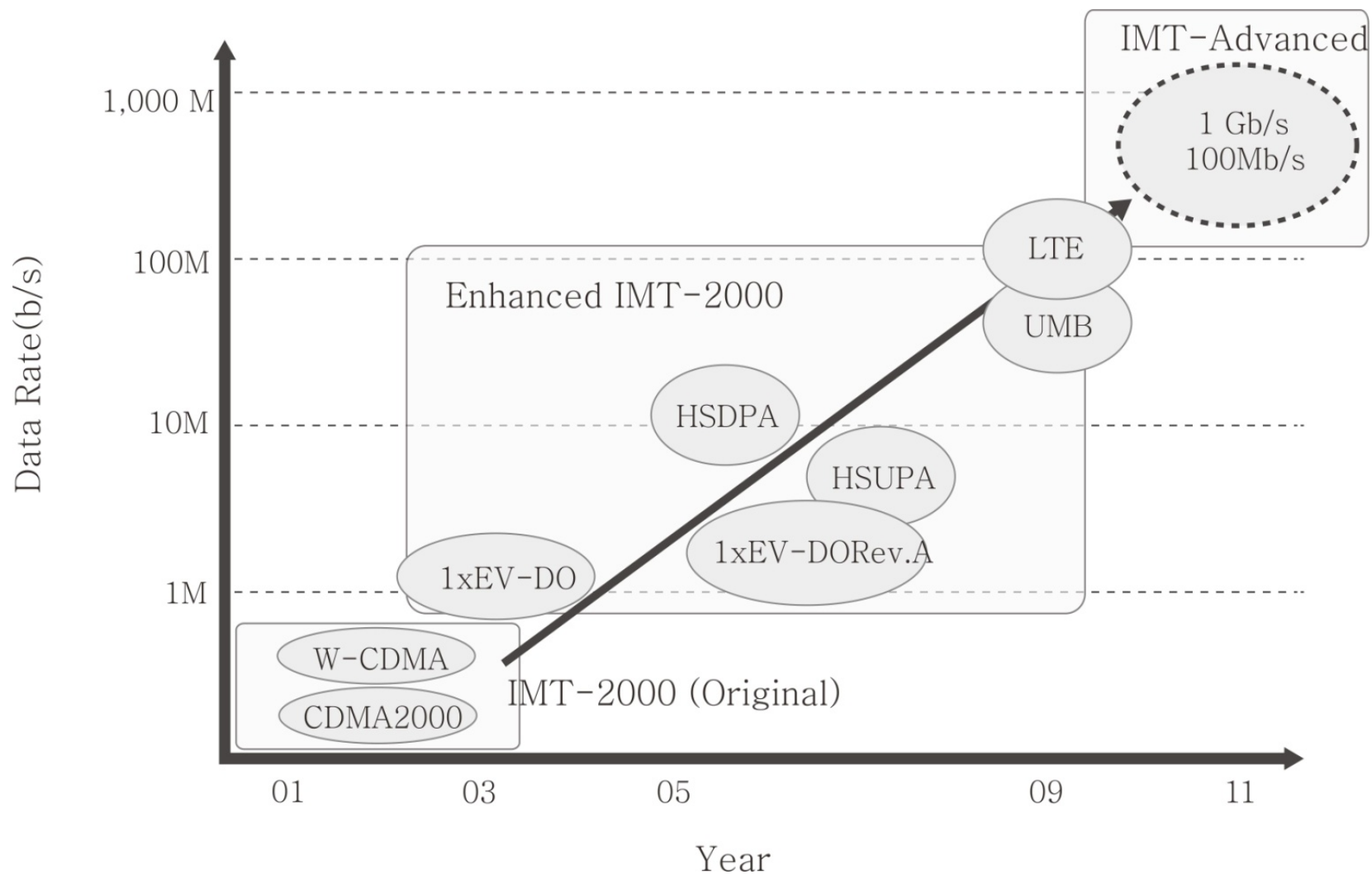
IMT-Advanced國際技術標準

- 在WRC-07前的無線電通信會議(RA-07)，國際電信聯盟核准了ITU-R 第56決議，將它命名為IMT-Advanced，這些系統支持IMT-2000系統的新功能。
- 為接續現有的IMT-2000(即3G無線通訊系統)而制定，以提高行動數據傳輸量為目標。
- 此外，這項決議說明為何以IMT作為IMT-2000和IMT-Advanced的名稱。

IMT-Advanced國際技術標準

- 因此，在該決議中IMT-Advanced意味著至少定義超越3G系統的新功能。
- 國際電信聯盟無線電通信部門(ITU-R)將著重於IMT-Advanced應用的可用頻譜，無線電界面技術（RITs）的發展建議。
- 這項工作將與國際電信聯盟等組織的密切合作下完成。
- 如圖17 為IMT系統的發展過程 [17]。

圖17: IMT系統的發展



IMT-Advanced國際技術標準

- 在國際電聯無線電部門(ITU-R)規定，表3中所示的頻段是已確定為IMT-2000或其增強系統的，這是透過對過去世界無線電通信大會所決定的。
- 表3的總頻寬約750MHz，然而它顯然沒有足夠可實施給IMT-Advanced的頻段。
- 此外WRC-07新確定的頻段如表4，是已被確定為IMT的使用的總頻寬為428MHz。

IMT-Advanced國際技術標準

- 在ITU-R之前的研究預測中，這可能無法容納到2020年給IMT的總頻譜要求，總頻譜的頻寬為現有的移動蜂窩系統的頻寬要求，包括IMT-2000和IMT-Advanced的。
- 頻率1 GHz以下的頻段一般用於廣大服務的覆蓋範圍。

表3: 在WRC-07之前確定給IMT-2000的頻譜

Frequency	Bandwidth	Remark
806-960 MHz	154 MHz	部分地區的此頻段並非給行動通訊所使用
1710-1885 MHz	175 MHz	
1885-2025 MHz	140 MHz	部分頻段是給IMT-2000的輔助元件所使用
2110-2200 MHz	90 MHz	
2500-2690 MHz	190 MHz	

IMT-Advanced國際技術標準

- ITU-R透過研究了解到，在1 GHz以下的頻段是符合成本效益的頻率範圍，不論發展中國家和已開發國家，提供在人口稀少的地區IMT服務。
- 另一方面，ITU-R還指出，1 GHz以上的頻段也是可以拿來使用的，因為它們可以提供未來無線通訊系統頻寬的區塊，如IMT-Advanced。

IMT-Advanced國際技術標準

- 有足夠的頻譜區塊就能允許靈活應用，而且可以有效地利用頻譜。
- 在這些頻段中，新發現的3400-3600 MHz頻段是最具有吸引力，因為在IMT定義的頻段中，它為IMT-Advanced的實施提供了一個廣大且連續的200MHz區塊。

IMT-Advanced國際技術標準

- 雖然這頻段沒有在全世界都有定義，但在WRC-07熱烈討論後，確定為定義給IMT，大約90個國家已經加入了這個認定，如表4。
- 考慮到在某些地區的國家之中在這個頻段主要配置給的行動服務，可以說3400-3600 MHz頻段有可能成為在未來部署IMT-Advanced的主要依據。

IMT-Advanced國際技術標準

- IMT-Advanced將為行動裝置如智慧型手機、筆記型電腦、無線數據機等，提供一個全方位且安全的全IP行動寬頻的解決辦法。
- 使用者可以使用設施如超行動寬頻(Ultra Mobile Broadband)來達到IP電話、博弈服務或串流影音等服務。

表4: 在WRC-07確定給IMT的新頻譜區段

Frequency	Bandwidth	Remark
450-470 MHz	20 MHz	
790-862 MHz	72 MHz	
698-806 MHz	108 MHz	在698-790MHz 某些國家認證給IMT 所使用
2300-3600 MHz	100 MHz	
3400-3600 MHz	200 MHz	WRC-07透過行動服務在此頻段認證給IMT所使用

IMT-Advanced國際技術標準

- IMT-Advanced目的是滿足QoS (Quality of Service)以及未來發展的應用所需的傳送速率的要求，如：視訊聊天、手機電視、行動存取、多媒體訊息服務(MMS)或更新的服務如高解析度電視(HDTV)。4G可以在無線區域網路中移動漫遊，也可以與數位視訊廣播系統互相作用。

IMT-Advanced國際技術標準

- 這些都超越原本指定給3G所使用的IMT-2000行動通訊系統。
- 現在LTE之所以被稱做為4G是因為它採用了新的存取方式：如OFDM。
- 依照過去，新一代的行動通訊標準通常也會伴隨著新的存取技術(如2G使用分時多工/分頻多工(TDMA/FDMA)，3G則使用分碼多工(CDMA))。

IMT-Advanced國際技術標準

- 為了建立可行的IMT-Advanced，ITU列舉了幾項關鍵技術如：高度的世界通用功能性同時保留靈活性，在有成本效益之下支持廣泛的服務和應用，與IMT及固定網絡服務兼容性，與其他無線存取系統有互通能力，有高品質的移動服務，適合在全世界使用的用戶設備、方便使用者的應用程序，服務和設備、全球漫遊能力、增強的峰值數據傳輸速率，以支持先進的服務和應用程序。

IMT-Advanced國際技術標準

- LTE-Advanced的第一組需求3GPP的核准於2008年6月。IMT-Advanced指定的主要需求 [18]如下：
 - 基於全IP(Internet Protocol)的封包交換網路。
 - 可與現有的無線通訊標準互通。
 - 在高速移動下傳輸速率可達到100 Mbit/s，在低速移動或固定的位置時傳輸速率可達到1 Gbit/s。
 - 可動態的共享及使用網路資源，使每個單元可同時容納更多的使用者。
 - 可擴展的頻帶為5-20 MHz，最佳可達40 MHz。
 - 下行鏈結時頻譜峰值效率可達到15 bit/s/Hz，而上行鏈結時可達6.75 bit/s/Hz (也就是1 Gbit/s的下行傳輸時，頻寬應小於67MHz)。

IMT-Advanced國際技術標準

- 系統頻譜效率在下行鏈結時可達到3 bit/s/Hz/cell，在室內使用時可達到2.25 bit/s/Hz/cell。
- 無縫的連結與可平穩的切換於全球漫遊及多種網路之間。
- 可提供多媒體高品質的服務。
- 表5為LTE(3GPP第8版)，IMT-Advanced 和LTE-Advanced系統中的主要參數比較 [19]。
- LTE(3GPP第8版)並不能被稱做是正式的4G，因為它並未達到IMT-Advanced的需求，所以被稱做為3.9G，但已被當作4G前身。

表5: LTE (3GPP 第8版)、IMT-Advanced 和 LTE-Advanced 系統中的主要參數比較

system aspect			E-UTRA/LTE (3GPP Rel-8)	IMT-Advanced requirements	IMT-Advanced (3GPP Rel-10)	IMT-Advanced feature set to exceed IMT-Advanced requirement
(Peak) data rates		DL	327.6Mbps (4x4 MIMO,64 QAM)	1Gbps(high mobility) 100Mbps(low mobility)	1Gbps	Carrier aggregation, MIMO
		UL	86.4 Mbps (64 QAM)	40MHz up to 100MHZ	500Mbps	
Supportable bandwidth			up to 20MHz	40MHz up to 100MHZ	100MHz	Carrier aggregation
spectral efficiency	Peak	DL	15 bps/Hz (UE category 5)	15 bps/Hz (UE category 5)	30 bps/Hz	8x8 DL SU-MIMO
		UL	3.75 bps/Hz (UE category 5)	6.75 bps/Hz (UE category 5)	15 bps/Hz	4x4 DL SU-MIMO
	Average	DL	1.87 bps/Hz	2.2 bps/Hz	3.7 bps/Hz	CoMP, MIMO
		UL		1.4 bps/Hz	2.0 bps/Hz (2x4 MIMO)	MIMO, UL enhancements, CoMP
	Cell edge	DL	0.06 bps/Hz (4x2 MIMO)	0.06 bps/Hz (4x2 MIMO)	0.12 bps/Hz (4x4 MIMO)	CoMP, MIMO
		UL	0.03 bps/Hz (2x4 MIMO)	0.03 bps/Hz (2x4 MIMO)	0.07 bps/Hz (2x4 MIMO)	MIMO, UL enhancements, CoMP
U-plane latency			less than 30 ms	less than 10 ms	less than 10 ms	
C-plane latency			less than 100 ms	less than 100 ms	less than 50 ms	

4G行動通訊技術

- 為了因應未來下一代行動通訊的需求，目前通訊方式已由3G跨越到4G領域，3GPP於2004年12月針對演進UMTS陸地無線存取(Evolved UTRA, E-UTRA)與演進UMTS陸地無線存取網路(E-UTRAN)等議題展開研究，揭開了LTE的標準制訂活動。
- 此一技術製定的目的為提供高資料傳輸率、低延遲與針對封包傳輸最佳化的無線接取技術架構。

4G行動通訊技術

- 根據3GPP TR 25.913文件的定義，LTE下行峰值速率(Downlink Peak Data Rate)為100Mbit/s，上行峰值速率(Uplink Peak Data Rate)為50Mit/s，較WCDMA/HSPA有大幅的演進。
- 由於LTE的技術規格無法完全滿足IMT-Advanced的需求，LTE曾被稱為是3.9G的通訊技術，直至2010年12月6日國際電信聯盟把LTE正式稱為4G。

4G行動通訊技術

- 國際組織國際電信聯合會(International Telecommunications Union, ITU) 為接續現有IMT-2000(3G無線通訊系統)而制定IMT-Advanced(4G通訊標準的稱謂)，以提高行動數據傳輸量為目標。
- ITU對於4G IMT-Advanced關鍵需求條件為，在高速移動中最高傳輸率能達到100Mbps，在低速移動或靜止時最高傳輸率能達到1Gbps。
- 相較於HSPA等3G系統下行速率20Mbps，4G下行速率將高出5倍。

4G行動通訊技術

- ITU亦定義4G為全以IP網路為核心的系統，從語音到多媒體皆走IP傳輸。
- 此外，所採用的4G接取技術(Radio technology)將以OFDMA與MIMO為主。
- WiFi、WiMAX和LTE下下行鏈路的核心演算法是DFT，現實中均採用快速傅立葉變換演算法。

4G行動通訊技術

- LTE與WiMAX，以及3GPP2的超行動寬頻（Ultra Mobile Broadband，UMB）技術常一起被稱為4G，過去的3G技術是指同一無線網路提供語音和數據通訊，但到了4G時代則變成為全數據網路，LTE估計最高下載速率100Mbps與上傳50Mbps以上，比目前已投入使用的部分WiMax更快。

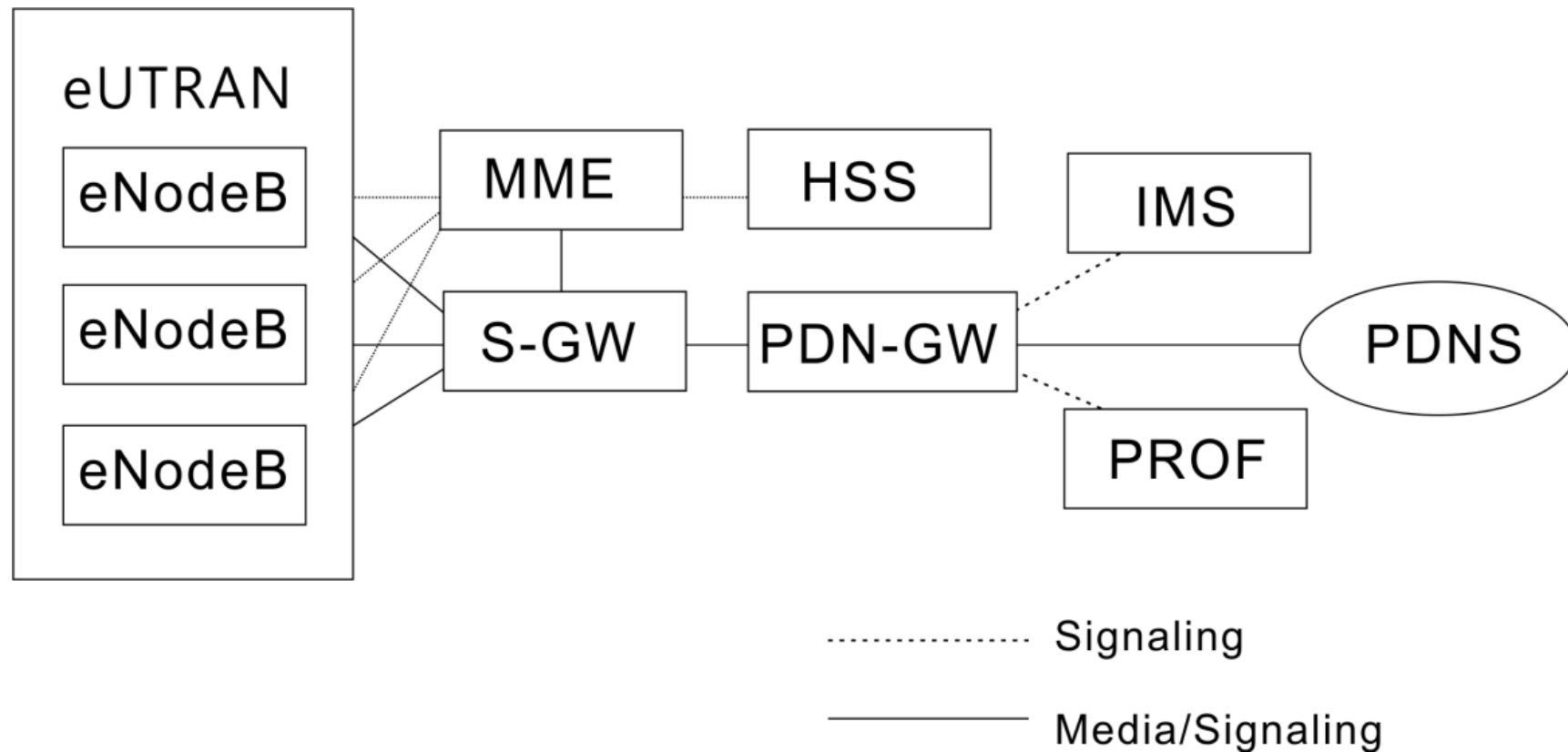
4G行動通訊技術

- 相較於WiMAX的固定無線網路技術，二者都採用了正交頻分復用（OFDM）的訊號傳輸，也都採用了Viterbi和Turbo加速器。
- 但WiMAX是來自IP的技術，而LTE是從GSM／UMTS的移動無線通信技術衍生而來，3GPP計畫在LTE的下行鏈路使用OFDMA，上行鏈路採用SC-FDMA（單載波FDMA，也稱為「DFT擴展OFDM」），可以減少手機耗電。

4G行動通訊技術

- SC-FDMA的優點是訊號具有更低的峰均比（PAPR），因為它採用了固有的單載波結構。
- 由於結合OFDMA/MIMO／HARQ，LTE系統能隨著可用頻譜的不同，採用不同寬度的頻帶，因此LTE的移動能力比WiMAX先進。

圖 18: LTE High-Level 網路結構



LTE 系統架構

- LTE本意為長期演進(Long Term Evolution)，如圖18所示，以IP為基礎的核心網路架構，制定了「系統框架演進」(SAE: System Architecture Evolution)，以現有 GSM/WCDMA為核心，LTE 系統支援 TDD/FDD 兩種雙工方式，採用SC-FDMA/OFDM 新上/下行多址技術，支援最大20MHz 的頻寬，使用扁平化的系統架構並簡化了網元，支援MIMO 和智慧天線等先進技術，能夠提供高速率、低時延、低成本、多種類型和品質等級的服務的4G通訊標準。

LTE 系統架構

- SAE是一個基於全IP網路的平坦架構，以支持系統的控制平面和用戶平面以數據包的形式流量。
- SAE體系結構的主要組成部分是核心分組網演進(EPC，Evolved Packet Core)，也被稱為SAE核心。
- EPC作用與GPRS網路相似，通過移動性管理組件(MME)，服務網關(SGW)和PDN網關(PDN Gateway)子組件實現。

LTE系統架構

- E-UTRAN：Evolved Universal Terrestrial Radio Access，E-UTRA為演進的UMTS陸面無線接入，屬於3GPP LTE 的空中介面，目前是 3GPP 的第八版本。與 HSPA 不同的是，LTE 的 E-UTRA 是一個全新的系統, 絕不相容於 W-CDMA。它提供了更高的傳輸速率，低延遲和最佳化數據包的能力，利用OFDMA無線接入給下行連接，用SC-FDMA給上行連接。在E-UTRA環境下可以提供四倍於HSPA的網路容量，並藉助QOS技術實現低於5ms的延遲。

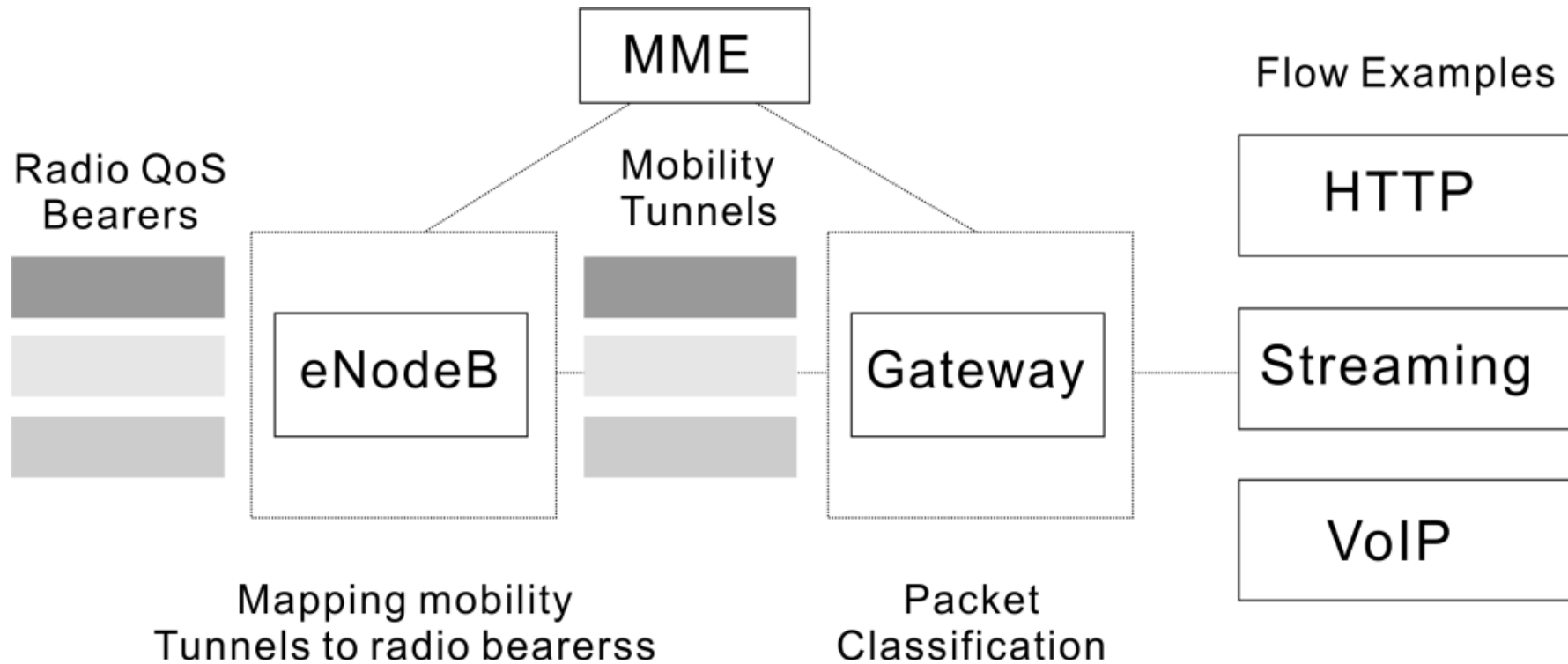
LTE系統架構

- 移動性管理組件(MME)：MME是LTE接入網路的關鍵控制節點。它負責空閒模式UE（用戶設備）跟蹤和尋呼控制。這些內容也包括UE的註冊與註銷過程，同時幫助UE選擇不同SGW，已完成LTE系統核心網（CN）節點切換。通過與用戶歸屬伺服器（HSS）的信息交流，MME還能完成用戶驗證功能。其內部的非接入層（NAS）信令終端也負責生成和分配UE的臨時身份。

LTE系統架構

- 它通過檢查UE內設置的公共陸地移動網（PLMN），決定UE是否能接受當地服務提供商的服務並完成UE的漫遊限制。MME是為NAS信令提供加密/完整性保護的網路節點，並且負責安全密鑰管理。MME也支持合法的信令截取。MME也通過S3埠提供LTE與2G/3G接入網路的控制面功能的移動性管理。MME也支持通過S6A介面完成UE與家庭HSS之間的漫遊服務，圖6.19為QoS Procedure。

圖 19: QoS Procedure



LTE系統架構

- 服務網關(SGW)：SGW負責用戶數據包的路由和轉發，同時也負責UE在eNode-B之間和LTE與其他3GPP技術之間移動時的用戶面數據交換(通過端接的S4介面和完成2G/3G系統與PGW之間的中繼)。對於閒置狀態的UE，SGW作為下行數據路徑極端的一個節點，並且下行數據到達時觸發尋呼UE。SEW管理和存儲UE的上下文，例如IP承載服務的參數，網路內部的路由信息。在合法監聽的情況下，它還完成用戶傳輸信息的複製。

LTE-Advanced系統架構

- LTE-Advanced是3GPP發展的LTE演進版本，旨在符合甚或超越國際電信聯盟的IMT-Advanced規範，建立真正的4G通訊標準。
- LTE-Advanced是LTE在3GPP Release 10及之後的技術版本，正式名稱為Further Advancements for E-UTRA，此項標準在2008年3月開始，2008年5月確定需求，2012年1月正式被國際電信聯盟認可為IMT-Advanced（即4G通訊標準）之一。

LTE-Advanced系統架構

- 它滿足ITU-R的IMT-Advanced技術徵集的需求，不僅是3GPP形成歐洲IMT-Advanced技術提案的一個重要來源，還是一個後向兼容的技術，完全兼容LTE，是演進而不是革命。
- 其關鍵技術要求對包括固定式或是低移動性的用戶提供高達1Gbit/s的資料傳輸速率(Data Rate)；

LTE-Advanced系統架構

- 對於高速移動的用戶則能提供高達100Mbit/s的傳輸速率；支援最高使用頻寬為100MHz；具有高度的網路互通性，可以跟其他通訊系統合作(Inter Working)的功能；廣泛支援全球漫遊各項服務及應用等部分。
- 特色在於針對室內環境進行優化、有效支持新頻段和大帶寬應用與峰值速率大幅提高，頻譜效率有限改進。

LTE-Advanced關鍵技術

- 載波聚合：當前LTE系統在頻帶利用率上已經接近Shannon極限，如果要提高系統吞吐量，就必須提高系統的帶寬或者信噪比，通過載波聚合(Spectrum Aggregation)的方式進行帶寬增強，即把幾個基於20MHz的LTE設計捆綁在一起，通過提高可用帶寬將帶寬擴展到100M。

LTE-Advanced 關鍵技術

- 載波聚合簡單說就是由數個成分載波(Carrier Component)聚合成一個大的載波。
- IMT-Advanced規定成分載波最多為三個，組合方式有三種，分別為同頻段連續載波聚合、同頻段不連續載波聚合，以及不同頻段不連續載波聚合。

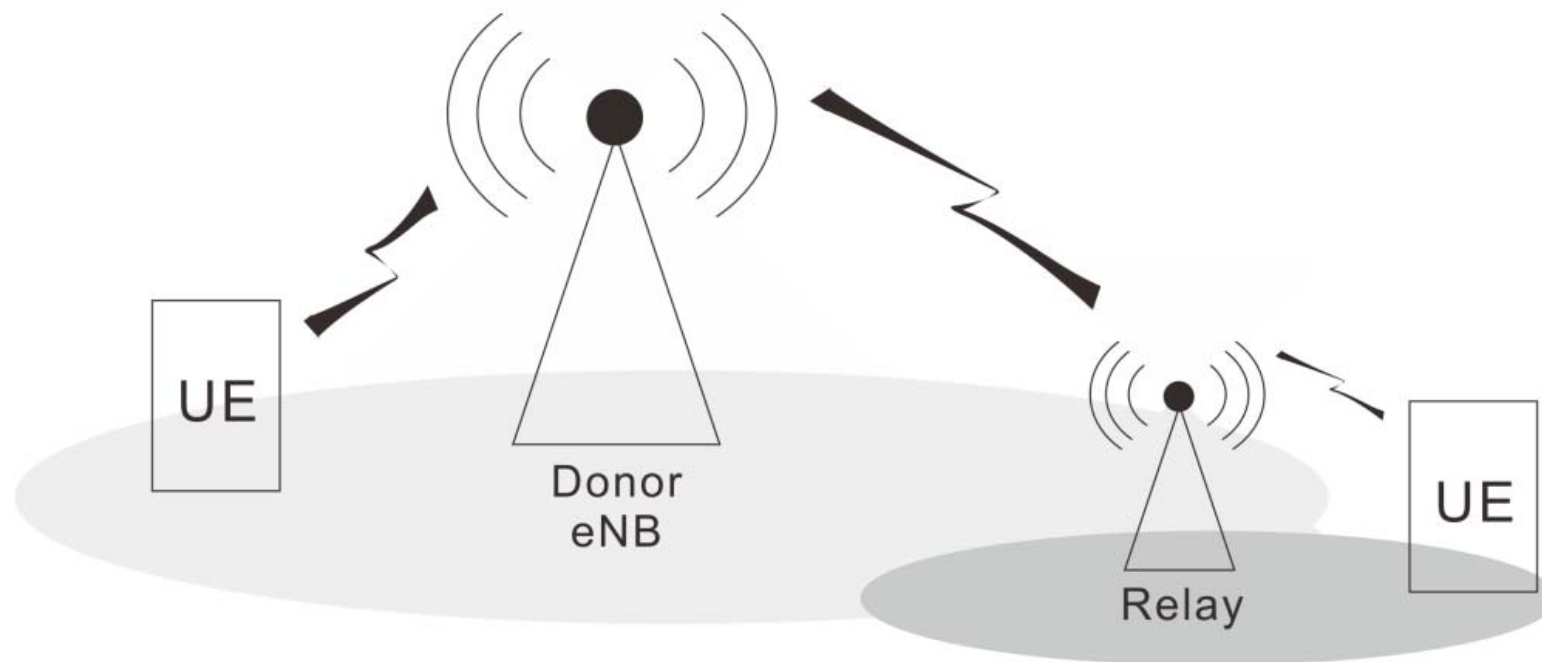
LTE-Advanced 關鍵技術

- 此外，成分載波間的頻率差距須為300kHz的倍數，差距須為副載波(Subcarrier)頻寬(15kHz)以及信道柵(Channel Raster)100kHz的倍數。
- 如果是不相鄰的頻段的成分載波，則多個收發機是必要的。

LTE-Advanced關鍵技術

- 同時成分載波必須符合3GPP R7、R8的頻段規定，因為LTE-Advanced的手機必須向下相容於LTE系統，也就是說在LTE系統裡，LTE-Advanced的手機只支援一個成分載波。
- 最多五個成分載波，每個成分載波最多一百一十個無線區塊(Radio Block)。

圖20: 中繼技術



LTE-Advanced關鍵技術

- 中繼（Relay）技術：Relay Station (RS)：中繼技術是LTE將在Release 10版本中開始引入的另一項重要功能，如圖20所示，傳統基站需要在網站上提供有線鏈路的連接以進行“回程傳輸”，而中繼站通過無線鏈路進行網路端的回程傳輸，因此可以更方便地進行部署。

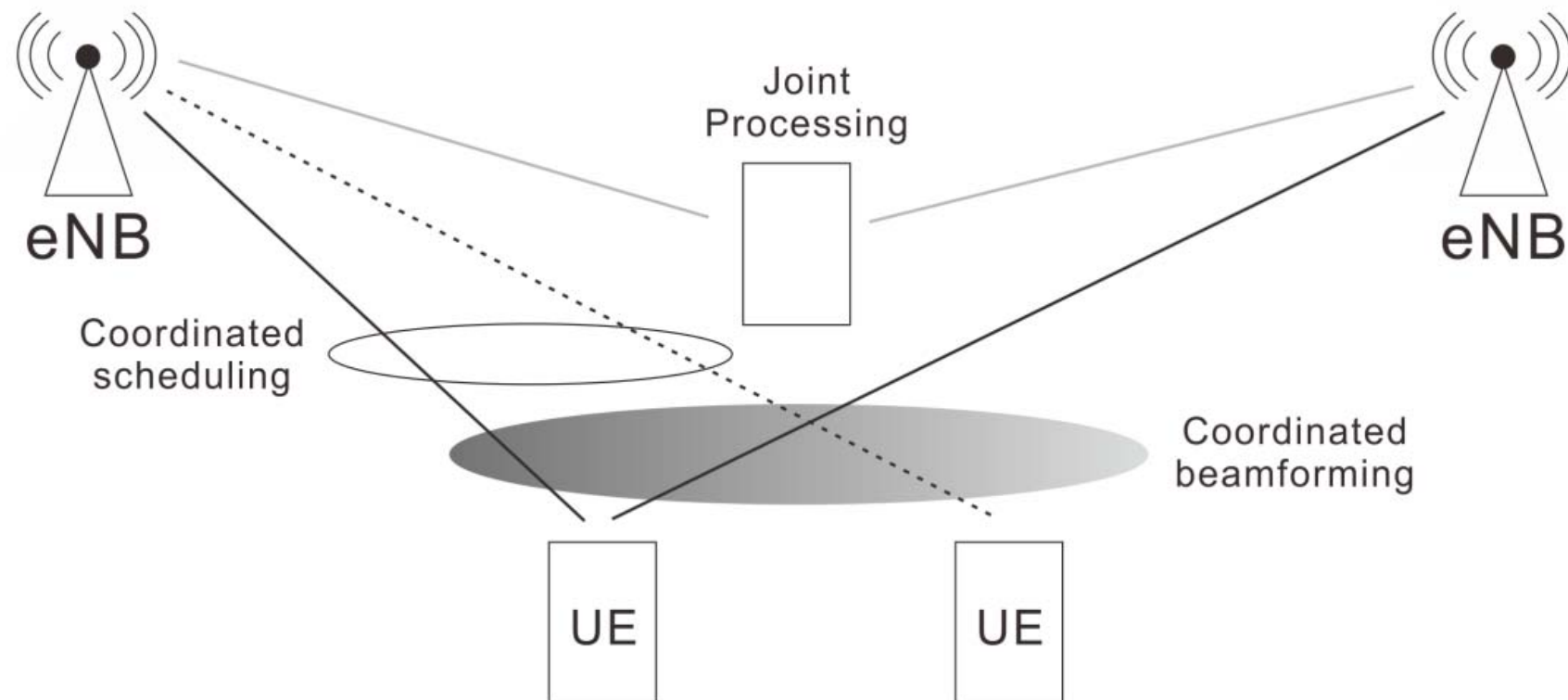
LTE-Advanced 關鍵技術

- 根據使用場景的不同，LTE 中的中繼站可以用於對基站信號進行接力傳輸，從而擴展網路的覆蓋範圍；或者用於減小信號的傳播距離，提高信號品質，從而提高熱點地區的資料輸送量。

LTE-Advanced關鍵技術

- 協同多點傳輸：CoMP，Coordinated Multiple Point Transmission and Reception，是指包括服務社區和鄰社區在內的多個社區網站的天線以一種協作的方式進行接收/發射，改善UE/eNodeB的接收信號品質，降低社區之間的干擾，提升社區邊緣用戶輸送量以及社區平均輸送量。
- 有以下三種方式，如圖6.21所示。

圖21: CoMP網路架構範例



LTE-Advanced 關鍵技術

- 是多個社區之間的協作動態調度/波束賦形(CS/CB)，如聯合波束賦形，多個社區下的多個UE通過調整各自的波束方向，以犧牲部分頻率選擇性增益為代價來減小對其他社區用戶的干擾。
- 動態社區選擇/靜默(DCS/Muting)，同一時間只使用一個點傳輸UE數據，DCS可根據UE提供之RSRP進行快速小區選擇，使得UE一直能使用信號強的傳輸點，提高發射和接收性能。

LTE-Advanced 關鍵技術

- 聯合傳輸(Joint Transmission, JT)，一個UE的資料同時在多個點(CoMP協作集合的一部分或全部點)進行傳輸，以改善接收信號品質，或消除對其它UE的干擾。只有當SINR很低時，SINR的提升才能帶來輸送量的大幅度提升，且超過RB資源的損失，提高單位RB的輸送量，獲得邊緣用戶的輸送量提升；而對社區中心用戶，其SINR提升帶來的輸送量提升不足以彌補RB資源的損失，因此不能獲得輸送量增益。因此，JT只適用於社區邊緣用戶，而對社區中心用戶不適用。

LTE-Advanced關鍵技術

- 多天線增強：Enhanced Multiple Antenna Transmission，要達到LTE-A提出的目標數據傳輸速率，需要通過增加天線數量以提高峰值頻譜效率，即多天線技術。
- LTE Release 8下行支持1、2、4天線發射，終端側2、4天線接收，下行可支持最大4層傳輸。上行只支持終端側單天線發送，基站側最多4天線接收。

LTE-Advanced 關鍵技術

- Release 8 的多天線發射模式包括開環 (Openloop)MIMO，閉環 (Closed loop)MIMO，波束成型 (Beamforming, BF)，以及發射分集。
- 除了單用戶 MIMO (single-user MIMO, SU-MIMO)，LTE 中還採用了另外一種譜效率增強的多天線傳輸方式，稱為多用戶 MIMO (Multi-User MIMO, MU-MIMO)，多個用戶复用相同的無線資源通過空分的方式同時傳輸。

LTE-Advanced關鍵技術

- LTE-Advanced中為提升峰值譜效率和平均譜效率，在上下行都擴充了發射/接收支持的最大天線個數，允許上行最多4天線4層發送，下行最多8天線8層發送，從而LTE-Advanced中需要考慮更多天線數配置下的多天線發送方式。

LTE-Advanced關鍵技術

- 載波聚合通過已有帶寬的匯聚擴展了傳輸帶寬；中繼通過無線的接力，提高覆蓋；CoMP通過小區間協作，提高小區邊緣吞吐量；MIMO增強通過空域上的進一步擴展提高小區吞吐量。
- 利用上述關鍵技術，LTE-Advanced可以滿足並超過LTE與IMT-Advanced的需求。
- 表6為LTE, LTE-Advanced, and IMT-Advanced效能比較[20]。

表6: LTE, LTE-Advanced, and IMT-Advanced效能比較

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA/ HSUPA	HSPA+	LTE	LTE ADVANCED (IMT ADVANCED)
最大下載速率	384k	14M	28M	100M	1G
最大上傳速率	128K	5.7M	11M	50M	500M
Latency round trip time approx	150ms	100ms	50ms (max)	~10ms	小於5ms
3GPP releases	Rel 99/4	Rel 5/6	Rel 7	Rel 8	Rel10
Approx years of initial roll out	2003/4	2005/6 HSDPA 2007/8 HSUPA	2008/9	2009/10	
Access methodology	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA/ SC-FDMA	OFDMA/ SC-FDMA

習題

1. 請畫出電信網路的相關發展圖。
2. 請畫出GSM的系統架構圖，並簡單說明每個子系統的功能。
3. 請說明基地台子系統(BSS)和交換機子系統(NSS)如何在GSM系統中運作。
4. 請說明從GSM演進到2.5G GPRS，在系統架構上有哪些差異。
5. 請說明從GSM演進到2.5G GPRS，實現了電信業者那些傳輸的方式。

習題

6. 請比較3G與2.5G GPRS行動通訊網路在網路架構上的差異。
7. 請簡述UMTS網路架構及各網路元件之功能。
8. 請列出高速下載封包存取HSDPA的相關技術和對HSDPA的影響。
9. 在HSDPA中請敘述，將排程器移動到Node B所帶來的優點。
10. 請列出IMT-Advanced主要需求。

習題

11. 請說明LTE (3GPP第8版本)為何無法正式被稱為4G，而LTE (3GPP第10版本)可以。
12. 在IMT-Advanced最關鍵技術中要求固定式或低移動性的資料傳輸速率可達多少？在IMT-Advanced最關鍵技術中要求高移動性的資料傳輸速率至少要達到多少？
13. 請比較LTE、LTE-Advanced和IMT-Advanced的效能。
14. 請列出3項LTE-Advanced使用的新技術。

參考文獻

1. <http://zh.wikipedia.org/wiki/>，行動電話系統。
2. <http://icritic.ru/2010/02/pochemu-v-ipad-net-wimax-ili-tumannoe-4g>。
3. Jorg Eberspacher, Hans-Jorg Vogel and Christian Bettstetter，2001，GSM：switching, services, and protocols，Wiley出版社。
4. 顏春煌，2008，行動與無線通訊，碁峰資訊股份有限公司。
5. 古德曼，2000，無線個人通信系統，全華科技圖書股份有限公司。

參考文獻

6. Jochen Schiller , 2003 , Mobile Communications , 全華科技圖書股份有限公司。
7. 禹帆編著 , 2002 , 無線通訊網路概論 :GSM,GPRS,3G,WAP,Application , 文魁資訊股份有限公司。
8. Timo Halonen 、 Javier Romero and Juan Melero , 2002 , GSM,GPRS and EDGE performance:evolution towards 3G/UMTS , Wiley出版社。
9. 余兆棠等編著 , 2010 , 無線通訊與網路 , 滄海書局。

參考文獻

10. 周錫增、賴薇如，2006，維科圖書有限公司，個人通訊服務網路。
11. http://www.zwbk.org/zh-tw/Lemma_Show/5011.aspx，中文百科在線。
12. 付景興、馬敏、陳澤強、周華林錦昌編訂，2008，WCDMA for UMT: 第三代行動通訊系統的無線電存取技術與系統設計，五南圖書出版股份有限公司。
13. 賴盈霖，2006，第三代行動通訊系統W-CDMA for UMTS，儒林圖書有限公司。

參考文獻

14. http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Downlink_Packet_Access，維基百科。
15. 周錫增、賴薇如，2006，維科圖書有限公司，個人通訊服務網路。
16. <http://www/.../faculty/ksu/edu/sa/.../3.5G.ppt>，3.5G(HSDPA)。
17. Akira Hashimoto, Hitoshi Yoshino, and Hiroyuki Hiroyuki Atarashi are with NTT DoCoMo Inc .
“Roadmap of IMT-Advanced Development” IEEE MICROWARE magazine, Aug. 2008。

參考文獻

18. http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2134-2008-PDF-E.pdf 。
19. <http://www.rohde-schwarz.com.tw/precompiledweb/BoxDetail.aspx?LibraryID=6> 聚焦LTE：4G應用趨勢與測試應用發展 - LTE –Advanced 。
20. <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5990-6706EN.pdf> ， Introducing LTE-Advanced 。