

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：實習)

**赴美國實習「第三代行動通信系統  
(International Mobile  
Telecommunications, IMT-2000)  
應用之研究」報告書**

行政院研考會/省(市)研考會
總號欄

服務機關：交通部電信總局  
出國人員：電波管理處技正錢聖光  
出國地點：美國  
出國日期：89年12月2日至89年  
12月15日  
報告日期：90年3月6日

**赴美國實習「第三代行動通信系統  
(International Mobile  
Telecommunications, IMT-2000)  
應用之研究」報告書**

## 摘要

第三代行動通信系統 (International Mobile Telecommunications, IMT-2000) 是國際電信聯合會 (International Telecommunication Union, ITU) 對 21 世紀全球行動接取的願景，IMT-2000 是 ITU 之戰略優先目標。

IMT-2000 之樞紐特徵為：

- 全球設計之高度共通性
- IMT-2000 內及與固定網路間之服務相容性
- 高度品質及完整性，語音品質可與有線品質相比
- 容納多種型態之終端機
- 全球漫遊能力
- 多媒體應用能力及廣泛服務如：
  - 視訊會議
  - 高速網際網路
  - 語音
  - 高數據速率：所有無線環境中最少 144kbps，低機動性及室內環境中 2Mbps

IMT-2000 目前主要之系統為：

1. 歐洲電信標準協會 (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) 採用之全球行動通信系統 (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) ，其空中介面為 UTRA (W-CDMA/TD-CDMA)
2. TIA TR-45 之 cdma2000 系統
3. ARIB 之 W-CDMA 系統
4. TIA TR-45 之 UWC-136 系統

# 目次

目的	p5
過程	p5
心得：	p5
1. 基本 UMTS 架構	p6
1.1 一般架構	p6
1.2 GSM 架構	p8
1.3 電路交換	p10
1.4 分封交換	p11
1.5 從 GSM 到 GSM/GPRS 網路	p13
1.6 UMTS 增加之價值	p15
1.7 UMTS 架構	p17
1.8 UMTS 介面	p28
1.9 通信協定 (Protocols)	p30
1.10 位置及路由區域	p31
1.11 非同步傳送模式 (ATM)	p33
1.12 使用者設備 (UE)	p35
1.13 操作，管理及維護 (OAM)	p36
2. 展頻 (Spread Spectrum) 原理	p37
2.1 引言	p37
2.2 兩個通信問題	p38
2.2.1 脈衝雜訊干擾	p38
2.2.2 偵測之低可能性	p42
2.3 展頻系統之型態	p44
2.3.1 BPSK 直接序列展頻	p45
2.3.2 QPSK 直接序列展頻	p50

3. W-CDMA 原理	p55
3.1 接取技術	p56
3.2 分碼多工	p59
3.3 通道碼-OVSF	p63
3.4 攪拌碼-PN	p65
3.5 基本 W-CDMA 要素	p67
建議	p78
研讀書目	p79

目的：研究第三代行動通信基本學理技術，以增進學識技能，配合工作之需要。

過程：

交通部電信總局電波管理處技正錢聖光赴美國研究期間為八十九年十二月二日至十五日，為期二週。研究處所為美國德州達拉斯 Richardson 該地之 Nortel Networks 公司（在我國為北電網絡(亞洲)有限公司）。

達拉斯 Richardson 附近正逐漸形成一電信產業中心，除 Nortel Networks 公司外，並有 Ericsson 公司、Alcatel 公司等知名大廠進駐。在第三代行動通信系統方面，Nortel Networks 公司有完整的 UMTS 無線接取網路產品：

- 基地台 (Base Transceiver Station, BTS) 產品：Macro, Micro, 及 Pico. 稱為 e-mobility Internet BTS (iBTS).
- 無線網路控制器 (Radio Network Controller, RNC) 產品：支援 3GPP 標準化之所有開放介面。由 Interface Node (Passport 15000) 及 Control Node (BSC e3 Control Node) 組成。

並且有：

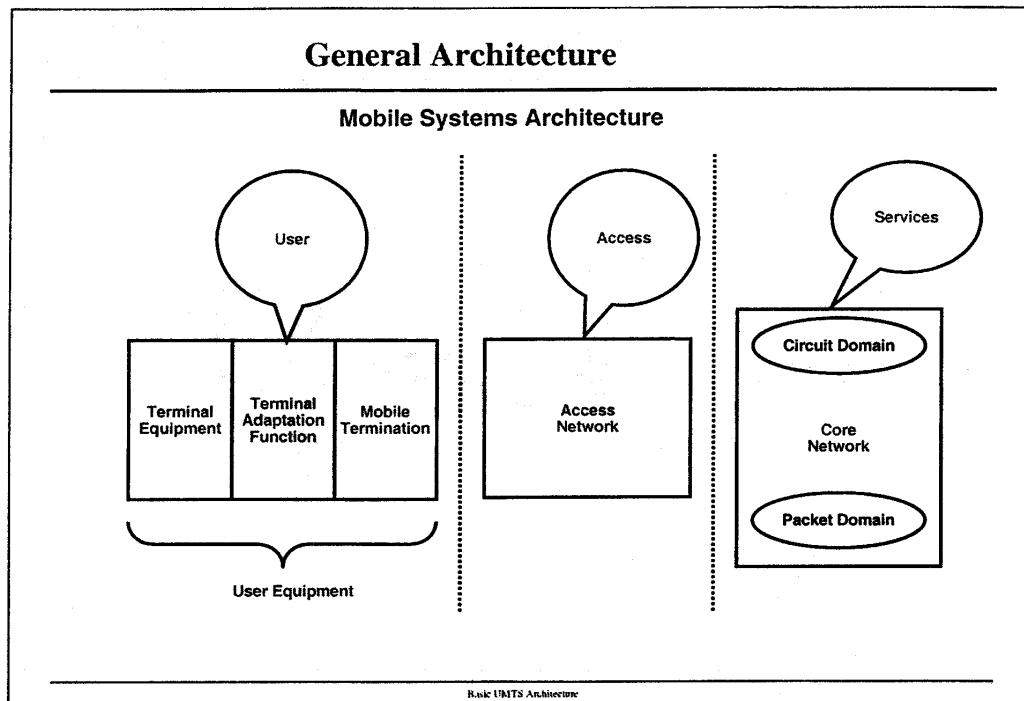
- 無線閘道 (Wireless Gateway) 產品
- 行動交換中心 (Mobile services Switching Center, MSC) 產品
- 閘道 GPRS 支援節點 (Gateway GPRS Support Node, GGSN) 產品

心得：

1. 基本 UMTS 架構
2. 展頻 (Spread Spectrum) 原理
3. W-CDMA 原理

# 1.基本 UMTS 架構

## 1.1 一般架構



行動通信系統係基於下列部份：

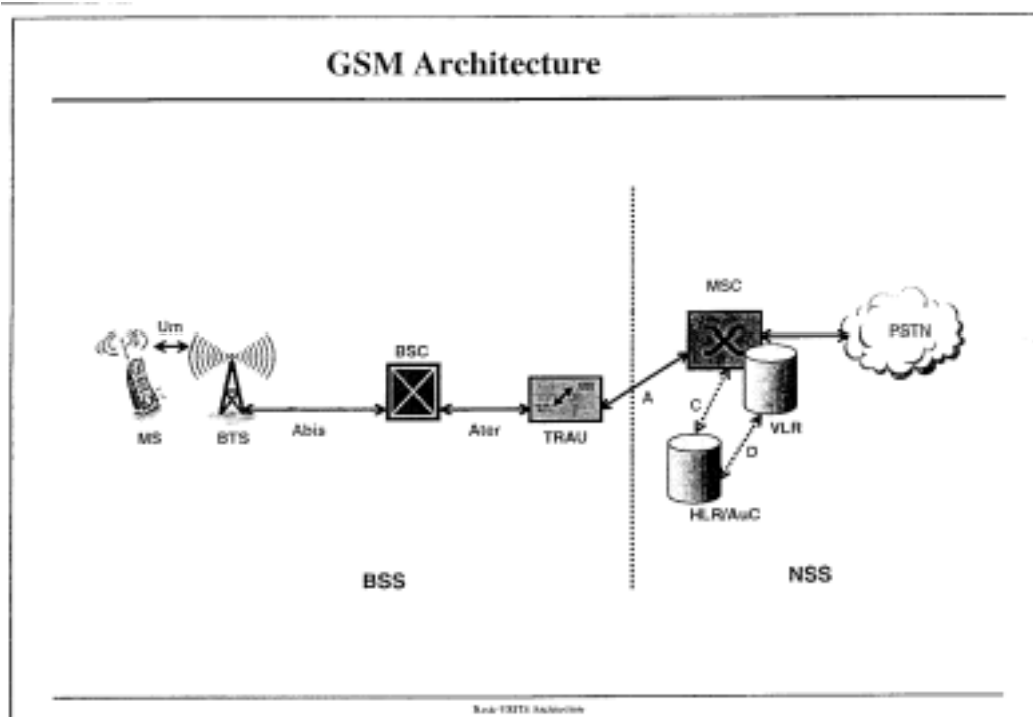
- 使用者設備 (User Equipment, UE) ，是使用者對系統之接取點，提供使用者說話及發射、接收數據的方法。UE 通常可細分為三部份：
  - 終端設備 (TE)：直接與使用者接觸的設備 (例如 UE 的螢幕或連接的膝上型電腦)。
  - 終端轉換功能 (Terminal Adaptation Function, TAF)：負責 TE 與 MT 之轉換。
  - 行動終端 (Mobile Termination, MT)：與技術有關，提供接取網路的方法及所有服務共同的功能。
- 接取網路 (Access Network)：由發射機/接收機組成，介面到 UE。提供 UE 與核心網路間之傳輸設備 (以

數據速率、服務品質表示之)。

- 核心網路 (Core Network)：負責介面到其他網路，提供資訊之路由，並提供服務給使用者。服務可以憑核心網路而定，或者核心網路可以用來給服務平台接取。核心網路也負責收費 (billing)。今日核心網路可視為有兩部份：電路交換 (Circuit Switched, CS)部份 (例如語音服務)，及分封交換 (Packet Switched, PS)部份 (數據服務)。



## 1.2 GSM 架構



GSM 系統基本上設計為兩個主要次系統之結合：基地台次系統 (Base Station Subsystem, BSS) 及網路次系統 (Network Subsystem, NSS)。為確保網路經營者有數種細胞基本結構設備的來源，GSM 決定不但指定無線電介面，並指定確認各不同部份的各主要介面。有三個不同的主控介面，即是：

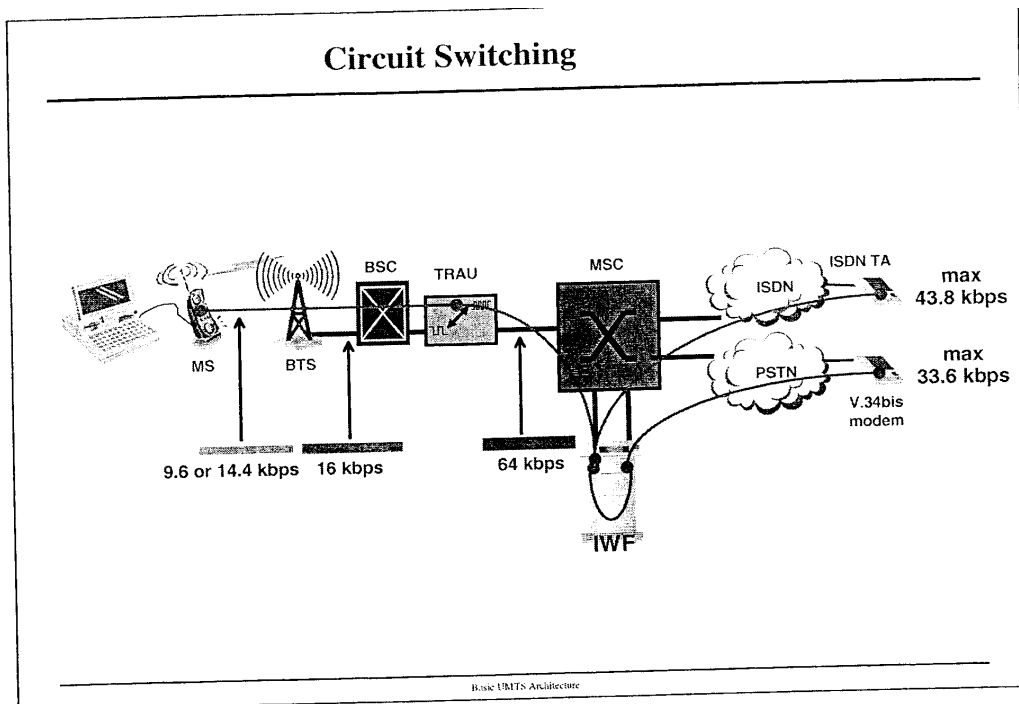
- Um 介面：介乎行動台 (Mobile Station, MS) 和基地台 (Base Transceiver Station, BTS) 之間。
- Abis 介面：介乎基地台和基地台控制器 (Base Station Controller, BSC) 之間。
- A 介面：介乎基地台控制器和網路次系統之間。

基地台次系統包含相關於無線電路徑上連接管理之設備及功能，包括交接 (handover) 之處理。它主要由基地台、基地台控制器、及轉碼器/速率轉換單元 (Transcoder / Rate Adaptation Unit, TRAU) 所組成。

網路次系統包含相關於末端對末端呼叫 (end-to end calls)、用戶管理、機動性 (mobility)、及與固定網路 (公眾交換電話網路, Public Switched Telephone Network, PSTN) 介面之設備及功能。

特別地，網路次系統由行動交換中心 (Mobile services Switching Centers, MSC)、訪客位置記錄器 (Visitor Location Registers, VLR)、本地位置記錄器 (Home Location Registers, HLR)、及認證中心 (Authentication Center, AuC) 所組成。

### 1.3 電路交換



一個電路是一個發射機和一個接收機之間建立的一個通道。

這電路應該在任何形態的傳輸開始前被建立，通信結束時被釋放。

為執行上述功能，信令訊息 (signaling messages) 被交換，以建立或釋放電路。

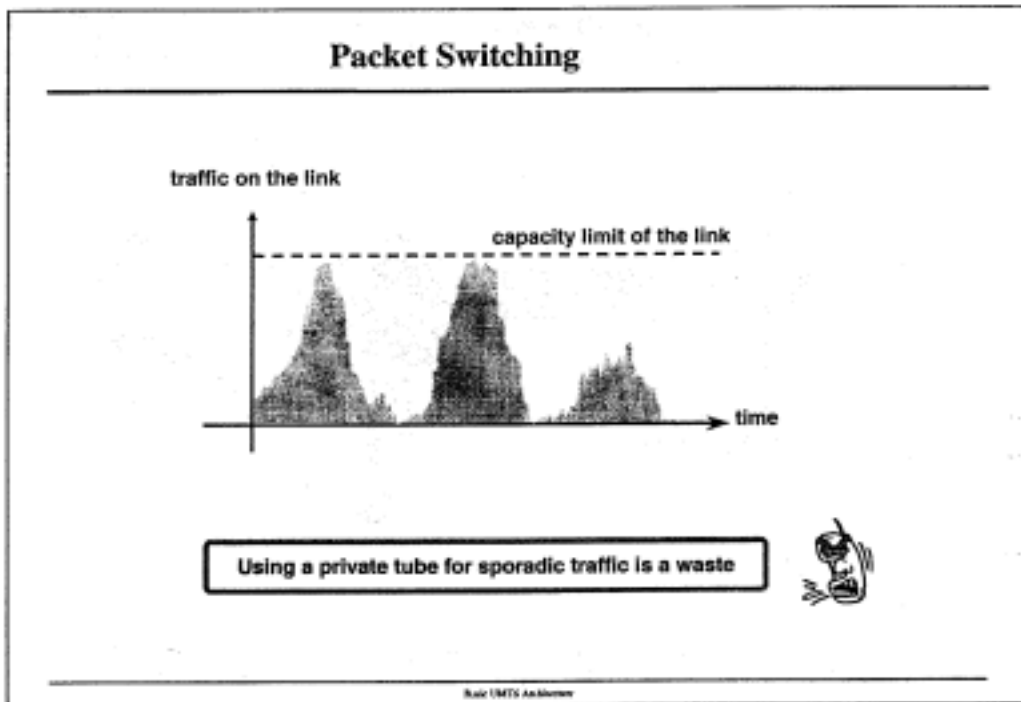
這電路被使用，一直到通信結束。

此模式中，對使用者而言資源是有保證的，以數據速率或可獲得性而論，因為使用者是單獨使用電路。

此資源的付費方式是以時間為基礎。這意味著它適合連續資訊傳遞，例如語音或連續數據傳輸。

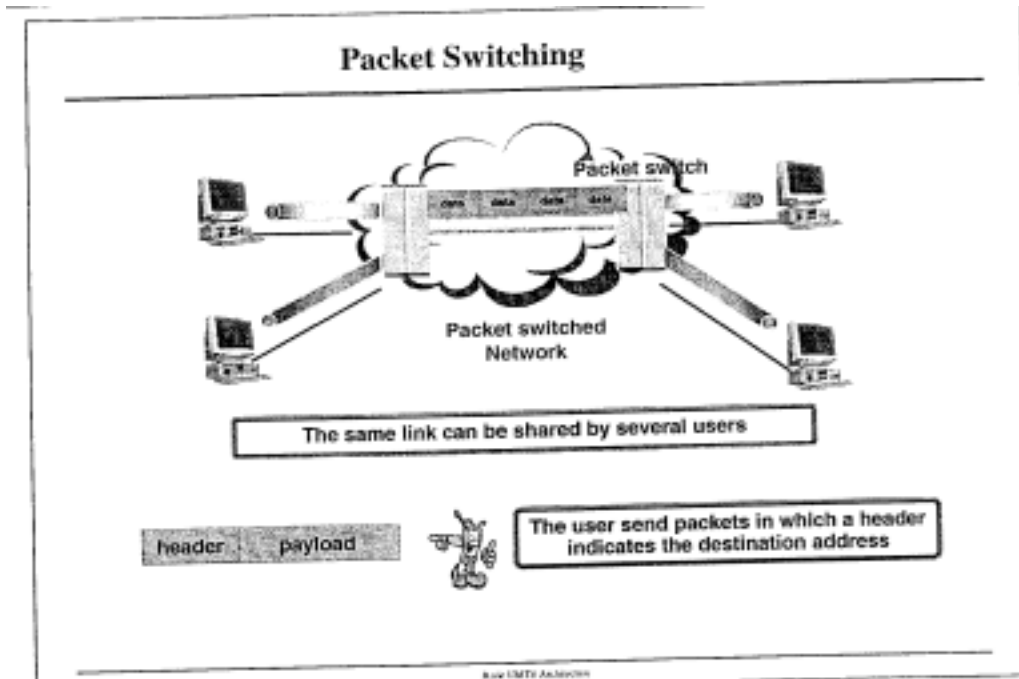
反之，對偶發的傳遞它是沒有效率的，因為即使什麼都不傳送，資源仍然是被佔用的。

## 1.4 分封交換



對許多應用（如網際網路、視訊）而言，通信中資訊流量並非固定，有許多傳輸之高峰。如採用電路交換連接方式會產生很大的浪費，因為你必須選擇傳輸的最大峰值速率作為連接的最大速度。

大部分時間使用者並不以此速率傳送，所以頻寬就被浪費了。



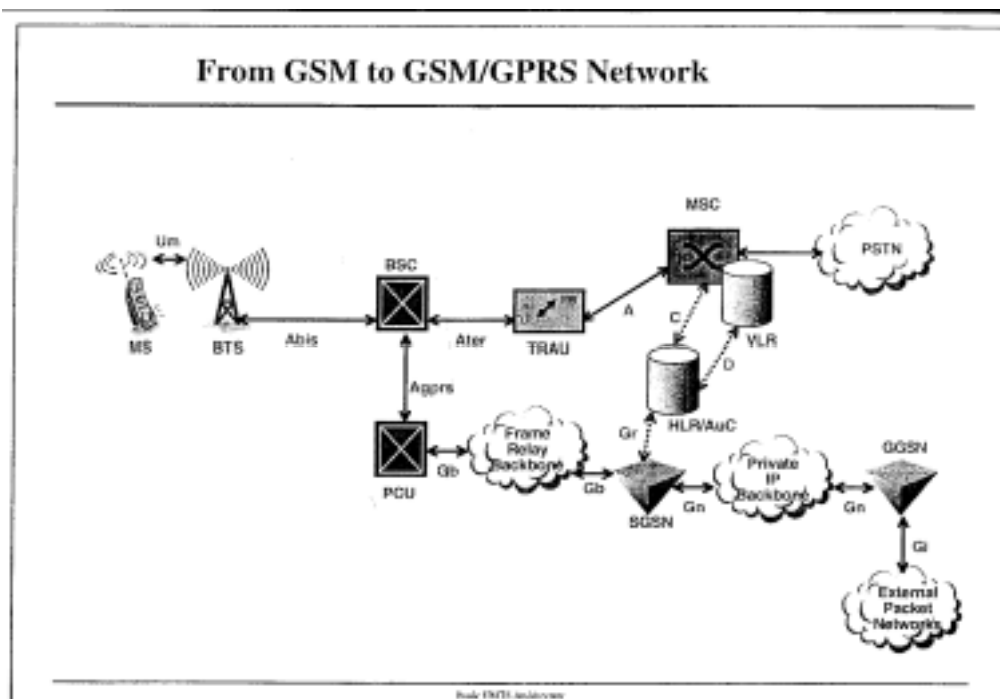
分封交換之基本觀念為：

- 每個使用者發送內含目的地址之封包 (packets)。當使用者沒有資訊要傳送時，就不送封包。
- 所有的封包分享相同的資源，網路中再沒有私用的管道。

與電路交換模式比較，頻寬浪費比較少，但是可能有網路堵塞的危險。

堵塞的效應及網路如何處理視使用連線的應用形態、與經營者的服務約定、及使用的封包技術而定。

## 1.5 從 GSM 到 GSM/GPRS 網路



支援 GPRS (General Packet Radio System) 並不代表現有 GSM 基本結構之主要升級。最大的衝擊是增加兩個新的網路實體，伺服 GPRS 支援節點 (Serving GPRS Support Node, SGSN) 及閘道 GPRS 支援節點 (Gateway GPRS Support Node, GGSN)。

對基地台沒有硬體衝擊，除了引進 PCU 來支援 Gb 介面 (邏輯上位於 PCU 和 SGSN 之間) 之封包導向性質之外，整體之 GPRS 代表基地台次系統之軟體升級。

GPRS 的結構是被設計使得信令及高階數據協定與系統無關，只有無線電介面的低階協定必須被更改以能夠運作相同的服務。

SGSN 的主要功能為：

- 偵測並記錄服務區中之 GPRS 行動台

- 發送至行動台並從行動台接收數據封包

GGSN 的主要功能是在外界分封網路與 GPRS 網路之間傳送數據封包。

除了路由及數據傳送功能外，SGSN 及 GGSN 收集通常用作收費根據的費用統計資料。

## 1.6 UMTS 增加之價值

Added Value of UMTS	
Comparison	
GSM/GPRS limitations	UMTS solutions
Equipment: too many (some are even having same functionality)	Reduced number of equipment
Data rates: not sufficient for new types of services	Rates adapted to new services like videophony, live video (rates up to 2 Mbps)
Quality of Service (QoS): not really	QoS implemented to support delays, errors, ...
Services: linked to core network, not able to evolve quickly, difficult to be operator dependent	Services: the purpose of UMTS is to develop services that are comparable to fixed networks ones, quick to implement
Some interfaces are not standardized	Core Network and Access Network are independent, in order to allow interconnection of new Access Networks without changing the Core Network.

Back UMTS Architecture

UMTS 系統已被設計為一個完整的系統，它不但能運輸語音或數據，速率高達 2Mbps，並能以延遲的說法提供服務品質 (Quality of Service)，等等。

所以它不是覆蓋層，像 GPRS 之對於 GSM。

接取網路是全新的，使用 W-CDMA 傳輸技術。

核心網路使用分封骨幹作為交通方法。

無論如何，許多 UMTS 經營者是真正的 GSM/GPRS 經營者。

這就是為什麼，為確保平滑的轉變，靠著再利用 GSM/GPRS 網路中已有的 CS 及 PS 部分，分封骨幹核心網路成為了焦點。

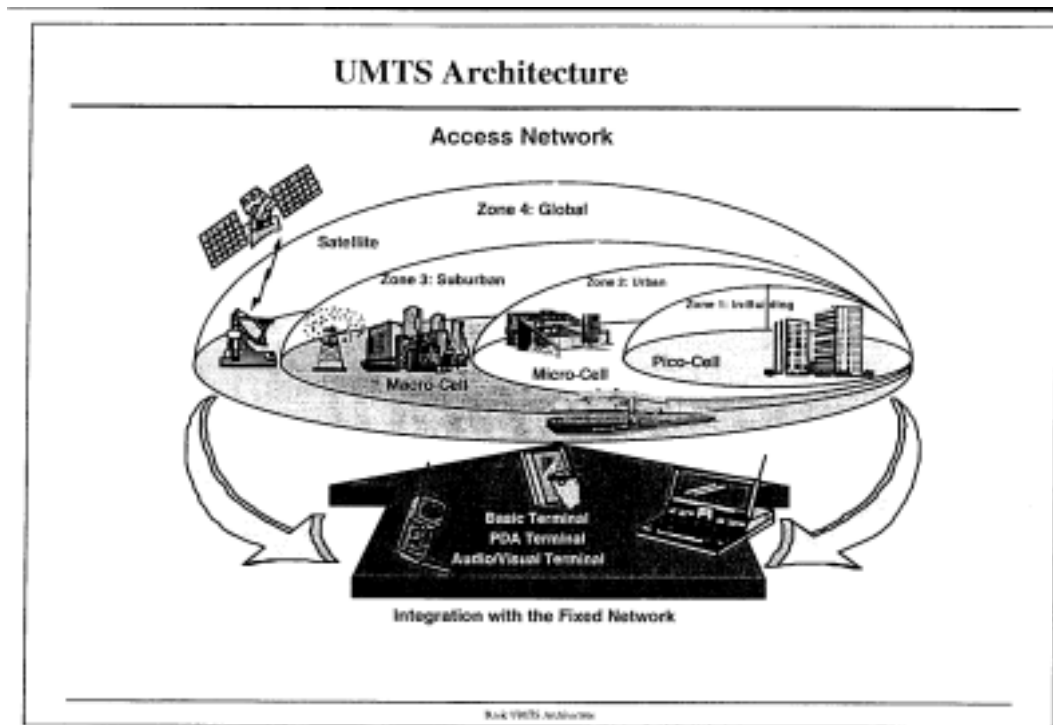
服務：在 GSM (及 GPRS) 中，大多數服務是直接與核心網路軟體及硬體相關聯。這意味要快速發展新服務是很困難，



並與經營者特殊相關。為了儘可能獨立，智慧型網路 (Intelligent Network, IN) 愈形重要，但是它仍然依賴必須與它一同發展的核心網路。

UMTS 核心網路的優點是它提出一個架構，為運送服務可提供新的介面及通信協定，不用綁在它的發展上。

## 1.7 UMTS 架構



新資訊科技超越單純語音服務的發展（網際網路，多媒體）引導至機動性觀念之延伸。對無線電話系統，機動性觀念侷限於一個小的地理區域（家庭）。隨著行動電話技術的發展，感謝漫遊服務，機動性已延伸至大區域（許多國家）。衛星提供全球性的涵蓋，但容量較小。每一次使用者必須依據他的服務期望及本地的限制來選擇合適的技術。

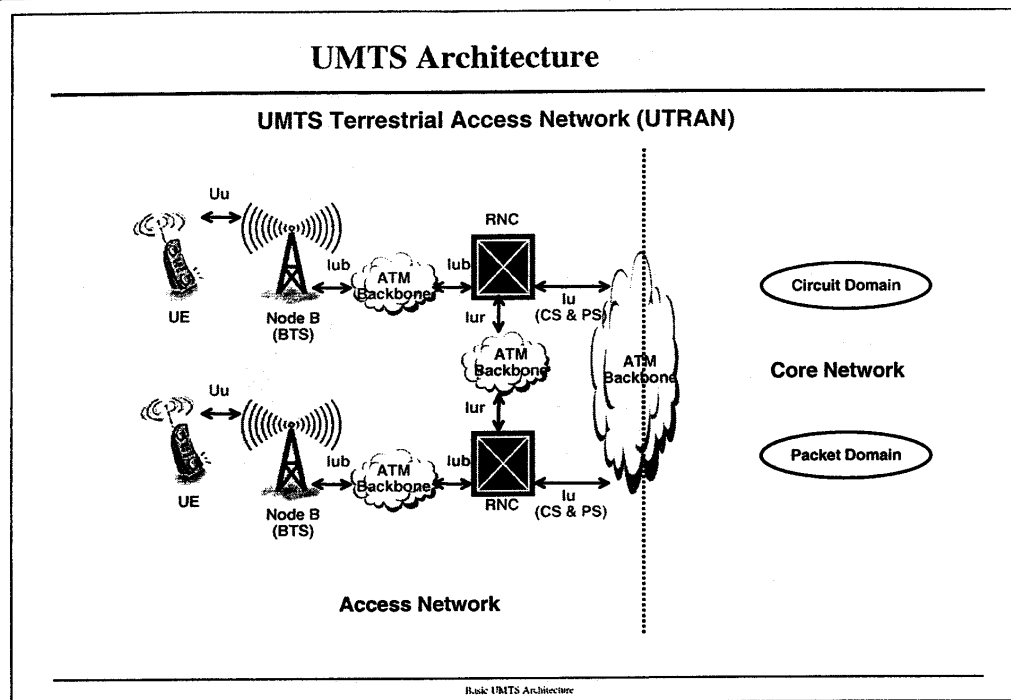
全球機動性的觀念是使用所有這些技術來提供使用者最好的服務，依據環境限制及從一區域移動至另一區域無縫之連續性（即任何地點-任何時間之通信）。連接一個獨特個人號碼的獨特行動終端機提供了無所不在的服務，不必知道所在的網路及使用的技術（例如為鄉村之衛星，為室內之BRAN，...）。

不同型態之接取顯然產生了不同的無線接取網路（Radio

Access Network, RAN) 。然而，真正的全球漫遊要求不同系統間有某些程度之相容性，當改變較低協定層以適合接取方法時，允許多模式使用者設備 (multimode user equipment) 可以做相同的呼叫建立及使用者通信處理。

無線接取網路：

- 寬頻無線接取網路 (Broadband Radio Access Network, BRAN)
- UMTS 陸地無線接取網路 (UMTS Terrestrial Radio Access Network, UTRAN)
- UMTS 衛星無線接取網路 (UMTS Satellite Radio Access Network, USRAN)



### 節點 B (Node B)

這是一個觀念代表一個邏輯節點，負責一個或多個細胞之無線發射及接收 去/從 使用者設備。

### 基地台 (Base Transceiver Station, BTS)

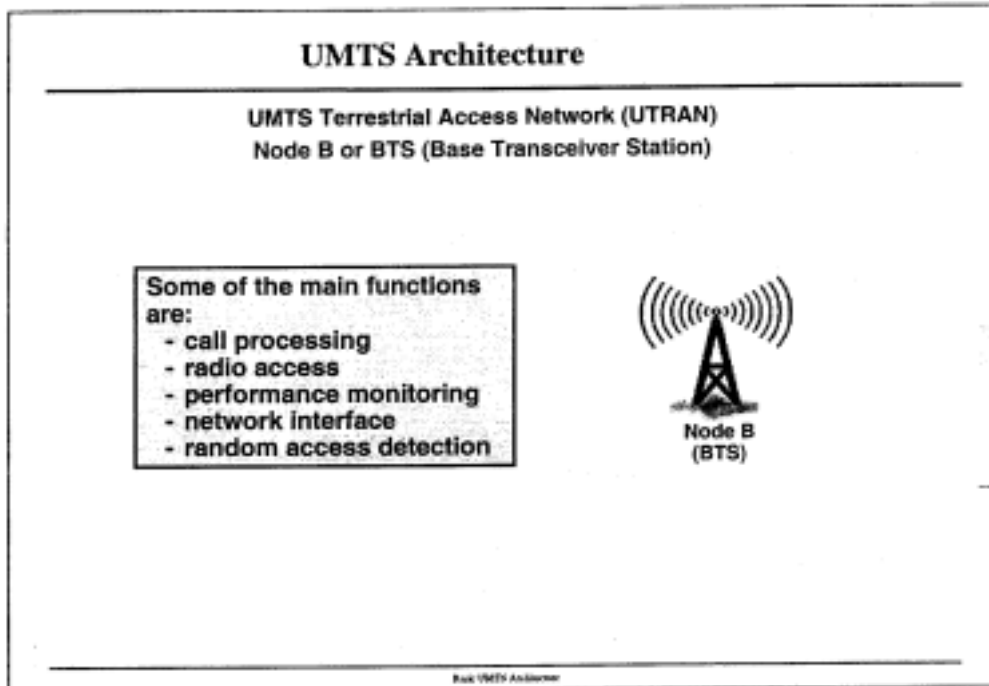
節點 B 觀念可與基地台執行的功能相結合。基地台支援 5MHz 載波並提供控制一個或多個細胞所需之 W-CDMA 編碼。基地台最大容量比較可能受限於可能的使用者數據速率數目，在干擾位準變得太高之前。

### 無線網路控制器 (Radio Network Controller, RNC)

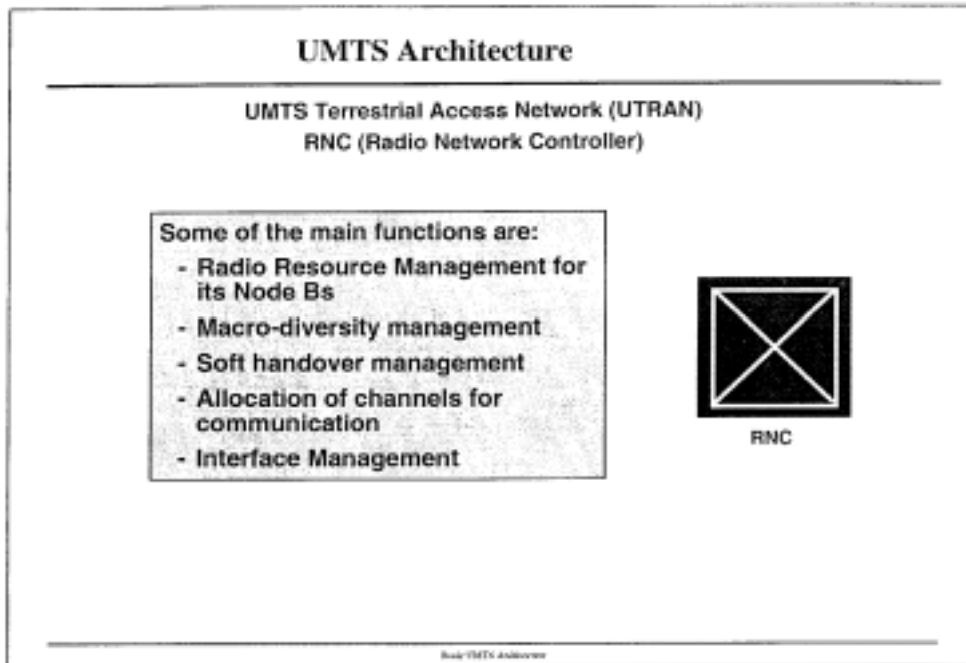
UMTS 中之 RNC 是與 GSM 的 BSC 及 GPRS 的 PCU 相當。它負責無線資源管理及節點 B 之控制。由於鄰近 RNC 之間有干擾，核心網路不參與交接 (handover)。

### 無線網路次系統 (Radio Network Subsystem, RNS)

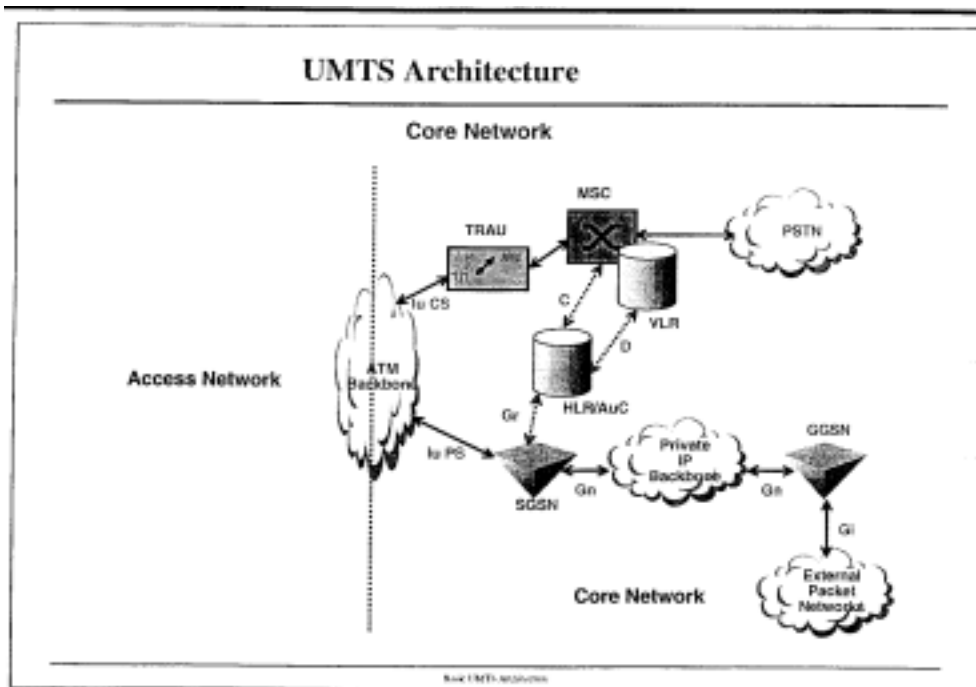
RNS 由一個 RNC 及相接的 B 節點組成。



如前述，基地台主要責任是與使用者設備發射及接收無線電信號，經由無線介面 Uu。要完全執行此功能，信號一方面被編碼、調變、放大，另一方面被解調變、解碼。基地台並負責執行並報告無線電測量給無線網路控制器。它偵測從使用者設備來的隨機接取。基地台處理對使用者設備及無線網路控制器的介面。



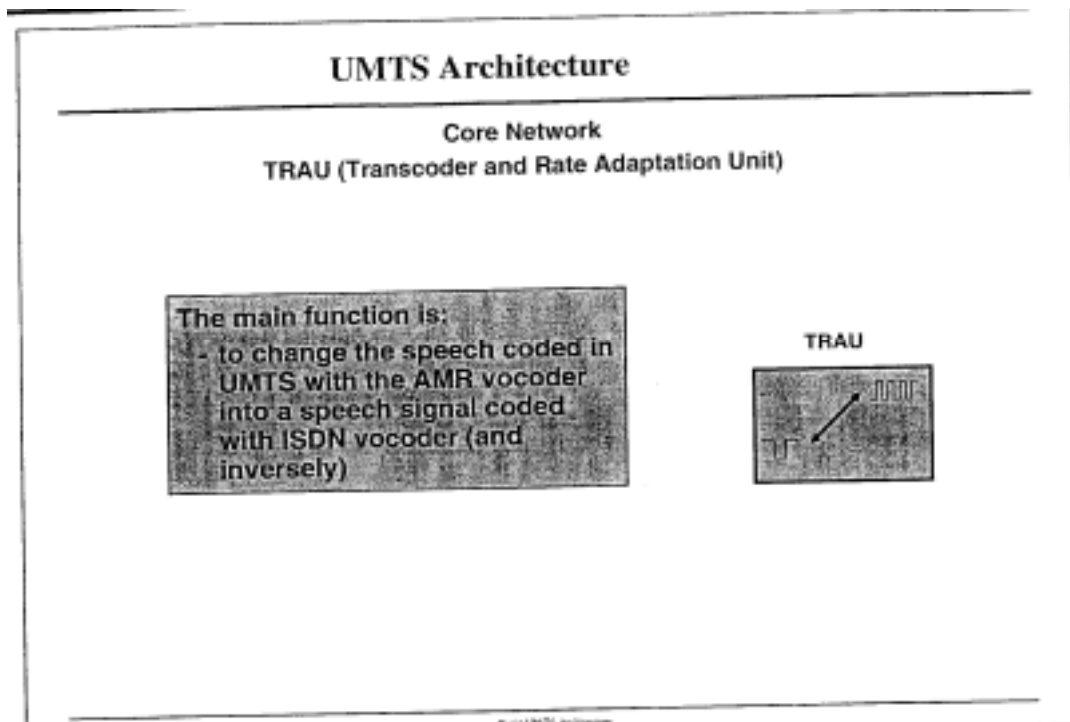
無線網路控制器是無線網路次系統的中心元件。  
它的主要功能是控制並管理無線接取網路的無線電資源。  
它建立或再建立呼叫，釋放不再被使用的資源。  
這些功能是無線資源管理 (Radio Resource Management, RRM) 的一部份。  
它控制執行交接 (handover, hard or soft) 的決定。  
它支援大分集 (macro-diversity) 的結合或分離之功能。  
它監督整體之無線網路次系統，並為之負責。  
它管理到節點 B、其他無線網路控制器、及核心網路之介面。



轉碼器/速率轉換單元 (Transcoder / Rate Adaptation Unit, TRAU)

完全成熟的 UMTS 網路之無線接取網路中沒有轉碼器，此功能在核心網路中。

其餘功能係來自 GSM 網路次系統及 GPRS 核心網路。



轉碼器/速率轉換單元 (Transcoder / Rate Adaptation Unit, TRAU) 是一個裝置,它將 UMTS 語音封包轉換為標準 ISDN 64Kbps 語音封包。

UMTS 中,此功能為核心網路之一部份。

有些最佳化程序允許繞過它不作轉碼,例如使用者設備對使用者設備通信之情形,因為雙重轉碼等於無意義。

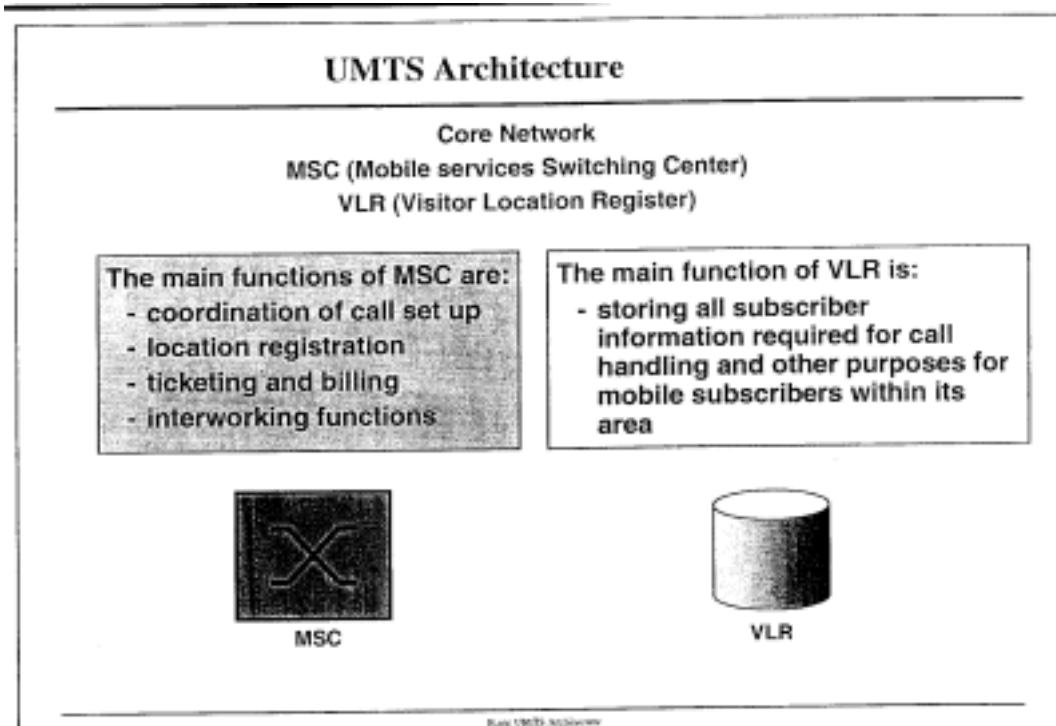
UMTS 中預設之語音編碼器 (vocoder) 是適應多速率語音編碼器 (Adaptive Multi Rate vocoder, AMR)。

其速率變化介乎 12.2Kbps 及 4.75Kbps。

但電路交換領域中速率仍然是 64Kbps。

轉碼器/速率轉換單元也在一側以 AAL2 與無線網路控制器介面,在另一側以分時多工 (Time Division Multiplex, TDM) 與行動交換中心 (MSC) 介面。





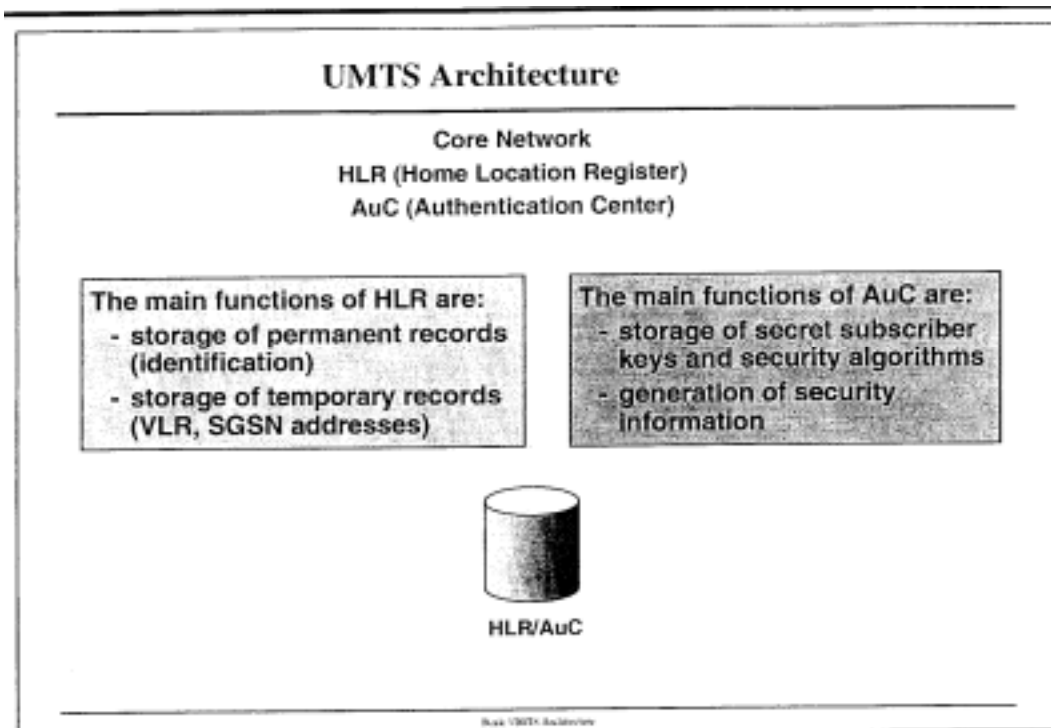
行動交換中心 (MSC) 主要必須提供自 ISDN 所知之基本交換功能，並有額外之能力處理行動用戶。

MSC 協調運作在它的區域所有 UMTS 用戶撥入及撥出呼叫之建立。特別地，MSC 控制進來呼叫之叫人功能 (paging function)。

此外，MSC 對區域中所有用戶執行呼叫之票務 (ticketing)。進一步，MSC 從訪客位置紀錄器 (Visitor Location Register, VLR) 傳送加密係數到 UMTS 陸地無線接取網路 (UTRAN) 以在無線電介面上致能加密。

訪客位置紀錄器 (VLR) 含有為呼叫處理及其他目的所需的所有用戶資料，為目前位於 VLR 控制區域之行動用戶。

VLR 支援一個行動叫人及追蹤次系統在行動台目前漫遊之本地區域中。



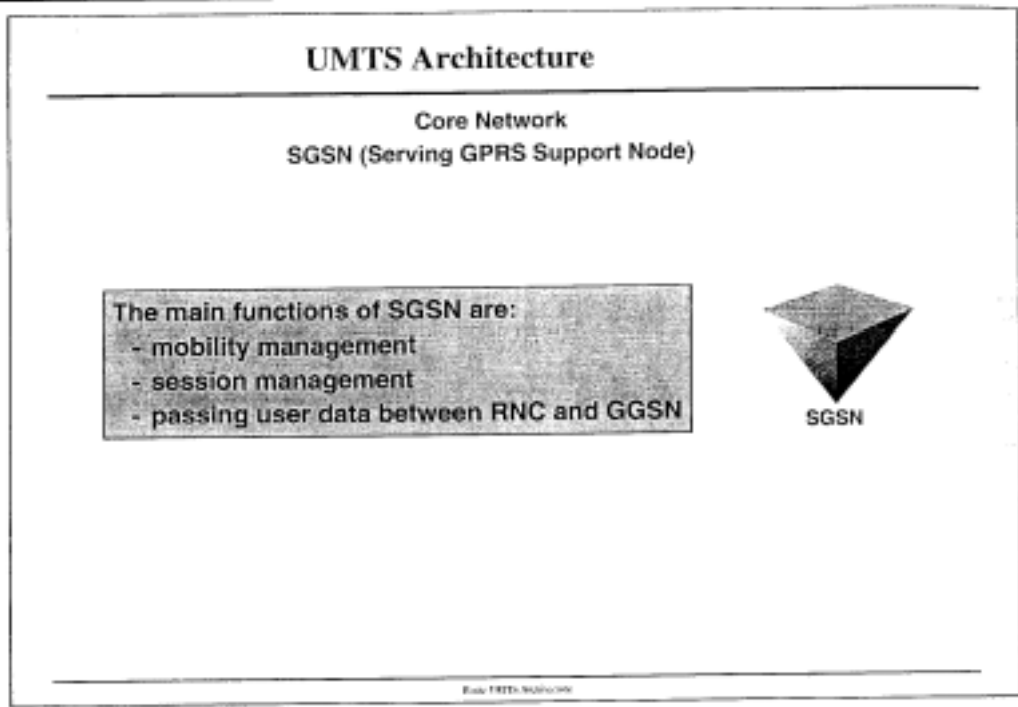
本地位置紀錄器 (Home Location Register, HLR) 是一個儲存用戶資料的資料庫。它實行下列功能：

- 永久用戶數據 (辨識資料、租約資訊、服務限制) 之處理
- 暫時用戶數據之處理
  - 用戶漫遊之目前 VLR、SGSN (伺服 GPRS 支援節點) 位址
  - 安全資訊
- 與 AuC 資料庫對話

認證中心 (Authentication Center, AuC) 是一個儲存機密用戶鎖鑰 (key) 及安全演算法的資料庫。

它為認證及加密產生安全資訊。

為安全理由 AuC 經常與 HLR 有一個內部介面。然而這是一個配置的選擇。位於 AuC 的安全演算法是由 HLR 決定來啟動。



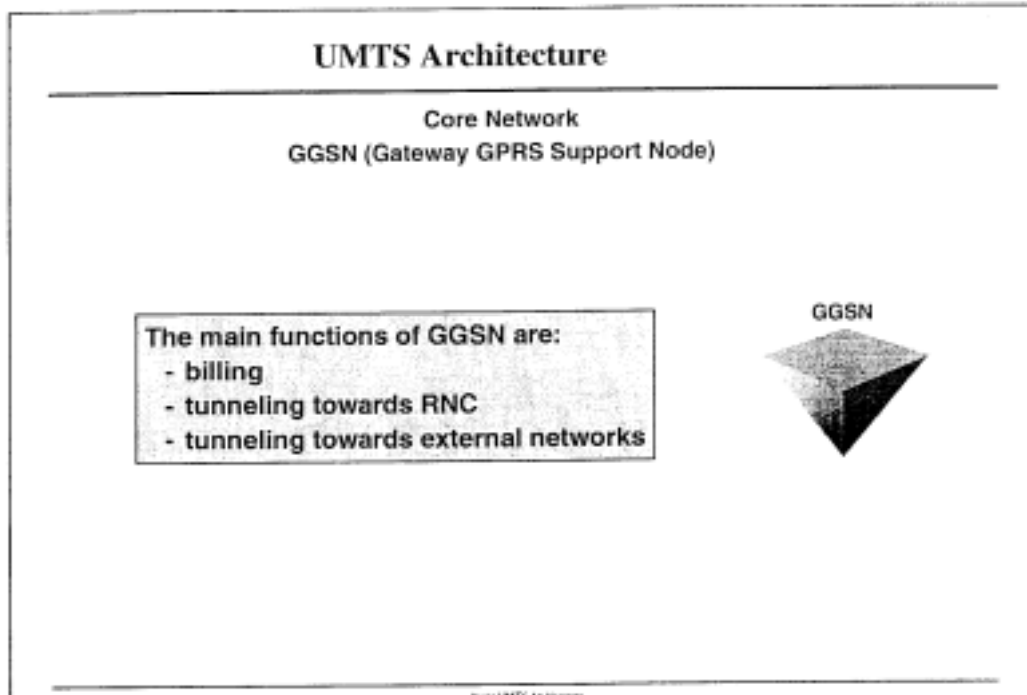
伺服 GPRS 支援節點 (Serving GPRS Support Node, SGSN) 實行：

- 機動性管理
- RNC 及 GGSN 之間數據封包之路由
- 認證

機動性管理實行數件工作：

- 活動期間 (session) 管理
- 狀態控制：行動台狀態
- 下鍊數據封包之路由

SGSN 追蹤個別使用者設備的位置並實行安全功能及接取控制。



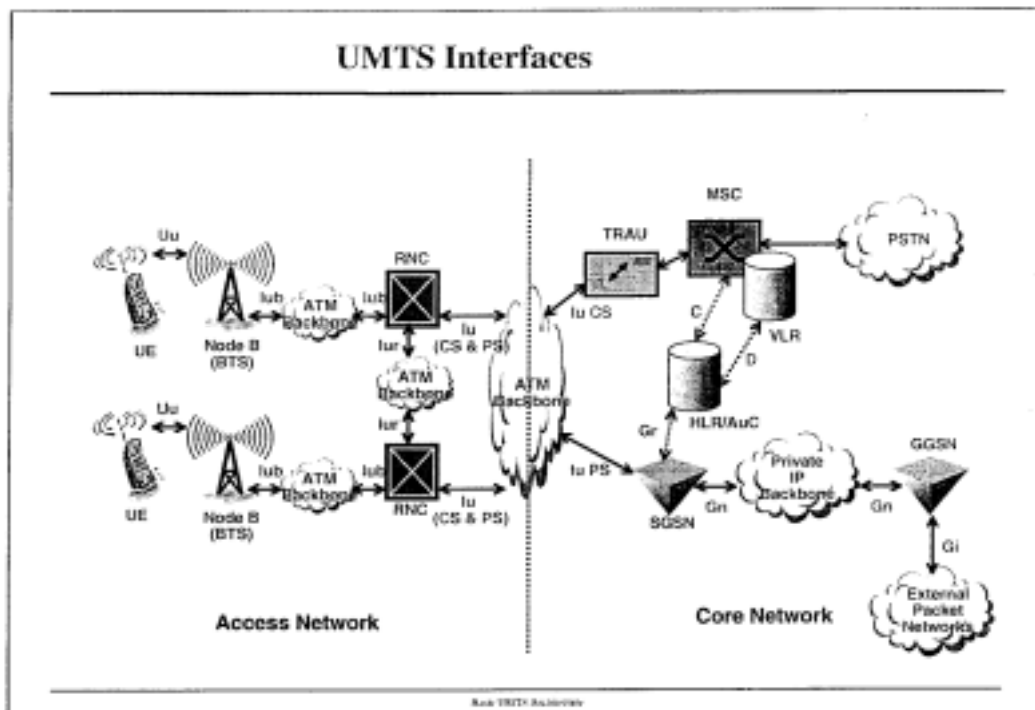
閘道 GPRS 支援節點 (Gateway GPRS Support Node, GGSN) 是作為 UMTS 網路與外界分封數據網路 (PDN) 之間的連接點。

除了在 UMTS 網路系統本身中提供通道 (tunneling) 能力外，它還需要能夠提供 UMTS 使用者及 IP 世界之間安全通信的功能特徵。

它經由一個 IP 基底的封包領域公眾陸地行動 (PLMN) 骨幹網路與 SGSN 連接。

GGSN 包含所有 UMTS 模式傳輸，為使用任何 GGSN 提供的服務之行動用戶，所需的用戶數據。

## 1.8 UMTS 介面



因為 UMTS 是一個新技術，介面也被給了新名字。值得一提的是，這些介面是完全標準化的，即使是無線網路控制器和節點 B 之間的那一個。

Uu 介面 (UMTS User interface)：此介面使用在節點 B 和使用設備之間。它是憑無線電使用的技術 (例如可以是 W-CDMA 或 TD/CDMA) 而定。

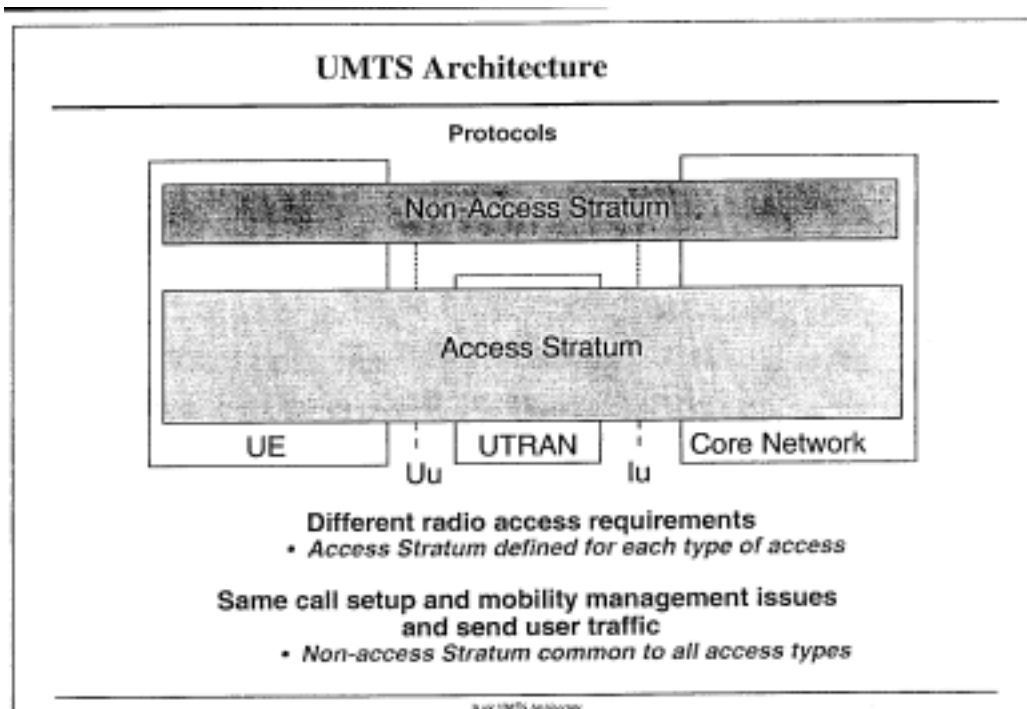
Iub 介面 (Interface UMTS Node B)：在無線網路控制器和節點 B 之間。允許不同的製造廠商來連接無線網路控制器和節點 B，因為它是標準化的 (與 GSM 的 Abis 不同)。

Iu 介面 (Interface UMTS)：在核心網路與接取網路之間。使

用它核心網路能夠連接不同的接取網路。相當於 GSM 中的 A 介面。

Iur 介面 (Interface UMTS RNCs)：兩個無線網路控制器之間的此介面，已被定義支援特定功能如交接，不需核心網路介入。GSM 中無相當者。

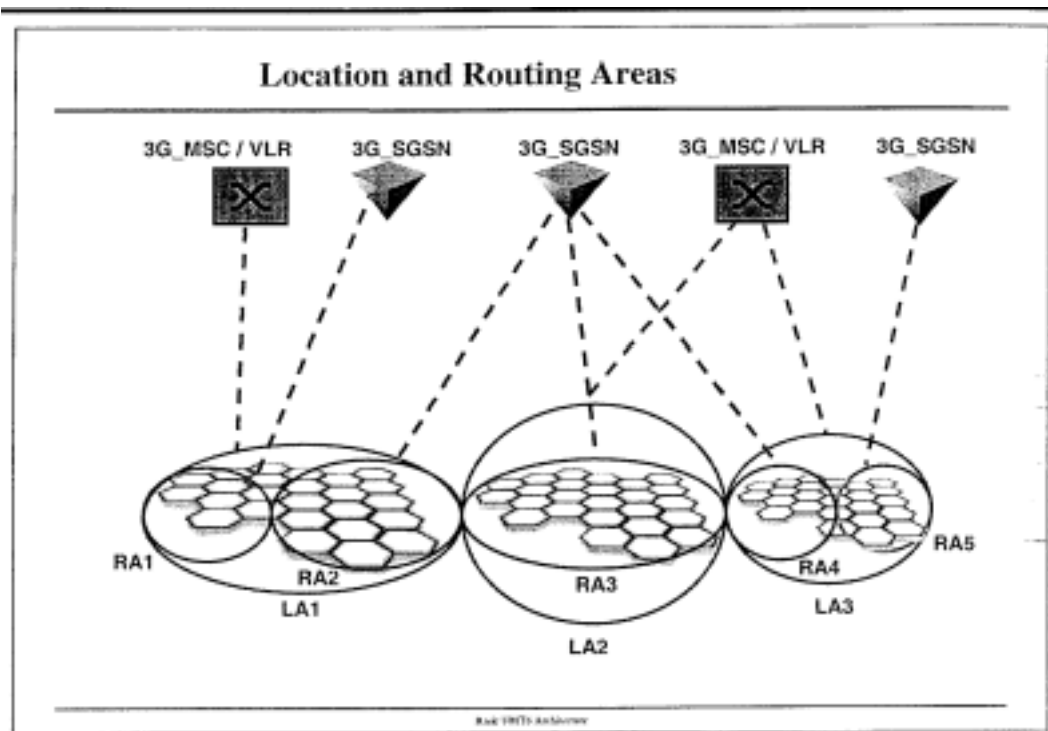
## 1.9 通信協定 (Protocols)



因為無線電話、行動電話、衛星等等有不同的接取要求，通信協定架構被分為二不同部分：

- **非接取層 (Non-Access Stratum, NAS)**：非接取層是使用者設備和核心網路之間的一般性協定層。它與無線接取網路技術相互獨立，並且像 ISDN 中被分為使用者面 (User Plane) 及控制面 (Control Plane)。它大約相當於 OSI 模型中的上層 ( $\geq 4$ )。功能可以是呼叫控制或機動性管理。
- **接取層 (Access Stratum, AS)**：接取層的角色是提供技術獨立性給非接取層。接取層包含使用者設備 – 無線接取網路通信協定及無線接取網路 – 核心網路通信協定。它與使用的技術息息相關，也就是，對 USRAN (衛星)、UTRAN (陸地)、或 BRAN (寬頻) 等無線接取網路，它是不同的。

## 1.10 位置及路由區域



UMTS 中定義了數種區域型態以處理使用者機動性：

- 位置區域 (Location Area, LA)：此觀念與 GSM 的完全相當。一個 LA 包含一群細胞，每個細胞屬於一個 LA。LA 被核心網路電路交換領域用來得到使用者位置資訊，當在惰性模式 (idle mode) 之時。一個 LA 由一些細胞組成，這些細胞屬於連接到相同核心網路節點 (也就是一個 3G\_MSC/VLR) 的一些無線網路控制器。一個 LA 和這些無線網路控制器之間的對應關係是在擁有這個 LA 的 MSC/VLR 中處理。
- 路由區域 (Routing Area, RA)：此觀念與 GPRS 的完全相當。一個 RA 包含一群細胞，每個細胞屬於一個 RA。RA 被核心網路分封交換領域用來得到使用者位置資訊，當在惰性模式之時。一個 RA 由一些細胞組成，這些細胞屬於連接到相同

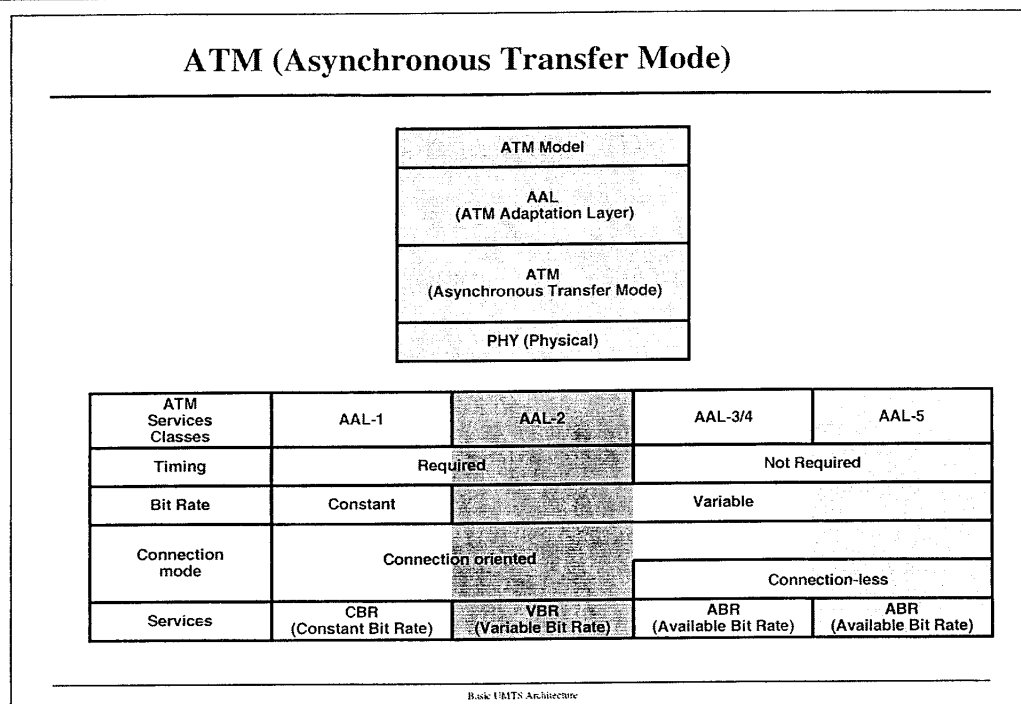


核心網路節點 (也就是一個 3G\_SGSN) 的一些無線網路控制器。一個 RA 和這些無線網路控制器之間的對應關係是在擁有這個 RA 的 SGSN 中處理。

下列 LA 和 RA 之間的關係是可能的：

- LA 和 RA 相等
- 一個 RA 是恰好一個 LA 的部分集合,意思是一個 RA 不會展開 (span) 超過一個 LA。

## 1.11 非同步傳送模式 (ATM)



非同步傳送模式 (Asynchronous Transfer Mode, ATM) 是大多數 UMTS 介面使用的傳輸技術。這是 3GPP 參與者的選擇。

此技術被選擇是因為考量它的特性，對不同的傳送資訊型態提供不同等級的服務。

它有點兒是兩個技術的聯合：X.25 及訊框傳送 (Frame Relay)。

它有固定的封包結構，能夠快速傳輸，同時能夠有連接導向模式 (connection oriented mode)。

它依靠一個三層的結構：

第一層 (實體層)：與傳輸數據速率直接相關 (憑使用的線的型態，例如 E1/T1 PCM、E3/T3、SDH/Sonet 而定)。

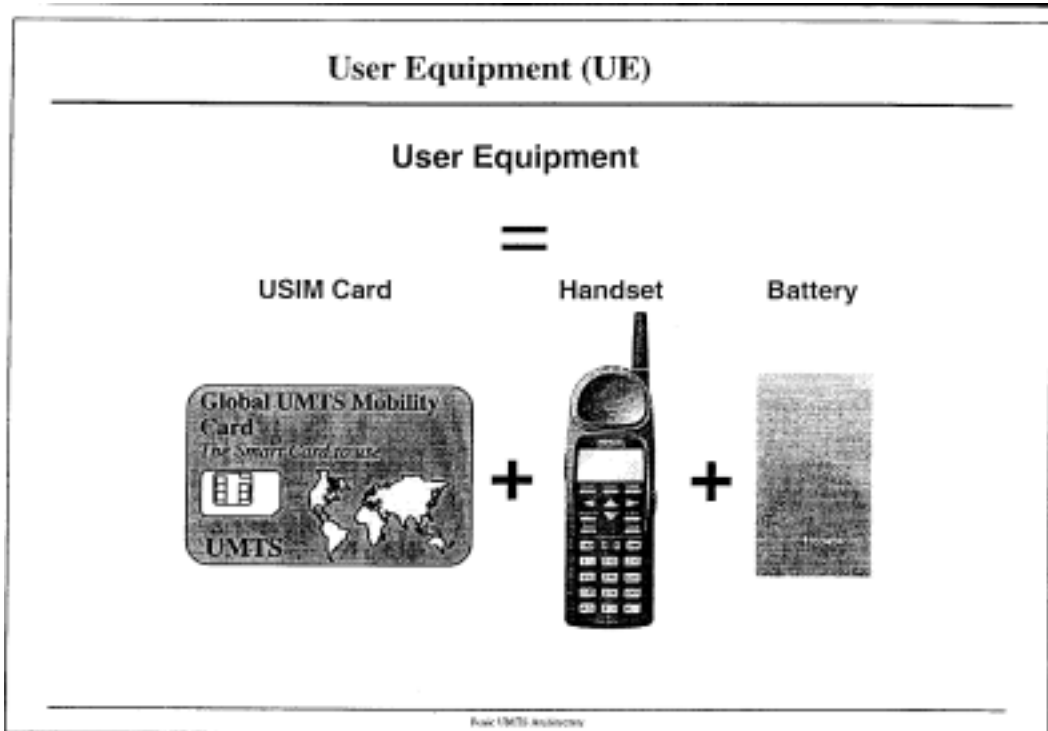
第二層 (ATM)：是封包本身，叫做一個細胞 (cell)，是 53 個位元組長，其中頭 (header) 5 個位元組，酬載 48 個位元組。

第三層 (ATM Adaptation Layer, AAL) : 被使用是為了對抗與 QoS 相關的傳輸特性, 有四個模式, 憑傳送資訊型態而定。

UMTS 中選擇了二個模式 :

- ATM AAL2 被用在 Iub 及 Iur 介面以傳送使用者數據/語音, 被用在 Iu 以傳送使用者語音。
- ATM AAL5 被用在 Iu 介面作使用者數據, 在 Iub, Iur, Iu 作信令 (signaling) 。

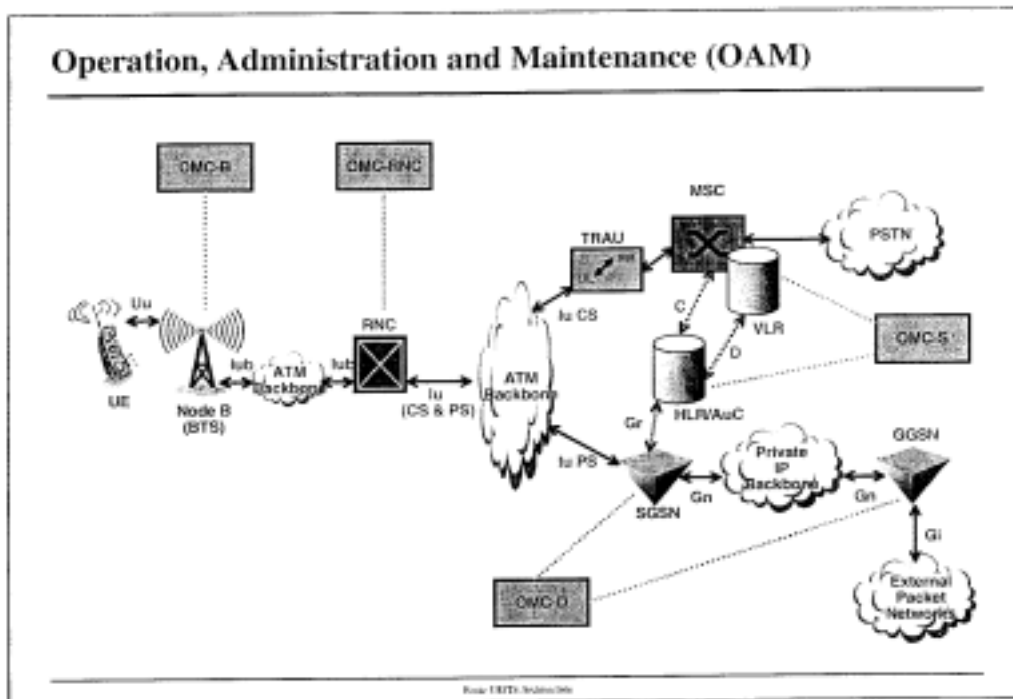
## 1.12 使用者設備 (UE)



使用者設備 (UE) 由三部份組成：

- 全球用戶識別模組卡 (Universal Subscriber Identity Module card, USIM card)：此智慧卡允許網路識別任何用戶 (不僅是他的設備)。特別是，從網路觀點他可以借任何手機不必更改什麼，因為他保留了相同的 USIM 卡。
- 手機 (handset)：包含無線電設備 (收發信機) 及人機介面 (Man-Machine Interface, MMI)。
- 電池。

## 1.13 操作，管理及維護 (OAM)



操作系統 (Operations System, OS)：代表一個一般性的管理系統，與管理階級制度中之位置層級無關。

### 無線網路

3GPP 規格中定義了二個 OMC 部分 (由於開放介面)。此二元件分別支援無線網路控制器及節點 B 的管理。

OMC-B：管理節點 B 的供應商特殊部分 (實體部分)。

OMC-RNC：管理無線網路控制器及所有 UMTS 細胞、流通...(邏輯部分)

### 核心網路

事實上，二個邏輯部分在管理核心網路。

OMC-S：管理 NSS 設備 (例如 MSC、VLR、HLR、AuC)。

OMC-D：管理封包設備 (例如 SGSN、GGSN)。

開放介面代表 Q3 及 CORBA，為 OSS 整合。這也意味能夠支援 trouble ticketing、資產管理系統。

## 2.展頻 (Spread Spectrum) 原理

### 2.1 引言

一般的調變解調變技術是被設計在靜止疊加白色高斯雜訊 (stationary additive white Gaussian noise, AWGN) 環境中要儘可能有效率的傳送數位資訊。發射的信號係被選擇對功率及頻寬等通信資源要有相對上有效率的運用。我們設計解調變器 (偵測器) 是要對 AWGN 中現有的發射信號產生最小的位元錯誤機率 (bit error probability) 。數量上的比較是基於數據機要達到指定位元錯誤機率所需的頻寬及  $E_b/N_0$  (註： $E_b$  為位元能量 (bit energy) ， $N_0$  為單邊雜訊功率頻譜密度 (one-sided noise power spectral density)) 。

雖然許多真實通信通道可以精確的模型為靜止 AWGN 通道，但有一些重要的通道無法符合此模型。例如考慮一個軍用通信系統可能被靠近數據機中心頻率的一個連續波 (CW) 單音信號或數據機本身信號失真的再傳送所干擾，這些干擾無法以靜止 AWGN 來模型。另一種干擾者可能發射 AWGN，但干擾信號可能是脈衝。

另一種不符合靜止 AWGN 模型的干擾型態發生在發射機與接收機之間存在多重傳播路徑 (multiple propagation path) 時。數據機於是經由接收一個延遲的本身信號，自己干擾自己。這現象稱為多路徑接收 (multipath reception) ，在視線微波數位無線電 (line-of-sight microwave digital radios) 例如長途中繼電話傳輸以及城市行動無線電 (例如 CDMA) 等等之中是個問題。

展頻技術可以除去以上干擾型態的有害效應。此技術中使用的傳輸頻寬遠大於發射數位資訊所需的最小頻寬。展頻系統必須有下列特性：1.發射信號能量必須佔據比資訊位元率 (information bit rate) 更大 (通常大得多) 的頻寬，且與資

訊位元率相互獨立。2.解調變必須部份以發射機中用來展開資訊的信號之複製 (replica) 和接收信號相關 (correlation) 來達成。

有一些調變技術使用遠大於數據傳輸最小所需之傳輸頻寬，但不是展頻調變。例如低速率編碼 (low-rate coding) 會增加傳輸頻寬，但不滿足上述任一條件。寬頻頻率調變 (wideband frequency modulation) 也產生大傳輸頻寬，但不是展頻。

展頻技術在解決廣泛領域之通信問題上可以非常有用。經由使用展頻達成的效能改善量被定義為展頻系統之處理增益 (processing gain)，也就是其他條件相同下，使用或不使用展頻技術時系統效能的差別。處理增益大約等於展開後頻寬對資訊位元率之比值。

展頻系統之基本型態為：直接序列 (DS) 型態 跳頻 (FH) 型態、及混合 (hybrid) 型態，第三代行動通信系統之展頻系統採用直接序列。

## 2.2 兩個通信問題

### 2.2.1 脈衝雜訊干擾

考慮一個同調 (coherent) BPSK (Binary Phase Shift Keying) 通信系統，被使用在脈衝雜訊干擾機 (pulse-noise jammer) 之前。一個脈衝雜訊干擾機發射有限頻帶 (band-limited) 白色高斯雜訊，對接收機前端 (front end) 具有總平均功率  $J$ 。干擾機可以選擇與接收機相同的中心頻率及頻寬，並且干擾機選擇脈衝工作因子 (pulse duty factor) 以對通信鏈路造成最大損害，同時保持定值平均發射功率  $J$ 。

同調 BPSK 系統的位元錯誤機率是

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (2-1)$$

註：Q 函數說明如下：

單位變異量 (unit variance) 與零平均值 (zero mean) 的高斯機率密度函數 (Gaussian probability density function) 是

$$Z(x) = \frac{e^{-x^2/2}}{\sqrt{2\pi}}$$

而相關的累積分佈函數 (cumulative distribution function) 是

$$P(x) = \int_{-\infty}^x Z(t)dt$$

Q 函數的定義是

$$Q(x) = 1 - P(x) = \int_x^{\infty} Z(t)dt$$

單邊雜訊功率頻譜密度 (one-sided noise power spectral density)  $N_0$  代表接收機前端熱雜訊 (thermal noise)。雜訊干擾機發射時, 將接收機雜訊功率頻譜密度從  $N_0$  增加至  $N_0 + N_J/\rho$ , 其中  $N_J = J/W$  是單邊平均干擾功率頻譜密度,  $W$  是傳輸頻寬。干擾機用工作因子  $\rho$  發射, 所以平均位元錯誤機率是

$$\overline{P_b} = (1 - \rho)Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) + \rho \cdot Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0 + N_J/\rho}}\right) \quad (2-2)$$



得此公式後，干擾機選擇 以使平均位元錯誤機率成為最大。

當一系統被設計運作在干擾環境中時，通常採用最大可能發射功率故熱雜訊可安全地被忽略。(2-2) 式第一項可忽略，於是

$$\overline{P_b} \approx \rho \cdot Q\left(\sqrt{\frac{2E_b\rho}{N_J}}\right) \quad (2-3)$$

Q 函數可以一指數函數作為上限，於是

$$\overline{P_b} \leq \frac{\rho}{\sqrt{4\pi E_b\rho / N_J}} e^{-E_b\rho / N_J} \quad (2-4)$$

註：單位變異量與零平均值的高斯機率密度函數  $Z(x)$  定義同前， $Q(x)$  有一個漸進展開，對大的  $x$  正確，如下

$$Q(x) = \frac{Z(x)}{x} \left[ 1 - \frac{1}{x^2} + \frac{1 \cdot 3}{x^4} + \dots + \frac{(-1)^n 1 \cdot 3 \dots (2n-1)}{x^{2n}} \right] + R_n$$

其中

$$R_n = (-1)^{n+1} 1 \cdot 3 \dots (2n+1) \int_x^\infty \frac{Z(t)}{t^{2n+2}} dt$$

考慮絕對值， $R_n$  小於忽略的第一項。

(2-4) 式中，右邊為 的函數，其最大值可由計算第一次導函數設定為 0 而求得。產生最大值之 為  $=N_J/2E_b$ ，於是

$$\overline{P_{b, \max}} \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi e}} \frac{1}{2E_b/N_J} \quad (2-5)$$

當然，工作因子必須小於等於 1，所以 (2-5) 式只在  $E_b/N_J < 0.5$  才成立。 $E_b/N_J < 0.5$  時平均位元錯誤機率是由  $\gamma = 1$  之 (2-3) 式而得。注意，(2-1) 式中位元錯誤機率對訊噪比 (signal-to-noise ratio) 的指數關係已被 (2-5) 式中的反線性關係所取代。(2-1) 式及 (2-5) 式描繪於圖 2-1 中，可以看見在位元錯誤機率 =  $10^{-5}$  時，脈衝雜訊干擾機造成大約 31.5dB 的系統效能惡化。

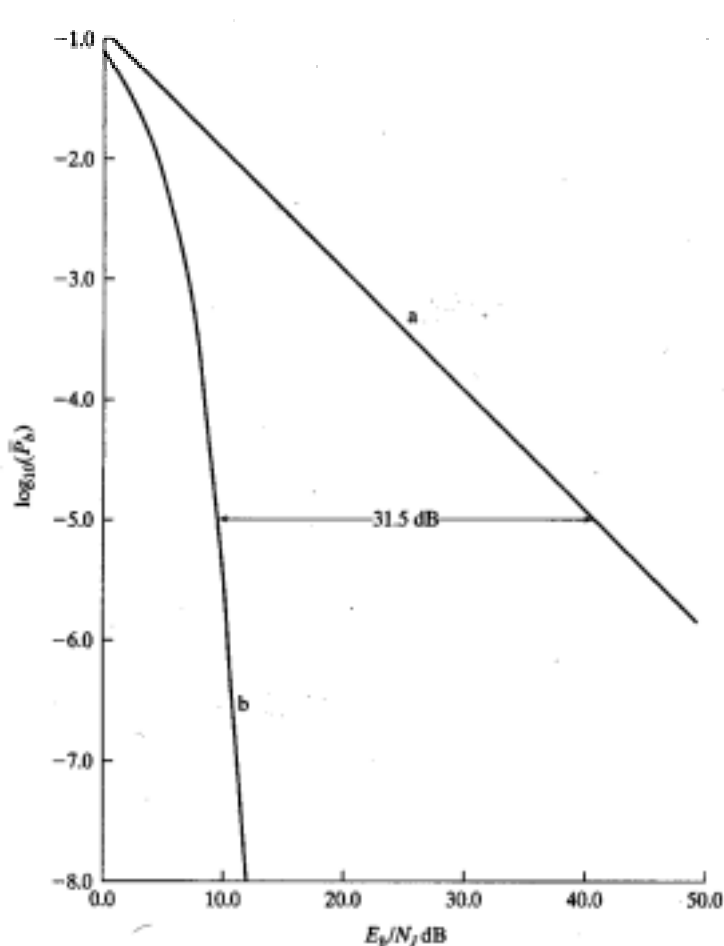


圖 2-1 位元錯誤機率：(a) 最差狀況脈衝雜訊干擾機 (b) 連續雜訊干擾機

脈衝雜訊干擾機造成的系統效能嚴重惡化可以利用展頻技術結合適當穿插 (interleaving) 之向前錯誤更正編碼 (forward error correction coding) 而大為消除。展頻效應將把 X 軸從  $E_b/N_J$  改為  $E_bK/N_J$  , K 是常數大約等於  $W/R$  , R 是展頻系統的數據率 (data rate) 。錯誤更正編碼將用來使位元錯誤機率與訊噪比的反線性關係回到所要的指數關係。

注意，為要造成最大系統效能惡化，干擾機必須知道接收機處之  $E_b/N_J$  , 這代表發射機到接收機路徑及干擾機到接收機路徑的衰減量都必須知道，戰術環境中這難以得知，所以以上描述的結果是最差狀況。此外，真實的干擾機其峰值功率輸出是有限的，並且不能使用任意小之工作因子。雖然有這些限制，對軍用通信系統而言，脈衝干擾機仍是嚴重的威脅。

### 2.2.2 偵測之低可能性

在有些狀況我們希望運作通信鏈路而不為某些人所知。低偵測機率 (low probability of detection, LPD) 通信系統係被設計使得它的偵測，除了目的接收者外，對其他任何人是儘可能的困難。這當然意味著使用達成特定通信效能所需最小的信號功率。LPD 系統設計者的目標是採用一種信號方法，在某些時段產生最小被偵測到的機率。展頻技術相當地能幫助系統設計者達成這個目標。

假設偵測者使用一個能量偵測器 (radiometer) , 能量偵測器偵測頻寬  $W$  頻帶中接收的能量，首先對該頻帶帶通濾波，平方濾波器的輸出，將平方器之輸出積分一段時間  $T$  , 將積分器時間  $T$  時之輸出與一門檻值比較，如圖 2-2。如果時間  $T$  積分器輸出高於目前門檻值，信號被宣稱存在；否則信號被宣稱不存在。如果我們知道時間  $T$  積分器輸出的機率密度函數 (probability density function) , 我們就知道此能量

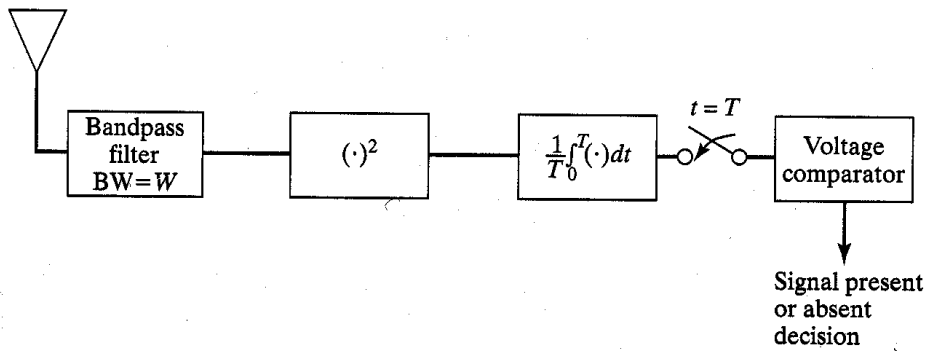


圖 2-2 能量偵測器

偵測器偵測所要通信信號之性能。這個機率密度函數被用來計算偵測到信號 (如果它確實存在) 的機率  $P_d$  ; 以及誤以為偵測到信號 (其實只有雜訊存在) 的錯誤警訊機率  $P_{fa}$ 。

對能量偵測器積分器輸出統計量而言，有兩種近似常被使用。一種使用 chi-square 統計量，輸入之信號加雜訊為非中央型 (noncentral)，只有雜訊為中央型 (central)。另一種在信號加雜訊的狀況，如將 chi-square 自由度及偵測器門檻值適當調整，可進一步以中央型 chi-square 統計量作近似。如果信號的時間頻寬乘積 (time-bandwidth)  $TW$  大，第二種近似非常有用。描述這個狀況的結果方程式是

$$P_d = Q\left(\frac{K_0 - TW - S}{\sqrt{TW + 2S}}\right), TW \gg 1 \quad (2-6)$$

$$P_{fa} = Q\left(\frac{K_0 - TW}{\sqrt{TW}}\right), TW \gg 1 \quad (2-7)$$

其中  $S$  是積分器輸出處總信號能量對雜訊頻譜密度的比率，即  $E_s/N_0$ ， $K_0$  通常是固定的門檻值，以產生某種可允許之  $P_{fa}$  值。帶通濾波器輸出處之信號對雜訊功率比，比  $E_s/N_0$  小一比率  $TW$ 。依據感興趣的是截聽者 (interceptor) 還是通信者

(communicator) 而定，可以採用兩種戰略之一：

- A. 截聽者可以建造可以負擔的最低雜訊數值 (noise figure) 的接收機，積分最長可能的時間 (也就是所能知道的全部通信時段)，設定輸入帶通濾波器儘可能對準信號中心頻率，濾波器頻寬與信號頻寬相同，而接受最高可容忍之錯誤警訊機率  $P_{fa}$ 。
- B. 通信者可以展開信號至允許之全頻寬，以儘可能最低的功率及最短的持續時間來通信。

### 例 2-1

考慮一個截聽接收機，帶通濾波器輸出處之輸入訊噪功率比固定為-10dB 時，對 TW 之性能。假設信號頻寬是固定的而積分時間 T 可變，當然對所考慮最長的時間假設信號是存在可積分。這會是未受訓練隨意通信的通信者之狀況，受過訓練的通信者會以隨機選取時間間隔之簡短突發 (bursts) 來通信。性能曲線如圖 2-3；左邊是  $P_d$  對 TW，可以看見如積分足夠長久，信號高度確定可以被偵測到；右邊是  $E_s/N_0$  對 TW，顯出在積分器輸出處積分提高訊噪比的效果。

## 2.3 展頻系統之型態

寬頻展頻信號是由數據調變之載波產生，使用非常寬頻之展開信號 (spreading signal) 將數據調變之載波再調變一次。展開調變可以是相位調變、載波頻率快速變化、或是這些及其他技術的組合。當頻譜展開是由相位調變達成時，造成的信號稱為直接序列 (DS) 展頻信號。當頻譜展開是由載波頻率快速變化達成時，造成的信號稱為跳頻 (FH) 展頻信號。當直接序列及跳頻同時被使用時，造成的信號稱為混合

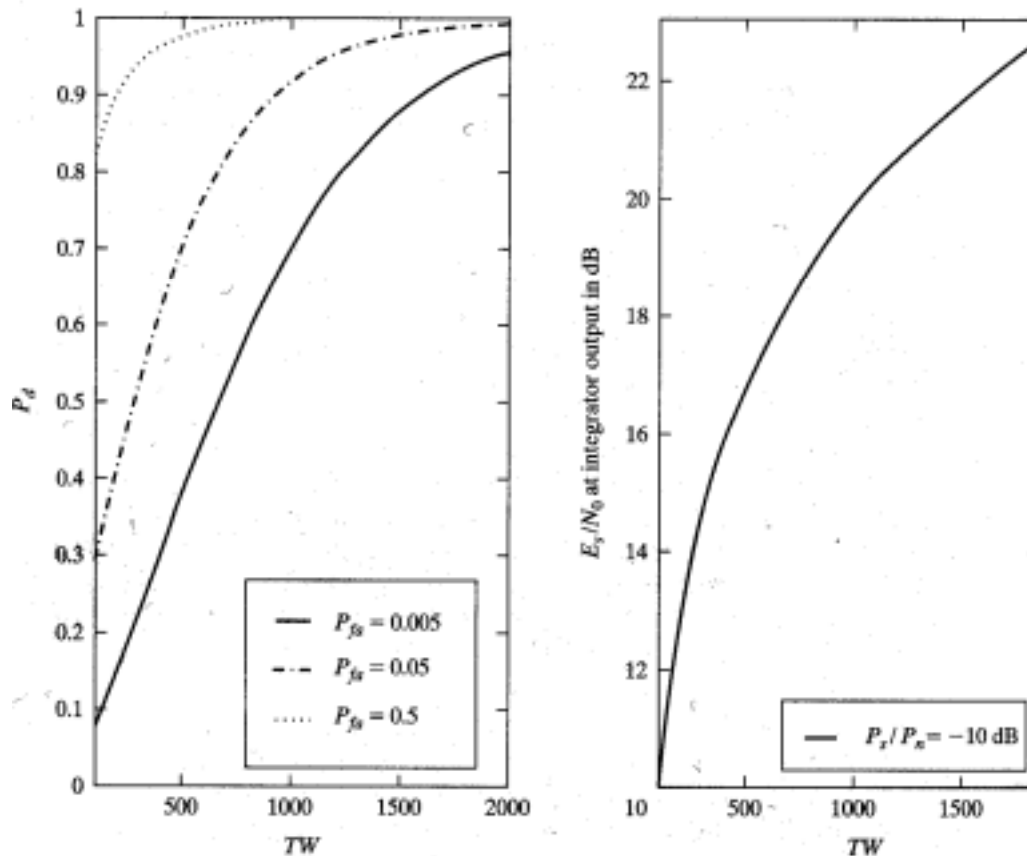


圖 2-3 輸入訊噪功率比-10dB 之能量偵測器，對 TW 之偵測機率及積分器輸出  $E_s/N_0$

DS-FH 信號。展開信號係被選擇具有特性使發射的信號可以被目的接收機解調變，對非目的之接收機則解調變儘可能困難。此相同之特性也使目的接收機能夠分辨通信信號與干擾。如果相對於數據頻寬而言，展開信號的頻寬大，則展頻傳輸頻寬由展開信號決定，幾乎與數據信號無關。

### 2.3.1 BPSK 直接序列展頻

DS 展頻最簡單型式採用 BPSK 作為展開調變 理想 BPSK 調變對載波產生 180 度即時相位變化，數學上可以表示為乘以一個函數  $c(t)$ ，其值為  $\pm 1$ 。考慮一個定值包線 (constant-envelope) 數據調變之載波，功率  $P$ ，角頻率  $\omega_0$ ，數據相位調變  $\phi_d(t)$ ，如下式

$$s_d(t) = \sqrt{2P} \cos[\omega_0 t + \theta_d(t)] \quad (2-8)$$

此信號頻寬通常介乎數據率的一半和二倍之間，視數據調變之細節而定。BPSK 展開僅由  $s_d(t)$  乘以代表展開波形的函數  $c(t)$  而達成，如圖 2-4。發射的信號是

$$s_t(t) = \sqrt{2P} c(t) \cos[\omega_0 t + \theta_d(t)] \quad (2-9)$$

此信號被發射，經由傳輸延遲  $T_d$  無失真之路徑。此信號與某些型態之干擾及/或高斯雜訊一起被接收。解調變一部份是以如圖 2-5 適當延遲的展開碼再加以調變而達成。這再調變，亦即接收信號與延遲的展開波形之相關 (correlation)，稱為“解展開” (despreading)，是所有展頻系統中一個決定性的功能。解展開混波器 (mixer) 輸出之信號部分為

$$\sqrt{2P} c(t - T_d) c(t - \hat{T}_d) \cos[\omega_0 t + \theta_d(t - T_d) + \phi] \quad (2-10)$$

$\hat{T}_d$  為接收機對傳輸延遲之最佳估計。既然  $c(t) = \pm 1$ ，如果  $\hat{T}_d = T_d$ ，也就是接收機的展開碼與發射機的展開碼同步，則乘積  $c(t - T_d) \times c(t - \hat{T}_d)$  將會等於 1。正確同步時，接收機解展

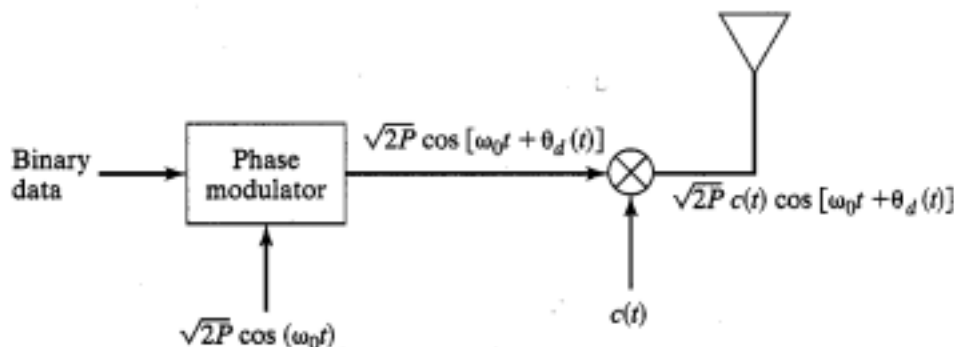


圖 2-4 BPSK 直接序列展頻發射機

開混波器輸出的信號部分等於  $s_d(t)$ ，只差一個隨機相位  $\phi$ ，而  $s_d(t)$  可以用傳統同調相位解調變器加以解調變。

注意上面的數據調變並不需要也是 BPSK， $d(t)$  的形式並沒有限制，然而我們通常對數據及展開碼使用相同型態的數位相位調變。當兩個調變器都採用 BPSK 時，一個相位調變器（混波器）可以拿掉。雙重調變可以被數據和展開碼的二模數和（modulo-2 sum）之單一調變取代。

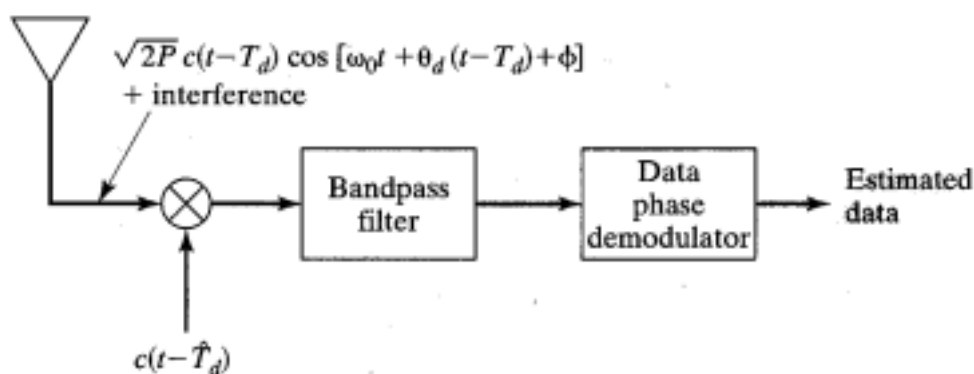


圖 2-5 BPSK 直接序列展頻接收機

數據調變及展開調變為 BPSK 時，直接序列展開及解展開運作如圖 2-6。此狀況中，數據調變以將載波乘以  $d(t)$  表示，而  $d(t)$  之值為  $\pm 1$ ，於是

$$s_d(t) = \sqrt{2P} d(t) \cos \omega_0 t \quad (2-11)$$

$$s_i(t) = \sqrt{2P} d(t) c(t) \cos \omega_0 t \quad (2-12)$$

數據及展開波形如圖 2-6a 及 b， $s_d(t)$  及  $s_i(t)$  如圖 2-6c 及 d。圖 2-6e 代表一個相位不正確的輸入到接收機解展開混波器，假設零傳輸延遲。圖 2-6f 顯示混波器的輸出。注意圖 2-6f 與  $s_d(t)$  不等同，顯示接收機必須與發射機同步。最後，圖 2-6g 顯示當解展開碼相位正確時解展開混波器的輸出。此狀



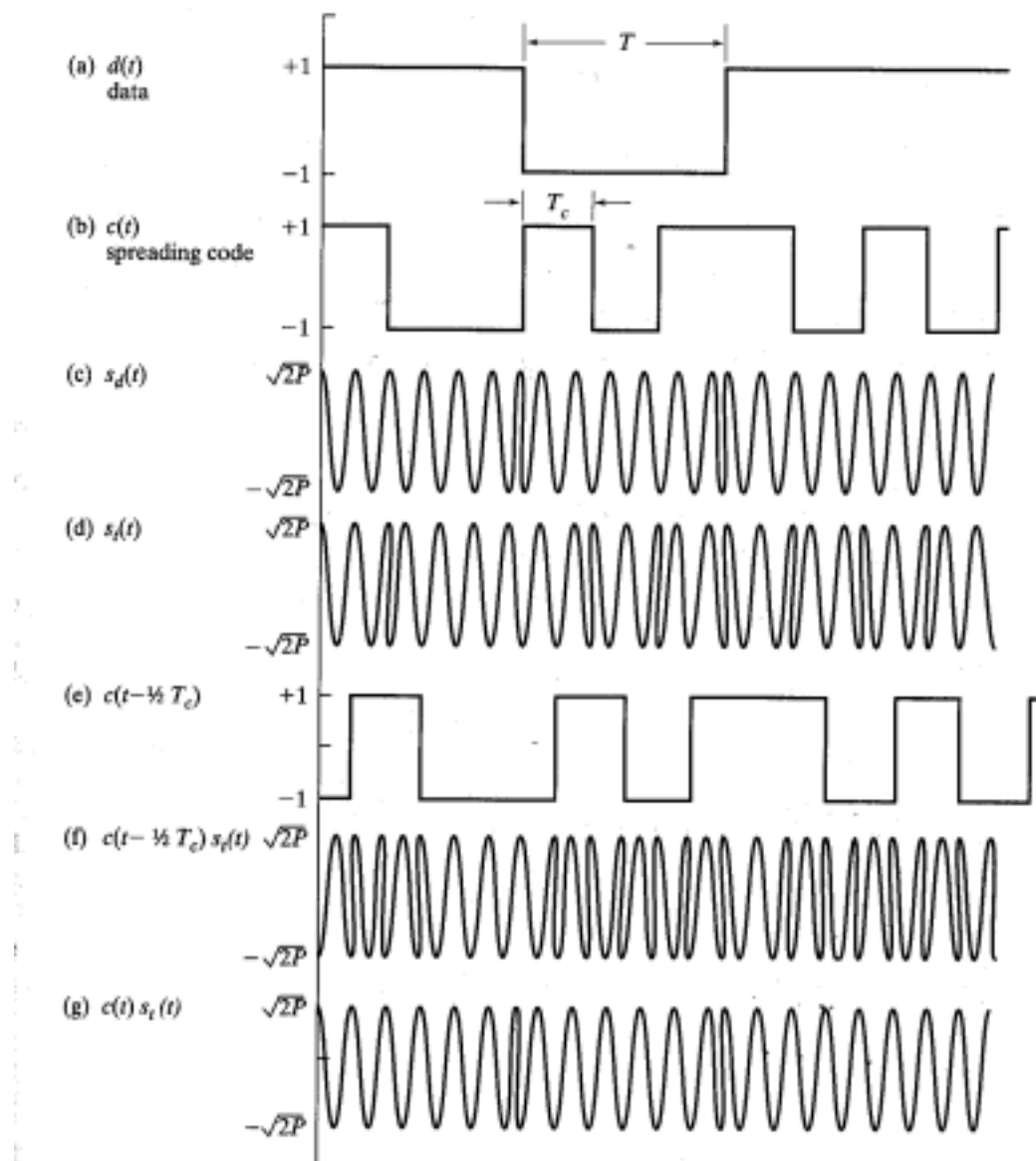


圖 2-6 BPSK 直接序列展開及解展開

況中  $c(t) s_i(t) = s_d(t)$  且數據調變的載波已取回了。

考慮圖 2-6 信號之功率頻譜具有啟發性。BPSK 載波的雙邊功率頻譜密度 (two-sided power spectral density) , 以 W/Hz 為單位如下式

$$s_d(f) = \frac{1}{2} PT \{ \text{sinc}^2 [(f - f_0)T] + \text{sinc}^2 [(f + f_0)T] \} \quad (2-13)$$

描繪如圖 2-7。現在觀察圖 2-6d 的  $s_t(t)$  信號也是一個 BPSK 載波，故其功率頻譜密度為 (2-13) 式但將  $T$  換為展開碼符號 (spreading code symbol) 之持續時間  $T_c$ 。  $T_c$  又常被稱為展開碼片 (spreading code chip)。圖 2-8 顯示  $T_c=T/3$  時  $s_t(t)$  之功率頻譜密度。注意展開碼調變的效果將發射信號的頻寬展開三倍，且這個展開運作降低功率頻譜密度之準位成為三分之一。在實際系統中，這個展開因子通常比 3 大得多。

(2-13) 式只適用於數據調變及展開調變都是 BPSK，且數據調變及展開調變相位同步之情形。在此情形，因為數據調變是完全隨機， $s_t(t)$  信號是一個隨機雙相位調變信號 (randomly biphase modulated signal)，所以 (2-13) 式適用。

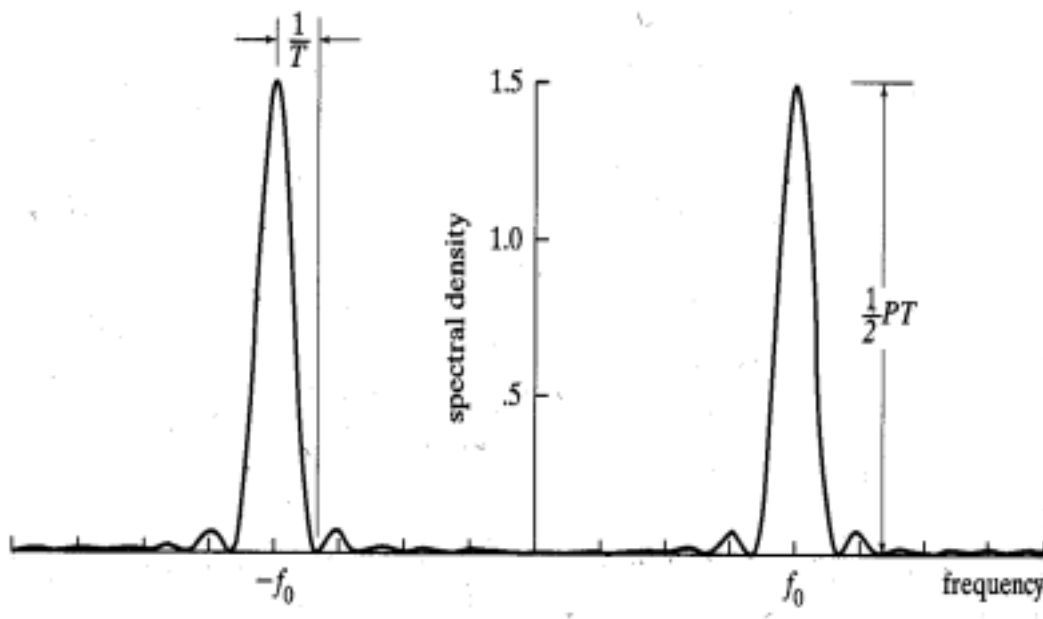


圖 2-7 數據調變的載波之功率頻譜密度

再考慮數據調變是一個任意定值包線相位調變的狀況。數據調變的載波是由 (2-8) 式表示，而發射的信號是由 (2-9) 式表示。發射信號的功率頻譜是用 Wiener-Khintchine 定理計算，此定理說一信號之自相關函數 (autocorrelation function) 和功率頻譜為富利葉轉換對 (Fourier transform pair)。

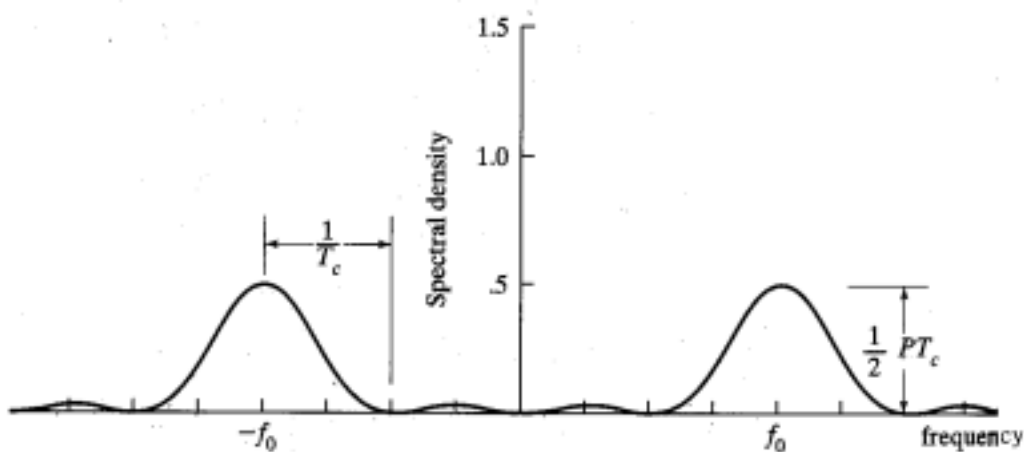


圖 2-8 數據及展開碼調變的載波之功率頻譜密度

展頻的好處之一是它使接收機能夠排斥蓄意的干擾。干擾排斥是由接收機解展開混波器所達成，混波器解展開所欲信號時，會展開干擾之頻譜。如果干擾能量被展開到一遠大於數據頻寬之頻寬時，大部分干擾能量會被配置在解展開混波器之後的中頻濾波器 (IF filter) 濾去。如圖 2-9。其中數據調變及展開調變都使用 BPSK，干擾是功率  $J$  的一個單音 (single tone)。干擾機的最佳策略是將干擾單音直接放在數據機傳輸頻寬的中心。此圖中  $r(t)$  為接收之信號， $y(t)$  為解展開混波器輸出， $x(t)$  為中頻濾波器輸出。

### 2.3.2 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 直接序列展頻

同時發射在兩個相位正交 (in phase Quadrature) 的載波有時是有利的。主要的原因是節省頻譜，因為發射功率相同，只要一半傳輸頻寬即可達成相同之位元錯誤機率。展頻系統中頻譜效率通常不重要，但正交調變仍然重要。原因是在低偵測機率應用中正交調變之偵測比較困難，並且正交調變對某些干擾型態比較不敏感。三種類型之 QPSK 數據機如圖 2-10 至 2-12。

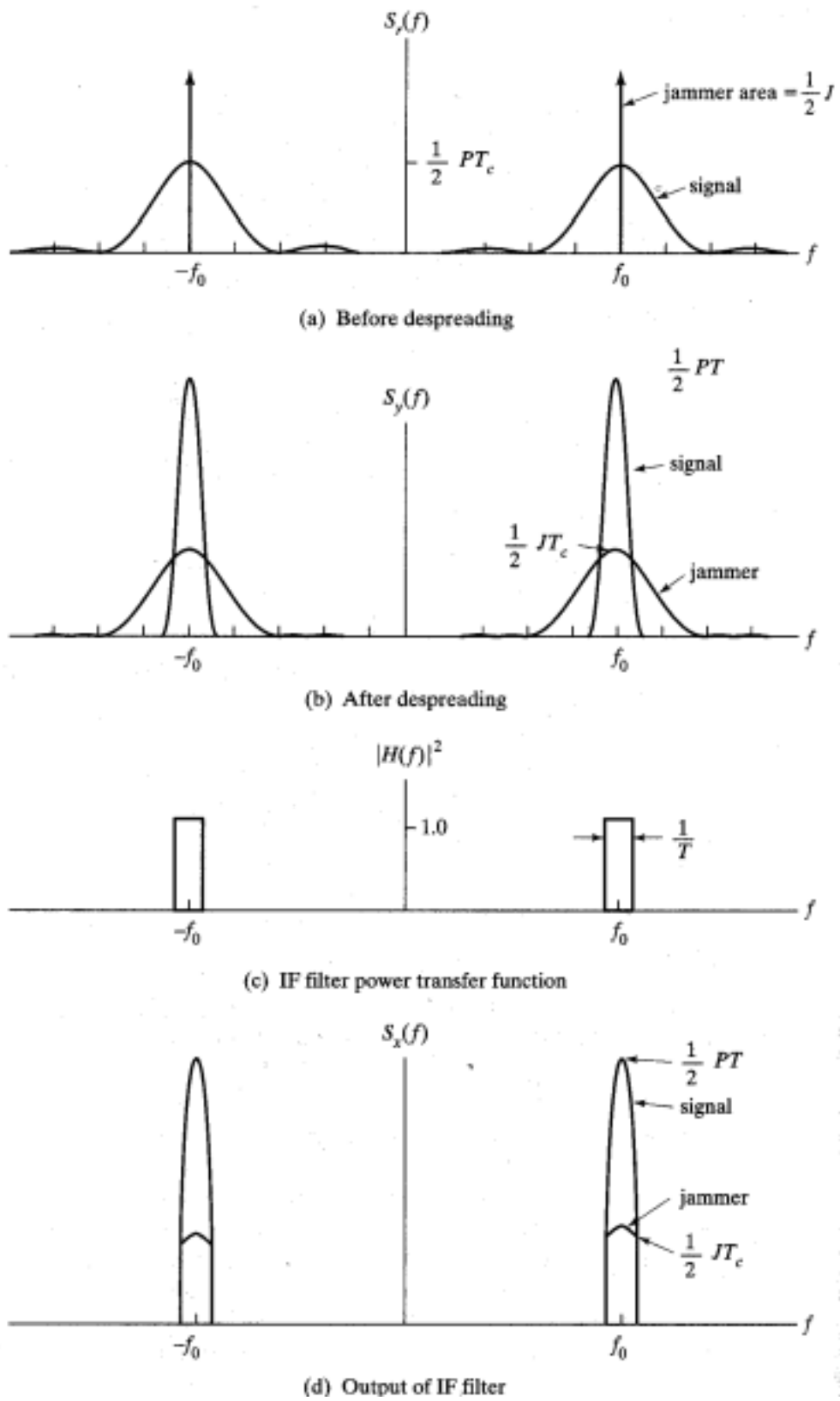


圖 2-9 有單音干擾之接收機功率頻譜密度

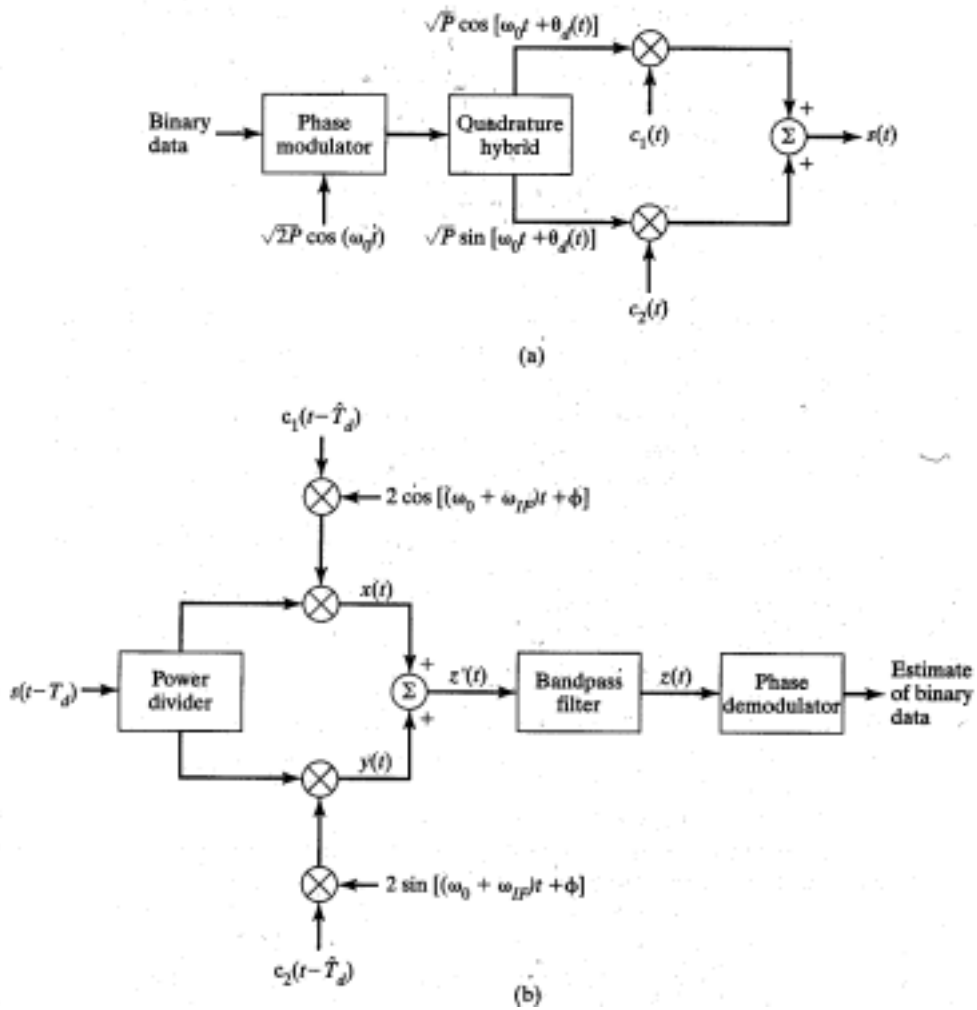


圖 2-10 (a) 任意數據相位調變之 QPSK 展頻調變器

(b) 任意數據調變之 QPSK 展頻接收機

註：Quadrature hybrid 可產生相位互相正交的兩個輸出。

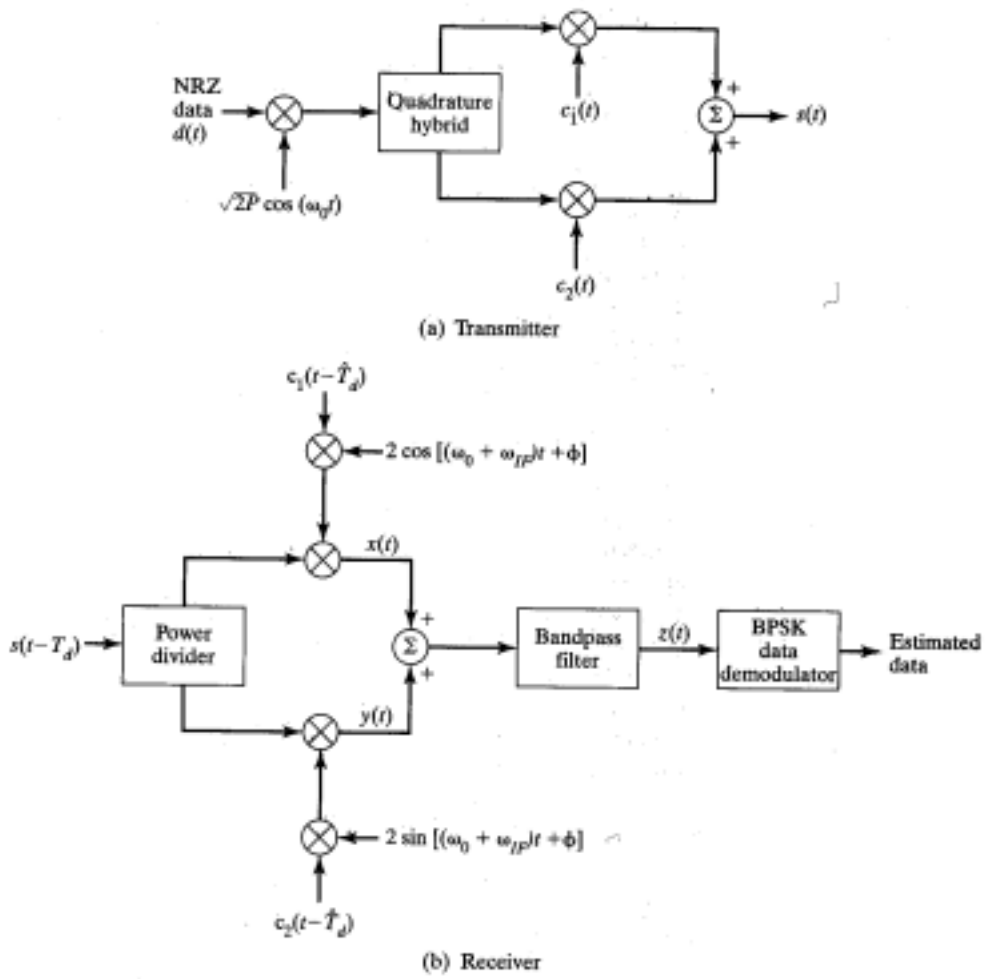


圖 2-11 平衡 (Balanced) QPSK 直接序列展頻數據機

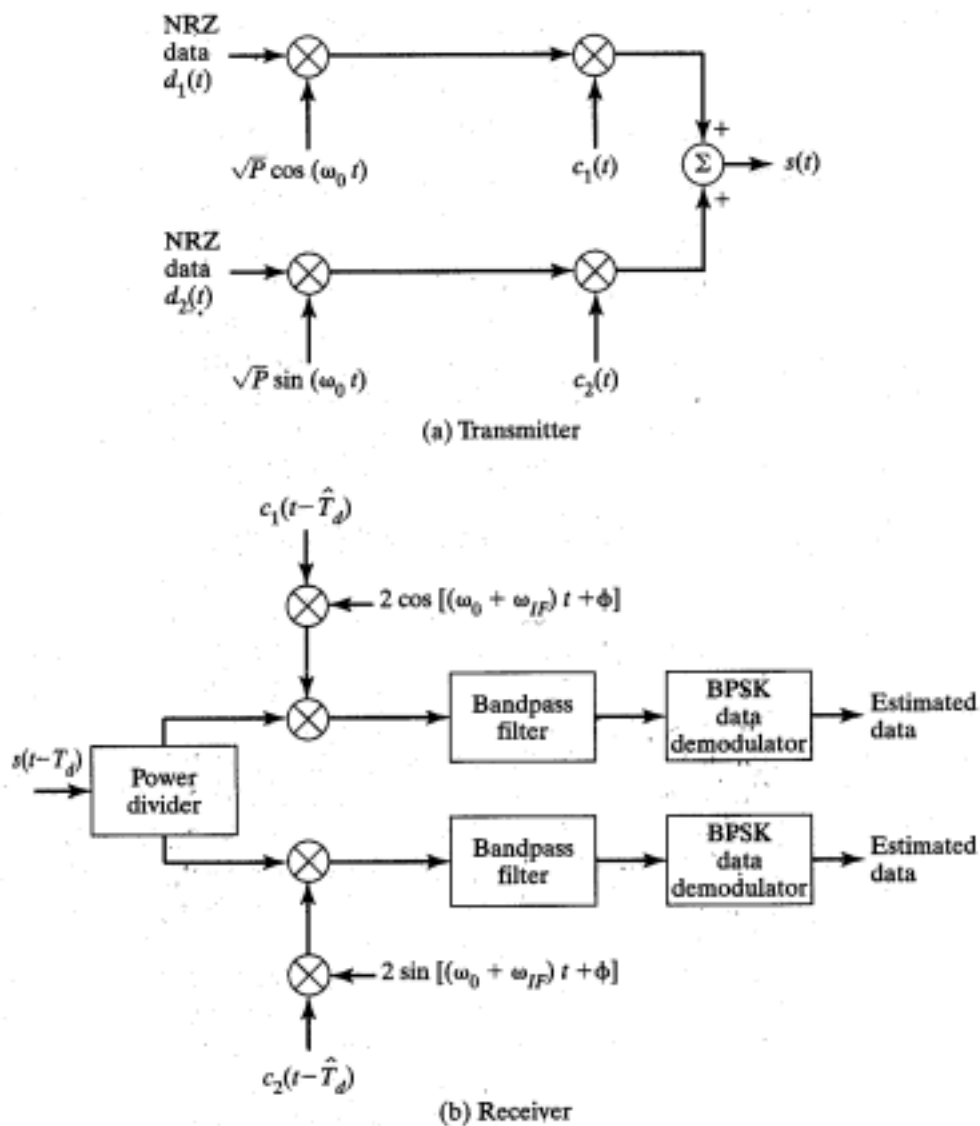


圖 2-12 雙頻道 QPSK 直接序列展頻數據機  
 (a) 發射機 (b) 接收機

### 3. W-CDMA 原理

W-CDMA 為寬頻 CDMA，全名為寬頻分碼多工接取 (Wide-band Code Division Multiple Access)，W-CDMA 係第三代行動通信之重要技術之一。

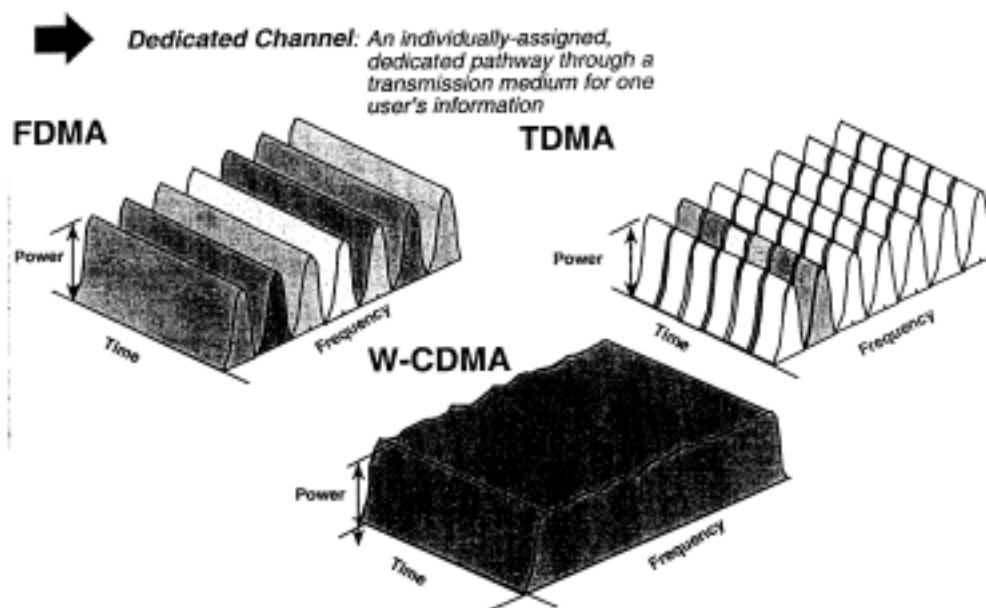
行動通信服務提供者已充分展示 CDMA 技術支援市場戰略的能力，基於低價格及關鍵領域例如語音品質、系統可靠度、手機電池壽命等之極佳表現。近來分析發現 CDMA 比類比及 GSM、IS-136 TDMA 等數位空中介面標準在信號品質、語音品質、安全性、電力消耗、可靠度上有更佳表現。對消費者而言，CDMA 有一些優點，較低的電力消耗使得 CDMA 手機充電一次可提供 4 小時通話時間或 48 小時待機時間；由於 CDMA 的 soft handoff 特性使得丟失的通話比 GSM 或 IS-136 TDMA 要少。有一個可能的缺點是漫遊能力有些限制。

CDMA 之基礎為展頻技術。在 UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) 中 chip rate 為 3.84Mchip/s。下表列出數據服務之例及其展開因子：

服務	Bearer 數據速率(Kbps)	展開因子	調變速率(Mchip/s)
語音	30	128	3.84
分封 64Kbps	120	32	3.84
分封 384Kbps	960	4	3.84



### 3.1 接取技術



傳輸介質是一個資源，可視使用的技術依據不同的規範劃分成許多個別的通道：

以下是三種最流行的無線電技術如何建立通道的方法：

- FDMA 分頻多工接取 (Frequency Division Multiple Access)
  - 每個使用者在不同的頻率
  - 一個通道是一個頻率
- TDMA 分時多工接取 (Time Division Multiple Access)
  - 每個使用者在一個不同的時間窗期間 (window period in time, 又稱時槽 time slot)
  - 一個通道是一個特定頻率中一個特定的時槽
- W-CDMA 寬頻分碼多工接取 (Wide-band Code Division Multiple Access)
  - 每個使用者在所有時間使用相同的頻率，但混著不同有特徵的碼樣式 (code pattern)
  - 一個通道是一組獨特的碼樣式

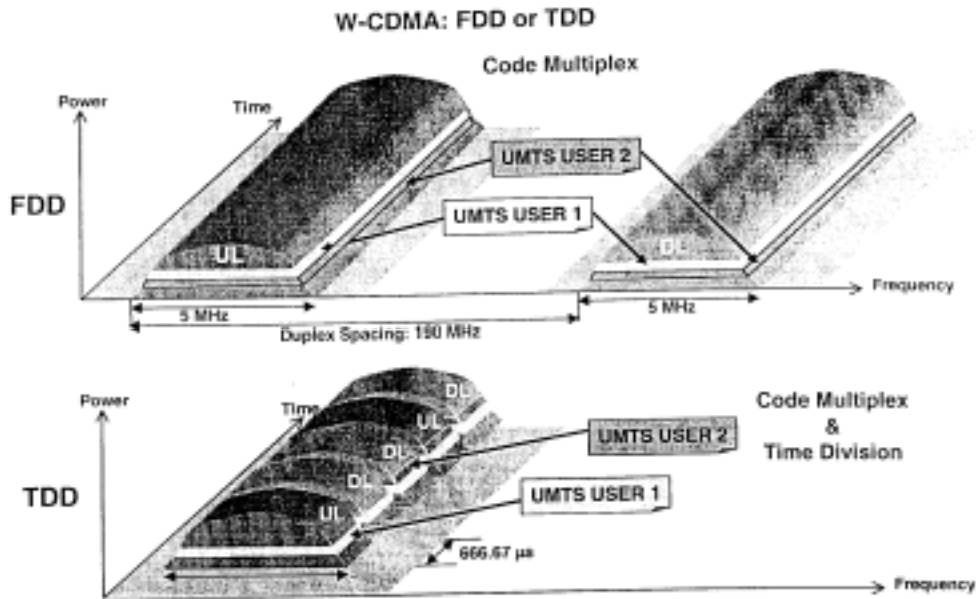
Analogy with the W-CDMA:

## The Ambassador's Cocktail



從所有賓客交談產生的雜音中，你能輕易的了解使用已知語言者的談話，即使他（們）談話的音量低於其餘群眾的雜音。有兩個條件這方為可能：

- 你必須懂得這語言
- 雜音不能太大

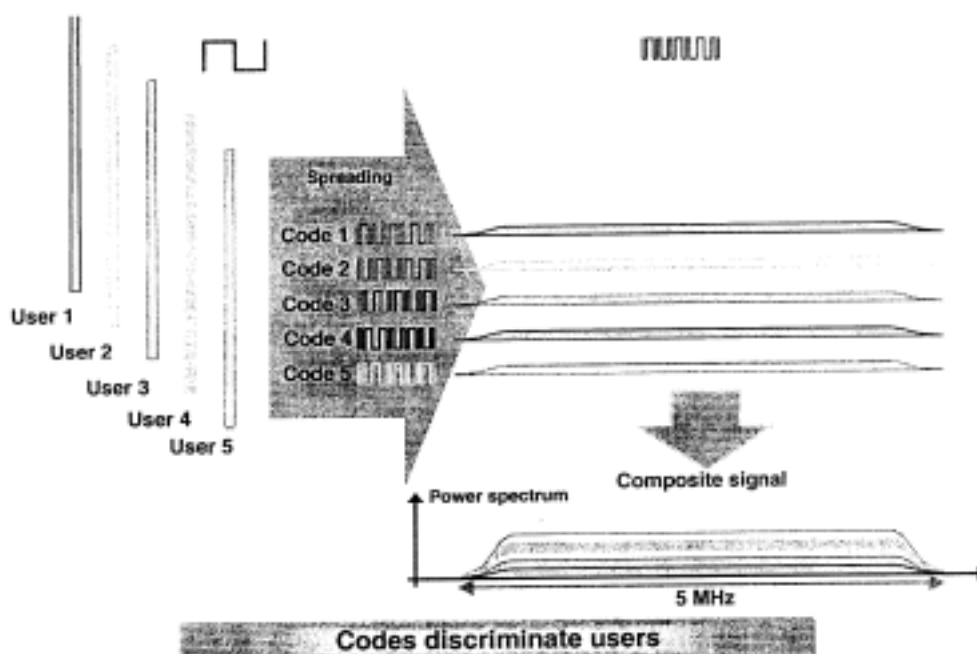


允許運作在 FDD 或是 TDD 模式的可能性是為了依據不同區域頻率分配對可用頻譜做有效率的運用。FDD 及 TDD 定義如下：

- FDD：一種雙工方法，上鏈及下鏈傳輸使用兩個不同頻段：
  - 上鏈：1920MHz - 1980MHz
  - 下鏈：2110MHz - 2170MHz
  - 每個載波是 5MHz 寬，上鏈與下鏈頻道相隔 190MHz，故可達 12 對載波。
- TDD：一種雙工方法，上鏈及下鏈傳輸實施於相同頻率使用同步之時間區間。載波仍然使用一個 5MHz 頻段。

FDD 是大細胞 (macro-cellular) 應用優先採用的模式。TDD 是頻譜未配對部份優先採用的模式。因為每一時槽可以指配不同的方向，TDD 模式提供極大彈性可以處理雙向及不對稱的通信。TDD 頻譜將被用在都市地區低機動性的涵蓋。

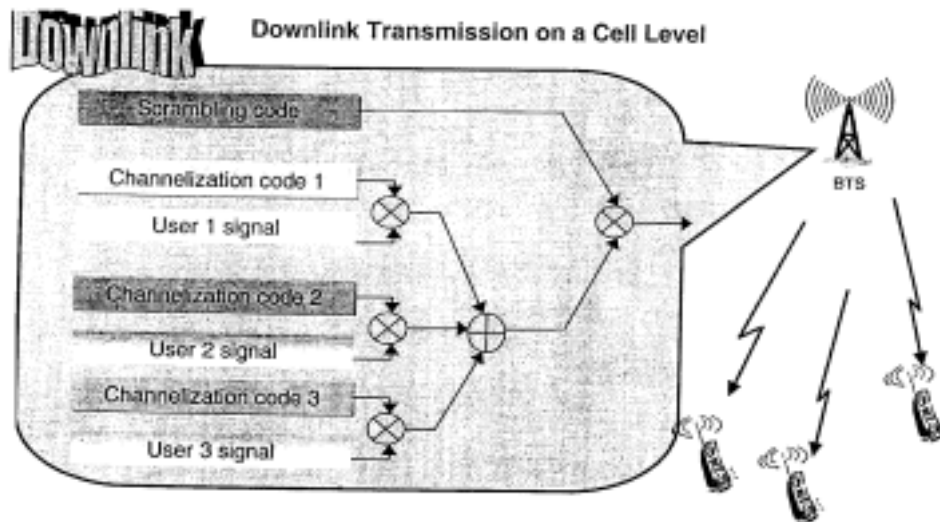
### 3.2 分碼多工



所有 W-CDMA 使用者在相同時間佔據相同的頻率！頻率和時間並非用作辨別的因素。W-CDMA 之運作採用展開碼 (spreading code) 來辨別使用者。接收機會收到所有發射信號混合在一起的合成信號，但使用正確的展開碼能辨認所要的傳輸通道，其他的即成為背景雜音。

每個使用者各有其不同的展開碼，各自形成一個碼通道 (code channel)，所有使用者的信號會加起來成為一個合成信號。在接收機，合成信號再與欲接收的使用者之複製展開碼作相關 (correlation) 以取出欲接收的使用者之信號。所以為了壓制多重接收干擾，欲接收使用者與其他造成干擾之使用者之間，具有低的互相關 (cross-correlation) 是重要的。為了起初的同步及可靠的分離各種多路徑成分，好的自相關 (auto-correlation) 性質也是需要的。

註：兩個相同長度位元列 (bit string) 之間的相關是定義為兩者之間的相似度 (degree of similarity)。如果此二位元列相同，稱為此位元列之自相關。如為不同位元列，稱為二者之互相關。

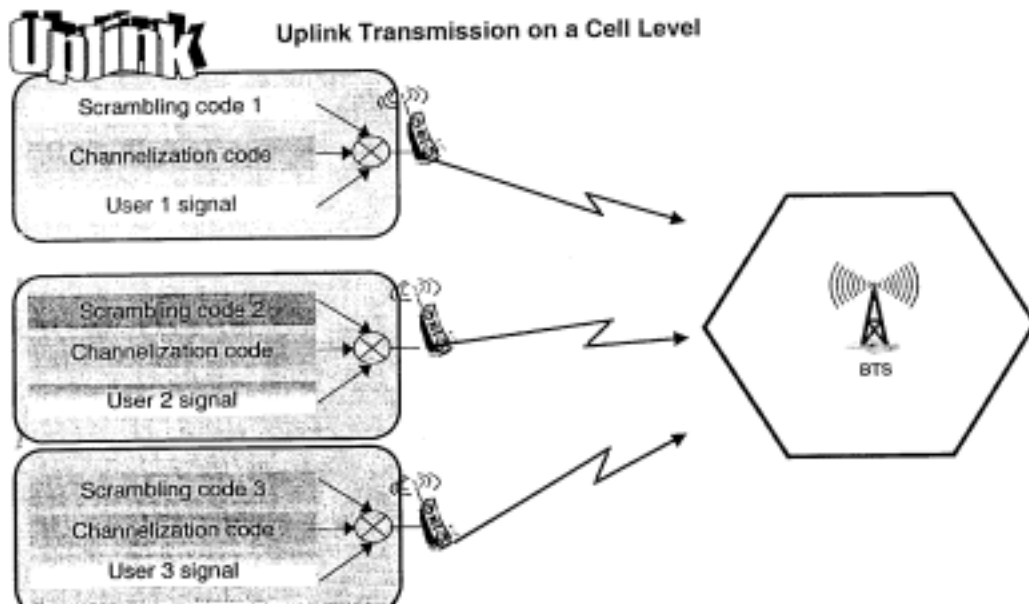


行動台被許多基地台圍繞，它們都發射在相同的 W-CDMA 頻率，所以必須能夠辨別不同基地台的不同細胞，只聆聽一組碼通道。所以我們使用兩種型態的碼：

- 通道碼 (channelization code)  
許多使用者的數據同步地被不同的通道碼展開。OVSF 碼 (正交可變展開因子碼, Orthogonal Variable Spreading Factor code) 的正交性質讓使用者設備能夠取回它的數據，而不會被其他使用者通道所干擾。
- 攪拌碼 (scrambling code)  
係用作不同基地台之識別及細胞中不同行動台之識別。它降低與鄰近細胞的干擾，因為鄰近細胞使用相同的通道碼。  
為了不至於解碼解到一個干擾者，保持不同攪拌碼之間好的互相關特性是重要的。

這些碼一旦配置給行動使用者，在通信中不改變，除非基地台能被通知有任何改變。

正像 GSM 中的頻率再使用 (frequency re-use)，必要時攪拌碼也可以再使用。



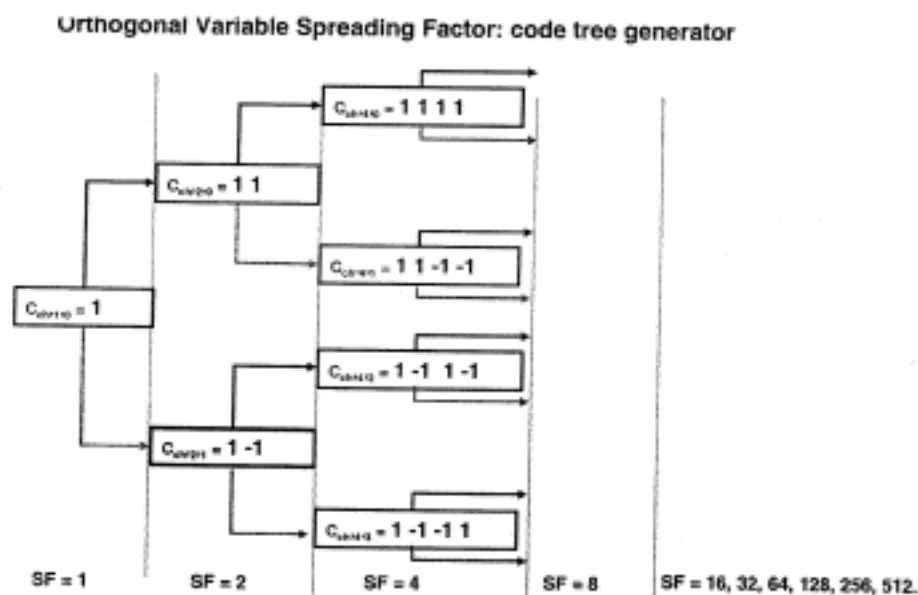
W-CDMA 系統必須能獨特地辨識每一個嘗試與基地台通信的行動台。  
 不同的上鏈碼通道係以不同的行動台攪拌碼來分別，攪拌碼可或長或短。  
 展開碼之正交性失去了，因為並沒有同步之傳輸。無論如何，感謝攪拌碼好的互相關性質，它又引進某種減弱的正交性。

通道碼及攪拌碼之功能特性如下表：

	通道碼	攪拌碼
用途	上鏈：相同終端機中，實體數據通道和控制通道的分離。 下鏈：一個細胞中，下鏈連接至不同終端機之分離。	上鏈：不同終端機之分離。 下鏈：不同 sector (cell) 之分離。
長度	4 – 256 chips (1.0 – 66.7 $\mu$ s) 下鏈並有 512 chips	上鏈： (1)10ms=38400chips 或 (2)66.7 $\mu$ s=256chips 其中(2)可以使用於先進之基地台接收機。 下鏈： 10ms=38400chips
碼的數目	一個攪拌碼之下的碼數目=展開因子	上鏈：數百萬 下鏈：512
碼之系列	OVSF (正交可變展開因子)	長的 10ms 碼：Gold 碼 短碼：延伸 (Extended) S (2) 碼系列
是否展開	是，會增加傳輸頻寬	否，不影響傳輸頻寬

表 3-1 通道碼及攪拌碼之功能特性

### 3.3 通道碼-OVSF



通道碼係 OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) 碼, 可保持一使用者不同實體通道間之正交性。OVSF 碼可以碼樹 (code tree) 定義。碼樹中通道碼係唯一地以  $C_{ch, SF, k}$  描述, 其中 SF 是碼的展開因子,  $k$  是碼號,  $0 \leq k < SF-1$ 。

一個通道序列 (channelization sequence) 編碼一個使用者位元。由於片率 (chip rate) 是固定的, 用不同長度的碼可以編碼不同的使用者數據速率。OVSF 碼的長度為偶數之片 (chip), 碼的數目等於片的數目。

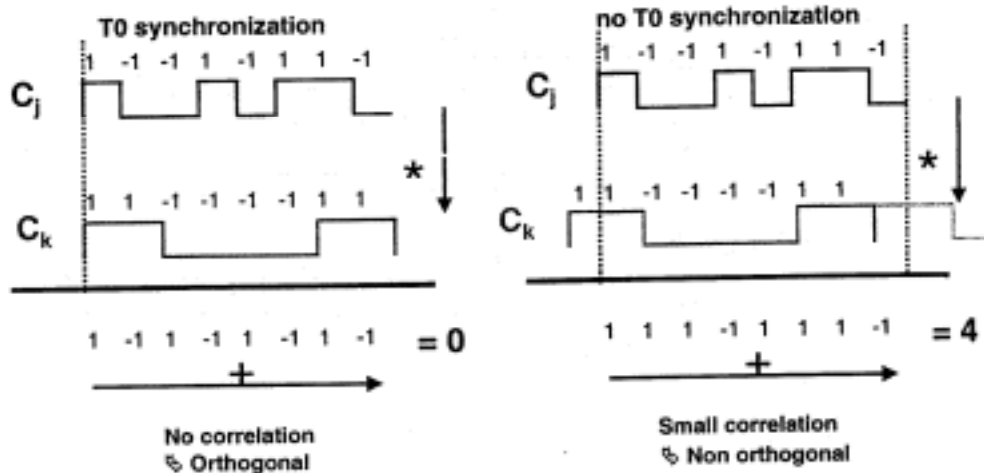
同一層中產生的碼組成一組正交碼。並且任何兩個不同層的碼互相正交, 除非其中一個是另一個的父碼 (father code)。

例如,  $C_{ch,4,3}$  與  $C_{ch,2,1}$  或  $C_{ch,1,0}$  都不正交, 但與  $C_{ch,2,0}$  正交。

基地台中每一個扇 (sector) 發射 W-CDMA 下鏈通信通道達 512 個碼通道。攪拌使得相鄰細胞可以使用相同通道碼, 這允許系統在每一細胞中最多使用 512 個 OVSF。但注意 OVSF 之使用禁止了其分支中其他碼之使用, 這相當降低了可用碼的數目, 特別是對快速速率服務而言。這可能造成 OVSF 碼之不足, 為此, 我們配置二次攪拌碼給細胞, 使相同細胞中相同 OVSF 碼可以重複使用。



### Orthogonality



正交性的意思是碼之間無相關，所以  $C_k$  的存在不會影響  $C_j$  的能量。

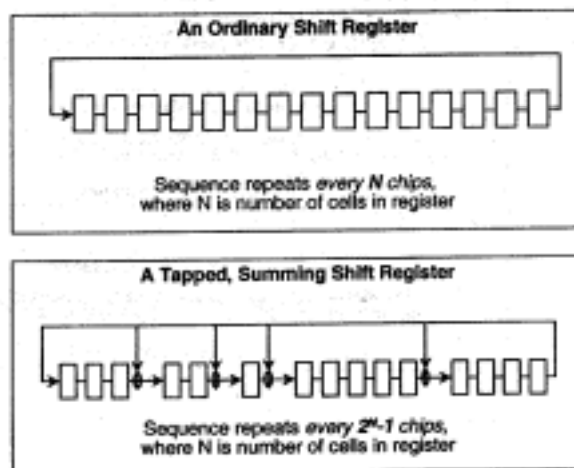
零延遲時，OVSF 碼為完全地正交。延遲不為零時，它的互相關性質非常差，所以它只適用於同步的應用。

上圖中，如果不同步，就不再具有正交性， $C_j$  和  $C_k$  會互相干擾。在基地收發訊台 (BTS, Base Transceiver Station) 中，不同通道用不同的 OVSF 碼展開，然後同步地加在一起。

展開因子 (送許多符號代表一個位元) 允許我們可接納傳輸中若干百分比之錯誤，於是我們可以降低功率輸出 (W-CDMA 中功率是分享之資源)，這樣我們對其他使用者也產生較少的雜音。

### 3.4 攪拌碼 – PN

PN Sequences Properties



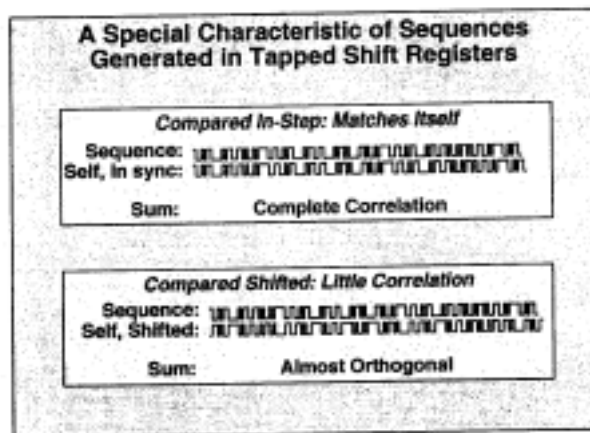
OVSF 碼之外，W-CDMA 使用假雜音 (pseudo-noise, PN) 展開序列。假雜音或假隨機序列是一個展現隨機數性質的已知序列，所以除了發射機及目的接收機外，對任何人 PN 序列呈現為隨機雜音。

PN 序列係用特殊回饋位移暫存器 (feedback shift register) 產生。內存一個二元數，其位元數等於暫存器之 flip-flop 單元 (cell) 數。每送一個時脈波，每一位元就位移一個 flip-flop 單元 (cell)，最後位元會迴一圈回到第一位元。隨著時脈波，相同的序列會週而復始旋轉。如果暫存器有 N 個 flip-flop 單元，每 N 個時脈波序列會重複一次。

如果位移暫存器最後一個 flip-flop 單元的輸出不僅僅連接到第一個 flip-flop 單元的輸入，並且還連接到其他數個 flip-flop 單元的輸入，情況會相當有趣。會產生自我變化的序列，每  $2^N-1$  個時脈波序列才重複一次。

UMTS

- 下鏈：產生的序列長度為  $2^{18}-2$
- 上鏈：序列長度為  $2^{25}-2$ ，或短碼週期為 256

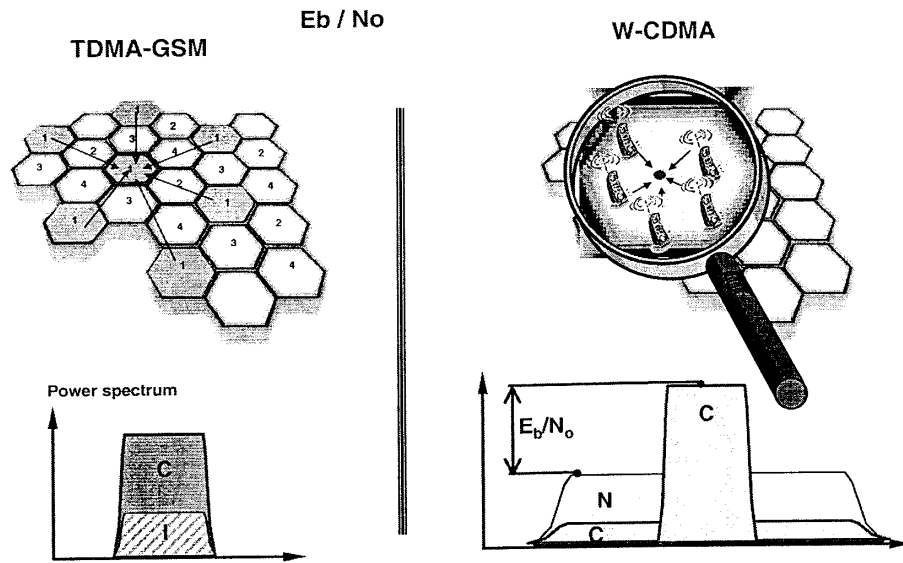


攪拌碼係從前頁所述之序列抽取 38400 片 (chip) 之長度,週期為 10ms,片速率為 3.84Mcps。這種暫存器產生的序列有奇特的性質,就是它們呈現出相當隨機的現象。從序列不同兩點各取一塊 38400 片的碼,結果兩者比較可說完全不相關 (uncorrelated)。此性質讓我們可用單一序列辨別許多不同使用者,只要讓每個使用者用同樣的序列,但有不同的時間延遲。

一個 PN 序列 (事實上任何位元序列),當與無位移之本身作相關時,顯出 100%的相關性 (correlation),當與無位移的本身之邏輯相反 (logical negation) 序列作相關時,顯出 -100%之相關性。

一個 PN 序列,當與經過位移之本身比較時,顯出沒有或非常少的相關性。這種序列,當與在時間中移動過之本身比較時,呈現出幾乎彼此正交。相較於互相關性質,PN 碼的自相關性質是非常好的。

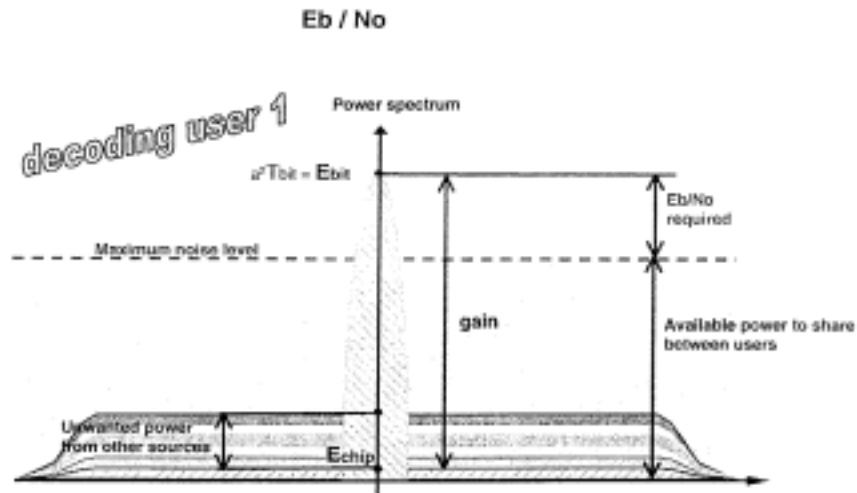
### 3.5 基本 W-CDMA 要素



傳統無線電技術 (AMPS, TDMA, 及 GSM) 中, 信號必須足夠強, 能夠勝過任何干擾。顯示品質的數字是  $C/I$  (信號功率比同頻道干擾功率)。

我們使用謹慎的頻率規劃使同頻道使用者保持在安全距離, 並使干擾保持在低位準。為避免干擾, 附近的使用者及細胞必須使用不同的頻率。

W-CDMA 中所有使用者在相同時間佔據相同的頻率! W-CDMA 干擾主要來自附近的使用者設備及 BTS。每個使用者是喧嘩群眾中的一個小小聲音, 但帶著一個獨特地可回復的碼。顯示品質的數字是  $E_b/N_0$  (單位位元之能量比干擾雜音頻譜密度)。



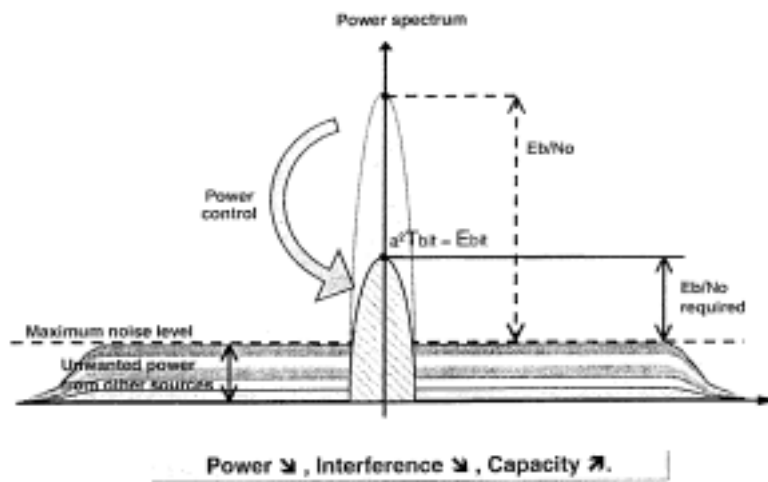
在接收機，因為所有的碼是不同且已知的，只有所要使用者的功率被解展開。

解展開（解碼）後，正確的數據收回需要指定的  $E_b$  對  $N_0$  比，若低於此  $E_b/N_0$  則雜音會產生太多錯誤。雜音主要是由同時同頻率使用不同展開碼發射的其他使用者所產生。

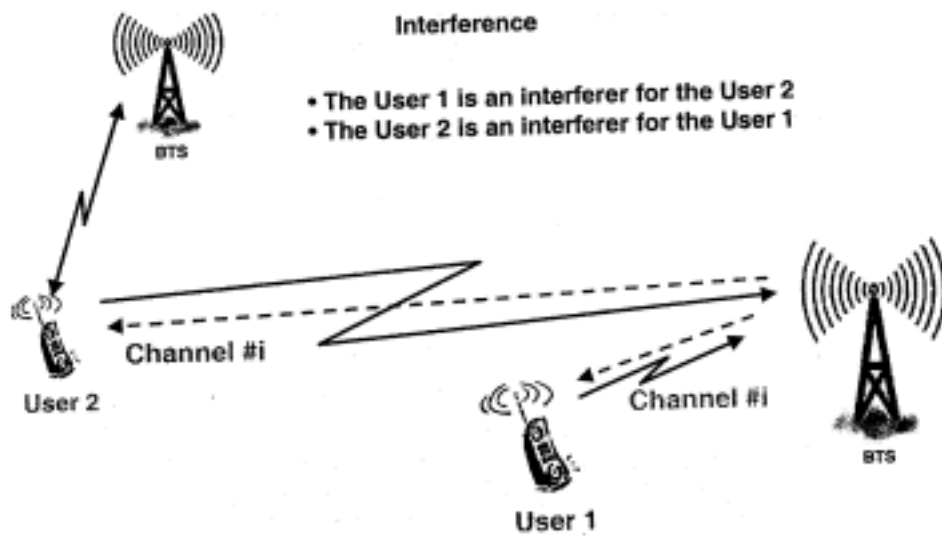
所以為了不要超過此最大雜音位準，所有使用者必須分享功率。W-CDMA 中，時間-頻率平面並非像 TDMA 或 FDMA 一樣劃分給使用者，所以共同分享的資源是功率。

解展開程序產生與展開信號頻寬成正比的處理增益。展開因子愈大，處理增益也愈大。這意思是使用較大的展開因子，我們可以降低功率（並因此背景雜音）。感謝有此性質，只要有足夠的處理增益，展開信號可以在負值的訊噪比下運作。

## $E_b / N_0$ & Power Control

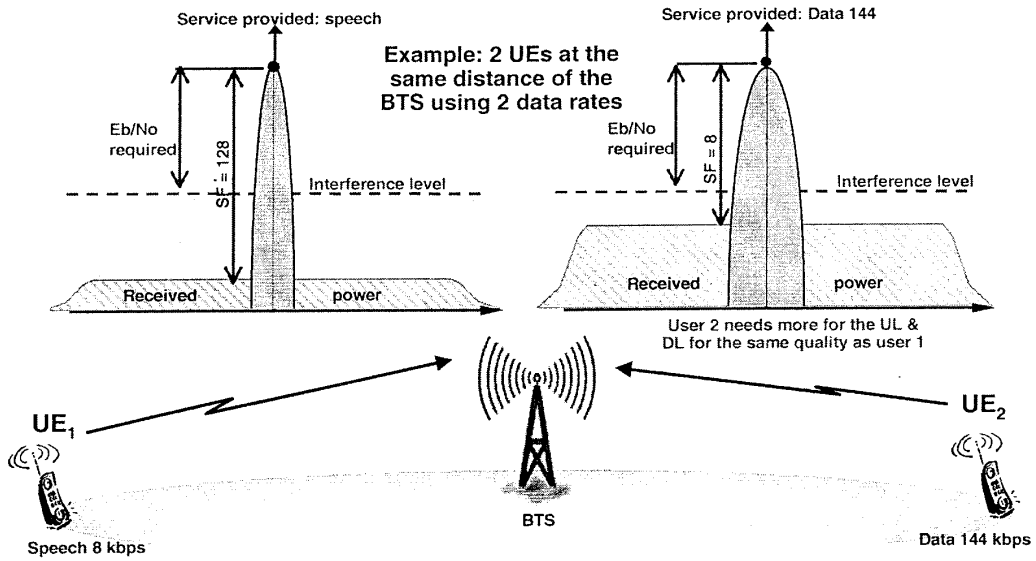


W-CDMA 干擾主要來自附近的其他使用者。所有使用者的發射功率必須緊密控制，使它們到達基地台時在相同信號位準。



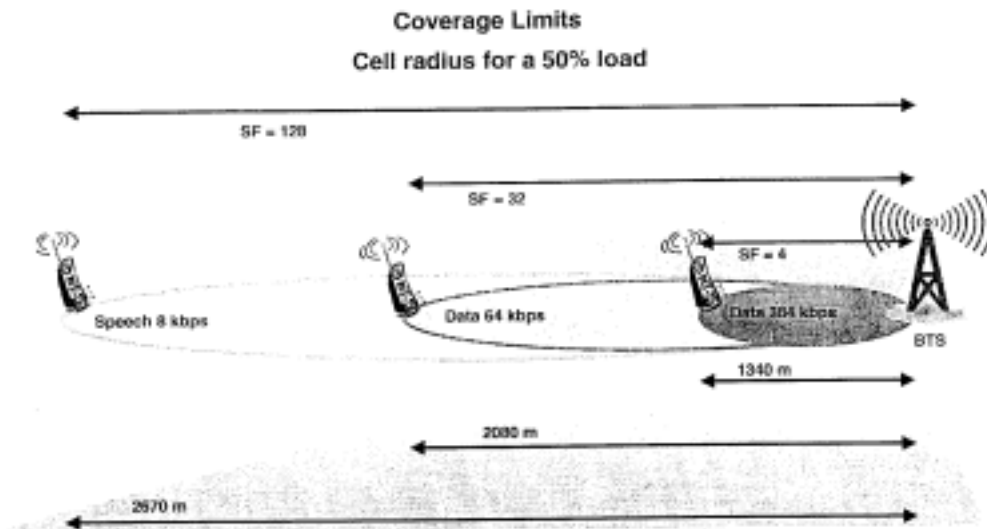
所有使用者都在相同時間使用相同頻寬，所以會彼此干擾。由於傳播路徑損失，基地台接收到附近使用者的信號會比較強，而接收到細胞邊界處使用者的信號會比較弱。於是近的使用者會比遠的使用者佔優勢，這稱為近-遠效應。要達到相當的容量，所有的信號不論遠近，應該以相同平均功率到達基地台。此問題解決方法之一是功率控制。下鏈中，功率控制被用來最小化對其他細胞的干擾，並補償對抗其他細胞來的干擾。

### Coverage Limits



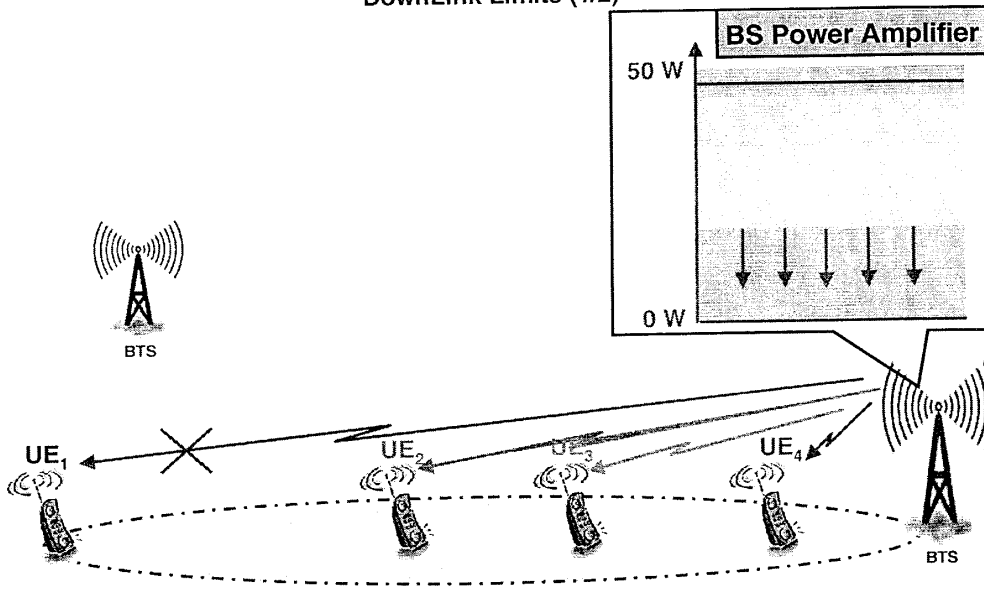
對指定的雜音位準，若使用者數據速率愈高，則 SF 展開因子愈小，處理增益愈小，於是所需的接收功率愈大，可接受的路徑損失就愈小，所以細胞的範圍就愈小。





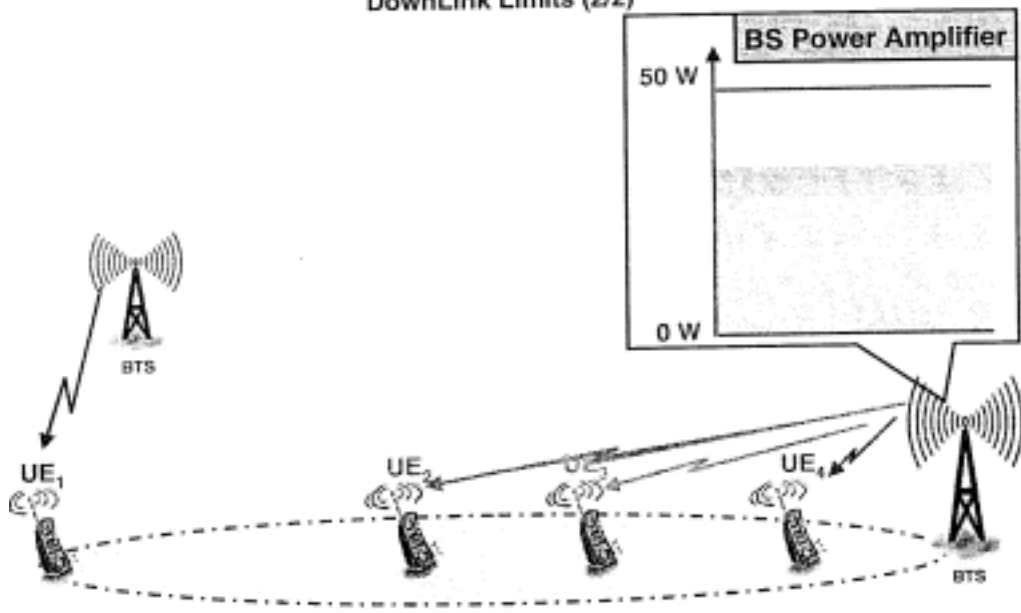
細胞的半徑隨著展開因子以及我們將要了解的雜音位準（或者細胞中活動的使用者之數目）而變化。上圖係基於細胞最大可接受交通量的 50% 之交通量負載。

### DownLink Limits (1/2)

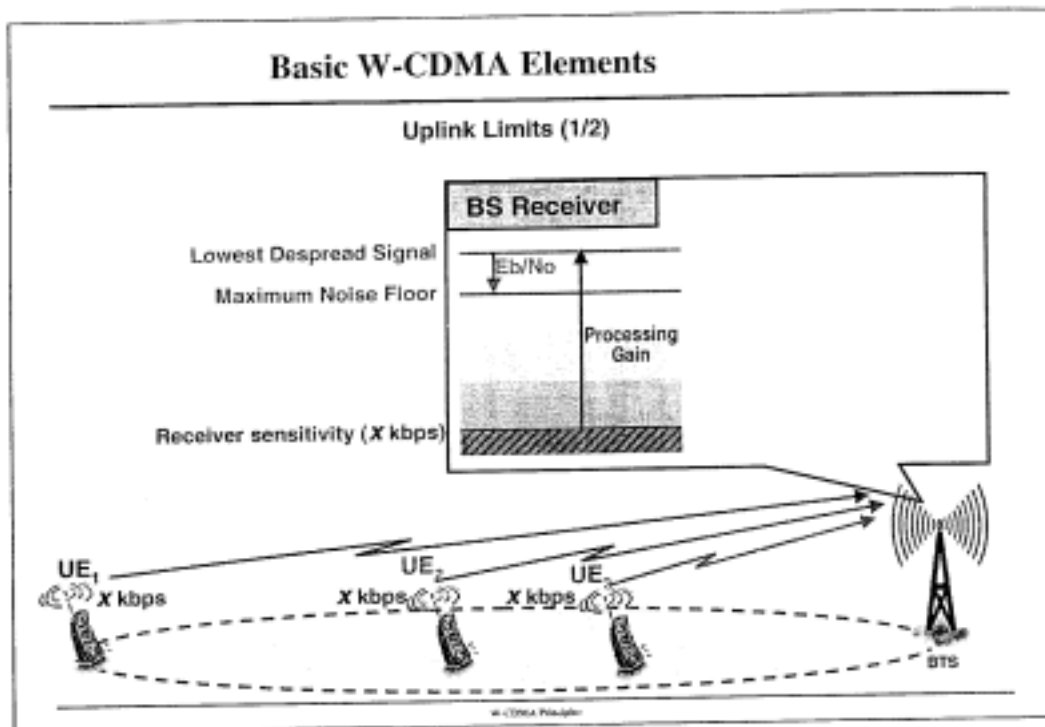


考慮一個 BTS 發射給使用者設備  $UE_1$ ,  $UE_2$ , 及  $UE_3$ 。UE 愈遠，就需要愈多的 BTS 功率來達到它。當  $UE_4$  要求接取時，BTS 已經沒有足夠的功率容量來增加  $UE_4$  所需的功率，雖然它們其實相距很近。

DownLink Limits (2/2)



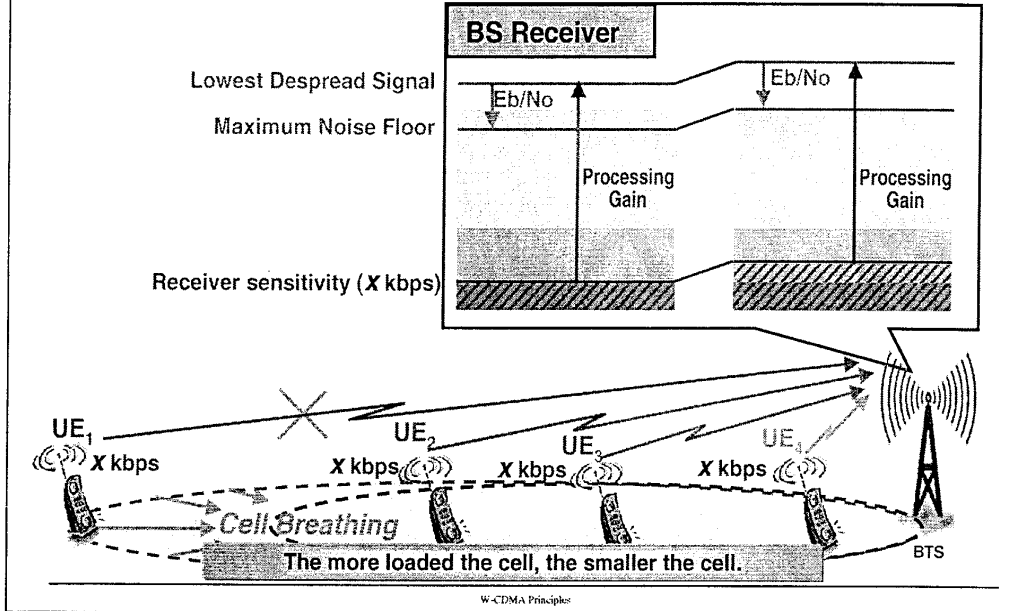
為了滿足 UE<sub>4</sub> 的要求，UE<sub>1</sub> 被交接 (handover) 給另一個合適的細胞。



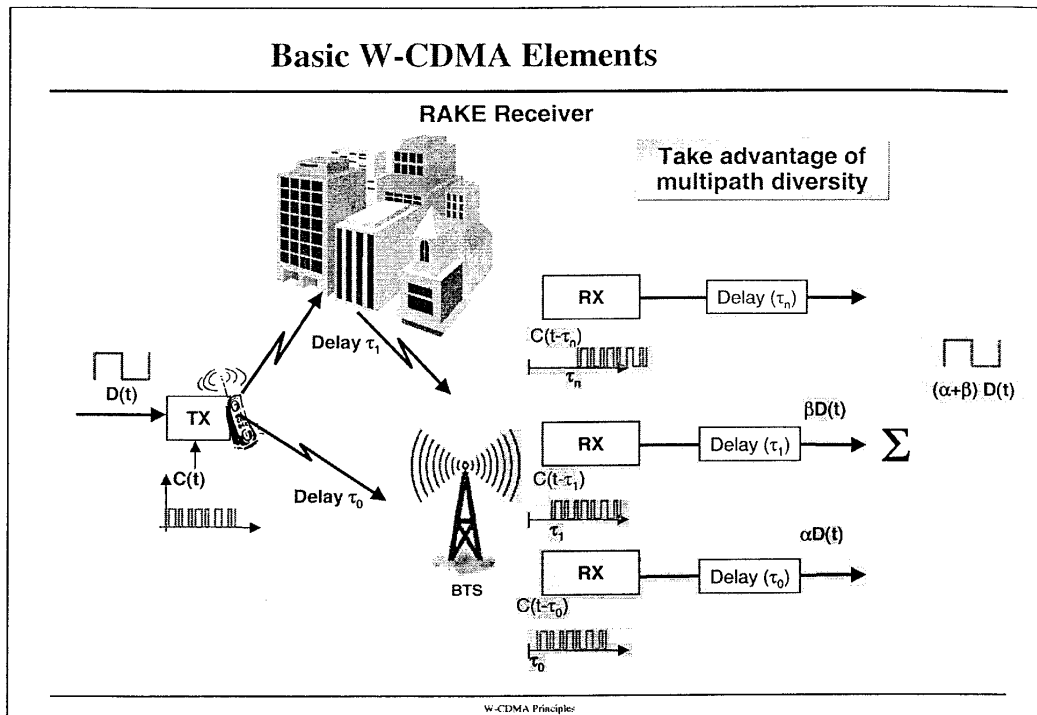
考慮 UE<sub>1</sub> 在細胞的邊界發射，也就是 UE<sub>1</sub> 以全功率發射，以接取細胞最低的功率被接收（等於接收機靈敏度）。解展開後，解碼 UE<sub>1</sub> 需要雜音位準比處理增益及  $E_b/N_0$  固定的最大雜音位準要低。只要使用者 UE<sub>2</sub> 及 UE<sub>3</sub> 產生的干擾不超過這位準，UE<sub>1</sub> 可正確地被解碼。

## Basic W-CDMA Elements

### Uplink Limits (2/2)



UE<sub>2</sub> 對 UE<sub>4</sub> 產生的干擾超過了最大雜音位準，這增加了 UE<sub>1</sub> 的位元錯誤率 (BER)。要保持好的通信品質，UE<sub>1</sub> 必須離開到另一個細胞去，這稱為細胞呼吸 (cell breathing)。W-CDMA 系統中細胞大小取決於所遭遇干擾的位準。如果基地台偵測到高干擾位準，靠近細胞邊界的行動使用者會被交接到其他鄰近的基地台，於是降低了它的有效細胞大小。



多路徑環境中，原始發射的信號被建築物或山等障礙物反射，接收機會收到信號的數個版本，各有不同的時間延遲。事實上，從每一個多路徑信號的觀點，其他的多路徑信號被視為干擾，會被解展開後的處理增益壓制。然而，如果使用 RAKE 接收機結合數個多路徑信號，可以得到進一步的好處。

RAKE 接收機有多重分支，每分支是為一個多路徑成分。每分支中，接收信號被展開碼解展開，此展開碼是與多路徑信號的延遲時間對齊。解展開後各分支信號結合在一起，這提供一個更穩定的傳輸通道。

RAKE 接收機被用在上鏈及下鏈。多路徑結合之外它被使用者設備用來與數個細胞通信。

## 建議

第二代行動通信系統對數據傳送、影像傳送、及多媒體應用之性能表現不夠理想，W-CDMA 技術可大幅提昇傳輸速度，易於整合 (integrate) 現有的 GSM 系統，可將頻寬作有效而經濟的運用。建議多投注心力研究發展 W-CDMA 技術。

第三代行動通信必須突破地區性之拘束，連接陸地及/或衛星網路，達到提供任何時、任何地 (anytime、anywhere) 之通信理想。應提供多種固網支援的服務（例如 PSTN/ISDN/IP）之無線接取及其他特屬行動使用者之服務。由於第三代行動通信支援對稱與非對稱數據傳輸及多種傳輸速率，所以提供使用者頻寬運用的彈性是相當重要的。

UMTS 核心網路將採用開放性 Internet Infrastructure，整合獨立於無線接取網路並符合第三代行動通信系統的標準。應用發展廠商可集中心力於網際網路和行動通信之應用，而不必憂慮太多其他的細節。

第三代行動通信系統必須能無縫地 (seamlessly) 將第二代行動通信系統編入新系統中，不能有斷層，否則會流失客戶。

第三代行動通信系統需要非常大的頻寬及非常快的數據傳輸速率，才能提供高品質的網際網路接取及多媒體服務，然而頻譜是非常有限的資源，所以第三代系統各不同頻帶的頻譜使用效率是非常重要的。由於第二代系統終將升級到第三代系統，第二代系統的頻譜可能將被回收以供第三代系統再利用，然則考量未來各種需求，頻譜規劃仍將是非常重要的課題。

## 研讀書目

進一步研究可參考下列文獻：

1. *WCDMA for UMTS*, edited by Harri Holma and Antti Toskala, ©2000, John Wiley & Sons, Ltd.
2. Pirhonen, R., Rautava, T. and Penttinen, J., 'TDMA Convergence for Packet Data Services', *IEEE Personal Communications Magazine*, June 1999, Vol. 6, No. 3, pp. 68-73.
3. Andermo, P.-G. (ed.), 'UMTS Code Division Testbed (CODIT)', CODIT Final Review Report, September 1995.
4. Nikula, E., Toskala, A., Dahlman, E., Girard, L. and Klein, A., 'FRAMES Multiple Access for UMTS and IMT-2000', *IEEE Personal Communications Magazine*, April 1998, pp. 16-24
5. Ojanperä, T., Rikkinen, K., Häkkinen, H., Pehkonen, K., Hottinen, A. and Lilleberg, J., 'Design of a 3<sup>rd</sup> Generation Multirate CDMA System with Multiuser Detection, MUD-CDMA', *Proc. ISSSTA'96*, Mainz, Germany, September 1996, pp. 334-338.
6. Pajukoski, K. and Savusalo, J., 'Wideband CDMA Test System', *Proc. IEEE Int. Conf. on Personal Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC'97*, Helsinki, Finland, 1-4 September 1997, pp. 669-672.
7. Holma, H., Toskala, A. and Latva-aho, M., 'Asynchronous Wideband CDMA for IMT-2000', *SK Telecom Journal*, South Korea, Vol. 8, No. 6, 1998, pp. 1007-1021.