



Chapter 2

無線電接取技術

Radio Access Technologies

1

- 通信: 互通信息, 分成兩大類:
 - 非電通信: 沒有使用到電, 如飛鴿傳輸, 信件, 烽火台, 燈號, 旗語
 - 電信通信: 使用電氣信號傳送. 如 BB call, cellular phone, fax machine, telephone
- 使用電氣信號傳送的重點是”要能控制電磁場將信號傳送出去, 且能夠正確地被接收(天線能感應電磁波轉成電流)”, 才能達到傳輸的目的.
- 通常無線傳輸的環境是多變, 多干擾, 非常混亂, 接收端的手機也隨著人的動作, 不可能保持完美的接收方式.
- 電信的工程師主要的任務, 要發展出各種技術, 使手機天線, 不論環境如何混亂, 天線都能收到正確的訊息.

課程目標

- 這個章節針對行動通訊中無線電傳輸的基本原理、電磁波運作的特性與方式，進行入門的介紹。內容包括：
 - 比較類比信號（analog signal）與數位信號（digital signal）的傳輸方式
 - 討論無線電波傳輸的情形以及模型的建立
 - 簡介調變（modulation）技術。
 - 就電磁波干擾問題的解決方案，針對通道編碼（channel coding）與交錯放置（interleaving）加以介紹。

2

•After reading this chapter, the reader should be able to:


- 個人通訊服務（Personal Communications Services，PCS）的概念，就是希望以各種無線通訊（wireless communication）的技術，針對個人的需求提供可在任何時間（anytime）、任何地點（anywhere）、以任意型式的終端設備（any terminal）存取資訊的服務。從早期行動電話傳遞語音，到現今多種資訊設備都可進行多媒體資訊的無線存取，再再印證了擺脫通訊線路的束縛並不是遙不可及的夢想。
- 本章節開始先說明個人通訊服務網路（PCS network）的基本架構與網路上的各個元件，之後將介紹行動電話的演進，從類比系統到數位系統，從單純的語音服務到多媒體通訊的歷程。我們可以從過往通訊服務的歷史推想，未來將會是一個多元的世界，可以任意結合通訊產業（telecommunication industry）、電腦產業（computer industry）與各種通訊技術，創造各式各樣個人通訊的服務。

章節目錄

- 簡介
- 類比與數位信號
- 無線電波的傳輸與模型
- 調變
- 展頻
- 通道編碼與交錯分配
- 總結

Section 2.1
簡介
Introduction

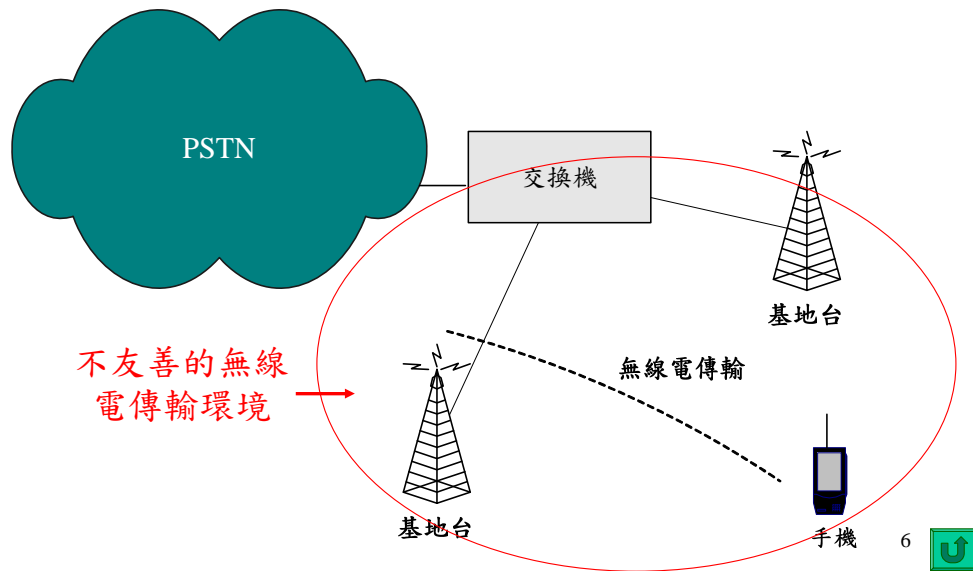
無線電的傳輸

- 無線電傳輸的原理在於藉由變動的電場及磁場交互感應而產生的電磁波，傳遞至遠端。
- 電磁波的傳遞**無需介質**，**真空中也可以傳送**。
- 在行動通訊系統中，無線電傳輸所扮演的功能便是手機與基地台之間的資訊傳遞。 
- 無線電波的傳遞可能會暫時受障礙物的屏蔽，導致通訊品質不良。為了能在傳輸情況難以控制的大自然環境中，確保傳遞內容的正確性與有效性，許多相關技術被發展出來以解決問題。

5

- 電生磁, 磁生電. 變化的磁場會產生有變化的電廠, 反之亦然.
- 電磁波: 電流感應磁場, 磁場感應電場, 電場又感應磁場, (兩者成 90 度垂直) 不斷地作用之下, 就形成電磁波, 傳送到遠方.
- 由於電場與磁場都非實際的物質, 因此在真空中, 磁場與電場不會衰竭. 然而, 在非真空的狀態下, 實質的物質會影響電磁場, 所以會衰減.

圖 2-1 無線電傳輸在個人行動通訊網路的關係



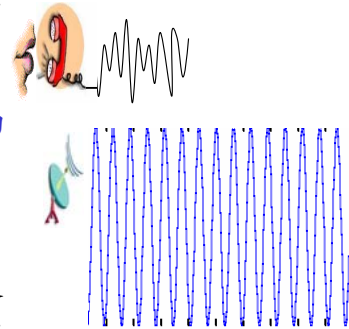
Section 2.2

類比與數位信號

Analog and Digital Signal

類比訊號

- ▶ 在大自然中的信號，均以類比的型態存在。
- ▶ 類比信號的特色是信號在時間軸上連續，也就是在任何時間點上，都會有對應的信號值。
- ▶ 若在傳遞的過程中信號衰減或是受到環境的干擾，造成了波形的改變，稱為失真。傳送類比的信號，必須小心保持它的波形，因為波形一旦失真後，不易回復成原始的形狀。



8

- 類比的信號在傳送中受到干擾產生的失真無法復原, 所以當傳輸距離長時, 失真會不斷累積.
- 數位的信號即使失真也容易辨別出為0或為1, 因傳送而導致的輕微的失真或衰減, 可以還原 (如repeater)。如果傳送環境不佳, 也可以透過其他技術來改善品質, 如重傳或特殊的編碼技術。另外使用數位的技術, 可以加上加密技術, 不容易被盜拷或竊聽。

數位化 (1/2)

- 數位化 (Digitalize) : 將大自然存在之類比信號，轉換成一群 0 與 1 的序列信號。

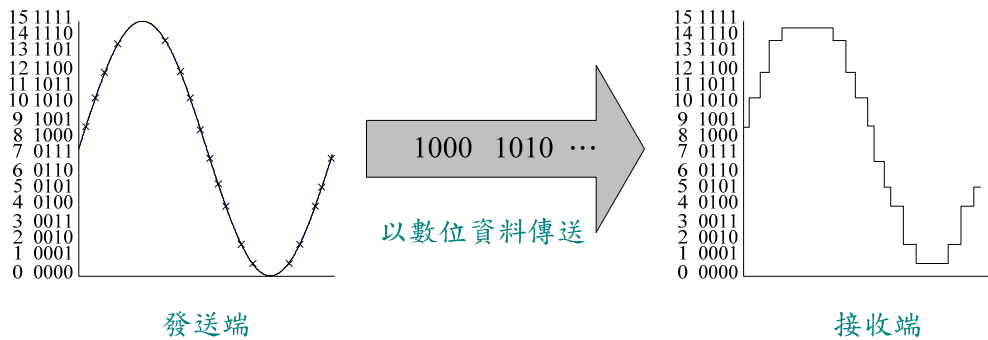


圖 2-3 類比信號的數位化

9

- 接收端的信號收到的是 discrete 的點, 只有在幾個時間點(sample)是有值的. 右圖的橫線只是串起這些有值, 讓圖看起來像 sin 波.
- 左圖的 quantization 將信號值分成 16 個種類 (quantization level), 像考試的級分.
- 左圖的 coding, 不見得要用 0000 代表 0, 1000 代表 8, 可以隨意設定, 沒有一定的順序.
- 經取樣量化後的訊號便已失真, 無法還原回真實的訊號。然而這種誤差很小, error 不會累積或放大. 可以預測或控制, 如增加 sampling rate 或 quantization level.
- 增加 sampling rate 或 quantization level, 會使聲音品質變好, 然而需要增加傳輸量.

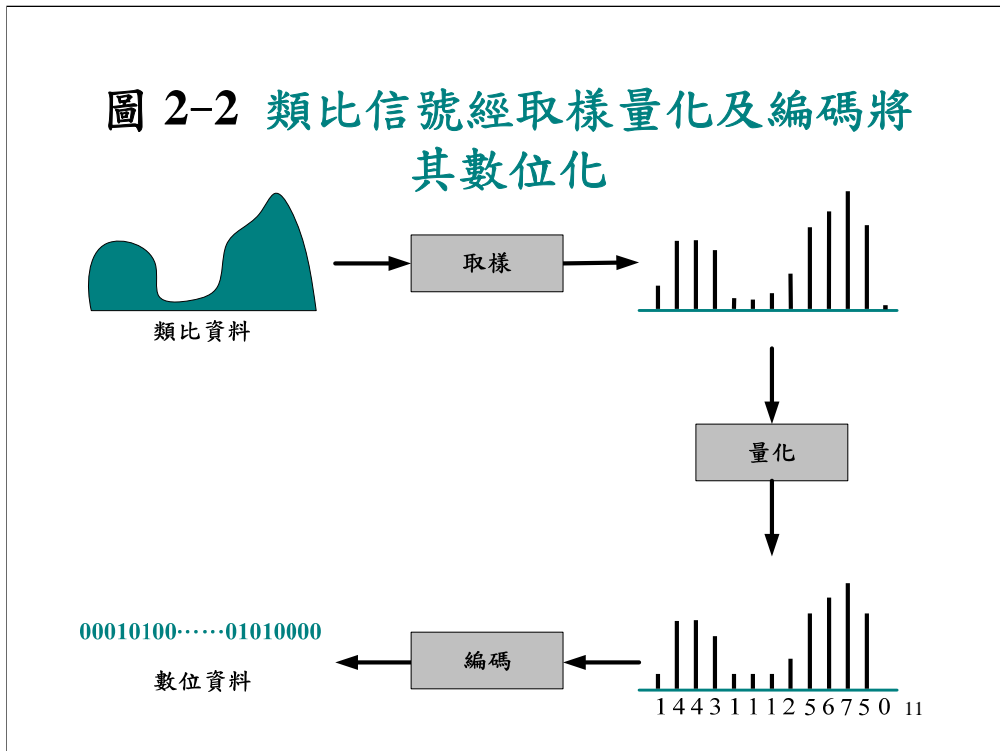
數位化 (2/2)

- 當通訊系統傳送 0 與 1 的數位信號時，由於 0 與 1 傳送時的波形是固定的有規則的，如遇雜訊干擾而變形，可用先進的通訊技術將其回復成原來形狀，或能偵測出錯誤而要求重新傳送。故利用數位技術傳送信號漸漸成為電信的主流。
- 類比信號的數位化過程基本上分為三部分：取樣（sampling）、量化（quantization）及編碼（coding）。

10

- 為何要採用數位通訊? 因為可使信號很正確的送到對方.
- 數位通訊正確信號的原因:
 - 0 與 1 信號如遇雜訊干擾而變形，可用先進的通訊技術將其回復成原來形狀。這屬於 **physical layer**, 通常是傳統通訊工程師的工作。
 - 能偵測出錯誤而要求重新傳送。這屬於 **MAC layer** (及更上層), 通常是資訊工程師的工作。

圖 2-2 類比信號經取樣量化及編碼將其數位化



- 這張圖是在說明 Source coding 的三個部份, sampling, quantization, coding.
- Analog data: 時間上是連續的, 數值也是連續的; 而電腦裡儲存的資料是 discrete, 每一筆資料也都不是連續的數值.
- Audio 本質是 analog data, 要把類比的聲音波形用數位化, 所以當要轉成 digital data 時, 必需依據幾個步驟:
 - 0. Filter 先濾掉高頻的部份, 只保留特定的訊號.
 - 1. Sampling 取樣: 每隔一段時間讀取一個值. Ex: 人聲的頻率約在 4kHz 間, 所以要用 8kHz 的速度(每隔 0.125 ms)取樣一次. 只要取出足夠的 samples, 讓其可以還原為原本之類比訊號.
 - 2. Quantization 量化: 由於 sampling 取下的資料仍是連續的數值, 但電腦不可能表示無限多種數值, 所以要取近似值. 例如只用 6 bits 來表示一個點, 在範圍 0-63 間, 如果測量得到 29.2, 就必須以 29 儲存.
 - 3. Coding 編碼: 被量化後的資料值 (稱為 code) 會以 binary pattern 來儲存, 例如 25 直接轉成 binary number 011001.
 - 4. 將資料儲存起來.
- Telephone voice is sampled: 8 bits, 8K times/sec
- For a HIFI orchestra recording, use more bits per sample, and more frequent samples.

取樣

- 連續的類比信號每隔固定的時間，取出一個值，稱為取樣。
- 原本在時間軸上連續的信號，在取樣後變成非連續的信號，被稱作離散信號（discrete signal）。
- 在單位時間內取樣的次數，稱為取樣頻率（sampling rate）。
 - 例如每秒取8000個數值，則取樣頻率為8000Hz。

12

•Sampling rate 取決於 original signal 的特性.

取樣定理

- 取樣定理 (Sampling Theorem, 即Nyquist Theorem) : 取樣頻率需高於所欲取樣之類比信號的最高頻率的2倍, 才能還原成原始的類比信號。
- 若以人類聲音為例, 其頻率範圍約在300至3400Hz之間, 因此PSTN電話系統的語音信號取樣頻率為每秒8000次。

13

•所謂 sampling, 是周期性的 (periodically) 將在時間軸上, 連續的訊號轉成離散的訊號. 為使取得的資料能完整表達或還原成原始的類比訊號, 必需慎選 sampling rate. 所以 Nyquist sampling theorem 告訴我們最小的取樣頻率必須是原始資料速率的兩倍.

•例如人的聲音的變化會落在 300-3800 Hz 間, 所以用 8kHz 的速率來取樣就可以取得足夠的資訊. 取樣後會得到取樣點一個個振幅的(連續的) 數值.

•然而超過 4kHz 的人聲或背景音樂, 只用 8kHz 來取樣, 只會將平常談話的聲音錄製下來, 並無法取得 full voice (太高頻的聲音), 或是音樂, 非常短猝的下雨聲等非常高頻的聲音.

量化

- 若要以有限長度 0 和 1 字串表示離散信號的振幅數值，就只能表現出有限數目的振幅數值，每個可表現的數值稱為量化準位（level）。
 - 例如用 4 bit 就只能表現 16 個量化準位。
- 對於每一個取樣點的振幅，分別以最接近的量化準位來代表之，這個動作稱為量化（quantization）。
- 其取樣點與量化準位之間的差距，稱為量化誤差（quantization error）。

14

- 由於 sampling 的資料仍是類比連續的數值，量化的過程便是將此振幅連續之取樣信號轉換成振幅離散之取樣信號。
- 第一要決定儲蓄的振幅的範圍，第二決定每一個點要用多少的位元來表示。
- 但電腦不可能表示無限多種數值，只能用近似值來表示 input。例如只用 3 bits 來表示一個點，在範圍 (-4,4) 間。
- 在此例中，是一個以 zero 為對稱，midrise (輸入=0, 輸出為 1 或 -1) 的量化器。每個 step size 都一樣大，所以是 uniform quantization. (均勻量化器)
- 在此例中，如果測量得到 1.3, 就必須以 2 (=101) 儲存。這個 0.7 的誤差便稱為 quantization noise 或 granular error (粒狀誤差)。如果測量得到 5.3, 就必須以 4 (=111) 儲存。這個 1.3 的誤差便稱為 overload error (過載誤差)。
- 增加每一個 sample 的 bit 數可增加精確度，但會增加傳輸的頻寬。因此 quantization 決定整體的失真情況與儲存資料使用的頻寬。
- Quantization noise 有下面的特性：
 - 相同的 Quantization noise 對在較低準位輸入的聲音所產生的影響，勝過在較高準位輸入的聲音的影響。Ex: 在 1.8 的 error 0.2 會比在 3.8 所造成的影響來得大。
 - Quantization noise (or Signal-to-noise ratio) 在較小聲的 talker 所產生的影響勝過大聲公。

編碼

- 編碼 (coding)：以一組欲先設定的 0 或 1 所組成的數字字串，來表示所規劃的所有的量化準位。
- 以 PSTN 常用之脈碼調變 (Pulse Code Modulation, PCM) 為例，是使用 8 位元編碼，共 256 個準位來表示人的聲音。取樣頻率為 8KHz，意味著每秒傳輸 64,000 個位元，換言之，資料量的傳輸速率為 64,000bps。

Section 2.3

無線電波的傳輸與模型

Radio Transmission and Modeling

電磁波的傳遞

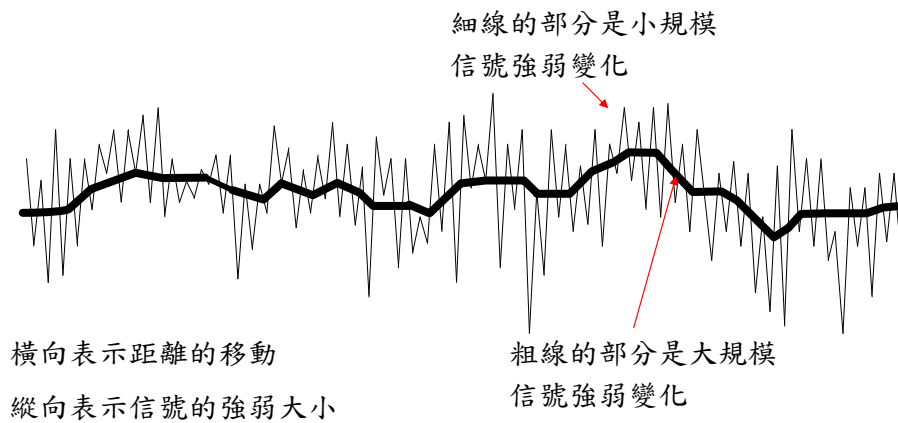
- 影響電磁波在空氣介質中傳送形態的三個機制
 - 反射 (reflection)
 - 繞射 (diffraction)
 - 散射 (scattering)
- 為了能猜測環境對電磁波的影響，許多的傳輸模型被提出，希望能預測電磁波傳輸時的特性。

傳播損失 (Propagation Loss)

- 當電磁波遇到障礙物 (包括空氣與水氣) 時，會造成能量消耗。
- 影響電磁波傳播的因素分成兩大類：
 - 大規模的影響因素
 - ✓ 傳播的影響因素是針對收發機之間距離遠近，以及受到外在傳輸環境變動情形下的影響。
 - ✓ 主要是預測這個無線電波平均信號的強度，在時間軸上取得一個平均的信號強度進行比較。
 - 小規模的信號強度比較
 - ✓ 分析在很短暫的時間內，信號強弱改變的情況。
 - ✓ 可能是因為週遭物體的移動，或者是如雷雨等自然環境改變所造成的情形。

• 各種無線電傳輸技術都會受大規模的影響因素而降低品質。然而除了 cellular，會因如 handset 移動或快速環境改變 (如有車通過擋住 light of sight) 這樣的小規模的影響因素而大受影響。像衛星或點對點的微波通訊，都不會有小規模的影響因素。

圖 2-4 電磁波信號強弱變化的情形



19

- 一般 cell planning 處理的是大規模的影響因素。
- 小規模的影響因素無法預測或估計，所以無法事前防範。通常會以 MAC layer coding 的方式來處理，如 interleaving。

影響無線電波信號強弱的三大類因素

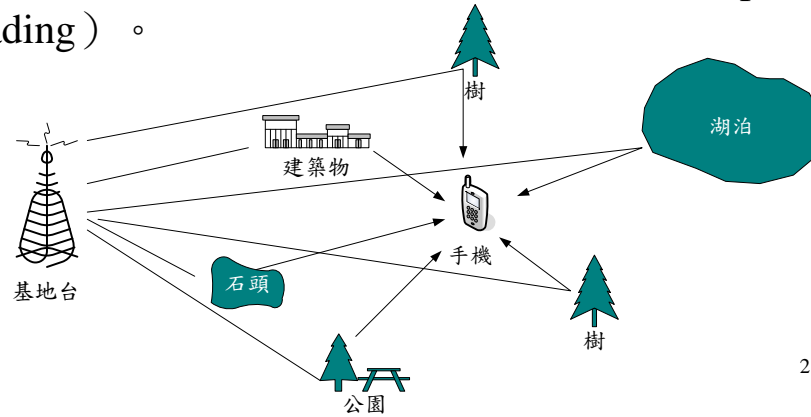
- 路徑衰減 (path loss)
- 慢速擾動 (slow fading) 或屏蔽現象 (shadowing)
- 快速擾動 (fast fading)

20

- 路徑衰減 (path loss) : 因距離造成的衰減
- 慢速擾動 (slow fading) 與屏蔽現象 (shadowing) : 因障礙物造成的信號衰減. 這些障礙物是不會在短時間內改變的, 如山, 湖, 穩定變化緩慢的天氣.
- 快速擾動 (fast fading) : 如 handset 移動, handset 旁汽車的移動.

圖 2-5 無線電傳播影響因素

- 當無線電波遇到障礙物時，會產生各種傳導現象，造成許多不同路徑的無線電波被手機所接收，這種現象即所謂多重路徑效應（multi-path fading）。



21

無線電波傳輸模型 (Propagation Model)

- 在複雜的無線電波傳輸環境下，若能對無線電波傳輸的情況做個模型化的描述，將有助於系統業者規劃與建置基地台。
- 無線電波傳輸模型是用於“在已知無線電發射機與接收機之間的距離時，預測收到無線電波的信號強度”。
- 但對於短時間內信號改變的情形並不考慮，所以它取的是一個平均信號強度值的動作。
- 建立模型之後，便可進一步利用此模型去預測類似傳輸環境下無線電波信號的強弱。

22

- 無線電波傳輸模型只參考造成 slow fading 的影響因素。

Okumura-Hata Model

- 用於模擬郊區 (urban) 大涵蓋範圍基地台的無線電波發射特性

$$L(\text{urban})(dB) = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d$$

- L表示傳輸路程中電波強度衰減的情形
- f_c 是指這個無線電傳輸的頻率，傳輸的頻率範圍要求在150MHz到1500MHz範圍之內。
- h_{te} 是發射機天線的高度，在35~250公尺之間。
- h_{re} 是接收機的高度，1~10公尺之間。
- d是發射機與接收機之間的距離。
- a是表示一個校正的因素。

23

影響無線電波傳輸的因素 (1/2)

- 所在地區整體特性，是城市、郊區，或是空曠的開放地區。
- 發送端傳送天線與接收端接收天線的高度。
- 無線電載波頻率。
- 無線電發射機與接收機之間相對的距離（基地台與手機間的距離）。
- 量測地區內建築物平均的高度、街道寬度、建築物之間疏密的程度等。

影響無線電波傳輸的因素 (2/2)

- 道路的走向，是否會阻礙電磁波的傳送，或者是一個通道的效益讓信號更容易地傳送。
- 室內量測的房間隔間性質（固定水泥牆或活動隔間板），會影響電磁波信號衰減。
- 發送及接收端之間隔樓層（牆）數、樓層面積、隔間窗戶所佔比例、隔間材質、樓層功能（辦公室、教室或商店）等考慮因素。
- 建築物建材（水泥、木造屋或鐵皮屋）。譬如在台灣有許多鐵皮屋，它是在一些做電磁波信號量測的先進國家，較少用到的建材。

25

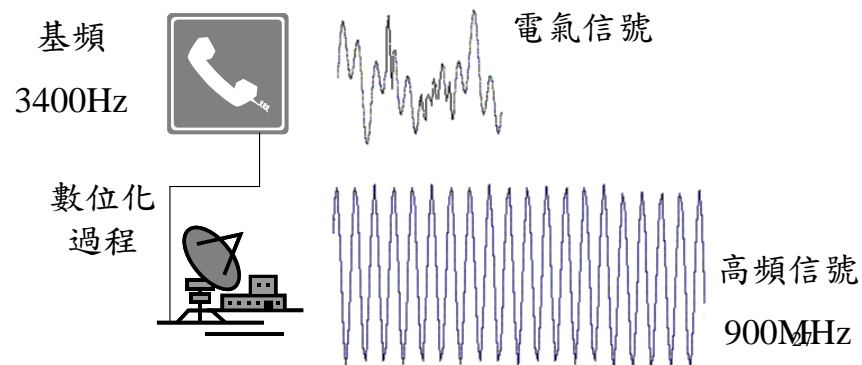
Section 2.4

調變

Modulation

圖 2-6 調變

- ▶ 語音轉變成的電氣信號並無法在空氣中做遠距離的傳輸，所以必須要將其轉換成高頻無線電波信號以傳送至遠處，這樣的動作稱為調變。



- 這 slice 是專指無線的環境，對其他的傳輸環境，不見得適用。
- 語音轉變成的電氣信號不適合直接在無線的環境傳播。因為聲音是向四面八方傳遞，在一段時間後，聲音到達的地方會形成一個球面。所以能量無可避免的以距離的平方衰減。這與真空與否是無關的。
- 所以必須把語音轉變成的電氣信號包裹於適於遠距離無線傳送的電磁波中。

調變 (modulation) (1/3)

- 在行動通訊系統中，若希望將語音等資料轉成電磁波在空氣中傳送，不管是轉成類比信號或轉成數位信號傳遞，都還需要更多的處理。
- 將欲傳送的原始信號編碼放入一個載送的高頻電磁波中，而這個載送電磁波是適合在大氣自然環境中傳送的。
 - 這個高頻無線電波，稱為**載波** (carrier)。
 - 原始信號被稱為**進行調變的信號** (modulating signal) 或基頻的信號。
 - 轉換成的高頻信號被稱為**已調變的信號** (modulated signal)，適合無線電波傳送。²⁸

- 這個高頻的無線電波內載入語音的信號, 所以稱為載波 (carrier).

調變 (modulation) (2/3)

- 已調變的信號從發射機發送出來後，透過無線電介面傳送到接收機。接收機接到信號後，執行調變相反的動作，把它還原成原始信號，稱為解調變 (demodulation)。
- 調變技術是將原始信號型態轉換成適合於傳輸介質的傳輸信號型態，以提高傳輸效能之技術。

調變 (modulation) (3/3)

- 如果原始信號是類比信號，就需要類比調變與解調變的技術 (analog modulation & demodulation)。
- 如果原始信號是數位信號，一樣需要將數位信號轉成適合的特定通道傳送，這一類被稱為數位調變與解調變 (digital modulation & demodulation)。

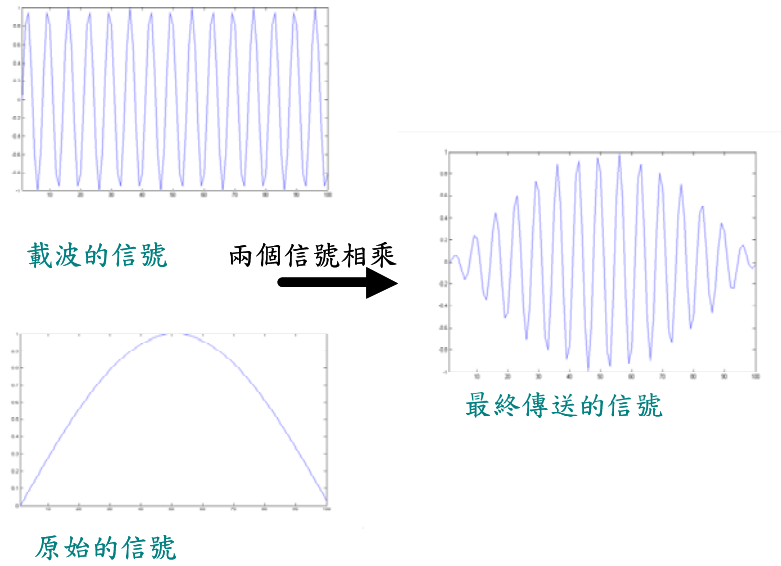
30

• 不管是數位調變還是類比調變, 在傳送的過程中都是 analog 信號.

類比調變

- 若要以無線電傳送類比信號，將類比信號載入無線電波傳送有多種方式，其原理都是嘗試改變載波某些特徵來表現原始的信號。
- 載波有三個重要參數可做為調變的因素，即利用載波的振幅、頻率、或相位的變化來表示原始信號。
 - 振幅調變 (Amplitude Modulation, AM)
 - 頻率調變 (Frequency Modulation, FM)
 - 相位調變 (Phase Modulation, PM)

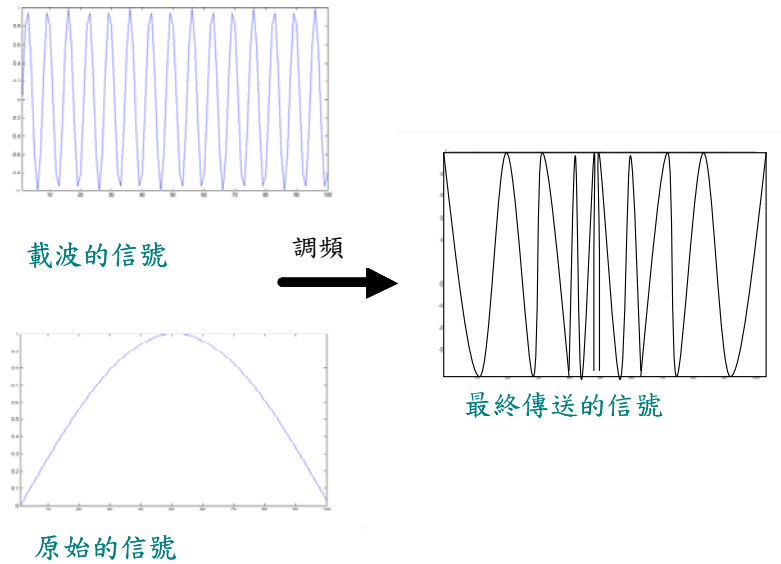
圖 2-7 調幅過程



32

- 利用振幅的改變, 將原始信號藏在載波中.
- 最後傳輸信號的邊界所形成的連線稱為包線. 此例中是上凸與下凹的兩個曲線.

調頻過程



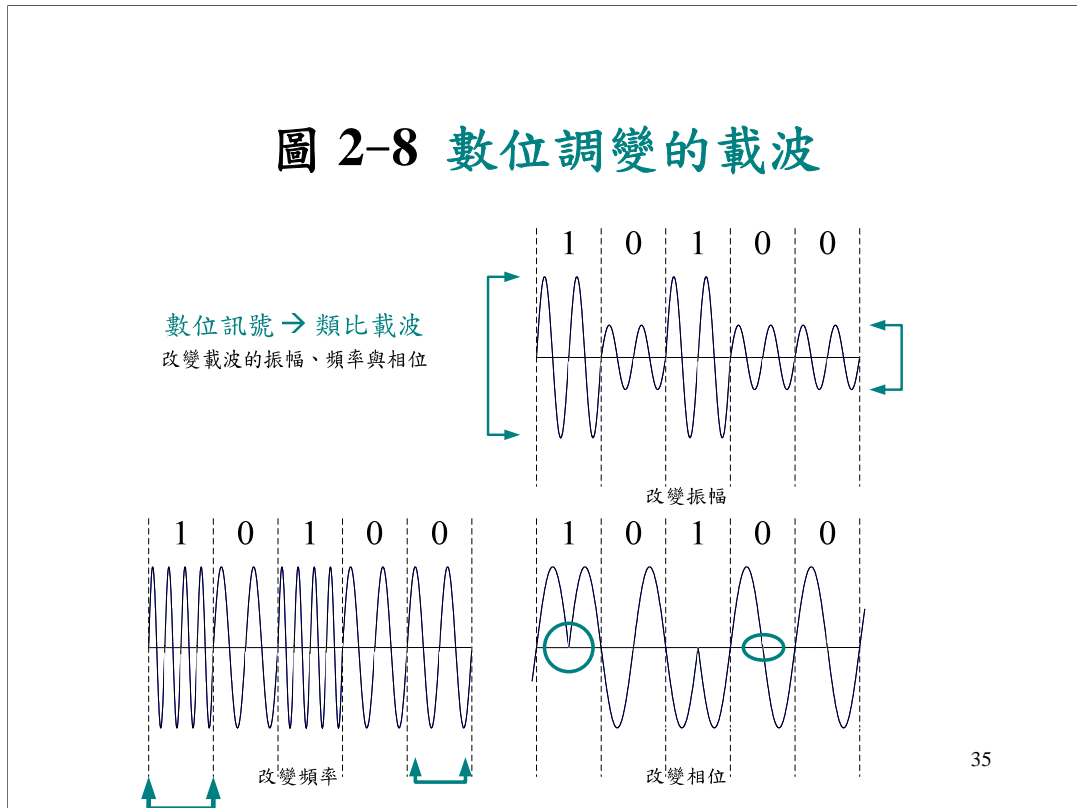
33

- 利用振幅的改變, 將原始信號藏在載波中. 小的原始信號對應的輸出頻率小, 大的原始信號對應的輸出頻率大.
- 此時振幅是一樣大的.

數位調變 (1/2)

- 直接將 0 或 1 的數位信號以電脈衝 (pulse) 利用實體線路傳送，這是屬於基頻調變的範疇，不在此說明。
 - 例如脈碼調變 (Pulse Code Modulation, PCM)
- 就行動通訊系統而言，為了無線電遠距離的傳送，就需要將數位信號轉換為類比高頻載波來傳送。
- 在數位調變中亦可以使用載波振幅、頻率、或相位的三種變化方式將 0 與 1 表現出來。

圖 2-8 數位調變的載波



- 要注意同步的問題。
- 解決的方式: 如 GSM 使用 training sequence. 收送兩方有相同的 training sequence, 收的一方以 autocorrelation 的方式計算, 若 autocorrelation 的程度高表示時間上是 match 的。
- 利用 training sequence 還可以用於 equalization. 因為無線的環境複雜, 接收端不知會收到怎樣的信號. 假設收送兩端已約定好一個 system function (ex: 使此 system 的 gain=1, 則 input=output), 使接收端將 training sequence 送入此 system function 後會得到一個已知的結果. 但實際上因干擾使得 system function 的 output 沒有已知的漂亮, 但由於我們已經知道結果為何, 所以可以產生一個信號來彌補, 使最後的結果如同已知的信號. 這樣產生彌補信號的元件稱為等化器 (equalizer). Training sequence 的另一個用途就是用於偵測無線通道上在一瞬間的特性, 透過 equalizer 得到信號彌補原先接收信號的不足。

數位調變 (2/2)

- 可以進行錯誤的偵測及錯誤更正。
- 可以進行加解密的工作，確保通訊安全。
- 希望能夠以簡單不貴的調變技術，提供低位元錯誤率（bit error rate），避免行動通訊無線電傳送的不友善環境（如多重路徑和信號衰減）的影響。
- 至於在效能運用上，數位調變技術可朝**能量有效利用**與**頻寬有效利用**兩個方向。

36

- 數位調變的優點來自於可以做 channel coding, 及 source coding.
- Source coding 是針對信號本身的特性所做的 coding. 例如加上 parity bit, Hamming code 等, 就可以進行錯誤的偵錯.
- Channel coding 是為補救 channel 的特性, 所做的 coding. 例如 interleaving 等, 就可以避免瞬間干擾造成連續資料的流失.
- 對於數位資料, source coding 還可以做數位簽章, 確保資料來源正確, 或從 information 中找出 source 擁有者.
- 能量有效利用是指發送的信號強度的控制. 其原因是要考量傳輸的距離與電耗電間的平衡, 另外也可考量手機發送電波對人體的影響.
- 頻寬有效利用是指發送所使用的頻寬大小, 是否會對他人造成干擾等問題.

數位調變技術的分類

- 線性振幅數位調變 (linear modulation)
- 固定振幅數位調變 (constant envelope modulation)
- 整合線性及固定振幅之數位調變 (combined linear and constant envelop modulation)
- 展頻 (spread spectrum modulation)

37

•這不是 unique 的分類.

線性振幅數位調變

- 調整信號的相位角以表現 0 與 1。
- 頻寬的使用顯得有效率，但輸出功率較差。
 - 二階相移鍵控 (Binary Phase Shift Keying, BPSK)
 - 差動相移鍵控 (Differential Phase Shift Keying, DPSK)
 - 四階相移鍵控 (QuadriPhase Shift Keying, QPSK)

線性振幅數位調變技術 BPSK

- 利用兩信號（0與1）間相位差180度（ π ）做調變。

$$S_{BPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \theta_c) \quad 0 \leq t \leq T_b$$

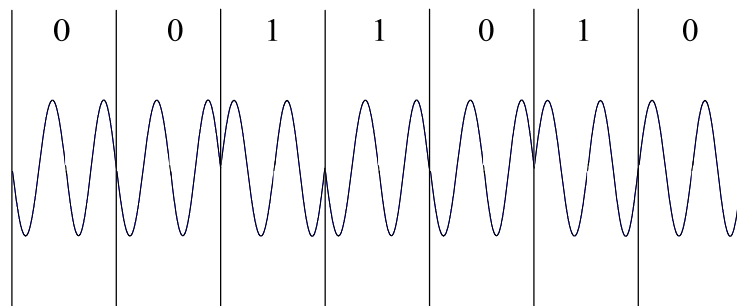
$$S_{BPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi + \theta_c) \quad 0 \leq t \leq T_b$$

- f_c 表載波信號、 θ_c 表相位角
 - E_b 是每個位元的傳輸能量、 T_b 是每個位元的傳輸時間
- 因為接收端要偵測信號的相位的變化，所以接收雙方須要同步。

• f_c 表載波信號，例如GSM系統可以使用 f_c 為900MHz的載波。

圖 2-9 線性振幅數位調變技術 DPSK

- 利用相位是否變化表示 0 與 1。
- 不需要同步信號以及一些相關的電路，所以它可以降低信號接收端電路的複雜性。



40

- 但DPSK的缺點就是信號能量的使用效能較低。

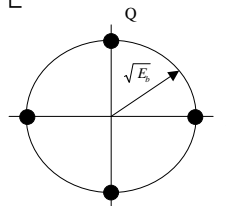
圖 2-10 線性振幅數位調變技術 QPSK

➤ 用 4 種不同相位的類比信號來表示長度為 2 個位元的數位信號。

- 依序可以表示數位信號 00、01、10 及 11。

$$S_{QPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos \left[2\pi f_c t + (i-1)\frac{\pi}{2} \right]$$

$$0 \leq t \leq T_b \quad i = 1, 2, 3, 4$$



- E_b 跟 T_b 分別代表信號的能量及傳輸位元的時間， i 的值由 1 依序到 4，代表傳輸信號有這 4 種可能。

固定振幅數位調變

- 載波信號的振幅是一個常數。
- 利用改變載波信號頻率來區分位元 0 與 1：
 - 二階頻移鍵控（Binary Frequency Shift Keying，BFSK）
 - 非連續性BFSK（Discontinuous Binary Frequency Shift Keying，D-BFSK）
 - 連續性BFSK（Continuous Binary Frequency Shift Keying，C-BFSK）。

二階頻移鍵控 BFSK

- 根據這個輸入信號0或1的值，在兩個頻率之間作交替變換的動作。

$$S_{BFSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c - 2\pi\Delta f)t \quad 0 \leq t \leq T_b$$

$$S_{BFSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c + 2\pi\Delta f)t \quad 0 \leq t \leq T_b$$

- f_c 表載波信號、 Δf 表相位差
- E_b 是每個位元的傳輸能量、 T_b 是每個位元的傳輸時間

非連續性 (D-BFSK)

- D-BFSK是利用兩個獨立、產生不同頻率的振盪器，而在這兩個振盪器中選定所代表的信號為 0 或為 1。
- 在信號交替的過程中，會造成不連續現象。

$$S_{FSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_H t + \theta_1) \quad 0 \leq t \leq T_b$$

$$S_{FSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_L t + \theta_2) \quad 0 \leq t \leq T_b$$

連續性 BFSK (C-BFSK)

- C-BFSK技術能夠使得即使所欲表達的原始信號在不連續的情況下，而載波信號的相位，依然是連續的。
- 技術上是以對信號進行積分的動作，如同下面的數學式。

$$S_{FSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[2\pi f_c t + \theta(t)] = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos\left[2\pi f_c t + 2\pi\kappa_f \int_{-\infty}^t m(\eta) d\eta\right]$$

$$0 \leq t \leq T_b$$

整合線性及固定振幅之數位調變

- 整合相位角、頻率改變兩種方式。
- 同時利用載波信號振幅及相位的改變，就能夠代表更多種信號的狀態。
 - M-ary相移鍵控（M-ary Phase Shift Keying，MPSK）
 - M-ary正交振幅調變（M-ary Quadrature Amplitude Modulation，QAM）
 - M-ary頻移鍵控（M-ary Frequency Shift Keying，MFSK）

圖 2-11 整合線性及固定振幅之數位調變技術 MPSK

- 用一個固定的一個相位角 $2\pi/M$ ，來區隔所要代表的信號狀態。

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{2\pi}{M}(i-1)\right)$$

$$0 \leq t \leq T_b$$

$$i = 1, 2, \dots, M$$

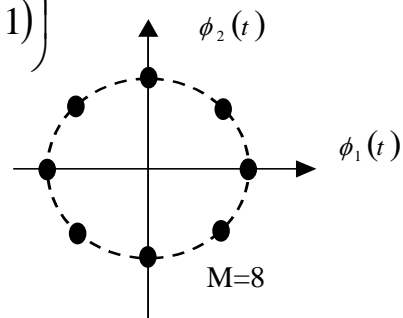
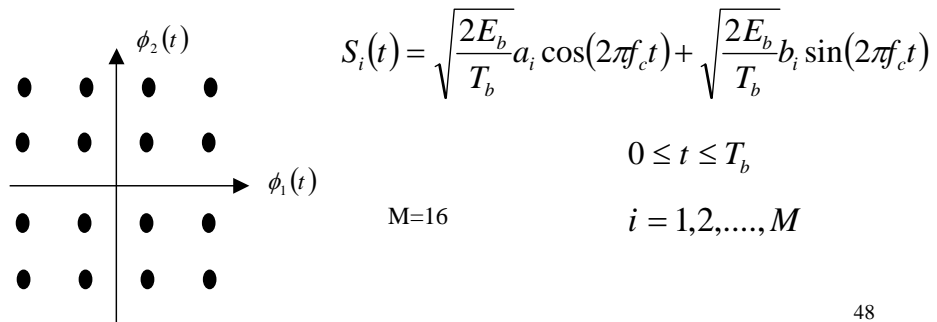


圖 2-12 整合線性及固定振幅之數位調變技術 (16-QAM)

- 利用三角餘弦與正弦的函數的組合，分別代表我們所要代表的信號狀態。
- 各個信號之間的振幅或者是距離並不是相等的



M-ary 頻移鍵控 (MFSK)

- 用載波頻率之間的一個區隔，來表示所欲傳送的數位信號。
- 信號的頻率間隔，是二分之一的信號時間長短，同時彼此是互相垂直的 (orthogonal)。

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos\left[\frac{\pi}{T_b}(n_c + i)t\right] \quad f_c = n_c/2T_b$$

$$0 \leq t \leq T_b$$

$$i = 1, 2, \dots, M$$

49

Section 2.5

展頻

Spreading Spectrum

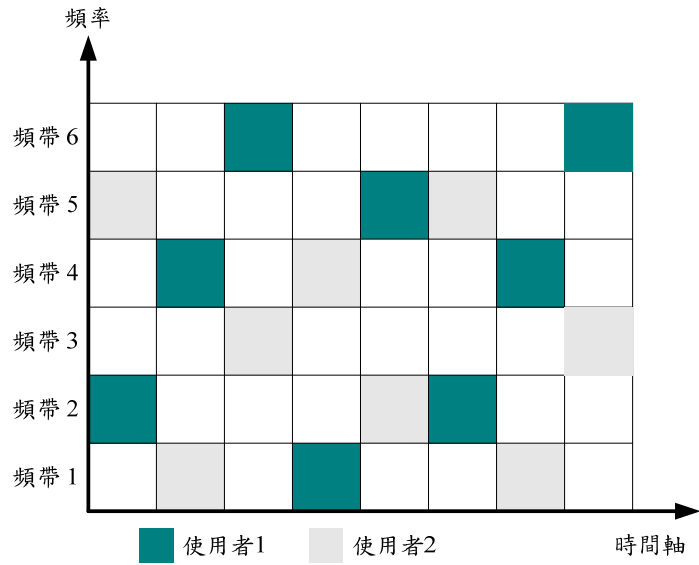
展頻

- 前面所談的各種調變技術，是希望用於傳輸信號的頻寬，也就是所使用通訊頻率的資源，能夠愈少愈好，提供更多的使用者來分享無線電資源。
- 相反的展頻顧名思義就是將所需要使用的頻帶的寬度，加以延展開來，使用更大的頻寬。
- 展頻調變技術通常分為兩類技術：
 - 跳頻展頻（Frequency Hopping Spread Spectrum，FHSS）
 - 直接序列展頻（Direct Sequence Spread Spectrum，51 DSSS）

跳頻展頻 (FHSS)

- 在信號傳輸的過程中，週期性地改變所使用的載波頻率，將一個原始信號使用的頻道，分散到一個很大的頻寬中。
- 在行動通訊系統中，跳頻被用於減輕干擾源的影響，增加系統的容量，以便服務更多的使用者。

圖 2-13 跳頻展頻的示意圖



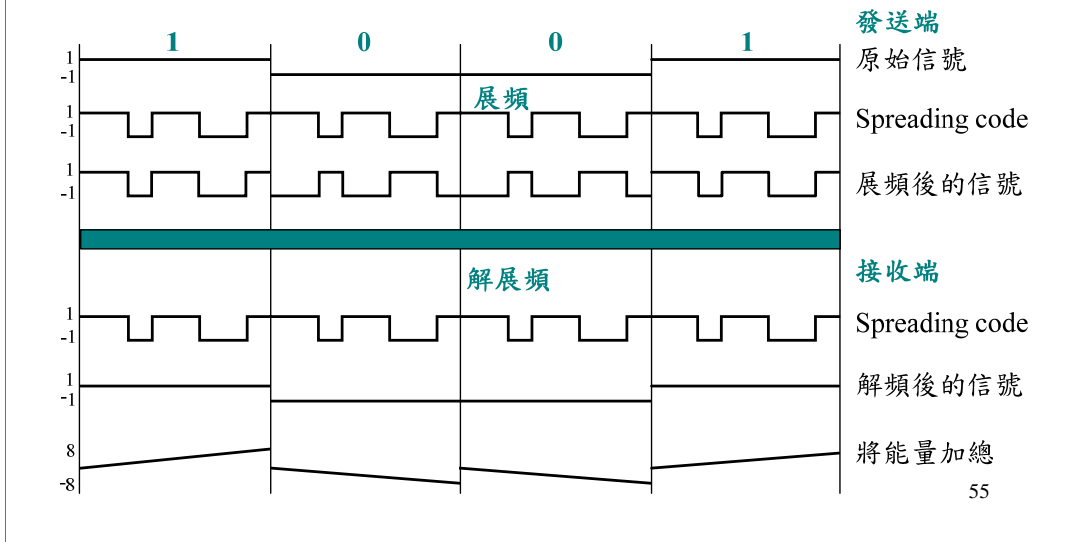
直接序列展頻 (DSSS)

- 將要傳送的信號直接乘上一串很長的位元碼（像是一串128個位元的0101...0101，碼中每個位元被稱為chip）。
- 一個0或1的原始信號，必須用許多的傳輸信號（chip）來表示，因此所需的頻帶會因此展開，成為一個寬頻的信號。
- 由於展頻通訊是將信號延展開來使用很大的頻寬，因此傳送的能量也分散於整個頻寬中。
- 較不怕受到其它無線電波的干擾，具有抗雜訊的優良能力。

54

•IS-95、CDMA2000與UMTS等系統都使用直接序列展頻。在IS-95中，每一個使用者的信號都會被展開成1.2288MHz的頻寬。

圖 2-14 展頻與解展頻



Section 2.6

通道編碼與交錯分配

Channel Coding and Interleaving

降低傳輸錯誤率

- 對於具有即時性語音資料，無法在資料發生錯誤時重傳，所以在底層努力降低傳輸錯誤率是非常重要的。
- 可能的解決技術
 - 通道編碼 (channel coding)
 - 交錯放置 (interleaving)

通道編碼

- 利用編碼的方式加入額外的碼，以達到通道編碼的二種目的：錯誤偵測（error detection）與錯誤更正（error correction）。
- 加上額外的位元後，資料量會增加，是這種技術所必須付出的代價。
- 有兩類的編碼技術
 - 區塊編碼（block coding）
 - 迴旋計算編碼（convolution coding）

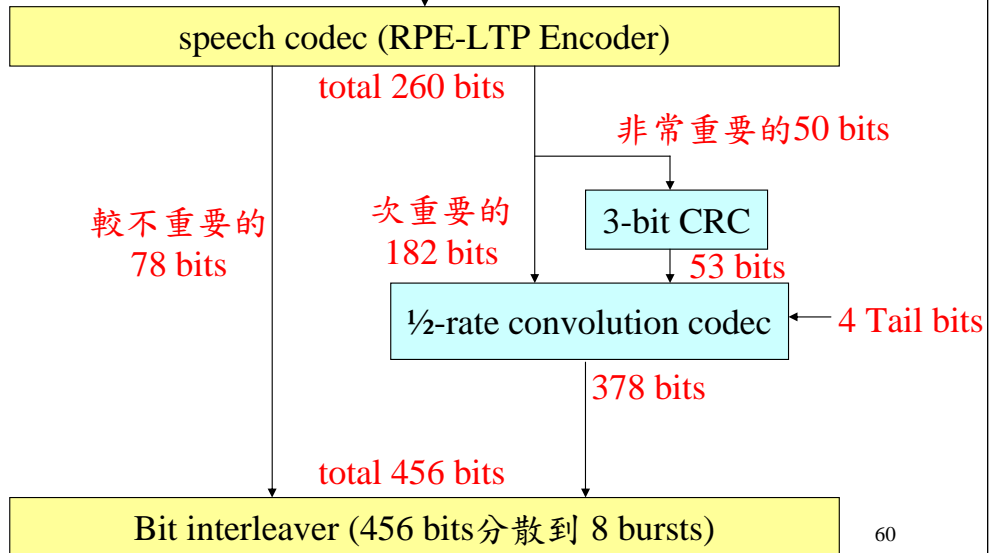
GSM 的通道編碼 (1/2)

- 將語音編碼後的 260 位元，分類成為三大類，依序為：非常重要的 50 位元、重要的 132 位元以及不重要的 78 位元。
- 非常重要的 50 位元資料經過區塊編碼成為 53 位元，與重要的 132 位元加上 4 位元尾碼後，經過迴旋計算編碼，成為 378 位元的數據資料。最後再配合不重要的 78 位元資料，成為總共擁有 456 位元的資料區塊。
- 此資料區塊利用 20ms 的時間進行傳送，因此語音傳送的速率為 $456\text{bits}/20\text{ms}=22.8\text{kbps}$ 。

59

GSM 的通道編碼 (2/2)

160 Speech samples = 2080 bits (20ms)



60

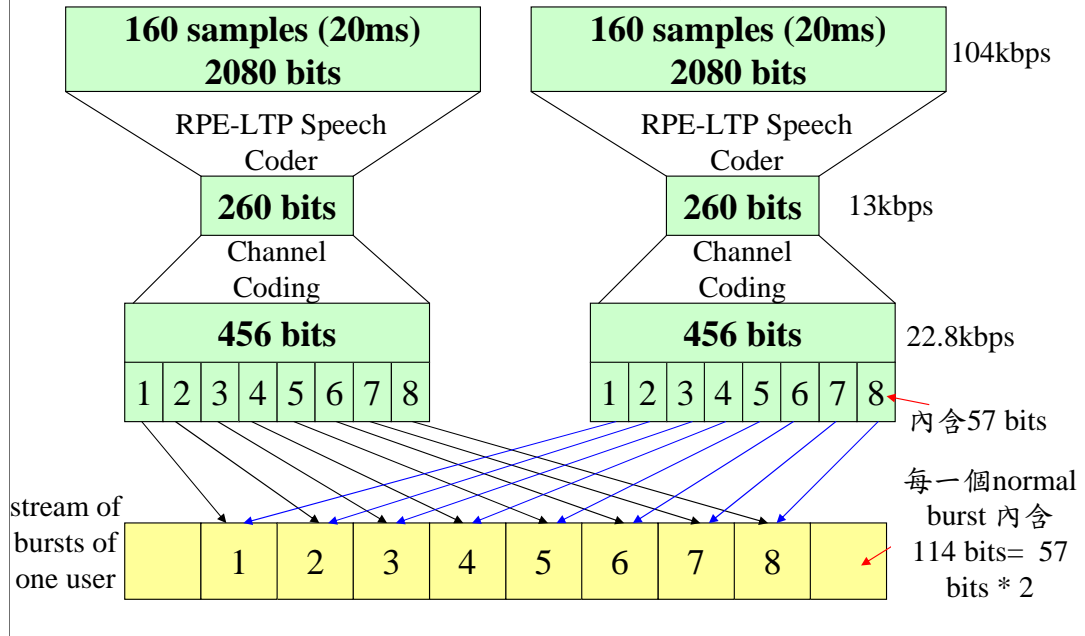
交錯放置

- 在不增加任何額外的傳輸資料量的情況下，降低受到干擾時產生資料傳輸錯誤的情形。
- 對於一些非常重要的語音資料，在傳遞的過程中，希望不要把它集中在某一個短暫的時間進行傳輸。
- 交錯放置是將要傳輸的資料，不是依據時間的順序傳送，而交錯地放置於不同的傳輸時段來傳送。
- 會產生延遲的現象。

GSM 的交錯放置 (1/2)

- GSM系統將編碼後的 456 位元交錯地放置在 8 個不同的時段，各有 57 個位元，每次送出二個時段的資料。
- 一旦遇到干擾造成錯誤，損失兩個時段的資料，理論上相當於失去四分之一的資料。但因原始資料經過交錯分散，失去的資料並不連續。對於接收端而言，可利用前述的通道編碼等，進行傳輸資料的錯誤偵測與更正，以此大幅降低資料傳輸的錯誤率。

GSM 的交錯放置 (2/2)



Section 2.7

結語

Summary

結語

- 無線電傳輸部分一直是行動通訊系統的瓶頸點，也是工程師們投注大量人力物力發展各種先進技術的領域。
- 瞭解這些無線電傳輸原理，對於瞭解行動電話系統的運作會有很大的幫助。

Homework

- 一 選擇題 (1)- (8)
- 二 問答題 1, 3, 5, 7