

# 第一章 蜂巢式行動通訊 系統演進



**蜂巢式行動通訊系統**（Cellular Mobile Communication System）目前已被社會大眾所廣泛使用，行動通訊產業正蓬勃發展當中。蜂巢式行動通訊系統起源於 1947 年貝爾實驗室（Bell Laboratories）所提出的**蜂巢**（cellular）**概念** [2]，並於 1980 年開始商業化，後來發展成 AMPS（advanced mobile phone service）系統，亦即 1980 到 1990 年間所發展的第一代蜂巢式行動通訊系統，屬於類比技術層次，主要提供語音通訊服務。隨著數位技術的逐漸成熟，使用數位技術的第二代蜂巢式行動通訊系統開始成形，除了提供數位語音通訊服務外，同時提供低傳輸速率的數位資料服務——簡訊服務，並具有國際漫遊（Roaming）的功能。此階段以**歐洲電信標準協會**（Europe Telecommunications Standard Institute, ETSI）所發展的 GSM 系統和 AMPS 的數位進階系統 D-AMPS 為主。隨著通訊技術的日新月異，所發展的系統傳輸速率愈來愈快，通訊品質愈來愈穩定，應用也愈來愈多樣化，此時發展出以無線多媒體通訊為應用目標的第三代蜂巢式行動通訊網路，其系統傳輸速率可高達 2 Mbps。而目前的研究議題，則對應用層面更廣、傳輸速率更快的第四代蜂巢式行動通訊系統有著相當大的興趣，在某些通訊良好的環境下，其傳輸速率可高達 155 Mbps。

## 第一節 蜂巢概念

基地臺所傳輸的無線電波會隨著距離的增加而遞減接收信號強度，因此每個基地臺所服務的範圍將受到限制，如圖 1.1 所示，其服務範圍為半徑  $R$ 。我們可以將系統的通訊範圍，劃分成數個基地臺。在固定通訊範圍的區域內，基地臺建置的數目愈多，系統通訊容量愈大，通訊品質愈佳，當然所建置的成本也就愈高。因此我們在建置系統前，必須對基地臺的數目進行規劃，在規劃的過程中，雖然無線電波的覆蓋範圍為圓形，但經由研究文獻顯示使用六角形來進行分析，結果較使用圓形分析更為精確，因此一般基地臺所傳輸的無線電波覆蓋範圍以六角形描述之。同時數個基地臺所組成的系統通訊範圍如圖 1.2 所示，其形狀和蜂巢近似，因此地面上行動通訊系統，俗稱蜂巢式行動通訊系統。

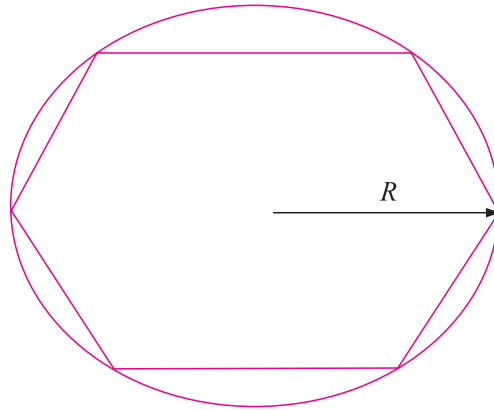
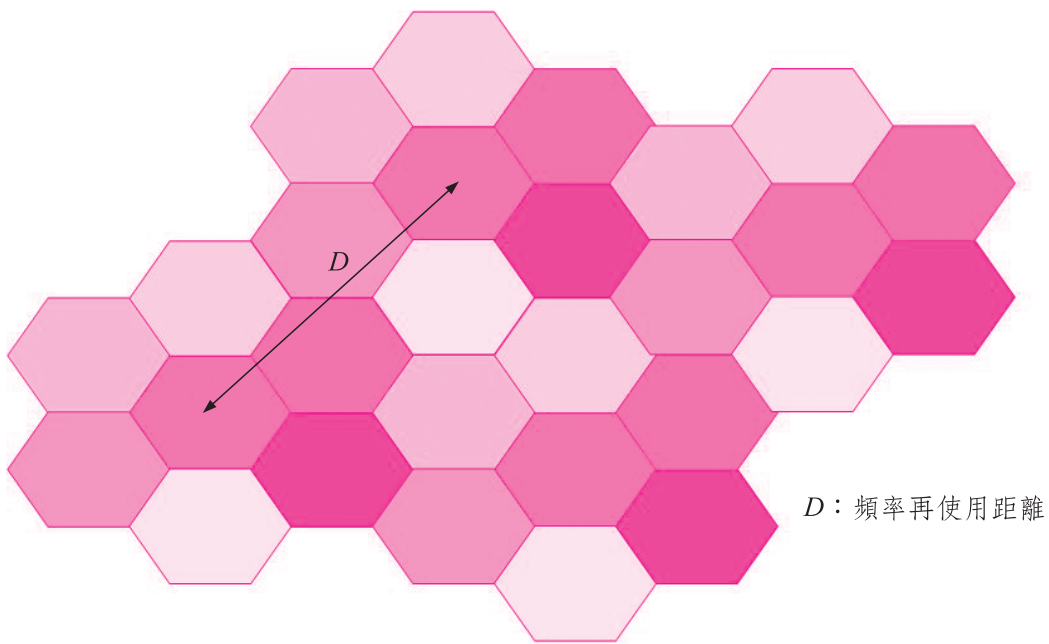


圖 1.1 蜂巢形狀



$D$ ：頻率再使用距離

圖 1.2  $N=7$  的蜂巢集

無線頻譜是一個珍貴且有限的資源，而系統的通訊容量與傳輸速率則受限於系統頻寬，對於可獲得的系統頻寬進行最有效率的運用，將是一重要議題。



當相鄰的基地臺使用相同的頻段通訊時，兩個基地臺所傳輸的信號彼此會互相干擾，造成通訊品質的下降，嚴重時將造成兩個通訊鏈結均無法進行，此現象即是著名的**同通道干擾效應**（co-channel interference）。但是無線電波的傳遞會隨著距離的增加造成信號強度遞減，因此當兩個基地臺隔得夠遠，所傳輸的信號彼此干擾量應該可以很小，意即只要兩基地臺距離夠遠，則使用相同的頻段通訊是可行的，這就是所謂的**頻率再使用**（frequency re-use）。接下來所要探討的問題是如何分析使用相同頻段通訊的兩個基地臺所間隔的距離。我們定義使用不同頻段通訊的  $N$  個基地臺為一蜂巢集，換言之，在一個蜂巢集中的  $N$  個基地臺均使用不同頻段通訊，這裡  $i, j = 0, 1, 2, 3$ 。 $N$  又稱為頻率再使用因子。圖 1.2 顯示一個  $N=7$  的蜂巢集。整個系統頻寬將被分割成  $N$  等份，均勻配置給蜂巢集中的  $N$  個基地臺。在整個系統頻寬固定的考量下，當蜂巢集的基地臺數目減少，則每個基地臺所配置的傳輸頻寬增加，系統容量增加但頻率再使用的距離縮短，同通道干擾效應增大。頻率再使用的距離可以藉由方程式（1.2）計算而得。

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad (1.1)$$

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N} \quad (1.2)$$

$D$ ：平均頻率再使用的距離

$R$ ：蜂巢半徑

$N$ ：蜂巢集的基地臺數目

假設接收信號強度會隨著距離  $\gamma$  次方遞減，基地臺的傳輸功率均為  $P$ ，行動端位於蜂巢邊緣，頻率再使用因子為 7，則行動端所接收的信號功率為

$$C \propto P \frac{1}{R^\gamma} \quad (1.3)$$

同通道干擾功率為

$$I \propto 6P \frac{1}{D^y} \quad (1.4)$$

則訊號對同通道干擾功率比為

$$\frac{C}{I} = \frac{\frac{P}{R^y}}{\frac{6P}{D^y}} = \frac{1}{6} \left( \frac{D}{R} \right)^y = \frac{q^y}{6} \quad (1.5)$$

$q = \frac{D}{R}$  稱為同通道干擾衰減因子 (co-channel interference reduction factor) [4]。

## 第二節 第一代行動通訊系統

較著名的**第一代行動通訊系統** (1G) 為先進行動電話服務 (advanced mobile phone services, AMPS) 系統，由貝爾實驗室於 1970 年末期發展 [5]，並由 AT&T 進行商業化，於 1983 年進行實際系統運行測試。系統操作於 800 MHz 頻帶，824-849 MHz 使用於行動端至基地臺的上鏈路通訊鏈結 (uplink)，869-894 MHz 使用於基地臺至行動端的下鏈路通訊鏈結 (downlink)。25MHz 的系統上鏈路或下鏈路頻寬，提供 832 個通道，每個通道的傳輸頻寬為 30KHz。832 個通道中，有 42 個通道載送系統資訊，以 FSK 調變，傳輸速率為 10 kbps；790 個通道傳輸 12KHz 語音訊號，以 FM 調變，提供語音通訊服務。

第一代行動通訊系統以傳送類比訊號為主，通訊器具與設備均以類比訊號波形特徵來傳送訊號，保密性差，易遭受通道環境的干擾，傳輸訊號容易失真，同時無法支援一般資訊網路所需要的數據通訊服務。



## 第三節 第二代行動通訊系統

**第二代行動通訊系統**（2G）以數位調變為主，包含歐洲電信標準協會所發展的GSM通訊系統、美國的D-AMPS（IS-136）系統、窄頻CDMA（IS-95）系統及日本的個人數位蜂巢式（personal digital cellular, PDC）行動通訊系統。提供數位語音通訊服務和低傳輸速率的數位資料服務——簡訊服務，並具有國際漫遊（roaming）的功能。

### 1.3.1 GSM 系統

GSM 行動通訊系統於 1989 年由歐洲電信標準協會制定，並於 1991 年在歐洲正式商業化營運。GSM 系統使用 890-915 MHz 於上鏈路通訊鏈結，935-960 MHz 於下鏈路通訊鏈結（downlink），上鏈路或下鏈路系統頻寬和 AMPS 系統相同，均使用 25MHz 的系統傳輸頻寬。多工方式則採用分時多工（time division multiple access, TDMA）結合分頻多工（frequency division multiple access, FDMA）。首先，25MHz 的上鏈路或下鏈路系統頻寬使用分頻多工方式切割成 124 個頻帶，每個頻帶具有 200 KHz 頻寬間隔。同時每個具有 200 KHz 頻寬的頻帶再以分時多工的方式分成 8 個時間框架（time slot）或 16 個時間框架提供系統進行全速率（full-rate）或半速率（half-rate）通訊之用。一個全速率的 GSM 資料傳輸通道，其傳輸速率為 22.8 kbps，可傳輸的訊息資料速率為 12、6 或 3 kbps；而一個半速率的 GSM 資料傳輸通道，其傳輸速率為 11.4 kbps，可傳輸的訊息資料速率為 6 或 3.6 kbps。圖 1.3 為 GSM 全速率一般脈波激發——線性預測（regular pluse excited-linear predictive coder, RPE-LPE）[8] 語音編碼訊號傳輸架構圖。一般脈波激發——線性預測語音編碼器，其基本原理為利用先前取樣的資料來預測現在的取樣信號，每個取樣信號被編碼成包含先前取樣脈波的線性組合之係數，加上預測的取樣值和實際取樣值之

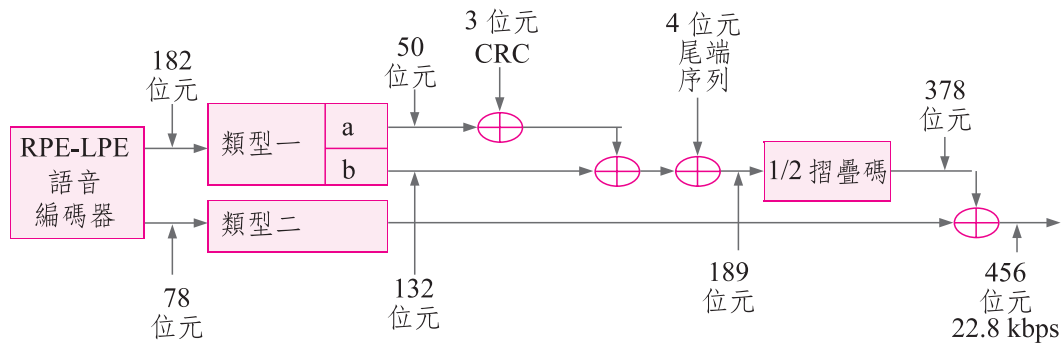


圖 1.3 GSM 全速率 RPE-LPE 語音編碼訊號傳輸架構

差值的編碼格式，輸出 13 kbps 的數位語音位元流，亦即每 20 ms 輸出 260 個位元。這 260 個語音位元依據所攜帶的訊息重要性分成三類：(i) 第一類 a 型，計有 50 個位元；(ii) 第一類 b 型，計有 132 個位元，此 a、b 類型信號會嚴重影響接收語音信號品質；(iii) 第二類，計有 78 個位元，較不會嚴重影響接收語音信號品質。對於第一類 a 型 50 個位元加入三個位元的循環冗餘檢查碼 (cyclic redundancy check, CRC)，進行錯誤檢測。其原理為給定一個  $k$  位元的資訊區塊，發射機產生  $n-k$  位元序列，稱之為訊框檢驗序列 (frame check sequence, CRC)，組成一可被預定除盡的  $n$  位元訊框。接收機將接收到的訊框除以相同之數，如果沒有餘數則沒有錯誤發生。這 53 個位元加上 132 個第一類 b 型位元，再加入 4 個位元的尾端序列後，經由 1/2 摺疊碼進行傳輸位元錯誤控制，經編碼後產生的資料位元數目是  $189 \times 2 = 378$  個位元。第二類的 78 個位元則未進行保護，並且加到有經過 1/2 摺疊碼所保護的位元後面成為一個 456 位元的區塊，最後所產生的資料速率是  $456/20 \text{ ms} = 22.8 \text{ kbps}$ ，以 GMSK 技術調變。

GSM 系統每 120 ms 傳輸一個多框架 (multi-frame)，如圖 1.4 所示，每個多框架由 26 個框架 (frame) 所組成，每個使用者使用一個框架傳輸資訊。每個框架由 8 個時槽 (time slot) 所組成，每個時槽包含 3 個全為 0 的拖行位元，標明時槽的起始與結束、114 個位元的資訊位元、2 個控制位元標明所傳



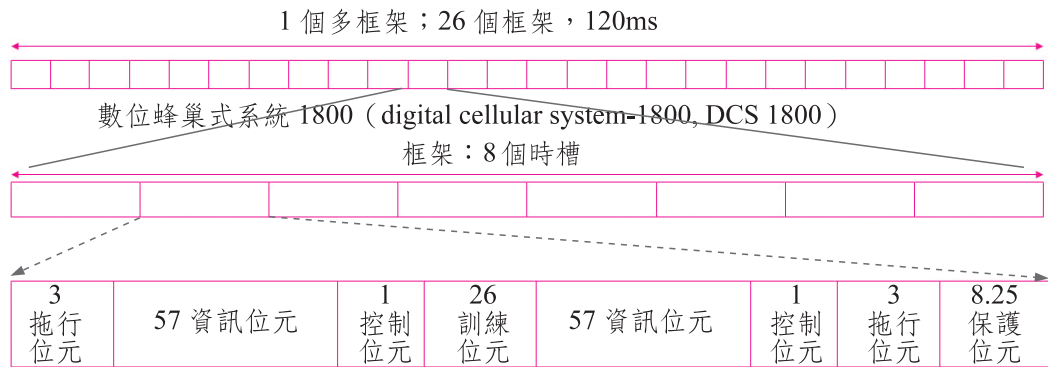


圖 1.4 GSM 系統多框架結構

輸的資訊位元是屬於語音訊號或資料訊號、26 個訓練位元進行同步以及 8.25 個保護位元來避免通道多路徑干擾現象的發生。GSM 系統同時使用慢速跳頻技術以增進信號品質，在一個給定的頻道中，每個連續的 GSM 框架使用不同的頻帶傳輸，因一個框架為 4.615 ms，因此每隔 4.615 ms 傳輸頻率會更新一次，進一步增加系統對抗多路徑干擾及同通道干擾之能力。個人通訊系統 1800/1900 (personal communication system 1900, PCS-1900) 是從 GSM 系統衍生出來。分別使用 1800 MHz 的頻段和 1900 MHz 的頻段。不過由於系統載波中心頻率大於 900 MHz 的頻段，無線電波的涵蓋範圍比 GSM 系統小。數位蜂巢式系統 1800 上傳鏈路使用 1710-1785 MHz 的頻段，下傳鏈路使用 1805-1880 MHz 的頻段。上傳、下傳鏈路系統頻寬為 75 MHz。和 GSM 系統相同，使用分頻多工方式切割成 374 個頻帶，每個頻帶具有 200 KHz 頻寬間隔，多框架結構仍然維持和 GSM 系統相同。

### 1.3.2 數位先進行動電話服務 (Digital Advanced Mobile Phone Services)

數位先進行動電話服務 (digital advanced mobile phone services, D-AMPS)，與第一代類比行動通訊系統 AMPS 相容，是 AMPS 系統的數位進



階版本，主要使用於美國。其上下鏈路傳輸頻帶和 AMPS 系統相同，每個載波頻寬為 30 kHz，框架結構 [10] 和 GSM 系統相似。每個 D-AMPS 框架包含有 6 個時槽，每個時槽傳輸 6.67 ms，一個框架傳輸 40 ms。每個時槽傳輸 324 位元，其中包含 260 個使用者資訊位元。在上鏈路時槽這 260 個使用者資訊位元分割成 16、122 和 122 三個封包；在下鏈路時槽這 260 個使用者資訊位元分割成 130 和 130 二個封包，採用移位 DPSK 技術調變。其餘 64 個傳輸位元包含 28 個同步位元，12 個數位驗證彩色碼 (Digital verification colour code, DVCC)，幫助時槽的配置與管理，12 位元的系統控制資訊，傳輸於慢速截取控制通道 (slow access control channel, SACCH)。其框架及上下鏈路時槽結構顯示於圖 1.5 的甲、乙與丙圖。



圖 1.5(甲) D-AMPS 框架結構



圖 1.5(乙) 下鏈路 D-AMPS 時槽結構



圖 1.5(丙) 上鏈路 D-AMPS 時槽結構

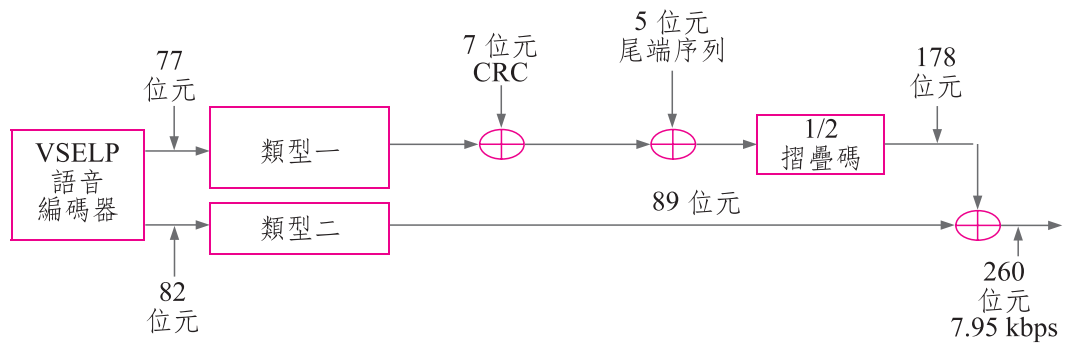
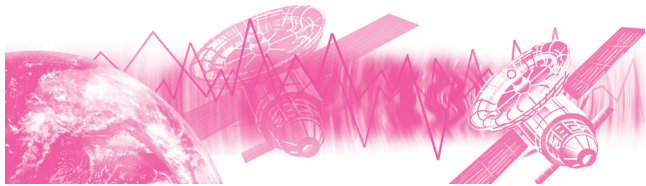


圖 1.6 D-AMPS 的 VSELP 語音編碼訊號傳輸架構

D-AMPS 採用向量總和篩選線性預測（vector sum excited linear prediction, VSELP）語音編碼機制，輸出速率為 7.95 kbps，即 20 ms 輸出 159 語音位元，其中有 77 個位元為第一類語音位元，其錯誤會嚴重影響語音通訊品質，加入七個位元的循環碼進行錯誤檢測及 5 個尾端序列後，經由 1/2 摺疊碼進行傳輸位元錯誤控制，經編碼後產生的資料位元數目是  $89 \times 2 = 178$  個位元。第二類的 82 個位元則未進行保護，並且加到有經過錯誤控制所保護的位元後面成為一個 260 位元的區塊，使用一個時槽傳輸之，其 D-AMPS 的 VSELP 語音編碼訊號傳輸架構如圖 1.6 所示。

### 1.3.3 IS-95 系統

IS-95 系統使用分碼進接多工技術（code division multiple access, CDMA），由 Qualcomm 公司所發展，亦同時發展衛星版的 IS-95 系統，即是全球通（GLOBALSTR）行動衛星系統。和 D-AMPS 系統一樣，IS-95 系統的操作頻帶和 AMPS 系統相同，下鏈路傳輸操作於 869-894 MHz，上鏈路傳輸操作於 824-849 MHz。IS-95 系統是一個雙頻帶（dual band）的系統，下鏈路傳輸也可以操作於 1850-1910 MHz，上鏈路傳輸也可以操作於 1850-1910 MHz 的個人通訊服務（personal communication services, PCS）頻帶。通道頻寬 1.23 MHz 是 AMPS 系統 30 kHz 的 41 倍。一般言之，第一代類比蜂巢式行動通訊