

# Chapter 3

蜂巢式通訊技術

## Fundamentals of Cellular Communications

## 課程目標

- 對抗無線電波相互的干擾（interference）與增加系統容量，是行動通訊系統必須面對的課題。
- 在本章中將解釋為何行動通訊系統在無線電網路端會採用蜂巢式架構。
- 接下來說明建構蜂巢式行動通訊系統的技術。其中包括頻率重複使用（frequency reuse）、多重存取（multiple access），以及提昇蜂巢式通訊系統容量的細胞分割（cell splitting）等方法。

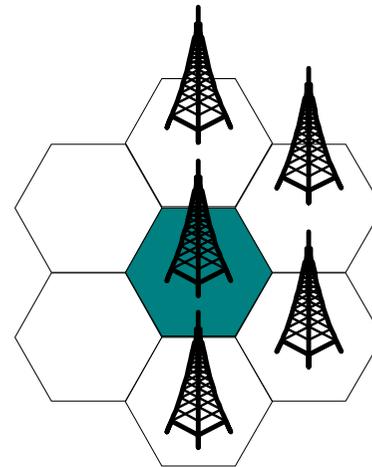
# 章節目錄

- 蜂巢式網路網路的概念
- 無線電波干擾
- 頻率重複使用
- 增進系統容量
- 改善通訊品質
- 多重存取
- 結語
- 作業

## Section 3.1

### 蜂巢式網路網路的概念

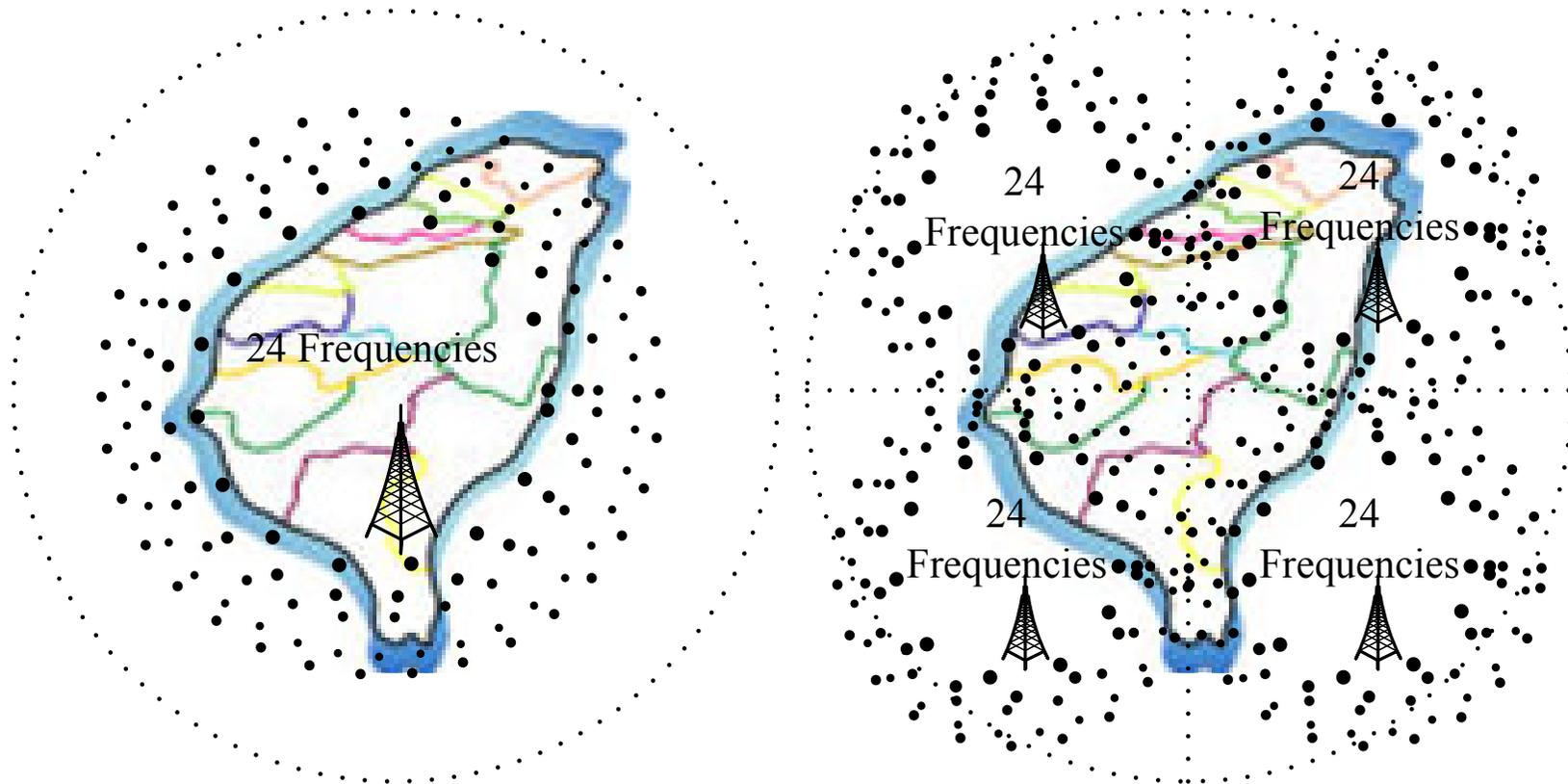
# Concept of Cellular Network



# 蜂巢式網路 ( Cellular Network )

- 如何增加系統的容量?
- 基地台降低發射的功率，如此基地台的涵蓋面積就會縮小，同樣的空間可以容納更多的基地台與倍數成長的使用者。這就是所謂蜂巢式網路 ( cellular network ) 的概念。
  - 見圖3-1
- 在採用蜂巢式通訊的架構下，我們將介紹
  - 基地台的功能及種類
  - 線電波干擾問題及其解決之道

# 圖 3-1 細胞網路觀念



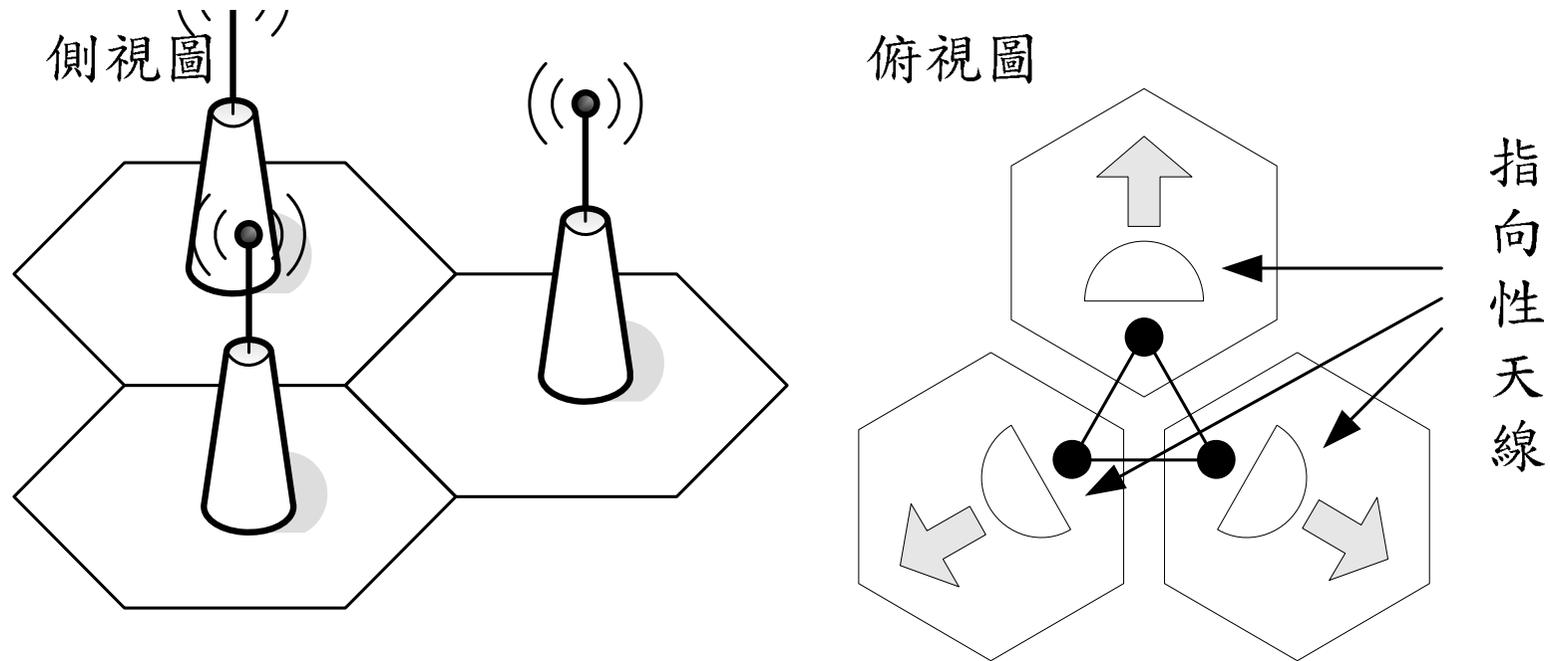
# 基地台 (Base Station)

- 提供後端網路與使用者手機間的溝通管道。
- 包含無線電收發機及天線等設備。
- 基地台具有
  - 設定通話頻道。
  - 調節基地台功率，動態改變發射功率。
  - 配合跳頻技術，增加對雜訊干擾的容忍度。

# 無線電天線

- 天線通常都是放置在較高的位置，以達良好的電波收發效果。
- 無線電天線可分成
  - 指向性天線（directional antenna），圖3-3
  - 全向性天線（omni directional antenna），圖3-4
- 其他的無線電天線
  - 台北捷運車站的洩波電纜，圖3-5
  - 室內圓形吸壁式全向性天線，圖3-6

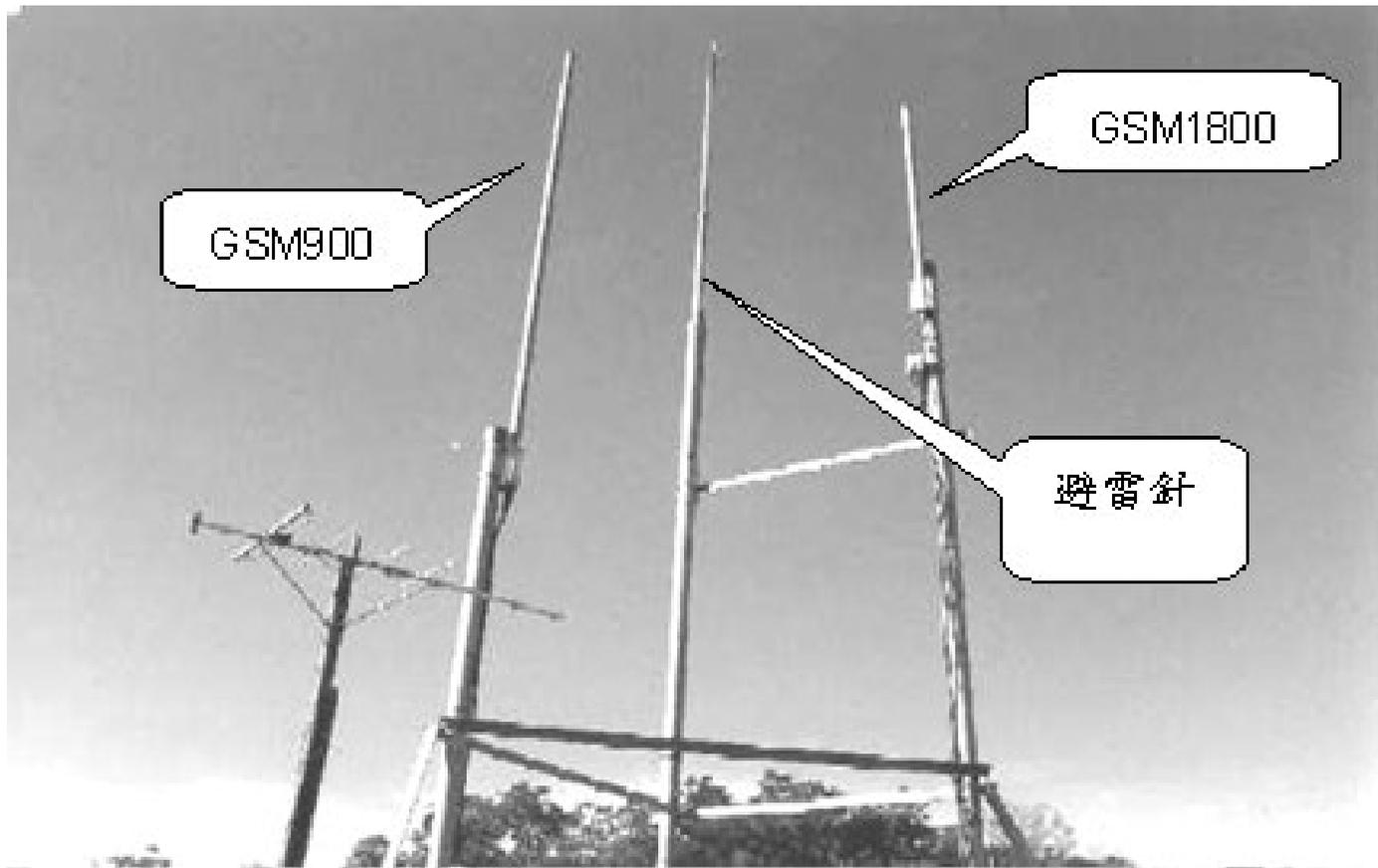
## 圖 3-2 常見室外基地台架設方式



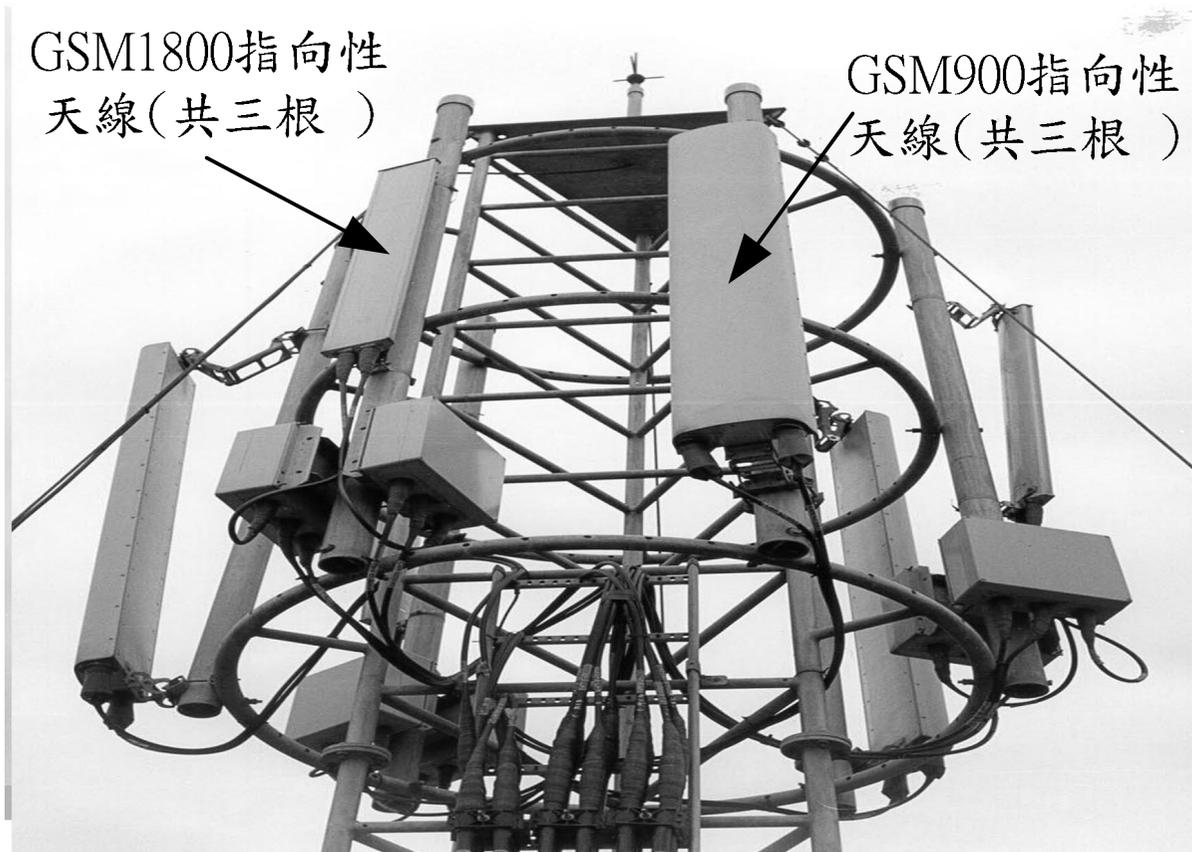
全向性天線的輻射波瓣是全面性的 $360^\circ$

每支天線的輻射波瓣主瓣 (main lobe) 為 $120^\circ$  9

### 圖 3-3 全向性天線



## 圖 3-4 指向性天線



## 圖 3-5 洩波電纜



圖 3-6 圓形吸壁式的全向性天線



# 細胞

- 基地台涵蓋的範圍稱為細胞（cell）。
  - 巨細胞（macrocell）是電波覆蓋範圍廣大的細胞
  - 微細胞（microcell）是電波覆蓋區域較小的細胞
- 細胞的形狀 
  - 想得到基地台天線真正涵蓋的範圍，是必須透過真正實地的量測，或是利用第二章提到的傳輸模型進行預測。
- 規劃細胞要考量讓相鄰的基地台無線電波分佈有重疊的地方。如此當通話中的手機從一個基地台跨越到另一個基地台時，通話才能繼續而不會中斷。

## 細胞的形狀

- 因地形地貌等因素，基地台涵蓋範圍實際上呈現不規則形狀。
- 細胞通常是以正六角形來表示。

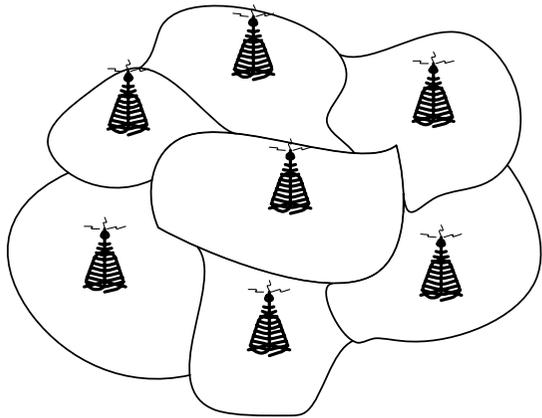


圖3-7 實際上蜂巢式網路之涵蓋範圍

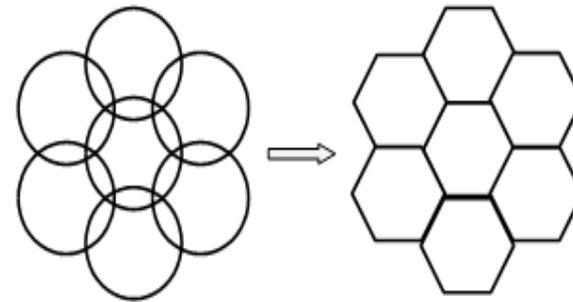


圖3-8 理論上蜂巢式網路之涵蓋範圍



# Section 3.2

## 無線電波干擾

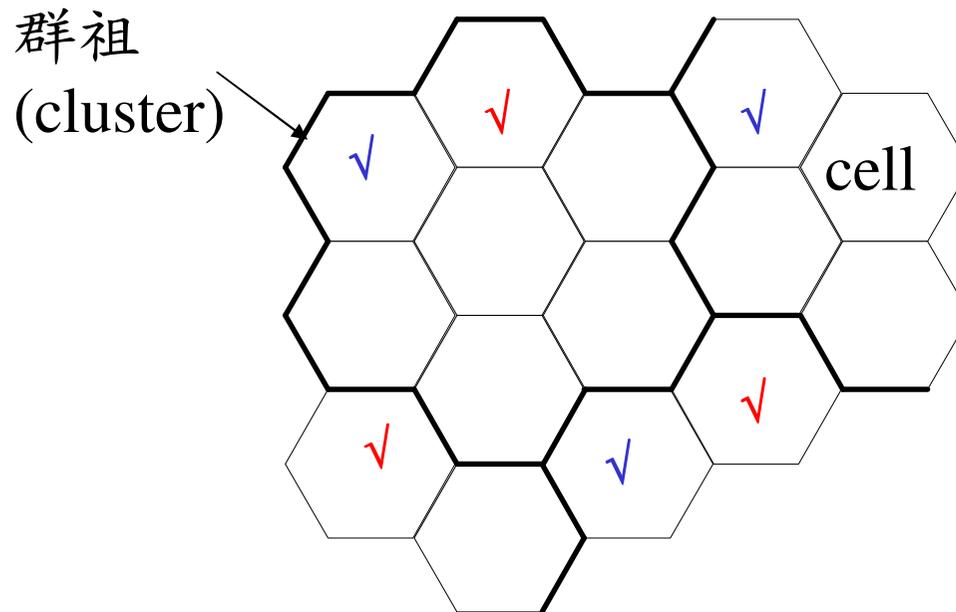
### Interference



Rainy

# 頻率重複使用 (frequency reuse)

- 頻率重複使用是在整個系統涵蓋範圍內，讓許多基地台使用相同的無線電頻率同時進行通訊，以增加系統的通訊容量。



# 無線電波干擾

- 無線電波干擾是無線電波傳輸最大的瓶頸。
- 無線電干擾源包含了其他手機發射的無線電波、鄰近使用相同頻率的基地台，以及自然界的干擾。
- 行動通訊系統間的相互干擾，
  - 同頻道間的干擾（co-channel interference）
  - 鄰近頻道間的干擾（adjacent channel Interference）

## 同頻道間的干擾

- 細胞之間因為使用相同的頻率，因而造成相互的干擾，這種現象稱為同頻道間的干擾。
- 解決同頻道間的干擾的方法，是加長使用相同頻率的基地台之間的距離，使得發射的無線電波對對方細胞內的通訊用戶影響減至最低。
- 然而系統業者希望同頻道細胞彼此間的距離不需要間隔太遠，讓系統涵蓋範圍內，同一個通訊頻道能重覆使用更多次，以便提供給更多的用戶使用。這就是無線電波干擾與通訊系統容量之間難以取捨的原因。

## 鄰近頻道間的干擾

- 通訊頻道都是一種連續性的頻道分配與運用，因此對於某一個基地台所使用的無線電頻道附近的頻率，也有可能分配給同一個細胞或者鄰近的細胞使用。
- 因為通訊設備在設計上並不是很完善，就會產生雖然頻率之間有所區隔，但實際上會有相互干擾的情形發生。
- 改善鄰近通訊頻道間干擾的問題，就是盡可能將鄰近頻道分配給距離較遠的基地台使用。

## 遠近效應 (Near-far Effect)

- 遠近效應指的是當手機與基地台間距離長，通訊信號微弱，但一個相鄰頻道的基地台所在的位置與手機較為接近，那麼此基地台便會手機產生干擾，嚴重影響到原來相對於手機而言較遠的基地台所產生的無線電波。

## Section 3.3

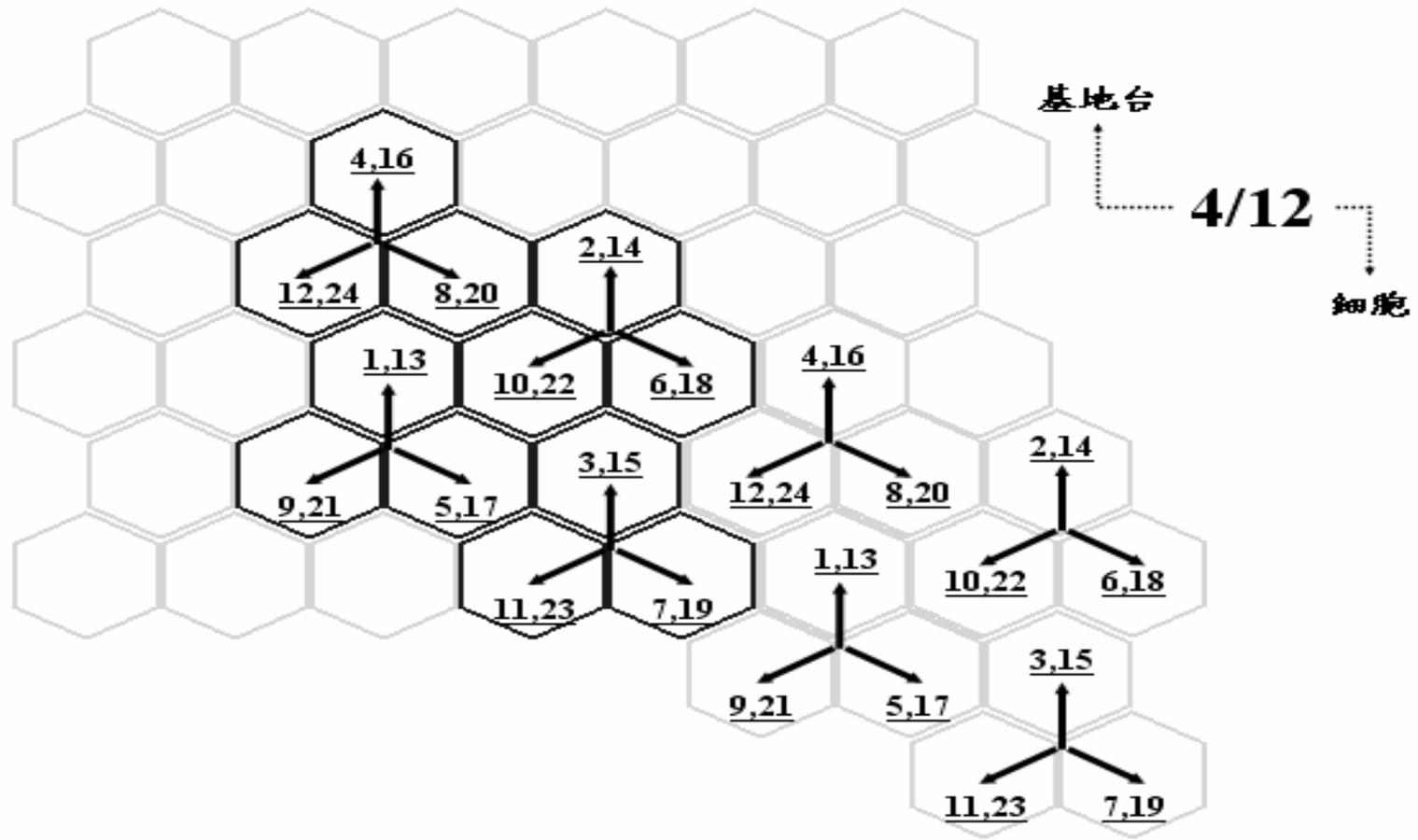
頻率重複使用

**Frequency Reuse**

# 頻率規劃

- 規劃如何分配各個細胞所要使用的無線電頻道的流程，就稱為頻率重複使用或者是頻率規劃（frequency planning）。
- 在頻率重複使用的規劃上，較常見的有4/12與7/21兩種。
  - 7/21的模式中每個群組有7個基地台塔台，每個基地台同樣架設有3隻天線分別服務3個不同的細胞，故總共可以服務21個細胞。
  - 4/12的模式見圖3-9。

# 圖 3-9 重複使用模式



# Cellular System Capacity

## ➤ Consider a cellular system

- Total number of available channels  $K = 1001$
- Cluster size  $N = 7$
- Area of cell  $A_{\text{cell}} = 6 \text{ km}^2$
- Area of cellular system  $A_{\text{sys}} = 2100 \text{ km}^2$

## ➤ Calculate

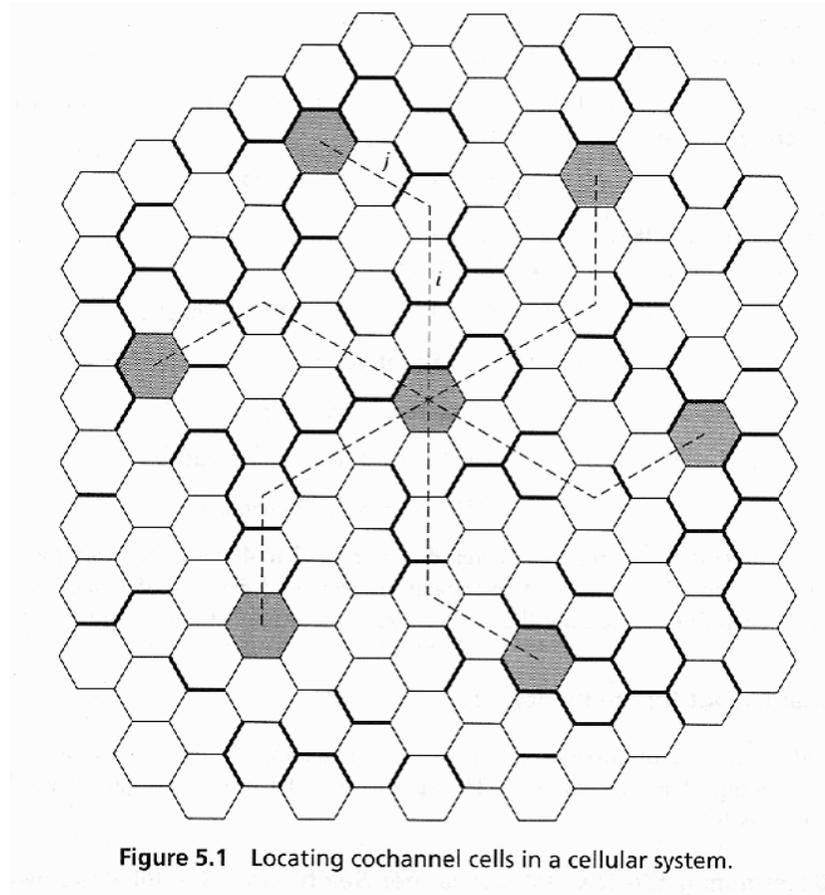
- The system capacity if the cluster size is 7
- How many times would the cluster of size 4 have to be replicated in order to approximately cover the entire cellular area?
- The system capacity if the cluster size is 4

## Cellular System Capacity (Cont.)

- The system capacity if the cluster size is 7
  - The number of times that the cluster has to be replicated is  $2100/(6*7)=50$
  - $C = 50*1001 = 50,050$  channels.
- How many times would the cluster of size 4 have to be replicated in order to approximately cover the entire cellular area?
  - $2100/(6*4)\approx 87$
- The system capacity if the cluster size is 4
  - Channels/cell =  $1001/4 \approx 250$
  - $C = 87*250*4 \approx 87,000$  channels

# Cellular Layout for Frequency Reuse

- Rule for Determining the Nearest Cochannel Neighbors
- Step 1: Move  $i$  cells along any chain of hexagons
  - Step 2: Turn 60 degrees counterclockwise and move  $j$  cells





## 細胞規劃 (Cell Planning)

- 細胞規劃的目的在於希望透過良好網路的設計，讓基地台之間互相干擾的問題降至最低，有線與無線電資源的運用效能達到最大。
- 除頻率外，細胞規劃偏重於基地台地理位置及個別參數的設定。
- 細胞規劃是通訊業者在實務上主要的工作。
- 因為無線電傳輸環境隨著建築物的興建而異動，通訊頻道的需求亦隨著各地區人們的遷移而增減。故通訊業者須隨時進行無線電基地台規劃的動作，以提供用戶最佳的通訊品質。

## 細胞規劃的步驟 (1/2)

- 設定行動通訊網路系統型態（如GSM）。
- 選擇2D/3D電子地圖。
- 決定無線電天線資料（如全向性或指向性天線的幅射波型）。
- 選取無線電傳輸模型與模型參數。
- 設定基地台細胞半徑。
- 設定基地台標準範例（如俯仰角、發射功率、天線高度）。

## 細胞規劃的步驟 (2/2)

- 依據選擇之基地台標準範例，於各地點增設基地台。
- 預測行動通訊網路系統涵蓋範圍與相關預測之統計資料分析。
- 在資源允許的情形下進行量測，及修改參數。

## Section 3.4

增進系統容量

**Capability Improvement**

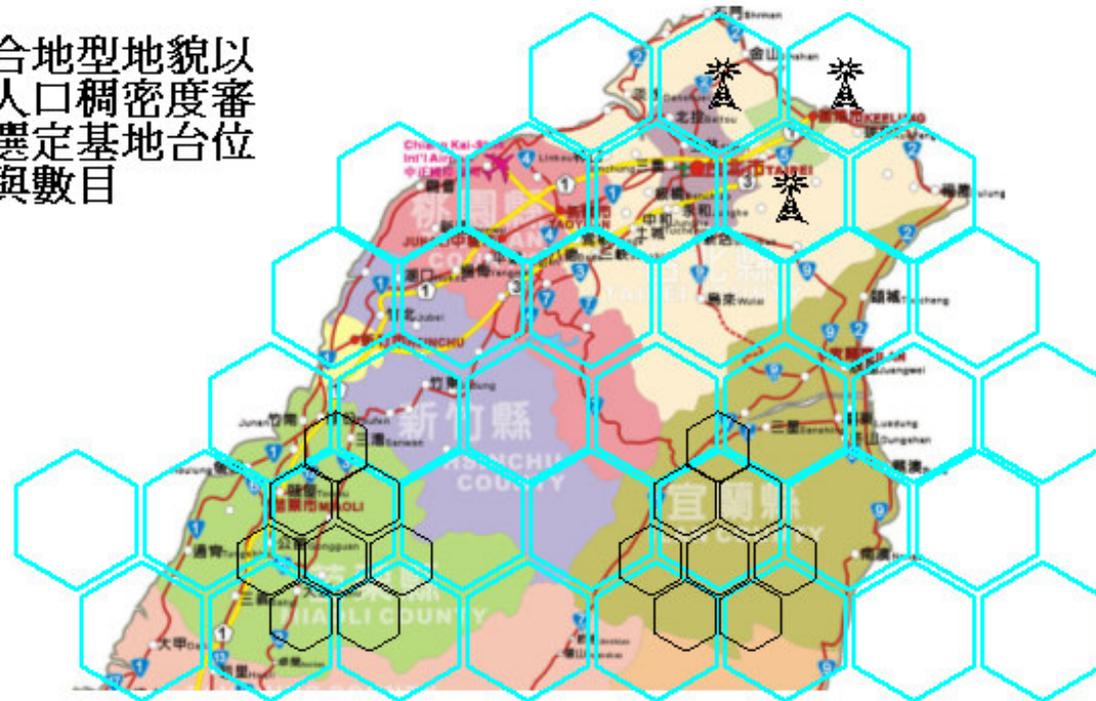
## 增加系統容量的方法

- 細胞分裂 ( cell splitting )
- 細胞扇型區域化 ( sectoring )
- 巨細胞/微細胞的架構 ( macrocell/microcell architecture )

# 細胞分裂

- 細胞分裂是依賴增加基地台的數量，進而增加系統的能量。

配合地形地貌以及人口稠密度審慎選定基地台位置與數目



## 細胞扇型區域化

- 扇型區域化，是利用基地台天線發射波形的一個多樣性，來增加系統能量，且同時改善相同頻率間干擾的問題等。

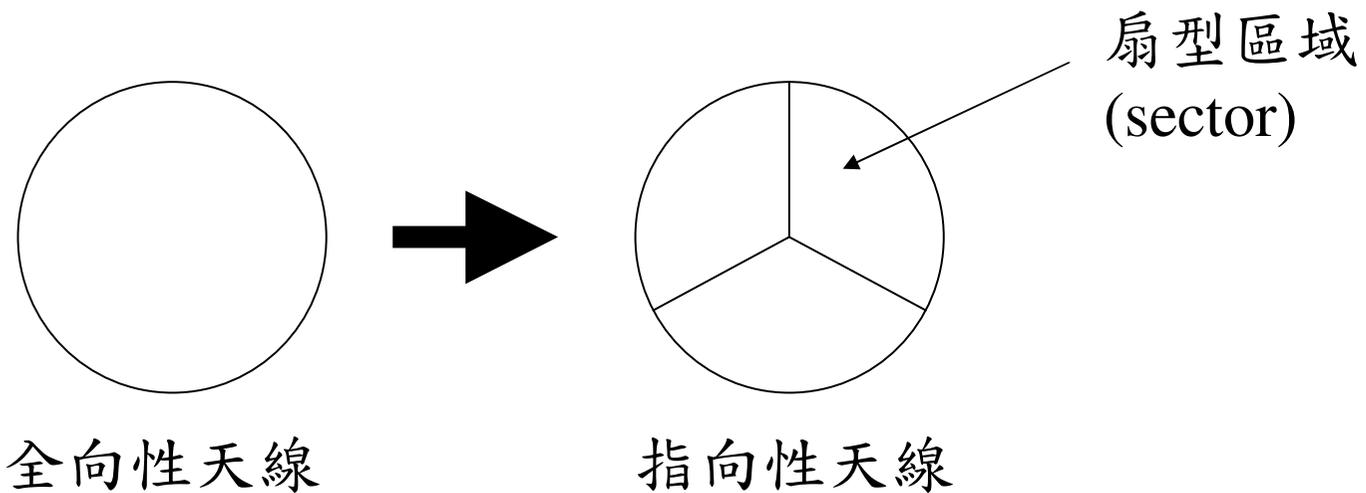


圖 3-11 圓形細胞分裂成三個120度的扇形區域

## 巨細胞/微細胞的架構

- 巨細胞/微細胞的架構是在一個基地台涵蓋範圍內（原本的巨細胞），利用不同頻率架設許多個微細胞基地台，增加部份小涵蓋區域。
- 特別適於在鬧區等通訊流量特多的地點架設微細胞。

## Section 3.5

改善通訊品質

# Quality Improvement

## 不良的通訊品質

- 收不到訊號（no network）：在開機或在待機過程中由於手機位置移動或周圍環境改變等因素，造成無法連上系統。
- 斷訊（drop call）：又稱為強迫中斷（forced termination）。在通話過程中，通訊頻道不預期地被終止。
- 塞機（block call）：系統無頻道可供手機建立新的連線，稱為塞機。

## 影響通訊品質的因素 (1/2)

### ➤ 氣候

- 大氣中的水分子除了容易吸收無線電波能量，也會造成電波散射等干擾情況，增加訊息傳遞與接收的困難度。

### ➤ 高樓層建築及相關障礙物

### ➤ 山坡、湖泊或是沿海地區

- 平靜湖泊可能對無線電波造成反射效應，因此湖泊對岸的無線電波往往很容易穿越水域，使得在湖泊另一側具有相同頻率的基地台，產生同頻相互干擾的問題。

### ➤ 以上的問題，都應在佈建基地台時列入考量。<sup>39</sup>

## 影響通訊品質的因素 (2/2)

### ➤ 大型的室內區域

- 因建築物結構阻礙，會使得室外的電磁波無法穿透進入室內。
- 在室內加裝強波器或建置新的微細胞基地台。
- 調整室外基地台天線的波束主瓣（main lobe）朝向該建築，使其室內容易收訊。

# 對抗干擾的方法

- 增加收訊端對抗干擾的改進措施，也可以改善無線電收訊品質。
- 避免接收端若不幸落在一個干擾嚴重的頻帶上，發生無法收訊的情形。
- 對抗干擾的方法是在於提供多樣化（diversity）：
  - 空間多樣化（space diversity）
  - 極化多樣化（polarization diversity）
  - 頻率多樣化（frequency diversity）

# 空間多樣化

- 空間多樣化就是增設天線，不同位置的天線會有不同的傳播特性，可以讓接收端選擇接受信號較好的一組。

## 極化多樣化

- 利用兩組不同方向之天線排列，形成不同的電磁波極化方向，以改善通訊品質。
  - 垂直與水平雙陣列天線的組合。
  - $+45^\circ$  與  $-45^\circ$  雙陣列天線之組合。
- 基地台接收機將比較何者訊號較強，而將其視為接收訊號，做進一步處理。
- 較先進的通訊技術，可整合上述兩者訊號，得到更佳的訊號內容，提高收訊品質。

# 頻率多樣化

- 頻率多樣化就是所謂的跳頻（frequency hopping）。
- 將頻段劃分為數個窄頻的頻道，每位使用者被指定一種轉換頻率的模式，這個使用者在此模式下可用的窄頻頻道中，快速切換窄頻頻道，不斷地變換通訊頻率。
- 用戶就只有某一瞬間才會使用到被干擾的頻道，平均的收訊品質可以接受。

## Section 3.6

多重存取

**Multiple Access**

## 多工與多重存取

- 為讓許多使用者同時通訊，會使用到多工（duplex）技術與多重存取（multiple access）技術。
- 多工與多重存取分屬兩個不同範疇的技術，但技術本身有許多相似性，故在此一併介紹。

# 多工

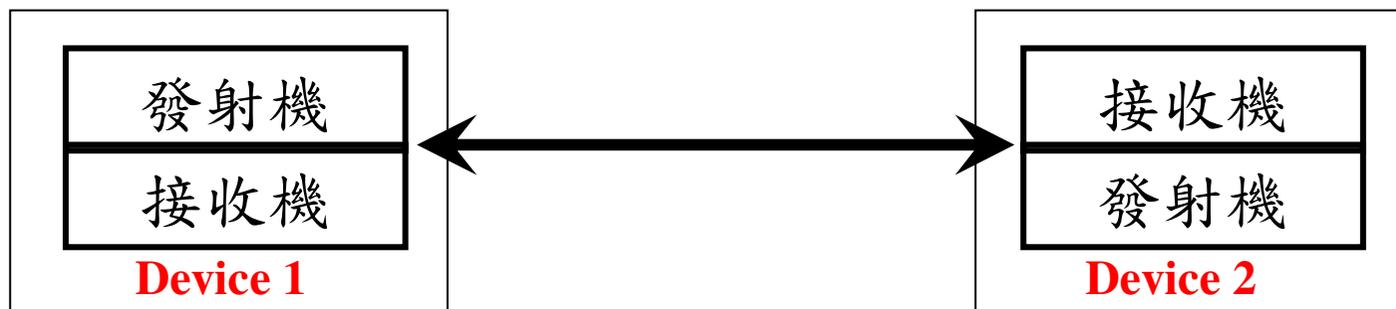
- 多工技術的機制是針對在通信中的一對使用者，對兩者之間發送與接收信號使用情形的描述。
- 三種多工機制
  - 單工 (simplex)
  - 半雙工 (half duplex)
  - 全雙工 (full duplex)

## 單工 v.s. 雙工

- 單工：信號只能從其中的一個使用者（發射機）傳送到另一個使用者（接收機）。

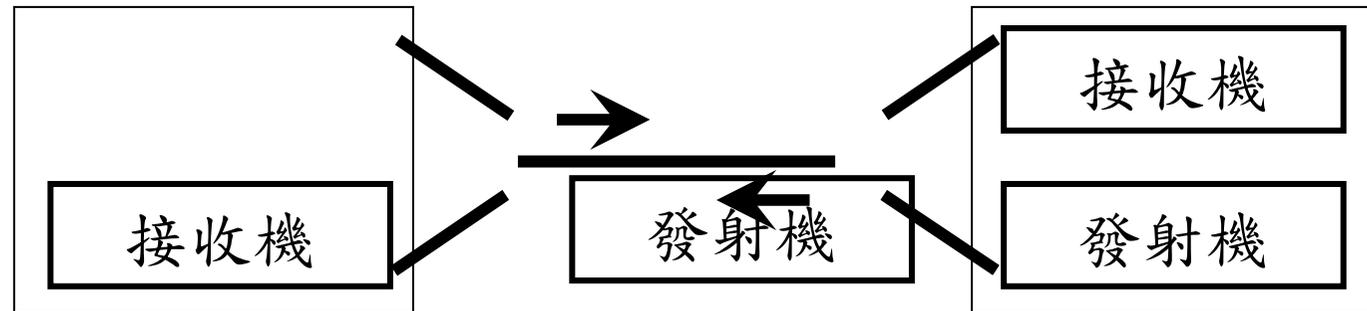


- 雙工：信號能在兩個使用者間往來傳送。

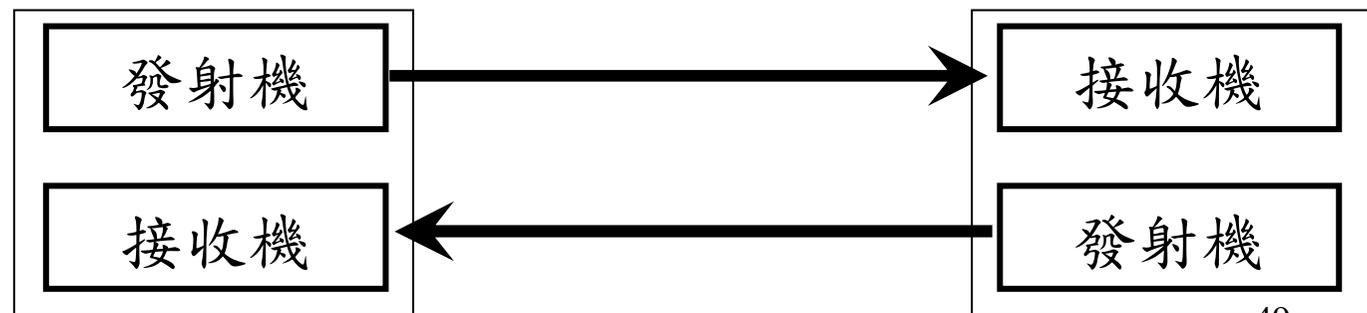


## 半雙工 v.s. 全雙工

- 半雙工：參與通訊的兩方，可以輪流交替傳送訊息。



- 全雙工：通訊的兩端用戶都可以同時進行通話的傳送與接收。

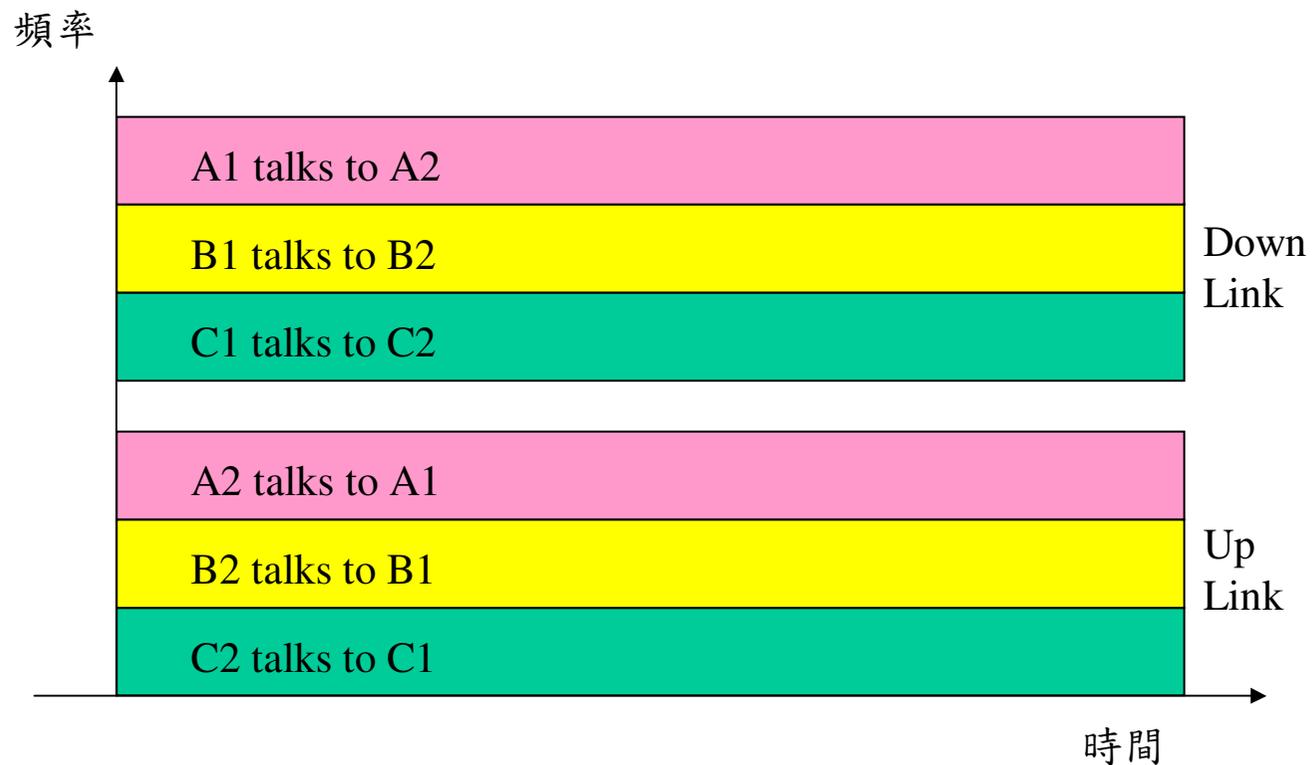


# 全雙工技術

- 手機與基地台間建立起之點對點（point-to-point）無線電通道，稱為無線電鏈結（radio link）。
  - 由手機送給基地台訊號這個方向，稱為上行或上鏈路（uplink）。
  - 由基地台送訊號給手機的這個方向，稱為下行或下鏈路（downlink）。
- 在行動通訊中使用的全雙工的技術有兩大類：
  - 分頻多工（Frequency Division Duplex，FDD）
  - 分時多工（Time Division Duplex，TDD）

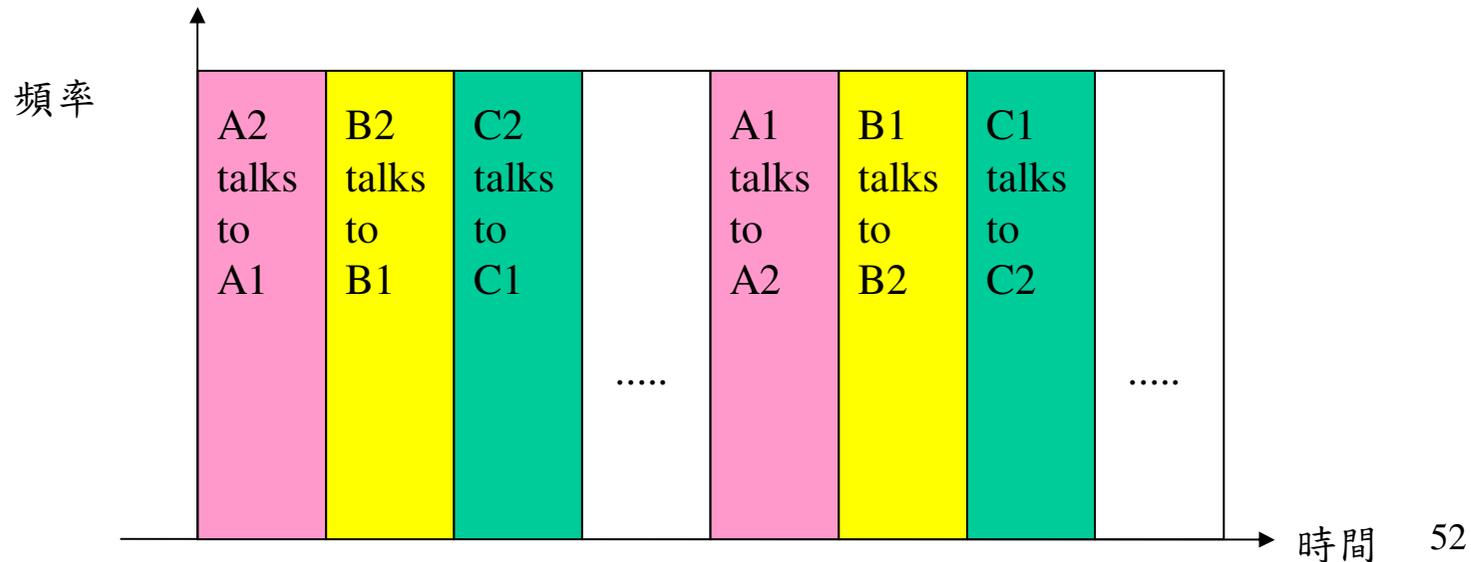
# 分頻多工

- 兩個方向的訊號分別使用不同頻率的通道來傳送。



# 分時多工

- 兩個方向的訊號只使用單一頻率的通道傳送，但利用時間的區隔，讓兩個使用者能輪流使用通道，但時間間隔短且傳輸速率高，感覺上就好像同時通信。



# 多重存取

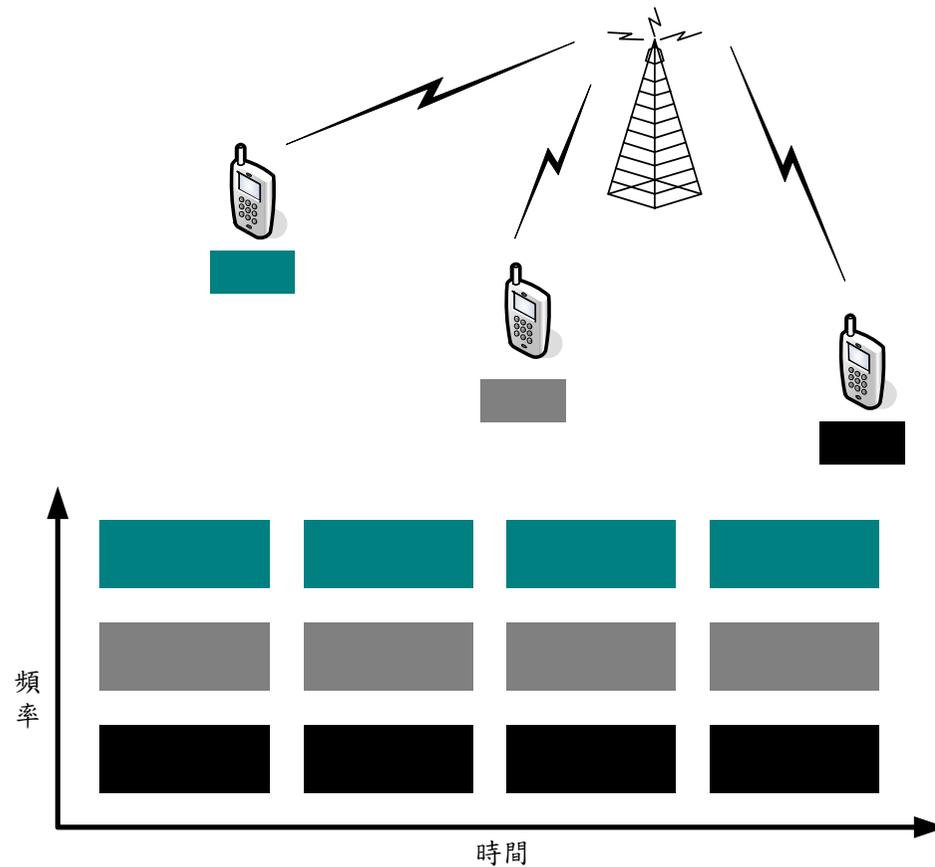
- 多重存取（multiple access）是利用相同的實體通信媒介，讓很多的使用者同時傳送資料。
- 如何區隔不同的使用者且避免彼此干擾，是多重存取的關鍵。
- 中文翻譯裡不論是多重存取、多重接進，還是多重接取，指的都是multiple access。

## 多重存取的技术

- 分頻多重存取 (Frequency Division Multiple Access, FDMA)
- 分時多重存取 (Time Division Multiple Access, TDMA)
- 用時間來區隔不同的使用者。
- 分碼多重存取 (Code Division Multiple Access, CDMA)
- 空間多重存取 (Space Division Multiple Access, SDMA)

# 分頻多重存取

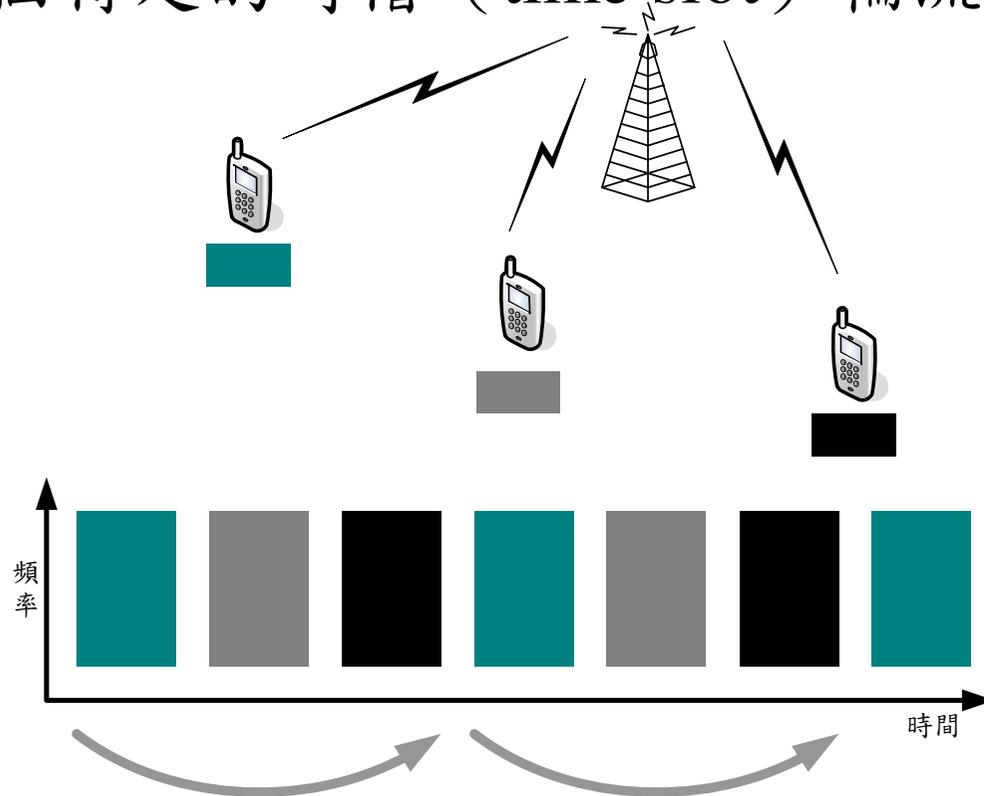
➤ 利用不同的傳送頻率，來區隔不同的使用者。



圖中共有3個使用者。

# 分時多重存取

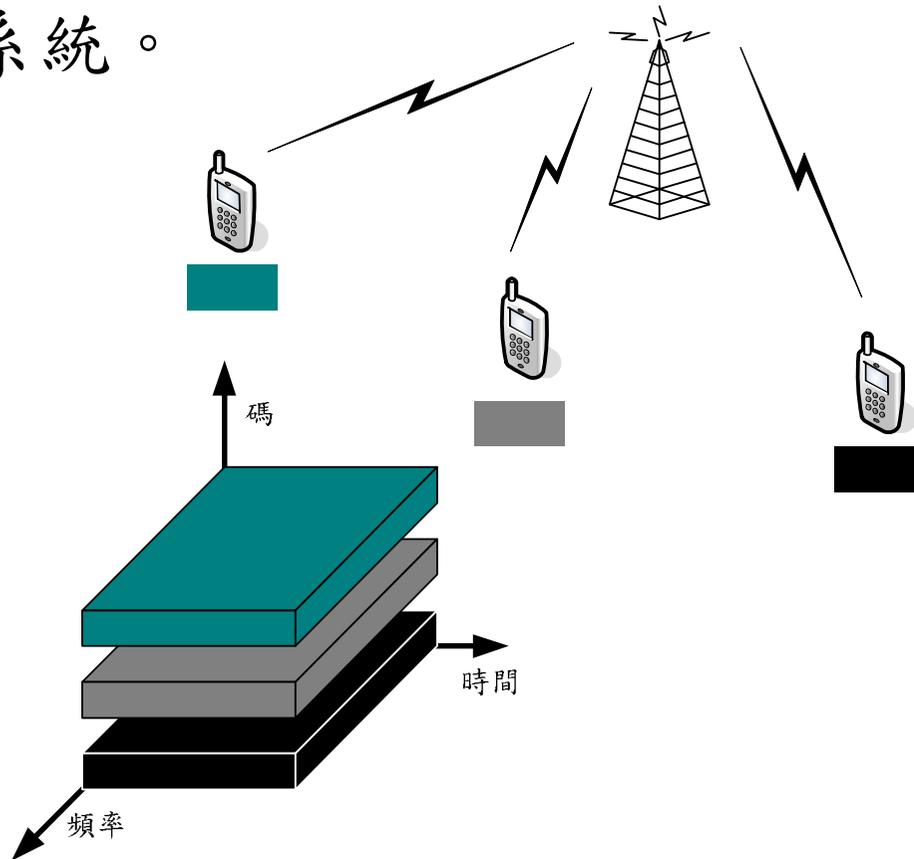
- 用時間來區隔不同的使用者。分配每位使用者一個特定的時槽（time slot）輪流使用。



圖中共有3個使用者。

# 分碼多重存取 (1/3)

- 用不同的碼來區隔不同的使用者。使用於展頻通訊系統。



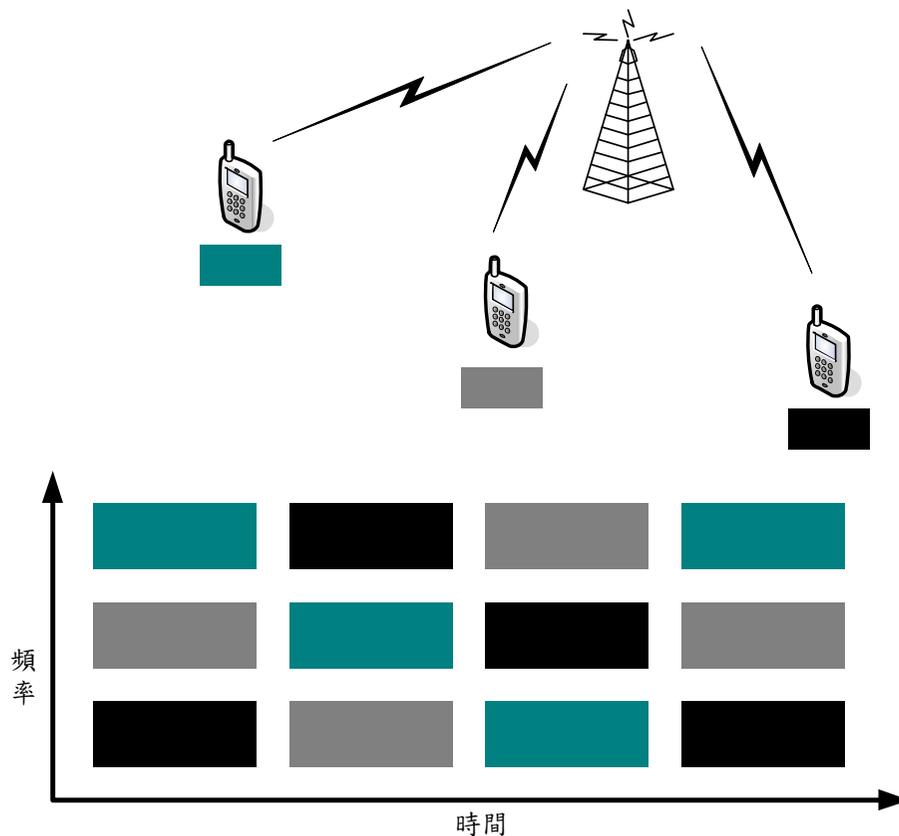
圖中共有3個使用者。

## 分碼多重存取 (2/3)

- 每一個使用者的原始資料在展頻的過程中，會與被分配到一個特殊的碼（code）與原始信號做運算。之後將所有使用者展開後的寬頻訊號混合，透過同一通道送出。接收端收到訊號後，再以同一特殊的碼做運算，便可萃取出原始信號。
- 為了要區別各個使用者，這些特殊的碼之間彼此是兩兩正交（orthogonal）。
- 屬於寬頻的通訊技術。

## 圖 3-14 分時分頻多重存取技術

- 在第二代的個人通訊服務系統中，常結合 FDMA 與 TDMA 使用。



圖中  
共有  
12個  
使用  
者。

## 分碼多重存取 (2/3)

- 展頻通訊的容量，取決於整個系統環境下的訊噪比值（Signal-to-Interference Ratio，SIR）。
  - 雜訊相對於訊號本身的能量比例
  - 因此只要這個雜訊是在系統容許的範圍之內，用戶數目可以再增加。
  - 當然加入新的使用者傳送信號，對於其他使用者就是一種雜訊，會影響其他使用者的通訊品質。
- 系統可以依據使用者要求傳輸資料的速率，分配相對的碼給使用者。

## Example of PN (1/3)

- Assign PN code A: 00011011, B: 00101110, C: 01011100, D: 01000010
- Transfer the PN to Bipolar chip sequences:
  - $A=(-1,-1,-1,1,1,-1,1,1)$   $B=(-1,-1,1,-1,1,1,1,-1)$
  - $C=(-1,1,-1,1,1,1,-1,-1)$   $D=(-1,1,-1,-1,-1,-1,1,-1)$
- Check:
  - $A*A=1+1+1+1+1+1+1+1=8$
  - $A*B=1+1-1-1+1-1+1-1=0$
  - $A*C=1-1+1+1+1-1-1-1=0$
  - $A*D=1-1+1-1-1+1+1-1=0$

## Example of PN (2/3)

- If 4 MSs want to transmit  $A=1, B=1, C=1, D=1$ , then BS will receive
  - $S1=A*1+B*1+C*1+D*1=(-4,0,-2,0,2,0,2,-2)$
- If 4 MSs want to transmit  $A=1, B=1, C=0, D=1$ , then BS will receive
  - $S2 =A*1+B*1+C*(-1)+D*1 =(-2,-2,0,-2,0,-2,4,0)$

## Example of PN (3/3)

➤ BS will receive from MS C

- $1/8 * C * S1$

$$= 1/8 * (-4,0,-2,0,2,0,2,-2) * (-1,1,-1,1, 1,1,-1,-1)$$

$$= 1/8 * (4+0+2+0+2+0-2+2)= 1$$

- $1/8 * C * S2$

$$= 1/8 * (-2,-2,0,-2,0,-2,4,0) * (-1,1,-1,1, 1,1,-1,-1)$$

$$= 1/8 * (2-2+0-2+0-2-4+0)=-1$$

✓ -1 means “0”

➤ BS will receive from MS A

- $A * S1 = A * (A * 1 + B * 1 + C * 1 + D * 1) = A * A * 1 + A * B * 1 + A * C * 1 + A * D * 1 = 8 * 1 + 0 + 0 + 0 = 8$

# 空間多重存取

- 利用空間的不同來做使用者區隔的技術。
- 利用無線電波發射的方向，進行某種程度的控制與區隔，而使得相同頻率與相同時間下，位於不同方向的使用者，能夠進行通訊的行為。
- 控制基地台的天線，在實作上比較沒有困難，但要控制手機發送無線電波的方向，收發機會變得複雜。

# 智慧型天線

- 透過內部高速的數位訊號處理（Digital Signal Processing，DSP）演算法，監測天線週遭環境及相關通訊用戶的位置等訊息。
- 利用高增益、窄波束之陣列天線（antenna array），機動彈性地調整天線輻射波形與電磁波發射方向。
- 透過陣列天線各個不同天線單元，將收到的訊息進行信號處理與彙整，以及利用各種訊號分析的技術，能夠分析出使用者所在方位。

# AMPS

- 第一代的AMPS使用FDMA與FDD。
- 下行頻率範圍為824-849MHz（25MHz）
- 上行頻率範圍為869-894MHz（25MHz）
- 每個頻道之間是以30KHz作一個區隔，總共有832個通訊頻道。

# GSM900

- 使用TDMA與FDD。
- 下行頻率範圍為935-960MHz（25MHz）
- 上行頻率範圍為890-915MHz（25MHz）
- 每一頻道占200kHz，在GSM900共有124組頻道可供使用。
- 每組頻道再以時間劃分為8個時槽。
- 每個行動通訊用戶在其所屬的時槽傳送與接受資訊，而該時槽稱為通訊的通道（channel）。

# Section 3.7

結語

**Summary**

# Summary

- 在這章裡針對行動通訊系統，介紹蜂巢式基地台佈建的通訊技術，以及如何運用相關技術達到蜂巢式通訊架構進行討論。
  - 頻率重複使用
  - 多重存取技術
- 各家廠商仍繼續不斷地尋找提昇蜂巢式通訊系統容量與通訊品質的方法。

# Homework