

行動通訊

CHAPTER 7

多重分工技術

7.2 多重分工的概念與模型

- 多重存取技術是很重要的。多重存取技術是基於信號的**正交性** (orthogonalization)。
- 無線電信號可以表示為頻率、時間或碼的函數，如下：

$$s(f, t, c) = s(f, t) c(t)$$

- 其中 $s(f, t)$ 是頻率與時間的函數，而 $c(t)$ 是碼的函數。

行動通訊 第七章 第162頁

7.2 多重分工的概念與模型

- 當 $c(t) = 1$ ，可被取代為：

$$s(f, t, c) = s(f, t)$$

- 這構成了知名的一般式，用來將信號表示為頻率與時間的函數。

行動通訊 第七章 第162頁

7.2 多重分工的概念與模型

- 在行動通訊裡，於同一時間利用有限的頻率帶是必要的，即是讓多個用戶共用無線電通道，而達到此目的的方案就是**多重存取**。
- 有兩種雙工系統：**分頻雙工** (frequency division duplexing; FDD) 是切割使用的頻率，而**分時雙工** (time division duplexing; TDD) 將同一頻率以時間來切割。

行動通訊 第七章 第162頁

7.2.1 分頻多重擷取

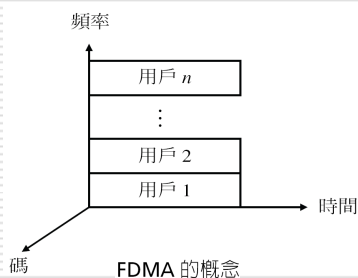
- 在FDMA中，兩信號的正交性條件如下：

$$\int_F s_i(f, t) s_j(f, t) df = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}, \quad i, j = 1, 2, \dots, k$$

- 表示信號 $s_i(f, t)$ 與 $s_j(f, t)$ 在頻率域 F 裡沒有重疊的頻率，且兩信號不相互干擾。
- FDMA是廣泛使用在可攜與車用電話等類比系統的多重存取系統。

行動通訊 第七章 第163頁

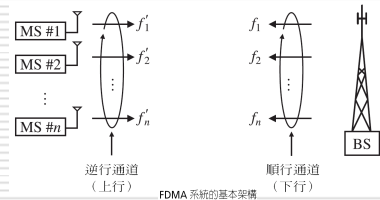
7.2.1 分頻多重擷取



行動通訊 第七章 第163頁 圖7.1

7.2.1 分頻多重擷取

- ❑ 不同用戶所分配的頻率頻寬是不相同的。
- ❑ 上行與下行通道不會發生頻率重疊。



行動通訊 第七章 第163-164頁 圖7.2

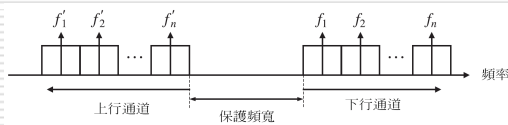
7.2.1 分頻多重擷取

- ❑ 上行與下行通道之間使用一段**保護頻寬** (protecting bandwidth)，而兩相鄰通道之間有一個**保護帶** (guard band) W_g (圖 7.4)，用來降低相鄰通道之間的干擾。
- ❑ 各用戶的頻率頻寬叫做子頻帶 W_c 。
- ❑ 如果有一個具 N 個通道的 FDMA 系統，其整體頻寬就是等於 $N \cdot W_c$ 。

行動通訊 第七章 第164頁



7.2.1 分頻多重擷取

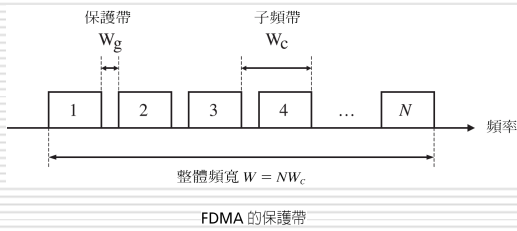


FDMA 的上行與下行通道之架構

行動通訊 第七章 第164頁 圖7.3



7.2.1 分頻多重擷取



行動通訊 第七章 第164頁 圖7.4



7.2.2 分時多重擷取

□ TDMA的正交性條件為：

$$\int_T s_i(f, t) s_j(f, t) dt = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}, \quad i, j = 1, 2, \dots, k$$

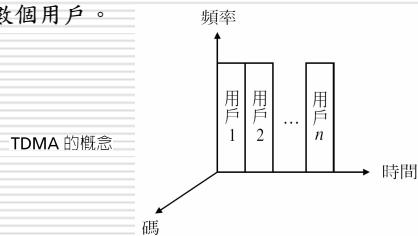
□ 式子 (7.4) 表示信號 $s_i(f, t)$ 與 $s_j(f, t)$ 在時間軸 T 上沒有重疊的時間。

行動通訊 第七章 第165頁



7.2.2 分時多重擷取

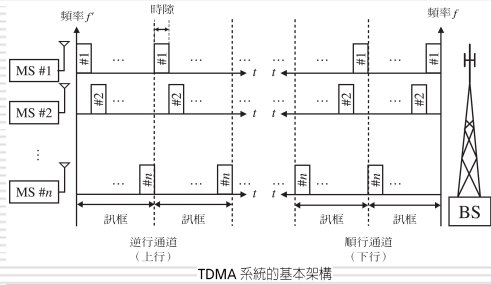
□ TDMA將一個載波分成數個時隙，並將時隙分配給數個用戶。



行動通訊 第七章 第165頁 圖7.5



7.2.2 分時多重擷取



行動通訊 第七章 第165頁 圖7.6

CENGAGE Learning

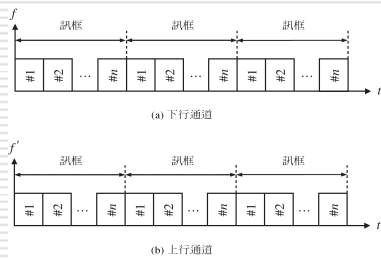
7.2.2 分時多重擷取

□ TDMA系統可以是兩種模式之一：FDD（上行／下行之通訊頻率是不同的）與TDD（上行／下行之通訊頻率是相同的）。

行動通訊 第七章 第166頁

CENGAGE Learning

7.2.2 分時多重擷取

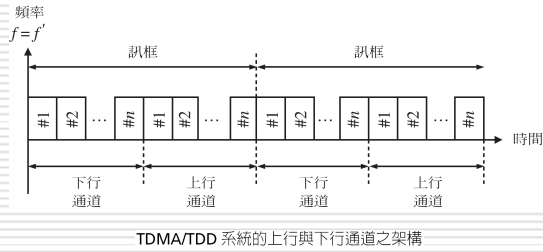


TDMA/FDD 系統的上行與下行通道之架構

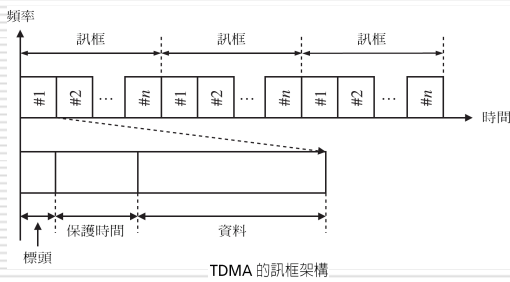
行動通訊 第七章 第166頁 圖7.7

CENGAGE Learning

7.2.2 分時多重擷取



7.2.2 分時多重擷取



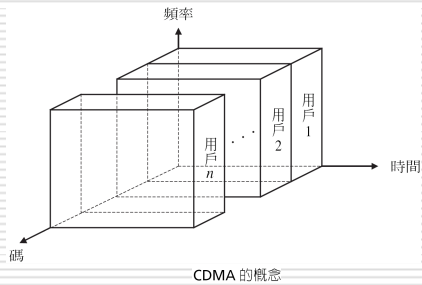
7.2.3 分碼多重擷取

□ CDMA的正交性條件為：

$$\int_C s_i(t) s_j(t) dt = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}, \quad i, j = 1, 2, \dots, k$$

- 式子 (7.5) 表示信號 $s_i(t)$ 與 $s_j(t)$ 在碼軸C無重疊的信號，且信號沒有任何雷同的碼。
- 在CDMA系統是選擇不同的展頻碼，並指派給各個用戶，而多個用戶共享同一頻率。

7.2.3 分碼多重擷取

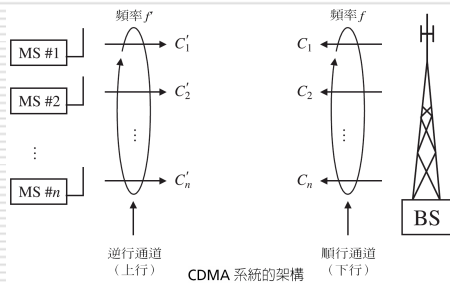


CDMA 的概念

行動通訊 第七章 第168頁 圖7.10

CENGAGE Learning

7.2.3 分碼多重擷取



CDMA 系統的架構

行動通訊 第七章 第168頁 圖7.11

CENGAGE Learning

7.2.3 分碼多重擷取

□ 目前有兩種基本型態的CDMA實作方式：

1. 直接序列 (direct sequence; DS)。
2. 跳頻 (frequency hopping; FH)。

行動通訊 第七章 第168頁

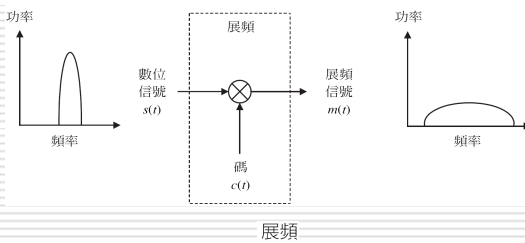
CENGAGE Learning

展頻

- 展頻在傳輸端使用一個獨立於傳送資料的碼，在接收端則使用同一個碼來解調資料。
- 圖7.12顯示欲傳送的訊息訊號 $m(t)$ 用碼信號 $c(t)$ 作展頻成為資料信號 $s(t)$ 。

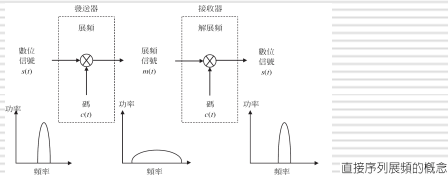
$$m(t) = s(t) \otimes c(t)$$

展頻



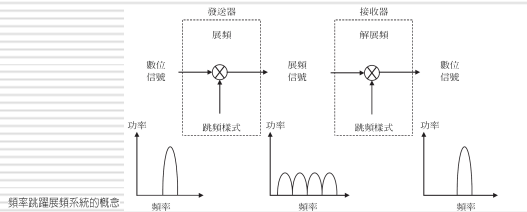
直接序列展頻

- 一種調變技術，虛擬隨機序列直接將（資料調變）載波作相位調變，增加傳輸頻寬與降低頻譜功率密度。



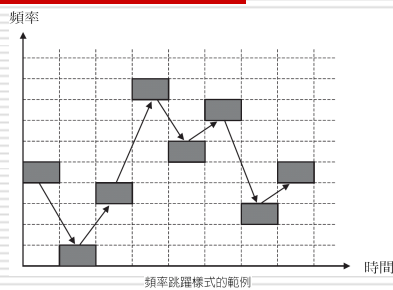
頻率跳躍展頻

- ❑ 虛擬隨機序列是以隨機方式在寬頻率帶（圖 7.14）上改變無線電信號的頻率。



行動通訊 第七章 第170頁 圖7.14

頻率跳躍展頻

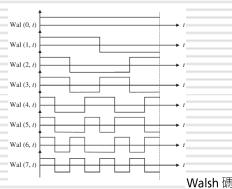


頻率跳躍模式的範例

行動通訊 第七章 第171頁 圖7.15

Walsh碼

- ❑ 在CDMA，各用戶是被分配到一個或多個從正交碼得到的正交波形。
- ❑ 一個重要的正交碼集合是Walsh集合。



Walsh 碼

行動通訊 第七章 第171頁 圖7.16

Walsh碼

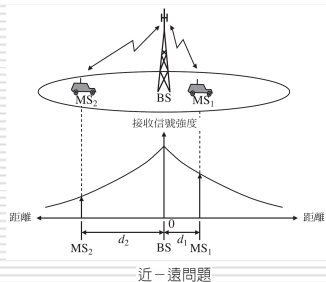
- Walsh函數是利用疊代方式從 $H_0 = [0]$ 開始建構一個Hadamard矩陣。Hadamard矩陣是利用下述函數來建構。

$$H_n = \begin{pmatrix} H_{n-1} & H_{n-1} \\ H_{n-1} & -H_{n-1} \end{pmatrix}$$

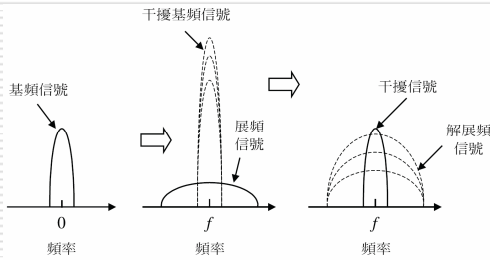
近—遠問題

- 近遠問題源自於無線行動通訊系統所接收到的信號強度落差甚大。
- 近遠問題在CDMA系統中變得更重要，因為其利用低交互相關（crosscorrelation）碼讓展頻信號能多工存取同一頻率。
- 一個簡單的解決方案是使用**功率控制**。

近—遠問題



近—遠問題



展頻系統中的干擾

行動通訊 第七章 第173頁 圖7.19

CENGAGE Learning

功率控制

- ❑ 功率控制基本上就是控制傳輸功率的技術，進而影響接收功率，以及CIR。

行動通訊 第七章 第173頁

CENGAGE Learning

7.2.4 正交分頻多工

- ❑ OFDM的基本策略是將高速率無線電信號分成多個低速率子信號，並同時在多個正交載波頻率上傳送。
- ❑ 在OFDM中，兩信號的正交性條件如下：

$$\int_F s_i(f, t) s_j^*(f, t) dt = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}, \quad i, j = 1, 2, \dots, k$$

- ❑ 其中 * 表示一個複共軛 (complex conjugate) 關係。

行動通訊 第七章 第174頁

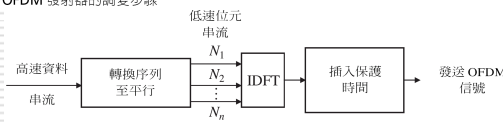
CENGAGE Learning

7.2.4 正交分頻多工

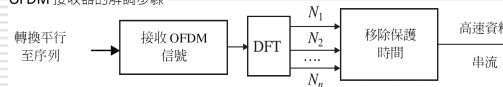
□ FDM的發送端將高速資料流轉換成n個平行低速位元流，然後經過調變，結合反離散傅立葉轉換 (inverse discrete Fourier transform; IDFT)，接著加入保護時間以降低ISI。在接收端則反向操作上述動作。

7.2.4 正交分頻多工

OFDM 發射器的調變步驟



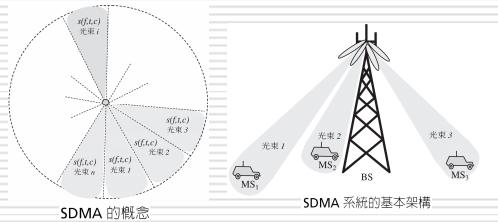
OFDM 接收器的解調步驟



7.2.5 空間分隔多工

□ 在SDMA，全向性通訊空間是被切成數個空間分隔區 (spatially separable sectors)，利用在基地台使用智慧型天線，讓多個行動台同時使用相同通道。

7.2.5 空間分隔多工



7.2.6 多重分工技術之比較

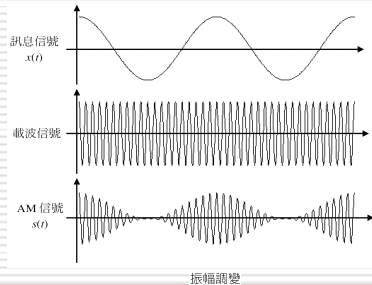
各種多重分工技術之比較

技術	FDMA	TDMA	CDMA	SDMA
概念	將頻率切成不交叉子頻帶	將時間切成不重疊時隙	用正交碼做展頻	將空間劃成分區
active 主機數	所有主機各自 active 於所屬的頻帶	主機在相同頻率上各自 active 於所屬的時隙	所有主機在相同頻率上 active	每個光束的主機數量決定於 FDMA/TDMA/ CDMA
信號區隔	用頻率來過濾	時間同步	碼區隔	用智慧型天線做空間區隔
換手	硬式換手	硬式換手	軟式換手	硬式與軟式換手
優點	簡單且穩定	有彈性	有彈性	非常簡單，增加系統容量
缺點	沒彈性、可用頻率是固定的、需要保護帶	需要保護空間、同步問題	複雜的接收器、需要供率控制以避免近遠問題	無彈性、需要網路監控以避免細胞內換手
現有應用	無線電、電視、類比手機	GSM 與 PDC	2.5G 與 3G	衛星系統，其他研究中的應用

7.3 調變技術

- 振幅調變 (amplitude modulation, AM) 是第一種用於將聲音資訊從一地傳至另一地的方法。
- 調變載波信號 $s(t)$ 為 $s(t) = [A + x(t)] \cos(2\pi f_c t)$
- 其中 $A \cos(2\pi f_c t)$ 是具振幅 A 與載波頻率 f_c 之載波信號，以及 $x(t)$ 為調變信號。 A 是信號的直流電 (DC) 這部分。
- $x(t) \cos(2\pi f_c t)$ 代表一個雙邊帶 (double sideband; DSB) 信號。

7.3 調變技術



行動通訊 第七章 第178頁 圖7.25



7.3.2 頻率調變

□ 頻率調變 (frequency modulation) 是一種以波的瞬時頻率之變異將資訊信號與交流電 (AC) 作整併。

□ 信號形式為：

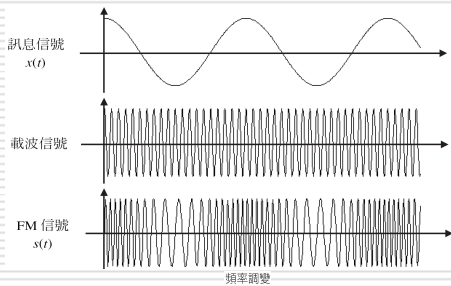
$$s(t) = A \cos \left(2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int_{t_0}^t x(\tau) d\tau + \theta_0 \right)$$

□ 其中 f_n 是尖峰頻率偏移 (peak frequency deviation)，這是 FM 信號在 $f_\Delta \ll f_c$ 條件下距離原始頻率之最大差異。

行動通訊 第七章 第178-179頁



7.3.2 頻率調變

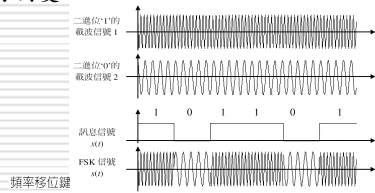


行動通訊 第七章 第179頁 圖7.26



7.3.3 頻率移位鍵

□ 頻率移位鍵 (frequency shift keying) 係利用不同頻率對“1”或“0”在兩載波上作數位信號的調變。



行動通訊 第七章 第179-180頁 圖7.27

CENGAGE Learning

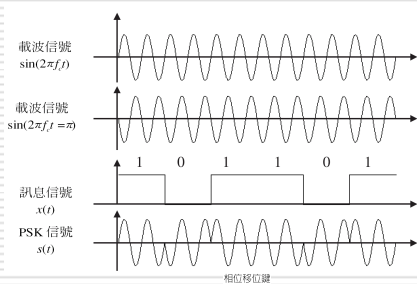
7.3.4 相位移位鍵

- 相位移位鍵 (phase shift keying) 是一種傳送與接收數位信號的方法，其中傳送信號的相位是可變的。
- PSK有完美的SNR，但必需作同步解調。
- 這造成解調電路為變得複雜。

行動通訊 第七章 第180頁

CENGAGE Learning

7.3.4 相位移位鍵

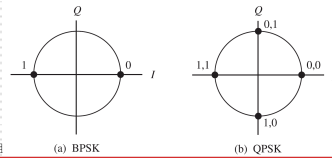


行動通訊 第七章 第181頁 圖7.28

CENGAGE Learning

7.3.5 四相位移鍵 (QPSK)

- QPSK進一步延伸PSK的概念。
- 利用QPSK，載波可以經過四種相位改變，且能夠代表四個二進位樣式的資料，有效地加倍載波的頻寬。



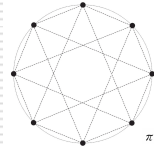
BPSK與QPSK的信號群組

行動通訊 第七章 第181-182頁 圖7.29



7.3.6 $\pi/4$ QPSK

- 在QPSK與BPSK，輸入序列是以群組中的絕對位址做編碼。
- 在 $\pi/4$ QPSK，輸入序列是以振幅及相位位移的方向之改變來做編碼，而非其在群組中的絕對位置。



$\pi/4$ QPSK之所有可能狀態轉移

行動通訊 第七章 第182-183頁 圖7.30