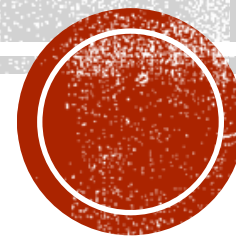


多工與多重存取簡介

cory@gms.tku.edu.tw



Outlines

- 無線電波中的時間與空間
- 進階多工方案



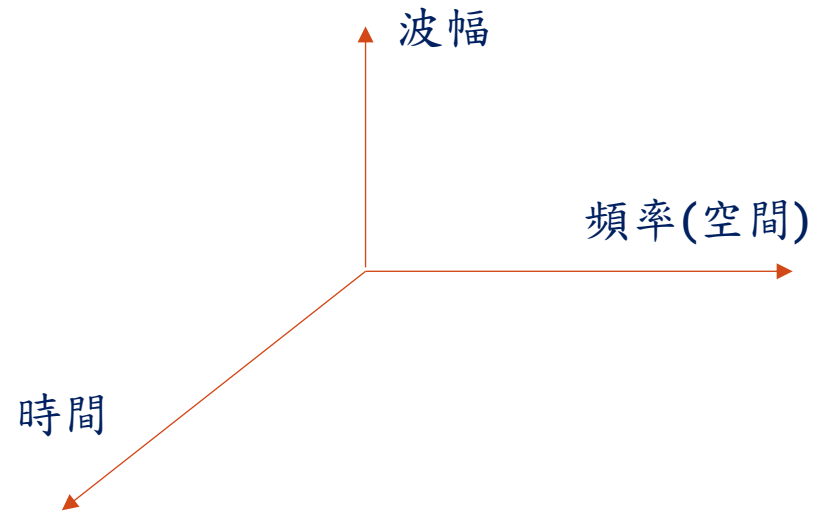
關於調變

- 目的
 - 賦予電磁場波動邏輯上的意義
 - Modulation / Demodulation
- 基本原理
 - 振幅(波幅)
 - 頻率(波長)
 - 相位
- 無線電波段中的空間與時間
- 無線電波的物理特性



資源分配

- 使用者數量增加、通訊資料量與各種通訊需求增加
- 時間與空間有限
 - 基於有限時間、空間上的各種變化
 - 時間、頻率皆為連續的
- 多工 (multiplexing)
 - 多重存取 (multiple access)
 - 雙工(duplex)
 - 於通訊上指傳送、接收方向的多工



從時間下手

- 早期的做法

- 偵測碰撞

- CSMA/CD (carrier sense multiple access / collision detection)
 - 傳統無線電語音通訊
 - 有線資料網路(如Ethernet)

- 預防碰撞

- CSMA/CA (carrier sense multiple access / collision avoidance)
 - RTS (ready to send)
 - CTS (clear to send)
 - 有線/無線皆有使用
 - Listen before talk



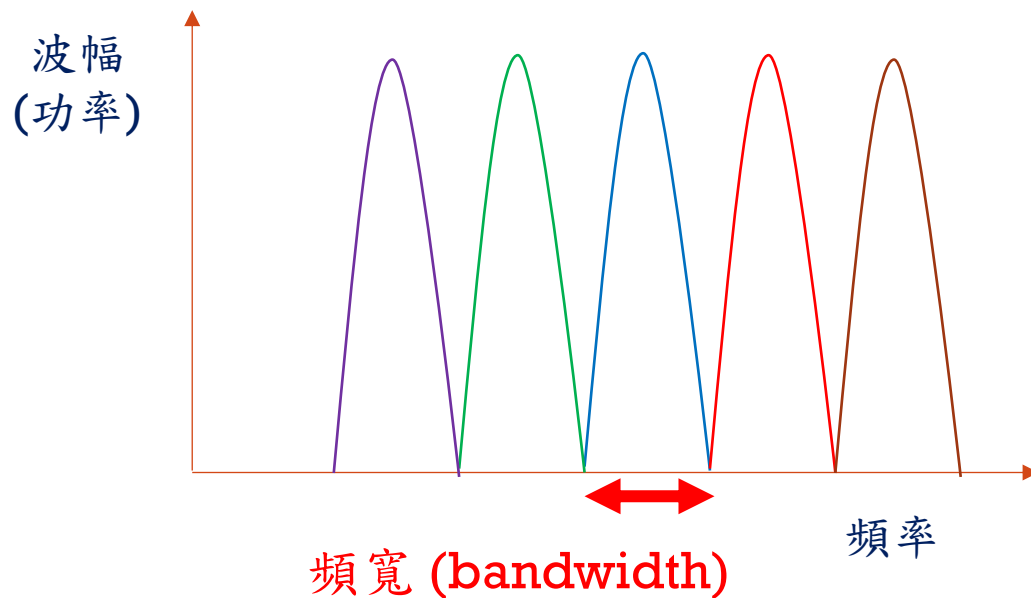
從時間下手

- 時槽 (slot)
 - ALOHA / Slotted ALOHA
 - 將時間整齊切成長度一致的區段，並以區段為通訊的基本單位
- 對時、管理策略
 - 定時發送Beacon
 - 集中管理端(如基地台)發送slot分配方式
- TDMA (time division multiple access)
- TDD (time division duplex)



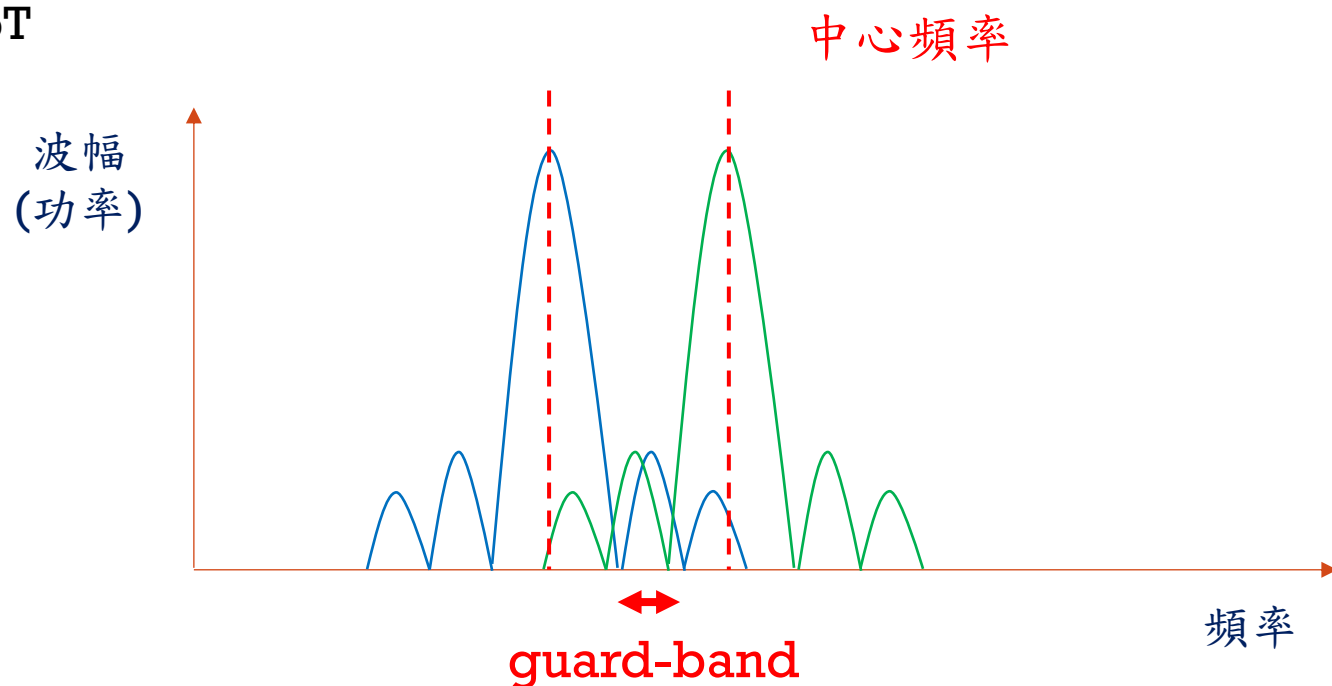
從頻譜空間下手

- 在可用的頻率範圍內切分若干個可以使用的頻道
- FDMA (frequency division multiple access)
- FDD (frequency division multiplex)



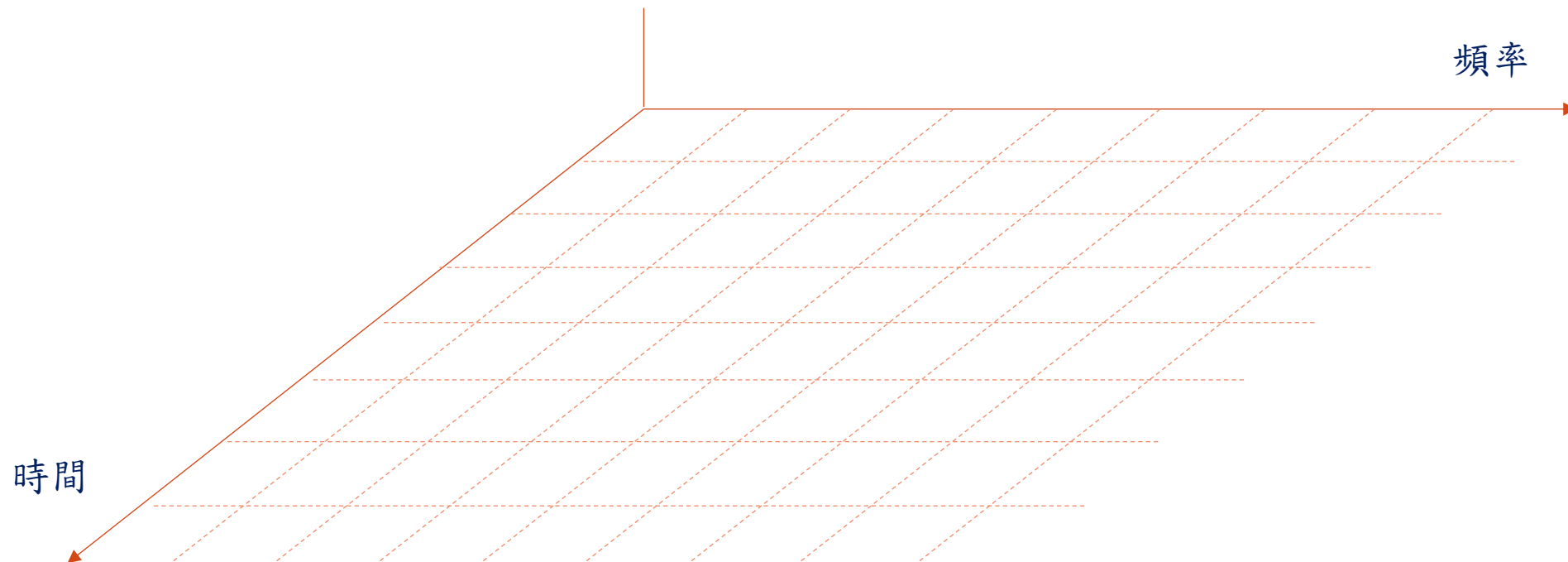
從頻譜空間下手

- 頻率是連續的，基於元件材料與電磁波本身的物理特性，中心頻率周圍也會發生響應，甚至會有諧波產生
 - 部分用途會有guard-band配置
 - 有一些使用guard-band的解決方案
 - Wi-Fi TV Whitespace
 - NB-IoT



頻率與時間的組合

- 以頻率與時間切分可供存取的資源
- 儘量填滿，避免浪費



從實體的空間下手

- 大型基地台使用指向天線以不同角度發射較集中的波束，區隔服務範圍
 - 水平
 - 垂直
- 使用小型基地台提供較多小分區
- Beam-forming
- RIS



Outlines

- 無線電波中的時間與空間
- 進階多工方案



展頻

- Spread spectrum

- 使用較寬的頻率範圍

- FHSS (frequency hopping spread spectrum)

- 在範圍內不斷變換頻率(跳頻)
- 安全性(攻擊者要知道跳頻序列才能進行攻擊)
- 抗干擾性(避開固定頻率的干擾源)
- 軍用資料鏈路、Bluetooth

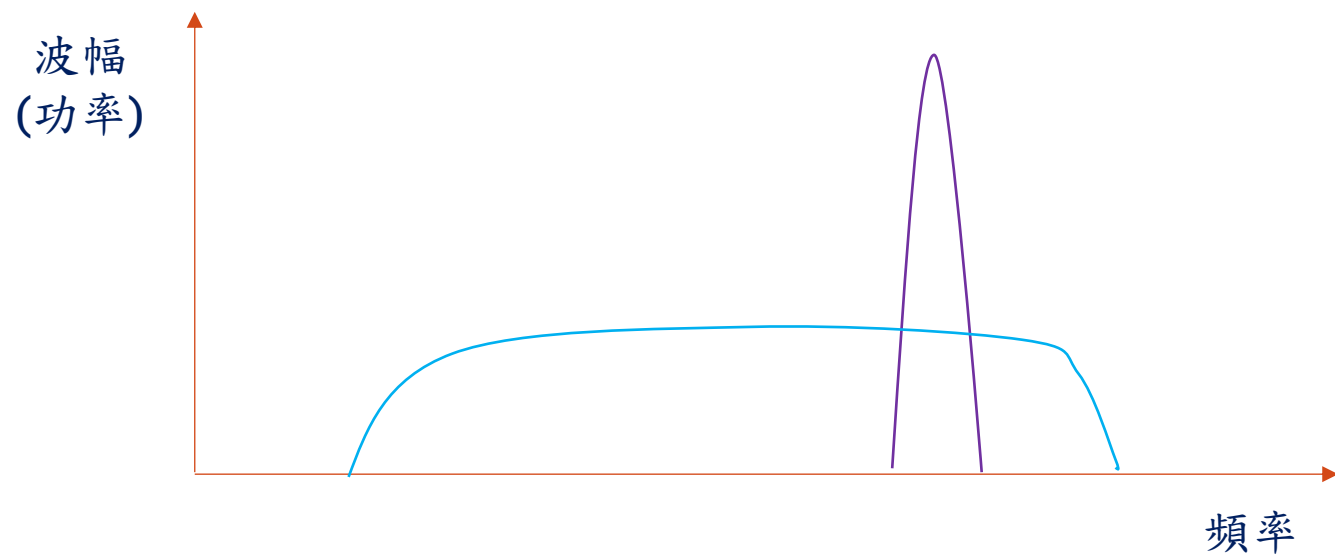
- DSSS (direct sequence spread spectrum)

- 直接序列展頻
- 使用較寬的頻寬、較高的傳輸速度
- 使用展頻碼達到抗干擾、保護資料的目的
- 衛星定位系統、Wi-Fi (IEEE 802.11b)、LoRa、ZigBee



DSSS

- 使用較寬的頻寬、較低的功率
 - 避開頻寬較窄的干擾源
 - 解出正確資料的機率較高



DSSS

- 每個裝置有獨特的展頻碼
 - Pseudo-random
 - 使用裝置認證資訊計算產生
 - 以展頻碼的排列方式表達payload資料
- 範例
 - 展頻碼為: 1, 1, -1, 1, -1
 - 欲傳輸之資料為: 1, 1, -1, 1
 - 則實際發送的内容為: 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, 1, -1



DSSS

- Spreading Factor (SF)
 - 展頻碼與payload資料的比值

$$SF = \frac{\text{Chip rate}}{\text{Symbol rate}}$$

DSSS展頻碼或
CDMA編碼長度



Payload資料長度



正交編碼組合

- CDMA (code division multiple access)
 - 每個裝置有一獨特的編碼，不同裝置的編碼彼此正交(orthogonal)
 - 允許chip疊加
- 範例(chip & symbol)
 - UE1
 - code: 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1
 - data: 1, 0
 - UE2
 - code: 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1
 - data: 1, 1
 - UE3
 - code: 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1
 - data: 0, 1



CDMA

- 範例(encode)

- UE1

- data(1, 0) , code(1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1)
 - 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0

- UE2

- data(1, 1) , code(1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1)
 - 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1

- UE3

- data(0, 1) , code(1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1)
 - 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1

- SUM

- 2, 0, 0, -2, 2, 0, 0, -2, 2, 0, -2, 0, 2, 0, -2, 0



CDMA

- 範例(decode)

- 實際傳輸的資料: 2, 0, 0, -2, 2, 0, 0, -2, 2, 0, -2, 0, 2, 0, -2, 0

- UE1

- code(1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1)
 - 2, 0, 0, 2, 2, 0, 0, 2 | 2, 0, -2, 0, 2, 0, -2, 0
 - $8/8=1$ | $0/8=0$

- UE2

- code(1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1)
 - 2, 0, 0, 2, 2, 0, 0, 2 | 2, 0, 2, 0, 2, 0, 2, 0
 - $8/8=1$ | $8/8=1$

- UE3

- code(1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1)
 - 2, 0, 0, -2, 2, 0, 0, -2 | 2, 0, 2, 0, 2, 0, 2, 0
 - $0/8=0$ | $8/8=1$



CDMA

- 範例(UE1 & UE2 only)

- SUM: 2, 0, 0, -2, 2, 0, 0, -2, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1

- UE1

- code(1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1)

- 2, 0, 0, 2, 2, 0, 0, 2 | 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1

- $8/8=1$ | $0/8=0$

- UE2

- code(1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1)

- 2, 0, 0, 2, 2, 0, 0, 2 | 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1

- $8/8=1$ | $8/8=1$



CDMA

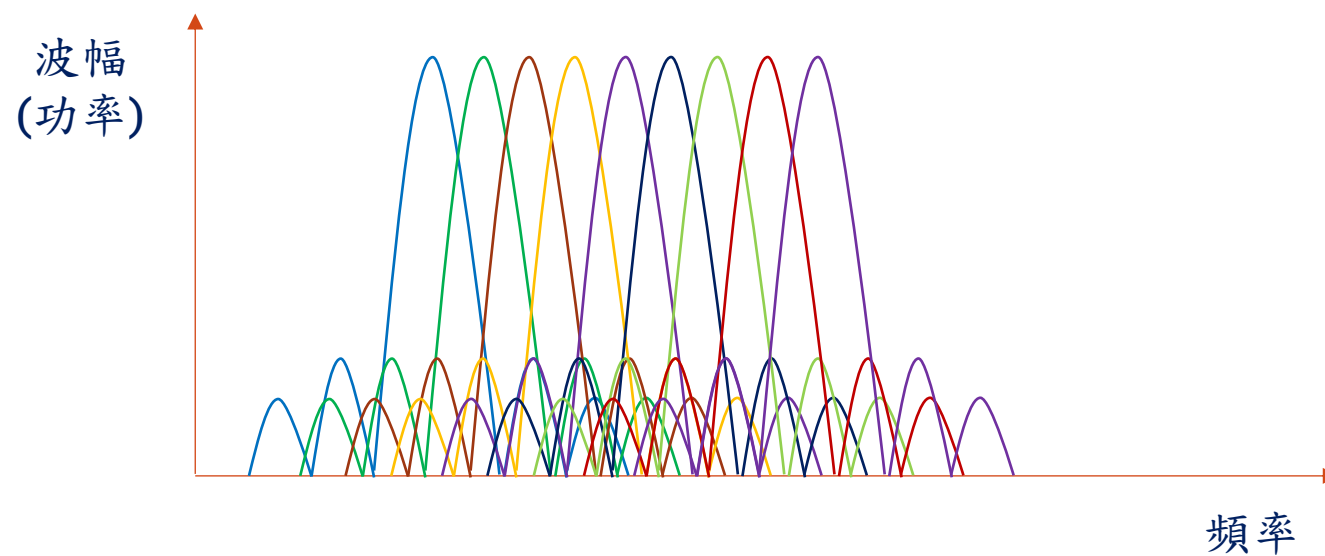
- 第三代行動通訊(3G)
 - UMTS (W-CDMA)
 - CDMA2000
 - TD-SCDMA



正交分頻

- 回到FDMA

- 有沒有辦法讓頻道靠得更近一點？



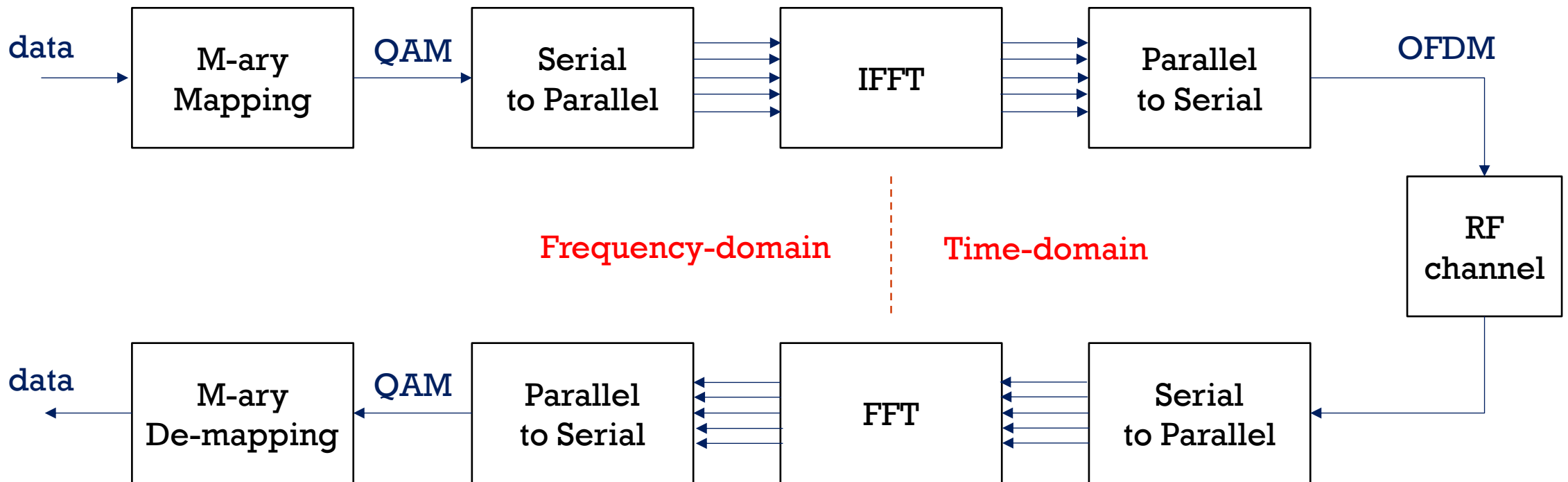
正交分頻多工

- OFDM (orthogonal frequency division multiplexing)
- 在可用頻率範圍內切分若干個**sub-carrier**(子載波)
- 各**sub-carrier**主波波形(相位)與相鄰的**sub-carrier**波形正交
- 可大幅提升頻道容量



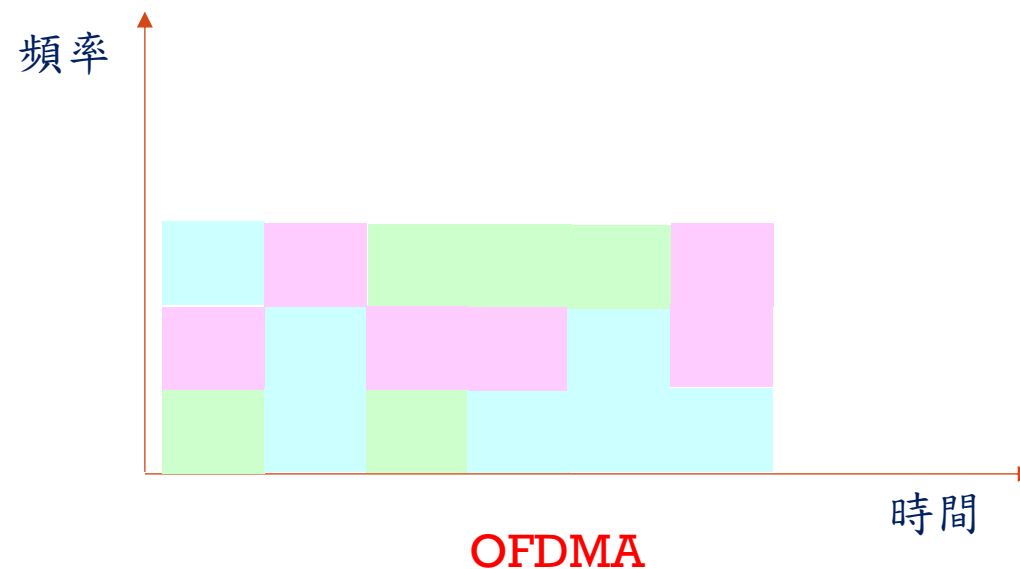
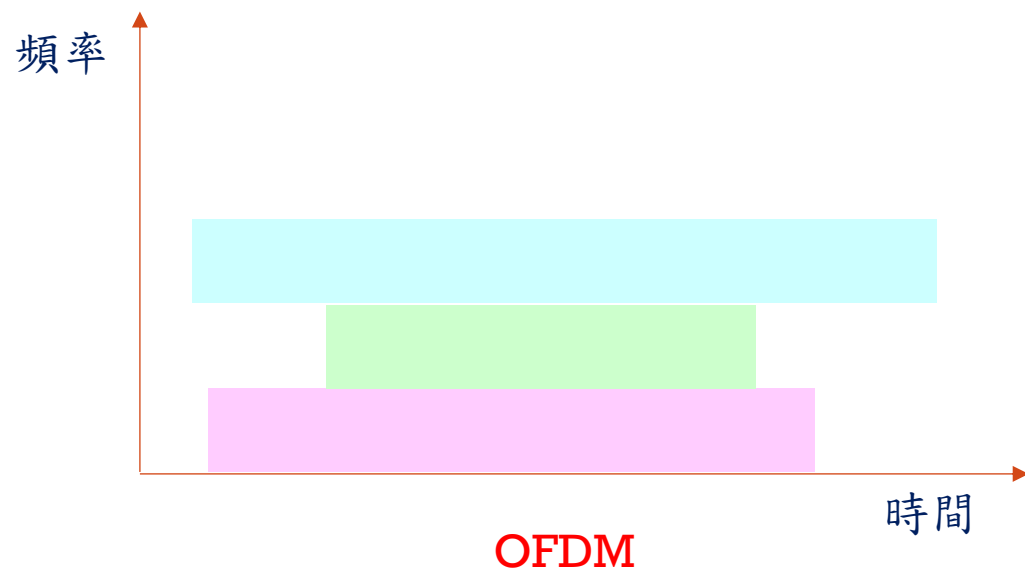
OFDM

- 實作上使用快速傅立葉轉換(FFT)進行
 - 硬體支援能力提升使此類技術得以普及



OFDM vs OFDMA

- OFDMA (orthogonal frequency multiple access)
 - OFDM搭配slot機制提升多重存取效率



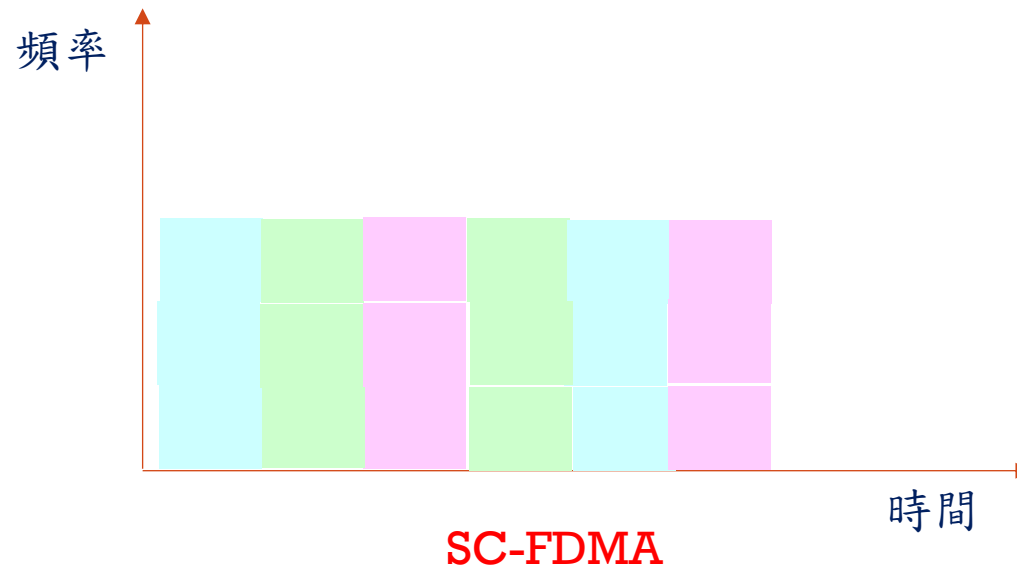
OFDMA

- Guard-interval

- 考量時間誤差、移動、訊號反射產生多路徑等因素給予的微小間隔

- SC-FDMA

- 正交分頻以同一sub-carrier為主，不同sub-carrier分配在不同slots



應用

- Wi-Fi
 - OFDM
- WiMAX
 - OFDM
 - OFDMA
- E-UTRAN
 - Downlink: OFDMA
 - Uplink: SC-FDMA
- NR
 - OFDM

