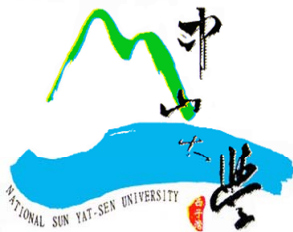


課程名稱：無線網路與行動計算

Wireless Internet and Mobile Computing

**Outline of This Lecture:
PHY (Physical Layer) of
Wireless Networks**

Application Layer
Transport Layer
Network Layer
Link Layer
Physical Layer

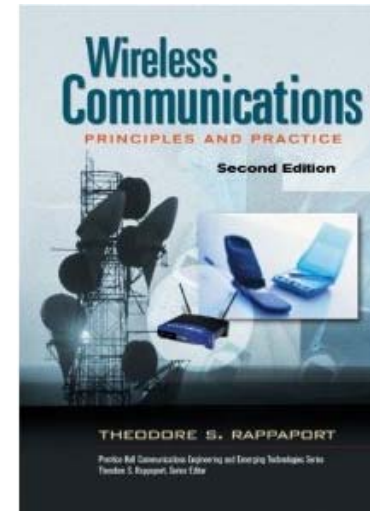


Instructor: 周孜燦 助理教授

國立中山大學電機系

Email: ztchou@ee.nsysu.edu.tw

References for this Chapter (Physical Layer)



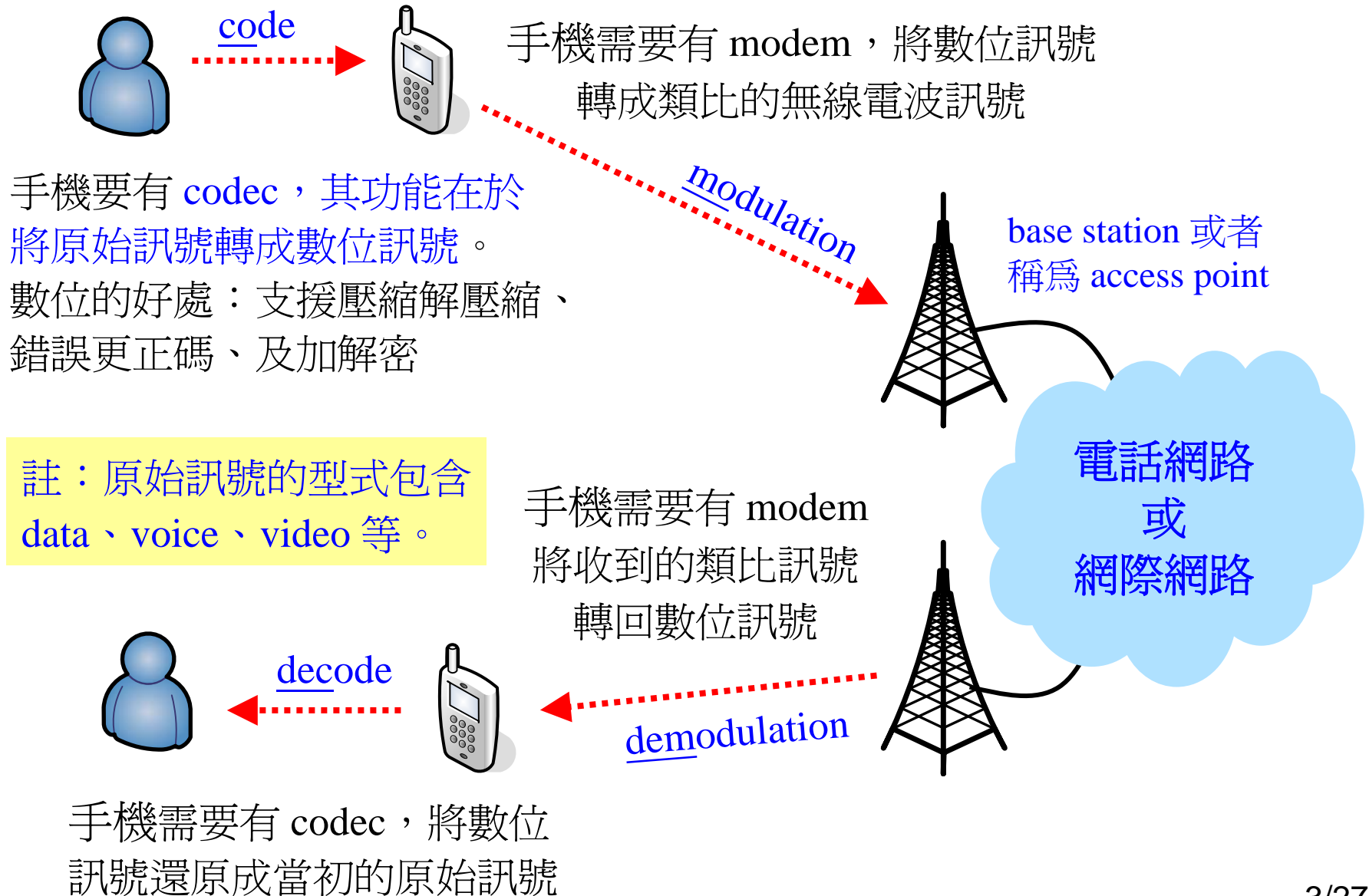
王明輝，行動通訊概論（How Wireless Works），普林斯頓出版社，2006

→ 本章投影片有大部分內容出自這本書

Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd Edition*, Prentice Hall, 2002

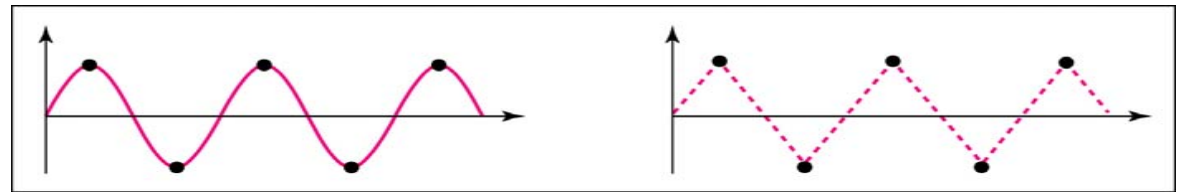
→ 介紹 physical layer 方面非常好的書，有非常多的論文引用這本書

An Example of Mobile Phone Communications



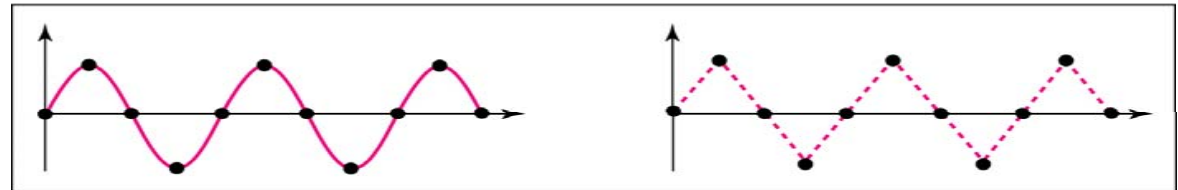
Voice Codec : Sampling Rate

取樣頻率剛好



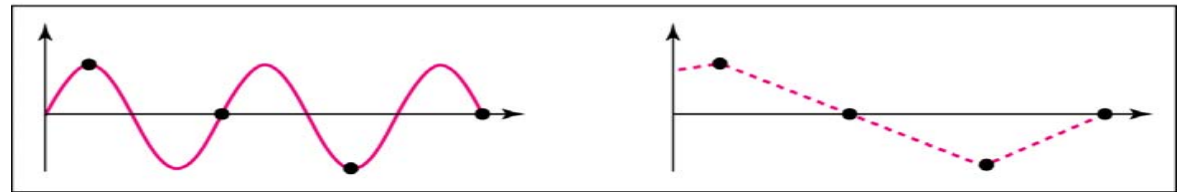
a. Nyquist rate sampling: $f_s = 2f$

取樣頻率太高，
重建效果跟上圖一樣，
沒有更好



b. Oversampling: $f_s = 4f$

取樣頻率太低
無法回復當初的訊號

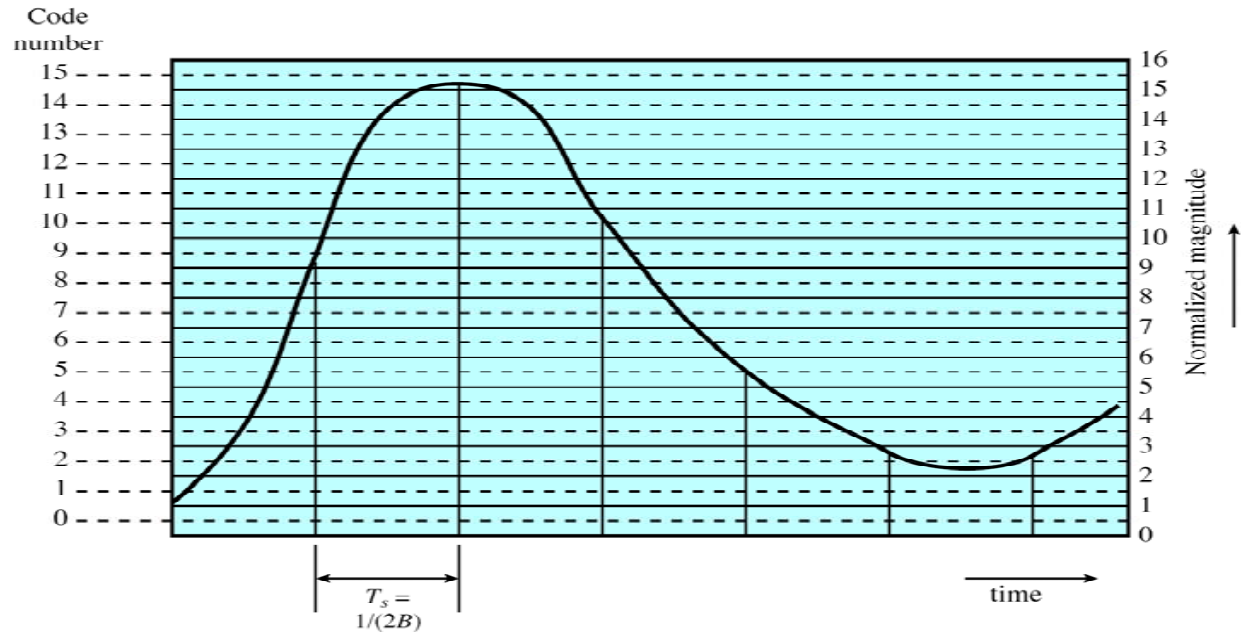


c. Undersampling: $f_s = f$

根據 **Nyquist** 定理，取樣頻率必須是原始訊號頻率的 **2 倍**，才能將原始訊號重建回來。一般人類語音頻率約在 **300~3400 Hz** 左右，通常不超過 **4000 Hz**，因此一般數位電話語音系統每秒取樣 **8000 次**，**quantization levels** 共 **256 個**，需 **8 bits**，所以產生語音資料的速度 $8000 * 8 \text{ bits/sec} = 64 \text{ Kbps}$

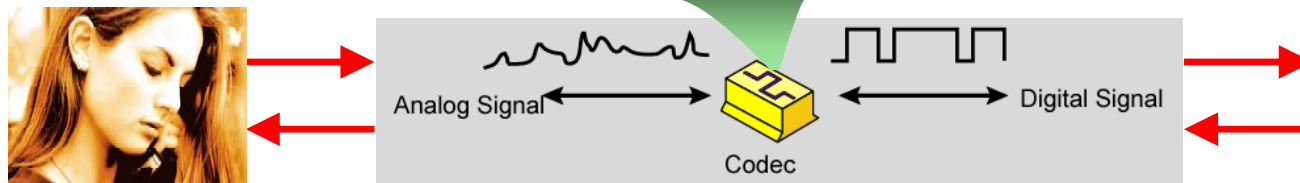
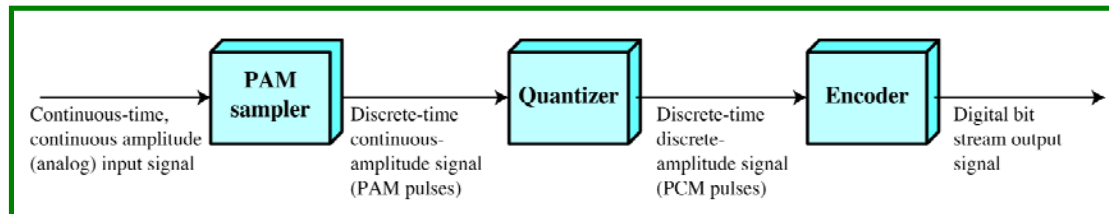
Voice Codec : Sampling, Quantization, and Encoding

由於存在**量化誤差**，
接收端只能將**數位訊號**
建回**近似的類比訊號**



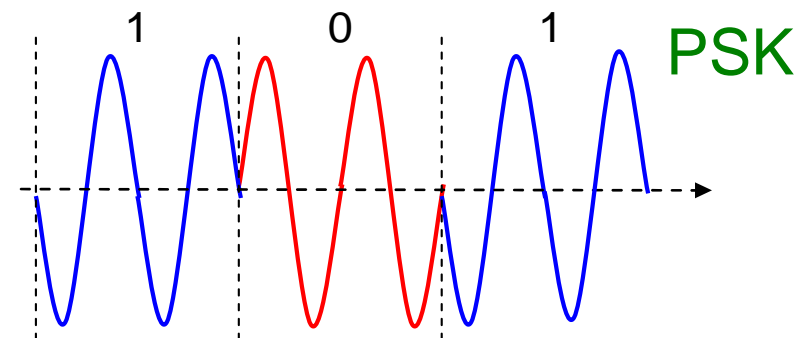
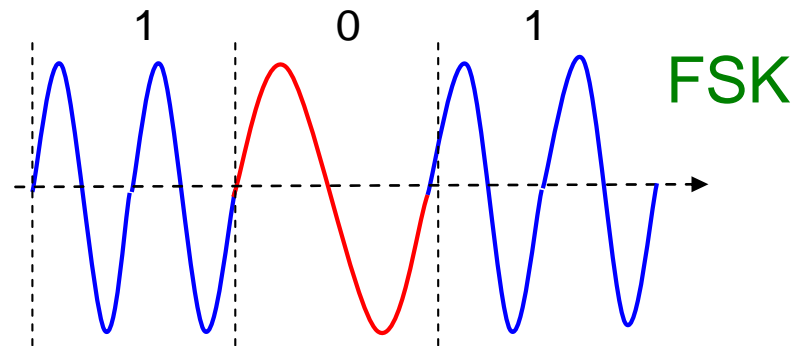
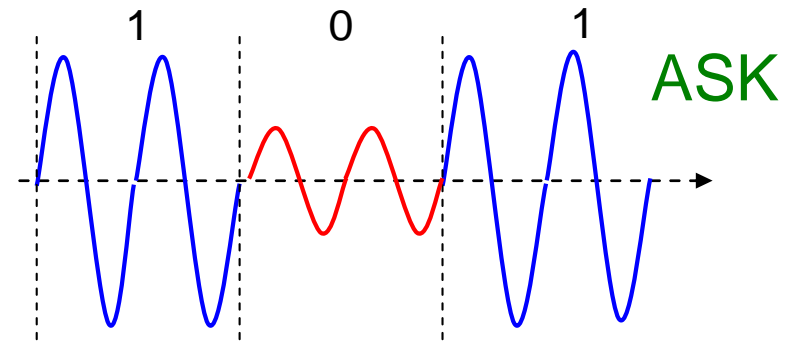
PAM value	1.1	9.2	15.2	10.8	5.6	2.8	2.7
quantized code number	1	9	15	10	5	2	2
PCM code	0001	1001	1111	1010	0101	0010	0010

codec
將**類比訊號**數位化



Modulation : From Digital to Analog

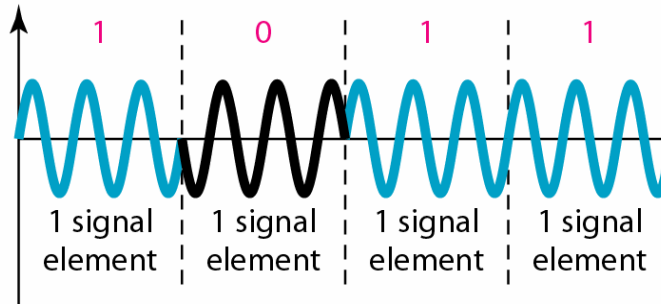
- Modulation of digital signals known as Shift Keying
- **Amplitude** Shift Keying (ASK)
藉由變化**振幅**來表示 0 或 1
- **Frequency** Shift Keying (FSK)
藉由變化**頻率**來表示 0 或 1
- **Phase** Shift Keying (PSK)
藉由變化**相位**來表示 0 或 1



More Complex Modulation Schemes (1/2)

BPSK

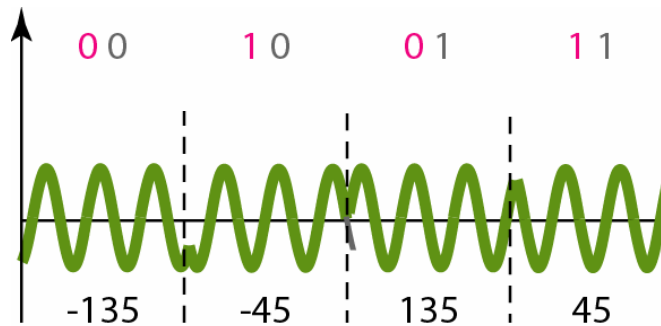
沒改變振幅，只改變相位
相位只 2 種：0 和 180



單位時間之內 QPSK
能夠傳輸的資料量為
BPSK 的二倍

QPSK

相位有 4 種
分別為 45, 135, -45, -135



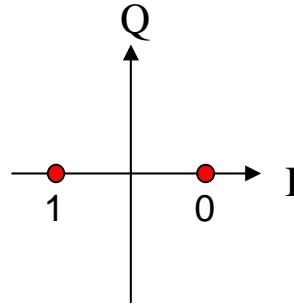
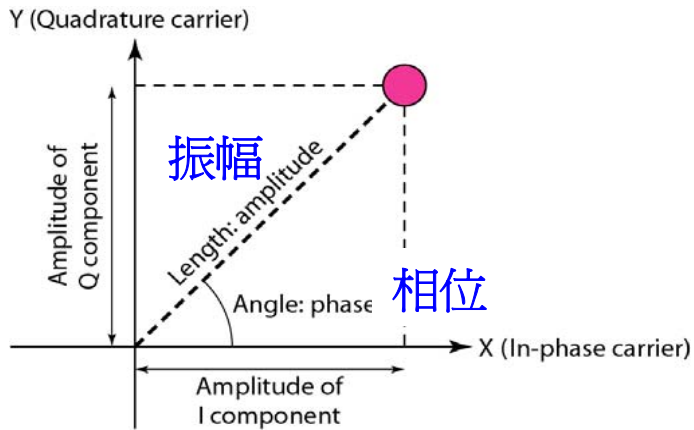
可將類比訊號建回
跟當初一樣的數位訊號



Modem：可將數位訊號轉成類比訊號

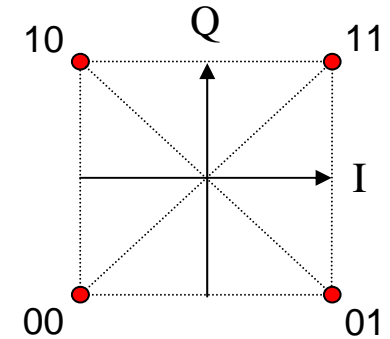
More Complex Modulation Schemes (2/2)

藉由同時變化相位、振幅、頻率可在單位時間之內傳輸更高的資料量



BPSK

相位誤差需達 90°
才無法判讀

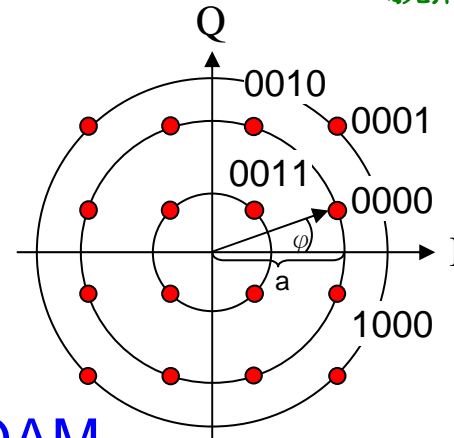


QPSK

相位誤差達 45° 時
就無法判讀

	QPSK	16QAM	64QAM
Channel bandwidth MHz	Bit rate Mbps	Bit rate Mbps	Bit rate Mbps
20	32	64	96
25	40	80	120
28	44.8	89.6	134.4

資料來源：Frank Ohrtman, WiMAX Handbook



16 QAM

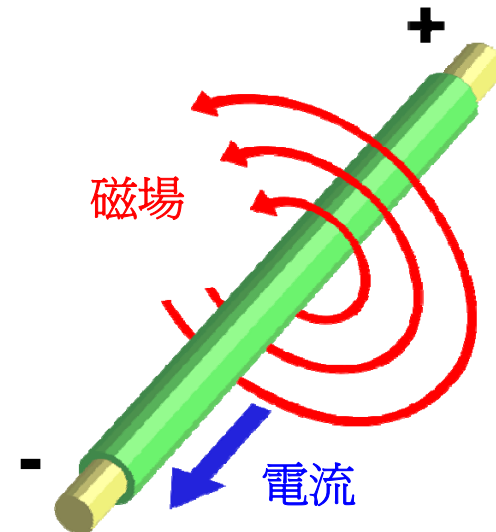
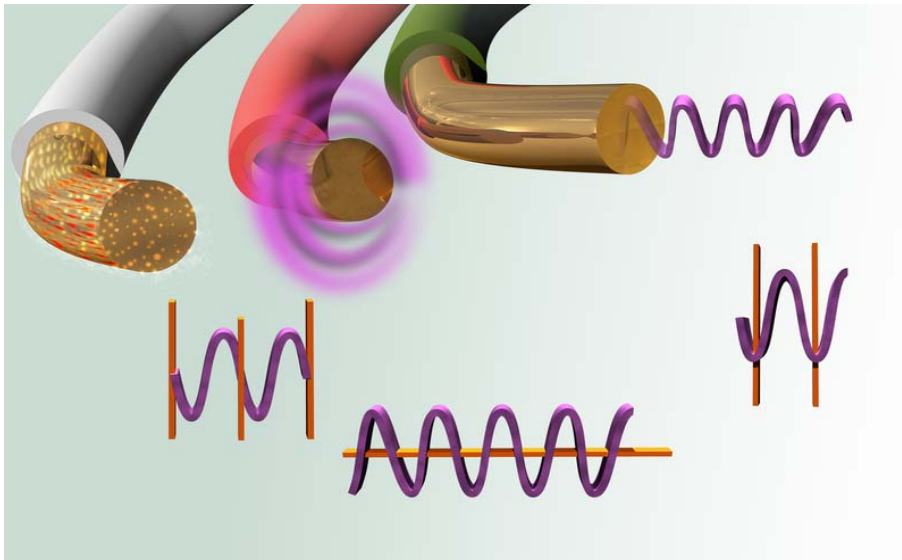
How to Generate Radio Wave (1/3)

1

電子移動就會產生電流；例如電子在導線中流動。

2

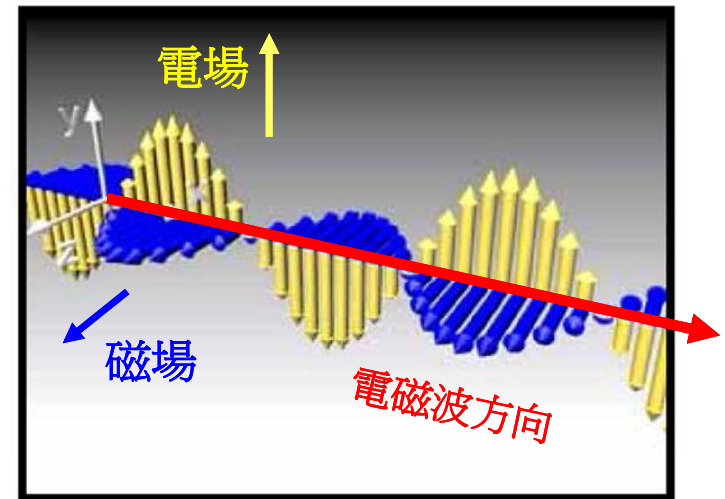
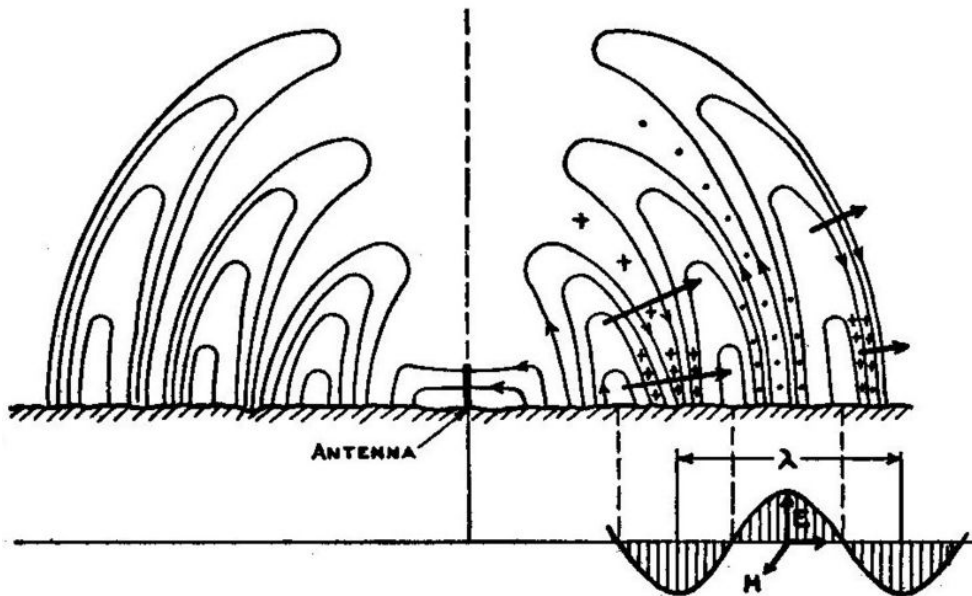
電流流過導線時，會在導線的周圍產生磁場。



How to Generate Radio Wave (2/3)

3

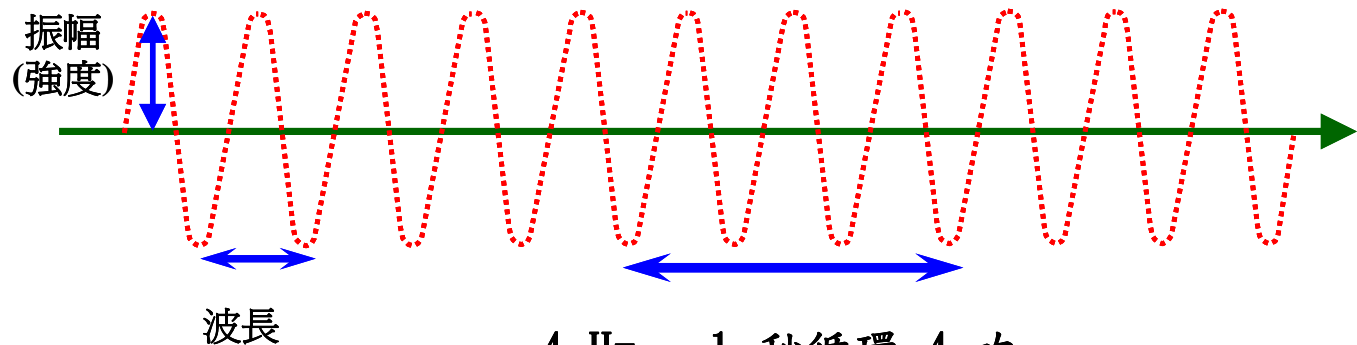
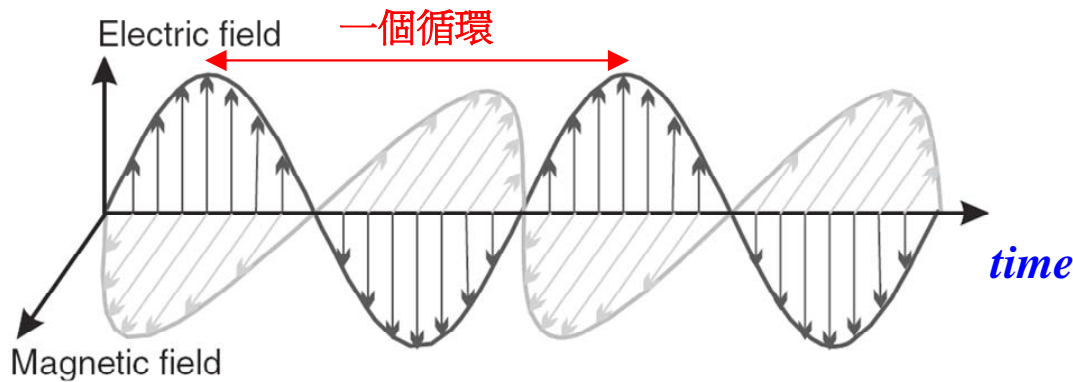
穩定不變的電流會產生磁場，但是不會產生電磁波。要產生電磁波，電流或電壓還必須要有規律的循環變化。例如，如果電流由零開始增加，然後再減少到零這樣有規律地循環變化，或是有規律地循環開關，就可以產生電磁波。電磁波在傳送時帶有能量。



How to Generate Radio Wave (3/3)

4

電磁波產生之後，需要一段時間才能完成「循環」。一個循環就是電流從增加到減少，再由減少到增加。而一秒鐘之內循環的次數就是頻率，單位為 Hz。千赫 (KHz) 代表一秒鐘循環一千次；兆赫 (MHz) 代表一秒鐘循環一百萬次。

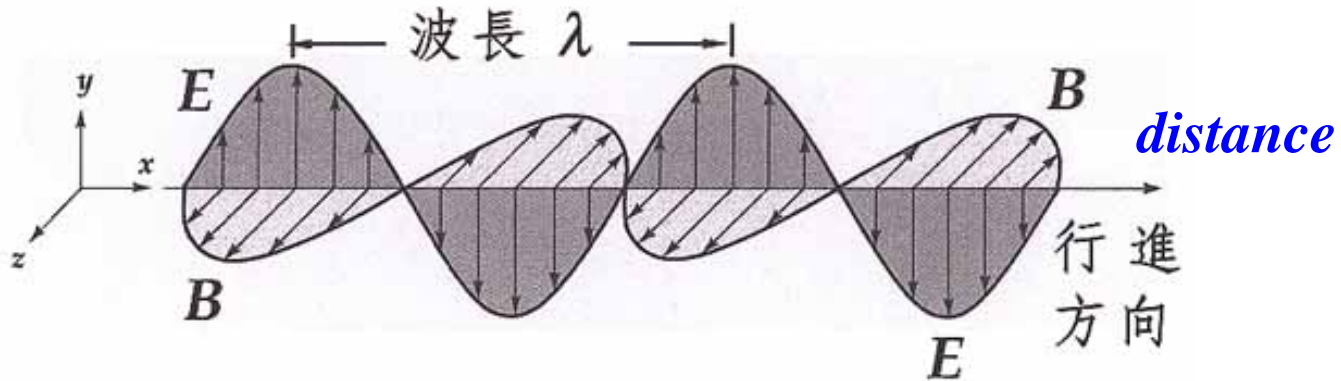


4 Hz = 1 秒循環 4 次

The Property of Radio Wave

波長 (wave length) 是電磁波的兩個波峰之間的距離。波長和頻率之間有一個基本關係：**頻率愈低，波長愈長。**

電磁波



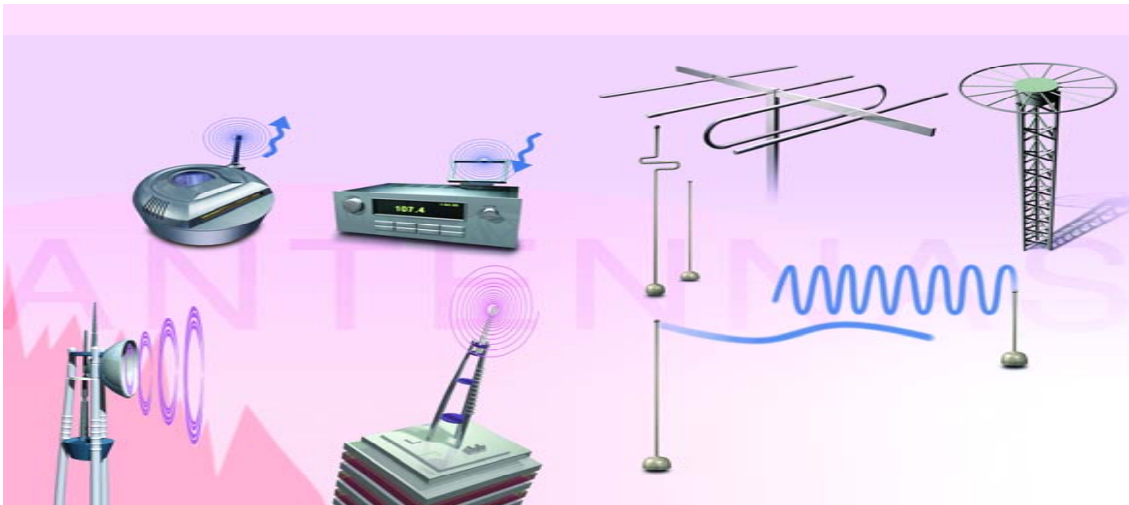
光速 = 頻率 × 波長

$$c = f \times \lambda$$

Wave Length and Antenna Length

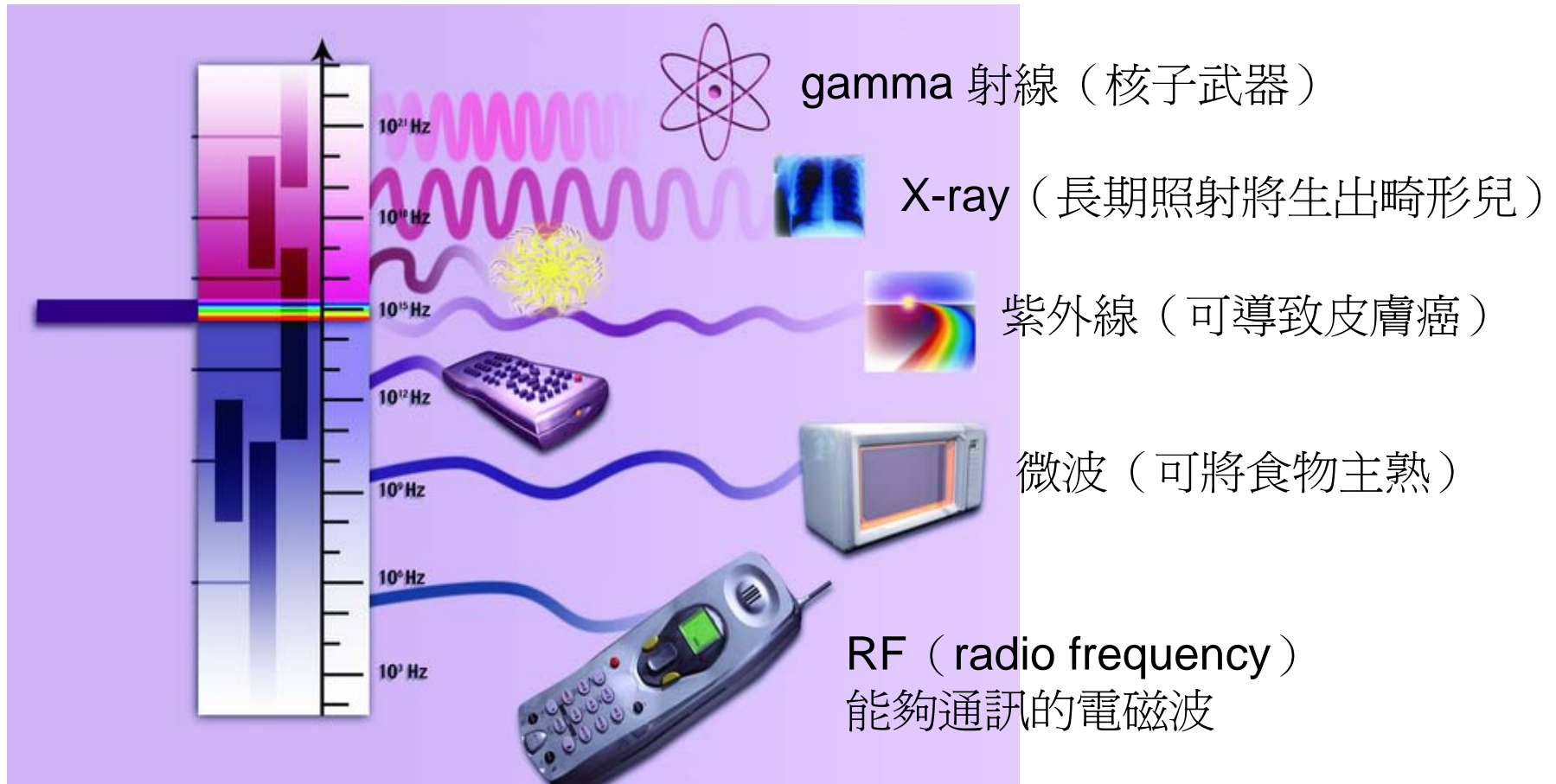
天線的尺寸 天線的尺寸和所要接收的訊號頻率有關。頻率愈高，波長愈短，所以高頻波的波長較短，低頻波的波長較長。**理想上，天線的長度要和所接收的訊號波長一樣；一般可以是波長的 1/4。**

人類的語音頻率約在 300~3400 Hz 左右，**若直接用無線電傳輸，速度為 3×10^8 M/s → 波長約為 10^5 公尺。這意味天線約需 10^5 公尺**但手機不可能有那麼長的天線，所以必須在發送前須轉成「高頻」訊號，**這個高頻訊號，稱為載波 (carrier)**



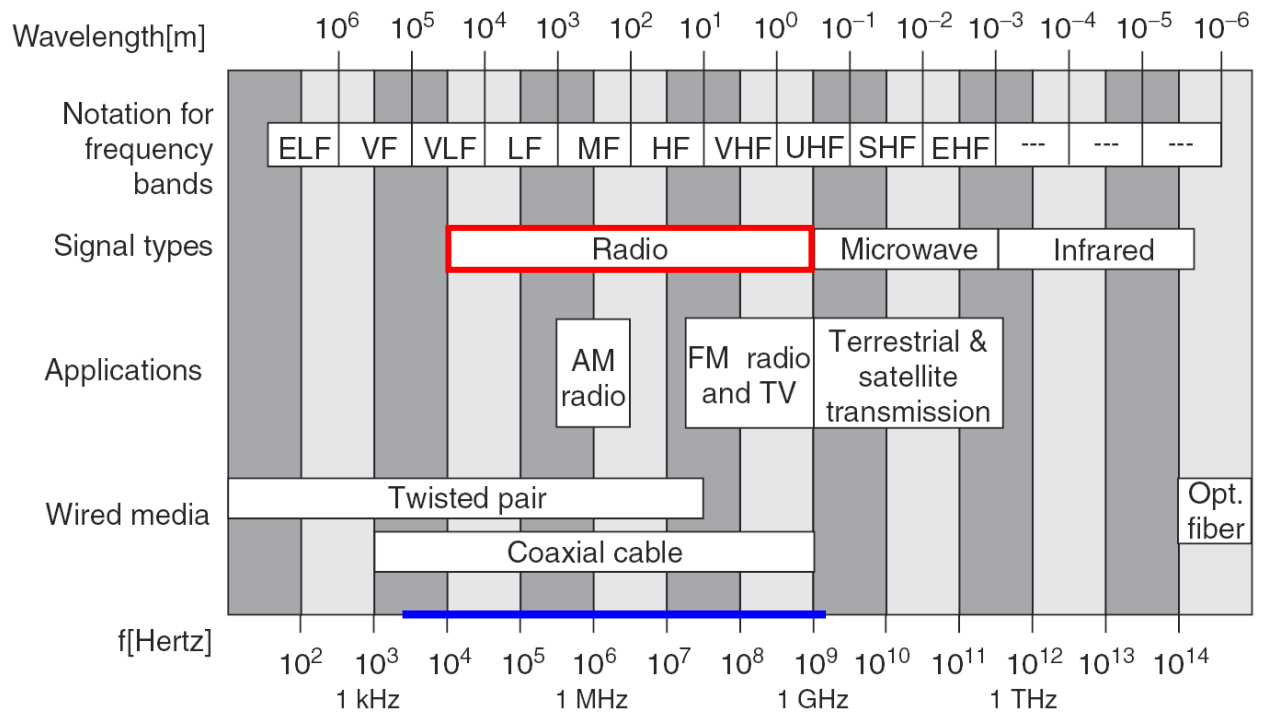
Radio Spectrum

極端高頻的電波對人體有傷害，真正適用於無線通訊的「高頻」載波其頻率大部分落在 400 MHz ~ 5 GHz 左右



Radio Property

無線電頻譜裡頭，不同頻帶的物理特性各不相同，所以適用於不同類型的通訊。較高的頻率容易被物體阻隔，但能攜帶較多的資料量。較低的頻率不怕被阻隔，但能攜帶的資料較少



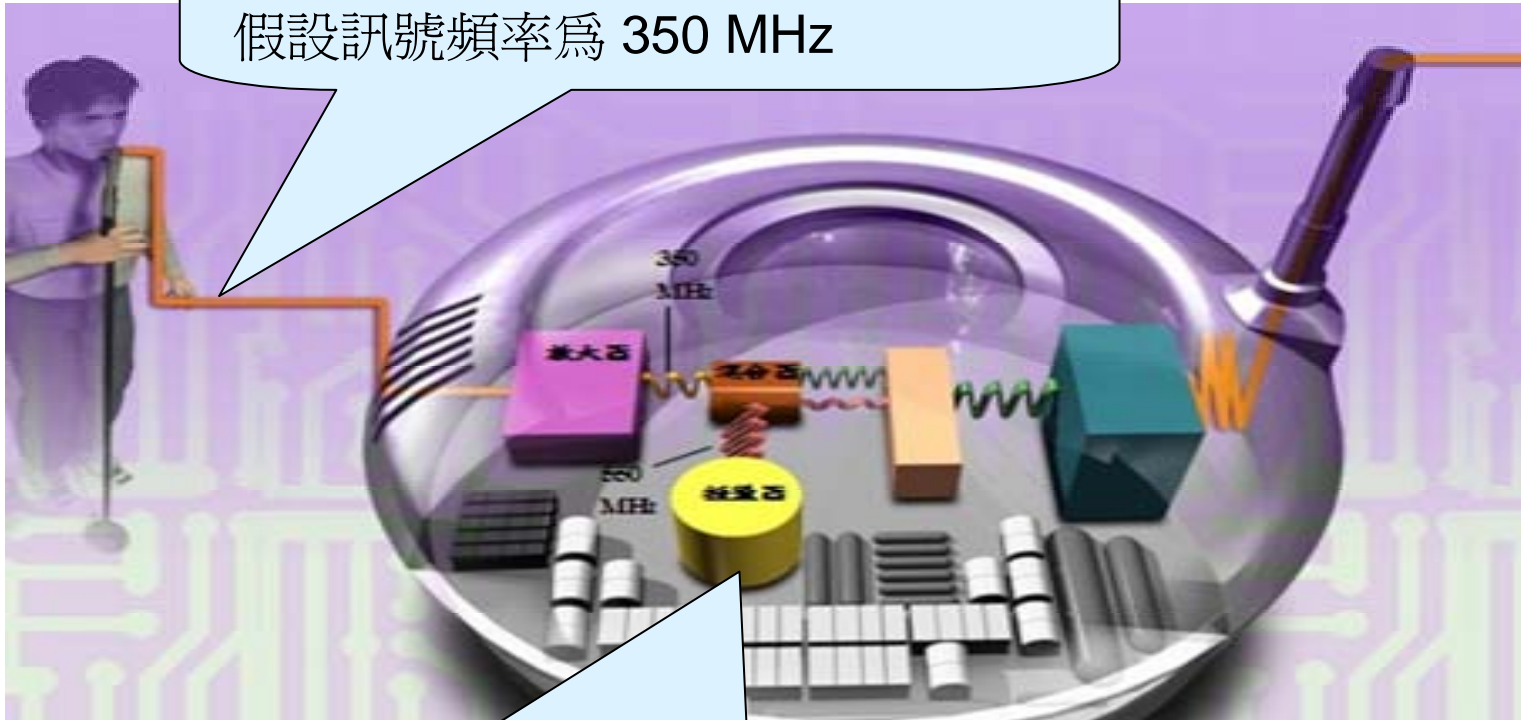
ELF	Extremely Low Frequency	MF	Medium Frequency	UHF	Ultra High Frequency
VF	Voice Frequency	HF	High Frequency	SHF	Super High Frequency
VLF	Very Low Frequency	VHF	Very High Frequency	EHF	Extremely High Frequency
LF	Low Frequency				

Spectrum Regulations

單位：MHz	Europe	USA	Japan
Cellular Phones	GSM 450-457, 479-486/460-467,489-496, 890-915/935-960, 1710-1785/1805-1880 UMTS (FDD) 1920-1980, 2110-2190 UMTS (TDD) 1900-1920, 2020-2025	AMPS, TDMA, CDMA 824-849, 869-894 TDMA, CDMA, GSM 1850-1910, 1930-1990	PDC 810-826, 940-956, 1429-1465, 1477-1513
Cordless Phones	CT1+ 885-887, 930-932 CT2 864-868 DECT 1880-1900	PACS 1850-1910, 1930-1990 PACS-UB 1910-1930	PHS 1895-1918 JCT 254-380
Wireless LANs	IEEE 802.11 2400-2483 HIPERLAN 2 5150-5350, 5470-5725	902-928 IEEE 802.11 2400-2483 5150-5350, 5725-5825	IEEE 802.11 2471-2497 5150-5250
Others	RF-Control 27, 128, 418, 433, 868	RF-Control 315, 915	RF-Control 426, 868

How to Generate the Carrier Signal (1/2)

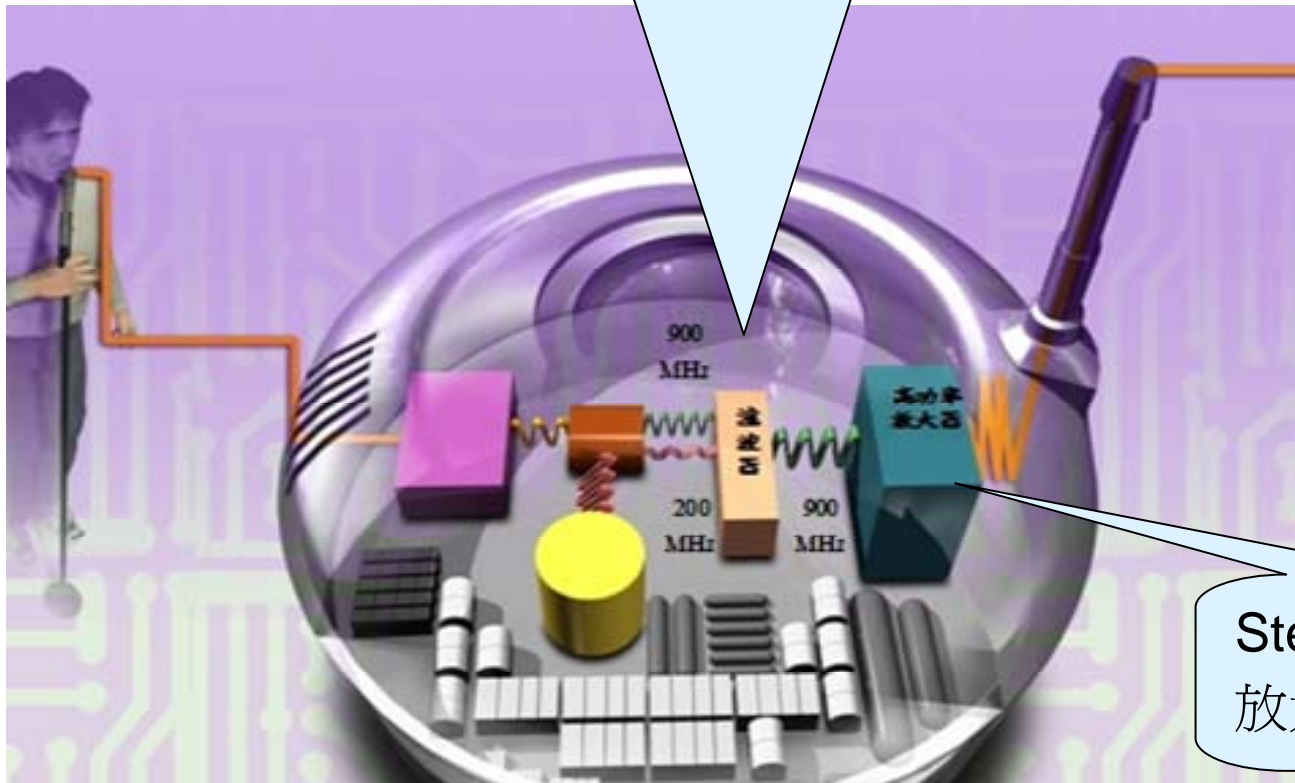
Step 1: 需將訊號放大，方便處理。
假設訊號頻率為 350 MHz



Step 2: 爲了要產生 900 MHz 的載波，需要一個能產生 550 MHz 的振盪器。此時會產生二種頻率的波，一個是 $550 - 350 = 200$ MHz，另一個是 $550 + 350 = 900$ MHz

How to Generate the Carrier Signal (2/2)

Step 3: 因為我們想要用 900 MHz 的頻率傳送出去，所以使用濾波器將頻率為 200 MHz 的波濾掉



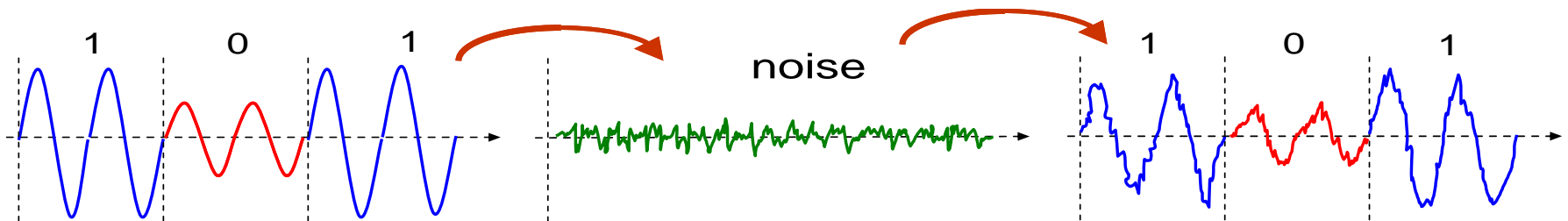
Step 4: 最後將訊號放大，傳送出去

Demodulation: From Analog to Digital



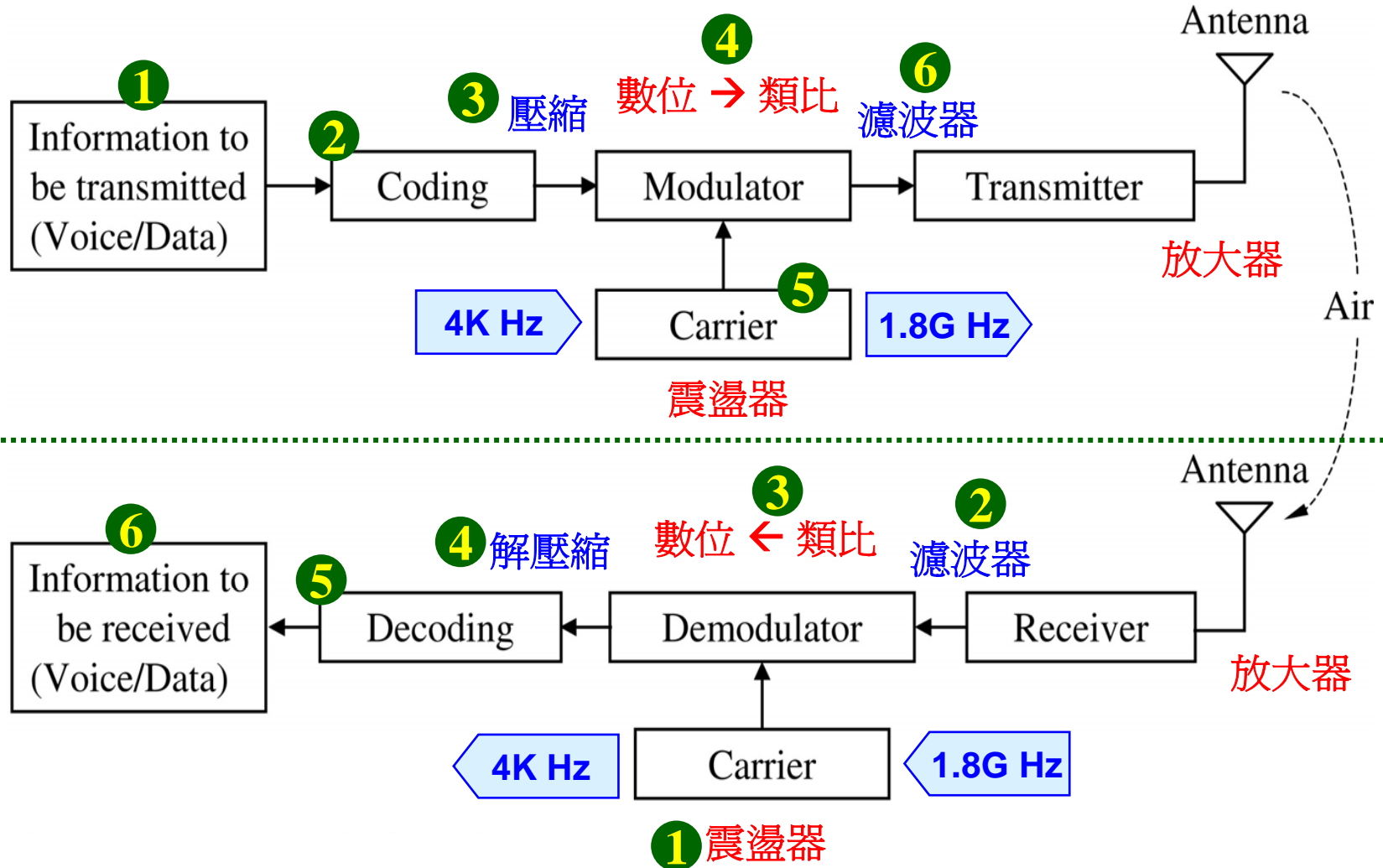
- Step 1: 放大訊號，並通過震盪器
- Step 2: 濾波，只接收特定頻率的波
- Step 3: 將不同頻率、振幅、或相位的波解釋成 0 或 1，交給 codec 或 processor 處理

接收並解析所收到的訊號，其運作方式剛好和傳送資料的方式相反（反運算）。無線訊號在空氣中傳播時經常會受到雜訊的干擾。一般雜訊的振幅不大，但遍及所有頻譜。只要訊號強度夠強，也就是「訊雜比 **signal-to-noise ratio = $\text{Power}_{\text{signal}} / \text{Power}_{\text{noise}}$** 」夠大，通常能將原始訊號解析回來



振幅或許被削弱，但仍足以辨識 0 與 1

Components in a Station : A Simplified View



Aside : Very Early Wireless Techniques

有人說，最早期的無線通訊技術是 **烽火**（**beacon**，燃燒狼的糞便）、**旗語**（早期用在軍事通訊）、或 **飛鴿傳書**，但事實上都不是。



beacon : 烽火

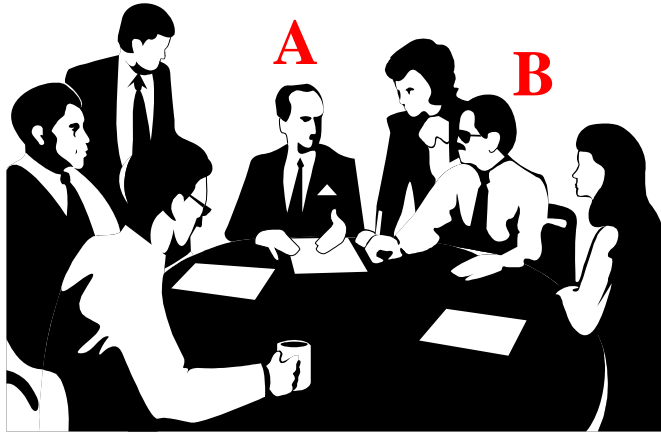


semaphore : 旗語

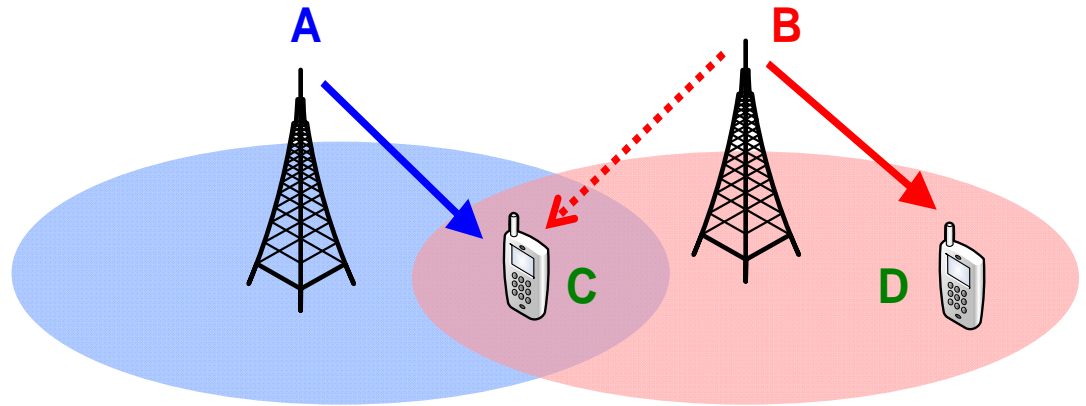


avian carrier : 飛鴿傳書

The Concept of Wireless Cellular Networks



最早的無線通訊事實上是人們的對話。
我們平常即可觀察到：如果兩個人同時講話，將會很吵，大家都會聽不清楚



爲了避免相鄰的基地使用相同頻率的 **carrier** 傳送訊號，導致 C 無法正確接收訊號，因此**相鄰的基地台必須使用不同頻率的 carriers**（註：CDMA 可使用相同的頻率，但須使用不同的 **code**）。如上圖，由於 C 只接收 A 的 **frequency**，無法接收 B 的訊號，所以 B 的訊號就不會干擾到 C

The Deployment of Base Stations

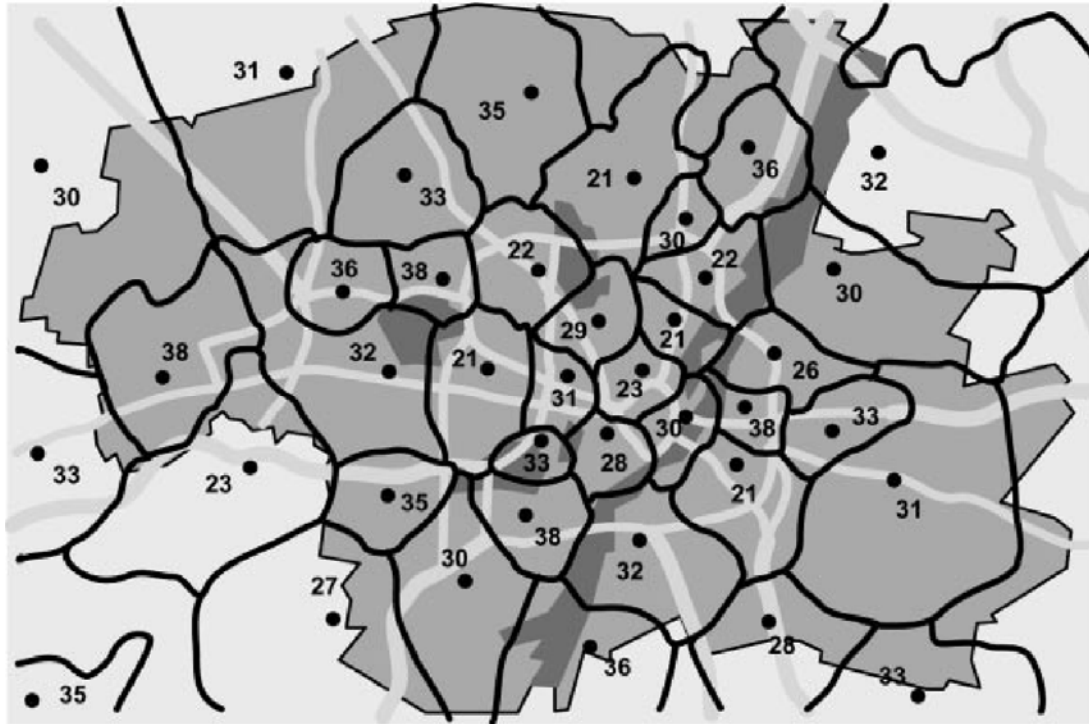


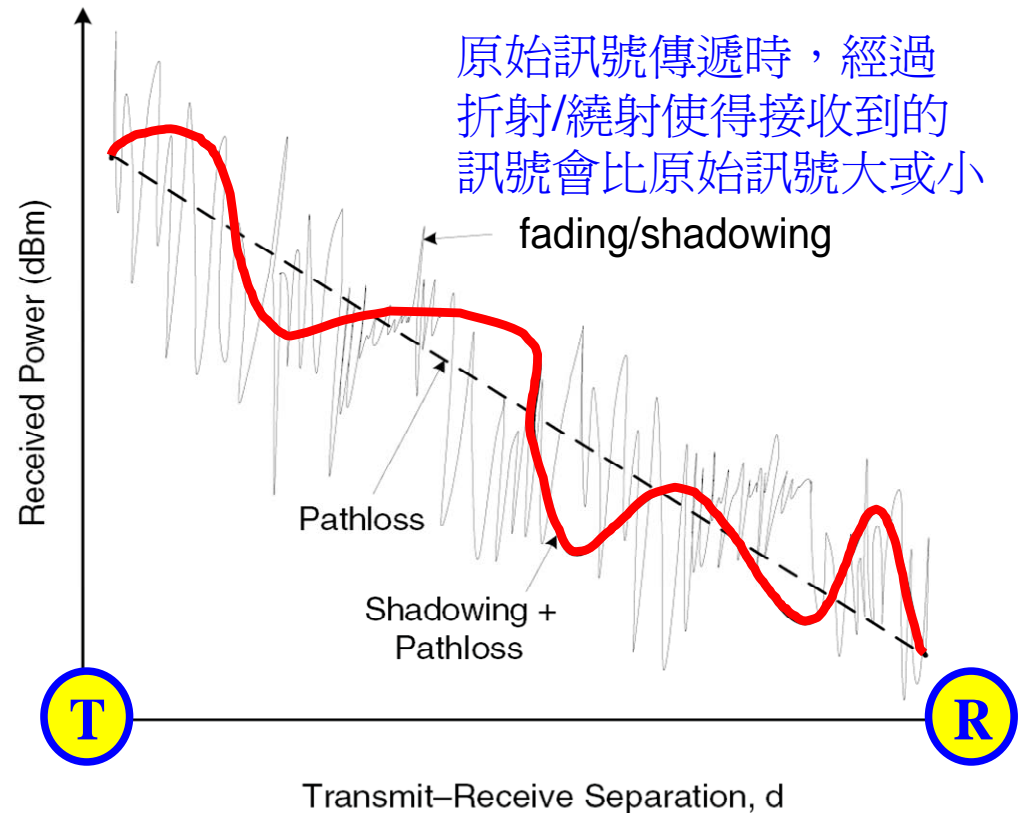
Figure 2.16: Cell structure of a real network

上圖所示為為一真實世界的基地台建置情況（在德國）

假如每個基地台都使用不同 frequency 的 carrier（或者稱為 channel），那麼將會耗用相當大的頻譜資源。

Radio Wave Propagation

無線訊號的衰減 既是缺點，
也是優點 (i.e., frequency reuse)



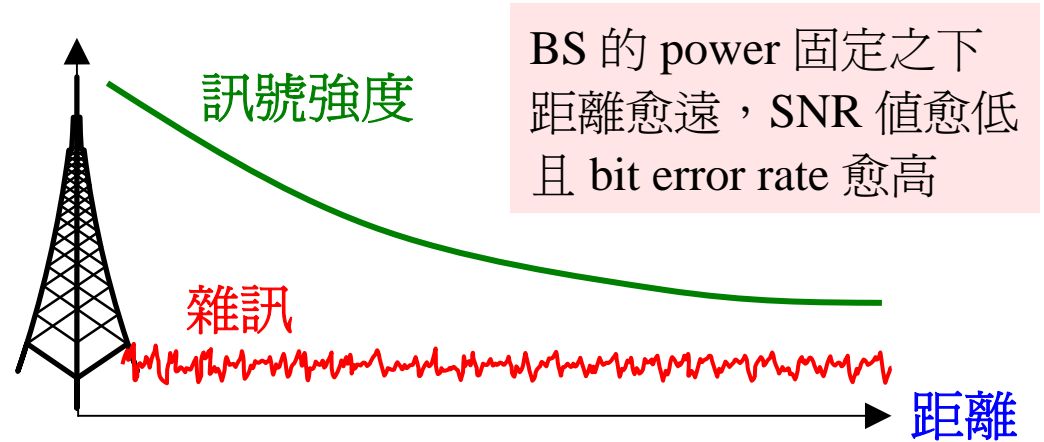
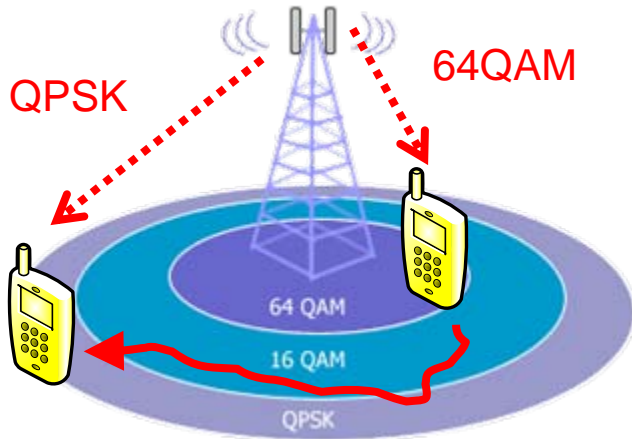
$$P_r = P_0(d_0/d)^\gamma$$

γ = path loss exponent, varying from 2 (free-space) to 5 (urban environment)

P_0 = power at reference distance d_0

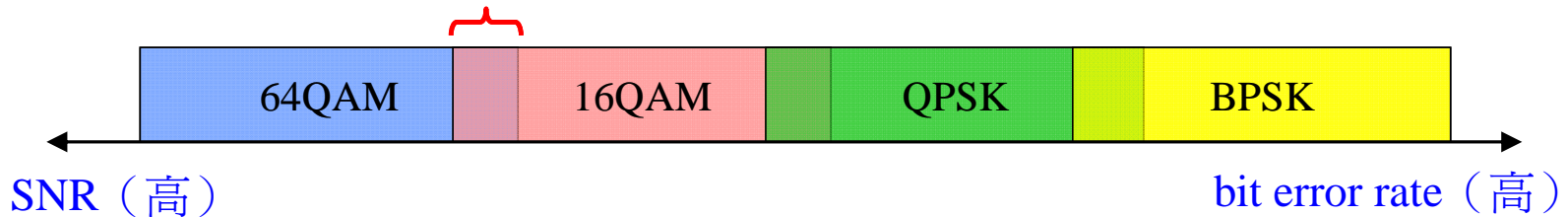
P_r = received power that is proportional to $d^{-\gamma}$

Adaptive Modulation According to SNR

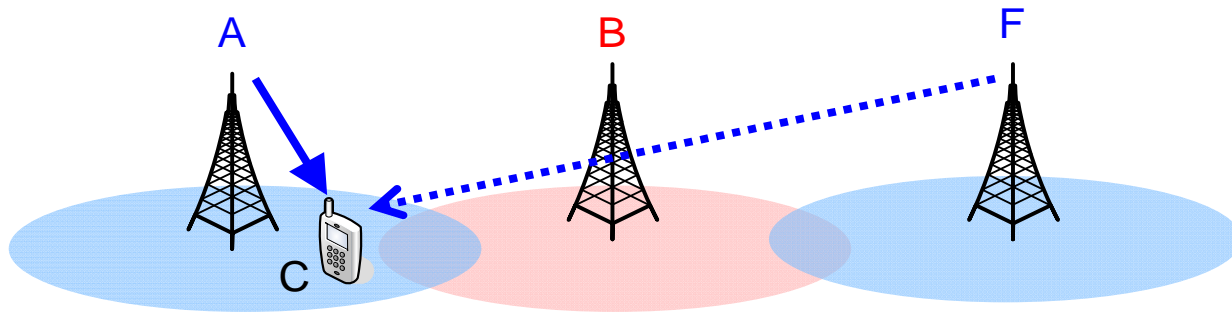


在 base station 的 **transmission power** 固定的情況之下，距離 BS 愈遠，SNR 值自然就愈低，就必須使用抗干擾能力愈強（bit rate 愈低）的 modulation 來傳送訊號。離 BS 愈近，就可使用較 efficient（bit rate 較高）的 modulation 來傳送訊號。

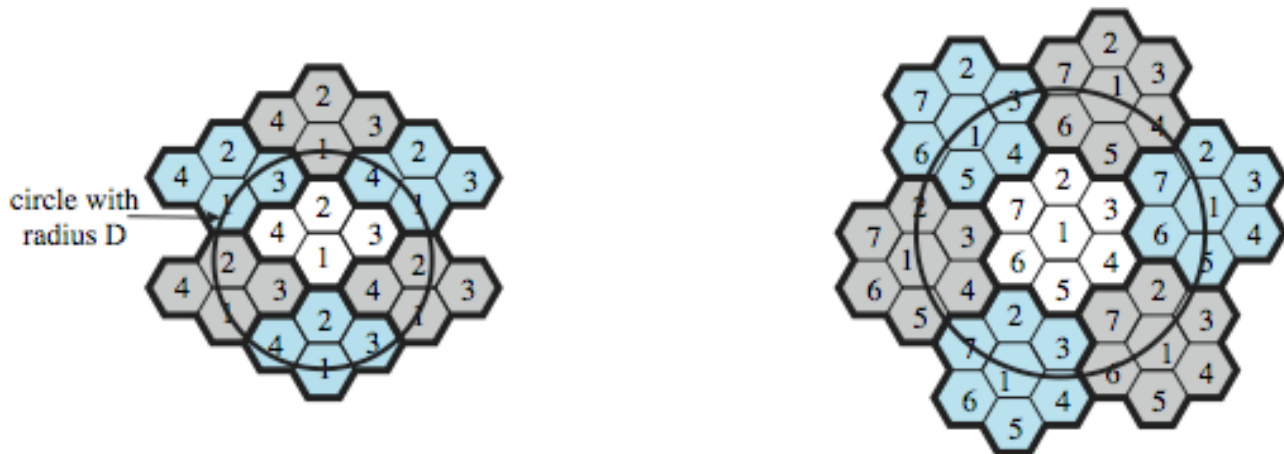
爲了避免 ping-pong effect



Frequency Reuse



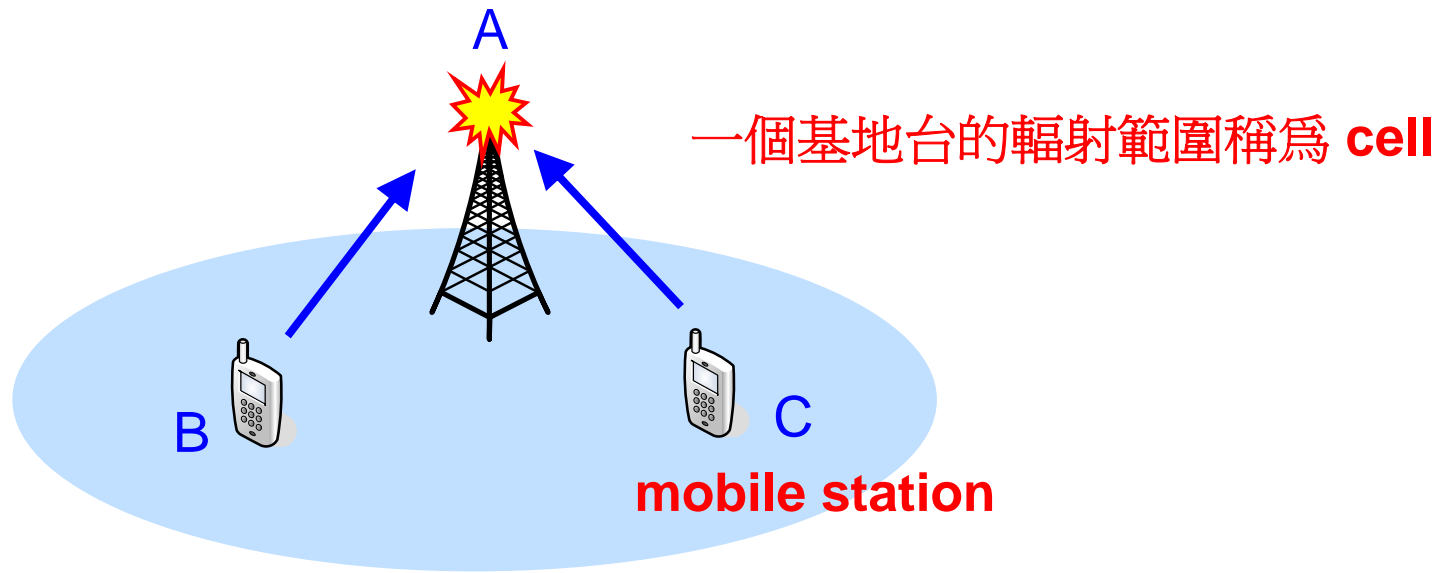
由於無線訊號衰減的非常快，和距離的 2~6 次方成反比。因此只要 A 和 F 距離夠遠，A 和 F 就能使用相同的 frequency。這就是 frequency reuse 觀念的由來。下圖所示為利用 frequency reuse 所建置的蜂巢式無線網路



(a) Frequency reuse pattern for $N = 4$

(b) Frequency reuse pattern for $N = 7$

The Necessity of Multiple Access Control



在一個 cell 裡頭，如果有兩台或兩台以上的 stations 同時傳送訊號，將會造成 collision。如同會議室裡頭有很多人同時發言，沒人聽得清楚他們在說什麼。因此我們需要 multiple access control（或者稱為 medium access control，簡稱 MAC）。MAC 的目的就是要制訂發言管理辦法；用來規範如何發言，誰可以發言，誰不可以發言。接下來幾個章節將介紹各種無線網路環境下的 MAC 國際標準技術，包含 802.11、802.16、及 802.22