



# 計算思維與人工智慧應用導論

## 演算邏輯 & 訊號傳輸

Dr. Chih-Hsun Wu

吳致勳 助理教授

國立政治大學人工智慧跨域研究中心

Date: 2023/10/3

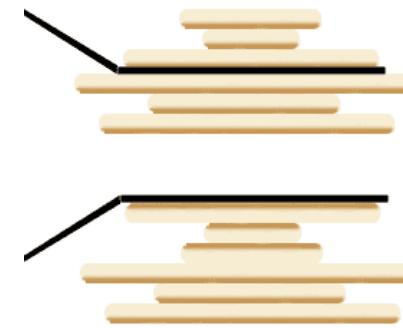
本投影片僅供教學用途，  
所用圖檔都盡量附上原始來源，  
如有侵權煩請告知，將立即修正

# 課程進度

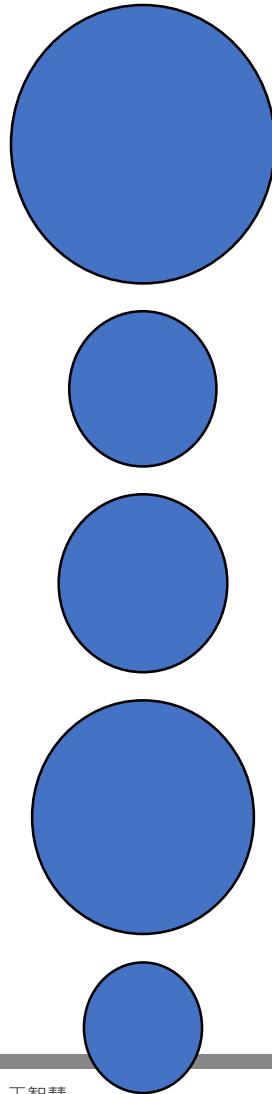
週次	課程主題	課程內容與指定閱讀
1	計算思維簡介	社會情境脈絡與未來發展 書目：1, 2, 3
2	計算思維	基本內涵與核心概念 書目：1, 2, 3
3	功能模組	問題拆解與型態辨認 書目：4, 5, 6
4	功能模組	抽象思考與演算邏輯 書目：4, 5, 6
5	國慶日	國定假日
6	類比至數位轉換 & 電腦運算架構	類比與數位訊號的基礎概念及類比轉換至數位訊號的原理 & 書目：7 chapter 1 & 4 & 5 電腦組成元件與其運算架構
7	大數據應用	大數據中資料科學的基礎分析概念與商業相關應用
8	學習成果測試	期中評量/作業活動
9	運算思維測驗	國際運算思維挑戰賽
10	人工智慧發展	人工智慧發展歷程與未來趨勢
11	人工智慧技術與應用	人工智慧各式技術與應用案例 書目：8
12	人工智慧應用場景	人工智慧跨域應用
13	人工智慧學習模型實作	Nocode AI 練習 – Rapidminer 書目：9
14	人工智慧倫理	生成AI(如：ChatGPT、Deepfake、Midjourney)、假新聞及未來人工智慧應用上的倫理問題
15	人工智慧專題	海報展示
16	計算思維與人工智慧	期末報告
17	彈性補充教學	人工智慧相關競賽經驗交流
18	彈性補充教學	校園人工智慧應用發想

# 永和豆漿燒餅問題

- 廚房廚師很天才，每次煎出來的燒餅都大小不一
- 所以出菜的時候，我都會翻轉燒餅，使得他們由小到大排列



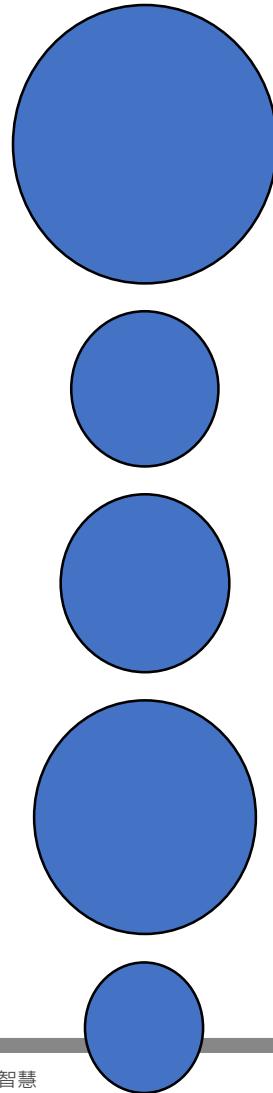
# 什麼是第一步？



# 第一步：轉換燒餅大小成數字



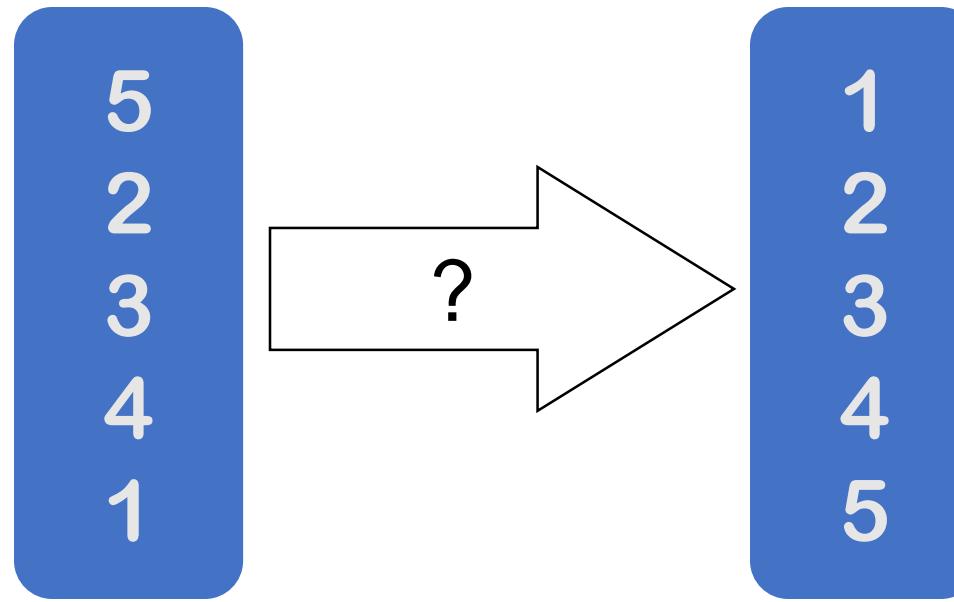
# 第一步：轉換燒餅大小成數字



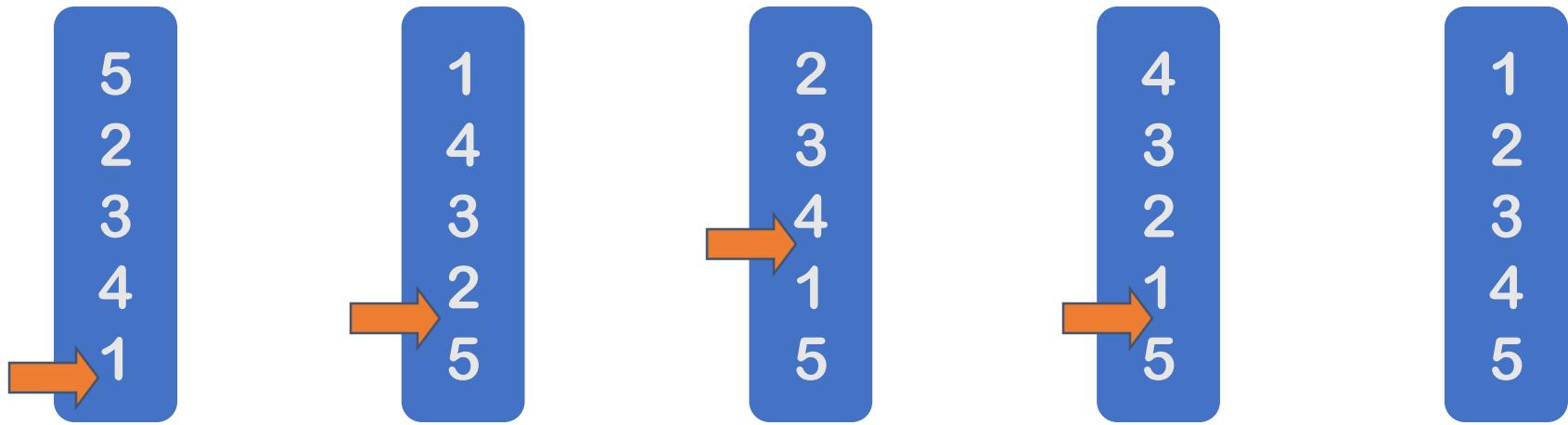
5  
2  
3  
4  
1

A vertical blue rectangle containing the numbers 5, 2, 3, 4, and 1, representing the sizes of the pancakes as numerical values.

How do we sort this stack?  
How many flips do we need?



# 4 Flips Are Sufficient



## 下界和上界(Lower Bound & Upper Bound)

- $f(n) =$  the smallest number of flips required to sort  $n$  elements

5  
2  
3  
4  
1

Lower Bound     $\leq f(n) \leq$     Upper Bound

# Pancake problem

Discrete Mathematics 27 (1979) 47–57.  
© North-Holland Publishing Company

## BOUNDS FOR SORTING BY PREFIX REVERSAL

William H. GATES

*Microsoft, Albuquerque, New Mexico*

Christos H. PAPADIMITRIOU\*†

*Department of Electrical Engineering, University of California, Berkeley, CA 94720, U.S.A.*

Received 18 January 1978

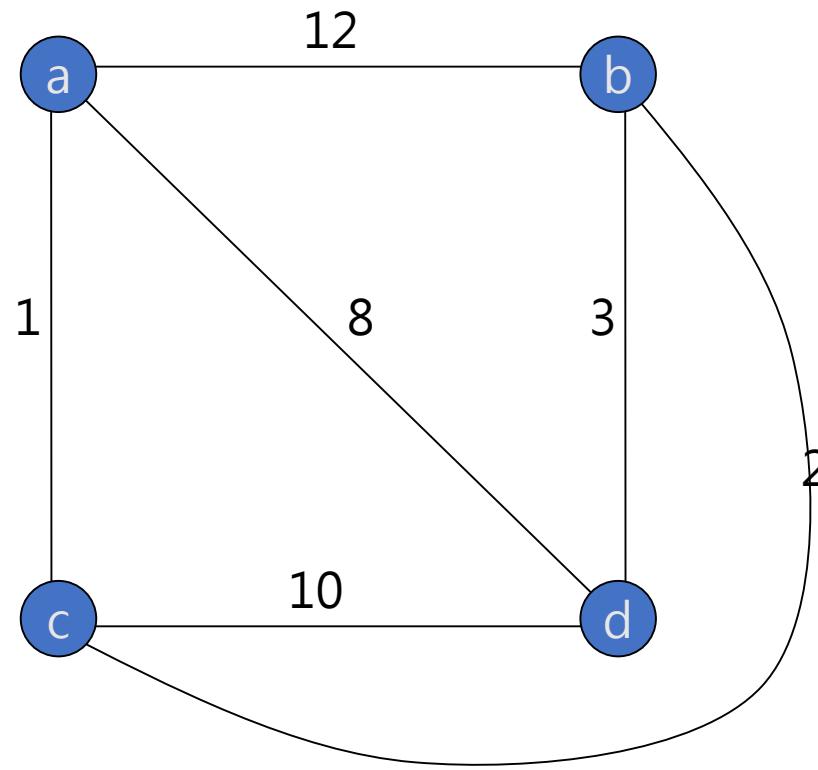
Revised 28 August 1978

For a permutation  $\sigma$  of the integers from 1 to  $n$ , let  $f(\sigma)$  be the smallest number of prefix reversals that will transform  $\sigma$  to the identity permutation, and let  $f(n)$  be the largest such  $f(\sigma)$  for all  $\sigma$  in (the symmetric group)  $S_n$ . We show that  $f(n) \leq (5n + 5)/3$ , and that  $f(n) \geq 17n/16$  for  $n$  a multiple of 16. If, furthermore, each integer is required to participate in an even number of reversed prefixes, the corresponding function  $g(n)$  is shown to obey  $3n/2 - 1 \leq g(n) \leq 2n + 3$ .

$$\frac{17n}{16} \leq f(n) \leq \frac{5n + 5}{3}$$

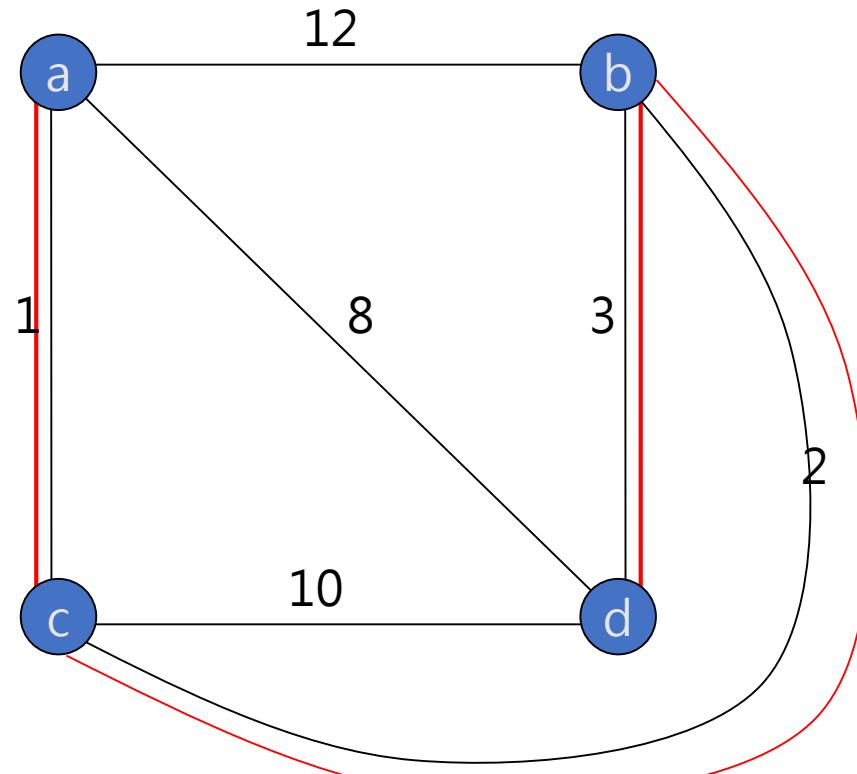
Gates, W. and Papadimitriou, C. "Bounds for Sorting by Prefix Reversal."  
*Discrete Mathematics*, 27, 47-57, 1979.  
[http://par.cse.nsysu.edu.tw/~cbyang/course/algo/article\\_bill\\_gates.pdf](http://par.cse.nsysu.edu.tw/~cbyang/course/algo/article_bill_gates.pdf)

給定4個城市的相互距離



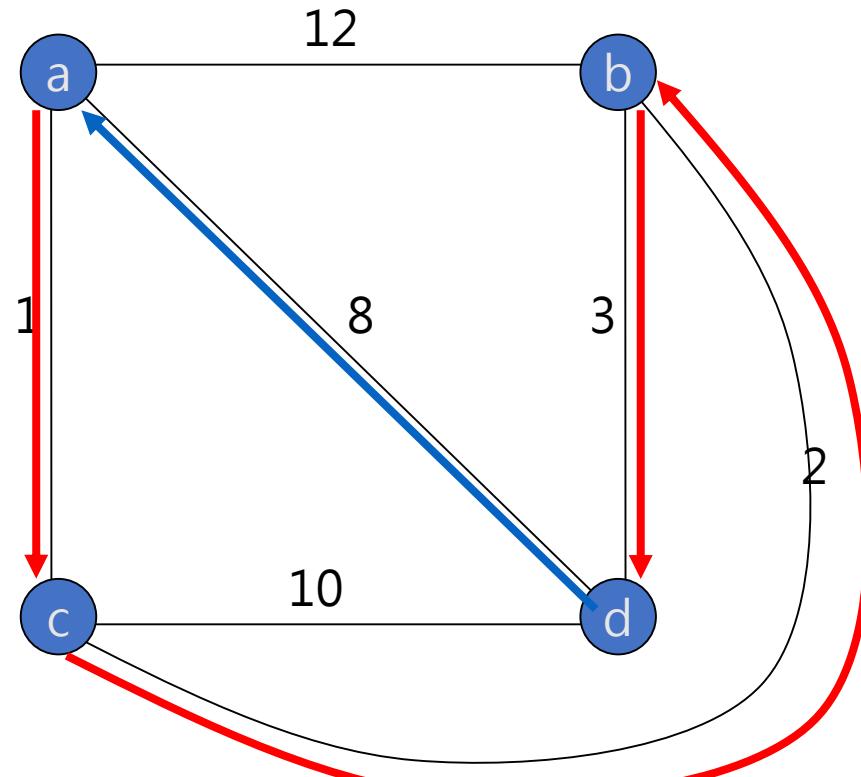
# 最小展開樹問題

- 尋找一個將四個城市最經濟的聯結



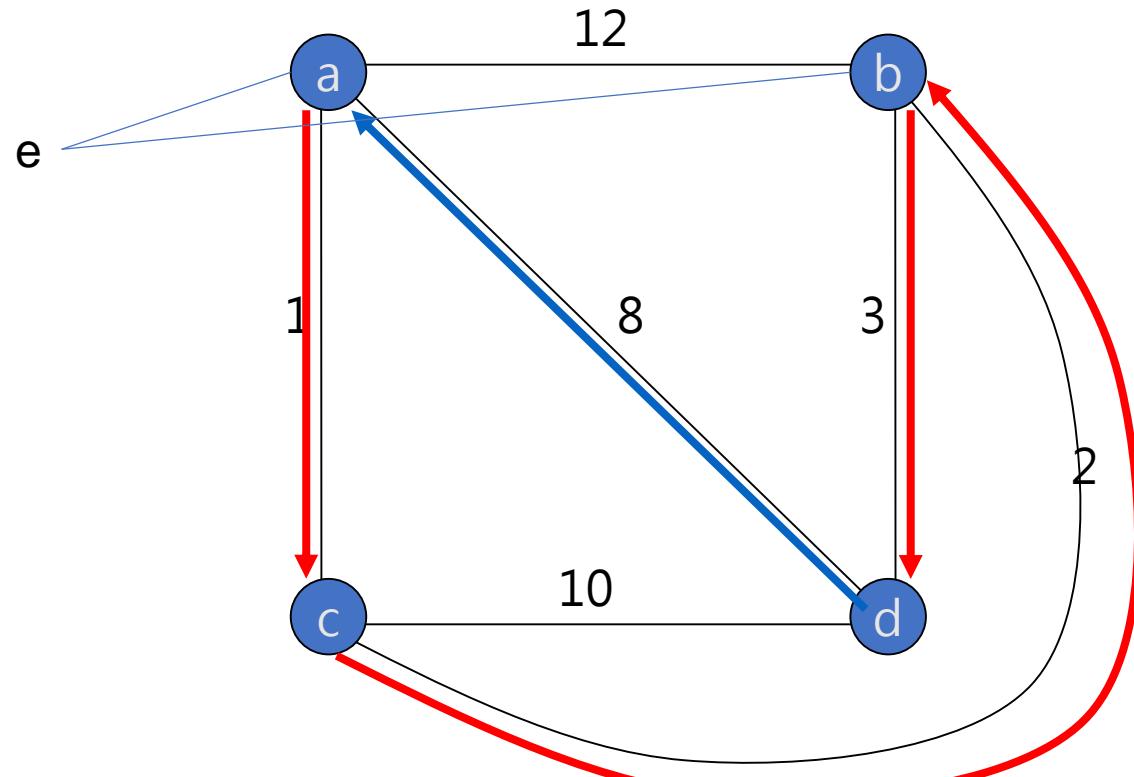
# 旅行推銷員問題 Traveling Salesman Problem (TSP)

- 尋找一個從 a 出發，回到 a 的最短走法



# 旅行推銷員問題 Traveling Salesman Problem (TSP)

- 尋找一個從 a 出發，回到 a 的最短走法



# TSP是一個公認的難題 NP-Complete

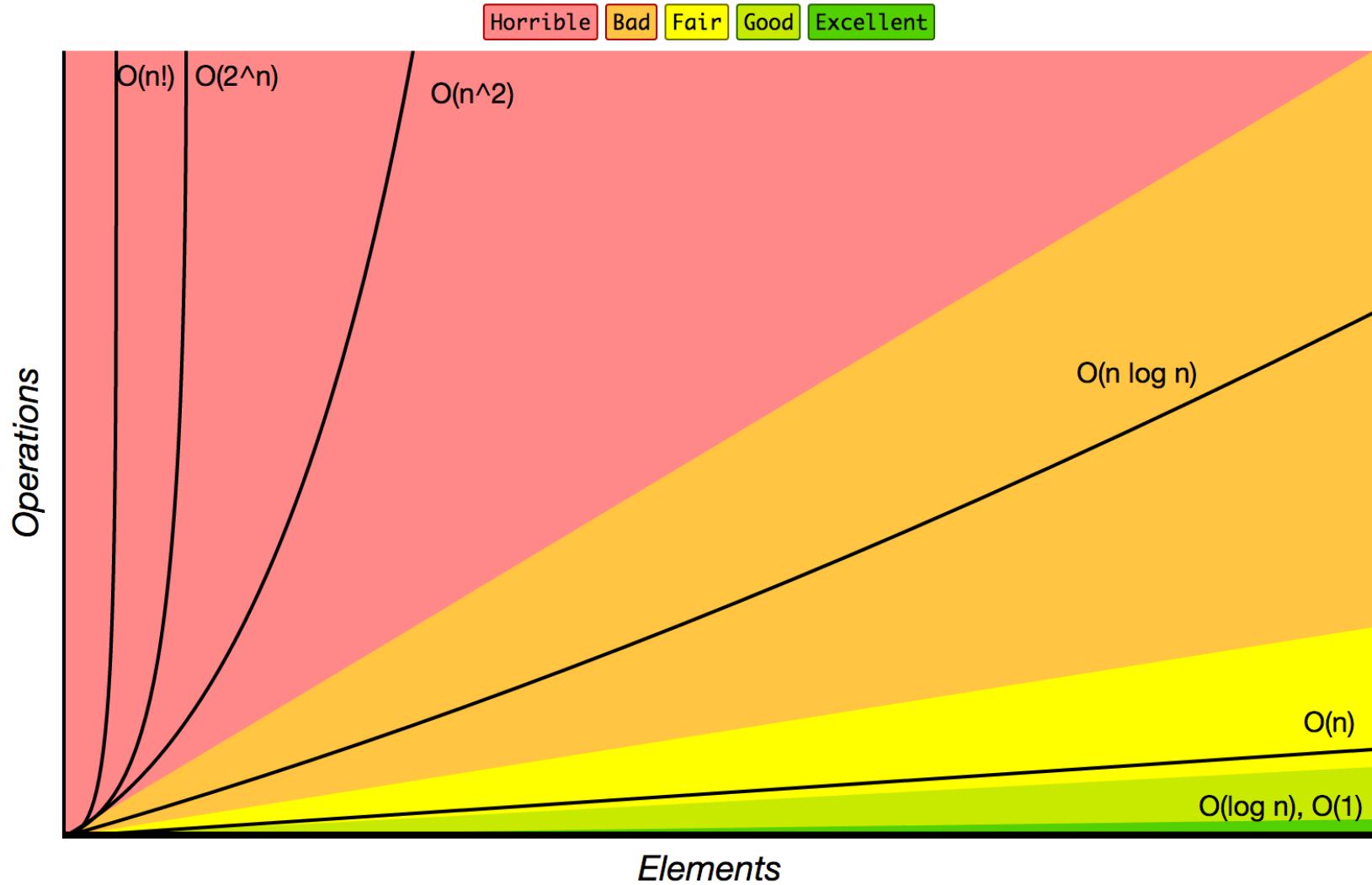
- 意義：我們現在無法對所有輸入找到一個有效率的解法
- 避免浪費時間尋求更佳的解法
- Ref: Horowitz & Sahni,  
Fundamentals of Computer Algorithms, P528.

# 難題很可怕-會花掉指數時間解答

- $2^n$ 相當可怕

	10	30	50
$N$	0.00001 s	0.00003 s	0.00005 s
$N^2$	0.0001 s	0.0009 s	0.0025 s
$2^n$	0.001 s	17.9 min	35.7 year

# The growth rate



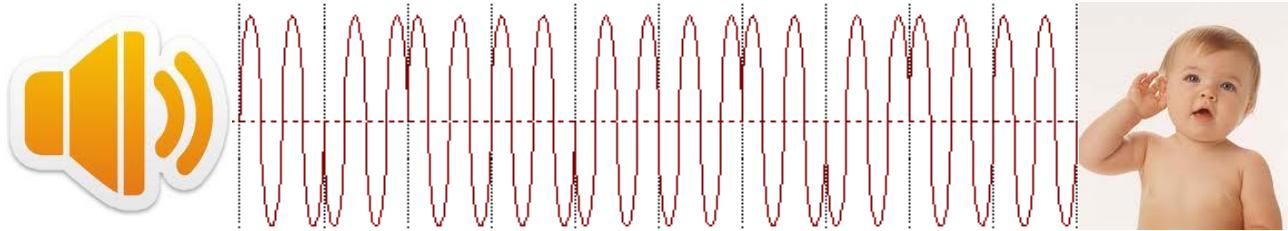
# 近似解法 ( Approximation )

- 不期望最佳解
- 用效率高的方法去求合理解
- 該合理解與最佳解有可預期的倍數關係

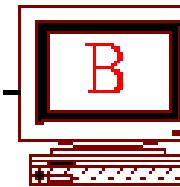
# 訊號傳輸技術

AM & FM

# 數位與類比



0010101010111100



- 類比訊號 Analog Signal

- 為連續值，大自然的所有訊號都屬於類比訊號。可透過多種傳輸媒介進行傳送
- 例如：聲音、光、溫度、位移、壓力。
- 舉例：耳機、麥克風、水銀溫度計、傳統電話、收音機、無線電視、無線對講機等等。
- 缺點：容易被雜訊影響，會使類比訊號失真。

- 數位訊號 Digital Signal
- 不連續的電壓脈波，主要是以不同的電位狀態來表示
- 不連續的值，以一連串的二進位表示，0 或 1。0 為低電位，1 為高電位。
- 例如：電腦處理資料、網路傳輸。
- 優點：容易處理資料
  1. 儲存、傳輸
  2. 壓縮、解壓縮
  3. 加密、解密
  4. 偵錯、除錯
- 實際應用 - 網路電話 聲音要在網路上傳輸，發送端要將類比訊號轉成數位訊號後傳送。接收端再將數位訊號轉成類比訊號，人才能聽到聲音。

# 訊號傳輸技術

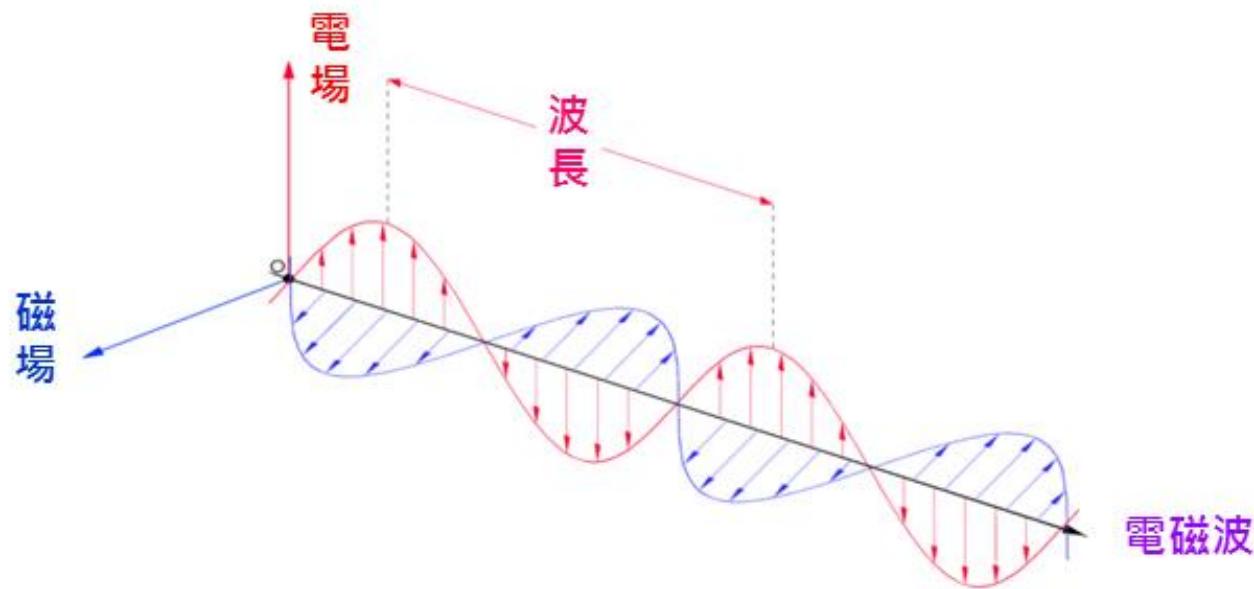
- 訊號本身
  - 類比訊號: a continuous representation of data, analogous to the actual information it represents
  - 數位訊號: a discrete representation of data, breaking the information up into separate elements

# 無線通訊運作原理1

- 使用高頻率交流電產生電磁場，進而藉由電磁場產生無線電波（即電磁波），利用無線電波不需介質就能長距離傳輸的特性，讓發射器可「憑空」將無線電波傳送到接收器，並讓接收器產生對應共振，如此一來便能解讀傳送過來的資訊
- 例如日常生活的收音機、手機、Wi-Fi 無線網路，都是這種技術的實際應用。

# 電磁波

- 是由互相垂直的電場與磁場交互作用而產生的一種能量，在前進時就像水波一樣會依照一定的頻率不停振動



# 頻率 (Frequency) 與週期 (Period)

- Frequency and period are the inverse of each other.

$$f = \frac{1}{T}, T = \frac{1}{f}$$

# 頻率的單位

- 無線電波每秒震盪的次數
- Hz 為頻率單位，代表每秒 1 次
- MHz 為每秒百萬次
- GHz 則為每秒十億次

<i>Unit</i>	<i>Equivalent</i>	<i>Unit</i>	<i>Equivalent</i>
Seconds (s)	1 s	Hertz (Hz)	1 Hz
Milliseconds (ms)	$10^{-3}$ s	Kilohertz (kHz)	$10^3$ Hz
Microseconds ( $\mu$ s)	$10^{-6}$ s	Megahertz (MHz)	$10^6$ Hz
Nanoseconds (ns)	$10^{-9}$ s	Gigahertz (GHz)	$10^9$ Hz
Picoseconds (ps)	$10^{-12}$ s	Terahertz (THz)	$10^{12}$ Hz

# 範例1

- The power we use at home has a frequency of **60 Hz**. The period of this sine wave can be determined as follows:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} = 0.0166 \text{ s} = 0.0166 \times 10^3 \text{ ms} = 16.6 \text{ ms}$$

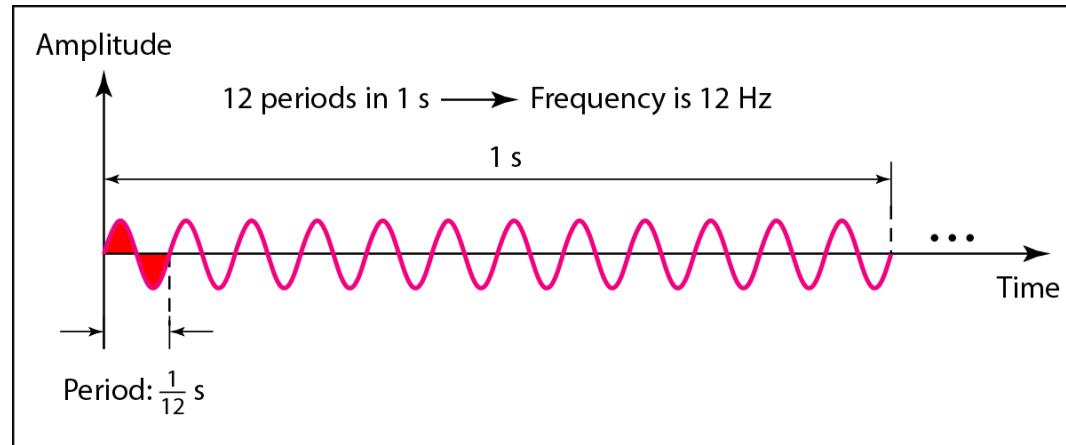
## 範例2

- The period of a signal is 100 ms. What is its frequency in kilohertz?
  - First we change 100 ms to seconds, and then we calculate the frequency from the period ( $1 \text{ Hz} = 10^{-3} \text{ kHz}$ ).

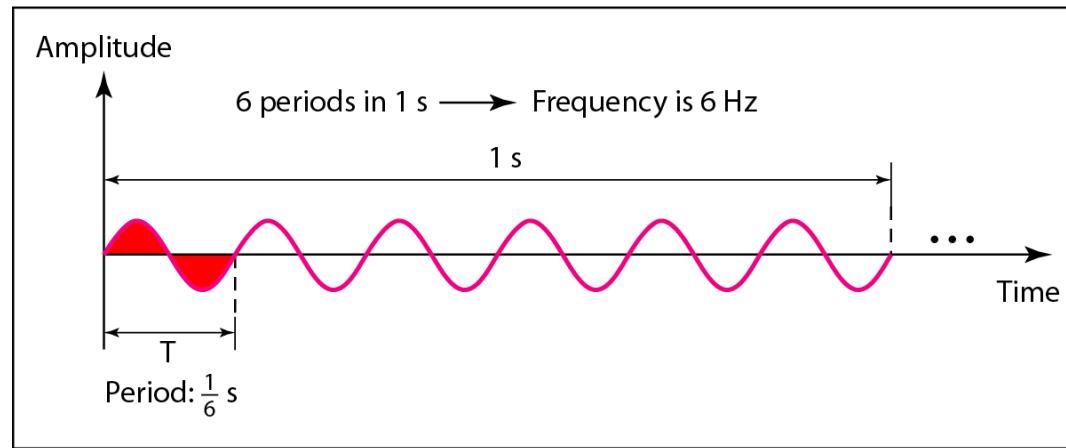
$$100 \text{ ms} = 100 \times 10^{-3} \text{ s} = 10^{-1} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-1}} \text{ Hz} = 10 \text{ Hz} = 10 \times 10^{-3} \text{ kHz} = 10^{-2} \text{ kHz}$$

# Two signals with different frequencies



a. A signal with a frequency of 12 Hz



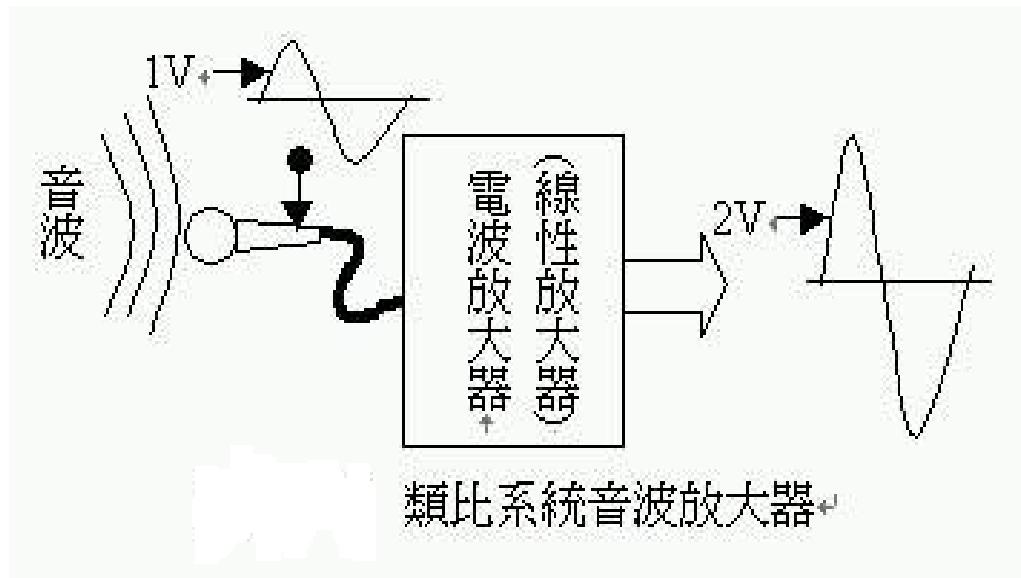
b. A signal with a frequency of 6 Hz

# 無線通訊運作原理2 頻段

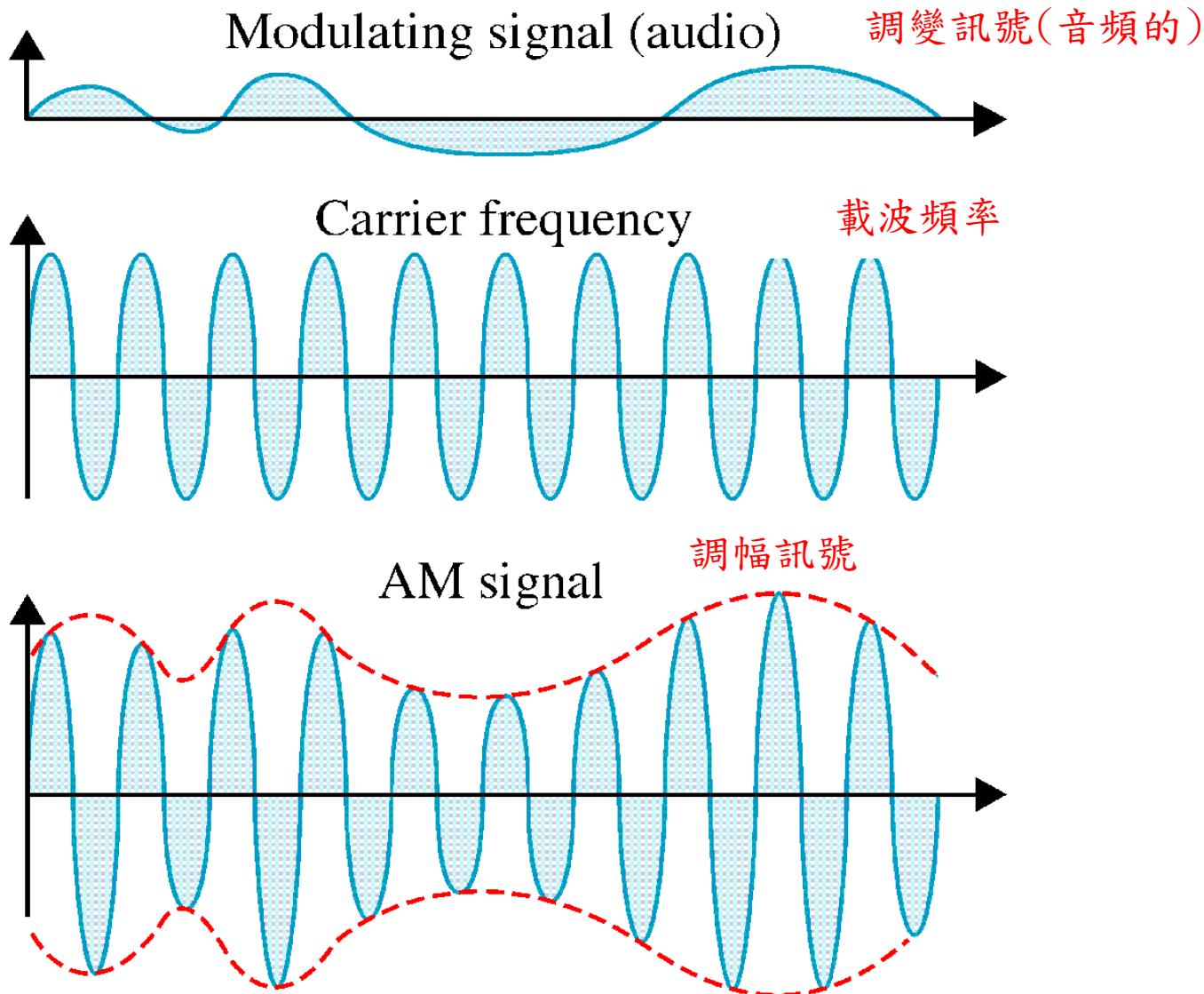
- 不同無線通訊技術有不同運作頻段
  - 廣播電台的 FM 92.1MHz、99.7MHz 等頻段
  - Wi-Fi 無線網路大多使用的 2.4GHz 頻段
- 無線通訊技術運作過程，頻段就像**無線電波行走的道路**，發送端與接收端需運作在一樣頻段才能順利接收訊號
  - 廣播電台發送訊號時，電波頻率設為 92.1MHz，我們要將收音機調至 92.1MHz，才能聽到廣播節目。
- 不過無線頻段有排他性，如果有 2 個發送端使用相同頻段，就會產生訊號干擾，所以通訊的時候，需要好好規劃每個發射端使用的頻段。

# 數位訊號類比傳輸

- 調幅 (Amplitude Modulation, AM)
- 調頻 (Frequency Modulation, FM)

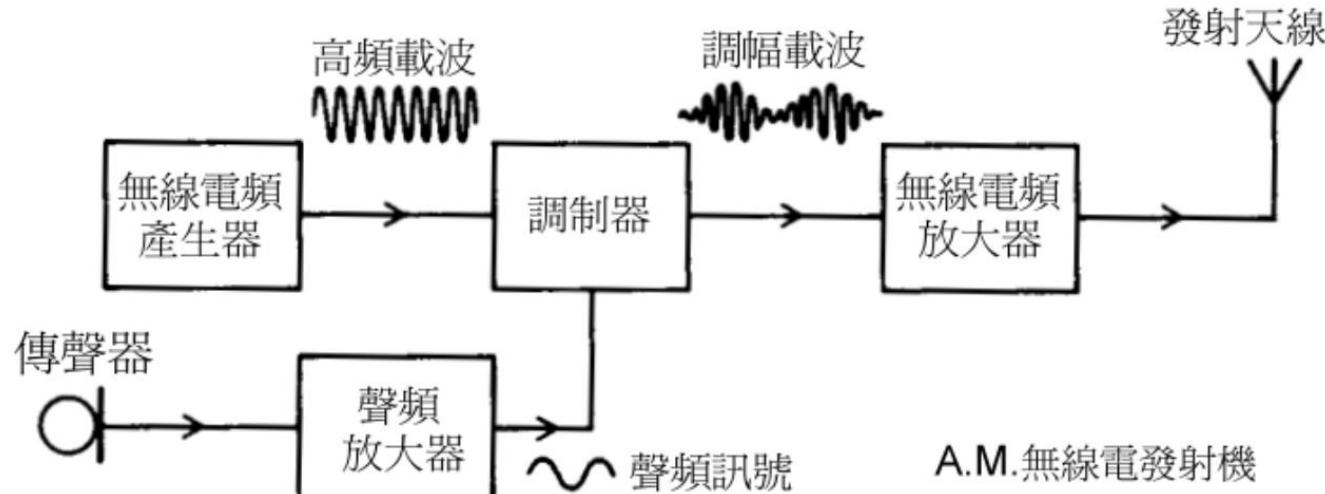


# 調幅 (Amplitude Modulation, AM)

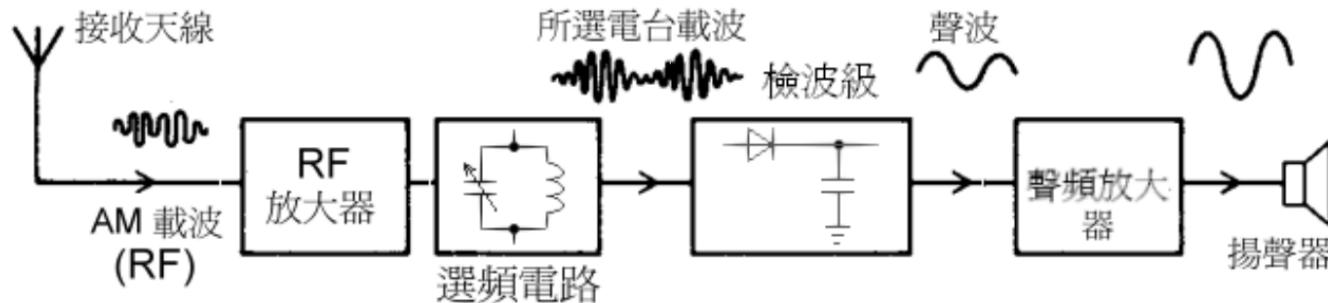


# AM 發與收

## C. 調幅(AM)發射機



E. AM 無線電接收機：AM 波段：540 kHz - 1600 kHz



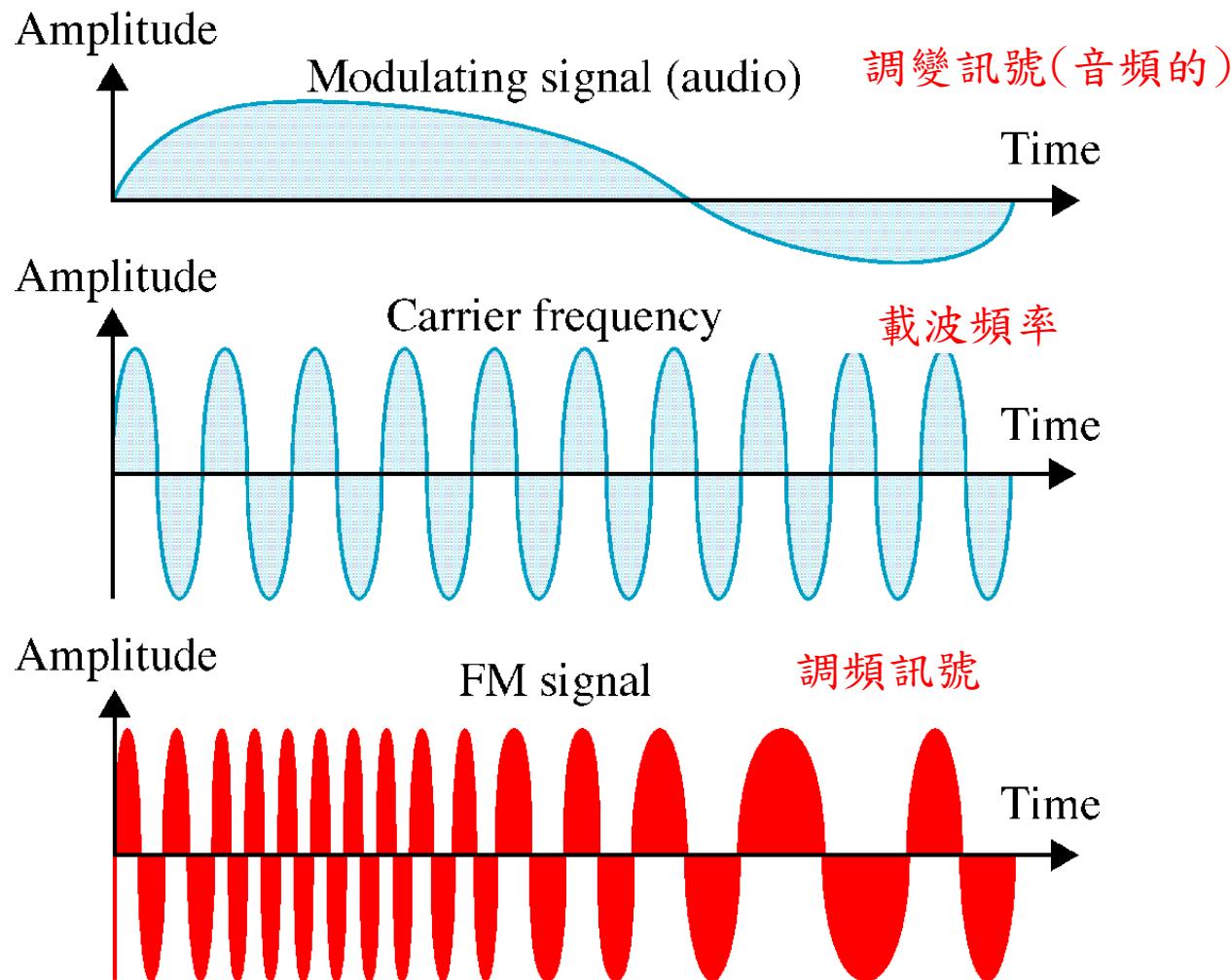
AM 無線電接收機方塊圖

# AM 缺點

調幅傳送訊息的問題是容易受干擾和雜訊影響，因為干擾和雜訊會造成振幅隨機的改變。

· 使用振幅調變傳輸的方法（如AM廣播），品質都比較差。

# 調頻 (Frequency Modulation, FM)



# FM 優點

- 與AM調幅方式相較，FM調頻傳輸方式比較不受雜訊和干擾影響，因為無論振幅如何改變，接收器只對頻率有興趣，而不是振幅
- FM 訊號可以使用較大的頻寬，將更多的訊息放入訊號，如此就可以傳送較高品質的訊息，例如可以用來傳送立體聲的音樂，而AM因為干擾的問題，只能播送單音。

二進位

# Number Systems

- 10進位 Decimal system (base 10)
- 2進位 Binary system (base 2)
- 16進位 Hex system (base 16)

# 10進位

- 十進制(Decimal system)由10個數字或符號組成。也稱為以10為基數的系統(base-10 system)，因為它有10個數字。
- 十進制系統是一種位置值系統(*positional-value system*)，其中數字的值取決於其位置。
- 換算：( b為底數base，十進位 $b=10$  )
- $543.21 = (5 \times 10^2) + (4 \times 10^1) + (3 \times 10^0) + (2 \times 10^{-1}) + (1 \times 10^{-2})$

# 2進位

- 也稱為 2 進位系統(base-2 system)
- 使用兩個數字值：0 和 1。
- 範例：1011
- 二進制量(Binary quantities)可以由任何只有兩種操作狀態或可能條件的設備來表示。
- 例如：開關只有開啟或關閉的功能。我們任意地（按照我們的定義）讓打開的開關代表二進位 0；閉合的開關代表二進位 1

# 16 進位

- 十六進位 (簡寫為hex或下標<sub>16</sub> · base-16 system)在數學中是一種逢16進1的進位制。
- 一般用數位0到9和字母A到F表示(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F) · 其中:A~F相當於十進位的10~15 · 這些稱作十六進位數位。
- Example: 5A<sub>16</sub>

# 2進位轉10進位

將 $100101_2$ 轉換為十進位形式如下：

$$100101_2 = [(1) \times 2^5] + [(0) \times 2^4] + [(0) \times 2^3] + [(1) \times 2^2] + [(0) \times 2^1] + [(1) \times 2^0]$$

$$100101_2 = [1 \times 32] + [0 \times 16] + [0 \times 8] + [1 \times 4] + [0 \times 2] + [1 \times 1]$$

$$100101_2 = 37_{10}$$

$$101_{(2)} = 5_{(10)}$$

$$(1 * 2^2) + (0 * 2^1) + (1 * 2^0) = 5_{(10)}$$

整數部份

$$(1 * 2^3) + (1 * 2^2) + (0 * 2^1) + (1 * 2^0) = 13_{(10)}$$

$$1101.101_{(2)} = 13.625_{(10)}$$

小數部份

$$(1 * 2^{-1}) + (0 * 2^{-2}) + (1 * 2^{-3}) = 0.625_{(10)}$$

# 2進位轉16進位

- 以小數點為基準，分向左【整數】右【小數】兩邊，4 個位數為一組。
- 【整數】不足 4 個位數則【前面】補 0。
- 【小數】不足 4 個位數則【後面】補 0。
- group of 4

$$\cdot \underline{1011} \underline{0100} = \underline{1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0} \underline{1 \times 2^2} = \underline{8+2+1} \underline{4} = \underline{11} \underline{4} = B4$$

$$\cdot 1000011010 = \underline{0010} \underline{0001} \underline{1010} = 2 \ 1 \ 10 = 21A$$

整數左側四個位數 0001

$$(1 * 2^0) = 1_{(16)}$$

整數中間四個位數 1101

$$(1 * 2^3) + (1 * 2^2) + (0 * 2^1) + (1 * 2^0) = 13 \rightarrow D_{(16)}$$

$$\underline{1} \underline{1101} \underline{0011}. \underline{101}_{(2)} = 1D3.A_{(16)}$$

整數右側四個位數 0011

$$(0 * 2^3) + (0 * 2^2) + (1 * 2^1) + (1 * 2^0) = 3_{(16)}$$

小數三個位數 1010

$$(1 * 2^3) + (0 * 2^2) + (1 * 2^1) + (0 * 2^0) = 10 \rightarrow A_{(16)}$$

# 16進位轉10進位

- $5A_{16} = 5 \times 16^1 + 10 \times 16^0 = 80 + 10 = 90_{10}$

## Example #1

3B in base 16 is equal to each digit multiplied with its corresponding  $16^n$ :

$$3B_{16} = 3 \times 16^1 + 11 \times 16^0 = 48 + 11 = 59_{10}$$

## Example #2

E7A9 in base 16 is equal to each digit multiplied with its corresponding  $16^n$ :

$$E7A9_{16} = 14 \times 16^3 + 7 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 9 \times 16^0 =$$

$$57344 + 1792 + 160 + 9 = 59305_{10}$$

## Example #3

0.8 in base 16:

$$0.8_{16} = 0 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} = 0 + 0.5 = 0.5_{10}$$

<https://www.rapidtables.com/convert/number/hex-to-decimal.html>

# 10進位轉2進位

- 不斷地除 (repeated division)

$$\begin{array}{r} 2 \longdiv{13} \\ \hline 2 \longdiv{6} \quad \dots\dots \quad 1 \\ \hline 2 \longdiv{3} \quad \dots\dots \quad 0 \\ \hline 2 \longdiv{1} \quad \dots\dots \quad 1 \\ \hline 0 \quad \dots\dots \quad 1 \end{array}$$


即 :  $(13)_{10} = (1101)_2$

头条 @

# 10進位轉16進位

- 不斷地除 (repeated division)

$$90_{10} = 5A_{16}$$

- $90/16 = 5 \dots 10(A)$
- $5/16 = 0 \dots 5$

$\Rightarrow 5A$

- $901_{10} = 385_{16}$

- $901/16 = 56 \dots 5$
- $56/16 = 3 \dots 8$
- $3/16 = 0 \dots 3$

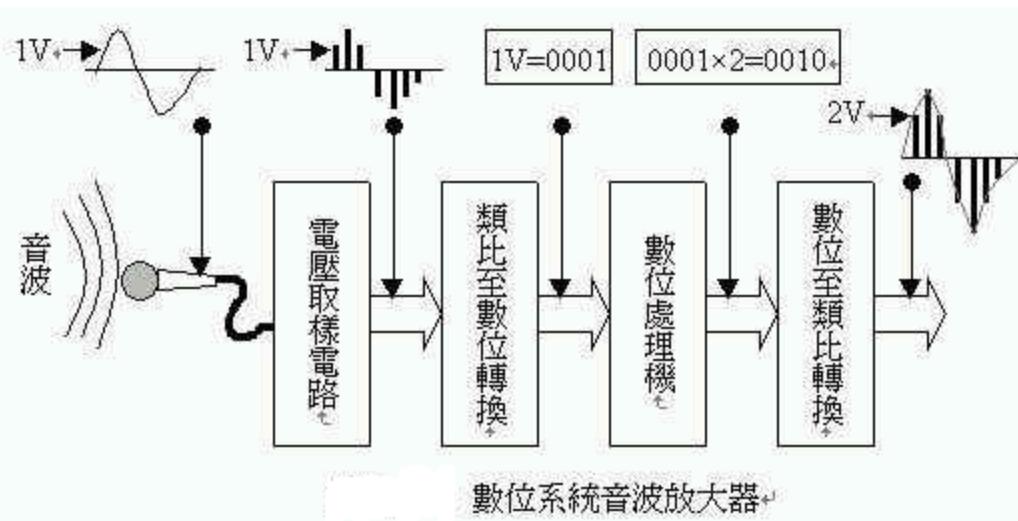
$=> 385_{16}$

# 數位訊號數位傳輸

- 直接以低電壓(0V)代表0，高電壓(1.5V)代表1
- 目前較常應用在電子產品內各電路板之間的訊號傳輸、乙太網路(ethernet)等短距離訊號傳輸

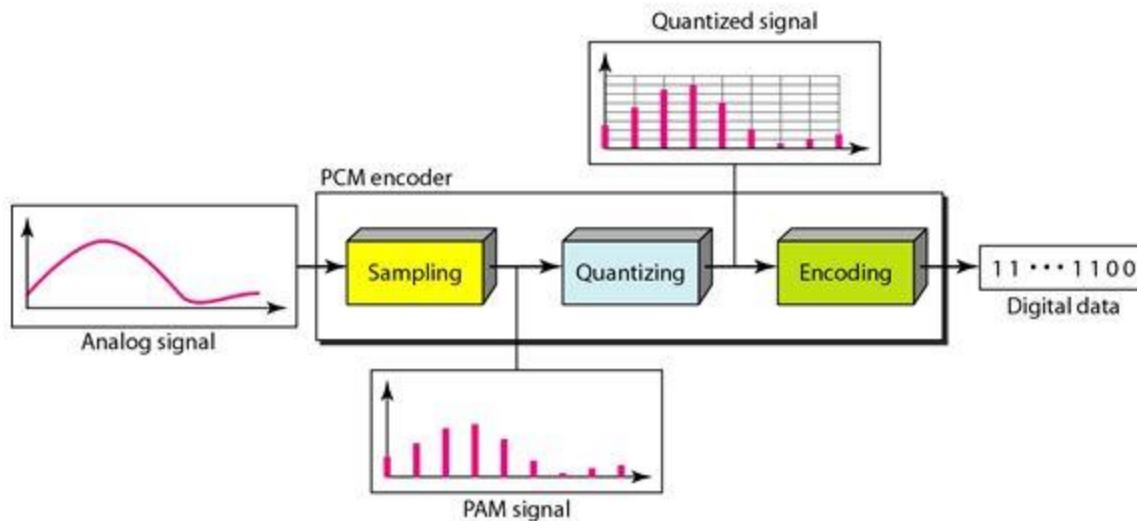
# 類比訊號數位傳輸

- 先將類比訊號轉換為數位訊號再傳輸，基本上就是「訊號數位化」的方法



# 類比到數位轉換 (Analog-to-digital conversion)

- Sampling (取樣)
- Quantization (量化)
- Encoding (編碼)



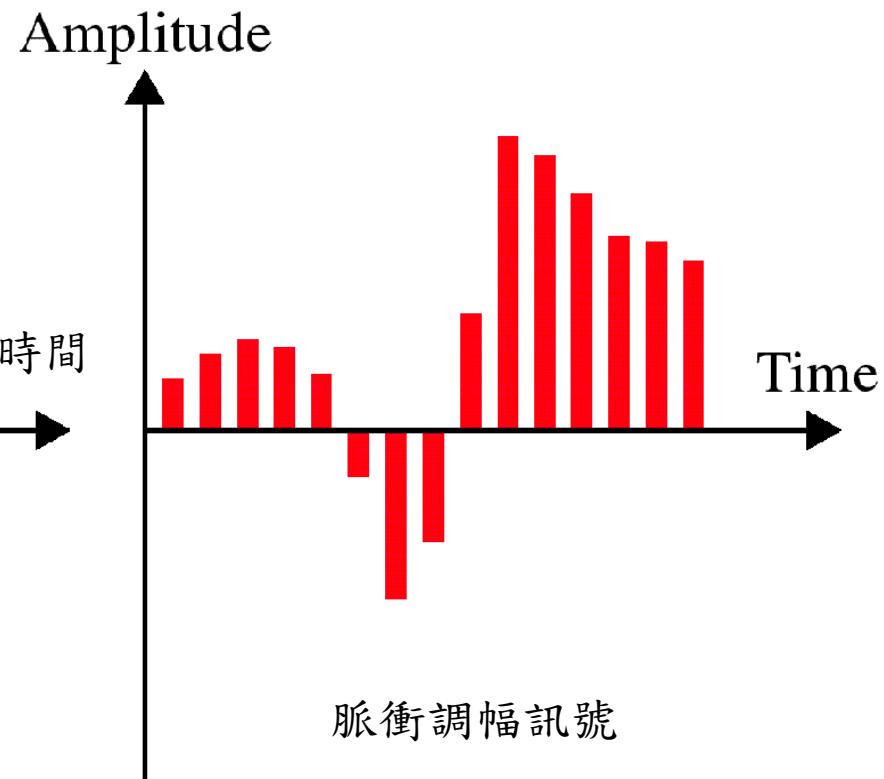
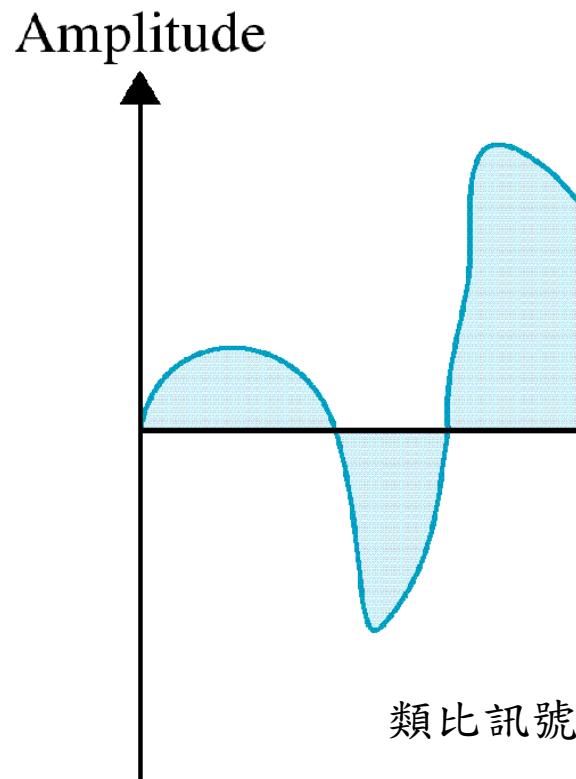
# Sampling and Quantization

- 脈衝振幅調變 (Pulse Amplitude Modulation, PAM) ，以 8KHz 取樣
- 取樣的時間間隔稱為「取樣週期」 ( Sampling Cycle ) ，單位為「秒」，將取樣週期取倒數可得每秒的取樣次數，稱為「取樣頻率」 ( Sampling Frequency ) ，單位為 Hz ( 次/秒 )

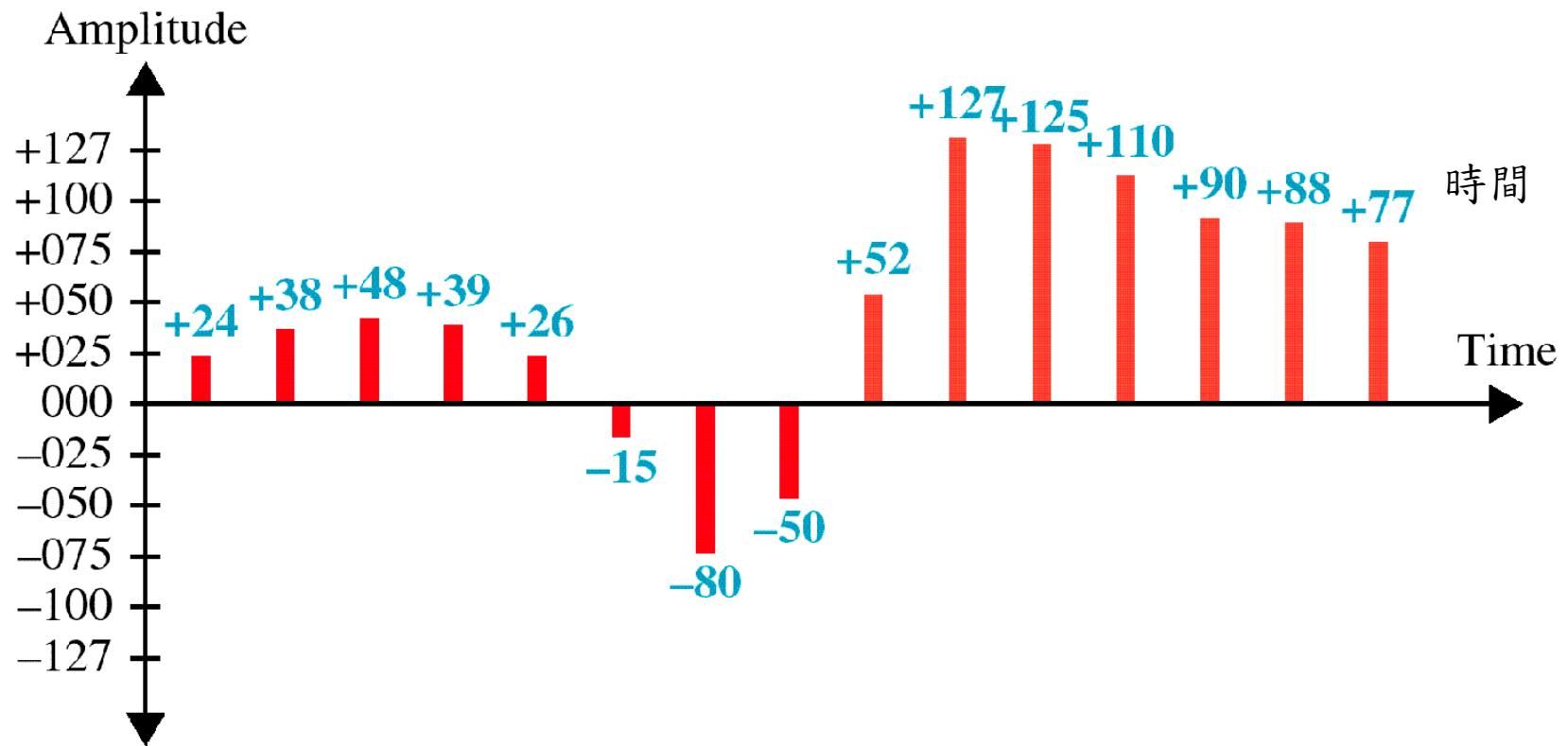
# Encoding

- 脈衝編碼調變 (Pulse Code Modulation, PCM) ,  
以 8/16 位元表示電位大小

# 脈衝振幅調變 (Pulse Amplitude Modulation, PAM)



# 量化PAM訊號

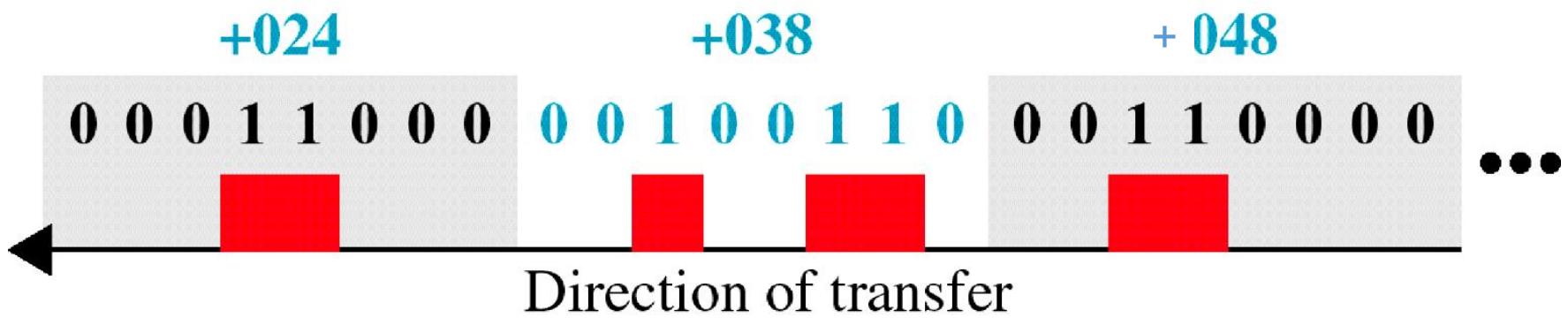


# 使用正負符號及數值大小以量化

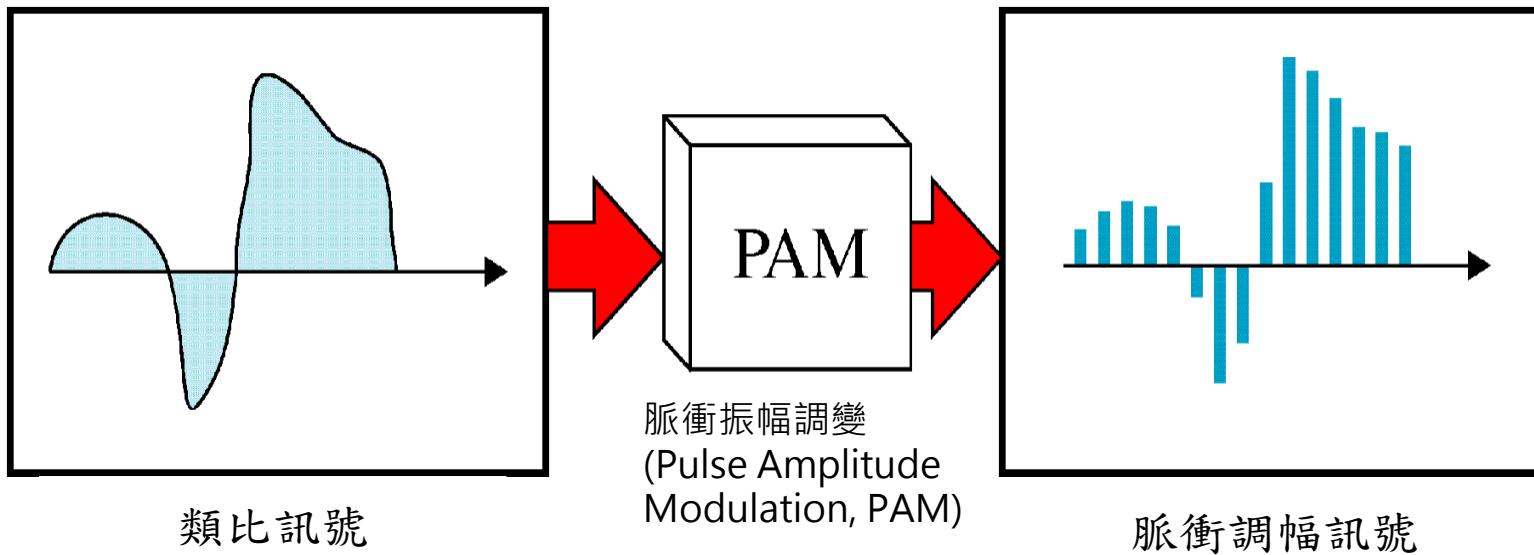
+024	00011000	-015	10001111	+125	01111101
+038	00100110	-080	11010000	+110	01101110
+048	00110000	-050	10110010	+090	01011010
+039	00100111	+052	00110110	+088	01011000
+026	00011010	+127	01111111	+077	01001101

正負號位元  
+是0，-是1

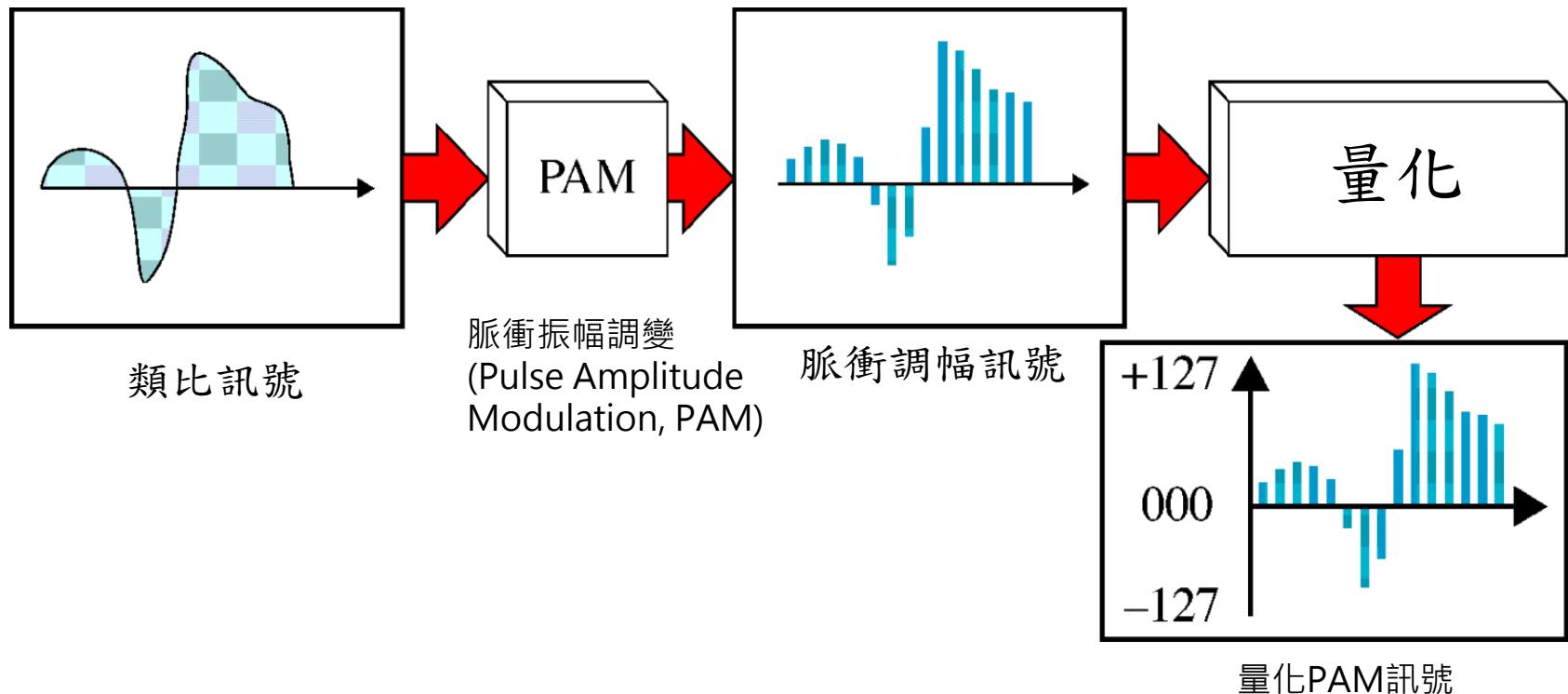
# PCM編碼



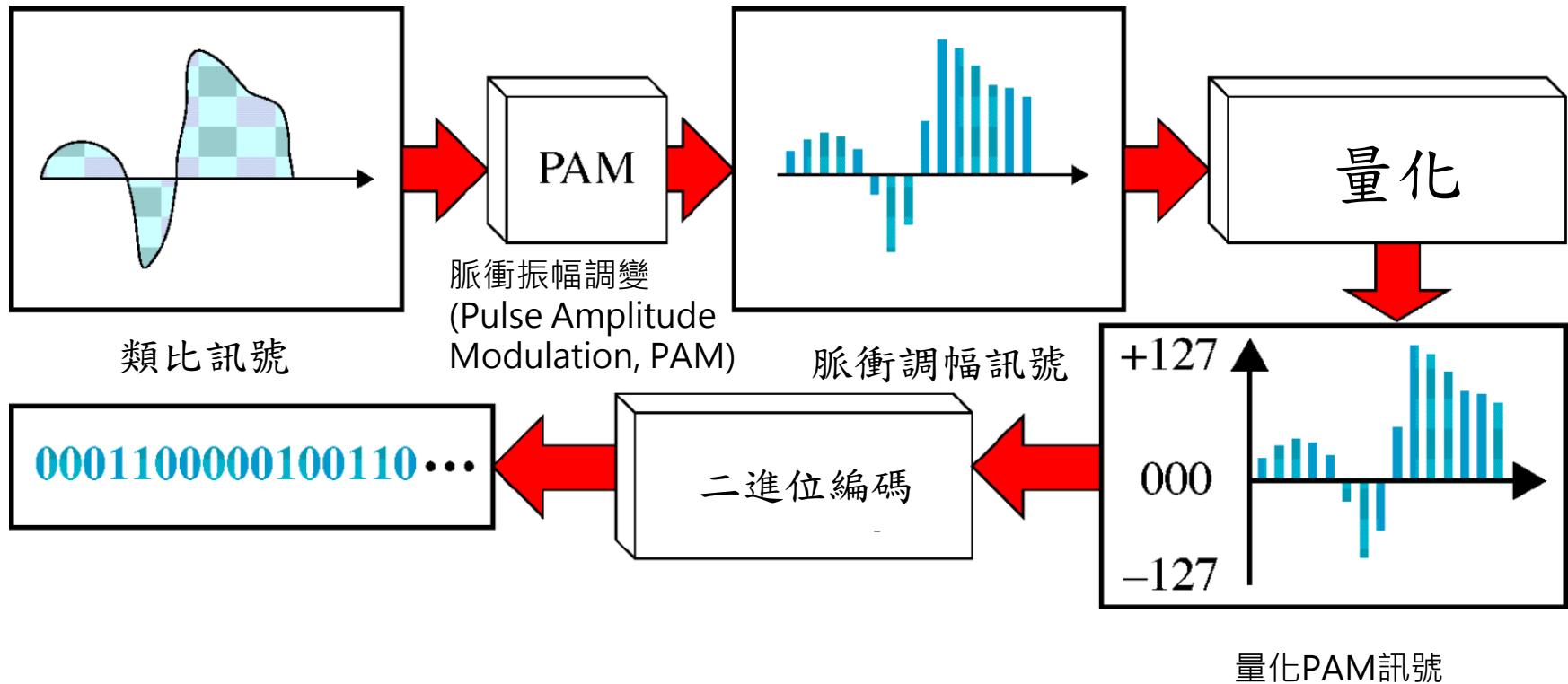
# 從類比訊號到PCM數位碼



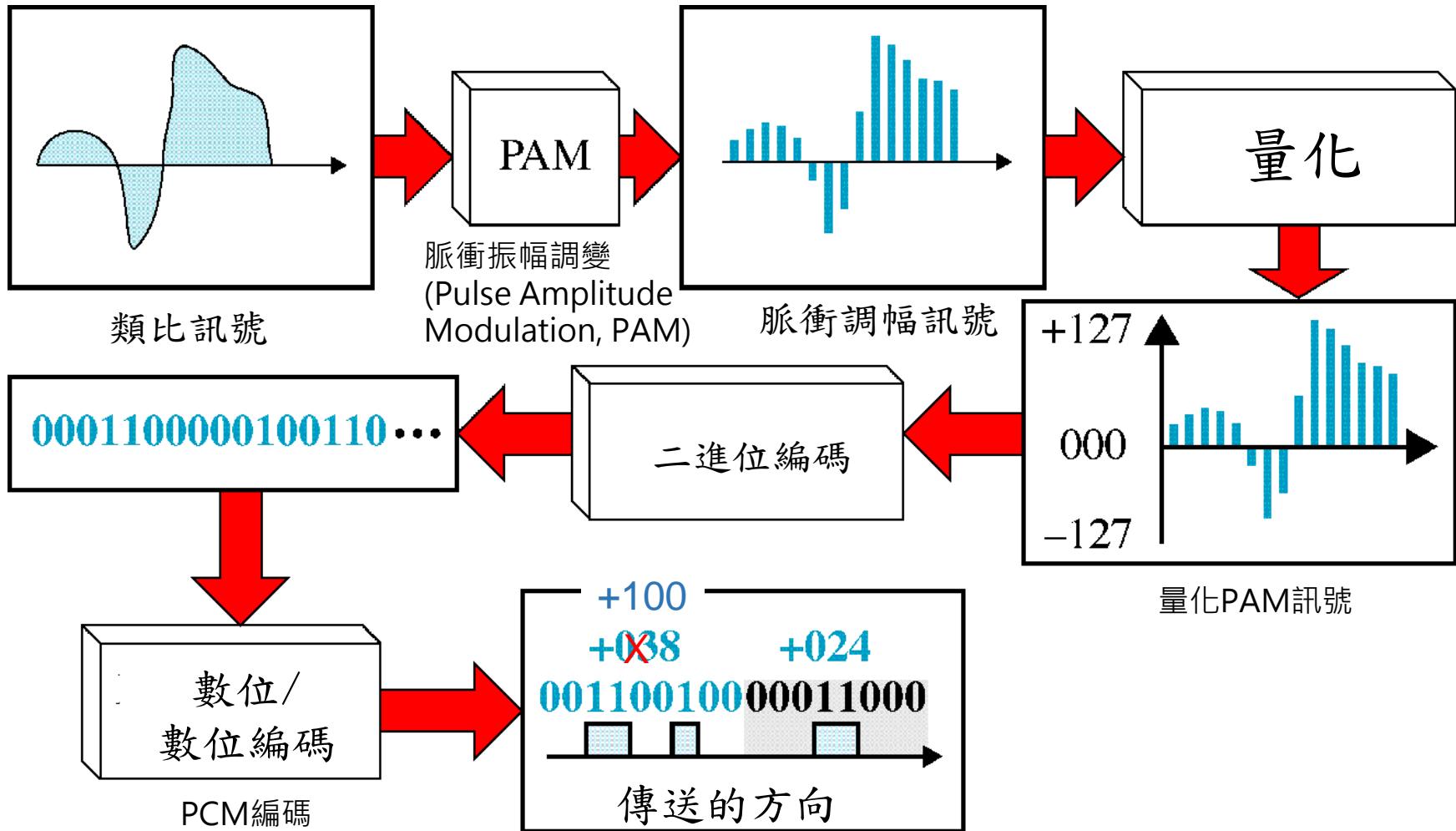
# 從類比訊號到PCM數位碼



# 從類比訊號到PCM數位碼



# 從類比訊號到PCM數位碼

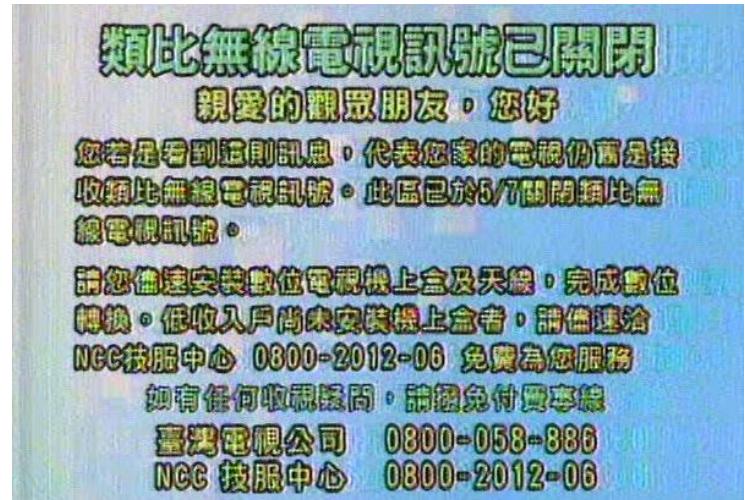
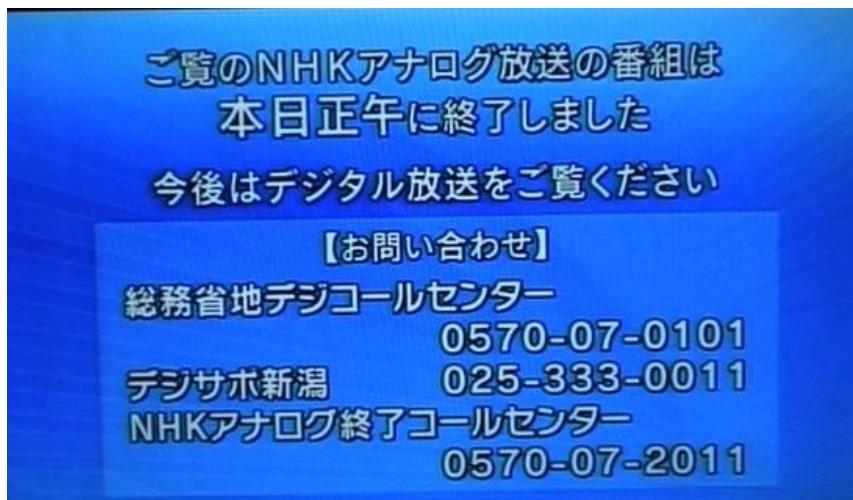


# Digital TV(數位電視)

- 視訊壓縮技術之進步，因此可將類比的畫面信號經數位化處理後，變成一串「二進位」型式數據資料
- 透過數位訊號處理，可以消除雜訊和干擾，畫面將會更清楚、細緻
- 再經數位調變傳送到家，因此可獲得比原來的類比電視更好的影像及聲音品質

# Digital TV (數位電視)

- 電視及節目訊號數位化後，數位訊號經「壓縮」，使得一個數位頻道可播送三至四個節目
- 2011年7月24日中午整點，日本電視正式全面數位化
- 2012年7月1日台灣數位電視元年：完成無線電視全面數位化

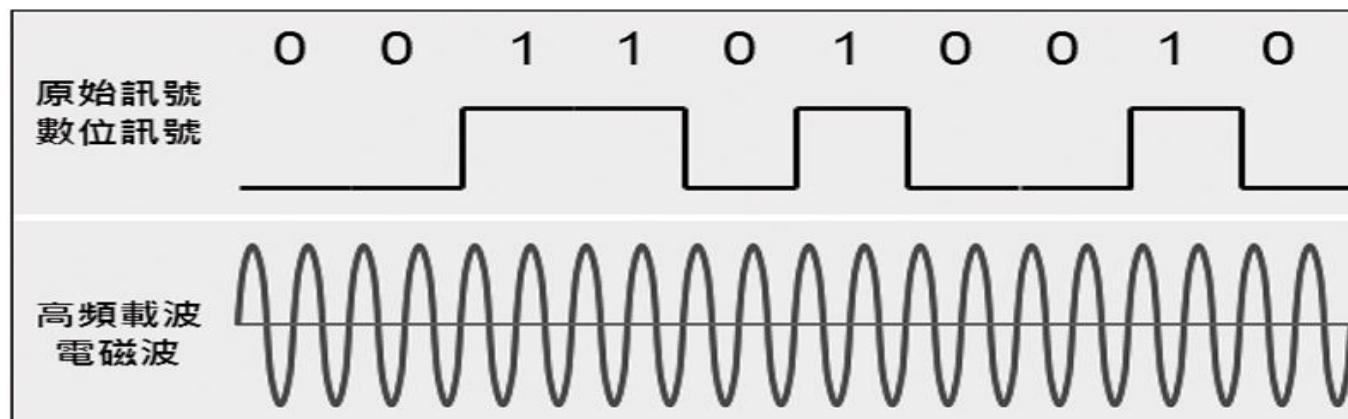
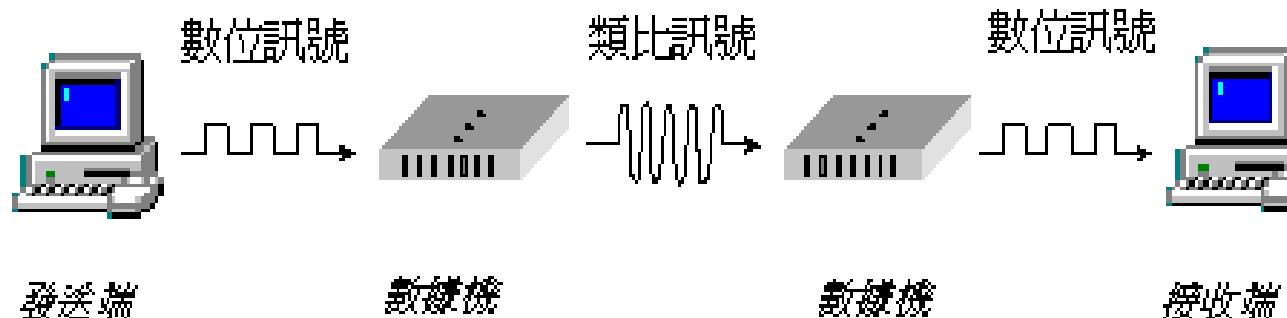


# 通訊技術

# 數位訊號類比傳輸

# 數據機Modem

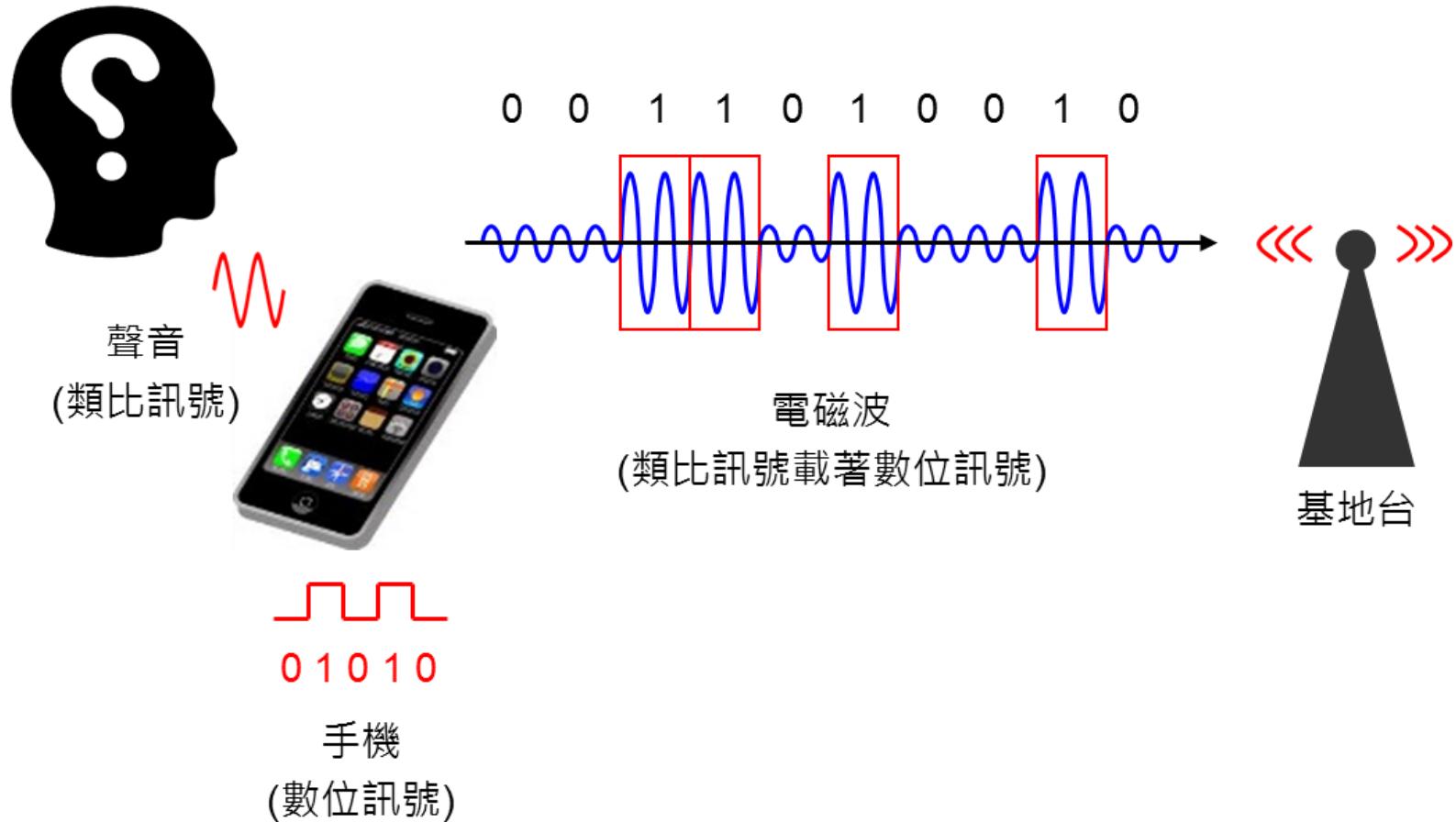
- 2G(GSM、CDMA)、3G(WCDMA、CDMA2000)、無線式行動電話(PHS)、無線區域網路(IEEE802.11)
  - Modulation (調變): 傳送端將數位訊號 (0 與 1) 轉變成不同的電磁波波
  - Demodulation (解調): 接收端將不同的電磁波波形還原成數位訊號 (0 與 1)



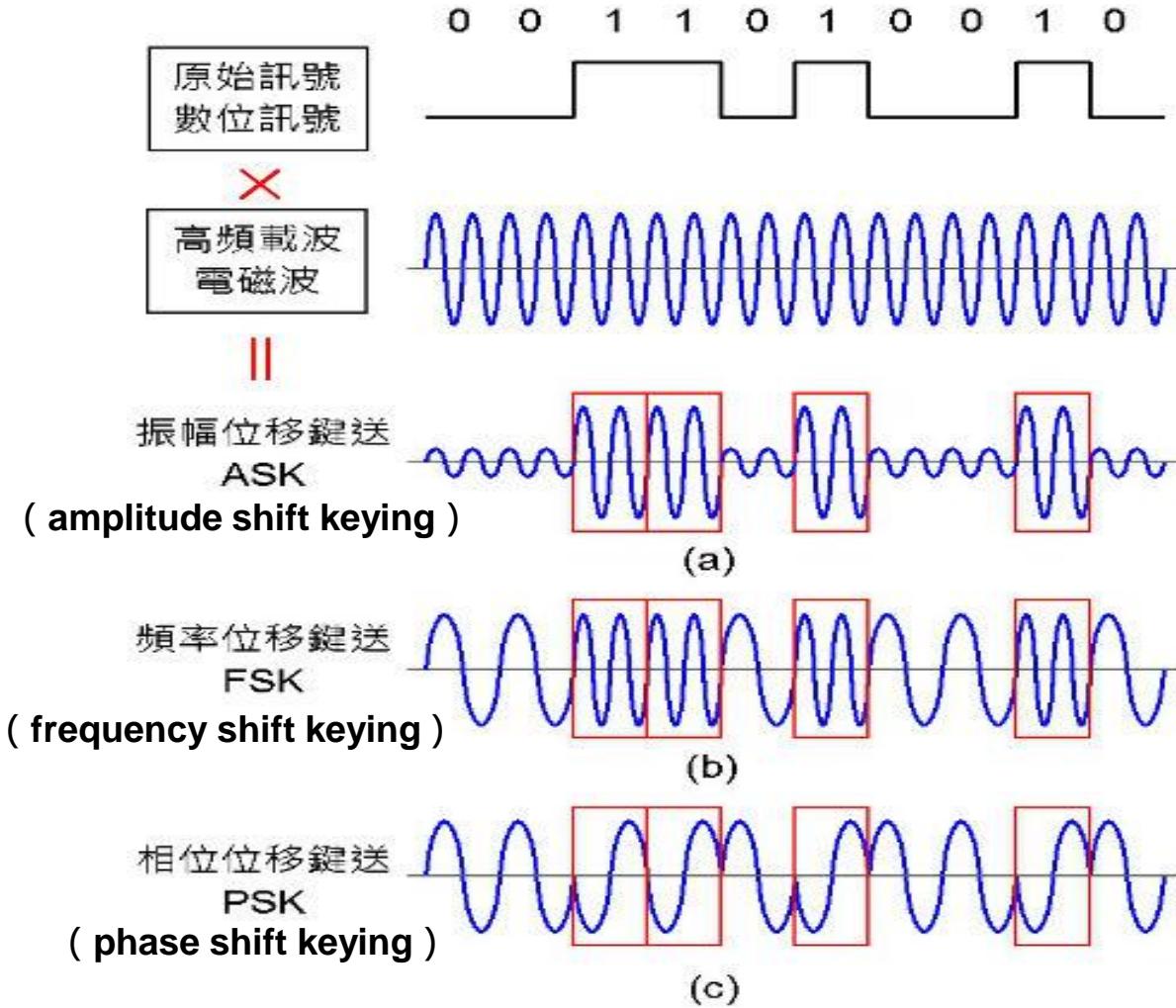
[http://scimonth.blogspot.tw/2014/09/blog-post\\_3.html](http://scimonth.blogspot.tw/2014/09/blog-post_3.html)

Credit by <http://technews.tw/2015/10/12/3g%E3%80%814g%E3%80%815g-meaning-part-two/>

# 數位通訊



# 數位通訊



振幅位移鍵送 ( ASK ) : 利用電磁波的「振幅大小」載著數位訊號 ( 0 與 1 ) 傳送出去，振幅小代表 0，振幅大代表 1，圖二 ( a ) 。

頻率位移鍵送 ( FSK ) : 利用電磁波的「頻率高低」載著數位訊號 ( 0 與 1 ) 傳送出去，頻率低代表 0，頻率高代表 1，圖二 ( b ) 所示。

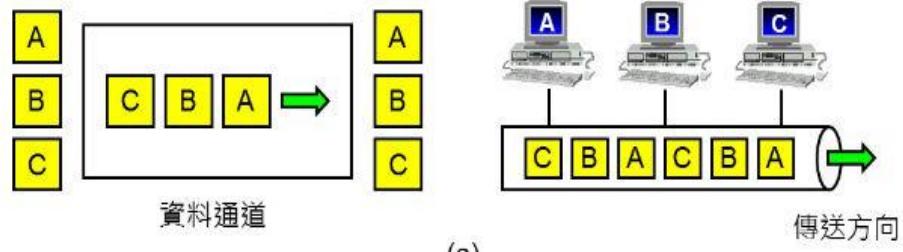
相位位移鍵送 ( PSK ) : 利用電磁波的「相位不同 ( 波形不同 ) 」載著數位訊號 ( 0 與 1 ) 傳送出去，相位 0° 代表 0，相位 180° 代表 1

# 多工技術 ( Multiplex )

多人共同使用一條資訊通道的方法稱為「多工技術」 ( Multiplex )

- 分時多工接取 ( TDMA )

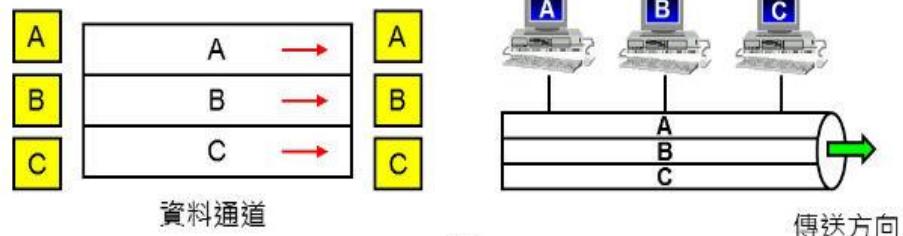
- 使用者依照「時間先後」輪流使用一條資訊通道
- 與B先講一句，再換C與D講一句
- 大家輪流（分時）講話彼此就不會互相干擾。



(a)

- 分頻多工接取 ( FDMA )

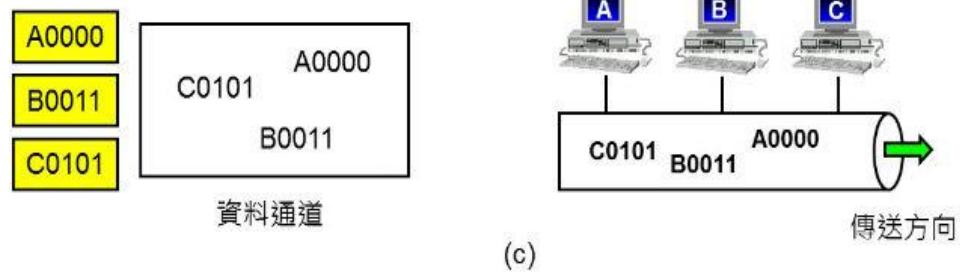
- 使用者依照「頻率不同」同時使用一條資訊通道
- A與B在客廳講話，C與D在書房講話
- 大家在不同的房間（分頻）講話彼此就不會互相干擾。



(b)

- 分碼多工接取 ( CDMA )

- 將不同使用者的資料分別與特定的「密碼」(Code)運算以後，再傳送到資料通道，接收端以不同的密碼來分辨要接收的訊號
- A與B用中文講話，丙與丁用英文講話
- 這樣雖然大家在同一個房子裡講話，各自仍然可以分辨出各自不同的語言



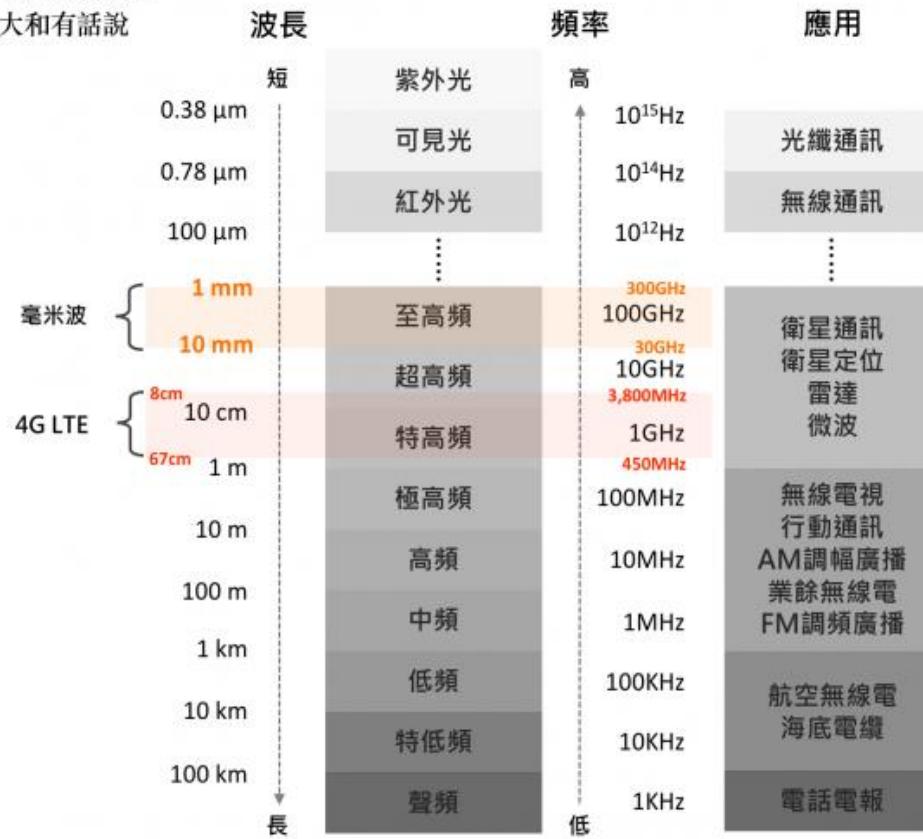
(c)

# 通訊世代比較

# 無線電波的頻譜

## ■ 通訊電磁波頻譜

Created by 大和有話說



- Credit by 大和有話說 - [5G科普, 只要9張圖, 看懂什麼是5G](#)

# 行動通訊技術演進史

- 1G 僅擁有 2.4kbps 傳輸速度，已跨出一大步，突破過去「定點」打電話限制
- 2G 速率介於 56k-114kbps 之間，實現語音通訊數字化，透過手機上的小螢幕傳遞文字內容，開啟簡訊時代
- 3G 標準自 2000 年正式公告，擁有 384kbps 速率，讓使用者瀏覽網站與串流音樂。行動網路的語音傳輸會把語音和多媒體訊息協定分開，這種網路的使用方法非常沒有效率
- 4G 利用封包交換系統 ( packet - switching system ) 的方式收發，讓語音、簡訊和多媒體傳訊完全以 IP 為基礎。4G 的穩定速度，被認為是應用程式 ( App ) 經濟推手，更帶動社群網站發展

行動通訊技術	功能	峰值速率	頻率
1G (1980s)	通話	2 Kbps	800-900 MHz
2G (1990s)	通話、簡訊、Mail (純文字)	10 Kbps	850-1900 MHz
3G (2000s)	通話、簡訊、網路、音樂串流	3.8 Mbps	1.6-2.5 GHz
4G (2010s)	通話、簡訊、網路、1080p 影片串流	0.1-1 Gbps	2-8 GHz
5G (2020s)	通話、簡訊、網路、4K 影片串流、VR 直播、自駕車、遠距手術	1-10 Gbps	3-300 GHz

# 通訊技術世代

## 數位通訊系統的頻譜效率比較表

世代	系統名稱	多工方式	調變方式	通道頻寬	資料傳輸率 上傳/下載 (bps)	頻譜效率 上傳/下載 (bps/Hz)
2G	GSM	FDMA TDMA	GMSK	200KHz	9.6K/14.4K	0.05/0.07
2.5G	GPRS		GMSK	200KHz	9.6K/115K	0.05/0.58
2.75G	EDGE		8PSK	200KHz	384K/384K	1.92/1.92
3G	WCDMA	FDMA CDMA	QPSK	5MHz	64K/2M	0.01/0.40
3.5G	HSDPA		16QAM	5MHz	384K/14.4M	0.08/2.88
3.75G	HSUPA		QPSK	5MHz	5.76M/14.4M	1.15/2.88
4G	LTE	FDMA OFDM	64QAM	20MHz	50M/100M	2.5/5
4G	LTE-A		64QAM	100MHz	500M/1G	5/10

# 為何需要 5G?

- 「行動流量持續上升」:國家通訊傳播委員會( NCC )統計，2018年初台灣 4G 用戶平均數據傳輸量為 14.74 GB；2019 年 5 月已成長為平均 16.85 GB，位居世界前段班。愛立信( Ericsson )也強調，全球行動寬頻流量至 2024 年會是 2019 年的 5 倍，特別是在市區密集區域，若僅依賴 4G 將無力負擔。
- 「低頻率負荷有限」:頻率低則裝載量小，速度有限；頻率越高，能傳輸越多數據、裝更多訊息。換言之，4G 採用低頻的先天限制，是 5G 不得不發展的主因，速度反而是其次。
- 4G 受到「行動流量持續上升」與「低頻率負荷有限」考驗，試著回想看看，當你在跨年、參加演唱會時，是否連打開社群網站都很困難，更不用說開直播。

# 5G v.s. 4G

- 美國無線產業協會 (CTIA) 表示下載一部兩小時左右的電影
  - 現在的 4G LTE 網路提供平均 10-20 Mb/s 的連線速度，4G 在理想狀態下得花 6 分鐘時間
  - 5G 僅需 3.6 秒就能完成任務。
- 5G 理論速度能比 4G 快上一百倍，但相較之下，電信業者看法仍略顯保守。如中國移動表示，5G 網路速度約是 4G 的 11.2 倍，「同樣時間內，用 4G 只能下載半集戲劇，5G 可以搞定 10 集。」

# 5G v.s. 4G

## 5G:高速speed

- +低延遲latency(遠距醫療、無人自駕車車速來到 100 公里時緊急煞停→產業發展)
- +廣連結connections(同時連接大量裝置→產業發展)

	4G	5G
峰值速率 (理想上傳、下載速度)	0.1-1 Gbps	1-10 Gbps
延遲 (回應時間)	15-25 毫秒 (0.02-0.03秒)	1 毫秒 (0.001秒)
頻率	10 GHz 以下	30到300 GHz
優點	低頻覆蓋廣，不用大量基地台	高頻提升傳輸速率
缺點	頻寬小易壅塞	難穿透固體，訊號隨距離快速下降，需建置更多基地台

# 5G 高頻毫米波容易被干擾

- 就物理特性而言，頻率愈高，波長愈短，「穿透能力」也就愈強。
- 然而，高頻信號的**指向性**也較強，它們遇到障礙物會想直接穿過去，而不是繞過去（也就是「繞射能力」差），因此其穿透障礙物所帶來的能量消耗，也會使傳輸距離變短。

## ■ 無線通訊之高、低頻訊號比較

資料來源：MIC ( 2009 )

Created by 大和有話說

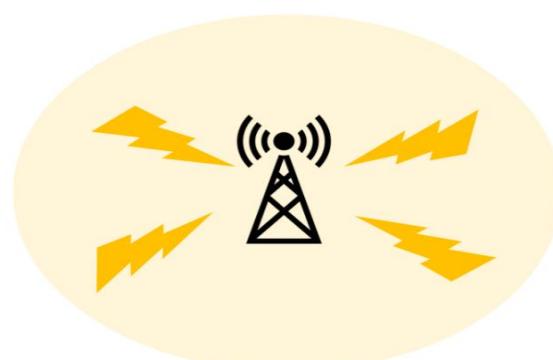
	高頻訊號	低頻訊號
波長	短	長
方向性	定向	無方向性
繞射能力	弱	強
穿透能力	強	弱
電波衰減	大	小
覆蓋能力	弱	強
基地台承載量	多	少
功率傳送增益比	小	大
終端天線	短	長

# 5G 微型基地台 (small cell)

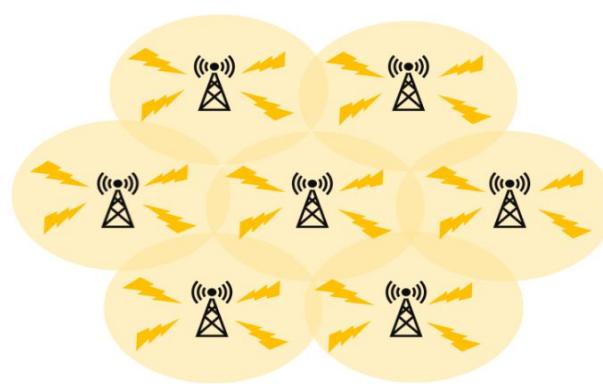
- 由於 5G 高頻毫米波容易被干擾，因此需布置數量更多的基地台，才能達到一定的覆蓋率。
- 由於 5G 技術特性，基地台數量將是 4G 的二到四倍，目前是 5G 發展初期，基地台的價格也是 4G 基地台的二到四倍
- 如日本政府正規劃將紅綠燈、路燈都裝上 5G 基地台，就是希望提高基地台密度。這也代表微型基地台 (small cell) 重要性更勝以往。

■ 相同範圍下，5G 的基站需求將遠大於 4G

Created by 大和有話說



4G 概念圖



5G 概念圖

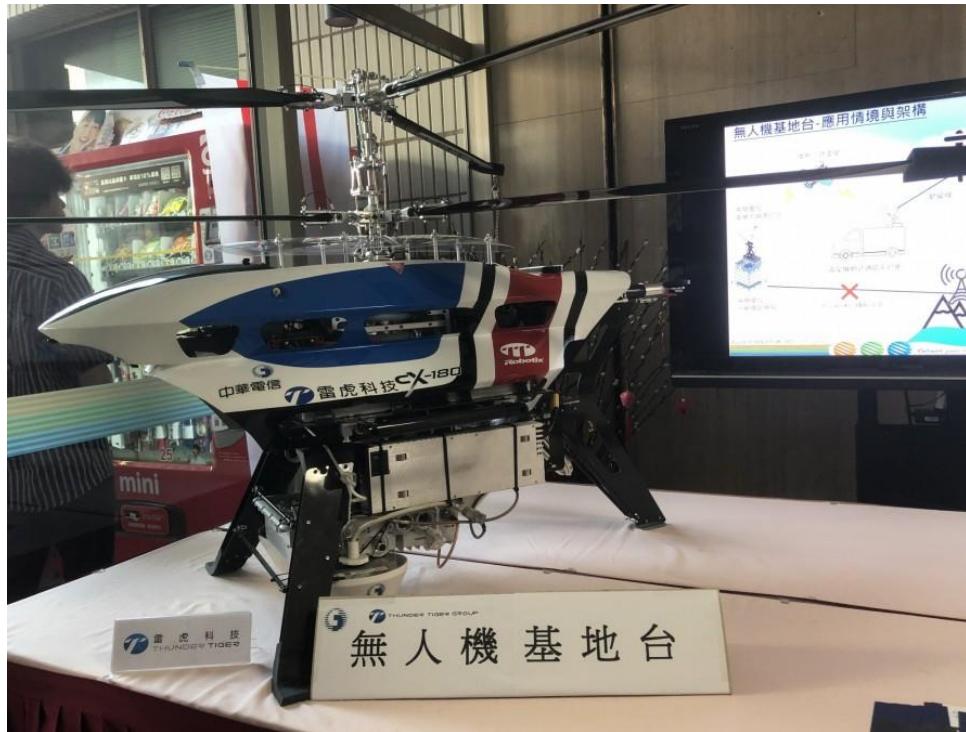


由於高頻段下的傳輸距離較短，使得覆蓋能力也相對較弱。因此，不同於頻段較低的 4G 採用一個大型基地台 (Macro Cell) 即可覆蓋 2~40 公里，5G 則必須採用許多個微型基地台 (Small Cell) 才能覆蓋到同樣的區域。

Credit by 大和有話說 - [5G 科普, 只要 9 張圖, 看懂什麼是 5G](#)

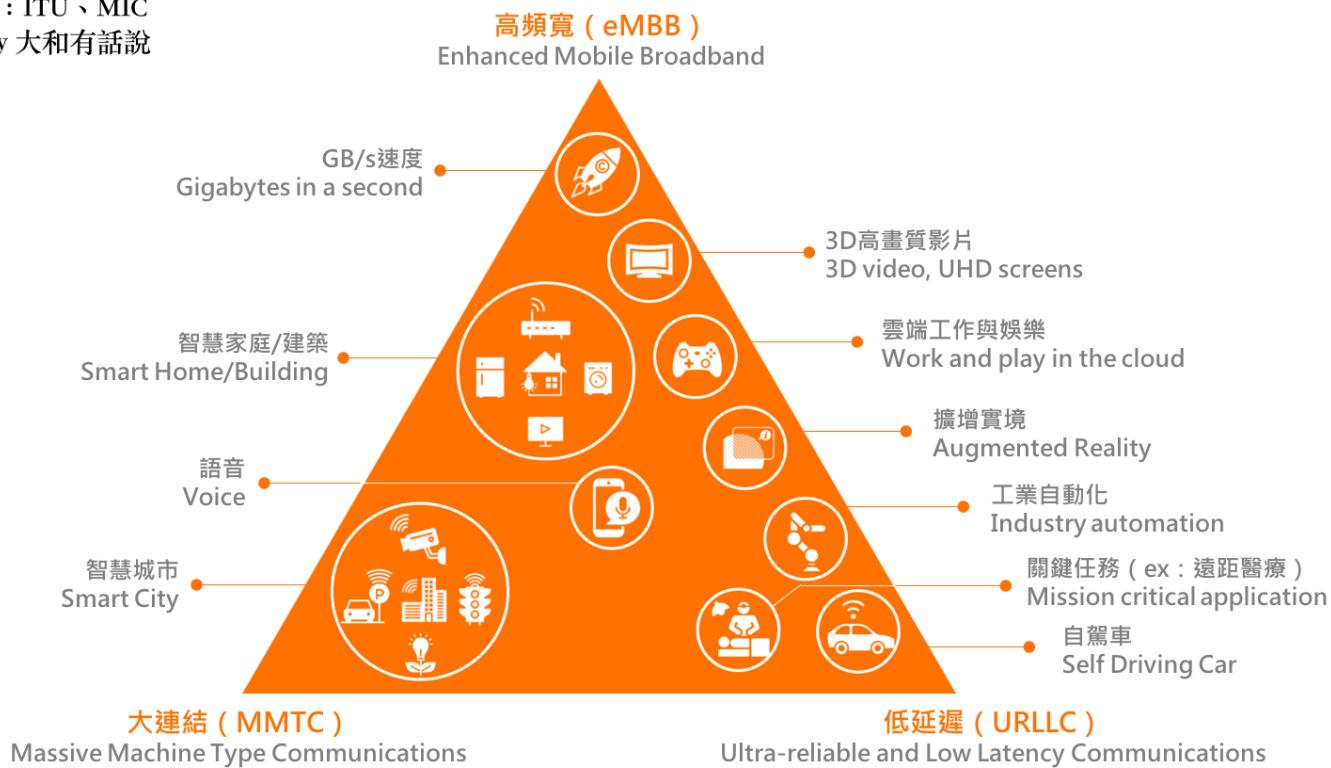
# 無人機搜救災難現場搭載 5G 減少因延遲導致的遠距操控失誤機率

- 中華電信和無人機業者「雷虎科技」合作，將5G基地台裝在機身上，能運用在高山救難上。
- 遠距醫療、VR 直播、4K 畫質直播，都因此有發展契機。



## ■ 5G 關鍵技術及應用場景

資料來源：ITU、MIC  
Created by 大和有話說



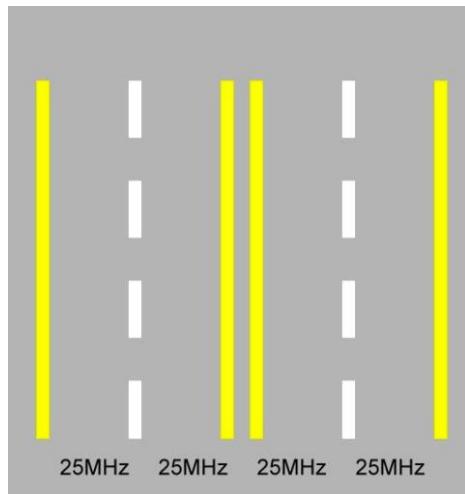
# 5G 頻段競價

# 先買車道，再選位置

- 5G 頻段競價作業時，要分配的資源共
  - 頻寬：電信業者可使用的頻段總量
  - 位置：這些頻段的頻率分布位置
- 如果把頻段比喻為馬路，無線電訊號就是在路上來往的車
  - 頻寬 = 車道寬度
    - 頻寬越大代表車道數量越多，就像 3 線道馬路運載量比 2 線道馬路多，所以頻寬越大能傳輸的資料與容納的用戶數量就越多，等於可為更多用戶提供更快的 5G 通訊服務。
  - 位置 = 車道位置
    - 頻段位置也會影響通訊品質，走在快車道會比較順暢，如果走在慢車道，可能時常被公車、路人干擾，較差的頻段也容易被其他無線電波干擾，傳輸速度受到影響
- 連續頻段有利於提供較佳通訊品質，以 5G 通訊而言，約需 80MHz 連續頻寬才能發揮高速連網特性，就像如果我們可以支配 2 個相鄰車道，會比支配隔開的 2 個車道更有效率。

# 先買車道，再選位置

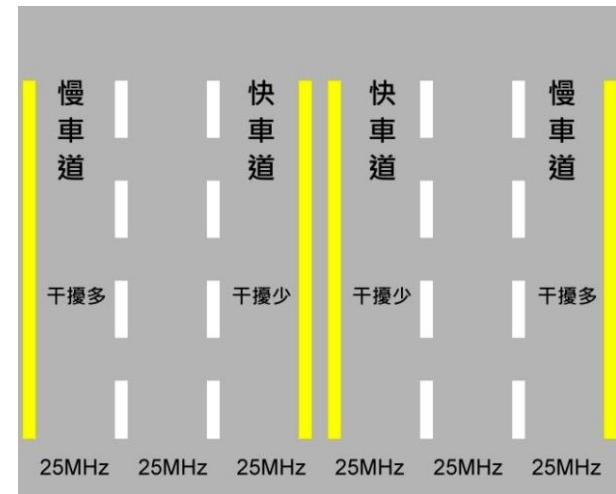
- 每 25MHz 的頻寬代表 1 個車道



100MHz 頻寬則代表雙向 4 線道  
馬路，流量較有限也容易塞車



150MHz 頻寬代表雙向 6 線道大馬路，  
交通更流暢



取得較好頻段位置與連續頻段，也有助  
提升 5G 通訊品質

[完全看懂 5G 頻段競價作業，高達 1,422 億元的標金是在搶什麼？](#)

# 競價結果 @ 2020/02/21



## 競價結果



得標者名單	得標金 (億元)	3.5GHz				28GHz			
		數量競價		位置競價		總標金 (億元)	數量競價		總標金 (億元)
		頻寬(MHz)	標金(億元)	位置	標金(億元)		頻寬(MHz)	標金(億元)	
中華電信	483.73	90	456.75	F13~F21	20.8	477.55	600	6.18	G10~G15
台灣大哥大	306.56	60	304.5	F22~F27	0	304.5	200	2.06	G24~G25
台灣之星	197.08	40	197.08	F1~F4	0	197.08	0	0	
亞太電信	4.12	0	0			0	400	4.12	G20~G23
遠傳電信	430.42	80	406	F5~F12	20.3	426.3	400	4.12	G16~G19
總計	1421.91	270	1364.33		41.1	1405.43	1600	16.48	
									16.48

註：1. 得標者名單依競價者名稱筆劃順序排列。

2. 得標金=數量競價得標總價+位置競價得標金。

### 3.5GHz頻段

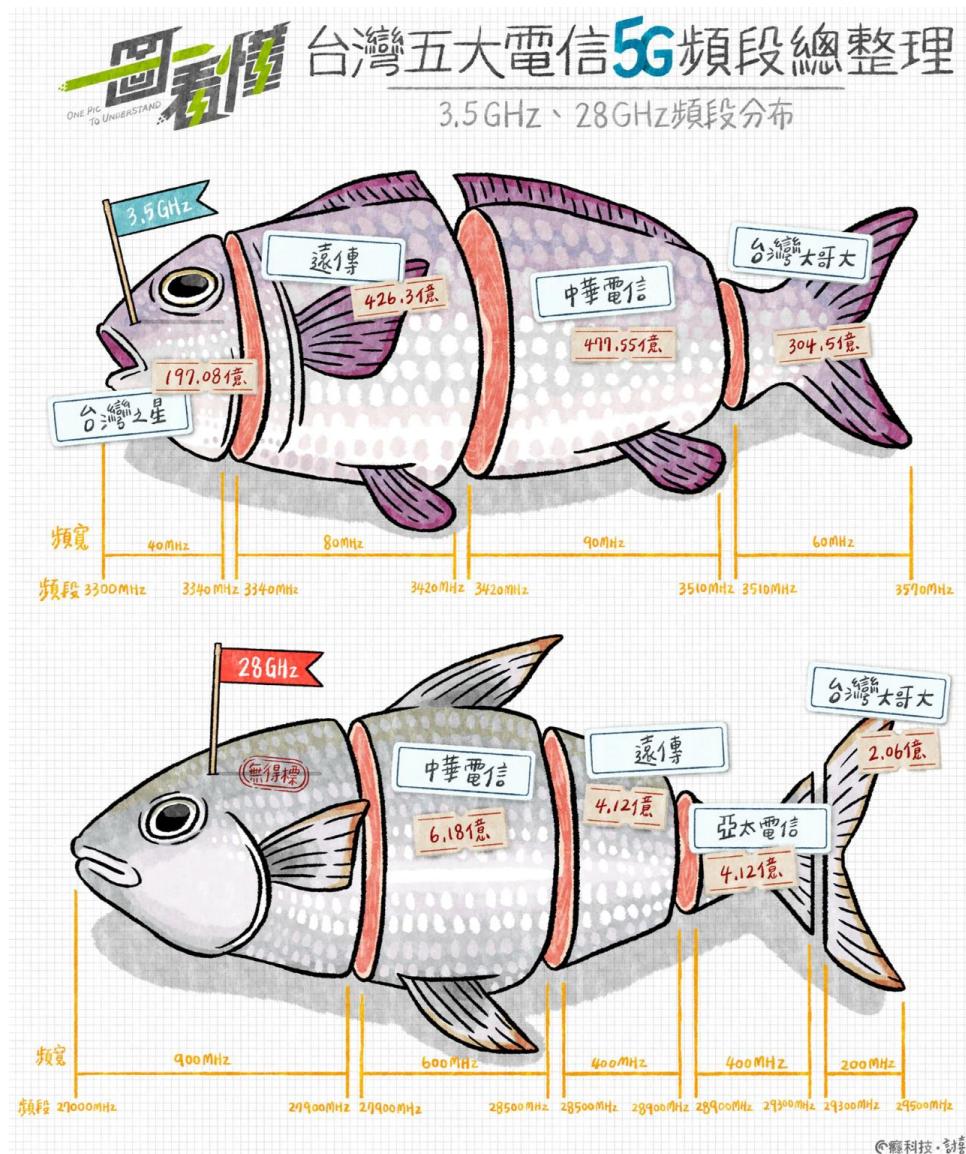
3300	3340	3420	3510	3570MHz
台灣之星 40MHz	遠傳電信 80MHz	中華電信 90MHz	台灣大哥大 60MHz	

### 28GHz頻段

27000	27900	28500	28900	29300	29500MHz
無得標者	中華電信 600MHz	遠傳電信 400MHz	亞太電信 400MHz	台灣大 200MHz	

# 魚頭、魚肚、魚尾

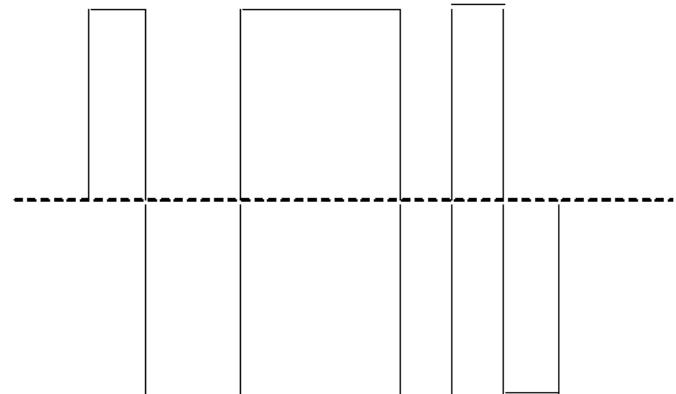
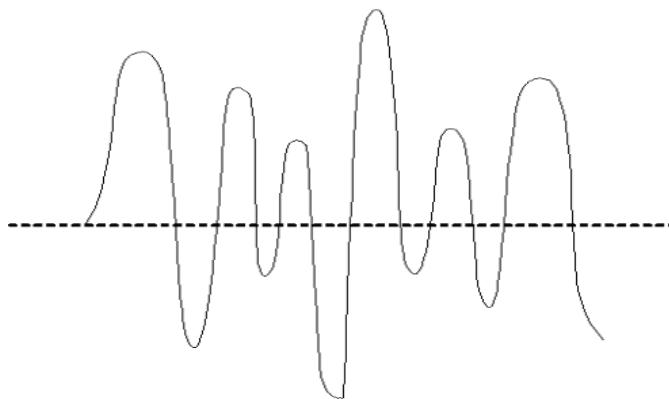
- Credit by 瘋科技 討喜小姐, Zero圈圈  
<https://www.cool3c.com/article/151962>
- 延伸閱讀: 林之晨帶你科普 5G : 為什麼 3.5 GHz 頻段會有魚頭、魚肚、魚尾之分?
  - <https://buzzorange.com/techorange/2020/03/04/5g-3-5ghz-issue/>



# 總結

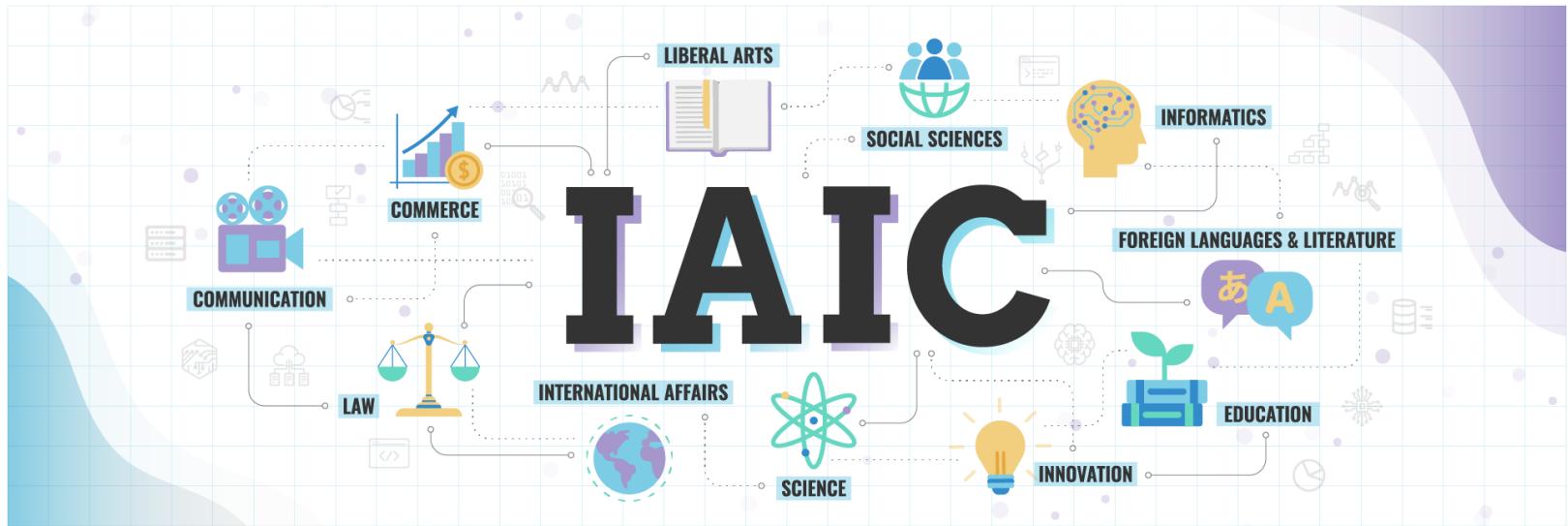
# 類比與數位訊號比較

- Analog: 連續變化的電磁波，可透過多種傳輸媒介進行傳送
- Digital: 不連續的電壓脈波，主要是以不同的電位狀態來表示



# 數位化的好處

- Information storage is easy.
- Operation can be programmed.
- Digital systems are generally easier to design.
- Accuracy and precision are greater.
- Digital circuits are less affected by noise.



研究合作 跨域教學 多元服務



Dr. Chih-Hsun Wu  
吳致勳 助理教授  
[20031214@nccu.edu.tw](mailto:20031214@nccu.edu.tw)  
[j20031214@gmail.com](mailto:j20031214@gmail.com)