

通信與系統大意講義

第一回

502338-1



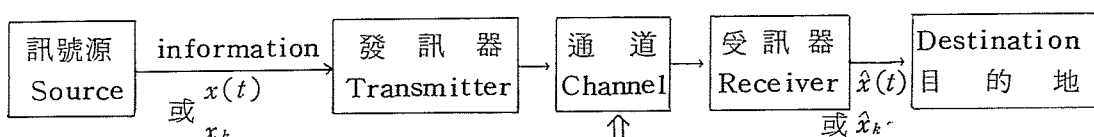
社團法 人 考友社 出版發行

第一講 概論 · 訊號與系統分析

命題重點

一、通訊系統

(一)通訊系統圖



衰減 (loss)
雜訊 (noise)
失真 (distortion)
干擾 (interference)

1. $x(t)$, $\hat{x}(t)$ 分別代表類比通訊系統中發送及接收的訊號。
2. x_k , \hat{x}_k 則代表數位通訊系統中發送及接收的訊號。
3. 設計通訊系統的目的在已知的限制及規格下使收到的 $\hat{x}(t)$ 或 \hat{x}_k 與傳送的 $x(t)$ 或 x_k 儘量一致。
4. 分析一通訊系統的方法是假設訊號源、發訊器等等皆為理想情況，而把所有會影響系統性能的因素皆放在通道中來考慮。

(二) Information

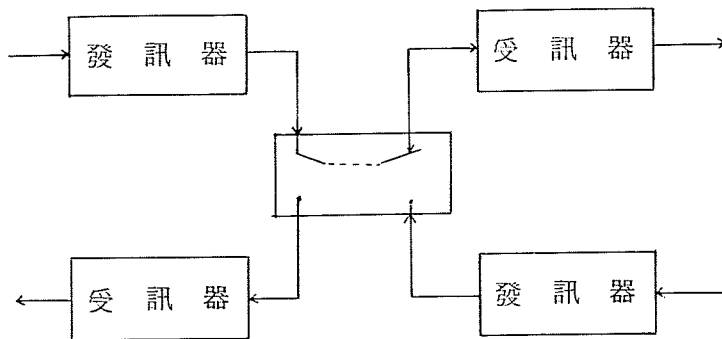
包含兩要素：隨時間改變及不可預期，若資料為固定或已可預知便相當於廢話，不含任何“information”。

(三)發訊器與受訊器

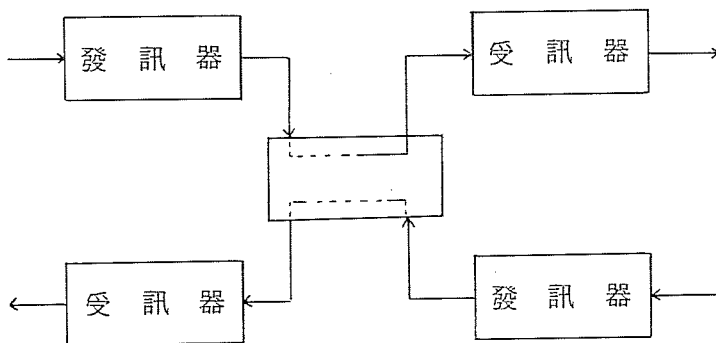
1. 發訊器包括編碼器 (Encoder) 及調變器 (Modulator) 兩部份。
2. 受訊器則包括解碼器 (Decoder) 及解調器 (Demodulator)。

(四)通訊系統的分類—依傳輸方式：

1. 單工 (Simplex)：只能單向傳送。
2. 半雙工 (Half-duplex, HDX)：可雙向傳送，但在同一時刻僅能作單向傳送。
3. 全雙工 (Full-duplex, FDx)：可同時作雙向傳送。



半 雙 工 圖



全 雙 工 圖

(五) 傳輸介質 (連接發訊器與受訊器) :

1. 絞線對 (twisted pair) 。
2. 同軸電纜 (Coaxial Cable) 。
3. 無線電波 (radio wave) 。
4. 光纖 (Optical fiber) 。
5. 微波、紅外光、雷射等 (通稱 Line of Sight, LOS) 。
6. 人造衛星 (Satellite) 。

(六) 影響傳輸品質的因素 :

1. 損耗 (loss or attenuation) :
訊號功率隨傳送距離遞減。。
2. 失真 (distortion) :
系統對訊號的不完全反應 (例如因頻寬不足) 。
3. 干擾 (interference) :
來自訊號本身或外界的干擾。
4. 雜訊 (Noise) :

凡加諸訊號上的不速之客皆可謂之雜訊。

(七)通訊系統的基本限制—頻寬與雜訊

1. 頻寬決定系統的速度，頻寬不足造成失真。頻寬可分成兩類：訊號頻寬（訊號的頻譜寬度）與系統頻寬（系統反應速率）。
2. 系統頻寬必須足夠反應訊號頻譜方不會有失真。由於所有電子系統皆含能量儲存元件，故無法作立即反應，故頻寬必為有限值，此為第一個基本限制。由動力學原理，當溫度在絕對零度以上，熱能便會使帶荷的粒子振動，此隨機振動產生的電流或電壓便是熱雜訊（thermal noise），故雜訊亦為系統中不可避免之一限制。
3. 綜合此兩限制，一通訊系統性能的上限可以 Hartley-Shannon law 來表示，即：

在一定的頻寬與訊號雜訊比下，資訊傳輸速度必小於其通道容量 C (Channel capacity)

$$C = B \log \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

B = 系統頻寬

S/N = 訊號雜訊比

因此頻寬與訊號傳送功率為通訊系統之主要資源。

(八)雜訊

1. 雜訊的起源：

- (1) thermal noise：在絕對溫度零度以上，帶電粒子因熱能作隨機運動而產生。
- (2) Shot noise：當帶電載子通過半導體界面其移動為隨機運動，使此半導體元件所產生的電流具有隨機特性（randomness），因而產生 shot noise；也可視為由一物體受熱表面（例如在真空管中）的電子隨機激發現象所產生。
- (3) 人造雜訊：包括外界的電磁波干擾，不良的電源供應器以及機器振動所產生的不良影響等等。此類雜訊可以工程技術予以去除或減少。

2. 雜訊的分類：

- (1) 依與訊號的關係而分：
 - A. Additive noise：加在訊號上。
 - B. Fading：乘在訊號上。
- (2) 依雜訊的頻譜特性而分：
 - A. White noise。
 - B. Colored noise。

二、調變與編碼

(一)調變的目的、利益、與應用

1. 目的：產生適合傳輸通道特性的調變訊號。
2. 效益及應用：
 - (1) 有效傳送訊號：易於發射訊號。

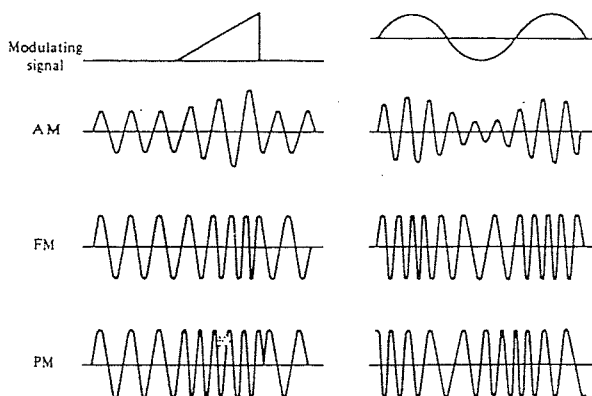
- (2)克服硬體限制：使訊號避開硬體有困難的範圍。要減輕硬體的價格及複雜度，則應將頻寬比（Fractional-bandwidth，頻寬÷中央頻率）限制在1~10%以內，因此大頻寬訊號應以較高頻率的載波作調變，且載波頻率愈高，資訊傳送速率便較快。
- (3)減少雜訊與干擾：wideband noise reduction以頻寬換取雜訊的降低，例如FM。
- (4)頻率配置：將不同訊號調變在不同的頻率範圍，則多個不同的發射站可用同一介質傳送訊號。
- (5)多工：使多個訊號同時在相同通道上傳送。例如FDM，TDM等。

(二)調變的種類

1.連續波調變（Continuous wave modulation, CW）：其載波為弦波訊號（sinusoidal waveform），又可分成：

- (1)線性調變（Linear modulation）：即調幅（Amplitude modulation, AM）。
- (2)指數調變（Exponential modulation）：包括調頻（FM, Frequency modulation）及調相（PM, phase modulation）。

〔註〕今將這些調變方式說明如下：



- (1)AM：調變後訊號之 envelope 隨受調訊號而變。
- (2)FM：調變後訊號之頻率隨受調訊號而變。
- (3)PM：調變後訊號之相位隨受調訊號而變。

2.脈波調變（Pulse modulation）

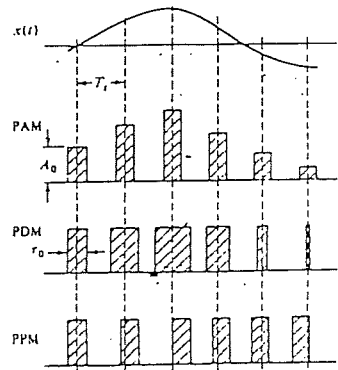
(1)載波為一週期性脈波訊號，分成三類：

A. PAM（Pulse amplitude modulation）

B. PPM（Pulse position modulation）

C. PDM or PWM（Pulse duration modulation or Pulse width modulation）

(2)圖示如下：

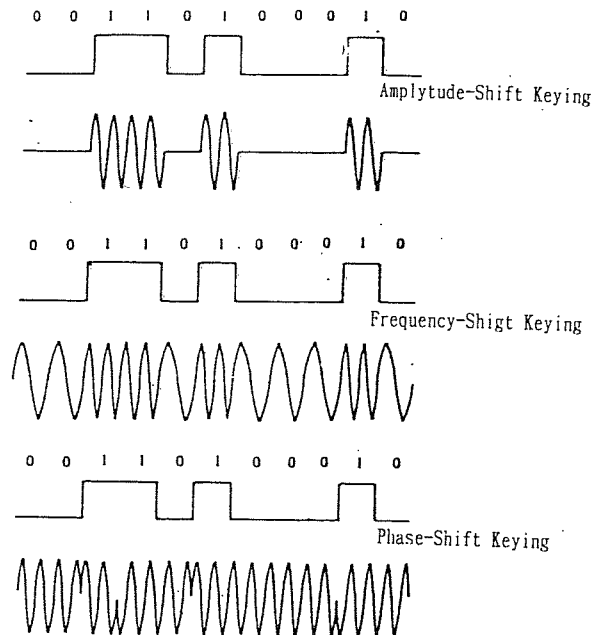


3. 數位調變 (Digital Modulation)

(1) 訊號為數位化，調調後成類比訊號，常見的有三種：

- A. ASK (Amplitude-shift keying)
- B. FSK (Frequency-shift keying)
- C. PSK (Phase-shift keying)

(2) 圖示如下：



(三) 編碼的目的及效益：

1. 目的：將資訊轉換成更有效率的符號以供傳送。
2. 效益：就數位編碼而言，有如下效益：

- (1)當系統頻寬不足時，將二位元訊號轉換成多位元 (M- ary) 訊號以節省傳輸所需頻寬。
- (2)當系統頻寬不成問題，且訊號源送出為M- ary的資訊，利用編碼將其轉變成二位元訊號可得到兩個好處：硬體簡單及減低雜訊干擾的影響。
- (3)利用錯誤更正碼 (但增加傳輸頻寬及硬體的複雜度) 提高通訊品質，達到接近零錯誤的理想。

此外，編碼亦可使用於類比訊號中，類比 / 數位 (A / D) 轉換器將類比訊號轉換成數位訊號，便可具有數位通訊的好處 (如高可靠度、較大彈性，及較有效率等等) ，此方法即為PCM。

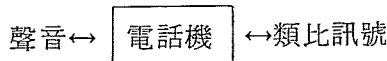
(四)資料表示方式：

通訊系統中資料的表示方式可分成四種：



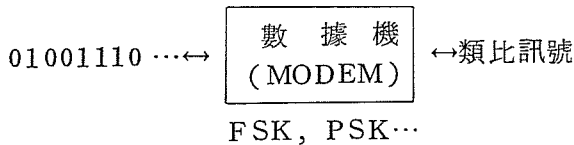
1.類比資料↔類比訊號

如：

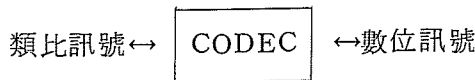


2.數位資料↔類比訊號

如：

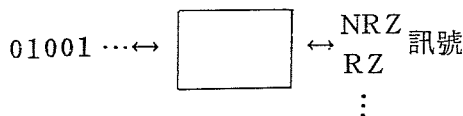


3.類比資料↔數位訊號



如：PCM或DM

4.數位資料↔數位訊號



三、多工 (Multiplexing)

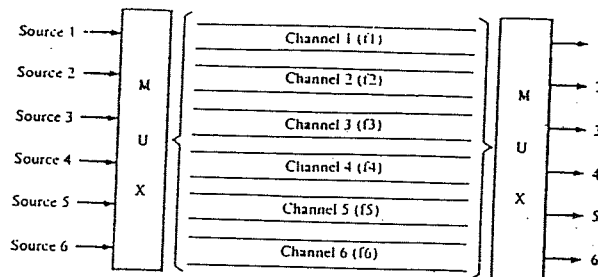
(一)目的：有效利用傳輸系統

(二)分類：

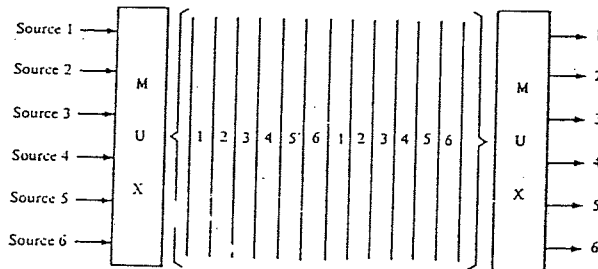
1. 分頻多工 (Frequency-division multiplexing, FDM) :
用於通道頻寬遠大於訊號頻寬時。
2. 分時多工 (Time-division multiplexing, TDM) :
用於通道容量 (channel capacity) 遠大於資料的傳送速度時。
3. 波長分段多工 (Wavelength-division multiplexing, WDM) :

〔註〕此三多工方式圖示如下：

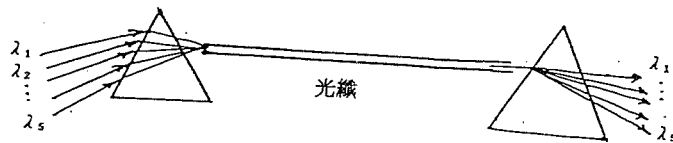
1. FDM



2. TDM

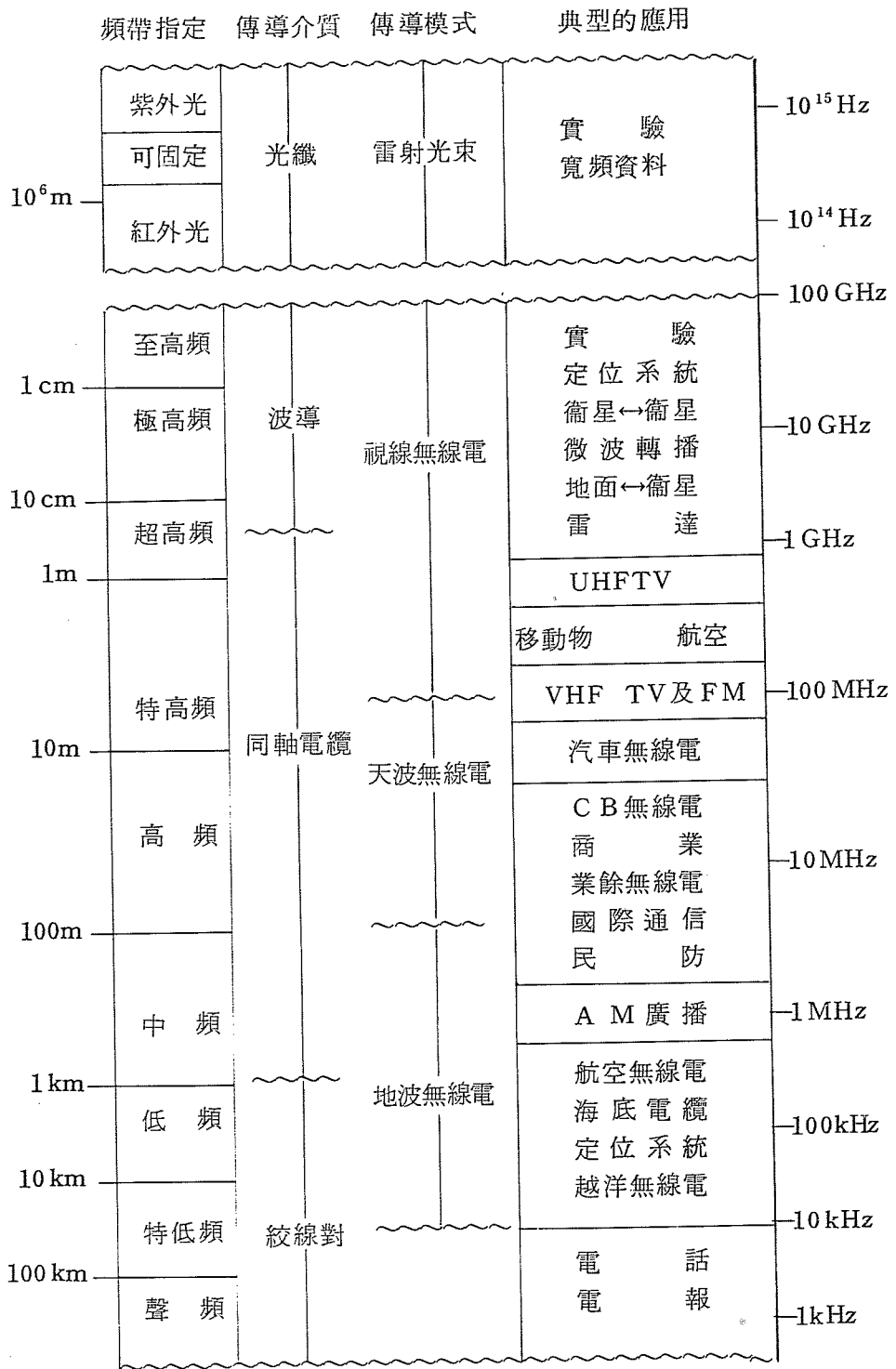


3. WDM

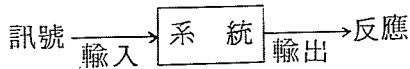


四、波段

各種用途的波段及其傳輸介質：(其下圖)



五、訊號與系統



(一)訊號的分類

1. { 能量訊號 (Energy signal) : 其能量為有限值。
 功率訊號 (Power signal) : 其平均功率為有限值。

(1)就電機系統而言，電阻 R 所消耗的瞬時功率定義為

$$p(t) = \frac{|e(t)|^2}{R} \text{ watts, 或者}$$

$$p(t) = |i(t)|^2 R \text{ watts}$$

$e(t)$, $i(t)$ 分別為電阻上的電位差及流過電阻的電流。

(2)由定義可看出功率與訊號的平方成正比，在通訊理論中，皆假設電阻為 1Ω ，故平均功率定義為：

$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |f(t)|^2 dt$$

(3)能量則寫成

$$E = \int_{t_1}^{t_2} |f(t)|^2 dt \text{ joules}$$

(4)A. 則能量訊號必須滿足

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt < \infty$$

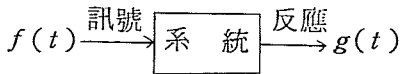
B. 功率訊號必須滿足

$$0 < \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} |f(t)|^2 dt < \infty$$

2. { 週期性 (Periodic) 訊號 : $f(t+T) = f(t)$ for all t
 非週期性 (Aperiodic) 訊號。

3. { 隨機信號 (Random) : 不可預期。
不隨機信號 (deterministic) : 無不確定因素。

(二)系統分類：



$$g(t) = \mathcal{T}\{f(t)\} \quad \mathcal{T}: \text{運算子}$$

1. { 線性 (linear)

{ 非線性 (Nonlinear)

若系統滿足以下條件，則稱為線性系統，否則即為非線性系統：

$$\text{若 } g_1(t) = \mathcal{T}\{f_1(t)\} \text{ 且 } g_2(t) = \mathcal{T}\{f_2(t)\}$$

$$\text{則 } \mathcal{T}\{a_1 f_1(t) + a_2 f_2(t)\} = a_1 g_1(t) + a_2 g_2(t)$$

其中 a_1, a_2 為常數

2. { 時變 (Time-varying)

{ 非時變 (Time-invariant)

若系統滿足下一條件，則稱為非時變系統。即系統的輸出只與時間差有關，與時間本身無關。不滿足此一條件，則為時變系統：

$$\text{對任何時間 } t_0, g(t - t_0) = \mathcal{T}\{f(t - t_0)\}$$

3. { 可實現系統 (Realizable)

{ 不可實現系統 (Nonrealizable)

若系統在沒有輸入前，不會有輸出（有因才有果），則為可實現系統。即系統在時間 t_0 時的輸出， $g(t_0)$ ，只與 t_0 之前的輸入 $f(t)$ ， $t \leq t_0$ 有關，此系統又稱 Causal，反之則為不可實現系統。將 Causal 的意義以數學方式表示如下：

$x(t)$ 為輸入， $y(t)$ 為輸出

$$\text{若 } x(t) = 0 \quad t \leq t_0$$

$$\text{則 } y(t) = 0 \quad t \leq t_0$$

4. { 立即式或不具記憶能力系統 (instantaneous)

{ 動態或有記憶能力系統 (dynamic)

若任一時刻的輸出只與當時的輸入有關，則稱為立即式系統，反之則為動態系統。

5. { 穩定系統 (Stable) : bounded-input-bounded output

{ 不穩定系統 (Unstable)

穩定系統：若系統輸入為有限值，其輸出必為有限值。反之稱為不穩定系統。

6. { 連續式系統 (Continuous) : 輸入為連續性訊號，輸出必為連續性訊號。

{ 分離式系統 (Discrete) : 輸入為分離性訊號，輸出必為分離性訊號。

{ 複合式系統 (Hybrid) : 異於前兩者的皆是。

(三)系統的表示

1. 一線性系統可以其脈衝反應函數 $h(t, \lambda)$ 來表示，