

Background and Preview

The communication process
Primary communication resources
Sources of information
Communication networks
Communication channels
Modulation process
Analog and digital types of communication
Shannon's information capacity theorem
A digital communication problem

0-1/45

The communication process (1/3)

通訊的種類：電話、電腦、報紙...

通訊的用途：陸海空、天氣預測...

基本觀念：經一些過程將information從某一點送到另一點

Message signal的產生：音、影、電腦資料

Symbol：描述Message signal，電、聲、光

Encoding：適合使用媒體

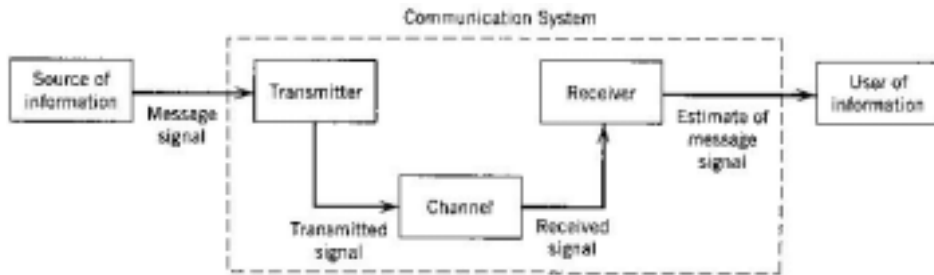
Transmission：送至目的地

Decoding and reproduction：Original symbol

Re-creation：Original message (degradation)

0-2/45

The communication process (2/3)



通訊系統基本元素

Transmitter : 將message signal轉成適合傳輸

Channel : Distortion; Noise and interference

Receiver : Received signal (corrupted transmitted signal) → original message signal

0-3/45

The communication process (3/3)

兩種基本通訊模式

Broadcasting: Single transmitter, numerous receiver, one direction; 收音機、電視

Point-to-point communication: A link between a single transmitter and a receiver, usually bidirection; 電話、衛星地面站控制外星機器人

通訊系統共同特性

通訊過程本質上是統計的

0-4/45

Primary communication resources (1/2)

主要的通訊資源

Transmitted power and Channel bandwidth

Transmitted power: Average power of transmitted signal

Channel bandwidth: Band of frequencies allocated for the transmission of the message signal

Communication Channel：儘量有效利用資源，
但有時某一項較重要(並非另一項不重要)

Power limited：例如，外太空或衛星通訊鏈路

Band limited：例如，電話電路

0-5/45

Primary communication resources (2/2)

頻寬、雜訊

頻寬：超出某頻率(最高、最低)之頻譜內容可忽略，此最高與最低頻率差

聲音可超過10 kHz, 能量集中在100-600 Hz, 300-3100
提供良好的清晰度

雜訊：可來自於系統內或外

指通訊系統中不想要的波，其會破壞傳輸或訊息訊號處理

$SNR = \text{average signal power} / \text{average noise power}$

$dB \text{ (decibel)} = 10 \log_{10} (\text{power ratio})$

0-6/45

Sources of information (1/8)

前言

Speech, Music, Pictures, Computer data

Signal: a function of time

One-dimension: speech, music, computer data

Two-dimension: pictures

Three-dimension: video data

Four-dimension: volume data over time

Speech

由speaker到listener的三個階段: Production
(Filter)、Propagation、Perception

0-7/45

Sources of information (2/8)

Music

兩種結構: Melodic、Harmonic

Speech signal與Music signal皆為bipolar

頻寬較大(到15 kHz), 較佔channel bandwidth

Pictures: Dynamic (TV), Static (Fax)

TV: camera sequentially scans the pictures in
motion to converted them into electrical signals.

Video signal (黑白TV): 影像→感光物質→電子束,
空間→時間.

Raster (光柵) scanning: 二維影像強度轉成一維波形

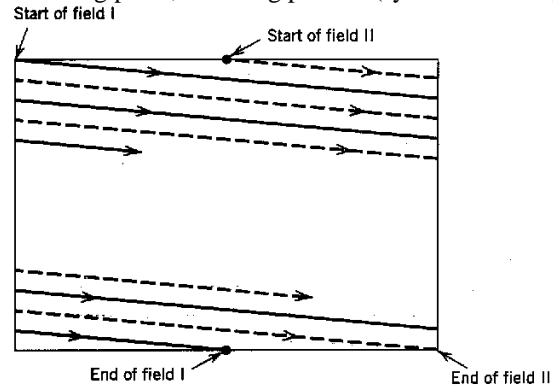
0-8/45

Sources of information (3/8)

北美frame=525條，用interlaced fields (262.5*2)

Horizontal retrace, vertical retrace, persistence of vision
30 frames (60 fields)/sec, so line-scanning freq=15.75 kHz

Blanking pulse, Blanking periods (synchronization)



0-9/45

Sources of information (4/8)

決定電視影像品質的兩個基本因素(可議)

線數：限制垂直方向的解析度(黑白交替的最大次數)

可用的channel bandwidth：限制水平方向的解析度

NTSC定video bandwidth=4.2 MHz

Signal為unipolar (positive)

Color TV: R(570 nm), G(535nm), B(445nm)三原色

為節省頻寬及讓原黑白單色電視可收看而表為

亮度訊號($m_L(t)$, 4.2 MHz)：彩色影像的黑白版

彩度訊號($m_I(t)$ 1.6 M, $m_Q(t)$ 0.6 MHz)：與灰階之差距

Fax：scan \rightarrow sensor (將光轉為電)

0-10/45

Sources of information (5/8)

Computer data

ASCII

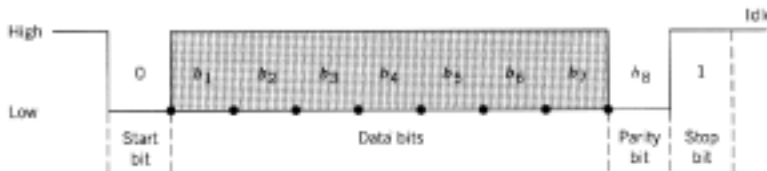
7 bits, 文數字、標點、通訊及列印控制符號

Error detection: parity bit (odd or even)

RS-232: start bit, stop bit, 1(low, mark), 0(high, space)

Transmission: asynchronous, synchronous

Multiplexer, Modem, wide-band signal, bursty vs continuous



0-11/45

Sources of information (6/8)

Compression: download, encoder and decoder

Lossless: data compaction, 移去redundant

Lempel-Ziv algorithm: for text, lossless, 55% compression rate, entropic (source) coding

Lossy: 資訊以有控制方式漏失, 壓縮率較高

適用於音訊視訊, 不明顯影響感受品質。在醫學影像則需重構時品質不可變差

JPEG image coding standard: 用在彩色或灰階

Pixel以 8×8 為一個block, 透過DCT (discrete cosine transform)產生64個係數

DCT的目標: 係數儘可能uncorrelated; 儘可能集中在最小部分的係數

量化: 依量化表(使用者提供)將每個係數編成8 bits, 因為many-to-one mapping, 所以有失真

0-12/45

Sources of information (7/8)

Huffman coding: 最後再提供不失真壓縮，提高壓縮率
重構時：反向操作，Huffman decoding, dequantization, inverse DCT

MPEG-1/video coding standard: 30 frames/s, 1.5 Mbps

利用視訊資料四種本質上的redundancy: Interframe (temporal) redundancy, Interpixel redundancy within a frame, Psychovisual redundancy, Entropic coding redundancy

Interframe redundancy: MPEG主要別於JPEG的地方，畫面與相鄰畫面是highly related，其差別的variance (average power)比畫面本身小很多。所以可使用預測方式預測差距，且只傳差距

Interpixel redundancy: 同MPEG使用DCT, quantization, lossless entropic coding

Video-on-demand on the Internet: 因有MPEG AV壓縮

0-13/45

Sources of information (8/8)

MPEG-1/audio coding standard: perceptual coding, waveform-preserving process

Time-frequency mapping: 分成多個subband

Psychoacoustic modeling: 計算某些門檻值

Quantization and coding

Frame-packing

Auditory masking: 低於masking threshold的noise無感覺

Minimum masking threshold: 使用在聽覺心理模型，每個頻帶不同值

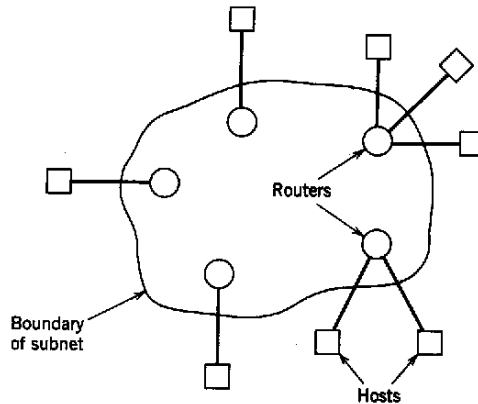
例子：768 kbps (48 kHz, 16 bits) → 16 kbps

0-14/45

Communication networks (1/8)

(Communication) Network

由互連的router組成，多個hosts連至router



0-15/45

Communication networks (2/8)

Telephone network: circuit switching

Dedicated communication path, circuit, 由links組成。建立後不受他人影響

Call request: 通訊前需先經所有路途至目的地且得到回應

Transparent: 頻寬及資源獨自使用直到disconnected
適用：頻寬使用需有效率，所以適用在即時、持續、高比例之訊務

Circuit switching: fixed allocation basis

Packet switching: demand basis，所以可充分使用頻寬資源

0-16/45

Communication networks (3/8)

Packet switching: store and forward

Message → Packet

Network resources shared dynamically by hosts

適合computer communication, 但需有control

Data Network: 由computers及terminals組成

Layered architecture: layer即system內某些功能集合

Designer需熟layer內部細節、User(上層即下層之user)則視為black box

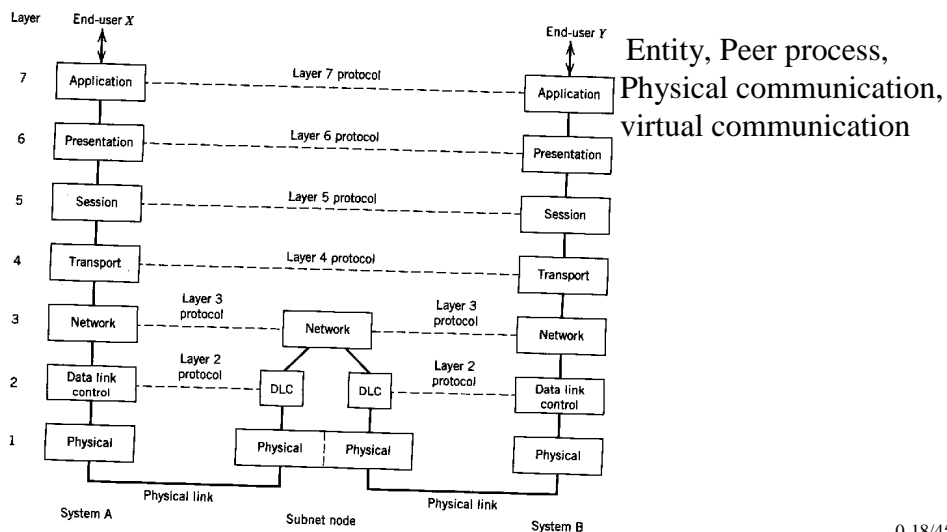
OSI reference model

Layer (level), Interface, 上下層關係

Layer k protocol: rules, conventions

0-17/45

Communication networks (4/8)

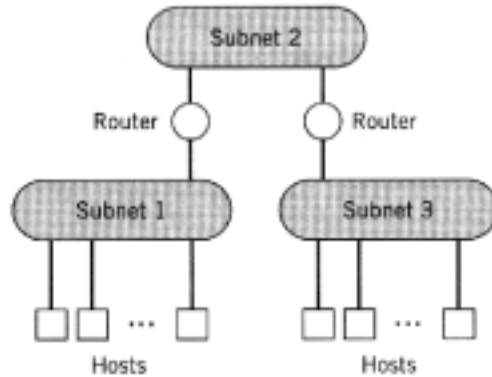


0-18/45

Communication networks (5/8)



Internet: Hosts, Routers, Subnets組成



應用程式與網路技術分離

Host: 資料起始或終結處

Router: 在子網路邊界之中
介點

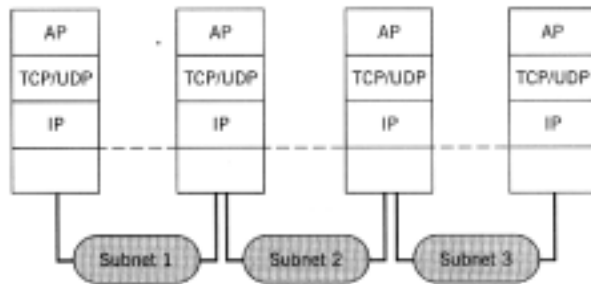
Subnet: 內之host直接互換
資料

0-19/45

Communication networks (6/8)



Layered protocol



AP: Application protocol
TCP: Transmission control protocol
UDP: User datagram protocol
IP: Internet protocol

Internet protocol (IP):
network layer,
addressing

Router: 目的位址,
routing table, routing
protocol

Best effort service: 盡
力送, 但不保證送達

0-20/45

Communication networks (7/8)

Broadband networks (B-ISDN)

因應多元應用及傳輸技術之進步

底層為ATM

高頻寬(適合VoD)、低延遲(適合即時)、似分封(實為cell)交換的交換及多工技術

Not synchronous (實指多工)

屬連接導向：保留順序，無需重排

主要目的是分配網路資源(頻寬、緩衝器、處理馬力)，使符合QoS (cell loss ratio, cell delay, cell delay variation)

B-ISDN (ATM)提供QoS vs. Internet提供best effort service

0-21/45

Communication networks (8/8)

SONET: B-ISDN所用之光纖傳輸系統

使用TDM, 為synchronous (實指傳輸)

Frame: 810 bytes/125 μ s=51.84 Mbps

8 k-sampling rate同數位語音

Byte-interleaved之多工產生高階的data rate

<i>Level^a</i>	<i>Data Rate (Mb/s)</i>
OC-1	51.84
OC-3	155.52
OC-9	466.56
OC-12	622.08
OC-18	933.12
OC-24	1,244.16
OC-36	1,866.24
OC-48	2,488.32

^aOC stands for optical carrier level.

0-22/45

Communication channels (1/7)

兩大類: Guided, Free

Guided propagation

Telephone channels: circuit switching, 只使用電的訊號, 所以需有transducer (20 - 8000 Hz)

Speaker: Microphone; Listener: Moving coil receiver

Bandwidth-limited channel: 因需多人共用, 所以最小化頻寬需求(以主觀測試其可辨識性, 一般限在300-3100 Hz)

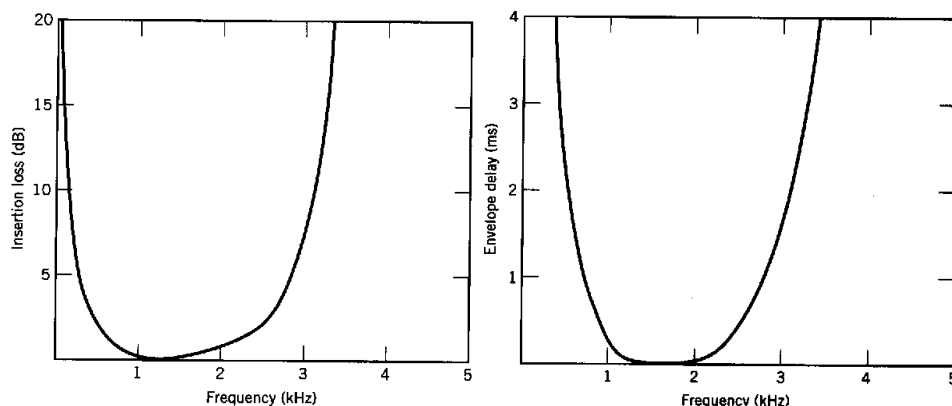
Insertion loss = $10 \log_{10}(P_0/P_L)$, P 為Power from a source to a load, P_0 表直接, P_L 表經某channel

Envelope delay: 對角頻率 ω 之導數取負值

Dispersive nature 見下圖

0-23/45

Communication channels (2/7)



雙絞線: 兩相絞銅線, 外覆PVC, 數對同在一纜線
捻絞每英尺2-12次, 特性阻抗90-110 ohms
相鄰對線會有EMI, 捻絞可改善

0-24/45

Communication channels (3/7)

Coaxial cables:有內外導體由介電絕緣物質隔開

內導體為銅，裝在介電物質中，外導體材質則可能銅、鍍錫的銅或鍍銅的鐵，特性阻抗為50-75 ohms

對EMI的免疫力及頻寬皆較雙絞線佳，所以傳輸速率也較高，可達20 Mbps，一般為10 Mbps (?)

雙絞線用在點對點，同軸電纜則當multiple-access media LAN (local area network)

CATV (cable-television, community-antenna television) system, head end為CATV的中之源發單元，所有訊號在此轉承處理

Optical fibers:一種介電波導，用以傳送光的訊號

Core, cladding layer為silica glass, jacket為塑膠

特性：高頻寬(載波 2×10^{14} Hz, 頻寬約1/10)、低漏失(0.1 dB/km)、無EMI、輕巧、韌性彈性、低成本(指原料)

0-25/45

Communication channels (4/7)

Free propagation

Wireless broadcast channels:電視、收音機訊號

訊號調變至某一載波(區別某一電台)

傳送端天線：Transition or matching unit (調變訊號源及空間電磁波之間)

設計目標：儘可能有效地將波激發在需要的方向上

通常置於塔上，以得較遠無阻礙的視野

繞射現象使得波之進行會沿地球表面彎曲，亦使得超出視線之傳播變成可能

接收端天線：收集輻射波，與傳送端構成通訊link

超外差式(superheterodyne):先降轉到IF (intermediate frequency) band，再使用適當的detector

0-26/45

Communication channels (5/7)

Mobile radio channels：藉由本身廣播能力，以提供mobility到現有的電信網路

Mobile radio:包含陸上可(不一定在)移動的傳送或接收器
天線使mobile unit在多建築物區內得以運作

無視線之通訊路徑，而靠建築物表面之散射及越過或繞過之繞射，導致multipath phenomenon

多重路徑現象：至接收端的各種無線電波，來自不同的方向，具有不同的時間延遲。實際上，各傳播路徑的長度不同，對接收訊號有各種不同組合之貢獻。結果此種通道為linear time-varying channel

Satellite channels:藉由大區域的涵蓋面對公眾電信網路提供另一無價的空間

可提供纜線或光纖未達區域的遠端接取

0-27/45

Communication channels (6/7)

Geostationary orbit: 22300 miles, 在赤道上方向東方運行。所以地面站無需追蹤衛星

同步衛星的獨特功能：大區域涵蓋面、可靠傳輸鏈路、高傳輸頻寬

衛星可提供之服務：長途至遠方固定點對點的鏈路、對移動平台(飛行器、船)通訊、廣播功能

組成：Earth station, uplink, transponder, downlink

角色上實為一repeater，常用頻帶為4/6 GHz

屬性：微波設備較便宜、對雨水衰減低、天空背景雜訊(來自銀河、太陽、地球，在1-10 GHz間最低)不明顯

通常分配500 MHz頻寬，分12轉送器，每個約36 MHz，至少可載送一彩色電視訊號、1200語音電路、50 Mbps數位資料

0-28/45

Communication channels (7/7)

總結

通訊通道為通訊系統運作之中心，其特性決定系統資訊承載力及可提供之服務品質

可以不同方式分類

線性或非線性：wireless radio channel為線性，但衛星通道則常(非一定)為非線性

非時變或時變：光纖為非時變、mobile radio channel為時變

頻寬受限或功率受限：電話通道為頻寬受限、光纖鏈路及衛星通道為功率受限

0-29/45

Modulation process (1/3)

Modulation的動機與意義及Demodulation

動機：修正(modify)訊號使之適合傳輸，多工

意義：依訊息訊號改變載波的某些參數

解調：接收器收到衰減過的傳輸訊號，再生原訊號所牽涉到的過程，與傳送器調變相反

整個系統效能之衰減與調變方法有關

0-30/45

Modulation process (1/5)

調變分類

Continuous-wave (CW) modulation: carrier 為弦波

Pulse modulation: 載波 為週期性方波

0-31/45

Modulation process (2/5)

Continuous-wave (CW) modulation:

Amplitude modulation (AM): 改變載波振幅

Angle modulation: 改變載波的角度

Frequency modulation: 改變載波瞬間的頻率

Phase modulation: 改變載波瞬間的相位

0-32/45

Modulation process (3/5)

Pulse modulation:

類比類型：取樣值改變載波的某些參數

Pulse-amplitude modulation (PAM)

Pulse-duration modulation (PDM)

Pulse-position modulation (PPM)

數位類型：Pulse-code modulation (PCM)

PAM → 量化 (成某些離散值) → 編碼 (成 binary symbols)

量化過程會漏失資訊，所以不能正確重構，但當量化階數夠大時，其失真人類感受不出

受歡迎的原因：強韌(再生)、有彈性、整合性、安全性

0-33/45

Modulation process (4/5)

調變的重要利益

確定適合在給定的通道上傳輸

多工：組合多個訊號同時在相同通道上傳輸

0-34/45

Modulation process (5/5)

Frequency-division multiplexing (FDM)

藉由不同載波頻率的CW調變至通道的某個頻帶

接收端使用一組濾波器去分離不同的調變訊號

Crosstalk:不同頻帶的訊號相互影響，由於通道的非線性

Wavelength-division multiplexing (WDM):主要使用在光纖上
FDM的另一種形式，使用不同的波長(或color)

Time-division multiplexing (TDM)

Pulse modulation用以定位不同訊息的取樣在不重疊的時槽

每個訊息使用整個頻帶，在一種時間分享的基礎上

Code-division multiplexing (CDM)

每個訊息藉由不同的碼來區分

每個訊息可在通道上相同時間及頻帶重疊

0-35/45

Analog and digital types of communication (1/4)

通訊系統(傳送器、接收器)的設計準則

將資訊源產生的訊號編碼/調變 → 經通道傳送 → 接收器產生合乎要求的估測

在合理的成本下

數位通訊系統

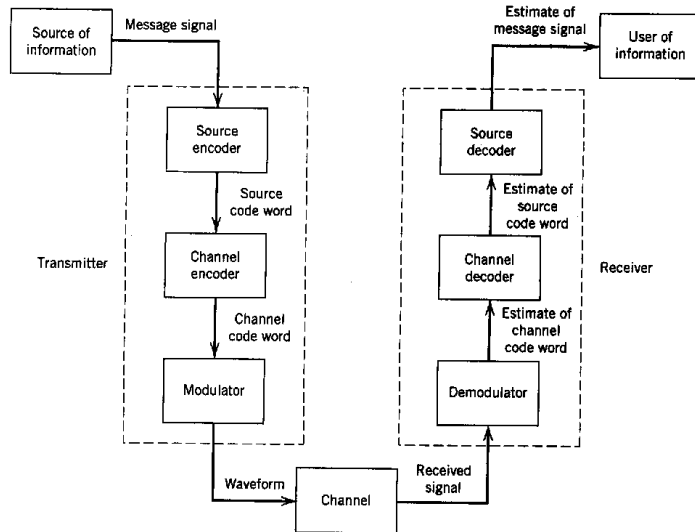
功能方塊: Source encoder-decoder, Channel encoder-decoder, Modulator-demodulator

Source encoder移去訊息訊號中的冗餘資訊，以有效利用通道，產生source code word

Channel encoder加入有控制的冗餘成某種結構，產生channel code word較source code word長

0-36/45

Analog and digital types of communication (2/4)



0-37/45

Analog and digital types of communication (3/4)

調變器將channel code word 的每個symbol表成對應的類比符號，即成waveform，適合在通道上傳輸

接收器將通道輸出(接收訊號)反向處理，重構原訊息訊號的可辨識版本

在觀念上較複雜，但建構較易，且較強韌

0-38/45

Analog and digital types of communication (4/4)

類比通訊系統

觀念較易：因類比調變，與電視收音機差不多

系統設計者對裁製波形使之適合通道之空間不大

建構較難：因線性及系統調節力要求較嚴格

語音通訊要求非線性失真在40 dB以下

訊號處理方面，調變解調細節視CW調變類型而定

比較數位通訊系統：依數位通訊理論找出適合通道特性的
波形可有效傳輸資訊，所以數位通訊較有效率及可靠

學類比通訊的原因

周遭之類比通訊(電視收音機)應去了解，且才有動機學其他數位調變

類比元件電路運作較高速且功率消耗較小

0-39/45

Shannon's information capacity theorem (1/2)

通訊系統設計目標

在某些限制下(允許的傳輸功率、可用的通道頻寬、合理成本)，有效率及可靠地傳輸訊息

Shannon's Information capacity theorem

理想狀況下，可在雜訊的通道下得到0 BER

BER (bit error rate):數位通訊系統之效率通常表為在接收端測得BER(或稱probability of bit error)

C資訊容量:資訊可在通道上無錯誤傳輸的最高速率，以bit per second (b/s, bps)為單位

0-40/45

Shannon's information capacity theorem (2/2)

Information capacity theorem: $C = B \log_2(1 + \text{SNR})$,

B為通道頻寬，SNR為訊號雜訊比

實際的signaling rate (b/s) R比C小

此理論並未告知如何達到C，但仍很有價值

給定B及SNR則C為理論上界，則效率 $\eta = R/C$

可知B及SNR間的交易，可用寬頻調變增加抗雜訊力

提供不同調變方法間之雜訊效能

0-41/45

A digital communication problem (1/4)

位元錯誤(率)

低表一長串位元流，只有一小部分是錯誤的

符號解碼錯誤與否是設計數位通訊系統之重心

了解通訊系統基本議題

Random binary signal $m(t) = 1$ or 0 (相同機率)，符號1以+1位階，0以-1位階，時間長度T

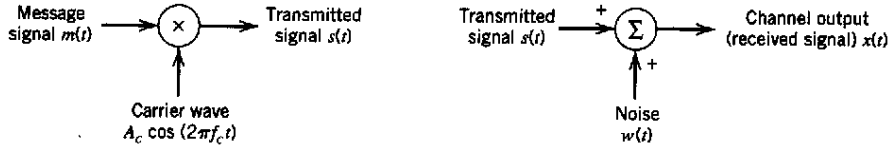
使用phase-shift keying，載波 $A_c \cos(2\pi f_c t)$ ， f_c 是 $1/T$ 的倍數

for $0 \leq t \leq T$

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t) & \text{for symbol 1} \\ -A_c \cos(2\pi f_c t) & \text{for symbol 0} \end{cases}$$

0-42/45

A digital communication problem (2/4)



假設通道為distortionless but noisy , 則 $x(t)=s(t)+w(t)$, $w(t)$ 為 additive channel noise

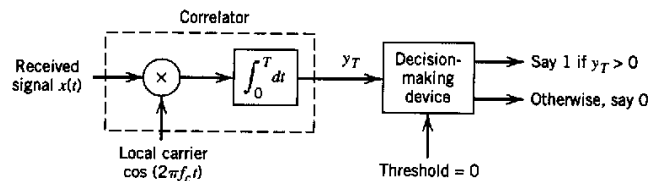
接收器: correlator + decision making device

Correlator: 乘上載波再積分得

$$y_T = \int_0^T x(t) \cos(2\pi f_c t) dt = \begin{cases} +A_c/2 + w_T & \text{for symbol 1} \\ -A_c/2 + w_T & \text{for symbol 0} \end{cases}$$

0-43/45

A digital communication problem (3/4)



Decisio-making device: y_T 大於0則為1 , 否則為0

0-44/45

A digital communication problem (4/4)

一些議題

依傅立葉分析pulse的time-bandwidth product為定數，即 $1/T$ 與頻寬成正比。乘上弦波，其傅立葉轉換左右各移 f_c ，大小乘 $1/2$

所以 $m(t)$ ，即要求的通道頻寬與 $1/T$ (signaling rate)成正比

一些理論考量

接收器為何是那樣的架構

w_1 是random variable W ，取樣自某個realization $w(t)$, $t=T$ 。 W 的統計與channel noise的統計特性間的關係為何

接收器做出錯誤決策的機率為何

一些實際議題

如何選擇調變方法以有效節省頻寬

如何用實際可實現的方式設計通道的編解碼器以趨近Shannon's theory

同步問題：carrier phase, symbol timing