



ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

Chương Tầng vật lý

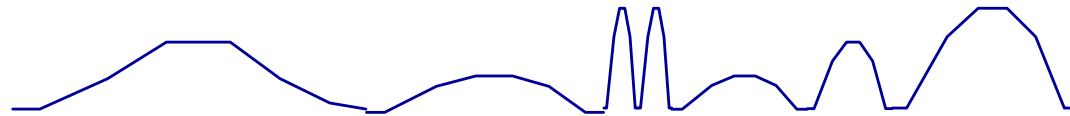
Đọc trước: Chapter 2 – The Physical Layer ,
Computer Networks, Tanenbaum

Tổng quan

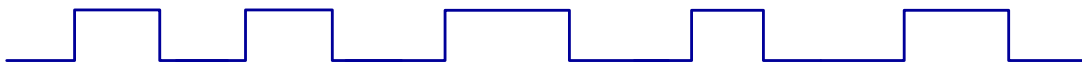
- Đảm nhận việc truyền dòng bit
 - đặt dòng bit từ máy trạm lên đường truyền
 - lấy dòng bit từ đường truyền vào máy trạm
- Một số vấn đề
 - Phương tiện truyền
 - Mã hóa - Điều chế
 - Dồn kênh...

Từ tín hiệu tới gói tin

Analog Signal



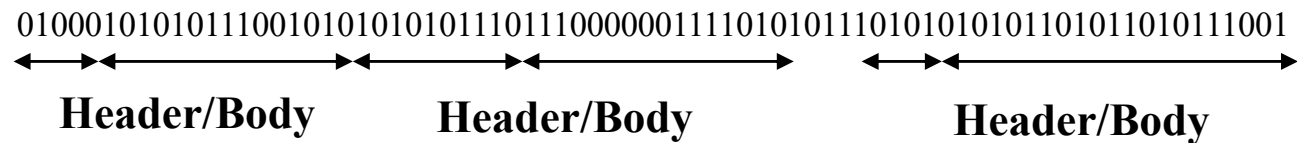
“Digital” Signal



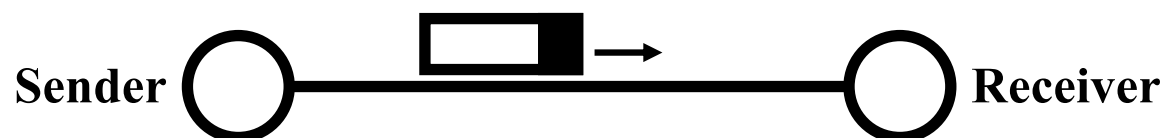
Bit Stream

0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1

Packets



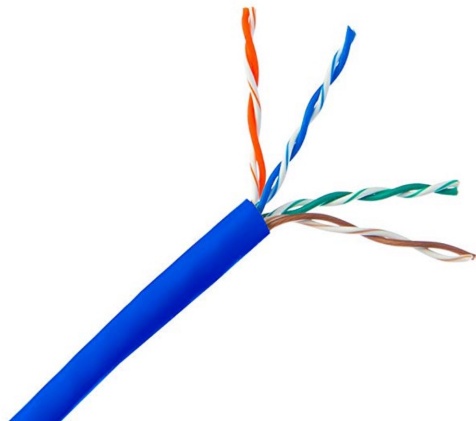
Packet
Transmission



Đường truyền

- Hữu tuyến, có dây
 - Twisted Pair
 - Coaxial Cable
 - Fiber Optics
- Vô tuyến, không dây
 - Radio
 - Hồng ngoại
 - Ánh sáng
 - ...

Cáp xoắn đôi Twisted Pair



(a)



(b)

(a) Category 3 UTP.

(b) Category 5 UTP.

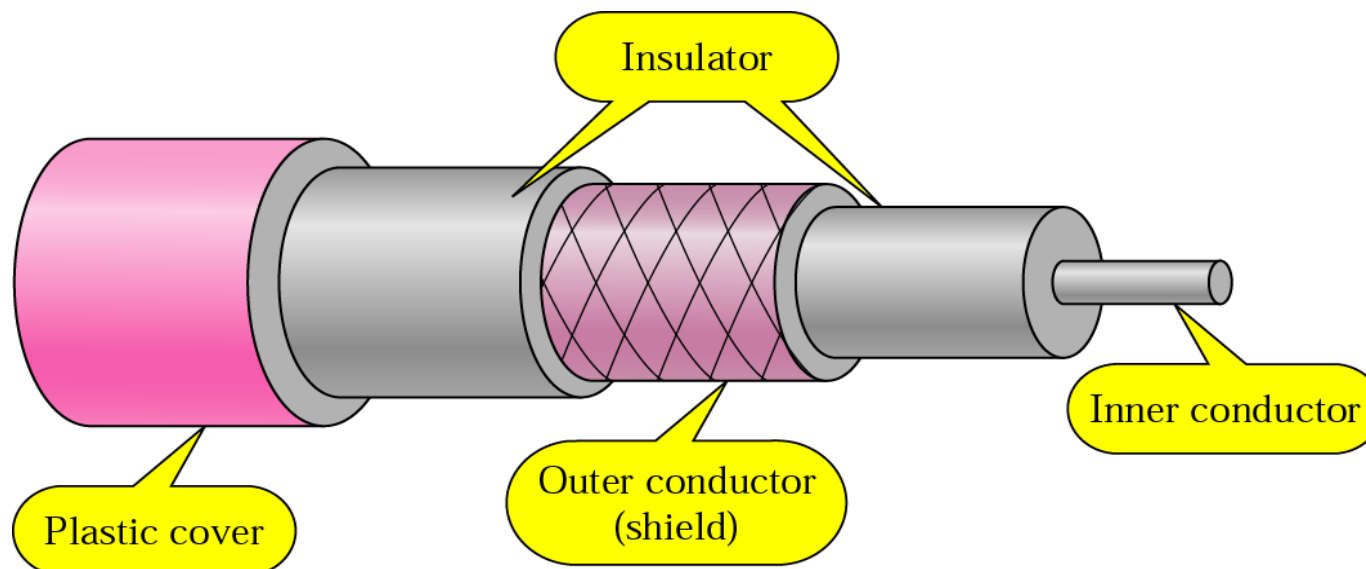
Cáp xoắn đôi

- **Cấu tạo:** Gồm nhiều cặp dây đồng xoắn với nhau.
- Có 2 loại:
 - Có bọc kim chống nhiễu (STP- Shielded Twisted Pair): ít phổ biến
 - Không bọc kim chống nhiễu (UTP- Unshielded Twisted Pair): phổ biến

Cáp xoắn đôi- Đánh giá

- Đơn giản
- Rẻ tiền
- Được dùng rộng rãi
- Khả năng chống nhiễu kém (STP chống nhiễu tốt hơn UTP)
- Khoảng cách nhỏ
- Khoảng cách hạn chế 100m khi triển khai mạng Ethernet
- Giải thông hạn chế (x1MHz)
- Tốc độ hạn chế (100MHz)

Cáp đồng trục Coaxial Cable



Category	Impedance	Use
RG-59	75 Ω	Cable TV
RG-58	50 Ω	Thin Ethernet
RG-11	50 Ω	Thick Ethernet

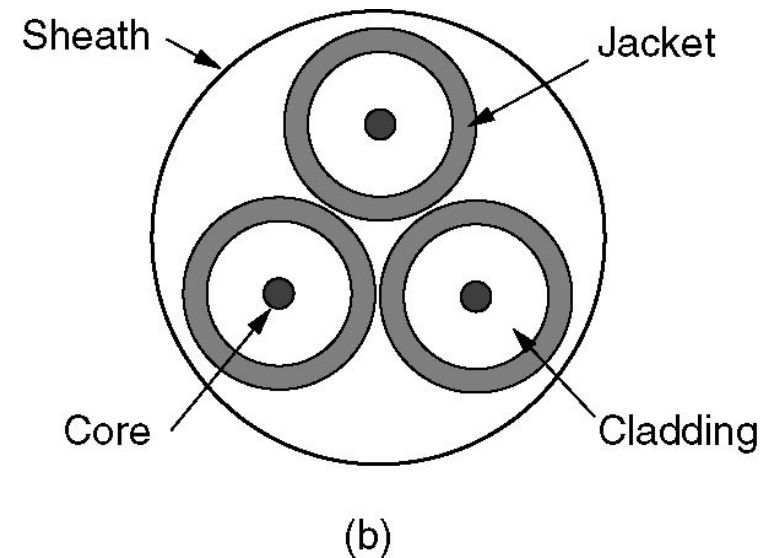
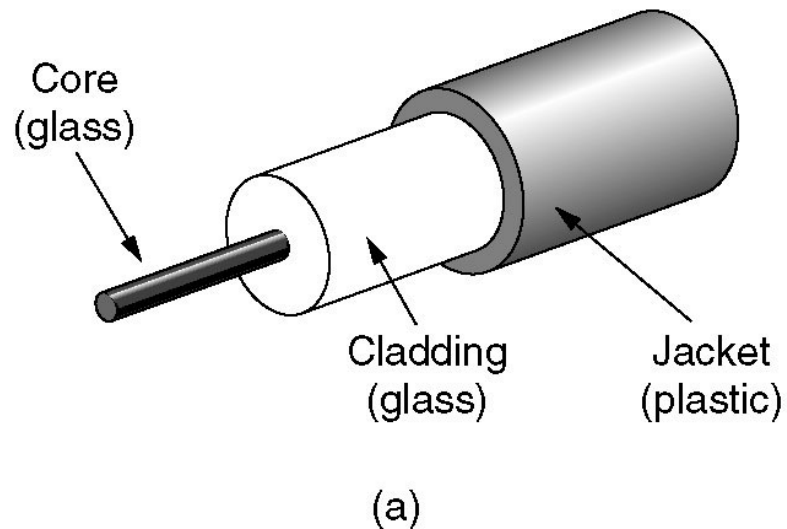
Cáp đồng trục

- Cấu tạo:
 - Lõi dẫn điện được bọc bởi một lớp điện môi không dẫn điện
 - Quấn thêm một lớp bện kim loại
 - Ngoài cùng có vỏ bọc cách điện

Ứng dụng

- Truyền bá TV
- Truyền các cuộc gọi điện thoại đường dài
 - 10,000 cuộc gọi cùng lúc
 - Đang bị thay thế bởi cáp quang
- Liên kết các máy tính khoảng cách ngắn
- Mạng cục bộ 10BaseT, 100BaseT, ...
- Khoảng cách triển khai thực tế ~500m.

Cáp sợi quang Optical fiber



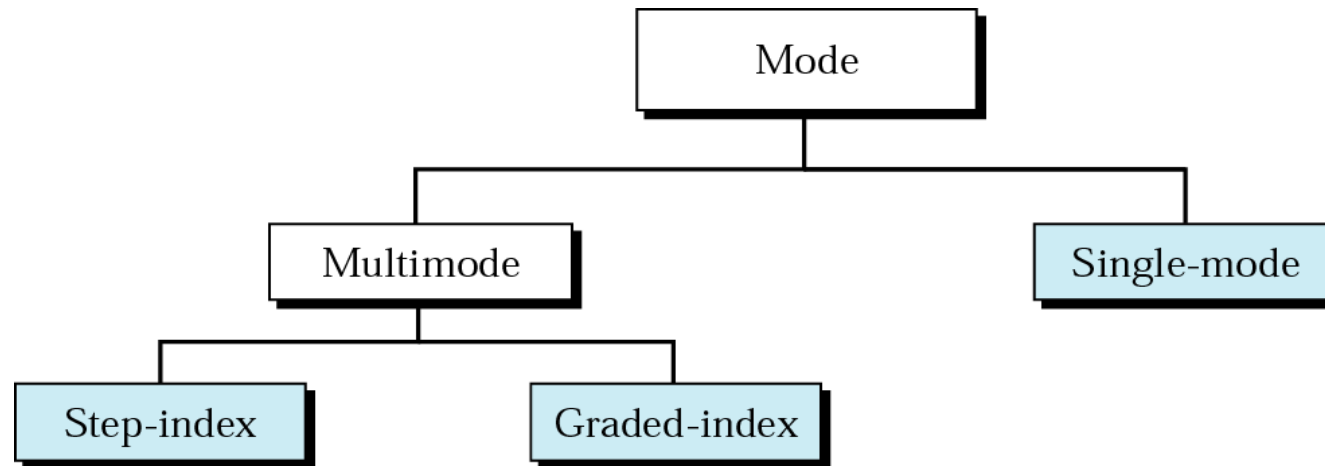
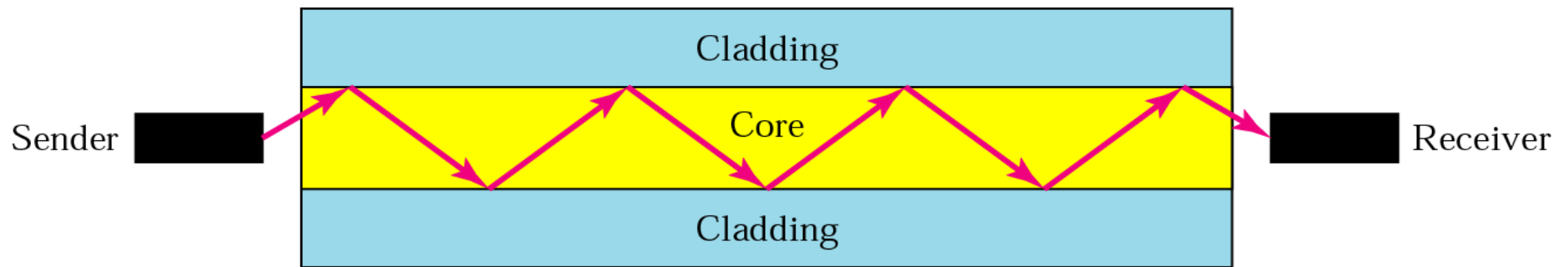
(a) Một sợi cáp

(b) Một đường cáp với 3 lõi

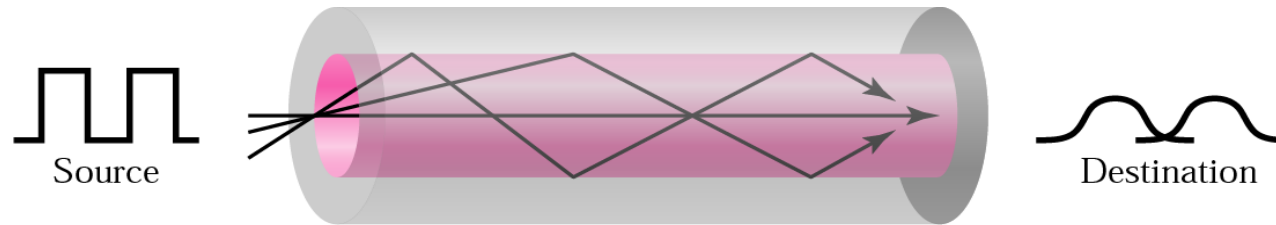
Cáp sợi quang

- Cấu tạo
 - Core: lớp lõi là sợi thủy tinh hoặc sợi plastic để truyền tín hiệu ánh sáng
 - Cladding: Vật chất quang bên ngoài bao bọc lõi mà phản xạ ánh sáng trở lại vào lõi.
 - Jacket: vỏ bọc bên ngoài
- Các sợi quang có thể được bó với nhau trong một đường cáp quang, có thêm sợi dây gia cường làm cứng cáp

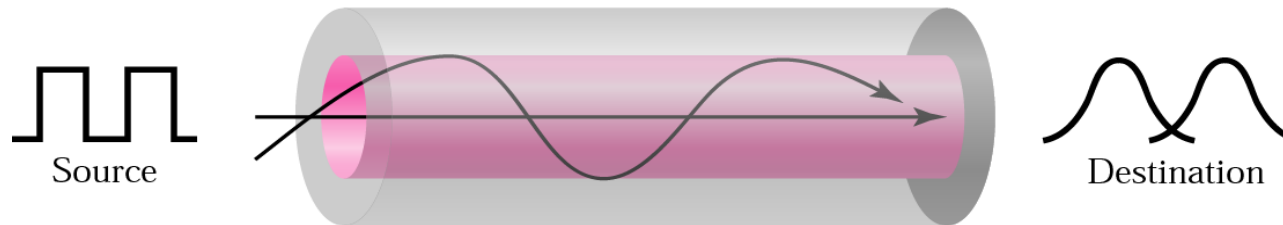
Cáp sợi quang



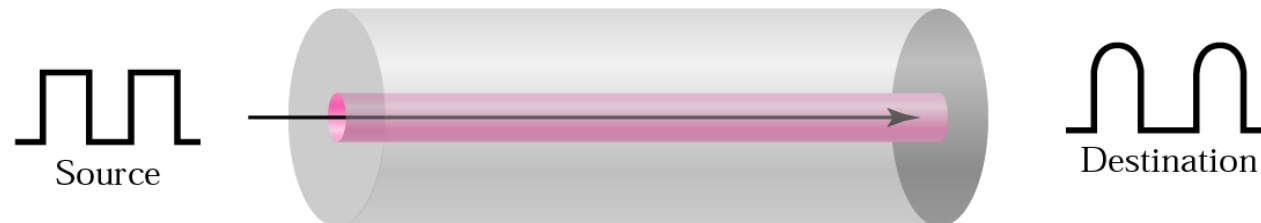
Cáp sợi quang



a. Multimode, step-index



b. Multimode, graded-index



c. Single-mode

Cáp sợi quang

- Multimode stepped index (chiết suất bước):
 - nhiều tia sáng đi theo nhiều đường
 - tại điểm đến sẽ nhận các chùm tia riêng lẻ,
 - xung dễ bị méo dạng.
- Multimode graded index (chiết suất liên tục):
 - Chỉ số khúc xạ của lõi giảm dần từ trong ra ngoài cladding.
 - Các tia gần trục truyền chậm hơn các tia gần cladding. Các tia truyền theo đường cong.
 - xung ít bị méo dạng.

Cáp sợi quang

- Single mode:
 - hệ số khúc xạ thay đổi từ lõi ra cladding ít hơn multimode.
 - Các tia truyền theo phương song song trục.
 - Xung nhận được hội tụ tốt, ít méo dạng.

Ứng dụng

- Đường truyền khoảng cách xa
- Đường truyền trong thành phố
- Đường truyền giữa các router của Cty viễn thông
- Xương sống của LAN
- Thông lượng cao hơn
- Nhỏ, nhẹ hơn
- Suy hao ít hơn
- Cách ly điện từ tốt
- Khoảng cách phải lặp tín hiệu lớn hơn :
 - 10km → multimode
 - 40 km → single mode

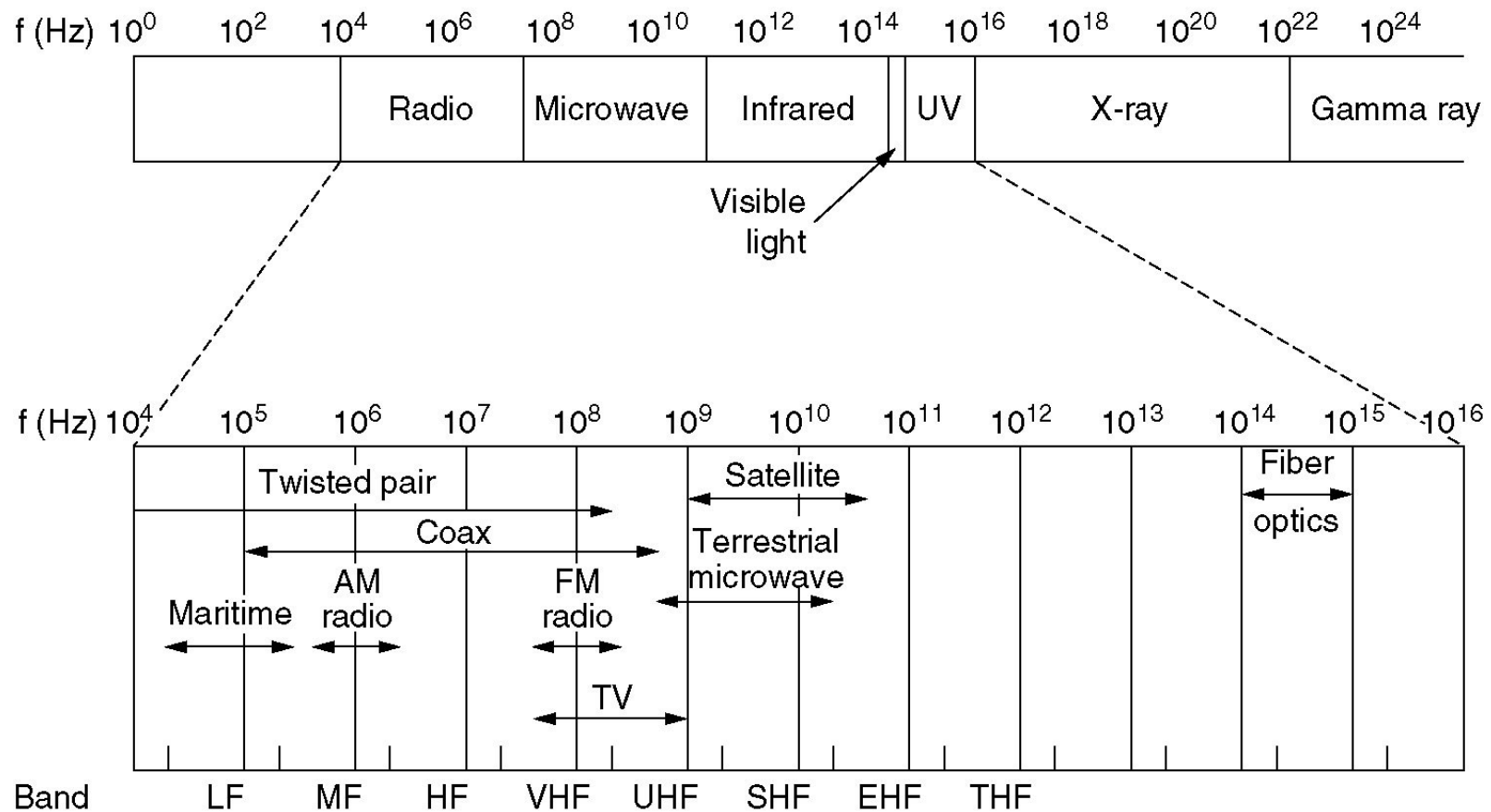
Phương tiện truyền không dây

- Truyền thông tin trên các dải tần khác nhau của sóng điện từ
- Không sử dụng dây nối
- Thông thường truyền broadcast, bán song công: tại một thời điểm chỉ hoặc gửi hoặc nhận
- Ảnh hưởng của môi trường gây ra các hiện tượng:
 - ✓ Phản xạ
 - ✓ Nhiễu/giao thoa
 - ✓ Tán xạ do vật cản

Một vài khái niệm

- Sóng radio:
 - Bước sóng: 1mm – 100.000km
 - Tần số: 3 Hz – 300 GHz
 - VD: Bluetooth, WIFI
- Sóng vi ba (microwave):
 - Bước sóng: 1mm-1 m
 - tần số: 300 MHz-300 GHz
 - Vi ba mặt đất: Kết nối nội thị, hệ thống điện thoại di động
 - Vi ba vệ tinh: TV, điện thoại đường dài
- Hồng ngoại:
 - Bước sóng 700 nm- 1 mm
 - Tần số: 300 GHz-430 THz
 - Phạm vi nhỏ, không xuyên tường
 - VD: sóng dùng cho các bộ điều khiển từ xa
- Free Space Optics
 - Bước sóng dùng phổ biến: 850nm, 1300nm, 1550 nm.

Dải tần của các kênh truyền thông

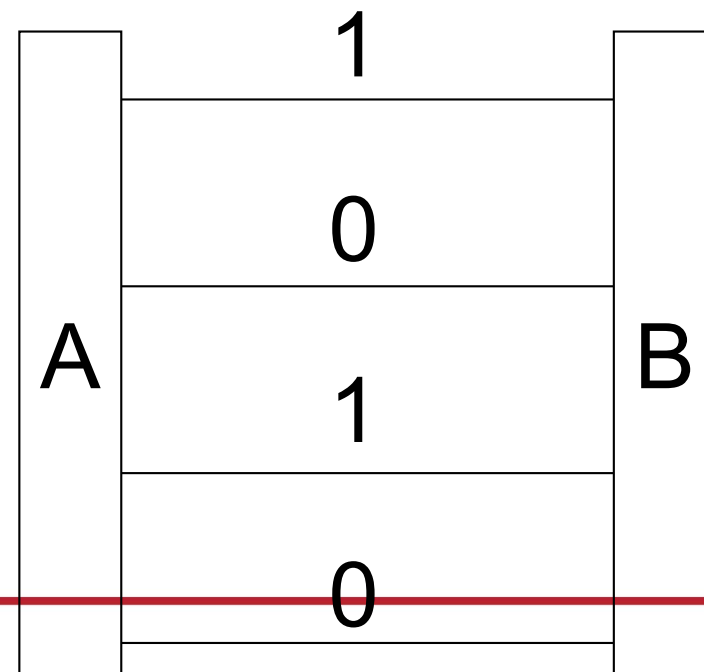
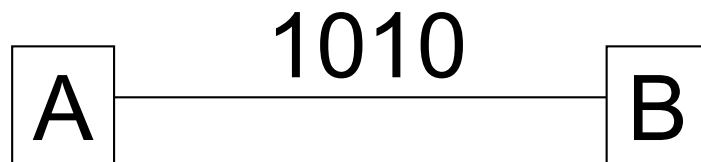


Phương thức truyền

- Đơn công – Simplex: Dữ liệu chỉ được truyền theo 1 chiều
- Song công – (Full) Duplex: Dữ liệu có thể được truyền theo cả 2 chiều tại cùng 1 thời điểm
- Bán song công – Half duplex: Dữ liệu có thể truyền theo cả 2 chiều nhưng tại 1 thời điểm thì chỉ có thể truyền theo 1 chiều

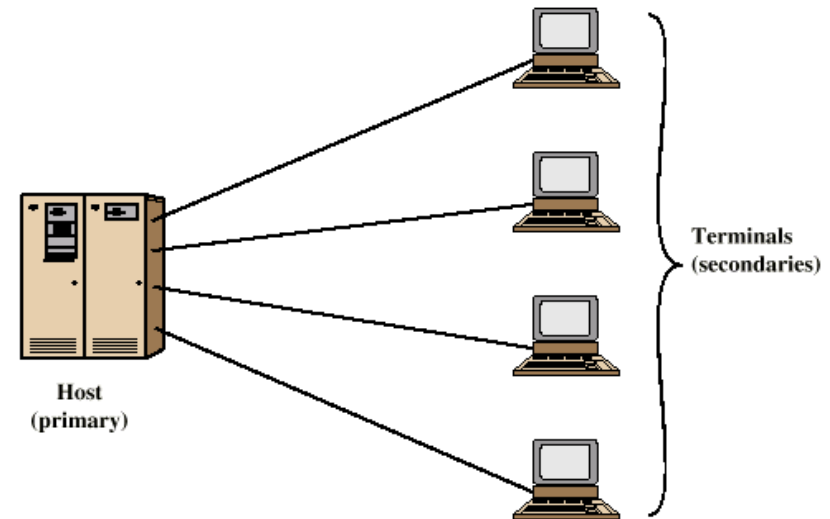
Hình thức truyền

- Truyền nối tiếp: Truyền 1 bit tại 1 thời điểm (trên 1 dây dẫn)
- Truyền song song: Truyền đồng thời nhiều bit tại cùng 1 thời điểm (trên nhiều dây dẫn)

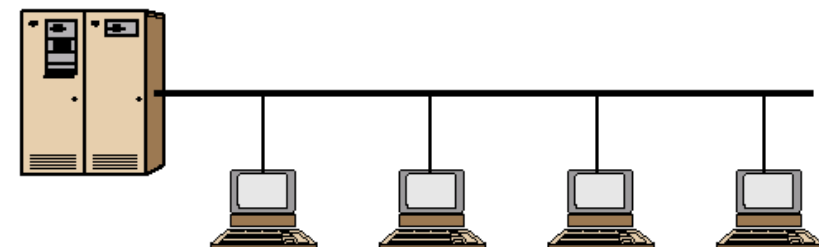


Topology

- Điểm điểm
 - Hình sao
 - Vòng
 - Đồ thị
- Điểm nhiều điểm
 - Trục
 - Vòng
 - Vệ tinh

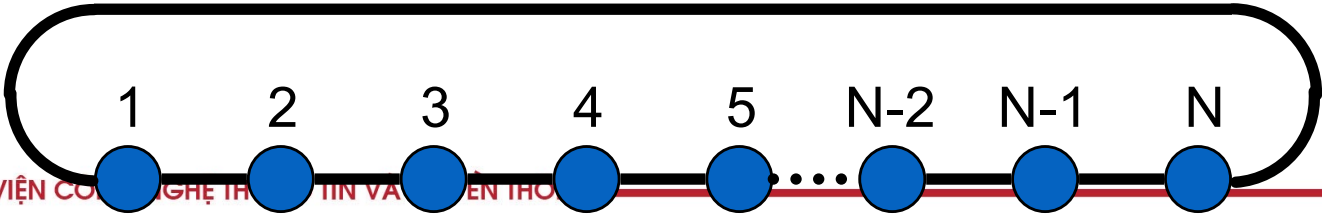
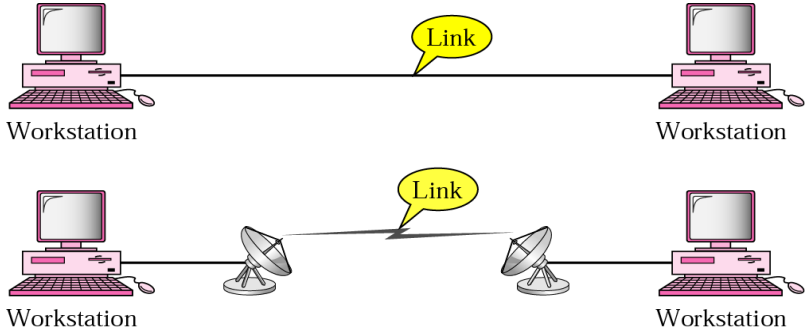
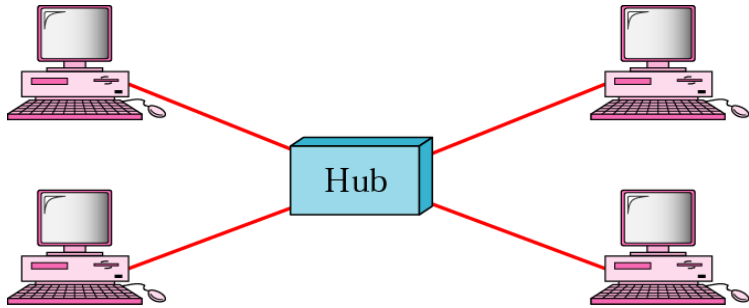
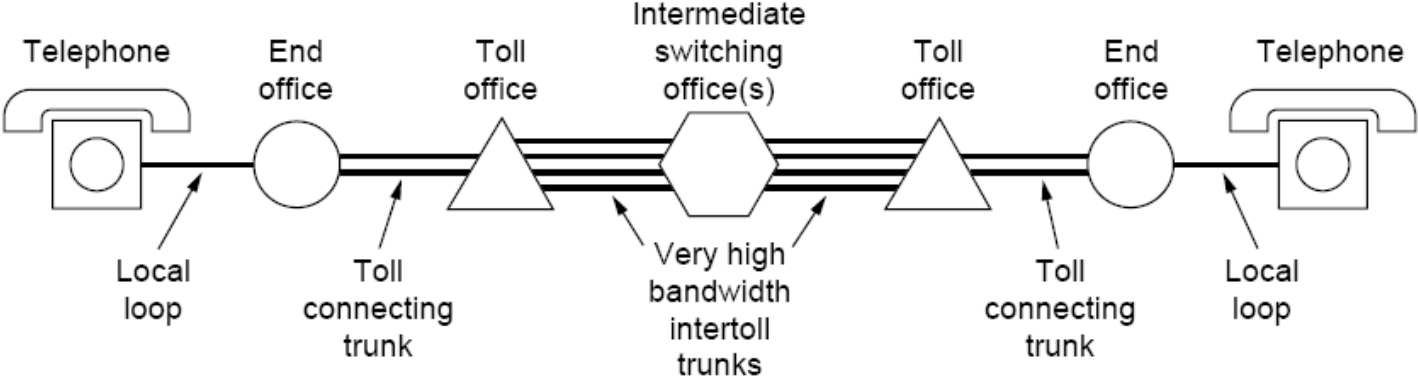


(a) Point-to-point



(b) Multipoint

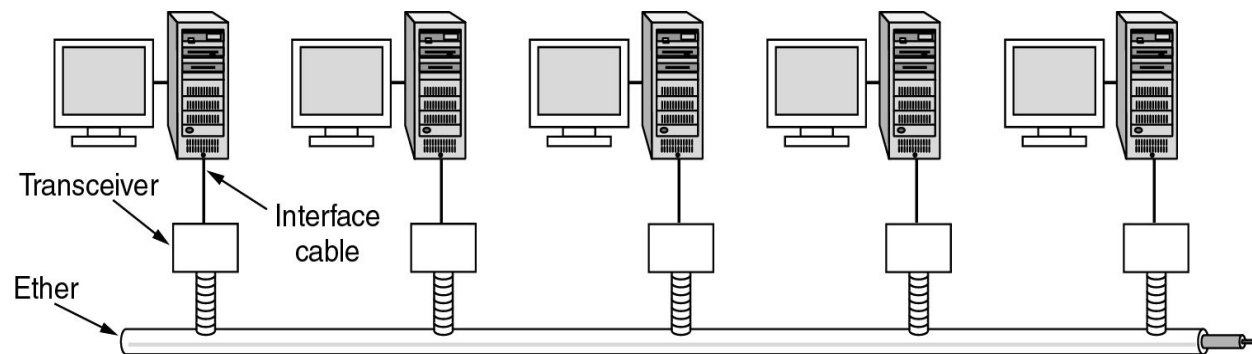
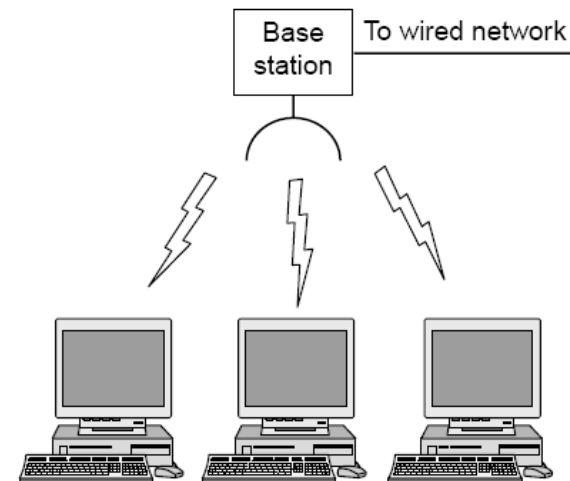
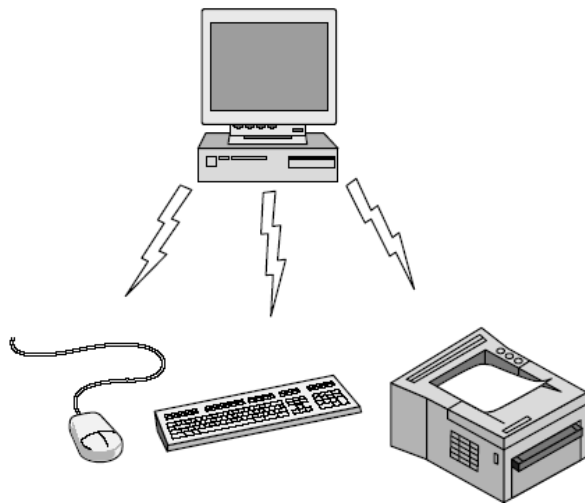
Điểm-điểm



Điểm-điểm

- Một đường truyền chỉ kết nối 2 thiết bị
- Kết nối giữa 2 thiết bị:
 - 1 đường truyền (bán song công) hoặc
 - 2 đường truyền (song công)
- *Trường hợp bán song công có thể có xung đột xảy ra khi 2 thiết bị trên một liên kết cùng truyền dữ liệu*

Điểm-nhiều điểm



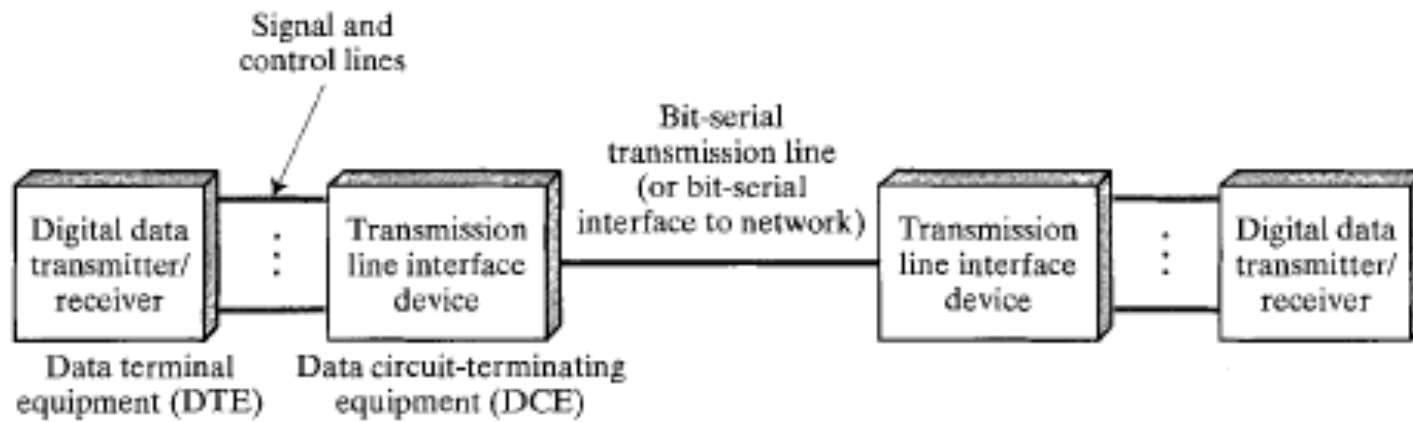
Điểm-nhiều điểm

- Đặc trưng chung của topo điểm – nhiều điểm là một đường truyền duy nhất kết nối nhiều thiết bị đầu cuối với nhau
- Dữ liệu được quảng bá (broadcast)
- Xung đột khi hai trạm cùng phát tín hiệu
→ Hai tín hiệu ngược chiều nhau gặp nhau trên đường truyền
- Cần có các phương pháp điều khiển **đa truy cập (multiple access)** → sẽ xem ở tầng Liên kết dữ liệu.

Giao diện đường truyền

- Thiết bị đầu cuối dữ liệu (data terminal equipment, DTE)
 - Không có các tính năng truyền thông
 - Cần có các thiết bị bổ sung để truy cập đường truyền
- Thiết bị cuối kênh dữ liệu (data circuit terminating equipment, DCE)
 - Truyền các bit trên đường truyền
 - Trao đổi dữ liệu và các thông tin điều khiển với DTE qua các dây nối
- Cần các giao diện chuẩn, rõ ràng giữa DTE, DCE

DTE-DCE



(a) Generic interface to transmission medium



(b) Typical configuration

Giao diện đường truyền

- Cơ
 - Hình dạng giắc cắm, số lượng chân, đảm bảo cắm được lẫn nhau
- Điện
 - Mức điện áp sử dụng
 - Chiều dài xung (tần số xung nhịp)
 - Phương pháp mã hóa
- Chức năng
 - Dây dẫn nào dùng làm gì
 - Có 4 nhóm: dữ liệu, điều khiển, đồng bộ, nối đất
- Thủ tục
 - Các thủ tục, chuỗi các sự kiện để thực hiện việc truyền tin

Ví dụ: EIA-232-E (RS-232)

- Chuẩn định nghĩa cho cổng nối tiếp
- Cơ: ISO 2110
- Điện: V. 28
- Chức năng: V. 24
- Thủ tục: V. 24

Ví dụ: V.24 /EIA-232-E

- Cơ:
 - 25 chân hoặc 15 chân
 - Khoảng cách 15m
- Điện
 - Tín hiệu số
 - 1=-3v, 0=+3v (NRZ-L)
 - Tốc độ truyền tin 20kbps
 - Khoảng cách < 15m

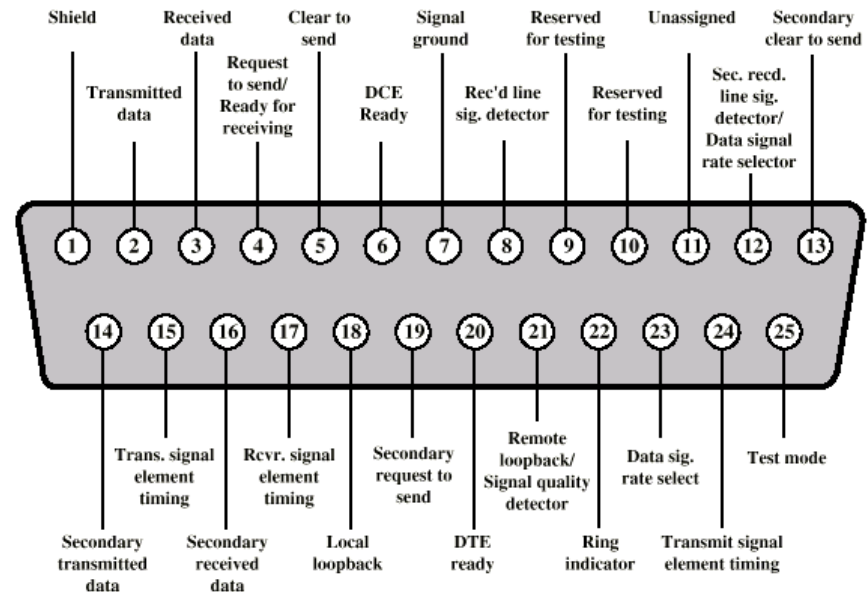


Figure 6.5 Pin Assignments for V.24/EIA-232 (DTE Connector Face)

Mã hóa thông tin

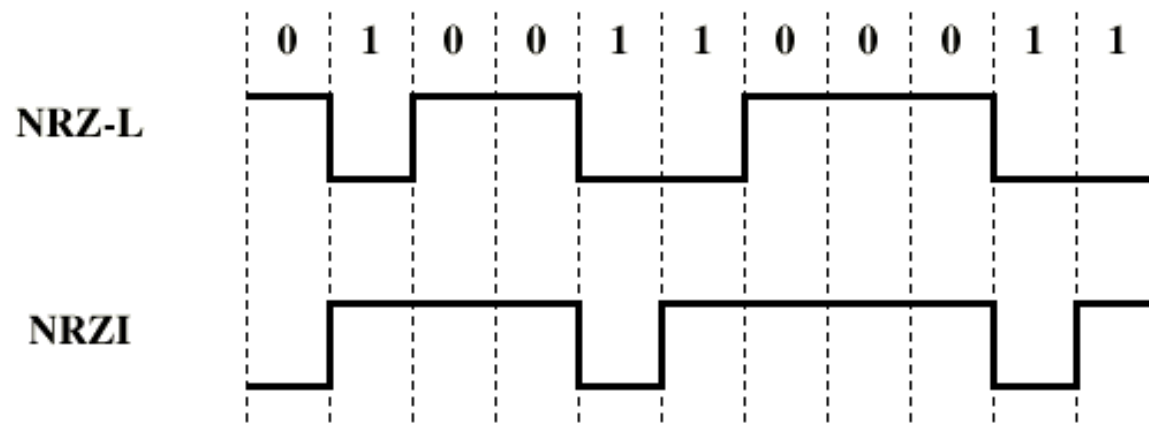
- Biến đổi bit nhị phân thành dạng tín hiệu vật lý thích hợp để truyền trên đường truyền vật lý.
- Mã hóa: Sử dụng các tín hiệu rời rạc, điện áp khác nhau để biểu diễn các bit 0 và 1.
- Điều chế: Sử dụng tín hiệu tương tự (sóng) để biểu diễn các bit 0,1.
- Việc truyền phải được đồng bộ giữa hai bên
- Có thể mã hóa theo từng bit hoặc một khối các bit, e.g., 4 hay 8 bits.
- Có nhiều cách biểu diễn khác nhau → các phương pháp mã hóa

Các phương pháp mã hóa dữ liệu số - tín hiệu số

- NRZ
 - NRZ-L, NRZI
- Nhị phân đa mức
 - Đa cực AMI
 - pseudoternary
- Hai pha
 - Manchester

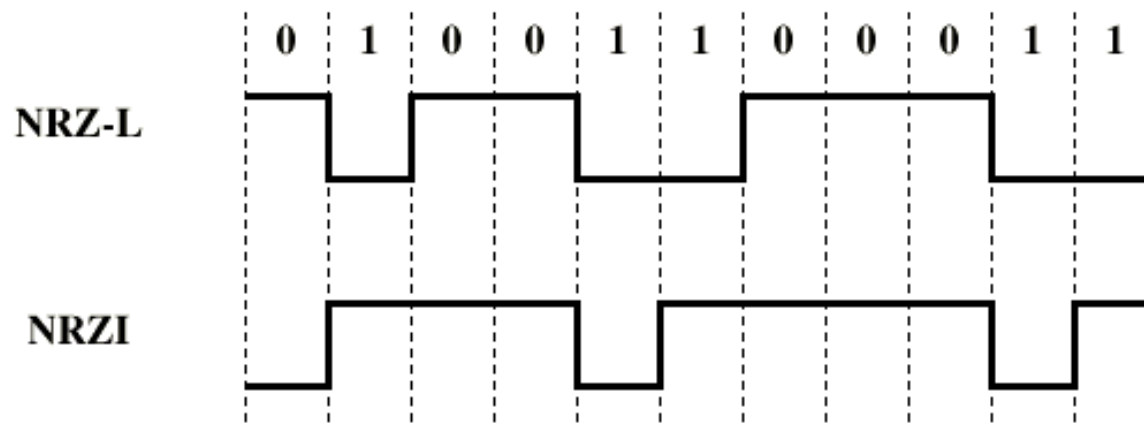
NRZ-L Non Return to Zero Level

- Trong thời gian của một bit, tín hiệu không trở về mức 0
- Không có chuyển mức trong khoảng thời gian của một bit
- NRZ-L Non return to zero level
 - Bit 1 tương ứng mức tín hiệu cao/thấp
 - Bit 0 tương ứng với mức tín hiệu thấp/cao

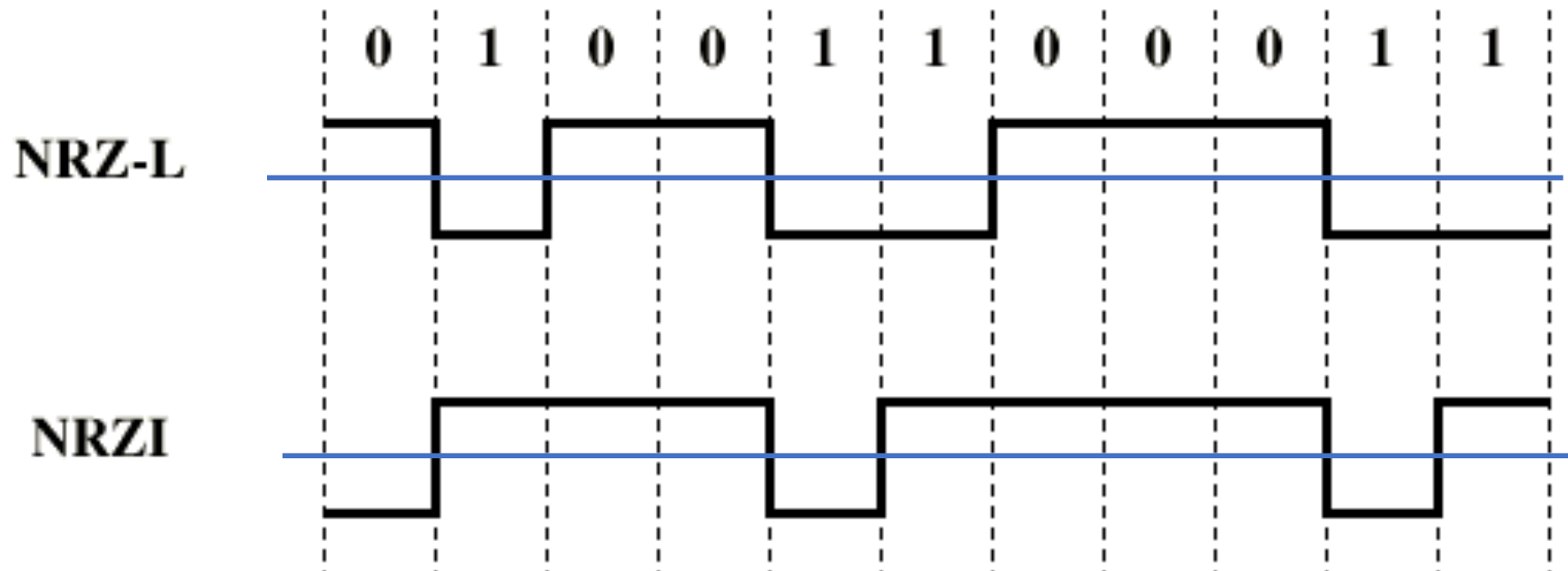


NRZ-I Non return to zero invert

- Bít 0 tương ứng với không chuyển mức ở đầu thời gian bít
- Bít 1 tương ứng với chuyển mức ở đầu thời gian bít
- Là một phương pháp điều chế vi sai:
 - 0 và 1 tương ứng với chuyển mức, không phải với mức giá trị
 - Tin cậy/Đơn giản hơn điều chế theo mức
 - Không phụ thuộc vào cực của tín hiệu



NRZ-L và NRZ-I

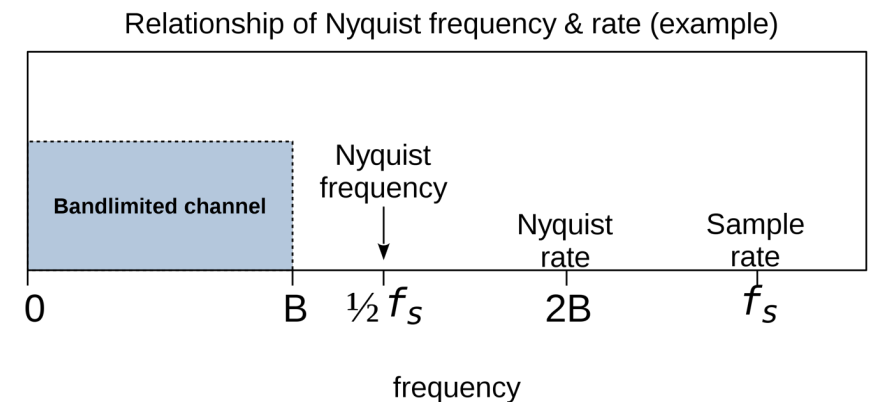


Một số yếu tố cần xem xét để đánh giá một mã

- Tốc độ dữ liệu phát được (bps) với một tốc độ phát ký hiệu (xung) nhất định
- Đồng bộ đồng hồ bên gửi và bên nhận:
 - Nếu đồng hồ bên gửi và bên nhận không được đồng bộ, bên nhận có thể xác định sau thời gian một bit
 - → giải mã sai → tăng tỷ lệ lỗi dữ liệu
 - Một số mã có yếu tố giúp đồng bộ trong mã
- Thành phần một chiều trong tín hiệu:
 - Thành phần một chiều xuất hiện khi tín hiệu ở mức dương quá lâu hoặc âm quá lâu
 - làm cho bên nhận xác định sai mức tín hiệu cơ sở
 - → giải mã sai dữ liệu

Nyquist rate

- Nyquist rate: 2 lần băng thông tối đa của đường truyền.
 - Đường truyền băng thông B (Hz)
 - Nyquist rate = $2B$ (Hz)
- Tốc độ phát xung tối ở chế độ băng thông cơ sở (baseband) của một đường truyền có băng thông B (Hz) là $2B$ (baud=xung/s)



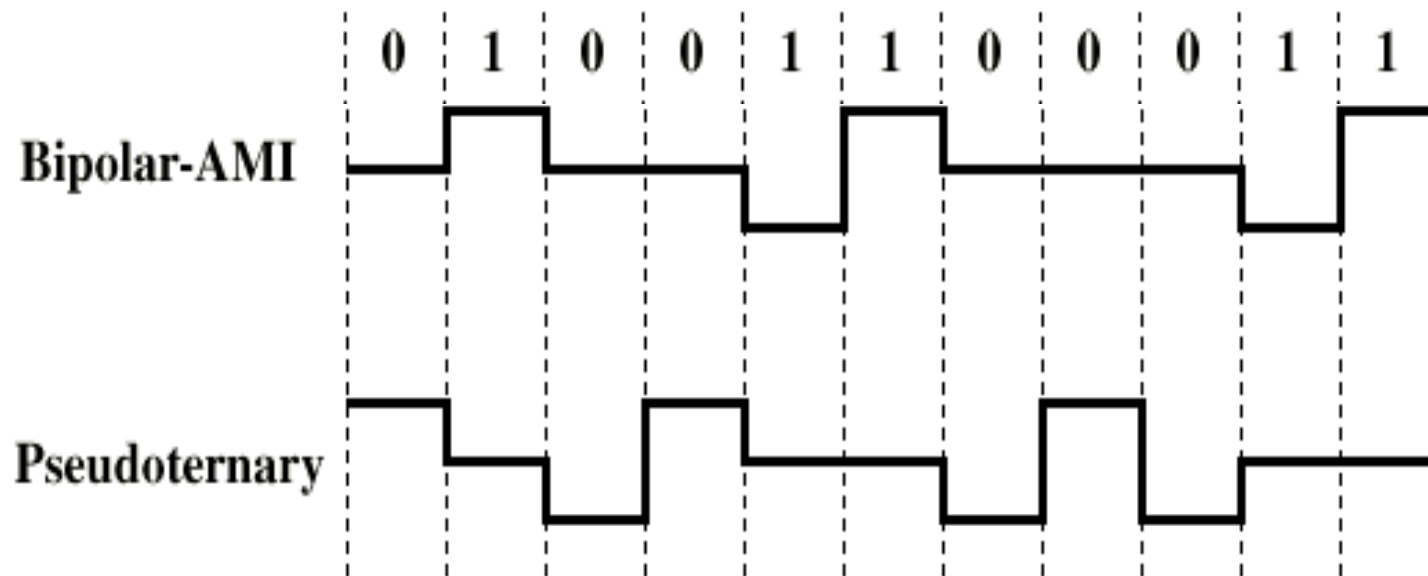
Đánh giá NRZ

- Ưu điểm
 - Đơn giản, sử dụng tối đa đường truyền
 - Giải tần số tập trung từ 0 đến $\frac{1}{2}$ tốc độ dữ liệu
 - Vd 9600bps \rightarrow 4800khz
- Nhược điểm
 - Khó đồng bộ bằng tín hiệu
 - Vd với NRZ-L khi có nhiều 0 hoặc 1 liên tiếp, tín hiệu giữ một mức trong khoảng thời gian dài, dễ mất đồng bộ. Với NRZ-I, một chuỗi 0 cũng gây ra tình trạng như vậy
 - Có thành phần một chiều khi truyền toàn 1.
- Ứng dụng
 - Lưu trữ dữ liệu trên các vật liệu từ tính
 - Ít dùng trong truyền số liệu

Mã nhị phân đa mức

- Bipolar alternate mark inversion
- Sử dụng nhiều hơn 2 mức tín hiệu cho một bit
- Lượng cực đảo mức 1
 - 0 Tương ứng với không có tín hiệu
 - 1 tương ứng với có tín hiệu. Tín hiệu đảo cực giữa hai bit 1 liên tiếp
- Giả tam phân (pseudoternary)
 - 1 Tương ứng với không có tín hiệu
 - 0 tương ứng với có tín hiệu. Tín hiệu đảo cực giữa hai bit 0 liên tiếp

Mã nhị phân đa mức



Mã nhị phân đa mức

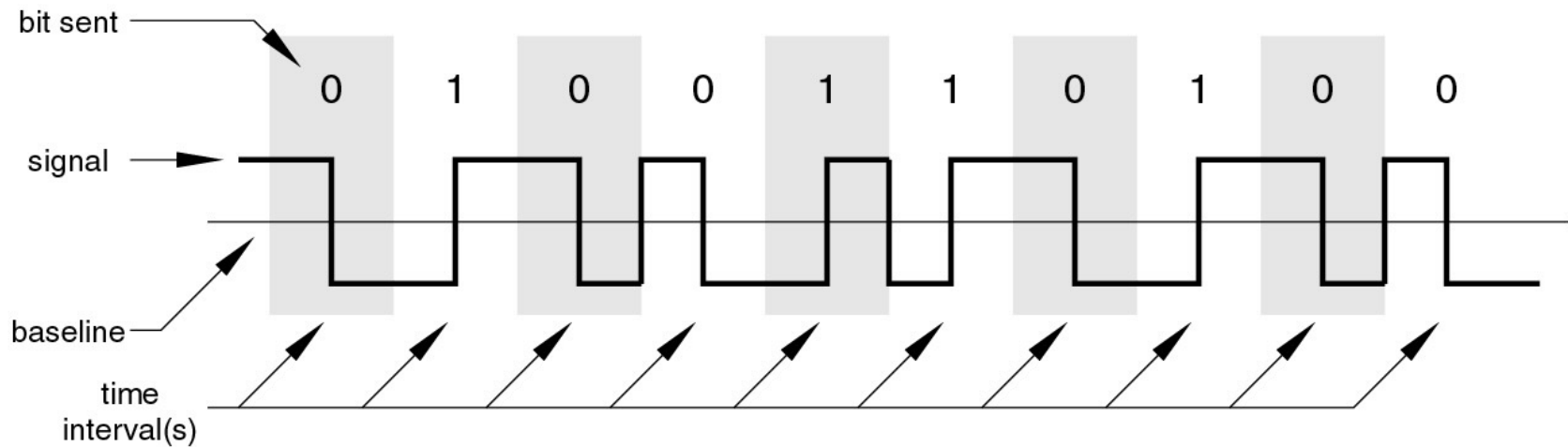
- Thành phần một chiều=0
- Có khả năng phát hiện lỗi
- Đồng bộ khi có nhiều bit 1(0), không đồng bộ khi có nhiều bit 0(1)
- Giải thông thấp hơn
- 3 mức tín hiệu cho một bit:
 - Không sử dụng tối ưu đường truyền
 - Tăng tỉ lệ lỗi (đích cần phân biệt 3 mức tín hiệu)

Mã hai pha: Manchester

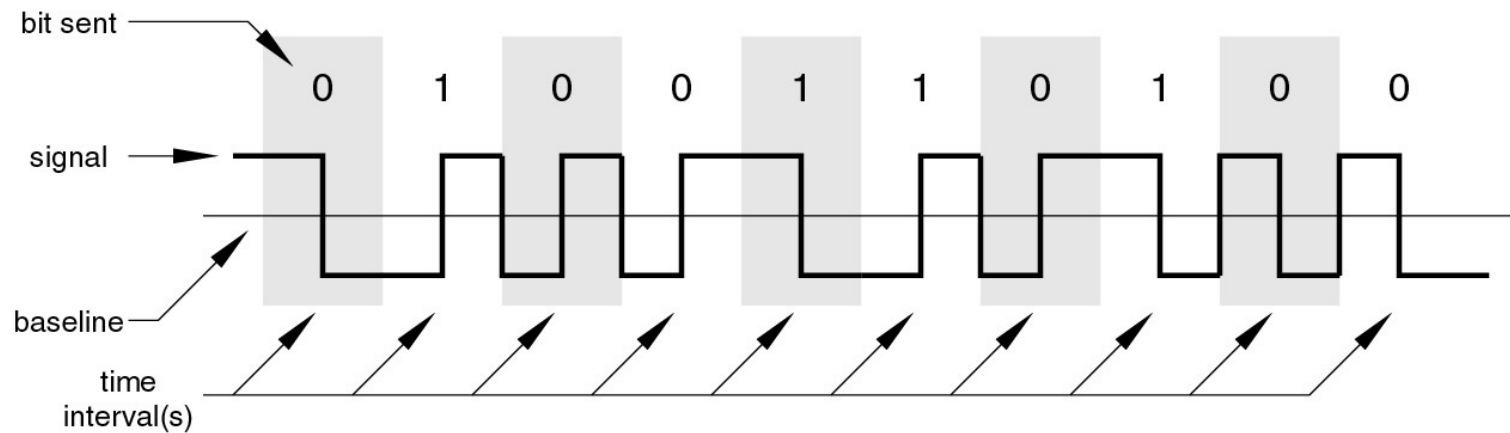
- Luôn luôn có chuyển mức ở giữa thời gian của một bit
 - Thấp lên cao: 1, cao xuống thấp 0
 - Chuyển mức cung cấp cơ chế đồng bộ
- Manchester
 - Bit 0: sườn âm (chuyển từ +V sang -V)
 - Bit 1: sườn dương (chuyển từ -V sang +V)
 - Dùng trong mạng Ethernet.
- Manchester visai
 - 0: có chuyển mức ở đầu bit, 1 không có chuyển mức
 - Chuyển mức ở giữa bit chỉ phục vụ cho đồng bộ
 - Luôn có chuyển mức tín hiệu ở giữa bit
 - Sử dụng trong mạng Token ring

Mã Manchester

Manchester Encoding



Differential Manchester Encoding

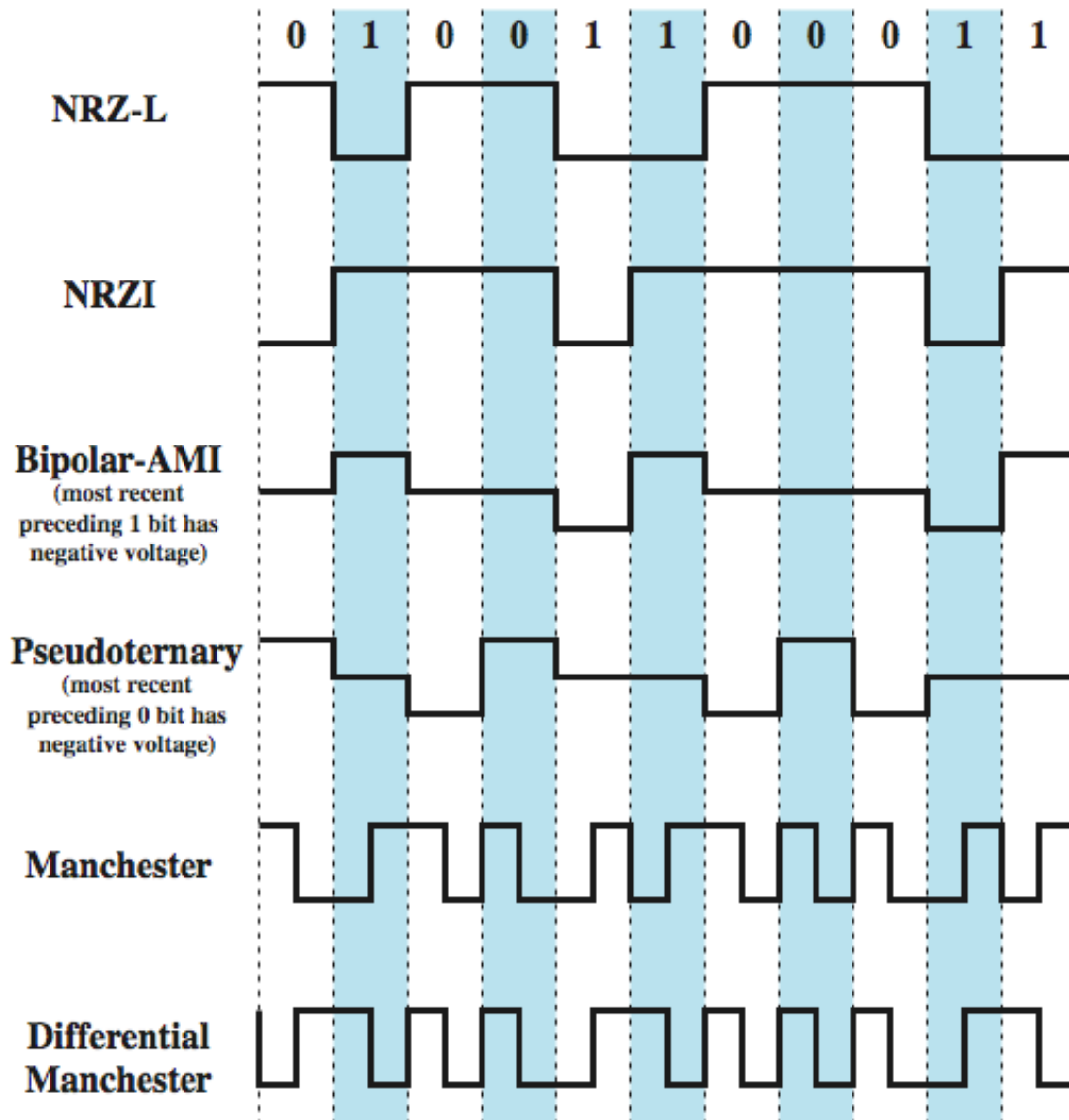


Tốc độ tín hiệu/Tốc độ điều chế

<i>Thuật ngữ</i>	<i>Đơn vị</i>	<i>Định nghĩa</i>
Đơn vị dữ liệu	bit	Một bít đơn, giá trị 0 hoặc 1
Tốc độ dữ liệu	bit/s	Tốc độ truyền các đơn vị dữ liệu
Đơn vị tín hiệu	xung chữ nhật xung hình sin	Phần tín hiệu tương ứng với 1 ký hiệu
Tốc độ tín hiệu Tốc độ điều chế	Đơn vị tín hiệu/s (baud)	Tốc độ truyền các đơn vị tín hiệu

- Có bao nhiêu ký hiệu dùng cho 1 bít trong mã hóa NRZ, Manchester?

Tổng hợp các phương pháp mã hóa



Bài tập-01

- Biểu diễn các tín hiệu mã hóa chuỗi dữ liệu sau đây bằng các phương pháp mã hóa đã học
 - 11000000 11001101
 - Mã NRZ-L
 - Mã Bipolar AMI
 - Mã Manchester

Bài tập-02

- Dữ liệu mã hóa bằng mã manchester (không vi sai) cho tín hiệu
 - Xác định thời gian của từng bit
 - Xác định dữ liệu ban đầu



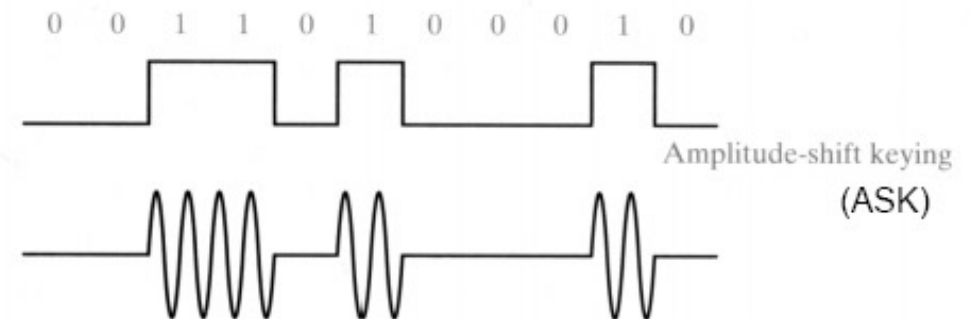
2. Điều chế dữ liệu số-tín hiệu liên tục

- Ví dụ: truyền số liệu thông qua hệ thống điện thoại
 - Hệ thống điện thoại truyền, chuyển tiếp tín hiệu điện có tần số 300Hz đến 3400Hz
 - Tại nguồn và đích, dữ liệu số cần được điều chế thành tín hiệu liên tục để truyền trên đường điện thoại
- Căn cứ vào tính chất của tín hiệu, chúng ta có 3 kỹ thuật điều chế
 - Điều chế khóa dịch biên độ
 - Điều chế khóa dịch pha
 - Điều chế khóa dịch tần số
- $A \cos(2\pi f t + \phi)$

Điều chế khóa dịch biên độ (ASK)

- Biên độ của sóng mang biến đổi theo thông tin cần truyền.
- 0 và 1 tương ứng với hai biên độ tín hiệu, thông thường một trong hai biên độ=0
- Dễ bị ảnh hưởng bởi nhiễu (1200bps cho đường thoại)
- Khó đồng bộ
- Thường được dùng trong cáp quang (LED hoặc laser)

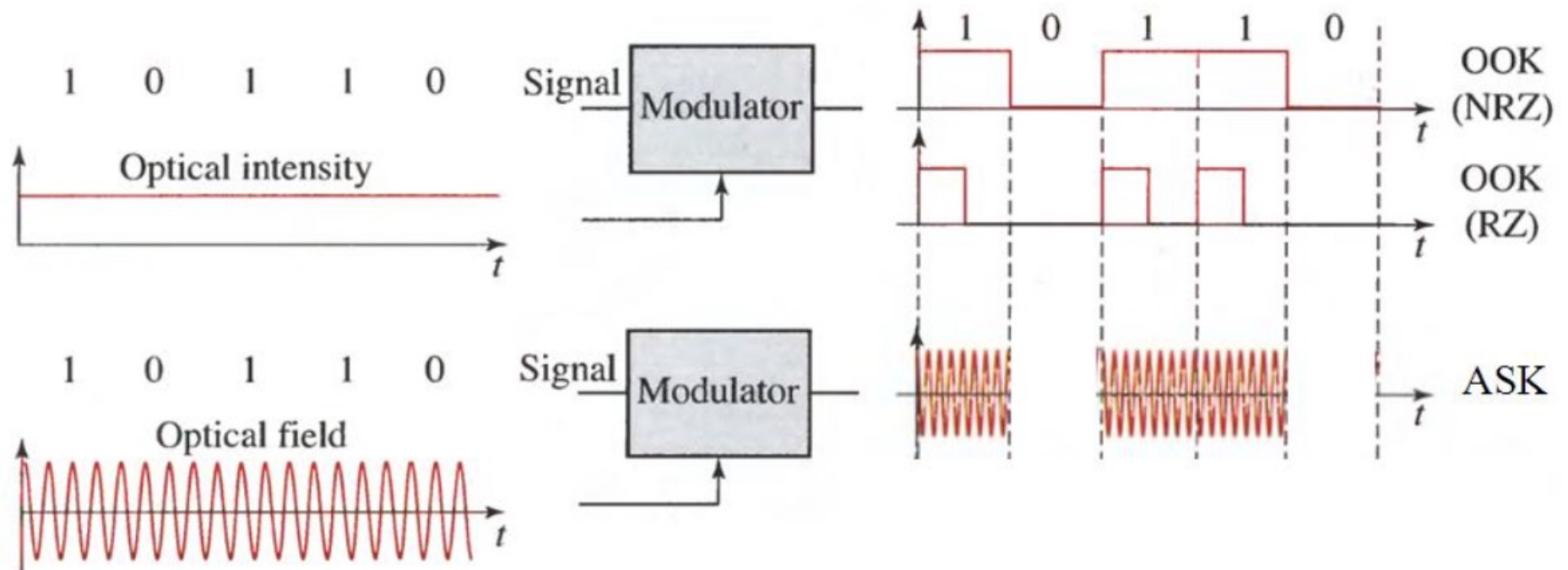
$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi ft) & \text{cho } 1 \\ 0 & \text{cho } 0 \end{cases}$$



Mã On-Off Keying (OOK)

- Dùng trong cáp quang
- Là một loại điều chế dịch biên độ.
 - 1: có xung ánh sáng trong thời gian bit (bật nguồn sáng).
 - 0: không có xung ánh sáng trong thời gian bit (tắt nguồn sáng).
- OOK có thể dùng nhiều định dạng tín hiệu khác nhau:
 - NRZ: xung ánh sáng chiếm toàn bộ độ dài bit 1.
 - RZ (return-to-zero): chỉ phát xung ánh sáng trong một phần thời gian của bit 1.

Mã On-Off Keying (OOK)



On off key nhìn từ phương diện cường độ sáng (hình trên)
và tín hiệu quang học (hình dưới)

Điều chế khóa dịch tần số (FSK)

- Hai giá trị nhị phân được biểu diễn bởi hai tín hiệu tần số khác nhau
- Ví dụ về điều tần song công
- Tỷ suất lỗi thấp hơn
- Dùng trong truyền số liệu qua đường điện thoại (tần số thấp), hoặc trong mạng không dây (tần số cao)

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) \\ A \cos(2\pi f_2 t) \end{cases}$$

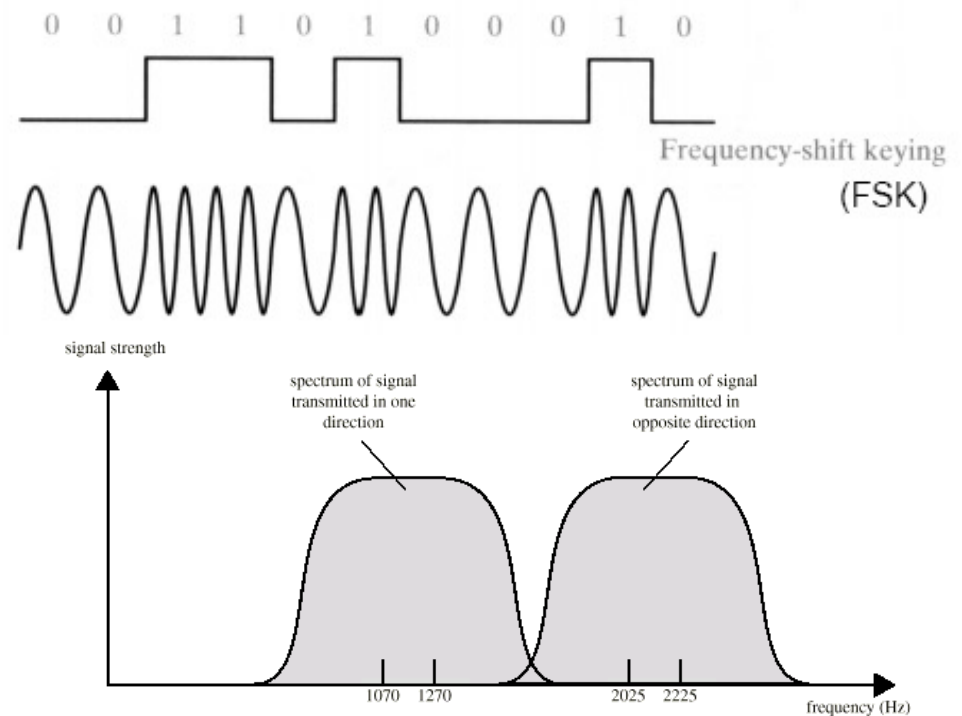


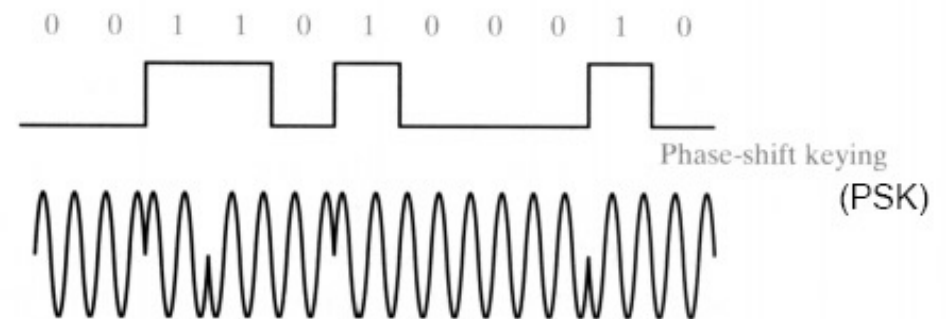
Figure 5.8 Full-Duplex FSK Transmission on a Voice-Grade Line

Điều chế khóa dịch pha (PSK)

- 0,1 tương ứng với hai độ lệch pha khác nhau
- 0,1 tương ứng với chuyển pha (vi sai)
- Có thể sử dụng giải thông một cách hiệu quả hơn khi mã hóa cùng lúc nhiều bit
- Có thể kết hợp với điều biên
- Nếu tốc độ dữ liệu là 9600 bps, tốc độ điều chế là ?

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t + \pi) & \text{binary 1} \\ A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 0} \end{cases}$$

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t + 45^\circ) & 11 \\ A \cos(2\pi f_c t + 135^\circ) & 10 \\ A \cos(2\pi f_c t + 225^\circ) & 00 \\ A \cos(2\pi f_c t + 315^\circ) & 01 \end{cases}$$

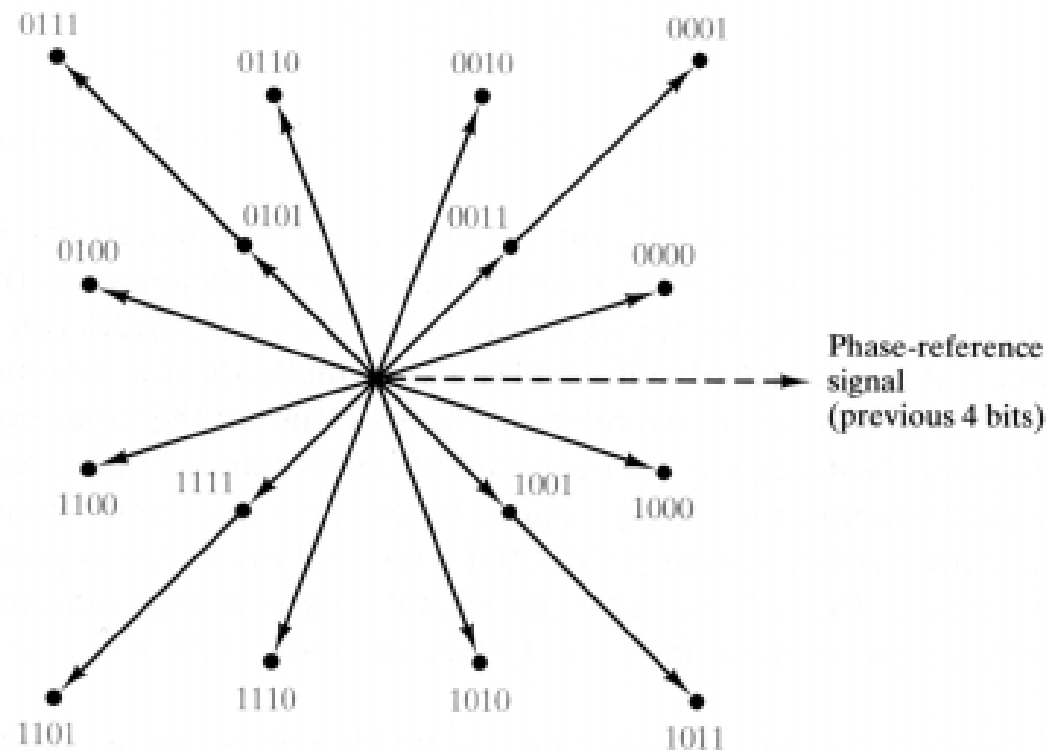


Kết hợp với điều biên

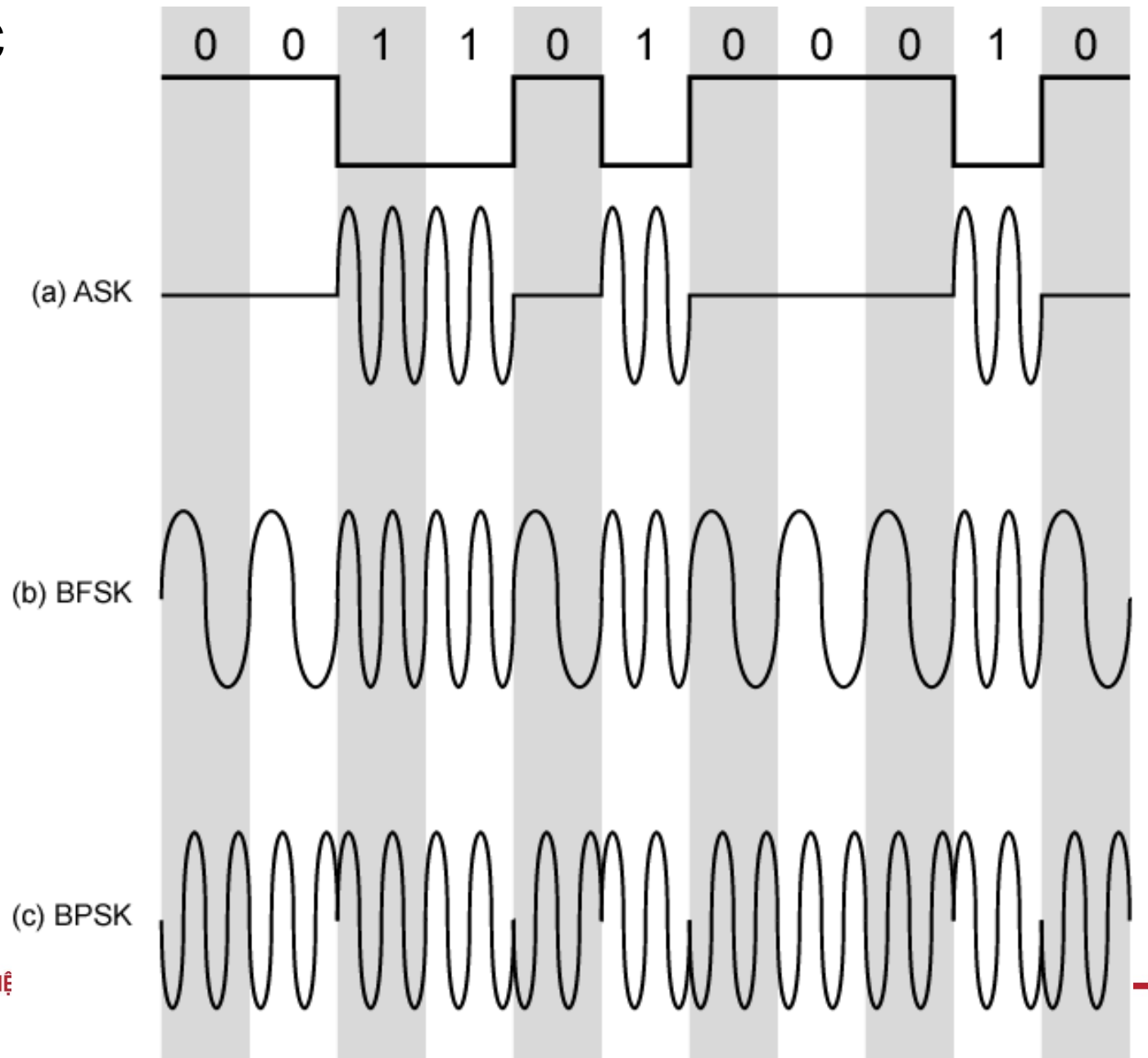
Các tổ hợp được biểu diễn trên bản đồ sao, mỗi tia ứng với 1 mã.

- Độ dài tia ứng với biên độ.
- Góc lệch với pha tham chiếu ứng với góc pha

– 9,600 bps modem (2,400 baud x 4)



Tổng hợp điều chế số/liên tục

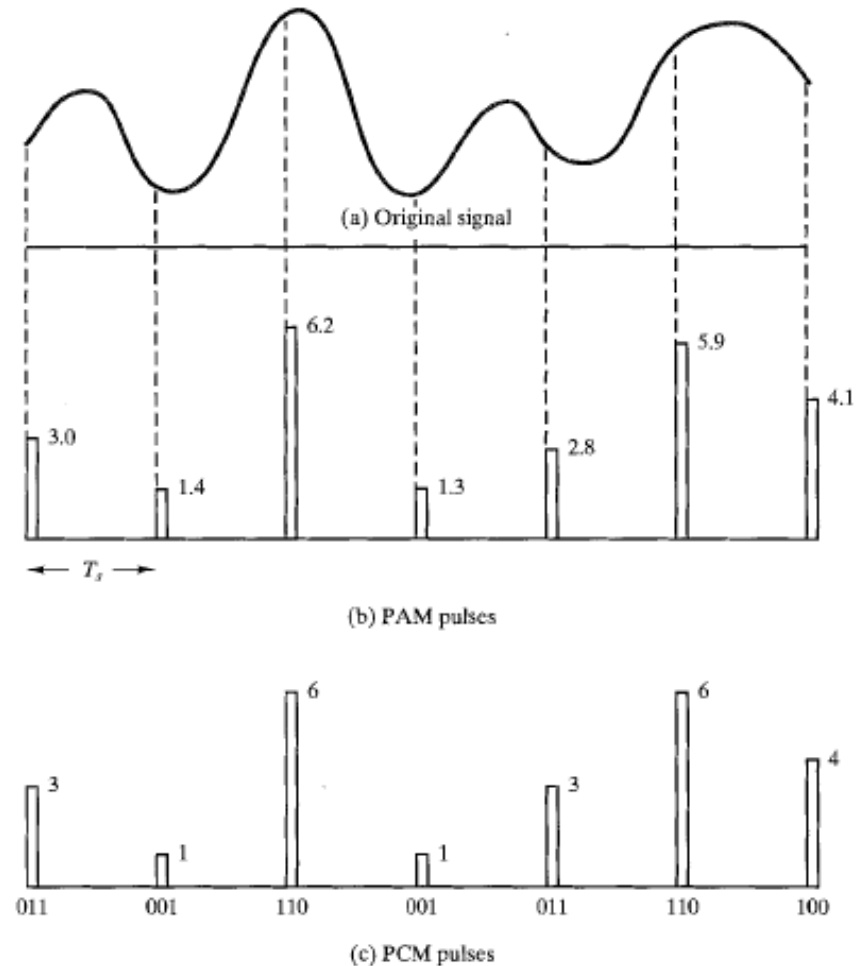


3. Điều chế dữ liệu liên tục- số

- Điều chế dữ liệu liên tục thành dữ liệu số, sau đó
 - Điều chế thành tín hiệu số
 - Mã hóa trực tiếp bằng NRZ-L
 - Sử dụng phương pháp mã hóa tín hiệu số khác
 - Điều chế thành tín hiệu liên tục
 - Sử dụng các biện pháp điều chế số-liên tục đã học
- Có hai phương pháp chính điều chế dữ liệu liên tục thành dữ liệu số
 - Điều chế mã xung
 - Điều chế Delta

Điều chế mã xung (PCM)

- Pulse Code Modulation
- Lấy mẫu tín hiệu dựa trên định luật lấy mẫu của Shannon
 - Nếu tần số lấy mẫu ≥ 2 lần tần số (có ý nghĩa) cao nhất của tín hiệu, phép lấy mẫu bảo toàn thông tin của tín hiệu
 - Vd: Tiếng nói tần số tối đa 4300Hz, cần lấy mẫu với tần số min 8600Hz
- Tiến hành theo hai bước
 - Lấy mẫu (PAM)
 - Lượng tử hóa

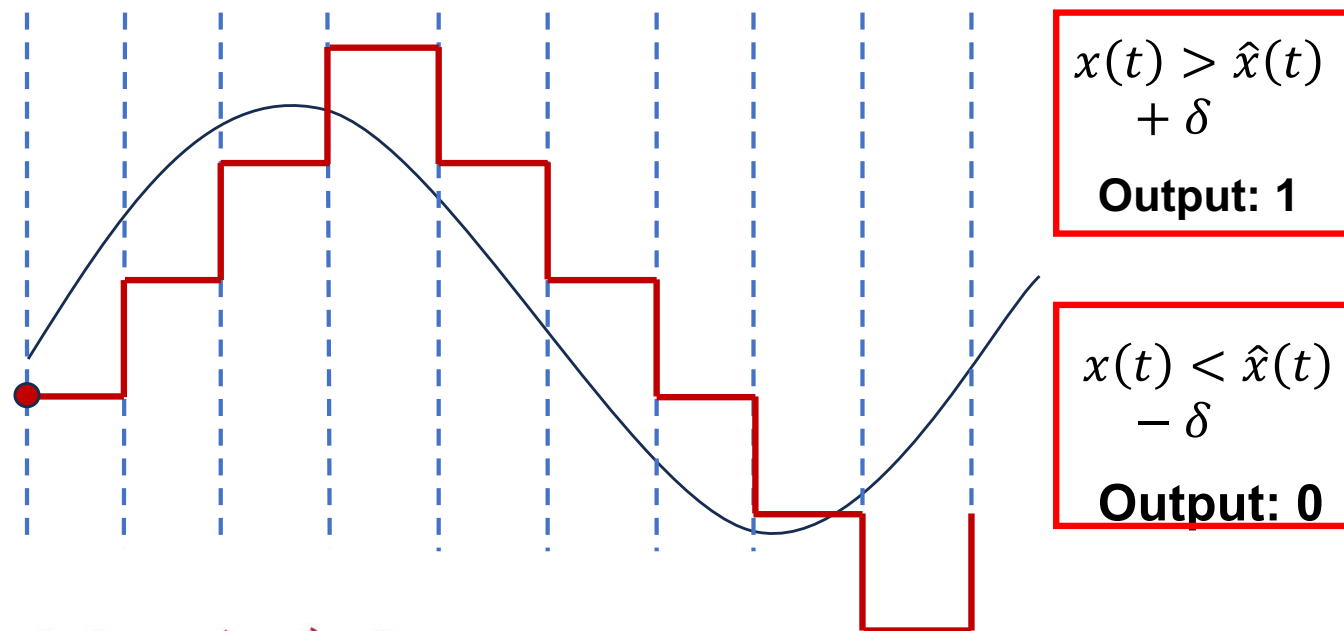


Điều chế delta (Delta Modulation)

- Vấn đề của PCM: tốn băng thông → các giải pháp khác: Điều chế Delta
- Ưu điểm của Điều chế Delta: Chỉ sử dụng 1 bit cho mỗi mẫu
- Ý tưởng: Không truyền đi giá trị thật của mẫu $x(t)$, mà truyền đi thông tin thay đổi (lớn hơn hay nhỏ hơn) của giá trị mẫu hiện tại với *giá trị xấp xỉ* $\hat{x}(t)$.
 - Nếu lớn hơn: bit 1
 - Nếu nhỏ hơn: bit 0

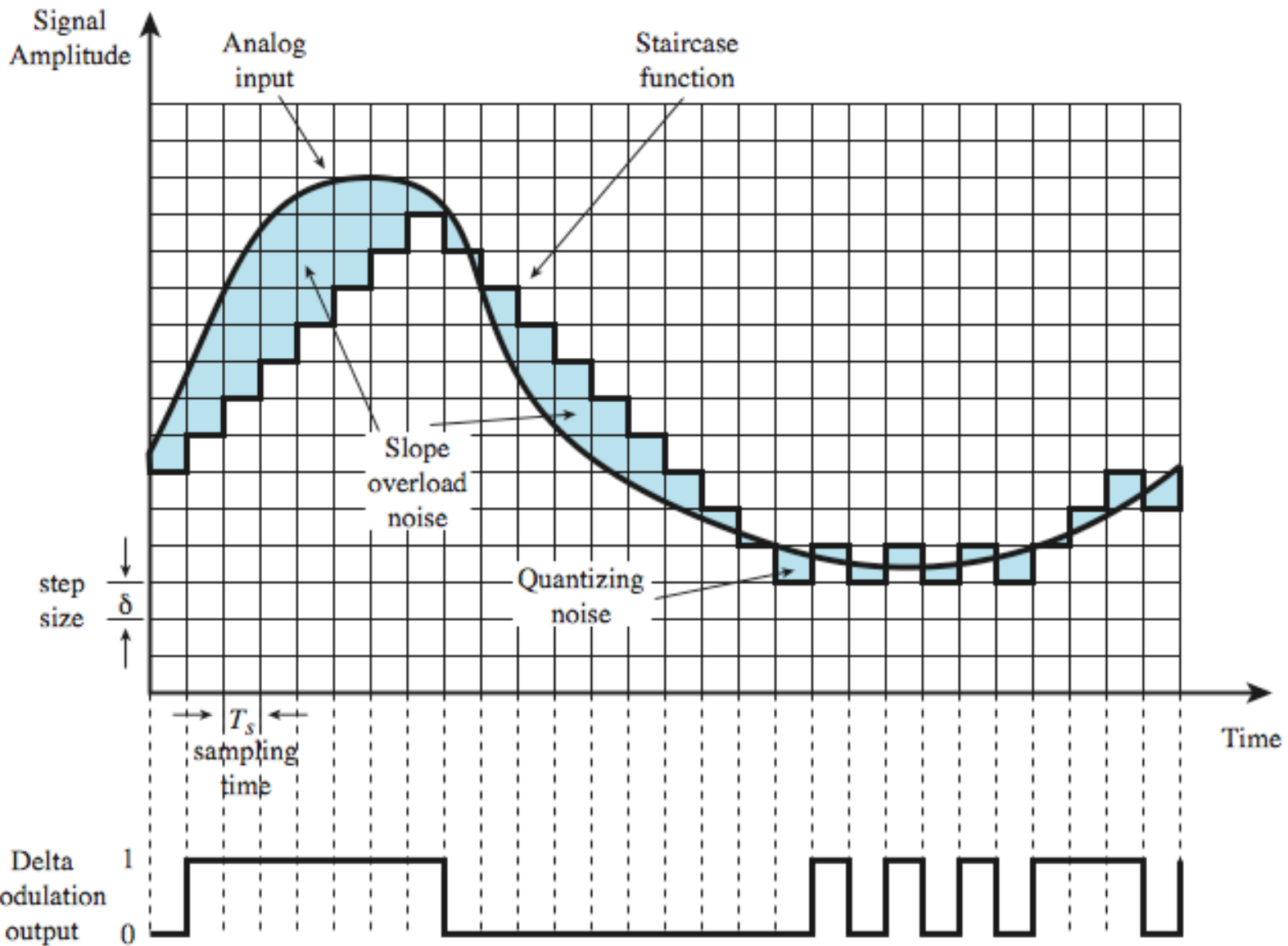
Điều chế delta (Delta Modulation)

- Nếu $x(t) > \hat{x}(t) \rightarrow \hat{x}(t) := \hat{x}(t) + \delta$
 - Output = 1
- Nếu $x(t) < \hat{x}(t) \rightarrow \hat{x}(t) := \hat{x}(t) - \delta$
 - Output = 0



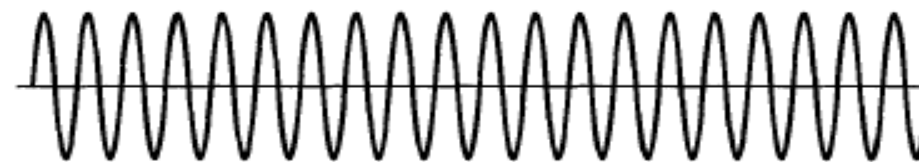
Điều chế delta (Delta Modulation)

- Tham số
 - Bậc thang
 - Tốc độ lấy mẫu
- Sai số
 - Khi tín hiệu thay đổi chậm: nhiễu lượng tử (quantizing noise)
 - Khi tín hiệu thay đổi nhanh: nhiễu tràn (overloaded noise)

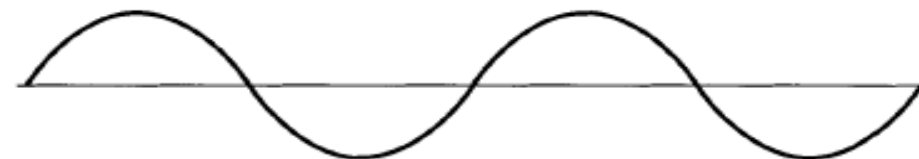


Dữ liệu liên tục tín hiệu liên tục

- Kết hợp tín hiệu $m(t)$ và sóng mang có tần số F_c thành một tín hiệu tập trung xung quanh F_c
- Cho phép chuyển tín hiệu trên một tần số khác phù hợp với kênh truyền
- Cho phép dồn kênh bằng các tần số sóng mang khác nhau
- 3 phương pháp chính dựa vào đặc điểm của tín hiệu
 - Điều biên
 - Điều tần
 - Điều chế góc pha



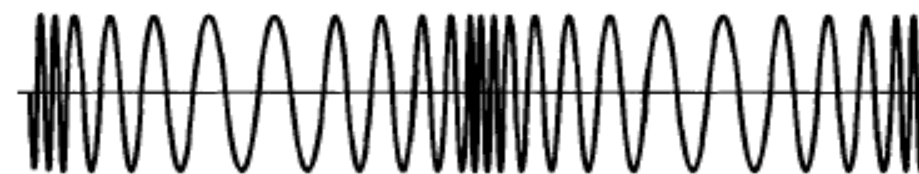
Carrier



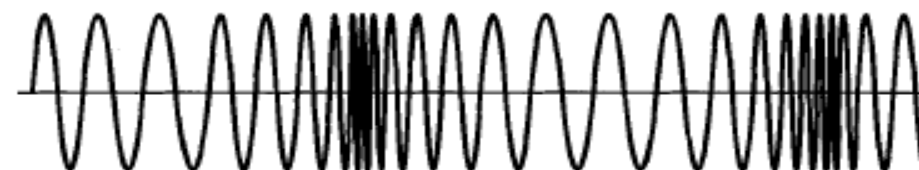
Modulating sine-wave signal



Amplitude-modulated (DSB-TC) wave



Phase-modulated wave



Frequency-modulated wave

Điều biên

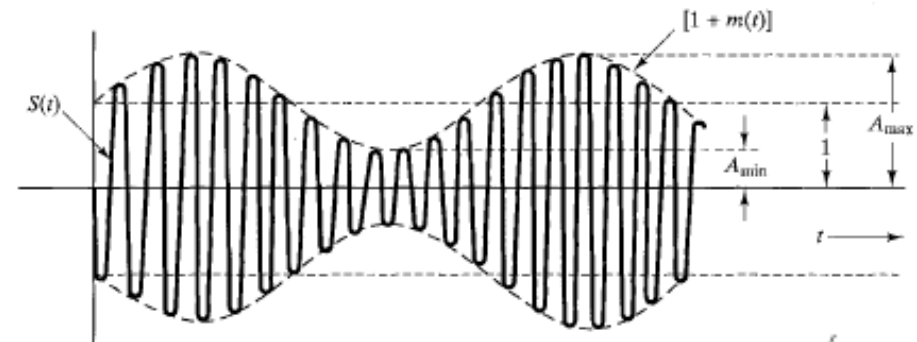
- Biến đổi biên độ sóng mang theo đầu vào
- Nếu đầu vào cũng là hình sin
 - Tín hiệu đầu ra sẽ có hai thành phần lệch với tần số sóng mang một khoảng bằng tần số đầu vào
 - $N_a < 1$ điều biên hợp lệ
 - $N_a > 1$ mất thông tin
- Giải thông = 2 lần giải thông đầu vào
- Điều biên một chiều: 1 lần giải thông

$$s(t) = [1 + m(t)] \cos 2\pi f_c t$$

$$m(t) = n_a x(t)$$

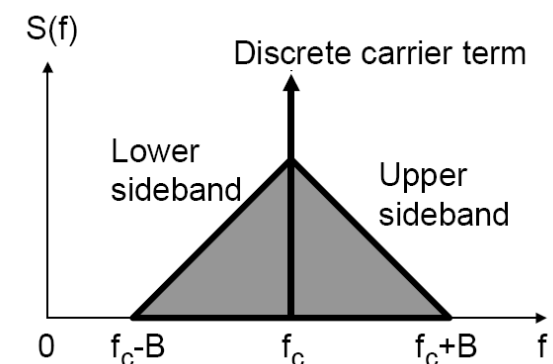
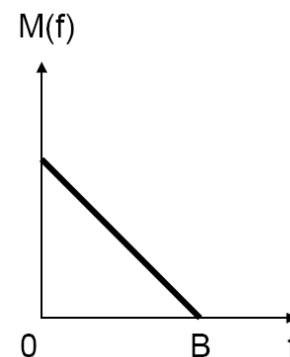


(a) Sinusoidal modulating wave



(b) Resulting AM signal

$$P_t = P_c \left(1 + \frac{n_a^2}{2} \right)$$



Bài tập-04

- Biểu diễn phương pháp điều chế pha-biên độ sau bằng công thức
- Tốc độ ký hiệu là 2400 baud. Tốc độ dữ liệu là bao nhiêu?

