Data Comm

OSI Layer

- Bit-to-signal Conversion

bit → signal (Encoding) TX

signal → bit (Decoding) RX

- การสื่อสารแบ่งเป็น 2 ทาง
  - wire ex สายแลน
  - wireless ex ดาวเทียม wifi

- ช่องทางการสื่อสาร สัญญาณบางช่องเหมือนกัน บางช่องต่างกัน ← A, f, phase

- Analog-Signal
  - Amp
  - f (Hz) - Period (sec)
    - Signal / Multi freq
    - $T = 1/f$
  - Phase (angle)

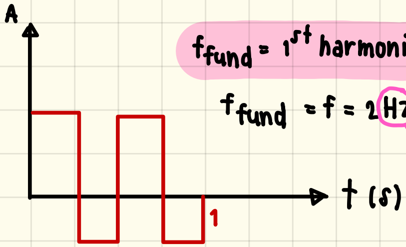
- Digital-Signal ← เป็น 1, 0
  - Amp
  - freq ← มี A, f, ϕ ต่างกัน
    - Multiple Freq
      - F_{fund}
      - odd Harmonics
  - Duty cycle (%) = $\frac{\text{pulse width}}{T} \times 100$ ← ช่วงเวลาที่เป็น 1 ใน 1 T

    * ถ้ามีค่า = 50% แสดงว่าเป็น 1 ครึ่ง 0 ครึ่ง
  - Delay (sec)

- Multi-freq signal
  - freq component
    - fundamental (f_{fund}) = pulse freq
    - Harmonic - odd harmonic (f_{har})

      - $3f_{fund}$, $5f_{fund}$, ...

Fourier Analysis



f_{fund} = 1st harmonic

$f_{fund} = f = 2$ Hz ← cycle/s

odd harmonic

$3f = 6$ Hz

$5f = 10$ Hz

$7f = 14$ Hz

① baud rate = จำนวน signal unit /s

r = bits/signal unit

② bit rate = baudrate x r

ex. = 9600 x r(=1)

= 9600 bps

ex baud rate = 3 Hz (3 signal unit/s)

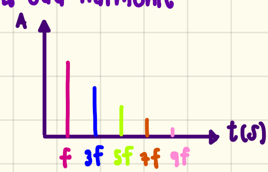
r = 1 bits/signal unit

bit rate = baudrate x r

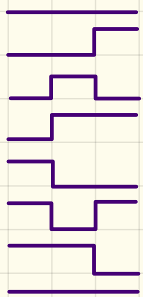
= 3 x 1 = 3

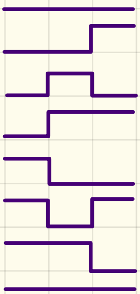
= 3 bps

ex. การเขียน odd harmonic



b_2	b_1	b_0
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1





b_3 b_2 b_0	f pulse	
0 0 0	0Hz	f = 0Hz
0 0 1	T/2 = 2/3	f = 3/4
0 1 0	T = 2/3	f = 3/2
0 1 1	T/2 = 2/3	f = 3/4
1 0 0	T/2 = 2/3	f = 3/4
1 0 1	T = 2/3	f = 3/2
1 1 0	T/2 = 2/3	f = 3/4
1 1 1	0 Hz	f = 0 Hz

signal rate = baud rate
= signal unit/s
= baud/s

r = bits rate/signal unit

bit rate = baud rate x r

baud rate = signal unit/s
r = bitrate/signal unit
bitrate = baudrate x r

f_{max} = N/2

- สัญญาณ digital เป็นประกอบด้วยสัญ. analog หลาย bandwidth

bitrate	r	baud rate	f pulse max
3 bps	1	3 baud	3/2 Hz
N	1	N	N/2 Hz
1K	1	1 K	1K/2 Hz

- Data rate limits
  - มี bandwidth
  - ใช้ level of signal
  - คุณภาพของช่องสัญญาณ

- NOISE FREE
  Data rate = 2 x Bandwidth x bit/signal unit

- Attenuation ถ้ามีค่าลบจะdropไปต่ำลง
  $10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$ ← คำนวณ ค.ต่างของสัญญาณ 2จุด

- Distortion เกิดจากตัว motifreq เมื่อส่งไปแล้วรูปจะเพี้ยนได้
- Noise ทำให้สัญญาณเพี้ยน เพิ่ม A ของ noise เข้าไป สัญญาณจะได้ใกล้เคียง

Loss
- Attenuation — Power loss
- Distortion — Shape loss (รูปร่างเพี้ยน) แต่ละความถี่ถึงปลายทางไม่พร้อมกัน
- Noise — Additive Amp noise

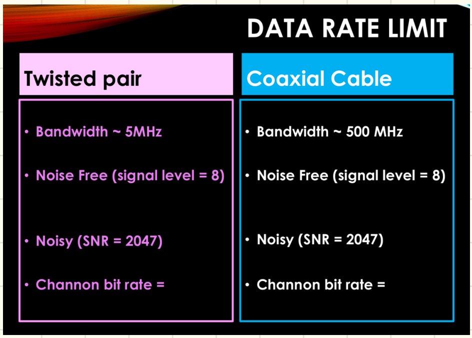
- Noiseทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของข้อมูล แก้โดย คิดว่า data มีค่า
- Bandwidth x $\log_2$ (1+SNR)

SNR = กำลังสัญญาณ / กำลัง noise

- ระยะเวลาในการปล่อย bits ข้อมูลออกจากตัวส่ง
  transmission time (s)
  = Total Transmission bits / Bit rate (bps)

- ระยะเวลาในการเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปจุดสิ้นสุด
  = distance / propagation speed in channel
  distance: ระยะทาง
  propagation speed in channel: ค.เร็วในก.เดินทางแต่ละตัว

ex สัญญาณแสง = 3×10^8 m/s



PCM Pulse Code Modulation

clk

~ → ⊗ → sampling pulse ได้เป็น

analog i/p — multiplier (คูณ)

Patterns

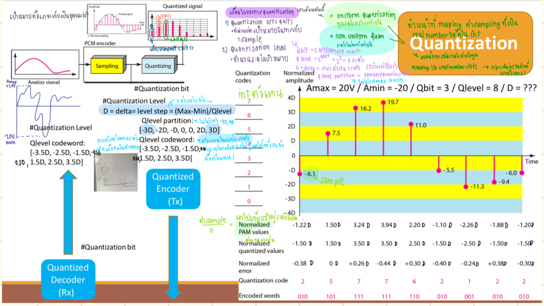
oversampling $f_s = 4f$ undersampling $f_s = f$

sampling Rate >= 2 x f_{max}

อย่างน้อยต้อง sampling เป็น 2 เท่าของมัน

ex. f_sampling = 8,000 Hz

แปลว่า เสียงไปได้แค่ 4,000 Hz (input)



ex. Sinewave f = 5 Hz

Sampling f_s = 40 Hz

Q bits = 3

Q level = 2^3 = 8

D = 1-(-1) / 8 = 0.25

q_partition = [-0.75, -0.5, -0.25, 0, ...]

q_codeword = [-0.875, -0.625, -0.375, -0.125, 0, ...]

$\frac{f_s}{f}$ = 8 แสดงว่า 1 คาบ sampling 8 ครั้ง

Quantization

- ทำหน้าที่ maping ค่า sampling
- เป็นเทคนิคการจัดการระดับค่าข้อมูล
- จัดค่าข้อมูลให้ o/p เป็นในตามช่วงที่เราต้องการ

ทุกระดับกว้างเท่ากัน

- Uniform Quan
- non uniform Quan

ระดับไม่คงที่เท่ากัน

- ตัดค่า D ได้

- Normalized PAM = นำค่าจาก sampling / D
- Normalized Quantization

เอาจาก PAM มาพิจารณา โดยพิจารณาจาก ถ้าอยู่ช่วง + จะลดลง ถ้าอยู่ช่วง - จะขยายเพิ่ม ถ้าเป็น 0 จะ + หรือ - ก็ได้

- Normalized Error

เอา Quatization - PAM

เงื่อนไขการ Quantization

1. bit (q bit) : จำนวน bits เป็นมาใช้ในการเก็บ 1 sample
2. level (q level) : จำนวนระดับเป็นมาย

- Q bit = n bits/sample
- q level = $2^{q\ bit}$
- D = ระยะห่างในแต่ละระดับ (ความกว้าง) นำได้จาก (Amax - Amin) / q level
- q level partition = ขอบเขตแต่ละระดับ

q level = 8

qlevel partition [-3D, -2D, -D, 0, D, 2D, 3D]

q level codeword [-3.5D, -2.5D, -1.5D, -0.5D, 0, ...]

Quantized code ดูว่าอยู่ในช่วงที่เท่าไร ($0-2^{n-1}$)

Encoded word แปลงเป็นเลขฐาน 2

Delta Mod Encoder analog → digital

Delta Mod Decoder Digital → analog

เช่น ถ้าเป็น 0 ลด เป็น 1 เพิ่ม

Digital transmission
- parallel (ส่ง 8 bit พร้อมกัน)
- Serial (ไปทีละ bit)

ex 0 → 5V
1 → -5V

อาจแทนด้วย signal level

signal transition

① • การเพิ่ม bit rate ในการส่งข้อมูล
- เป็นการแทน data ด้วย signal โดยขึ้นกับ r

r = bit / signal element

bit rate = baud rate x r

Serial
- Asynchronous   start bit = 0   stop bits = 1
- Synchronous   ส่งไปเป็น frame

ใช้ (+, -)

Line Coding
① - ลดปัญหา Distortion

สร้าง ก-ปป เพื่อ ถ้าต่อกันนาน

② - ลดปัญหา bit synchronization

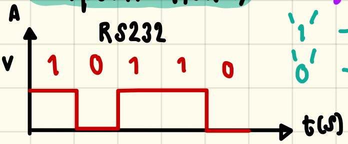
③ - เพิ่ม Bit rate ← r มีค่ามาก

สัญญาณแบบในส่งบน Digital channel
- Line coding
- Block coding

ต้องส่งคู่กับ clk ด้วย

non-return-to-zero

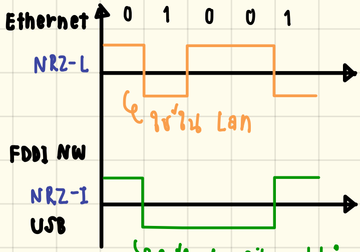
Unipolar (NRZ)
เกิดปัญหา ① ②



'1' → +V

'0' → 0V

มีสัญญาณแบบหลากหลายเพื่อ
• ลดข้อจำกัดและเพิ่ม ค.สามารถในการส่งข้อมูล
• ลด error
① • เพิ่ม Bit rate ในการส่งข้อมูล
• เพิ่ม Data pattern เพื่อให้ส่งได้หลากหลายขึ้น



'0' → +V

'1' → -V

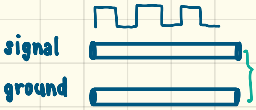
ใช้ใน Lan

'0' → non-inv

'1' → inversion

ใช้ในสาย fiber obtic

Error ที่เกิดกับสัญญาณ
• Distortion   ตัวเก็บประจุแฝง



* ยิ่ง signal มี ค.ยาวมาก ยิ่งทำให้มี A มากขึ้น

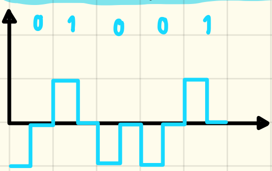
} เกิด C

ยิ่ง A มากทำให้เกิด C มาก

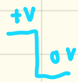
ทำให้เกิด dischart สั้น → wave เพี้ยน

Polar RZ, Biphase
return to zero

TOKEN ring NW



'0' = 

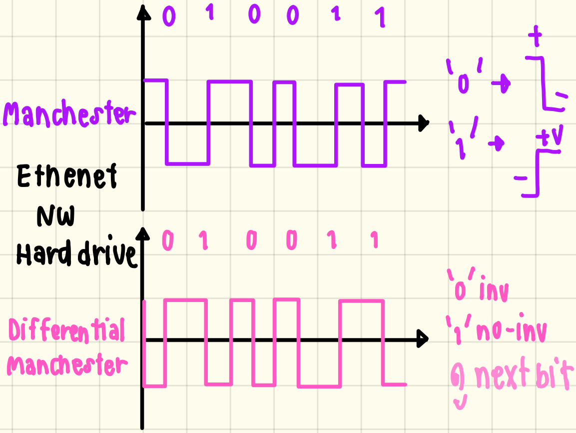
'1' = 

• Bit Synchronization
- ไม่มีการส่ง clk ไปด้วยทำให้ clk RX, TX
- ทำให้เกิดการ delay   ไม่เท่ากัน

* มีปัญหาด้าน ค.เร็วในการส่ง และ bandwidth ที่กว้าง

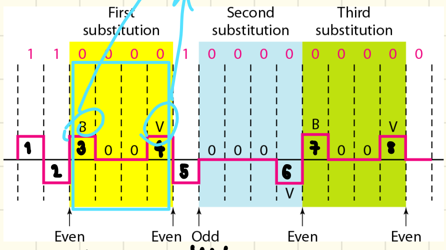
ถ้า clk ตัวรับ > ส่ง   จะทำให้ bits เกิน
ตัวรับ < ส่ง   bits หาย

* ไม่ต้องส่ง clk แต่ส่งนานทำให้ bit rate ต่ำ



HDB3

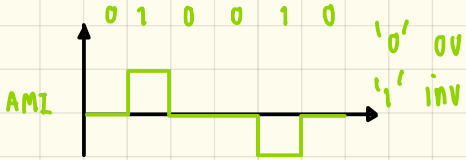
B = กลับจากตัวหน้า
V = เหมือนตัวข้างหน้า

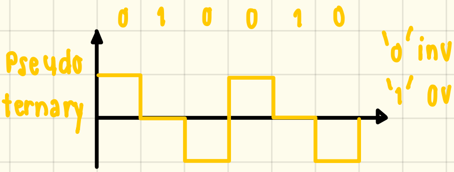


เทียบก่อนหน้า
เหมือนก่อนหน้า

T-1 and E-1 lines
ไม่มีปัญหา dc compenent

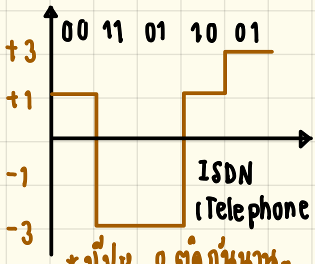
Bipolar





Multi-level

2B1Q scheme
2bits
Quoternary (4 level) +3 +1 -1 -3



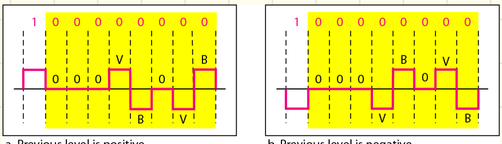
	pos	neg
00	+1	-1
01	+3	-3
10	-1	+1
11	-3	+3

* มีปน. 0 ติดกันนานๆ

* ปัญหา Bit Syn เกิดกับ Bit ที่ถูกแทนด้วย no inversion ติดกันนานๆ

AMI with Scrambling

เจอ 0 ติดกันมาก



a. Previous level is positive.
b. Previous level is negative.

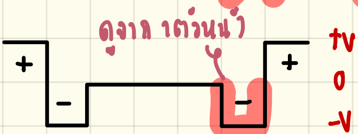
collect ว่ามี 0 ครบมั้ยถ้าไม่ก็ปล่อย 0

'0' = 0 V แทนด้วย level
'1' = inversion แทนด้วย transition

B8ZS

* เลือกตัวที่จะสร้าง ex เลือก 4 5 7 8
* ต้องมี 0 ติดกัน 8 ตัว

1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1

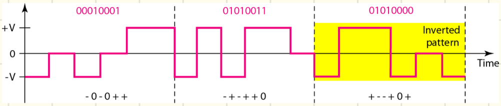


'0' 0 V.
'1' inv จากตัวหน้า

8B6T scheme

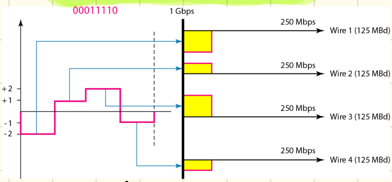
1 signal เป็นไปได้ 3 แบบ (+,-,0)
มี 2^8 data patterns

8bits 6signal ∴ $r = 8/6$ (speed มากขึ้น)



4D-PAM5 scheme

1 Gbps Ethernet



250 Mbps x 4 ชุด
= 1000 Mbps = 1 Gbps
* เป็นการเพิ่ม speed ก.ส่ง

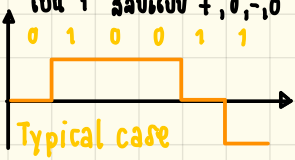
8 bits ไป 4 signal level
$r = 8/4 = 2$

* pulse ไปพร้อมกันแต่คนละเส้น

Multitransition

MLT-3 scheme

* ถ้าเป็น 0 เหมือนก่อนหน้า
เป็น 1 สลับแบบ +,0,-,0



Block coding concept

เอา bit มาต่อเป็น m bits
แล้วเอามา encode เป็น n bits

mB-to-nB

ex. 4B5B จำนวนบิต/บล็อก
จำนวน bits ของ data

2^4 encode เป็น 2^5

* เพื่อมีโอกาสเลือกใช้ pattern ที่ไม่เกิดปน. เป็นตัวแทนบิตข้อมูล
ใช้ pattern ที่เหลือ เป็น command code ได้อีก

Digital Modulation

bits-to-analog

wire : สายโทรศัพท์, coaxial cable
wireless : wifi

Analog channel : BAND PASS CHANNEL

- ถ้าอยากส่งสญ. digital ไปบน analog ต้องทำ signal conversion ให้ได้ค.ถี่ตามที่เลือก
- ความถี่ต่ำจะหายไป

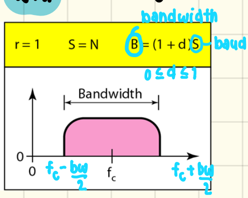
การแทนบิตในรูปแบบของสญ. analog

- Digital Modulation เอา bit → sine
  - เปลี่ยน Amp
  - เปลี่ยน Freq
  - เปลี่ยน Phase
  - เปลี่ยน Amp + Phase

bit-to-signal conversion

ASK

'0' : $A \sin(2\pi f_c t - \varnothing)$
'0' : $A_{\text{น้อย}} \sin(2\pi f_c t - 0^\circ)$
'1' : $A_{\text{มาก}} \sin(2\pi f_c t - 0^\circ)$



FSK

มีความถี่ f_c ต่างกัน ex. 4FSK -- 4 ค.ถี่

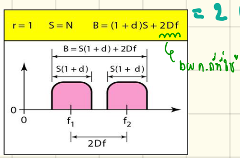
baud rate = 4 baud (signal unit/s)
4 FSK

f_c = 8 Hz (cycles/sec)

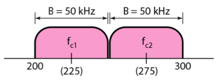
cycle / baud = # cycle / signal unit

$= \frac{f_c}{baud} = \frac{8}{4}$

= 2 cycles/signal unit



Relation between ASK baud rate and bandwidth



BW = (1+d) Baud rate = (1+d) S

Fullduplex channel

Fc1 = transmitting frequency (upload) = 225 Hz

Fc2 = receiving frequency (download) = 275 Hz

B = Bandwidth (BW) = 50 kHz

Baud rate$_{max}$ = 50 kHz จาก BW_{ASK} max (50 kHz) = Baud rate (50kHz)

จำนวน bit ที่เทาะไปแต่ละชุด

2-ASK: r = 1bit/baud -> bit rate $_{max}$ = 50 bps

4-ASK: r = 2 bit / baud = 100 bps

8-ASK: r = 3 bit / baud = 150 bps

ASK MOD

encode Bit-to-ASK signal

OOK : On - off keying

- มีวิธีดังต่อไปนี้

ASK GENERATION STEP

- 4-ASK (Binary ASK)
  - '00' -> A0
  - '01' -> A1
  - '10' -> A2
  - '11' -> A3

1) Partition r Bits to be encoded (หาค่า r)
   Ex. 11000110 (r = 2)
   11 00 01 10
2) Bit-to-Signal property encoding (Selecting Amplitude) (กำหนดว่า A นั้นเป็นอย่างไร)
   11 -> A_3 / 00 -> A_0 / 01 -> A_1 / 10 -> A_2
3) Creating 1 Signal Unit for ASK
   1 Signal Unit (SU) = #จำนวน carrier signal cycles / baud
   = f_c / baud
4) Doing Amplitude MOD
   A_3 x SU(0) / A_0 x SU(1) / A_1 x SU(2) / A_2 x SU(3)

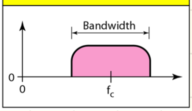
PSK

phase เปลี่ยนมีค่าไม่เท่ากัน

$'0' = A\sin(2\pi f_c - 180^\circ) \rightarrow \phi = 180^\circ$

$'1' = A\sin(2\pi f_c - 0^\circ) \rightarrow \phi = 0^\circ$

r = 1	S = N	B = (1 + d)S



ex 11000110 เอาไป && กับ 3 ให้ได้ 2 bits

ได้มา 10 01 00 11

A_2 A_1 A_0 A_3

su → ⊗ ⊗ ⊗ ⊗

A_2su A_1su A_0su A_3su

ex f_c = 1000 Hz ∴ su = 1000 / 4 = 250 ?

baudrate = 500 baud

QAM

phase & amplitude ไม่เท่ากัน

ex 8-QAM

cycle / signal unit = f_c / baud

= 12 Hz / 4 baud

= 3

000 (1V) 0°

001 (2V) 0°

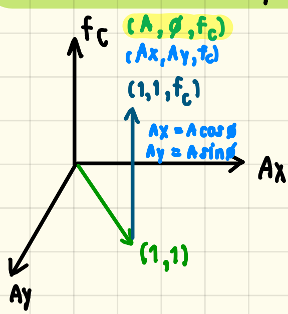
010 (1V) 90°

Decode

ทำย้อนกลับของ encode

1. Read sampling A_{max} su
2. หา A_{max}
3. decode r bits / baud
4. ได้ data ออกมา

กราฟแสดงตำแหน่งคุณสมบัติ carrier signal ที่นำมาแทน bits



จากสมการ

$s(t) = A\sin(2\pi f_c t - \phi)$

FSK MOD

encode ทำเหมือน ASK แต่
เปลี่ยนจาก A เป็น f แทน
จำนวน cycle เปลี่ยนตาม ค.ถี่

ex $f_c = 500$ Hz
baud rate = 250 baud
$r = 2$

cycle/baud = $\frac{500}{250}$ = 2 cycles
ถ้า $f_c = 750$
cycle/baud = 3 cycles

Decoder ทำกลับจาก encoder

PSK MOD

encode zeta with cosine & sine

เหมือนที่ผ่านมาแต่จะมีเพิ่มมาตรงหลังจากการ
ได้ค่า 00 01 10 11 มาแล้ว
- จะเป็น 2 ค่าคือ ก.หาค่า A_x, A_y
- เอาไปทำ ⊗ จะได้ $A_{x_2} \underbrace{CSU}_{cos} + A_{y_2} \underbrace{SSU}_{sin}$

QAM MOD

Encode รวม PSK กับ ASK เข้าด้วยกัน

Decode signal-to-Bits
หากมีค่า cos ตามมา

Analog Transmission

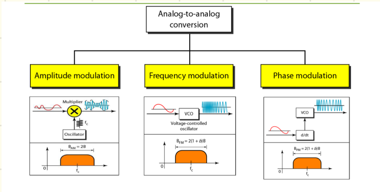
Analog-to-analog conversion
- การแสดงข้อมูล analog ด้วย analog
  - Amplitude Mod
  - Frequency Mod
  - Phase Mod

Digital Modulation

binary → เลือก A ⊗ → 24
carrier f_c

15

Analog modulation → ⊗ → 24x15 = □
Acb Analog Ampitude
carrier f_c
bits/ชุด พร้อมกัน



$(A_x \cos 2\pi f_c t + A_y \sin 2\pi f_c t) \cos 2\pi f_c t$

$= A_x \cos 2\pi f_c t \cos 2\pi f_c t + A_y \sin 2\pi f_c t \cos 2\pi f_c t$

$= A_x [\frac{1}{2} (\cos 4\pi f_c t + \underbrace{\cos(0)}_{1}]$

$= \frac{A_x}{2} \underbrace{\cos 4\pi f_c t}_{f_c \text{ สูง}} + \frac{A_x}{2}$ + ข้อนแรมพู

* กลับไปดูด้วย

$A_y [\frac{1}{2} (\sin(4\pi f_c t) + \sin(0)]$

$= \frac{A_y}{2} \underbrace{\sin 4\pi f_c t}_{f_c \text{ ต่ำ}} + \frac{A}{2}(0)$ → $\frac{A_x}{2}$

$(A_x \cos 2\pi f_c t + A_y \sin 2\pi f_c t) \sin 2\pi f_c t$

$= A_x \cos 2\pi f_c t \sin 2\pi f_c t + A_y \sin 2\pi f_c t \sin 2\pi f_c t$

$= A_x \sin 2\pi f_c t \cos 2\pi f_c t + A_y \sin 2\pi f_c t \sin 2\pi f_c t$

$= A_x (\frac{1}{2} (\sin(4\pi f_c t) + \cancel{\sin}(0)) + A_y (\frac{1}{2} (\cos 4\pi f_c t - \underbrace{\cos(0)}_{1}))$

$= \frac{A_x}{2} \sin 4\pi f_c t + \frac{A_y}{2} \cos 4\pi f_c t - \frac{A_y}{2}$

~~f สูง~~ ~~f สูง~~ f ต่ำ

$\boxed{LPF}$

$-\frac{A_y}{2} \times (-2) = A_y$

Analog Amplitude (AM)

* จากการสังเกต ยิ่ง A ของ signal มาก ทำให้ FM signal มี ค.ถี่มาก

Analog Frequency Modulation (FM)

Amplitude Modulation Difference

peek

$$m = \frac{P - D}{P + D}$$

m = 1 : D = 0 เศษ = ส่วน

m < 1 : D > 0 & D < P เศษ < ส่วน

m > 1 : D < 0 เศษ > ส่วน

Bandwidth $B_{FM} = 2(1+\beta)B$

ex) Beta = 5

$B_{FM} = 2(1+2)(15\text{kHz})$

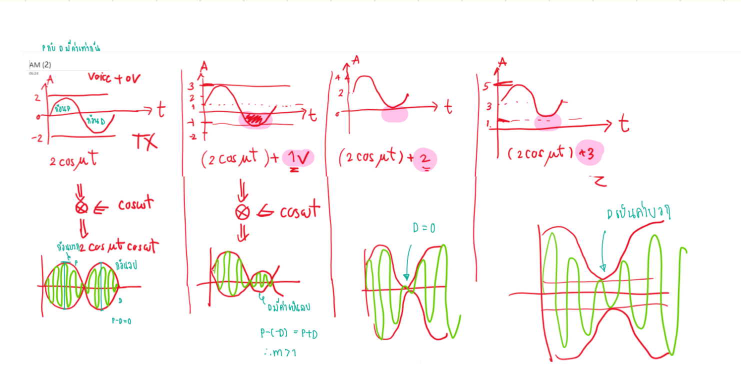
$= 180 \text{ kHz}$

$\approx 200 \text{ kHz}$

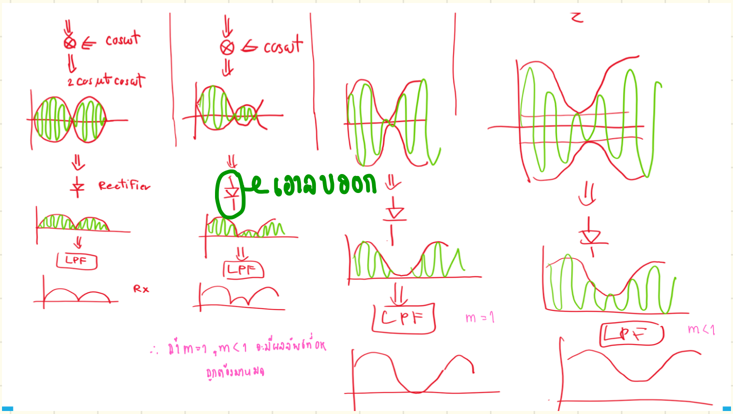
slope มาก ค.ถี่มาก

Analog Phase Mody (PM)

$B_{PM} = 2(1+\beta)B$



DeMod AM to analog



AM Bandwidth $B_{AM} = 2B$ analog data input

Bandwidth Utilization

Multiplexing and Speading

การใช้

- Bandwidth utilization เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่เจาะจง
- ทำให้มีประสิทธิภาพโดยการใช้ Multiplexing (BW sharing)
- ค.ปลอดภัย and การป้องกัน anti-jamming สามารถทำได้โดยใช้ Spreading (BW sharing & protection)
- ถ้า bandwidth ของ ตัวเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัวดีกว่า(มากกว่า) bandwidth ที่อุปกรณ์ต้องการ สามารถใช้ร่วมกันได้ (แบ่งกันได้)
- Multiplexing เทคนิคที่ช่วยให้ส่งพร้อมกันของสัญญาณหลายสัญญาณ บน data link เดียว ทำให้ข้อมูลและการสื่อสารดีขึ้น (increase) ไม่ติดขัด

data transmission

analog digital ch

analog - Data-to-signal
- Bit-to-signal
ex ASK FSK PSK QAM

digital - Analog signal
ex shift Data freq ให้อยู่ใน channel freq

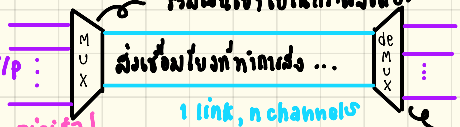
Topic

- FDM (Analog) frequency division Multi
- WDM wavelength Division Multi
- digital — Synchronous TDM) Time
- Statistical TDM Time

Code-Division Multiple Access - Analog Digital
ทุกคนส่งได้ทุกค.ถี่

Dividing a link into channel

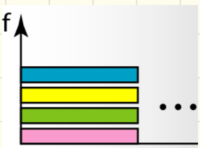
รวมเส้นเข้าไปในกระแสเดียว



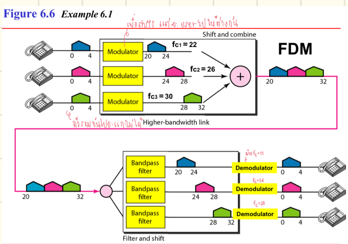
แยกกระแสกลับมาส่งส่วนประกอบ (one-to-many)

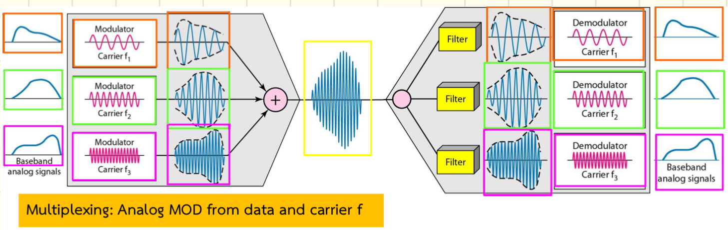
FDM

-- แต่ละ user แยกกันส่งคนละความถี่
แต่ละ user ใช้ carrier freq. คนละ ค.ถี่
แล้วนำมารวมกันเพื่อให้ได้ ค.ถี่ที่แท้จริง



ex.

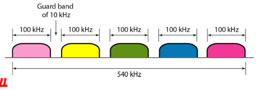




ex

Example 6.2

- Five channels, each with a 100-KHz bandwidth, are to be multiplexed together.
- What is the minimum bandwidth of the link if there is a need for a guard band of 10 KHz between the channels to prevent interference?



Solution

For five channels, we need at least four guard bands. This means that the required bandwidth is at least
(5 x 100) + (4 x 10) = 540 KHz,
as shown in Figure 6.7.

6.11

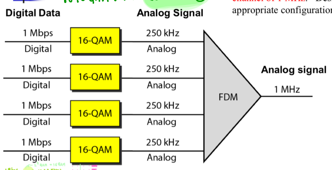
ex

Example 6.3

$2^4 = 16$

ใช้ 16 QAM เพราะ 250KHz x 4

- Four data channels (digital), each transmitting at 1 Mbps, use a satellite channel of 1 MHz. Design an appropriate configuration using FDM



- The satellite channel is analog.
- We divide it into four channels, each channel having a 250-KHz bandwidth.
- Each digital channel of 1 Mbps is modulated such that each 4 bits are modulated to 1 Hz.
- One solution is 16-QAM modulation.
- Figure 6.8 shows one possible configuration.

6.15

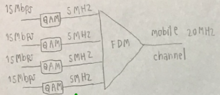
60010595 ปวรลักษณ์ อินทร์แสง

Activity #12.1

1) Transmitting data from 4 users with digital data rate = 15 Mbps / user

2) ระบุจำนวน r บิตที่ต้องการ Modulate แบบ QAM

3) วาด Constellation Diagram ตัวแทน 2^r-QAM



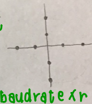
15Mbps = r x 5MHz → r = 3

15 Mbps = r x baudrate
bit rate

5MHz = (1+d) baudrate max, d → 0

baud rate max = 5MHz

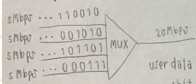
r=3 2^3QAM = 8QAM



bandwidth = (1+d) B
5M = (1+0) B
B = 5MHz

bitrate = baudrate x r
15 Mbps = 5MHz x r
r = 3
∴ 2^3 QAM = 8 QAM

Activity # 12.2



5ล้าน bit ในวินาที

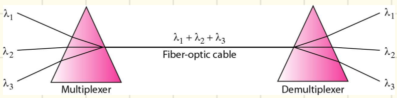
user data 5 Mbps

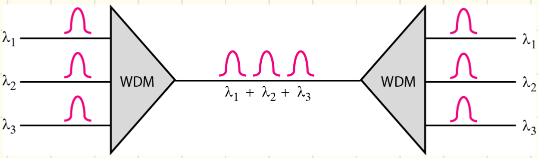
1bit = 1/5M = 0.2 µsec

Digital Link with Bandwidth of 20 Mbps

1) Transmitting data from 4 users
2) User Data Rate = 5 Mbps ✓
3) Bit duration (interval) = 0.2 µsec — $\frac{1}{5M}$
4) Bit / timeslot = 4 — 4 (อย่างละ 1)
5) Frame rate = 5 Mbps / 4 bits = 1.25 M frames/s
6) Frame duration = 1/1.25 M = 0.8 µsec

WDM





โดย $\lambda = c/f$

wave length — light speed

- ช่วง wave length ที่ใช้งาน = 1550 nm

TDM

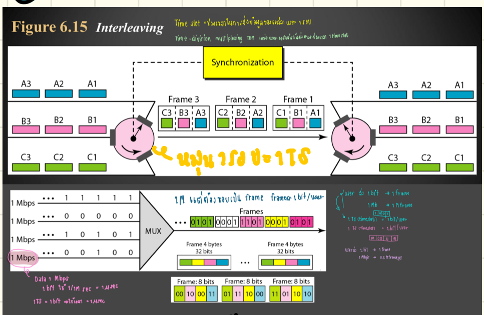
เทคนิค multiplexing สำหรับรวมอัตราต่ำๆ หลาย ch ให้สูงขึ้นกลายเป็น ch เดียว

มี 2 แบบ

① Synchronous TDM

② Statistical TDM

① STDM



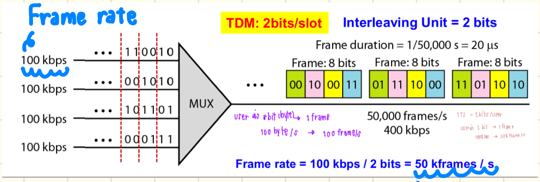
- ส่งเป็นรอบๆ เหมือน ก. นำตัวสุดท้ายส่งไปก่อน

* ส่งเป็น frame

- frame duration ex ส่ง 100 frame ใน 1 วินาที

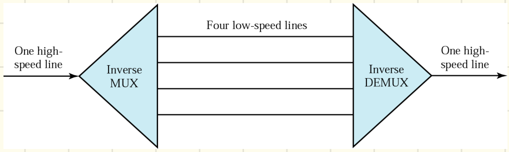
frame duration = $\frac{1}{100}$ วิ

ในกรณีส่ง 2 bits/slot



50,000 frame/s

Inverse TDM Multiplexing



Empty slots in STDM

ถ้า user ไม่ส่ง TS จะว่างไปเลย

Framing bits

synchronization pattern $\boxed{1\ 0\ 1}$

* เป็นการส่ง pattern ไปพร้อม frame เลย

frame1

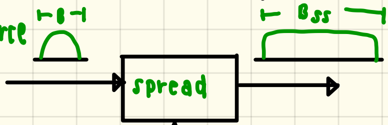
1	C_1		A_1

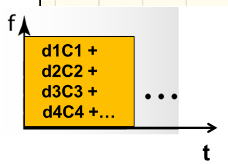
CDMA code division multiple Access

spread spectrum

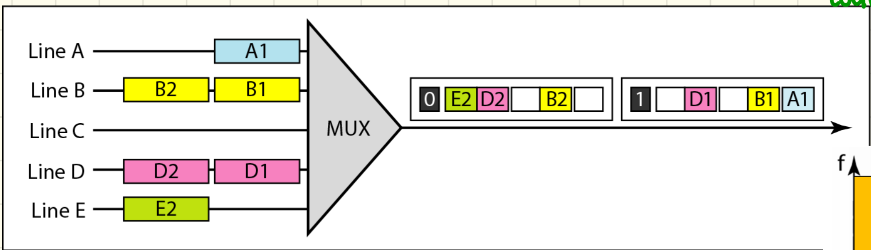
- ใช้ใน wireless commu
- วัตถุประสงค์
  - ใช้ Bandwidth ของสื่อคุ้มค่าที่สุด โดยรวมสัญญาณจากหลาย user ส่งไปด้วยกัน
  - ป้องกันก.รบกวนจากผู้ไม่หวังดี

- รวมสัญ.จาก diff source แล้วนำมารวมในได้ BW ใหญ่ขึ้น



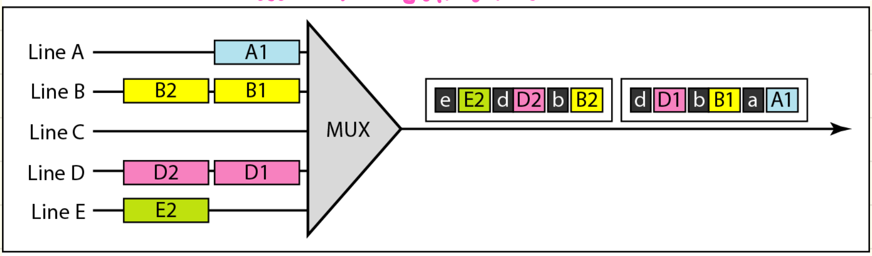


② ATDM (แบบล่าง



a. Synchronous TDM

ส่งชื่อ line บอกไปด้วย



b. Statistical TDM

มี 2 แบบ

① Freq Hopping Spread Spectrum (FHSS)

② Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

① FHSS

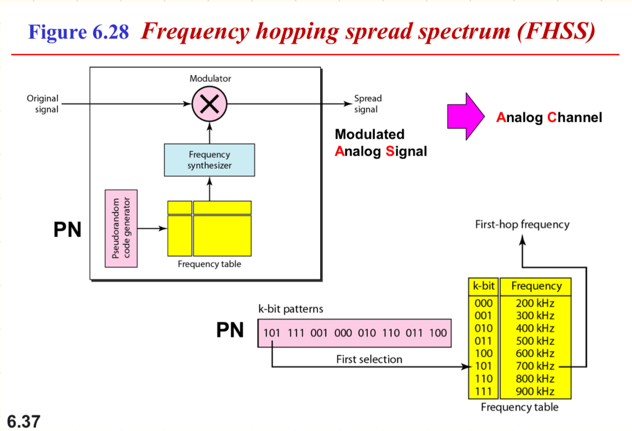


Figure 6.28 *Frequency hopping spread spectrum (FHSS)*

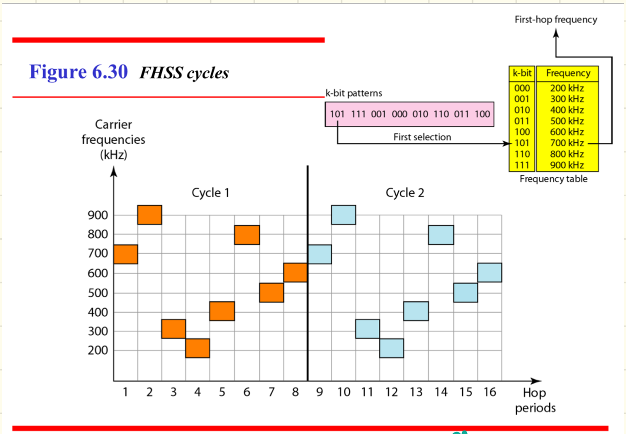
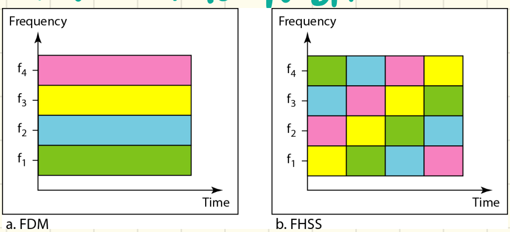


Figure 6.30 *FHSS cycles*

กำหนดตาราง K bit ไว้แล้ว



② DSSS

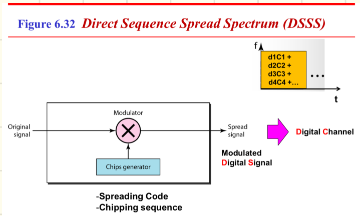
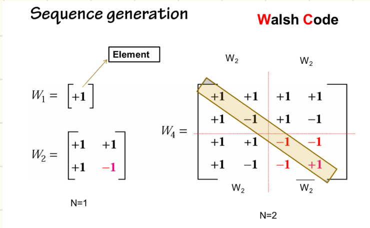


Figure 6.32 *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*



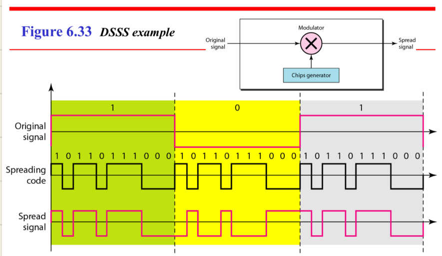
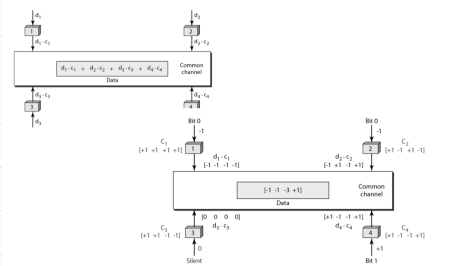
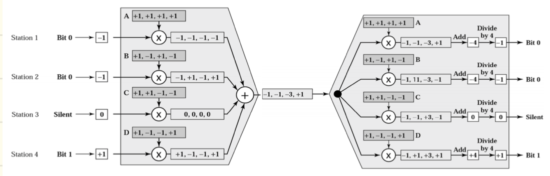


Figure 6.33 *DSSS example*

CDMA



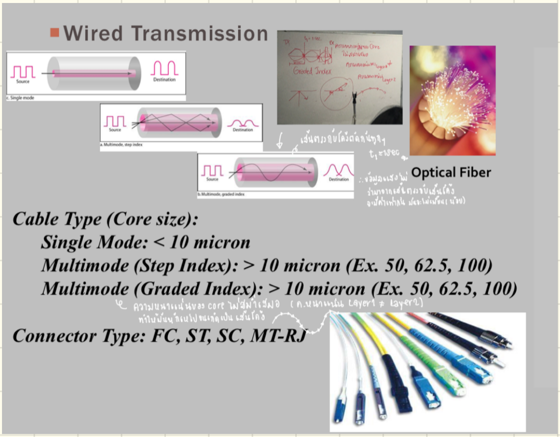


Transmission Media and High Speed Digital Services

- selection Criteria (เกณฑ์ในการเลือก)

การออกแบบ Network

1) cost ให้สมกับ budget ที่เราได้ไว้
   - device cost
     - สายแลนด์ → สาย + connector
       - ค่าเข้าหัว
       - ค่าเดินสาย
       - ท่อร้อยสาย
     - อุปกรณ์เชื่อมต่อ Network
       - LAN Card
       - wifi module
       - Rounter / switch
         - สาย LAN
         - สายไฟ
   - ค่าบำรุงรักษา (maintenance)



1) Cost
2) Speed
3) Distance
4) Delay
5) Expandability (ค.สามารถในก.เพิ่มขยาย)
6) Environment
7) ความปลอดภัย

- **ทางเลือกในเส้นทางสื่อสาร**
  1) wire Transmission
     - Twisted Pair , Coaxial cable , obtical Fiber
  2) Wireless Transmission

Attenuation @ 10^6 Hz (MHz) ≈ 10-20 dB/Km

Attenuation ≈ 2.5 dB/Km

ไปได้ไกลกว่า

ส่งข้อมูลได้น้อย (ใกล้)

20-100 km.

รายละเอียด	Twisted pair	Coaxial	Fiber
Bandwidth เท่าไหร่	~5MHz (100Hz – 5MHz)	~500MHz (100kHz – 500MHz)	150THz (180-330 THz)
Signal Conversion	ADSL: DMT (FDM (Channel Allocation) + QAM Modulation	Cable TV: FDM (Channel Allocation) + QPSK or QAM Modulation)	FTTx: WDM + QPSK or QAM or OFDM
ความเร็ว	10Mbps / 512Kbps 50Mbps/ 20Mbps	10Mbps/ 1Mbps 200Mbps/ 15Mbps	30Mbps/ 3Mbps 200Mbps/ 25Mbps

ACTIVITY

วาดกราฟ $A(t) = 2\sin(2\pi f_m t) \rightarrow f_m = 2Hz$

วาดกราฟ $\sin(2\pi f_c t) \rightarrow f_c = 4Hz$

วาดกราฟ $(A(t) + c) \times \sin(2\pi f_c t)$

- กำหนดค่า c ที่ทำให้ modulation index (m)

  $m = 1 \rightarrow 100\%$

  $m < 1 \rightarrow < 100\%$

  $m > 1 \rightarrow > 100\%$