Bitrate = Baudrate x $\log_2$(level)

Bitrate = Bandwidth x ($\log_2$(1+SNR))

กำลังสัญญาณ = $10\log_{10}(P)$

กำลังที่ลดลง = $10\log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$

Bandwidth = $\frac{\text{ความถี่}}{2}$; harmonic 1 , 3 → $\frac{3N}{2}$

SNR = $\frac{\text{wanted}}{\text{unwanted}}$

$SNR_{dB} = 10\log_{10}(SNR)$

Bitrate = 2 x Bandwidth x $\log_2$(level)

What is different between analog and digital signals?

analog signal

- ↳ a continuously varying signal
- ↳ has many level of intensity over a period of time

digital signal

- ↳ has a discrete value
- ↳ has only a limited number of defined values

What are periodic and non-periodic signal?

- ↳ a periodic signal completes a pattern in a definite time frame called period.
  - ↳ repeat itself after equal intervals of time.
- ↳ non-periodic signal does not repeat itself after equal intervals of time
- ↳ analog and digital can be periodic or nonperiodic signals.

What is composite signal?

- ↳ a single sine wave cannot carry any meaningful information as it just a single frequecy.
- ↳ a composite signal is made up of many sine waves of different frequency.
  - ↳ These waves may also have different amplitude and phases.

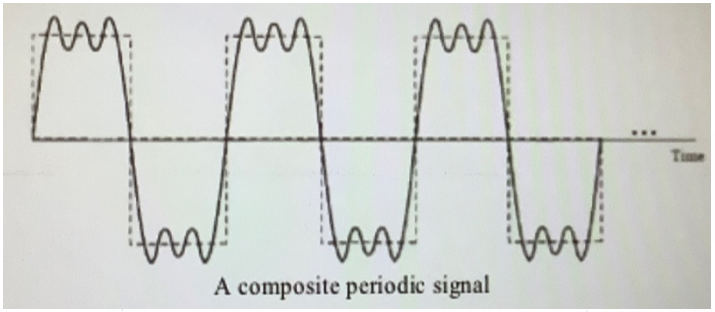
↳ according to Fourier analysis, any composite signal is a combination of simple sine wave of different frequencies, amplitude and phases.

↳ a composite signal can be both periodic and non-periodic

↳ a composite signal can be decomposed into its constituent signal.

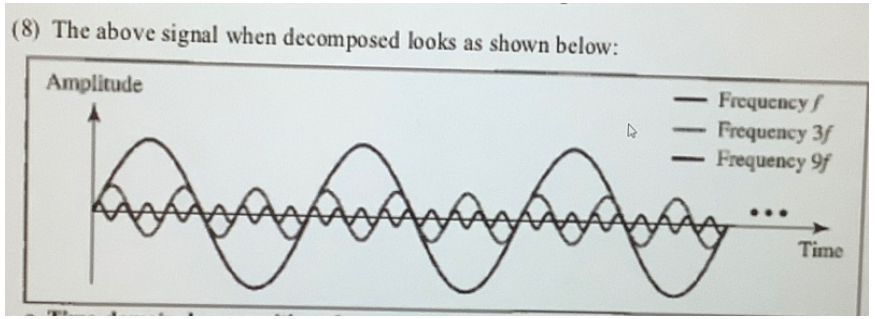
↳ แยกออก ↳ ส่วนประกอบ

↳ picture of composite signal



A composite periodic signal

decompose →



↳ From the decompose signal, we observe the following.

↳ the amplitude of sine wave with Frequency f is the same as the peak of composite signal.
This frequency is called "fundamental frequency" or "first harmonic"

↳ the frequency decomposition is discrete. The decomposed signal has frequencies of f, 3f, 5f, ...

We don't found frequency like 3.12 f

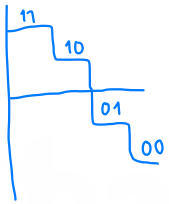
Define the term bandwidth

↳ the range of frequencies contained in a composition signal is its bandwidth.

↳ different between 2 frequencies .ex 4000 - 1000 → bandwidth 3000

What is digital signal

↳ used to represent data. Digital signal can have more than 2 levels.



ถ้า L level → จำนวนbit = $\log_2 L$

↳ the characteristics that are used to describe digital signals are bit interval (instead of period) and bit rate (instead of frequency)

↳ bit interval → time required to send one bit.

↳ bit rate → number of bit interval persecond , number of bits sent in one second . (bps)

How is decomposition of a digital signal achieved?

↳ a digital signal can be composed into an infinite number of simple sine wave called harmonic

↳ fourier analysis is used to decompose a digital system.

↳ if digital signal is periodic, the decompose signal has a frequency domain representation with infinite bandwidth and discrete frequency.

↳ if digital signal is non-periodic, the decompose signal still has an infinite bandwidth but the frequencies are continuous.

What is mean by transmission impairment? } สิ่งรบกวนในการส่งสัญญาณ

↳ สิ่งรบกวน

↳ 3 types of impairments:

↳ Attenuation (การลดทอน)

mean the signal quantity at the beginning of the medium is not the same as at the end

↳ a loss of energy in overcoming the resistance of the medium

↳ measured in unit of decible "dB"

$$dB = 10\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

why is decibel unit used?

↳ decibel unit is used because these number can be added or subtracted when we are measuring changes at several points.

↳ Distortion (การผิดเพี้ยนของสัญญาณ)

↳ the signal change its shapes. Distortion can occur in a composite signal made of different frequencies. Each signal component has its own propagation speed though the medium.
↳ การแพร่กระจาย

; therefore, its own delay arriving at the final destination.

ความสัมพันธ์ $v = f\lambda$

↳ noise

↳ สัญญาณที่ไม่ต้องการ

↳ Signal-to-noise Ratio:

↳ SNR is defined as the ratio of average signal power to average noise power.

↳ indicate the ratio of the wanted signal to unwanted signal

↳ A high SNR means the signal is less corrupted by noise.

↳ since SNR is the ratio of two powers, it is described in decibel units as:

$SNR_{dB} = 10\log_{10} SNR$ → if noise less channel, SNR equal ∞

Channel limitation
Both frequency & bandwidth

[illegible]

Channel Information
Both Frequency & Bandwidth

Data Communications

(Part 2)

รศ.ดร. อรฉัตร จิตต์โสภักตร์

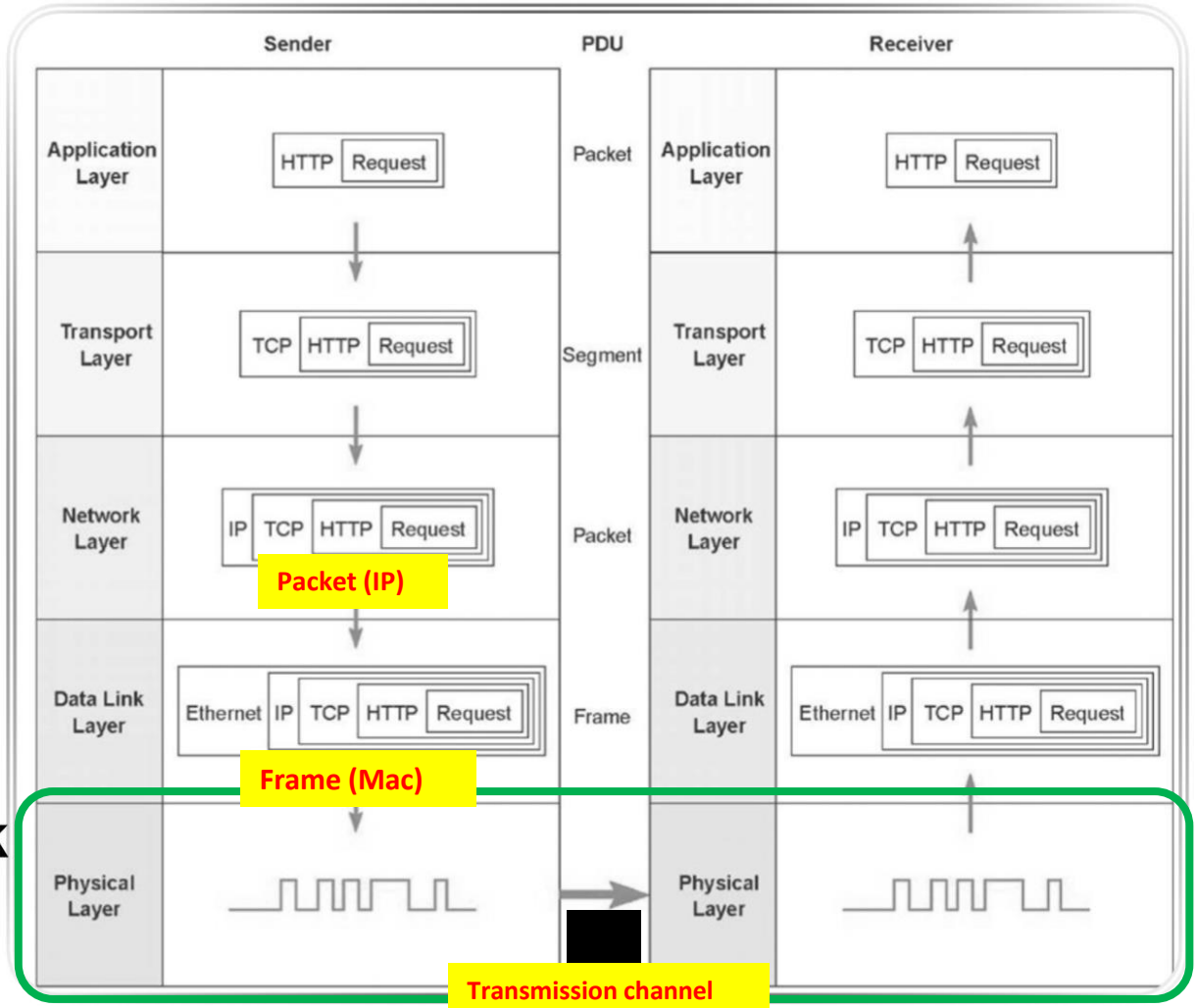
Email: orachat.ch@kmitl.ac.th

Tel: (02) 329-8341-2

Room: ECC-915 / ECC-509

OSI LAYER

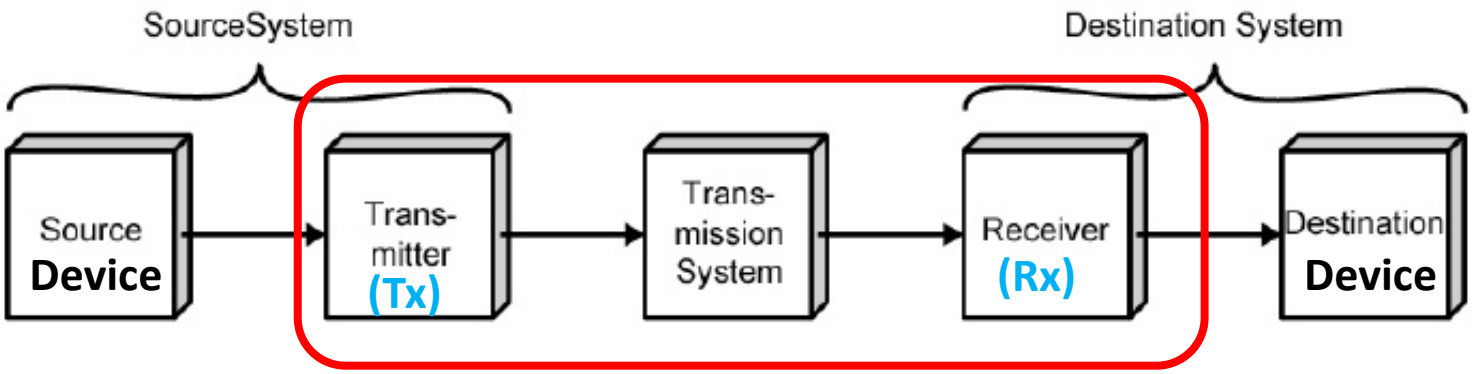
PROTOCOL STACK



Topics

จัดการ bit ที่จะผลักขึ้นช่องทางสื่อสาร

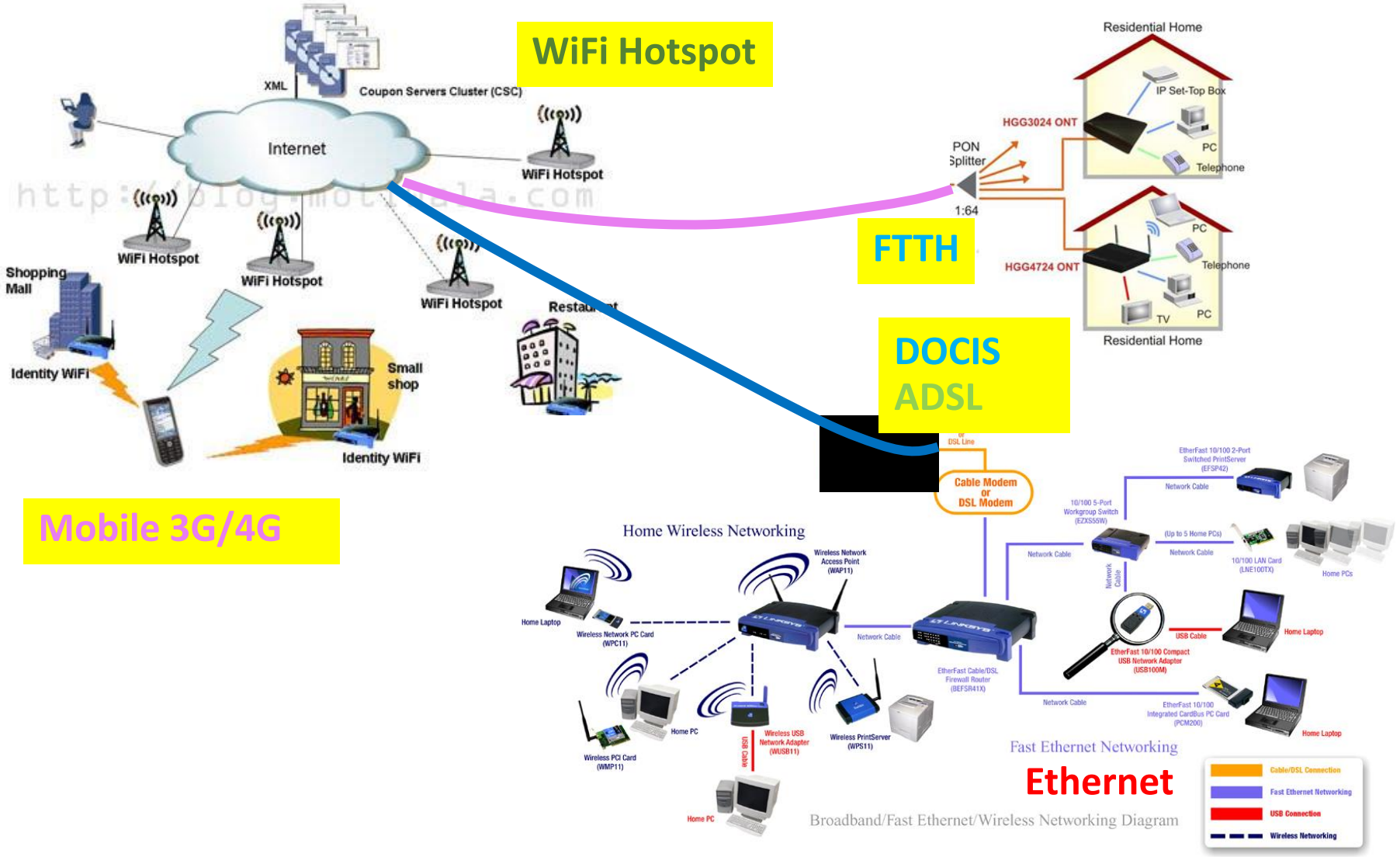
Simplified Communications Model - Diagram



- Layer 1: Physical Layer
  - Ch 3: Signal
  - Ch 4: Digital Transmission
  - Ch 5: Analog Transmission
  - Ch 6: Multiplexing
  - Ch 7: Transmission media (Physical)
  - Ch 9: High speed digital access (Service on Physical Channel)

3 ช่องสัญญาณ

โลกแห่งการสื่อสาร



Q: คำถาม คือ เพื่ออะไร

เรามีรูปแบบของช่องสัญญาณที่หลากหลาย

(wire / wireless transmission)

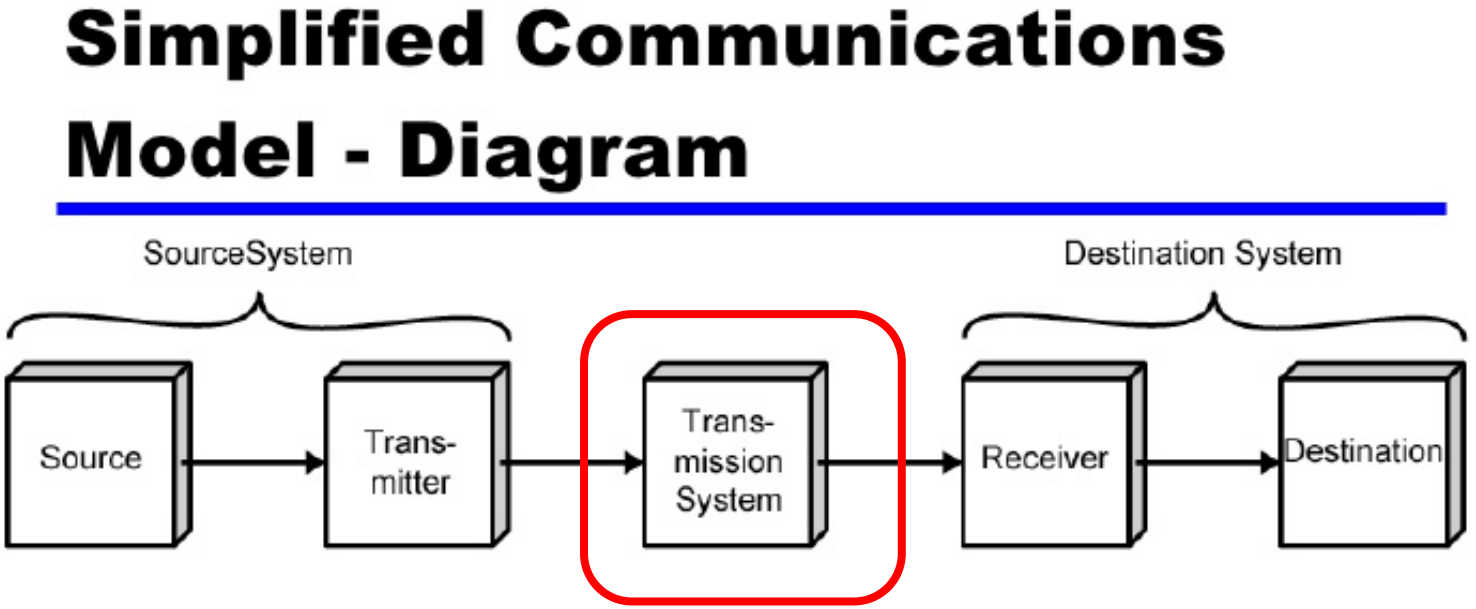
เพื่อให้แบ่งปันทรัพยากรในการสื่อสารข้อมูล

Q: ความหลากหลายของช่องทางสื่อสาร

- เพื่อให้เราได้รับส่งข้อมูลกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ประสิทธิภาพ ?
  - รวดเร็ว
  - สะดวก
  - เสถียร
  - แบ่งใช้ช่องทางการสื่อสารกับหลายอุปกรณ์

ช่องทางการสื่อสารในยุคที่เราสามารถใช้ได้

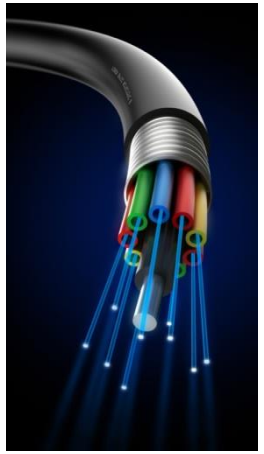
What types of transmission channel can we use?



Channel: ช่องทางสื่อสาร

What types of transmission channel can we use?

Wire Channel (สาย)



Wireless Channel (ไร้สาย)

NFC

3G/4G

Wireless Access Point

ADSL Modem

WHAT TYPES OF TRANSMISSION CHANNEL CAN WE USE?

Wireless Channel

IoT wireless

Microwave

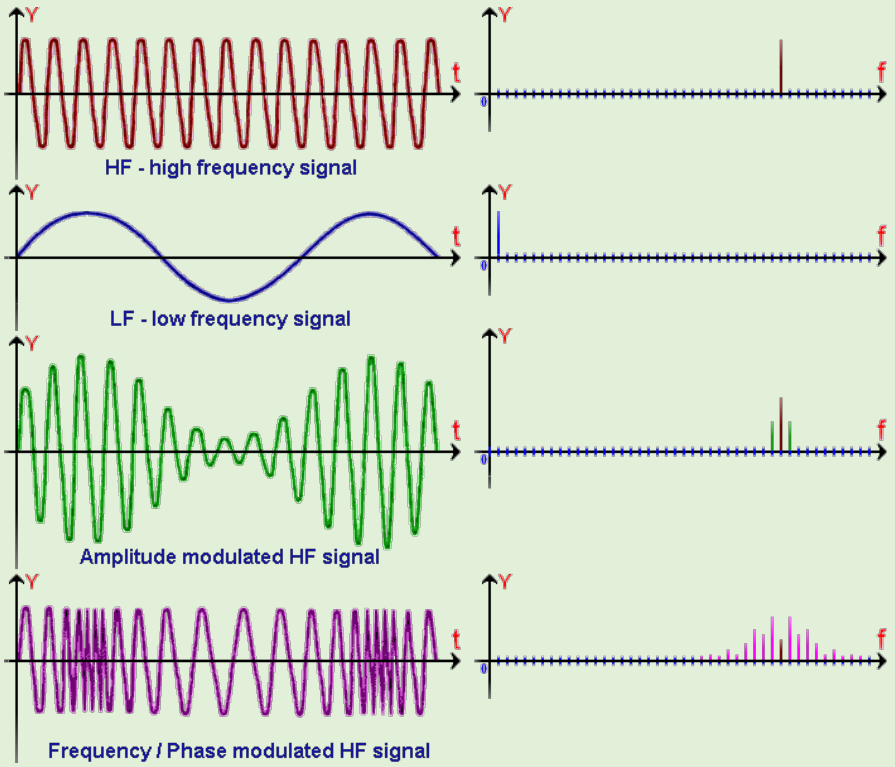
Satellite

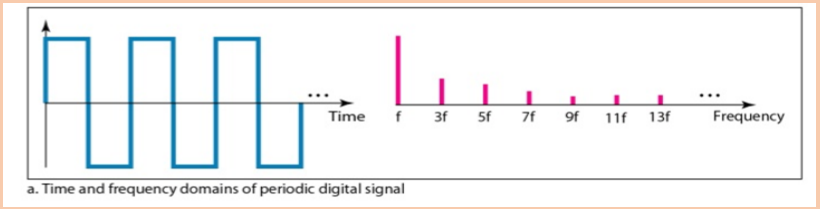
Signal

- ช่องทางการสื่อสารที่หลากหลาย
  - Q1: ช่องทางให้เลือกเยอะขนาดนี้ แล้วสัญญาณที่วิ่งในแต่ละช่องทางมันเหมือนกันหรือไม่
  - A1: แน่นอน บางช่องทางคล้ายกัน บางช่องทางไม่เหมือนกัน

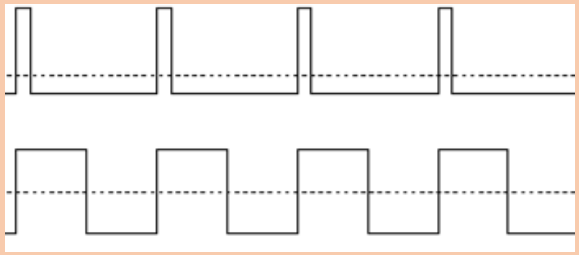
  - Q2: สัญญาณที่วิ่งในช่องทางต่างๆ มันหน้าตาเป็นยังไงล่ะ
  - A2: บางทีก็หน้าตาคุ้นๆ บางทีก็หน้าตาประหลาด ลองดูสิ

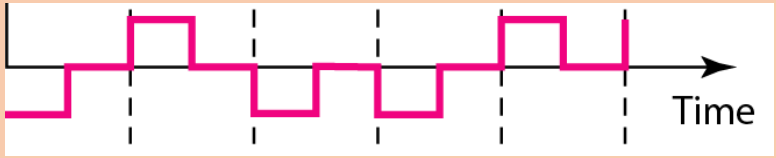
Signals on Transmission Channel

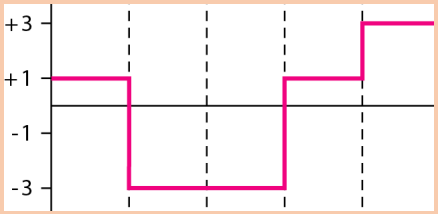




a. Time and frequency domains of periodic digital signal





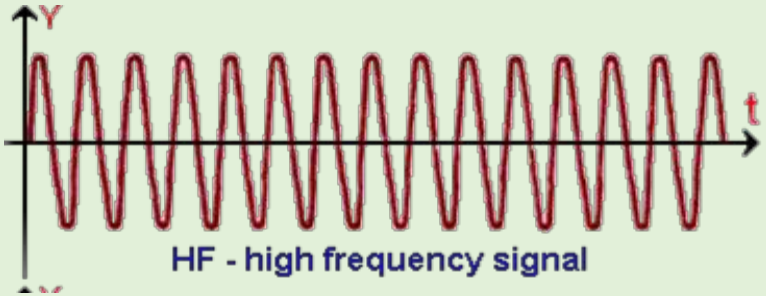


What is the difference?

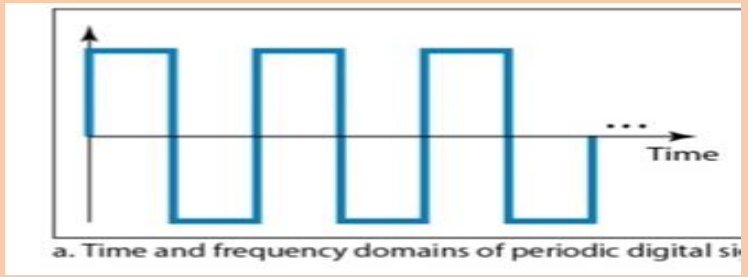
Signal with Properties

คุณสมบัติของสัญญาณ

Signals on Transmission Channel ที่เราจะใช้งาน



- Analog Signal Properties
  - Amplitude
  - Frequency (Hz) – Period (sec)
    - Single / Multiple frequency
    - $T_{period} = 1/f$
  - Phase (angle)

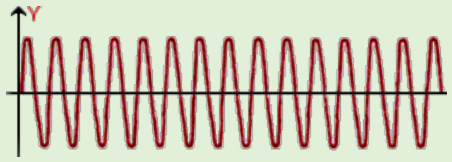


- Digital Signal Properties
  - Amplitude
  - Frequency (Hz)
    - Multiple Frequency
      - F_{fund}
      - Odd Harmonics
  - Duty Cycle (%)
  - Delay (sec)

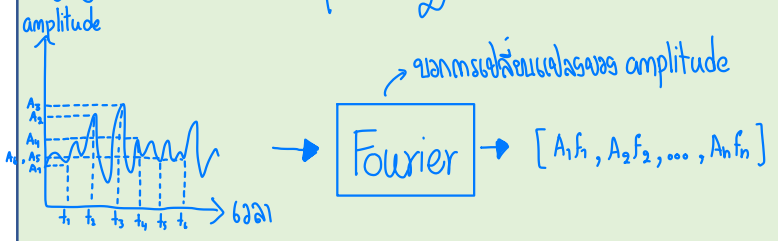
เรามาดูกันที่ความถี่

SIGNALS ON TRANSMISSION CHANNEL

Single Frequency แบบมีความถี่เดียว



อย่าง multi-Frequency

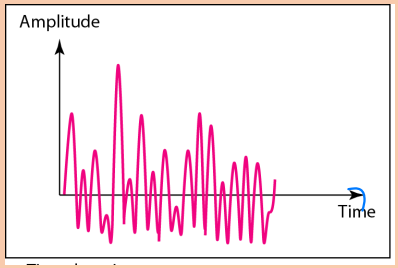


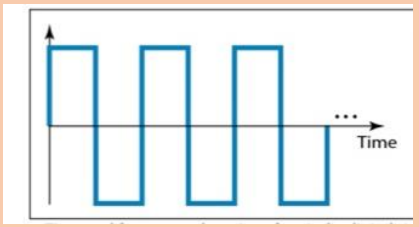
ของการเปลี่ยนแปลงของ amplitude

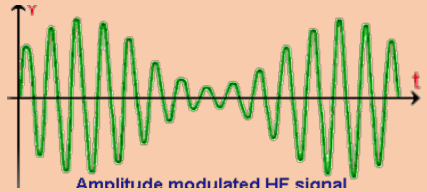
A_1t_1
A_2t_2
A_3t_3
A_4t_4
A_5t_5
A_6t_6

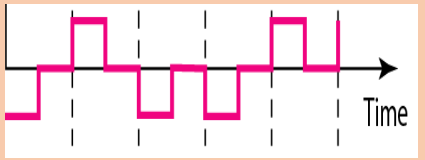
computer ไม่รู้จัก ความถี่
↳ รู้จักแต่ amplitude และเวลา
↳ สามารถส่ง amplitude ตามเวลา
↳ ทำให้เราเห็นเป็นลูกคลื่นตามเวลา

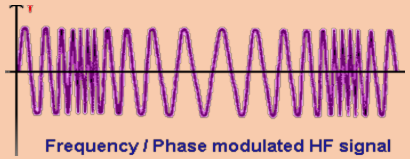
Multi-Frequency แบบหลายความถี่











SIGNALS ON TRANSMISSION CHANNEL

Single Frequency

- Analog Signal
  - Periodic
  - Single Sine wave

เป็นคลื่นสัญญาณรูปไซน์เดียว

Multi-Frequency

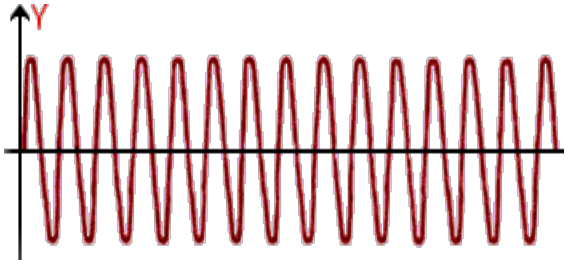
- Analog Signal
  - Aperiodic
  - Voice

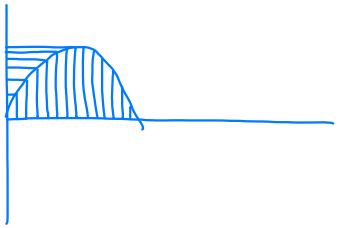
ข้อมูลเสียงต่างๆ

- All Digital Signal
  - Periodic -> Clk, PWM → เป็นรอบๆ
  - Aperiodic

อย่าเสียเวลาดูสัญญาณไฟไม่รู้จักความถี่

รู้จัก only Amplitude กับ time

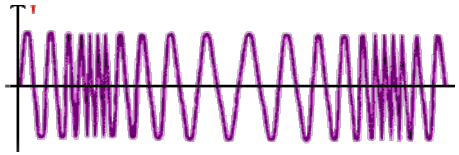


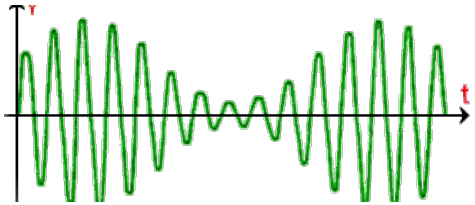


Analog Signals

(T) คาบ คือ 1 คลื่นใช้เวลาเท่าไหร่

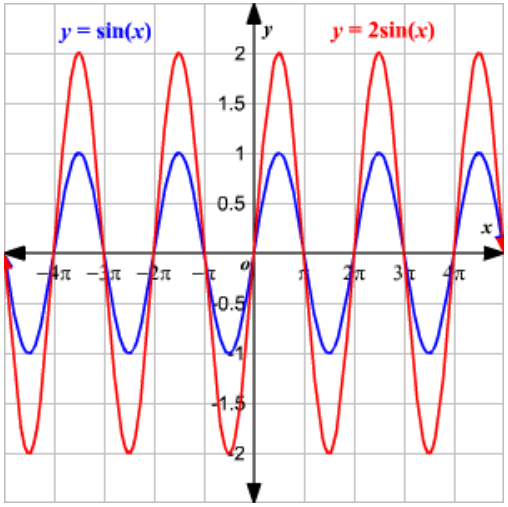
(f) ความถี่ คือ 1 วินาที มีกี่ลูกคลื่น





Single vs Multi-Frequency

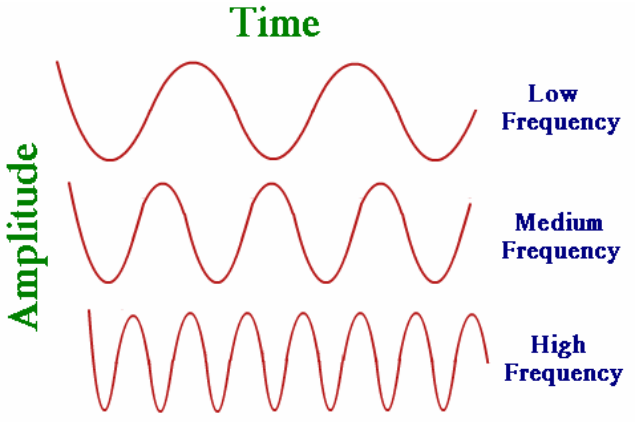
Periodic vs Aperiodic



Analog Signal Properties

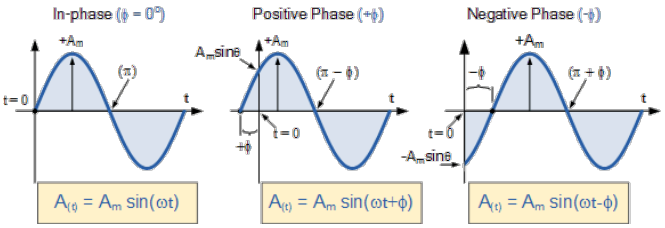
คุณสมบัติ

- Amplitude (Vpp, Vrms)



- Frequency (Hz: cycle/sec)

ความถี่ของรอบ



- Phase shift (degree)

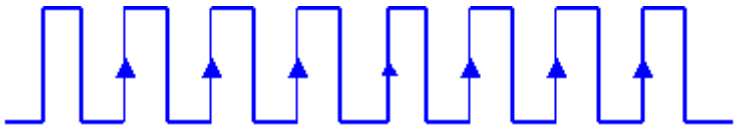
การชิ่น

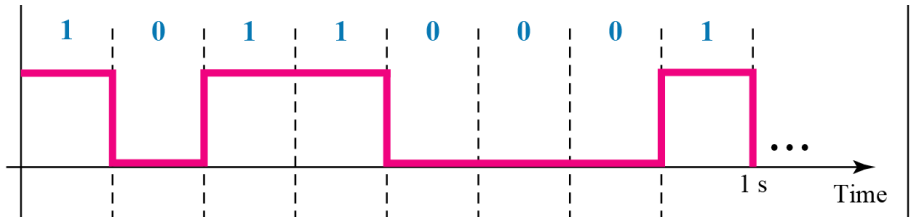
สัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

Digital Signals

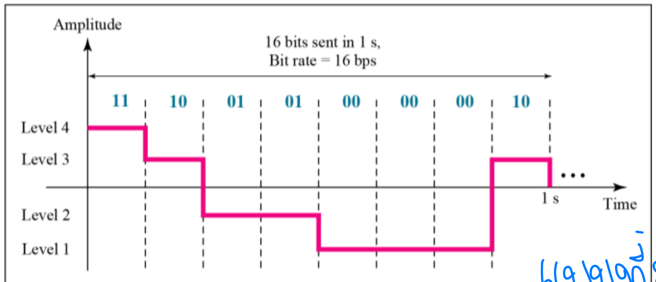
Multi-Frequency

Periodic vs Aperiodic



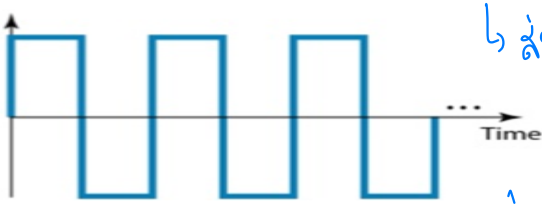


digital Signal Properties

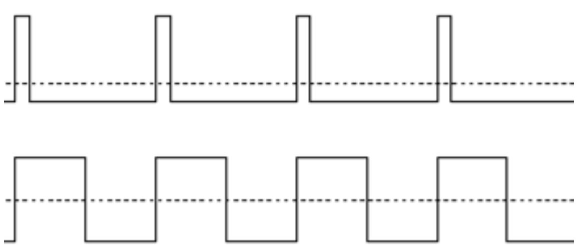


b. A digital signal with four levels

แบบที่มี pulse 4 ระดับ
↳ ส่งได้ครั้งละ 2 bit



แบบที่มี pulse 2 ระดับ
↳ ส่งได้ครั้งละ 1 bit



- Amplitude (Signal Levels, V)
- Frequency / Period
  - Clk period
  - Signal unit period

  → เราเรียกสิ่งนี้ว่า baud

- %Duty Cycle

  ↳ $\frac{\text{pulse width}}{T} \times 100\%$ # ปล่อยไฟที่เปอร์เซ็นของ 1 คาบ

pwm(255) → 100% → (t_1 … t_2) ถ้า 25% (t_1 … t_2)

Digital Signal

a pause or break in activity

appearing or occuring at intervals

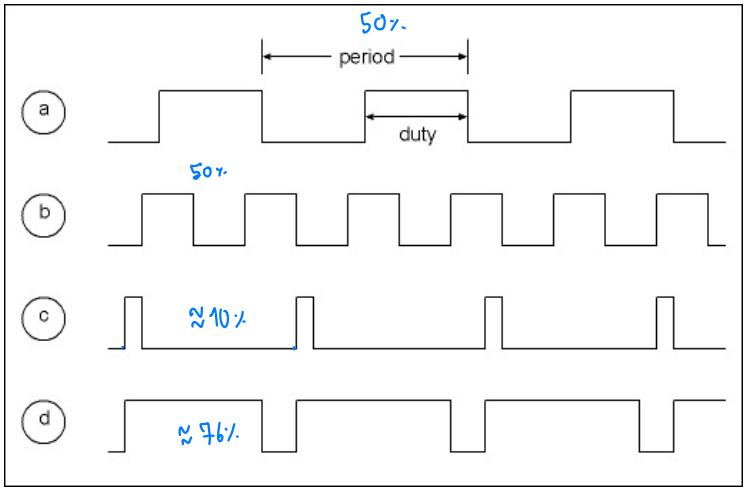
- **Periodic Digital signal**

เป็นรูปแบบเดิมซ้ำๆ

  - **Clk / PWM**

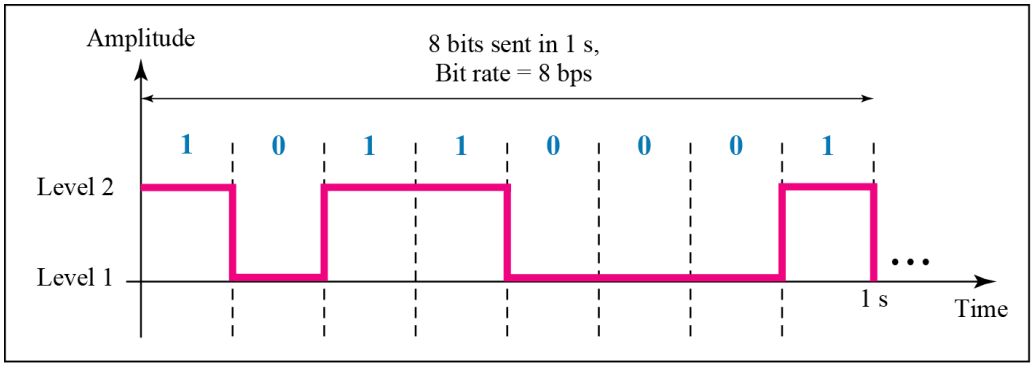
  - **% Duty cycle**
    = pulse width x 100 / period)

$$\frac{\text{pulse} \times 100}{T}$$

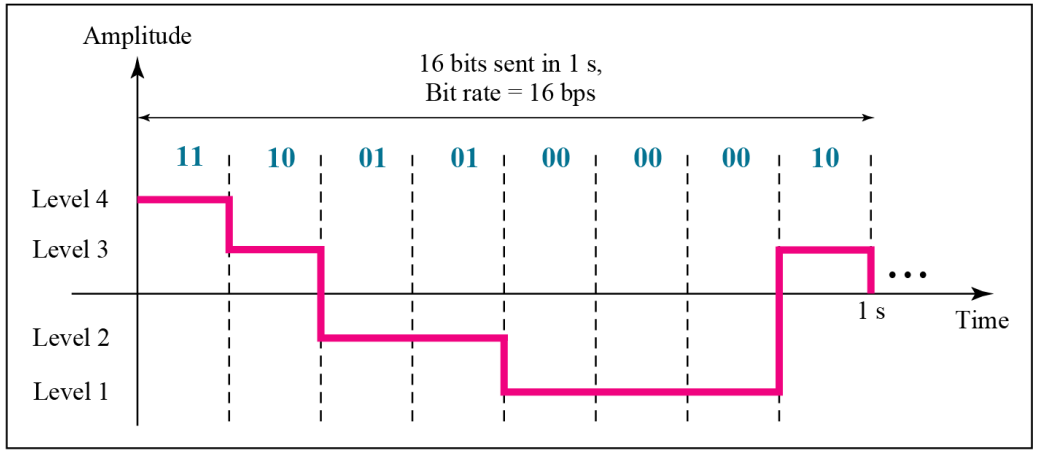


Digital Signal

- **Aperiodic Digital signal**
  - **Data representation (Single / Multiple Amplitude Levels)**



a. A digital signal with two levels



b. A digital signal with four levels

Activity #7.1

Draw analog vs digital with these properties

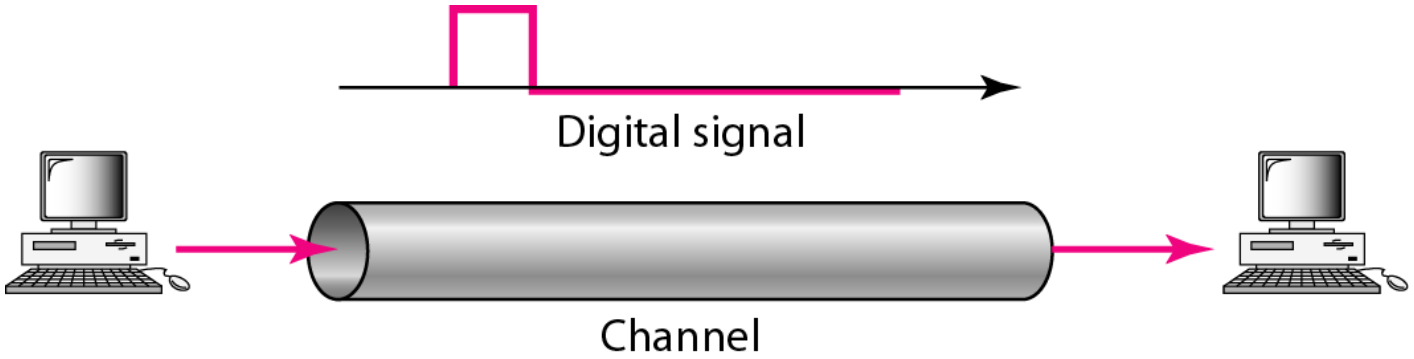
อาจารย์ใช้เส้นตรงวาดรูป

- S1 -> A = 2V; f = 2Hz, zeta=0
- S2 -> A =5V; f = 4Hz, zeta=90
- S3 -> A=2V; f = 2Hz, zeta=0
- S4 -> A=5V; f = 4Hz, zeta=180

- D1-> A=2V; f = 2Hz, duty = 80%
- D2-> A=5V; f = 4Hz, duty = 20%
- D3-> A=2V; f = 2Hz, duty = 80%
- D4-> A=5V; f = 4Hz, duty = 80%

Figure 3.18 *Baseband transmission*

Multi frequency



Note

A digital signal is a composite analog signal with an infinite bandwidth.

สัญญาณ digital คือ สัญญาณประกอบของสัญญาณ analog ที่มี bandwith ∞

ที่ใช้ส่งสัญญาณ digital ต้องมี bandwidth = ∞

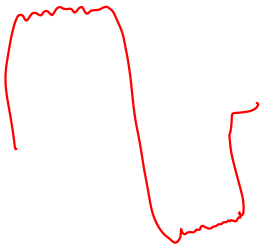
↓

ต้องมี harmonic ที่ 1, 3, 5, ..., ∞

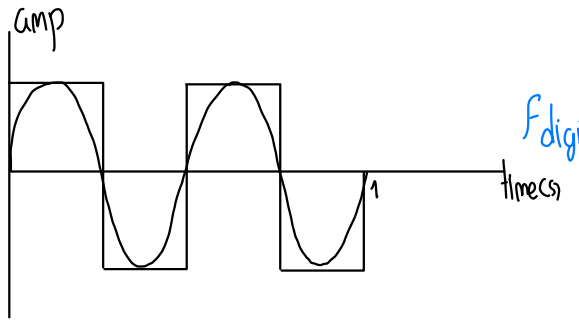
และ simple sine wave ต้องมีกี่ลูก

Digital Signal properties

- Why digital signal is considered as multi-frequency?
  - Inside containing several frequencies



- Multi-frequency signal
  - Frequency component
    - Fundamental (f_{fund}) = 1st harmonic
      = pulse frequency
    - Harmonic -> odd harmonic ($f_{harmonic}$)
      -> 3rd harmonic, 5th harmonic, 7th harmonic, ..., ∞
      -> $3*f_{1st}$, $5*f_{1st}$, $7*f_{1st}$, $9*f_{1st}$, ... , ∞ ใช้สูตรคูณ x n ที่ harmonic
    - Bandwidth (fmax – fmin) -> ∞ - $*f_{1st}$ = ∞



$f_{digital\ pulse} = 2Hz \rightarrow$ Harmonic 1 = 2 Hz, Harmonic 3 = 6 Hz, Harmonic 5 = 10 Hz, ⋮, Harmonic ∞ = ∞ Hz

Bandwidth = $f_{max} - f_{min}$ = 6 - 2 = ∞

ช่วงของความถี่ของสัญญาณ

Bandwidth คืออะไร?

↳ ความถี่ของแถบคลื่นความถี่ เป็นค่าสัญญาณที่ใช้วัดความเร็วในการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณนั้นๆ

↳ ยิ่งมาก ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลก็มากตาม

↳ สามารถเป็นความเร็วที่ใช้ในการส่งข้อมูล → ค่าของข้อมูลทั้งหมดที่ส่งได้ใน 1 หน่วยเวลา

↳ มีคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของระบบการสื่อสารทุกประเภท ทั้งแบบ analog, digital

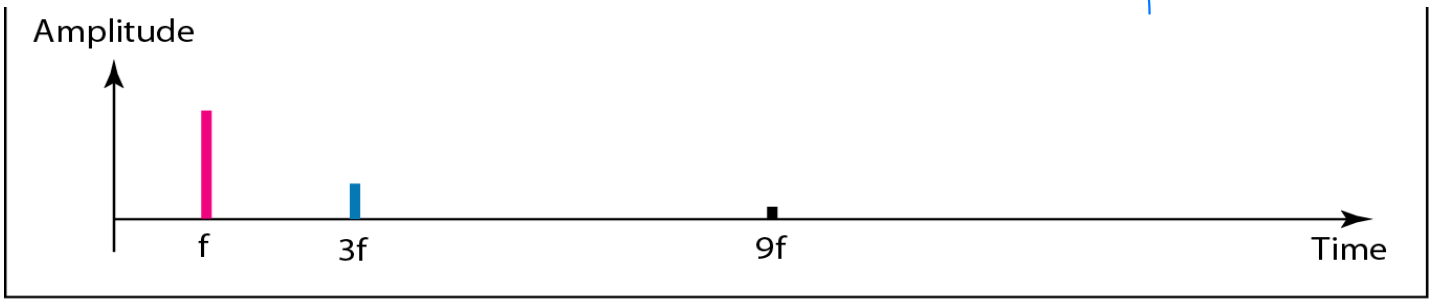
↳ ระบบดิจิทัล

↳ bandwidth จะวัดเป็น bps

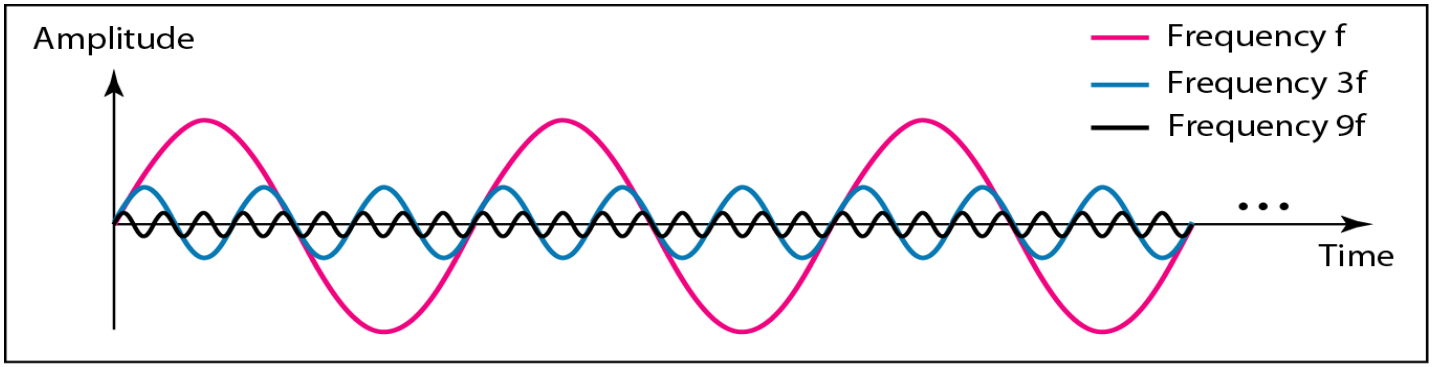
↳ ระบบ analog

↳ ความแตกต่างระหว่าง f_{max} กับ f_{min}

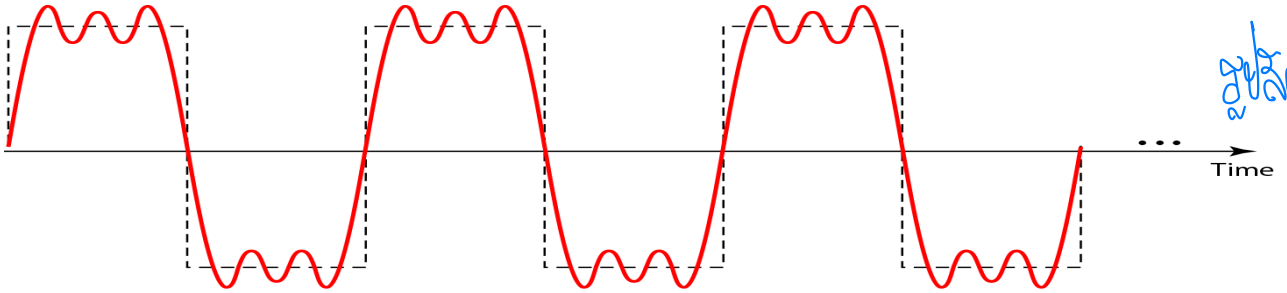
Figure 3.10 *Decomposition of a composite periodic signal in the time and frequency domains*



b. Frequency-domain decomposition of the composite signal



a. Time-domain decomposition of a composite signal



ข้อจำกัดของช่องสัญญาณสื่อสาร

Channel limitation

Both Frequency & Bandwidth

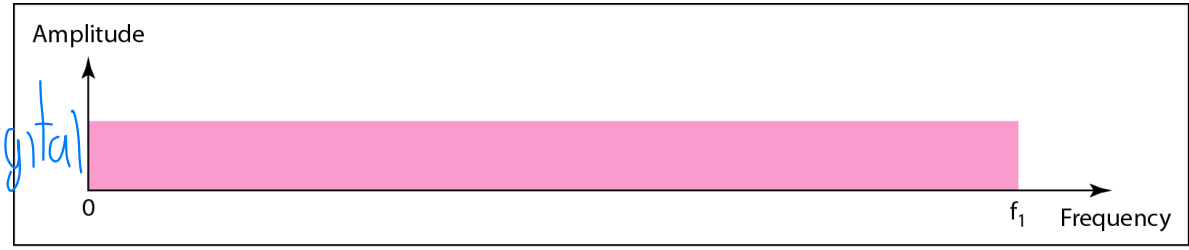
↳ ความถี่ & bandwidth

Transmission Channel Bandwidth

- **Channel Bandwidth Limited**

ใช้ส่งสัญญาณ digital

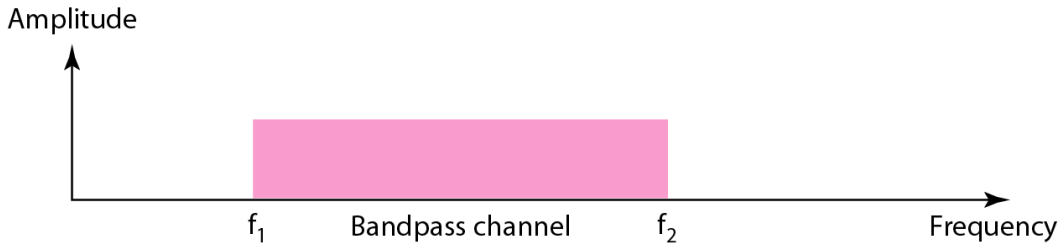
  - **Low Pass Channel**
    - **(Fmin = 0, Fmax = f)**



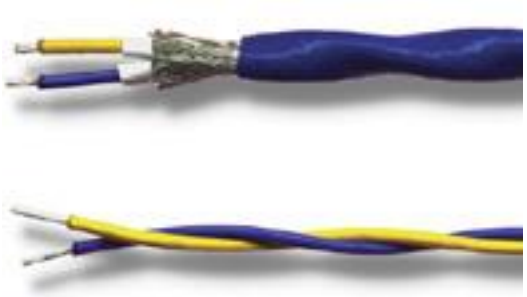
a. Low-pass channel, wide bandwidth

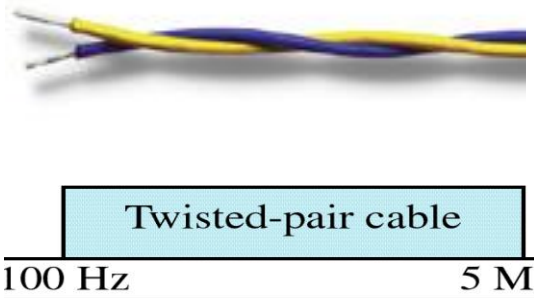
b. Low-pass channel, narrow bandwidth

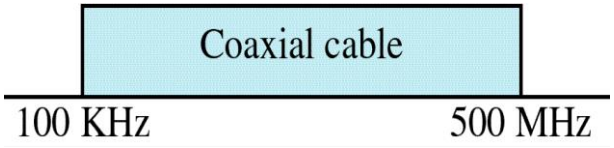
  - **Band Pass Channel**
    - **(Fmin = f1, Fmax = f2)**

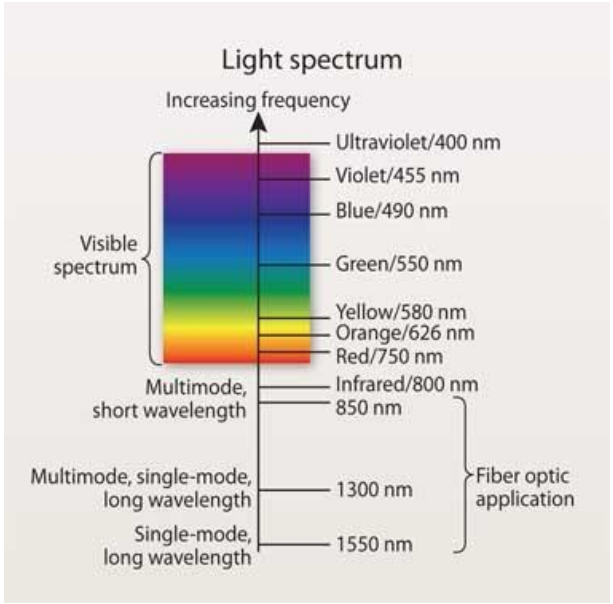


Digital Transmission Media
(Bandwidth Limitation)



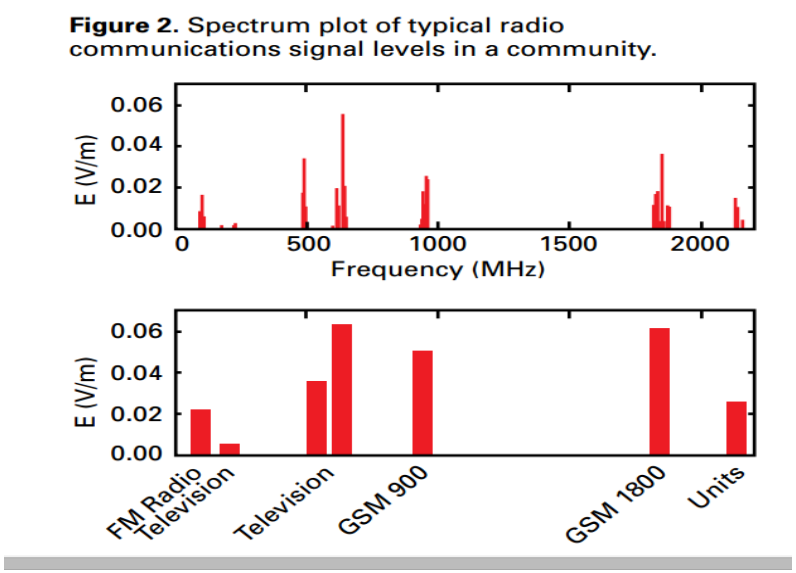


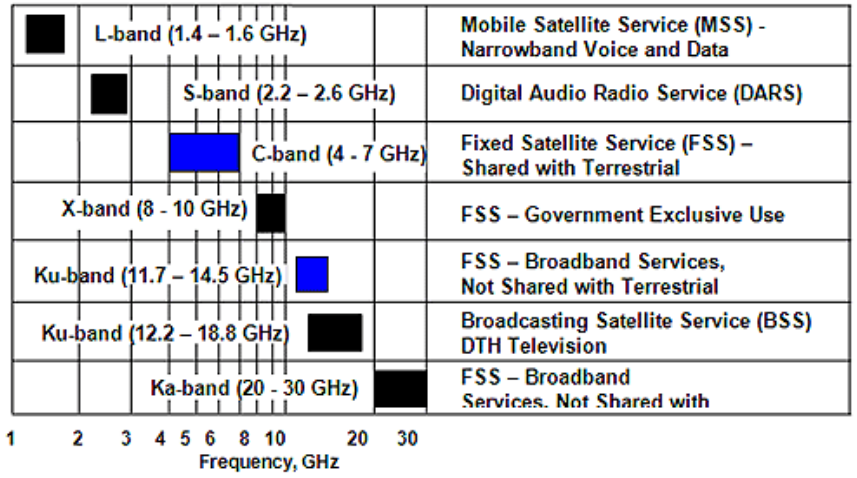




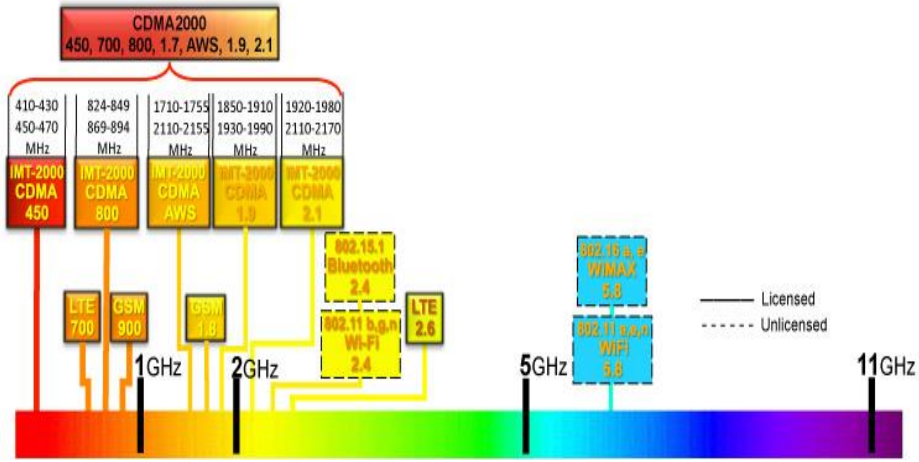
186 – 370 THz

Digital Transmission Media
(Bandwidth Limitation)





	Owner	Frequency (MHz)
Zigbee	Zigbee Alliance	868 - 868.6 (Europe) 902 - 928 (US)
Lo-RaWan	LoRa Alliance	169, 433, 868 (Europe) 915 (US)



Frequency & Bandwidth of channel

ทุกช่องสัญญาณ มีข้อจำกัด

Every transmission channel

- **Limited frequency & Bandwidth**

มันส่งผลกับการสื่อสารของเราอย่างไรบ้าง

How would it effect to our communication?

- **Tx & Rx** (การออกแบบช่อง Tx Rx)
  - **Frequency** → ความถี่
  - **Bandwidth** → ความกว้าง
    - **Related to signal speed / data rate** → อัตราสัญญาณ ส่งกับความเร็ว

Can we still transmit digital signal on channel?

การส่งข้อมูลดิจิตอลสัญญาณ digital

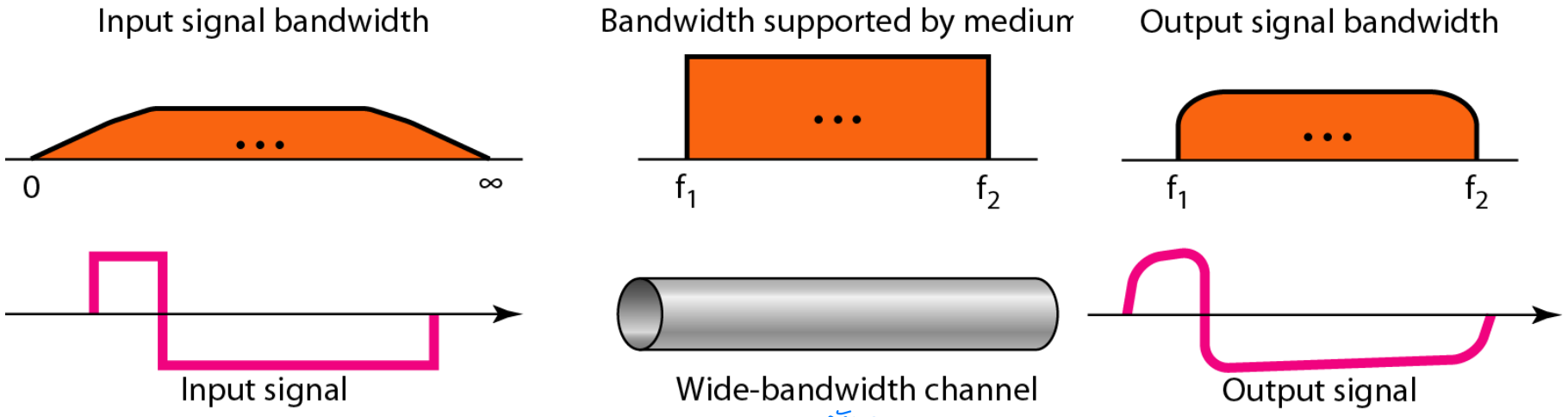
Digital Transmission

- Can we completely transmit all frequencies of digital signal?
  - No
  - Digital signal needs to be transmitted from
    - 0 Hz <= $f_{digital}$ < $f_{infinity}$

- Why?
  - A: ก็ส่งบนสาย LAN อยู่ทุกวัน ทำไมจะไม่ได้
  - B: เคย เอา Oscilloscope ไปวัดสัญญาณดูมั้ย ว่าหน้าตามันเป็น Square pulse อย่างทฤษฎีเค้าว่ารึเปล่า

Figure 3.20 *Baseband transmission using a dedicated medium*

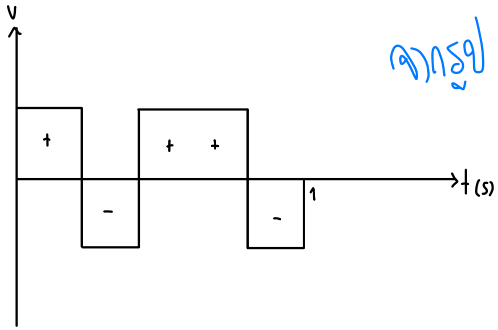
ถ้าส่งเกินความถี่ที่ Channel รับได้จะเกิดอะไรขึ้นกับสัญญาณ Digital signal @ Rx



BWsignal <= BWchannel

Relation between

Bit rate (bps) / Baud rate (baud) / Frequency Bandwidth (Hz)



จากรูป

$$\text{จำนวน bit} = \log_2 L = \log_2 2 = 1$$

f digitalpulse = 5 Hz

pulse rate = 5 baud rate

ถ้าเกิด signal มี 2 level

↳ bit rate = 1 × 5 = 5 bps

ถ้าเกิด signal มี 4 level

↳ bit rate = 2 × 5 = 10 bps

〃 ——— 〃 8 level

↳ bitrate = 3 × 5 = 15 bps

〃 ——— 〃 16 level

↳ bit rate = 4 × 5 = 20 bps

มองหารูปแบบความสัมพันธ์จะได้

$$\text{bitrate} = (\log_2 L)(\text{baudrate})$$

มองผลคูณหน่วย

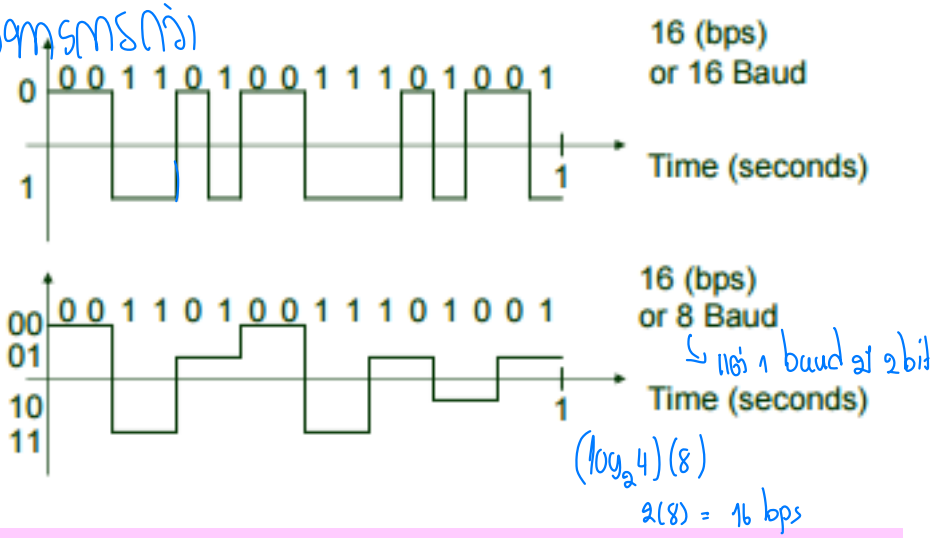
$$\frac{\text{bit}}{\text{baud}} \times \frac{\text{baud}}{\text{sec}}$$

↳ ในลูกคลื่นนั้นมีกี่ bit

↳ ส่งได้กี่ลูกคลื่นใน 1 วินาที

Relationship between Baud rate & bitrate

- Baud rate
  - อัตราการส่งสัญญาณ
    - จำนวนชุดสัญญาณ/วินาที
    - (#signal units/s -> baud/s)
    - Ex. Baud rate: 9600
      - 9600 signal units /s



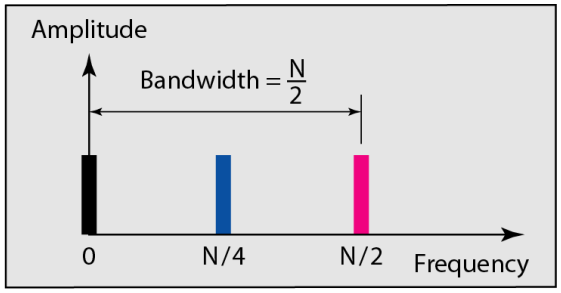
Bit rate = baud-rate x log2(signal levels)

- Bit rate
  - อัตราการส่งบิตข้อมูล
    - จำนวนบิต/วินาที
    - (#Bits / s -> bit-per-sec (bps)

signal levels = # voltage levels used

- Baud vs Bit
  - ความสัมพันธ์ผ่านการเข้ารหัส Bits-to-Signal Encoding

What would be patterns of signals for 3 bits of data?



Bit-to-Signal Encoding
- 1 bit per baud
- Bit rate = baud rate

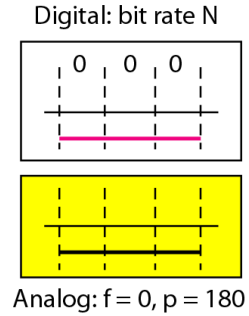
Signal patterns related to 3 bits of data

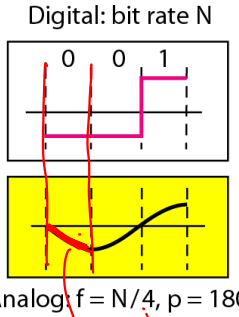
1st Harmonic frequency only

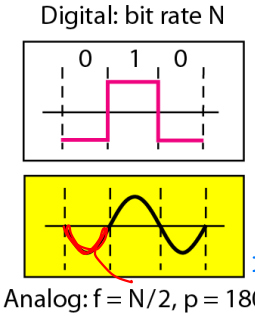
Lowest Frequency patterns
'000' , '111' -> fsignal = ?

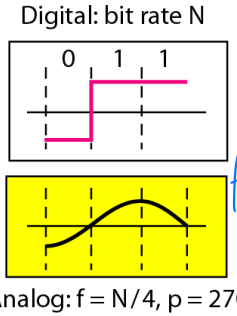
Highest Frequency patterns
'010' , '101' -> -> fsignal = ?

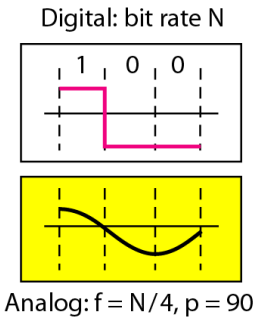
Bandwidth (BW) =

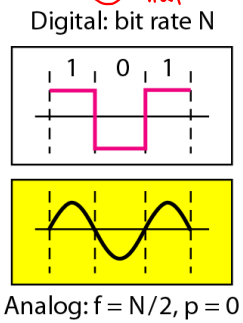


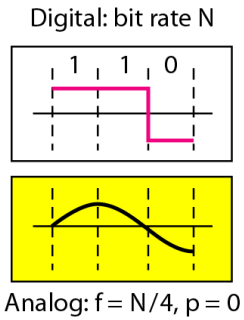


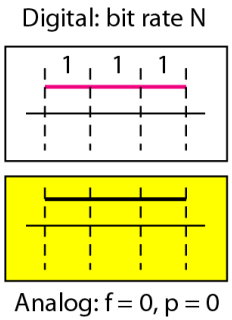








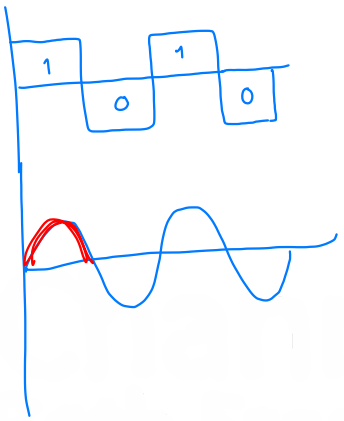




ถ้าข้อมูลขนาด 4 bit

↳ $f_{min} = 0$

↳ f_{max} จะเกิดขึ้นเมื่อ 1010 หรือ 0101



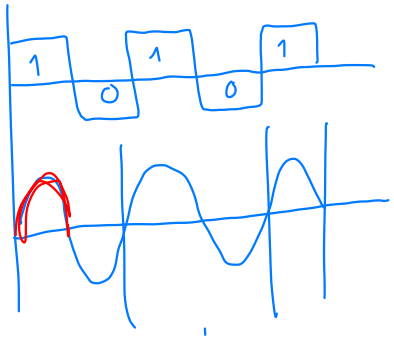
$f_{analog} = \frac{n}{2}$; n คือจำนวน bit

ความถี่ = 2

ถ้าข้อมูลขนาด 5 bit

$f_{min} = 0$

f_{max} = 10101 หรือ 01010



$f_{analog} = \frac{n}{2}$

ความถี่ = $\frac{5}{2}$

∴ f_{max}ของความถี่ n bit = $\frac{n}{2}$ Hz

min = 0 Hz

} Bandwidth = $\frac{n}{2}$

Table 3.2 *Bandwidth requirements*

Bit Rate	*Harmonic 1*	*Harmonics 1, 3*	*Harmonics 1, 3, 5*
$n = 1$ kbps	$B = 500$ Hz	$B = 1.5$ kHz	$B = 2.5$ kHz
$n = 10$ kbps	$B = 5$ kHz	$B = 15$ kHz	$B = 25$ kHz
$n = 100$ kbps	$B = 50$ kHz	$B = 150$ kHz	$B = 250$ kHz

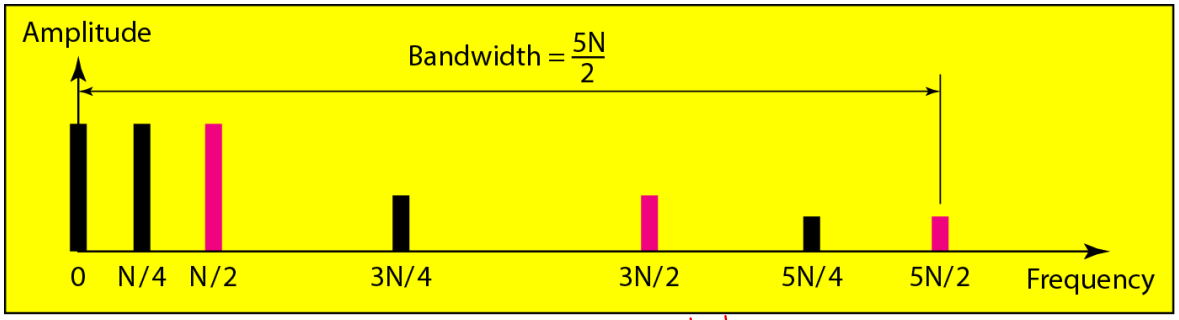
ยิ่งต้องการส่ง Digital pulse ให้สมบูรณ์มากเท่าไหร่

ต้องส่ง Harmonic Frequency จำนวนมากเท่านั้น

ยิ่งทำให้ Bandwidth ของสัญญาณกว้างมากขึ้นตามไปด้วย

ถ้า Channel Bandwidth จำกัด จะกระทบ Baud rate & Bit rate อย่างไร

More perfect Digital Signal: More Harmonic Frequencies

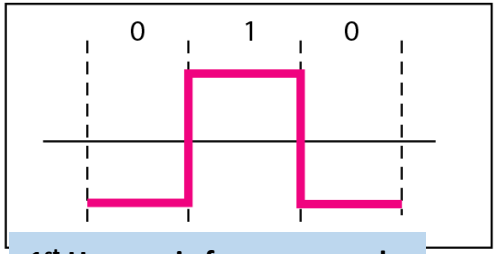


Bit-to-Signal Encoding
1 bit per baud
Bit rate = baud rate

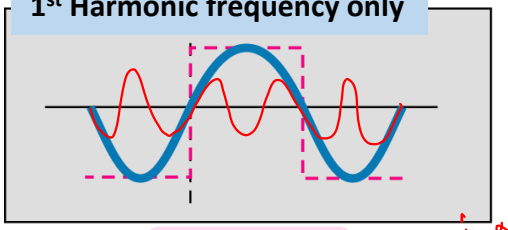
Signal patterns related to 3 bits of data

N คือจำนวน bit

Digital: bit rate N



1st Harmonic frequency only



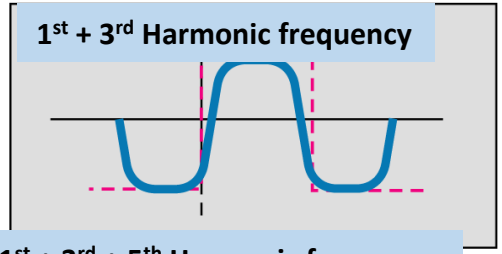
Analog: f = N/2 → ของเส้นนี้ 1 bit เดา $\frac{n}{2}$ ครั้ง

↳ ของเส้นแดง 1 bit เดาครั้ง $\frac{n}{2}$ เหมือนกัน

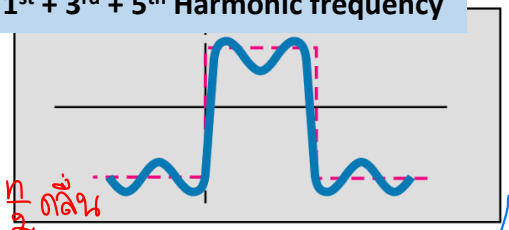
↳ แต่ มีมา 3 ลูก $\frac{3n}{2}$ ใน 1 bit

Analog: f = N/2 and 3N/2

1st + 3rd Harmonic frequency



1st + 3rd + 5th Harmonic frequency



Analog: f = N/2, 3N/2, and 5N/2

1st + 3rd + 5th Harmonic frequency

Bandwidth (BW) = _____

ถ้ามี n baud

$f_{max} = \frac{n}{2}$ → bandwidth = $\frac{n}{2}$

∴ Bandwidth signal ≤ Bandwidth channel

ถ้า Bandwidth channel = 100 MHz

จะส่ง baudrate ได้ max = 200 MHz

Activity #7.2

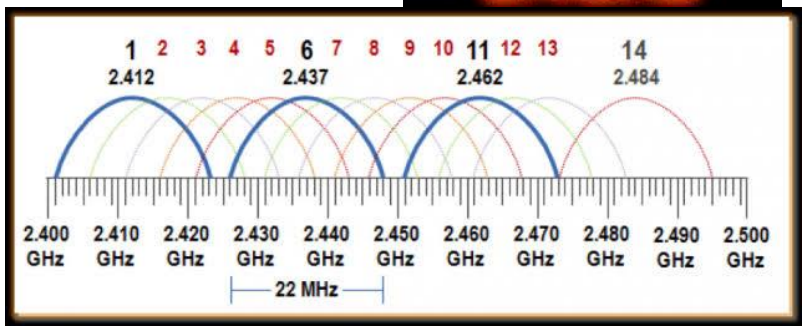
Transmission choice for selected bit rate

Wired Transmission

Twisted pair (LAN) 5MHz

Wireless Transmission

Wifi 2.4 GHz bandwidth 22 MHz



Bit rate = baud-rate x $\log_2$(signal levels)

Signal Spec:

1) Only 1st Harmonic (Fundamental) Frequency

2) Bit-to-Signal Encoding

Signal Level = 2 levels ('0' = -5V; '1' = +5V)

What is max. data rate / baud rate?

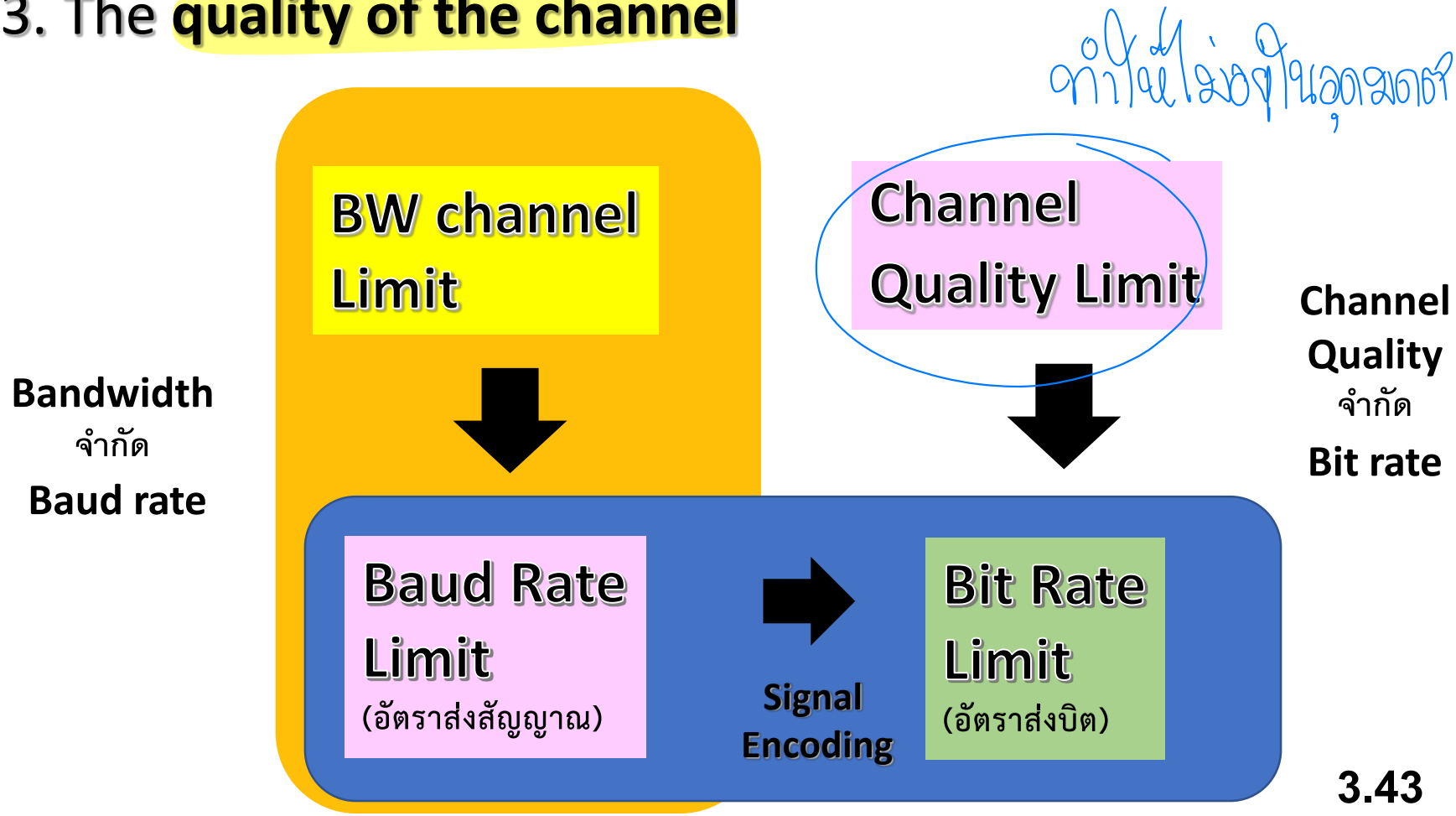
1) For LAN:

2) For Wifi 2.4GHz:

What is the Data Rate (Bit rate & baud rate) Limit?

3-5 DATA RATE LIMITS

1. The **bandwidth** available
2. The **Signal Encoding: Level of the signals**
3. The **quality of the channel**



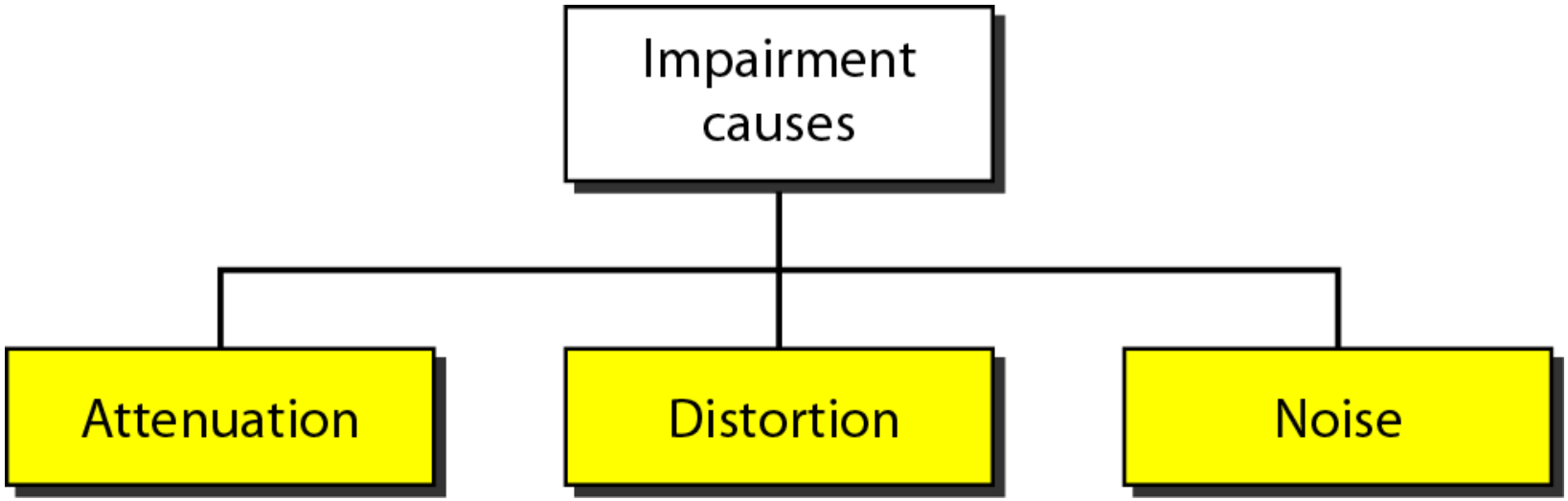
Channel quality

What would be the effects of channel quality?

Channel quality

- ข้อจำกัดของการส่งสัญญาณ Signal
  - Channel Bandwidth
  - Signal deviation from impairment causes

การลดทอน , การเสียคุณค่า

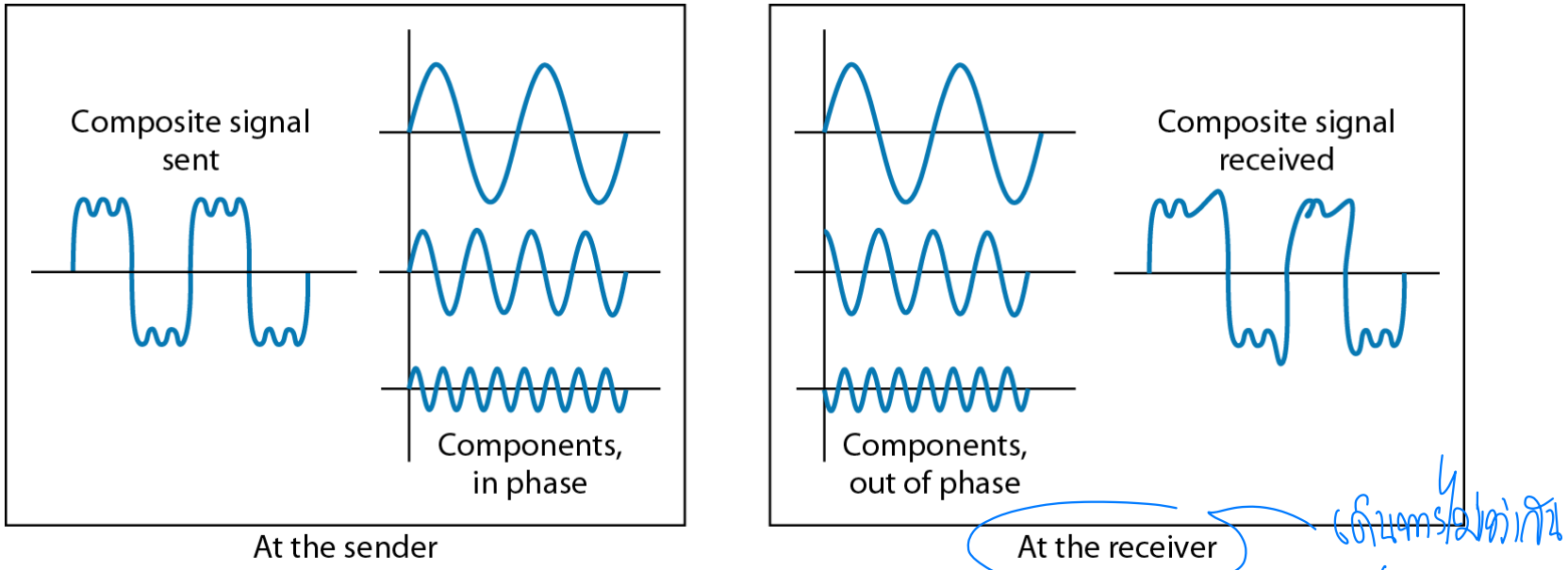


Signal Distortion

การผิดเพี้ยน

พลังงานเกิดจากการสั่นสะเทือน

Different frequency -> Different speed



ถ้าแหล่งกำเนิดอยู่ห่างเรา

f ↓ v ↓

ความถี่ลดลง

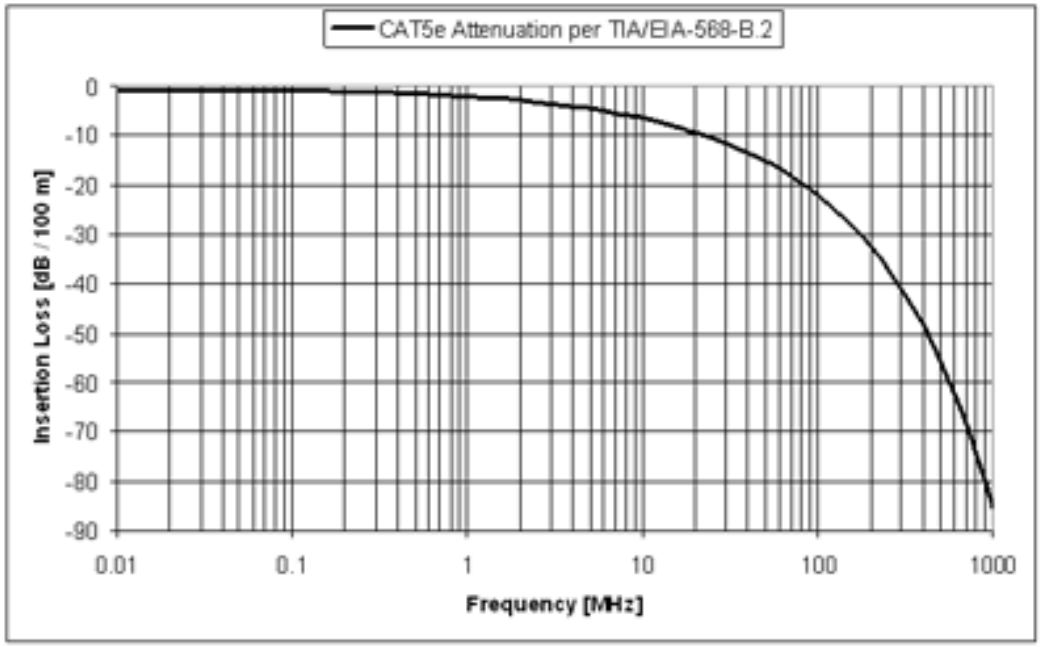
f ↑ v ↑

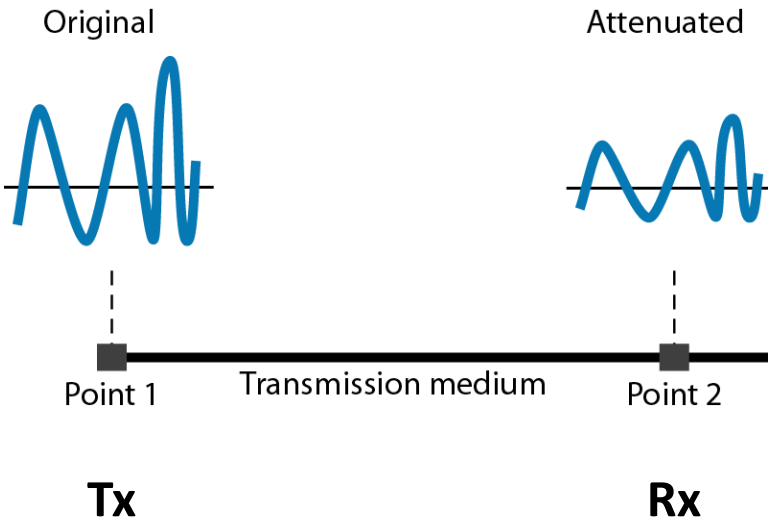
ความถี่เพิ่มขึ้น

$$c = f\lambda$$

c = signal speed f = signal frequency λ = signal wavelength

Attenuation (Amplitude Drop: Loss)





Power Loss depending on distance & frequency

$$10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log_{10} \frac{0.5 P_1}{P_1} = 10 \log_{10} 0.5 = 10(-0.3) = -3 \text{ dB}$$

$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$

Attenuation (Amplitude Drop: Loss)

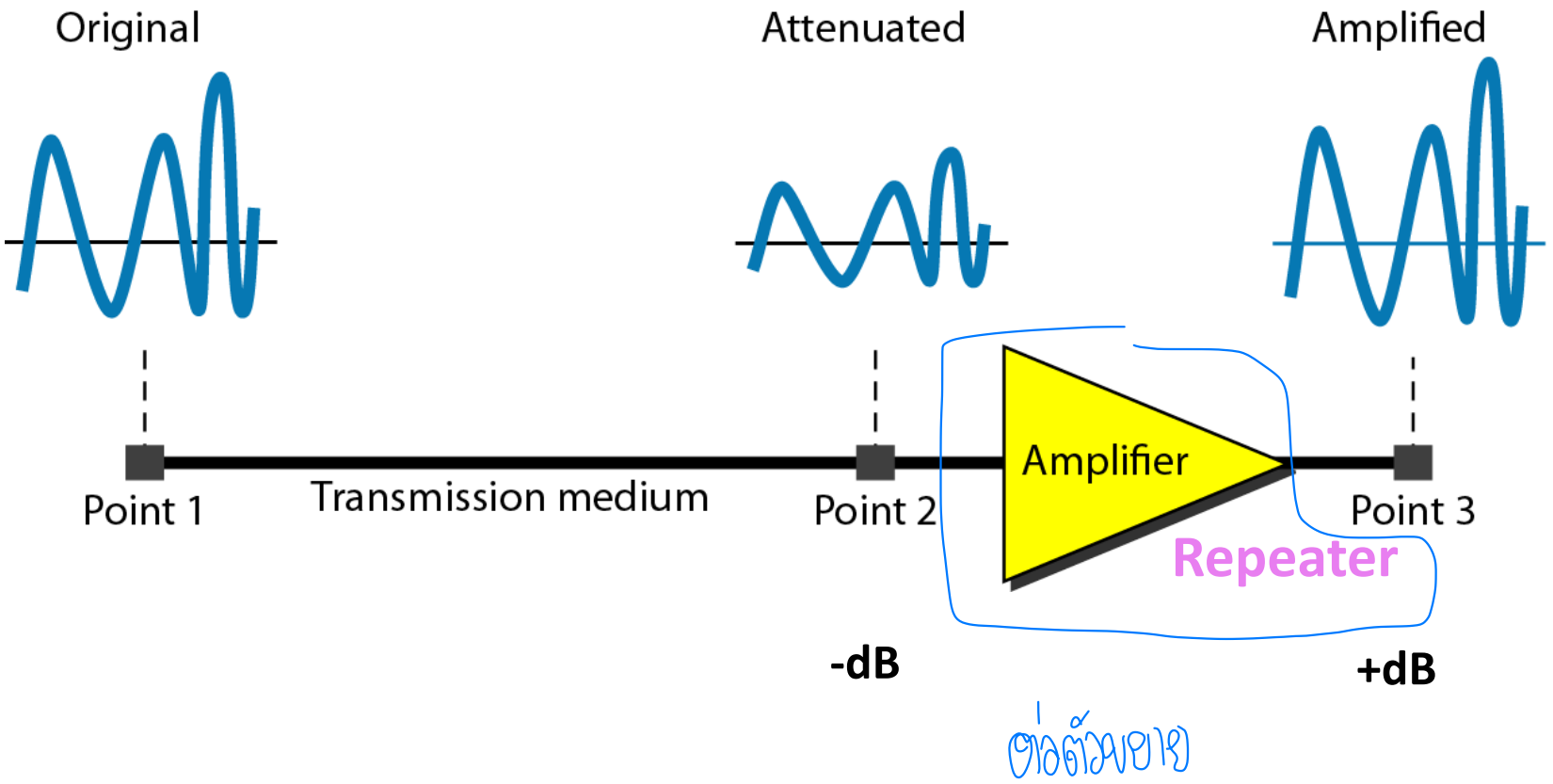
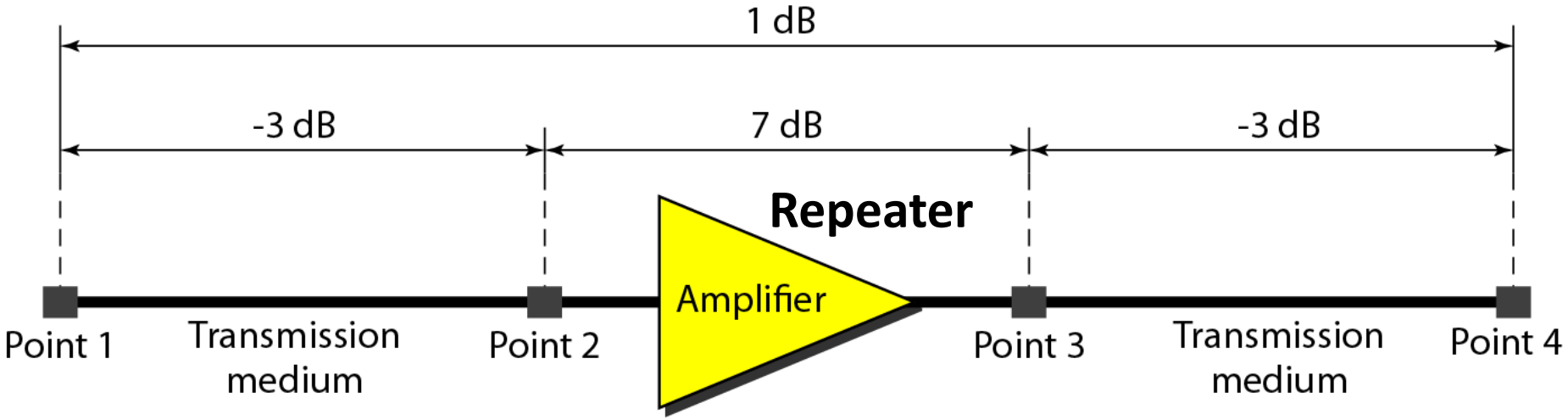
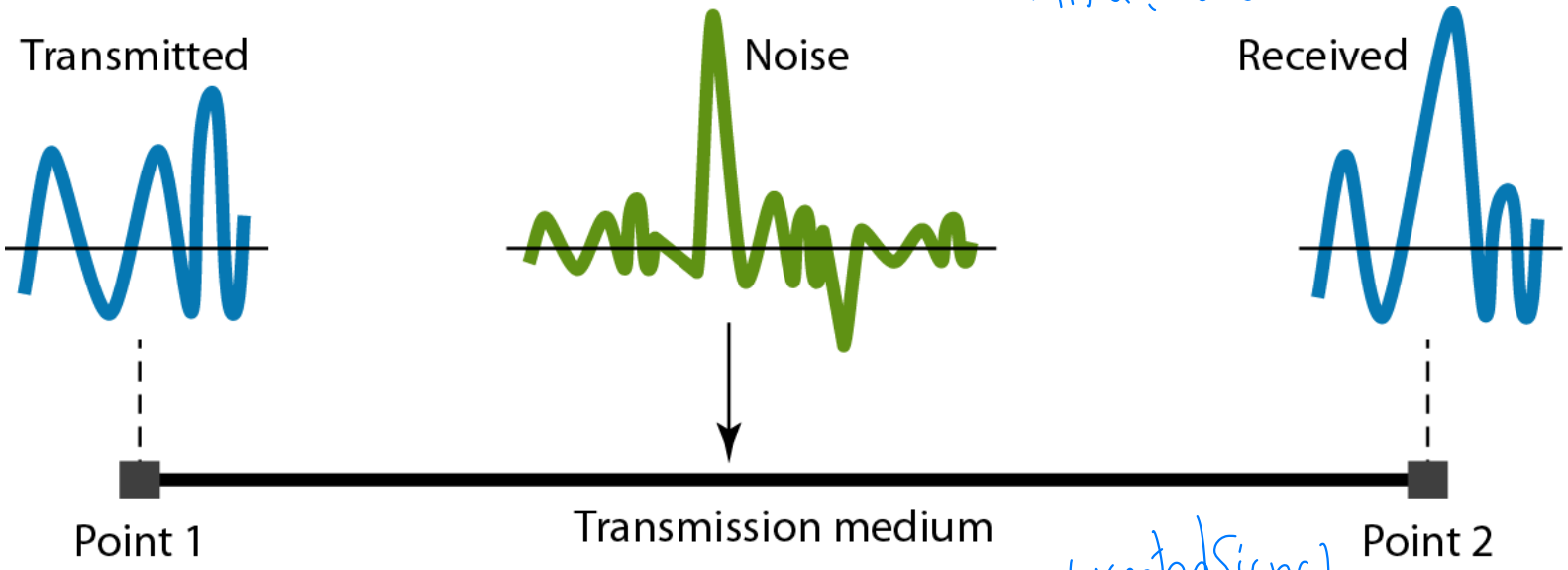


Figure 3.27 *Decibels for Example 3.28*



$$dB = -3 + 7 - 3 = +1$$

Noise: SNR (signal-to-noise ratio)

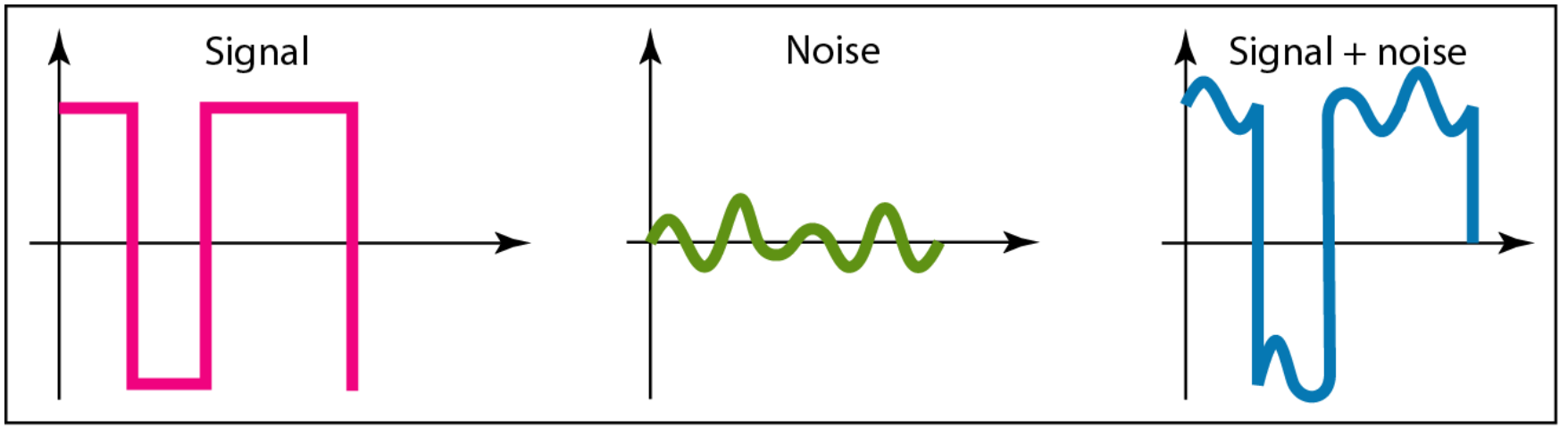


Signal To Noise Ratio

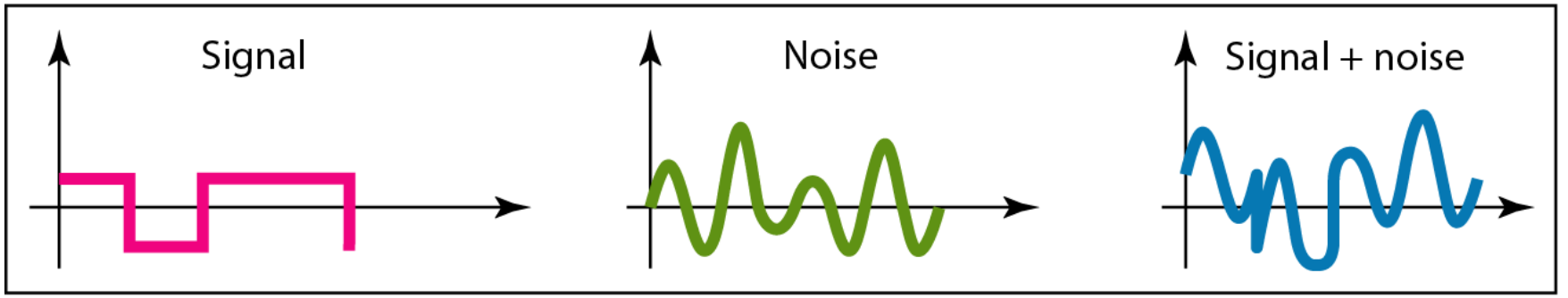
$$\text{SNR} = \frac{10{,}000\ \mu\text{W}}{1\ \text{mW}} = 10{,}000$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} 10{,}000 = 10 \log_{10} 10^4 = 40$$

Figure 3.30 *Two cases of SNR: a high SNR and a low SNR*



a. Large SNR

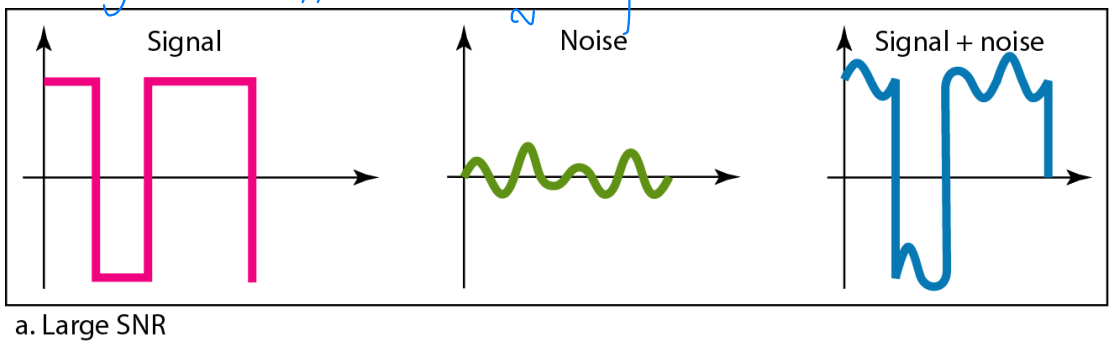


b. Small SNR

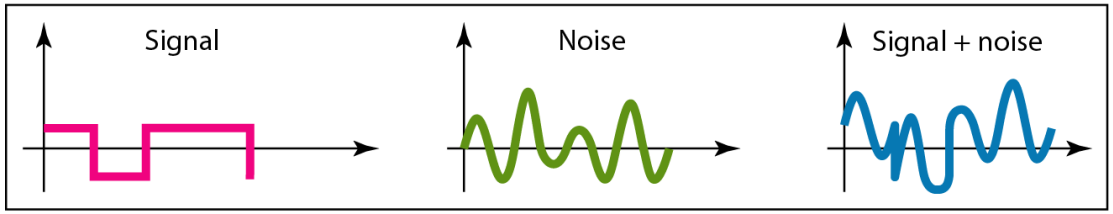
Data Rate Limit (Noisy Channel)

- **Shannon capacity theorem**
  - **Data Rate = Bandwidth x LOG2(1+SNR)**
    - **SNR = Signal to Noise Ratio**
    - **SNRdB = 10 log10(SNR)**

wdB = 10log(P(w)) # เสียงในห้องเงียบๆ



a. Large SNR



b. Small SNR

Ex. สัญญาณ 5W ส่งไปในสายนำ loss 4 dB ต่อ 100 เมตร จงหากำลังงานในสายที่จุด 750 เมตร

กำลังต้นทาง = $10\log(P)$

$= 10\log(5)$

$= 6.9897$ dB

สัญญาณลด $4 \times 750/100 = 30$ dB

$6.9897 - 30$

สัญญาณที่ปลายทาง = -23.0103

กำลังที่ปลายทาง = $10\log_{10}(P)$

$-23.0103 = 10\log_{10}(P)$

$10^{\left(\frac{-23.0103}{10}\right)} = P$

$P = 5$ mW

Activity #7.3

bitrate = Bandwidth ($\log_2(1+SNR)$)

$= 5M(\log_2(11))$

$= 5(3.4594)$ Mbps

$10 = 10\log_{10}(SNR)$

$10 = SNR$

- ให้นศ. เปรียบเทียบอัตราการส่งบิต (bit rate: bps) สำหรับการรับส่งข้อมูลในระยะทาง 100 m และ กำลังของสัญญาณที่อุปกรณ์รับสัญญาณได้รับ

  - กรณีที่ 1: เลือกใช้ช่องสื่อสารเป็นสาย LAN Cat5e
    - Bandwidth (BW): 5 MHz ✓
    - Loss 100m: -50 dB
    - SNR: 10 dB ✓
    - Transmitting power: 0.1W

$-50 = 10\log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$

$10^{-5} = \frac{P_2}{P_1}$

$P_2 = 10^{-6}$ W

ใช้สมการนี้ก็ได้

  - กรณีที่ 2: เลือกใช้ช่องสื่อสารเป็น wireless ความถี่ 2.4 GHz
    - Bandwidth (BW): 20 MHz
    - Loss 100m: -80 dB
    - SNR: 15 dB
    - Transmitting power: 1W

$-80 = 10\log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$

$10^{-8} = \frac{P_2}{P_1}$

$P_2 = 10^{-8}$

Bitrate = bandwidth $(\log_2(1+SNR))$

$= 20M(\log_2(1+10^{\frac{3}{2}}))$

$= 20\log_2(1+10^{\frac{3}{2}})$ Mbps

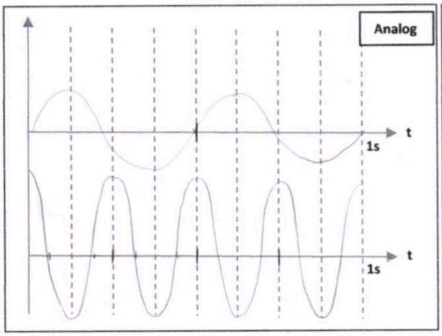
$1.5 = 1\phi\log_{10}(SNR)$

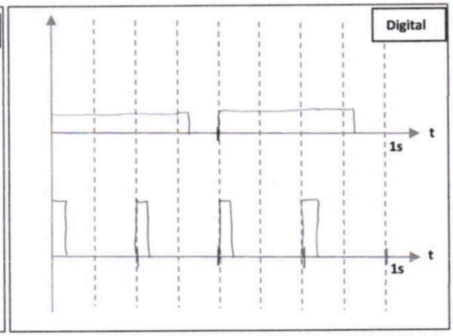
$SNR = 10^{\frac{3}{2}}$

ชื่อ-นามสกุล นาย [illegible] รหัส นศ. 61011433

Activity #7

7.1





7.2

BW = 5 MHz

Baud = 10 MHz

Bitrate = $\log_2 2$ 10

= 10 Mbps

Bwchannel = 22 MHz

Baud = 44 MHz

Bitrate = $\log_2 2$ (44M)

= 44 MHz

7.3

$-50 = 10\log_{10}\frac{P_2}{P_1}$

$10^{-5} = \frac{P_2}{P_1}\ 10^{-1}$

$10^{-6} = P_2$

$SNR_{db} = 10\log_{10}(SNR)$

$10 = 10\log_{10} SN$

$10 = SNR$

Bitrate = 5M × $\log_2(1+SNR)$

= 5M × $\log_2(11)$

= $\frac{5\log 11}{\log 2}$ Mbps

≈ 17 Mbps

P_{Rx} =

Loss(dB) = $10\log\left(\frac{P_{TX}}{P_{RX}}\right)$

$-80 = 10\log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$

$10^{-8} = \frac{P_2}{P_1}$

$P_2 = 10^{-8}$

$SNR_{Db} = 10\log_{10}(SNR)$

$15 = 10\log_{10}(SNR)$

$10^{1.5} = SNR$

Bitrate = 20M × $\log_2(1+\sqrt{1000})$

= $20\log_2(1+\sqrt{1000})$ Mbps

ถ้าได้ 10Mbs → ถ้า level 20 Mbs ไปไม่ได้

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล

Data Transmission Performance

- **Data Rate (bps: Bits/ sec)**

Baud rate → Bit rate

- **Transmission Time (s)** → ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล
  - delay จากขนาดของข้อมูล
- **Propagation Time (s)** → ระยะทางและสื่อกลาง → up to the distance and the speed of channel
  - delay จากระยะทาง
- **Throughput = #Data bits /s**

- **Bandwidth Delay Product (bits)**

Transmission Time

$f(t) = A\sin\omega t$

$= 10\sin\left(2\pi ft + \frac{20\pi}{180}\right)$

$= \cos m($

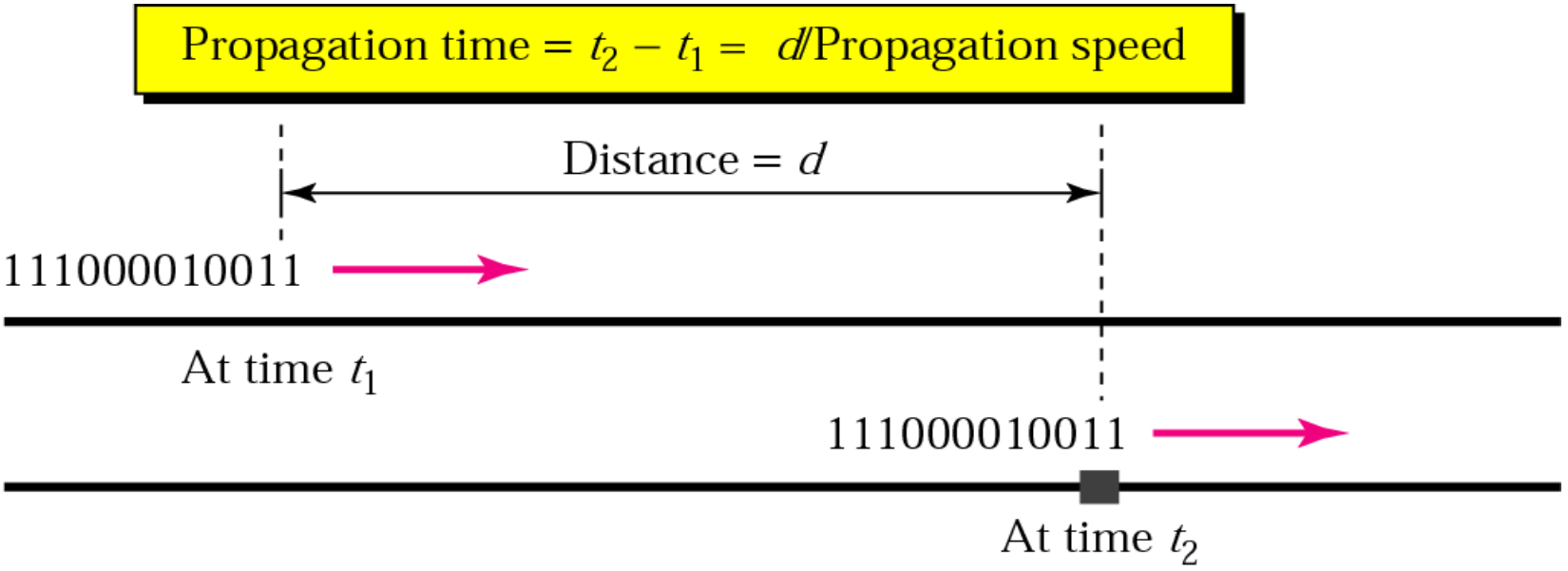
- ระยะเวลาในการปล่อยบิตข้อมูลออกจากตัวส่ง
  - Transmission time (s) = Total Transmission bits / Bit rate (bps)

$bps = \frac{\Sigma bit}{t}$

$t = \frac{\Sigma bit}{bps}$ normal สูตร

Figure 3.26 *Propagation time*

ระยะเวลาในการเดินทางของสัญญาณจากจุดเริ่มต้นไปจุดสิ้นสุด (sec)

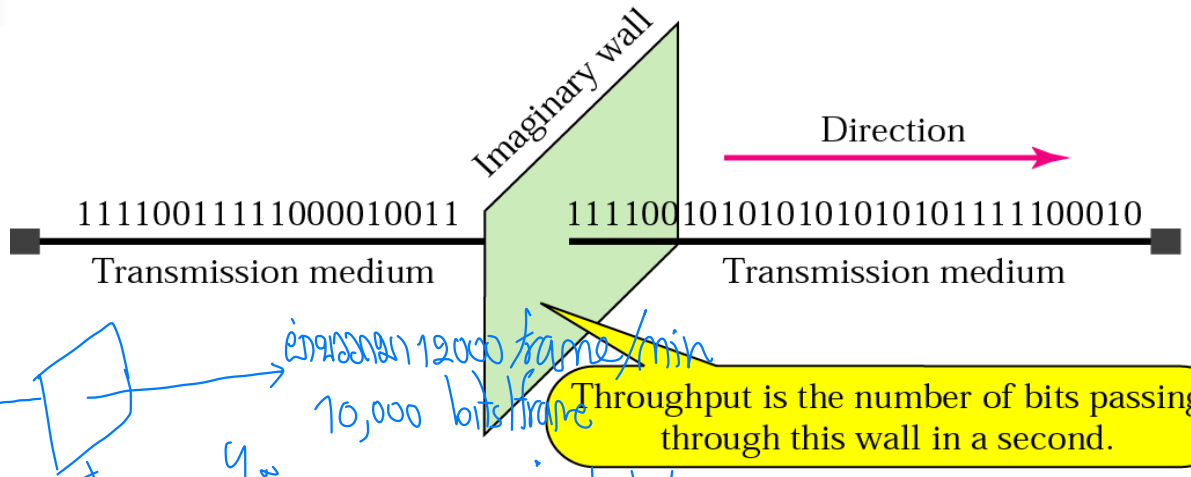


Propagation_time = distance / propagation speed in channel

Propagation speed$_{\text{สุญญากาศ}}$ = 3 x 10^8 m/s
Propagation speed$_{\text{fiber optic}}$ = 2 x 10^8 m/s
Propagation speed$_{\text{coaxial cable}}$ = 1.22 x 10^8 m/s
Propagation speed$_{\text{twisted pair}}$ = 2 x 10^8 m/s

ขึ้นอยู่กับชนิดของ channel

Figure 3.25 *Throughput*



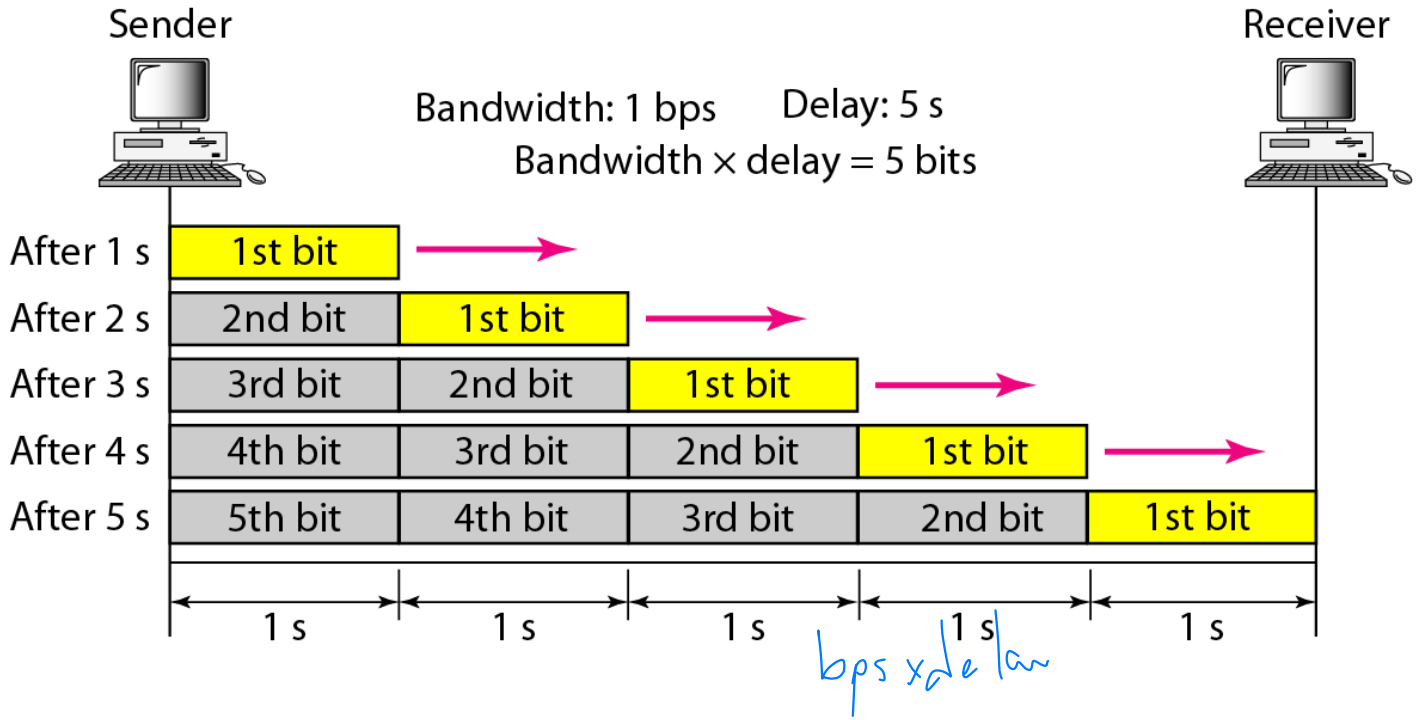
ความเร็วของข้อมูลที่ผ่านจุดๆหนึ่งใน 1 วินาที (bps)

A network with bandwidth of 10 Mbps can pass only an average of 12,000 frames per minute with each frame carrying an average of 10,000 bits. What is the throughput of this network?

Throughput = _____

Figure 3.31 *Filling the link with bits for case 1*

Bandwidth Delay Product (BDP)



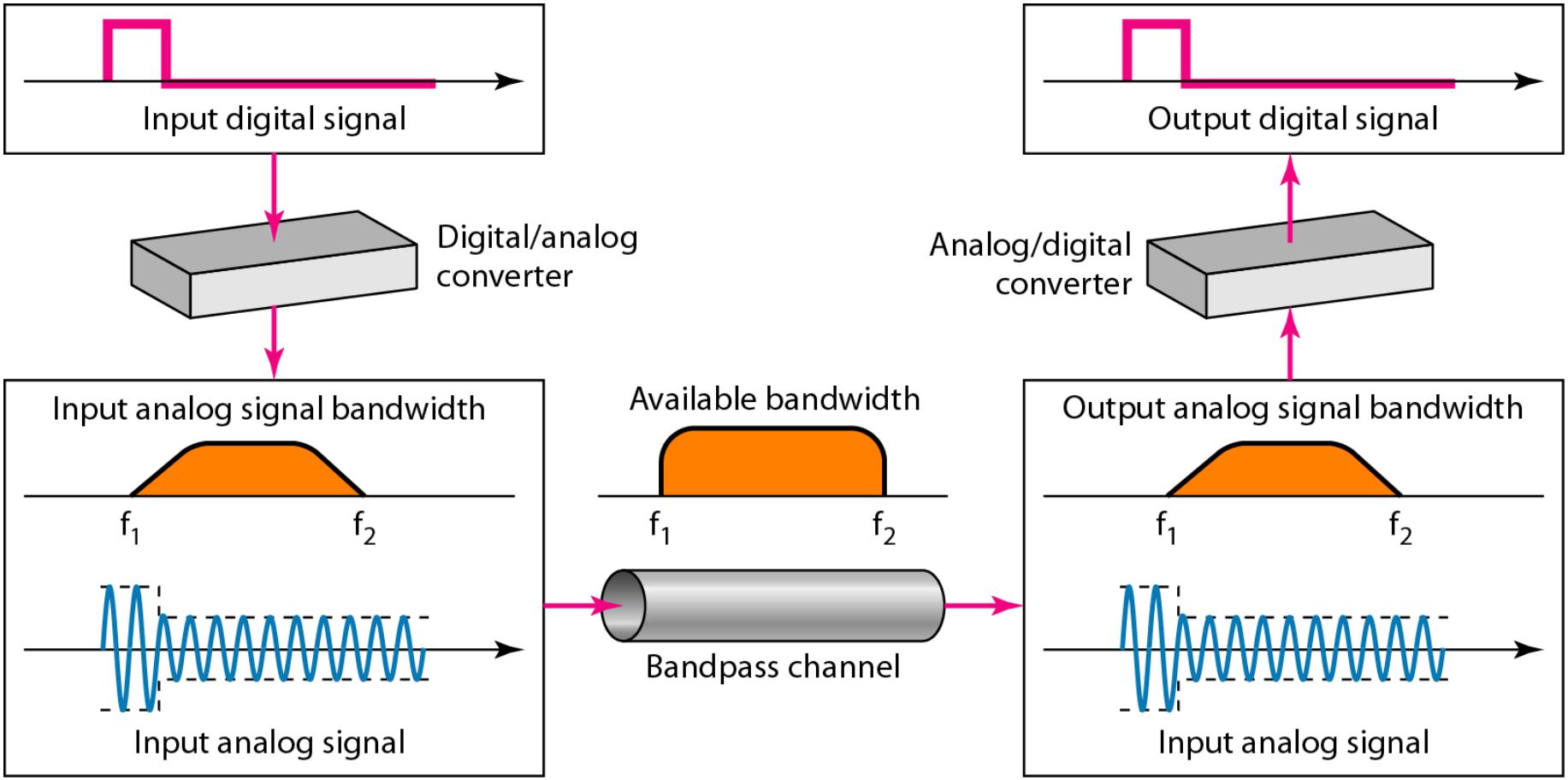
BDP (bits) = total_available_bandwidth (bits/sec) x Delay (sec)

Delay = one-way-time หรือ round_trip_time (sec)

How can we transmit digital data on **Channel bandwidth limit**?

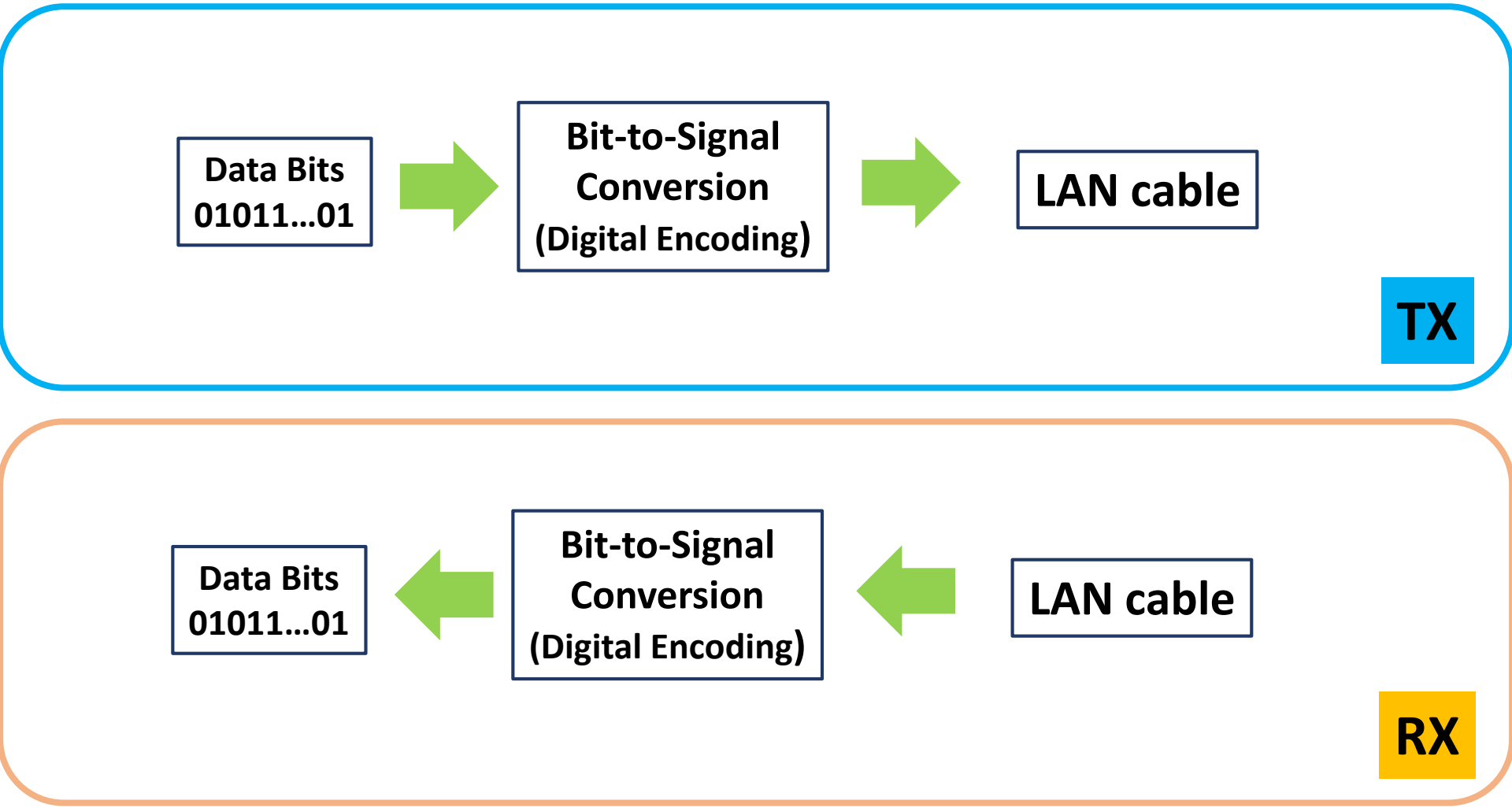
Need Signal Conversion

Figure 3.24 *Modulation of a digital signal for transmission on a bandpass channel*



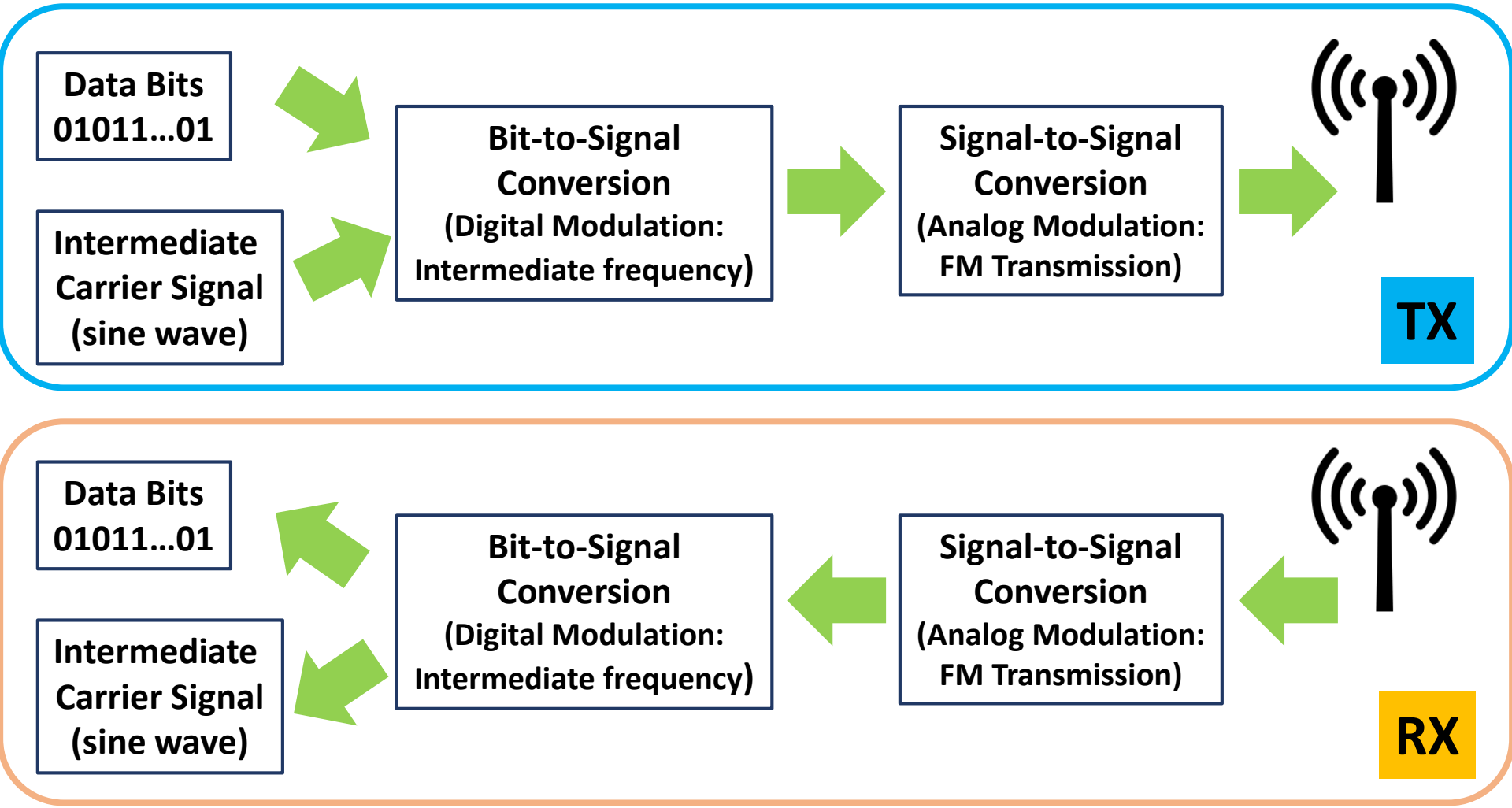
Lab#6-10

- จำลองการสื่อสารบนช่องทาง **wire (LAN channel)**



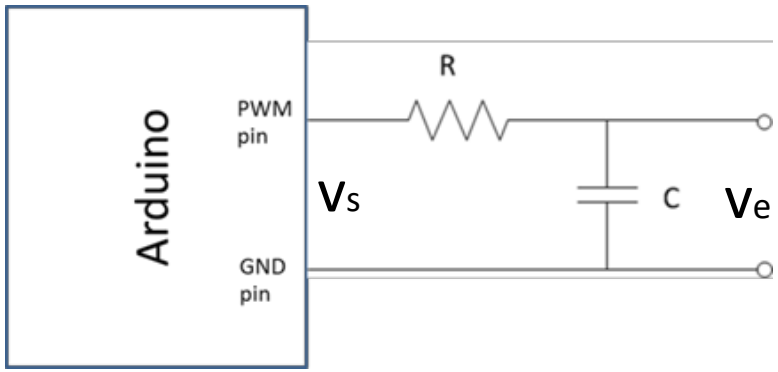
Lab#6-10

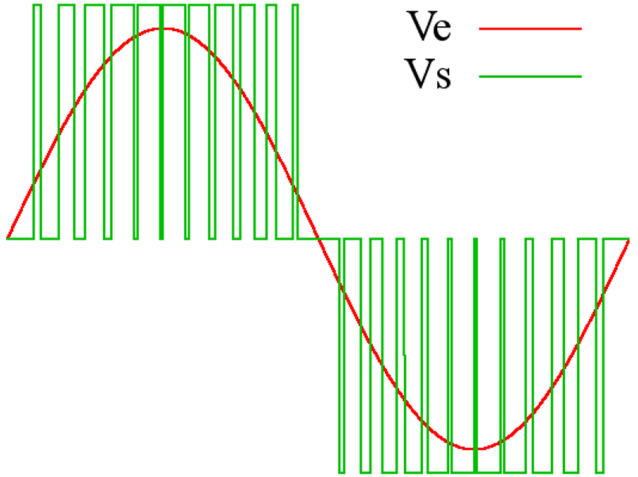
- จำลองการสื่อสารบนช่องทาง **wireless (FM channel)**



Lab#6

- **Single-frequency Sinewave Generation**
  - **Example#1**

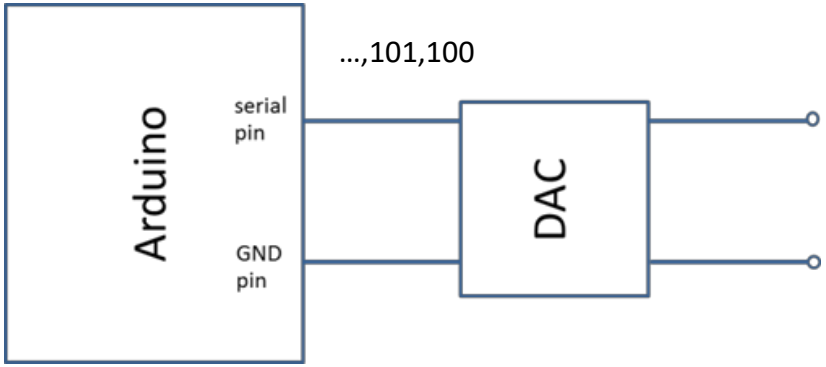


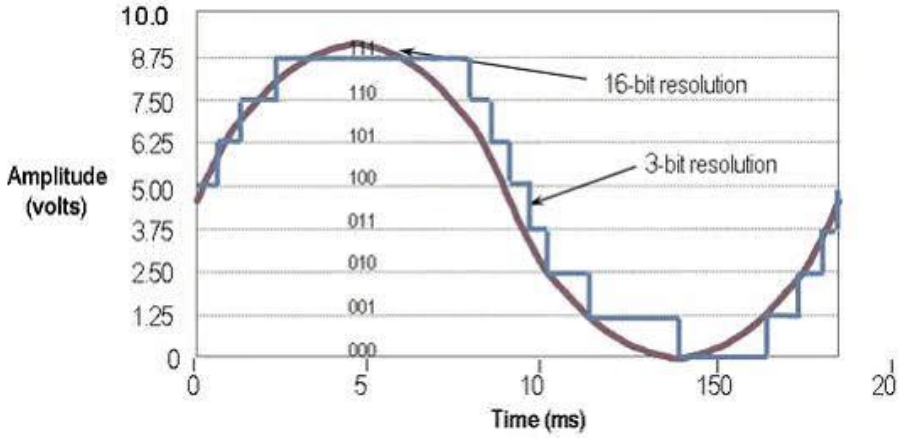


- Analog Signal (Sinewave)
  - Digital PWM Signal
    - With %duty cycle changes according to sinewave amplitude samples
  - Using Pulse width of PWM to control Charge/Discharge Capacitor (C)

Lab#6

- **Single-frequency Sinewave Generation**
  - **Example#2**

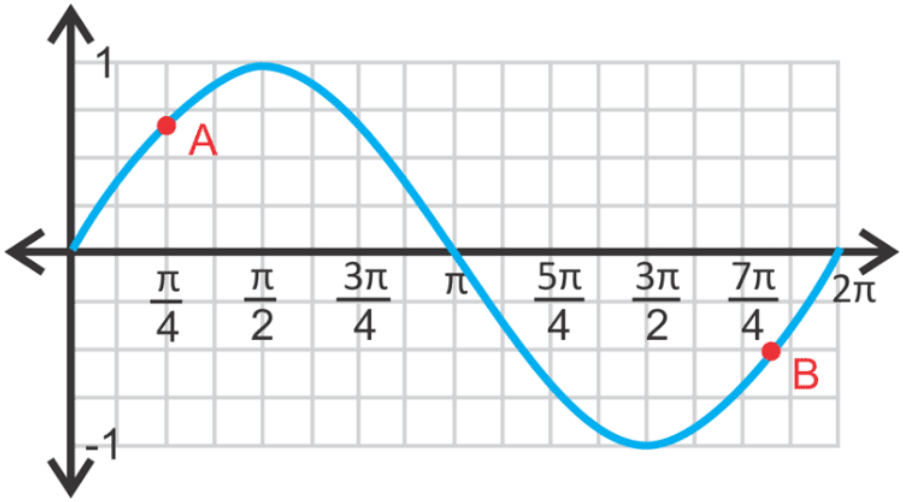




- Analog Signal (Sinewave)
  - Digital DAC Signal (output = [0V, 9V])
    - Using a set of binary to control the DAC Sine Amplitude
      - Ex. 3-bit Amplitude Resolution
        - DAC input = ‘100’ -> DAC output = 5.0 V
        - DAT input = ‘111’ -> DAC output = 8.75 V

Control Sine frequency through Tdelay-N-zeta

Tdelay-4-zeta



Tdelay-8-zeta

- Ex.
  - Theory
    - fsine ควบคุมด้วย delay
      - Tdelay-N-zeta

Practical

Treal_delay (sec)

= Tdelay-N-zeta - Tdelay-DAC (sec)

= (1000000/freq0 - 1000000/defaultFreq)/N (us)

ถ้าเพิ่มขนาด 2 เท่า ความถี่ลดลงครึ่งหนึ่ง

defaultFreq
= DAC sample-speed

เสียงของ DAC

↳ ถ้าต้องการสร้างความถี่ 1000 ทำยังไง? ที่ 8 บิต

คาบ = $\frac{1}{1000} = 10^{-3}$ หรือ 1000 µs

1 คาบมี 8 บิต $\frac{1000}{8}$ µs = 125 µs

แต่ arduino มี delay ขั้นต่ำ ≈ 147 - 150 µs ทำให้ 8 บิตสร้างความถี่นี้ไม่ได้

ใช้ความถี่ max สุดที่ 16 บิตทำได้แค่ละ

1 บิต 150 µs

16 บิต 2400 µs = คาบ

ความถี่ = $\frac{1}{2400\mu} = \frac{0.000416}{10^{-6}}$

= 416 Hz

4 บิตความถี่ max => 1700

โดย default น่าจะ=แบบนี้