

## 305343 - คอมพิวเตอร์และการสื่อสารข้อมูล

อ.สุชัยศรี ไกลอน  
ภาคต้น ปีการศึกษา 2554  
สัปดาห์ที่ 14

305343 – 1/2554

2

## วัตถุประสงค์

- รู้จักเทคนิควิธีการสื่อสารสัญญาณแอนะล็อก
- รู้จักวิธีการกล้ำสัญญาณแอนะล็อก
- เข้าใจนิยามอัตราบิต และอัตราบอด ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล
- รู้จักเทคนิคการแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นแอนะล็อก
- สามารถคำนวณเกณฑ์การวัดผลการสื่อสารข้อมูลได้

## Outline

- Analog Transmission
  - Analog transmission concept
  - Modulation of Analog Signals
  - Modulation of Digital Data
- Data Communication Measurements

305343 – 1/2554

3

## Analog Transmission

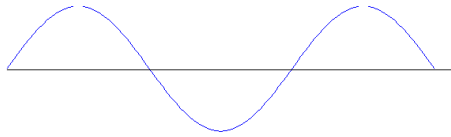
- เทคนิคและวิธีการที่จะจัดส่งข้อมูลแอนะล็อก
- อาศัยพลังงานไฟฟ้าช่วยนำพาสัญญาณแอนะล็อกให้เคลื่อนย้ายจากผู้ส่งไปยังผู้รับ
- ขบวนการหรือขั้นตอนในการเพิ่มพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า **การมอดูเลต (Modulation) หรือการกล้ำสัญญาณ**
- พลังงานไฟฟ้าซึ่งมีความถี่และขนาดของคลื่นสูงและคงที่ เรียกว่า **สัญญาณคลื่นพาห์ (Carrier Signal)**

305343 – 1/2554

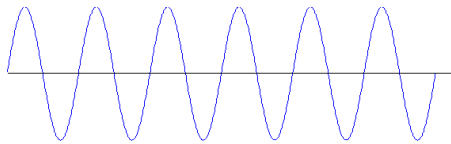
4

## Signal Modulation

สัญญาณข้อมูล



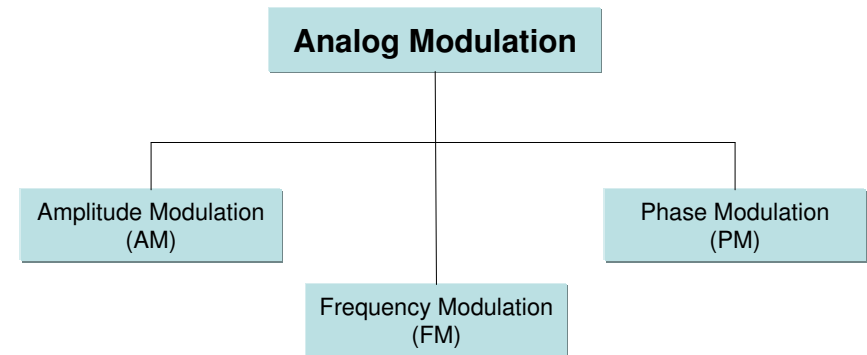
สัญญาณคลื่นพาห์



305343 – 1/2554

5

## Type of Analog Modulation



305343 – 1/2554

6

## Amplitude Modulation (AM)

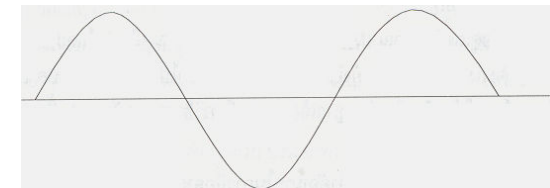
- การกล้ำแอมพลิจูด
- การสร้างสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของคลื่น
- สัญญาณที่ได้จะมีขนาดของคลื่นเปลี่ยนไปตามขนาดของสัญญาณข้อมูล

305343 – 1/2554

7

## AM Example

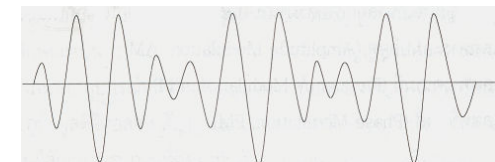
สัญญาณข้อมูล



สัญญาณคลื่นพาห์



สัญญาณ AM ที่ได้



305343 – 1/2554

8

## Frequency Modulation (FM)

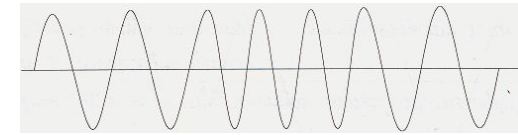
- การกล้ำความถี่
- การสร้างสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่น
- สัญญาณที่ได้จะมีความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนไปตามความถี่ของสัญญาณข้อมูล

305343 – 1/2554

9

## FM Example

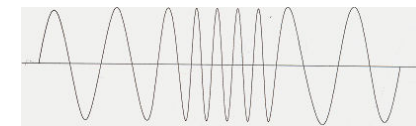
สัญญาณข้อมูล



สัญญาณคลื่นพาห้



สัญญาณ FM ที่ได้



305343 – 1/2554

10

## Phase Modulation (PM)

- การกล้ำเฟส
- การสร้างสัญญาณที่มีการเปลี่ยนกลับเฟสของคลื่น
- สัญญาณที่ได้จะมีการเปลี่ยนกลับเฟสทุกครั้งที่มีมุมเฟสของสัญญาณข้อมูลต่างจากมุมเฟสของสัญญาณคลื่นพาห้ 180 องศา

305343 – 1/2554

11

## PM Example

สัญญาณข้อมูล



สัญญาณคลื่นพาห้



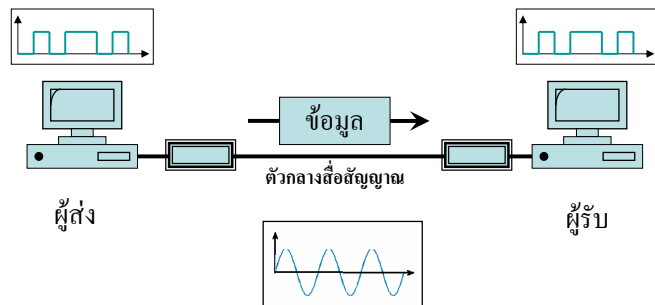
สัญญาณ PM ที่ได้



305343 – 1/2554

12

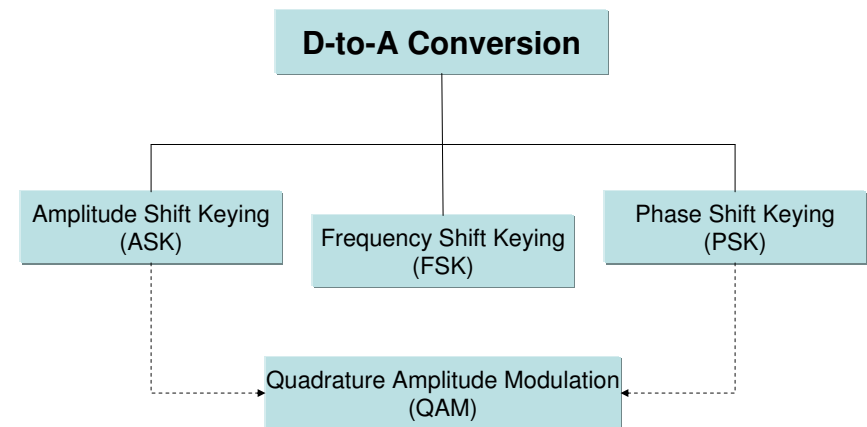
## Transmission via Analog medium



305343 - 1/2554

13

## Digital-to-Analog Modulation Method



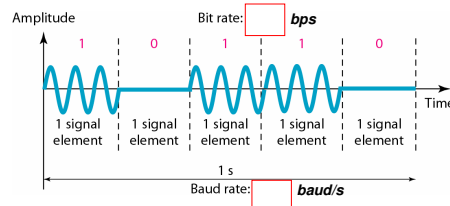
305343 - 1/2554

14

## Bit Rate & Baud Rate

- Bit rate = จำนวนบิตต่อวินาที
- Baud rate = จำนวนหน่วย

สัญญาณต่อวินาที



- ต.ย. ถ้าแต่ละหน่วยสัญญาณแอนะล็อกประกอบขึ้นจากบิตจำนวน 4 บิต ถ้าในหนึ่งวินาทีที่สามารถส่งสัญญาณแอนะล็อกได้ 100 หน่วยสัญญาณ

– อัตราบอด (Baud rate) =  baud/s

– อัตราบิต (Bit rate) =  bps

305343 - 1/2554

อ้างอิง: รูปภาพจากหนังสือ Data Communications and Networking ของ Forouzan B.

15

## Amplitude Shift Keying (ASK)

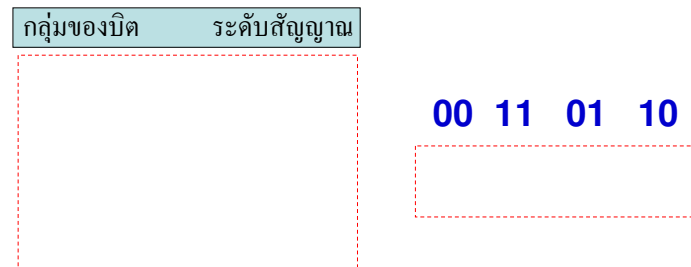
- การเปลี่ยนขนาดของสัญญาณคลื่นพาห์ตามบิตข้อมูล
- ลักษณะของสัญญาณที่ได้
  - เมื่อค่าบิตของสัญญาณข้อมูลมีค่าเป็น 1 ขนาดของสัญญาณคลื่นพาห์จะสูงขึ้นกว่าปกติ
  - เมื่อค่าบิตของสัญญาณข้อมูลมีค่าเป็น 0 ขนาดของสัญญาณคลื่นพาห์จะต่ำลงกว่าปกติ
- กำหนดให้กลุ่มของบิตแทนสัญญาณแอนะล็อก ณ ค่าระดับแอมพลิจูดใดๆ
- กลุ่มของบิตที่ใช้ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าระดับสัญญาณ
- การแทนกลุ่มของบิตจะเริ่มต้นจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด

305343 - 1/2554

16

## ASK Example 1

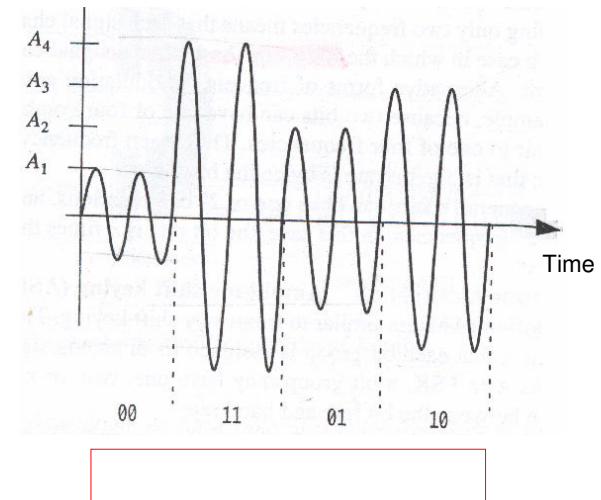
- 00110110
- กำหนดให้มี 4 ระดับสัญญาณ คือ  $A_1, A_2, A_3, A_4$
- จำนวนบิตที่ใช้แทนแต่ละระดับสัญญาณ = 2 บิต



305343 – 1/2554

17

## ASK Example 1



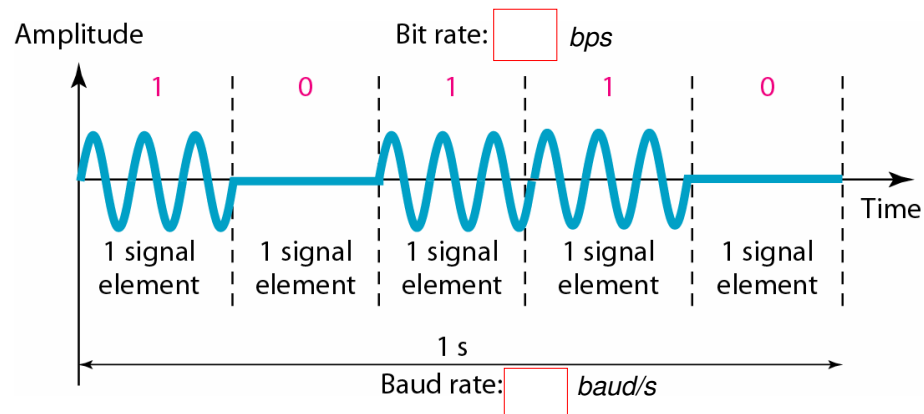
305343 – 1/2554

อ้างอิง: รูปภาพจากหนังสือ Understanding Data Communications and Network ของ Shay W.

18

## ASK Example 2

- 10110



305343 – 1/2554

อ้างอิง: รูปภาพจากหนังสือ Data Communications and Networking ของ Forouzn B.

19

## Frequency Shift Keying (FSK)

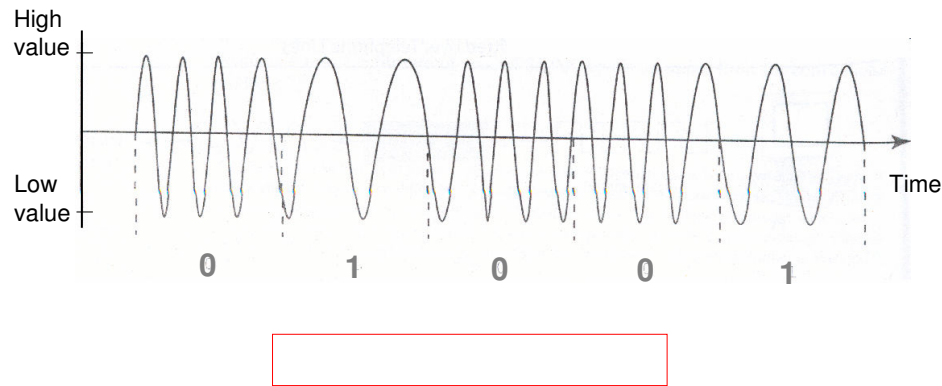
- การเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห้ตามบิตข้อมูล
- ลักษณะของสัญญาณที่ได้
  - เมื่อค่าบิตของสัญญาณข้อมูลมีค่าเป็น 0 ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห้จะสูงขึ้นกว่าปกติ
  - เมื่อค่าบิตของสัญญาณข้อมูลมีค่าเป็น 1 ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห้จะต่ำลงกว่าปกติ
- กำหนดให้
  - บิต 0 แทนสัญญาณแอนะล็อกที่มีความถี่สูง
  - บิต 1 แทนสัญญาณแอนะล็อกที่มีความถี่ต่ำ

305343 – 1/2554

20

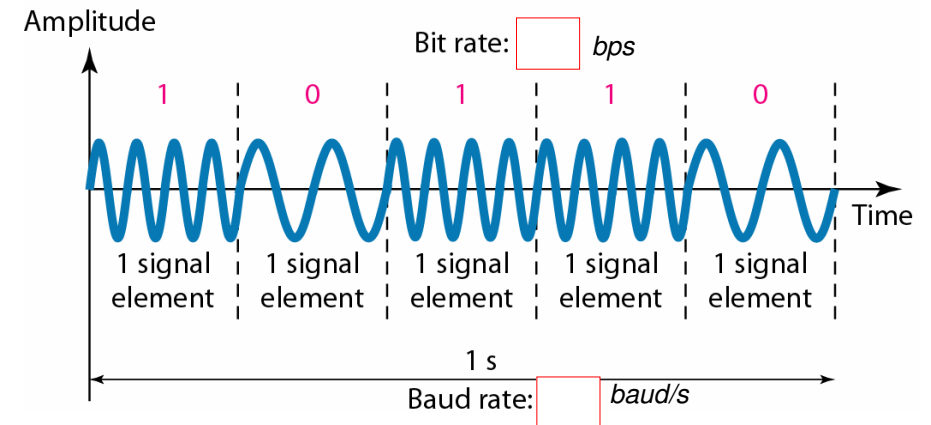
## FSK Example 1

- 01001



## FSK Example 2

- 10110

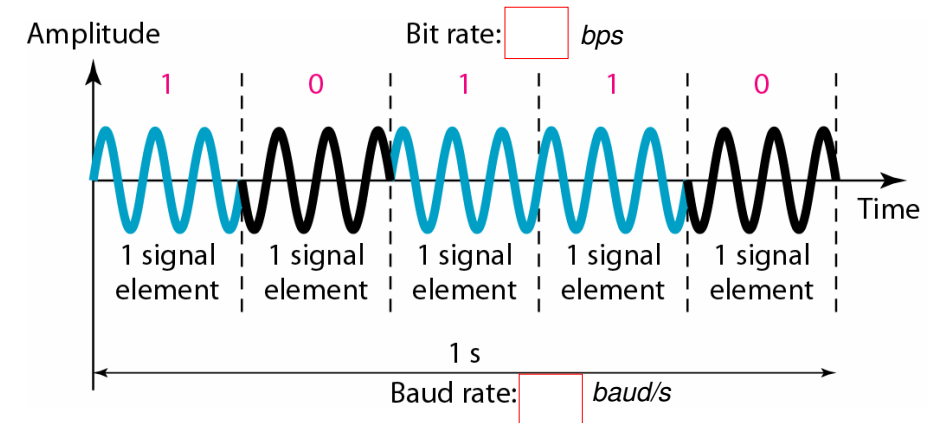


## Phase Shift Keying (PSK)

- การเปลี่ยนเฟสของสัญญาณคลื่นพาห้ตามบิตข้อมูล
- ลักษณะของสัญญาณที่ได้
  - เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากบิต 1 → 0 หรือจากบิต 0 → 1 เฟสของสัญญาณคลื่นพาห้จะเปลี่ยนไป 180 องศา (กรณีใช้แบบ 2 เฟส: 2-PSK)
- การเปลี่ยนเฟสจะอ้างอิงจากสัญญาณก่อนหน้า

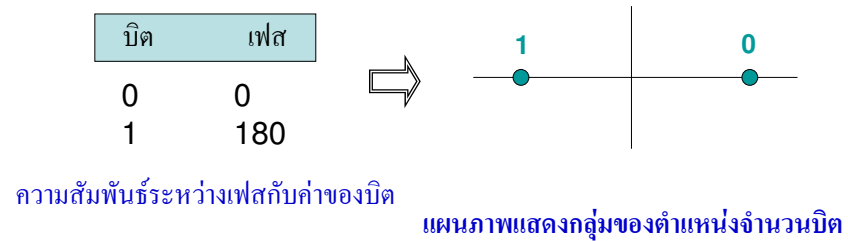
## PSK Example

- 10110



## Constellation Diagram

- PSK อาจเรียก 2-PSK หรือ binary PSK

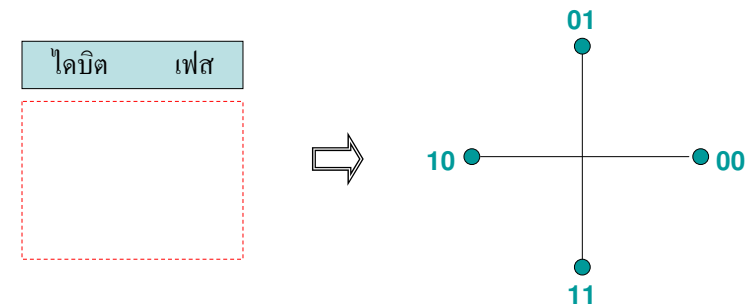


305343 - 1/2554

25

## 4-PSK (or Q-PSK)

- ใช้ 2 บิตต่อ 1 baud ( $n$ )



305343 - 1/2554

26

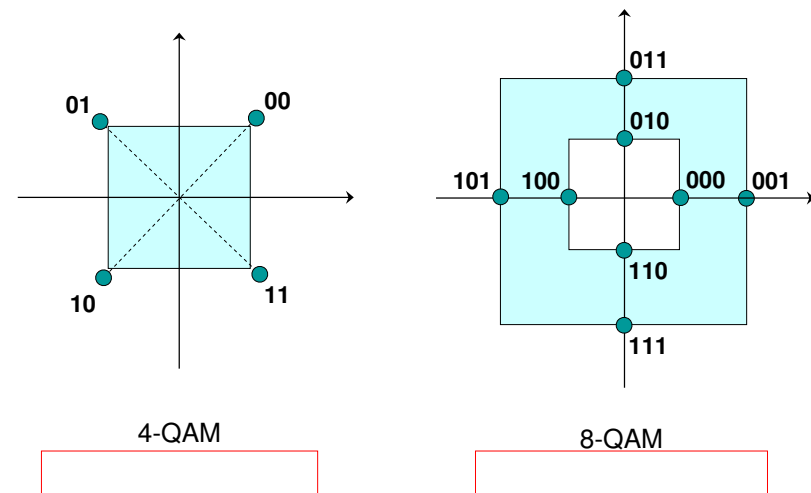
## Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

- การกล่าสัญญาณควอดเรเจอร์-แอมพลิจูด (คิวเอเอ็ม)
- เทคนิคการมอดูเลตที่ใช้วิธี ASK และ PSK รวมกัน
- กลุ่มของบิตที่กำหนดแทนสัญญาณที่มีการเปลี่ยนทั้งแอมพลิจูดและเฟส

305343 - 1/2554

27

## 4-QAM and 8-QAM



305343 - 1/2554

28

## QAM Example

- 001010100011101000011110
- สมมติให้
  - 2 ระดับสัญญาณ คือ  $A_1, A_2$
  - การเปลี่ยนแปลงเฟส 4 ระดับ คือ  $0, 1/(4f), 2/(4f), 3/(4f)$   
(หรือ  $0, 90, 180, 270$ )

305343 – 1/2554

29

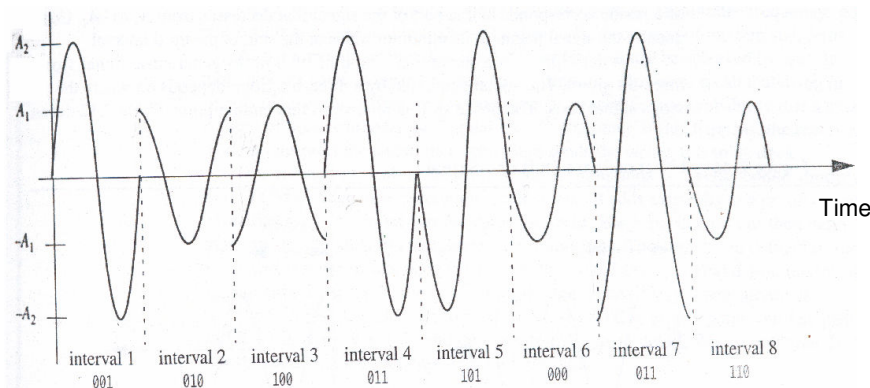
## QAM Example

กลุ่มของบิต	ระดับสัญญาณ	ตำแหน่งการเปลี่ยนเฟส

305343 – 1/2554

30

## QAM Example



305343 – 1/2554

อ้างอิง: รูปภาพจากหนังสือ Understanding Data Communications and Network ของ Shay W.

31

## Data Rate Limits

- จำกัดอัตราข้อมูล
- ความสามารถในการส่งข้อมูลได้สูงสุดผ่านช่องสัญญาณการสื่อสาร วัดเป็นบิตต่อวินาที (bits per second: bps)
- ปัจจัยการกำหนดอัตราข้อมูล
  - แบนด์วิธที่รองรับ (Available Bandwidth: BW)
  - ระดับของสัญญาณ (Signal Level: L)
  - คุณภาพช่องสัญญาณ (ระดับสัญญาณรบกวน: Noise)

305343 – 1/2554

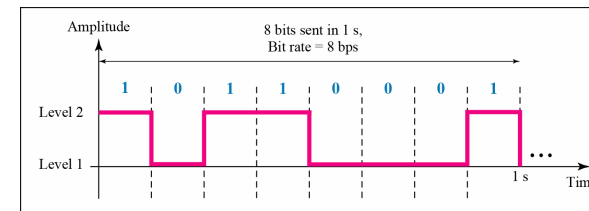
32



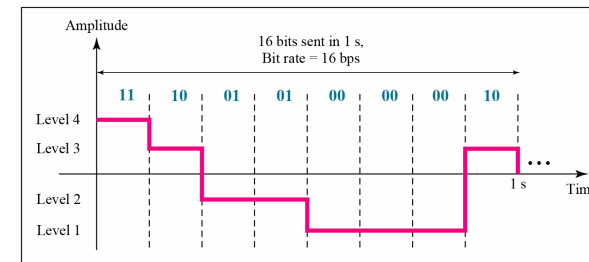
## Available Bandwidth

- ช่องสื่อสารแบบไม่จำกัดแถบความถี่ (Low-pass channel)
  - สามารถส่งผ่านข้อมูลดิจิทัลได้
- ช่องสื่อสารแบบผ่านแถบความถี่จำกัด (Band-pass channel)
  - ต้องแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นแอนะล็อกก่อนการส่ง
  - แบนด์วิดท์ที่ต้องการน้อยสุด ( $BW_{min}$ ) สำหรับอัตราบิต  $n$  bps ควรเป็นเท่าใด
    - 1<sup>st</sup> ฮาร์โมนิก:  $BW_{min} = n/2$  Hz
    - 3<sup>rd</sup> ฮาร์โมนิก:  $BW_{min} = n/2 + 3n/2 = 2n$  Hz
    - 5<sup>th</sup> ฮาร์โมนิก:  $BW_{min} = n/2 + 3n/2 + 5n/2 = 9n/2$  Hz

## Signal Levels



a. A digital signal with two levels



b. A digital signal with four levels

จำนวนของบิตในแต่ละระดับ =  $\log_2 L$

- ภาพ a

– #บิต/ระดับ

=

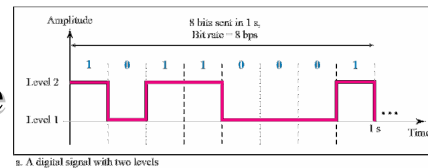
- ภาพ b

– #บิต/ระดับ

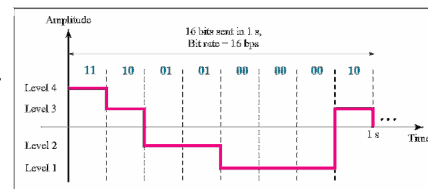
=

## Pulse Rate vs. Bit Rate

- พัลส์ (Pulse)
  - เวลาที่ใช้ส่งผ่านหนึ่งสัญลักษณ์
- หนึ่งสัญลักษณ์
  - แทนด้วย 1 หรือ 2 หรือ  $n$  บิต
- อัตราพัลส์ (Pulse Rate)
  - จำนวนพัลส์ต่อวินาที



a. A digital signal with two levels



b. A digital signal with four levels



a) อัตราบิต =

b) อัตราบิต =

## The # of Bits/sec vs. The required BW

- ขีดจำกัดอัตราข้อมูลคำนวณได้จาก
  - ทฤษฎีของ Nyquist
    - สำหรับช่องสัญญาณในอุดมคติ (Noiseless Channel)
  - ทฤษฎีของ Shannon
    - สำหรับช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน (Noise Channel)

## Noiseless Channel

- สำหรับช่องสัญญาณที่ไม่มีสัญญาณรบกวน
- จะเรียกว่า Nyquist Bit Rate
- Nyquist ได้กำหนดสูตรในการคำนวณอัตราบิตสูงสุดที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎี

$$= 2 \times BW \times \log_2 L \quad (bps)$$

## Noise Channel

- สำหรับช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน
- จะเรียกว่า Shannon Capacity
- Claude Shannon ได้กำหนดสูตรในการคำนวณอัตราบิตสูงสุดที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎี

$$= BW \times \log_2(1 + SNR) \quad (bps)$$

SNR: Signal-to-Noise ratio

คืออัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวน

## Data Rate Limits Example 1

- ช่องสัญญาณการสื่อสารมีแบนด์วิดท์ 2 MHz, SNR = 31 ให้หาอัตราบิต และระดับสัญญาณที่เหมาะสม

$$\begin{aligned} \text{อัตราบิต} &= \boxed{\phantom{000000}} \\ &= \boxed{\phantom{000000}} \end{aligned}$$

อัตราบิตที่เหมาะสมควรน้อยกว่าอัตราบิตสูงสุด  $\rightarrow$   $\boxed{\phantom{000000}}$

$$\boxed{\phantom{000000}}$$

$$\text{ระดับสัญญาณ (L)} = \boxed{\phantom{000000}}$$

## Data Rate Limits Example 2

- ถ้าช่องสัญญาณการสื่อสารมีแบนด์วิดท์ 2 MHz และ  $SNR_{dB} = 36$  เดซิเบล แล้วอัตราบิตสูงสุดเท่ากับ?

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

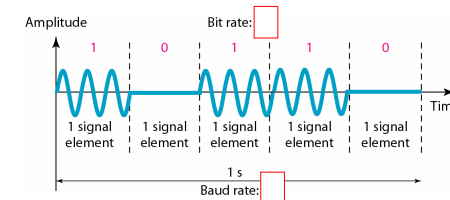
$$\rightarrow SNR = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$\begin{aligned} \text{Shannon Capacity} &= \boxed{\phantom{000000}} \\ &= \boxed{\phantom{000000}} \end{aligned}$$

## Bandwidth for D-to-A Modulation

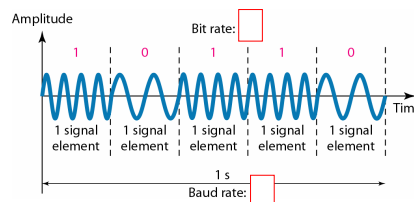
- **ASK:**  $BW_{\min} = (1+d) \times \text{อัตราบอด}$ , (d มีค่าต่ำสุด 0)  
= อัตราบอด
- **FSK:**  $BW_{\min} = \text{อัตราบอด} + \text{ค่าความแตกต่างของสองสัญญาณคลื่นพาห์}$   
= อัตราบอด +  $(f_{c1} - f_{c0})$
- **PSK:**  $BW_{\min} = BW_{\min}$  ของ ASK
- **QAM:**  $BW_{\min} = BW_{\min}$  ของ ASK และ PSK

## ASK Bandwidth Example



- ให้หาแบนด์วิดท์ต่ำสุดสำหรับ ASK ของการสื่อสารสองทางครึ่งอัตรา (Half Duplex)  
-  $BW_{\min} =$
- ของการสื่อสารสองทางเต็มอัตรา (Full Duplex)  
-  $BW_{\min} =$

## FSK Bandwidth Example

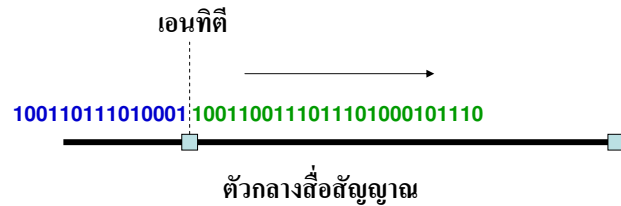


- ให้หาแบนด์วิดท์ต่ำสุดสำหรับ FSK ที่ค่าความแตกต่างของความถี่ 3,000 Hz ของการสื่อสารสองทางครึ่งอัตรา (Half Duplex)  
-  $BW_{\min} =$
- ของการสื่อสารสองทางเต็มอัตรา (Full Duplex)  
-  $BW_{\min} =$

## Bandwidth for Modulation of an Analog Signal

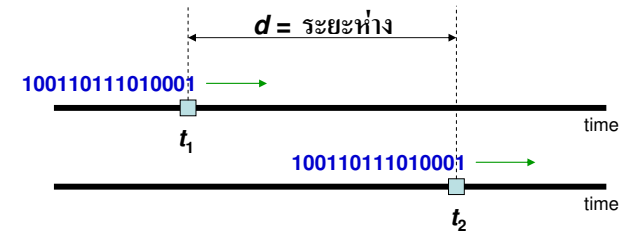
- แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM  
= สองเท่าของแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูล
- แบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM  
= สิบเท่าของแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูล
- แบนด์วิดท์ของสัญญาณ PM  
= แบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM

## Throughput



- ปริมาณงาน
- ปริมาณบิตข้อมูลที่สามารถส่งผ่านเอนทิตีใดๆ (bps)

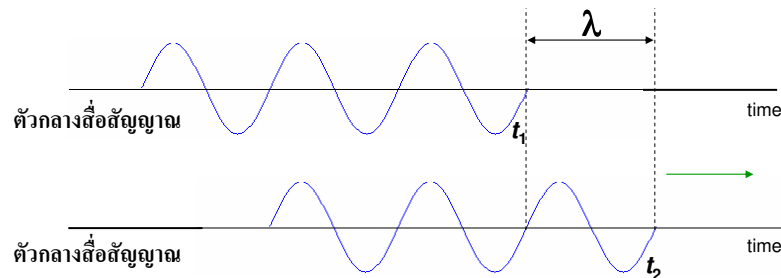
## Propagation Speed & Time



- Propagation Speed: อัตราเร็วการแพร่กระจายสัญญาณ(บิตข้อมูล) ผ่านสื่อในหนึ่งวินาที (m/s)
- Propagation Time: เวลาที่สัญญาณ(บิตข้อมูล) ใช้ในการเคลื่อนที่ระหว่างจุดของตัวกลางสื่อสารสัญญาณ (s)

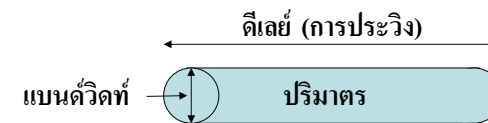
$$= t_2 - t_1 = d / \text{Propagation speed}$$

## Wavelength ( $\lambda$ )



- ความยาวคลื่น: ระยะทางสัญญาณเคลื่อนที่ไปในหนึ่งคาบเวลา
- = Propagation speed x Period
- = Propagation speed / Frequency

## Bandwidth Delay Product



- ปริมาตร (Volume) = แบนด์วิดท์ x ดีเลย์
- ความจุของจำนวนบิต

