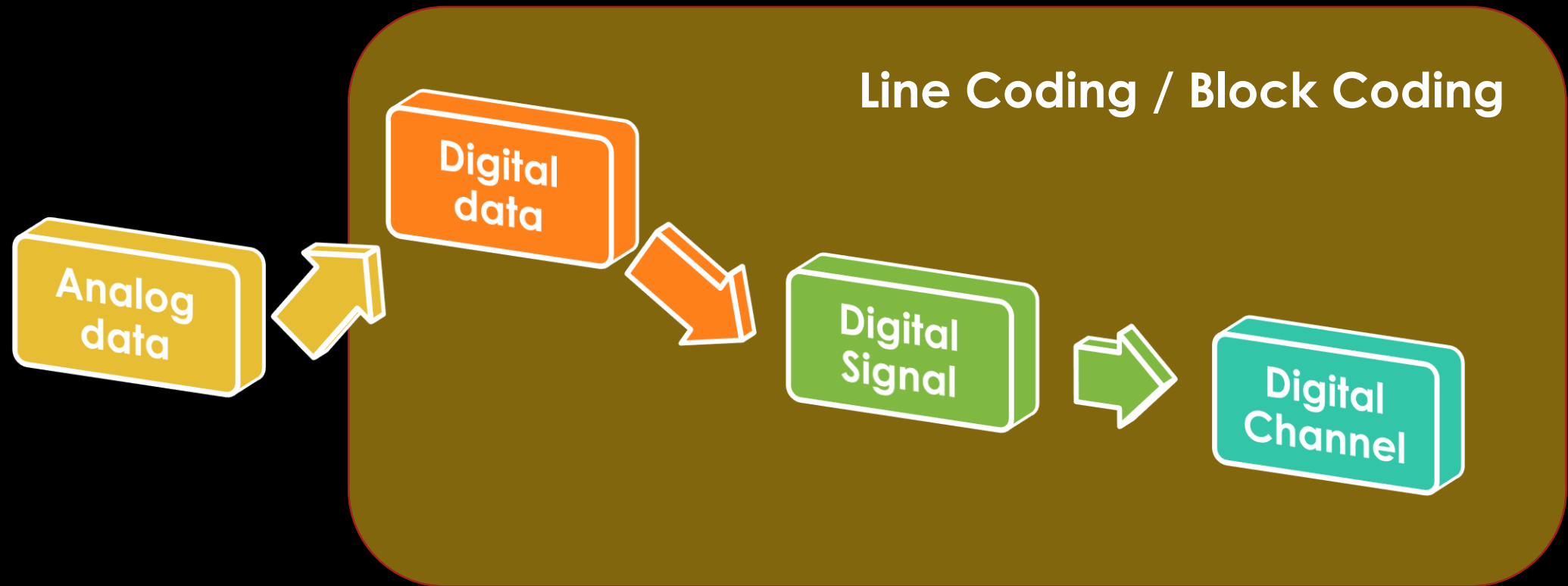


DIGITAL TRANSMISSION

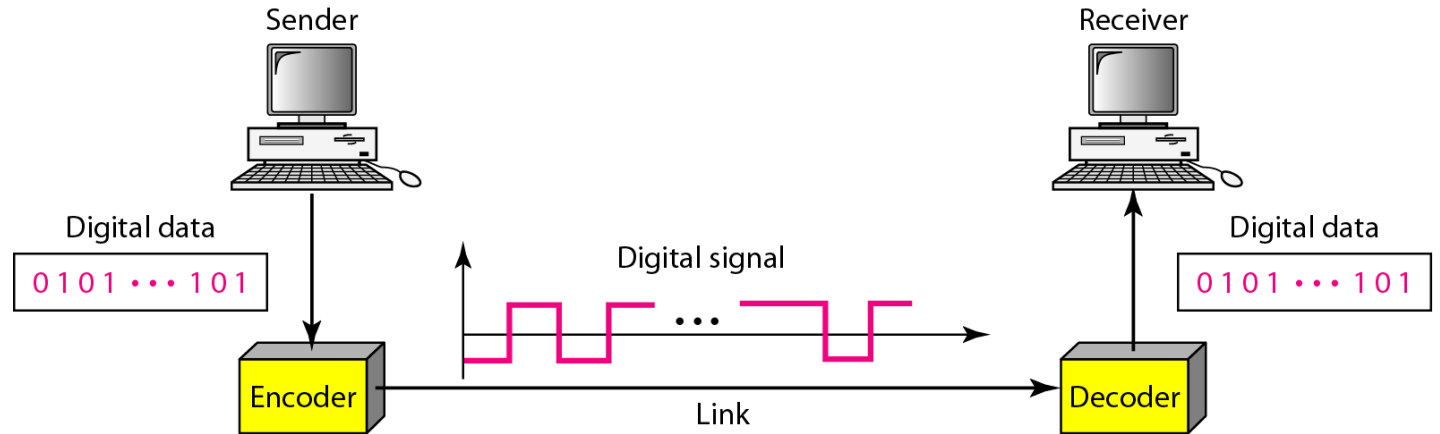
Analog-to-Digital Conversion: Pulse Code Modulation (PCM)
Delta Modulation (DM)

DIGITAL TRANSMISSION

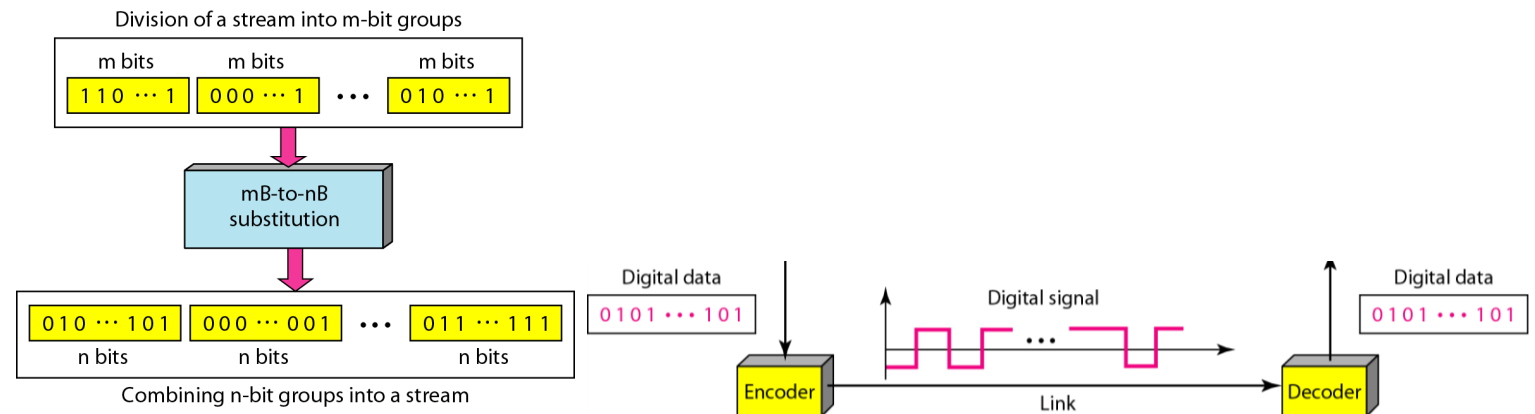


Digital Data on Digital Channel

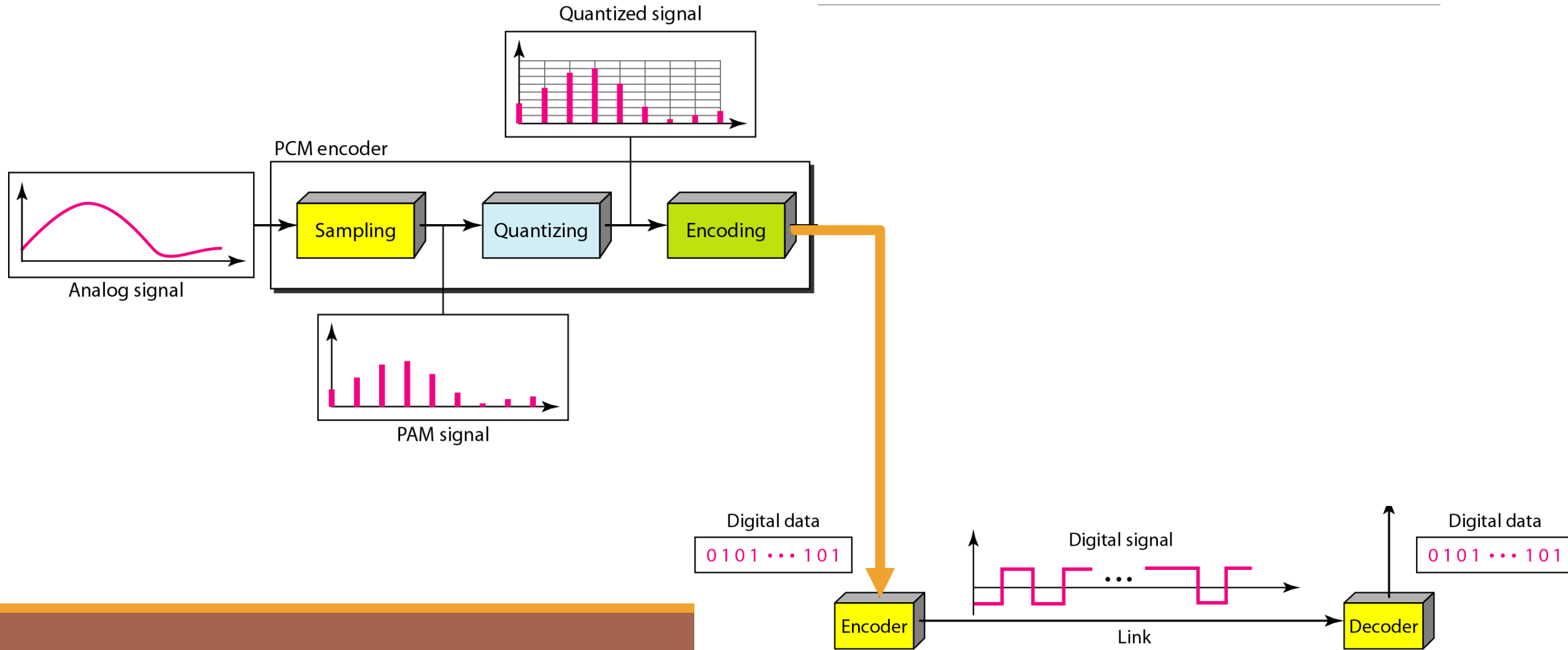
Line Coding



Block Coding

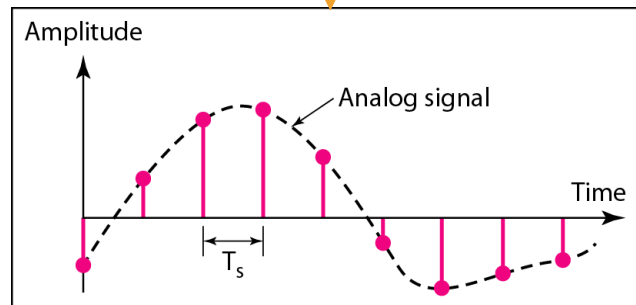
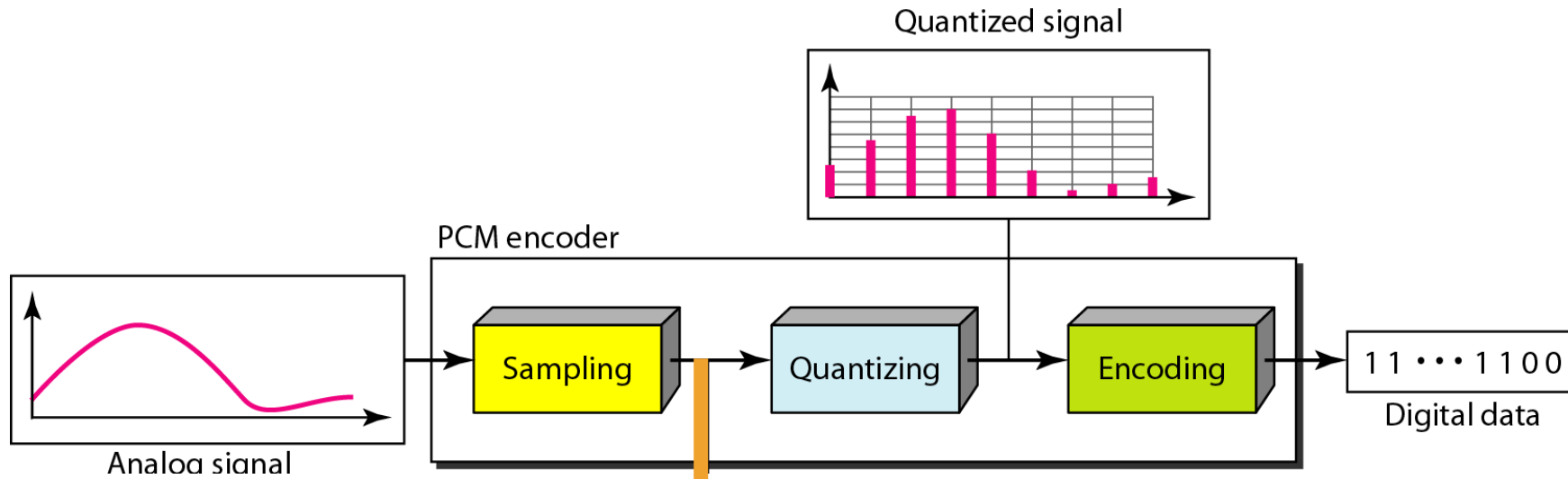


Analog Data on Digital Channel

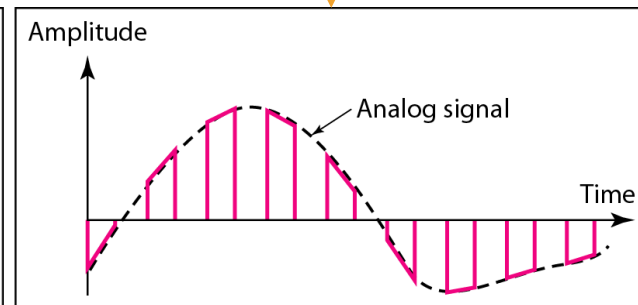


Nyquist Sampling Rate $\geq 2 \times f_{\max}$

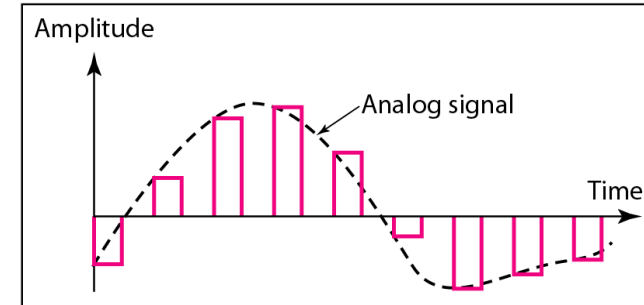
PCM Sampling



a. Ideal sampling



b. Natural sampling



c. Flat-top sampling

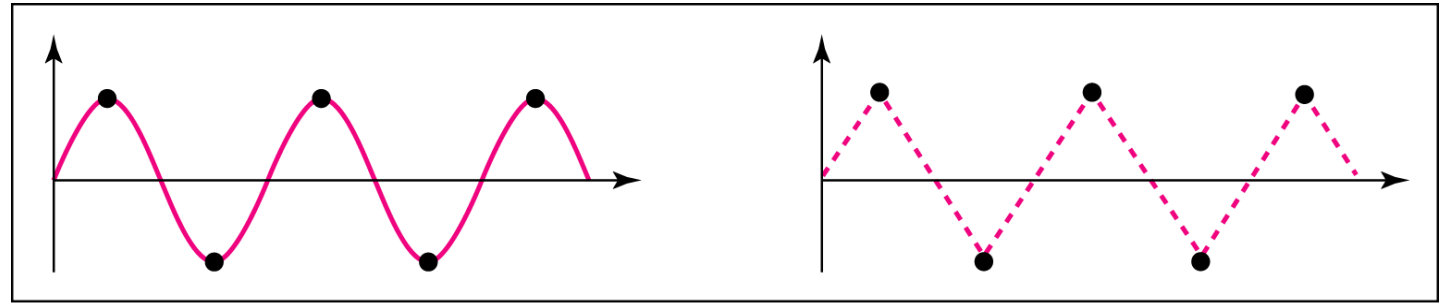
Different Sampling Cases

Sampling @ minimum Nyquist rate

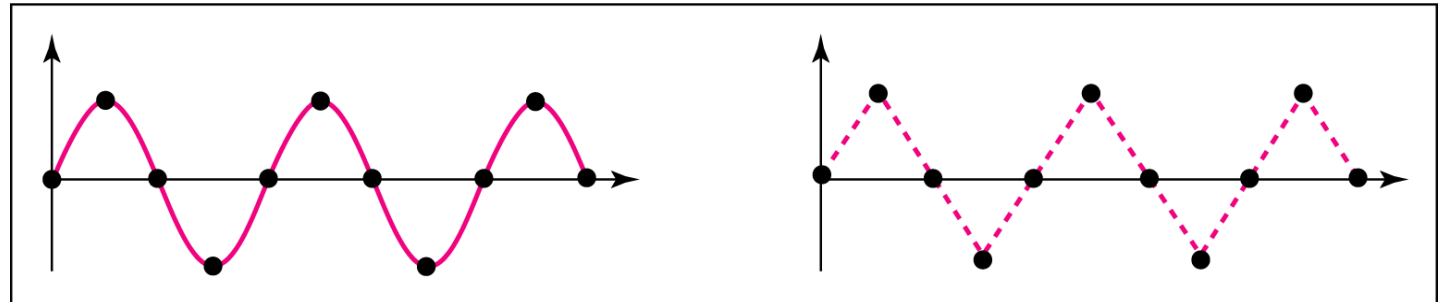
Oversampling rate

Undersampling rate

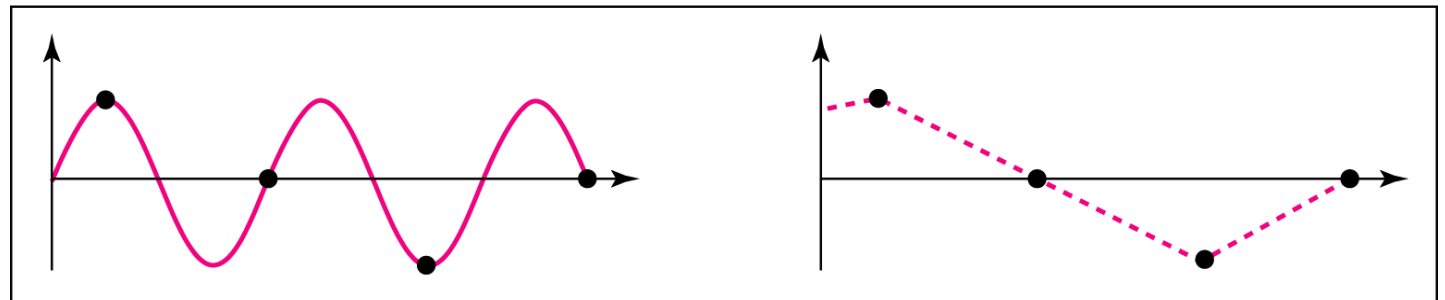
Nyquist Sampling Rate $\geq 2 \times f_{\max}$



a. Nyquist rate sampling: $f_s = 2f$



b. Oversampling: $f_s = 4f$



c. Undersampling: $f_s = f$

Frequency Range Example

Voice

Musical Instrument

แบ่งตามชนิดของเสียง ความถี่จะถูกแบ่งออกดังนี้

เสียงร้อง

- Bass (เสียงต่ำของผู้ชาย) - ความถี่หลัก 70 Hz - 380 Hz / ความถี่รอง (หางเสียง) 380 Hz - 10,000 Hz
- Baritone (เสียงระหว่างต่ำกับสูงของผู้ชาย) - ความถี่หลัก 90 Hz - 400 Hz / ความถี่รอง 400 Hz - 10,000 Hz
- Tenor (เสียงสูงของผู้ชาย) - ความถี่หลัก 130 Hz - 500 Hz / ความถี่รอง 500 Hz - 10,000 Hz
- Alto (เสียงต่ำของผู้หญิง) - ความถี่หลัก 160 Hz - 950 Hz / ความถี่รอง 950 Hz - 10,000 Hz
- Soprano (เสียงสูงของผู้หญิง) - ความถี่หลัก 210 Hz - 1,200 Hz / ความถี่รอง 1,200 Hz - 10,000 Hz

เสียงเครื่องดนตรีชนิดดีด, สี, ดี

- Bass viola - ความถี่หลัก 30 Hz - 210 Hz / ความถี่รอง 210 Hz - 15,000 Hz
- Cello - ความถี่หลัก 50 Hz - 650 Hz / ความถี่รอง 650 Hz - 15,000 Hz
- Viola - ความถี่หลัก 130 Hz - 1,200 Hz / ความถี่รอง 1,200 Hz - 15,000 Hz
- Violin - ความถี่หลัก 180 Hz - 4,000 Hz / ความถี่รอง 4,000 Hz - 15,000 Hz

เสียงเครื่องดนตรีชนิดเป่า

- Bass tuba - ความถี่หลัก 40 Hz - 380 Hz / ความถี่รอง 380 Hz - 16,000 Hz
- Bassoon - ความถี่หลัก 45 Hz - 500 Hz / ความถี่รอง 500 Hz - 10,000 Hz
- Bass clarinet - ความถี่หลัก 80 Hz - 500 Hz / ความถี่รอง 500 Hz - 10,000 Hz
- French horn - ความถี่หลัก 120 Hz - 800 Hz / ความถี่รอง 800 Hz - 16,000 Hz
- Trumpet - ความถี่หลัก 140 Hz - 850 Hz / ความถี่รอง 850 Hz - 9,000 Hz
- Clarinet - ความถี่หลัก 160 Hz - 1,600 Hz / ความถี่รอง 1,600 Hz - 16,000 Hz
- Oboe - ความถี่หลัก 240 Hz - 1,600 Hz / ความถี่รอง 1,600 Hz - 16,000 Hz
- Flute - ความถี่หลัก 240 Hz - 2,200 Hz / ความถี่รอง 2,200 Hz - 16,000 Hz
- Piccolo - ความถี่หลัก 500 Hz - 7,000 Hz / ความถี่รอง 7,000 Hz - 16,000 Hz

เสียงเครื่องดนตรีชนิดเคาะ

- Piano - ความถี่หลัก 25 Hz - 7,000 Hz

Sampling Rate Example

Regular Human voice

- $f_{\text{sampling}} = 8,000 \text{ Hz}$

FM Radio (รองรับเสียงดนตรี 15,000 Hz)

- $f_{\text{sampling}} = 32,000 \text{ Hz}$

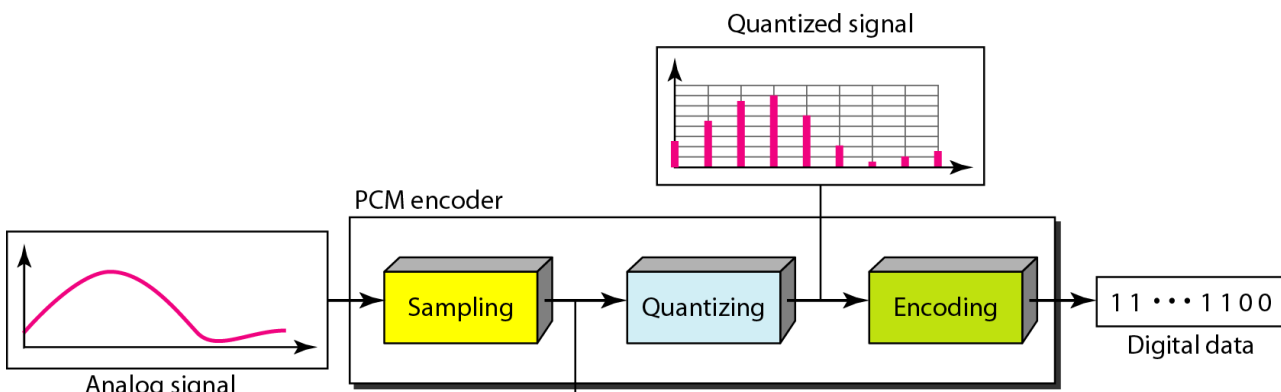
CD Quality (รองรับเสียงดนตรี 20,000 Hz)

- $f_{\text{sampling}} = 44,100 \text{ Hz}$

High Quality Sound

- $f_{\text{sampling}} = 96,000 \text{ Hz}$

Quantization



#Quantization bit

#Quantization Level

$D = \Delta = \text{level step} = (\text{Max} - \text{Min}) / \text{Qlevel}$

Qlevel partition:

$[-3D, -2D, -D, 0, D, 2D, 3D]$

Qlevel codeword:

$[-3.5D, -2.5D, -1.5D, 1.5D, 2.5D, 3.5D]$

7
6
5
4
3
2
1
0

#Quantization Level

Qlevel codeword:
 $[-3.5D, -2.5D, -1.5D, 1.5D, 2.5D, 3.5D]$

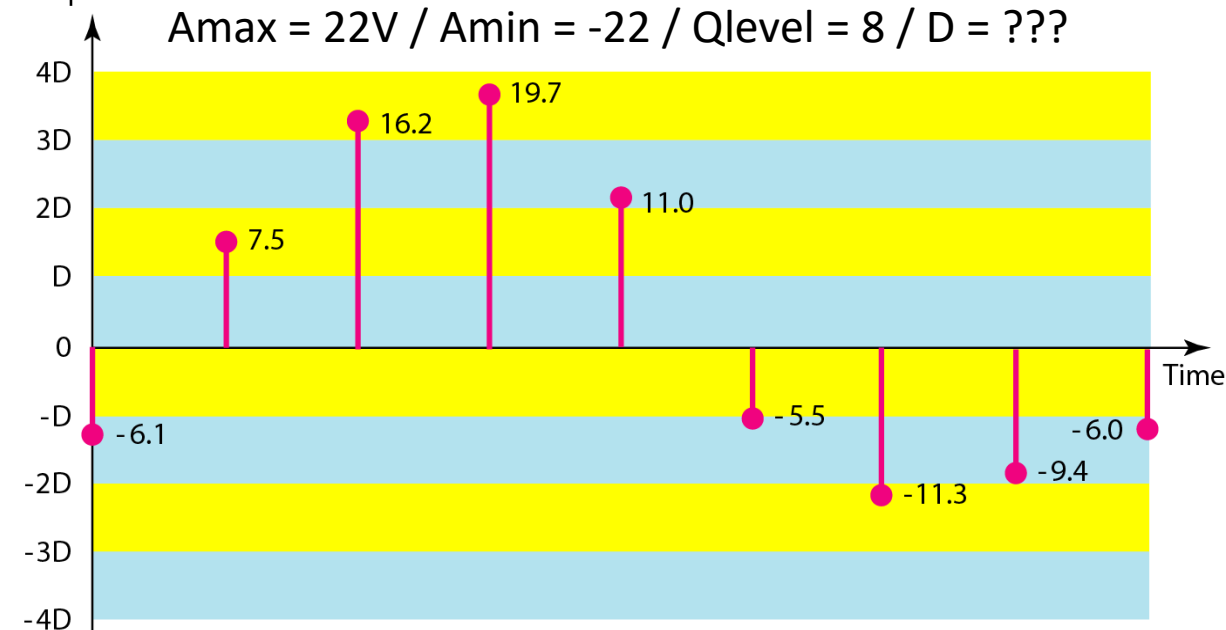
Quantized Encoder

#Quantization bit

Quantized Decoder

Normalized amplitude

$A_{\text{max}} = 22V / A_{\text{min}} = -22 / \text{Qlevel} = 8 / D = ???$



Normalized PAM values	-1.22	1.50	3.24	3.94	2.20	-1.10	-2.26	-1.88	-1.20
Normalized quantized values	-1.50	1.50	3.50	3.50	2.50	-1.50	-2.50	-1.50	-1.50
Normalized error	-0.38	0	+0.26	-0.44	+0.30	-0.40	-0.24	+0.38	-0.30
Quantization code	2	5	7	7	6	2	1	2	2
Encoded words	010	101	111	111	110	010	001	010	010

PCM Decoder

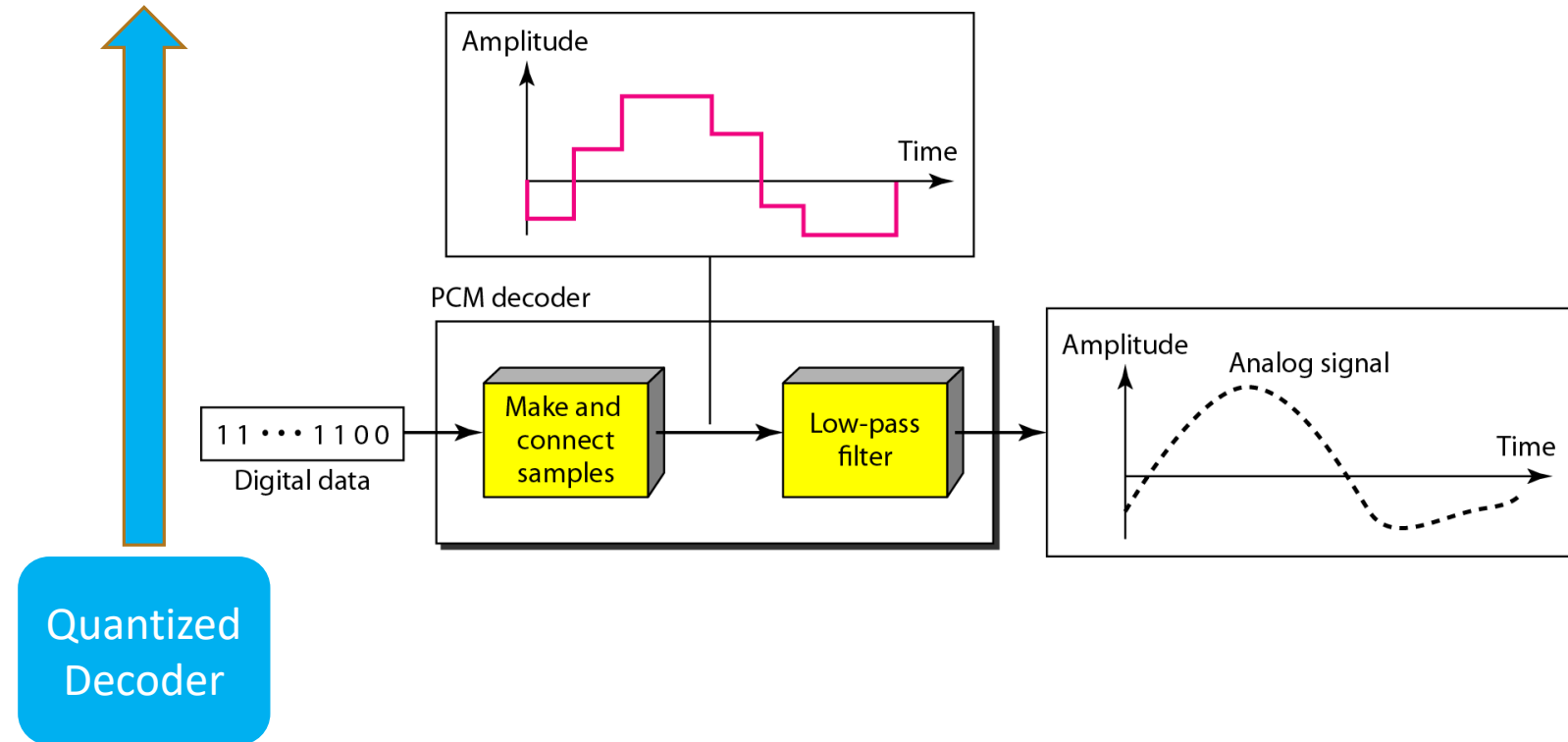
Quantization Decoder

Low Pass Filtering

#Quantization Level

Qlevel bound:

$[-3.5D, -2.5D, -1.5D, 1.5D, 2.5D, 3.5D]$



Quantization Encoder

Sampled Quantizer Encode	Quantization partition	[-.5 0 .5]
	Quantization codebook	[-.75 -.25 .25 .75]
	Input signal vector length	1
	Sample time (*เปลี่ยนตาม Period ทุกครั้ง*)	.01
Integer to Bit Converter	Number of bit per integer	2

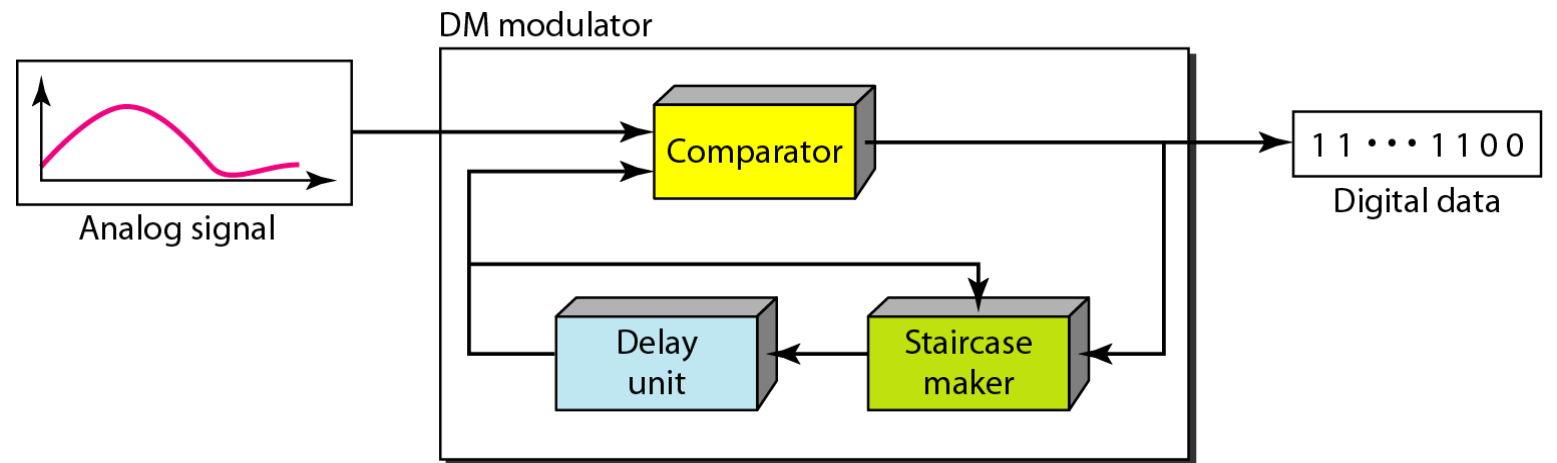
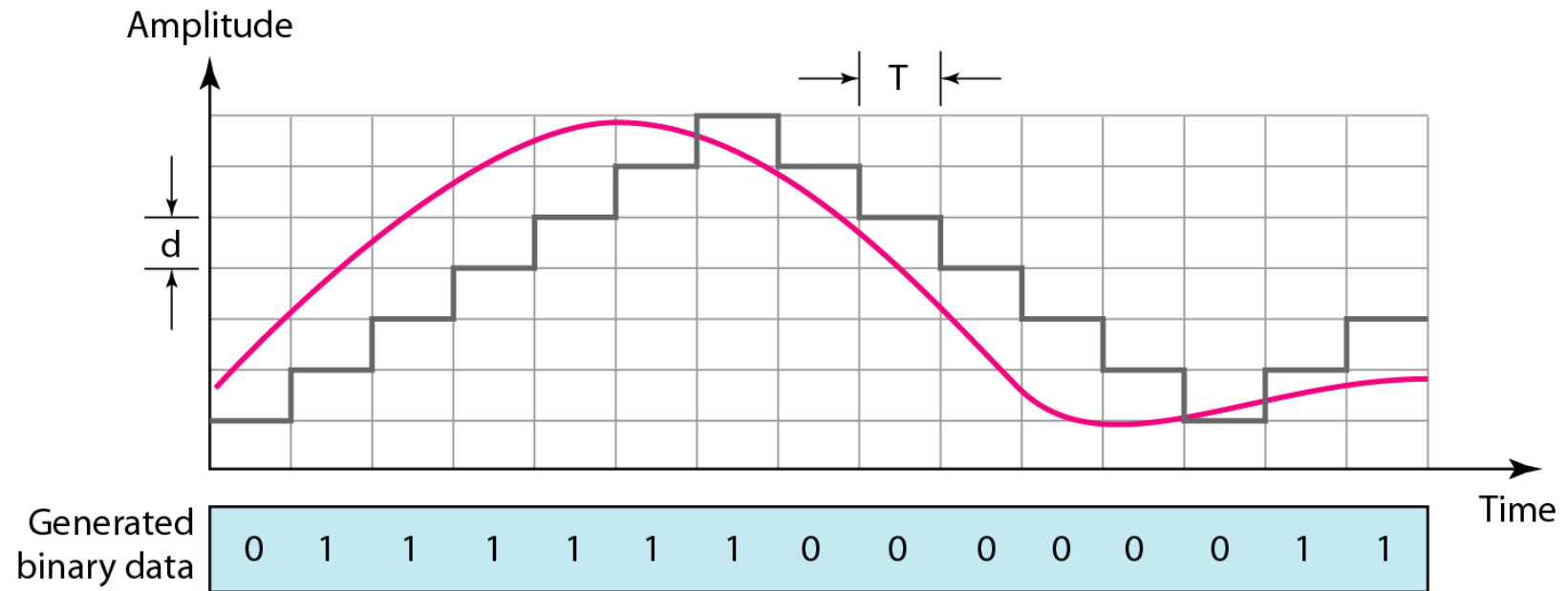
Quantization Decoder

Bit to Integer Converter	Number of bit per integer	2
Quantizer Decode	Quantization codebook	[-.75 -.25 .25 .75]

Activity# 9

นำ NOTEBOOK ลง MATLAB มา ด้วย

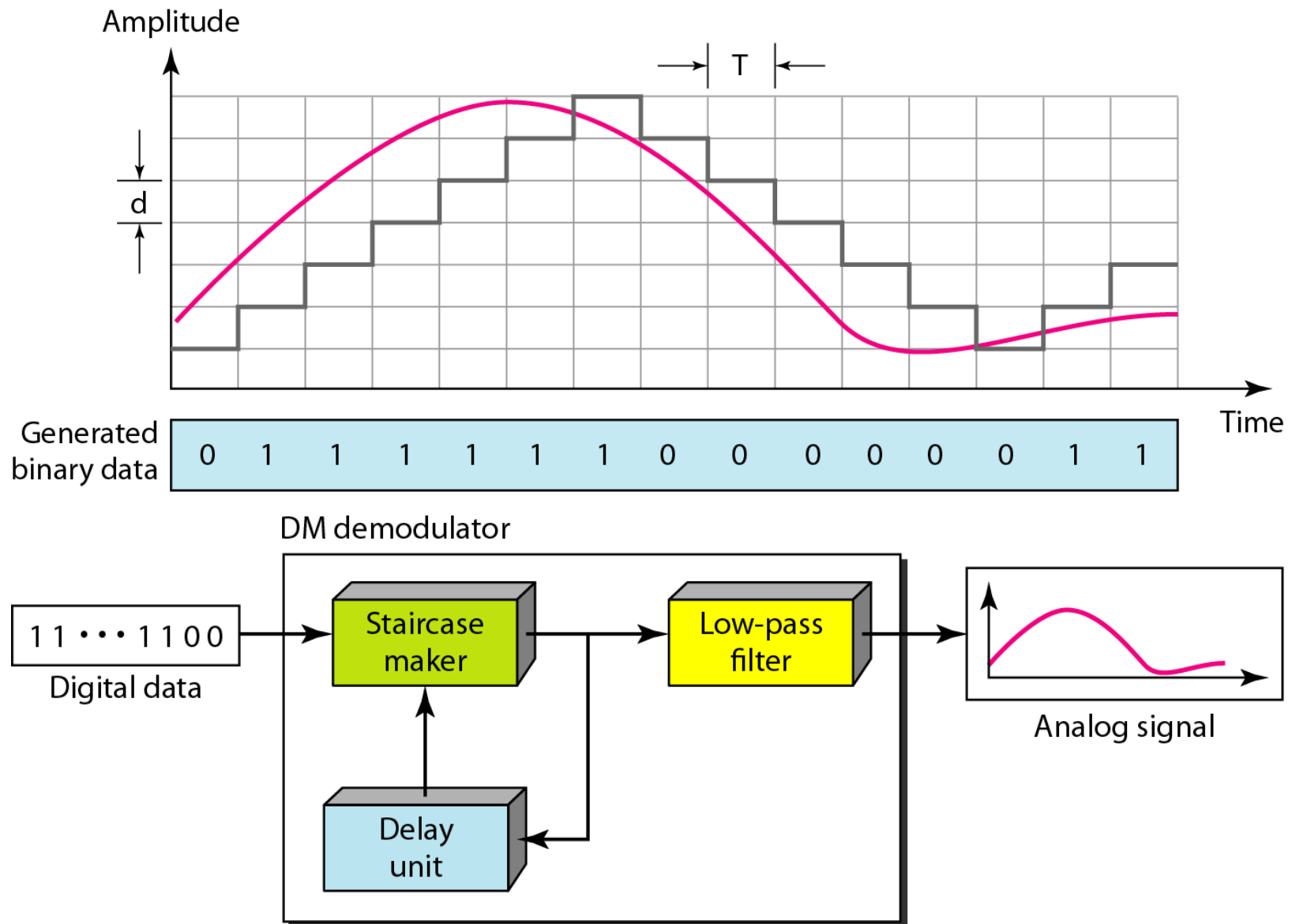
Delta Modulation Encoder



Delta Modulation Decoder

Quantization Decoder

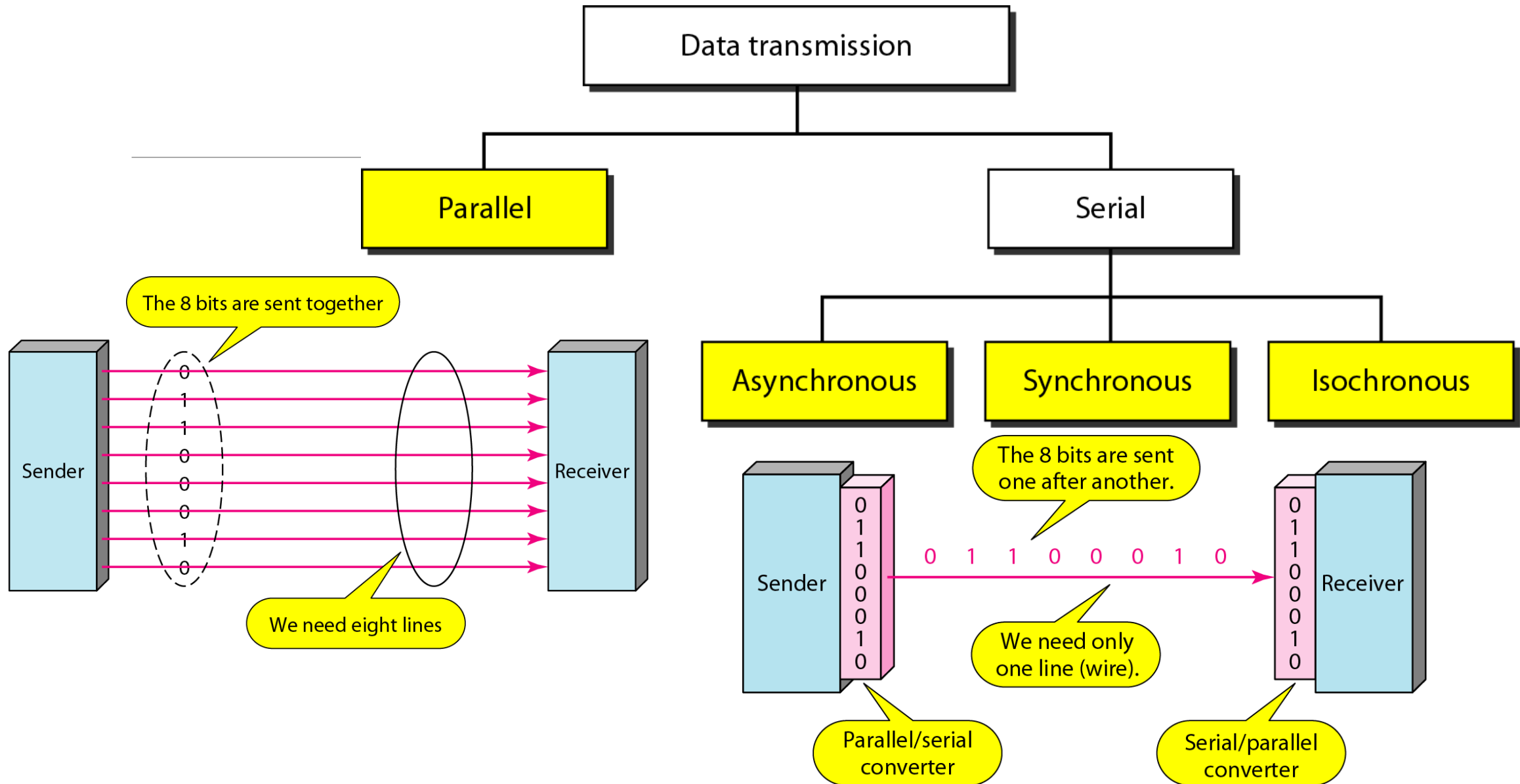
Low Pass Filtering



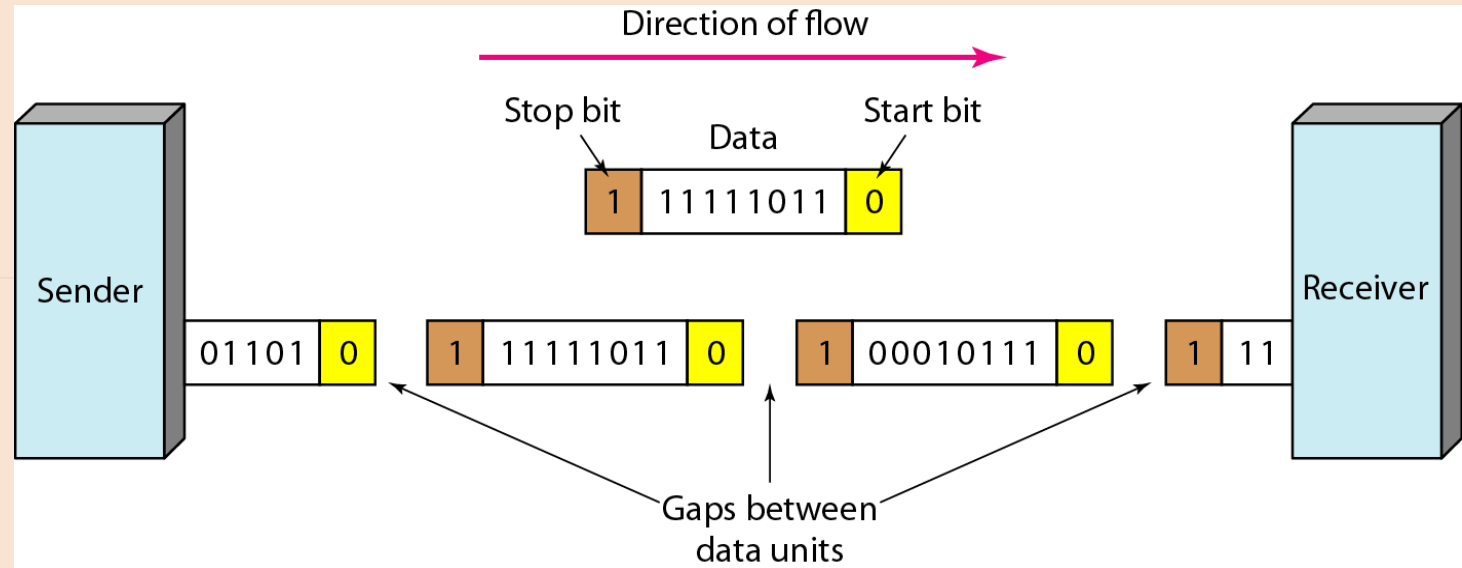
**DIGITAL
TRANSMISSION
MODE**



Parallel vs Serial



Asynchronous Transmission



Synchronous Transmission

