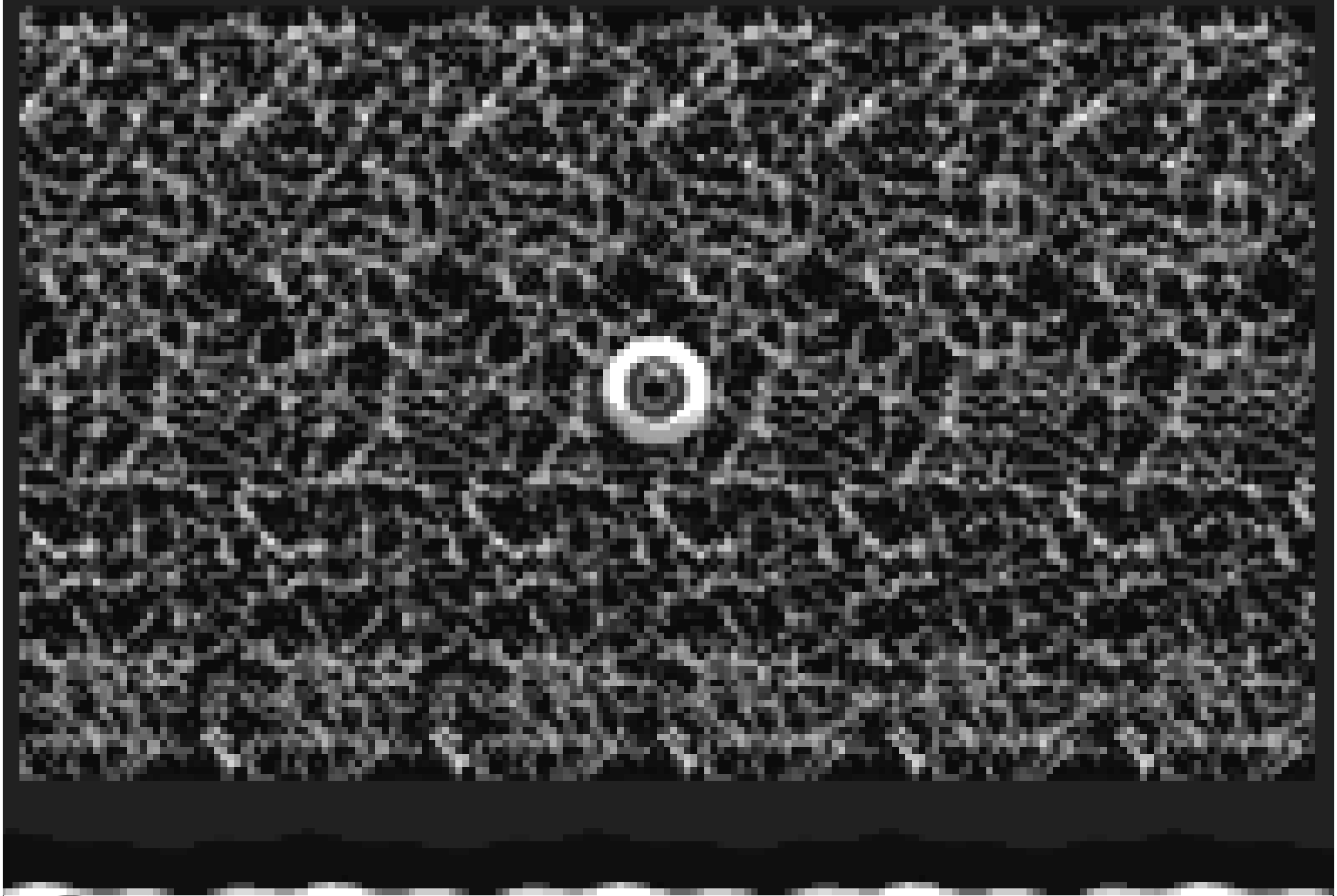
Digital Signal Processing

เอกสารประกอบการสอน

โดย อ.สุภัทรชัย ชมพันธุ์



Introduction to DSP A

➢ อะไรคือ DSP

- DSP คือการจัดการสัญญาณต่างๆ เช่น เสียงพูด ดนตรี รูปภาพ วิดีโอ ในเชิงตัวเลข เพื่อให้สามารถจัดเก็บ หรือรับส่งในระยะทางไกลๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

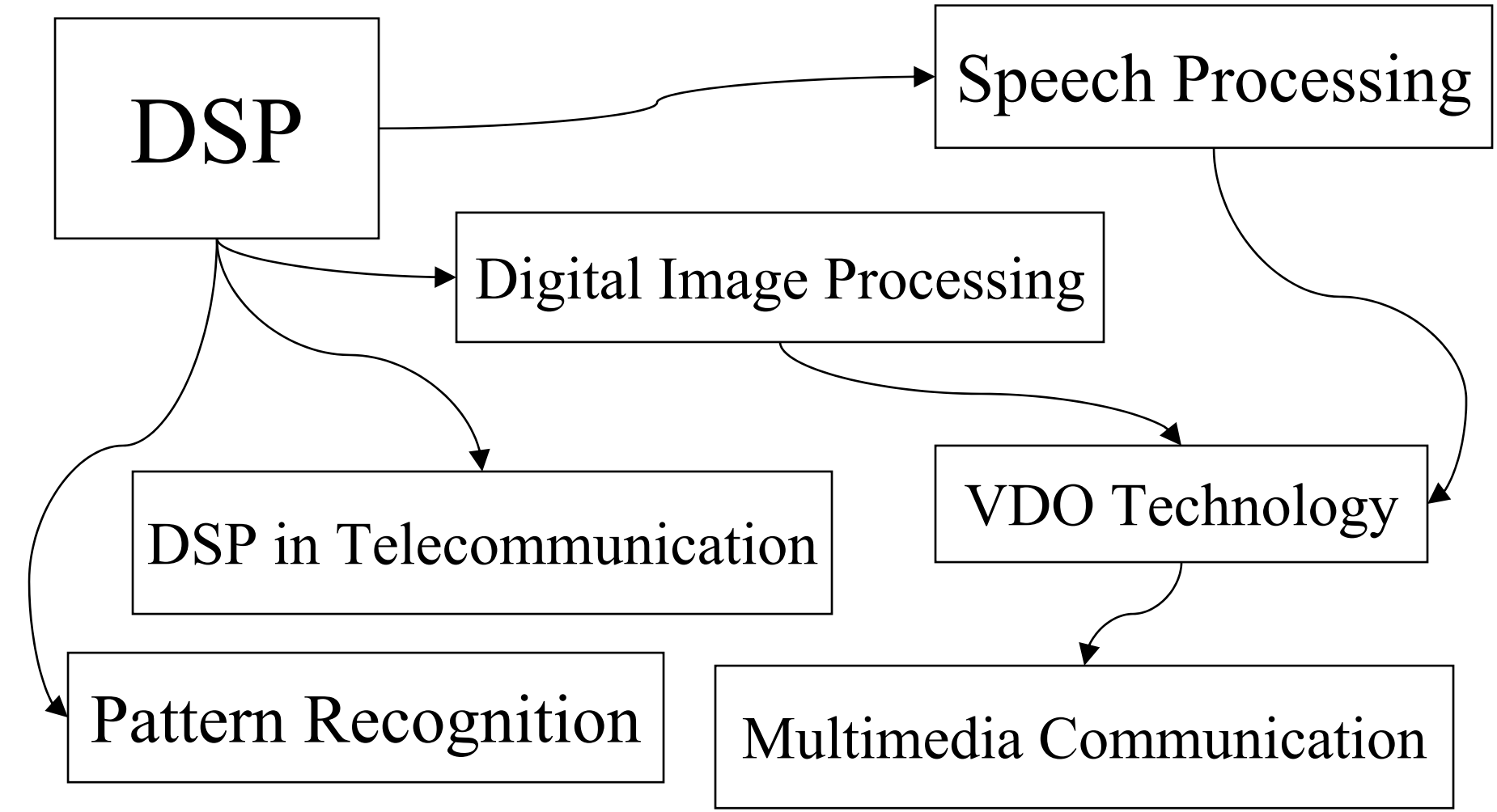
➢ DSP อยู่ที่ไหนบ้าง

- Mobile phones, Multimedia computers, Video cameras, CD players, Hard disc drive controllers, Modems, Micro controllers, Microelectronics.

➢ ต้องพบกับอะไรในวิชานี้

- การทำสัญญาณ Analog ให้เป็น Discrete การแปลง Z การสุ่มตัวอย่าง การออกแบบวงจรกรองแบบ IIR, FIR การวิเคราะห์ฟูเรียร์ การแปลงฟูเรียร์แบบรวดเร็ว
- โครงงานการวิเคราะห์สัญญาณข้อมูลต่างๆ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ

DSP and Derivatives B



➢ การประมวลผลสัญญาณ

คือการนำสัญญาณเข้าสู่ระบบประมวลผลที่ภายในประกอบด้วยระบบปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ เช่น การบวก การคูณ การหาร การถอดรากที่สอง หรือการอินทิเกรต เป็นต้น

➢ การประมวลผลสัญญาณอนาล็อก

คือการประมวลสัญญาณโดยมี ขาเข้าและขาออกของระบบเป็นสัญญาณต่อเนื่อง องค์ประกอบภายในระบบ เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ออปแอมป์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ หรือตัวเหนี่ยวนำเป็นต้น

➢ข้อดี

การออกแบบทำได้ง่าย

ราคาถูก

➢ข้อด้อย

ความแม่นยำต่ำ

อุปกรณ์แปรตามสภาพแวดล้อม

มีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน

➢ การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

คือการประมวลสัญญาณโดยมี ขาเข้าและขาออกของระบบเป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่อง เป็นผลจากการพัฒนาเทคโนโลยีการออกแบบและผลิตวงจรรวม

ตัวอย่างอุปการณ์ระบบ เช่น IC chip, Microprocessor

➢ข้อดี

ประสิทธิภาพดีขึ้น
เมื่อเทียบกับอนาล็อก

➢ข้อด้อย

ความแม่นยำสูง
สามารถทนต่อสัญญาณรบกวน

- การแยกประเภทสัญญาณ

Dimension	1-D, 2-D, 3-D
Expression	Deterministic, Random
Continuity	Continuous, Discrete

- การปฏิบัติการทั่วไปของสัญญาณ

การปฏิบัติการทางเวลา

scaling	$y(t) = a\,x(t)$
delay	$y(t) = x(t-t_0)$
addition	$y(t) = x_1(t)+x_2(t)-x_3(t)$
product	$y(t) = x_1(t)x_2(t)$
integration	$y(t) = \int_{-\infty}^{t} x(\tau)d\tau$
differentiation	$y(t) = dx(t)/dt$

- การปฏิบัติการทั่วไปของสัญญาณ

a.Filtering

การ filter คือการยอมให้สัญญาณผ่านออกจากระบบในบางช่วงความถี่ ในทางเวลาก็คือการหาคอนโวลูชันอินทิกรัลระหว่างสัญญาณขาเข้ากับผลตอบอิมพัลส์ของ filter

โดเมนความถี่ $$Y(f) = X(f)H(f)$$

โดเมนเวลา $$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau)x(\tau)d\tau$$

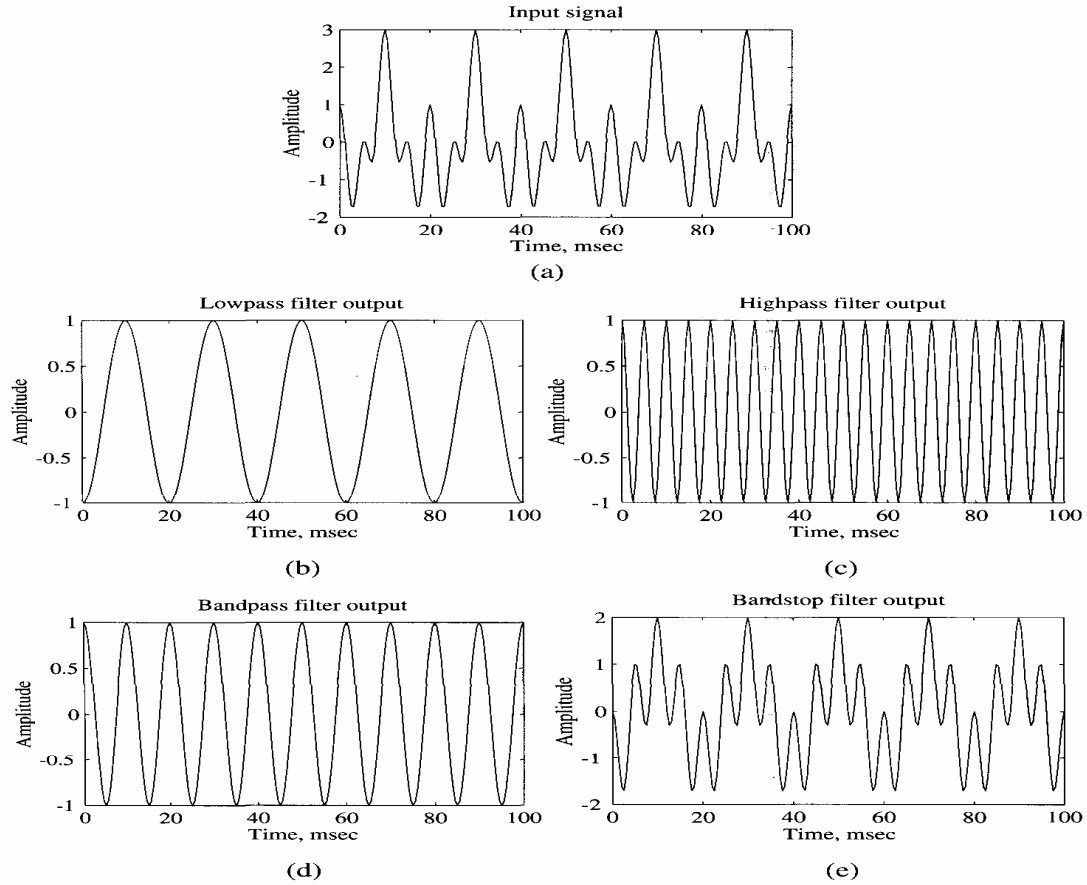


Figure 1.2: (a) Input signal, (b) output of a lowpass filter with a cutoff at 80 Hz, (c) output of a highpass filter with a cutoff at 150 Hz, (d) output of a bandpass filter with cutoffs at 80 Hz and 150 Hz, and (e) output of a bandstop filter with cutoffs at 80 Hz and 150 Hz.

- การปฏิบัติการทั่วไปของสัญญาณ

b.Modulation

-คูณสัญญาณเบสแบนด์ด้วยคลื่นพาห์ (carrier)

-เกิดการ convolution ทางความถี่

-ความถี่เบสแบนด์ไปเกาะอยู่ที่ความถี่คลื่นพาห์ จึงส่งไปได้ไกล

โดเมนความถี่ $y(t) = Ax(t)\cos(\Omega_0 t)$

โดเมนเวลา $Y(j\Omega) = X(j\Omega) * \frac{1}{2}[\delta(\Omega_0) + j\delta(-\Omega_0)]$

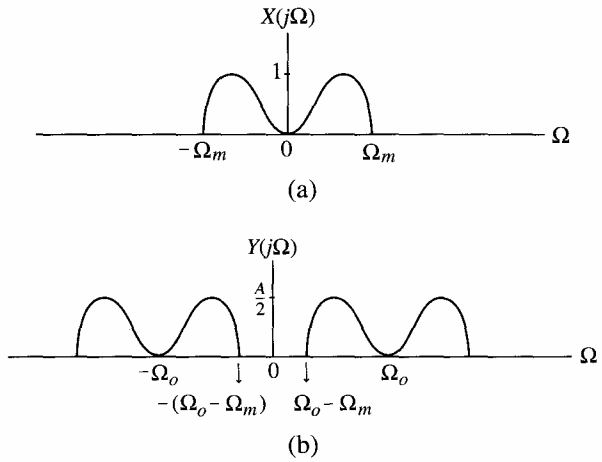


Figure 1.4: (a) Spectrum of the modulating signal $x(t)$, and (b) spectrum of the modulated signal $y(t)$. For convenience, both spectra are shown as real functions.

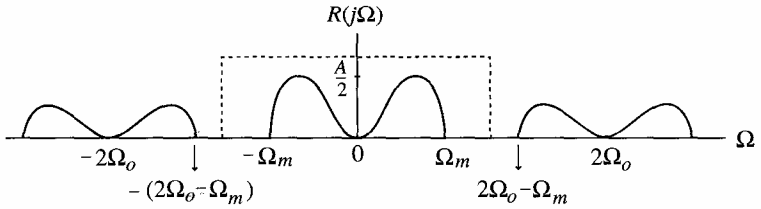


Figure 1.5: Spectrum of the product of the modulated signal and the carrier.

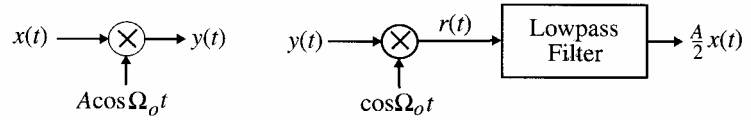


Figure 1.6: Schematic representations of the amplitude modulation and demodulation schemes: (a) modulator, and (b) demodulator.

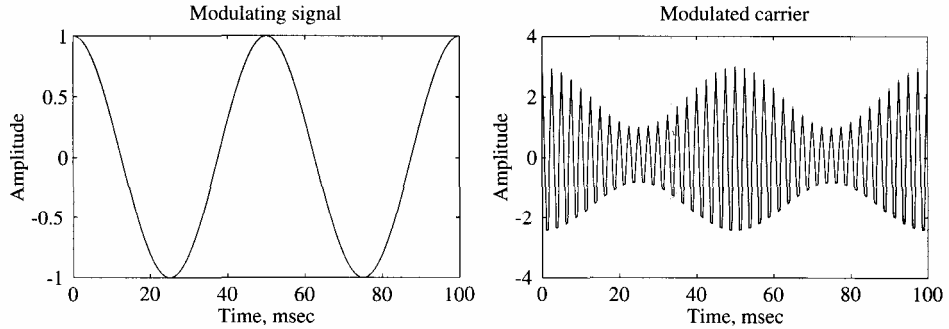


Figure 1.7: (a) A sinusoidal modulating signal of frequency 20 Hz, and (b) modulated carrier with a carrier frequency of 400 Hz based on the DSB modulation.

- การปฏิบัติการทั่วไปของสัญญาณ

c.Multiplexing

TDM (ในระบบGSM)
ใช้ bandwidth ร่วมกัน
โดยการแบ่งช่วงเวลา (Time Slot)

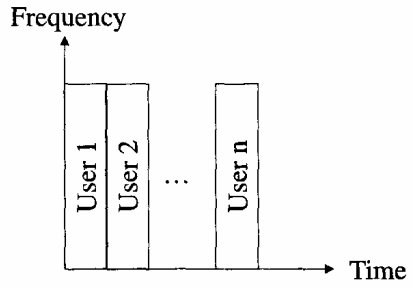


Figure 1.10: Time division multiple access (TDMA).

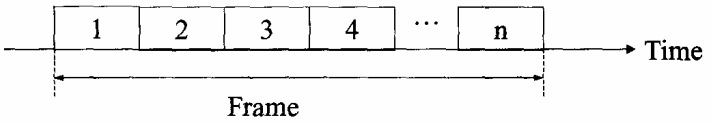


Figure 1.11: TDMA frame structure.

- การปฏิบัติการทั่วไปของสัญญาณ

c.Multiplexing

FDM

ใช้ bandwidth ร่วมกัน

โดยการแบ่งช่วงความถี่

(Frequency Shifting)

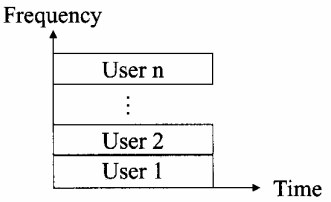


Figure 1.7: Frequency division multiple access (FDMA).

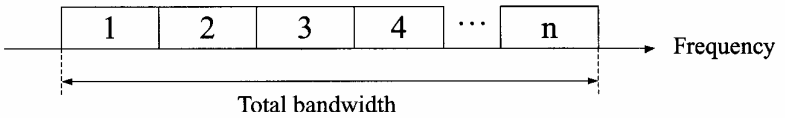


Figure 1.8: FDMA bandwidth structure.

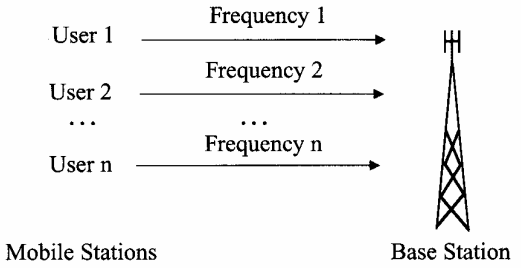


Figure 1.9: FDMA channel allocation.

- การปฏิบัติการทั่วไปของสัญญาณ

c.Multiplexing

CDM

ใช้ bandwidth ร่วมกัน

โดยใช้ spreading code

เฉพาะสำหรับแต่ละผู้ใช้

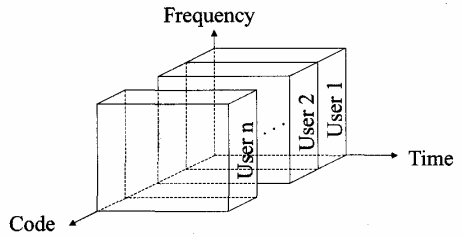


Figure 1.13: Code division multiple access (CDMA).

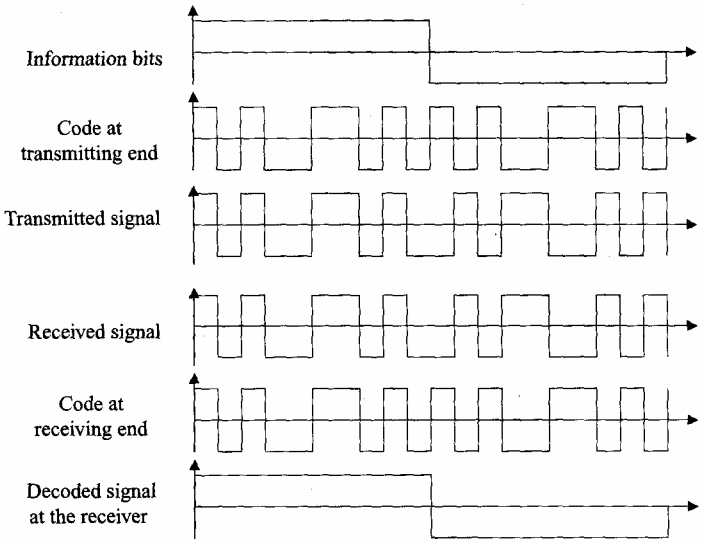


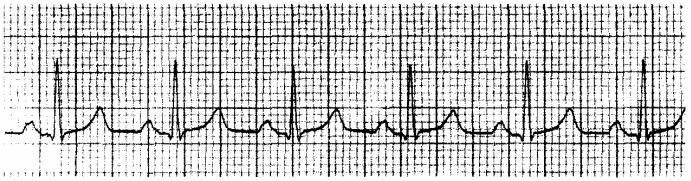
Figure 1.14: Transmitted and received code in a CDMA system.

- ตัวอย่างของสัญญาณเฉพาะในด้านต่างๆ

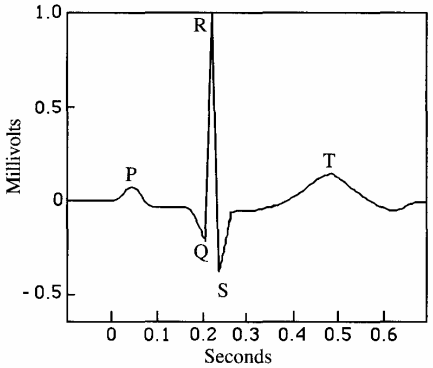
a.Electrocardiography (ECG) signal

-แต่ละลูกคลื่น ถูกกำหนดจุดอ้างอิง

-การผิดรูปไปจากปรกติ
สามารถช่วยในการวินิจฉัยโรคได้
เช่น การลดลงของแอมปลิจูด
แสดงถึงกล้ามเนื้อหัวใจ



(a)



(b)

Figure 1.12: (a) A typical ECG trace, and (b) one cycle of an ECG waveform.

- ตัวอย่างของสัญญาณเฉพาะในด้านต่างๆ

b.Speech signal
-voiced, unvoiced
-silent, active

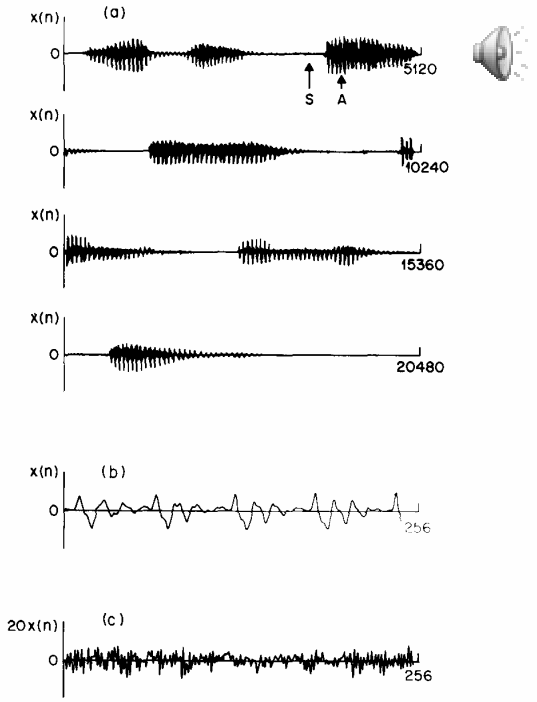
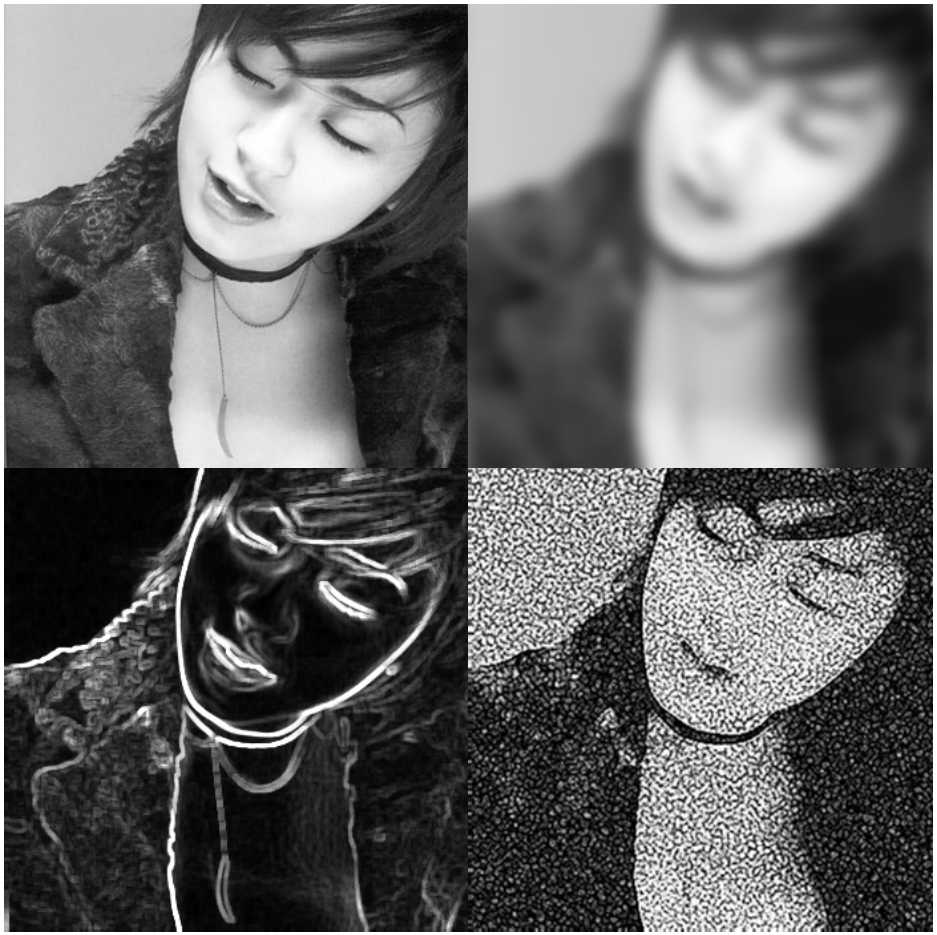


Figure 1.17: Speech waveform example: (a) sentence-length segment, (b) magnified version of the voiced segment (the letter A), and (c) magnified version of the unvoiced segment (the letter S). (Reproduced with permission from J. L. Flanagan et al., Speech coding, *IEEE Trans. on Communications*, vol. COM-27, April 1979, pp. 710–737 ©1979 IEEE.)

- ตัวอย่างของสัญญาณเฉพาะในด้านต่างๆ

c.Image
-2-D signal
-High Frequency
-Low Frequency



- ตัวอย่างของสัญญาณเฉพาะในด้านต่างๆ

d.VDO Signal
-3-D signal
-time-varying

- ตัวอย่างการประยุกต์การประมวลผลสัญญาณ

a.Sound recording

b.Telephone dialing application

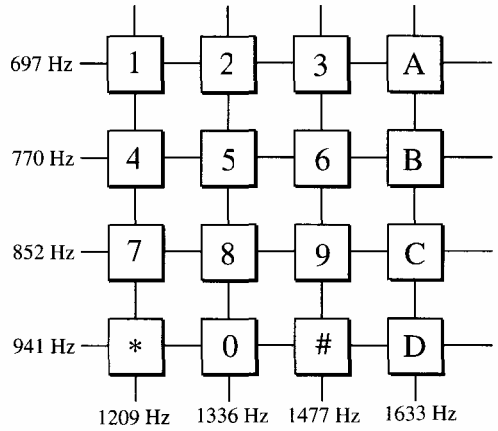


Figure 1.38: The tone frequency assignments for TOUCH-TONE® dialing.

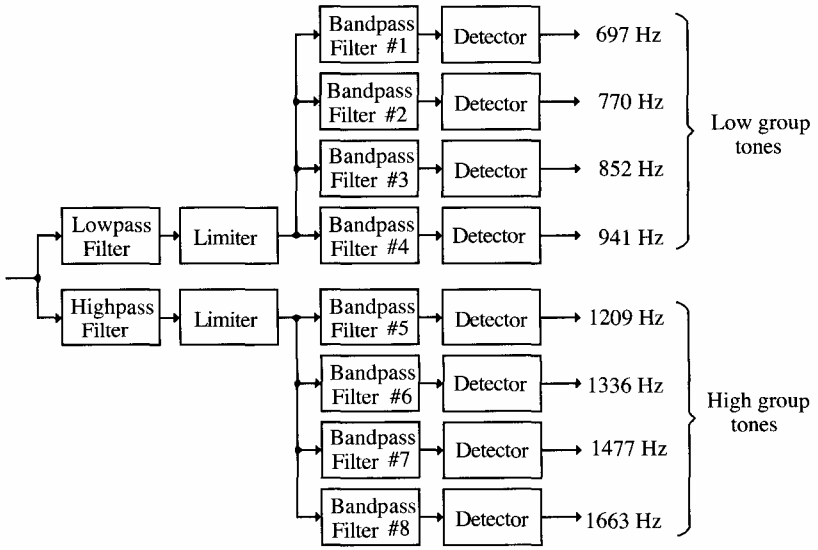


Figure 1.39: The tone detection scheme for TOUCH-TONE® dialing.

- ตัวอย่างการประยุกต์การประมวลผลสัญญาณ

c.FM stereo application

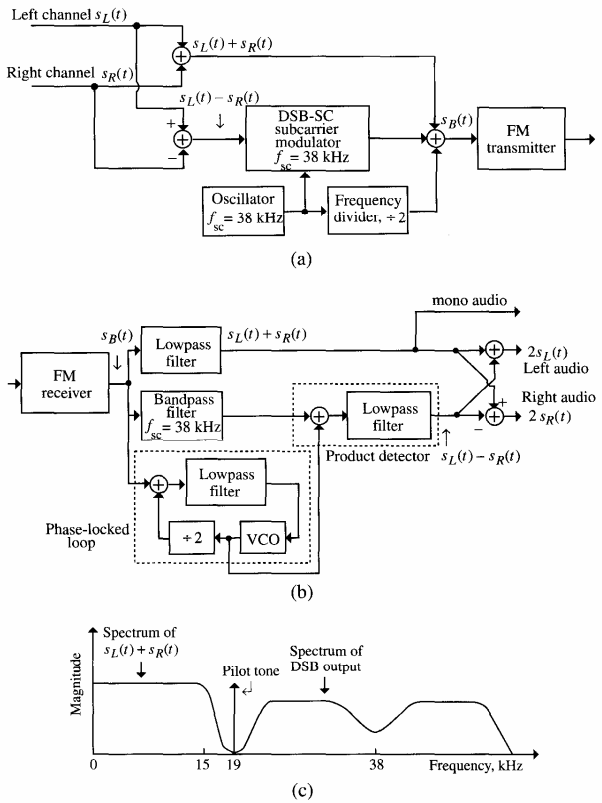


Figure 1.40: The FM stereo system: (a) transmitter, (b) receiver, and (c) spectrum of the composite baseband signal $s_B(t)$.

- ตัวอย่างการประยุกต์การประมวลผลสัญญาณ

d.Echo Cancellation in Telephone network

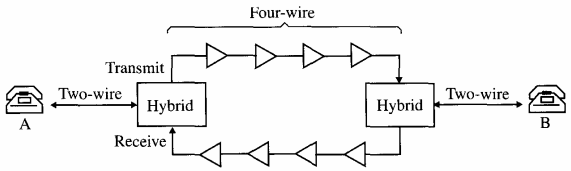


Figure 1.43: Basic 2/4-wire interconnection scheme.

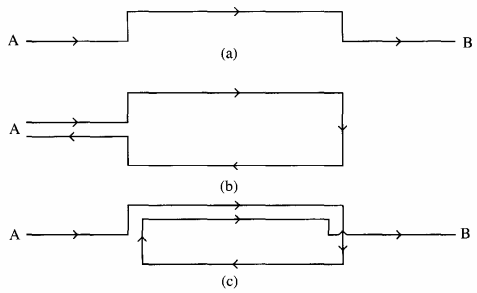


Figure 1.44: Various signal paths in a telephone network. (a) Transmission path from talker A to listener B, (b) echo path for talker A, and (c) echo path for listener B.

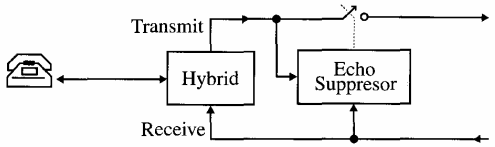


Figure 1.45: Echo suppression scheme.

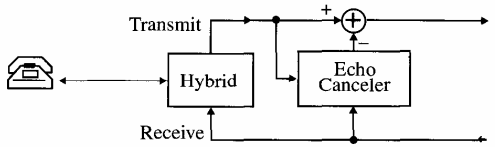


Figure 1.46: Echo cancellation scheme.

Figure 1.47: Scheme for the digital processing of an analog signal.

- Why DSP?

  17th century มีเทคนิคทาง DSPเกิดขึ้น
  1950s digital computer เริ่มแพร่หลาย
  1960s dsp แยกตัวออกเป็นสาขาอิสระ

- Why DSP?

+digital circuit ทนต่อสภาพแวดล้อมทางด้านอุณหภูมิ อายุการใช้งานนาน

+ใน digital processor สัญญาณถูกกำหนดเป็นเลขไบนารี ความแม่นยำปรับจาก wordlength

+เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ processor ได้ง่ายโดยเทคนิคทาง DSP เช่น TDM เป็นต้น

+Digital Implementation ปรับได้ด้วยการ re-programming

- Why DSP?

+การต่อเพิ่ม cascading ของ digital circuit ทำได้โดยไม่มีปัญหา loading

+การจัดเก็บสัญญาณ digital ทำได้โดยไม่ขึ้นกับเวลา ปราศจากการสูญเสียข่าวสาร เช่น storage medium ต่างๆ เช่น disk

+การทำงานกับสัญญาณความถี่ต่ำมาก เช่น seismic แผ่นดินไหว ทำได้ง่าย ต่างจาก analog ที่ใช้อุปกรณ์ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่มาก

- Why DSP?

-ความซับซ้อนเพิ่มขึ้น เมื่อจัดการกับ analog signal ตามรูป 1.47

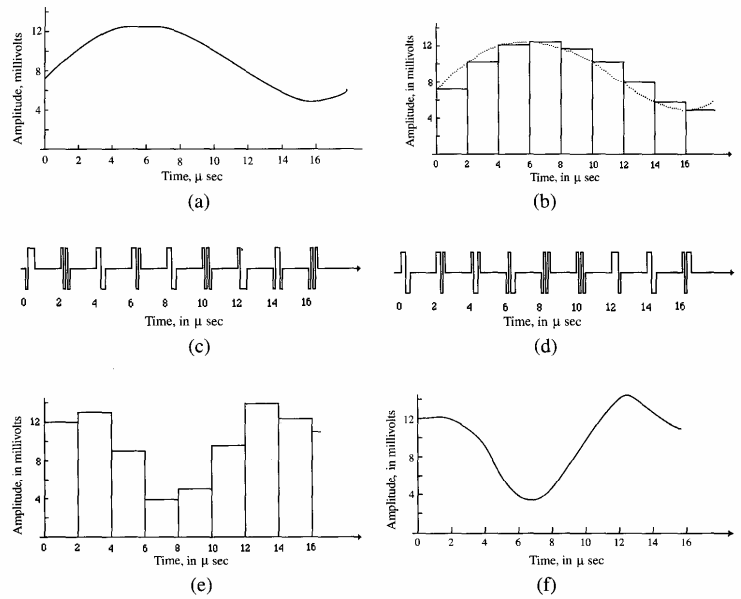


Figure 1.48: Typical waveforms of signals appearing at various stages in Figure 1.47. (a) Analog input signal, (b) output of the S/H circuit, (c) A/D converter output, (d) output of the digital processor, (e) D/A converter output, and (f) analog output signal. In (c) and (d), the digital HIGH and LOW levels are shown as positive and negative pulses for clarity.

- Why DSP?

-ความซับซ้อนเพิ่มขึ้น เมื่อจัดการกับ analog signal ตามรูป 1.47

-ข้อจำกัดสำหรับช่วงจำกัดความถี่การทำงาน ที่ต้องมีอย่างต่ำ Niquist rate

-ต้องการ active device ต่างจาก analog ที่เน้นแต่ passive device จึงสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า

+ราคาของDSP hardware ถูกลงมาก ทำให้ข้อด้อยลดน้ำหนักลง

- Discrete Time Signals

a.Time-Domain Representation

a1. sampling

$\{x[n]\} = \{\ldots,0.95,-0.2,2.17,1.1,\ldots\}$

$x[n] = x_a(t)|_{t=nT} = x_a(nT)$ $\quad n=\ldots,-2,-1,0,1,2,\ldots$

$F_T=1/T$

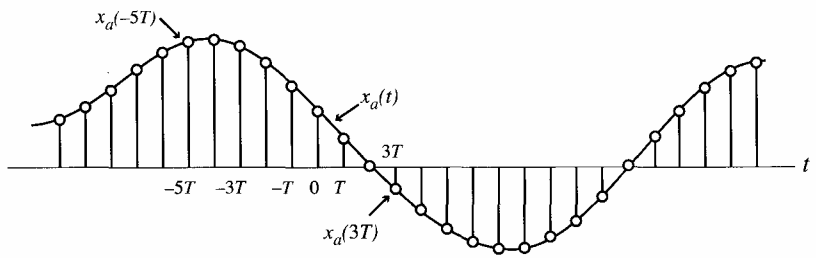


Figure 2.2: Sequence generated by sampling a continuous-time signal $x_a(t)$.

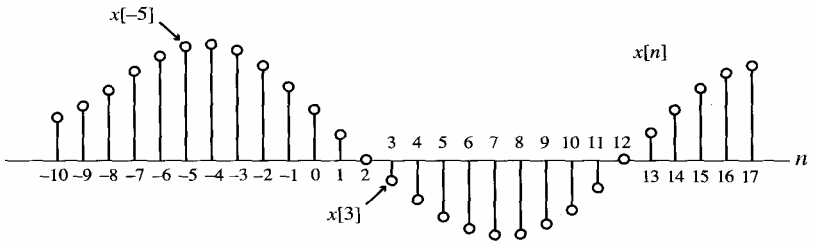


Figure 2.1: Graphical representation of a discrete-time sequence $\{x[n]\}$.

- Discrete Time Signals

a.Time-Domain Representation

a2.Quantization

-Rounding

-Truncation

$\{x[n]\} = \{\ldots, 0.95, -0.2, 2.17, 1.1, \ldots\}$

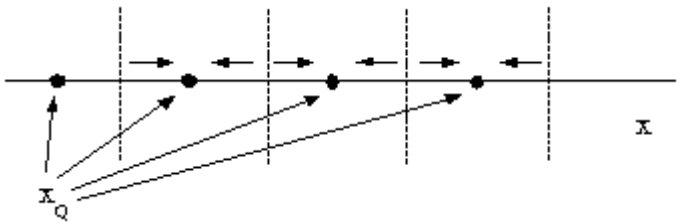
$\{\hat{x}[n]\} = \{\ldots, 1, 0, 2, 1, \ldots\}$

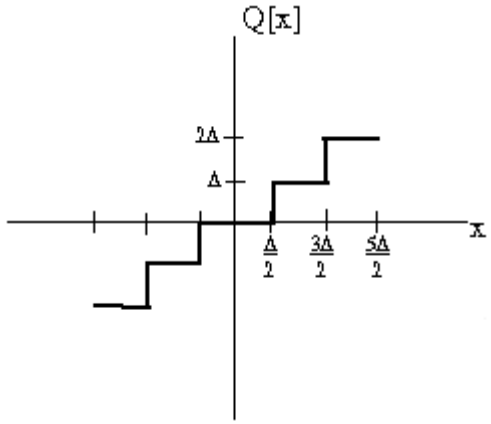
- Discrete Time Signals

a.Time-Domain Representation

a2.Quantization

Rounding



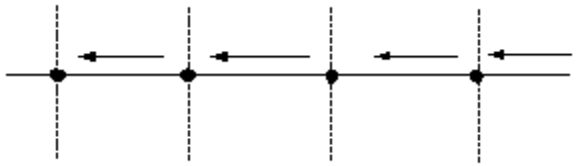


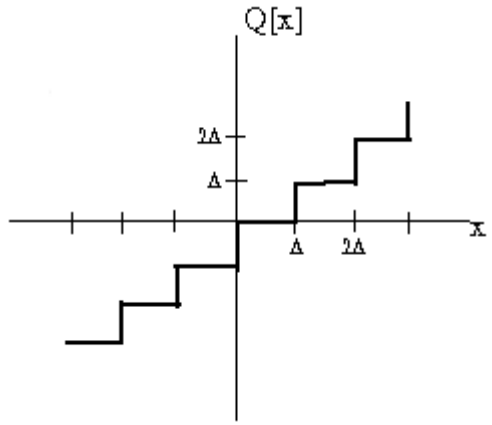
- Discrete Time Signals

a.Time-Domain Representation

a2.Quantization

Truncation





- Discrete Time Signals

a.Time-Domain Representation

a3.Causal and Anticausal sequence

- causal $x[n] = 0$ for $n<N1>0$
- anticausal $x[n] = 0$ for $n>N2<0$

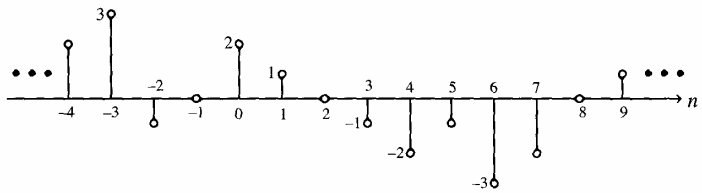


Figure 2.3: A digital signal.

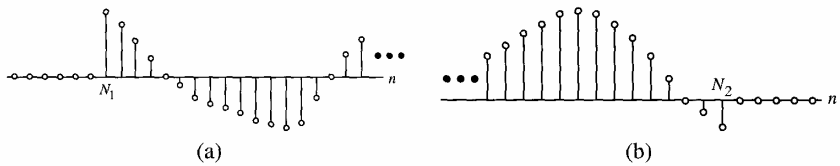


Figure 2.4: (a) A right-sided sequence, and (b) a left-sided sequence.

- Discrete Time Signals

b.Operation on sequence

b1.Basic Operation

Multiplication scaling $w_1[n] = a\,x[n]$

Time-shifting delay $w_2[n] = x[n-N]$

Time-reversal folding $w_3[n] = x[-n]$

Addition $w_4[n] = x_1[n]+x_2[n]-x_3[n]$

Product $w_5[n] = x_1[n]x_2[n]$

- Discrete Time Signals

b.Operation on sequence

b1.Basic Operation

EX 2.1 Consider the following 2 sequences of length 5 defined for 0<=n<=4

c[n]={3.2, 41, 36, -9.5, 0},

d[n]={1.7, -0.5, 0, 0.8, 1}.

Determine w1[n]=c[n].d[n], w2[n]=c[n]+d[n], w3[n]=0.5c[n]

- Discrete Time Signals

b.Operation on sequence

b1.Basic Operation

EX 2.2 Consider the following 2 sequences

$c[n]=\{3.2, 41\}$,

$d[n]=\{1.7, -0.5, 0, 0.8, 1\}$.

Determine $w4[n]=c[n].d[n]$, $w5[n]=c[n]+d[n]$

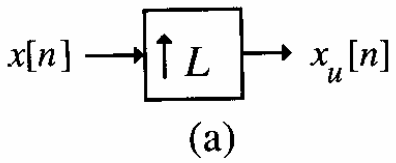
- Discrete Time Signals

b.Operation on sequence

b2.Samping Rate Alteration

Up-samping

$$x_U[n] = \begin{cases} x[n/L] & n = 0, \pm L, \pm 2L, \ldots \\ 0 & otherwise \end{cases}$$



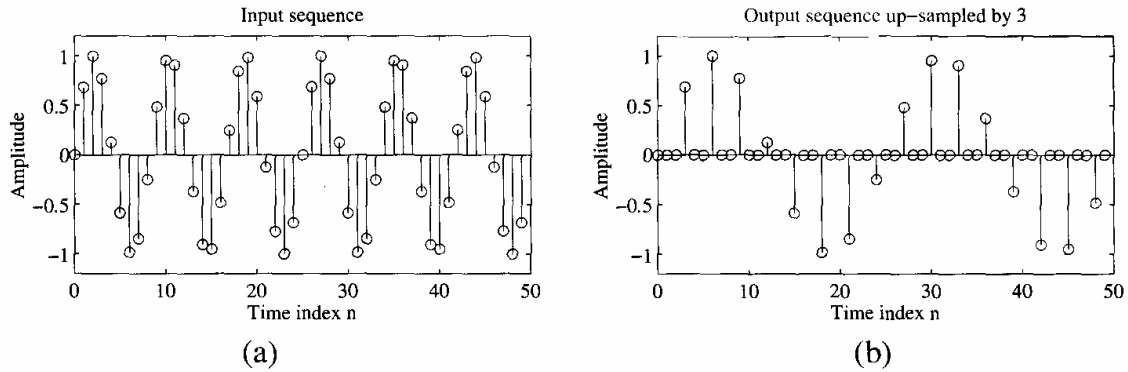


Figure 2.9: Illustration of the up-sampling process.

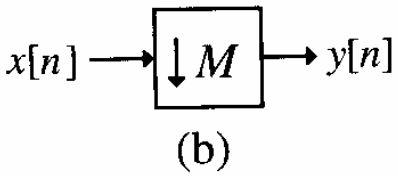
- Discrete Time Signals

b.Operation on sequence

b2.Samping Rate Alteration

Down-samping

$$x_D[n] = x[nM]$$



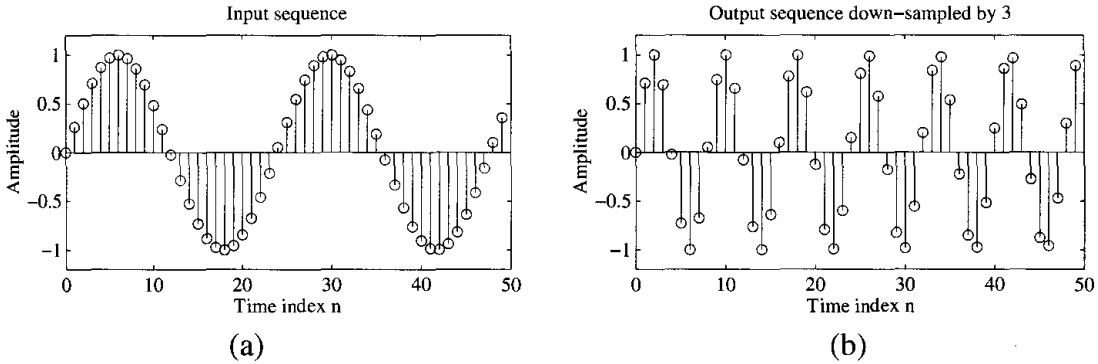


Figure 2.10: Illustration of the down-sampling process.

- Discrete Time Signals

c. Classification of sequences

c1.Periodic and aperiodic signals

Periodic $\tilde{x}[n] = \tilde{x}[n + kN]$ สำหรับทุก n

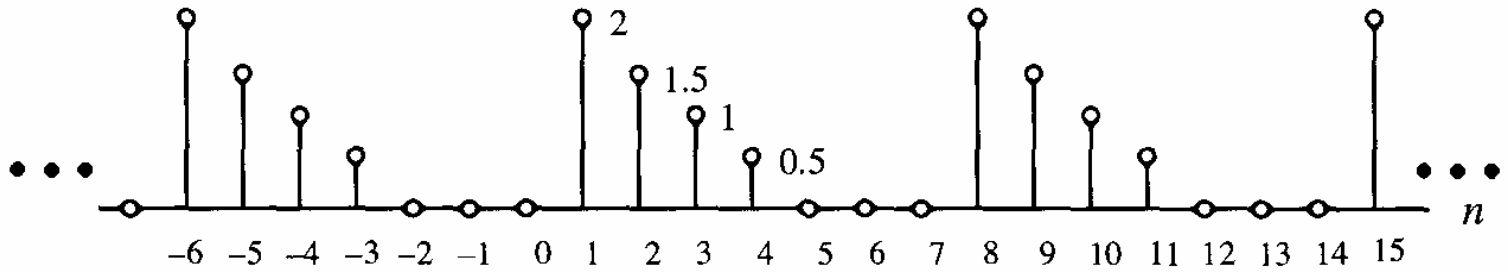


Figure 2.12: An example of a periodic sequence.