

第三章 模数转换和数模转换

3.1 信号与系统

3.2 模数转换与数模转换

3.3 信号与频谱

3.1 信号与系统



传感器作用：采集信号、转换信号。

3.1 信号与系统

系统的作用：分析信号、处理信号。

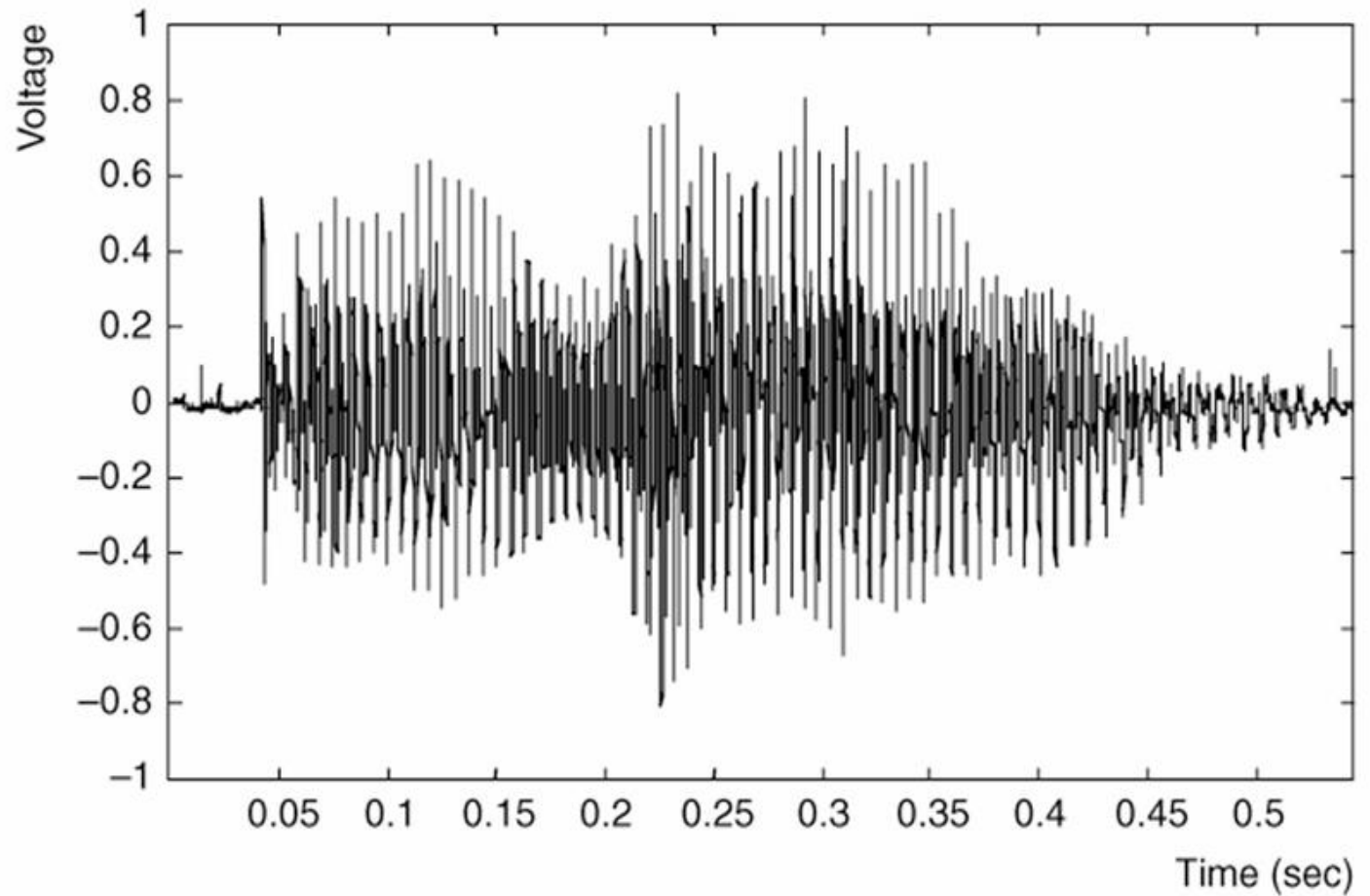
信号 { **模拟信号：**时间和数值上都是连续的信号（**自然界的信号**）
数字信号：时间和数值上都是离散的信号（**计算机里的信号**）

系统 { **模拟系统：**处理模拟信号的系统
数字系统：处理数字信号的系统

3.1 信号与系统

模拟信号

声音信号

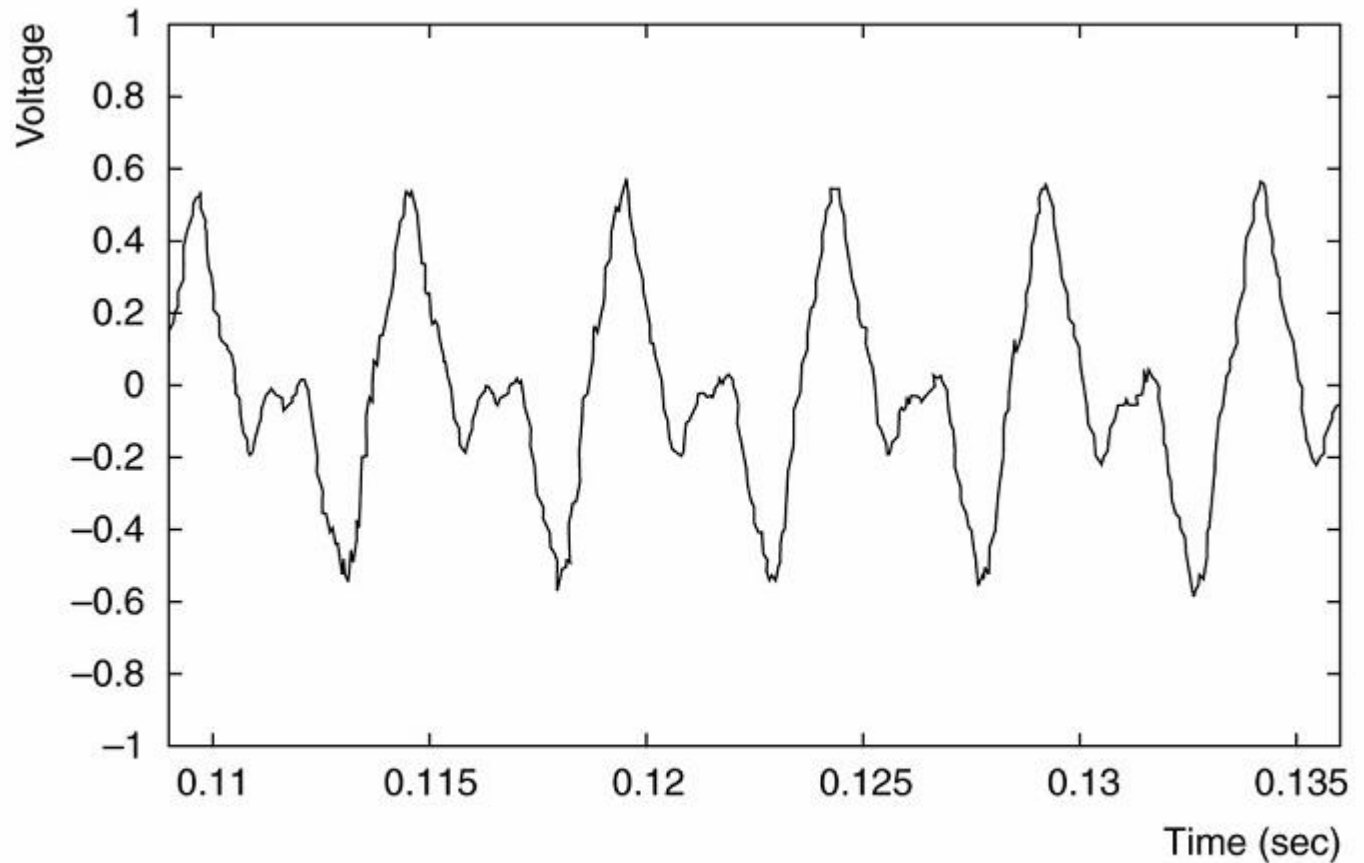


(a) Speech Sample: The Word "away"

3.1 信号与系统

模拟信号

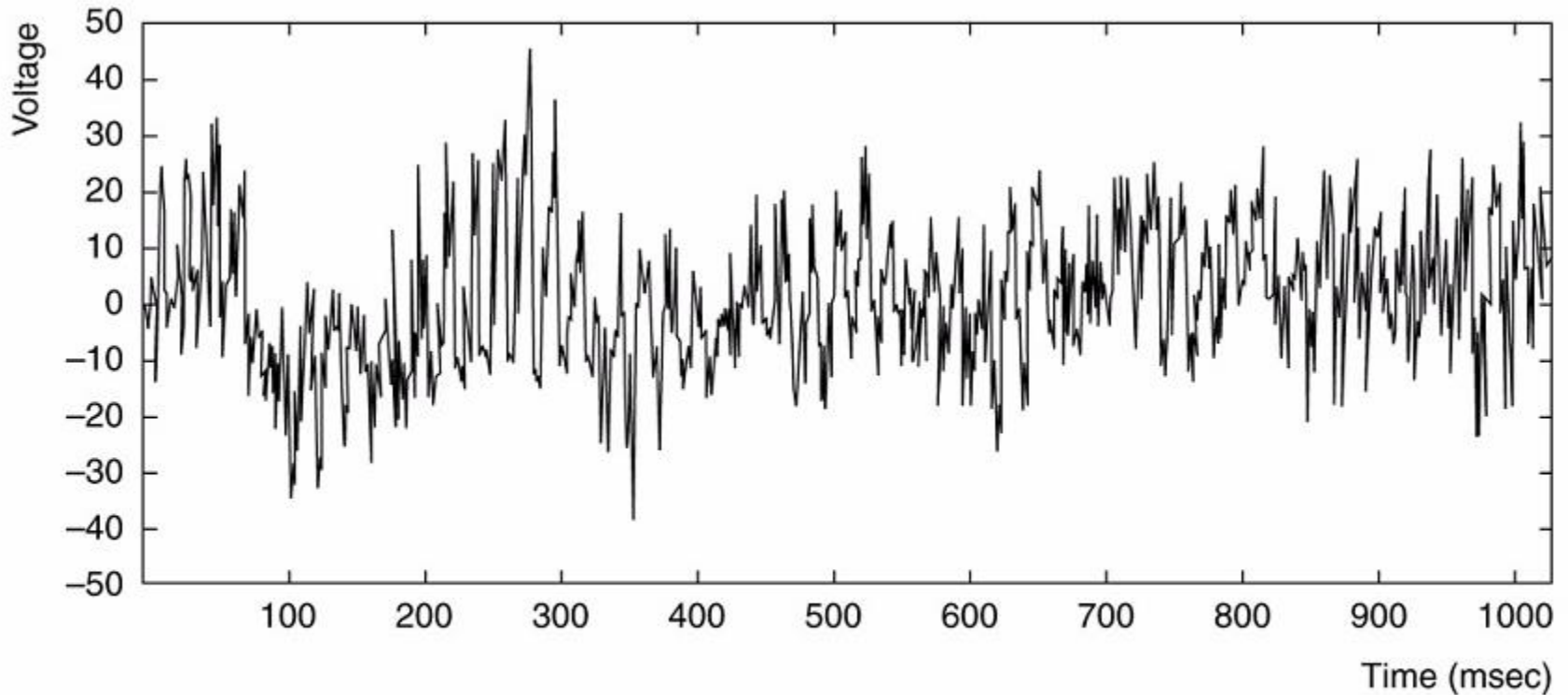
声音信号



(b) Speech Sample: The Vowel "ooo"

3.1 信号与系统

模拟信号

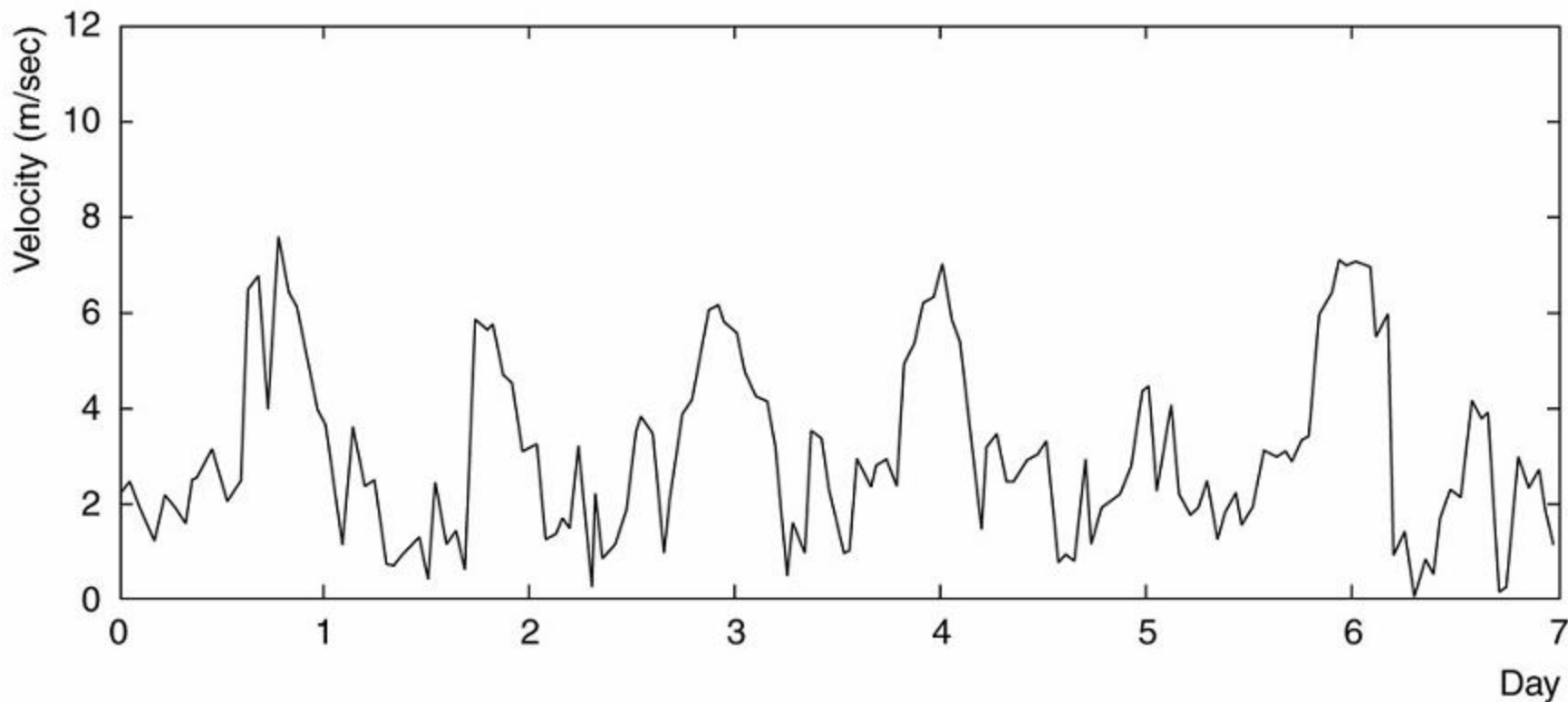


(e) Electroencephalogram (EEG) Courtesy Michael Noonan, Ph.D. Canisus College

脑电信号

3.1 信号与系统

模拟信号

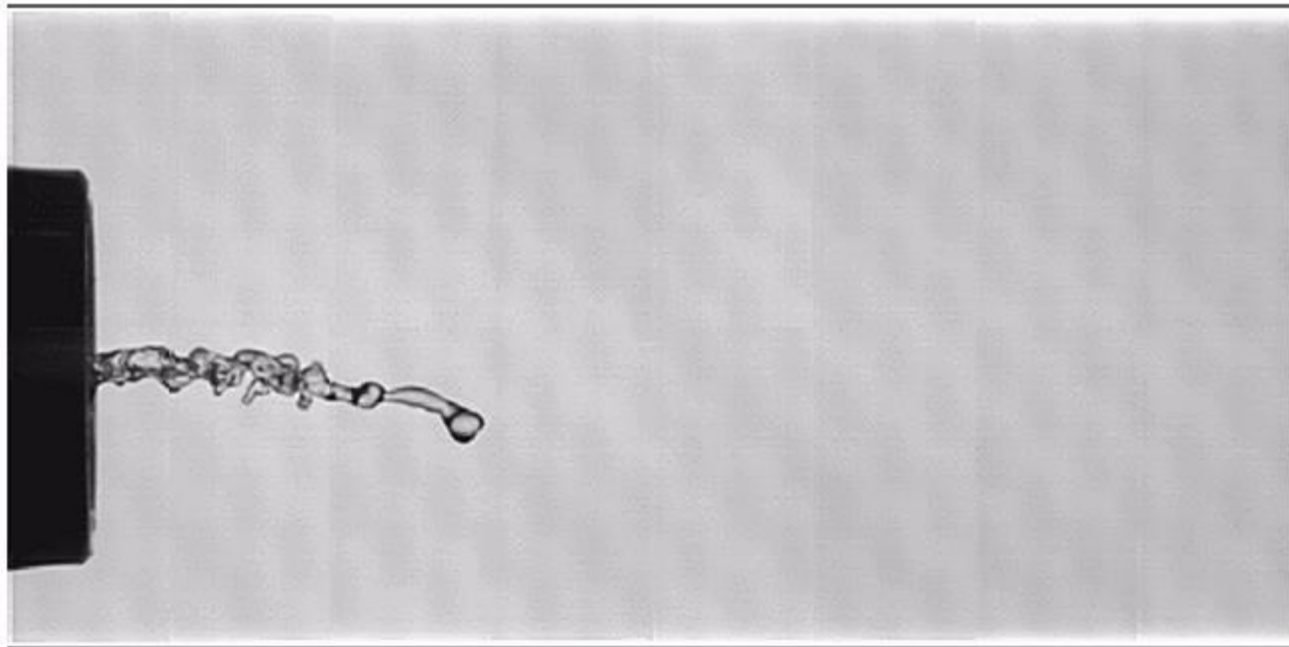


(f) Wind Velocities

风速

3.1 信号与系统

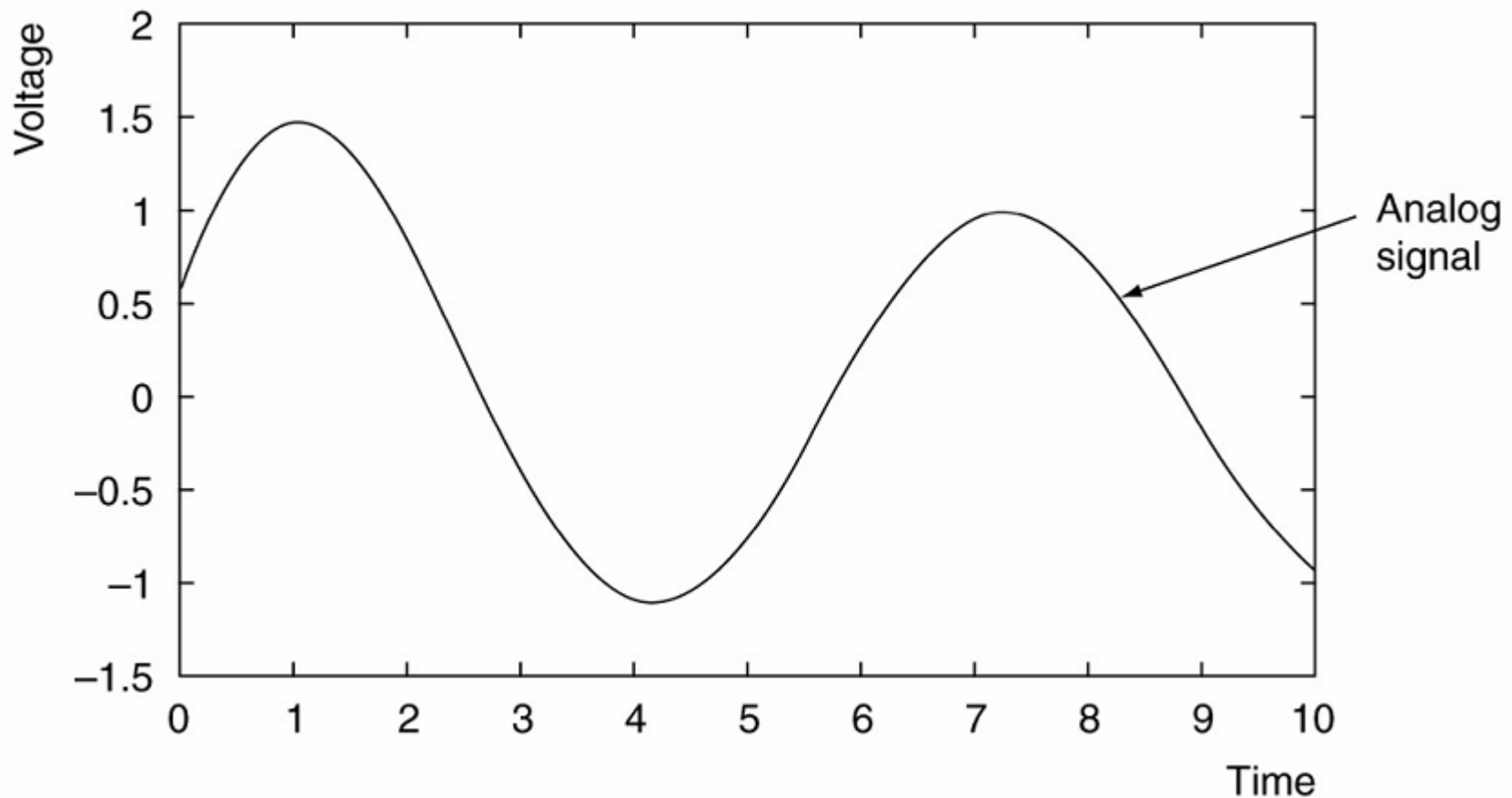
模拟信号



图像信号

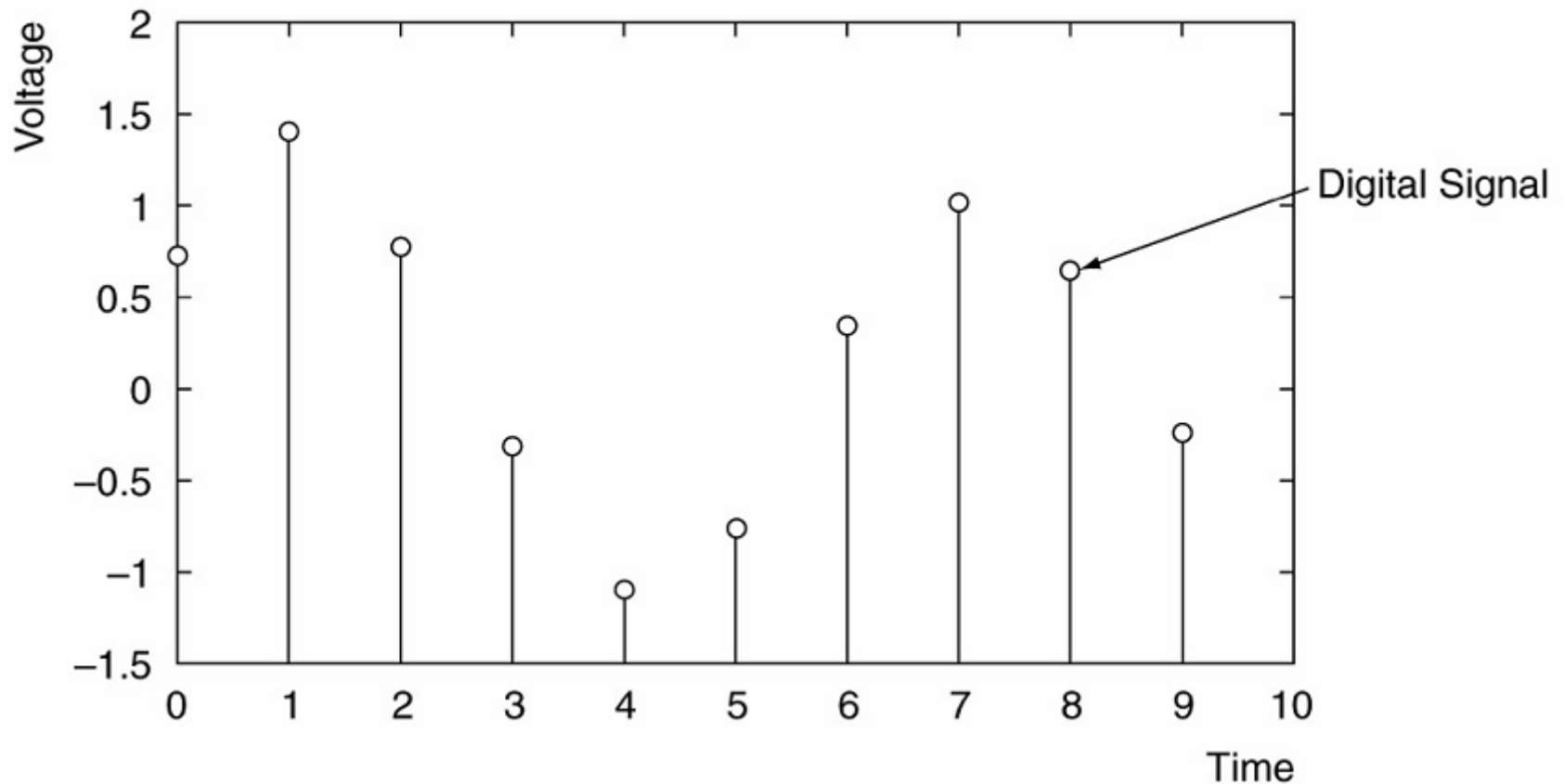
3.1 信号与系统

模拟信号定义：时间和幅值上都是连续的信号



3.1 信号与系统

数字信号定义：时间和幅值上都是离散的信号

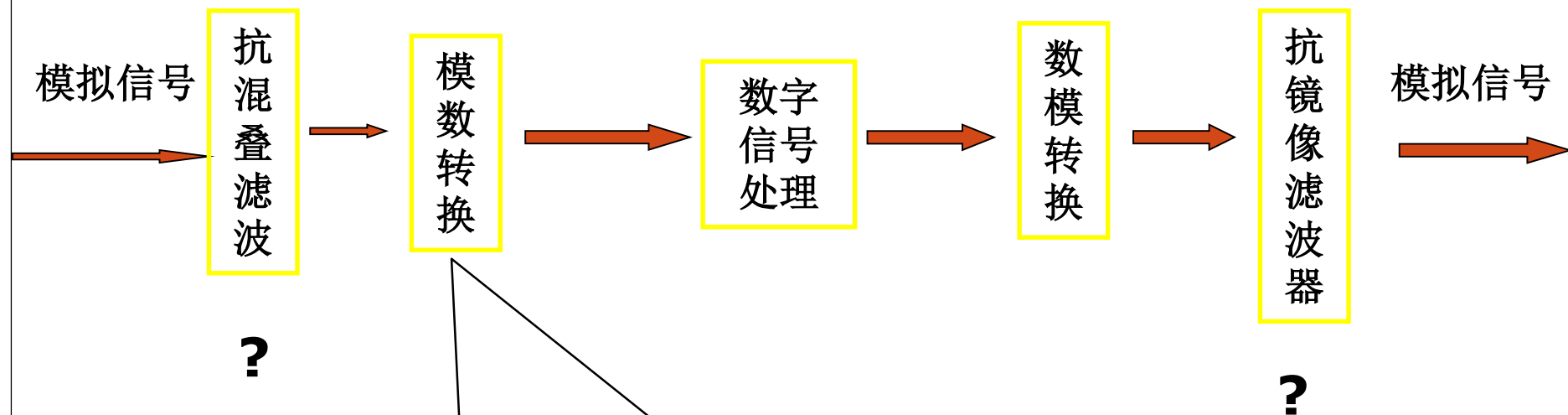


3.2 模数转换和数模转换

- 简单的DSP系统
- 采样
- 量化
- 模数转换
- 数模转换

➤ 简单的DSP系统

Digital Signal Process (DSP)

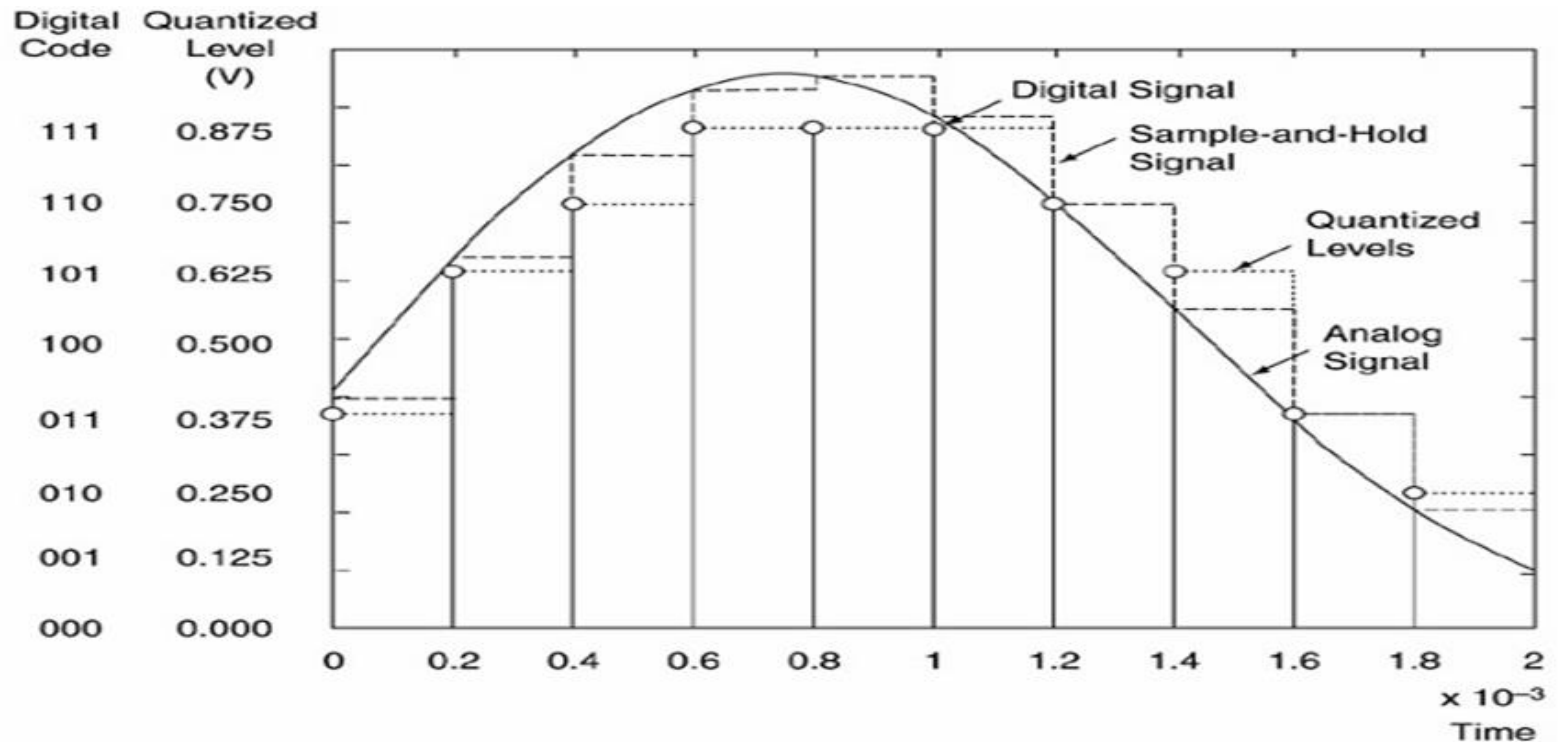


如何把自然界的信号送到计算机里？

模数转换：把模拟信号变为数字信号

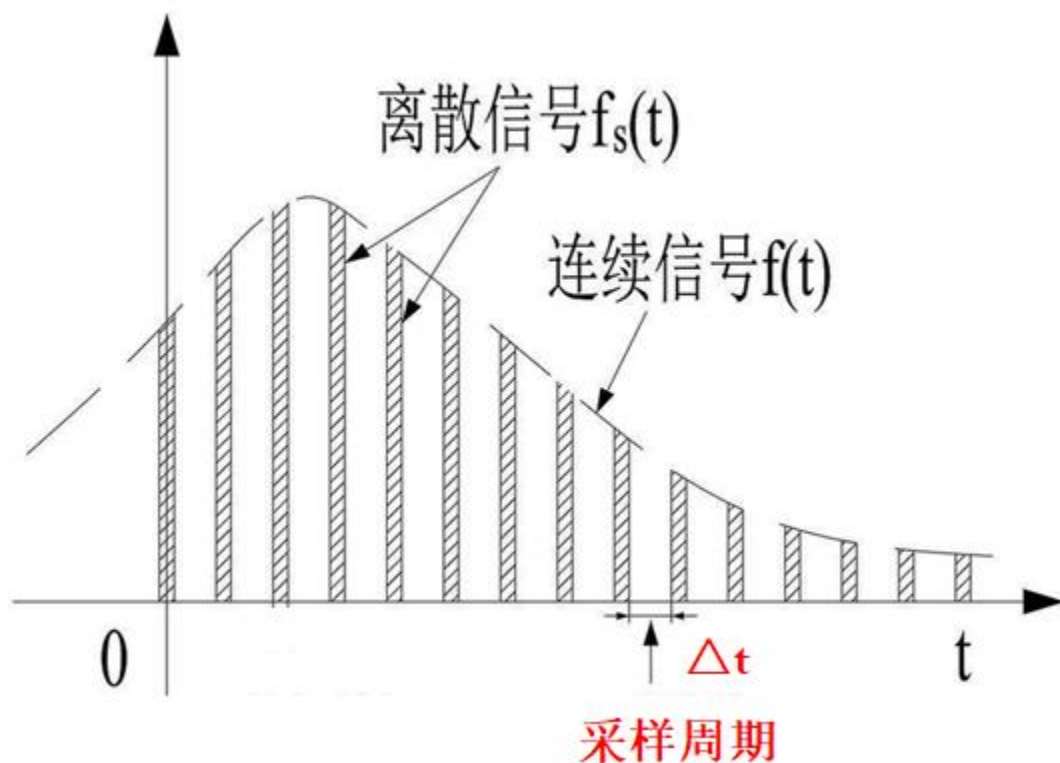
采样

量化

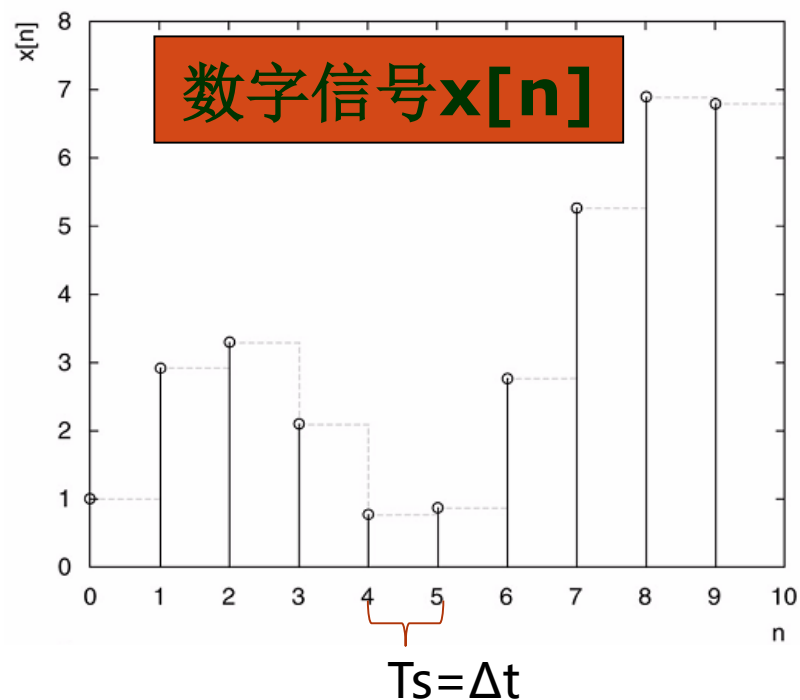
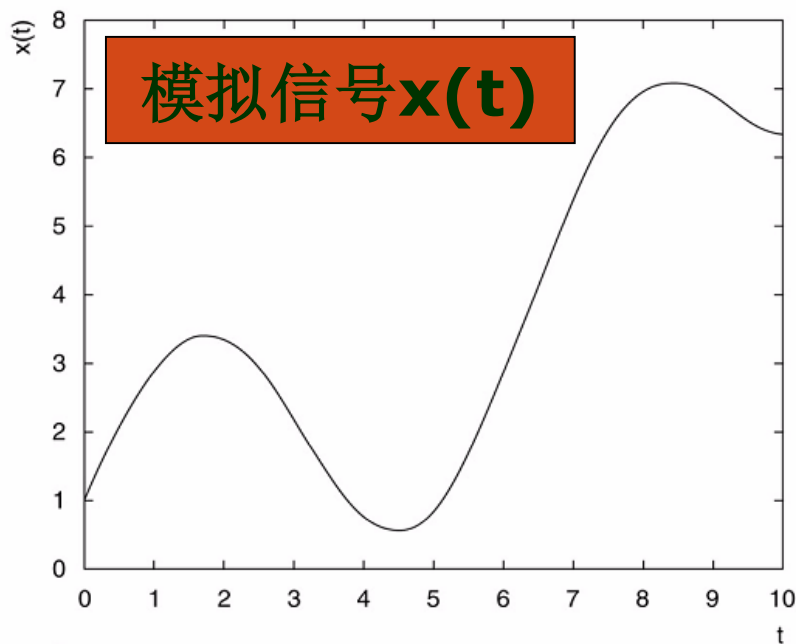


➤ 采样

信号采样也称抽样 (Sample)，对连续信号在时间上的离散化，即按照一定时间间隔 Δt 把模拟信号的时间轴离散化。



➤ 采样



采样周期 (T_s): 采样的时间间隔

采样频率 (f_s): 每秒钟的采样点数, $f_s = 1/T_s$

一组采样信号怎样能唯一地表示模拟信号

采样多少呢？

奈奎斯特采样定理

美国电信工程师奈奎斯特在1928年提出的

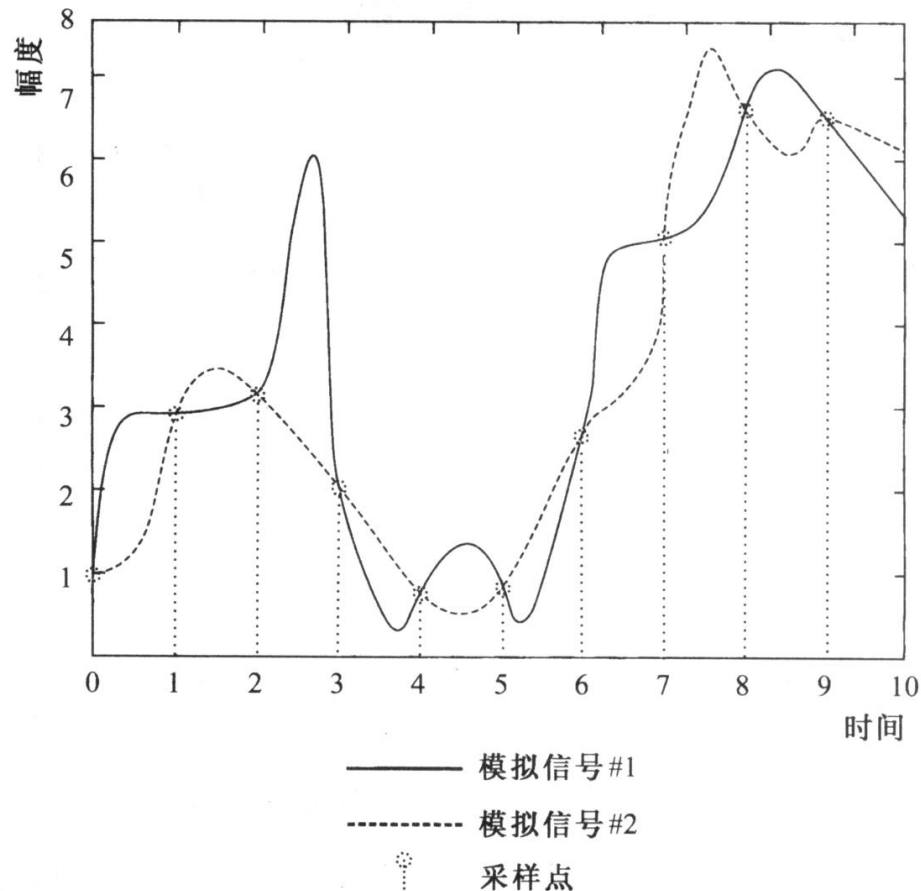


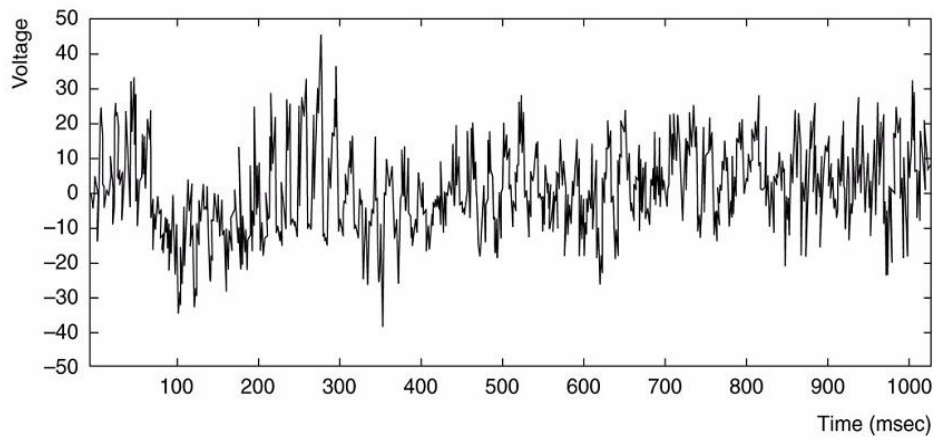
图 2.5 欠采样的模拟信号

奈奎斯特采样定理

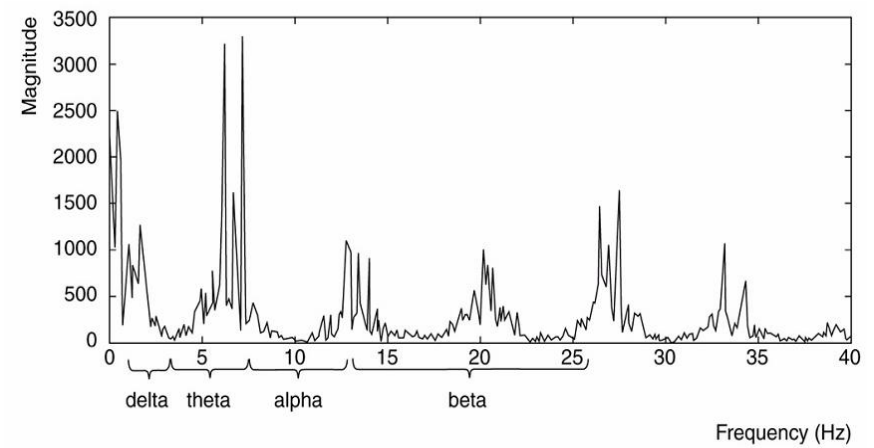
针对最大频率为 W (Hz) 的模拟信号，至少要以每秒 $2W$ 次的采样频率进行采样，才可能由采样值恢复原来的信号。

奎斯特采样频率

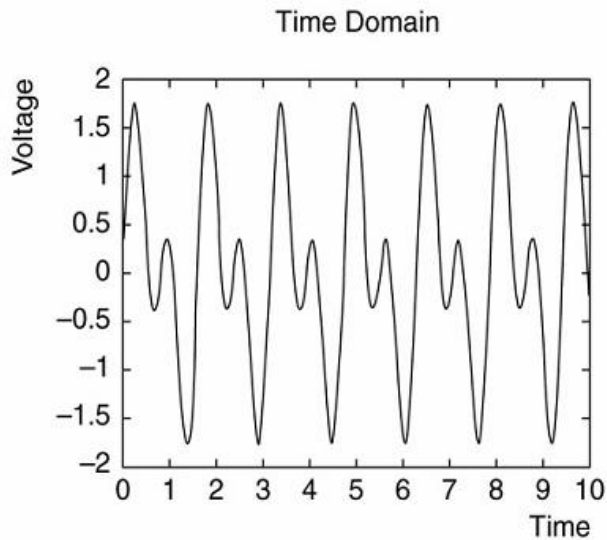
最小的采样频率 ($2W$) 。



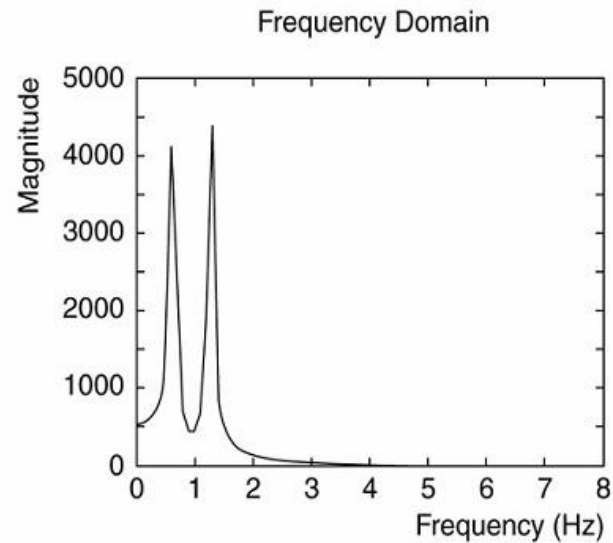
(e) Electroencephalogram (EEG) Courtesy Michael Noonan, Ph.D. Carisus College



(e) Spectrum of Electroencephalogram (EEG)



(a) Slowly changing signal



Spectrum of signal

采样率?

2. 采样

右图信号频率:

10 kHz-80 kHz

采样率为40 kHz

混叠现象

不符合奈奎斯特采样定理导致的现象。

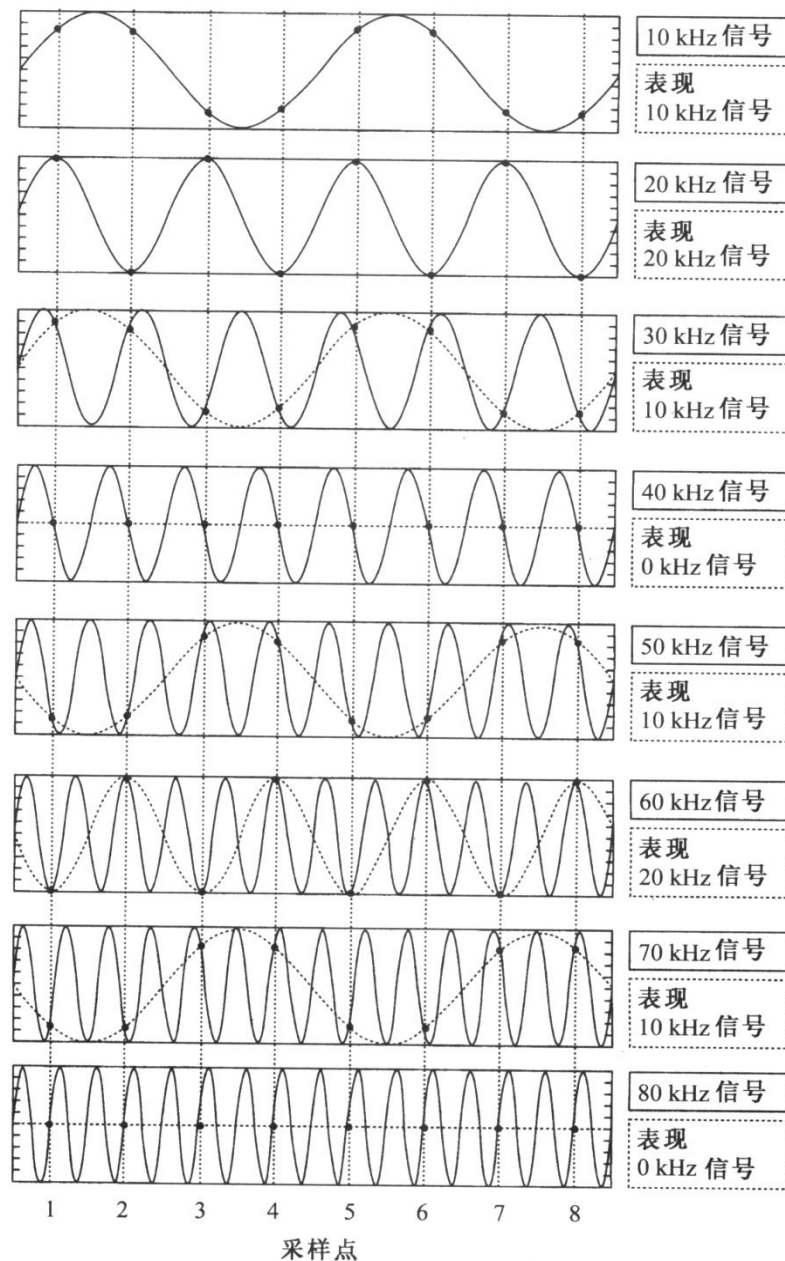
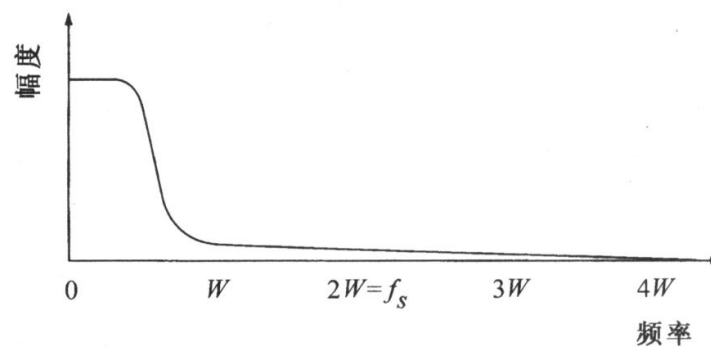


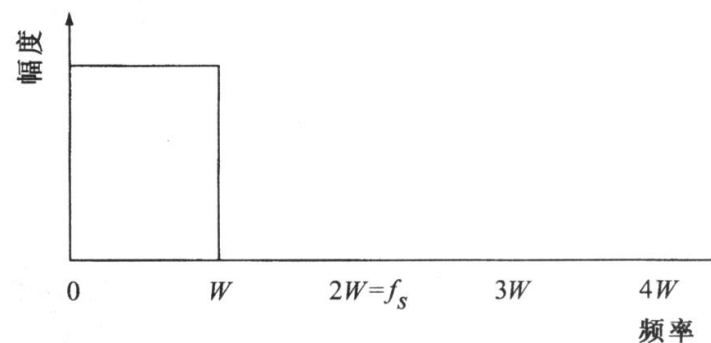
图 2.6 时域混叠(40 kHz 采样)

➤ 采样

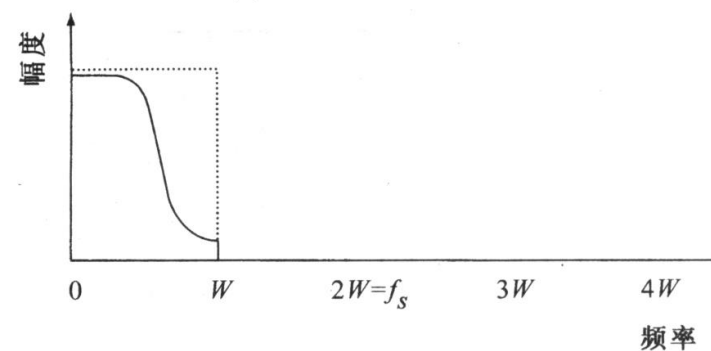
混叠滤波现象
抗混叠滤波



(a) 模拟信号频谱



(b) 模拟抗混叠滤波器形状



(c) 滤波后模拟信号频谱

图 2.7 抗混叠滤波器

例1:

人耳听到得声音频率在 20Hz-22kHz之间, 要从采样信号中理想恢复原信号, 最小的采样频率是多少?

例2:

求模拟信号的奈奎斯特采样频率

$$X(t) = 2\sin(5000 \pi t/3)$$

求模拟信号的奈奎斯特采样频率

$$X(t) = 2\sin(5000 \pi t/3)$$

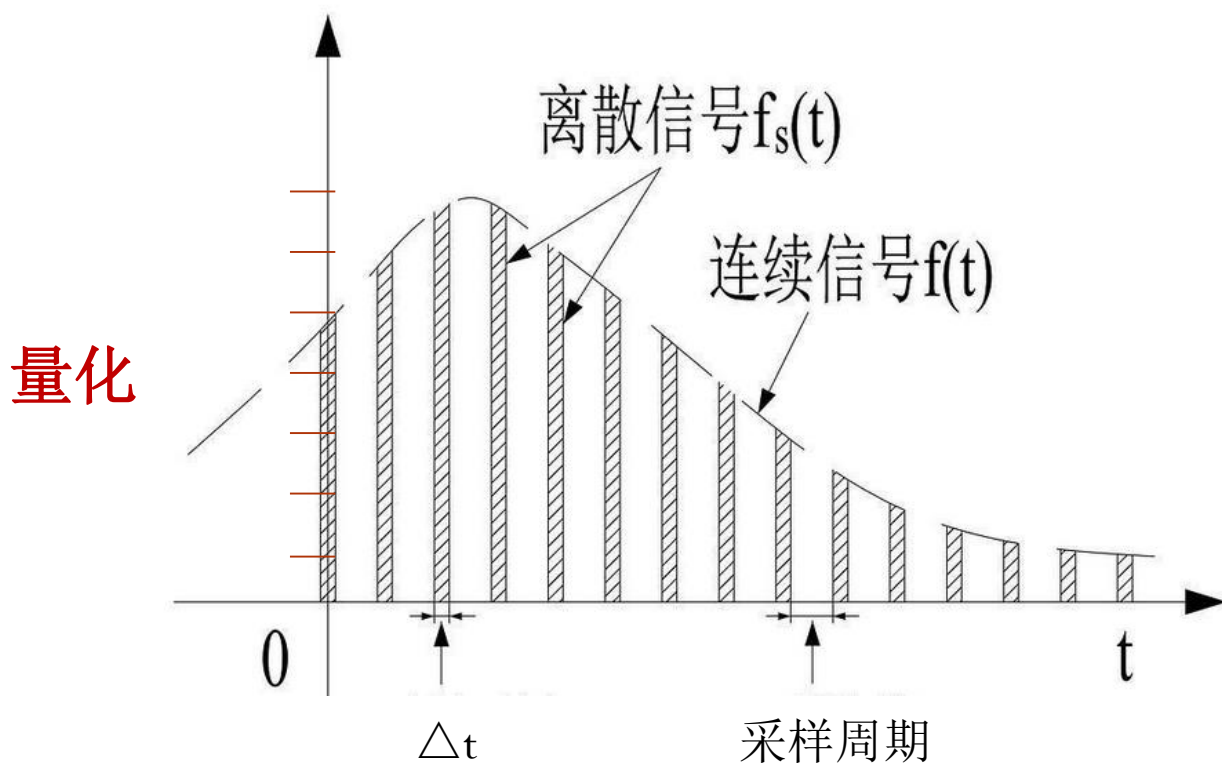
$$X(t)=A \sin (\omega t)$$

$$\omega = 2 \pi \nu$$

$$5000\pi/3 = 2 \pi \nu$$

$$5000/3 = 2\nu \quad \text{奈奎斯特采样频率}$$

➤ 量化 对连续（模拟）在幅值上的离散化



量化误差：由于量化导致的误差

量化误差 = 量化值 - 实际值

➤ 量化

量化层为 2^N 个， N 为比特数
因为计算机是二进制的。

如： $N=2$ ，称为 2 比特量化，有 4 个量化值，这些量化值成为量化电平。

例 3

模拟信号的电压为 0-2V，进行 2 比特量化，有 4 个量化值：0.25，0.75，1.25，1.75，数字编码为

	量化电平	二进制编码
Q	0.25	00
	0.75	01
	1.25	10
	1.75	11

如模拟信号电压为 0.8V，应该量化在 0.75 量化电平上，产生了量化误差。

量化步长 (Q)： 各个电平间的间距 $Q=R/2^N$

R： 最大的模拟范围。上例 $R=2V$

例 3

量化步长 (Q) : 各个电平间的间距

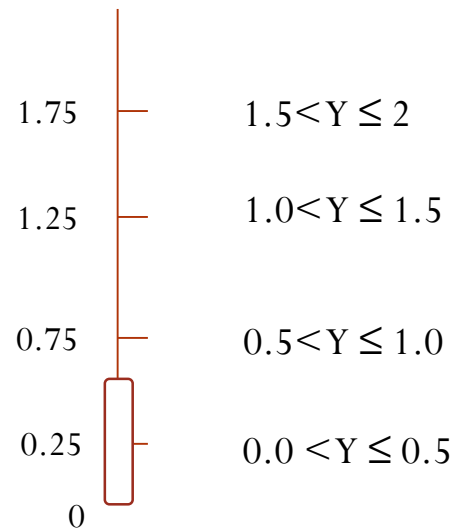
$$Q = R/2^N$$

R: 最大的模拟范围。上例 $R=2$ (V)

N: 比特数。上例 $N=2$

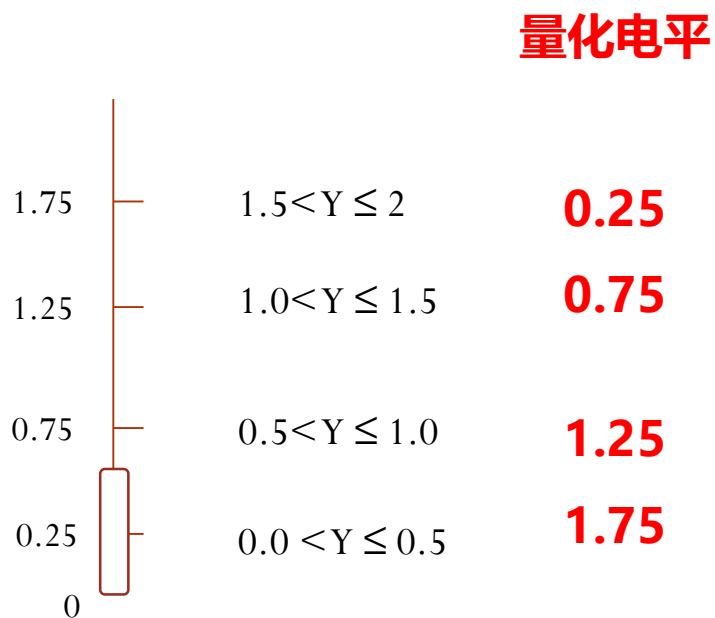
上例

$$Q = 2/2^2 = 1/2 = 0.5$$



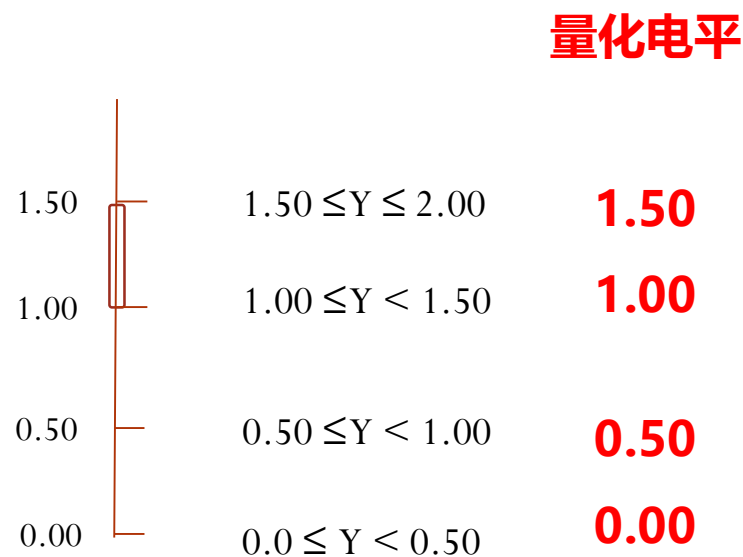
双极性量化 (最大误差为 $0.25 = Q/2$)

双极性量化



双极性量化（最大误差为 $0.25=Q/2$ ）

单极性量化

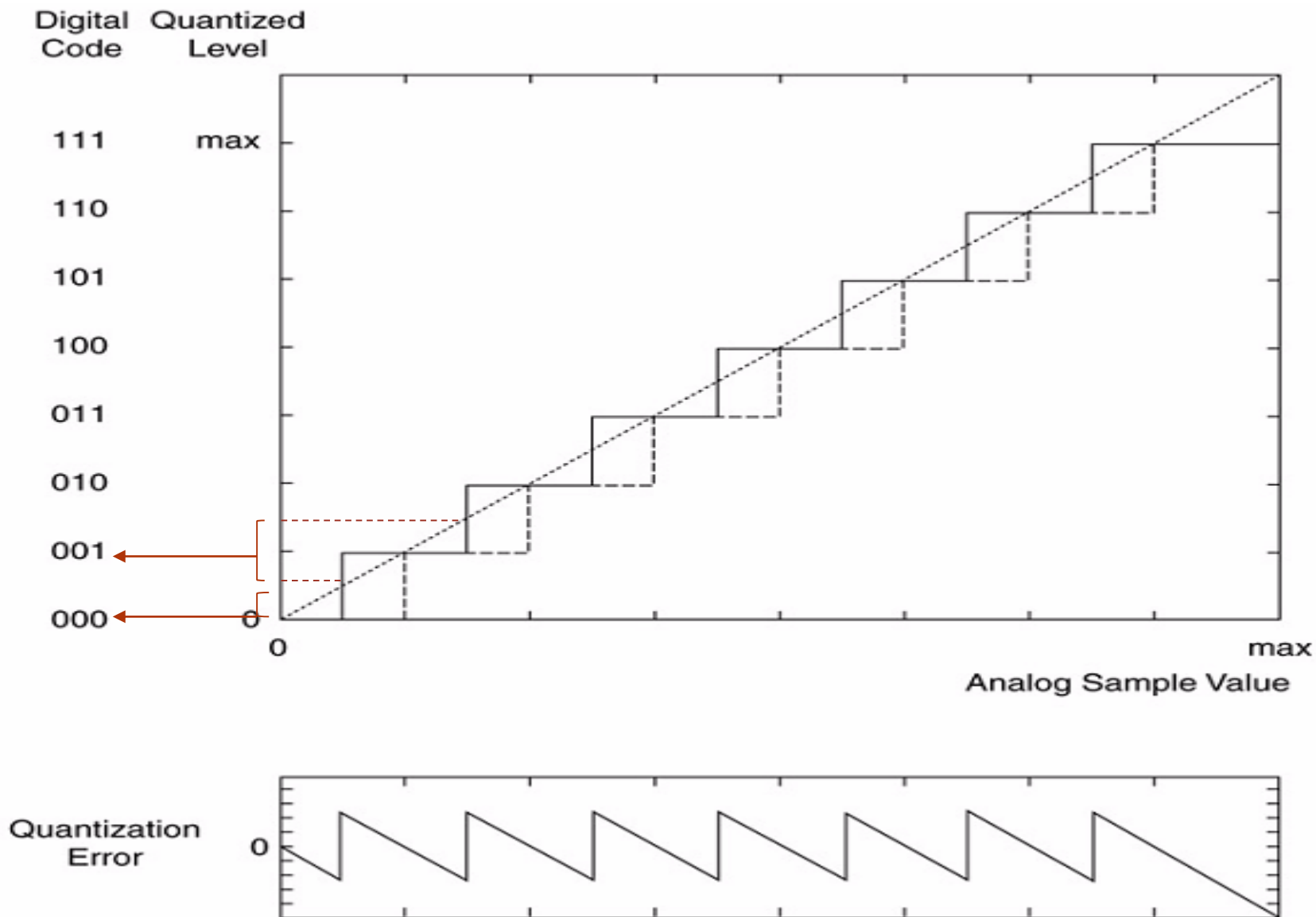


单极性量化（最大误差为 $0.5=Q$ ）

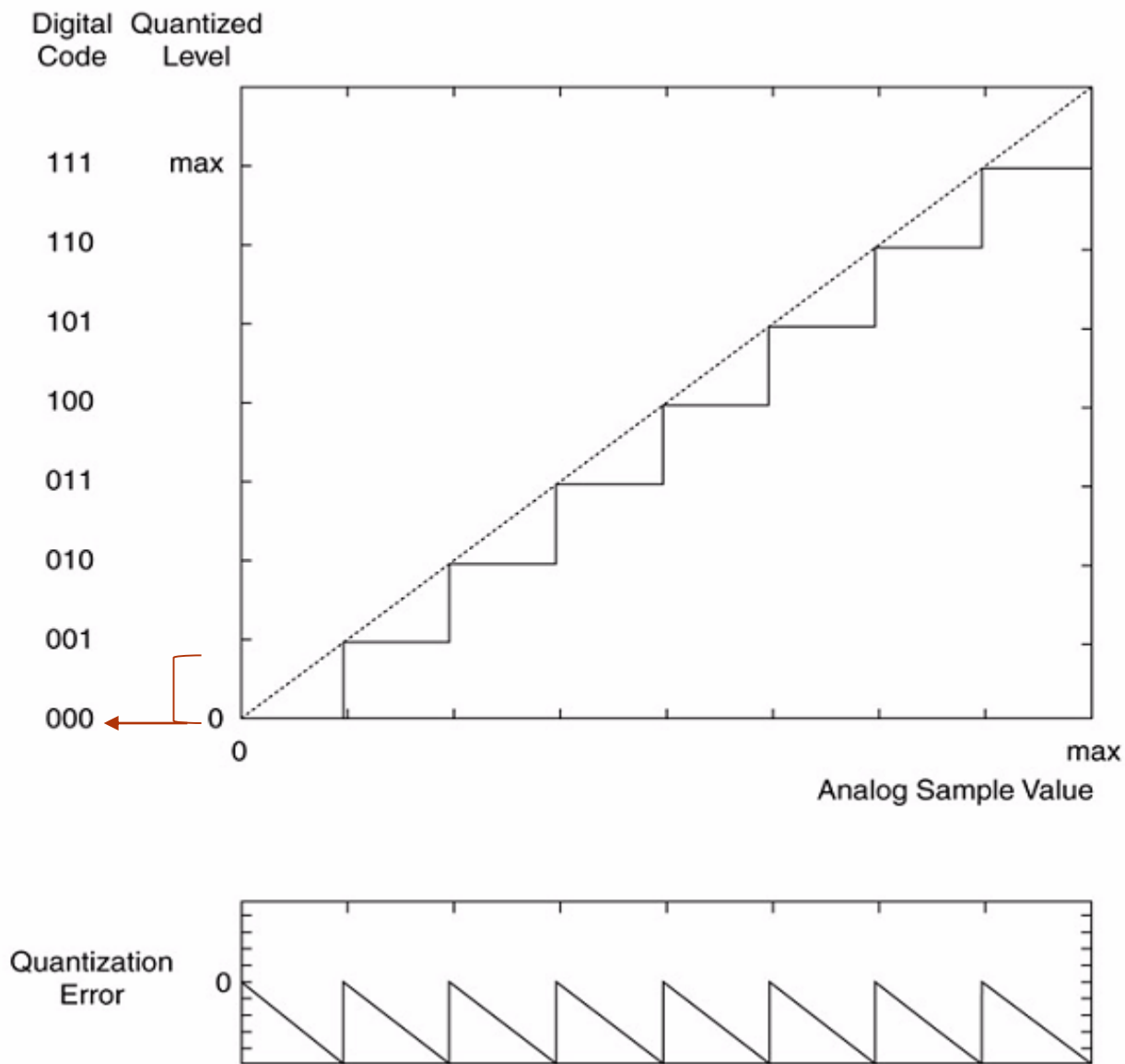


量化

双极性数据量化 (最大误差=半步长)



➤ 量化



单极性数据量化（最大误差=整个步长）

➤ 量化

- 量化误差：由于量化而产生的误差。
 - 信噪比： 信号与噪声的比值。
-

例5：量化 0-5V 的模拟信号，中间量化误差为 $6 \times 10^{-5} \text{V}$ ，需要多少比特？

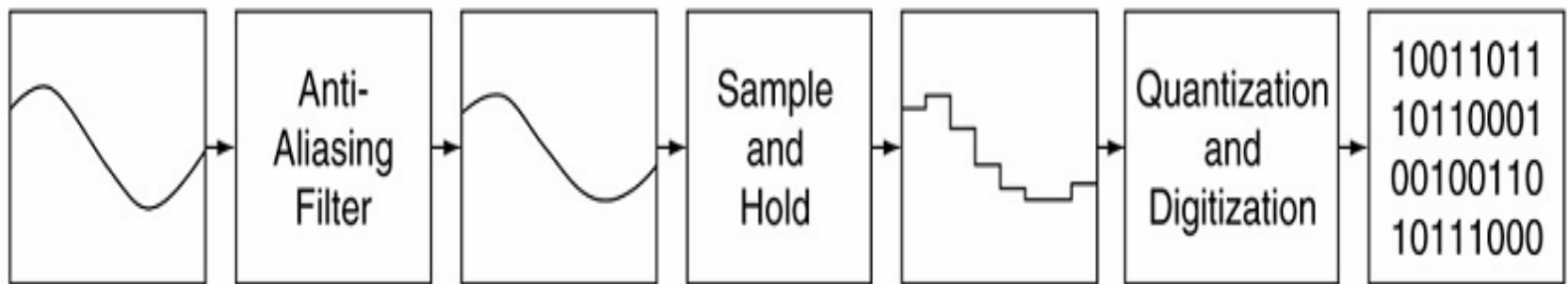
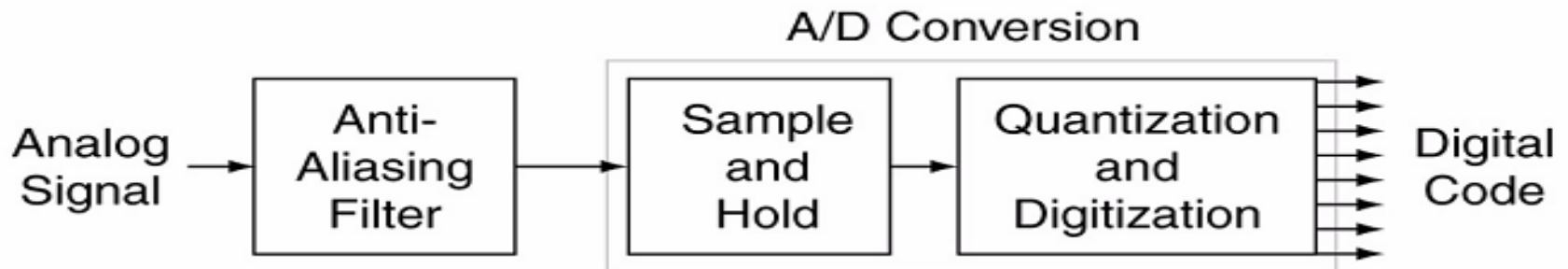
$$R = 5 \text{ V}, \quad Q/2 = 6 \times 10^{-5} \quad Q = R/2^N$$

$$N = \log_2(R/Q) = \log_2(5/12 \times 10^{-5}) = 15.35$$

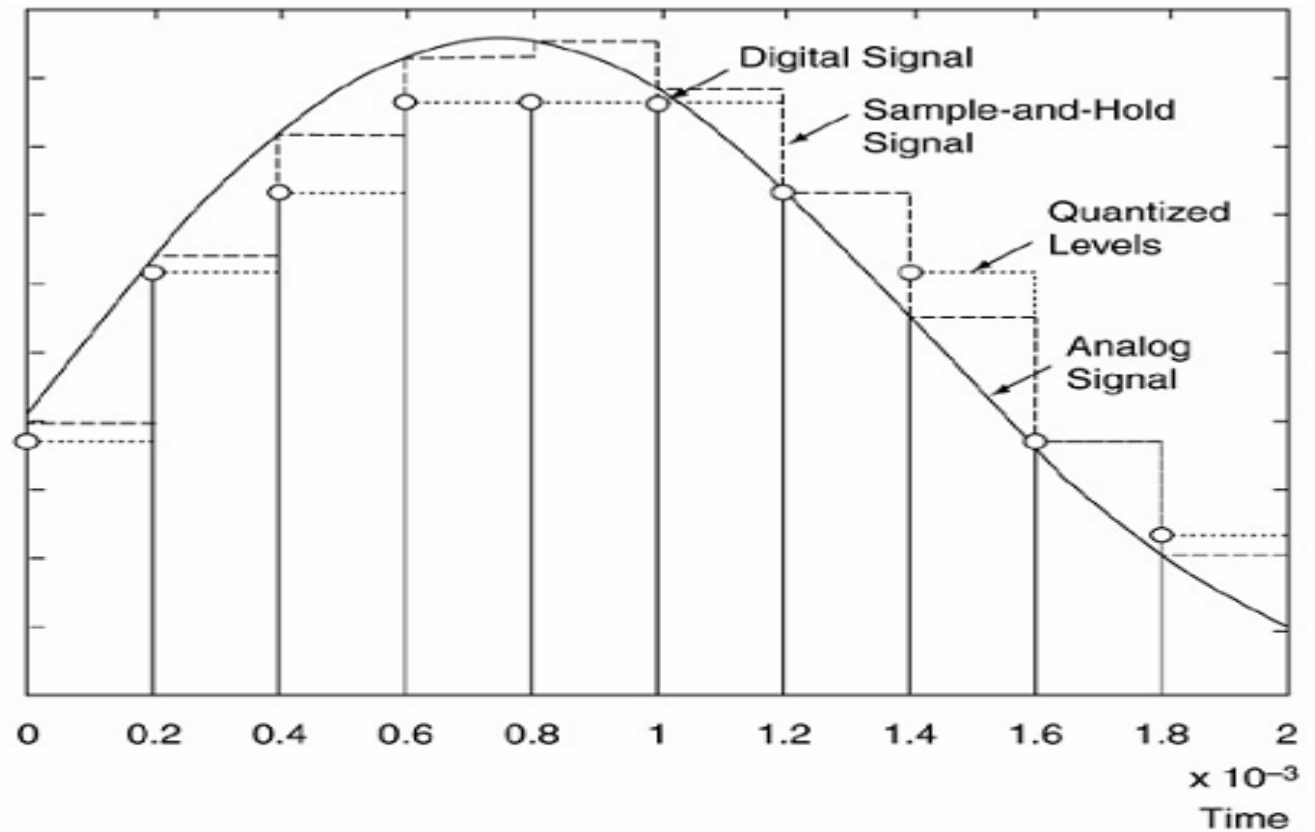
需要 16 比特量化

模数转换

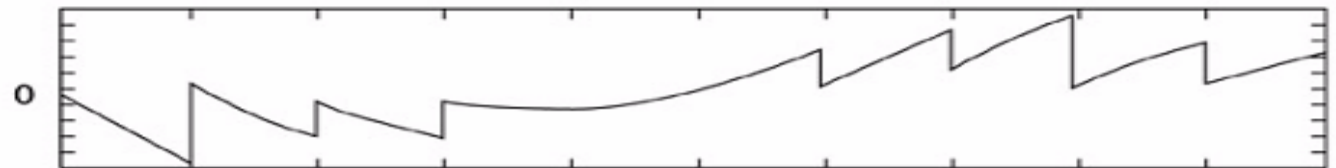
比特率



Digital Code	Quantized Level (V)
111	0.875
110	0.750
101	0.625
100	0.500
011	0.375
010	0.250
001	0.125
000	0.000



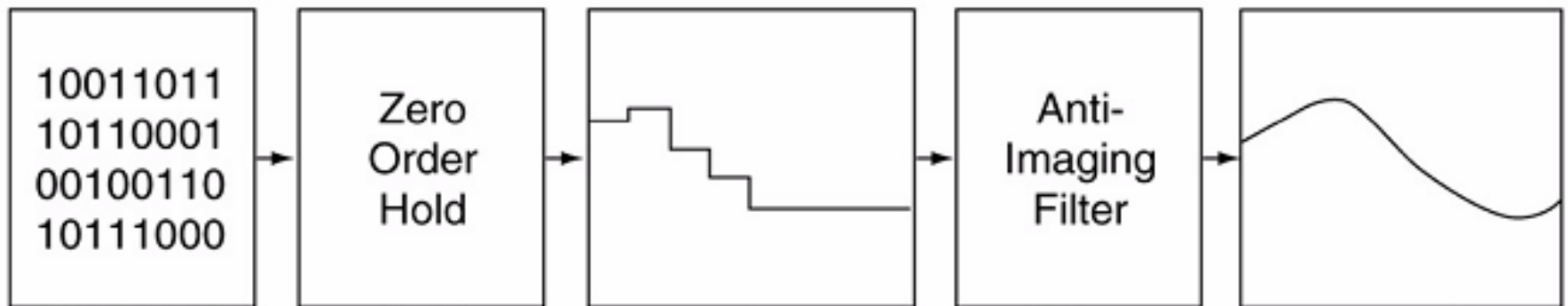
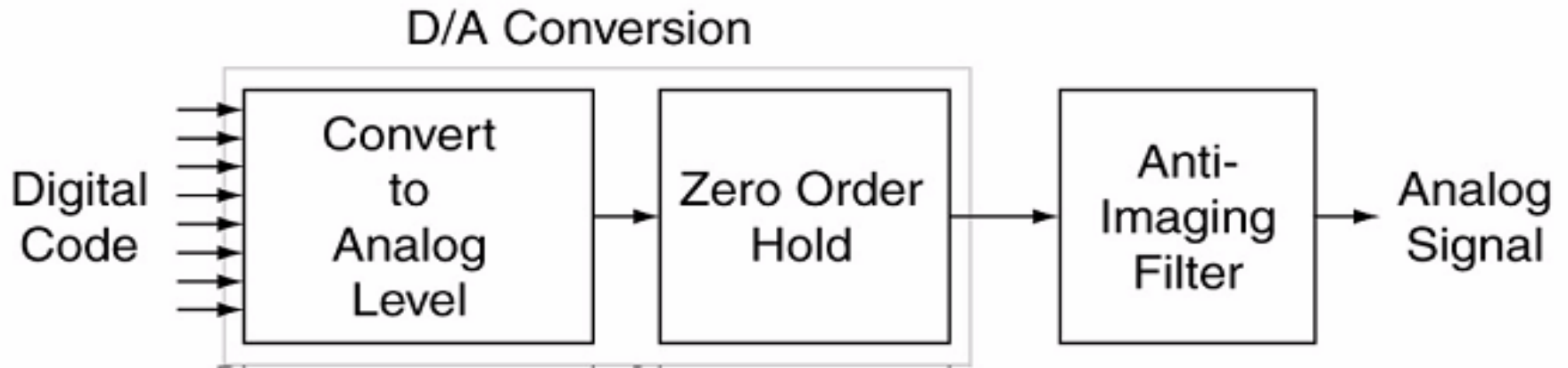
Quantization Error



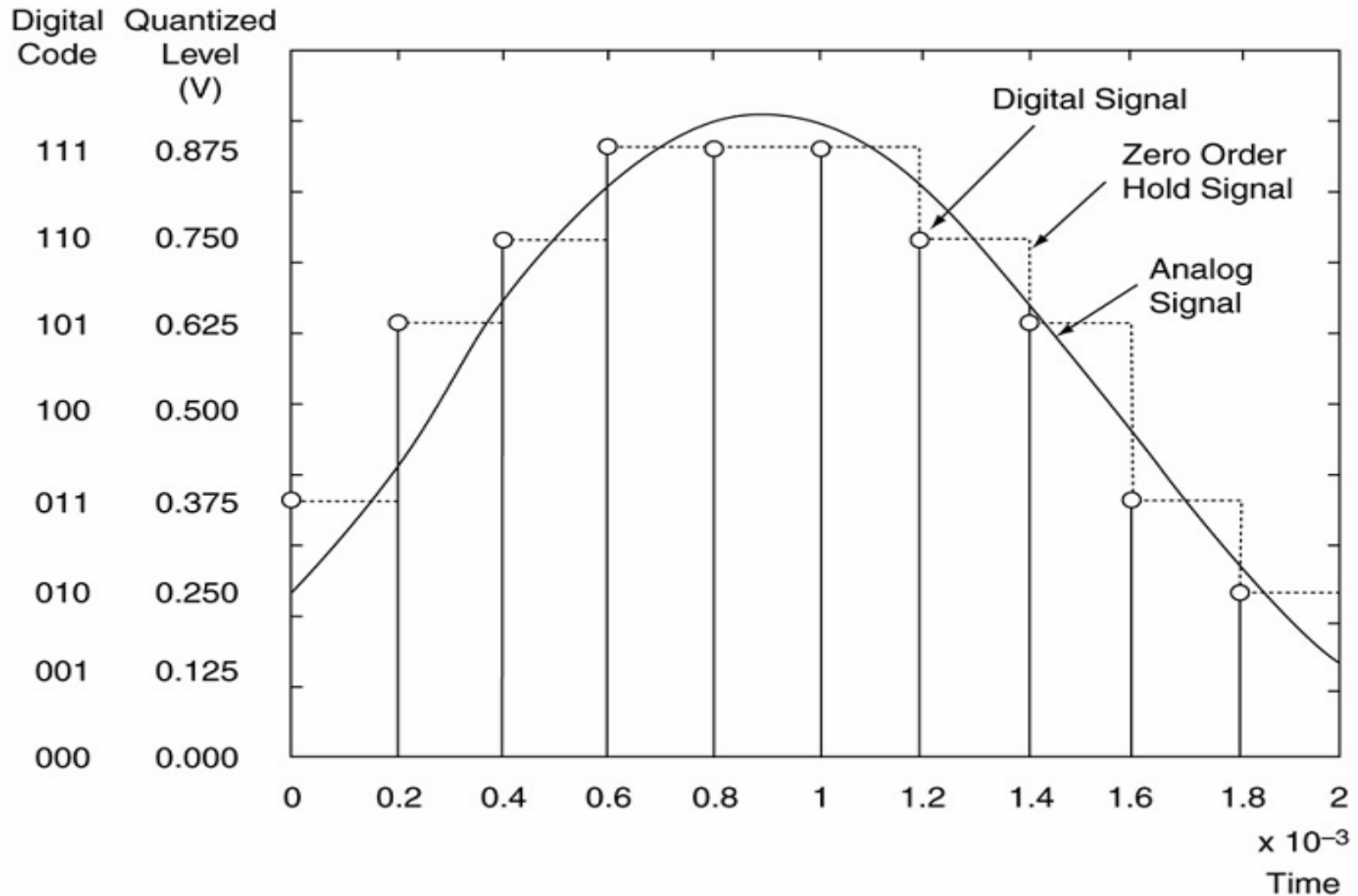
Digital Signal Codes: 011 101 110 111 111 111 110 101 011 010

Stream of Digital Codes: 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0

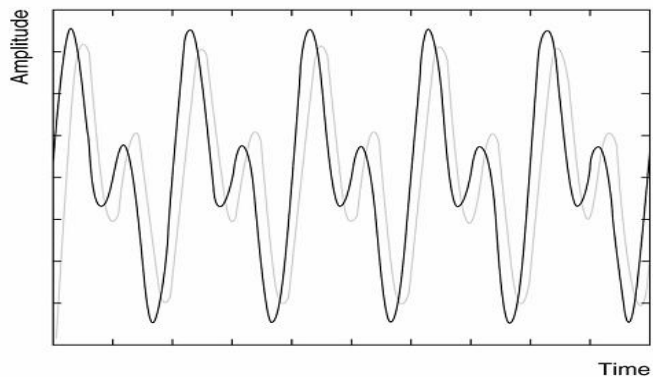
数模转换



数模转换

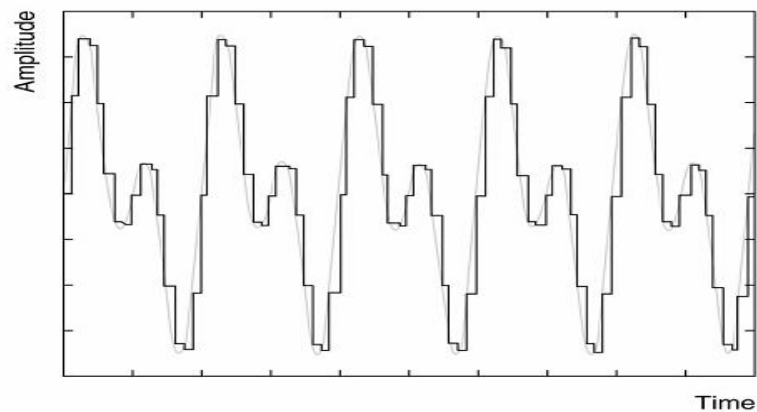


原始信号



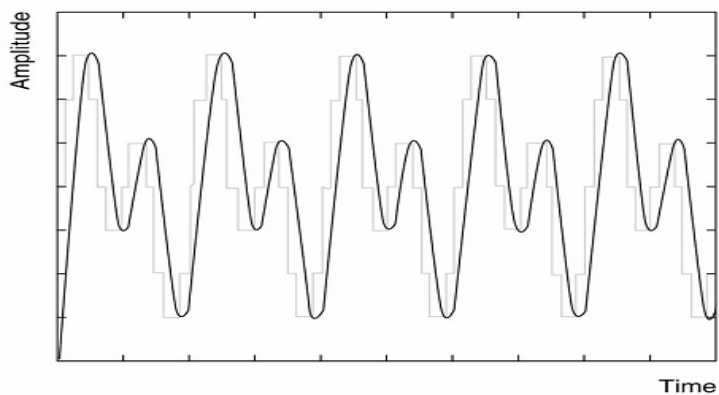
(a) Original Signal with Reconstructed Signal in Background

采样保持信号

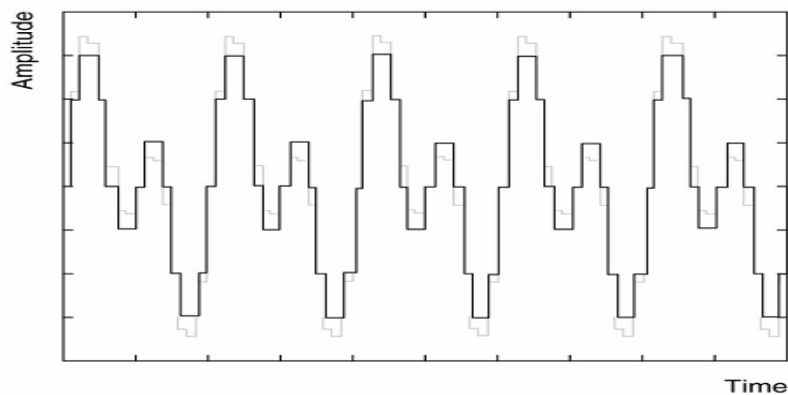


(b) Sample-and-Hold Signal with Original Signal in Background

还原保持信号



(d) Reconstructed Signal with Zero Order Hold Signal in Background



(c) Zero Order Hold Signal with Sample-and-Hold Signal in Background

零阶保持信号

模数转换

① 采样

② 量化

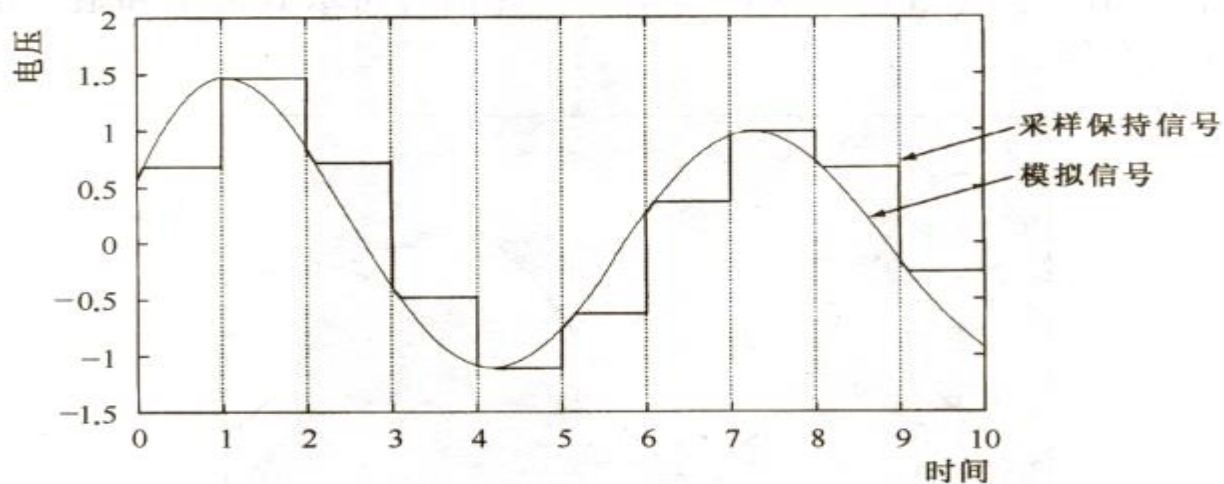


图 1.6 采样保持信号

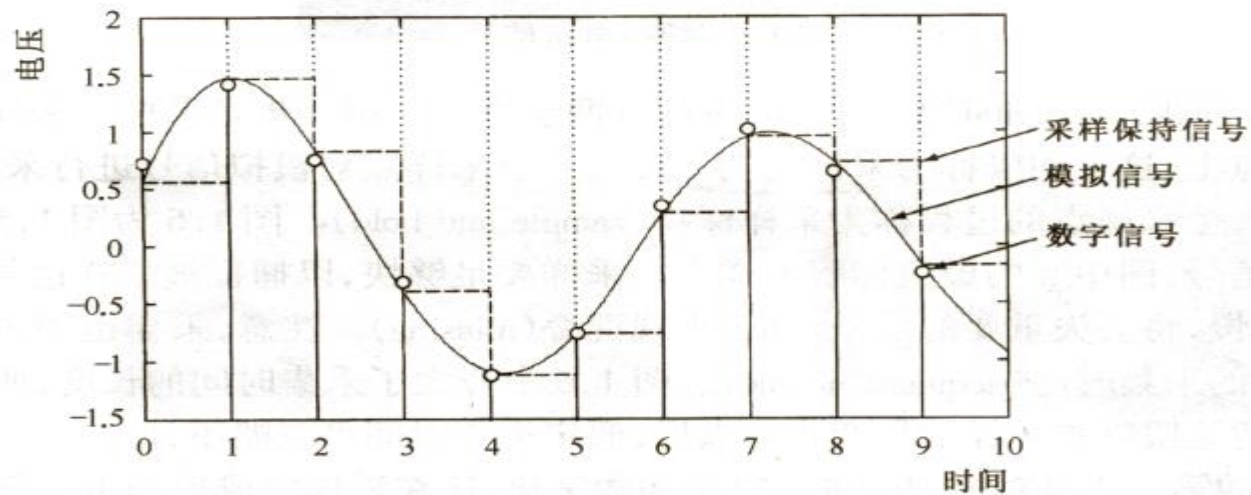


图 1.7 量化与数字化

数模转换

- 数模转换

1. 零阶保持

2. 平滑

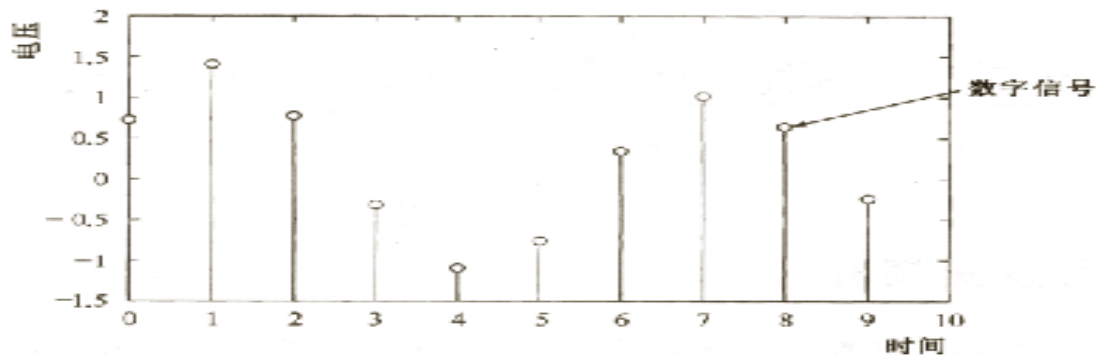


图 1.8 数字信号

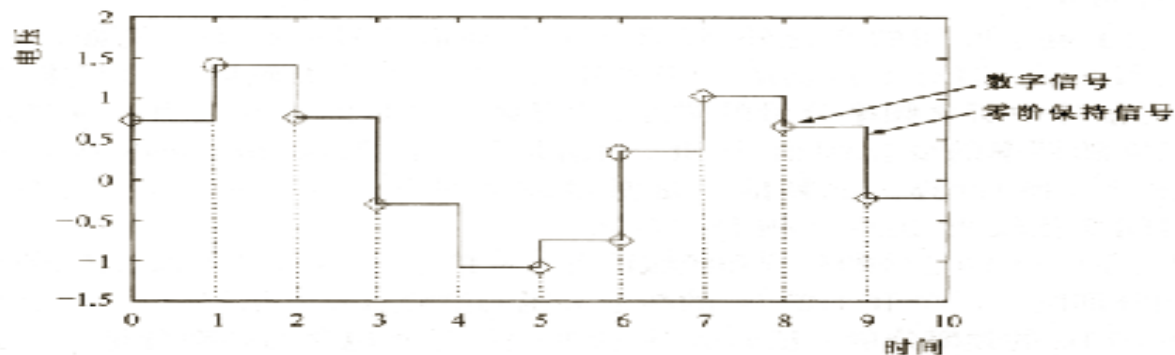


图 1.9 零阶保持信号

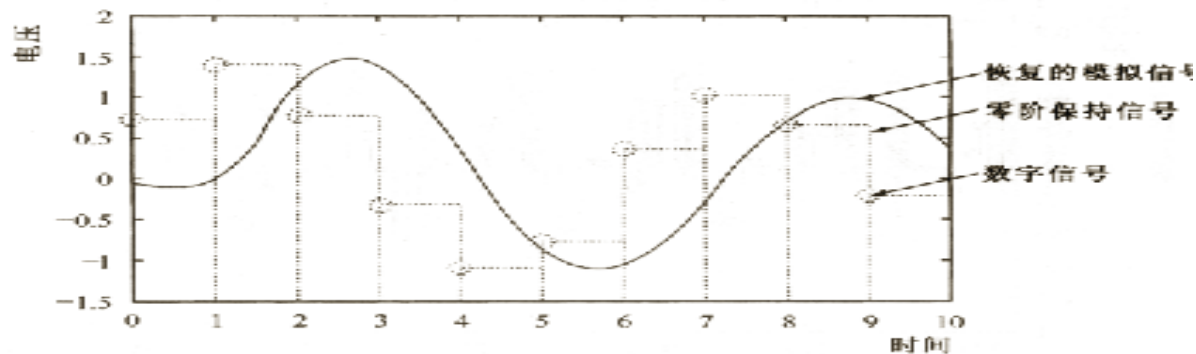
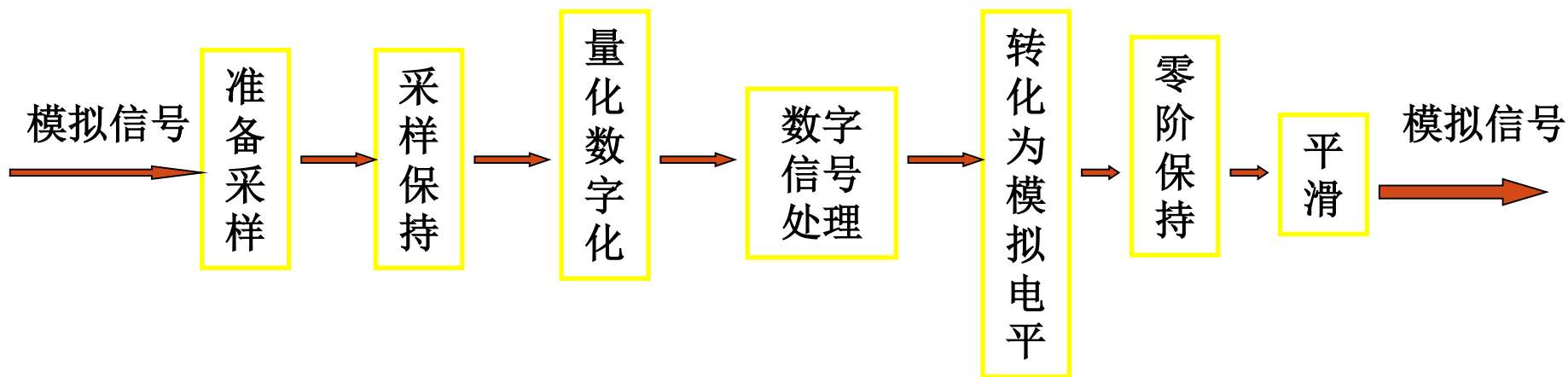
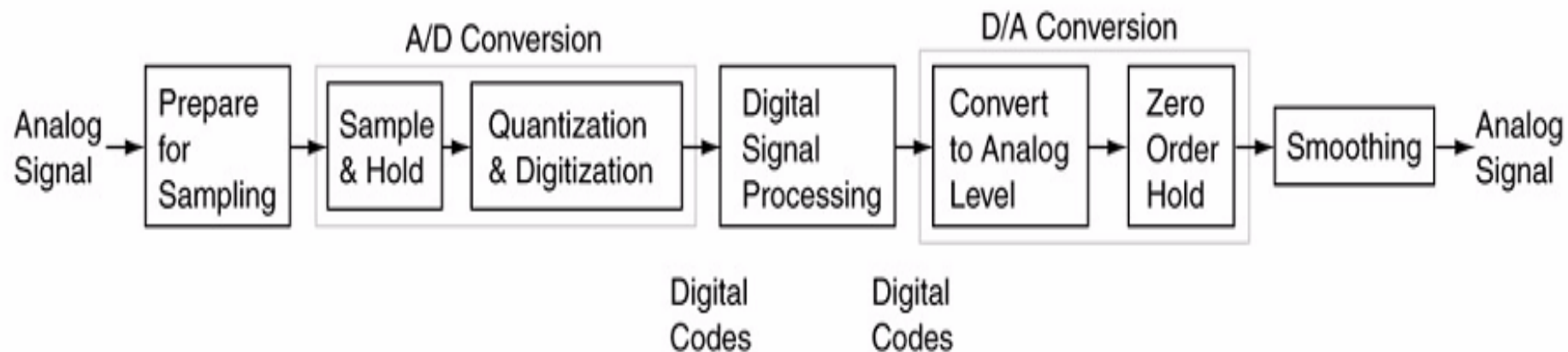


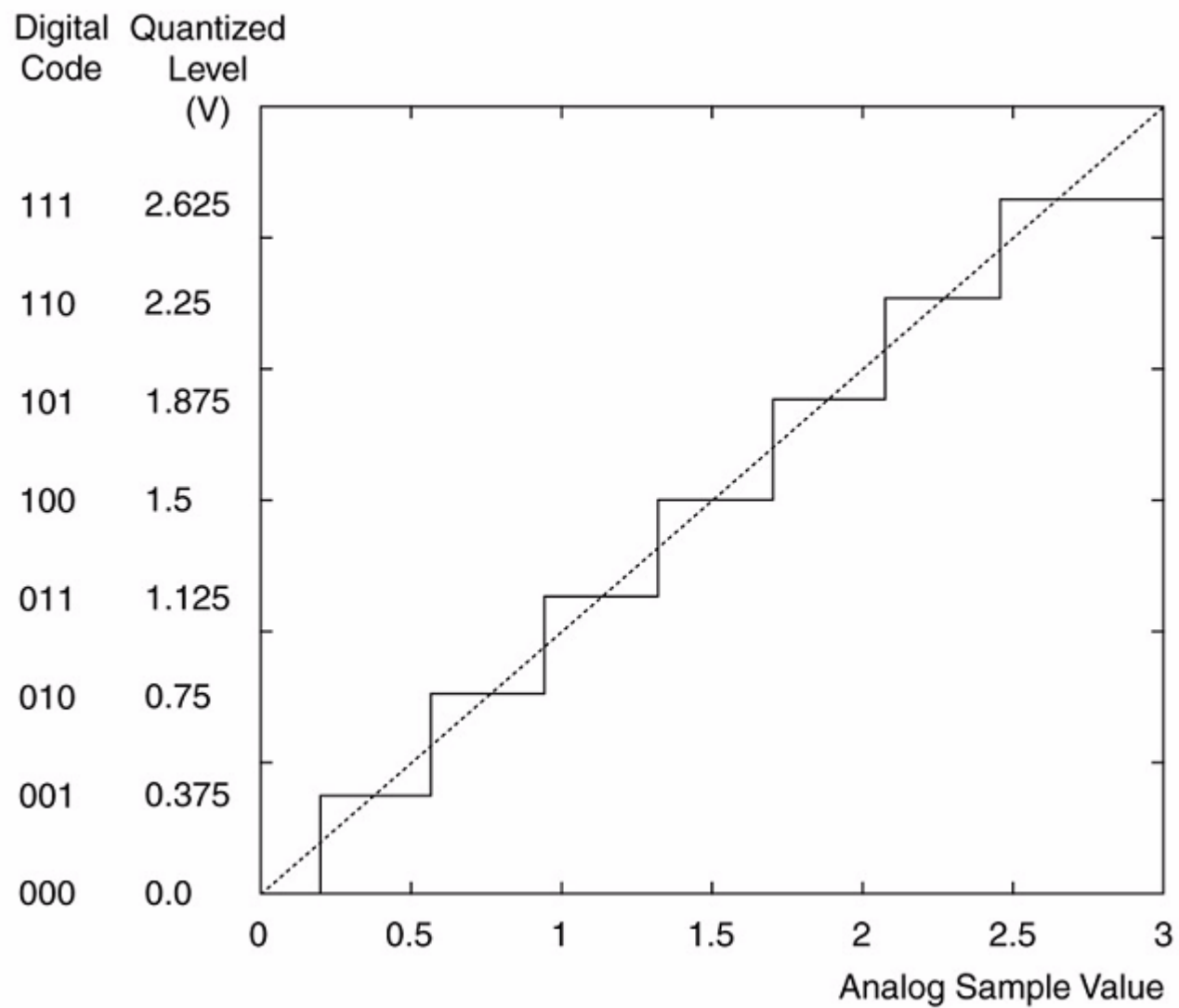
图 1.10 平滑后恢复的模拟信号

模数转换和数模转换



作业

用传感器记录的模拟电压为0-3V，采用3比特量化，
求**量化步长**？



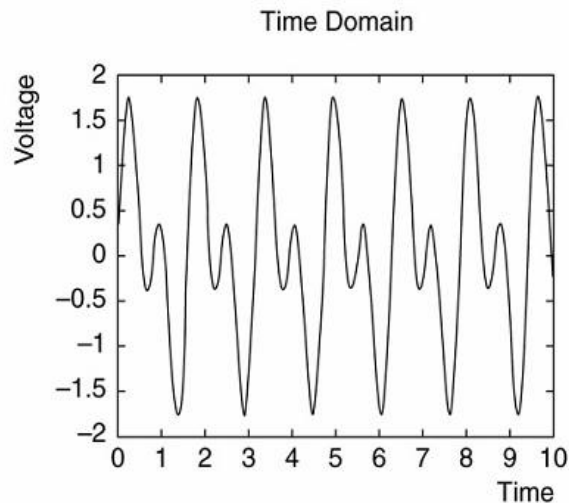
3.3 信号与频谱

如何描述和表示信号？

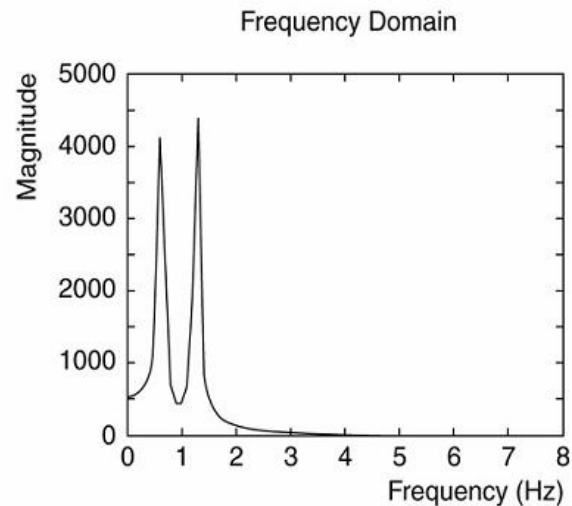
- 时域
- 频域
- 滤波
- 滤波器设计与使用

3.3 信号与频谱

慢信号

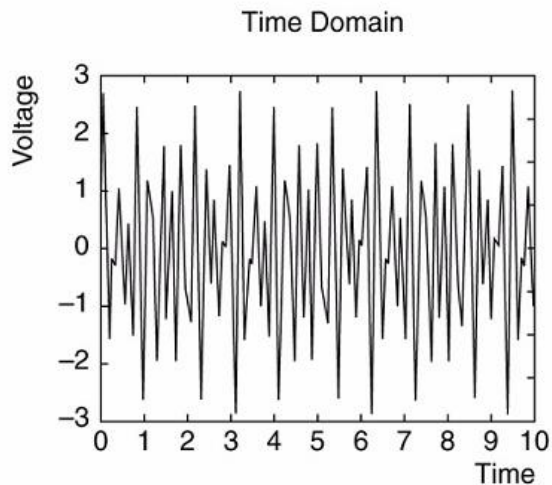


(a) Slowly changing signal

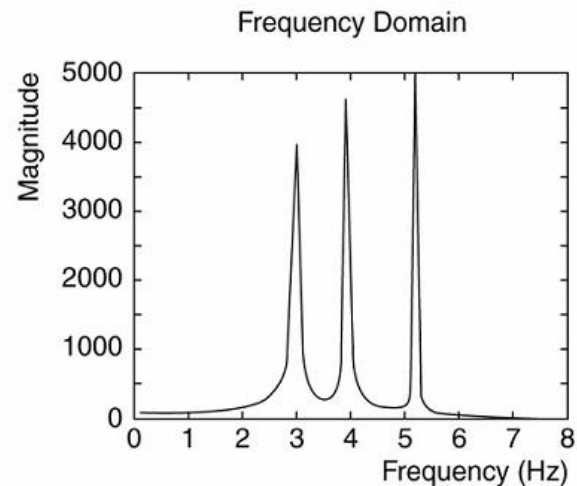


Spectrum of signal

快信号



(b) Quickly changing signal



Spectrum of signal



图 1.16 钢琴和弦(CEG)及其时域波形

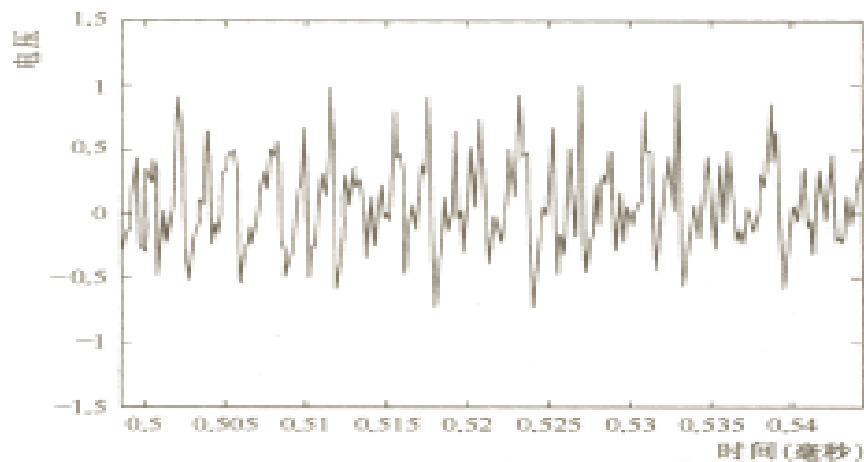


图 1.16 钢琴和弦(CEG)及其时域波形(续)

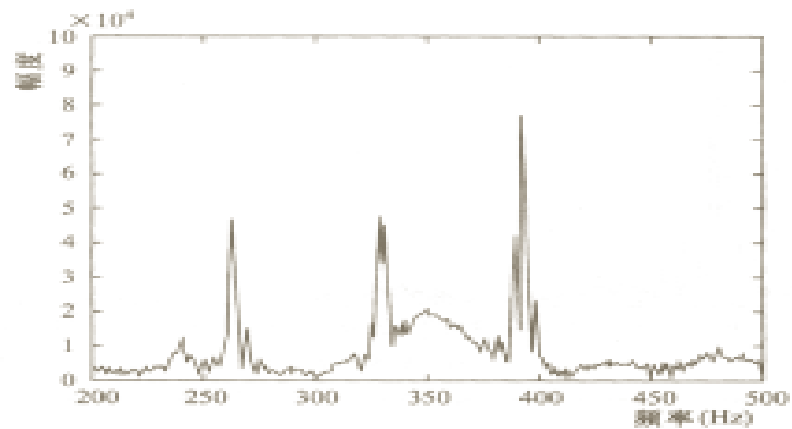


图 1.17 CEG 和弦频谱(200 ~ 500 Hz)

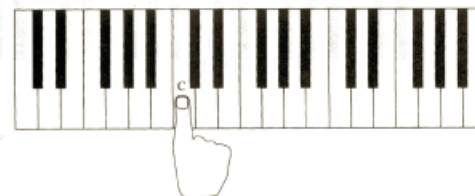


图 1.14 钢琴单音(中音 C)及其时域波形

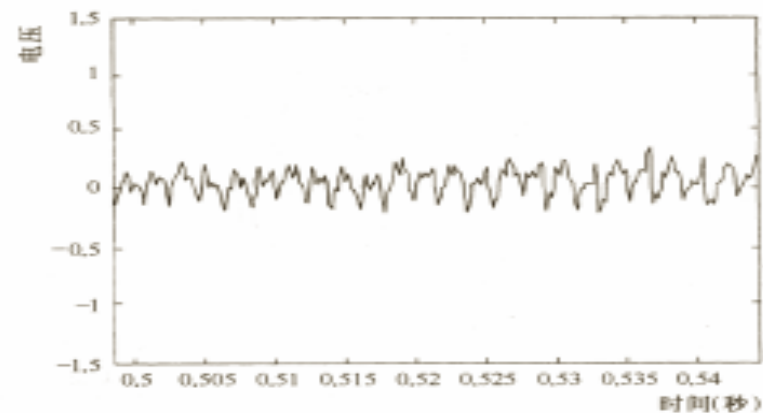


图 1.14 钢琴单音(中音 C)及其时域波形(续)

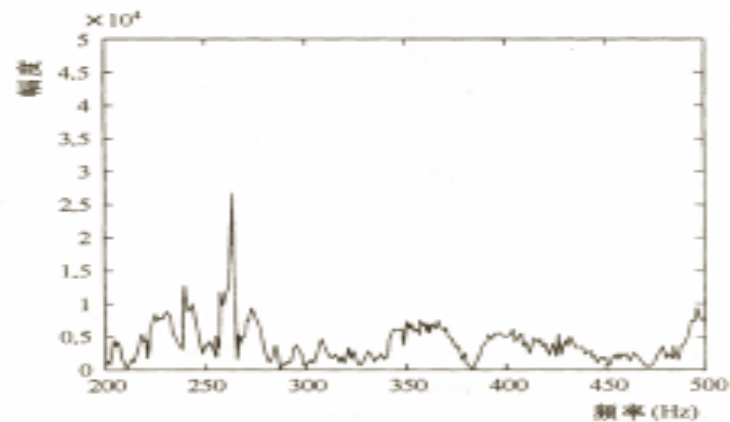
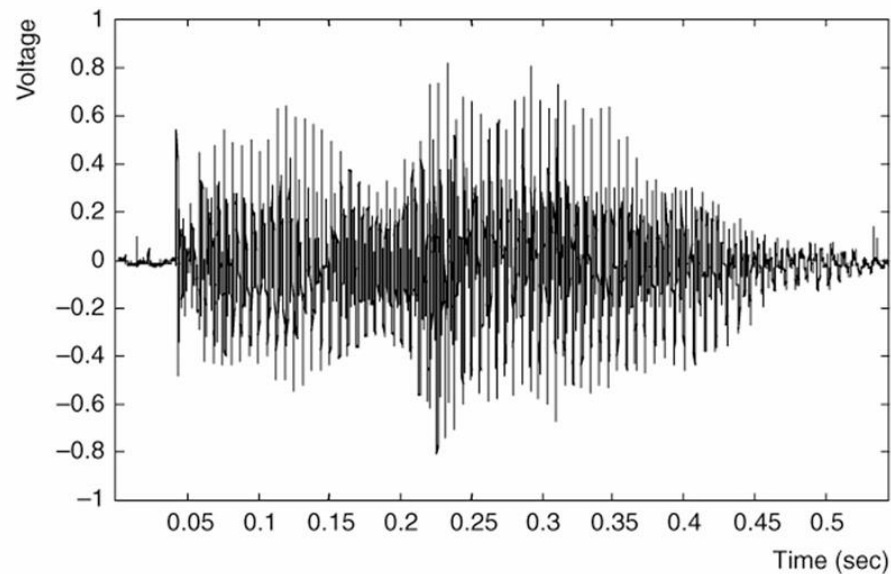
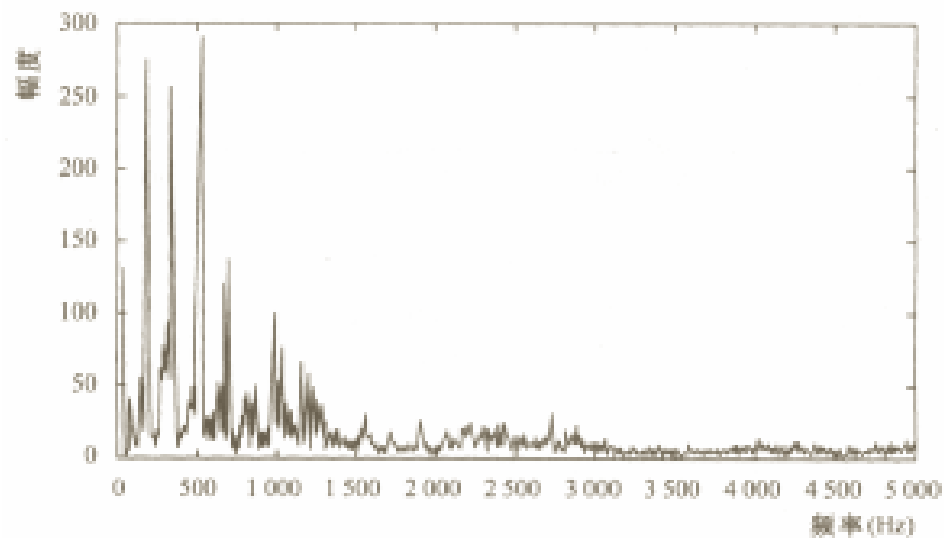


图 1.15 中音 C 频谱(200 ~ 500 Hz)

3.3 信号与频谱



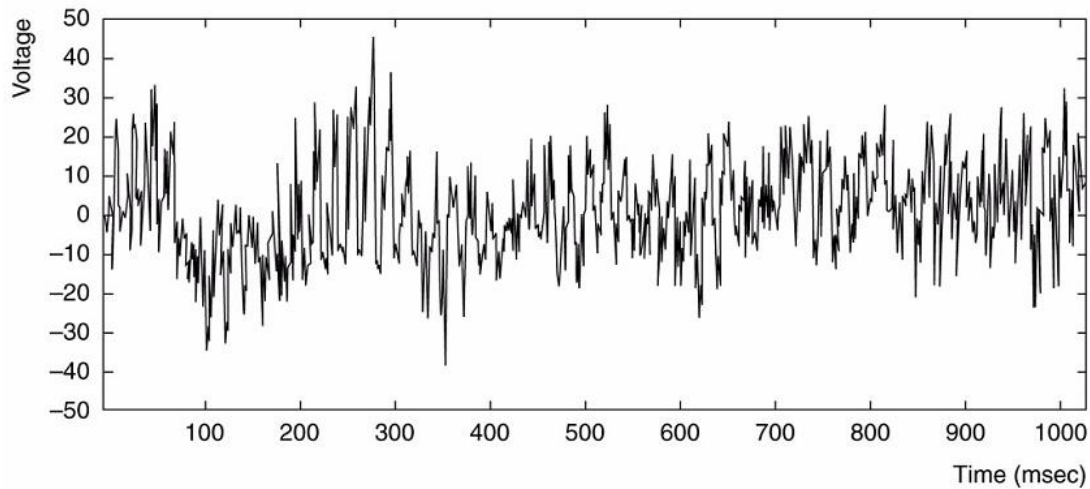
(a) Speech Sample: The Word "away"



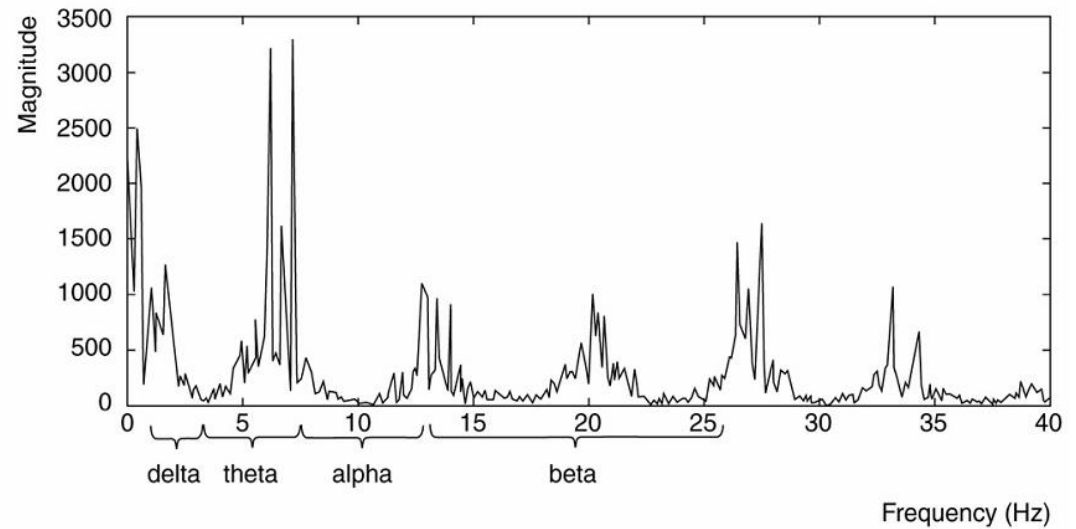
(a) 语音频谱：单词 "away" 的频谱

图 1.18 频谱实例

3.3 信号与频谱

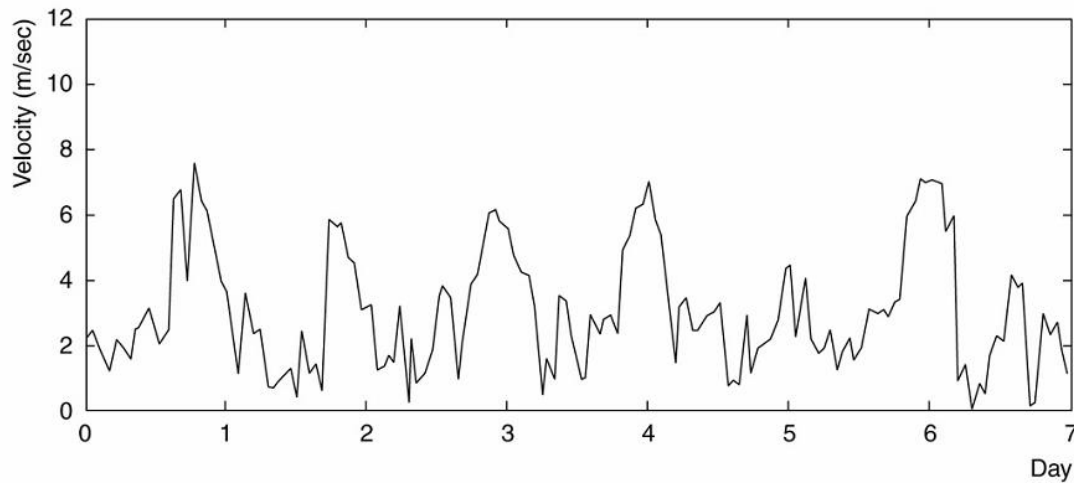


(e) Electroencephalogram (EEG) Courtesy Michael Noonan, Ph.D. Canisius College

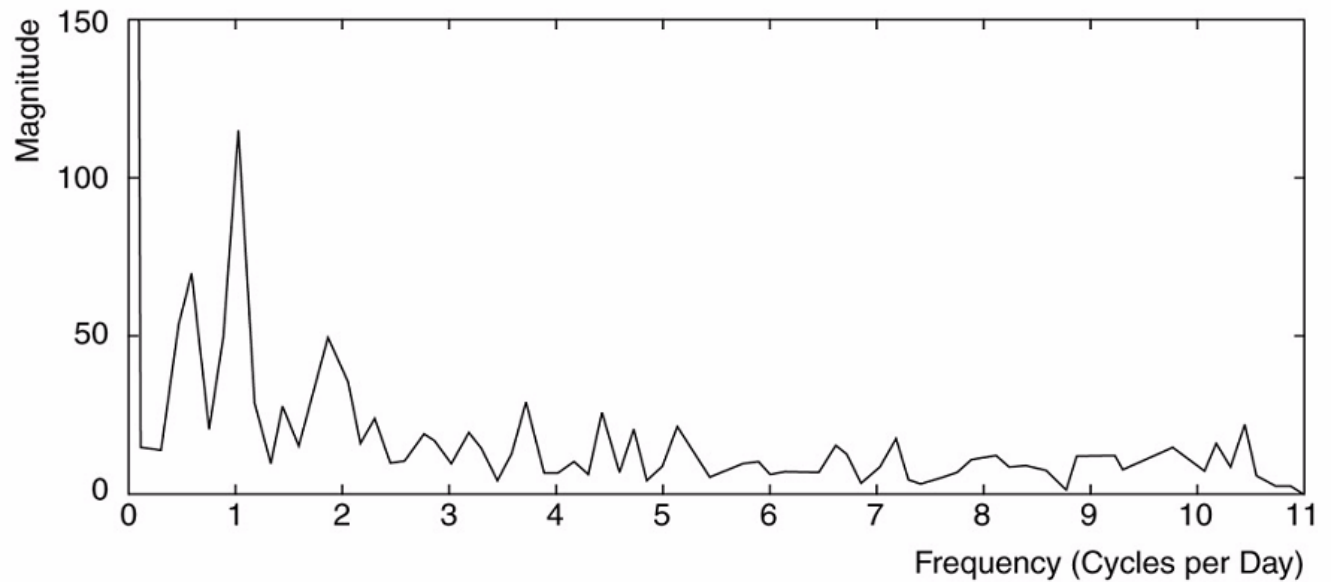


(e) Spectrum of Electroencephalogram (EEG)

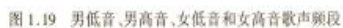
3.3 信号与频谱



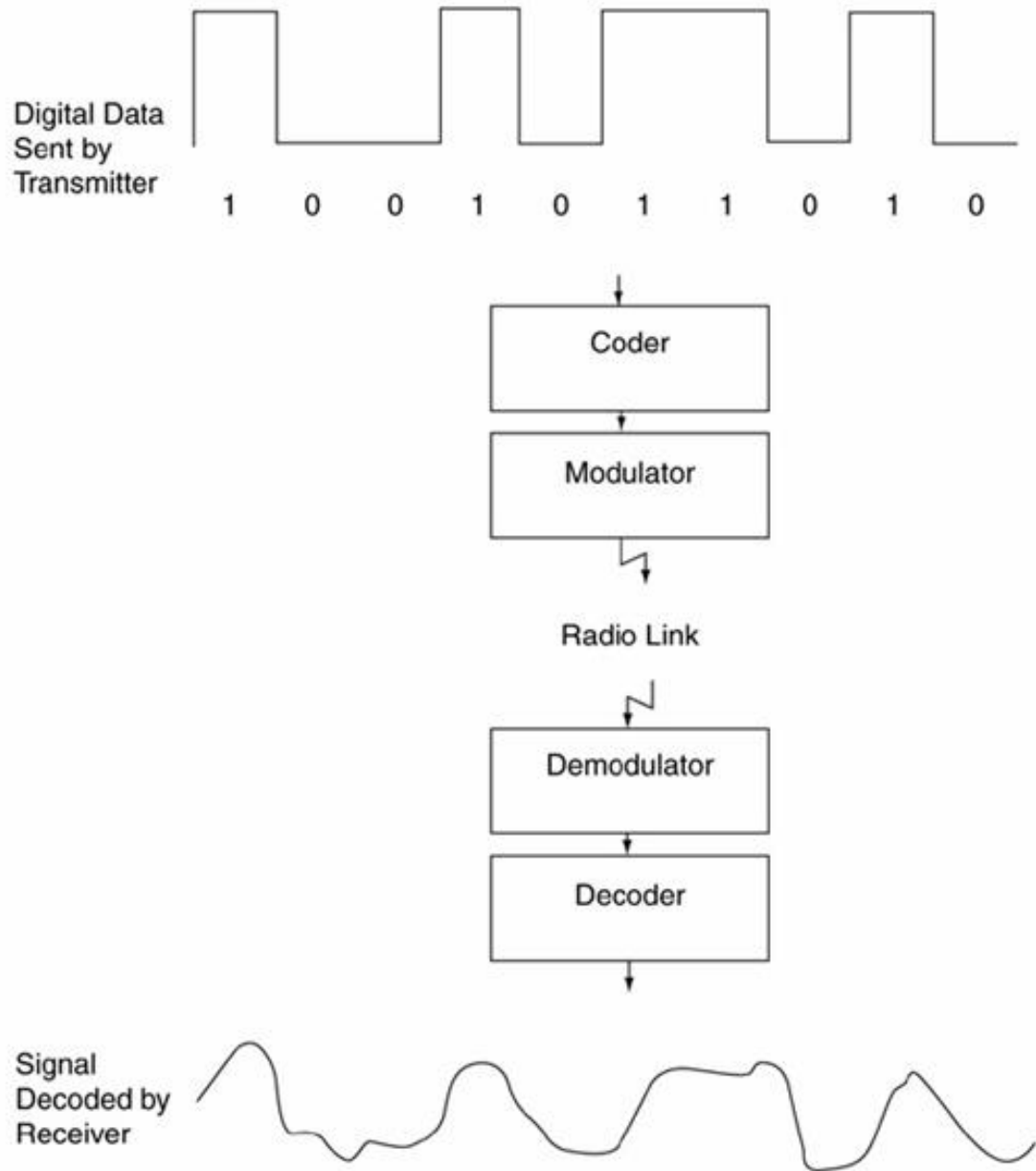
(f) Wind Velocities



(f) Spectrum of Wind Speeds



无线通讯



创建 Wav 文件

创建 WAV 文件：首先用windows " 开始 - > " 程序 " - > " 附件 " - > " 娱乐 " - > " 录音机 " 录入自己的语音，存成test.wav文件。

Matlab 读取声音信号，画出该信号的时域图

```
[x,fs]= audioread ('E:/test.wav'); % 写出文件路径
```

```
[x,Fs] = audioread(filename)
```

```
y=x(:,1); % 单声道?
```

```
sound(y,fs); % 发出声音
```

```
figure;
```

```
plot(y); xlabel('时间');ylabel('幅值'); % 画时域图
```

```
% audiowrite(filename,y,Fs); % 保存文件
```

```
import wave
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
# 打开WAV文件
```

```
with wave.open('D:/test.wav', 'rb') as
wav_file:
```

```
# 获取WAV文件的参数信息
```

```
    n_channels = wav_file.getnchannels()
    sample_width = wav_file.getsampwidth()
    framerate = wav_file.getframerate()
    n_frames = wav_file.getnframes()
```

```
# 读取音频数据
```

```
    frames =
wav_file.readframes(n_frames)
```

```
# 将二进制数据转换为numpy数组
```

```
    samples = np.frombuffer(frames,
dtype=np.int16)
```

```
# 绘制波形图
```

```
    plt.figure(figsize=(10, 4))
    plt.plot(samples)
    plt.title('WAV File Waveform')
    plt.xlabel('Time')
    plt.ylabel('Amplitude')
    plt.show()
```

Python 读取声音信号，画出该信号的时域图

解释：

1.导入必要的库：首先需要导入wave模块用于读取WAV文件，numpy用于处理音频数据，以及matplotlib.pyplot用于绘制波形图。

2.打开WAV文件：使用wave.open()函数以只读模式打开WAV文件。

3.获取参数信息：通过调用getnchannels()、getsampwidth()、getframerate()和getnframes()方法获取WAV文件的声道数、采样宽度、采样率和帧数等信息。

4.读取音频数据：使用readframes()方法读取所有音频帧，并将其转换为numpy数组。

5.绘制波形图：使用matplotlib.pyplot绘制音频波形图，以便直观地查看音频信号。

这种方法简单易用，适用于大多数标准的WAV文件格式。

如果需要处理更复杂的音频文件（如24位或ALAW编码），可能需要使用其他库如scipy.io .wavfile或pydub

Python 读取声音信号，画出该信号的时域图

```
import scipy.io.wavfile as wav #读取信号模块
```

```
import matplotlib.pyplot as plt #画图模块
```

```
rt, wavsignal = wav.read('F:/test.wav') # 读取信号
```

```
print("sampling rate = {} Hz, length = {} samples, channels = {}, dtype =  
{ }".format(rt, *wavsignal.shape, wavsignal.dtype)) #输出信号采样率，样点数，通  
道数，数据类型
```

```
fg=plt.figure(1) #画图
```

```
plt.plot(wavsignal) #画图
```

```
plt.show() #显示图形
```

作业

- 1, 用传感器记录的模拟电压为0-3V, 采用3比特量化, 求量化步长?
- 2, 通过 Matlab 或 Python 读取一声音信号, 画出所采集信号的时域图
- 3, 《数字传感技术与机器人控制》第3章思考题

《信号的双面：时域与频域的交响》

在时间的长河里，信号宛如一位灵动的舞者，于时域的舞台上翩翩起舞。它以时间的脉搏为节拍，时而轻快跳跃，时而舒缓流淌。每一个瞬间，信号都留下独特的足迹，或高或低，或强或弱，如同生命的呼吸，记录着每一个时刻的律动。时域中的信号，是时间的诗篇，它在时间的维度里，诉说着故事，传递着信息。

然而，当我们踏入频域的世界，信号便换上了另一副模样。在这里，信号被拆解成无数个频率的音符，每一个音符都代表着一种独特的节奏，它们交织在一起，构成了信号的内在灵魂。低频的音符沉稳而有力，如同大地的低语；高频的音符轻盈而灵动，宛如天际的繁星。频域中的信号，是频率的画卷，它揭示了信号隐藏在深处的奥秘，让我们得以窥见那复杂旋律背后的简单规律。

时域与频域，如同两扇不同的窗，透过它们，我们看到了信号不同的面庞。时域让我们感受到信号的流动与变化，频域则让我们洞察到信号的本质与构成。信号在两个世界中穿梭，时而清晰，时而神秘，却始终承载着信息的使命，连接着世界的每一个角落。