

信息与电子学科百本精品教材工程

新编电气与电子信息类本科规划教材

数字信号处理

许开宇 祝忠明 卢亚玲 编著

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

新编电气与电子信息类本科规划教材

数字信号处理

许开宇 祝忠明 卢亚玲 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍数字信号处理的基本概念、基本理论、分析方法、实现方法和应用领域。全书共 6 章:第 1 章提出数字信号处理的基本概念和主要研究的内容,第 2 章介绍离散时间信号与系统的时域分析方法,第 3 章集中讨论数字信号处理的各种变换,第 4 章描述数字滤波器的实现原理和 design 方法,第 5 章介绍数字信号处理器的结构和实现原理,第 6 章讲述数字信号处理的应用。本书十分重视与先修课程内容的结合,注意重要概念的引入,语言简明,逻辑性强。本书强调工程应用的特色,给出了大量的 MATLAB 实例。

本书可作为高等学校通信工程、电子信息工程、自动控制、计算机应用等相关专业的教材,也可作为信号处理领域的研究生和科技人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理 / 许开宇编著. — 北京:电子工业出版社,2005.7

新编电气与电子信息类本科规划教材

ISBN 7-121-01278-2

I. 数… II. 许… III. 数字信号—信号处理—高等学校—教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 078627 号

责任编辑:何 雄

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:467.2 千字

印 次:2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:24.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

近年来,数字信号处理在理论和应用方面都有了较大的发展,在越来越多的应用领域中迅速替代传统的模拟信号处理方法,并且还开辟出许多新的应用领域。数字信号处理是通信工程、电子信息工程等相关专业本科生的专业基础课程,本门课程应当使得学生掌握数字信号处理的基本概念、基本理论、分析方法和实现方法。本书详尽阐述数字信号处理领域中的基本理论、基本概念和基本分析方法,同时增加了应用方面的内容,主要包括用 MATLAB 实现数字信号处理在各领域中的应用。本书努力做到基本分析方法与实际应用相结合,展现数字信号处理的精彩之处,增强学生的学习兴趣。在内容安排上更加清晰紧凑,在教材的启发性和逻辑性方面有明显的特色,让学生对于数字信号处理的主要内容一目了然。

全书共包括 6 章。第 1 章是数字信号处理的概述,使读者在头脑中建立一个数字信号处理的完整概念,介绍数字信号处理的相关内容:模数转换、数模转换、采样定理等。在这一章的最后介绍数字信号处理的发展和主要的实现方法。第 2 章介绍离散时间信号与系统的时域分析方法,它是数字信号处理的理论基础。读者应当联系“信号与系统”的知识来学习这一章。本章提供大量的 MATLAB 程序,便于读者使用 MATLAB 进行信号的分析。第 3 章集中讨论离散时间信号的几种最主要的变换方法,这些变换方法是分析、处理离散时间信号与系统的最基本的手段。本章详细讨论各种变换方法的性质、应用对象和它们内在的联系。加重了例题和 MATLAB 程序的讲解。通过这些例题,读者能更容易、更深入地掌握离散时间信号的变换方法。第 4 章是数字滤波器的实现原理和设计方法,较全面地论述滤波器设计的基本方法,对各种设计方法都给出较为清晰的设计步骤或设计思路,并结合一定的实例和 MATLAB 程序来具体说明滤波器的设计过程。第 5 章简要介绍数字信号处理器的发展历史,应用现状和发展趋势。与通常的分析方法不同,这一章对数字信号处理器内部结构和数据表示方法的分析不依赖于某个具体型号的 DSP 处理器,而是从数字信号处理算法的特性入手,着重分析 DSP 处理器如何满足数字信号处理的要求和 DSP 处理器与通用微处理器的区别,并给出 DSP 处理器性能的衡量指标,以及 DSP 系统的结构,目的是使读者不拘泥于各种 DSP 处理器繁琐、复杂的实现方法,而对 DSP 处理器有一个快速、全面的认识。本章的最后给出 DSP 的应用实例。第 6 章以语音处理、图像处理为例,介绍数字信号处理在各领域中的应用,包括语音信号的识别、语音合成、数字图像处理系统、图像增强、图像分割和图像压缩,同时也有实例给出。

为更好地学习本课程,读者应当有“信号与系统”的相关知识,因为书中对离散时间信号与系统的分析方法仅作简单的介绍。另外,书中有大量的 MATLAB 例题,如果读者对 MATLAB 不熟悉,可以参考附录中的介绍,或阅读相关书籍。

本书由多所学校的教师共同执笔完成,这些教师有着多年从事“数字信号处理”的教学和科研经验。本书把各位教师的教学和科研经验恰当地融入每个章节,对难点知识进行实例剖析,便于学生掌握,期望对读者学习本专业课程和以后从事信号与信息处理方面的工作起到较好的影响。本书由许开宇老师主编。第 1,2 章由许开宇老师执笔;第 3 章由卢亚玲老师执笔;第 4 章由刘宇宏老师执笔;第 5 章由王新宏老师执笔,刘宇宏老师负责编写本章中的 DSP 实例;

第6章由祝忠明老师和许开宇老师共同执笔。本书中所有关于MATLAB方面的内容由祝忠明老师负责编写。

本书由西北工业大学董大群教授负责审阅,他提出了许多宝贵意见,作者在此表示衷心的感谢。

本书的撰写过程中,听取了多所学校老师的宝贵意见和建议,对作者有重要的启发和帮助。在此也对那些老师表示由衷的感谢。

限于水平,书中难免有错误与不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 数字信号处理概述	1
1.1 信号与系统	2
1.2 数字信号处理系统	2
1.2.1 模数和数模转换	2
1.2.2 数字信号及其频谱	7
1.2.3 数字信号处理	7
1.3 数字信号处理的发展	7
1.4 小结	8
第 2 章 离散时间信号与系统	9
2.1 离散时间信号 —— 序列	10
2.1.1 离散时间信号的定義与表示	10
2.1.2 常用序列	10
2.1.3 序列的基本运算	13
2.2 离散时间系统分析	15
2.2.1 系统的定义与描述	15
2.2.2 线性、移不变、因果、稳定系统	16
2.3 卷积	19
2.4 滤波	20
2.5 MATLAB 实现信号的描述及运算	20
2.5.1 模拟信号的描述及运算	20
2.5.2 数字信号的描述及运算	26
2.6 小结	33
习题	33
第 3 章 离散时间信号的变换	35
3.1 Z 变换	36
3.1.1 Z 变换的定义	36
3.1.2 几种序列的 Z 变换及其收敛域	37
3.1.3 Z 变换的基本性质	41
3.1.4 逆 Z 变换	44
3.1.5 离散时间信号的傅里叶变换(DTFT)	46
3.1.6 Z 变换与系统分析	49
3.2 离散傅里叶级数(DFS) 及其性质	55
3.2.1 离散傅里叶级数	55
3.2.2 离散傅里叶级数的性质	58
3.3 离散傅里叶变换(DFT)	61
3.3.1 离散傅里叶变换(DFT) —— 有限长序列的傅里叶表示	61

3.3.2	离散傅里叶变换的性质	63
3.4	离散傅里叶变换的应用	68
3.4.1	利用离散傅里叶变换做谱分析	68
3.4.2	利用离散傅里叶变换做线性卷积	73
3.5	快速傅里叶变换(FFT)	78
3.5.1	DFT 的计算量和快速傅里叶变换算法的基本思想	79
3.5.2	时间抽选基-2 FFT 算法(库利-图基算法)	80
3.5.3	频率抽选基-2 FFT 算法(DIF)	87
3.5.4	离散傅里叶反变换的快速算法(IFFT)	88
3.5.5	进一步减少运算量的措施	89
3.6	MATLAB 实现信号的频谱分析	90
3.6.1	利用 FFT 和 IFFT 分析和合成离散周期信号	90
3.6.2	利用 FFT 和 IFFT 分析离散非周期信号	93
3.6.3	离散系统的频率特性分析	96
3.7	小结	98
	习题	99
第 4 章	滤波器设计方法及基本结构	105
4.1	引言	106
4.2	模拟滤波器的设计	106
4.2.1	低通模拟滤波器特性及幅度平方逼近	106
4.2.2	巴特沃斯滤波器设计	108
4.2.3	切比雪夫 I 型滤波器设计	110
4.3	无限冲激响应(IIR) 数字滤波器设计	112
4.3.1	冲激响应不变法	113
4.3.2	双线性变换法	116
4.3.3	低通数字滤波器设计	118
4.3.4	高通、带通和带阻 IIR 数字滤波器设计	122
4.4	有限冲激响应(FIR) 数字滤波器设计	131
4.4.1	FIR 数字滤波器的线性相位特性	132
4.4.2	窗函数设计法	136
4.4.3	线性相位 FIR 滤波器的设计	142
4.4.4	高通、带通和带阻 FIR 数字滤波器的频率移位设计法	145
4.4.5	频率采样法	152
4.4.6	FIR 滤波器的最优化设计	156
4.5	数字滤波器的基本结构	163
4.5.1	IIR 数字滤波器的基本结构	163
4.5.2	FIR 数字滤波器的基本结构	167
4.6	基于 MATLAB 的数字滤波器设计	170
4.6.1	IIR 数字滤波器的双线性变换法设计	170
4.6.2	FIR 数字滤波器的窗函数法设计	174

4.7 小结	180
习题	180
第5章 数字信号处理器(DSP)	185
5.1 DSP的应用现状和发展前景	186
5.1.1 什么是DSP	186
5.1.2 DSP简史	186
5.1.3 DSP的应用现状	186
5.1.4 DSP的发展趋势	188
5.2 DSP的结构	189
5.2.1 信号处理算法的特点	189
5.2.2 DSP的特点与内部结构	190
5.2.3 DSP性能的衡量指标	194
5.2.4 DSP系统结构	195
5.3 定点和浮点数格式	197
5.3.1 定点数的格式与运算	197
5.3.2 浮点数的格式与运算	202
5.4 ADSP2116x 硬件单元	205
5.4.1 ADSP2116x 概述	205
5.4.2 ADSP2116x 的处理单元	207
5.4.3 ADSP2116x 的地址发生器	209
5.5 DSP 制造商与 DSP 的选购	211
5.6 DSP 实例	212
5.7 小结	215
第6章 数字信号处理应用	216
6.1 语音信号处理	217
6.1.1 数字音频	217
6.1.2 语音识别	219
6.1.3 语音合成	220
6.2 图像处理	221
6.2.1 图像处理基础	221
6.2.2 图像增强	224
6.2.3 图像分割	226
6.2.4 图像压缩	228
6.3 小结	229
附录A MATLAB 简介	230
A.1 MATLAB 的程序设计环境	231
A.1.1 工作环境	231
A.1.2 命令窗口的设置	231
A.1.3 M文件的编辑环境	233
A.1.4 MATLAB 的搜索路径	236

A.2	MATLAB 的基本语法	237
A.2.1	变量及其赋值	237
A.2.2	矩阵运算	240
A.2.3	矩阵分解	243
A.2.4	逻辑判断及流程控制	246
A.2.5	数据分析函数	249
A.3	MATLAB 的绘图功能	252
A.3.1	基本的绘图功能	252
A.3.2	专业绘图功能	257
A.4	M 文件及程序调试	262
A.4.1	主程序文件	262
A.4.2	人机交互命令	263
A.4.3	函数文件	263
附录 B	ADSP2116x 指令集	266
B.1	指令形式	267
B.2	计算指令	269
	中英文名词术语索引	274
	参考文献	279

第 1 章

数字信号处理概述

内容提要

数字信号处理是从 20 世纪 60 年代以来,随着信息技术和计算机技术的高速发展而迅速发展起来的一门学科。该学科一经产生就迅速渗透到各个领域。

数字信号处理是应用计算机或通用数字信号处理设备将信号在数字域中计算处理(如滤波、变换、压缩、估计等),从而达到一定应用目的的一门学科。

本章主要介绍信号与系统的基本概念,数字信号处理系统的组成;并论述数字信号处理系统各个部分的相关内容,包括模数转换、数模转换、采样定理等内容;最后简要介绍数字信号处理的发展情况。

本章试图给读者介绍数字信号处理领域的完整而系统的概念,如模数转换、数模转换、采样定理等在这一章就提出来了,以便后续章节能集中篇幅介绍数字信号处理的核心知识。

教学建议

建议学时:3 学时。

先修课程:信号与系统。

1.1 信号与系统

信号是信息的表现形式,信息是信号的具体内容。信号可以描述范围极为广泛的一类物理现象,例如,人们听到的语音信号、看到的图像信号等。

对于语音这种一维信号,通常将它表示成时间的函数。而信号的幅度和时间可以取连续值也可以取离散值。如果幅度和时间都取连续值,这类信号称为模拟信号;如果幅度取连续值而时间取离散值,这类信号称为离散时间信号;对于幅度和时间都取离散值的信号称为数字信号。通常,在现实中碰到的大多数信号都是模拟信号。随着计算机技术的发展,现代计算机的高速处理能力促进了数字信号的广泛应用。人们致力于将模拟信号转换到数字领域中,应用数字信号处理技术进行处理,如数字语音信号处理、数字图像处理等。可以说当今世界是数字世界,数字信号的传输与处理正在取代传统的模拟信号的传输与处理。

模拟信号到数字信号的转变,需要经过采样、二进制编码及量化(即 A/D 转换)来完成。而在进行数字信号处理的理论分析时,采用离散时间信号进行分析比较方便,故本书采用离散时间信号进行理论分析。

系统是由若干相互作用和相互依赖的事物组合成的具有特定功能的总体,可以简单地分成三大模块:输入部分、处理核心部分和输出部分。根据系统的输入输出信号的类型,系统可以分为模拟系统和数字系统。

1.2 数字信号处理系统

一个简单的数字信号处理系统如图 1.1 所示。该系统首先把模拟信号转变为数字信号,然后用数字技术进行处理,最后再把数字信号还原成模拟信号。

输入的模拟信号 $x_a(t)$ 先经过预滤波处理,将 $x_a(t)$ 中的高频分量滤除,从而达到抗混叠的作用(图中标为抗混叠滤波器)。然后是模数转换(analog-to-digital conversion)部分,这一部分完成模拟信号到数字信号的转换,用 $x(n)$ 表示经此部分输出的数字信号,中间核心部分是数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)部分,数字信号 $x(n)$ 经过滤波、变换、加工等处理,得到处理后的信号 $y(n)$ 。紧接着是数模转换(D/A 转换)部分,它将处理好的数字信号还原成模拟信号。最后是平滑滤波器部分,它滤除不必要的高频分量,平滑输出模拟信号 $y_a(t)$ 。

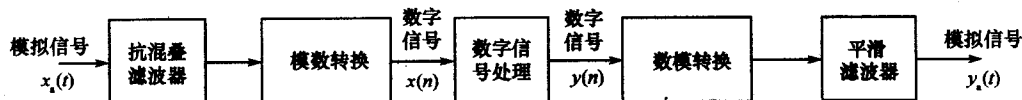


图 1.1 数字信号处理系统

1.2.1 模数和数模转换

模数转换通常分两步进行。第一步是采样,最常见的一种方式是对模拟信号 $x_a(t)$ 进行等间隔采样。模拟信号 $x_a(t)$ 送入一个电子开关,该开关每隔 T 秒闭合一次,闭合持续时间为 τ ,这样,就得到了采样信号 $\hat{x}_a(t)$ 。第二步是对采样信号 $\hat{x}_a(t)$ 进行量化和数字化。如图 1.2 所示。

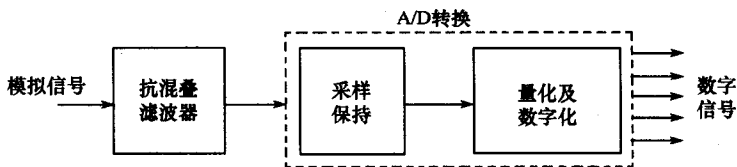


图 1.2 模数转换示意图

要使得采样信号 $\hat{x}_a(t)$ 能够无失真地还原出原来的模拟信号 $x_a(t)$, 需要满足采样定理。采样过程可以看成模拟信号 $x_a(t)$ 和周期为 T 的脉冲序列 $p(t)$ 相乘的过程, 其中, $p(t)$ 的脉冲宽度为 τ , 脉冲幅度为 $1/\tau$, 称此采样过程为实际采样。即

$$\hat{x}_a(t) = x_a(t) \cdot p(t)$$

各个信号的波形如图 1.3 所示。

当脉冲宽度 τ 趋近于 0 时, 脉冲序列 $p(t)$ 变成单位冲激函数序列 $\delta_T(t)$, 此时采样过程称为理想采样。即

$$\hat{x}_a(t) = x_a(t) \cdot \delta_T(t)$$

理想采样的各个信号如图 1.4 所示。

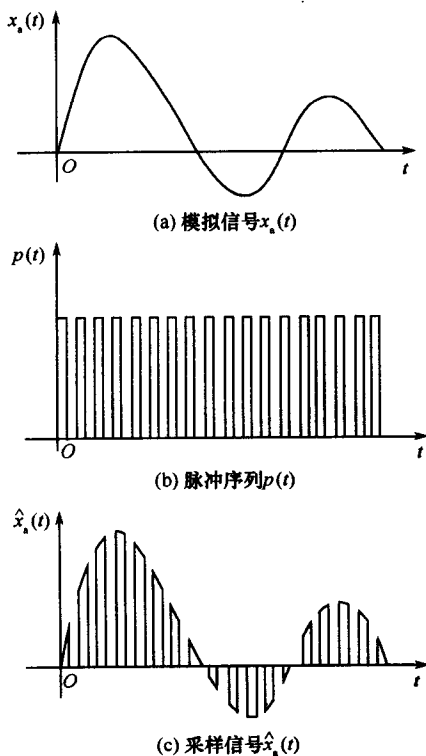


图 1.3 实际采样信号波形

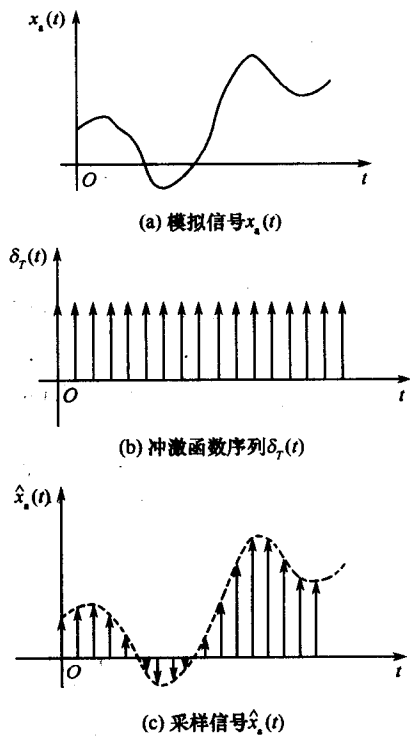


图 1.4 理想采样信号波形

1. 理想采样

理想采样的输出 $\hat{x}_a(t)$ 为

$$\hat{x}_a(t) = x_a(t) \cdot \delta_T(t) \quad (1.2.1)$$

冲激函数序列 $\delta_T(t)$ 为

$$\delta_T(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta(t - mT) \quad (1.2.2)$$

将式(1.2.2)代入式(1.2.1),得

$$\begin{aligned} \hat{x}_a(t) &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} x_a(t) \delta(t - mT) \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} x_a(mT) \delta(t - mT) \end{aligned} \quad (1.2.3)$$

下面分析理想采样后信号频谱的变化情况。令 $\hat{X}_a(j\Omega)$, $X_a(j\Omega)$ 和 $\Delta_T(j\Omega)$ 分别表示 $\hat{x}_a(t)$, $x_a(t)$ 和 $\delta_T(t)$ 的频谱,其中

$$\begin{aligned} \hat{X}_a(j\Omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} \hat{x}_a(t) e^{-j\Omega t} dt \\ X_a(j\Omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} x_a(t) e^{-j\Omega t} dt \end{aligned}$$

现在再来求 $\Delta_T(j\Omega)$, 由于 $\delta_T(t)$ 是周期函数, 所以可以表示成傅里叶级数, 即

$$\delta_T(t) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{jk\Omega_s t}, \quad \Omega_s = \frac{2\pi}{T}$$

那么

$$\Delta_T(j\Omega) = \frac{2\pi}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(\Omega - k\Omega_s) = \Omega_s \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(\Omega - k\Omega_s)$$

将式(1.2.1)转到频域, 则有

$$\begin{aligned} \hat{X}_a(j\Omega) &= \frac{1}{2\pi} X_a(j\Omega) \cdot \Delta_T(j\Omega) \\ &= \frac{1}{2\pi} X_a(j\Omega) \cdot \frac{2\pi}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(\Omega - k\Omega_s) \\ &= \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} X_a(j\theta) \delta(\Omega - k\Omega_s - \theta) d\theta \\ &= \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_a(j\Omega - jk\Omega_s) \\ &= \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_a\left(j\Omega - jk \frac{2\pi}{T}\right) \end{aligned} \quad (1.2.4)$$

式(1.2.4)表明, 一个连续时间信号经过理想采样后, 其频谱是原频谱 $X_a(j\Omega)$ 的周期延拓, 延拓周期为采样频率 $\Omega_s = \frac{2\pi}{T}$ 。而其频谱幅度则受 $\frac{1}{T} = \frac{\Omega_s}{2\pi}$ 加权, 由于 T 是常数, 与 Ω 无关, 所以除了相差一个常数因子外, 每一个延拓的频谱分量都和原频谱分量相同。如图 1.5 所示为理想采样频谱的示意图。

可以看到,只要各延拓分量与原频谱分量不发生频率上的混叠,则有可能恢复原信号。也就是说,如果 $x_a(t)$ 是有限带宽信号,简称带限信号,它的最高截止频率为 Ω_c ,当 $\Omega_s > 2\Omega_c$ 时,各延拓分量互不重叠,如图 1.5(b) 所示。此时采用一个截止频率为 $\Omega_s/2$ 的理想低通滤波器,就可得到原信号频谱,从而可以不失真地恢复原来的信号。如果 $\Omega_s < 2\Omega_c$, $X_a(j\Omega)$ 周期延拓后,前一周期的低频成分会和后一周期的低频成分彼此重叠,形成频谱“混叠”,如图 1.5(c) 所示,这样就恢复不了原来的信号了。这就是著名的采样定理。其中 $2\Omega_c$ 称为奈奎斯特(Nyquist)频率, $\Omega_s/2$ 称为折叠频率,信号频率超过它时就会折叠回来,造成频谱的混叠。

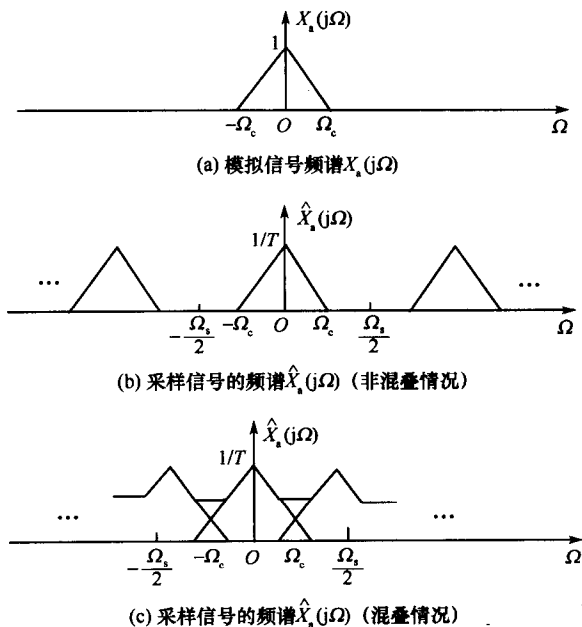


图 1.5 理想采样频谱示意图

通常信号都不是带限信号,根据采样定理则不可能避免混叠。为了解决这个问题,采样前可先将信号通过低通模拟滤波器(在图 1.1 中标记为抗混叠滤波器)进行低通滤波,使得该滤波器的输出信号成为带限信号。这样就可以采用足够高的采样频率来避免混叠。

2. 量化

信号采样后,还需将离散信号的幅值进行量化。量化步长与输入信号的动态范围和量化的比特数有关。当用 N 比特对取值在一定范围的模拟信号进行量化编码时,每个采样值编码为 2^N 个编码电平之一。各电平间的间距称为量化步长:

$$Q = \frac{R}{2^N}$$

式中, R 是最大标定模拟范围, N 是比特数。量化步长的大小有时称为量化器的分辨率,对于给定的范围,随着比特数的增加,量化步长变小。简单的量化方案是把这个范围分成 2^N 等份,每一等份用一个数字代表。对于每一个输入值,都会有量化误差的存在。量化误差等于量化后的值与该采样点的实际值之差:

$$\text{量化误差} = \text{量化值} - \text{实际值}$$

看一个量化的例子。假设采样信号的范围是 $0 \sim 5\text{V}$ ，将它分为 8 等份，这样就有 8 个量化电平，分别是 $0, 5/8, 10/8, 15/8, \dots, 35/8\text{V}$ 。然后对每一个采样按相同的规律量化，即将它量化为离它最近的电平。在量化后，为了能在数字信号处理系统中处理二进制码，还必须经过编码操作，即 0V 用 000 表示， $5/8\text{V}$ 用 001 表示， $35/8\text{V}$ 用 111 表示。这样一来，每个采样可以用 3bit 来表示。由此可见，量化可以定义为从实数集到一个有限子集的映射。

设在量化前的取值范围为 $[z_0, z_k)$ ，可将 $[z_0, z_k)$ 分成 k 个子区间： $[z_0, z_1), [z_1, z_2), \dots, [z_i, z_{i+1}), \dots, [z_{k-1}, z_k)$ ，并用一个量化值 q_i 来表示属于子区间 $[z_i, z_{i+1})$ 的数。

量化器要完成的任务就是划分好子区间和设定量化值，即选定 $k-1$ 个 $z_i (i=1, 2, \dots, k-1)$ 和 k 个 $q_i (i=0, 1, \dots, k-1)$ ，使量化造成的失真最小，达到最优量化。在工程应用中，量化是通过 A/D 转换器进行的。转换器可以是单极性或双极性的，取各种模拟范围，并且在 $8 \sim 24\text{bit}$ 。当要量化的信号占用转换器最大模拟范围时，量化误差最小；当它仅占转换器范围的一部分时，误差成比例增大，量化噪声对信号的影响也增加，信噪比就会降低。

【例 1.1】 用传感器采集压力信号，传感器的输出电压在 $0 \sim 3\text{V}$ ，信号采用 3bit 数字代码进行量化。说明模拟电压是如何转换成数字值的。

解 因为信号的范围是 3V ，则其量化步长大小为

$$Q = \frac{3\text{V}}{2^3} = 0.375\text{V}$$

表 1.1 给出了模拟值及对应的 8 个数字代码。

表 1.1 模拟值及对应的 8 个数字代码

模拟电压(V)	量化电平(V)	数字编码
$0.0 \leq x < 0.1875$	0.0	000
$0.1875 \leq x < 0.5625$	0.375	001
$0.5625 \leq x < 0.9375$	0.75	010
$0.9375 \leq x < 1.3125$	1.125	011
$1.3125 \leq x < 1.6875$	1.5	100
$1.6875 \leq x < 2.0625$	1.875	101
$2.0625 \leq x < 2.4375$	2.25	110
$2.4375 \leq x \leq 3.0$	2.625	111

在这种量化方案中，量化误差最大值发生在最大输入的地方。即输入 3V 电压时，量化电平是 2.625，量化后的编码是 111，误差为 0.375V。

3. 数模转换

当数字信号经过核心处理后，在一般情况下都需要将数字信号转换为模拟信号，以便输出到输出设备。数模转换过程如图 1.6 所示。电路首先把二进制代码转换为模拟电平，它与二进制代码的大小成比例关系。再通过零阶保持电路，该保持电路将电平保持一个采样周期，直到下一个周期开始有新的信号进来。这样得到的输出信号是阶梯信号，最后通过低通滤波器（平滑滤波器），使得信号平滑输出。

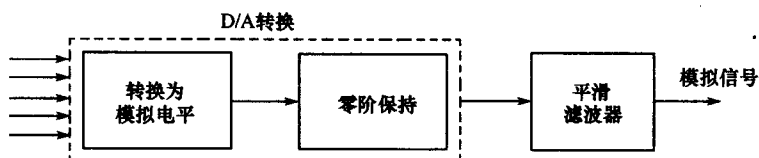


图 1.6 数模转换示意图

1.2.2 数字信号及其频谱

数字信号在时域中可以用随时间变化的函数来描述,还可以用图形来表示。同样,数字信号也可以变换到频域进行观察。它与连续信号频谱的区别将在后续章节里介绍。

1.2.3 数字信号处理

数字信号处理系统的核心是数字信号处理部分。在这部分通过各种算法,完成数字处理系统中所需要的功能。

1.3 数字信号处理的发展

早在 20 世纪 40 年代,信号处理就受到各个领域的重视,在检测、估计、滤波等方面建立了一系列的基础理论和方法。此后一段时间,模拟信号处理的应用比较广泛。到了 60 年代,随着计算机技术的发展,数字信号处理技术开始得到发展。由于美国的库利(T. W. Cooley)和图基(I. W. Tukey)在 1965 年设计出快速傅里叶变换(FFT)算法,使得数字信号处理的理论得到迅猛的发展。进入 20 世纪 70 年代,大规模集成电路和计算机技术的进一步发展,促进了数字信号处理在科学和工程技术的诸多领域中的应用。专用数字信号处理器(DSP)的出现,为数字信号处理提供了廉价、高效、灵活的工具。通信、雷达、声呐、遥感、图像处理 and 模式识别、语音处理和识别、生物医学工程等,无一不与数字信号处理有关。20 世纪 80 年代出现了加窗傅里叶变换。加窗傅里叶变换是一种局域化的时—频分析方法,即对局部的时间段进行频谱分析。在此基础上,法国地球物理学家 Morlet 提出了一种新的变换方法:小波变换。新算法的不断出现,使得数字信号处理理论也不断地发展。另一方面,数字信号处理技术越来越渗透到人们的生活中来,特别是进入 20 世纪 90 年代以后,高品质的声像设备运用了数字信号处理技术,成为未来电子产品的主要发展趋势。

数字信号处理已经形成一套较为完整的理论体系。这些理论主要包括:

- ① 信号的采集(A/D 技术、采样定理、量化);
- ② 离散信号的分析(时域及频域的分析、各种变换技术、信号特征的描述);
- ③ 离散系统的分析(系统的描述、系统的单位冲激响应、转换函数及频率特征);
- ④ 信号处理中的快速算法;
- ⑤ 信号检测与估值;
- ⑥ 滤波技术;
- ⑦ 信号的建模;
- ⑧ 信号的时频分析;

⑨ 信号处理技术的实现与应用。

数字信号处理是紧紧围绕着理论、实现及应用迅速发展起来的。它的实现主要有以下 4 种方法。

① 在通用微机上用软件来实现。如使用 MATLAB 就可以实现数字信号处理的仿真;或者其他公司提供的软件,以及自己设计的软件,也可完成数字信号处理。

② 单片机上实现。随着单片机的不断发展,它的处理速度也变得越来越快。单片机是面向事务处理的,接口性能比较好,在控制领域中应用较广,但在运算量较大时,就显现出它的缺点了。

③ 应用专用的数字信号处理(DSP)的芯片来实现。DSP 芯片较之单片机有着数据处理极快的优点,它是面向数据计算的。它的出现推动了数字信号处理的应用。

④ 应用 FPGA, CPLD 等可编程阵列进行数字信号处理。它的特点是通过软件编程,然后用硬件来实现。它可以作为独立的数字信号处理器,也可以作为 DSP 芯片的协处理器。

总之,数字信号处理的应用已经渗透到人们的学习、工作和生活的各个方面,并逐渐成为电子产品更新换代的决定因素,它的应用前景十分可观。在学习这门课的时候,可以结合它在人们日常生活中的应用来学习。

1.4 小 结

本章对数字信号处理系统的组成进行了重点介绍,同时介绍了数字信号处理的发展和主要实现方法。读者在学习本章时,可以结合生活中的实际应用,如数码相机,来了解数字信号处理系统,同时应了解当前数字信号处理的发展与应用,增强学习的兴趣。