



新坐标大学本科电子信息类专业系列教材

数字信号处理 原理及实现

王艳芬 王刚 张晓光 刘卫东 编著



清华大学出版社



新坐标大学本科电子信息类专业

TN911.72/206

2008

数字信号处理 原理及实现

王艳芬 王刚 张晓光 刘卫东 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地阐述了数字信号处理的基本原理和算法分析,共包括8章内容,即绪论、离散时间信号与系统的时域分析、离散时间信号与系统的频域分析、离散傅里叶变换(DFT)、快速傅里叶变换(FFT)、IIR数字滤波器的设计、FIR数字滤波器的设计、数字滤波器结构及MATLAB上机实验。

本书概念清楚、理论分析透彻,特别是自始至终运用MATLAB来阐述基本概念和基本原理,将经典理论与现代技术相结合,使知识点的叙述更加清楚易懂。本书还结合实际给出了MATLAB上机实验内容,并配有上机习题,它可以作为课程实验练习和上机考试的复习题。

本书可作为高等院校信息工程、电子科学与技术、通信与信息处理、无线电等专业的本科生教材,也可供从事信息处理、通信、电子技术等方面的工程技术人员及有关科研、教学人员参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理原理及实现/王艳芬等编著. —北京:清华大学出版社,2008.3
(新坐标大学本科电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-16864-5

I. 数… II. 王… III. 数字信号—信号处理 IV. TN911.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第006810号

责任编辑:王敏稚 李玮琪

责任校对:白蕾

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印刷者:北京市清华园胶印厂

装订者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:17.75 字 数:415千字

版 次:2008年3月第1版 印 次:2008年3月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:026762-01



编委会名单

顾问(按姓氏音节顺序):

- | | |
|-----|---------------|
| 李衍达 | 清华大学信息科学技术学院 |
| 邬贺铨 | 中国工程院 |
| 姚建铨 | 天津大学激光与光电子研究所 |

主任:

- | | |
|-----|-----------|
| 董在望 | 清华大学电子工程系 |
|-----|-----------|

编委会委员(按姓氏音节顺序):

- | | |
|-----|-------------------|
| 鲍长春 | 北京工业大学电子信息与控制工程学院 |
| 陈 怡 | 东南大学高教所 |
| 戴瑜兴 | 湖南大学电气与信息工程学院 |
| 方达伟 | 中国计量学院信息工程学院 |
| 甘良才 | 武汉大学电子信息学院通信工程系 |
| 郭树旭 | 吉林大学电子科学与工程学院 |
| 胡学钢 | 合肥工业大学计算机与信息学院 |
| 金伟其 | 北京理工大学信息科技学院光电工程系 |
| 孔 力 | 华中科技大学控制系 |
| 刘振安 | 中国科学技术大学自动化系 |
| 陆大绘 | 清华大学电子工程系 |
| 马建国 | 西南科技大学信息与控制工程学院 |
| 彭启琼 | 电子科技大学通信与信息工程学院 |
| 仇佩亮 | 浙江大学信电系 |
| 沈伯弘 | 北京大学电子学系 |

- | | |
|--------|---------------------|
| 童家榕 | 复旦大学信息科学与技术学院微电子研究院 |
| 汪一鸣(女) | 苏州大学电子信息学院 |
| 王福源 | 郑州大学信息工程学院 |
| 王华奎 | 太原理工大学信息与通信工程系 |
| 王 瑶(女) | 美国纽约 Polytechnic 大学 |
| 王毓银 | 北京联合大学 |
| 王子华 | 上海大学通信学院 |
| 吴建华 | 南昌大学电子信息工程学院 |
| 徐金平 | 东南大学无线电系 |
| 阎鸿森 | 西安交通大学电子与信息工程学院 |
| 袁占亭 | 甘肃工业大学 |
| 乐光新 | 北京邮电大学电信工程学院 |
| 翟建设 | 解放军理工大学气象学院 4 系 |
| 赵圣之 | 山东大学信息科学与工程学院 |
| 张邦宁 | 解放军理工大学通信工程学院无线通信系 |
| 张宏科 | 北京交通大学电子信息工程学院 |
| 张 泽 | 内蒙古大学自动化系 |
| 郑宝玉 | 南京邮电学院 |
| 郑继禹 | 桂林电子工业学院二系 |
| 周 杰 | 清华大学自动化系 |
| 朱茂镒 | 北京信息工程学院 |



序言

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”是清华大学出版社“新坐标高等理工教材与教学资源体系创新与服务计划”的一个重要项目。进入 21 世纪以来,信息技术和产业迅速发展,加速了技术进步和市场的拓展,对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这个变化必然反映到高等学校的定位和教学要求中,也必然反映到对适用教材的需求。本项目是针对这种需求,为培养层次化和多样化的电子信息类人才提供系列教材。

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”面向全国教学研究和教学主导型普通高等学校电子信息类专业的本科教学,覆盖专业基础课和专业课,体现培养知识面宽、知识结构新、适应性强、动手能力强的人才的需要。编写的基本指导思想可概括为:

1. 教材的类型、选题和大纲的确定尽可能符合教学需要,以提高适用性。教材类型初步确定为专业基础课和专业课,专业基础课拟按电子信息大类编写,以体现宽口径;专业课包括本专业和非本专业两种,以利于兼顾专业能力的培养与扩展知识面的需要。选题首先从目前没有或虽有但不符合教学要求的教材开始,逐步扩大。

2. 重视基础知识和基础知识的提炼与更新,反映技术发展的现状和趋势,让学生既有扎实的基础,又了解科学技术发展的现状。

3. 重视工程性内容的引入,理论和实际相结合,培养学生的工程概念和能力。工程教育是多方面的,从教材的角度,要充分利用计算机的普及和多媒体手段的发展,为学生建立工程概念、进行工程实验和设计训练提供条件。

4. 将分析和设计工具与教材内容有机结合,培养学生使用工具的能力。

5. 教材的结构上要符合学生的认识规律,由浅入深,由特殊到一般。叙述上要易读易懂,适合自学。配合教材出版多种形式的教学辅助资料,包括教师手册、学生手册、习题集和习题解答、电子课件等。

本系列教材已经陆续出版了,希望能被更多的教师和学生使用,并热忱地期望将使用中发现的问题和改进的建议告诉我们,通过作者和读者之间的互动,必然会形成一批精品教材,为我国的高等教育作出贡献。欢迎对编委会的工作提出宝贵意见。



前言

随着信息技术的飞速发展,数字信号处理理论和技术日益成熟,已成为一门重要的学科,并在各个领域得到广泛应用。“数字信号处理”基础知识已成为信息工程、电子科学与技术、电气自动化以及其他电类专业必须掌握的专业基础知识和必修内容。

本书共包括8章三部分内容,第一部分包括第1、2、3、4章,是数字信号处理的基础理论部分。鉴于离散时间信号与离散时间系统是数字信号处理中的两个最重要的概念,本书用两章内容分别从时域和频域两个方面对离散时间信号与系统进行了较详细的讨论。第1章介绍了离散时间信号与系统的时域分析方法、常系数线性差分方程和模拟信号数字处理方法。第2章对离散时间信号与系统进行了频域分析,介绍了序列的傅里叶变换(DTFT)和序列的Z变换等频域分析数学工具,讨论了系统函数、频率响应和零、极点分布等概念,并引出两类重要的数字滤波器系统。离散傅里叶变换(DFT)是数字信号处理中的核心内容,本书在第3章用较大篇幅讨论了DFT的定义、性质和物理意义,在此基础上引出了重要的频域采样理论,并且进一步讨论了DFT在实际中的典型应用。快速傅里叶变换(FFT)是DFT的一种快速算法,它在数字信号处理发展史上起到了里程碑的作用,本书第4章重点讨论了FFT的典型算法原理,包括按时间、频率抽取的基2-FFT和IFFT的高效算法,结合DFT的对称性讨论了实序列的FFT算法,最后介绍了线性调频Z变换(CZT)。数字滤波器是数字信号处理研究的重要内容,本书第二部分包括第5、6、7章,主要学习数字滤波器的基本理论和设计方法,包括无限脉冲响应(IIR)数字滤波器、有限脉冲响应(FIR)数字滤波器及其滤波器的网络结构等,第5章重点介绍了利用模拟滤波器设计IIR数字滤波器的原理、思路和方法,包括脉冲响应不变法和双线性不变法,第6章则主要讨论了FIR滤波器具有线性相位的条件和特性以及常用的设计方法,包括窗函数设计法、频率采样设计法和等波纹逼近法等,第7章介绍了这两类滤波器的基本网络结构和特点。第三部分包括第8章及附录,是本书的上机实验内容,包括必须掌握的基础实验和扩展掌握的交互式工具应用实验。

本书以数字信号处理基础知识、基本理论为主线,同时将学习和应用数字信号处理的极好工具MATLAB引入本书。为了突出基础知

识并使基本概念通俗易懂,本书通过例题求解的方式引入 MATLAB 这一工具,在每一个重要概念讨论之后,都给出了 MATLAB 实现内容,以帮助读者较好地掌握 MATLAB 工具,并结合实际应用更好地掌握“数字信号处理”的知识点。本书列举了大量的例题和习题,并专门编写了上机实验,突出了理论和实践相结合的环节,并配有上机习题,它可以作为课程实验练习和上机考试的复习题。

本书主要作为工科信息通信类本科高年级学生之用,注重基本概念、基本原理的阐述及各概念之间的相互联系,并且针对课程抽象难学的特点,以 MATLAB 为主线来阐述重要概念和基本原理,并提供了 MATLAB 演示程序及与实际结合密切的综合性例题。

本书由王艳芬担任主编。绪论及第 1、2、3、4 章由王艳芬编写,第 5 章由王刚编写,第 6 章由张晓光编写,第 7 章由刘卫东编写,第 8 章由王艳芬和王刚共同编写。

限于编者水平,加上时间紧迫,书中难免存在问题和错误,诚挚希望广大读者批评指正。

编 者

2007 年 9 月



目 录

绪论	1
0.1 信号、系统与信号处理	1
0.2 数字信号处理系统的基本组成	2
0.3 数字信号处理的特点	3
0.4 数字信号处理基本学科分支	4
0.5 数字信号处理系统的实现方法	4
0.6 数字信号处理的应用领域	5
参考文献	5
第 1 章 离散时间信号与系统的时域分析	6
1.1 引言	6
1.2 离散时间信号	6
1.2.1 序列的定义	6
1.2.2 常用基本序列	7
1.2.3 序列的基本运算	10
1.2.4 任意序列的单位脉冲序列表示	11
1.2.5 MATLAB 实现	12
1.3 离散时间系统	14
1.3.1 线性系统	14
1.3.2 时不变系统	14
1.3.3 线性时不变离散系统	15
1.3.4 线性卷积的计算	16
1.3.5 系统的因果性和稳定性	18
1.4 离散时间系统的时域描述——差分方程	20
1.4.1 常系数线性差分方程的一般表达式	20
1.4.2 差分方程的求解	20
1.4.3 MATLAB 实现	21
1.5 模拟信号数字处理方法	22
1.5.1 采样的基本概念	23
1.5.2 理想采样及其频谱	24
1.5.3 时域采样定理	25

1.5.4 采样的恢复	27
1.5.5 采样内插公式	27
1.5.6 MATLAB 实现	28
习题	30
参考文献	32
第 2 章 离散时间信号与系统的频域分析	33
2.1 序列的傅里叶变换的定义及性质	33
2.1.1 序列的傅里叶变换的定义	33
2.1.2 常用序列的傅里叶变换	34
2.1.3 序列的傅里叶变换的性质	35
2.1.4 MATLAB 实现	39
2.2 序列的 Z 变换	41
2.2.1 Z 变换的定义及其收敛域	41
2.2.2 序列特性对 Z 变换收敛域的影响	41
2.2.3 Z 反变换	46
2.2.4 MATLAB 实现	48
2.2.5 Z 变换的性质	49
2.3 系统函数与频率响应	54
2.3.1 系统函数的定义	54
2.3.2 系统函数和差分方程	54
2.3.3 系统函数的收敛域与系统的因果稳定性	55
2.3.4 频率响应	57
2.3.5 IIR 和 FIR 系统	64
2.3.6 MATLAB 实现	64
习题	68
参考文献	70
第 3 章 离散傅里叶变换	71
3.1 引言	71
3.2 傅里叶变换的几种形式	71
3.2.1 连续时间、连续频率——连续傅里叶变换(FT)	71
3.2.2 连续时间、离散频率——傅里叶级数(FS)	72
3.2.3 离散时间、连续频率——序列的傅里叶变换(DTFT)	72
3.2.4 离散时间、离散频率——离散傅里叶变换(DFT)	73
3.3 离散傅里叶级数(DFS)	73
3.3.1 DFS 的定义	73
3.3.2 DFS 的性质	75
3.4 离散傅里叶变换	76

3.4.1	DFT 的定义	76
3.4.2	DFT 和 Z 变换的关系	79
3.4.3	DFT 的性质	80
3.4.4	MATLAB 实现	84
3.5	频域采样理论——抽样 Z 变换	87
3.5.1	频域采样	88
3.5.2	频域恢复——频域内插公式	89
3.6	用 DFT 计算线性卷积	92
3.6.1	用圆周卷积计算线性卷积的条件	92
3.6.2	用圆周卷积计算线性卷积的方法	93
3.7	用 DFT 进行频谱分析	96
3.7.1	利用 DFT 对连续非周期信号进行谱分析	96
3.7.2	用 DFT 进行谱分析的误差问题	98
3.7.3	用 DFT 进行谱分析的参数考虑	101
3.7.4	MATLAB 实现	102
	习题	106
	参考文献	108
第 4 章	快速傅里叶变换	109
4.1	引言	109
4.2	直接计算 DFT 的问题及改进的途径	109
4.2.1	直接计算 DFT 的运算量问题	109
4.2.2	改善途径	110
4.3	按时间抽取(DIT)的基-2 FFT 算法	111
4.3.1	算法原理	111
4.3.2	DIT—FFT 算法与直接计算 DFT 运算量的比较	114
4.3.3	算法特点	114
4.4	按频率抽取(DIF)的基 2-FFT 算法	117
4.4.1	算法原理	117
4.4.2	算法特点	119
4.5	IDFT 的高效算法	120
4.5.1	利用 FFT 流图计算 IFFT	120
4.5.2	直接调用 FFT 子程序的方法	121
4.6	实序列的 FFT 算法	121
4.7	线性调频 Z 变换(CZT)	123
4.7.1	算法基本原理	123
4.7.2	CZT 的实现	125
4.7.3	CZT 的特点	127
4.7.4	MATLAB 实现	127

习题	129
参考文献	130
第 5 章 IIR 数字滤波器的设计	131
5.1 引言	131
5.1.1 数字滤波器的分类	131
5.1.2 技术指标描述	133
5.1.3 设计方法	134
5.2 模拟滤波器的设计	136
5.2.1 模拟滤波器的技术指标要求	136
5.2.2 对给定技术条件的逼近方法	138
5.2.3 由幅度平方函数来确定传输函数	138
5.2.4 巴特沃思低通滤波器	140
5.2.5 切比雪夫低通滤波器	145
5.2.6 模拟滤波器的频率变换	151
5.3 脉冲响应不变法	156
5.3.1 变换原理	156
5.3.2 对脉冲响应不变法的进一步讨论	157
5.3.3 s 平面与 z 平面的映射关系	158
5.3.4 混叠失真	159
5.3.5 脉冲响应不变法的优缺点	160
5.4 双线性变换法	162
5.4.1 变换原理	162
5.4.2 s 平面与 z 平面的映射关系	163
5.4.3 双线性变换法中的频率失真和预畸变	164
5.4.4 MATLAB 实现	167
5.5 数字滤波器的频率变换	168
5.6 IIR 数字滤波器的直接设计法	170
5.7 本章涉及的 MATLAB 函数	172
习题	174
参考文献	176
第 6 章 FIR 数字滤波器的设计	177
6.1 引言	177
6.2 线性相位 FIR 滤波器的特点	177
6.2.1 线性相位条件	178
6.2.2 幅度函数特点	180
6.2.3 线性相位 FIR 滤波器的零点位置	184
6.3 利用窗函数法设计 FIR 滤波器	186

6.3.1	设计方法	186
6.3.2	常用窗函数	190
6.3.3	窗函数法设计线性相位 FIR 滤波器的一般步骤	194
6.3.4	MATLAB 实现	196
6.4	利用频率采样法设计 FIR 滤波器	198
6.4.1	设计方法	198
6.4.2	利用频率采样法设计线性相位滤波器的条件	198
6.4.3	逼近误差	200
6.4.4	过渡带采样的最优设计	201
6.4.5	频率采样法设计线性相位 FIR 滤波器的一般步骤	201
6.4.6	MATLAB 实现	203
6.5	利用等波纹逼近法设计 FIR 滤波器	204
6.5.1	等波纹逼近准则	205
6.5.2	线性相位 FIR 滤波器的设计	206
6.5.3	MATLAB 实现	208
6.6	FIR 滤波器和 IIR 滤波器的比较	210
6.7	本章涉及的 MATLAB 函数	210
	习题	211
	参考文献	213
第 7 章	数字滤波器结构	214
7.1	引言	214
7.2	基本结构单元	215
7.3	无限长脉冲响应(IIR)滤波器的基本网络结构	216
7.3.1	直接型	216
7.3.2	级联型	219
7.3.3	并联型	221
7.3.4	全通系统	223
7.3.5	最小相位系统	225
7.4	有限长脉冲响应(FIR)滤波器的基本网络结构	226
7.4.1	直接型(卷积型)	227
7.4.2	级联型	228
7.4.3	频率采样结构	229
7.4.4	线性相位结构	233
	习题	235
	参考文献	236
第 8 章	MATLAB 上机实验	237
8.1	MATLAB 简介	237

8.1.1	MATLAB 语言	238
8.1.2	Simulink	240
8.2	基础实验	241
8.2.1	FFT 频谱分析及应用	241
8.2.2	IIR 数字滤波器的设计	243
8.2.3	FIR 数字滤波器的设计	246
8.2.4	数字滤波器结构及 Simulink 仿真实现	248
8.3	交互式工具应用实验	251
8.3.1	滤波器分析设计工具 FDA Tool 应用实验	251
8.3.2	信号处理工具 SPTool 应用实验	255
8.4	上机习题	258
	参考文献	262
附录	本书用到的 MATLAB 特殊函数	264



绪论

自 20 世纪 60 年代以来,随着计算机和信息学科快速发展,数字信号处理技术应运而生并迅速发展,现已形成一门独立的学科并应用于众多领域。简单地说,数字信号处理是利用计算机或专用处理设备,以数值计算的方法对信号进行滤波、变换、压缩、识别、增强等加工处理以达到提取有用信息,便于应用的目的。信号处理几乎涉及所有的工程技术领域。

0.1 信号、系统与信号处理

1. 信号

信号是信息的一种物理体现,是信息的载体。信号可以是多种多样的,如根据载体的不同,信号可以是电的、磁的、光的、声的、机械的、热的等。但在各种信号中,电信号是最便于传输、处理和重现的,因此也是应用最广泛的,许多非电信号如温度、压力都可通过适当的传感器转换成电信号,因此对电信号的研究具有普遍的意义。

信号以某种函数的形式传递信息,这个函数可以是时间域、频率域或其他域,但最基础的域是时域。时域信号 $s(t)$,其自变量 t 可以有连续的和离散的两种形式,其函数值(幅度)也有连续和离散(量化)两种形式。两者共有 4 种可能的组合,但常用的是其中的 3 种:模拟信号、离散时间信号和数字信号。

(1) 模拟信号:也称连续时间信号。信号 $x(t)$ 的自变量 t 和函数值 $x(t)$ 都是连续变化的。

(2) 离散时间信号:也称序列。信号 $x(nT)$ 的自变量 nT 是时域的离散采样点,而函数值是连续变化的。扩大到一般情况,可用 $x(n)$ 代表时间离散、幅值连续的任何序列。此处的 n 仅表示顺序号,可以是时间轴顺序,也可以是其他任何某个域、某种轴上的序号。

(3) 数字信号: 信号 $x_q(n)$ 在时间和幅值上都是离散的, 数字信号就是幅度量化的离散时间信号。

2. 系统

系统定义为处理(或变换)信号的物理设备, 或者说, 凡是能将信号加以变换以达到人们要求的各种设备都称为系统。按照所处理的信号分类, 可将系统分为 3 类:

(1) 模拟系统: 处理模拟信号的系统, 即系统的输入、输出均为模拟信号。通常由电容、电感、电阻、半导体器件以及模拟集成电路组成的网络和设备是模拟系统。

(2) 离散时间系统: 处理离散时间信号的系统, 即系统的输入、输出均为离散时间信号。比如由电荷耦合器件(CCD)以及开关电容网络组成的系统。

(3) 数字系统: 处理数字信号的系统, 即系统的输入、输出均为数字信号。由数字运算单元、存储单元、逻辑控制单元以及 CPU 等组成的系统都是数字系统。

3. 信号处理

所谓信号处理即是用系统对信号进行某种加工, 包括滤波、分析、变换、谱分析、参数估计、综合、压缩、估计、识别等。

数字信号处理——利用数字计算机或专用数字硬件对数字信号所进行的一切变换和按预定规则所进行的一切加工处理运算, 例如: 滤波、检测、参数提取、频谱分析等。或者说数字信号处理是用数值计算的方法完成对信号的处理。

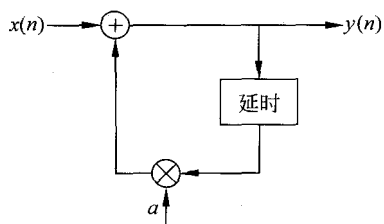


图 0-1 简单的数字滤波器方框图

图 0-1 就是一个简单的数字滤波器, 由一个加法器、一个延时器和一个乘法器组成。因此处理的实质是“运算”, 运算的基本单元是延时器、加法器和乘法器。

从技术观点看, 信号处理有两种基本方法: 一是滤波, 滤除信号中不需要的分量, 例如在单边带通信系统中, 应用滤波的方法抑制带外的频率分量; 二是分析或变换, 对信号进行各种方法的分析, 估计某些特征参数, 或者用变换方法对信号进行频谱分析, 从而确定信号中有效信息的分布。

数字信号处理以 PC 或专用 DSP 装置为硬件平台, 以数值分析、信号处理算法为基本工具, 实现信号有用信息的提取, 以达到认识信号、利用信号, 并将其用于实际的目的。

0.2 数字信号处理系统的基本组成

以下讨论模拟信号的数字信号处理系统。该系统首先将模拟信号变换为数字信号, 然后用数字技术进行处理, 最后还原成模拟信号。系统框图如图 0-2 所示。

图 0-2 中, 预滤波器的作用是对模拟信号进行预处理, 将输入信号 $x_a(t)$ 中高于某一频率(称折叠频率, 等于采样频率的一半)的分量加以滤除, 改善信号的带限性能, 有利于后面的采样, 具有抗混叠作用。在 A/D 变换器中, 每隔 T 秒(抽样周期)取出一次 $x_a(t)$

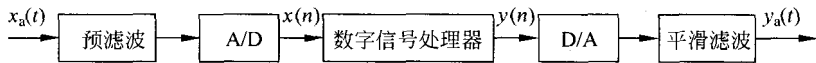


图 0-2 模拟信号的数字信号处理系统框图

的幅度,采样后的信号称为离散信号 $x_a(nT)$,随之由 A/D 变换器中的保持电路进一步将采样信号变换为数字信号序列 $x(n)$ 。随后,数字信号序列 $x(n)$ 通过图 0-2 所示系统的核心部分,即数字信号处理器,按照预定的要求,将信号序列 $x(n)$ 进行加工处理得到输出信号 $y(n)$ 。再由 D/A 变换器将二进制码流变换为模拟信号,经模拟滤波器进一步平滑 D/A 变换器的输出,以滤除不必要的高频分量,生成所需的模拟信号 $y_a(t)$ 。

需要注意的是,图 0-2 仅表示模拟信号的数字信号处理系统框图,实际中的系统并不一定包括图中的所有框。对于纯数字系统只需要核心部分——数字信号处理器就可以了。

0.3 数字信号处理的特点

数字信号处理是用数值计算的方法完成对信号的处理。因此处理的实质是“运算”,运算的基本单元是延时器、乘法器和加法器。数字信号处理可以通过软件编程,在通用计算机上完成,也可以根据算法选择一种运算结构,采用数字信号处理器实现。

与模拟系统(ASP)相比,数字系统具有如下特点。

(1) 精度高:在模拟系统中,它的精度由元件决定,模拟元器件的精度很难达到 10^{-3} 以上。而数字系统中,17 位字长精度就可达 10^{-5} ,所以在高精度系统中,有时只能采用数字系统。

(2) 可靠性强:数字系统只有两个信号电平 0 和 1,受噪声及环境条件等影响小。模拟系统各参数都有一定的温度系数,易受环境条件,如温度、振动、电磁感应等影响,产生杂散效应甚至振荡等。且数字系统采用大规模集成电路,其故障率远远小于由众多分立元件构成的模拟系统。

(3) 灵活性大:数字系统的性能主要取决于乘法器的各系数,且系数存放于系数存储器内,只需改变存储的系数,就可得到不同的系统,比改变模拟系统方便得多。例如,改变图 0-1 中的 a 参数,可以构成数字低通、高通或带通滤波器。

(4) 易于大规模集成:数字部件具有高度规范性,便于大规模集成,大规模生产,对电路参数要求不严,故产品成品率高。尤其是对于低频信号,如地震波分析,需要过滤几赫兹至几十赫兹的信号,用模拟系统处理时,电感器和电容器的数值、体积、重量非常大,且性能也不能达到要求,而数字信号处理系统在这个频率处却非常具有优势。

(5) 时分复用:时分复用就是利用数字信号处理器同时处理几个通道的信号。由于数字信号的相邻两抽样值之间有一定的空隙时间,因而在同步器的控制下,在此时间空隙中送入其他路的信号,且各路信号利用同一个数字信号处理器,后者在同步器的控制下,计算完一路信号后,再计算另一路信号,因而处理器运算速度越高,能处理的信道数目也就越多。