



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数字信号处理及应用

王华奎 主编

▼
……
(第2版)
……
▲



高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

TN911.72

110=2

数字信号处理及应用

▼
……
(第2版)
……
▲

TN911.72/110=2

王华奎 主编

2009



高等教育出版社

内容简介

本书是在2004年出版的《数字信号处理及应用》教材的基础上根据信号处理技术的最新发展和教学改革实践的需要,重新修订编写而成的。

本书选材以数字信号处理基础内容为主,同时也给出了有关数字信号处理实现与应用的部分内容。书中主要篇幅讨论了离散时间信号与系统的基本概念、离散傅里叶变换及其快速算法、数字滤波器的结构与各种设计方法。这些是数字信号处理中的经典内容,也是进一步学习和掌握更多信号处理理论的基础。为便于数字信号处理系统的设计与开发,书中介绍了数字信号处理器的原理及其应用举例以及MATLAB的上机实验。

本书概念清晰,说明详细,深入浅出,易于理解。本书具有丰富的例题和习题,便于自学。

本书可作为高等学校相关专业本科生教材,也可作为有关工程技术人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理及应用/王华奎主编. —2版. —北京:
高等教育出版社, 2009. 11
ISBN 978-7-04-028130-9

I. 数… II. 王… 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(2009)第183216号

策划编辑 李 慧 责任编辑 唐笑慧 封面设计 赵 阳 版式设计 范晓红
责任校对 刘 莉 责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 化学工业出版社印刷厂

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 23.25
字 数 520 000

版 次 2004年11月第1版
2009年11月第2版
印 次 2009年11月第1次印刷
定 价 29.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 28130-00

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求，探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系，全国高等学校教学研究中心（以下简称“教研中心”）在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上，组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校，进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索，在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果，并在高等教育出版社的支持和配合下，推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材，冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月，教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项，为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台，整体设计立项研究计划，明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式，分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现，组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组（亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组）。会后，教研中心组织了首批课题立项申报，有63所高校申报了近450项课题。2003年1月，在黑龙江工程学院进行了项目评审，经过课题领导小组严格的把关，确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月，各子课题相继召开了工作会议，交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题，确定了项目分工，并全面开始研究工作。计划先集中力量，用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才培养特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是，“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才培养探索与实践成果基础上，紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要，努力实践，大胆创新，采取边研究、边探索、边实践的方式，推进高校应用型本科人才培养工作，突出重点目标，并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础，作为体现教学内容和教学方法的知识载体，在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面

临的十分重要的任务。因此，在课题研究过程中，各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果，并和教学实际结合起来，认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革，组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师，编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案，以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信，随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入，特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施，具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

第2版前言

本书前一版于2004年出版,2007年本书第2版被列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书的修订是根据信号处理技术的最新发展和教学改革实践的需要,同时广泛征求各校有关专家和广大任课教师及学生的意见,并在深入研究国内外同类教材特点的基础上完成的。

本次修订的着眼点是,对符合大学本科要求的本学科的基本概念、基础理论、基本分析方法等内容给予更多的重视和加强;同时充分考虑到数字信号处理技术本身在设计思想、算法、仿真与设计工具以及硬件结构等方面的不断更新与发展。在这种思想的指导下,第2版与第1版相比,作了以下部分的(而不是全面的)改动:

1. 离散时间傅里叶变换、离散傅里叶变换、 z 变换和数字滤波器是数字信号处理的重要基础理论,本版对它们作了较多的论述和补充,还增加了一些对理解相应内容有帮助的重要的例子。

2. 将第1版教材第2章“离散傅里叶变换(DFT)及其快速算法(FFT)”中有关快速傅里叶变换的内容分离出来组建为第3章,并增加了线性调频 z 变换(CZT)等相关知识点,以期层次更加清晰,更利于教和学。

3. 随着DSP技术应用日益广泛和深入,广大读者要求对DSP器件的选择、系统的设计和实现等进行指导。为此将第1版教材第7章“数字信号处理的实现及应用”的内容全部改写,组建为第8章,包括TMS320C54x数字信号处理器的软硬件系统、应用程序设计和应用实例。

4. 随着MATLAB语言的推出和不断推广,MATLAB作为数字信号处理的实现工具备受关注。此次修订教材,不少例题均给出了相应的MATLAB程序,它们既说明了MATLAB在解决信号处理问题方面的强大功能,又利于学生对概念的理解和上机实验,为今后进一步学习和研究打好基础。

5. 增加了少量习题,以利于读者更深入地消化课程内容。

6. 解决了第1版在使用中发现的问题,改正了个别错误。

各章中凡是在小节前加*号的,是供选择的内容。

王华奎担任本书主编,修订了绪论和第1章,并对全书进行了统稿。程海青、李鸿燕、张立毅、张雄、王鸿斌、李灯熬和赵菊敏分别修订了第2、3、4、5、6、7、8章,李瑞莲编写了全部习题。太原理工大学谢克明教授在百忙之中审阅了本书全稿,提出了很多精辟的见解和建设性的修改意见,谨在此表示衷心的感谢!李艳萍、常广志等在本书的绘图、计算机程序的编写、整理以及资料收集等方面都做了大量的工作,在此一并表示

感谢!

由于作者的水平所限，书中恐仍有不少不妥甚至错误之处，恳切希望广大读者批评指正。

作者

2009年2月

第 1 版前言

当前，随着微电子技术的迅速发展，数字信号处理（DPS）芯片的性能不断提高，价格持续下降，数字信号处理技术已经广泛而深入地应用到诸如航空、航天、雷达、声呐、通信、自动控制 and 生物医学工程等各个领域，并且不断开拓新的应用领域。可以预言，以 DSP 芯片为核心，辅以其他外围设备的各种数字化产品，将具有巨大的潜在市场。

数字信号处理是一门以算法为核心、理论性很强的学科。目前，国内有关数字信号处理方面的教材大多数都是讲解算法、推导和证明算法；另一方面，大学本科生和工程技术人员希望在掌握数字信号处理基本原理的同时，也了解其软硬件的实现方法，以及如何把它们应用到工程实践中，这是当前数字信号处理教学面临的新任务。

本书就是基于这种形势要求而编写的。本书的内容大体上分为以下四部分：离散时间信号与系统分析、离散傅里叶变换及其快速算法、数字滤波器的结构与设计和数字信号处理的实现及应用。第一部分包括绪论和第 1 章，这是本书的基础，通过这一部分的学习，希望读者能对数字信号处理有一个大概的了解，建立起离散时间信号与系统的基本概念，并初步掌握时域与频域的基本分析方法。第二部分包括第 2 章，介绍数字信号处理中最典型、使用最广泛的一种线性变换工具——离散傅里叶变换及其快速算法，通过它的学习还能进一步认识运算效率在数字信号处理中的地位。第三部分包括了第 3、4、5、6 章，介绍了数字滤波器的各种结构和设计方法，是离散时间系统设计的基础知识。考虑到有些读者可能缺乏有关模拟滤波器设计的基础，为此在第 4 章对这些内容做了初步介绍。这三部分构成数字信号处理最基础的内容。第四部分内容为第 7 章，主要介绍了 TI 公司的数字信号处理芯片及其开发工具，给出了几种典型的应用实例。这些内容是数字信号处理实现及应用时必须了解的。

本书提供了大量的例题，各章均安排了一定数量的习题，便于读者理解和巩固所学的概念和方法，提高分析问题和解决问题的能力。

书中并未涉及目前最流行的信号处理仿真工具 MATLAB，原因在于作者编写的与本书配套的教材《数字信号处理仿真实验教程》即将出版，该书对这方面的内容有深入系统的阐述。

王华奎任本书的主编，并编写了绪论、2、7 章，张立毅编写了第 3、4、5、6 章，李艳萍编写了第 1 章，李瑞莲编写了全部习题。太原理工大学谢克明教授在百忙之中审阅了本书全稿，提出了很多精辟的见解和建设性的修改意见，谨在此表示衷心的感谢。在本书编写过程中，也得到博士生、硕士生张晓琴、赵菊敏、常广志、王旭鹏、赵清华、李霞、

陈艳丽等人的帮助，在此一并致谢。

限于作者水平，不妥及错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

作者
2004 年 8 月

目 录

绪论	1	1.5.1 z 变换的定义及收敛域	52
0.1 什么是数字信号处理	1	1.5.2 z 变换的主要性质	58
0.2 数字信号处理的特点	3	1.5.3 z 逆变换	60
0.3 本课程的性质、任务和重点 内容	4	1.5.4 z 变换与 z 逆变换的 MATLAB 实现	66
第 1 章 离散时间信号与系统	6	1.5.5 z 变换、傅里叶变换、 拉普拉斯变换的关系	69
1.1 模拟信号数字处理方法	6	1.6 离散时间系统的频域分析	72
1.1.1 采样定理	6	1.6.1 系统函数	72
1.1.2 A/D 转换器	10	1.6.2 频率响应	76
1.1.3 采样信号的恢复	11	本章小结	81
1.1.4 D/A 转换器	13	习题	83
1.2 离散时间信号——序列	18	第 2 章 离散傅里叶变换 (DFT)	88
1.2.1 常用的序列	19	2.1 傅里叶变换的几种形式	88
1.2.2 序列的运算	24	2.2 离散傅里叶级数 (DFS)	90
1.3 离散系统	32	2.2.1 离散傅里叶级数的推导	90
1.3.1 线性系统	33	2.2.2 离散傅里叶级数与 z 变换及 DTFT 之间的关系	95
1.3.2 时不变系统	33	2.2.3 离散傅里叶级数的性质	96
1.3.3 线性时不变系统的串并联 系统	35	2.3 离散傅里叶变换 (DFT)	98
1.3.4 系统的因果性与稳定性	37	2.3.1 从离散傅里叶级数到 离散傅里叶变换	98
1.3.5 系统的差分方程描述	39	2.3.2 离散傅里叶变换与 z 变换及 DTFT 之间的关系	103
1.4 离散时间傅里叶变换 (DTFT)	43	2.3.3 离散傅里叶变换的性质	105
1.4.1 离散时间傅里叶变换的 定义	43	2.4 利用 DFT 进行频谱分析	119
1.4.2 离散时间傅里叶变换的 性质	45	2.4.1 频谱分析步骤及误差 分析	119
1.5 z 变换	52	2.4.2 频谱分析的参数选择	126

本章小结	127	4.2 IIR 数字滤波器的基本网络	
习题	128	结构	173
第 3 章 快速傅里叶变换 (FFT)	131	4.2.1 直接型	173
3.1 引言	131	4.2.2 级联型	174
3.1.1 寻求 DFT 快速算法的		4.2.3 并联型	175
必要性	131	4.3 FIR 数字滤波器的基本网络	
3.1.2 减小 DFT 运算量的		结构	176
途径	132	4.3.1 直接型	176
3.2 时间抽取 FFT 算法	135	4.3.2 级联型	177
3.2.1 算法推导	135	4.3.3 线性相位型	177
3.2.2 时间抽取 FFT 算法的		4.4 数字滤波器基本结构的 MATLAB	
特点	140	实现	178
3.3 频率抽取 FFT 算法	141	4.4.1 IIR 滤波器的 MATLAB	
3.3.1 算法推导	141	实现	178
3.3.2 频率抽取 FFT 算法的		4.4.2 FIR 滤波器的 MATLAB	
特点	144	实现	181
3.4 IDFT 的快速算法 (IFFT)	146	本章小结	183
3.4.1 IFFT 算法	146	习题	184
3.4.2 利用 FFT 程序求 IFFT 的		第 5 章 滤波器设计原理	187
方法	147	5.1 滤波器的基本概念	187
* 3.5 线性调频 z 变换 (CZT)		5.1.1 滤波原理	187
算法	148	5.1.2 滤波器的种类	188
3.5.1 基本原理	148	5.1.3 对滤波器的技术要求	189
3.5.2 CZT 算法的要点	149	5.1.4 滤波器的设计过程	191
3.5.3 CZT 算法的特点	151	5.2 模拟低通滤波器的设计	191
3.6 用 MATLAB 计算信号的 DFT		5.2.1 Butterworth 逼近	191
和 IFFT	152	5.2.2 Chebyshev 逼近	196
3.7 快速傅里叶变换的应用	157	5.3 模拟高通、带通及带阻滤波器	
3.7.1 用 FFT 计算线性卷积	157	的设计	204
3.7.2 用 FFT 计算线性相关	163	5.3.1 模拟高通滤波器的设计	204
* 3.7.3 几个 FFT 应用实例	163	5.3.2 模拟带通滤波器的设计	205
本章小结	169	* 5.3.3 模拟带阻滤波器的设计	208
习题	169	本章小结	211
第 4 章 数字滤波网络	172	习题	211
4.1 数字滤波器的表示方法	172		

第 6 章 IIR 数字滤波器的设计	213	7.3.2 线性相位约束条件	253
6.1 用脉冲响应不变法设计 IIR 数字滤波器	213	7.3.3 滤波器的频率响应	253
6.1.1 设计的基本思想	213	7.4 IIR 与 FIR 数字滤波器的比较	256
6.1.2 模拟与数字滤波器的转换关系	213	7.4.1 性能上比较	256
6.2 用双线性变换法设计 IIR 数字滤波器	217	7.4.2 结构上比较	256
6.2.1 双线性变换	218	7.4.3 设计方法上比较	257
6.2.2 数字低通 IIR 滤波器的设计	219	本章小结	257
6.3 数字高通、带通及带阻 IIR 滤波器的设计	221	习题	257
6.3.1 模拟-数字-数字变换法	222	第 8 章 数字信号处理的实现及应用	260
6.3.2 模拟-模拟-数字变换法	224	8.1 概述	260
本章小结	230	8.1.1 数字信号处理的实现	260
习题	231	8.1.2 DSP 芯片及其主要特点	261
第 7 章 FIR 数字滤波器的设计	233	8.1.3 DSP 芯片的分类	263
7.1 线性相位 FIR 滤波器的基本特性	233	8.1.4 DSP 芯片的主要技术指标	263
7.1.1 线性相位条件	233	8.1.5 DSP 的应用	264
7.1.2 线性相位条件对 $h(n)$ 的要求	233	8.2 DSP 系统	265
7.1.3 线性相位 FIR 滤波器的频率特性	235	8.2.1 典型的 DSP 系统组成	265
7.1.4 线性相位 FIR 滤波器的零点分布	239	8.2.2 DSP 系统的特点	266
7.2 窗函数加权设计 FIR 滤波器	240	8.2.3 DSP 系统的设计过程	267
7.2.1 设计的基本思想	240	8.2.4 DSP 芯片的选择	268
7.2.2 窗函数的功能与选择	241	8.3 DSP 产品简介	269
7.2.3 窗函数加权设计方法	245	8.4 DSP 的硬件结构	270
*7.3 频率采样法设计 FIR 滤波器	252	8.4.1 'C54x 的基本结构	271
7.3.1 设计的基本思想	252	8.4.2 'C54x 的中央处理器	279
		8.4.3 'C54x 的存储空间结构	285
		8.4.4 'C54x 的片内外设电路	290
		8.5 DSP 的软件体系	292
		8.5.1 'C54x 的指令格式	292
		8.5.2 'C54x 指令的寻址方式	296
		8.5.3 'C54x 的指令集	306
		8.6 DSP 应用举例	330

8.6.1	FIR 滤波器的 DSP 实现	330	本章小结	349
8.6.2	IIR 滤波器的 DSP 实现	336	习题	350
*8.6.3	快速傅里叶变换的 DSP 实现	339	附录 常用 MATLAB 滤波器分析设计 函数	351
*8.6.4	幅度调制 (AM) 的 DSP 实现	347	参考文献	357

绪 论

内 容 提 要

近 40 年来，数字信号处理技术突飞猛进，应用也越来越广泛，目前已成为信息科学技术的一个重要组成部分。那么，究竟什么是数字信号处理？其有哪些特点？数字信号处理课程的性质、任务以及教学内容的重点又是什么？怎样学习本课程？这是绪论中要阐述的几个问题。

0.1 什么是数字信号处理

信号是信息的载体，几乎所有的工程技术领域都要涉及信号问题。这些信号包括电的、磁的、声的、光的、热的、机械的及生物体的等各个方面。所谓信息处理，是指将信号从一种形式变换成另一种形式，比如将信号从时域变换到频域，从模拟信号变换为数字信号等。此种变换用于分离两个或多个已按某种方式组合在一起的信号，或是增强一个信号的某一分量，或是估计信号的一个或多个参数等加工处理，以达到提取信息和便于应用的目的。信号的各种处理在通信、雷达、声呐、导航、遥感和生物医学工程等领域得到了广泛应用。信号处理的理论与技术的内容非常丰富，大体可分为模拟信号处理和数字信号处理。

如果对信号的处理是通过模拟器件进行的，则称为模拟信号处理。它是以各种分立元器件，如电阻、电容、电感、晶体管等为基础组成的系统。简单的阻容滤波器及晶体管放大器等就是这种系统。

如果对信号的处理是通过数字器件进行的，则称为数字信号处理。它是用计算机、各种数字硬件和软件包替代各种模拟网络，对实际的各种信号实现采集、滤波、检测、估值、调制、解调、建模和频谱分析等功能，以得到符合人们需要的信号形式。它是 20 世纪 60 年代随着计算机技术和大规模集成电路的迅速发展与信息 and 网络理论的相结合而综合发展起来的一门新兴学科。

为了对数字信号处理有一个大致的概念，先从模拟信号的数字化处理谈起。模拟信号的数字化处理就是先将模拟信号转变为数字信号，然后用数字技术进行加工，最后还原为模拟信号的处理过程。图 0.1 表示了这样一个系统的框图，这种系统也称为采样信号处理系统。模拟输入信号 $x_a(t)$ 首先要经过采样器和模数(A/D)转换器转变为数字信号，这里，采样器每隔 T 秒采集一次输入信号的幅度，并将它存放在 A/D 转换器的保持电路中。经过采样以后的信号称为离散时间信号，它只表达时间轴上一些离散点 0 、 T 、 $2T$ 、 \dots 、

nT 上的信号值, 这些值为 $x_a(nT)$, 如图 0.2(b) 所示。因此, 离散时间信号就是指一组特定时间下表达信号数值的函数, 采样过程也就是对模拟信号的时间量化的过程。

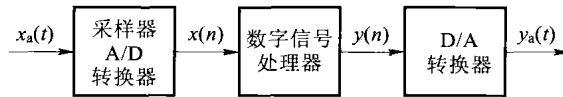


图 0.1 采样信号处理系统简单框图

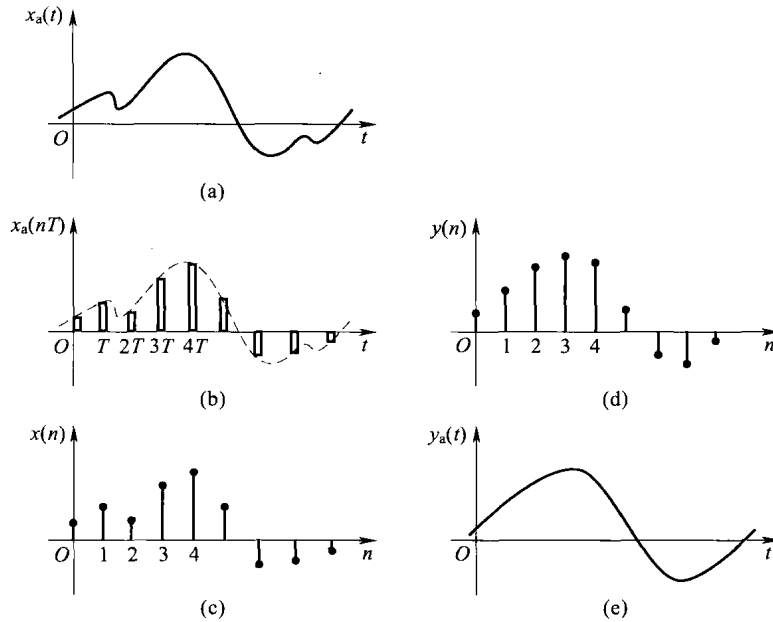


图 0.2 数字信号处理过程

A/D 转换器则是将保持电路中的采样信号电平进一步变换成数字量, 一般都是采用二进制数码。由于数码的长度总是有限的, 因而这些数码所能代表的信号幅度就有一定限制。例如, 若每个数字用 5 位二进制数表示, 则只能表达 32 种不同的信号幅度, 这些幅度称为量化电平。当离散时间信号的幅度不同于量化电平时, 就必须用最近的一个量化电平来近似。因而, 经过 A/D 转换器后, 信号在幅度上也量化了, 这种信号称为“数字信号”。数字信号代表的是时间上和幅度上都量化以后的信号, 它本质上只是一系列的“数”, 而每个数则是用有限个数码来表示的。

数字信号序列用 $x(n)$ 来表示, 自变量 n 是一个整型变量, 它表示这个数在序列中的次序位置。为了形象起见, 总是用一根线段来表示其数值的大小, 如图 0.2(c) 所示。数字信号序列 $x(n)$ 经过数字处理并按一定的要求加工以后, 转变为另一组输出 $y(n)$, 然后, 再在数模(D/A)转换器中将数码反过来转换成模拟电压(或电流), 这些电压在时间点 $0, T, 2T, \dots$ 上的幅度, 应该等于序列 $y(n)$ [如图 0.2(d) 所示] 中相应数码所代表的大小。最后, 通过一定的滤波器, 滤去这些模拟量中不需要的一些高频成分, 就得到系统所需要的输出, 这就是模拟信号 $y_a(t)$, 如图 0.2(e) 所示。

实际上, 一个系统并不一定都需要图 0.1 中所有的三个部分, 很多系统就不需要最后

的 D/A 转换，终端可以直接以数字形式打印，或用数码管显示，例如雷达和声呐系统，最终可以直接显示目标的方位、距离等参数。另外，有一些系统，其本身的输入就是数字量，这样，开始的 A/D 转换当然也就不需要了，这种系统有时也称为“纯数字系统”。

从图 0.1 中可以看到，在这样一个采样信号处理系统中，最核心的部分是数字信号处理器，这种处理器也称为数字系统，例如，数字滤波器就是最常用的一种线性数字系统。一般来说，数字系统的输入是一个数字序列，输出是另一个数字序列，所以数字系统本质上只是一个序列的运算加工器。数字系统用来完成这种运算加工的基本功能部件是存储单元(包括存储器、移位寄存器等)、加法器、乘法器等数字硬件，以及用来指挥它们工作的控制设备。

0.2 数字信号处理的特点

与模拟信号处理相比，数字信号处理有如下特点。

(1) 精度高

模拟网络中，处理元件，如电阻、电感和电容等，其数值精度很难达到 10^{-3} 以上。而数字系统中，17 位字长可到 10^{-5} 精度，这是很普通的。因此，在很多高精密的系统中，数字处理是很有效的工具，甚至有时只有采用数字处理，才能满足精度的要求。

(2) 可靠性强

模拟系统的各种参数都有一定的温度系数，易受温度的影响。电磁辐射、振动、压力等外界环境也会对参数产生影响，导致系统性能下降，甚至不能正常工作。而数字系统中的参数受这些因素的影响要小得多。

(3) 灵活性好

模拟系统一旦构成，想改变其性能是很困难的。实现数字系统的器件往往都是可编程的(在线可编程或离线可编程)，只要改变它们的软件，即可完成不同的功能，从而得到不同的系统。

(4) 便于大规模集成

数字部件具有高度的规范性，对电路参数要求不严，容易大规模集成和大规模生产，价格不断降低。由于采用了大规模集成电路，数字系统体积小、重量轻、可靠性强。

(5) 时分复用

使用一套数字信号处理器同时处理几个同路的信号就称为“时分复用”，其原理如图 0.3 所示。同步器控制多路信号按先后顺序分别将各路值输入到处理器，在第 1 路与第 2 路采样之间的间隙，处理器把第 1 路的值进行处理并输出处理结果，接下来处理第 2 路、第 3 路，依此类推。因此，对于每一通路来说好像单独占用处理器一样。处理器运算速度越高，它所能同时处理的信号通路也越多。这与每一路都必须花费一套硬件的模拟系统比起来，可大大降低成本。

(6) 可以实现模拟系统无法实现的诸多功能

数字信号可以存储，数字系统可以进行各种复杂的变换和运算。这一优点更加使数字

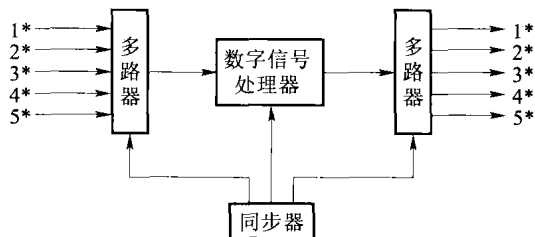


图 0.3 时分多路数字信号处理系统

信号处理不再仅仅限于对模拟系统的逼近，它可以实现模拟系统无法实现的诸多功能。例如，电视系统中的画中画、多画面以及各种视频特技，包括画面压缩、画面放大、画面坐标旋转、演员特技制作；解卷积；图像信号的压缩编码；加密解密；语音识别与恢复等。

与模拟系统相比，数字系统的主要缺点是处理速度还不很高，目前还不能处理频率很高的信号。另外，数字系统的结构较复杂，价格较贵，对一般要求不高的系统，还不便使用。但随着微电子技术和大规模集成电路的发展，这些问题将逐步得到解决。

0.3 本课程的性质、任务和重点内容

本课程是高等学校电子信息类专业的一门重要的专业基础课，通过本课程的学习，尽可能使学生系统地了解数字信号处理的基础知识和基本理论，介绍实现理论所提出的行之有效的算法，阐述这些理论与算法用于工程实践时的软件与硬件实现，并能初步掌握和学会运用数字信号处理的两个基本工具——快速傅里叶变换和数字滤波器，为今后深入学习信息技术某些领域的内容和从事数字信号处理的工作打好基础。

数字信号处理在理论上涉及的范围相当广泛。在数学领域中，微积分、高等数学、随机过程、线性代数、复变函数等都是它们的分析工具。网络理论、信号与系统等均是它们的理论基础。在科学发展上，数字信号处理又是通信理论、最优控制、测量技术等的基础。在算法实现上，它又和计算机技术和微电子技术密不可分。因此，可以说数字信号处理是把经典的理论(如数学、系统)作为自己的理论基础，把计算机与微电子技术作为技术支撑的一门新学科。同时，它又是许多新兴学科的理论基础，并与它们相互交叉、相互融合、相互促进。

本书作为普通高等学校本科生的教材，仅介绍数字信号处理的基本概念、基本方法和基本算法。所涉及的主要内容有：离散时间信号与系统分析，离散傅里叶变换，数字滤波器和数字信号处理器及其应用。

(1) 离散时间信号与系统分析

本书第1章着重讨论了离散时间信号与系统的分析方法，阐明了时域与频域之间的内在联系以及不同信号频谱的变化规律，对分析离散时间信号与线性系统的重要工具—— z 变换作了详细的介绍，并强调了它在简化运算和系统分析过程中所起的桥梁作用。从理论和实践两方面深入讨论了采样定理及其应用。

(2) 离散傅里叶变换