

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

信号分析与处理

华容等编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

信号分析与处理

华容 等编著

高等教育出版社

内容提要

本书是教育科学“十五”国家规划课题研究成果。全书共7章,其内容包括:绪论、连续信号与系统分析、离散信号与系统分析、滤波器的设计、随机信号分析与处理、数字信号处理系统的硬件实现、现代信号分析与处理简介。

本书介绍信号分析与处理的基本概念和原理,并着重介绍其应用实例。本书每章都配备了一些应用实例的MATLAB程序,读者可通过形象、直观的计算机模拟与仿真实现加深对信号分析与处理的基本原理、方法及应用的理解决,从而能从基本理论过渡到实际应用。

本书构思新颖、实用性强,内容简明扼要,叙述深入浅出,并尽量体现工程背景,克服冗长的数学推导。

本书可作为电气工程及其自动化、自动化及各种非电子信息类专业的本科生“信号分析与处理”课程教材,也可作为信号分析与处理方面的科技参考书。

图书在版编目(CIP)数据

信号分析与处理/华容等编著. —北京:高等教育出版社, 2004.7

ISBN 7-04-014539-1

I. 信… II. 华… III. ①信号分析—高等学校—教材②信号处理—高等学校—教材 IV. TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第054764号

策划编辑 李 慧 责任编辑 曲文利 封面设计 李卫青 责任绘图 黄建英
版式设计 王 莹 责任校对 金 辉 责任印制 孔 源

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京铭成印刷有限公司		
开 本	787×960 1/16	版 次	2004年7月第1版
印 张	18	印 次	2004年7月第1次印刷
字 数	330 000	定 价	22.70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

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在做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,推进高校应用型人才工作,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

前 言

本教材是教育科学“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”的子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究成果。

随着微电子与计算机技术的不断发展和广泛应用，电子技术已渗透到各个领域。“信号分析与处理”作为一门新兴学科，已受到越来越多的关注。在高等学校中一些非电子信息类专业都已经开设了这方面的课程，但适用于应用型本科人才教学的教材几乎没有。

2003年3月在南京工程学院召开的对电气信息与电子信息类子课题项目开展研究工作的第一次工作会议上，自动化课题组确立了建设反映应用型人才培养特色的系列教材，其中“信号分析与处理”课程作为第一批建设教材。

众所周知，当今是信息时代，在科研、生产和工程建设中，信号分析与处理技术，特别是数字信号处理技术应用日益广泛，正发挥着越来越重要的作用。例如，电气系统和自动化系统都广泛地涉及信号分析与处理技术。自动化系统中按一定的控制规则得出的控制信号，系统状态的估计，控制对象数学模型的确定，系统测量噪声的去除，直至自适应控制，智能控制等都通过信号的分析与处理来实现。电机、电子系统的故障分析与诊断，电力系统的微机保护，谐波抑制等更是信号分析与处理技术的直接应用例子。随着电工学科的进一步发展，信号分析与处理技术对它的作用和影响还将越来越大。因此作为一名电子信息与电气学科的大学生，必须掌握信号分析与处理的原理和方法，并了解和掌握它的应用技术。

当前，许多学校正在积极探索21世纪应用型本科人才培养模式和发展对策。为适应21世纪现代化、信息化生产对专业人才的要求，特别是高新技术产业的发展对人才的要求，急需对原有的课程进行必要的改革，调整和增加一些应用性新技术成果，以符合应用型工程本科教育的人才培养模式和定位，满足时代发展、学科进步、生产技术更新所带来的急切盼望高层次应用型人才的需要。

本教材重基础、知识面广，强调应用性和实践性。在编写本书时，特别注意了以下几个方面：

观念更新——主动适应应用型工科本科教育模式的探索以及教学改革的需要和市场经济对高层次应用型人才的要求。加强学生工程实践能力和科技创新

能力训练,注重知识的应用。

内容更新——自动化技术在近 20 年来进展巨大,信号分析处理技术的发展也越来越快。如小波分析、DSP 技术等,本教材尽可能反映这些新内容,以适应 21 世纪自动化与控制工程人才的培养要求。

体系更新——在先前教材的基础上重构和重组,而非重建。本课程的内容组成的顺序、比例要更加优化,避免遗漏,并减少与“自动控制原理”课程内容上不必要的重复。

适用面广——本教材不但适用于自动化类专业,还适用于非电子信息类等各专业的教学。

本教材的特点是以变换为主干线,介绍基本概念、性质和应用举例。削枝强干,使重点突出、条理清楚;信号与系统相结合,连续信号与离散信号相结合;以计算机为辅助教学手段,本教材的例子和习题均采用 MATLAB 信号分析软件完成。使学生能完成数值计算、信号分析的可视化仿真调试,通过可视化测试结果使学生能实际动手设计、调试、分析,提高教学效果和学习效率,培养学生主动获取知识和独立解决问题的能力;既有基本理论分析又有应用性新技术和新知识介绍。本教材将增加数字信号处理硬件实现(DSP)的内容和增加当前流行的小波分析等近代信号分析与处理的基本内容。

“信号分析与处理”作为一门技术基础课,它以“电路”课程与“电子技术”课程为先修课,与“自动控制原理”课程有明确的分工。本教材主要讲述的内容为信号分析的一般概念与技术,如信号的时域分析、频域分析、傅里叶变换和快速傅里叶变换等;涉及系统理论方面,只介绍与本课程相关的概念,如系统函数、 z 变换等;在信号处理方面,本教材对电子技术中讲述过的各种信号处理电路不再叙述,对在系统设计中占有重要地位的模拟滤波器和数字滤波器给以较多的注意。另外,鉴于随机信号的分析与处理日趋重要,本教材对此做了适当的介绍,以便为学生建立一些初步概念。

既要学时少,又要让学生对信号理论有较全面的了解,同时还应该使学生学有所用,并为今后的发展打下基础,这是本书编写的指导思想。编者力求避免课程内容的重复,对本书必不可少的系统知识只做简单介绍,所占篇幅不多,授课者可根据学习对象决定取舍。

参加本书编写工作的有上海应用技术学院华容、沈希忠、丁肇红和夏乃洁。本书第 3 章的 3.1~3.4 节、3.6 节以及第 4 章由沈希忠编写,第 1 章的 1.3 节、第 2 章的 2.3 节、第 3 章的 3.5 节以及部分仿真例子和附录由丁肇红编写,第 6 章由夏乃洁编写,其余各章节由华容编写。本书由华容担任主编,并负责对全书的组稿、定稿和统稿工作。

上海交通大学史习智教授在百忙之中对全书进行了认真的审阅,并提出了

许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中错误和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2004年3月于上海应用技术学院

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 信号及其分类.....	1
1.1.1 连续时间信号与离散时间信号.....	1
1.1.2 确定信号与随机信号.....	2
1.1.3 周期信号与非周期信号.....	2
1.1.4 能量信号与功率信号.....	3
1.1.5 奇异信号.....	4
1.2 信号分析与处理概述.....	4
1.2.1 模拟信号处理.....	5
1.2.2 数字信号处理.....	5
1.2.3 典型自动控制系统.....	6
1.3 系统及其分类.....	7
1.3.1 系统的描述.....	7
1.3.2 系统的性质.....	8
1.3.3 系统的分类.....	9
习题.....	13
第 2 章 连续信号与系统分析	15
2.1 连续信号的时域描述与分析	15
2.1.1 连续信号的时域描述	15
2.1.2 连续信号的时域基本运算	20
2.1.3 信号的时域分解	23
2.2 连续信号的频域分析与性质	29
2.2.1 连续周期信号的频谱分析——傅里叶级数	29
2.2.2 连续非周期信号的频谱分析——傅里叶变换	35
2.2.3 傅里叶变换的基本性质及应用	46
2.2.4 能量谱与功率谱	54
2.3 连续时间系统分析	55
2.3.1 连续时间系统的时域分析	56
2.3.2 连续时间系统的频域分析	64
2.4 连续信号与系统分析的仿真	66
2.4.1 连续信号的时域运算及时域变换	66
2.4.2 用 MATLAB 分析时间信号	69

2.4.3	用 MATLAB 实现连续时间信号的卷积	70
2.4.4	用 MATLAB 实现连续时间信号的频域分析	71
2.4.5	利用 MATLAB 求 LTI 连续系统的响应	75
	习题	79
第 3 章	离散信号与系统分析	87
3.1	信号的离散化与取样定理	87
3.1.1	信号的取样过程及其频谱分析	87
3.1.2	取样定理	90
3.2	离散信号的时域分析	92
3.2.1	常见的离散信号	92
3.2.2	离散信号的分类	95
3.2.3	离散时间信号的运算	96
3.3	离散信号的频域分析	101
3.3.1	离散傅里叶级数(DFS)	102
3.3.2	离散时间序列傅里叶变换	104
3.3.3	离散傅里叶变换(DFT)	108
3.3.4	快速傅里叶变换(FFT)	109
3.4	离散信号的 z 域分析	111
3.4.1	z 变换	111
3.4.2	z 变换的基本性质和定理	116
3.4.3	逆 z 变换的方法	118
3.5	离散时间系统分析	125
3.5.1	离散时间系统	125
3.5.2	离散时间系统的应用示例	130
3.6	离散信号与系统分析的仿真	133
3.6.1	生成波形数据	133
3.6.2	数据存储	137
3.6.3	FFT 的 MATLAB 实现	138
3.6.4	利用 MATLAB 求 LTI 离散系统的响应	142
	习题	143
第 4 章	滤波器的设计	145
4.1	滤波器概述	145
4.2	数字滤波器的幅频特性	146
4.2.1	理想滤波器的幅频特性	146
4.2.2	实际滤波器的幅频特性	148
4.2.3	理想滤波器的频率响应	149

4.2.4 传递函数	153
4.3 无限长单位冲激响应(IIR)数字滤波器的设计	156
4.3.1 概述	156
4.3.2 无限冲激响应(IIR)数字滤波器的设计方法	160
4.3.3 模拟滤波器设计 IIR 数字滤波器	162
4.4 FIR 数字滤波器的设计	172
4.4.1 FIR 滤波器的传递函数	172
4.4.2 FIR 滤波器的频率响应和相位响应	173
4.4.3 FIR 数字滤波器的窗口设计法	176
4.4.4 频率取样法	179
4.5 滤波器设计的仿真	180
4.5.1 利用 MATLAB 设计 IIR 滤波器	180
4.5.2 利用 MATLAB 设计 FIR 滤波器	184
习题	185
第 5 章 随机信号分析与处理	187
5.1 随机信号的描述	187
5.1.1 随机信号的基本概念	187
5.1.2 随机信号的幅度分析	189
5.1.3 随机信号在时域的数字特征	191
5.1.4 平稳过程	199
5.1.5 遍历随机信号	208
5.2 典型随机信号	213
5.2.1 高斯信号	213
5.2.2 白噪声	217
5.3 随机信号的频域分析	218
5.3.1 功率谱密度函数	219
5.3.2 随机信号功率谱密度及自相关函数的关系	220
5.4 随机信号通过线性系统的分析	223
5.4.1 时域分析	223
5.4.2 域频分析	225
5.5 随机信号分析与处理的仿真	228
习题	232
第 6 章 数字信号处理系统的硬件实现	234
6.1 概述	234
6.1.1 DSP 的特点	234
6.1.2 DSP 的分类	234

6.1.3 DSP的发展与应用领域	235
6.2 DSP54x 简介	236
6.2.1 体系结构	236
6.2.2 指令系统	243
6.3 开发工具	246
6.3.1 DSK 套板	246
6.3.2 集成开发软件包 CCS	247
6.3.3 汇编伪指令	250
6.4 DSP54x 应用举例	251
6.4.1 浮点算法	252
6.4.2 方波发生器(采用 TMS320VC5402)	254
6.4.3 FIR 滤波器(采用 TMS320VC5402)	255
习题	258
第 7 章 现代信号分析与处理简介	259
7.1 信号的时频分析法	259
7.1.1 短时傅里叶变换	259
7.1.2 魏格纳分布	262
7.2 小波分析	263
7.2.1 小波基函数和小波变换	263
7.2.2 多分辨率分析	265
7.2.3 小波分析的应用	266
习题	267
附录 MATLAB 信号工具箱的使用	268
参考书目	274

第 1 章 绪 论

1.1 信号及其分类

信号概念广泛地出现在各个领域，它以各种各样的表现形式携带着特定的消息。古战场曾以击鼓鸣金传达前进或撤退的命令，更以烽火作为信号传递敌人进犯的紧急情况。近代，信号的利用更是涉及力、热、声、光、电等诸多方面。信号可以定义为一个承载一个物理系统的相关状态或特性信息的函数。通常把语言、文字、图像或数据等统称为信号，信号是消息的表现形式或运载工具，即消息蕴涵于信号之中。与信号密切相关的更广义的概念是信息，一般而言，信息是指从客观世界获得的新知识或者对客观事物发出的新要求，它是变化的，不可预知的。信息的传递、变换、储存和提取是借助信号完成的。信号的具体形式是某种物理量，如光信号、电信号、声音信号等。所谓电信号通常是指随时间变化的电压和电流，也可以是电荷、磁通及电磁波等，电信号是应用最广的信号形式。

信号一般可表示为一个或多个变量的函数。例如，锅炉的温度可表示为温度随时间变化的函数；语音信号可表示为声压随时间变化的函数；一张黑白图片能表示为灰度随二维空间变量变化的函数。根据信号随时间变化的特点，可将信号分为下列类型。

1.1.1 连续时间信号与离散时间信号

对连续时间定义域内的任意值(除若干不连续点之外)，都可以给出确定的函数值，该信号称为连续时间信号，简称连续信号(continuous signal)，通常用 $f(t)$ 或 $x(t)$ 表示。幅值是连续的信号，又称为模拟信号(analog signal)，连续信号的幅值也可以是离散的。例如，图 1.1(a)与(b)分别表示一个模拟信号和一个具有离散幅值的连续信号。离散时间信号的时间定义域是离散的，并简称为离散信号，它只在某些不连续的指定时刻具有函数值。一般情况下，离散信号取均匀时间间隔，其定义域成为一个整数集。数字信号(digital signal)属于离散信号，其幅值也被限定为某些离散值。离散信号用 $f(n)$ 的形式表示，式中 n 为整数，表示序号，因此离散信号也称为序列。图 1.2 描绘的都是离散信号，其中图 1.2(b)为数字信号。

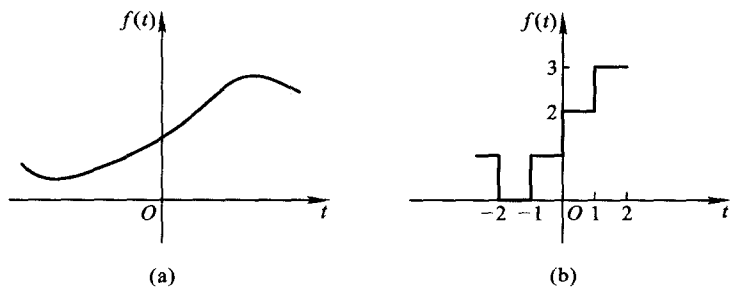


图 1.1 连续时间信号

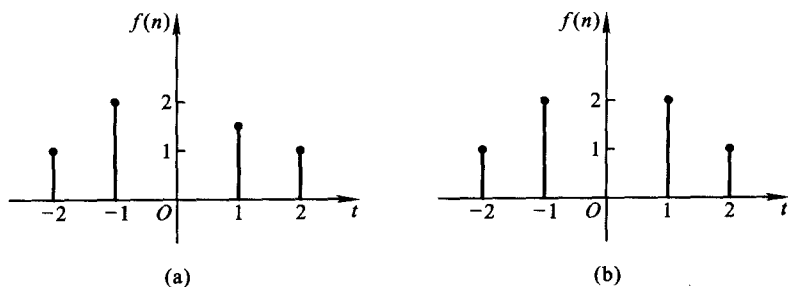


图 1.2 离散时间信号

显然，模拟信号是连续信号，而连续信号不一定是模拟信号。同理，数字信号是离散信号，而离散信号不一定是数字信号。

1.1.2 确定信号与随机信号

可用明确的数学关系式描述的信号称为确定信号，它可分为周期信号和非周期信号。例如，正弦信号、指数信号、阶跃信号以及准周期信号和瞬变非周期信号等。不能用明确的数学关系式描述的信号，也就是不可预知的信号称为随机信号，随机信号只能用概率统计的方法描述。

要指出的是，如果通信系统中传输的信号都是确定信号，接收者就不可能由它获得新的信息。因此，随机信号在信号分析与处理中占有十分重要的地位。

1.1.3 周期信号与非周期信号

周而复始、且无始无终的信号称为周期信号(periodic signal)。设周期(period)为 T ， $f(t)$ 表示某一周期函数，则周期信号可表示为

$$f(t) = f(t + nT) \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.1)$$

非周期信号不具有周期信号的特点。例如，指数信号就是瞬变非周期

信号。

信号理论中的“无始”意味时间是从 $t = -\infty$ 开始的，而“无终”则意味截止时间是 $t = +\infty$ 。

1.1.4 能量信号与功率信号

可以从能量的观点来研究信号，如把信号 $f(t)$ 看作为加在 1Ω 电阻上的电流，则在时间间隔 $-T \leq t \leq T$ 内所消耗的能量为

$$W = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T f^2(t) dt \quad (1.2)$$

其平均功率为

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f^2(t) dt \quad (1.3)$$

若信号函数平方可积，则 W 为有限值，称为能量有限信号，简称能量信号(energy signal)。根据式(1.3)，能量信号的平均功率为零。客观存在的信号大多是持续时间有限的能量信号。

另一种情况，若信号 $f(t)$ 的 W 趋于无穷(相当于 1Ω 电阻消耗的能量)，而 P (相当于平均功率)为不等于零的有限值，则称为功率信号(power signal)。一个幅度有限的周期信号或随机信号能量无限，但功率有限，则为功率信号。

一个信号可以既不是能量信号，也不是功率信号，但不可能既是能量信号又是功率信号。

对于离散信号，可以得出类似的定义和结论。

例 1.1 判断下列信号哪些属于能量信号，哪些属于功率信号？

$$f_1(t) = \begin{cases} A & 0 < t < 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$f_2(t) = A \cos(\omega_0 t + \theta) \quad -\infty < t < \infty$$

$$f_3(t) = \begin{cases} t^{-\frac{1}{4}} & t \geq 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

解 根据式(1.2)及式(1.3)，上述三个信号的 W 、 P 分别可计算为

$$W_1 = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^1 A^2 dt = A^2$$

$$P_1 = 0$$

$$W_2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T A^2 \cos^2(\omega_0 t + \theta) dt = \infty$$

$$P_2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{A^2}{2T} \int_{-T}^T \cos^2(\omega_0 t + \theta) dt = \frac{A^2}{2}$$

$$W_3 = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_1^T t^{-\frac{1}{2}} dt = \infty$$

$$P_3 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_1^T t^{-\frac{1}{2}} dt = 0$$

式中, $f_1(t)$ 为能量信号; $f_2(t)$ 为功率信号; $f_3(t)$ 既非能量信号又非功率信号。

1.1.5 奇异信号

如果信号函数本身具有不连续点, 或者其导数与积分有不连续点, 则称之为奇异信号。实际信号可能比较复杂, 可通过某种条件加以理想化, 用一些简单的典型信号表示。冲激信号与阶跃信号就是两种典型的奇异信号。

1.2 信号分析与处理概述

信号是信息的载体, 为了有效地获取信息以及利用信息, 必须对信号进行分析与处理。对信息的利用程度在一定意义上取决于信号的分析与处理技术。

信号分析最直接的意义在于通过解析法或测试法找出不同信号的特征, 从而了解其特性, 掌握它随时间或频率变化的规律。因而, 可以通过信号分析, 将一个复杂信号分解成若干简单信号分量之和, 或者用有限的一组参量去表示一个波形复杂的信号, 从分量的组成情况或有限的参量去考察信号的特性; 另一方面, 信号分析是获取信号源(主要指被研究的系统)特征信息的重要手段, 人们往往可以通过对信号特征的详细了解, 得到信号源特性、运行情况甚至故障等信息, 这也是故障分析和故障诊断的基础。

信号处理是一个通过对信号的加工和变换把一个信号变换成另一个信号的过程。例如采用一定的手段去除原始信号中混杂噪声的过程就是最基本的信号处理过程。因此, 也可以把信号处理理解为为了特定的目的, 通过一定的手段改造信号的过程。

信号的分析 and 处理是互相关联的两个方面, 它们的侧重面不同, 采取的手段也不同。但是它们又是密不可分的, 只有通过信号的分析, 充分了解信号的特性, 才能有效地对它进行处理和加工, 可见信号分析是信号处理的基础。另一方面, 通过对信号的一定加工和变换, 可以突出信号的特征, 便于有效地认识信号的特性。从这一意义上说, 信号处理又可认为是信号分析的手段。但是, 认识信号也好, 改造信号也好, 共同的目的都是为了充分地从信号中获取

有用信息并实现对这些信息的有效利用。例如，在通信领域中实现可靠、经济和快速的信息传输交换。

信息时代的到来使信息科学渗透到社会活动、生产活动甚至日常生活的各个方面。作为信息科学的基础——信号分析与处理原理及技术已经广泛地应用于通信、自动控制、生物医学、遥感遥测、语言处理、图像处理、故障诊断、振动学、地震学、气象学等各种科学技术领域，成为各门学科发展的技术基础和有力工具。

按对信号处理方法的不同，可分为模拟处理系统和数字处理系统两类。

1.2.1 模拟信号处理

模拟信号处理系统输入模拟信号，通过由模拟元件及模拟电路构成的模拟系统加以处理，输出的仍然是模拟信号，其基本形式如图 1.3 所示。常用的模拟滤波器是模拟信号处理系统最典型的例子。

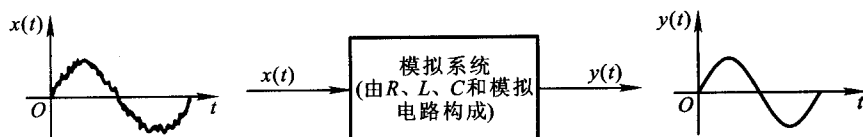


图 1.3 模拟信号处理系统框图

1.2.2 数字信号处理

数字信号处理是 20 世纪 60 年代以后发展起来的技术，它依赖于大规模集成电路和数字处理算法的发展，其核心是用数字计算机的运算功能代替模拟电路装置，达到信号加工变换的目的。图 1.4 表示了数字信号处理系统的基本结构，系统首先通过模 - 数(A/D)转换实现连续时间信号离散化并把原始模拟信号转换成数字信号，当然，如果原始信号是离散时间信号，只要经过量化过程就能成为数字信号。数字系统是通用数字计算机或者专用数字硬件构成的系统，它按给定的处理程序对数字信号进行运算处理，处理结果是数字形式的。在一些情况下，这些数字结果就能满足分析的要求，直接可用；在另一些情况下，可将数字输出经过数 - 模(D/A)转换得到模拟输出。

数字信号处理系统以数学运算的形式对信号实现分析和处理，摒弃了传统的模拟处理的形式，因而具有处理功能强、精度高、灵活性大、稳定性好等突出优点，随着大规模集成电路技术的不断发展，处理的实时性也不断得到提高。可以说，数字信号处理是信号处理的主要内容，对一些复杂的信号处理任务更是如此。