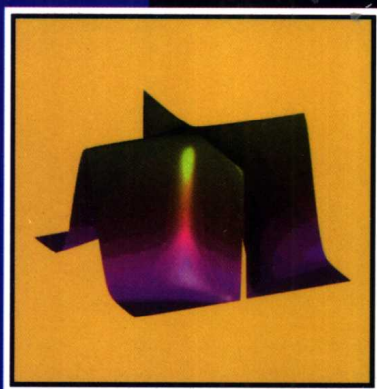


THOMSON
LEARNING™
汤姆森学习出版集团



BookWare 系列丛书



数 字 信 号 处 理

► 使用 MATLAB®

[美] 维纳·K·恩格尔
约翰·G·普罗克斯

刘树棠 译

西安交通大学出版社

THOMSON
LEARNING
汤姆森学习出版集团

 Book Ware 系列丛书

数字信号处理
——使用 MATLAB[®]
Digital Signal Processing
Using MATLAB[®]

[美] 维纳·K·恩格尔
约翰·G·普罗克斯

刘树棠 译



西安交通大学出版社
Xi'an Jiaotong University Press

内 容 提 要

本书系 Brooks/Cole 出版公司(Thomson Learning 出版集团的下属子公司)2000 年推出的 BookWare 系列丛书(BookWare Companion Series™)之一种。该书提供了利用 MATLAB® 的普及型学生版本在计算机上解决“数字信号处理”这门课程中涉及到的基本问题的分析思路、方法、MATLAB 脚本和大量的例题,以及供学生自主学习研讨的习题。全书内容分为 10 章,前 8 章为基本内容,分别是:离散时间信号与系统、离散时间傅里叶分析、z 变换、离散傅里叶变换、数字滤波器结构及 FIR/IIR 滤波器设计等。最后两章着眼在应用,并有 10 多个大型作业。

本书适合于一切从事数字信号处理课程教学、学习和实际工作的教师,以及学生和工程技术人员参考使用。

First published by Brooks/Cole, a division of Thomson Learning.

All Rights Reserved.

Authorized Translation/Adaptation of the edition by Thomson Learning and XJUP. No part of this book may be reproduced in any form without the express written permission of Thomson Learning and XJUP.

(*Digital Signal Processing: Using MATLAB/Vinay K. Ingle & John G. Proakis*)

本书中文简体字版由美国 Thomson Learning 出版集团授权西安交通大学出版社出版发行,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制和抄袭本书的任何部分。

版权所有,翻印必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理:使用 MATLAB/(美)恩格尔(Ingle, V. K.),
(美)普罗克斯(Proakis, J. G.)著;刘树棠译. —西安:西安交通大学出版社,2002.6
(BookWare 系列丛书)

书名原文:Digital Signal Processing Using MATLAB
ISBN 7-5605-1517-7

I. 数… II. ①恩… ②普… ③刘… III. 数字信号—信号处理—计算机辅助计算—软件包, MATLAB
IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 038268 号

西安交通大学出版社出版发行
(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)
陕西宝石兰印务有限责任公司印装
各地新华书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:25.625 字数:469 千字
2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷
印数:0001~5 000 定价:38.00 元
陕版出图字:25-2002-077 号

发行科电话:(029)2668357,2667874

中译本出版者的话

Brooks/ Cole 出版公司(Thomson Learning 出版集团的下属子公司)于 2000 年推出的系列丛书 BookWare Companion Series,大致涵盖的都是电子信息和电气工程类大学本科的主干课程。参加这套丛书编撰工作的大多是一些目前仍活跃在教学第一线的知名教授。组织出版这套丛书的初衷和每一位作者的想法可在“出版者的话”和每本书的作者“前言”中略见其详,这里不再赘述。

概括起来,原丛书出版者的意图大致有二:一是探讨如何将基于计算机的学习工具融于教学;二是给学生提供另外的学习空间,让他们能自主学习。总的目的就是要让学生积极主动地学习,这样会学得更好。由于课程性质和每位作者的想法有些差异,每本书在具体构成方式上会各有不同,但综合来看,这套丛书具有如下特点:

- 不求过细,而强调内容的系统性并注重相互联系。提纲挈领,注意总结,联系实际。因此,一般来说最好用作辅助性教材。

- 用“解答题”、“例题”、“强化题”、“探究题”等这些目的各异的题来演绎和深化概念,联系实际,并在重要概念的深度和广度上作适当延伸。这比“硬灌”会收到更好的效果。

- 全部题都有答案(或题解),如有必要均配有相应的 MATLAB 脚本,便于学生在学习中及时获得反馈。

- 丰富的 MATLAB 脚本资源和可随时进入的在线网站为广大读者提供了很大的学习空间。使他们的精力不再耗在编程上,而在探究上;他们可以利用这些脚本资源做他们想做的事;他们可以在计算机仿真上得到初步训练和更大的领悟,并为他们的创新意识和才能的发挥提供无限的空间。

根据我国当前高等学校的具体情况,我们组织出版这套丛书的中译本大致有如下几点考虑:

- 近几年来经国家和各级政府的重点建设和投资,高等学校的计算机硬件条件大为改善, MATLAB 软件已较为普及,有的学校已将宽带接入因特网联到学生宿舍,个人拥有一台 PC 机已不再稀罕,这都为使用这套丛书准备了必要的硬件和软件环境。

- 以 CAI 开始的教学手段现代化改革已持续了十多年,当今多媒体教学、

电子教材、网络大学和网络课程等发展势头方兴未艾,其核心问题就是如何有效地利用计算机作为辅助教学工具,改进教学方法。这套丛书提供了一种可供大家借鉴的方式。

- 减少课内学时,精简内容,重组课程体系就是为了给学生留下更多的空间让他们自主学习。这套丛书为他们提供了这方面的素材。

- MATLAB 是一种集成度很高的语言,由于其功能强,使用方便和适用的计算机平台宽而被大家所接受,已在教学、科研和工程实际中广泛采用。这套丛书为学生熟悉、掌握和熟练应用 MATLAB 提供了一个载体,丛书中所给出的各种 MATLAB 脚本和仿真软件是科学研究工作者和工程实践人员不可多得的宝贵资源。

- 对于非全日制大学的那些成人教育、继续教育和自学考试的学生来说,这也是一套很有参考价值的辅助教材。

我社早在 20 世纪 80 年代中期就组织翻译出版了一套“外国教材精选”系列丛书,90 年代又陆续推出了《信号与系统》、《离散时间信号处理》等多本很有影响的外国优秀教材的中译本。这些都取得了良好的经济效益和社会效益。当前在国家教育主管部门正大力倡导在计算机等信息学科积极引进并直接采用外国优秀教材进行教学的时候,我们将一如既往,争取在较短的时间内将这套丛书的中译本奉献给大家。我们感谢广大读者过去对我社组织翻译出版的外国教材的青睐,并继续期望得到你们的支持。如有任何建议和要求,请与我们联系。E-mail: Shadwell.qin@163.com 或 Lp-zhao@sohu.com

西安交通大学出版社

2001.8

译者的话

有关“数字信号处理”内容的书国内已有一些(包括国外教材的中译本),本书是基于以 MATLAB 为分析工具的背景下写的。这方面所具备的特点在“中译本出版者的话”中均已提到。除此之外,译者认为还应提及它的某些独到方面。首先,本书取材精练,内容组织简明,充分体现作者以最基本的问题为主的思想,在本科的层面上这些内容比较合适。其次,本书无论在基本问题的阐明,或是在具体设计问题中都避开了过多繁杂的数学过程,非常突出问题的实质和来龙去脉,以及内含的基本概念。因此,非常适合于非电子信息类出身而又从事数字信号处理工作的各类人员参考。这当然主要是得益于 MATLAB 工具,使得各种概念的演绎、设计方案和参数的变更都变得易如反掌。最后,本书所开发并提供的大量用于分析和设计的 MATLAB 函数、脚本和程序是一笔非常珍贵的资源,可供广大教师、学生和各类工程人员采纳。

译者在本书的翻译过程中发现,原书成就可能比较仓促,文中疏漏、笔误甚至错误之处不少,译者都尽力作了更正。但是,特别要提及的是,近来已有读者来函反映前面已出版的该套丛书中所提供的 MATLAB 脚本和程序中的一些问题。应该说明的是,为了确保原书中这些脚本和程序的原样,一律采用扫描方式排版。因此,如果原脚本或程序仍有这样或那样的问题,我要诚恳而抱歉地表示:译者对此既无精力,也无能力一一堪正它们。希望读者在使用时倍加小心,并请求给予谅解。如确实发现有问題,欢迎告诉我们。

再次感谢白居易、赵丽萍二位编审的出色工作,他(她)们为这套丛书的出版劳力劳心,功不可没。永远感谢夫人的支持和关心。谢谢!

译文不妥之处,敬请批评指正。

刘树棠

2002.3.16

于西安交通大学

出版者的话

——关于这套丛书

计算的目的在于它的内涵,而不在数字。

—— R. W. 海明(Hamming), 选自《面向工程师和科学家的数值方法》(Numerical Methods for Engineers and Scientists, McGraw-Hill, Inc.)

正是由于心灵的驱使,我们才推出了这套“BookWare 系列丛书”(BookWare Companion SeriesTM)。

新技术和现代方法正日益融入业已浓缩并具有重要理论的课程,因此,很多教师现在要问:“我们只是将这些最新技术教授给学生呢?还是教会他们如何推理?”我们深信,这两方面不应互相排斥。事实上,本丛书就是基于这样的信念:计算机求解和基本理论是能够互补的。应用恰当,计算结果可以阐明理论,并帮助学生以各种富有意义的方式进行思考、分析和推理。它也能够帮助学生理解新的信息和现有知识之间的关系和联系,以及培养他们解决问题的技巧、感性认识和积极主动思考的能力。为此使命,这套“BookWare 系列丛书”便应运而生了。

具体地说,本丛书是专为这样的教师——他们想要把计算机辅助学习融合到课程之中去——而编写的;也是为想比仅从教科书中学到更多知识的学生编写的。教师可以从中发现,功能很强的软件工具是支撑他们课程活动的各种手段,而不会限制他们的应用。学生会发现,可以迅速获得各种相关的习题和例题,并具有电子接入方法。对教师和学生来说均为重要的是这套丛书基于这样的前提:如果学生积极主动学习,他们会学得更好。“BookWare 系列丛书”定会受到学生的青睐,为他们提供一种对现实问题的感受,展示解决实际问题的清晰方法,并在理解和应用这些方法上挑战自我。

为了更好地满足你的需要,我们将继续寻找使这套丛书日臻完善的方法。为达此目的,请加入到我们的“BookWare Companion Resource Center”中来,我中心的网址是:<http://www.brookscole.com/engineering/bookware>^①。

① 译者注:原书提供的网址是 <http://www.brookscole.com/engineering/ee/bookware.html>。

你推荐的方法都会使这套丛书更加令人满意,在课堂教学中与同仁们分享你如何使用技术的见解,为下一版提出具体的习题或例题,或者将你的想法告诉我们。务请不吝赐教。

我们恭候你的回音,谢谢你的持续不断地支持。

Bill Stenquist	出版人	<i>bill.stenquist@brookscote.com</i>
Heather Woods	责任编辑	<i>heather.woods@brookscote.com</i>
Nathan Wilbur	市场经理	<i>nathan.wilbur@brookscote.com</i>
Christina DeVeto	市场助理	<i>christina.deveto@brookscote.com</i>

前 言

从 20 世纪 80 年代初开始,我们就目睹了一场在计算机技术上的革命和面向用户应用方面的激增。今天,这场革命仍然以价廉的个人计算机系统为主角在继续着,而这些个人计算机系统已经能够与昂贵的工作站性能相匹敌。这一专门技术应该对教育过程施加影响,特别是在能够导致增强学习的有效教学方法方面更是如此。在数字信号处理(DSP)方面的这本参考书就属于朝此目的而作出的一份小小贡献。

过去几年来,在信号处理方面的教学方法已经从单一的“课堂授课”方式向一种更为完整的“课堂——实验室”环境转变,在那里一些实际的、亲自经历的题目采用 DSP 硬件进行教学。然而,对于更有效地对 DSP 进行教学,课堂讲授这一部分也必须广泛使用基于计算机为手段的讲解、举例和作练习。近几年来,由 The Math Works, Inc. 开发的 MATLAB 软件在信号处理范畴内的数值计算和对于算法建立方面的一种选择平台已经确立了它自己事实上的标准。对于利用这一开发成果虽有多种理由,但其中一个最为重要的理由是,在实际上所有的计算平台上, MATLAB 都是可资利用的。几年来, MATLAB 的专业版本(Professional Version of MATLAB)是在市面上可以买到的仅有版本。学生版本(Student Edition)的出现使得在课堂内使用 MATLAB 成为可能。近来在 DSP 方面已经出现了若干教科书都一般提供了利用 MATLAB 完成的练习。然而,对学生(或在 DSP 方面有感兴趣的实际工程师们)来说,还没有一本参考书告诉他们如何在 DSP 方面有效地使用 MATLAB。在这本书里,我们就想将 MATLAB 与 DSP 中的传统论题结合在一起,以使得能够应用 MATLAB 来阐明一些难点并解题,从而获得更多的领悟。在 DSP 中,很多习题或设计算法都要求大量的计算,正是这样, MATLAB 提供了一种方便的工具使得很多方案都能很容易地试一试。这样一种方式可以增进学习过程。

本书意图

本书主要是用作大学本科生二、三年级的 DSP 课程的一本补充读物。假设学生(或用户)已经熟悉 MATLAB 的基础知识。由于有几本有关 MATLAB 方面的辅导性教材或参考指南都可资利用,所以这些内容本书未予包括。相类似地,由于在 DSP 方面有许多优秀的教科书可以利用,所以本书也不是作为一本

DSP 教科书来写的。我们想要做的就是提供足够深度的由 MATLAB 函数和例题所支持的材料,以使得所展现的是连贯的、合乎逻辑的、并享受到其中乐趣的内容。因此,本书也可用作任何有志于 DSP 工作的人的自学指导书。

本书组成

本书前 8 章讨论的内容覆盖了一般 DSP 课程中的传统材料,最后两章是重点放在基于 MATLAB 作业性质的 DSP 应用给出的。下面是各章目录及其内容介绍:

- 第 1 章 绪论:**本章向读者介绍有关信号处理学科,并讨论 DSP 优于模拟信号处理之处,同时也对 MATLAB 作点简单介绍。
- 第 2 章 离散时间信号与系统:**本章对离散时间信号与系统在时域特性给予简单复习,并适当利用 MATLAB 函数给出演示。
- 第 3 章 离散时间傅里叶分析:**本章讨论离散时间信号与系统在频域的表达。采样以及模拟信号重建也要给出。
- 第 4 章 z 变换:**本章给出信号与系统在复频域内的描述,引进 MATLAB 来分析 z 变换和计算 z 反变换。利用 z 变换和 MATLAB 的差分方程的解都要给出。
- 第 5 章 离散傅里叶变换:**本章专门讨论傅里叶变换的计算和它的高效实现。用离散时间傅里叶级数来引入离散傅里叶变换,并用 MATLAB 来演示它的几个性质。有关快速卷积和快速傅里叶变换的专题都要做详细讨论。
- 第 6 章 数字滤波器结构:**本章讨论数字滤波器实现的几种结构,为这些结构的确定和实现,要建立几个有用的 MATLAB 函数。格型和梯形滤波器也将介绍并作讨论。
- 第 7 章 FIR 滤波器设计:**这一章和下一章要介绍数字滤波器设计方面的几个重要专题。FIR 滤波器的三种重要设计技术,即:窗口法设计、频率采样法设计和等波纹滤波器设计都要作讨论。利用 MATLAB 给出几个设计例子。
- 第 8 章 IIR 滤波器设计:**本章包括 IIR 滤波器设计的各种技术。从模拟滤波器设计开始,再介绍诸如滤波器变换和滤波器频带变换几个专题,并再次用 MATLAB 给出几个设计例子。
- 第 9 章 在自适应滤波中的应用:**这一章是关于利用 MATLAB 做大作业的两章之一,包括自适应 FIR 滤波器理论和实现方面的介绍,并结合在系统辨识、干扰抑制、窄带频率增强和自适应均衡等方面的课题作业。

第 10 章 在通信系统中的应用:这一章集中在处理波形表示和编码,以及数字通信系统中的几个课题作业,其中包括脉冲编码调制(PCM)、差分 PCM(DPCM)和自适应 DPCM(ADPCM)、增量调制(DM)和自适应 DM(ADM)、线性预测编码(LPC)、双音多频(DTMF)信号的产生和检测等介绍,以及信号检测在二进制通信系统和扩频通信系统中应用的介绍。

关于软件方面

这本书是我们几年来为大学本科生 DSP 课程中基于 MATLAB 教学的产物。本书中所讨论的很多 MATLAB 函数都是在这门课中开发出的,这些函数从 BookWare Companion Resource Center 都能得到,其在线网址是:<http://www.brookscole.com/engineering/ee/bookware.html>。在本书的许多例子中还包含有很多 MATLAB 的脚本,这些脚本也能从 Resource Center 获得,并且都保存在每一章创建的单个目录中。另外,用 MATLAB 的做图工具产生了很多图。这些图的脚本在 figures 目录中可以得到。学生应该研究这些脚本以对 MATLAB 的过程有更深的体会。对于这些程序和脚本的任何评论、更正或给予更紧凑的编码都表示欢迎和感谢。有关题解的脚本文件在不久也将会完成以供教师使用。

有关 MATLAB 及其相关出版物的更多信息可从下列公司得到:

The MathWorks, Inc.

24 Prime Park Way

Natick, MA 01760 - 1500

Phone: (508)647 - 7000 Fax: (508)647 - 7191

Email: info @ mathworks.com

<http://www.mathworks.com>

致谢

我们十分感谢在 Northeastern University 主修 ECE - 1456 课的很多学生们,他们为我们提供了一个论坛以检测我们应用 MATLAB 的教学思想,并坚持在持续不断地突出 MATLAB 的使用上,一些高效的 MATLAB 函数就是由这些学生们开发的。我们也非常感谢本书的评阅者们,他们的建设性评注才导致一个较好的内容推出来。他们是:Abecr Alwan, University of California, Los Angeles; Steven Chin, Catholic University, 以及 Joel Trussel, North Carolina State University。我们也将谢谢所有的这些读者,他们提供了许多更正和改进,为这一版增添了不少色彩,特别是要感谢 Prof. Huai Chen of Sidian University, P. R.

China。

感谢 PWS Publishing Company 的前任编辑 Tom Robbins, 正是他首创了 BookWare Companion Series, 并鼓励支持在课堂教学中应用 MATLAB, 特别是在 DSP 课程中。对 Ms. Naomi Bullock of Mathworks, Inc. 所提供的支持表示衷心地感谢, 她总是为我们提供最新的 MATLAB 版本。最后, 要感谢 Brook/Cole 和 Bookworks 最终正式出版了这本手稿。

维纳·K·恩格尔 (Vinay K. Ingle)

约翰·G·普罗克斯 John G. Proakis

马萨诸塞州, 波士顿 Boston Massachusetts

目 录

中译本出版者的话

译者的话

出版者的话

前 言

第 1 章 绪 论

数字信号处理概述	(2)
关于 MATLAB [®]	(5)

第 2 章 离散时间信号与系统

离散时间信号	(6)
离散系统	(19)
卷积	(20)
差分方程	(27)
习题	(32)

第 3 章 离散时间傅里叶分析

离散时间傅里叶变换(DTFT)	(37)
DTFT 性质	(44)
LTI 系统的频域表示	(50)
采样和模拟信号重建	(57)
习题	(70)

第 4 章 z 变换

双边 z 变换	(76)
z 变换重要性质	(79)
z 反变换	(84)
z 域的系统表示	(90)

差分方程的解·····	(100)
习题·····	(106)
第 5 章 离散傅里叶变换	
离散傅里叶级数·····	(111)
在 z 域采样和重建·····	(118)
离散傅里叶变换·····	(122)
离散傅里叶变换性质·····	(132)
利用 DFT 的线性卷积·····	(146)
快速傅里叶变换·····	(152)
习题·····	(162)
第 6 章 数字滤波器结构	
基本单元·····	(172)
IIR 滤波器结构·····	(173)
FIR 滤波器结构·····	(186)
格型滤波器结构·····	(197)
习题·····	(207)
第 7 章 FIR 滤波器设计	
预备知识·····	(212)
线性相位 FIR 滤波器性质·····	(215)
窗口设计法·····	(230)
频率采样设计法·····	(250)
最优等波纹设计法·····	(264)
习题·····	(280)
第 8 章 IIR 滤波器设计	
某些预备知识·····	(288)
原型模拟滤波器特性·····	(290)
模拟-数字滤波器变换·····	(312)
利用 MATLAB 的低通滤波器设计·····	(330)
频带变换·····	(335)
FIR 和 IIR 滤波器比较·····	(348)
习题·····	(349)

第 9 章 在自适应滤波中的应用

用于系数调整的 LMS 算法	(358)
系统辨识或系统建模	(361)
宽带信号中的窄带干扰抑制	(362)
自适应谱线增强	(364)
自适应信道均衡器	(365)
小结	(367)

第 10 章 在通信系统中的应用

脉冲编码调制	(368)
差分 PCM(DPCM)	(371)
自适应 PCM(ADPCM)和 DPCM	(374)
增量(Δ)调制(DM)	(378)
语音的线性预测编码(LPC)	(381)
双音多频(DTMF)信号	(385)
二进制数字通信系统	(388)
扩频通信系统	(389)
小结	(391)

参考文献

第 1 章 绪论

在过去几十年中已将数字信号处理(DSP)领域发展到在理论上和技术上都是重要的地位。在工业中其成功的主要原因是由于价廉物美的软件和硬件的开发和应用。现在,在各种各样的场合新技术和应用都作好了准备要利用 DSP 算法,这一定会导致对电气工程师们具备有 DSP 方面的背景以更大的需求。因此,有必要使 DSP 成为任何电气工程课程系统中一个完整而重要的组成部分。

不太久以前,有关 DSP 方面导论性的课程主要都是在研究生的层次上给出的;并且常是在利用大型(或小型)计算机上有关滤波器设计、谱估计以及相关课目作为计算机练习而增添的。然而,在过去十多年中个人计算机和软件方面的巨大进展使得对本科生引进 DSP 课程成为可能。由于 DSP 的应用主要地是一些算法,这些算法既可以在一块 DSP 处理器[11]上实现,也能以软件形式实现,因此就需要有相当的编程工作量。现在使用像 MATLAB 这种交互式的软件就有可能把主要精力放在学习新的和难的概念上,而不放在算法的编程上。很多有趣的实际例子也可以讨论,有用的问题也能够探讨。

以这种想法为出发点,就将这本书写成一本配套的书(与像[16,19]这样的传统教科书配套使用),在这里 MATLAB 在讨论问题和概念中是一个完整的组成部分。把 MATLAB 选为主要的编程工具是由于在全国许多大学的计算平台上都可以得到它。再者, MATLAB 的学生版本也已经用过几年了;对于教学所用,已经将学生版本列入最便宜的软件中去了。我们已经将 MATLAB 当作含有几个工具(就像带有几个按键的超级计算器一类的东西)的计算和编程工具箱来对待,这样就能够用它来研究和解决问题,并藉此增强学习过程。

为了将大学本科生引入到一个 DSP 的激动人心而又富于实际的境地,将这本书写成一种比较初等的水平。要强调的是这不是一本传统意义上的教科书,而是一本配套的书;在这里更多注意力是放在利用 MATLAB 的问题解决和取得亲自经历的经验上。同样,它也不是一本在 MATLAB 方向的辅导书。我们都假定学生已经熟悉 MATLAB,并正在修某一门 DSP 的课,这样本书就为利用数字技术处理实际信号(模拟信号)提供必要的基本分析工具。在本书中讨论的绝大多数是离散时间信号与系统,并且在时域和频域都给予分析。称之为滤波器和频谱分析仪的处理结构的分析和设计是 DSP 最为重要的方面之一,并在本

书中做详细讨论。在 DSP 中许多比较高深的论题(一般都属于研究生的课程内容)本书虽不予讨论,但是希望从本书中获取的经历会让学生们以比较容易和更易理解的态度去应付那些高深的论题。

本章将对 DSP 和 MATLAB 做简要概述。

数字信号处理概述

在当今社会,我们被以各种形式的各类信号所包围。其中一些是自然的,但大多数信号是人为的。某些信号是必需的(语言),某些是让人愉悦的(音乐),而同时在某一特定环境下,很多又是不想要的或者是多余的。在工程范畴内,信号是信息的载体,既可以是有益的,也可能是不想要的。因此,从一个错综复杂的信息混合中提取或增强有用信息是信号处理的一种最为简单的形式。更一般地说,信号处理是为提取、增强、存储和传输有用信息而设计的一种运算。有益的和不需要信息之间的区分往往是主观的,也是客观的。因此,信号处理与应用场合密切相关。

信号是如何被处理的?

在实际中所遇见的信号大多为模拟信号。这些在时间和幅度上都连续变化的信号利用含有有源和无源电路元件的电网进行处理。这种途径称为模拟信号处理(ASP),例如无线电和电视接收机就属于这一类。

模拟信号: $x_a(t)$ → **模拟信号处理器** → $y_a(t)$: 模拟信号

它们也能够利用含有加法器、乘法器和逻辑元件的数字硬件或专用微处理器进行处理。然而需要将模拟信号转换成一种适合于数字硬件的某种形式,这种形式的信号称为数字信号。这种信号在时间的特定时刻取有限个数值中的一个,所以能用二进制数(或比特)来表示。这种数字信号的处理称为 DSP;用方框图的形式表示为

