

面向工程师的 数字信号处理

Digital Signal Processing: A Practitioner's Approach

[印度] K·V·伦加雷 著
R·K·马尔勒克

刘树棠 译

Kaluri V. Rangarao
Ranjan K. Mallik



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

Digital Signal Processing: A Practitioner's Approach

面向工程师的 数字信号处理

K · V · 伦加雷

Kaluri Venkata Rangarao

International Institute of information Technology
Hyderabad

[印度]

R · K · 马尔勒克

Ranjan K. Mallik

Indian Institute of Technology
New Delhi



刘树棠 译



西安交通大学出版社

Xi'an Jiaotong University Press

KALURI V. RANGARAO, RANJAN K. MALLIK
DIGITAL SIGNAL PROCESSING A PRACTITIONER'S APPROACH
Copyright © 2005 by John Wiley & Sons, Ltd.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning or otherwise, except under the terms of the Copyright, Designs and Patents Act 1988 or under the terms of a licence issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, 90 Tottenham Court Road, London W1T 4LP, UK, without the permission in writing of the Publisher. Requests to the Publisher should be addressed to the Permissions Department, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, or emailed to permreq@wiley.co.uk, or faxed to (+44) 1243 770620.

All Right Reserved. This translation published under license.

陕西省版权局著作权合同登记号:25-2006-020

图书在版编目(CIP)数据

面向工程师的数字信号处理/(印)伦加雷(Rangarao, K. V.), (印)马尔勒克(Mallik, R. K.)著;刘树棠译.
西安:西安交通大学出版社,2007.10

书名原文:Digital Singal Processing: A Practitioner's Approach

ISBN 978-7-5605-2508-2

I. 面… II. ①伦…②马…③刘… III. 数字信号-信号处理 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 132923 号

书 名	面向工程师的数字信号处理
编 者	(印度)K. V. 伦加雷 R. K. 马尔勒克
译 者	刘树棠
出版发行	西安交通大学出版社
地 址	西安市兴庆南路 10 号 交大出版大厦(邮编:710049)
电 话	(029)82668357, 82667874(发行部) (029)82668315, 82669096(总编办)
网 址	http://press.xjtu.edu.cn
电子邮件	xjtupress@163.com
印 刷	西安东江印务有限公司
字 数	180 千字
版 次	2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷
开 本	687 mm×1012 mm 1/16
印 张	14.125
印 数	0001~3000
书 号	ISBN 978-7-5605-2508-2/TN·100
定 价	28.00 元

版权所有 翻版必究

This book is dedicated to
Byrraju Ramalinga Raju, Chairman
Byrraju Rama Raju, Managing Director
K Kalyanrao, President & Chief Technology Officer
Satyam Computer Services Ltd, Hyderabad, India

关于作者

K·V·伦加雷博士现任印度 Satyam 计算机服务有限公司副总经理 (Vice President of Satyam Computer Services, Ltd, India), 负责嵌入式软件开发和电信方面的工作。在履职这个岗位之前, 他一直在数字信号处理应用、软件工程、实时系统、数字图像处理和产品开发等领域有 14 年的工作经历。他也是 IEEE 的高级会员和印度计算机学会主席。在专业期刊和会议上发表有关信号处理和软件开发方面的论文 10 余篇。

R·K·马尔勒克博士现为印度理工学院 (Indian Institute of Technology) 电气工程系副教授。从 1994 年起一直在该学院从事教学工作, 并且目前在通信理论和系统、差分方程和线性代数等领域指导研究工作。他曾在印度国防电子学研究实验室有过工业方面的经历, 已经在数字信号处理和通信理论方面发表过专业期刊和会议论文 60 余篇。

译者的话

当初选定将这本书译出的主要初衷就是看中了这本书篇幅很少而又涵盖如此丰富的内容。写一本薄的书要比写一本厚的书难度大得多。传统上,人们(包括在校大学生)都是从接触模拟系统及其分析方法开始的,而对离散时间信号与系统从概念到分析这一套都比较陌生;尤其是对已经工作多年的工程技术人员更是望而却步,而数字信号处理手段的应用又无孔不入,想回避也是回避不了的。因此,像本书作者前言中所声称的,能有这样一本书当然是求之不得的。具体的有关本书的特色读者可以先读一下该书的“序”和“作者前言”。译者仅就在翻译过程中的问题写几点看法供读者参考。

1. 本书作者实践经历非常丰富,内容的组织和叙述都非常实际,再加上篇幅又薄,因此在有些问题的提出、叙述和处理上不够严谨。其中个别地方在译文中已指出,其他的就听之任之了,以尊重原著。不过在用计算机实际实现时,这些都不是问题。如果读者在这方面的基础不够扎实的话,可能会产生误导。遇有疑惑还是查查有关参考书为好。

2. 这不是作为教材来写的,因此不像一般教科书那样读起来比较系统和连贯,少数地方作者用词也很罕见,再加之译者本人在实践经历和知识方面都很匮乏,译文也不是十分流畅,甚或有不当

之处。敬请读者谅解。

3. 本书最为珍贵的是附录中所列的大量实用程序。程序中有关注释部分因为都很简单,为保持程序的完整性而没有译出。

这本书究竟好不好读,读完之后能否达到作者所声称的期望值,这要由读者最后评判了。好在这本书很薄,售价不会太贵,又涵盖了这么多内容和大量的实用程序,不妨买一本读读也还是值得的。

在本书的翻译过程中得到西安交通大学出版社鲍媛同志的多方帮助,特表感谢。

刘树棠

2007年4月于西安交通大学

序

该序由 V. J. Sundaram 撰写。他是位于印度海得拉巴 (Hyderabad) DRDL 和 RCL 的前任所长、前 Prithvi 项目主任以及印度 DRDO 集成制导导弹开发项目 (Integrated Guided Missile Development Programme, IGMDP) 项目管理委员会的前主席。

一枚土星五号 (Saturn V) 火箭点火升空并将一个人降落在月球上, 对于航空、机械、电气和控制工程师们来说最为关注的是各种发射信号。

事隔 35 年以后, 一场海啸摧毁了圣诞节的节日气氛。地质学家和土木建筑工程师们急忙要去研究地震信号。虽然这些事件全然是不相同的, 但是信号构成和分析方法却是类似的。一名外科医生拿起他的手术刀之前要去查看一下病人的心电图。一名警察要借助于语音识别和生物统计技术去捉拿一名罪犯。循游在人体内的一个纳米机器人为了辨识人体而发射出各种信号。板球队长们要去仔细查看卫星云图以确认雷雨的征兆。由于随处可见的处理器和嵌入系统的发展, 从月球飞行到圣诞海啸, 信号处理已经跨了惊人的一大步。道·琼斯 (Dow Jones) 从来不会想像到会被一种微小的, 其时钟速度竟从 MHz 进到 GHz 的 DSP 浸入到商业世界!

伦加雷博士在诸如海军、导弹、通信、商业和教育等系统方面

都有很丰富的硬件和软件的经历,其中包括产品的全过程开发。他将目标定在力图使普通外行人明白各种不同领域的高效信号分析的基本原理,即使对同样一种运算有时也可能采用不同的术语。他指出采用 DSP 技术和 MATLAB 的协同仿真如何来缩短设计周期,以更快满足产品的市场需求而又不牺牲产品质量和可靠性。

写一本书的目的除了涵盖各方面的内容外,更应该是为了点燃人们渴求更多知识的心灵,伦加雷博士用他的一种实践者的途径写就的这本书达到了这一目的。

退休陆军中将 V. J. Sundaram 博士

PVSM, AVSM, VSM

海得拉巴,2005 年 4 月

前 言

有关数字信号处理的专题有很多书,但是迄今我还没有见过任何一本适合实际工程师们和初学者的书。这本书就是旨在满足那些想掌握一些基本概念并将它们实现的人们的需要的。勿需对隐藏在这些概念背后的严谨分析作出折衷,就会缓缓地将你由掌握概念带入到靠自己去实现它们。

所有学科领域的人们都在实施着数字信号处理(DSP)。历史上,地震学者们就用 DSP 进行过研究,尤其是在地震预测方面。在北美洲统计学家(如 Box 和 Jenkins)曾用 DSP 研究过河流的流向,以便为商人们寻找一条方便易行的途径将木材从大山森林深处运到山脚下。

只是近来通信领域的工程师们才开始应用 DSP。甚至更近一些,DSP 已经被军事人员、空间科学家、银行家、证券经纪人、诊所医生和天文学家们所接受,其中预测太阳黑子就是一个著名的例子。在 Willsky 于 1987 年 4 月的一篇论文“Challenges to Control in Signal Processing and Communications”(Control Systems Magazing 7(2), 3-6)中提出一种有趣的观点:要将控制、通信、统计学和系统工程的概念统一起来。力荐读者去读一读这篇论文。

我是用一种典型的电气工程师的思维模式来写成这本书的,这类人总是试图要把信息转换为一种值得实现的硬件,其目的就是要使得对 DSP 的理解尽可能简单,以及让初学者和内行一样对该书读得下去。印度伟大的天才和学者 Annamayya 习惯于将所有复杂的哲理都揉进简单易懂的语言让常人能够接受,我已将此选作我的一种行为规范。本书各章都是自成一体的,并可以单独去读它。

这本书是在这个专题方面对各种不同的听众所作的若干讲座的一种简编本,其间涉及到在 Visakapatnam(维萨卡帕南,印度东部港市)Naval Laboratories(海军实验室)的 10 年,在加利福尼亚 Narel Postgraduate School(海军研究生院)的 2 年,在海得拉巴 Electronics Research Laboratory(电子学研究实验室)的 5 年,在 Research Center Imarat 的 5 年,在海得拉巴的 Satyam Computer Services Ltd. 5 年的工业界经历,以及在海得拉巴的 Begumpet 的 General Electric 的 1 年。

多年来通过与同事、专业同行以及著名人士的深入讨论与交流,这本书一再经过锤炼。我的硕士研究生经常由于他们的论文而来找我给予指导,我也受益匪浅,应有他们一份贡献。

许多午餐和吃茶点时间的讨论丰富了我在这领域的视野。这些经历给我留下了不可磨灭的印象,他们所给予我的是如此的丰厚以至于感到要写成这本书已成为我的职责。在我有限的智慧与理解的范围内,结合我自己的经历,用自己的语言把已经学到的东西传递给他们。

本书共分 6 章。第 1 章介绍数字信号处理。第 2 章再回到理解 DSP 的一些基础内容。第 3 章是关于数字滤波器。第 4 章着手处理快速傅里叶变换。第 5 章给出各种实现的硬件方案,并且考

虑一下嵌入系统；这对超大规模集成(VLSI)会给出一个启示。第6章的实例对于从事实际工作的工程师们来说会提供一种某些应用的样本。

K · V · 伦加雷

致 谢

我要感谢我的妻子 Kaluri Lavanya(原名 Pragada Lavanya), 没有她的帮助我不可能写成这本书。在这个艰辛而愉悦的征途中,她妥善地应对了我的个性。当我的女儿 Kadambari 在家里完成她的 BSEE 课题时,这本书的雏形就形成了,谢谢她。我的另一个女儿 Chinni(Soujanya)用她自己挣的钱买了一台 Sony Vaio 笔记本电脑写了这本书也需要给予感谢。另外,也应谢谢在外地支持我的其他家庭成员。

在写作之初,Oruganti Gopalakrishna 已经为我这本书的写作确定了现在这个最佳时刻。感谢我的学生 Anurag 为本书作了校对,而 Rear Admiral Mohan 作为最后润色为本书作了技术性检查。该书的启蒙要追溯到 Agilent US 的 U. M. S. Murty 博士,他当时要我为他周围的人做有关数字信号处理方面的几个讲座;为此我应谢谢他。谢谢 Iyyanki Muralikrishna 教授和 Maganti Bhaskar Murty 的鼓励。特别感谢陆军中将 V. J. Sundaram,我与他结交了 30 多年;他将我送入了德里印度理工学院(Indian Institute of Technology, Delhi),从而才有可能写这本书。感谢 V. U. Reddy 教授给予我的全面帮助。

当我在私营层面上有了第一份工作时,Grandhi Mallikarjunarao 先生让我购买 4TeX 软件并允许我从事我的工作。为此,我

非常感谢他。主要的动因来自那些市场营销人员——我曾一度试图要将技术卖给他们。我过去经常遇到他们,并且总在午餐或晚餐上试图给他们教点什么(当我在各处旅行时,有时是在更为正规的会议上),对于他们的驱动我必须感谢。德里印度理工学院同意我留在她的校园并将我引入到他们的圈子里。电气工程学院,特别是通信组的成员对待我就像自己人一样,对电气工程学院我要给予诚挚地感谢。感谢 Rajeve Sangal 教授的善意理解,感谢海得拉巴国际信息技术研究所(International Institute of Information Technology(IIIT), Hyderabad)的同仁们无微不至的帮助。我的学生 Pallavi, Sirisha 和 Sai 干得很出色,并且感谢 CMU 的 Vivian Lee 为我拍摄了一张打网球时的照片。

在这一专业和社会事业中,许多善良的人们以各种形式都曾给过我帮助和鼓励,都一并谢谢了!

K · V · 伦加雷

目 录

第 1 章 信号处理

1.1 本书组成	(2)
1.2 信号分类	(2)
1.2.1 频谱域	(2)
1.2.2 随机信号	(5)
1.2.3 周期信号	(6)
1.3 变换	(6)
1.3.1 拉普拉斯变换与傅里叶变换	(6)
1.3.2 z 变换与离散傅里叶变换	(7)
1.3.3 注释	(8)
1.4 信号特征	(9)
1.4.1 非参量谱或傅里叶谱	(9)
1.4.2 参量表示	(10)
1.5 模拟信号到数字信号转换	(12)
1.5.1 加窗	(13)
1.5.2 采样	(13)
1.5.3 量化	(15)
1.5.4 噪声功率	(16)
1.6 通过计算引擎看信号	(17)
1.6.1 问题的缓解	(17)
1.6.2 转换器剖析	(17)

1.6.3 归一化频率的必要性	(18)
1.6.4 采样之前的提醒	(19)
1.7 只不过是一堆数字	(19)
1.7.1 数值方法	(20)
1.8 小结	(21)
参考文献	(21)

第2章 重温基础知识

2.1 线性	(23)
2.1.1 线性系统	(24)
2.1.2 正弦输入	(25)
2.1.3 稳定性	(25)
2.1.4 移位不变性	(25)
2.1.5 单位脉冲响应	(26)
2.1.6 将 h_k 分解	(28)
2.2 线性系统表示	(29)
2.2.1 从连续到离散	(29)
2.2.2 名词术语	(30)
2.2.3 差分方程	(30)
2.2.4 传递函数	(31)
2.2.5 零极点表示	(32)
2.2.6 从连续域到离散域	(32)
2.2.7 状态空间表示	(33)
2.2.8 线性差分方程的解	(35)
2.3 随机变量	(35)
2.3.1 随机变量函数	(36)
2.3.2 系统可靠性	(37)
2.4 噪声	(38)

2.4.1 噪声产生	(39)
2.4.2 傅里叶变换和噪声的 pdf	(39)
2.5 在线性系统中噪声的传播	(40)
2.5.1 被任意噪声驱动的线性系统	(41)
2.6 多变量函数	(42)
2.6.1 二维以上的向量	(42)
2.6.2 几个变量的函数	(43)
2.6.3 方程系统	(43)
2.7 数制	(46)
2.7.1 数的表示法	(46)
2.7.2 定点数	(47)
2.7.3 浮点数	(47)
2.8 小结	(48)
参考文献	(48)

第3章 数字滤波器

3.1 如何标定一个滤波器	(52)
3.2 滑动平均滤波器	(52)
3.2.1 一条曲线下的面积	(53)
3.2.2 给定序列的均值	(53)
3.2.3 在某个固定样本数间的平均	(54)
3.2.4 线性相位滤波器	(55)
3.2.5 具有复系数的 MA 滤波器	(56)
3.3 无限长序列发生器	(59)
3.3.1 数字计数器	(59)
3.3.2 噪声序列	(59)
3.3.3 数值控制振荡器	(60)
3.4 单位增益窄带滤波器	(60)