

国外电子与通信教材系列

实时信号处理

——信号处理系统的设计与实现

Real-Time Signal Processing:

Design and Implementation of Signal Processing Systems

[美] John G. Ackenhusen 著

李玉柏 杨乐李 征 等译

彭启琮 审校

PH
PTR



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

www.phei.com.cn

国外电子与通信教材系列

实时信号处理

——信号处理系统的设计与实现

Real-Time Signal Processing :
Design and Implementation of Signal Processing Systems

[美] John G. Ackenhusen 著

李玉柏 杨 乐 李 征 等译

彭启琮 审校

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

随着信号处理领域理论和技术的发展,其研究成果越来越多地应用于各种解决方案中,将算法、硬件、软件集成到一个系统里。这样的系统不但要求能实时地计算出结果,而且往往对体积和功耗有一定的限制。

本书是一本广泛涉及实时实现技术的专著。本书给出了实时信号处理的基本概念;从时序逻辑电路和组合逻辑电路的简单定义开始,给出了处理器的定义和可编程数字信号处理器(DSP)的功能;讨论了信号处理系统设计中必然涉及的一系列折衷;介绍了解决实时信号处理问题的软件和硬件的各种要素,以及系统的生命周期工程等问题。

本书的读者对象是从事实时信号处理的工程师和涉及信号处理问题的研究生和高年级本科生。

Simplified Chinese edition Copyright © 2002 by PEARSON EDUCATION NORTH ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Real-Time Signal Processing: Design and Implementation of Signal Processing Systems by John G. Ackenhusen, Copyright © 1999.

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall PTR.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和Pearson Education培生教育出版北亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有Pearson Education培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号:图字:01-2002-1390

图书在版编目(CIP)数据

实时信号处理——信号处理系统的设计与实现 / (美)阿肯豪森(Ackenhusen, J. G.)著;李玉柏等译.
-北京:电子工业出版社,2002.7

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Real-Time Signal Processing: Design and Implementation of Signal Processing Systems

ISBN 7-5053-7666-7

I. 实... II. ①阿... ②李... III. 信号处理-实时操作系统 IV. TN911.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第045307号

责任编辑:李秦华

印刷者:北京四季青印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:20.75 字数:531千字

版 次:2002年7月第1版 2002年7月第1次印刷

定 价:31.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择和自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为作好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

- 主任** 吴佑寿 中国工程院院士、清华大学教授
- 副主任** 林金桐 北京邮电大学校长、教授、博士生导师
杨千里 总参通信部副部长、中国电子学会会士、副理事长
中国通信学会常务理事
- 委员** 林孝康 清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
徐安士 北京大学教授、博士生导师、电子学系副主任
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
樊昌信 西安电子科技大学教授、博士生导师
中国通信学会理事、IEEE 会士
程时昕 东南大学教授、博士生导师
移动通信国家重点实验室主任
郁道银 天津大学副校长、教授、博士生导师
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
阮秋琦 北方交通大学教授、博士生导师
计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长
张晓林 北京航空航天大学教授、博士生导师、电子工程系主任
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员
郑宝玉 南京邮电学院副院长、教授、博士生导师
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
朱世华 西安交通大学教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
彭启琮 电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员
徐重阳 华中科技大学教授、博士生导师、电子科学与技术系主任
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
毛军发 上海交通大学教授、博士生导师、电子信息学院副院长
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
赵尔沅 北京邮电大学教授、教材建设委员会主任
钟允若 原邮电科学研究院副院长、总工程师
刘 彩 中国通信学会副理事长、秘书长
杜振民 电子工业出版社副社长

译者序

近年来 DSP 技术得到了迅猛发展。DSP 既是 Digital Signal Processing 的缩写，也是 Digital Signal Processor 的缩写。前者是指数字信号处理的理论和方法，后者则是指用于数字信号处理的可编程微处理器。相应地，DSP 技术基于两个领域的高速发展，一是数字信号处理的理论和方法的发展，各种快速算法，如声音与图像的压缩编码、识别与鉴别、加密解密、调制解调、信道辨识与均衡、智能天线、频谱分析等算法都成为研究的热点，并在这些领域有长足的进步，为各种实时处理的应用提供了算法基础。二是随着微电子科学与技术的进步，数字信号处理器的性能迅速提高。在性能大幅度提高的同时，体积、功耗和成本却大幅度下降，以满足低成本便携式电池供电应用系统的要求。这为实时应用提供了硬件基础。

上述领域技术的发展，为实时处理和应用提供了广阔的空间。在很多科学技术领域，实时处理和应用已经成为最重要的基础技术之一。由此而带来了新的技术问题，即实时处理的实现技术。要在实现平台受到特定的处理时间、体积、成本、功耗等限制的情况下，有效地将数字信号处理算法与实时处理平台结合起来。

尽管目前已经有大量讨论数字信号处理算法和数字信号处理器的专著和教材，但是讨论实时实现技术的书籍却很少。John G. Ackenhusen 编写的《实时信号处理——信号处理系统的设计与实现》，是我们目前所见到的唯一一本将通用计算机环境下开发的数字信号处理算法在实时应用场合中实现的著作。作者把长期从事实时语音处理和图像处理的结构和算法研究的认识，以及主持一系列实时应用系统开发的经验，加以总结，呈现给读者。这些技术简单来讲，就是折衷和集成，为了使算法满足实时应用的需求，在算法、硬件、软件等多个领域内进行折衷和集成。它不针对任何特定的系统，但可以指导要实现的实时系统设计和软件移植。

从内容组织上，该书包含三个层次：一是关于实时处理的基本概念；算法复杂度；数字信号处理器的增强措施等基础知识的介绍。二是折衷思想的讨论，包括软件和硬件的空间-时间折衷、算法映射到结构、结构映射成算法、算法信息链路各阶段的信息实时提取和算法平衡等。其中列举了大量的例子说明折衷技术的运用。三是实时系统生命周期的系统工程设计。

正是该书内容的独特性和先进性，我们决定将其翻译并奉献给读者。希望能为从事实时信号处理的工程师提供帮助，也为涉及信号处理问题的研究生和高年级本科生提供学习和参考教材。

本书由李玉柏翻译，杨乐、李征、唐晓军、萧萍和钟沙拉参加了部分译校工作。彭启琮教授对全书进行了认真的审校，极大地提高了本书的质量。由于时间紧张和译者水平有限，偏差和失误之处难免，诚恳希望读者批评指正。

前 言

本书要讨论的是将一个信号处理算法从其研究时使用的通用计算环境移植到实时应用领域的方法。这个应用领域有两个基本的特征：一个是处理速度要能跟上输入，另一个是这样的处理能在一个小的而且经济可靠的系统上实现。到目前为止，本书是仅有的一本广泛涉及实时实现技术的书籍。其他的文献更加注重对某种特定技术的阐述，比如有专门讨论信号处理软件代码的；有专门讨论专用结构 VLSI 设计的；也有专门讨论实时图像处理应用的。本书将这些技术和其他的一些技术纳入一个共同的框架中，以期借助大量的方法来促进设计的优化。本书还讨论了一些普遍的问题，比如软硬件实现、时间空间的折衷、现成的元件和用户定制元件的问题等。

本书的读者对象是那些面临移植任务的信号处理工程师。这种任务要求他们将一个已经在实验室得到验证的信号处理算法移植到实时系统中。对于那些即将毕业的信号处理专业的学生们，本书也是为他们能快速地在实时信号处理领域中展开自己的工作而写的。本书也是为那些需要理解算法移植过程的研究人员写的。算法移植过程，是将研究中的算法移植到一个系统的过程，这个系统受到处理时间、系统大小和系统成本三个方面的约束。

随着信号处理领域的日趋成熟，其研究成果越来越多地应用于各种解决方案中，将算法、硬件、软件集成到一个系统上。这样的系统不但能实时地计算出结果，而且在通常情况下，还对体积和功耗有一定的限制。这样做可以将整个系统搬移到靠近输入信号源的地方（而不是将源信号传输给不能移动的大体积处理系统），而系统还必须是经济的。然而，应用系统使用的算法却是在通用计算机上开发和验证的，没有执行时间、成本、体积大小的限制。这是因为，研究开发环境的目标就是要为研究人员提供最大的灵活性和可视性。

要使一个算法满足实际应用的需求，就要在算法、硬件、软件等多个领域内应用折衷和集成技术。举例来说，通常需要同时改变算法的结构和执行算法的硬件与软件的体系结构。可以是引入更多的计算步骤，以获取计算的均匀分布，也可以是把一个算法分解到特殊的硬件结构上（可以由多个处理器组成），还可以是设计一个特殊的硬件结构，使之更适合于算法在用户硬件上的实现。从微观层次上看，必须确定算法是用硬件来实现还是用软件来实现，这就要在灵活性和速度之间进行折衷。从宏观层次上看，要降低系统在整个生命周期内的成本，是在开发、制造、维护各个阶段都采取降低成本的优化措施，还是只选择一个阶段使其成本得到优化，比如说优化开发阶段的成本。

本书阐述信号处理工程中的基本原则，以期促进这些原则的广泛应用。写这样一本书所面临的独特挑战是，不能针对任何一个特定的系统来阐述这些基本原则，但这些基本原则又是建立在这些实际中已经实现的系统上。与那些数字信号处理算法基础相比，数字信号处理的实现不像前者那样，是任何一个信号处理解决方案的起点，而是处在设计周期的后期。本书的目标就是从实现的特例中提取出这些基本原则，然后通过它们在各种系统实现中的应用来加以讨论。

本书的第1章给出了实时信号处理的基本概念。首先给出实时处理的定义，然后讨论实时处理的要求以及对每个采样点集的处理所施加的限制。最后，还讨论了近似信号处理，以便在有限的计算时间内，获得一个最优的近似结果，还可以对近似结果做进一步的修正。

第2章从时序逻辑电路和组合逻辑电路的简单定义开始，给出了处理器的定义。进而讨论通用微处理器，然后又讨论可编程数字信号处理器及其在通用微处理器基础上的增强措施。这一章的最

后,还讨论了信号处理方案的实施,其中着重讨论了可编程数字信号处理器的功能,并引出对专用信号处理体系结构设计的讨论。

因为给定的一组系统需求,可以用不同的方式来达到,信号处理系统的设计也就涉及在多个领域的一系列折衷。第3章分析必须要做的一些折衷,从性能的系统化分析开始。讨论了算法的复杂度以及在硬件和软件实现之间的折衷。第4章将折衷的讨论从一般性推向专门化,确认空间和时间交换的中心概念,并将这个概念应用到软件和硬件的空间-时间折衷。

算法和结构间的映射,是信号处理系统设计的主要目的。第5章讨论将算法映射到结构和将结构映射到算法的基本概念。第6章给出了一些专门的例子,包括单处理器和多处理器的计算结构,以及要求局部和全局通信的算法。详细例子包括单处理器和多处理器的二维卷积、语音的线性预测编码、图像滤波以及合成孔径雷达的图像格式。

第7章至第10章,包括了对于解决实时信号处理问题很有用处的一些软件和硬件的计算要素。这个工具箱包括基本的硬件和软件结构,例如在许多信号处理应用中,都要用到的总线和地址计算方法。在第7章中,建立了这些通用的结构成分之后,以下的几章就沿着信息提取链的各个阶段进行讨论。这是从大量的数据中提取有用信息的信号处理的共同任务。在第8章中,讨论傅里叶变换和小波变换等前沿信号分析技术。第9章在信号分析的基础上,关注信号压缩的硬件和软件结构。信号一旦进行了分析和压缩,其内涵信息就可以和其他的信号进行比较。这种比较就是信号识别应用的基础。第10章讨论信号压缩系统的训练和识别操作的计算要素。

第11章讨论生命周期系统工程问题。对于信号处理系统来说,这是很重要的。在大批量产品工程化的情况下,产品的生命周期成本是非常重要的因素。本章从系统设计过程的步骤开始,讨论系统工程的过程。各步骤的顺序是,需求设计、硬件设计、软件设计以及系统集成和测试。最后,个案研究了信号处理系统的设计。考察了用于图像识别的实时处理器的设计。本书前面讨论过的各种问题,包括系统工程折衷、特殊的处理结构、系统设计过程的各个阶段等,都在实际的设计举例里得到了应用。

致谢

写这样一本书的想法始于1984年,那时作者正在AT&T贝尔实验室,现在的朗讯科技贝尔实验室工作,设计实时语音处理的计算机系统和算法。Larry Rabiner博士邀请作者写一篇关于实时语音处理的论文,使作者开始思考实时信号处理的基本原则。在长期的工作中,作者与Ronald Crochiere的讨论,帮助作者改进了本书中的一些概念。那些讨论对后来成为了本书提纲的原始框架的建立,也很有价值。

在作者担任AT&T贝尔实验室信号处理系统工程部部长期间,参与了系统工程的整个流程,为美国海军开发增强型模块化信号处理器(现在已成为产品,编号为AN/UYS-2)。从Caryl Pettijohn, Mary Albright, David Long, David Marr, Jerry Mulyk和Bill Robinson那里,作者获得了大规模系统工程和生产设计方面的技巧。后来的一段时间里,作者在密西根环境研究院(现在是ERIM国际集团)的工作,使作者接触到了实时图像处理的结构和算法。必须提及Ron Carpinella博士, John Gorman博士, Quentin Holmes博士, Bob Lougheed, David McCubbrey, Paul Mohan, Jeremy Salinger博士, Ron Swonger, Nikola Subotic博士, Gregory Warhola博士,他们对我在研究院的工作有重要的影响。

在1995年作者组织的IEEE声学、语音和信号处理年会(ICASSP)上,实时信号处理技术首次成为一个专门部分。这次会议的内容后来扩展成为VLSI信号处理期刊一期特刊的主题。在ICASSP

1996年年会上和EMIR国际集团内部,这个主题的一些细节被编辑为一本导论。导论的素材就成为本书的基础。1997年,IEEE信号处理系统设计和实现委员会(DISPS)所属IEEE信号处理系统设计和实现研究小组,同意将这个正在发展的领域的一些令人感兴趣的最新课题包括进去。IEEE的信号处理协会和DISPS委员会,都对本书做出了很大的贡献。麻省理工学院(MIT)林肯实验室的Dan Dudgeon博士对本书的初稿给予了中肯的评价,极大地提高了本书的质量。书中所有的错误和缺点都是作者自己造成的。感谢Prentice Hall公司的Bernard Goodwin和Karen Gettman对作者的指导和帮助,感谢Patty Donovan和Pine Tree Composition所做的校对工作,没有他们,作者不可能将一个15年的梦想变成现实。

目 录

第 1 章 实时的概念	1
1.1 实时的定义	1
1.2 进程的结构	4
1.2.1 数据流处理	4
1.2.2 块处理	6
1.2.3 矢量处理	12
1.3 近似处理	14
1.3.1 增量处理和基于门限的处理	14
1.3.2 应用实例：短时傅里叶变换 (STFT)	14
参考文献	18
第 2 章 处理器	19
2.1 处理器的定义	19
2.1.1 数字的二进制表示	19
2.1.2 组合逻辑	21
2.1.3 时序逻辑	23
2.2 通用处理器	26
2.2.1 概述	27
2.2.2 设计实例：Intel 8086 微处理器	29
2.2.3 Intel x86 系列微处理器	32
2.3 数字信号处理器	37
2.3.1 数字信号处理算法对处理器的结构要求	37
2.3.2 用于数字信号处理的增强型微处理器	38
2.3.3 通用数字信号处理器的结构	40
2.3.4 各级数据通道	40
2.3.5 典型的数字信号处理器	42
2.4 专用处理器	45
2.4.1 动机	45
2.4.2 集成电路的设计和制造工艺概述	47
2.4.3 集成电路技术	50
2.4.4 集成电路的经济考虑	50
2.4.5 专用处理器的发展趋势和相应的算法	52
参考文献	54

第 3 章 折衷设计	55
3.1 折衷研究	55
3.1.1 折衷的类型	55
3.1.2 标准折衷的研究	55
3.2 算法的复杂度	57
3.2.1 吞吐量	58
3.2.2 数据取值范围和精度	58
3.2.3 多周期指令	59
3.2.4 依赖于数据的运算	59
3.2.5 数据的有效时间和优先级	60
3.2.6 全局通信和局部通信	61
3.2.7 数据寻址的随机性	62
3.2.8 运算的多样性	63
3.3 软件-硬件折衷	64
3.3.1 控制类型	64
3.3.2 软件/硬件折衷举例: 乘法器	66
3.3.3 红外处理器的软件实现和硬件实现	69
3.3.4 小结	70
参考文献	71
第 4 章 空间-时间折衷	72
4.1 软件的空间-时间折衷	72
4.1.1 空间-时间折衷	73
4.1.2 算法的开发和编程语言	74
4.1.3 软件体系	78
4.1.4 软件结构	79
4.1.5 程序的信息量	80
4.1.6 最新技术	83
4.2 硬件的空间-时间折衷	85
4.2.1 多处理器系统的特点	88
4.2.2 处理器间的通信	94
4.2.3 多处理器系统的控制	96
4.2.4 多处理器系统举例	98
参考文献	101
第 5 章 算法-体系结构的映射原理	103
5.1 概述	103
5.1.1 算法的描述和分解	103
5.1.2 体系结构的描述和分解	104
5.1.3 映射	105

5.2	进程和程序	106
5.2.1	完全映射过程	106
5.2.2	一个映射进程	106
5.3	工具与技术	109
5.3.1	算法的简化	109
5.3.2	分解	109
5.3.3	数据流图的改进	111
5.3.4	预编译优化	120
5.3.5	选择并优化处理器规模	122
5.3.6	通信设计	122
5.3.7	常用的整数编程方法	124
	参考文献	125
第6章	算法与体系结构的映射举例	127
6.1	结构和算法的基本描述	127
6.2	单处理器的二维卷积运算	128
6.3	多处理器的二维卷积运算	130
6.3.1	分段卷积运算	131
6.3.2	包含的结构细节	132
6.4	语音的线性预测编码	134
6.4.1	算法描述	134
6.4.2	程序交织降低数据率	136
6.4.3	实现迭代独立	139
6.5	把二维滤波器映射到多处理器上	142
6.5.1	状态空间表示	143
6.5.2	有序图方法	146
6.6	合成孔径雷达的成像	149
6.6.1	应用系统的描述	150
6.6.2	静态描述	153
6.6.3	处理结构	155
6.6.4	动态描述	158
6.6.5	资源需求	162
6.6.6	映射到专门的结构	166
	参考文献	169
第7章	基本硬件和软件计算单元	170
7.1	概论	170
7.2	基本单元	170
7.2.1	超越函数	170
7.2.2	优选总线与互联	173

7.2.3	专用缓冲器及其结构	179
7.2.4	处理依赖于数据的结构	181
	参考文献	182
第8章	信号分析单元	183
8.1	背景	183
8.1.1	内积	183
8.1.2	将信号分解成基本函数	184
8.1.3	时频分解——短时傅里叶变换	185
8.1.4	时频分解——小波变换	186
8.2	傅里叶变换	187
8.2.1	离散傅里叶变换 (DFT)	187
8.2.2	快速傅里叶变换 (FFT)	187
8.3	小波变换	190
8.3.1	连续小波变换与离散小波变换	190
8.3.2	计算 DWT 的结构	192
8.3.3	计算 CWT 的结构	198
8.4	线性预测编码 (LPC, Linear Predictive Coding)	201
8.4.1	方程式	201
8.4.2	格形法	202
	参考文献	204
第9章	信号压缩单元	205
9.1	语音编码	205
9.1.1	波形编码器	205
9.1.2	声码器	208
9.2	矢量量化	212
9.2.1	矢量编码 / 解码	213
9.2.2	码本的生成	215
9.3	图像压缩	216
9.3.1	单帧编码法	217
9.3.2	运动图像编码	222
	参考文献	227
第10章	信号比较单元	228
10.1	实时模板比较	228
10.2	语音识别	228
10.2.1	Viterbi 算法	230
10.2.2	用于语音识别的动态时间弯折	235
10.2.3	隐型马尔可夫模型	244
10.2.4	其他方面的考虑	254

10.3	图像识别	255
10.3.1	感兴趣区域的提取	257
10.3.2	模板匹配	259
10.3.3	图像形态学	260
10.3.4	从模板识别过渡到模型识别	263
10.3.5	基于模型的视觉	267
	参考文献	269
第 11 章	系统设计方法和工具	271
11.1	设计流程	271
11.1.1	瀑布流程	271
11.1.2	螺旋流程	271
11.1.3	硬件 / 软件协同设计	273
11.1.4	正规检查要点	274
11.1.5	品质准则	275
11.2	系统工程	276
11.2.1	定义	276
11.2.2	用户空间和设计空间的转换	277
11.2.3	生命周期系统工程	277
11.2.4	性能 / 进度 / 成本的平衡	279
11.2.5	生命期成本分析	281
11.3	需求设计	285
11.3.1	需求层次	286
11.3.2	系统划分和需求分配	287
11.4	硬件设计	290
11.4.1	流程	290
11.4.2	模拟 / 数字混合设计	292
11.4.3	工艺设计	292
11.4.4	其他方面的硬件考虑	294
11.5	软件设计	295
11.5.1	流程	295
11.5.2	成本模型	296
11.5.3	信号处理和传统设计语言	297
11.5.4	软件检测	298
11.6	系统集成和测试	300
11.6.1	流程	300
11.6.2	错误覆盖和测试向量	301
11.6.3	边界扫描测试	302
11.6.4	实时回归	303
11.6.5	应用级测试	303

11.7 系统设计示例	305
11.7.1 系统工程	305
11.7.2 硬件设计	307
11.7.3 软件设计	308
11.7.4 封装设计	310
11.7.5 系统集成	311
11.7.6 应用	312
参考文献	313
术语表	315

第1章 实时的概念

数字信号处理系统,是从用数字序列表达的输入信号中提取有用信息。用于获取这些信息的算法,或者说是计算步骤,最初是在通用计算环境中开发的。在通用计算环境中,算法修改和重新测试,比算法的执行速度更重要。在这种适合研究工作的计算环境中,首先用模拟一些特殊重要情况的少量数据,对可能使用的算法进行测试。接着使用大量的实际数据去测试并改进算法。如果用足够数量的有代表性的数据测试后,达到了要求的性能,则该算法就可以使用了。

这时候,必须将算法从低速的、灵活性很高的开发计算环境中,移植到高速的、固定的、紧凑的、廉价的实时信号处理器上。

在一个实时信号处理应用系统中,数字信号的样本从系统的输入端输入。在一个时间段内,输入的样本不停地到达,但只有当一组样本都到达了(这样的一组样本称为帧),系统才开始处理,以获取这组样本中的信息。处理当然需要一定的运算时间。

实时信号处理可以在一帧的持续时间内,完成对某一输入样本帧的处理。如果要实际使用在通用计算环境中设计的信号处理算法,就必须进行移植。虽然有时候移植是很直接的,比如只需要封装程序,配置一台和开发算法时一样的工作站;但是大部分时候,其实是很困难的,因为往往需要重写代码,使用特殊的硬件结构和系统设计。

本章为信号处理的方法和结构的讨论做一些铺垫。其中包含数字信号的时域特性、信号处理的输入和输出之间的时间关系以及实时的定义等三方面的内容。

1.1 实时的定义

我们从用数字序列表示的离散时间信号 $x(n)$, $-\infty < n < \infty$ 来开始讨论。 $x(n)$ 表示序列中第 n 个样本。在本书中,所有 n 是单调递增的,即每次增加1,如图1.1所示。

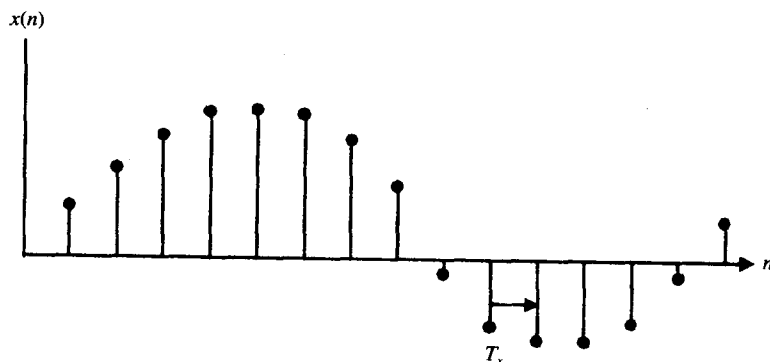


图 1.1 对信号采样所获得的数字样本序列 $x(n)$

在我们的讨论中,序列 $x(n)$ 是对时域连续的信号所进行的间隔为 T_x 的等间隔采样而得到的样本序列,第 n 个样本所在的采样时间是 $t = nT_x$ 。