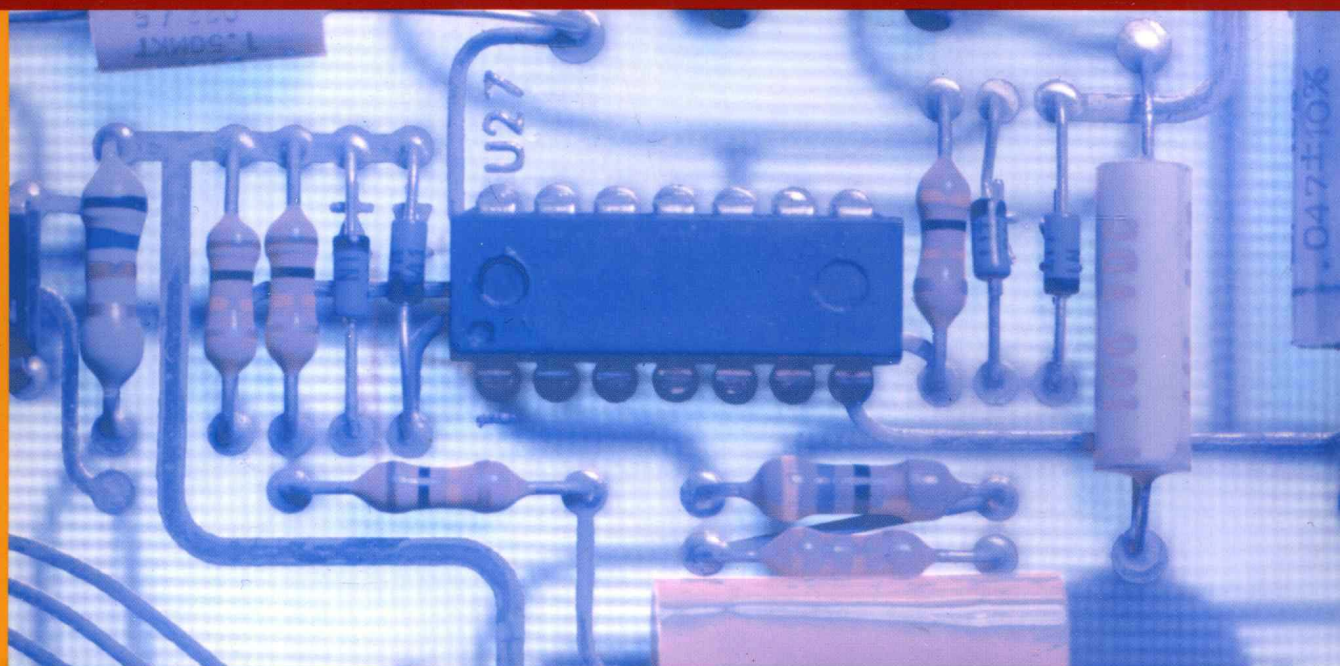


高等院校信息与通信工程系列教材

高速数字信号处理器 结构与系统



高梅国 刘国满 田黎育 编著

清华大学出版社

高等院校信息与通信工程系列教材

高速数字信号处理器 结构与系统

高梅国 刘国满 田黎育 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

信号与信息处理技术已广泛应用于军事、通信、消费类电子等领域,正成为各行业不可缺少的技术,是科研和工程技术人员必须掌握的技术之一。

本书全面介绍了数字信号处理器 DSPs 结构特点、类型、原理、发展趋势,DSPs 系统硬件设计、组成、开发和应用,DSPs 系统软件编程、指令、开发工具、程序优化;介绍了嵌入式处理系统技术、实时系统技术、高速数字电路设计与实现;最后给出了 DSPs 应用实例。

本书可作为通信与信息系统、信号与信息处理专业研究生及高年级本科生的数字信号处理技术课程教材,也可作为科研和工程技术人员进行信号与信息处理系统设计的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

高速数字信号处理器结构与系统/高梅国,刘国满,田黎育编著. —北京:清华大学出版社,2009.1

(高等院校信息与通信工程系列教材)

ISBN 978-7-302-18418-8

I. 高… II. ①高… ②刘… ③田… III. 数字信号发生器—高等学校—教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 125634 号

责任编辑:陈国新

责任校对:梁 毅

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市人民文学印刷厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:23 字 数:565 千字

版 次:2009 年 1 月第 1 版 印 次:2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:008119-01

高等院校信息与通信工程系列教材编委会

主 编：陈俊亮

副 主 编：李乐民 张乃通 邬江兴

编 委 （排名不分先后）：

王 京 韦 岗 朱近康 朱世华

邬江兴 李乐民 李建东 张乃通

张中兆 张思东 严国萍 刘兴钊

陈俊亮 郑宝玉 范平志 孟洛明

袁东风 程时昕 雷维礼 谢希仁

责任编辑：陈国新

出版说明

信息与通信工程学科是信息科学与技术的重要组成部分。改革开放以来,我国在发展通信系统与信息系统方面取得了长足的进步,形成了巨大的产业与市场,如我国的电话网络规模已位居世界首位,同时该领域的一些分支学科出现了为国际认可的技术创新,得到了迅猛的发展。为满足国家对高层次人才的迫切需求,当前国内大量高等学校设有信息与通信工程学科的院系或专业,培养大量的本科生与研究生。为适应学科知识不断更新的发展态势,他们迫切需要内容新颖又符合教改要求的教材和教学参考书。此外,大量的科研人员与工程技术人员也迫切需要学习、了解、掌握信息与通信工程学科领域的基础理论与较为系统的前沿专业知识。为了满足这些读者对高质量图书的渴求,清华大学出版社组织国内信息与通信工程国家级重点学科的教学与科研骨干以及本领域的一些知名学者、学术带头人编写了这套高等院校信息与通信工程系列教材。

该套教材以本科电子信息工程、通信工程专业的专业必修课程教材为主,同时包含一些反映学科发展前沿的本科选修课程教材和研究生教学用书。为了保证教材的出版质量,清华大学出版社不仅约请国内一流专家参与了丛书的选题规划,而且每本书在出版前都组织全国重点高校的骨干教师对作者的编写大纲和书稿进行了认真审核。

祝愿《高等院校信息与通信工程系列教材》为我国培养与造就信息与通信工程领域的高素质科技人才,推动信息科学的发展与进步做出贡献。

北京邮电大学

陈俊亮

2004年9月

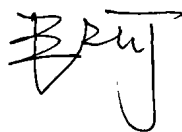
序

信息社会的发展,在很大程度上取决于信息与信号处理技术的先进性。数字信号处理技术的出现改变了信息与信号处理技术的整个面貌;而数字信号处理器作为数字处理的核心技术,其应用已经深入到涉及信号处理的航空、航天、雷达、声纳、通信、家用电器等各个领域,成为电子系统的核心。

以雷达为例,数字信号处理器在性能上的每次突破都会给雷达领域带来巨大的震动,使得雷达信号处理的新算法在工程中得以实现,带来雷达整机性能的提高,甚至推动雷达新体制的实现,综合孔径雷达就是一个例子。

在大学高年级和研究生中,介绍数字信号处理器结构和系统技术,将推动信息处理技术的发展和广泛应用。本书作者长期从事高速实时数字信号处理技术的研究,研制过多种先进的高速数字信号处理系统,取得了很好的科研成果。作者结合多年教学和科研的实践经验编写该书,对高速数字信号处理器结构及系统的原理进行全面论述,介绍高速DSPs 结构特点、类型、原理、发展趋势,DSPs 系统的设计、组成、开发和应用,并介绍了与DSPs 应用有关的嵌入式处理系统技术,实时系统技术,高速数字电路设计与实现等。本书内容系统,结构完整,编排合理,内容切合信息产业发展的需要,对教学、生产和科研都有现实指导意义,适合作为教材使用,也可作为应用信号与信息处理技术的科研和工程技术人员的参考书,是一本值得推荐的专著。

中国工程院院士
北京理工大学教授
2008 年 10 月



前言

自 20 世纪 80 年代初 DSPs(digital signal processors)诞生以来,一直以比摩尔定律还要快的速度飞速发展。随着 DSPs 芯片性能性价比和开发手段的不断提高,DSPs 已经在社会生活的各个领域得到广泛应用,如手机、无线基站、Modem、数字照相机、马达控制、雷达等。数字信号处理器是数字信息处理的核心技术之一,成为电气工程师和科研人员必须掌握的技术之一。因此,在绝大部分大学都开设了这方面的课程。

目前有关数字信号处理技术的书很多,但大多是介绍某一具体处理器芯片的,例如就 TI 公司或 AD 公司的某一款或某一系列 DSPs 进行介绍,较少系统且深入地论述高速数字信号处理器结构及其应用系统所涉及的原理性问题。本书对高速数字信号处理器结构及系统的原理进行全面论述,介绍高速 DSPs 结构特点、类型、原理、发展趋势,DSPs 系统的设计、组成、开发和应用等内容,介绍与 DSPs 应用有关的嵌入式处理系统技术,实时系统技术,高速数字电路设计与实现等。与同类书比较,具有以下特色:

(1) 注重内容的系统性。高速数字信号处理技术是多学科交叉技术,涉及信号处理理论、计算机结构、微电子技术、嵌入式处理系统、软件等多学科,本书对高速数字信号处理器及系统所涉及的技术内容进行系统、全面、准确的介绍,内容宽广,而不是仅就具体的数字信号处理器件进行介绍。

(2) 注重 DSPs 结构的介绍。处理器的结构是决定处理器速度很重要的因素,也是嵌入式处理系统设计重点考虑的因素,只有掌握 DSPs 的结构,才能把握 DSPs 的发展。本书详细介绍了超长指令字(VLIW)、单指令流多数据流(SIMD)、高速缓存等 DSPs 的主流结构。

(3) 注重 DSPs 工作原理的论述。详细论述 DSPs 的组成、特点、工作原理、外围电路、软硬件设计等,讨论 DSPs 技术的共性问题。

(4) 注重 DSPs 系统的介绍。学习 DSPs 是为了应用它,掌握 DSPs 组成的系统所涉及的知识是很重要的,本书将介绍 DSPs 系统设计、嵌入式处理系统设计、实时系统设计、软件优化等重点内容,并给出应用实例。

(5) 注重代表 DSPs 未来发展方向的新内容的介绍。例如实时操作系统及其在 DSPs 系统中的应用、DSP 算法标准等。

(6) 注重实际应用的介绍。高速数字信号处理技术是一门实践性很强的课程,本书专门用一章篇幅介绍 DSPs 的一些典型应用。

本书共分 8 章:第 1 章,概述数字信号处理技术的主要内容、DSPs 的发展状况、DSPs 的特点及系统设计等;第 2 章,数字信号处理器结构,系统地介绍 DSPs 的组成、流水线、总线、存储器、高速缓存等结构和原理,介绍现代 DSPs 的 VLIW 结构和 SIMD 结构;第 3 章,DSP 软件编程,全面介绍 DSPs 指令系统、软件开发环境及工具、DSPs 程序优化和开

发调试等内容；第4章，实时系统，介绍实时系统模型、任务调度方法、实时操作系统、实时系统设计等；第5章，数字信号处理器系统硬件设计，详细介绍 DSPs 最小系统、DSPs 外部总线及 DMA 访问、DSPs 与 ADC 接口设计、存储器接口设计等，还介绍专用处理器技术；第6章，嵌入式处理系统，介绍嵌入式处理系统设计流程、折中设计方法、多处理器组织结构模型、系统互连技术等；第7章，高速数字电路的设计与实现，重点介绍高速电路信号完整性理论及应用、高速电路调试与测试、电路板级设计等；第8章，C6000 DSPs 处理器及其应用举例，介绍具有代表性的高性能 DSPs C6000 系列器件结构特点以及应用实例。

本书第1、2、5、6章由高梅国编写，第3、4章由田黎育编写，第7、8章由刘国满编写。本书内容很大程度上得到北京理工大学雷达技术研究所在 DSPs 教学和科研工作的支持，一定程度上反映了雷达技术研究所在 DSPs 芯片开发方面的技术状态。本书是毛二可院士领导的科技创新团队雷达技术研究所集体努力的结晶之一，特别感谢雷达技术研究所的老师和学生对本书的贡献。本书还得到美国德州仪器公司中国分公司的支持，在此表示感谢。

编著者

2008年6月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 数字信号处理技术	1
1.2 高速数字信号处理器的发展	4
1.2.1 数字信号处理器概况	4
1.2.2 DSPs 简介	7
1.2.3 DSPs 的特点	9
1.2.4 DSP 的性能及其评估标准	11
1.2.5 现代 DSPs 的结构	13
1.2.6 DSPs 的发展趋势	14
1.3 数字信号处理系统设计与开发	15
1.3.1 DSPs 系统构成	15
1.3.2 DSPs 的选择	16
1.3.3 高速数字电路设计	19
1.3.4 高速数字电路调试	20
参考文献	20
第 2 章 数字信号处理器结构	22
2.1 处理器	22
2.1.1 处理器构成	22
2.1.2 复杂指令集和精简指令集处理器	24
2.1.3 高速数字信号处理器 C6x 系列的结构	25
2.2 指令控制单元和流水线	26
2.2.1 指令控制单元	26
2.2.2 指令流水线	26
2.3 处理单元及数据通道	33
2.3.1 算术逻辑单元	33
2.3.2 TMS320C6000 的功能单元和数据通路	36
2.4 总线和存储器结构	39
2.4.1 冯·诺依曼结构和哈佛结构	39
2.4.2 提高存储器带宽技术	43
2.4.3 存储器的层次结构	47

2.5	高速缓冲存储器 Cache	47
2.5.1	存储系统原理	47
2.5.2	Cache 存储系统及其基本工作原理	48
2.5.3	Cache 映射方式	50
2.5.4	Cache 替换策略	52
2.5.5	Cache 的性能分析	53
2.5.6	TMS320C64x DSPs 的两级 Cache 结构	54
2.6	传统 DSPs 结构	56
2.7	VLIW 结构	58
2.8	SIMD 结构	62
2.8.1	处理器的 Flynn 分类	62
2.8.2	SIMD 处理器结构模型	63
2.8.3	ADSP21160 和 TigerSHARC 的 SIMD 结构	64
2.9	中断机制	67
2.9.1	中断类型和中断信号	67
2.9.2	中断响应和控制	68
2.9.3	DSPs 循环程序流控制	70
	参考文献	70
第 3 章	DSP 软件编程	72
3.1	指令系统	72
3.1.1	指令系统的基本概念	72
3.1.2	具有 DSP 特点的指令	75
3.1.3	TMS320C6000 的指令系统	77
3.2	DSPs 软件开发集成环境	82
3.2.1	概述	82
3.2.2	代码开发工具	84
3.2.3	代码调试工具	85
3.2.4	实时操作系统(RTOS)	90
3.2.5	DSPs 软件开发环境中的其他工具	94
3.3	DSPs 软件开发工具	95
3.3.1	DSPs 软件开发流程	95
3.3.2	优化编译器	96
3.3.3	汇编器	99
3.3.4	连接器	101
3.3.5	其他软件工具	104
3.3.6	TMS320C6000 代码生成工具的应用	107
3.4	DSPs 程序的优化	110

3.4.1	DSPs 程序优化的基础	110
3.4.2	DSPs 汇编程序优化	113
3.4.3	DSPs C 程序优化	121
3.5	DSPs 软件的开发与调试	128
3.5.1	DSPs 软件的模块	128
3.5.2	MATLAB-DSPs 软件开发	130
3.5.3	DSPs 数据传输软件的开发	133
3.5.4	实时嵌入式 DSPs 软件调试	138
	参考文献	143
第 4 章	实时系统	145
4.1	实时系统概述	145
4.1.1	实时系统的可预测性	145
4.1.2	实时系统任务的分类	146
4.1.3	实时系统的模型	147
4.2	实时调度方法	151
4.2.1	时钟驱动方法	151
4.2.2	优先级驱动方法	154
4.2.3	加权轮转方法	159
4.3	实时操作系统	163
4.3.1	DSP/BIOS	163
4.3.2	VxWorks	166
4.4	实时系统设计	168
	参考文献	171
第 5 章	数字信号处理器系统硬件设计	172
5.1	最小 DSPs 系统	172
5.1.1	最小配置 DSPs 系统和自加载	172
5.1.2	DSPs 管脚和模式设置	173
5.2	CPU 外部总线	174
5.2.1	CPU 总线及访问时序	174
5.2.2	总线协议	176
5.2.3	直接存储器访问 DMA	177
5.3	模数转换器 ADC	179
5.3.1	离散化和数字化	179
5.3.2	ADC 的性能指标及其测试	180
5.3.3	ADC 与 DSPs 的接口	187
5.4	DSPs 存储器接口设计	190

5.4.1	存储器的组成和分类	190
5.4.2	永久存储存储器	192
5.4.3	静态随机访问存储器(SRAM)	195
5.4.4	动态随机访问存储器(DRAM)	198
5.4.5	DSPs 与存储器接口设计	201
5.5	输入/输出接口	208
5.6	外设	209
5.6.1	定时器	209
5.6.2	多通道缓冲串口	210
5.6.3	主机接口	213
5.7	专用数字信号处理器技术	214
5.7.1	加法器结构	215
5.7.2	乘法器结构	217
5.7.3	除法	221
5.7.4	FFT 处理器结构	225
5.7.5	VLSI 阵列处理技术	227
	参考文献	229
第 6 章	嵌入式处理系统	231
6.1	嵌入式计算系统概述	231
6.2	嵌入式处理系统设计	232
6.2.1	嵌入式系统设计流程	232
6.2.2	软硬件协同设计	236
6.2.3	折中设计	239
6.3	并行计算机的组织结构模型	241
6.4	嵌入式处理系统互连技术	243
6.4.1	分布式嵌入系统	243
6.4.2	互连拓扑结构简介	245
6.4.3	底板总线技术	246
6.4.4	点对点 and 交叉开关网技术	250
6.4.5	新一代互连规范和技术	251
6.5	多 DSP 处理器系统	257
6.5.1	按功能划分的串行多 DSP 处理器系统	257
6.5.2	按数据划分的并行多 DSP 处理器系统	259
6.5.3	数据共享紧耦合簇多 DSP 处理器系统	260
6.5.4	数据链接分布式多 DSP 处理器系统	262
6.5.5	异构分布式多处理器系统	263
	参考文献	266

第 7 章 高速数字电路的设计与实现	267
7.1 高速电路的特点	267
7.2 信号完整性	268
7.2.1 概述	268
7.2.2 传输线理论	269
7.2.3 反射及端接技术	273
7.2.4 串扰及其改善	282
7.2.5 地弹及其改善	288
7.3 电路的调试与测试	291
7.3.1 测试的基本概念	292
7.3.2 电路的可测性	293
7.3.3 JTAG 测试电路	295
7.3.4 测量仪器	298
7.4 电路板级设计	303
7.4.1 电路板级设计流程与仿真验证	303
7.4.2 用 PADS 软件进行电路板设计	309
7.4.3 电路板设计中 EDA 工具	313
7.4.4 电源和热设计	314
参考文献	317
第 8 章 C6000 DSPs 处理器及其应用举例	319
8.1 C6000 系列 DSPs 简介	319
8.1.1 C6000 DSPs 的特点	319
8.1.2 C6000 DSPs 的比较	321
8.1.3 C6000 DSPs 的应用	323
8.2 C6000 的最小系统设计	323
8.2.1 功能设置	324
8.2.2 电源设计	325
8.2.3 时钟设计	330
8.2.4 复位电路设计	332
8.2.5 JTAG 电路设计	332
8.2.6 程序 ROM 设计	334
8.3 C6000 应用实例	335
8.3.1 数据采集预处理板	335
8.3.2 双 C6416 并行信号处理板	337
8.3.3 基于 CPCI 的模块化雷达信号处理机	339
参考文献	345
缩略语表	346

1.1 数字信号处理技术

在 21 世纪,数字信号处理是对科学和工程影响最深的技术之一。随着微电子和处理器技术的飞速发展,数字信号处理已经得到了广泛的应用,可以说是在人们的生活中无处不在。因此,它是科学工作者和工程师必须掌握的一种技术。

数字信号处理(digital signal processing, DSP)与计算机技术是紧密关联的,它区别于计算机领域其他技术的特征是它针对的数据是信号序列。DSP 是数学、算法、技术的综合。在 20 世纪六、七十年代,当数字计算机被投入应用时,数字信号处理开始了它的发展,最早在雷达、石油勘探、空间探测、医疗图像等有限的领域应用。到了 20 世纪八、九十年代,当个人计算机发生革命性变化及专门为数字信号处理设计的处理器出现时,数字信号处理广泛应用于军事、空间、科学、工业、医疗、通信等领域。进入 21 世纪,当通用数字信号处理器变得廉价时,数字信号处理才普遍应用于消费类电子产业,如数码相机、手机、可视电话、数字电视、机顶盒、硬盘驱动等。

数字信号处理技术是指将数字信号处理理论应用于生产的技术,是以数字信号处理理论、硬件技术、软件技术为基础和组成,研究数字信号处理算法及其实现方法的技术。它的组成可以用图 1-1 来描述。

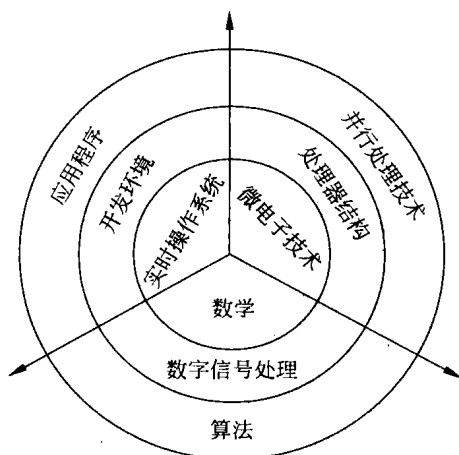


图 1-1 数字信号处理技术的组成

数字信号处理算法以数学为基础和工具,研究数字信号处理的数值实现方法,包括算法结构、数值特性。例如,经典的 DFT 的快速算法就有频域抽取 FFT、时域抽取 FFT 及各种 FFT 变体结构。

数字信号处理硬件技术是以微电子技术为基础,用来研究如何完成数字信号处理算法的专用、通用处理器结构,如何提高处理器速度,如何设计与实现数字信号处理系统等。

微电子技术是数字信号处理应用的基础,其技术的发展为数字信号处理技术水平的提高和应用的深入提供了用之不竭的动力。自从 1947 年发明半导体晶体管、1958 年第一块半导体集成电路诞生,微电子技术经过了半个世纪的高速发展,使人们看到了微电子无所不在,无所不能。自从集成电路诞生以来,集成电路芯片的发展基本上遵循了 Intel

公司创始人之一的 Gordon E. Moore 1965 年所预言的摩尔定律。该定律指出,单位面积芯片上可容纳的晶体管数目每 18 个月便可增加一倍,即芯片集成度 18 个月翻一番,这视为引导半导体技术前进的经验法则。从 1995—2010 年世界超大规模集成电路技术的发展趋势见表 1-1。

表 1-1 超大规模集成电路技术的发展趋势(1995—2010 年)

年份/年	1995	1998	2001	2004	2007	2010
最小线宽/ μm	0.35	0.25	0.18	0.13	0.1	0.04
逻辑晶体管数/ cm^2	4M	7M	13M	25M	50M	90M
单个晶体管成本(毫美分)	1	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02
最多互连线层数	4~5	5	5~6	6	6~7	7~8
电学缺陷数/ m^2	240	160	140	120	100	25
最少掩膜数	18	20	20	22	22	24
ASIC 芯片尺寸/ mm^2	450	660	750	900	1100	1400
电源电压(台式机)	3.3	2.5	1.8	1.5	1.2	0.9
芯片 I/O 数	900	1350	2000	2600	3600	4800
芯片/板的性能/MHz	150	500	700	1000	1500	3000

集成电路(IC)技术的发展已进入系统集成芯片(system on chip, SOC)技术阶段。SOC 是一个单片系统,它在单个硅片或套片上集成系统级的知识和专门技术,以实现信号的采集、传输和处理等,具有如下的功能:

- 微处理器和微控制器核心;
- 数字信号处理(DSP);
- 数字逻辑(包含知识产权核心和定制逻辑);
- 精度模拟电路,数字 I/O,混合电路;
- 相关的存储器(如 SRAM 或 Flash 块);
- 原型动力(可编程核心)。

值得注意的是,DSP 现在已成为 SOC 技术大厦的关键,但未来的系统级芯片是一个全新的概念,它将在一块芯片上集成电子电路、微机电系统、光电子电路、分子电子器件。另外,纳米电子技术将是微电子技术的接替者,器件特征尺寸将缩小至 1~100nm。

微电子技术工艺的发展极大地提高了处理器的时钟频率,提高了处理器的速度和性能。处理器的性能除了与微电子技术这个最本质的因素有关以外,还与处理器结构有着重要的关系。提高时钟频率似乎是有限的,最好的方法是改进处理器结构,即提高并行性,如增加每条指令执行的操作的次数,或者提高每个指令周期中所执行的指令数量。DSP 处理器更高性能的实现由于不能从传统结构中得到解决,因此提出了各种提高性能的方法,如超长指令字(VLIW)结构,单指令多数据流(SIMD)结构等。

数字信号处理器按其设计目的可分为通用数字信号处理器和专用数字信号处理器。通用数字信号处理器是指针对数字信号处理常用算法设计的,并通过软件编程完成信号处理功能的一类微处理器,如 TI 公司的 TMS320 系列 DSPs,ADI 公司的 ADSP21xxx 系列 DSPs。大家常说的 DSP 处理器主要是指通用数字信号处理器。专用数字信号处理器

是指针对特定数字信号处理算法及结构,采用硬件完成相对固定的信号处理功能的 ASIC 处理器(包括用 FPGA 实现),如横向滤波器 A41102,以及用户自己设计的信号发生器、解码芯片等。

通用数字信号处理器是通过软件来完成数字信号处理功能的,因此软件技术是数字信号处理技术的重要内容。数字信号处理软件技术包括实时操作系统、开发环境、算法软件实现等。现代数字信号处理系统完成的功能越来越复杂,涉及多进程、多任务、多输入/输出,并且大多有实时性的要求,因此软件开发不能再像早期那样直接对 DSP 进行底层编程,而需要由实时操作系统来管理信号处理的多任务、多输入/输出操作。针对不同的信号处理器结构,需要开发不同的编译系统,只有针对特定信号处理器结构的编译系统才能实现代码的高效率,另外高效的开发环境是实时信号处理系统开发所必须的。软件编程需要考虑信号处理算法结构与处理器硬件结构的匹配,使其适合开发环境对程序的高效编译和优化,以避免算法中的数据相关及硬件中的资源冲突。软件编程和开发环境应充分开发和利用处理算法和处理器的并行性,使信号处理系统满足实时性的要求。

实时性要求是很多数字信号处理系统的基本要求,也是数字信号处理系统设计最具挑战性的关键因素。实时信号处理指的是系统必须在有限的时间内对外部输入信号完成指定的处理,即信号处理的速度必须大于等于输入信号更新的速度,且从信号输入到处理后的信号输出的延迟必须足够小,输出结果对其他系统来说是及时的。实时系统是处理结果输出时刻很重要的系统。一旦输出时刻晚了,系统性能将下降,甚至系统崩溃,产生不可预计的结果。实时系统按对时间要求的苛刻程度,可分为硬实时系统、软实时系统和固定实时系统。实时信号处理技术包括高速处理器技术、实时过程模式和实时操作系统。通过采用实时技术,实时系统设计可确保系统在规定的时间内完成规定的信号处理任务。

实时数字信号处理系统大多是嵌入式计算系统。嵌入式计算系统是一个较广泛的定义,它可以指一个非桌面通用计算机的任何计算系统,或是一个嵌入了电子元器件的计算系统,或是一个利用应用对象的特点而专门设计的计算系统,即用户化专用计算系统。嵌入式计算系统一般对系统功能、价格、功耗、体积、速度等有严格的限制,并要求对系统环境变化可以作出实时的快速反应。嵌入式计算系统设计需要在硬件技术和软件技术间进行折中选择,需要满足功能性和非功能性的各种指标要求,具体需要考虑的因素有:单位价格,重复设计价格,性能(执行时间和吞吐率),体积,功耗,灵活性,样机开发时间,进入市场时间,可靠性,安全性,可维修性等。嵌入式计算系统应用非常广泛,如相机自动聚焦系统、汽车防盗系统、指纹识别系统、传真机、打印机、留言机、扫描仪等。

数字信号处理技术是后 PC 时代信息电器的关键技术,如掌上电脑、个人数字助理(PDA)、可视电话、移动电话、电视会议机和数码相机等嵌入式设备都无一例外地应用了数字信号处理技术。DSP 仍将是半导体工业的技术驱动者,因为只有通过 DSP 才能访问互联网、欣赏多媒体,才能实现无线数字连接。DSP 才是蓝牙、Wi-Fi、3G 蜂窝电话、图形、DVD、数码相机、数字助听器、机顶盒、视频流、VoIP、视频会议、数字音频广播甚至今后 HDTV 的核心所在。DSP 将长久不衰。信息产品的需求又进一步推动数字信号处理的发展,在无线领域开始应用第三代技术(运行于 200MIPS 的 CDMA 系统)的同时,研究

人员正在向 4G 系统稳步推进, 尽管 4G 系统的调制方案尚未确立, 但预计它对数字信号处理的要求将达到每秒千兆指令(GIPS)的级别。

1.2 高速数字信号处理器的发展

1982 年, TI 公司生产了世界上第一片真正实用的数字信号处理器(digital signal processors, DSPs), 标志着 DSPs 时代的开始。进入 20 世纪 90 年代, DSP 处理器逐渐成为人们最常用的工程术语之一。DSP 处理器应用广泛的原因在于处理器的制造技术发展极快。一方面, 使处理器的成本大幅下降, 使得它可用在消费品和其他对成本敏感的系统; 另一方面, 处理器的处理速度的上升使得它可满足大部分高速实时信号处理的需求。在产品中越来越多地使用 DSP 处理器, 促进了对更快、更廉价、更节能的 DSP 处理器的研制和应用。

近几年来处理器技术本身也发生了很大的变化, 涌现出了大量新架构的处理器, 不同类型处理器之间的优劣态势也正在发生改变, 设计者不仅面临更多的选择, 而且比以往更难以做出判断。在高性能嵌入式系统/实时信号处理领域, 处理器有 MCU、ASSP、GPP/RISC、FPGA、ASIC、Media Processor、Configurable Processor、Customizable Processor 等众多各具特色的类型。

1.2.1 数字信号处理器概况

嵌入式系统最常用的数字信号处理器类型有 ASIC/ASSP、GPP/RISC、FPGA、MCU、DSPs 等。

20 世纪 80 年代初, LSI Logic 首先推出了 ASIC(application-specific integrated circuit)的设计, 到 1987 年 ASIC 就迅速超过了标准逻辑器件的市场出货量。ASIC 一直被认为是性能最高的一类处理器。ASSP(application-specific standard product)可以看作是标准化和商用化的 ASIC, 如一些网络处理器、编解码处理器等。由于它们都针对特定应用进行了门级的优化, 因此 ASIC/ASSP 的处理速度和处理效率都非常高, 功耗比较低, 芯片价格也便宜。对于要求极高性能的应用, 采用 ASIC/ASSP 是最佳的选择。ASIC 的缺点是开发费用高, 设计周期长, 灵活性差, 应用的任何变化都意味着需要重复整个芯片设计流程。而 ASSP 是在已经形成市场的情况下才会出现, 此时选择 ASSP 具有很高的市场响应速度(time-to-market), 而对一些新的应用和新功能, 从新技术出现到推出 ASSP 产品需要一定的时间, 这种情况下选择 ASSP 又会在市场响应速度(time-to-market)上处于劣势。

1967 年 Intel 发明了第一个微处理器, 最初 GPP(general purpose processing)技术主要应用在通用处理领域。20 世纪 90 年代后期, 新的 GPP 在内核中开始增加一些 DSP 单元, 这推动了 GPP/RISC 向信号处理领域的扩展。目前几乎所有的 GPP 都提供了支持 SIMD 运算的硬件和指令集(如 Intel 的 MMX SSE 和 SSE 2, AMD 的 3D Now, IBM/Motorola 的 AltiVec), ARM 中还增加了硬件乘法器。RISC/GPP 的主要优势是芯片的主频高、浮点性能强、存储器带宽大、接口管理功能非常强、有大量成熟的操作系统(包括