

面向工程应用的DSP实践教程

杨 旭 李 擎 崔家瑞 付冬梅 主编



科学出版社

面向工程应用的 DSP 实践教程

杨 旭 李 擎 崔家瑞 付冬梅 主编



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据“工程教育专业认证”等需求而编写,旨在提高学生在基于数字信号处理器的嵌入式系统设计方面的能力,进而培养学生解决复杂工程问题的能力。本书以美国 TI 公司 TMS320 28335 DSP 为蓝本,全书共 14 章。其中,第 1~5 章主要讲解如何进行面向工程应用的 DSP 开发及其基本要点、DSP 芯片的基本原理、DSP 系统标准开发流程、最小系统的硬件设计及 TI DSP CCS 与 MATLAB 的混合编程等几个方面,将后续工程应用实例设计中的共性问题给予详尽的说明。第 6~12 章通过 7 个工程项目开发实例,从项目需求入手,按标准流程,从设计思路、硬件设计、软件设计三方面进行详细的阐述,使读者能够快速掌握基于 DSP 的工程实践的开发思路、设计步骤及解决方案。第 13、14 章通过两个综合工程案例,使读者理解较为综合的项目的开发思路和方案设计流程。

本书可作为自动化、智能科学与技术、测控技术与仪器等专业本科生的教材,也可作为相关工程技术人员、教师和科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

面向工程应用的 DSP 实践教程 / 杨旭等主编, 一北京: 科学出版社, 2018.6

ISBN 978-7-03-057594-4

I. ①面… II. ①杨… III. ①数字信号处理-高等学校-教材
IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 118058 号

责任编辑: 潘斯斯 张丽花 / 责任校对: 郭瑞芝
责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京九州迅驰传媒文化有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 6 月第一次印刷 印张: 17 1/2

字数: 455 000

定价: 69.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

目前我国在工程实践教育层面,已陆续开展了“中国工程教育专业认证”“卓越工程师培养计划”“CDIO”^①工程教育。这些项目的共同之处在于:强调培养学生利用工程技术相关原理解决复杂工程问题的实践能力和创新能力。而应用实践类课程是加强学生上述能力培养的重要抓手,对提高学生的综合素质、培养学生的实践创新能力具有不可替代的作用。

“DSP 原理及应用”课程是自动化相关专业重要的专业选修课之一,该课程直接面向工程应用,课程内容与“数字信号处理”“信号与系统”“嵌入式控制系统”等课程密切相关,课程知识点随科技发展而迅速更新,课程注重训练学生进行目标功能约束下的软硬件系统设计方面的实践创新能力,在自动化、智能科学与技术、测控技术与仪器等专业的本科培养计划中占据重要地位。

本书以嵌入式技术的相关理论为基础,从应用角度出发,力求学以致用,在吸取多年 ECS 和 DSP 方面研究工作和教学经验的基础上,力图形成内容简明、集系统性和实用性于一体的通用教材。为此,本书在编写过程中,直接面向工程应用实例,关注项目需要和系统需求,将课程知识点贯穿到不同的工程应用实例中。

本书的特色及创新如下。

(1)结合“自动化专业卓越工程师培养计划”的培养目标和“中国工程教育认证”的毕业要求,并根据北京科技大学自动化专业教学大纲、培养计划、学时设置编写本书。本着精心规划、从实践出发、深入浅出的原则,对本书内容进行全面而系统的设计、安排、整合和优化。

(2)在本书编写过程中将充分借鉴 CDIO 工程实践能力一体化培养理念,在介绍 DSP 芯片基本原理和系统应用标准开发流程后,按照工程项目案例编排章节,将 DSP 知识点和已学相关课程的理论纳入相应的应用实例中,并以嵌入式系统设计的标准流程来进行分节讲解,使学生能够从真正意义上理解、掌握知识点,并利用相关课程的工程技术原理给出具体应用的技术解决方案。

(3)在创新性方面,本书重点介绍 TI-DSP 的软件开发环境 CCS 和 MATLAB、CCS 与 LabVIEW 的交互式开发问题,使读者能够将 MATLAB、LabVIEW 等软件开发工具与 DSP 硬件及其开发环境进行有机联系,明确混合编程的优劣及其在项目开发过程中的重要作用。

全书共 14 章:

第 1 章介绍面向工程应用的 DSP 的基础知识和开发基本要点。

第 2 章介绍 DSP 芯片结构及基本原理。

第 3 章介绍 DSP 应用系统的标准开发典型流程及软硬件系统设计和调试。

第 4 章介绍 DSP 最小系统板及开发板硬件设计。

^① CDIO,即构思(Conceive)、设计(Design)、实施(Implement)、运行(Operate)。

第 5 章介绍 TI DSP 开发环境 CCS 与 MATLAB 的混合编程及代码转换。

第 6 章介绍基于 DSP 的公共建筑能耗监控系统工程实例的系统功能说明、系统总体设计及软硬件设计。

第 7 章介绍基于 DSP 的地铁车厢振动信号滤波系统工程实例的系统功能说明、系统总体设计及软硬件设计。

第 8 章介绍基于 DSP 的生物特征识别系统工程实例的系统功能说明、系统总体设计及软硬件设计。

第 9 章介绍基于 DSP 的环境参数采集与数据分析系统工程实例的系统功能说明、系统总体设计及软硬件设计。

第 10 章介绍基于 DSP 的直流无刷电机驱动器系统工程实例的系统功能说明、系统总体设计及软硬件设计。

第 11 章介绍基于 DSP 的室内人流量检测系统工程实例的系统功能说明、系统总体设计及软硬件设计。

第 12 章介绍基于 DSP 的空调控制系统工程实例的系统功能说明、系统总体设计及软硬件设计。

第 13 章介绍基于 DSP 的智能照明与吊扇系统工程实例的方案设计与开发思路。

第 14 章介绍基于 LabVIEW 的人机界面系统工程实例 DSP 设计。

本书的编写方式力求深入浅出、循序渐进，在内容的安排上既有基础理论、基本概念的系统阐述，同时也有丰富的工程项目案例，具有很强的工程实践指导性。

本书由北京科技大学自动化学院杨旭、李擎、崔家瑞、付冬梅主编。第 1、2 章由杨旭编写，第 3 章由付冬梅编写，第 4 章由李擎编写，第 5 章由崔家瑞编写，第 6-8 章由李擎、崔家瑞编写，第 9-11 章由杨旭、付冬梅编写，第 12、13 章由李擎编写，第 14 章由杨旭、崔家瑞编写。在本书的编写过程中，作者课题组的多名研究生（刘旭东、解浩周、宋宝栋、郭红波、张磊）参与了部分书稿的文字录入、图形绘制和内容校对工作；另外，在本书的出版过程中，潘斯斯等编辑为此书的出版付出了辛勤劳动，在此对上述人员一并表示衷心的感谢。

本书在编写过程中参考了大量文献，在此对文献的作者致以真诚的谢意！

本书已列入北京科技大学“十三五”规划教材建设项目，其编写和出版得到了北京科技大学教材建设经费的资助。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2018 年 4 月

目 录

第 1 章 如何进行 DSP 的工程实例开发	1
1.1 DSP 基础知识	1
1.1.1 DSP 处理器基本概念	1
1.1.2 DSP 系统特点	1
1.1.3 可编程 DSP 芯片结构	2
1.1.4 DSP 芯片分类	3
1.1.5 DSP 发展历程	3
1.1.6 DSP 与 MCU、ARM、FPGA 的区别	4
1.2 DSP 芯片的选型概要	5
1.2.1 DSP 芯片选型原则	5
1.2.2 DSP 厂商产品特点介绍	6
1.2.3 TI DSP 芯片型号含义	8
1.3 DSP 开发工具及平台搭建	9
1.3.1 DSP 开发工具介绍	9
1.3.2 TI CCS 的版本与安装	10
1.3.3 硬件仿真器的驱动安装	14
1.3.4 驱动程序的配置	14
1.4 本章小结	17
1.5 思考题与习题	18
第 2 章 DSP 芯片结构及基本原理	19
2.1 TMS320F28335 芯片结构	19
2.1.1 CPU 结构	19
2.1.2 CPU 寄存器	22
2.1.3 CPU 中断	23
2.1.4 总线结构和流水线	24
2.1.5 片内存储器和集成外设	25
2.2 F28335 芯片基本运算原理	26
2.2.1 CPU 的乘法运算与位移运算	26
2.2.2 DSP 定点运算基本原理	28
2.2.3 DSP 浮点运算基本原理	30
2.3 本章小结	32
2.4 思考题与习题	32

第3章 DSP 应用系统开发典型流程	33
3.1 需求分析	33
3.2 系统总体设计	33
3.2.1 设计方案描述	33
3.2.2 工作总框图绘制	34
3.2.3 总体结构设计	34
3.2.4 设计工作筹备	35
3.3 系统硬件设计	36
3.3.1 DSP 选型	36
3.3.2 元器件选择	36
3.3.3 系统硬件电路设计	37
3.3.4 系统硬件电路的计算机辅助设计	38
3.3.5 系统硬件电路调试	39
3.3.6 系统硬件可靠性设计	40
3.4 系统软件设计	40
3.4.1 软件方案设计	40
3.4.2 驱动程序设计	41
3.4.3 软件抽象层设计	43
3.4.4 软件应用层设计	44
3.4.5 软件可靠性设计	44
3.5 DSP 系统仿真与联调	45
3.5.1 软件调试	45
3.5.2 系统仿真	46
3.5.3 软硬件联合调试	46
3.6 本章小结	46
3.7 思考题与习题	47
第4章 DSP 最小系统板及开发板硬件设计	48
4.1 基于 F28335 的 DSP 最小系统板硬件设计	48
4.1.1 电源与复位电路	48
4.1.2 时钟电路	51
4.1.3 JTAG 接口电路	51
4.2 基于 F28335 的 DSP 开发板硬件设计	52
4.2.1 外扩 SRAM 以及 Flash 选型及硬件电路设计	52
4.2.2 RS232 通信接口的硬件设计	54
4.2.3 RS485 通信接口的硬件设计	56
4.2.4 CAN 通信接口的硬件设计	58
4.2.5 SD 卡以及 EEPROM 的硬件设计	59

4.2.6 直流电机与步进电机的硬件设计	61
4.2.7 A/D 与 D/A 硬件设计	63
4.2.8 LED 灯、蜂鸣器与按键硬件设计	65
4.2.9 供电电源硬件设计	67
4.3 本章小结	68
4.4 思考题与习题	68
第 5 章 TI DSP CCS 与 MATLAB 的混合编程	69
5.1 CCS 常用操作	69
5.1.1 CCS 代码编辑常用操作	69
5.1.2 CCS 代码调试常用操作	72
5.1.3 基于 C 语言的 DSP 寄存器操作	73
5.1.4 基于 C 语言的存储器及 cmd 文件操作	76
5.2 MATLAB 常用操作	78
5.2.1 MATLAB 环境及基本操作介绍	78
5.2.2 .m 文件代码编辑常用操作	80
5.2.3 Simulink 常用操作	82
5.3 CCS 与 MATLAB 的混合编程设计	85
5.3.1 Embedded IDE Link	85
5.3.2 .m 文件转换成 C 代码	85
5.3.3 Simulink 转换成 C 代码	89
5.4 本章小结	93
5.5 思考题与习题	93
第 6 章 公共建筑能耗监控系统的工程实例设计	94
6.1 系统功能说明	94
6.2 系统总体设计	95
6.2.1 应用系统的结构设计	95
6.2.2 相关模块选型	95
6.3 硬件设计	100
6.3.1 能耗计量模块设计	100
6.3.2 集中器载波传输模块设计	103
6.3.3 数据存储模块设计	109
6.4 软件设计	109
6.4.1 主程序流程设计	110
6.4.2 定时抄读程序设计	111
6.4.3 数据存储程序设计	113
6.5 本章小结	115
6.6 思考题与习题	115

第 7 章 地铁车厢振动信号滤波系统的工程实例设计	116
7.1 系统功能说明	116
7.2 系统总体设计	117
7.2.1 应用系统的结构设计	117
7.2.2 相关模块选型	117
7.3 硬件设计	119
7.3.1 振动检测模块设计	119
7.3.2 串行数据传输模块设计	121
7.3.3 数据显示模块设计	123
7.4 软件设计	125
7.4.1 软件结构设计	125
7.4.2 模块驱动软件设计	125
7.4.3 系统程序	127
7.5 系统集成与调试	129
7.6 本章小结	129
7.7 思考题与习题	129
第 8 章 生物特征识别系统的工程实例设计	130
8.1 系统功能说明	131
8.2 系统总体设计	131
8.2.1 应用系统结构设计	131
8.2.2 相关模块选型	132
8.3 硬件设计	133
8.3.1 生物特征传感器模块设计	133
8.3.2 信号处理模块设计	135
8.3.3 无线数据传输模块设计	137
8.4 软件设计	138
8.4.1 软件结构设计	139
8.4.2 模块驱动软件设计	140
8.4.3 上位机管理软件设计	142
8.4.4 系统程序	145
8.5 系统集成与调试	146
8.6 本章小结	147
8.7 思考题与习题	147
第 9 章 环境参数采集与数据分析系统的工程实例设计	148
9.1 系统功能说明	148
9.2 系统总体设计	148

9.2.1 应用系统的结构设计	148
9.2.2 相关模块选型	149
9.3 硬件设计	152
9.3.1 系统硬件框架	152
9.3.2 PM2.5 检测模块设计和 CO ₂ 检测模块设计	152
9.3.3 温湿度检测模块设计	156
9.3.4 LCD 模块设计	156
9.4 软件设计	156
9.4.1 软件设计结构	156
9.4.2 软件程序讲解	157
9.5 本章小结	161
9.6 思考题与习题	161
第 10 章 直流无刷电机驱动器系统的工程实例设计	162
10.1 系统功能说明	162
10.2 系统总体设计	162
10.2.1 应用系统结构设计	162
10.2.2 相关模块选型	162
10.3 硬件设计	165
10.3.1 电源变换电路设计	165
10.3.2 位置传感器接口设计	166
10.3.3 电机控制电路设计	166
10.4 软件设计	169
10.4.1 软件结构设计	169
10.4.2 检测模块驱动软件设计	169
10.4.3 数字 PID 控制模块驱动设计(有位置传感器)	170
10.4.4 系统程序	173
10.5 系统集成与调试	175
10.6 本章小结	176
10.7 思考题与习题	176
第 11 章 室内人流量检测系统的工程实例设计	177
11.1 系统功能说明	177
11.2 系统总体设计	177
11.2.1 应用系统的结构设计	177
11.2.2 测量方案	177
11.2.3 光电传感器测量原理以及选型	178
11.3 硬件设计	179
11.3.1 系统硬件框架	179

11.3.2	光电传感器模块设计	180
11.3.3	LCD 显示模块设计	181
11.4	软件设计	181
11.4.1	软件设计结构	181
11.4.2	软件程序讲解	182
11.5	系统集成与调试	186
11.6	本章小结	187
11.7	思考题与习题	187
第 12 章	空调控制系统的工程实例设计	188
12.1	系统功能说明	188
12.2	系统总体设计	188
12.2.1	应用系统的结构设计	188
12.2.2	低压电力线载波通信技术	189
12.2.3	RS485 通信技术	190
12.3	硬件设计	192
12.3.1	电源模块设计	192
12.3.2	载波通信模块设计	193
12.3.3	RS485 通信模块设计	194
12.3.4	数字隔离保护模块设计	195
12.4	软件设计	195
12.4.1	主程序软件结构设计	196
12.4.2	低压电力线载波通信软件设计	196
12.4.3	RS485 通信软件设计	198
12.4.4	系统程序	198
12.5	系统集成与调试	200
12.6	本章小结	200
12.7	思考题与习题	201
第 13 章	智能照明与吊扇系统的工程实例设计	202
13.1	智能照明与吊扇系统的总体方案设计	202
13.1.1	系统功能说明	202
13.1.2	应用系统的结构设计	202
13.1.3	数据通信流程概述	203
13.2	照明和吊扇控制器设计	203
13.2.1	微控制器	204
13.2.2	电源模块	204
13.2.3	继电器模块与照明和吊扇群	205
13.2.4	ZigBee 通信模块	205

13.3 ZigBee 网络系统设计	205
13.3.1 ZigBee 技术	205
13.3.2 ZigBee 通信模块	207
13.4 软件设计	210
13.4.1 协调器软件设计	210
13.4.2 ZigBee 网络程序设计	211
13.4.3 照明和吊扇控制器软件设计	212
13.4.4 系统程序	214
13.5 本章小结	216
13.6 思考题与习题	217
第 14 章 基于 LabVIEW 的人机界面系统工程实例 DSP 设计	218
14.1 系统功能说明	218
14.2 系统总体设计	218
14.3 LabVIEW 介绍	219
14.3.1 LabVIEW 数据类型	220
14.3.2 相关函数	225
14.4 服务器与集中器通信协议设计	229
14.4.1 通信协议简介	229
14.4.2 通信协议设计	230
14.5 服务器与集中器接口设计	235
14.5.1 LabVIEW 串口及以太网通信实现	235
14.5.2 DSP 串口及以太网通信实现	241
14.6 数据存储设计	244
14.6.1 服务器数据库存储设计	244
14.6.2 集中器 SD 卡存储设计	247
14.7 LabVIEW 人机界面设计	250
14.8 基于 LabVIEW 的工程实例分析	256
14.8.1 数据通信的实现	256
14.8.2 协议成帧、解析及其操作实现	258
14.8.3 数据库及其操作实现	260
14.8.4 界面实例分析	262
14.9 本章小结	265
14.10 思考题与习题	265
参考文献	267

第 1 章 如何进行 DSP 的工程实例开发

1.1 DSP 基础知识

1.1.1 DSP 处理器基本概念

当前,信息社会已经进入了数字化时代,DSP 技术已成为数字化社会最重要的技术之一。DSP 可以代表数字信号处理(Digital Signal Processing),也可以代表数字信号处理器(Digital Signal Processor)。前者是理论和计算方法上的技术,后者是指实现这些技术的通用或专用可编程微处理器芯片。随着 DSP 芯片的快速发展,DSP 这一英文缩写已被大家公认为数字信号处理器的代名词。

数字信号处理器是一种特别适合于进行数字信号处理运算的微处理器,主要用于实时快速地实现各种数字信号处理的算法。在 20 世纪 80 年代以前,由于实现方法的限制,数字信号处理的理论还不能得到广泛的应用。直到 20 世纪 80 年代初,世界上第一块可编程 DSP 芯片的诞生,才使理论研究成果得以广泛地应用到实际的系统中,并且推动了新的理论和应用领域的发展。可以毫不夸张地讲,DSP 芯片的诞生及发展对 30 多年来通信、计算机、控制等领域的技术发展起到了十分重要的作用。

1.1.2 DSP 系统特点

DSP 系统是以数字信号处理为基础的,因此具有数字信号处理的全部优点。

(1)接口方便。DSP 系统提供了灵活的接口,可以与其他以现代数字技术为基础的系统或设备兼容,DSP 的优异接口特性,使得它比模拟系统在接口实现方面要容易得多。

(2)编程方便。DSP 系统中的可编程 DSP 芯片可使设计人员在开发过程中灵活方便地对软件进行修改和升级,可以将 C 语言和汇编语言结合使用。

(3)具有高速性。DSP 系统的运行速度较高,最新的 DSP 芯片运行速度高达 1000MIPS 以上。

(4)稳定性好。DSP 系统以数字处理为基础,受环境温度以及噪声的影响较小,可靠性高,无器件老化现象。

(5)精度高。16 位数字系统可以达到 10^{-5} 的精度。

(6)可重复性好。模拟系统的性能受元器件参数性能影响比较大,而数字系统基本不受影响,因此数字系统便于测试、调试和大规模生产。

(7)集成方便。DSP 系统中的数字部件有高度的规范性,便于大规模集成。

当然,数字信号处理也存在一定的缺点。例如,对于简单的信号处理任务,如与模拟交换线的电话接口,若采用 DSP 则使成本增加。DSP 系统中的高速时钟可能带来高频干扰和电磁泄漏等问题,而且 DSP 系统消耗的功率也较大。此外,DSP 技术更新速度快,开发

和调试工具还不尽完善。虽然 DSP 系统存在着一些缺点,但其突出的优点已经使其在通信、语音、图像、雷达、生物医学、工业控制、仪器仪表等许多领域得到越来越广泛的应用。

1.1.3 可编程 DSP 芯片结构

DSP 芯片的结构取决于工业控制的需求和 DSP 算法的特点。

1) 采用哈佛总线结构

通用微处理器是为计算机设计的。传统的微处理器通常采用冯·诺依曼体系结构:统一的程序和数据空间、共享的程序和数据总线。这意味着,从硬件上,芯片内部只有一条总线,既可以当程序总线,也可当数据总线。由于总线的限制,微处理器执行指令时,取指令和存取操作数必须共享内部总线,因而程序指令只能串行执行。

随着 CPU 技术的发展,人们提出了新的哈佛总线结构和修正的哈佛总线结构。

哈佛总线结构具有独立的程序总线 and 数据总线,即具有 1 套程序总线和 1 套数据总线,程序空间和数据空间分别编址。

修正的哈佛总线结构具有 1 套程序总线和 2 套或 2 套以上的数据总线。

面向数字信号处理的 DSP 芯片不再采用传统的冯·诺依曼体系结构,而采用哈佛总线结构或修正的哈佛总线结构。这样, DSP 芯片就可以在一个时钟周期内同时读取程序和存取操作数,同时对程序空间和数据空间操作,从而大大提高了运行速度。其实,这种速度的提高是以硬件上采用多总线这一复杂性为代价的。

2) 流水线

DSP 芯片采用多组总线结构,允许 CPU 同时进行指令和数据的访问。因而,可在内部实行流水线操作。

执行一条指令,总要经过取指、译码、取数、执行运算的过程,需要若干个指令周期才能完成。流水线技术是将各个步骤重叠起来进行。即第一条指令取指、译码时,第二条指令取指;第一条指令取数时,第二条指令译码,第三条指令取指,以此类推。

3) 专用硬件乘法器

在数字信号处理的算法中,乘法和累加是基本的大量运算,占用绝大部分的处理时间。例如,数字滤波、卷积、相关、向量和矩阵运算中,有大量的乘法和累加运算。硬件乘法器是 DSP 区别于通用微处理器的一个重要标志。

4) 特殊 DSP 指令

采用特殊的寻址方式和指令。例如, TMS320 各系列中都有的位码倒置寻址方式,就是针对执行快速傅里叶变换(FFT)而设计的。此外,还有其他特殊指令。采用这些适合于数字信号处理的寻址方式和指令,进一步缩短了数字信号处理的时间。

5) 片内存储结构特殊

针对数字信号处理的数据密集运算的需要, DSP 对程序和数据访问的时间要求很高,为了减小指令和数据的传送时间,许多 DSP 内部集成了高速程序存储器和数据存储器,以提高程序和数据访问存储器的速度。

6) 专用寻址单元

DSP 面向数据密集型应用,伴随着频繁的数据访问,数据地址的计算也需要大量时间。

DSP 内部配置了专用的寻址单元,用于地址的修改和更新,它们可以在寻址访问前或访问后自动修改内容,以指向下一个要访问的地址。地址的修改和更新与算术单元并行工作,不需要额外的时间。

DSP 的地址产生器支持直接寻址、间接寻址操作,大部分 DSP 还支持位反转寻址(用于 FFT 算法)和循环寻址(用于数字滤波算法)。

1.1.4 DSP 芯片分类

随着近 30 年来 DSP 的发展,已有各种系列的 DSP 产品出现在市场上。这些芯片有如下三种分类方式。

1) 定点 DSP 芯片与浮点 DSP 芯片

这是根据 DSP 芯片工作的数据格式来分类的。数据以定点格式工作的 DSP 芯片称为定点 DSP 芯片,如美国德州仪器(Texas Instruments, TI)公司的 TMS320C1x/C2x、TMS320C2xx/C5x、TMS320C54x/C62xx 系列,AD 公司的 ADSP21xx 系列,AT&T 公司的 DSP16/16A, Motorola 公司的 MC56000 等。以浮点格式工作的 DSP 芯片称为浮点 DSP 芯片,如 TI 公司的 TMS320C3x/C4x/C8x、AD 公司的 ADSP21xxx 系列、AT&T 公司的 DSP32/32C、Motorola 公司的 MC96002 等。

不同浮点 DSP 芯片所采用的浮点格式不完全一样,有的 DSP 芯片采用自定义的浮点格式,如 TMS320C3x,而有的 DSP 芯片则采用 IEEE 的标准浮点格式,如 Motorola 公司的 MC96002、FUJITSU 公司的 MB86232 和 ZORAN 公司的 ZR35325 等。

2) 通用 DSP 芯片和专用 DSP 芯片

这两类芯片是按照 DSP 的用途进行分类的。通用型 DSP 芯片适合普通的 DSP 应用,如 TI 公司的一系列 DSP 芯片属于通用型 DSP 芯片。专用 DSP 芯片是为特定的 DSP 运算而设计的,更适合特殊的运算,如数字滤波、卷积和 FFT,如 Motorola 公司的 DSP56200, ZORAN 公司的 ZR34881 等就属于专用型 DSP 芯片。

3) 静态 DSP 芯片与一致性 DSP 芯片

这是根据 DSP 芯片的工作时钟和指令类型来分类的。如果在某时钟频率范围内的任何时钟频率上,DSP 芯片都能正常工作,除计算速度有变化外,没有性能的下降,这类 DSP 芯片一般称为静态 DSP 芯片。例如,日本 OKI 电气公司的 DSP 芯片、TI 公司的 TMS320C2xx 系列芯片属于这一类。如果有两种或两种以上的 DSP 芯片,它们的指令集和相应的机器代码及引脚结构相互兼容,则这类 DSP 芯片称为一致性 DSP 芯片。例如,美国 TI 公司的 TMS320C54x 就属于这一类。

1.1.5 DSP 发展历程

DSP 芯片诞生于 20 世纪 70 年代末,至今已经得到了突飞猛进的发展,并经历了以下 3 个阶段。

第 1 阶段,DSP 的雏形阶段(1980 年前后)。在 DSP 出现之前数字信号处理只能依靠微处理器(Micro-Processor Unit, MPU)来完成。但 MPU 较低的处理速度无法满足高速实时的要求。1978 年,AMI 公司生产出第一片 DSP 芯片 S2811。1979 年美国 Intel 公司发布了

商用可编程 DSP 器件 Intel2920, 由于内部没有单周期的硬件乘法器, 芯片的运算速度、数据处理能力和运算精度受到了很大的限制。运算速度为单指令周期 200~250ns, 应用领域仅局限于军事或航空航天部门。这个时期的代表性器件主要有 Intel2920(Intel)、PD7720(NEC)、TMS32010(TI)、DSP16(AT&T)、S2811(AMI)、ADSP-21(AD)等。

第 2 阶段, DSP 的成熟阶段(1990 年前后)。这个时期的 DSP 器件在硬件结构上更适合数字信号处理的要求, 能进行硬件乘法、硬件 FFT 和单指令滤波处理, 其单指令周期为 80~100ns。如 TI 公司的 TMS320C20, 它是该公司的第二代 DSP 器件, 因采用了 CMOS 制造工艺, 其存储容量和运算速度可成倍提高, 为语音处理、图像硬件处理技术的发展奠定了基础。20 世纪 80 年代后期, 以 TI 公司的 TMS320C30 为代表的第三代 DSP 芯片问世, 伴随着运算速度的进一步提高, 其应用范围逐步扩大到通信、计算机领域。这个时期的器件主要有 TI 公司的 TMS320C20、TMS320C30、TMS320C40、TMS320C50 系列, Motorola 公司的 DSP5600、DSP9600 系列, AT&T 公司的 DSP32 等。

第 3 阶段, DSP 的完善阶段(2000 年以后)。这一时期各 DSP 制造商不仅使信号处理能力更加完善, 而且使系统开发更加方便、程序编辑调试更加灵活、功耗进一步降低、成本不断下降。尤其是各种通用外设集成到片上, 大大地提高了数字信号处理能力。这一时期的 DSP 运算速度可达到单指令周期 10ns 左右, 可在 Windows 环境下直接用 C 语言编程, 使用方便灵活, 使 DSP 芯片不仅在通信、计算机领域得到了广泛的应用, 而且逐渐渗透到人们日常消费领域。

目前, DSP 芯片的发展非常迅速。硬件方面主要是向多处理器的并行处理结构、便于外部数据交换的串行总线传输、大容量片上 RAM 和 ROM、程序加密、增加 I/O 驱动能力、外围电路内装化、低功耗等方面发展。软件方面主要是综合开发平台的完善, 使 DSP 的应用开发更加灵活方便。

1.1.6 DSP 与 MCU、ARM、FPGA 的区别

1) DSP 与 MCU 的区别

MPU 在早期是用来构成通用计算机系统的, 而后, 随着嵌入式应用的发展及其庞大的市场潜力, 众多的 MPU 生产厂家开始发展嵌入式微处理器。微控制器是从 Z80 微处理器发展而来的, 国外称为 MCU(Micro-Controller Unit), 国内俗称单片机(Single Chip Microcomputer)。

DSP 在某种意义上说是在 MCU(或称单片机)基础上的演化和发展, 是在 MCU 基础上功能的延伸和扩展。DSP 结构上的特征, 包括哈佛总线结构、流水线、专用硬件乘法器、特殊 DSP 指令、片内存储特殊结构和专用寻址单元等特点都是相对于 MCU 而言的, 故这些特征也是与 MCU 的区别。

2) DSP 与 ARM 的区别

ARM(Advanced RISC Machines)是一款以 RISC 为体系结构的微处理器, 已遍及工业控制、消费类电子产品、通信系统、网络系统、无线系统等各类产品市场。ARM 最大的优势在于速度快、低功耗、芯片集成度高, 多数 ARM 芯片都可以算作 SoC, 基本上外围加上电源和驱动接口就可以做成一个小系统了。

ARM 具有比较强的事务管理功能,可以用来运行界面以及应用程序等,其优势主要体现在控制方面,它的速度和数据处理能力一般,但是外围接口比较丰富,标准化和通用性很好,而且在功耗等方面做得也比较好,所以适合用在一些消费电子产品方面。而 DSP 主要是用来计算的,如进行加密解密、调制解调等,其优势是强大的数据处理能力和较高的运行速度。由于其在控制算法等方面很擅长,所以适合用在对计算机控制要求比较高的场合。如果只是着眼于嵌入式应用,ARM 和 DSP 的区别应该只是一个偏重控制、一个偏重运算。

由于两大处理器在各自领域的飞速发展,如今两者中的高端或比较先进的系列产品中,都在弥补自身缺点、扩大自身优势,从而使得两者之间的一些明显的区别已经不再那么明显了,甚至出现两者部分结合的趋势,即由 DSP 结合采样电路采集并处理信号,由 ARM 处理器作为平台,运行嵌入式操作系统,将经过 DSP 运算的结果发送给用户程序进行进一步处理,然后提供给图形化友好的人机交互环境完成数据分析和网络传输等功能,就会最大限度地发挥两者所长。

3) DSP 与 FPGA 的区别

DSP 与 FPGA 都具有数字信号处理的能力,但它们之间存在明显的差异。DSP 是通用的信号处理器,用软件实现数据处理;而 FPGA 用硬件实现数据处理。DSP 的成本低,算法灵活,功能强;而 FPGA 的实时性好,成本较高。FPGA 适合于控制功能、算法简单且含有大量重复计算的工程应用;而 DSP 适合于控制功能复杂且含有大量计算任务的工程应用。

1.2 DSP 芯片的选型概要

1.2.1 DSP 芯片选型原则

对于 DSP 应用系统的设计而言,选择 DSP 芯片是非常重要的一个环节。只有选定了 DSP 芯片,才能进一步设计其外围电路及系统的其他电路。总的来说,DSP 芯片的选择应根据实际的应用系统需要而定。由于应用场合、应用目的不尽相同,对 DSP 芯片的选择也是不同的。一般来说,选择 DSP 芯片时应考虑到如下诸多因素。

(1) DSP 芯片的运算速度。运算速度是 DSP 芯片的一个重要指标,也是选择 DSP 芯片时所需要考虑的一个主要因素。运算速度决定了 DSP 芯片的处理能力以及外围器件的速度。

(2) DSP 芯片的运算精度。一般的定点 DSP 芯片的字长为 16 位,如 TMS320 系列。但有的公司的定点芯片为 24 位,如 Motorola 公司的 MC56001 等。浮点芯片的字长一般为 32 位,扩展精度为 40 位。

(3) DSP 的硬件资源。不同的 DSP 芯片所提供的硬件资源是不同的,如片内 RAM、ROM 的大小,外部可扩展的程序和数据空间,总线接口,I/O 接口等。即使是同一系列的 DSP 芯片(如 TI 的 TMS320C54x 系列),不同型号的 DSP 芯片也具有不同的内部硬件资源,可以适应不同的需要。

(4) DSP 芯片的价格。DSP 芯片的价格也是选择 DSP 芯片所需考虑的一个重要因素。如果采用价格昂贵的 DSP 芯片,即使性能再高,其使用范围也会受到一定的限制,尤其是