

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

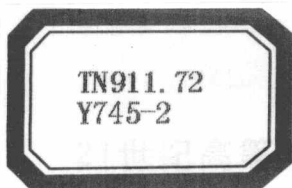
余成波 汪治华 主编

嵌入式DSP原理 及应用

1.72
2



清华大学出版社



郑州大学 *04010747651Z*

学校嵌入式系统专业规划教材

余成波 汪治华 主编

嵌入式DSP原理 及应用



TN911.72 清华大学出版社
Y745-2 北京

内 容 简 介

DSP 技术的研究是一门实践性很强的学科。结合理论学习和应用实践,在学习中实践、在实践中学习是对 DSP 入门、提高、精通最好最快捷的方法。本书以模块化学习、模块化设计的思想为指导,从介绍 DSP 的基础知识开始,循序渐进地设计了从 DSP 芯片支持电路、存储器扩展、输入/输出、A/D、串行口、定时/计数器、键盘、液晶到 DSP 基本应用系统等硬件和软件设计模块,再到 DSP 工程应用的综合实例。

全书共分 9 章。内容包括嵌入式系统体系结构和设计流程、TMS320C54x 的硬件体系结构、TMS320C54x 汇编语言指令系统、TMS320C54x 应用程序开发过程及工具、汇编语言程序设计基础、TMS320C54x 片内外设及应用、DSP 硬件系统设计、TMS320C54x 应用程序开发实例、CCS 集成开发环境高级应用等。书中配有大量的例题和习题,使读者从基本理论过渡到实际应用。

本书可作为高等工科院校电子信息工程、通信工程、自动化、电子科学与技术、计算机科学与技术、生物医学工程等专业本科生及研究生的教材,还可供从事 DSP 芯片开发与应用的广大工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

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

嵌入式 DSP 原理及应用/余成波,汪治华主编. —北京:清华大学出版社,2012.4
(21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材)

ISBN 978-7-302-25807-0

I. ①嵌… II. ①余… ②汪… III. ①数字信号处理 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 113564 号

责任编辑:魏江江 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:17.5 字 数:435 千字
版 次:2012 年 4 月第 1 版 印 次:2012 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00 元

产品编号:036993-01

出版说明

嵌入式计算机技术是 21 世纪计算机技术两个重要发展方向之一,其应用领域相当广泛,包括工业控制、消费电子、网络通信、科学研究、军事国防、医疗卫生、航空航天等方方面面。我们今天所熟悉的电子产品几乎都可以找到嵌入式系统的影子,它从各个方面影响着我们的生活。

技术的发展和生产力的提高,离不开人才的培养。目前国内外各高等院校、职业学校和培训机构都涉足了嵌入式技术人才的培养工作,高校及其软件学院和专业的培训机构更是嵌入式领域高端人才培养的前沿阵地。国家有关部门针对专业人才需求大增的现状,也着手开发“国家级”嵌入式技术培训项目。2006 年 6 月底,国家信息技术紧缺人才培养工程(NITE)在北京正式启动,首批设定的 10 个紧缺专业中,嵌入式系统设计与软件开发、软件测试等 IT 课程一同名列其中。嵌入式开发因其广泛的应用领域和巨大的人才缺口,其培训也被列入国家商务部门实施服务外包人才培养“千百十工程”,并对符合条件的人才培训项目予以支持。

为了进一步提高国内嵌入式系统课程的教学水平和质量,培养适应社会经济发展需要的、兼具研究能力和工程能力的高质量专业技术人次。在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,清华大学出版社与国内多所重点大学共同对我国嵌入式系统软硬件开发人才培养的课程框架和知识体系,以及实践教学内容进行了深入的研究,并在该基础上形成了“嵌入式系统教学现状分析及核心课程体系研究”、“微型计算机原理与应用技术课程群的研究”、“嵌入式 Linux 课程群建设报告”等多项课程体系的研究报告。

本系列教材是在课程体系的研究基础上总结、完善而成,力求充分体现科学性、先进性、工程性,突出专业核心课程的教材,兼顾具有专业教学特点的相关基础课程教材,探索具有发展潜力的选修课程教材,满足高校多层次教学的需要。

本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本组织原则和特点。

(1) 反映嵌入式系统学科的发展和专业教育的改革,适应社会对嵌入式人才的培养需求,教材内容坚持基本理论的扎实和清晰,反映基本理论和原理的综合应用,在其基础上强调工程实践环节,并及时反映教学体系的调整 and 教学内容的更新。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点。规划教材建设把重点放在专业核心(基础)课程的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现工程型和应用型的专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

(4) 支持一纲多本,合理配套。专业核心课和相关基础课的教材要配套,同一门课程可以有多个具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教

学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源的配套。

(5) 依靠专家,择优落实。在制定教材规划时依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主编。书稿完成后认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的、以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

联系人:魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

DSP 技术的研究是一门实践性很强的学科,结合理论学习和应用实践,在学习中实践、在实践中学习是对 DSP 入门、提高、精通最好最快捷的方法。本书以模块化学习、模块化设计的思想为指导,从介绍 DSP 的基础知识开始,循序渐进地设计了从 DSP 芯片支持电路、存储器扩展、输入/输出、A/D、串行口、定时/计数器、键盘、液晶到 DSP 基本应用系统等硬件和软件设计模块,再到 DSP 工程应用的综合实例。在编写过程中,注重以下特色:

特色一:从入门到精通。

特色二:本书一方面通过汇编语言编程练习,使学生达到对 DSP 硬件结构及原理的深入理解,打下坚实的嵌入式 DSP 硬件及汇编基础;另一方面,由于汇编语言面向的是具体的 DSP 芯片,开发较大的软件的能力和可移植能力较差,而学生未来做 DSP 开发,基本上使用的都是 C 语言编程或混合编程,因此,本书也重点讲解 DSP 的 C 语言程序开发,通过 DSP 的 C 语言编程学习,使学生达到在校学习与未来工程开发的无缝连接。

特色三:本书对 DSP 工程开发中应用的嵌入式操作系统进行了讲解。

全书共分 9 章。内容包括嵌入式系统体系结构和设计流程、TMS320C54x 的硬件体系结构、TMS320C54x 汇编语言指令系统、TMS320C54x 应用程序开发过程及工具、汇编语言程序设计基础、TMS320C54x 片内外设及应用、DSP 硬件系统设计、TMS320C54x 应用程序开发实例、CCS 集成开发环境高级应用等。建议课堂教学 40 学时,不同的读者可根据各自的实际情况进行补充与删减。

全书由余成波、汪治华统稿。参加编写的有杜凯(第 2~5 章)、刘岩(第 6~7 章)、全晓丽(第 8 章)、杨树强(第 1 章)、龚大墉(第 9 章)。唐海艳、张进、余亭、闫俊辉、刘峪瑄、张一萌、熊飞等同志参加了本书审核与编排工作。

本书在编写过程中得到了作者所在学校领导自始至终的大力支持和帮助,兄弟院校的同行们为本书的编写提出了许多宝贵意见和提供了帮助,在此,一并表示衷心的感谢。

本书可作为高等工科院校电子信息工程、通信工程、自动化、电子科学与技术、计算机科学与技术、生物医学工程等专业本科生及研究生的教材,还可供从事 DSP 芯片开发与应用的广大工程技术人员参考。

由于我们的水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请广大的同行与读者给予批评指正。

编 者

2012 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 嵌入式系统概述	1
1.1.1 嵌入式系统体系结构	2
1.1.2 嵌入式处理器	3
1.1.3 嵌入式操作系统	4
1.2 DSP 芯片介绍	4
1.2.1 DSP 芯片特点	4
1.2.2 DSP 芯片的选择	6
1.3 嵌入式 DSP 系统设计	8
1.3.1 DSP 系统体系结构	8
1.3.2 DSP 系统设计流程	8
习题	9
第 2 章 TMS320C54x 的硬件体系结构	10
2.1 概述	10
2.1.1 TMS320C54x 芯片引脚功能介绍	10
2.1.2 TMS320C54x 基本结构及主要特性	12
2.2 内部总线	13
2.3 中央处理器 CPU	14
2.3.1 CPU 寄存器	14
2.3.2 处理器结构部件	16
2.4 存储空间结构	19
2.4.1 存储空间配置	20
2.4.2 程序存储空间	20
2.4.3 数据存储空间	21
2.4.4 I/O 空间	22
2.5 片内外设	22
2.5.1 片内外设寄存器	22
2.5.2 片内外设部件	22
2.6 外部总线	23
2.6.1 外部总线控制寄存器	23
2.6.2 外部总线接口构成	24
2.6.3 外部总线接口时序	25

2.7 DSP 操作控制	26
2.7.1 程序地址的产生	27
2.7.2 DSP 的复位	27
2.7.3 DSP 的中断	28
2.7.4 DSP 的低功耗运行模式	28
2.8 DSP 芯片支持电路设计	29
2.8.1 电源电路设计	29
2.8.2 复位电路设计	31
2.8.3 时钟电路设计	32
习题	35
第 3 章 TMS320C54x 汇编语言指令系统	36
3.1 数据类型	36
3.2 数据寻址方法	36
3.2.1 立即寻址	36
3.2.2 绝对寻址	37
3.2.3 累加器寻址	37
3.2.4 直接寻址	38
3.2.5 间接寻址	39
3.2.6 存储器映射寄存器寻址	42
3.2.7 堆栈寻址	42
3.3 指令系统的表示方法	43
3.3.1 指令中的符号与意义	43
3.3.2 指令系统中的运算符	45
3.4 汇编语言指令系统	45
3.4.1 数据传送指令	46
3.4.2 算术运算指令	48
3.4.3 逻辑运算指令	51
3.4.4 程序控制指令	52
3.4.5 并行操作指令	54
3.4.6 重复操作指令	55
3.5 DSP 流水线技术	56
3.5.1 流水线操作	57
3.5.2 指令操作周期	59
习题	60
第 4 章 TMS320C54x 应用程序开发过程及工具	62
4.1 软件开发流程	62
4.2 TMS320C54x 开发工具	63

4.3	汇编语言程序的编写方法	64
4.3.1	汇编语言源程序格式	64
4.3.2	汇编语言中的常数与字符串	66
4.3.3	汇编源程序中的符号	66
4.3.4	汇编源程序中的表达式	68
4.4	公共目标文件格式	70
4.4.1	COFF 文件中的段	70
4.4.2	汇编器对段的处理	71
4.4.3	链接器对段的处理	72
4.4.4	程序重新定位	73
4.4.5	程序装入	74
4.4.6	COFF 文件中的符号	74
4.5	汇编器	75
4.5.1	汇编器及其调用	75
4.5.2	汇编程序伪指令	76
4.5.3	列表文件	79
4.6	链接器	80
4.6.1	链接器及其调用	80
4.6.2	链接器命令文件的编写与使用	82
4.6.3	MEMORY 伪指令及其使用	83
4.6.4	SECTIONS 伪指令及其使用	84
4.6.5	汇编源程序的编辑、汇编和链接过程	86
4.7	C 语言程序开发流程	87
4.8	CCS 集成开发环境初级应用	89
4.8.1	CCS 概述	89
4.8.2	CCS 应用程序开发基础	89
4.8.3	汇编语言源程序开发	90
4.8.4	C 语言源程序开发	93
	习题	96
第 5 章	汇编语言程序设计基础	97
5.1	堆栈的使用方法	97
5.2	程序的控制与转移	97
5.2.1	分支操作程序	98
5.2.2	循环操作指令	100
5.3	算术运算程序	101
5.3.1	加减法程序和乘法程序	101
5.3.2	除法程序	101
5.3.3	长字运算和并行运算	103

5.4	重复操作程序	106
5.5	数据块传送程序	107
5.5.1	数据存储器之间的数据传送	108
5.5.2	程序存储器和数据存储器之间的数据传送	108
5.6	小数运算程序	109
5.6.1	小数的表示方法	109
5.6.2	小数乘法与冗余符号位	109
5.7	浮点运算程序	111
5.7.1	浮点数的表示方法	111
5.7.2	定点数到浮点数的转换	111
5.7.3	浮点数到定点数的转换	111
5.7.4	浮点乘法运算实例	112
	习题	113
第 6 章	TMS320C54x 片内外设及应用	115
6.1	中断系统	115
6.1.1	中断寄存器	115
6.1.2	中断控制	117
6.1.3	中断系统的应用	120
6.2	定时器	123
6.2.1	定时器寄存器	123
6.2.2	定时器结构	124
6.2.3	定时器/计数器应用	126
6.3	主机接口	130
6.3.1	HPI 与主机的连接	130
6.3.2	控制寄存器 HPIC	132
6.4	串行口	132
6.4.1	标准同步串行口 SP	133
6.4.2	缓冲同步串行口 BSP	136
6.4.3	时分复用串行口 TDM	139
6.4.4	多通道缓冲串行口 McBSP	140
6.4.5	串行口的应用	155
	习题	156
第 7 章	DSP 硬件系统设计	157
7.1	DSP 系统电平转换电路设计	157
7.1.1	各种电平的转换标准	157
7.1.2	3.3V 与 5V 电平转换的形式	157
7.1.3	DSP 与外围器件的接口	158

7.2	JTAG 仿真接口电路	159
7.3	DSP 存储器和 I/O 的扩展	160
7.3.1	程序存储器扩展	160
7.3.2	数据存储器的扩展	162
7.3.3	I/O 扩展应用	163
7.4	A/D 和 D/A 接口设计	167
7.4.1	TMS320C54x 与 A/D 转换器的接口	168
7.4.2	D/A 接口	172
7.5	DSP 基本应用系统	176
7.5.1	电源电路设计	177
7.5.2	复位电路的设计	179
7.5.3	时钟电路的设计	181
7.6	DSP 系统自举设计	185
7.6.1	DSP 系统自举概述	185
7.6.2	自举启动表的建立及引导装载的过程	187
第 8 章	TMS320C54x 应用程序开发实例	192
8.1	FIR 滤波器的 TMS320C54x 实现	192
8.1.1	FIR 滤波器的结构与特点	192
8.1.2	FIR 滤波器的设计方法	193
8.1.3	FIR 滤波器的 DSP 实现	199
8.1.4	FIR 滤波器的实例设计	201
8.2	IIR 滤波器的 TMS320C54x 实现	205
8.2.1	IIR 滤波器的结构与特点	205
8.2.2	IIR 滤波器的设计方法	208
8.2.3	IIR 滤波器的 DSP 实现	212
8.2.4	IIR 滤波器的实例设计	214
8.3	FFT 的 TMS320C54x 实现	215
8.3.1	快速傅立叶变换(FFT)算法原理	215
8.3.2	快速傅立叶变换(FFT)在 TMS320C54x 上的实现	216
8.4	正弦信号发生器	219
8.4.1	数字振荡器原理	220
8.4.2	正弦波信号发生器的设计与实现	221
习题		226
第 9 章	CCS 集成开发环境高级应用	227
9.1	应用程序的开发	227
9.1.1	项目管理器	227
9.1.2	代码编辑器	232

9.2 程序调试工具	236
9.2.1 单步运行及其功能扩展	236
9.2.2 断点	237
9.2.3 探针	239
9.2.4 文件或数据的输入/输出	241
9.2.5 图形显示	244
9.2.6 观察窗	244
9.2.7 符号浏览器	246
9.2.8 GEL 工具	247
附录 A ASCII 码表	248
附录 B 数制与转换	250
附录 C TMS320C54x 芯片引脚图	252
附录 D TMS320C54x 系列芯片汇总表	263
参考文献	264

第1章 绪 论

1.1 嵌入式系统概述

嵌入式系统是以应用为中心、计算机技术为基础,软、硬件可裁剪,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。数字计算机系统可分成通用计算机系统和嵌入式系统两大类。通用计算机系统是指微型计算机(PC)、大型计算机、服务器等,除此之外的计算机系统统称为嵌入式系统。

嵌入式系统的出现最初是基于单片机的。20世纪70年代单片机的出现,使得汽车、家电、工业机器、通信装置等成千上万种产品可以通过内嵌电子装置来获得更佳的使用性能(如更容易使用、更快、更便宜),这些装置已初步具备了嵌入式的应用特点,但是这时的应用芯片仅有8位,只能执行一些单线程的程序,还谈不上“系统”的概念。

从20世纪80年代早期开始,嵌入式系统的程序员开始用商业级的“操作系统”编写嵌入式应用软件,获得了更短的开发周期、更低的开发费用和更高的开发效率,“嵌入式系统”真正出现了。确切点说,此时的操作系统是一个实时核,这个实时核包含了许多传统操作系统的特征,包括任务管理、任务间通信、同步与相互排斥、中断支持、内存管理等功能。其中比较著名的有Ready System公司的VRTX、Integrated System Incorporation(ISI)的PSOS和IMG的VxWorks、QNX公司的QNX等。这些嵌入式操作系统都具有嵌入式的典型特点:采用占先式的调度,响应的时间很短,任务执行的时间可以确定;系统内核很小,具有可裁剪性、可扩充性和可移植性,可以移植到各种处理器上;较强的实时性和可靠性,适合嵌入式应用。这些嵌入式实时多任务操作系统的出现,使应用开发人员得以从小范围的开发中解放出来,同时也促使嵌入式系统有了更为广阔的应用空间。

20世纪90年代以后,随着对实时性的要求的提高,软件规模的不断上升,实时核逐渐发展为实时多任务操作系统(RTOS),并作为一种软件平台逐步成为目前国际嵌入式系统的主流。此时更多的公司看到了嵌入式系统的广阔发展前景,开始大力发展自己的嵌入式操作系统。除了上面的几家老牌公司开发的系统以外,还出现了Palm OS、WinCE、嵌入式Linux、Lynx、Nucleux以及国内的Hopen、Delta OS等嵌入式操作系统。嵌入式系统技术具有非常广阔的应用前景,其应用领域可以包括:工业控制、交通管理、信息家电、交通智能管理系统、POS网络及电子商务、环境工程及自然以及机器人等。随着嵌入式技术日益广泛的应用,将会出现更多的嵌入式操作系统软件。

嵌入式系统具有以下几个重要特征:

(1) 系统内核小。嵌入式系统一般应用于小型电子装置,系统资源相对有限,内核较传统的操作系统要小得多。比如Enea公司的OSE分布式系统,内核只有5K字,而Windows的内核简直没有可比性。

(2) 专用性强。嵌入式系统的专用性很强,其中的软件系统和硬件的结合非常紧密,一般要针对硬件进行系统的移植,即使在同一品牌、同一系列的产品中也需要根据系统硬件的变化和增减不断进行修改。同时针对不同的任务,往往需要对系统进行较大修改,程序的编译下载要和系统相结合,这种“修改”和通用软件的“升级”是完全不同的两个概念。

(3) 系统精简。嵌入式系统一般没有系统软件和应用软件的明显区分,其功能设计及实现上不要求过于复杂,这有利于控制系统成本和实现系统安全。

(4) 高实时性的系统软件是嵌入式软件的基本要求。而且软件要求固态存储,以提高速度;软件代码要求高质量和高可靠性。

(5) 嵌入式软件开发要想走向标准化,就必须使用多任务的操作系统。嵌入式系统的应用程序可以不通过操作系统直接在芯片上运行;但是为了合理地调度多任务,合理地利用系统资源、系统函数以及专家库函数接口,用户必须自行选配 RTOS (Real-Time Operating System) 开发平台,这样才能保证程序执行的实时性、可靠性,并减少开发时间,保障软件质量。

(6) 嵌入式系统开发需要开发工具和开发环境。由于嵌入式系统本身不具备自举开发能力,即使设计完成以后用户通常也是不能对其中的程序功能进行修改的,必须有一套开发工具和开发环境才能进行开发,这些工具和环境一般基于通用计算机上的软硬件设备以及各种逻辑分析仪、混合信号示波器等。开发时往往有主机和目标机的概念,主机用于程序的开发,目标机作为最后的执行机,二者需要结合起来以完成开发。

1.1.1 嵌入式系统体系结构

嵌入式系统由中央处理器、存储器、外围接口与设备和软件 4 个部分组成,如图 1.1 所示。

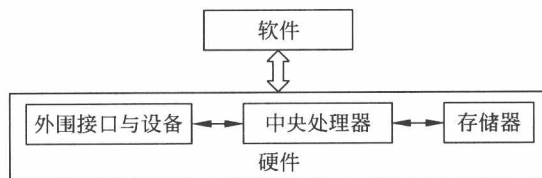


图 1.1 嵌入式系统体系结构

1. 中央处理器

中央处理器是嵌入式系统的核心,与通用计算机不同,嵌入式系统的中央处理器必须解决提高集成度和降低功耗等一系列问题。在实际应用中,嵌入式系统的处理器可以分成微处理器、微控制器、DSP 处理器、片上系统 4 种不同类型。

2. 外部接口与设备

外部接口与设备是嵌入式系统与外部相连的通道。在嵌入式系统上,常见的外部接口有 RS-232、RS-422、RS-485、USB、IrDA、I²C、以太网、IEEE 1394 等。常用的外部设备有闪存卡之类的外部存储设备和单手键盘、输入笔、LCD 之类的输入/输出设备。在很多嵌入式系统中还带有与系统的用途紧密相关的专用外部接口与设备。

3. 存储器

存储器用于存储系统中的程序代码和数据。在嵌入式系统中,存储器有 3 种类型:

RAM、ROM 及可在线写入非易失存储器。其中, RAM 包括: 静态 RAM(SRAM) 和动态 RAM(DRAM); ROM 包括: 掩膜 ROM、可编程 ROM(PROM) 和可擦写可编程 ROM(EPROM); 可在线写入非易失存储器包括: EEPROM、NVRAM(Non Volatile RAM) 和闪存。可在线写入非易失存储器的特点是既能随意写入、擦除, 又能在断电后保持数据不丢失。

1.1.2 嵌入式处理器

嵌入式处理器可分为以下几类:

1. 嵌入式微处理器(Micro Processor Unit, MPU)

嵌入式微处理器是由通用计算机中的 CPU 演变而来的。它是 32 位以上的处理器, 具有较高的性能, 当然其价格也相应较高。在实际嵌入式应用中, 相对于计算机处理器, 它只保留和嵌入式应用紧密相关的功能硬件, 去除其他的冗余功能部分, 这样就以最低的功耗和最少的资源实现嵌入式应用的特殊要求。和工业控制计算机相比, 嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高等优点。目前主要的嵌入式微处理器类型有 Am186/88、386EX、SC-400、Power PC、68000、MIPS、ARM/StrongARM 系列等。

2. 嵌入式微控制器(Micro Controller Unit, MCU)

嵌入式微控制器的典型代表是单片机, 从 20 世纪 70 年代末单片机出现到今天, 虽然已经经过了几十年的历史, 但目前这种 8 位的电子器件在嵌入式设备中仍然有着极其广泛的应用。单片机芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、看门狗、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要的功能部件和外设。和嵌入式微处理器相比, 微控制器的最大特点是单片化, 体积大大减小, 从而使功耗和成本下降、可靠性提高。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流。微控制器的片上外设资源一般比较丰富, 适合于控制, 微控制器由此得名。

3. 嵌入式 DSP 处理器(Embedded Digital Signal Processor, EDSP)

DSP 处理器是专门用于信号处理的处理器, 其在系统结构和指令算法方面进行了特殊设计, 具有很高的编译效率和很快的指令执行速度。在数字滤波、FFT、谱分析等各种仪器上 DSP 获得了大规模的应用。

DSP 的理论算法在 20 世纪 70 年代就已经出现, 但是由于专门的 DSP 处理器还未出现, 所以这种理论算法只能通过 MPU 等由分立元件实现。MPU 较低的处理速度无法满足 DSP 的算法要求, 其应用领域仅仅局限于一些尖端的高科技领域。随着大规模集成电路技术的发展, 1982 年诞生了世界上首枚 DSP 芯片。其运算速度比 MPU 快几十倍, 在语音合成和编码解码器中得到了广泛应用。至 20 世纪 80 年代中期, 随着 CMOS 技术的进步与发展, 第二代基于 CMOS 工艺的 DSP 芯片应运而生, 其存储容量和运算速度都得到成倍提高, 成为语音处理、图像硬件处理技术的基础。到 20 世纪 80 年代后期, DSP 的运算速度进一步提高, 应用领域也扩大到了通信和计算机领域。20 世纪 90 年代后期, DSP 发展到了第五代产品, 集成度更高, 应用更加广泛。

4. 嵌入式片上系统(System On Chip, SOC)

SOC 追求产品系统最大包容的集成器件, 是目前嵌入式应用领域的热门话题之一。SOC 最大的特点是成功实现了软硬件无缝结合, 直接在处理器片内嵌入操作系统的代码模块。而且 SOC 具有极高的综合性, 在一个硅片内部运用 VHDL 等硬件描述语言, 实现一个

复杂的系统。用户不需要再像设计传统的系统那样,绘制庞大复杂的电路板,一点点的连接焊制,只需要使用精确的语言,综合时序设计,直接在器件库中调用各种通用处理器的标准,进行仿真之后就可以交付芯片厂商进行生产。由于绝大部分系统构件都是在系统内部,整个系统就特别简洁,不仅减小了系统的体积和功耗,而且提高了系统的可靠性,提高了设计生产效率。

1.1.3 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统(Embedded Operation System, EOS)是一种用途广泛的系统软件,过去它主要应用于工业控制和国防系统领域。EOS 负责嵌入式系统的全部软、硬件资源的分配,任务调度,控制、协调并发活动。它必须体现其所在系统的特征,能够通过装卸某些模块来达到系统所要求的功能。目前已有一些应用比较成功的 EOS 产品系列。随着 Internet 技术的发展、信息家电的普及应用、EOS 的微型化和专业化, EOS 开始从单一的弱功能向高专业化的强功能方向发展。嵌入式操作系统在系统实时高效性、硬件的相关依赖性、软件固化以及应用的专用性等方面具有较为突出的特点。常见的嵌入式操作系统有: μ C/OS II、uClinux、pSOS、嵌入式 Linux、Windows CE、Symbian 等。

1.2 DSP 芯片介绍

数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)是一门涉及许多学科而又广泛应用于许多领域的新兴学科。20 世纪 60 年代以来,随着微电子技术、信息技术和计算机技术的迅猛发展,数字信号处理技术应运而生,发展迅速,并且日趋完善和成熟。

数字信号处理是利用计算机或专用处理设备,以数字的形式对信号进行分析、采集、合成、变换、滤波、估算、压缩、识别等加工处理,以便提取有用的信息并进行有效的传输与应用。

数字信号处理的实现方法有以下几种:

- (1) 在通用的计算机(如 PC)上用软件(如 FORTRAN, C 语言)实现;
- (2) 在通用的计算机系统中加上专用的加速处理机实现;
- (3) 用通用的单片机实现——可用于不太复杂的数字信号处理,如数字控制等;
- (4) 用通用的可编程 DSP 芯片实现——与单片机相比, DSP 芯片具有更加适合数字信号处理的软件和硬件资源,可用于复杂的数字信号处理算法;
- (5) 用专用的 DSP 芯片实现——在一些特殊的场合,要求信号处理速度极快,用通用 DSP 芯片很难实现,专用的 DSP 芯片(如专用于 FFT、数字滤波、卷积、相关等算法的 DSP 芯片)将相应的信号处理算法在芯片内部用硬件实现,无须进行编程。

1.2.1 DSP 芯片特点

DSP 芯片的内部采用程序和数据分开的哈佛结构,具有专门的硬件乘法器,采用流水线操作,提供特殊的 DSP 指令,可以用来快速地实现各种数字信号处理算法。DSP 芯片一般具有以下特点:

- (1) 在一个指令周期内可完成一次乘法和一次加法;
- (2) 程序和数据空间分开,可以同时访问指令和数据;
- (3) 片内具有快速 RAM,通常可通过独立的数据总线对两块同时访问;
- (4) 具有低开销或无开销循环及跳转的硬件支持;
- (5) 快速的中断处理和硬件 I/O 支持;
- (6) 具有多个在单周期内操作的硬件地址产生器;
- (7) 可以并行执行多个操作;
- (8) 支持流水线操作,使取指、译码和执行等操作可以重叠进行。

1. 哈佛结构

早期的微处理器一般采用冯·诺依曼(Von-Neuman)结构,其程序指令和数据共用一个存储空间,使用单一的地址和数据总线,取指令和取操作数都是通过一条总线分时进行。这样的结构在进行高速运算时会造成数据传输通道的瓶颈现象,其工作速度较慢。DSP 内部采用程序存储器和数据存储器分开的哈佛(Harvard)结构,允许同时取指令和取操作数,还允许在程序空间和数据空间之间相互传送数据,大大地提高了数据处理能力和指令的执行速度,非常适合于实时的数字信号处理。

2. 多总线结构

DSP 芯片都采用多总线结构,可同时进行取指令和多个数据存取操作,并由辅助寄存器自动增减地址进行寻址,使 CPU 在一个机器周期内可多次对程序空间和数据空间进行访问,大大地提高了 DSP 的运行速度。

3. 流水线结构

DSP 执行一条指令,需要经过取指令、译码、取操作数和执行等几个阶段。在 DSP 中,采用流水线结构,如图 1.2 所示,利用这种流水线结构,加上执行重复操作,就能保证在单指令周期内完成数字信号处理中用得最多的乘法-累加运算。如:

$$y = \sum_{i=1}^N a_i x_i \quad (1-1)$$

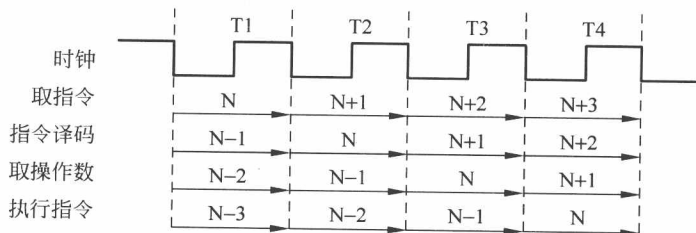


图 1.2 四级流水线操作

4. 支持多处理器结构

为了满足多处理器系统的设计,许多 DSP 芯片都采用支持多处理器的结构。如: TMS320C40 提供了 6 个用于处理器间高速通信的 32 位专用通信接口,使处理器之间可直接对通,应用灵活、使用方便。

5. 具有特殊的 DSP 指令

为了满足数字信号处理的需要,在 DSP 的指令系统中,设计了一些完成特殊功能的指