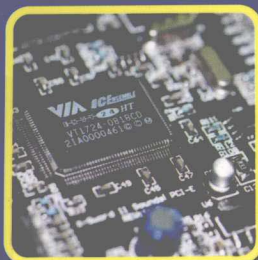


原理及控制系统设计

◎ 主 编 栗思科
◎ 编 著 李拥军 杨 龙 安吉宇 等



- 以工程实例为主线，结合实际工程经验
- 精心组织实验设计，体现项目实战过程
- 注重模块的调试和功能实现
- 增加配套的免费电子教案

清华大学出版社

DSP 原理及控制系统设计

栗思科 主编

李拥军 杨龙 安吉宇 等编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从数字控制工程出发,介绍适合应用于自动控制、智能仪表、航空航天以及工业控制等领域的 TI 公司 TMS320LF240xA 系列 DSP 芯片的功能及具体应用。首先介绍其功能架构、硬件资源和开发工具等,然后通过具体实例介绍每个模块的调试和功能实现,并组合成最小系统,最后通过具体的工程项目,使读者对数字伺服控制系统从项目论证到项目规划、设计实现有一个全局且细腻的理解,并着重结合实际工程经验,列举一些需要注意的问题并给出具体的解决方法。另外,为了帮助读者更好地学习本书,我们还提供了配套的电子教案。

本书内容丰富,图文并茂,语言流畅;讲解循序渐进,通俗易懂,可操作性强,并配合大量的实际调试实例及工程项目,非常适合自动控制、智能仪表、机电一体化、信号处理以及电路系统等专业的高年级本科生和硕士研究生使用,也可作为从事上述领域的广大工程技术人员参考用书。

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

DSP 原理及控制系统设计/粟思科主编;李拥军,杨龙,安吉宇等编著. —北京:清华大学出版社,2010.5

ISBN 978-7-302-22345-0

I. ①D… II. ①粟… ②李… ③杨… ④安… III. ①数字信号-信息处理系统-系统设计

IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 059290 号

责任编辑:郭新义 郭 伟

封面设计:张 岩

版式设计:牛瑞瑞

责任校对:王 云

责任印制:孟凡玉

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:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:24 字 数:550 千字

版 次:2010 年 5 月第 1 版 印 次:2010 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:38.50 元

产品编号:034797-01

前 言

随着电子技术和计算机技术的快速发展,数字控制得以实现并广泛应用于各种控制系统中。在数字控制器中实现各种复杂算法或控制系统,已成为伺服控制系统发展的一个重要方向和趋势。虽然目前市场上有很多关于 DSP 和控制理论的书籍,但是前者主要介绍 DSP 的主要资源或简单的工程开发;而后者主要内容为传统的控制理论,尤以连续系统控制理论为主,鲜有详细地阐述数字控制算法及其实现的书籍,而将 DSP 应用于实际的控制系统中,通过具体的工程项目,引导读者从 DSP 基本应用、连续控制理论到数字离散化,以及 DSP 中具体实现的书籍并不多见,本书正是基于这个现状编写的。

DSP 整合了单片机和数字信号处理器的特点,具有实时性强、功耗低、集成度高等优点,所以从问世以来就广受关注,已广泛应用于通信、航空航天、图像处理、工业控制以及智能仪表等领域,而从目前技术发展趋势来看,DSP 具有更广阔的市场空间。目前生产 DSP 的厂家有很多,诸如 TI、AD、Motorola 等。本书选择比较流行、市场占有率较高的 TI 的 TMS320LF2407/LF2407A 系列 DSP 作为本书的主要控制芯片进行探讨。TMS320LF2407/LF2407A 集成了 32K 字 Flash,2.5K 字 RAM,高速双 8 路或单 16 路 10 位 ADC,16 个 PWM 通道,1 个异步通信接口 SCI,1 个同步串行外设接口 SPI,1 个 CAN 接口模块,具有丰富的硬件资源,非常适合在工业控制等领域中应用,同时也比较容易被初学者所接受。

本书特点

本书由多年参与控制工程和电路开发等项目的人员编写,内容安排详略得当,注重控制理论与工程实践相结合,具有很强的实用性和参考价值。书中列举的工程项目均来自实际工作,且经历了严格的验证和时间考验,具有很强的鲁棒性。通过本书的学习,读者不仅可以从软硬件方面学习 TMS320LF2407 的开发,而且可以将控制理论应用于实际系统中,将课堂上抽象的控制理论在实际控制工程中加以实现。“授人以鱼,不如授人以渔”,通过参考本书,读者不仅可以实际设计和调试出符合严格工程要求的数字伺服控制系统,更重要的是可以学习到数字伺服控制系统设计方法和理念,能够从全局把握到具体实现形成严谨的工程逻辑思维,以适应多样的控制系统,达到举一反三的目的。

组织结构

全书分为基础部分、进阶部分和高级应用部分:第 1 章~第 6 章为基础部分,主要介绍 TMS320LF2407 的基本硬件结构、存储器映射和开发环境 CCS 的基本使用等;第 7 章为进阶部分,主要通过一些简洁的设计使读者了解 TMS320LF2407 各个功能模块的功能以及

具体的实现方法和调试过程；第 8 章为高级应用部分，通过具体的工程实例介绍 TMS320LF2407 在控制领域的应用，主要通过对步进电机和力矩电机的驱动实现传动控制，通过这些实例，使读者了解整个控制工程从方案分析、硬件设计到软件设计调试的流程，同时形成从控制理论到工程物理现象的映射，并在最后给出进行工程设计时需要注意的一些问题等，如抗干扰设计、软件滤波算法及实现过程中需要注意的问题等；第 9 章为本书的补充参考章节，主要介绍一些控制理论中的基本但重要的概念和理论、校正环节设计方法等，并简单介绍 MATLAB 中关于控制理论或实现的基本命令、工具 and 控制系统分析中最常采用的 Simulink 动态仿真环境的使用。藉此希望帮助读者在控制理论与数字实现之间搭建一座桥梁，使所学到的控制理论在实际的硬件电路和程序中得以实现，使抽象的理论不再晦涩难懂，与实际工程现象形成基本映射。

读者对象

本书通俗易懂，图文并茂，并配合实际工程实例，非常适合机电、控制理论、自动化、电路系统、制导、测控技术及仪器仪表等专业高年级学生或研究生学习使用，也可作为从事机电产品开发、工业控制领域研究与工程技术人员的参考书。

编者与致谢

本书由粟思科主编，李拥军、杨龙以及河南理工大学的安吉宇老师、大连民族大学的张秀峰老师、中国科学院光电技术研究所的李其虎执笔编写，书稿经过孙铁铮研究员仔细审阅，并提出了很多宝贵意见，在此表示感谢。参与本书编写工作的人员还有：王治国、冯强、曾德惠、许庆华、程亮、周聪、黄志平、胡松、邢永峰、邵军、边海龙、刘达因、赵婷、马鸿娟、侯桐、赵光明、李胜、李辉、侯杰、王红研、王磊、闫守红、康涌泉、蒋杼倩、王小东、张森、张正亮、宋利梅、何群芬、程瑶等。编写本书的目的是为初学者提供一个契机，希望达到抛砖引玉的效果，数字伺服控制系统的开发和发展需要大家的共同努力。本书是作者多年从事控制系统开发的经验总结和提炼，由于控制理论和电子技术的飞速发展，控制系统所涉及的范围十分广泛，加上作者水平所限，书中难免存在一些问题或纰漏，恳请广大读者批评指正。

配套服务

为了帮助读者更好地学习本书，我们还提供了配套的电子教案，读者可通过 <http://www.tup.com.cn> 下载。另外，为了充分体现本书的特点，帮助读者深刻理解本书编写意图和内涵，进一步提高对本书教学的使用效率，欢迎读者将本书使用过程中的问题与各种探讨、建议反馈给我们，我们将竭诚为您服务，E-mail: china_54@tom.com。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数字伺服控制系统概述	1
1.1.1 数字伺服控制系统基本结构	2
1.1.2 数字伺服系统的特点	3
1.2 DSP 的概念及功能	4
1.3 DSP 与单片机的区别	5
1.4 DSP 的分类及主要技术指标	7
1.4.1 DSP 的分类	7
1.4.2 DSP 的主要技术指标	8
1.5 TMS320XX240x 系列 DSP 简介	10
1.6 TMS320LF2407/2407A 介绍	11
1.7 本章小结	16
第 2 章 TMS320LF240x 的 CPU 内核结构及存储器映射	17
2.1 CPU 内部结构	17
2.1.1 乘法器	17
2.1.2 输入定标移位器	19
2.1.3 中央算术逻辑单元	20
2.1.4 累加器	20
2.1.5 输出数据定标移位器	21
2.1.6 辅助寄存器算术单元	21
2.1.7 状态寄存器	22
2.2 存储器和 I/O 空间	24
2.2.1 内部存储器	24
2.2.2 程序存储器	25
2.2.3 数据存储器	26
2.2.4 I/O 空间	28
2.2.5 外部存储器接口及其操作	29
2.3 本章小结	31
2.4 简答题	32

第 3 章 TMS320LF240xA 片内资源介绍	33
3.1 中断优先级和中断向量表	33
3.2 外设中断扩展控制器	35
3.2.1 中断请求层次和结构	35
3.2.2 中断向量	37
3.3 中断响应过程	37
3.4 CPU 的中断寄存器	38
3.4.1 CPU 中断标志寄存器	38
3.4.2 CPU 中断屏蔽寄存器	39
3.4.3 外部中断控制寄存器	40
3.4.4 外设中断寄存器	42
3.5 复位、无效地址检测和不可屏蔽中断	45
3.5.1 复位	45
3.5.2 无效地址检测	45
3.5.3 不可屏蔽中断	45
3.6 基于 C 语言的可屏蔽中断例程	46
3.7 本章小结	48
3.8 简答题	49
第 4 章 TMS320F240x 的片内外设	50
4.1 事件管理器	50
4.1.1 事件管理器模块	50
4.1.2 通用定时器模块	54
4.1.3 比较单元	68
4.1.4 脉宽调制电路 PWM	73
4.1.5 捕获单元	81
4.1.6 正交编码脉冲 (QEP) 电路	86
4.2 模数转换模块	88
4.2.1 模数转换模块概述	88
4.2.2 自动排序器的工作原理	90
4.2.3 ADC 时钟预定标	97
4.2.4 ADC 校准模式	98
4.2.5 ADC 模块寄存器	99
4.2.6 ADC 转换时间周期	107
4.3 串行外设接口模块	109
4.3.1 串行外设接口概述	109
4.3.2 SPI 操作	111
4.4 串行通信接口模块	123

4.4.1 串行通信接口概述	123
4.4.2 多处理器和异步通信模式	124
4.4.3 串行通信接口可编程的数据格式	124
4.4.4 SCI 多处理器通信	125
4.4.5 SCI 通信格式	128
4.5 CAN 控制器模块	137
4.5.1 CAN 模块概述	138
4.5.2 CAN 总线控制器	139
4.5.3 CAN 控制器的操作	142
4.6 本章小结	144
4.7 简答题	145
第 5 章 寻址方式和指令系统	146
5.1 寻址方式	147
5.1.1 立即数寻址	147
5.1.2 直接寻址	148
5.1.3 间接寻址	151
5.2 常用指令说明	154
5.3 本章小结	165
5.4 简答题	165
第 6 章 DSP 的软件开发	166
6.1 DSP 软件开发流程	166
6.2 使用 CCS 进行 DSP 开发	168
6.2.1 CCS 功能简介	168
6.2.2 CCS 的安装	169
6.2.3 使用 CCS 进行 DSP 开发的具体步骤	171
6.3 CMD 文件的编写	194
6.4 本章小结	196
6.5 简答题	196
第 7 章 TMS320LF240xA 基本硬件开发	197
7.1 最小系统的建立	197
7.1.1 电源电路设计	198
7.1.2 时钟电路设计	198
7.1.3 “看门狗”及复位电路设计	199
7.2 基于 TMS320LF2407A 的基本实验设计	201
7.2.1 “追灯”式实验设计	201
7.2.2 按键计数器	205

7.2.3	模数转换器 ADC 应用实验.....	209
7.2.4	PWM 波形产生实验	213
7.2.5	数码管驱动.....	216
7.2.6	串行通信接口模块.....	220
7.2.7	温度监测系统设计	223
7.2.8	LCD 驱动.....	230
7.2.9	CAN 总线传输实验.....	239
7.3	本章小结.....	244
第 8 章	TMS320LF2407 在传动控制领域的应用	245
8.1	DSP 在“重复启停”控制系统中的应用.....	245
8.1.1	步进电机概述.....	245
8.1.2	步进电机的工作原理.....	248
8.1.3	步进电机相关技术指标	250
8.1.4	步进电机的驱动.....	252
8.1.5	步进电机驱动细分技术.....	258
8.1.6	步进电机及驱动器的选型	259
8.1.7	“重复启停”控制的 DSP 实现.....	261
8.1.8	加减速控制算法设计	264
8.1.9	步进电机控制小结	274
8.2	DSP 在位置伺服控制系统中的应用.....	274
8.2.1	直流力矩电机.....	275
8.2.2	功率驱动单元.....	279
8.2.3	电流采样电路设计	285
8.2.4	光电编码器在数字伺服控制系统中的应用	287
8.2.5	DSP 在高精度位置伺服系统中的应用.....	291
8.3	DSP 在控制领域设计中需要注意的一些问题.....	312
8.3.1	硬件系统抗干扰设计	312
8.3.2	软件设计需要注意的问题	318
8.4	本章小结.....	320
8.5	简答题.....	320
第 9 章	从控制理论到数字实现	322
9.1	基本控制理论.....	322
9.1.1	基本概念	322
9.1.2	校正算法.....	326
9.2	MATLAB 的应用	333
9.2.1	万能的 MATLAB.....	333
9.2.2	MATLAB 的一些常用命令	334

9.2.3 常用工具	336
9.2.4 Simulink 与 S 函数	340
9.3 连续信号和数字信号之间的转换	355
9.3.1 信号的采样	355
9.3.2 采样信号的复现	356
9.3.3 ADC 的原理与应用	359
9.3.4 DAC 的原理与应用	362
9.4 控制算法的离散化	364
9.4.1 各种离散化方法	364
9.4.2 数字式 PID	368
9.5 本章小结	369
9.6 简答题	369
参考文献	371

第 1 章 绪 论

伺服控制技术最早出现于 20 世纪初,世界上第一个伺服系统由美国麻省理工学院辐射实验室于 1944 年研制成功(即火炮自动跟踪目标的伺服系统),随后,伺服控制技术得到了迅速发展。

早期的伺服控制系统大多采用模拟伺服控制技术,由于该系统的静态精度受各种检测元件精度和运算放大器等器件精度的影响很大,而这些器件又很容易受到诸如温度、噪声等因素的影响,会影响控制效果。因此,如何提高控制系统的抗干扰性和控制精度,成为科研人员重点考虑的问题。

恰好,微电子技术和计算机技术的飞速发展为伺服技术提供了根本保证,使得数字伺服技术得到了更广泛的应用,几乎遍及社会的各个领域。在一些国家的很多场合,数字伺服控制系统已经取代了模拟控制系统,成为控制产品的主流。

在机械制造业,各种数控机床能够完成各种形状、高精度产品的加工,完全得益于数字伺服技术;在电力系统中,数字伺服技术可以完成电网在线检测、负荷预测和电网调度等,最大限度地减少了电网损耗;在冶金行业中,电弧炼钢炉、粉末冶金炉等的电极位置控制,以及轧钢机辊轧的运动控制等都依靠数字伺服技术;而在航空航天、军事和机器人等高端技术场合,数字伺服控制技术更是占据着重要地位,体现在月球车的控制、雷达天线的自动瞄准跟踪控制、坦克炮塔的防摇稳定控制、无人侦察机控制以及其航拍相机的控制、防空导弹的制导控制、机器人关节控制等多个方面。

可以看出,数字伺服控制系统的应用越来越广泛,已逐渐应用到人们生产、生活的各个领域。与此同时,人们对数字伺服产品越来越高的要求也推动着数字伺服控制技术的发展,掌握数字伺服控制技术理论及相关应用技术的人员,也已成为社会最需要的技术人才之一。

1.1 数字伺服控制系统概述

可以说,数字伺服控制系统已经渗透到生产、生活、军事等领域。那么,什么是数字伺服控制系统?其基本结构是什么样的?有什么特点?与传统的控制系统有什么不同?下面进行详细讲解。

1.1.1 数字伺服控制系统基本结构

数字伺服系统就是用数字控制器来控制被控对象的状态，使其能够自动、精确地跟踪输入信号的变化，它与一般的伺服控制系统最大的区别就是采用数字控制器来实现闭环控制。当然，为了配合数字控制器的工作，其外围检测等辅助单元也需要将模拟信号转换成数字信号。如图 1-1 所示为一个典型的位置数字伺服控制系统的结构。

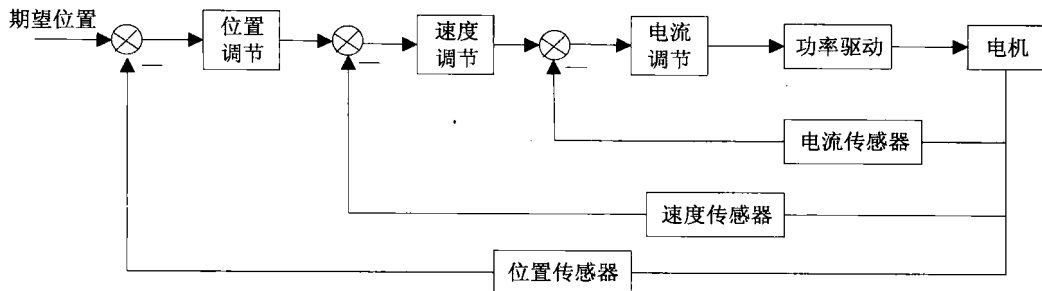


图 1-1 位置数字伺服控制系统

这是一个采用电流环、速度环、位置环控制的三闭环位置控制系统结构图，此系统可以用在雷达机架控制、大型望远镜控制以及电动汽车控制等领域。其中，电机是执行机构，负责带动机架、进给轴等完成期望运动；功率驱动单元一般是 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）或 IPM（智能功率模块）等，负责将控制电路部分的控制信号放大，以便有足够的功率驱动电机；电流调节、速度调节和位置调节一般在 DSP 或专用控制芯片中采用软件实现；而电流传感器、速度传感器和位置传感器负责实时监测电机的电枢电流、转子速度和位置，进而得到精确的信息反馈给控制器。这样就组成了一个典型的位置数字伺服控制系统，由于该系统可以跟踪期望位置输入，所以也可以将其称之为位置随动系统。

该系统包括以下 4 个组成部分。

- 执行机构：该部分将所收到的电信号转化成电机轴上的角位移或角速度输出。伺服电机分为直流伺服电机和交流伺服电机两大类。其特点是当信号电压为零时无自转现象，转速随着转矩的增加而匀速下降。数字伺服系统的设计也是从选择合适的电机开始的，其应能够方便地实现连续、平滑、可逆调速，且能够快速响应控制信号，这样才能保证电机所带负载按照控制运动。
- 功率驱动部分：该部分负责放大控制信号，以使得驱动信号有足够的功率驱动电机。目前使用较多的是 IGBT 或 IPM 模块。IGBT（绝缘栅双极型晶体管）是由 BJT（双极型三极管）和 MOS（绝缘栅型场效应管）组成的复合全控型电压驱动式功率半导体器件，它同时具有 MOSFET 的高输入阻抗和 GTR（大功率晶体管）的低导通压降两个方面的优点。GTR 的饱和压降低，载流密度大，但驱动电流较大；而 MOSFET 驱动功率很小，开关速度快，但导通压降大，载流密度小。IGBT 摒弃了以上两种器件的缺点，综合了两种器件的优点，驱动功率小而饱和压降低，

所以非常适用于直流电压为 500V 及以上的变流系统，如交流电机、变频器、开关电源和电机驱动等。

- 检测单元：该单元是指各类传感器（如电流传感器、速度传感器、位置传感器、加速度传感器等），通过这些传感器，可以实时监测电机的电枢电流、转子速度和位置，进而将其反馈给控制单元，而各类控制算法也是根据这些信息实际值与期望值之间的误差而形成的。

一般来说，电流传感器霍尔元件利用霍尔效应感知电机电枢电流；速度传感器一般采用测速机、旋转变压器等感知电机电枢电流；位置传感器一般采用光电编码器、光栅尺、磁编码器等感知电机电枢电流。

- 控制单元：该单元是数字伺服控制系统的核心，各种简单或复杂的算法均在该单元实现，其功能包括检测单元数据的读取和处理、控制逻辑和算法的实现以及各种软件限位和保护功能等。目前，该单元一般采用专用控制芯片，如单片机、微型计算机、DSP 等。可以说，该单元直接影响最后的控制结果。

1.1.2 数字伺服系统的特点

数字伺服系统与普通的伺服系统一样，都是闭环反馈系统，它需要将物理意义上的模拟信号经过采样量化后转换成数字信号，以方便在计算机、DSP 等数字处理单元中应用。数字伺服系统具有以下几个特点。

- 在传统的模拟控制系统中，各处的信号都是连续的模拟信号；而在数字伺服控制系统中，除含有连续的模拟信号外，还含有离散信号、数字信号等多种信号。因此，数字伺服控制系统是模拟信号和数字信号的混合系统。
- 在模拟伺服系统中，控制规律都是由运放等模拟电路实现的，控制规律复杂，所需要的模拟电路很多，若要修改控制规律，则电路也需要改动很多；而在数字伺服控制系统中，控制规律是由数字控制单元通过软件实现的，也就是说，若要修改一个控制规律，只需要修改程序即可，这样就避免了对硬件电路的大规模改动，因此具有更好的灵活性和适应性。
- 数字控制单元具有丰富的指令系统和较强的逻辑判断功能，能够实现模拟电路难以实现的复杂控制规律。
- 在模拟控制系统中，一般是一个控制器占用一套控制设备，控制一个回路；而在数字控制系统中，由于数字控制单元具有高速运算处理能力，所以一个控制器可以包含多个控制程序，可以控制多个回路。
- 通过数字控制系统可以很方便地实现网络化、模块化。
- 由于数字信号抗干扰的能力大大强于模拟信号，所以采用数字伺服控制系统可以更好地抑制噪声干扰，提高系统的鲁棒性。

可见，数字伺服控制系统区别于传统模拟控制系统最重要的一个特征就是实际的模拟信号经过采样量化处理，便于在数字控制单元（如计算机、DSP 等）中应用。目前，控制单元一般采用专用的微控制器或 DSP（数字信号处理芯片）。

1.2 DSP 的概念及功能

如上所述, 数字伺服控制系统的核心是 DSP, 它可用于完成各种控制算法、IGBT 时序控制、各种传感器数据的采集、处理等, 可以说, DSP 是整个数字伺服控制系统中最重要单元。

一直以来, DSP 包含两种含义: 一种是数字信号处理 (Digital Signal Processing), 是 20 世纪 60 年代以来, 随着计算机和信息技术的飞速发展而形成的一门学科, 包括数字滤波与变换 (卷积、相关、FFT、FIR 滤波、IIR 滤波、自适应滤波等)、通信编码 (自适应差分脉码调制、自适应脉码调制、信道复用、扩频技术等)、语音与图像处理 (语音压缩、语音识别、语音合成、语音增强、图像压缩、图像增强、图像复原、图像分割等) 等; 另外一种——DSP (Digital Signal Processor) 是一种独特的微处理器, 是以数字信号来处理大量信息的器件, 其工作原理是接收模拟信号, 将其转换为 0 或 1 的数字信号, 再对数字信号进行修改、删除、强化, 并在其他系统芯片中把数字数据解译回模拟数据或实际环境格式。它不仅具有可编程性, 而且其实时运行速度可达每秒数以千万条复杂指令程序, 远远超过通用微处理器, 是数字化电子世界中日益重要的电脑芯片。它的强大数据处理能力和高运行速度, 是最值得称道的两大特色。

本书主要侧重于后者, 介绍数字信号处理器在控制领域的应用。

DSP 芯片, 也称数字信号处理器, 是一种特别适合于进行数字信号处理运算的微处理器, 其主要应用于实时快速地实现各种数字信号处理算法或控制算法。由于数字信号处理或控制工程的要求, DSP 芯片一般具有如下主要特点。

- 在一个指令周期内可完成一次乘加运算。
- 采用哈佛结构, 程序和数据空间分开, 可以同时访问指令或数据。
- 片内一般具有快速 RAM, 通常可通过独立的数据总线访问。
- 具有低开销或无开销循环及跳转的硬件支持。
- 快速的多个外部中断并有相应的硬件 I/O 支持。
- 可以并行执行多个操作, 节省程序执行时间。
- 支持流水线操作, 使取指、译码和执行等操作可以重叠执行。

当然, 与通用微处理器相比, DSP 芯片的其他通用功能相对较弱, 但是这些特点尤其适合在实时控制或信号处理方面的应用。

DSP 的应用领域很多, 从简单的电视遥控器、MP3 播放器到大型机床、卫星图像遥感、月球车、航空航天器等都有成功应用的案例。以下所示为 DSP 应用的具体领域。

- 语音处理: 语音编码、语音合成、语音识别、语音增强、语音邮件、语音储存等。
- 图像/图形: 二维和三维图形处理、图像压缩与传输、图像识别、动画、机器人视觉、多媒体、电子地图、图像增强等。
- 军事: 保密通信、雷达处理、声呐处理、导航、全球定位、跳频电台、搜索和反

搜索、航空航天器、阵列天线信号处理等。

- 仪器仪表：频谱分析、函数发生、数据采集、地震处理等。
- 自动控制：深空作业、自动驾驶、机器人控制、磁盘控制等。
- 医疗：助听、超声设备、诊断工具、病人监护、心电图等。生物医学信号处理举例：
 - ❖ CT：计算机 X 射线断层摄影装置（发明头颅 CT 的英国 EMI 公司的豪斯菲尔德获诺贝尔奖）。
 - ❖ CAT：计算机 X 射线空间重建装置。经过全身扫描，显示心脏活动立体图形、脑肿瘤异物，进行人体躯干图像重建、心电图分析等。
- 家用电器：数字音响、数字电视、可视电话、音乐合成、音调控制、玩具与游戏等。

1.3 DSP 与单片机的区别

最初，单片机的广泛应用实现了简单的控制功能，暂时满足了工程设计的需求，但是随着计算机科学与技术、信号处理理论与方法的迅速发展，对工程中控制或信号处理芯片的实时性和精度的要求越来越高，在某些领域，低档单片机已不再能满足要求，这促使具有快速和高精度处理能力的 DSP 得以出现并应用。人们习惯上认为 DSP 是“将部分程序固化从而实现更快处理速度的单片机”，但是这个说法有些牵强。那么，单片机和 DSP 之间的差别在何处呢？

1. 单片机的特点

所谓单片机，就是指在一块芯片上集成了 CPU、RAM、ROM（EPROM 或 EEPROM）、时钟、定时/计数器、多功能串行或并行 I/O 口的通用 IC，如 Intel 公司的 8031、8051 以及后来的 AT89C51 等。除了具有以上基本功能外，有些单片机还集成有 A/D、D/A，如 Intel 公司的 8098 系列等。总的来说，单片机一般具有如下特点。

- 具备位处理能力。
- 可预测的执行周期。
- 擅长中断处理，特别是外部异步事件。
- 具有丰富的 I/O 功能。
- 价格低廉，便于开发。

而 PLC 可以认为是“封装”好了的单片机，其内部具有和单片机功能相同的智能控制部分，对外来说，则是扩展了单片机输入、输出接口的驱动能力，相当于添加了具备驱动能力的三极管和继电器。此外，一般 PLC 因为进行了良好的封装处理，其抗干扰能力大大增强，可以用在比较恶劣的环境下，如矿山、高温高压环境等。对于 PLC 来说，一般具有一套不同于单片机的指令，各个厂家在开发生产时，把 PLC 的指令对应成了内部单片机可以识别的指令，所以不同厂家的 PLC 一般具有不同的指令系统。

单片机经过了很多年的发展，开发环境完备，开发工具齐全，应用资料众多，后备人

才充足。国内大多数高校都开设了单片机课程和单片机实验。但是，单片机本身资源有限，这也制约了其发展。

与单片机相比，DSP 器件一般具有更高的集成度、更快的 CPU、更大容量的存储器，内置有波特率发生器和 FIFO 缓冲器，同时提供高速同步串口和标准异步串口，有的片内还集成了 A/D 采样电路，用于控制领域的 DSP 还提供多路 PWM 输出，用于电机控制，可减少开发人员的工作量。DSP 器件一般采用改进的哈佛结构，具有独立的程序和数据空间，允许同时存取程序和数据。内置高速的硬件乘法器以及增强的多级流水线，使 DSP 器件具有高速的数据运算能力。

2. DSP 的特点

DSP 可以比一些高档的 16 位单片机单指令执行周期降低 8~10 倍，可以在一个周期内完成一次乘加运算，比单片机运算快 16~30 倍，可以大幅度提高存在很多乘加运算的 FFT（快速傅里叶变换）和滤波器的运算速度。此外，DSP 器件还提供了 JTAG 接口，具有更先进的开发手段，批量生产测试更方便，开发工具可实现全空间透明仿真，用户可以看到全部存储空间或 I/O 空间的变化而不占用用户任何资源。开发软件配有汇编/链接 C 编译器、C 源码调试器等，使用户不必过多关心编译细节，从而可以更加专注于算法设计和程序开发。总而言之，DSP 是为了满足数字信号处理、控制开发而制造的一类专用微处理器，一般具有以下几个特点。

- 采用改进的哈佛总线结构，内部有两条总线，即数据总线和程序总线。采用程序与数据空间分开结构，分别有各自的地址总线和数据总线，可以同时完成指令操作和数据操作。
- 采用流水操作，每条指令的执行划分为取指令、译码、取数、执行等若干步骤，由片内多个功能单元分别完成，支持任务的并行处理。
- 在一个指令周期内实现一次或多次乘法累加（MAC）运算，从而节省运算时间。
- 集成了多个地址产生单元，支持循环寻址和位倒序等特殊指令，实现 FFT、卷积等运算中的寻址、排序等，使得计算速度大大提高。
- 有一组或多组独立的 DMA 控制逻辑，提高了数据的吞吐带宽，为高速数据交换和数字信号处理提供了保障。
- 支持重复运算，避免循环操作消耗过多时间。
- 拥有丰富的片内内存和外扩存储器接口。
- 提供多个串行或并行 I/O 接口以及特别 I/O 接口（如 PWM 等），来完成特殊的数据处理或控制，从而提高系统的性能并且降低了成本。

目前国内推广应用最为广泛的 DSP 器件是美国德州仪器（TI）公司生产的 TMS320 系列和 ADI 以及 Motorola 公司的系列 DSP。目前，已有不少高校计划建立 DSP 实验室，TI 等公司都已制订了高校支持计划，将带动国内 DSP 器件的应用和推广，同时更多开发人员的参与也使得可利用的开发资源越来越多。

因为单片机和 DSP 各自有其特点，所以各自有不同的适用领域。一般单片机多应用于一些简单的控制领域，这些应用一般不要求很高的精度和数字信号处理；而在一些高精度

控制领域，特别是需要对各种传感器信号进行处理的场合，DSP 的应用就更多一些。因此，并不能简单地评价是单片机更好还是 DSP 更好，而是应该根据不同的工程需要，选择合适的、性价比高的处理器。

1.4 DSP 的分类及主要技术指标

DSP 的生产厂家很多，如 TI、ADI、Freescale 等国际知名半导体厂家都推出自己的 DSP 器件。由于种类繁多，分类标准不一而足，所以使得用户在实际工程选型中必然会接触到各种参数指标，如何根据这些参数指标选择满足工程需要的、性价比高的 DSP 芯片，是每个工程技术人员在设计之初就必须面对的问题。

1.4.1 DSP 的分类

DSP 的分类标准很多，一般来说可以按数据格式、基础特性和用途 3 种方法进行分类。

1. 按数据格式分类

按照数据格式（即精度或动态范围）进行划分，可将通用 DSP 划分为定点 DSP 和浮点 DSP 两类。若 DSP 中数据以定点格式工作，即为定点 DSP 芯片，如 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。若 DSP 中数据以浮点格式工作，即为浮点 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，前 Motorola 公司的 MC96002 等。不同的浮点 DSP 芯片所采用的浮点格式有所不同，有的 DSP 芯片采用自定义的浮点格式，如 TMS320C3X；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。

定点 DSP 与浮点 DSP 的基本差异在于它们各自对数据的数字表示方法不同。定点 DSP 在其内部严格执行整数运算，而浮点 DSP 既支持整数运算又支持实数运算，后者以科学计数法进行了标准化，即数字表示分为指数部分和尾数部分。假设字长为 16 位的定点 DSP，其可以实现 64K 位的精度，可以表示带符号整数值范围为 $-32768 \sim 32767$ 。

浮点 DSP 将数据分成两部分：一是可用作整数值或实数基数的尾数，二是指数。在采用业界标准单精确运算的 32 位浮点 DSP 中，尾数为 24 位，指数为 8 位，这样，由于其较长的字长和取幂范围，该器件支持 16M 位的精度范围，它的动态表示范围也大大高于定点格式的 DSP。在采用业界标准双精度运算的 64 位 DSP 中，包括一个 53 位的尾数与 11 位的指数部分，可以实现更高的精度。