



21世纪高等院校电气信息类系列教材

Electrical Information
Science and Technology

DSP 原理与应用

张东亮 编著



附赠电子教案

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

DSP 原理与应用

张东亮 编著



机械工业出版社

本书以 TI 公司 TMS320C24x DSP 的 TMS320LF2407A 为例,介绍了 DSP 芯片的结构原理、软硬件设计开发和应用。主要内容包括 DSP 技术概况、DSP 结构原理、CPU 与指令系统、软件设计开发、片内外设、应用系统设计等。各章安排有思考题与习题,并附有 DSP 术语与符号英汉对照表。

本书可以作为高等院校相关专业 DSP 课程教材,还可以供从事自动控制、仪器仪表、电气自动化、计算机、电子机械等领域的工程技术人员参考使用。

本书配套授课电子课件,需要的老师可登录 www.cmpedu.com 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 241151483, 电话: 010-88379753)。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 原理与应用/张东亮编著. —北京:机械工业出版社, 2011.12
(2015.1 重印)

21 世纪高等院校电气信息类系列教材
ISBN 978-7-111-36250-0

I. ①D… II. ①张… 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(2011)第 216985 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:时 静

责任编辑:时 静

责任印制:刘 岚

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2015 年 1 月第 1 版·第 2 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·463 千字

3501—5300 册

标准书号:ISBN 978-7-111-36250-0

定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

封面防伪标均为盗版

读者购书热线:(010) 88379203

出版说明

随着科学技术的不断进步,整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展,社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中,电气信息类(Electrical and Information Science and Technology)包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时,也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下,只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去,才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要,机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的,期间,与高等院校相关课程的主讲教师进行了广泛的交流和探讨,旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业教材。

本套教材涵盖多层面专业课程,定位准确,注重理论与实践、教学与教辅的结合,在语言描述上力求准确、清晰,适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

前 言

目前各种控制系统、通信系统、网络设备、仪器仪表等都以微处理器为核心。几十年来,随着大规模集成电路技术的不断发展,微处理器的性能越来越高、体积越来越小、系列越来越多。微处理器从过去单纯的中央处理单元,发展到将众多外设集成到片内形成单片机,由过去的 8 位机,发展到 16 位、32 位机。TMS320C24x DSP 芯片就是 16 位高性能的单片机系列,被称为 DSP 控制器(DSP Controller)。

由于大规模集成电路技术的突破,DSP 控制器的价格已和普通单片机接近,但其性能远远超过了普通单片机。高性能的控制系统、通信系统、网络设备、仪器仪表,甚至高性能家用电器的需求巨大。为了实现高性能,就需要快速地完成复杂算法,这是普通单片机的瓶颈。DSP 控制器由 DSP(Digital Signal Processor, 数字信号处理器)发展而来,其突出特点就是采用多组总线技术实现并行机制,有独立的加法器和乘法器,有灵活的寻址方式,从而可以非常快速地实现复杂算法。

在 DSP 领域中,美国 TI 公司的 TMS320 系列 DSP 具有较强的竞争力。1981 年 TI 公司推出了 TMS320 系列的第一种产品 TMS32010。目前 TMS320 已有 C2000、C5000、C6000 等系列 DSP。TMS320C24x DSP 控制器是一种集成了大量片内外设、适用于控制的 16 位定点 DSP 芯片系列,也称为数字信号控制器(Digital Signal Controller, DSC)。

本书分别介绍了 DSP 技术的概况,DSP 芯片的总体结构,中央处理器与指令系统,软件开发与 C 语言编程,各种片内外设的结构、原理与使用方法等,并给出了应用系统的设计实例。

本书深入浅出,实例丰富,突出实用,适合高等院校自动化、电气、电子、生物医学工程、计算机、机械电子等专业的本科教学,也可以供从事微机应用、测控系统、智能仪器仪表、嵌入式系统等领域工作的工程技术人员参考。本书主要面向 DSP 的初学者,如果读者希望进一步学习 32 位 DSP 控制器系列 TMS320C28x,可以参考本书的姊妹篇:《DSP 控制器原理与应用》,机械工业出版社,2010。

由于作者水平所限,书中难免有错漏之处,恳请读者批评指正。

作者 E-mail 地址:dongliang_zhang@yahoo.com.cn。

作者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 绪论 1

- 1.1 DSP 的发展与 DSP 芯片的特点 1
- 1.2 典型 DSP 应用系统及其设计过程 2
- 1.3 常用 DSP 芯片 4
- 1.4 C2000 系列 DSP 控制器 5
- 1.5 DSP 芯片的应用 10
- 1.6 数的定标与定点运算 11
- 1.7 思考题与习题 13

第 2 章 DSP 总体结构 15

- 2.1 TMS320LF2407A DSP 片内硬件资源
与引脚 15
- 2.2 存储器与 I/O 空间 23
 - 2.2.1 片内存储器 23
 - 2.2.2 程序存储器 25
 - 2.2.3 数据存储器与片内外设寄存器 26
 - 2.2.4 I/O 空间 28
 - 2.2.5 外部存储器与外部 I/O 接口
信号 29
 - 2.2.6 等待状态发生器 30
- 2.3 系统配置寄存器、时钟与低功耗
模式 31
 - 2.3.1 系统配置寄存器 31
 - 2.3.2 时钟 33
 - 2.3.3 低功耗模式 36
- 2.4 看门狗定时器 37
- 2.5 通用输入/输出 39
- 2.6 中断系统 45
 - 2.6.1 中断优先级和中断向量表 45
 - 2.6.2 外设中断扩展控制器 47
 - 2.6.3 中断响应的过程 50
 - 2.6.4 中断控制寄存器 50
- 2.7 思考题与习题 55

第 3 章 C24x DSP 的 CPU 与指令

系统 56

- 3.1 中央处理器 56
 - 3.1.1 CPU 总体结构 56
 - 3.1.2 总线结构 59
 - 3.1.3 CPU 内核结构 60
 - 3.1.4 状态寄存器 ST0 和 ST1 63
 - 3.1.5 辅助寄存器算术单元 64
- 3.2 寻址方式 65
 - 3.2.1 立即寻址方式 65
 - 3.2.2 直接寻址方式 66
 - 3.2.3 间接寻址方式 66
- 3.3 C24x DSP 汇编指令 69
 - 3.3.1 汇编指令格式 69
 - 3.3.2 指令系统分类表 69
 - 3.3.3 指令说明 73
- 3.4 汇编语言命令与程序举例 98
 - 3.4.1 常用汇编语言命令 98
 - 3.4.2 汇编语言程序举例 100
- 3.5 思考题与习题 102

第 4 章 DSP 软件开发与 C 语言

编程 103

- 4.1 DSP 开发与软件开发流程 103
- 4.2 集成开发环境 CCS 109
- 4.3 DSP 的 C 工程文件 113
 - 4.3.1 公共目标文件格式 114
 - 4.3.2 链接命令文件 116
- 4.4 DSP C 语言程序设计基础 118
 - 4.4.1 数据类型 119
 - 4.4.2 C 语言运算符与基本语句 119
 - 4.4.3 函数 121
 - 4.4.4 指针 122
 - 4.4.5 编译预处理命令 122
 - 4.4.6 C 语言与汇编语言混合编程 125

4.4.7 C24x DSP 编译器的几个 关键字·····	127	8.2 SPI 的操作·····	223
4.5 DSP C 程序举例·····	129	8.3 SPI 的设置·····	225
4.6 思考题与习题·····	132	8.4 SPI 的寄存器·····	228
第 5 章 DSP 的 A-D 转换器 ·····	134	8.5 SPI 应用实例·····	232
5.1 240xA 的 A-D 转换器的特点·····	134	8.6 思考题与习题·····	236
5.2 自动排序器原理·····	135	第 9 章 CAN 控制器模块 ·····	237
5.3 自动排序模式·····	137	9.1 CAN 总线概述·····	237
5.4 ADC 时钟定标·····	141	9.2 CAN 控制器模块结构·····	239
5.5 ADC 寄存器·····	141	9.3 CAN 模块的寄存器·····	241
5.6 ADC 的 C 语言编程实例·····	149	9.4 CAN 控制器的操作·····	253
5.7 思考题与习题·····	151	9.4.1 CAN 控制器初始化·····	253
第 6 章 事件管理器 ·····	152	9.4.2 信息的发送·····	254
6.1 事件管理器功能概述·····	152	9.4.3 信息的接收·····	254
6.2 通用定时器·····	154	9.4.4 远程帧处理·····	255
6.3 比较单元与 PWM 电路·····	169	9.5 CAN 模块的应用·····	255
6.4 空间矢量 PWM·····	180	9.6 思考题与习题·····	259
6.5 捕获单元·····	183	第 10 章 DSP 应用系统设计 ·····	260
6.6 正交编码脉冲电路·····	188	10.1 2407 DSP 系统硬件设计·····	260
6.7 事件管理器的中断·····	190	10.2 基于 DSP 的数字运动控制系统·····	265
6.8 事件管理器的应用实例·····	199	10.3 快速傅里叶变换与 FIR 数字 滤波器·····	273
6.9 思考题与习题·····	203	10.3.1 快速傅里叶变换·····	273
第 7 章 串行通信接口 ·····	204	10.3.2 FIR 数字滤波器·····	277
7.1 SCI 模块概述·····	204	10.4 思考题与习题·····	280
7.2 SCI 模块的结构·····	205	附录 ·····	281
7.3 SCI 的寄存器·····	212	附录 A DSP 术语英汉对照表·····	281
7.4 SCI 应用实例·····	218	附录 B 逻辑电路符号对照表·····	286
7.5 思考题与习题·····	221	附录 C DSP 的 C 程序头文件·····	287
第 8 章 串行外设接口 ·····	222	参考文献 ·····	293
8.1 SPI 模块的结构·····	222		

第 1 章 绪 论

本章知识要点：

- 1) DSP 的发展与 DSP 芯片的特点 (Development and Features of DSP Chips)。
- 2) 典型 DSP 应用系统及其设计过程 (Typical DSP Application Systems and Their Design Procedure)。
- 3) 常用 DSP 芯片 (Frequently Used DSP Chips)。
- 4) C2000 系列 DSP 控制器 (C2000 Series DSP Controllers)。
- 5) DSP 芯片的应用 (Applications of DSP Chips)。
- 6) 数的定标与定点运算 (Number Scaling and Fixed Point Operation)。

1.1 DSP 的发展与 DSP 芯片的特点

数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 是一门应用广泛的学科。数字信号处理是利用计算机技术, 以数字形式对信号进行采集、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等处理, 以得到符合需要的信号形式。

数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 也称为 DSP 芯片, 是一种用于进行数字信号处理运算的微处理器, 其主要功能是实时快速实现各种数字信号处理算法及各种复杂控制算法。本书所讲的 DSP 特指数字信号处理器。根据数字信号处理的要求, DSP 芯片一般具有如下主要特点:

- 1) 采用哈佛结构。程序和数据存储空间分开, 采用不同的总线, 可以同时访问指令和数据。
- 2) 具有专门的硬件乘法器和乘法指令。可在一个指令周期内完成一次乘法和一次加法 (Multiply and Accumulate, MAC) 运算。
- 3) 支持流水线 (Pipeline) 操作。取指令、译码和执行等操作可以重叠执行。
- 4) 具有特殊的适合数字处理算法的 DSP 指令。例如设置倒位序寻址指令, 能方便、快速地实现 FFT 算法。
- 5) 片内具有快速访问 RAM。
- 6) 具有单周期操作的多个硬件地址产生器。
- 7) 快速的中断处理和硬件 I/O 支持。

世界上第一个 DSP 芯片是 1978 年 AMI 公司开发的 S2811。1979 年 Intel 公司开发的可编程器件 2920 是 DSP 芯片的一座里程碑。这两种芯片都没有现代 DSP 芯片所必须具有的单周期乘法器。1980 年, 日本 NEC 公司推出的 μ PD7720 是第一个具有乘法器的商用 DSP 芯片。

TI 公司在 1981 年成功推出了其第一代 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品, 之后相继推出了第二代 DSP 芯片 TMS32020、C25 等, 第三代 DSP 芯片 C30/C31/C32, 第四代 DSP 芯片

C40/C44，第五代 DSP 芯片 C5x/C54x，第二代 DSP 芯片的改进型 C2xx，集多个 DSP 芯片于一体的高性能 DSP 芯片 C8x 以及第六代 DSP 芯片 C62x/C67x 等。TI 将常用的 DSP 芯片归纳为三大系列，即 TMS320C2000 系列、C5000 系列、C6000 系列。目前 TI 的 DSP 产品已经成为最有影响力的 DSP 芯片。

第一个采用 CMOS 工艺生产浮点 DSP 芯片的是日本 Hitachi 公司，它于 1982 年推出了浮点 DSP 芯片。1983 年日本 Fujitsu 公司推出的 MB8764 指令周期为 120ns，其具有双内部总线。而第一个高性能浮点 DSP 芯片是 AT&T 公司于 1984 年推出的 DSP32。

Motorola 公司 1986 年推出了定点 DSP 芯片 MC56001。1990 年推出了与 IEEE 浮点格式兼容的浮点 DSP 芯片 MC96002。

美国模拟器件公司 (Analog Devices Inc., ADI) 在 DSP 芯片市场上也占有一定的份额，其定点 DSP 芯片有 ADSP 2101/2105、ADSP 2111/2115、ADSP 2161/2164 以及 ADSP 2171/2181，浮点 DSP 芯片有 ADSP21000、ADSP21062 等。

自 1980 年代以来，DSP 芯片不断发展，应用越来越广泛。从运算速度来看，MAC (一次乘法和一次加法) 的时间已经从 400ns (如 TMS32010) 降低到 10ns 以下 (如 TMS320C54x、TMS320C62x/67x、TMS320C28x 等)，处理能力提高了几十倍。片内 RAM 数量增加了一个数量级以上。DSP 芯片的引脚数量从 1980 年的最多 64 个增加到现在的 200 个以上。DSP 芯片的发展使 DSP 系统的成本、体积、重量和功耗都大大降低，性能却大大提高。

DSP 芯片的重要发展方向之一是片上系统 (System on a Chip, SoC)。TI 的 C2000 系列的 TMS320C24x DSP 控制器 (DSP Controller) 是一种集成了大量片内外设、适用于控制领域的 16 位 DSP 芯片，被称为数字信号控制器 (Digital Signal Controller, DSC)，实际上是一种具有 DSP 处理能力的高性能单片机即微控制器 (Microcontroller)。

在 DSP 芯片向高性能、高速、低功耗方向发展的同时，数字信号处理理论也在不断发展。自适应滤波、卡尔曼滤波、同态滤波、自适应控制等理论逐步成熟和应用，各种快速算法，声音与图像的压缩编码、识别与鉴别，加密解密，调制解调，频谱分析等算法都成为研究的热点，并有长足的进步，为各种实时处理的实际应用提供了算法基础。

1.2 典型 DSP 应用系统及其设计过程

1. 典型 DSP 应用系统

图 1-1 所示为一个典型的计算机控制系统框图。该系统通常由 A-D 转换器、计算机 CPU、D-A 转换器、执行机构、被控对象等组成。如果计算机的 CPU 为 DSP 芯片，则组成基于 DSP 的数字控制系统。

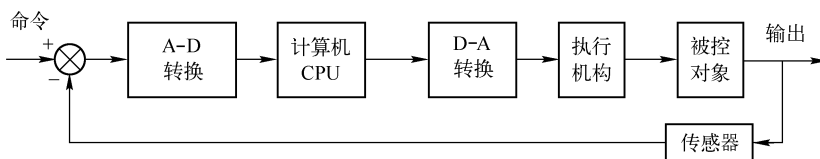


图 1-1 典型的计算机控制系统框图

许多被控物理量为模拟量，如电压、电流、温度、压力、转速等，需要经过 A - D 转换才能进行运算与控制，运算处理的数字量结果也经常需要通过 D - A 转换器转化为模拟量，以便操纵被控制对象。有些应用场合不需要 D - A 转换功能。

一种广泛应用的 DSP 应用系统是数字运动控制（Digital Motion Control, DMC）系统或称为数字电动机控制（Digital Motor Control, DMC）系统。基于 DSP 的数字运动控制系统框图如图 1-2 所示。该控制系统包括以下几个功能：

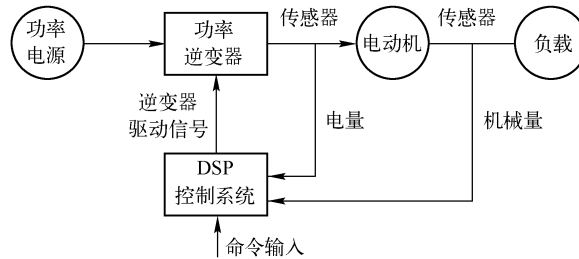


图 1-2 基于 DSP 的数字运动控制系统

1) 数据采集与处理。各种电气与机械物理量（电压、电流、位置、温度等）通过各种传感器再由 A - D 转换器、脉冲输入接口等转换为数字量。

2) 通信。通信功能完成来自高层协调主计算机或操作者的输入命令，并输出系统的各种变量。

3) 系统逻辑与控制算法等。

4) 功率电路接口。根据控制软件与硬件，为功率逆变器提供所需的驱动信号。

5) 辅助功能如键盘显示、存储、监视保护、调试与诊断等。

2. DSP 应用系统设计开发过程

DSP 应用系统的设计与开发过程主要包括硬件设计、软件设计、实验调试、制作等环节。研制一个 DSP 应用系统包括确定任务、总体方案设计、硬件设计、软件设计、系统调试等几个步骤，如图 1-3 所示。

在软硬件开发与调试过程中可以采用仿真器、评估板等，以加速系统开发调试。经过初步的软硬件调试，可以设计并制作印制电路板（PCB），通过进一步实验调试，完成整个应用系统，这时要把程序固化到 DSP 的程序存储器中。软件开发与调试需要汇编语言或 C 语言程序的汇编、编译、调试软件，通常采用集成开发环境工具软件完成。

3. DSP 芯片的选择

DSP 芯片种类繁多，结构与性能差别很大。DSP 芯片按照数据格式可以分为定点芯片和浮点芯片。定点芯片按照定点数据格式进行工作，其数据长度通常为 16 位、24 位、32 位等。定点 DSP 芯片的特点是：体积小、成本低、功耗低、对存储器的要求不高，但数值表示范围较窄，通常使用定点定标的方法，并要防止

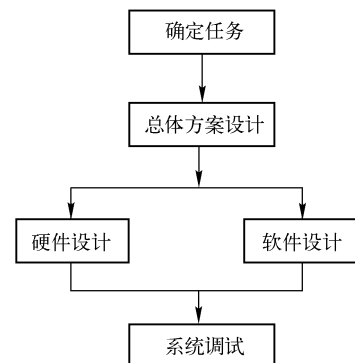


图 1-3 DSP 应用系统的设计与开发过程

结果的溢出。浮点 DSP 芯片按照浮点数据格式进行工作，其数据长度通常为 32 位、40 位等。由于浮点数表示的数据动态范围宽，运算中不必顾及小数点的位置，因此开发较容易，但它的硬件结构相对复杂、功耗较大，且比定点 DSP 芯片的价格高。通常浮点 DSP 芯片使用在对数据动态范围和精度要求较高的系统中。

DSP 的主要技术指标通常有 CPU 数据宽度（运算精度）、时钟频率、机器周期、运算速度（Million Instructions Per Second, MIPS）等。

选择 DSP 芯片除了要考虑数据格式（定点、浮点）、数据宽度、时钟频率、机器周期、运算速度等性能指标外，还要考虑如下因素：

- 片内硬件资源。如程序与数据存储器、模数转换器、事件管理器、通信接口等。
- 价格。
- 开发工具。
- 器件功耗与封装。
- 货源、生命周期等。

1.3 常用 DSP 芯片

目前生产 DSP 芯片的公司有 TI、Motorola（代表型号 MC96002）、ADI（代表型号 AD2100）、微芯（代表型号 dsPIC）、Lucent、NEC 等。

TI 公司的 DSP 产品已经成为了当今世界最有影响的 DSP 芯片，其市场占有率在 50% 左右，为最大的 DSP 芯片供应商。TI 公司应用最广泛的三大系列 DSP 芯片为 TMS320C2000 系列、TMS320C5000 系列和 TMS320C6000 系列，如图 1-4 所示。

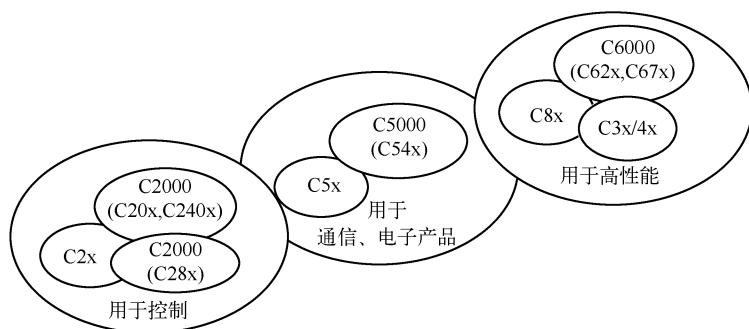


图 1-4 TMS320 DSP 的三大主要系列

1. TMS320C2000 系列

该系列 DSP 芯片是为控制领域优化（Control optimized）设计的，主要是 16 位和 32 位定点 DSP，包括 TMS320C2x/C2xx/C24x/C28x 等子系列，片内集成了 Flash 存储器、高速 A-D 转换器、事件管理器、串行通信接口及 CAN 通信模块等，适用于数字电动机控制（包括变频器、伺服系统等）、运动控制、机器人、数控机床、工业测控等需要数字化的控制领域。

2. TMS320C5000 系列

该系列为低功耗、低成本、高性能 DSP，主要用于无线通信和有线通信设备中，如 IP 电话、PDA、网络电话、服务器、便携式信息系统及消费类电子产品等。

该系列具有多种片内外设、封装小、省电等优点，电源可降至 0.9 V，速度可达 600 MIPS。

C5000 系列中的 C54x 子系列为 16 位定点 DSP，功耗 0.32 mW/MIPS，速度为 32 ~ 532 MIPS。

C55x 子系列为 8 ~ 48 位浮点 DSP，功耗 0.05 mW/MIPS，速度为 283 ~ 600 MIPS，程序字宽度为 32 位。

3. TMS320C6000 系列

该系列是高性能的 DSP，具有较高的性能价格比。其中 C62x 子系列为 16 位定点 DSP，工作频率为 150 ~ 300 MHz，运行速度为 1200 ~ 2400 MIPS，具有两个乘法器，6 个算术逻辑单元，超长指令字结构，大容量的片内存储器，4 个 DMA 接口，两个多通道缓冲串口，32 位片内外设。可用于无线基站、调制解调器、网络系统、中心交换机、数字音频广播设备等。

C64x 子系列工作频率为 400 ~ 600 MHz，运行速度为 3200 ~ 4800 MIPS，具有特殊功能的指令集。

C67x 子系列为 32 位浮点 DSP 芯片，工作频率为 100 ~ 225 MHz，运行速度为 600 ~ 1350 MFLOPS (Million Floating Point Operations Per Second, 百万次浮点运算每秒)，具有 4 个浮点/定点算术逻辑单元，2 个定点算术逻辑单元，4 个浮点/定点乘法器。可用于基站数字波束形成、图像处理、语音识别和 3D 图形等领域。

1.4 C2000 系列 DSP 控制器

C2000 系列是为控制领域优化设计的 DSP 芯片，由最初的 C2x、C2xx 子系列发展到目前广泛应用的 C24x、C28x 两个子系列。C24x 为 16 位定点 DSP，C28x 为 32 位定点 DSP。C24x 又包括 24x 和 240x 系列，前者为 +5 V 电源，后者为 +3.3 V 电源，时钟频率由 20 MHz 提高到 40 MHz。

1. 24x 系列 DSP 控制器

该系列 DSP 控制器芯片的功能框图如图 1-5 所示，包括 TMS320F240、TMS320F241、TMS320F243、TMS320C240 等具体型号。DSP 控制器结构与单片机一样，由 CPU、存储器、I/O 接口、总线等组成。有的芯片包含片内 Flash 存储器，有的集成了片内 ROM。配置了完善的外围设备，包括事件管理模块 (Event Manager, EV)、高速 A-D 转换模块 (ADC)、串行通信接口 (SCI) 模块、串行外设接口 (SPI) 模块、中断管理系统、系统监视 (WD) 模块、CAN 通信模块等。其中事件管理模块含有通用定时器、比较器、PWM 发生器、捕获单元，可以方便地用于数字电动机控制等领域。

24x DSP 控制器芯片的结构与主要特性如下：

1) 中央处理单元。

- 32 位中央算术逻辑单元 (CALU)。

- 32 位累加器 ACC，可以分为两个 16 位累加器 ACCH 和 ACCL。

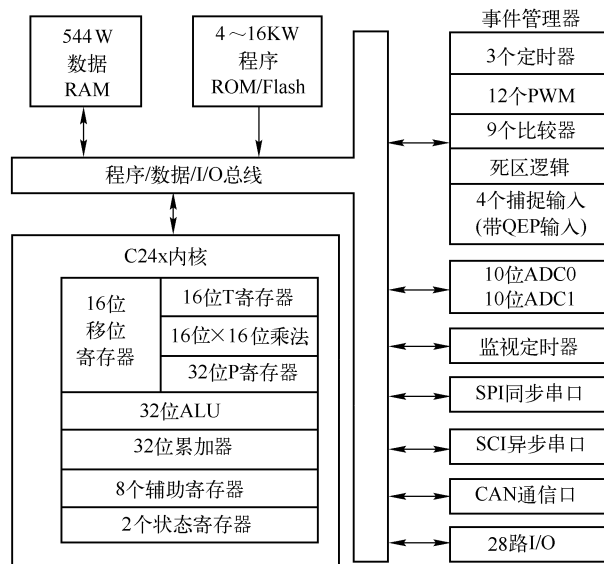


图 1-5 TMS320F24x DSP 控制器功能框图

- 16 位 × 16 位乘法器。
 - 3 个比例移位器，包括输入移位器、输出移位器、乘积移位器。
 - 间接寻址用的 8 个 16 位辅助寄存器 AR0 ~ AR7 和它的辅助算术单元 (ARAU)。
- 2) 存储器。
- 544 W 片内双访问 RAM，其中 288 W 用于数据，256 W 用于程序/数据。
 - 16 KW 片内 ROM 或 FLASH 存储器，用作程序存储器。
 - 224 KW 寻址空间，程序存储空间 64 KW，数据存储空间 64 KW，I/O 空间 64 KW，还有 32 KW 全局存储空间。
 - 外部有 16 位地址总线、16 位数据总线，支持软件、硬件等待状态。
- 3) 程序控制。
- 4 级流水线操作。
 - 8 级硬件堆栈。
 - 6 个外部中断：电源保护、复位、不可屏蔽中断 (NMI) 和 3 个可屏蔽中断。
- 4) 指令系统。
- 源代码兼容。
 - 单周期乘/累加指令。
 - 单指令重复操作。
 - 程序/数据存储器中的块移动。
 - 丰富的变址寻址能力。
 - 倒位序变址寻址能力。
- 5) 1 个事件管理器模块。
- 3 个 16 位通用定时器 T1、T2、T3。
 - 3 个全比较/PWM 单元。

- 3 个单比较/PWM 单元。
- 4 个捕获单元。
- 6) 两个 8 通道 10 位 A - D 转换器 ADC1 和 ADC2。
- 7) 串行异步通信接口 (SCI) 模块。
- 8) 串行外设接口 (SPI) 模块。
- 9) 中断管理系统。
- 10) 由看门狗和实时中断定时器组成的系统监视模块。
- 11) 28 个可独立编程的 I/O 引脚。
- 12) 速度：单周期指令为 50 ns, 20MIPS。
- 13) 电源：5 V 静态 CMOS 工艺, 4 种低功耗方式。

2. 240x 系列 DSP 控制器

240x 系列目前主要包括如下型号：

- 片内闪存型：TMS320LF2407A、TMS320LF2406A、TMS320LF2403A、TMS320LF2402A、TMS320LF2401A 等。
- 片内 ROM 型：TMS320LC2407A、TMS320LC2406A、TMS320LC2403A、TMS320LC2402A、TMS320LC2401A 等。

240x DSP 控制器芯片的功能框图如图 1-6 所示。与 24x DSP 控制器相比，电源由 +5 V 降低到 +3.3 V，时钟频率提高到 40 MHz，增加了一个事件管理器。其片内结构、外设及存储器资源与主要特性如下：

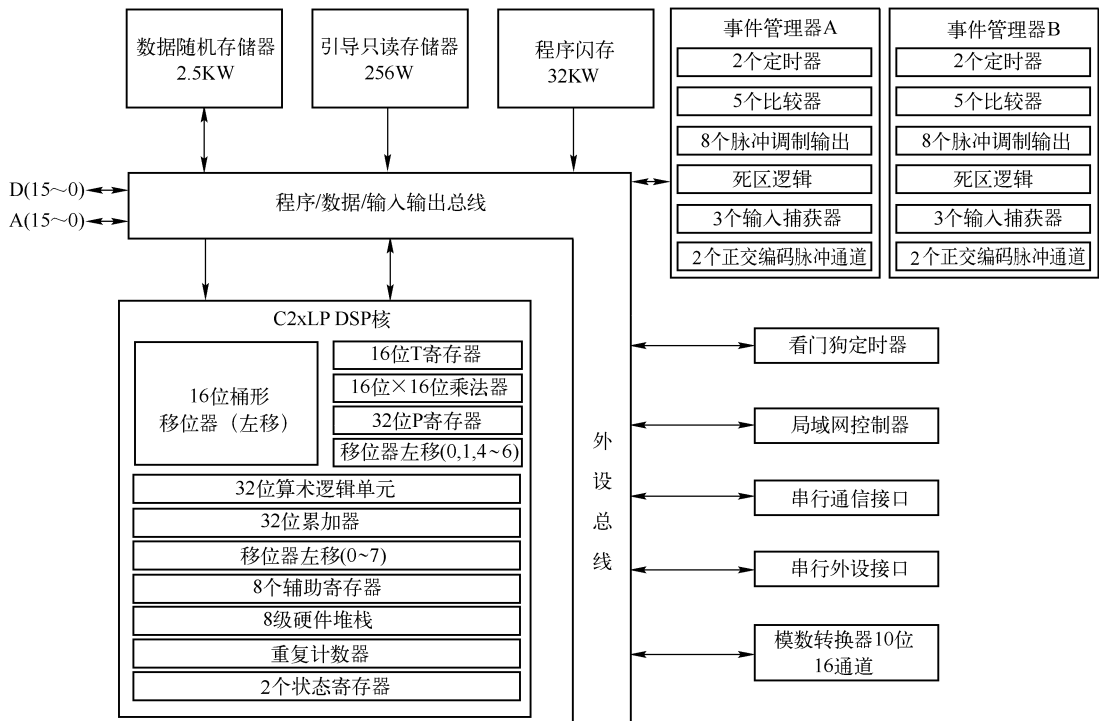


图 1-6 TMS320LF240x DSP 控制器芯片功能框图

1) 中央处理单元包括 32 位中央算术逻辑单元 (CALU)、32 位累加器、16 位 × 16 位乘法器和 3 个比例移位器。

2) 片内存储器: 32 KW Flash 闪存或 ROM、2.5 KW RAM, 其中包含 544 W 的双访问 RAM (Dual Access RAM, DARAM), 2 KW 的单访问 RAM (Single Access RAM, SARAM)。

3) 41 个可独立编程的多路复用 I/O 引脚。

4) 双 8 路或单 16 路的 10 位 A - D 转换器, 转换时间为 375ns。

5) 两个事件管理器 EVA、EVB, 均包含如下资源:

- 两个 16 位通用定时器。
- 8 个 16 位 PWM 通道。
- 对外部事件进行定时捕捉的 3 个捕获单元, 其中两个还具有可直接与光电编码器相连接的能力。
- 防止击穿故障的可编程 PWM 死区控制。

6) 串行通信接口 SCI 模块。

7) 串行外设接口 SPI 模块。

8) 带锁相环 PLL 的时钟模块。

9) 5 个外部中断 (复位中断、两个驱动保护中断与两个可屏蔽外部中断)。

10) CAN 2.0B 模块, 即控制器局域网模块。

11) 看门狗定时器模块。

12) 可扩展的 192 KW 的寻址空间, 分别为 64 KW 的程序存储器空间、64 KW 的数据存储器空间、64 KW 的 I/O 空间。

13) 用于仿真的 JTAG 接口。

3. C28x 系列 DSP 控制器

C28x 系列的 TMS320F281x DSP 控制器芯片的功能框图如图 1-7 所示。与 C24x DSP 控制器相比, CPU 数据宽度由 16 位提高到 32 位, 时钟频率由 40MHz 提高到 150MHz。其片内资源与主要特性如下:

1) 高性能静态 CMOS 技术: 150MIPS, 指令周期为 6.67 ns, 低功耗 (内核电压 1.8 V, I/O 口电压 3.3 V), 高性能的 32 位 CPU, 4 MW 的程序和数据地址空间。

2) 兼容性好: C27x 目标兼容模式、C28x 模式及 C2xLP 源兼容模式。

3) 片内集成大容量存储器: 最多 128 KW 的 Flash 存储器、1 KW 的 OTP 型 ROM、18 KW 的 RAM、4 KW 的引导 (Boot) ROM。

4) 外部存储器接口 (External Memory Interface, XINTF): 多达 1MW 的外部存储器空间、可编程软件等待状态、三个独立的片选。

5) 两个事件管理器 EVA、EVB。每个均包含两个 16 位通用定时器、8 个 PWM 通道、3 个捕获单元、QEP 接口电路。

6) 16 通道 12 位 ADC, 快速转换时间 80ns。

7) 3 个通用 CPU 定时器 TIMER0/1/2。

8) 两个异步串行通信接口 (SCI), 标准 UART 接口。

9) 16 位串行外设接口 (SPI)。

10) 多通道缓冲串行口 (McBSP)。

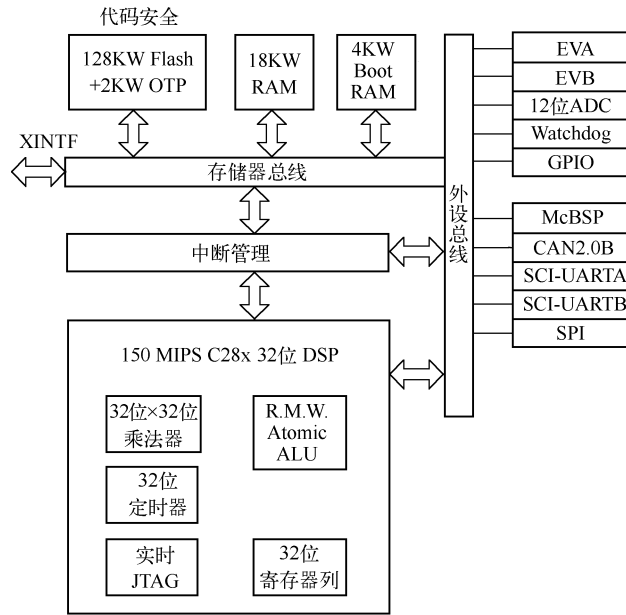


图 1-7 TMS320F281x DSP 控制器芯片功能框图

- 11) 增强型 CAN 总线接口 (eCAN)。
 - 12) 多达 56 个通用 I/O 引脚。
 - 13) 时钟和系统控制 (OSC、PLL、WD)。
 - 14) 外设中断扩展功能支持 45 个外设中断。
 - 15) 128 位安全密码, 保护软件知识产权。
 - 16) 支持多种编程工具。
 - 17) 具有低功耗模式。
 - 18) 封装有 176 脚 PGF LQFP (2812) 和 128 脚 PBK LQFP (2810/2811)。
- TMS320C2000 系列 DSP 部分型号及其主要性能指标见表 1-1。

表 1-1 TMS320C2000 系列部分 DSP 芯片资源配置

技术指标 \ 型号	TMS320F240	TMS320LF2406	TMS320LF2407A	TMS320F2812
时钟频率/MHz	20	30	40	150
周期/ns	50	33	25	6.67
片内 RAM/KW	0.544	2 + 0.544	2 + 0.544	18
片内 Flash/KW	16	32	32	128
BOOT ROM/W	0	256	256	4096
寻址空间/KW	224	—	192	1024
扩展存储器接口	√	—	√	√
事件管理器/个	1	2	2	2
通用定时器	3 × 16	4 × 16	4 × 16	4 × 16
COM/PWM	9/12	10/16	10/16	16

(续)

技术指标 \ 型号	TMS320F240	TMS320LF2406	TMS320LF2407A	TMS320F2812
CAP/QEP	6/4	4/2	6/4	6/2
看门狗定时器模块	√	√	√	√
片内 A - D 转换器	2 × 10 (6.6 μs)	16 × 10 (500 ns)	8 × 10 (375 ns) 16 × 10 (500 ns)	16 × 12 (200 ns/ 60 ns)
串行外设接口 SPI	1	1	1	1
串行通信接口 SCI	1	1	1	2
CAN 总线控制器	—	—	√	√
外设中断	6	5	5	3
通用 I/O 引脚	28	37	40	56
PLL 时钟模块	1	1	1	3 × 32
供电电压/V	5	3.3	3.3	3.3 & 1.8
电源低功耗模式	4	5	3	3
封装	132Pin PQFP	100Pin LQFP	144Pin LQFP	176Pin PQF

1.5 DSP 芯片的应用

20 世纪 80 年代以来，DSP 芯片得到了飞速发展。DSP 芯片的高速发展，一方面得益于集成电路技术的发展，另一方面也得益于巨大的市场需求。DSP 芯片主要用于信号处理、通信、控制系统与仪器仪表等领域。随着 DSP 芯片的性能价格比不断提高，DSP 芯片将会得到越来越广泛的应用。目前 DSP 芯片的主要应用领域有：

1) 信号处理。如数字滤波、自适应滤波、快速傅里叶变换、相关运算、谱分析、卷积、模式匹配、加窗、波形产生等。

2) 通信。如调制解调器、自适应均衡、数据加密、数据压缩、多路复用、传真、扩频通信、纠错编码、可视电话、移动电话等。

3) 语音。如语音编码、语音合成、语音识别、语音增强、说话人辨认、语音邮件、语音存储等。

4) 图形/图像。如二维和三维图形处理、图像压缩与传输、图像增强、动画、机器人视觉、模式识别等。

5) 军事。如保密通信、雷达处理、声纳处理、导航、导弹制导等。

6) 仪器仪表。如频谱分析、函数发生、锁相环、地震处理、数字滤波、模式匹配、暂态分析等。

7) 自动控制。如引擎控制、声控、自动驾驶、电动机控制、机器人控制、磁盘控制、伺服控制、运动控制、空调等。

8) 医疗仪器。如助听器、超声设备、诊断工具、病人监护等。