

单片机与DSP应用丛书

# TMS320C6713

## DSP原理与应用实例

三恒星科技 编著



单片机与 DSP 应用丛书

# **TMS320C6713**

## **DSP原理与应用实例**

三恒星科技 编著

**電子工業出版社**  
**Publishing House of Electronics Industry**  
北京 • BEIJING

## 内 容 简 介

本书以 TI 公司的 TMS320C6713 数字信号处理器为硬件平台,详细地介绍了 DSP 的基本原理、DSP 的结构和指令系统、DSP 的软件设计、DSP 的硬件系统结构、DSP 的硬件系统开发以及基于 DSP 的算法实现等。

本书深入浅出,内容丰富,数据准确,电路结构切实可行。本书既可以作为高等院校相关专业的教材,也可供电子工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

TMS320C6713 DSP 原理与应用实例 / 三恒星科技编著. —北京: 电子工业出版社, 2009.4

(单片机与 DSP 应用丛书)

ISBN 978-7-121-08564-2

I. T… II. 三… III. 数字信号—信息处理系统 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 044217 号

责任编辑: 竺南直 特约编辑: 郭 莉

印 刷: 北京市顺义兴华印刷厂

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 26 字数: 665 千字

印 次: 2009 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 42.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

# 前言

TI 公司的 DSP 在数据采集与处理、工业控制和语音、图像通信等领域有着广泛的应用。

TMS320C6000 系列是 TI 公司推出的具有高速运算性能的处理器的处理器，它采用了 VLIW 的体系结构及流水线技术，具有两级 cache 缓存结构，而且运行速度快，精度高。其中 TMS320C6713 是该系列的 32 位浮点 DSP，其最高工作主频可达 300 MHz，处理速度高达 2400 MIPS，片上共有 264 KB×8 位存储器，其中含有 4 KB×8 位 L1P cache；4KB×8 位 L1D cache 和 256 KB×8 位 L2RAM / cache；片上外设资源丰富，其中含有两个 McBSP、两个 McASP、两组 I2C 总线、一组 GPIO、两个 32 位通用定时器、一个 16 位主机接口 HPI。此外，TMS320C6713 还有 32 位的 EMIF 总线，分为 4 个存储空间（CE0~CE3），每个存储空间的寻址范围为 256MB，可访问 8 位、16 位或 32 位数据宽度，每个空间均可与 SDRAM，SBSRAM 及异步外设实现无缝接口。

正是 TMS320C6713 具有这么优异的性能，使得它特别适合于高精度应用，如在专业音频、数据采集、去噪、医疗和诊断图像应用等领域。

本书的内容包括：

第 1 章 实时数字信号处理与 DSP 芯片，主要介绍了实时数字信号处理的产生、概念、特点等，同时，还比较全面地阐述了 DSP 的发展概况、DSP 的开发环境和开发工具等。

第 2 章 DSP 算法，主要介绍了 TI 公司的 DSP 算法标准的分类，并以算法标准在静态 DSP 系统中的使用为例子，描述了在实际的软件开发中对一些标准的应用。

第 3 章 TMS320C6713 的硬件结构，主要介绍了 C6713 的引脚定义、CPU 结构、存储器、中断以及流水线等内容。

第 4 章 CCS6000 环境详解，主要介绍用于开发 DSP 芯片的集成开发环境 (IDE) 的 CCS (Code Composer Studio)，它的使用方法、编译、链接、软件仿真、硬件调试以及实时跟踪等功能。

第 5 章 TMS320C6713 指令系统，主要介绍定点系列 TMS320C62x 和浮点系列 TMS320C67x 共用的一个指令集及寻址方式。

第 6 章 TMS320C6000 的 C 语言编程，主要介绍获得最高性能的代码的开发流程，汇编代码的结构，C 代码和汇编代码的各种优化方法等。

第 7 章 TMS320C6713 的外设，主要介绍用于内部集成的外围设备，它们控制和片外的内存、协处理器、主机以及串行设备的通信等。

第 8 章 综合应用实例，主要介绍 TI TM320C6713 在实际工程中的各项应用。

本书内容丰富新颖，实例典型，具有很强的实用性和指导性，特别适合于 DSP 工程开发人员作为工作参考书，也适合用作高等院校师生对 DSP 系统学习和提高的需求。

在编写本书的过程中，赵光、姜艳波、王波波、刘文涛、赵辉、刘群等给予大力的支持，在此表示感谢！

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第 1 章 实时数字信号处理与 DSP 芯片 | 1  |
| 1.1 实时数字信号处理           | 1  |
| 1.1.1 实时数字信号处理概述       | 1  |
| 1.1.2 实时数字信号处理的系统构成    | 2  |
| 1.1.3 高速实时系统的设计        | 4  |
| 1.2 DSP 的发展历史          | 6  |
| 1.2.1 DSP 芯片概述         | 6  |
| 1.2.2 DSP 芯片的发展        | 8  |
| 1.2.3 DSP 技术应用的发展      | 9  |
| 1.2.4 DSP 的系统构成及特点     | 10 |
| 1.3 TI 公司的 DSP 简介      | 13 |
| 1.3.1 TMS320C1000 系列   | 13 |
| 1.3.2 TMS320C2000 系列   | 14 |
| 1.3.3 TMS320C3000 系列   | 16 |
| 1.3.4 TMS320C4000 系列   | 18 |
| 1.3.5 TMS320C5000 系列   | 21 |
| 1.3.6 TMS320C6000 系列   | 23 |
| 1.3.7 TMS320C8000 系列   | 26 |
| 1.4 DSP 的开发环境和工具       | 27 |
| 第 2 章 DSP 算法           | 31 |
| 2.1 算法的概述              | 31 |
| 2.1.1 通用算法的结构          | 32 |
| 2.1.2 通用算法的特征          | 34 |
| 2.1.3 通用算法的标准          | 34 |
| 2.1.4 算法标准的分级          | 38 |
| 2.1.5 常见算法的分类          | 39 |
| 2.2 算法工具箱              | 40 |
| 2.3 算法的可视化与开发          | 43 |
| 2.4 通用算法               | 47 |
| 2.4.1 逻辑运算             | 48 |
| 2.4.2 算术运算             | 48 |

|       |                               |     |
|-------|-------------------------------|-----|
| 2.4.3 | 浮点运算                          | 51  |
| 2.5   | eXpress DSP™ 算法标准             | 53  |
| 2.5.1 | eXpressDSP 算法标准在静态 DSP 系统中的使用 | 54  |
| 2.5.2 | eXpressDSP 算法标准在动态 DSP 系统中的使用 | 64  |
| 第 3 章 | TMS320C6713 的硬件结构             | 74  |
| 3.1   | TMS320C6713 芯片的引脚分布和功能        | 75  |
| 3.2   | TMS320C6713 芯片的内核             | 88  |
| 3.2.1 | TMS320C6713 芯片的结构和 CPU        | 88  |
| 3.2.2 | TMS320C6713 的 CPU 数据通路与控制     | 91  |
| 3.3   | 片内程序和数据存储器                    | 102 |
| 3.4   | 中断                            | 103 |
| 3.4.1 | 中断类型和中断信号                     | 103 |
| 3.4.2 | 中断服务表 (IST)                   | 106 |
| 3.4.3 | 中断和中断选择                       | 108 |
| 3.4.4 | 中断选择寄存器                       | 110 |
| 3.4.5 | 中断控制                          | 114 |
| 3.4.6 | 中断性能和编程注意事项                   | 117 |
| 3.5   | 存储器映射                         | 121 |
| 3.6   | 流水线                           | 124 |
| 3.6.1 | 流水线操作概述                       | 125 |
| 3.6.2 | 不同指令类型的流水操作                   | 131 |
| 3.6.3 | 流水线性能考虑事项                     | 136 |
| 3.7   | 时钟发生器, 振荡器和 PLL               | 141 |
| 第 4 章 | CCS6000 环境详解                  | 145 |
| 4.1   | CCS 集成开发环境概述                  | 145 |
| 4.2   | 代码生成工具                        | 147 |
| 4.3   | CCS 应用窗口、菜单与工具栏               | 149 |
| 4.3.1 | CCS 应用窗口                      | 149 |
| 4.3.2 | CCS 菜单                        | 149 |
| 4.3.3 | CCS 工具栏                       | 153 |
| 4.4   | CCS 的安装与配置                    | 154 |
| 4.4.1 | CCS 系统的安装                     | 154 |
| 4.4.2 | CCS 系统的配置                     | 154 |
| 4.5   | CCS 集成开发环境                    | 155 |
| 4.5.1 | 编辑源程序                         | 155 |
| 4.5.2 | 创建应用程序                        | 156 |
| 4.5.3 | 调试应用程序                        | 156 |
| 4.6   | CCS 的使用                       | 157 |

|        |                       |     |
|--------|-----------------------|-----|
| 4.6.1  | 创建工程文件                | 157 |
| 4.6.2  | 打开工程文件                | 158 |
| 4.6.3  | 向工程添加文件               | 162 |
| 4.6.4  | 查阅代码                  | 162 |
| 4.6.5  | 创建和运行程序               | 164 |
| 4.6.6  | 修改程序选项和纠正语法错误         | 165 |
| 4.6.7  | 使用断点和观察窗口             | 166 |
| 4.6.8  | 使用观察窗口观察 structure 变量 | 167 |
| 4.6.9  | 测算源代码执行时间             | 167 |
| 4.6.10 | 文件输入/输出               | 168 |
| 4.7    | DSP/BIOS 实时操作系统       | 169 |
| 4.7.1  | DSP/BIOS 插件           | 170 |
| 4.7.2  | DSP/BIOS 配置           | 171 |
| 4.7.3  | DSP/BIOS API 模块       | 171 |
| 4.7.4  | 实时数据交换                | 172 |
| 4.7.5  | 开发 DSP/BIOS 程序        | 174 |
| 4.8    | CCS 文件和环境变量           | 177 |
| 4.8.1  | CCS 文件夹的安装            | 177 |
| 4.8.2  | CCS 文件扩展名             | 178 |
| 4.8.3  | 环境变量                  | 179 |
| 第 5 章  | TMS320C6713 指令系统      | 180 |
| 5.1    | TM320C6000 系列指令系统概述   | 180 |
| 5.1.1  | 指令和功能单元的映射            | 180 |
| 5.1.2  | 操作码映射                 | 183 |
| 5.1.3  | 延迟间隙                  | 184 |
| 5.1.4  | 资源限制                  | 185 |
| 5.1.5  | 条件操作                  | 189 |
| 5.1.6  | 并行操作                  | 189 |
| 5.1.7  | IEEE 单精度和双精度          | 191 |
| 5.2    | 寻址方式                  | 194 |
| 5.2.1  | 循环寻址                  | 194 |
| 5.2.2  | 间接寻址                  | 196 |
| 5.2.3  | 线性寻址                  | 196 |
| 5.3    | 指令集                   | 196 |
| 5.3.1  | 指令类型                  | 197 |
| 5.3.2  | 汇编器指令                 | 198 |
| 5.3.3  | 指令集表                  | 199 |

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 第 6 章 | TMS320C6000 软件开发过程 | 203 |
| 6.1   | 开发流程概述             | 203 |
| 6.2   | C 语言程序设计概述         | 203 |
| 6.2.1 | C 代码的分析            | 205 |
| 6.2.2 | C 代码的编译            | 206 |
| 6.2.3 | C 代码的优化            | 209 |
| 6.3   | 汇编代码结构             | 217 |
| 6.3.1 | 汇编代码结构             | 217 |
| 6.3.2 | 线性汇编               | 220 |
| 6.3.3 | 通过线性汇编优化汇编代码       | 220 |
| 第 7 章 | TMS320C6713 的外设    | 264 |
| 7.1   | EDMA 模块和 EDMA 选择器  | 264 |
| 7.1.1 | 基本概念               | 266 |
| 7.1.2 | 传输                 | 266 |
| 7.1.3 | EDMA 的控制机制         | 269 |
| 7.1.4 | EDMA 的传输操作         | 274 |
| 7.1.5 | 快速 DMA (QDMA)      | 281 |
| 7.1.6 | EDMA 的控制实例         | 283 |
| 7.2   | 主机口                | 288 |
| 7.2.1 | 概述                 | 288 |
| 7.2.2 | 信号与控制寄存器           | 289 |
| 7.2.3 | HPI 的存取操作          | 292 |
| 7.2.4 | HPI 的自载入操作         | 295 |
| 7.2.5 | 接口应用实例             | 296 |
| 7.3   | 多功能缓冲串口 McBSP      | 300 |
| 7.3.1 | 信号接口和控制寄存器         | 301 |
| 7.3.2 | 数据收发               | 305 |
| 7.3.3 | $\mu$ 律/A 律硬件压扩    | 312 |
| 7.3.4 | 多通道的选择操作           | 313 |
| 7.4   | 通用定时器              | 318 |
| 7.4.1 | 接口信号               | 318 |
| 7.4.2 | 定时器的工作模式控制         | 319 |
| 7.4.3 | 注意事项               | 320 |
| 7.5   | 外存储器接口 EMIF        | 321 |
| 7.5.1 | 概述                 | 321 |
| 7.5.2 | EMIF 控制寄存器         | 321 |
| 7.5.3 | SBSRAM 接口设计        | 322 |
| 7.5.4 | EMIF 寄存器           | 324 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 7.5.5 SDRAM/SGRAM 接口             | 328        |
| 7.5.6 时序设计                       | 335        |
| 7.5.7 异步接口                       | 336        |
| 7.5.8 FIFO 接口                    | 340        |
| 7.6 JTAG 接口                      | 347        |
| <b>第 8 章 C6713 系统设计实例</b>        | <b>350</b> |
| 8.1 最小 DSP 应用系统                  | 350        |
| 8.1.1 电源与复位电路                    | 350        |
| 8.1.2 时钟模块                       | 352        |
| 8.1.3 外部存储器 (Flash)              | 353        |
| 8.1.4 JTAG 接口                    | 354        |
| 8.2 基于 C6713 的 DSP 系统外设举例        | 355        |
| 8.2.1 I <sup>2</sup> C 模块配置与应用   | 355        |
| 8.2.2 A/D 与 D/A                  | 358        |
| 8.3 TMS320C6713 的 Flash 引导装载系统设计 | 362        |
| 8.3.1 引导装载 (BOOT)                | 362        |
| 8.3.2 软件设计                       | 370        |
| 8.4 FFT 算法的 DSP 实现               | 373        |
| 8.5 基于 DSP 的最小图像采集系统设计           | 378        |
| 8.6 基于 DSP 的采集系统设计               | 383        |
| 8.7 基于 DSP 的语音编码的实时实现            | 386        |
| 8.8 信号处理板卡中双向端口的的设计              | 397        |
| <b>参考文献</b>                      | <b>403</b> |

# 第 1 章 实时数字信号处理与 DSP 芯片

数字信号处理 (DSP, Digital Signal Processing) 技术随着计算机和信息技术的飞速发展, 已经形成一门独立的学科系统。数字信号处理器是用来完成数字信号处理任务的一个软、硬件环境和硬件平台。

本章主要介绍实时数字信号处理的产生、概念、特点等, 同时, 还比较全面的阐述了 DSP 的发展概况、DSP 的开发环境和开发工具等。

## 1.1 实时数字信号处理

数字信号处理器芯片 (digital signal processors) 具有高稳定性, 可重复性, 可大规模集成, 可编程性和易于实现适应处理等特点, 这些特点给数字信号处理的发展带来了巨大的发展。同时, 随着 DSP 芯片的不断发展以及运算速度的提高, 数字信号处理的研究重点由非实时应用转向了实时应用。

### 1.1.1 实时数字信号处理概述

在实时数字信号处理应用需求的推动下, 实时信号处理系统的性能 and 设计方法都发生了巨大的变化。以处理器为核心的各种规模的信号处理系统在通信、电力、雷达、导航、尖端武器等领域得到了越来越广泛的应用。在研制周期不断缩短的同时, 其性能和复杂度也在不断提高。设计者在有更多的实现方法可供选择的同时, 也面临着更大的挑战和竞争。结合当今先进的信号处理算法、算法仿真技术、硬件技术、软件技术、系统构建和检验方法, 设计者可以在较短的时间内, 以较小的代价制作完成一个具有较高性能的设备。

#### 1. 实时数字信号处理的概念

信号处理的实质是对信号进行变换, 目的是获取信号中包含的有用信息。数字信号处理就是用数字的方法对信号进行变换, 以获取有用信息, 将信息从各种噪声、干扰等环境中提取出来, 并变换成为一种便于人或者机器使用的形式。

实时是指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要大于等于输入信号更新的速度。

#### 2. 实时数字信号处理的产生

早期的信号处理主要是采用模拟的方法, 其中包括运算放大电路、电耦合器件等。例如运算放大电路通过不同的电阻组配可以实现算术运算, 通过电阻、电容的组配可以实现滤波处理等。模拟处理的缺点是不灵活, 系统不稳定。其不稳定主要体现为对周围环境变化的敏感性, 例如温度、电路噪声等都会造成处理结果的改变。其不灵活体现在参数修改困难, 需

要采用多种阻值、容值的电阻、电容，并通过电子开关选通才能修改处理参数。

解决以上问题最好的方法就是采用数字信号处理技术。数字信号处理可以通过软件对参数进行修改，因此具有很大的灵活性。由于数字电路采用了二维逻辑，因此只要环境温度、电路噪声的变化不造成电路逻辑的翻转，数字电路的工作都可以不受影响地完成，具有很好的稳定性。因此，数字信号处理已经成为信息技术的主流。

数字信号处理的主要缺点是处理量随处理精度、信息量的增加而成倍增长，解决这一问题的方法是研究高速运行的数字信号处理系统。

### 3. 实时数字信号处理的特点

高速实时数字信号处理具有下列特点：

- 低电压，系统的工作电压从标准的 5~3.3V、2.5V 到 1.8V，甚至可达 0.9V，可以在大电流下减小系统功耗；
- 处理速度快，可达到数百兆量级；
- 大电流下工作，高速信号处理芯片可在 1A 以上的大电流下工作；
- 芯片集成度高，集成度在数十至数百万门量级；
- 采用了多种并行的体系结构，可提高运行速度。

## 1.1.2 实时数字信号处理的系统构成

实时数字信号处理系统的构成如下：

- 高速实时数据采集；
- 高速实时数据存储；
- 高速实时周边器件；
- 高速实时电路集成；
- 高速实时信号生成；
- 高速实时 DSP 与并行体系结构；
- 高速实时总线技术；
- 高速实时系统设计。

### 1. 实时数字信号处理的系统构成

实时数字信号处理系统的框图如图 1-1 所示，DSP 子系统是整个系统的核心。



图 1-1 DSP 实时系统

由于实时信号处理系统所要处理的信号多为自然信号，因此必须通过传感器将自然信号转换为电信号，另外要对自然界的信号进行数字处理，就必须通过 A/D 子系统将其转换为数字信号；DSP 子系统对数字信号处理完毕以后，有时还需要通过 D/A 子系统把处理后的数字信号转换为模拟信号。

在目前的技术条件下，DSP 子系统实现的方法如下：

- 通用可编程 DSP 芯片。具有可编程和强大的处理能力，在实时 DSP 领域占据主导地位；
- 专用 DSP 芯片。具有专用性很强的特点，在应用方面会受到很大的限制；
- 在通用计算机上用软件（如 Fortran、C 语言）实现。运算速度比较慢，故不适用于实时 DSP，一般只适用于 DSP 算法的模拟；
- 通用单片机。不适合于以乘加运算为主的运算密集型 DSP 算法；
- 在通用计算机系统加入专用的加速处理器；
- 基于通用 DSP 的 ASIC。具有较好的系统性价比，因此在批量生产中得到广泛的应用。在用量较大的通信、硬盘控制等领域，用户可以在通用 DSP 的 CPU 基础上选用所需要的外设接口和存储器资源等，并在片内固化所需要的软件。

## 2. 实时数字信号处理子系统

如图 1-2 所示，为以通用 DSP 芯片为核心构成的实时 DSP 子系统的结构框图。基于 DSP 芯片的 DSP 子系统一般由输入/输出接口、控制处理器、DSP 芯片、数据传输网、存储器等构成。

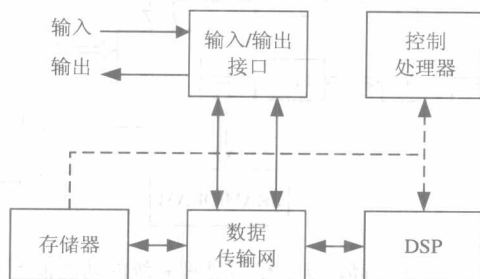


图 1-2 基于 DSP 的 DSP 子系统结构

### (1) 输入/输出接口

主要用于输入待处理的数据，并输出处理完毕的数据。输入/输出接口的主要参数有数据字长、接口带宽、接口规程、缓冲存储能力、接口所支持的输入/输出个数。

### (2) 控制处理器

主要作用是执行 DSP 子系统的控制处理功能，包括主机命令解释，数据传输控制，数据输入/输出等控制功能。控制处理器使 DSP 芯片可以专注于高速实时 DSP 算法。根据具体的系统不同，控制处理器可以采用通用微处理器或者 DSP 芯片独立实现，也可以放在结构框图中的 DSP 内来实现。

### (3) DSP 芯片

主要作用是完成实时信号处理的算法。

### (4) 数据传输网

主要作用是完成 DSP 子系统内外的数据输入/输出等各个模块之间的高速数据传输。对于模块之间有大量数据传输的高速 DSP 系统设计，数据传输网的设计是一个非常关键的环节，它很可能是整个系统的瓶颈。

### (5) 存储器

主要用于支持数据的存储。它的主要参数指标有存储器字长、存储器容量、访问的速度、

对特殊寻址方式的支持和存储管理控制能力。

上述给出的 DSP 子系统, 在具体的应用中, 其复杂程度会有很大的差异。其硬件平台可能是以单个 DSP 芯片为核心, 也可能是围绕多个 DSP 芯片组成的分布式 DSP 系统。同时因其所选的 DSP 芯片类型、速度以及 DSP 软件算法等各不相同, 故其设计和实现的难易程度也不尽相同。

一个高速实时信号处理系统除了 DSP 技术外, 同时也需要大量的外围电路。

DSP 高速实时信号处理系统的功能框图, 如图 1-3 所示。

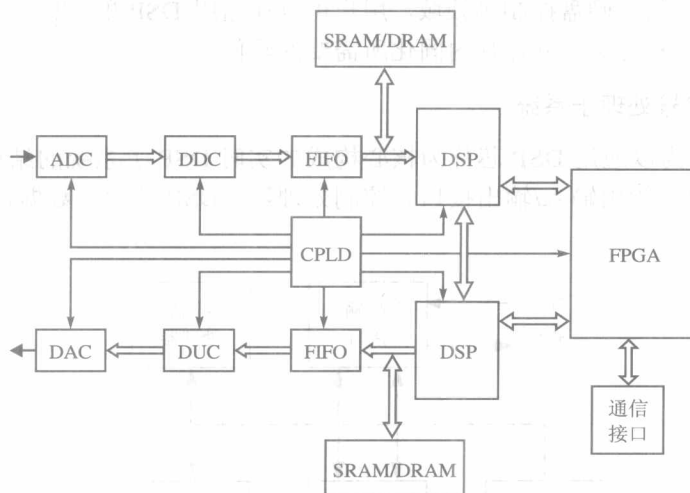


图 1-3 DSP 高速实时信号处理系统的功能框图

外围电路按照功能可以分为下列几类:

- 转换电路, 即 ADC、DAC、DDS 等;
- 缓冲和存取电路, 即 RAM、FIFO 等;
- 逻辑控制和处理器, 即 CPLD/FPGA 等;
- 数字信号上变频、下变频 DDU、DDC 等;
- 通信接口电路, 光纤、LVDS 等。

### 1.1.3 高速实时系统的设计

高速实时系统设计使用的主要软件为电子设计自动化 (EDA) 软件; 对于具体的电路实现而言, EDA 软件通常包括 PCB 设计、EPLD/FPGA 设计、以及 ASIC 设计等。

#### 1. PCB 设计

在 PCB 领域, EDA 软件的强大功能主要包括强大的设计与编辑功能、丰富的库资源、高效的数字与模拟仿真、信号完整性分析、板级互连时序验证等。

在 EDA 中 PCB 设计主要包含如下内容。

##### (1) 设计输入工具

设计输入工具主要有如下特点:

- 具有模拟、混合信号设计能力;

- 有丰富的设计功能：符号库、热特性、电特性等；
- 采用自顶向下（Top-Down）的设计模式，使电路表述更为清晰透明；
- 具有自由传送数据的功能，可在原理图阶段做功能仿真；
- 可加入布图信息，便于 PCB 的布局。

#### (2) 模拟、数字仿真工具

模拟、数字仿真工具的主要特点如下：

- 可以进行原理图的仿真，模拟、数字波形的显示；
- 可以根据布线延迟反标后进行时序仿真，实现信号系统的排错；
- 可以进行模拟信号分析，如傅里叶变换、积、协方差等。

#### (3) 热分析工具

热分析工具的主要特点如下：

- 从电路板数据库自动生成完整的热模型；
- 热分析被移至电路板设计初期，可增强 PCB 设计的一次成功性。

#### (4) 布线工具

布线工具的主要特点如下：

- 支持物理约束的设计方法；
- 具有交互式自动布局、布线工具；
- 可完成从单面 PCB 到 MCM 的设计。

#### (5) 布图工艺

布图工艺的主要特点如下：

- 具有符合加工工艺的布图建议；
- 支持工业最广泛的底层技术：有 CAM 输出工具，从光绘、版图到数控机床加工中心，可直接生产试验电路板。

#### (6) 时延分析

时延分析的主要特点如下：

- 有高层次、总线功能时延描述；
- 可生成标准时延文件，供电气规则驱动布线。

EDA 中的 PCB 工具是一个包括了多功能设计输入、模拟数字仿真、热分析、自动布线、自动布图、时延分析、电气规则驱动布线等多种强大功能的系统软件，是进行高速实时电路设计的保障条件。

## 2. EPLD/FPGA/ASIC 设计

EPLD/FPGA/ASIC 设计可以采用单一芯片来实现整个数字信号处理系统，即“片上系统”；其中 EPLD/FPGA 又具有可多次编程、反复擦写的功能，因此在样机阶段就具有很大的优势。其大致的设计流程如下：

#### (1) 设计输入。

原理图、硬件描述语言（VHDL、Verilog 等）、状态机、布尔函数等；一般应采用层次化设计逻辑综合，产生网表文件 XNF 或 EDIF 功能仿真逻辑分割及映射。

#### (2) 布局、布线。

(3) 时延信息反标注、时序仿真。

(4) 产生配置文件。

EDA 的 PCB 技术追求的是在系统设计阶段排除一切可能导致系统失效的因素,从而保证整个系统设计生产调试一次通过。而其中的 EPLD/FPGA/ASIC 设计又有减小系统体积、功耗,在单片上集成整个系统的可能,因此是高速实时数字信号处理系统设计的重要保证。

## 1.2 DSP 的发展历史

在经过几十年的市场拓展以后, DSP 所树立的高速处理器地位已成为数字信息时代的核心引擎。与此同时, DSP 的市场正在蓬勃发展。

### 1.2.1 DSP 芯片概述

DSP 芯片,即数字信号处理器,是一种专用于数字信号处理的可编程芯片,其主要作用是实时快速实现各种数字信号处理算法。

#### 1. DSP 芯片分类

DSP 芯片分类主要有以下两种方式。

##### (1) 按数据格式分类

DSP 芯片按数据格式主要分为定点 (Fixed) DSP 芯片和浮点 (Floating) DSP 芯片。

数据以定点格式工作的 DSP 芯片称为定点 DSP 芯片。如 Motorola 公司的 TMS320C1x/C2x、TMS320C2xx/C5x、TMS320C54x/C62xx 系列等。定点 DSP 芯片进行算术操作时,使用的是小数点位置固定不变的有符号数或无符号数。

数据以浮点格式工作的 DSP 芯片称为浮点 DSP 芯片。如 AD 公司的 ADSP21xxx 系列, AT&T 公司的 DSP32/32C, Motorola 公司的 MC96002, TI 公司的 TMS320C3x/C4x/C8x 等。浮点 DSP 芯片在进行算术操作时,使用的是带有指数的小数,小数点的位置随着具体数据的不同进行浮动。不同的浮点 DSP 芯片所采用的浮点格式不完全相同,有的 DSP 芯片采用自定义的浮点格式。

定点器件在硬件结构上比浮点器件简单,具有价格低、速度快等优点,因而使用的比较多。而浮点器件的特点是高精度,不需要进行定标和考虑有限字长效应,但其成本、功耗相对较高,速度很慢,适合于对数据动态范围和高精度要求的特殊应用。

##### (2) 按用途分类

DSP 芯片按用途主要分为通用型 DSP 芯片和专用型 DSP 芯片。

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。

专用型 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, Inmos 公司的 IMSA100 等都属于专用型 DSP 芯片。

#### 2. DSP 芯片特点

根据数字信号处理的要求, DSP 芯片一般具有以下特点:

- 哈佛 (Harvard) 结构: 程序和数据空间分开, 可以同时访问指令和数据;
- RISC 指令集: 指令时间可以预测;
- 高度的实时性: 运行时间可以预测;
- 高度集成性: 具有多种存储器接口和 I/O;
- 带有 DMA 通道控制器: 可保证数据传输和计算处理并行工作;
- 片内具有快速 RAM: 通常可通过独立的数据总线在两块中同时访问;
- 运算时间短, 速度快: 内部硬件乘法器可在一个指令周期内完成一次乘法和一次加法;
- 低功耗: 适合嵌入式系统开发应用。

### 3. DSP 芯片的选择

DSP 芯片的选择应该按照实际应用系统的需要来确定。不同系列、不同型号、不同片种的 DSP 芯片, 其适合的应用系统不尽相同。

一般来说, 在选择 DSP 芯片时应从以下几个方面进行综合考虑。

#### (1) DSP 芯片的运算速度

DSP 芯片的一个非常重要的性能指标就是运算速度。DSP 芯片的运算速度可以通过下列几种性能指标来衡量:

- 指令周期: 即执行一条指令所需的时间, 通常以 ns 为单位;
- MAC 时间: 即一次乘法与一次加法相加的时间;
- FFT 执行时间: 即运行一个  $N$  点 FFT 程序所需的时间;
- MIPS: 即每秒执行百万条指令;
- MOPS: 即每秒执行百万次操作;
- MFLOPS: 即每秒执行百万次浮点操作;
- BOPS: 即每秒执行 10 亿次操作。

#### (2) DSP 芯片的运算精度

一般的定点 DSP 芯片的字长为 16 位, 但有的公司的定点芯片为 24 位, 浮点芯片的字长一般为 32 位, 累加器为 40 位。

#### (3) DSP 芯片的硬件资源

不同的 DSP 芯片所提供的硬件资源不同。一般具有以下几个方面:

- 内存: RAM、ROM、Flash 等;
- 寄存器: 通用、特殊功能;
- I/O 数量: 单向、双向;
- 寻址能力: 直接、间接;
- 定时器、计数器;
- 通信接口;
- 内置功能单元: A/D、D/A 等。

#### (4) DSP 芯片的开发工具

在 DSP 系统的开发过程中, 开发工具是必不可少的。如果没有开发工具的支持, 要想开发一个复杂的 DSP 系统几乎是不可能的。如果有功能强大的开发工具的支持, 如 C 语言支持, 则会大大缩短开发的时间。因此在选择 DSP 芯片的同时, 尤其要注意开发工具的支持情况,

包括软件和硬件的开发工具。

#### (5) DSP 芯片的功耗

在某些 DSP 应用场合,功耗也是一个需要特别关注的问题。如便携式的 DSP 设备、手持设备、野外应用的 DSP 设备等都对功耗有特殊的要求。目前,3.3V 供电的低功耗高速 DSP 芯片已大量投入使用。

#### (6) DSP 芯片的价格

DSP 芯片的价格也是选择 DSP 芯片时所要考虑的诸多因素中的重要因素之一。如果采用价格昂贵的 DSP 芯片,即使性能很高,其应用范围也会受到一定的限制,尤其是民用产品。因此根据实际系统的应用情况,需要确定一个价位适中的 DSP 芯片。

#### (7) 其他因素

选择 DSP 芯片还应考虑到封装的形式、质量标准、供货情况、生命周期等一些因素。有些 DSP 芯片可能有 DIP、PGA、PLCC、PQFP 等多种封装形式。有些 DSP 系统可能最终要求的是工业级或军用级标准,在选择时就需要注意到所选择的芯片是否有工业级或军用级的同类产品。如果所设计的 DSP 系统不仅仅是一个实验系统,而是需要批量生产并可能有几年甚至十几年的生命周期,那么需要考虑所选的 DSP 芯片供货情况如何,是否也有同样甚至更长的生命周期等。

之前加上:在上述诸多因素中,一般而言,定点 DSP 芯片的价格比较价宜,功耗较低,但运算精度稍低。

而浮点 DSP 芯片的优点是运算精度高,且 C 语言编程调试方便,但价格稍贵,功耗也较大。低功耗和低成本是其主要的特点,运算精度高,用 C 语言编程方便,开发周期短,但同时其价格和功耗也相对较高。

### 4. DSP 芯片的应用

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。DSP 芯片已经在信号处理、通信、雷达等多个领域得到广泛的应用。

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

(2) 在通信领域方面:如调制解调器、自适应均衡、数据压缩、数据加密、数字交换机、回声对消、通道多路复用、传真、纠错编码、代码转换、可视电话等。

(3) 在军事领域方面:如保密通信、雷达处理、声纳处理、导航、导弹制导、高频调制解调器等。

(4) 其他方面,如语音应用方面、图形图像处理、医疗、仪器仪表、自动控制等。

### 1.2.2 DSP 芯片的发展

世界上第一个单片 DSP 芯片是 1978 年 AMI 公司发布的 S2811,1979 年美国 Intel 公司发布的商用可编程器件 2920 是 DSP 芯片的一个主要里程碑。这两种芯片内部都没有现代 DSP 芯片所必须有的单周期乘法器。1980 年,日本 NEC 公司推出的  $\mu\text{P}$  D7720 是第一个具有乘法器的商用 DSP 芯片。

之后, TI 公司在 1982 年成功推出其第一代 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品 TMS32011、TMS320C1x 系列等,之后相继推出了第二代 DSP 芯片 TMS32020、TMS320C2x