

TI DSP 系列中文手册

TMS320VC55x 系列 DSP 的 CPU 与 外设

[美] Texas Instruments Incorporated 著

彭启琮 武乐琴 张 舰 等编译

彭启琮 审阅

TMS320 VC55x
Texas Instruments



清华大学出版社

TI DSP 系列中文手册

TMS320VC55x 系列 DSP 的 CPU 与外设

[美] Texas Instruments Incorporated 著

彭启琮 武乐琴 张 舰 等编译

彭启琮 审阅

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

TMS320C55x DSP 是德州仪器 (TI) C5000 16-bit 定点 DSP 系列里最新的一代产品。C55x 对目前使用的最为广泛的 C54x 系列 DSP 有很好的继承性,也与 C54x 源代码兼容,从而可以有效地保护用户在 C54x 软件上所作的投资。

C55x 继承了 C54x 的发展趋势,低功耗、低成本,在有限的功率条件下,保持最好的性能。工作在 0.9V 下,其核的功耗仅为 0.05mW/MIPS,而性能可以达到 800MIPS (400MHz),对数字通信等便携式应用所提出的挑战提供了有效的解决方案。

本书在收集了所有关于 C55x 的文档的基础上,进行了编辑和翻译,力图为学习和开发 C55x 的学生和工程师提供一本实用而方便的技术手册。

本书分为 3 部分。第 1 部分是对 C55x 系列 DSP 的简单概述,使读者对 C55x 有一个概念性的了解。第 2 部分是对 CPU 的详细介绍。第 3 部分是对片上外设的详细介绍。

本书的读者对象是学习、从事 TI DSP 开发的电气工程和电子信息类学科与专业的高年级本科生或研究生,以及业界的工程师。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目 (CIP) 数据

TMS320VC55x 系列 DSP 的 CPU 与外设 / (美)德州仪器著;彭启琮,武乐琴,张舰等编译. —北京:清华大学出版社,2005.12

(TI DSP 系列中文手册)

ISBN 7-302-12165-6

I. T… II. ①德… ②彭… ③武… ④张… III. 数字信号-信号处理系统 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 139401 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 曾 刚

文稿编辑: 鲁秀敏

封面设计: 范华明

版式设计: 杨 洋

印 刷 者: 北京市清华园胶印厂

装 订 者: 三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 37.25 字数: 828 千字

版 次: 2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-12165-6/TP·7843

印 数: 1~4500

定 价: 59.00 元

TI DSP 中文手册编译委员会

(按汉语拼音排序)

主任委员:

胡广书	教授	清华大学
彭启琮	教授	电子科技大学
沈洁	经理	TI 中国大学计划

委员:

陈健	教授	上海交通大学
戴逸民	教授	中国科学技术大学
何佩琨	教授	北京理工大学
刘和平	教授	重庆大学
潘亚涛	工程师	TI 中国大学计划
桑恩方	教授	哈尔滨工程大学
王军宁	副教授	西安电子科技大学
张旭东	副教授	清华大学
曾刚	编辑	清华大学出版社

序

经过全体编译老师和编译委员会近一年的努力,“TI TMS320 系列 DSP 中文手册”终于陆续和广大读者见面了。

数字信号处理器(Digital Signal Processing, DSP)是对信号和图像实现实时处理的一类高性能的 CPU。所谓“实时(Real-Time)实现”,是指一个实际的系统能在人们听觉、视觉或按任务要求所允许的时间范围内实现对输入信号的处理并将其输出。目前,DSP 已广泛应用于通信、家电、航空航天、工业测量、控制、生物医学工程及军事等许许多多需要实时实现的领域。

美国德州仪器(Texas Instruments, TI)公司是全球 DSP 研发和生产的领先者。自 1982 年推出第一块 DSP 芯片以来,到 20 世纪 90 年代中期,TI 先后推出了 C10、C20、C30、C40、C50 及 C80 等 6 代 TMS320 系列的 DSP 产品。紧接着又推出了 C2000 系列、C5000 系列和 C6000 系列三大主流产品,并推出了将 DSP 和 ARM 合为一体的 OMAP 系列。这些产品无论是在国外还是在国内都获得了广泛的应用。例如,“TI 中国大学计划”在 2003 年举办的“TI DSP 设计比赛”中,国内高校就有约 90 个队参加,足见 DSP 在我国已经得到普遍的重视。

凡是从事过含有 CPU 的系统设计(单片机或 DSP)的同志都知道,为了顺利地实现设计任务,一本或几本好的手册是必不可少的,其中包括该 CPU 的结构手册、指令和汇编语言手册以及开发手册等。

由于 TI 的 DSP 发展迅速,产品更新快,因此其手册自然也非常多。由于手册需要更新和补充,因此,彼此之间难免会出现重复和种类繁多的现象。使用过 TI DSP 文档的同志都感觉到,其手册在使用上是有相当难度的。另外,TI DSP 文档都是用英文写成,这也给部分工程技术人员带来一定的困难。

鉴于此,TI 中国主管提出委托国内的高校老师对其文档进行编译,并授权清华大学出版社正式出版。在“TI 中国大学计划”的建议下,2003 年 6 月通过推荐和报名方式成立了编译委员会。

通过认真讨论,编译委员会首先确定了文档编译的原则,然后确定了编译的书目,最后确定了每一本书的编译者。

关于编译的原则,我们提出了如下两点:

(1) 本文档的定位为“手册”。也就是说,每一位文档的编译者应全面了解和掌握所编译书目的所有英文文档,并了解各个文档之间的关系,在保证文档完整的基础上,选择最新的文档,并去除其中的重复内容和已经淘汰的内容。

(2) 要尽可能地按照 TI 英文文档的“本意”来形成中文,以保证手册的准确性。允

许作者按自己的经验有所发挥，以便于难点的理解。

这次编译的书目包含三大部分，一是各个系列的共用部分，如 CCS、DSP/BIOS、算法标准、C 语言编译器及开发工具等各个手册；二是按 C2000、C5000 和 C6000 三大系列分别编译它们的 CPU 结构及指令手册；三是分别编译它们的应用。

编译计划在“TI 中国大学计划”的相关会议上提出后，得到了国内高校许多老师的热情支持，很快便将要编译的书目一一落实。这些老师都有着从事 DSP 教学和科研的丰富经验，正是由于他们的大力支持，才使这一庞大的工作计划能够付诸实施。在此，谨向参加本系列手册编译工作的全体老师表示衷心的感谢！

“TI 中国大学计划”在本系列手册的编译过程中给予了多方面的大力支持，在此向他们表示衷心的感谢！

由于本系列手册的编译工作量大、时间紧，因此，尽管编译的老师 and 编译委员会都尽了最大的努力，但也难免有不妥、甚至错误之处，编译委员会全体老师恳切地希望广大读者给以批评指正。

清华大学生物医学工程系

胡广书 教授

2004 年 3 月

编 译 者 序

TMS320C55x DSP 是德州仪器 (TI) C5000 16-bit 定点 DSP 系列里最新的一代产品。和目前使用的最为广泛的 C54x 系列 DSP 相比, C55x 对 C54x 有很好的继承性, 与 C54x 源代码兼容, 从而可以有效地保护用户在 C54x 软件上所作的投资。

C55x 继承了 C54x 的发展趋势, 低功耗、低成本, 在有限的功率条件下, 保持最好的性能。工作在 0.9V 下, 其核的功耗仅为 0.05mW/MIPS, 而性能可以达到 800MIPS (400MHz), 对数字通信等便携式应用所提出的挑战, 提供了有效的解决方案。

TI 为 C55x 所提供的文档有数十种之多。为了向中国的用户提供一本实用的技术手册, 我们认真地阅读和研究了所能收集到的全部文档, 先对英文进行编辑, 然后再作翻译。

本手册分为 3 部分。第 1 部分是对 C55x 系列 DSP 的简单概述, 使读者对 C55x 有一个概念性的了解。第 2 部分是对 CPU 的详细介绍。第 3 部分是对片上外设的详细介绍。

值得指出的是, TI 所提供的 C55x 外设的主要文档中, 缺了若干章, 包括原文第 4 章, DMA; 第 6 章, 通用 I/O; 第 9 章, 指令 Cache; 第 14 章, 系统控制寄存器; 以及第 18 章, 看门狗定时器。我们用能找到的特定器件 (如 C5501/5502 或 C5509/5510) 的相关部分作了补充, 但还是有一部分阙如。如果本书还有再版的机会, 我们会用 TI 所提供的新文档来补充与替换。

我们希望, 本书能成为使用 C55x DSP 的工程技术人员、研究生和高年级本科生的一本有用的技术手册。

由于我们自己使用 C55x 的时日尚浅, 英文和中文的功底有限, 书中的疏漏和错误之处难免, 恳请读者和专家指正。

参加本书编译工作的有彭启琮、武乐琴、张舰, 全书由彭启琮审校。电子科技大学—德州仪器 (TI) DSP 技术中心/培训中心的研究生胡新宇、冯莉、王珂薇参加了部分翻译工作。

感谢 TI (中国) 公司的鼓励和大力支持。

感谢清华大学出版社编辑们的辛勤劳动, 使本书得以问世。

编译者

2004 年 8 月于电子科技大学

目 录

第 1 部分 概 论

第 1 章 TMS320C55x 概述	1
1.1 TMS320C55x DSP 基本指标和性能	1
1.2 C55x 的 CPU 结构	4
1.3 低功耗的强化	10
1.4 嵌入式仿真特性	11

第 2 部分 CPU

第 2 章 CPU 的结构	14
2.1 CPU 结构概述	14
2.2 指令缓冲单元 (I unit)	16
2.3 程序流单元 (P unit)	17
2.4 地址数据流单元 (A unit)	19
2.5 数据计算单元 (D unit)	20
2.6 地址总线 and 数据总线	22
2.7 指令流水	24
第 3 章 CPU 寄存器	27
3.1 寄存器总表	27
3.2 存储器映射寄存器	28
3.3 累加器 (AC0~AC3)	31
3.4 变换寄存器 (TRN0、TRN1)	32
3.5 T 寄存器 (T0~T3)	32
3.6 用作数据地址空间和 I/O 空间的寄存器	32
3.7 程序流寄存器 (PC、RETA、CFCT)	37
3.8 中断管理寄存器	38
3.9 循环控制寄存器	44
3.10 状态寄存器 (ST0_55~ST3_55)	45

第 4 章	存储器和 I/O 空间	62
4.1	存储器映射	62
4.2	程序空间	63
4.3	数据空间	64
4.4	I/O 空间	66
4.5	Boot Loader	67
第 5 章	堆栈操作	68
5.1	数据堆栈和系统堆栈	68
5.2	堆栈配置	69
5.3	快返回和慢返回	69
5.4	现场自动切换	71
第 6 章	中断和复位操作	74
6.1	中断概述	74
6.2	中断向量及优先级	75
6.3	可屏蔽中断	77
6.4	不可屏蔽中断	80
6.5	DSP 硬件复位	81
6.6	软件复位	84
第 7 章	寻址模式	86
7.1	寻址模式概述	86
7.2	绝对寻址模式	86
7.3	直接寻址模式	88
7.4	间接寻址模式	92
7.5	寻址数据存储器	102
7.6	存储器映射寄存器寻址	114
7.7	访问 MMR 的限制	124
7.8	寄存器 bit 寻址	124
7.9	I/O 空间寻址	132
7.10	寻址 I/O 空间的限制	138
7.11	循环寻址	139

第 3 部分 TMS320VC55x DSP 的外设

第 8 章	TMS320VC55x DSP 外设概述	143
-------	----------------------------	-----

第 9 章	ADC	144
9.1	ADC 简介	144
9.2	总的转换时间	145
9.3	初始化和监视转换周期	145
9.4	功耗	146
9.5	ADC 的寄存器	146
9.6	ADC 应用实例	149
第 10 章	时钟发生器	151
10.1	概述	151
10.2	DSP 时钟发生器的工作流程	151
10.3	旁路模式	153
10.4	锁定模式	154
10.5	Idle 模式（低功耗模式）	155
10.6	CLKOUT 引脚及相应的时钟分频器	155
10.7	DSP 时钟发生器的复位条件	156
10.8	时钟模式寄存器	157
第 11 章	直接存储器访问（DMA）控制器	160
11.1	DMA 控制器概述	160
11.2	通道和接口的访问	161
11.3	HPI 访问配置	162
11.4	服务链	163
11.5	数据的单元：字节、单元、帧、块	166
11.6	一个通道的起始地址	166
11.7	更新通道地址	168
11.8	数据突发能力	168
11.9	同步通道的活动	169
11.10	监视通道的活动	170
11.11	DMA 传输中的等待	172
11.12	功率、仿真及复位	173
11.13	DMA 控制器的寄存器	174
第 12 章	外部存储器接口（EMIF）	190
12.1	EMIF 简介	190
12.2	EMIF 信号	191
12.3	EMIF 请求的优先级	192

12.4	对存储器的考虑	193
12.5	程序访问	195
12.6	数据访问	197
12.7	使用异步存储器	202
12.8	使用 SBSRAM (同步突发 SRAM)	208
12.9	SDRAM (同步 DRAM) 的使用	210
12.10	保持请求: 共享外部存储器	210
12.11	写后: 缓存对外部存储器的写操作	211
12.12	EMIF 寄存器	211
第 13 章	主机接口 (HPI)	218
13.1	HPI 介绍	218
13.2	通过 HPI 可以访问的 DSP 存储器	218
13.3	HPI 和 DMA 的相互作用	219
13.4	HPI 信号	220
13.5	非复用模式	223
13.6	复用模式	225
13.7	主机和 DSP 之间的中断	228
13.8	HPI 的引导加载	229
13.9	功率、仿真和复位	229
13.10	HPI 寄存器	230
第 14 章	Idle 配置	232
14.1	idle 域	232
14.2	idle 配置的步骤	233
14.3	有效的 idle 配置	233
14.4	改变 idle 配置 (关键条件)	234
14.5	CPU 重新激活时的中断处理	235
14.6	DSP 复位对 idle 域的影响	235
14.7	idle 寄存器	236
第 15 章	指令 Cache	238
15.1	I-Cache 概述	239
15.2	I-Cache 的操作	240
15.3	控制 I-Cache 的 CPU Bits	242
15.4	配置并使能 I-Cache	244
15.5	时序的考虑	245

15.6	功耗、仿真和复位条件	246
15.7	I-Cache 的寄存器	247
第 16 章	内部集成电路模块 (I2C)	251
16.1	I2C 模块简介	251
16.2	I2C 模块工作原理	254
16.3	I2C 模块所产生的中断请求和 DMA 事件	260
16.4	复位/关闭 I2C 模块	261
16.5	I2C 模块寄存器	261
第 17 章	多通道缓存串口 (McBSP)	275
17.1	McBSP 概述	275
17.2	McBSP 的工作	277
17.3	McBSP 的采样率发生器	287
17.4	McBSP 异常和错误	295
17.5	多通道模式选择	303
17.6	运用时钟停止模式进行 SPI 操作	310
17.7	配置接收器	316
17.8	配置发送器	338
17.9	McBSP 引脚用作通用 I/O 引脚	359
17.10	仿真、电源和复位	360
17.11	数据封包的例子	363
17.12	McBSP 寄存器	366
17.13	McBSP 寄存器工作手册	388
第 18 章	多媒体卡 (MMC) 控制器	395
18.1	MMC 控制器	395
18.2	本地模式	399
18.3	本地模式初始化	406
18.4	本地模式下的监视行为	411
18.5	SPI 模式	414
18.6	SPI 模式初始化	419
18.7	SPI 模式下的监视行为	423
18.8	MMC 控制器寄存器	427
第 19 章	实时时钟 (RTC)	440
19.1	实时时钟 (RTC) 概述	440
19.2	使用 RTC 的时间和日期寄存器	442

19.3	使用实时时间和日期闹钟	444
19.4	实时时钟中断请求	447
19.5	实时时钟更新周期	449
19.6	功率、仿真和复位的考虑	450
19.7	实时时钟寄存器	450
第 20 章	通用计时器	457
20.1	通用计时器简介	457
20.2	计时器引脚	458
20.3	计时器中断	460
20.4	初始化计时器	461
20.5	停止/启动计时器	461
20.6	改变计时器引脚功能/时钟源	461
20.7	重新装入计时器计数寄存器的值	463
20.8	计时器仿真模式	463
20.9	DSP 复位后的计时器状态	463
20.10	计时器初始化实例	464
20.11	计时器寄存器	468
第 21 章	通用异步接收/发送器	473
21.1	UART 简介	473
21.2	可编程波特率发生器	475
21.3	UART 产生的中断请求和 DMA 事件	477
21.4	FIFO 模式	479
21.5	电源、仿真和复位的条件	481
21.6	UART 的寄存器	483
第 22 章	通用串行接口 USB	498
22.1	USB 概述	498
22.2	USB 模块	499
22.3	USB 缓冲区管理器 (UBM)	503
22.4	USB 的 DMA 控制器	504
第 23 章	看门狗定时器	512
23.1	看门狗定时器概述	512
23.2	配置看门狗定时器	513
23.3	看门狗定时器的服务	514
23.4	从超时状态中恢复	515

23.5 功率、仿真和复位	515
23.6 看门狗定时器的寄存器	516
附录 A 术语	520
附录 B TMS320VC5510 定点数字信号处理器数据手册	523
B.1 介绍	523
B.2 功能综述	533
B.3 文档支持	548
B.4 电气特性	549
B.5 外形尺寸	574

第 1 部分 概 论

第 1 章 TMS320C55x 概述

1.1 TMS320C55x DSP 基本指标和性能

TMS320C55x DSP 是德州仪器 (TI) C5000 DSP 系列里最新的一代产品。C55x 对 C54x 有很好的继承性, 与 C54x 源代码兼容, 从而有效地保护用户在软件上的投资。

C55x 继承了 C54x 的发展趋势, 低功耗、低成本, 在有限的功率条件下, 保持最好的性能。工作在 0.9V 下, 其核的功耗仅为 0.05mW/MIPS, 而性能达到 800MIPS (400MHz), 对数字通信等便携式应用所提出的挑战, 提供了有效的解决方案。

与 120MHz 的 C54x 相比, 300MHz 的 C55x 性能大约提高 5 倍, 而功耗降为 1/6。

C55x 的超低功耗, 是通过低功率设计, 以及功率管理技术的进步而达到的。设计者使用了一种非并行层次的节电配置, 以及创新的粒度耦合自动功率管理, 对于用户是透明的。

与 C54x 相比, C55x 的核有两个乘法与累加器 (MAC), 增加了累加器 (ACC)、算术逻辑单元 (ALU)、数据寄存器等, 配合以并行指令, 所以每个机器周期的效率提高了一倍。其指令集是 C54x 的超集, 加入了适应扩展的新的硬件单元的指令。

C55x 的指令长度从 8-bit 到 48-bit。这种长度可变的指令可以使每个函数的控制代码量比 C54x 降低 40%。减少代码量, 就意味着减少存储器的用量, 从而降低系统成本。

本章简要地介绍 C55x CPU 的结构、低功耗的强化以及嵌入式的仿真器的特性。更详细的信息可阅读本书的以后各章。

1.1.1 C55x 的应用和指标

C55x 的结构和设计是为了适应 4 个相关的目标:

- ☐ 超低功耗
- ☐ 有效的 DSP 性能
- ☐ 降低代码密度
- ☐ 与 C54x 完全的代码兼容

C55x 的典型应用:

- ☐ 无线手机和个人通信系统
- ☐ 便携式声音播放器

- ☐ 个人医疗设备（助听器等）
- ☐ 数码相机
- ☐ 高功效的多路电话系统（如 RAS、VOP）

一般地说，C55x 的目标市场是消费和通信市场：

- ☐ 话音编解码
- ☐ 线路回音和噪声消除
- ☐ 调制解调
- ☐ 图像和声音的压缩与解压
- ☐ 话音的加密与解密
- ☐ 话音的识别与合成

1. 低功耗、低系统成本、高性能

C55x 支持 4 类基本的应用：

(1) 在保持或略微提高性能的条件下，大大延长电池寿命。例如，将数字蜂窝电话、便携式声音播放器、数码相机的电池使用时间，从小时延长到天，从天延长到周。

(2) 在保持或稍微延长电池寿命的条件下，大大提高性能。例如，即将使用的 3G 手机，可以用于因特网的音频、视频、数据的移动产品等。用户所期待的是具有一定水平的待机时间和使用时间的电池寿命，而不愿意为增加功能而牺牲电池的寿命。

(3) 要求很小的尺寸、超低功耗、中低水平的 DSP 性能。例如，助听器和医疗检测设备，要求 DSP 具有相当的能力，但电池的寿命要达到数周乃至数月。

(4) 高功效的设施（RAS、VOP、多通道的网关等），要求提高信道密度，但又有严格的板级功耗和空间的限制。

2. C55x 的指标

图 1-1~图 1-3 将 120MHz、1.8V 的 C54x 和 300MHz、0.9V 的 C55x 作了比较。

- ☐ 核的功耗降到 1/6
- ☐ 性能提高 5 倍
- ☐ 代码减少 30%

这些图里还说明了前面提及的一些应用中算法执行过程的改善。

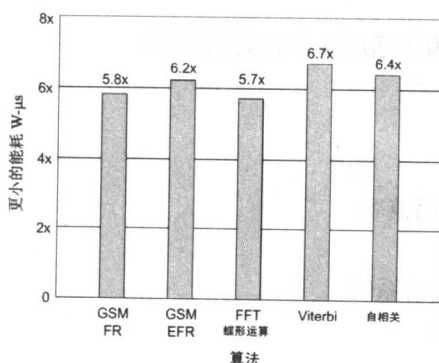


图 1-1 能耗

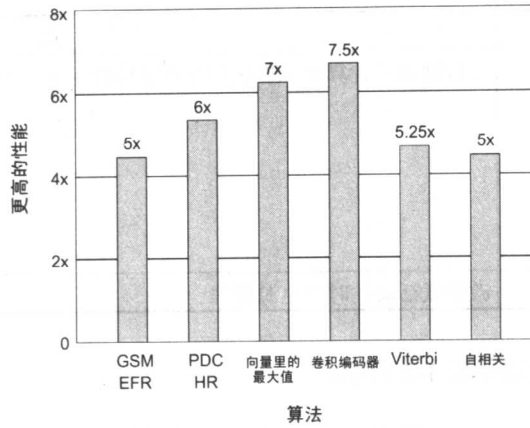


图 1-2 性能 (MIPS)

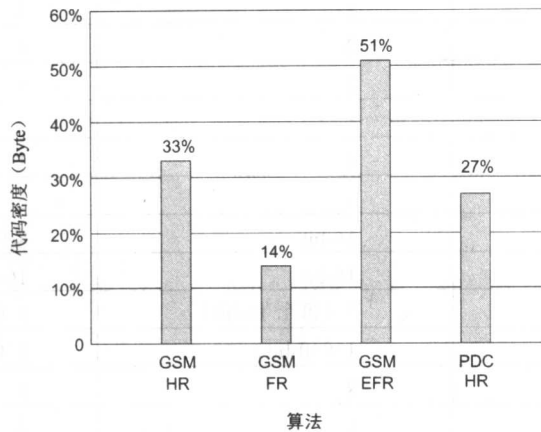


图 1-3 代码密度

1.1.2 C55x 的主要性能

C55x 的主要性能和优点如表 1-1 所示。

表 1-1 C55x 的性能和优点

性 能	优 点
32×16-bit 指令缓冲队列	缓冲可变长度的指令，实现高效的块循环操作
两个 17×17-bit 的 MAC 单元	单周期内执行两次 MAC 操作
1 个 40-bit 的 ALU	执行高精度的算术和逻辑运算
1 个 40-bit 的桶形移位器	可以将 40-bit 的结果左移 32-bit，或右移 32-bit
1 个 16-bit 的 ALU	与主 ALU 并行，执行简单的算术运算
4 个 40-bit 的累加器	保持计算结果，降低对存储器传输的要求