

TI DSP 系列中文手册

TMS320LF/LC24 系列 DSP 的 CPU 与外设

[美] Texas Instruments Incorporated 著

徐科军 张 兴 肖本贤 吴 婷 等编译



清华大学出版社

TI DSP 系列中文手册

TMS320LF/LC24 系列 DSP 的 CPU 与外设

[美] Texas Instruments Incorporated 著

徐科军 张 兴
肖本贤 吴 婷 等编译

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

C2000 系列 DSP 是 TI 公司 TMS320 DSP 的三大系列之一, 它既具有一般 DSP 芯片的高速运算和信号处理能力, 又和单片机一样在片内集成了丰富的外设, 所以, 特别适用于数字控制系统。TMS320LF/LC24 系列 DSP 是目前 C2000 系列中应用最为广泛的 DSP 芯片。本书以 TMS320LF2407A 为代表, 介绍其中央处理单元 (CPU) 和片内外围设备。全书共分 10 章, 具体内容包括: CPU 内核结构, 存储器及 I/O 空间, 事件管理器 (EV), 模/数转换器 (ADC), 串行外设接口 (SPI), 串行通信接口 (SCI), CAN 控制器模块和看门狗 (WD) 定时器。

本书可供从事自动控制、电气工程、计算机应用和仪器仪表等专业的科研和工程技术人员参考, 也可以作为相关专业本科生和研究生选修课的参考书。

版权所有, 翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签, 无标签者不得销售。

图书在版编目 (CIP) 数据

TMS320LF/LC24 系列 DSP 的 CPU 与外设/徐科军等编译. —北京: 清华大学出版社, 2004
(TI DSP 系列中文手册)

ISBN 7-302-08000-3

I. T… II. 徐… III. ①数字信号—信号处理—数字通信系统, TMS320LF/LC24—微处理器
②数字信号—信号处理—数字通信系统, TMS320LF/LC24—外部设备 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 004259 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: 陈仕云

封面设计: 秦 铭

版式设计: 冯彩茹

印 刷 者: 北京市世界知识印刷厂

装 订 者: 三河市金元装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185 × 260 印张: 18.75 字数: 428 千字

版 次: 2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-08000-3/TP · 5798

印 数: 1 ~ 5000

定 价: 36.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题, 请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770175-3103 或 (010)62795704

Copyright Grant Letter

2003-4-28

Texas Instruments (Shanghai) Co., Ltd
11F, Novel Plaza, 128 Nanjing Road West,
Huangpu District, Shanghai 200003, P.R.C.

Mr. Hu Guangshu,

We are in possession of a copy of your book draft titled as appendix provided and [printed] by Tsinghua University Press, a book printer and publisher with a principal office located at Xue Yan Mansion, Tsinghua University, Beijing, 100084, P.R.C. (the "Book"), which contains certain copyrighted information (the "Information") from the Texas Instruments TMS320 DSP series product databook.

As rightful owner of the information, we hereby give you permission to use the Information in the book on a non-exclusive basis provided that you place the following statement on the title page of the book.

"This book contains copyrighted material of Texas Instruments Incorporated, used herein with permission of the copyright owner. Errors introduced in the use or translations of the copyrighted material herein are solely the responsibility of the author or translator and are not the responsibility of Texas Instruments Incorporated. Any further use, modification, redistribution without the express approval of the copyright owner is strictly prohibited. This copyright authorization allows for reproduction only in printed and computer materials of the above-cited standards, on a regional scale and for an unlimited period of time. Should any of the copyrighted information fall under patent protection, this copyright authorization is not to be construed as an authorization to use and/or implement patent information without fulfilling attached obligations."

Please also find enclosed some information regarding TI's copyright and trademark policies, which we would request you to follow during the use of the Information.

Thank you for including TI technology in your teaching and scholarship. I welcome your call or E-mail if I can provide additional assistance.

Best Regards,

Eldon Teng
Director of Market Development
Texas Instruments Asia

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
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判指正。

清华大学生物医学工程系

胡广书 教授

2004 年 3 月

前 言

数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 是当前发展非常迅速的一类电子器件, 其功能强大, 应用相当广泛。在世界上几个生产 DSP 芯片的大公司中, TI (Texas Instruments) 公司的 TMS 系列 DSP 芯片的市场占有率最高。TI 中国大学计划的实施也促进了国内大学 DSP 的教学和开发。目前, 国内应用的 DSP 主要以 TI 公司的 TMS320 系列为主。但是, TI DSP 的文档一是多, 二是杂, 三是彼此之间相互重复, 这给用户带来了很大的困难。例如, 从 TI 的网站上可以发现, TI C2000、C5000 和 C6000 三个系列的文档超过 100 多册。对于一个 DSP 初学者来说, 往往不知道哪一本文档是最重要的。此外, 这些文档都是用英文写成, 这对国内企业界的相当一部分工程师来说, 阅读起来会有一定的难度。近年来, 国内大学的老师已陆续出版了十几本有关 DSP 的教材。然而, 这些教材一般都是为满足教学需要而编写的, 在选材上基本上都是对 DSP 作概括性的介绍, 或是针对某一部分的内容作较为详细的介绍。这些教材对课程教学是有用的, 但是作为产品开发, 还必须阅读原手册。鉴于以上原因, TI 公司委托由清华大学胡广书教授牵头, 组织多家学校编译出版 TI DSP 文档。选择 TI DSP 产品中最具代表性的三个系列, 即 C2000、C5000、C6000 的文档进行编译出版。本书是该套文档中的一本。

C2000 系列 DSP 是 TI 公司 TMS320 DSP 的三大系列之一, 它既具有一般 DSP 芯片的高速运算和信号处理能力, 又和单片机一样在片内集成了丰富的外设, 所以, 特别适用于数字控制系统。TMS320LF/LC24 系列 DSP 是目前 C2000 系列中应用最为广泛的 DSP 芯片。本书以 TMS320LF2407A 为代表, 介绍其中央处理单元 (CPU) 和片内外围设备。全书分为两部分: 中央处理单元和片内外围设备, 共由 10 章组成, 具体内容包括: CPU 内核结构、存储器及 I/O 空间, 事件管理器 (EV)、模/数转换器 (ADC)、串行外设接口 (SPI)、串行通信接口 (SCI)、CAN 控制器模块和看门狗 (WD) 定时器。

本书由合肥工业大学电气与自动化工程学院徐科军主编, 张兴和肖本贤担任副主编。具体参加编译工作的有: 徐科军编译第 1 章、第 5 章和第 6 章, 吴婷编译第 2 章和第 3 章, 娄天玲编译第 4 章的 1 至 3 节, 郭福权编译第 4 章的 4 至 7 节, 肖本贤编译第 4 章的 8 至 10 节, 许颇编译第 7 章, 杨孝志编译第 8 章, 张强和杨淑英编译第 9 章, 杨淑英编译第 10 章。张兴负责第 7 章至第 10 章的审阅, 肖本贤负责第 4 章的审阅, 徐科军负责全书的统稿。

由于 DSP 技术的发展非常迅速，加上作者的水平有限，书中可能存在不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作者于合肥工业大学电气与自动化工程学院

2004 年 2 月

目 录

第一部分 中央处理单元 (CPU)

第 1 章 概述	1
1.1 TMS320 系列 DSP 概述	1
1.2 TMS320C240xA 系列 DSP 控制器	2
1.3 外设概述	3
1.4 240xA 器件的新特点	4
1.5 240xA 要点	4
第 2 章 CPU 内核结构	6
2.1 一般结构和组成	6
2.1.1 C24x 的一般结构和组成	6
2.1.2 240xA 的一般结构和组成	6
2.2 总线结构	16
2.3 中央处理单元 (CPU) 的组成及功能	17
2.3.1 输入定标移位器	18
2.3.2 乘法单元	19
2.3.3 中央算术逻辑部分	21
2.3.4 辅助寄存器算术单元 (ARAU)	23
2.3.5 状态寄存器 ST0 和 ST1	24
2.4 时钟及低功耗模式	27
2.4.1 相关引脚	27
2.4.2 PLL 时钟模块	27
2.4.3 看门狗定时器时钟	30
2.4.4 低功耗模式	30
2.5 程序控制	32
2.5.1 程序地址的产生	33
2.5.2 流水线操作	36
2.5.3 转移、调用和返回	37
2.5.4 条件转移、调用和返回	38
2.5.5 重复单条指令	41
2.6 系统配置和中断	41

2.6.1	系统配置寄存器.....	41
2.6.2	中断优先级和中断向量表.....	45
2.6.3	外设中断扩展控制器 (PIE)	48
2.6.4	中断向量.....	50
2.6.5	中断响应的流程.....	52
2.6.6	中断响应的延时.....	53
2.6.7	CPU 中断寄存器.....	54
2.6.8	外设中断寄存器.....	56
2.6.9	复位.....	63
2.6.10	无效地址检测.....	63
2.6.11	外部中断控制寄存器.....	64
第 3 章	存储器.....	66
3.1	片内存储器	67
3.1.1	片内 RAM	67
3.1.2	工厂掩膜型片内 ROM 存储器.....	68
3.1.3	片内闪速存储器 (Flash)	68
3.2	存储器及 I/O 空间	69
3.2.1	程序存储器.....	70
3.2.2	数据存储器.....	71
3.2.3	I/O 空间	74
3.2.4	XMIF 限定器信号说明.....	74
3.2.5	等待状态发生器.....	75

第二部分 片内外围设备

第 4 章	事件管理器 (EV)	78
4.1	EV 模块概述	78
4.1.1	C240 DSP 的 EV 模块和 240xA DSP 的 EV 模块之间的差异	79
4.1.2	EV 模块的引脚	81
4.1.3	功率驱动保护中断.....	83
4.1.4	EV 寄存器	83
4.1.5	EV 中断	84
4.2	EV 寄存器地址	85
4.3	通用定时器	87
4.3.1	通用定时器计数操作.....	93
4.3.2	通用定时器比较操作.....	96
4.3.3	定时器控制寄存器.....	101

4.3.4 通用定时器的 PWM 输出	105
4.3.5 通用定时器复位	106
4.4 比较单元	106
4.4.1 比较单元寄存器	108
4.4.2 比较单元的中断	113
4.4.3 比较单元的复位	113
4.5 PWM 电路	113
4.5.1 事件管理器的 PWM 发生器的特征	114
4.5.2 可编程的死区单元	115
4.5.3 输出逻辑	118
4.6 PWM 波形的产生	120
4.6.1 用事件管理器产生 PWM 输出	121
4.6.2 PWM 产生的寄存器设置	121
4.6.3 非对称和对称 PWM 的产生	122
4.7 空间矢量 PWM	123
4.7.1 三相功率逆变器	124
4.7.2 用 EV 模块产生空间矢量 PWM 波形	126
4.8 捕获单元	128
4.8.1 捕获单元的特征	128
4.8.2 捕获单元的操作	129
4.8.3 捕获单元的寄存器	130
4.8.4 捕获单元 FIFO 堆栈	135
4.8.5 捕获中断	136
4.9 QEP 电路	136
4.9.1 正交编码器脉冲引脚	137
4.9.2 正交编码器脉冲电路时间基准	137
4.9.3 正交编码器脉冲电路的解码	138
4.9.4 正交编码器脉冲电路的计数	138
4.9.5 正交编码器脉冲电路的寄存器设置	139
4.10 EV 中断	139
4.10.1 EV 中断请求和服务	141
4.10.2 EV 中断标志寄存器	141
第 5 章 数字输入/输出 (I/O)	151
5.1 数字 I/O 口寄存器	151
5.2 240xA 中 GPIO 的差别	152
5.3 I/O 复用控制寄存器	152
5.3.1 I/O 复用控制寄存器 A	153

5.3.2	I/O 复用输出控制寄存器 B	154
5.3.3	I/O 复用输出控制寄存器 C (MCRC)	155
5.4	数据和方向控制寄存器	156
第 6 章	模/数转换器 (ADC)	163
6.1	特点	163
6.2	ADC 概述	165
6.2.1	自动排序器的工作原理	165
6.2.2	非中断自动排序模式	167
6.2.3	排序器的启动/停止模式	169
6.2.4	输入触发信号	171
6.2.5	在排序转换中的中断操作	172
6.3	ADC 时钟预定标	173
6.4	校准	175
6.5	寄存器概述	176
6.5.1	ADC 控制寄存器 1 (ADCTRL1)	176
6.5.2	ADC 控制寄存器 2 (ADCTRL2)	180
6.5.3	最大转换通道寄存器 (MAXCONV)	183
6.5.4	自动排序状态寄存器 (AUTO_SEQ_SR)	184
6.5.5	ADC 输入通道选择排序控制寄存器 (CHSELSEQn)	186
6.5.6	ADC 转换结果缓冲寄存器 (RESULTn)	187
6.6	ADC 转换时钟周期	187
第 7 章	串行外设接口 (SPI)	189
7.1	概述	189
7.1.1	C240 串行外设接口与 LF/LC240xA 串行外设接口的区别	189
7.1.2	SPI 物理描述	189
7.1.3	串行外设接口控制寄存器	191
7.2	SPI 操作	192
7.2.1	操作介绍	192
7.2.2	串行外设接口模块的主和从操作方式	193
7.2.3	串行外设接口的中断	194
7.2.4	数据格式	196
7.2.5	波特率和时钟设计	196
7.2.6	复位时的初始化	199
7.2.7	数据传送示例	199
7.3	SPI 控制寄存器	200
7.3.1	串行外设接口配置控制寄存器 (SPICCR)	201

7.3.2	串行外设接口操作控制寄存器 (SPICTL)	203
7.3.3	串行外设接口状态寄存器 (SPISTS)	204
7.3.4	串行外设接口波特率寄存器 (SPIBRR)	205
7.3.5	串行外设接口仿真缓冲寄存器 (SPIRXEMU)	206
7.3.6	串行外设接口串行接收缓冲寄存器 (SPIRXBUF)	207
7.3.7	串行外设接口串行传送缓冲寄存器 (SPITXBUF)	207
7.3.8	串行外设接口串行数据寄存器 (SPIDAT)	208
7.3.9	串行外设接口优先级控制寄存器 (SPIPRI)	209
7.4	SPI 样例波形.....	209
第 8 章	串行通信接口 (SCI)	213
8.1	C240 与 LF/LC240 xA 串行通信比较	213
8.1.1	串行通信接口的物理描述	213
8.1.2	SCI 模块的结构	215
8.1.3	SCI 模块的寄存器地址	216
8.1.4	多处理器 (多机) 异步通信模式	217
8.2	可编程的数据格式	217
8.3	SCI 多处理器通信	218
8.3.1	空闲线多处理器模式	219
8.3.2	地址位多处理器模式	221
8.4	通信模式	222
8.4.1	通信模式中的接收器信号	222
8.4.2	通信模式中的发送器信号	223
8.5	串行通信接口的端口中断	224
8.6	SCI 波特率计算	224
8.7	SCI 控制寄存器	225
8.7.1	SCI 通信控制寄存器 (SCICCR)	225
8.7.2	SCI 控制寄存器 1 (SCICTL1)	228
8.7.3	波特率选择寄存器 (SCIHBAUD) 和 (SCILBAUD)	230
8.7.4	SCI 控制寄存器 2 (SCICTL2)	230
8.7.5	接收器状态寄存器 (SCIRXST)	231
8.7.6	接收器数据缓冲寄存器	233
8.7.7	发送数据缓冲寄存器	234
8.7.8	优先级控制寄存器 (SCIPRI)	234
第 9 章	CAN 控制器模块	236
9.1	CAN 模块介绍	236
9.2	CAN 网络概述	237

9.2.1	CAN 协议概述	237
9.2.2	CAN 控制器结构	238
9.2.3	存储器映射	239
9.3	信息对象	241
9.3.1	邮箱排列布置	241
9.3.2	信息缓冲器	243
9.3.3	邮箱 RAM 写访问	244
9.3.4	发送邮箱	244
9.3.5	接收邮箱	245
9.3.6	远程帧的处理	245
9.3.7	邮箱配置	246
9.3.8	接收滤波器	247
9.4	CAN 控制寄存器	248
9.4.1	邮箱方向/使能寄存器 (MDER)	248
9.4.2	发送控制寄存器	249
9.4.3	接收控制寄存器 (RCR)	250
9.4.4	主控制寄存器 (MCR)	252
9.4.5	位配置寄存器 (BCRn)	253
9.5	状态寄存器	256
9.5.1	错误状态寄存器 (ESR)	256
9.5.2	全局状态寄存器 (GSR)	258
9.5.3	CAN 错误计数寄存器 (CEC)	259
9.6	中断逻辑控制	259
9.6.1	CAN 中断标志寄存器 (CAN_IFR)	260
9.6.2	CAN 中断屏蔽寄存器 (CAN_IMR)	262
9.7	配置模式	263
9.8	低功耗模式 (PDM)	264
9.9	挂起模式	264
第 10 章	看门狗 (WD) 定时器	269
10.1	概述	269
10.2	WD 操作	270
10.2.1	控制看门狗定时器的操作寄存器	270
10.2.2	看门狗定时器的时钟	270
10.2.3	定时器的悬挂	271
10.2.4	相关的操作	271
10.3	WD 控制寄存器	273
10.3.1	WD 计数寄存器	273

10.3.2 WD 复位关键字寄存器	274
10.3.3 WD 定时器控制寄存器	274
参考文献	278

第一部分 中央处理单元 (CPU)

第 1 章 概 述

TMS320Lx240xA 系列器件是 TMS320 系列数字信号处理器 (Digital Signal Processors, DSPs) 的成员。它是为了满足广泛需要的电动机控制和其他嵌入式控制应用而设计的。这个系列以 C2xLP 16 位、定点、低功耗 DSP CPU 为核心,配置了丰富的片内外设和片内 ROM 或闪速程序存储器,还有片内双口 RAM (Dual-access RAM, DARAM)。

本章介绍 TMS320 系列的概况,240xA DSP 控制器产品的背景和优点,以及 240x 器件。

1.1 TMS320 系列 DSP 概述

TMS320 系列包括了定点、浮点、多处理器数字信号处理芯片和定点 DSP 控制器。TMS320 DSPs 的体系结构适合于实时的数字信号处理。240xA 系列 DSP 控制器将实时处理功能与控制器的外设功能集于一身,为控制系统应用提供了一个理想的解决方案。

TMS320 系列 DSP 具有以下特点:

- ☐ 灵活的指令系统。
- ☐ 灵活的操作性能。
- ☐ 高速的运算能力。
- ☐ 改进的并行结构。
- ☐ 很高的性能价格比。

在 1982 年, TI (Texas Instruments) 公司推出了 TMS320 系列的第一款定点 DSP 芯片——TMS32010。迄今, TMS320 系列已有: C1x、C2x、C20x、C24x、C5x、C54x、C6x 定点 DSPs、C3x 和 C4x 浮点 DSPs、C8x 多处理器 DSPs。240xA 芯片是 24x 定点 DSPs 系列的一部分,是 C2000 平台的一员。

TMS320 系列中的同一系列产品具有相同的 CPU 结构,只是片内存储器和片内外设的