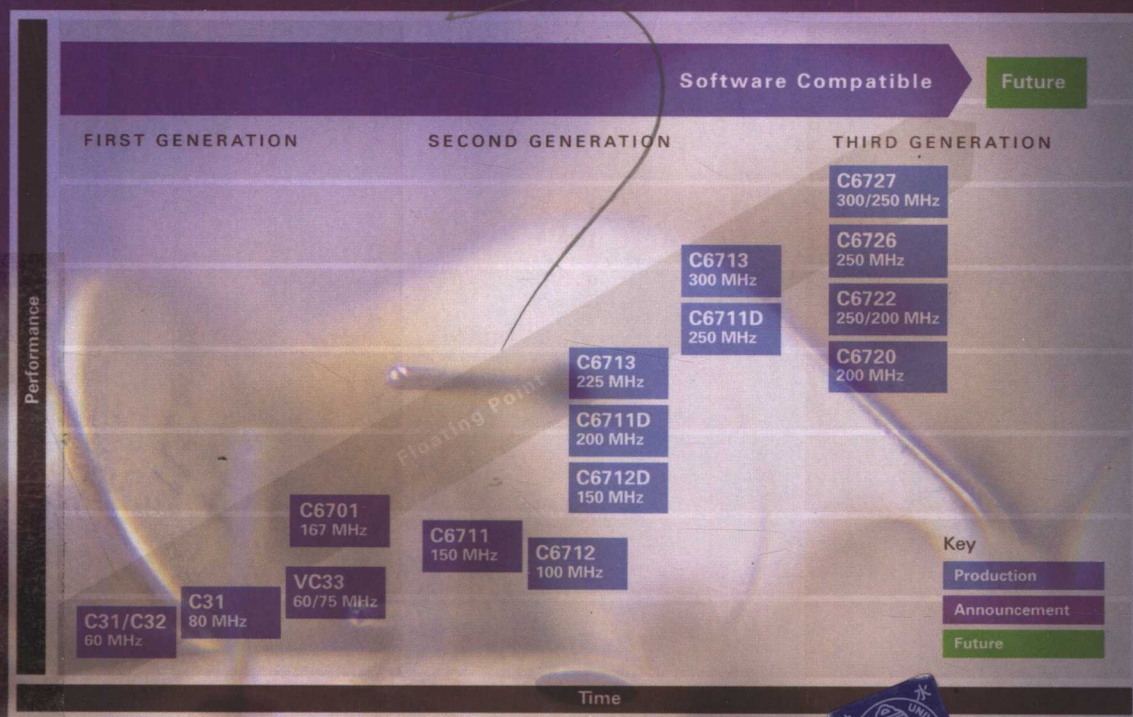


TI DSP系列中文手册

TMS320C55x

系列**DSP**指令系统、 开发工具与编程指南

(美) Texas Instruments Incorporated 著

李海森 周天
黎子盛 么彬 等编译

清华大学出版社

TI DSP系列中文手册

TN911.72/195

2007

TMS320C55x 系列DSP指令系统、 开发工具与编程指南

(美) Texas Instruments Incorporated 著
李海森 周天 等编译
黎子盛 么彬

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

TMS320C55x DSP 是美国德州仪器(TI)公司 C5000 16 位定点 DSP 系列里最新的一代产品。其拥有的资源与性能较目前使用最为广泛的 C54x 系列 DSP 有成数倍的提升,并进一步弘扬了低功耗、低成本、高速度的特征,是当前数字信号处理领域和各种便携式应用场合最具潜力的可选高性能 DSP 之一。本书以 C55x DSP 为对象,介绍其指令系统、开发工具和编程指南。全书共分为 5 章,其中第 1 章介绍 C55x DSP 的基本结构和编程的基本过程;第 2 章详细介绍 C55x 的汇编语言指令系统;第 3 章介绍 C55x 的汇编语言开发工具;第 4 章则对 C55x 的软件开发工具及 C/C++ 语言进行详细阐述;第 5 章详细介绍 C55x 的 C/C++ 代码和汇编语言代码的优化。全书涉及几乎所有在 C5000 的硬件平台上开发一个完整的软件程序所必需的知识,由于其中的实例全部取自 C55x,因此对开发 C55x 的本科生、研究生和工程师具有更加重要的参考价值。

本书内容实践性强,适合于从事 TI DSP 研究、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作为参考书,也可供业界的工程师和其他相关专业技术人员参考。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

TMS320C55x 系列 DSP 指令系统、开发工具与编程指南/李海森等编译. —北京:清华大学出版社,2007.12

(TI DSP 系列中文手册)

ISBN 978-7-302-15839-4

I. T… II. 李… III. 数字信号—信息处理系统—指南 IV. TN911.72-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 115726 号

责任编辑:王敏稚 李 晔

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

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

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

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

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:39 字 数:946 千字

版 次:2007 年 12 月第 1 版 印 次:2007 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:59.00 元

本书如存在文字不清、漏印、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)62770177 转 3103 产品编号:021394-01

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 Processor, 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进行处理并将其输出。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(单片机或 DSP)的设计人员都知道,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 文档的用户都感觉到,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予批评指正。

清华大学生物医学工程系

胡广书 教授

2004 年 3 月

编译者序

随着数字时代的到来,以数字信号处理器(DSP)为基础的实时数字信号处理技术得到了越来越广泛的应用。目前,美国德州仪器(TI)公司的 TMS320 系列 DSP 由于其独特的性能在国内的市场占有率最高。近年来,随着 TI 中国大学计划的实施,进一步促进了 TI DSP 在中国高等院校的教学工作的普及。但是,由于 TI DSP 发展迅速、更新快,其文档一是多,二是杂,三是彼此之间相互重复,这给用户的使用带来诸多不便。尽管近些年来国内大学的老师已经陆续出版了一批有关 TI DSP 的教材,并在教学上发挥了有益的效果和作用,但是这些教材一般都是侧重满足教学而编写的,不是内容过于概括性就是集中某一部分而显得不够系统。在 DSP 产品开发的过程中,还必须阅读繁杂的原版英文手册。虽然英文文档很容易找到,但读中文能够提高效率,这对大多数人来说还是一个现实的情况。鉴于此,TI 公司委托清华大学胡广书教授牵头,组织国内多家高等学校的专家教授编译出版 TI DSP 系列中文手册,并依据 TI DSP 的 C2000、C5000、C6000 三个主流系列分别编写。本书是该套中文手册中的一本,主要以 C5000 系列的 C55x DSP 为对象,系统地介绍其指令系统、开发工具和编程指南。涉及了几乎所有在 C5000 的硬件平台上开发一个完整的软件程序所必需的知识。

本书根据“TI DSP 中文手册编译委员会”提出的编译原则,基于 TI 公司最新推荐的 7 个文献 (SPRU376A、SPRU374G、SPRU280、SPRU576D、SPRU281、SPRU429、SPRU375G),经过合理筛选、合并、并考虑到实用性情况,对其中的 TMS320C55x DSP Programmer's Guide、TMS320C55x DSP Mnemonic Instruction Set Reference Guide、TMS320C55x Assembly Language Tools User's Guide、TMS320C55x Optimizing C/C++ Compiler User's Guide 的全部内容以及其他 3 个文献的相关内容,进行了细致的翻译和整理,重新绘制了所有框图和表格。为了保存原手册面貌,除了页码标注等少数情况外,在翻译时,我们尽量接近原文。但由于两种语言文化和书写习惯的差异,有些地方的翻译颇费精力,希望经过编译者的努力力争为读者提供一本实用、全面而方便的中文技术手册。

本书由哈尔滨工程大学水声工程学院 HEU-TI DSP 联合实验室承担完成,全书由李海森教授担任主编和统稿,周天博士担任副主编。李海森和周天组织、规划、编译了全书目录和章节并指导了全部初稿的翻译工作。具体参加初稿工作的还有:程淑萍、陈嵩锐编译第 1 章,黎子盛、胡增敏、刘秀平编译第 2 章,么彬、魏玉阔、胡清华编译第 3 章,陈宝伟、陈友元、田婧编译第 4 章,孙琳、赵飞、钱彬编译第 5 章;周天、黎子盛、么彬负责初稿的译校工作并形成第二稿;陆丹负责了第二稿的校订工作并根据篇幅的限制删除了代数式语言指令系统等部分,将全书按要求格式排版后缩减成第三稿,并绘制了全部图片;李海森负责对第三稿特别是疑难问题校核与审定并最终定稿。

在本书编译过程中,得到 TI 中国大学计划沈洁经理及其同事们的大力支持,以及清华大学胡广书教授对于本书编译工作的指导和支持,在此向他(她)们表示由衷的感谢!

HEU—TI DSP 联合实验室主任桑恩方教授从接领任务到后续及时的提醒、督促是对我们的信任与关爱,这是我们完成任务的保证与克服困难的动力,特向桑主任表示深深的谢意!

由于 DSP 技术的发展非常迅速、新概念层出不穷,加上编译者水平有限,书中可能存在对原著理解不妥和歧义之处,敬请广大读者给予批评指正。

编译者

2007 年 6 月

于哈尔滨工程大学水声工程学院

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 系列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	教授	西安电子科技大学
张旭东	副教授	清华大学

目 录

第 1 章 C55x 编程基本指南	1
1.1 引言	1
1.1.1 TMS320C55x 结构	1
1.1.2 获得最佳性能的代码开发流程	1
1.2 基本教程	3
1.2.1 引言	3
1.2.2 编写汇编代码	4
1.2.3 理解链接过程	8
1.2.4 建立程序	10
1.2.5 测试代码	13
1.2.6 代码计时	14
1.3 定点算术运算	14
1.3.1 定点运算指南	14
1.3.2 扩展精度的加法和乘法	19
1.3.3 扩展精度的乘法	22
1.3.4 除法	24
1.3.5 处理溢出的方法	29
1.4 TI C55x DSPLIB	31
1.4.1 特征和便利之处	31
1.4.2 DSPLIB 数据类型	31
1.4.3 DSPLIB 的参数	32
1.4.4 在 C 中调用 DSPLIB 函数	32
1.4.5 在汇编语言源代码中调用 DSPLIB 函数	33
1.4.6 在哪里查看示例程序	33
1.4.7 DSPLIB 函数	33
第 2 章 C55x 汇编语言指令系统	34
2.1 术语、符号与缩写	34
2.1.1 指令集术语、符号和缩写	34
2.1.2 指令集条件字段	36
2.1.3 状态位的影响	38
2.1.4 指令集注释和规则	41
2.1.5 不可重复指令	46
2.2 并行特征和规则	47

2.2.1	并行特征	47
2.2.2	并行基础	48
2.2.3	资源冲突	49
2.2.4	软双重并行	50
2.2.5	条件执行指令	51
2.2.6	其他例外	51
2.3	寻址方式	51
2.3.1	寻址方式概述	51
2.3.2	绝对寻址方式	52
2.3.3	直接寻址方式	53
2.3.4	间接寻址方式	54
2.3.5	循环寻址	64
2.4	指令集说明	65
第 3 章	C55x 汇编语言开发工具	194
3.1	引言	194
3.1.1	软件开发工具描述	194
3.1.2	工具简介	194
3.2	公用目标文件格式(COFF)简介	196
3.2.1	段	196
3.2.2	汇编器如何处理段	197
3.2.3	链接器如何处理段	202
3.2.4	重定位	203
3.2.5	运行时间重定位	204
3.2.6	装载程序	205
3.2.7	COFF 文件中的符号	205
3.3	汇编器描述	206
3.3.1	汇编器概述	206
3.3.2	汇编器的开发流程	207
3.3.3	调用汇编器	207
3.3.4	C55x 汇编器的特点	211
3.3.5	为汇编器输入的预备文件和目录命名	216
3.3.6	源语句格式	218
3.3.7	常数	220
3.3.8	字符串	222
3.3.9	符号	223
3.3.10	表达式	228
3.3.11	内建函数	229
3.3.12	源程序列表	230

3.3.13	交叉引用列表	233
3.4	汇编伪指令	234
3.4.1	伪指令概述	235
3.4.2	定义段的伪指令	238
3.4.3	初始化常数的伪指令	240
3.4.4	对齐 SPC 的伪指令	243
3.4.5	格式化输出列表的伪指令	244
3.4.6	引用其他文件的伪指令	245
3.4.7	条件汇编伪指令	245
3.4.8	汇编时间符号伪指令	246
3.4.9	其他伪指令	247
3.5	宏语言	249
3.5.1	使用宏	249
3.5.2	宏定义	250
3.5.3	宏参数/替代符	252
3.5.4	宏库	257
3.5.5	在宏中使用条件汇编	257
3.5.6	在宏中使用标号	259
3.5.7	在宏中产生消息	260
3.5.8	格式化输出列表	261
3.5.9	使用递归和嵌套宏	262
3.5.10	宏伪指令总结	264
3.6	链接器	265
3.6.1	链接器概述	265
3.6.2	链接器开发流程	265
3.6.3	调用链接器	266
3.6.4	链接选项	267
3.6.5	字节/字寻址	277
3.6.6	链接命令文件	277
3.6.7	目标库	279
3.6.8	MEMORY 伪指令	280
3.6.9	SECTIONS 伪指令	283
3.6.10	指定段的装载时间(load-time)和运行时间(run-time)地址	292
3.6.11	使用 UNION 和 GROUP 语句	298
3.6.12	重叠页	302
3.6.13	默认分配算法	305
3.6.14	特殊段类型(DSECT、COPY 和 NOLOAD)	307
3.6.15	链接时为符号赋值	307
3.6.16	创建和填充空穴	310

3.6.17	部分(追加)链接	313
3.6.18	C/C++ 代码的链接	314
3.6.19	链接举例	316
3.7	归档器描述	319
3.7.1	归档器概述	319
3.7.2	归档器开发流程	320
3.7.3	调用归档器	321
3.7.4	归档器的例子	321
3.8	绝对列表器描述	322
3.8.1	产生绝对列表	322
3.8.2	调用绝对列表器	323
3.8.3	绝对列表举例	324
3.9	交叉引用列表器	328
3.9.1	产生一个交叉引用列表	328
3.9.2	调用交叉引用列表器	328
3.9.3	交叉引用列表举例	329
3.10	反汇编器描述	330
3.10.1	调用反汇编器	331
3.10.2	反汇编举例	331
3.11	命名工具描述	333
3.12	十六进制转换工具	334
3.12.1	十六进制转换工具开发流程	335
3.12.2	调用十六进制转换工具	336
3.12.3	命令文件	337
3.12.4	理解存储器宽度	339
3.12.5	ROMS 伪指令	343
3.12.6	SECTIONS 伪指令	347
3.12.7	输出文件名	349
3.12.8	映像模式和-fill 选项	350
3.12.9	为片内引导装载器建表	351
3.12.10	控制 ROM 器件地址	355
3.12.11	目标格式的描述	357
3.12.12	十六进制转换工具错误消息	361
第 4 章	C55x C/C++ 语言与编译工具	363
4.1	引言	363
4.1.1	软件开发工具概述	363
4.1.2	C/C++ 编译器概述	365
4.1.3	编译器和 CCS	366

4.2 使用 C/C++ 编译器	366
4.2.1 关于编译器	367
4.2.2 调用 C/C++ 编译器	368
4.2.3 通过选项改变编译器的行为	368
4.2.4 使用环境变量	380
4.2.5 控制预处理器	381
4.2.6 理解诊断信息	383
4.2.7 生成交叉引用列表信息(-px 选项)	386
4.2.8 生成一个原始列表文件(-pl 选项)	387
4.2.9 使用内嵌函数扩展	388
4.2.10 使用内部列表	391
4.3 优化用户的代码	393
4.3.1 使用优化器	393
4.3.2 执行文件级优化(-O3 选项)	394
4.3.3 执行程序级优化(-pm 和-O3 选项)	395
4.3.4 小心使用优化后的代码中的 asm 语句	397
4.3.5 在优化后的代码中访问混叠变量	397
4.3.6 自动内嵌扩展(-oi 选项)	398
4.3.7 通过优化器使用内部列表	398
4.3.8 调试优化后的代码	399
4.3.9 将执行何种优化	400
4.4 链接 C/C++ 代码	405
4.4.1 调用链接器(-z 选项)	405
4.4.2 禁止链接器(-c 选项)	406
4.4.3 链接选项	407
4.4.4 控制链接处理	408
4.5 TMS320C55x C/C++ 语言	412
4.5.1 TMS320C55x C 的特性	412
4.5.2 TMS320C55x C++ 的特征	413
4.5.3 数据类型	414
4.5.4 关键字	415
4.5.5 寄存器变量和参数	419
4.5.6 asm 语句	420
4.5.7 pragma 伪指令	421
4.5.8 产生链接名	430
4.5.9 初始化静态和全局变量	431
4.5.10 改变 ISO C 语言模式(-pk、-pr 或-ps 选项)	432
4.5.11 编译器限制	434

4.6	运行时间环境	434
4.6.1	存储器	434
4.6.2	字符串常量	439
4.6.3	寄存器规约	439
4.6.4	函数结构和调用规约	442
4.6.5	连接 C/C++ 语言和汇编语言	445
4.6.6	中断处理	457
4.6.7	在 P2 保留模式下的数据扩展寻址	458
4.6.8	扩展存储器中的 .const 段	460
4.6.9	系统初始化	462
4.7	运行时间支持函数	466
4.7.1	库	466
4.7.2	C 的 I/O 函数	467
4.7.3	头文件	474
4.7.4	运行时间支持函数和宏的总结	480
4.7.5	运行时间支持函数和宏的描述	487
4.8	建库工具	526
4.8.1	调用建库工具	526
4.8.2	建库工具选项	527
4.8.3	选项总结	527
4.9	C++ 名称恢复器	529
4.9.1	调用 C++ 名称恢复器	529
4.9.2	C++ 名称恢复器选项	530
4.9.3	C++ 名称恢复器使用举例	530
第 5 章	C 代码及汇编代码优化	532
5.1	C 代码优化	532
5.1.1	编写 C55x DSP 的 C/C++ 代码介绍	532
5.1.2	编译 C/C++ 代码	535
5.1.3	剖析代码	539
5.1.4	精炼 C/C++ 代码	539
5.1.5	内存管理问题	556
5.2	汇编代码优化	560
5.2.1	有效使用双 MAC 硬件	560
5.2.2	使用并行执行特性	568
5.2.3	实现高效循环	584
5.2.4	最小化流水线和 IBQ 延迟	588

第 1 章 C55x 编程基本指南

1.1 引言

本节列出了 TMS320C55x 系列 DSP 结构的一些重要特征,给出了创建高效运行代码的推荐方法。

1.1.1 TMS320C55x 结构

TMS320C55x 是一款定点数字信号处理器(DSP),DSP 的主要部分是中央处理单元(CPU),它具有下列特征:

- ❑ 统一的程序/数据存储器映射,映射包括可由 24 位地址访问的 16M 字节的程序空间和可由 23 位地址访问的 8M 字的数据空间。
- ❑ 64K 字的用于和外围设备通信的 I/O 空间。
- ❑ 支持 16 位和 32 位出栈、压栈操作的软件堆栈。用户可以用它来做数据存储和取回。CPU 用这些堆栈来进行自动的现场保护(响应调用或中断)和恢复(返回调用或被中断的代码序列)。
- ❑ 多套数据和地址总线支持高度的并行性。1 条 32 位的数据总线和 1 条 24 位的地址总线支持取指。3 条 16 位的数据总线和 3 条 24 位的地址总线用于向 CPU 传输数据,2 条 16 位的数据总线和 2 条 24 位的地址总线用于从 CPU 传输数据。
- ❑ 1 个指令缓冲器和 1 个独立的取出机制。因此,取指独立于其他的 CPU 动作。
- ❑ 具有如下的计算块:1 个 40 位的算术逻辑单元(ALU)、1 个 16 位的 ALU、1 个 40 位的移位器、2 个乘法累加器(MAC)。在一个周期内,每个 MAC 可执行一次 17 位乘 17 位的乘法运算(分数或是整数)和一次带有可选的 32/40 位饱和度的 40 位加法或减法运算。
- ❑ 一条受保护的指令流水线。流水线保护机制在必要的时候插入等待周期以防止读写操作脱离预期顺序。
- ❑ 数据地址产生单元支持线性寻址、循环寻址和位反转寻址。
- ❑ 中断控制逻辑可以停用(或屏蔽)某些可屏蔽的中断。
- ❑ TMS320C54x 兼容模式支持原来为 TMS320C54x™ DSP 编写的代码。

1.1.2 获得最佳性能的代码开发流程

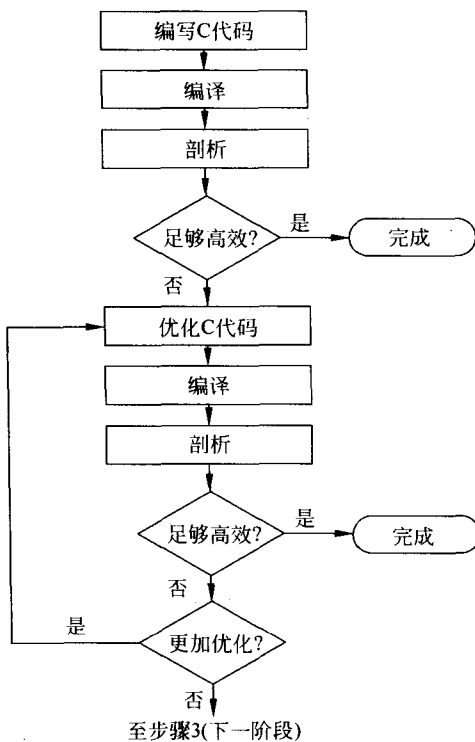
图 1-1 所示的流程图说明了如何让用户的代码获得最佳的性能和最高的代码生成效率,接着介绍了流程的各个阶段。

步骤1:
编写C代码

步骤2:
优化C代码

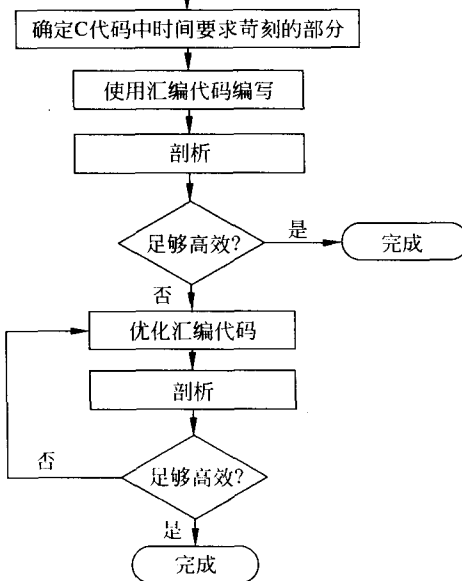
步骤3:
编写汇编代码

步骤4:
优化汇编代码



(a)

步骤2



(b)

图 1-1 代码开发流程