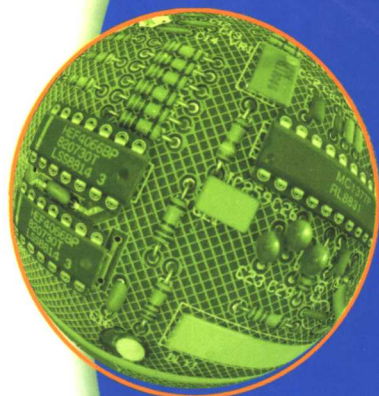


DSP C2000

程序员高手进阶

王潞钢 陈林康 曾岳南 许贤昶 编著



72



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



DSP C2000 程序员高手进阶

王潞钢 陈林康 曾岳南 许贤昶 编著



机械工业出版社

本书围绕 DSP C2000 程序设计而展开, 深入讨论了 CCS 命令、Q 格式、增强的 C 语法、可重入性问题、TI 规范、COFF 格式应用、特色汇编指令、C 语言和汇编混合编程、lint 检查工具和实时仿真等。最后两章给出了变频核心算法 SVPWM 和 FFT 应用范例。

本书文笔轻松, 讲解细致, 循序渐进, 重点突出, 适合 DSP 程序员、单片机程序员, 也可作为高等院校本科生和研究生的参考教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

DSP C2000 程序员高手进阶 / 王潞钢等编著. —北京: 机械工业出版社, 2004.10
ISBN 7-111-15269-7

I. D… II. 王… III. 数字信号—信号处理—程序设计 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 094684 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 吉 玲 (E-mail: jiling@mail.machineinfo.gov.cn)
张俊红 责任印制: 李 妍

成都新华印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·13.5 印张·331 千字

0001—4000 册

定价: 23.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

Http://www.machineinfo.gov.cn/book/

封面无防伪标均为盗版

前 言

概括而言，本书讲述 C24xx 系列 DSP 的 C 语言编程。

数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP)，顾名思义，原本是为高速数字信号处理而设计的专用微处理器。近年来 DSP 不断拓展其用途，进入传统单片机领域。

C2000 系列属于德州仪器公司 (TI) 主打的三大平台 DSP 之一，属定点 DSP，包括 C24xx、C28xx 两大系列。32 位的 C28xx 系列，速度最高可达 150MIPS，以高性能应用为主；C24xx 系列是 16 位的，速度最高可达 40MIPS。本书仅仅讨论 C24xx 系列。

C24xx 系列是专为工业控制、电机控制和数字信号处理等用途而设计的，可取代传统的 16 位单片机。

谁将从本书获益？

这个命题的等价形式是：本书的目标读者定位为哪些人？

本书读者定位为：想高起点地介入到 DSP，识别并避免程序员走过弯路的新手；已经入门，想进一步提升自己成为高手的老手。

C24xx 系列与早期 C20x 系列的核相同，因此绝大部分内容也适用于 C20x 用户。

本书的写作过程中参考了一些单片机书籍，考虑到本书主要讲述的是嵌入式 C 语言编程，而较少涉及硬件，相信对单片机设计人员也有很好的借鉴意义。

想通过本书入门的读者，可以通过阅读第 2 章轻松建立起一个工程实例。

本书在最后精心准备了两个例程：FFT 和 SVPWM，实用性是本书选择例子的出发点，相信对这方面有需求的人会有很大帮助。

本书有何特色呢？

如果你从书店拿起了本书，请不要放下，本书的特色也是你选择本书的理由如下：

1. C 语言是一门“诡异重重”的语言，即便 C 语言用了若干年的程序员，也仍会碰到一些困惑不已的问题。基本上而言，如 TI 公司手册中宣传的，DSP 的 C 语言是 ANSI 标准 C 的超集，换另一种说法，DSP 的 C 语言兼容标准 C。但不要满足“基本上而言”，程序员应该注重细节！DSP 用的 C 确实修改了标准 C 的一些特性，如没有明确初始化的静态变量就不

会自动初始化成 0 等。本书严格区分标准 C 和非标准 C，深入讲解 C 语言的实用特性，绕过 C 语言的“暗礁”细节，加强 C 语言的“肌肉”训练。

2. 软件界越来越多把软件看成工程，这从数量众多的软件工程书籍名称可看出。工程者，一半科学理论，一半实践艺术。编程不是纯书本的东西。市面上讲述软件工程的书籍几乎都用 C++、JAVA 之类面向对象语言叙述，而对大多数非 PC 编程的嵌入系统程序员，看懂这些书籍难度颇大。本书管中窥豹，对软件工程中具体的类、对象、结构化、模块化编程等几点，做了些深入探讨。凡问题域涉及到历史，笔者都花了一定心血来追根溯源，讲清来龙去脉。TI 公司在 DSP 软件编程上制定了一套软件算法规范，C24xx 系列为了程序更有效率而做了一些简化，本书称为 TI 公司规范的模块化编程。TI 公司文档中称：“简而言之，模块即是对象。”通过结构体和函数指针，用 C 语言可方便地实现对象封装的基本功能。一本书没有自己的观点，只能称为堆砌；一本书没有引述权威主流的观点，说服力会大打折扣。平衡此两者，本书将把庞大繁杂的面向对象、软件工程等，引入到小巧的 DSP 编程中。

3. C 语言编译器并不会检查变量的 Q 格式，但 Q 格式的重要性确实非同寻常。如果读者想要参考 TI 公司网站上提供的大量例程，请务必看明白 Q 格式一章，本章还单独辟出一节来更深入地讲解 Q15 格式。

4. 即使是顶尖级的程序员有时也会犯可重入性问题，本书深入讨论可供使用的可重入性技术（提供了 8 种技术），这比市面上泛泛而谈的书籍要深入许多。

5. 如果读者对自己的程序感觉不错，请尝试通过 lint 检查，不断滚动的警告会让自己明白差距所在。IT 界几乎所有的著名公司（如 SUN、惠普等）都设置有自己的 lint 检查，本书列出一章来讲述包括 lint 在内的实用工具。

6. 如果用户以前只是听说而没有用过实时仿真，请仔细阅读实时仿真一章。在不追加硬件投资的情况下，C24xx 可实时观测数据和波形。

7. SVPWM 是一个让初学者难掌握的变频核心算法。笔者花费近 30 页的篇幅探讨 SVPWM，并给出一个符合 TI 公司规范的软件程序。

8. 与其他公司的 DSP 做比较，是一件有挑战的事。技术人员写书常喜欢比较性能，而较少考虑价格。除了通常的性价比指标外，本书将大胆尝试引入市场推广力度和用户培训等要素。

本书不可能囊括所有，举凡 C 语言、软件工程等皆有取舍，取舍标准以实用为第一要义。为了体系的完整，本书也略述及硬件和汇编等，但即使是讲硬件和汇编，笔者也紧紧突出 DSP 特色来。

看本书前必须知晓的基础知识:

虽然本书花了一章的篇幅来讲述 C 语言,但本书着重点在 C 语言中编程常遇到的难点和容易引起 BUG 之处,本书显然不是一本入门的 C 语言书。

读者应有些 C 语言基础,知晓变量、数组、结构体、函数的定义,指针的简单用法等。考虑到 C 语言已成为工科专业的基础课,大部分工科毕业的读者应该具备此基础。

本书不需要读者预先掌握数字信号处理理论和电机控制理论。

致谢

能写出本书要感谢很多人,如果只是简单地罗列姓名会使笔者感到不安:

杨忠民,擅长硬件架构,常一起讨论问题、交换看法。

胡秀芳, Visual C++ 软件工程师,本书的 C++ 离不开与其探讨。

曲树笋,擅长 VHDL、变频。

于振宇, TI 公司网站的 SVPWM 文档和 3.3V 硬件电路设计文档皆由其撰写。笔者写作最后一章 SVPWM 时,咨询了他的意见。

侯晓丽,虽然不是很懂 DSP,但本书伴随她的鼓励一起成长。

感谢师弟刘铁湘,他提供了 CCS 2.2 和一些技术文档。

感谢王卫宏在软、硬件上给予的启示和指点。

感谢姜新宇在大功率硬件调试上做的表率。

人世间最能原谅自己的莫过于父母,感谢之情已溢于言表。

笔者下了很多功夫来努力写好本书,你会发现很多同类书中看不到的东西。

如果你觉得本书还不错,请不要吝啬你的掌声,成长的路上需要鼓励。

如果你发现本书的不足或者有所期待,欢迎批评指正——受人指教武艺高。

程序编完后,更多的时间是用来完善程序——驱除 BUG。写作一本书,自然也应如此,笔者新开辟了一个网页,将随时在网页上公布书中的错误,提供完善的后续服务。

网页: <http://www.wlgic.com>

E-mail: wlg@wlgic.com

西谚说:“人类一说话,上帝就发笑。”赘述了这么多,希望上帝是在微笑。

好了,开始这次激动人心的旅行吧,出发!

王路钢

(本书的程序可自由用于教学和个人学习目的,不得用于商业目的)

目 录

前言	
第 1 章 DSP 芯片概述	1
1.1 C24xx 系列	3
1.2 LF2407A 内核结构	4
1.3 LF2407A 外设	9
1.4 主流 DSP	11
1.5 小结	12
第 2 章 一个简单的工程实例	13
2.1 逐步建立一个工程文件	13
2.2 源代码列表及解释说明	17
第 3 章 集成开发环境 CCS	20
3.1 CC 菜单命令精解	20
3.2 CCS 2.2	29
第 4 章 Q 格式	33
4.1 16 位数的定标	34
4.2 定点运算	35
4.3 Q15 格式	36
4.4 小结	38
第 5 章 C 语言高级进阶	39
5.1 C 语言历史	39
5.2 C 语言特点和注意事项	40
5.3 C 语言要点	43
5.4 DSP 增强的 C 语法	64
第 6 章 可重入性	70
6.1 可重入性概念	70
6.2 保障可重入性的技术	71
第 7 章 面向对象和 TI 公司算法规范	78
7.1 C++ 和 EC++ 的历史	78
7.2 软件工程 ABC	79
7.3 C++ 的对象	80
7.4 比较函数实现和面向对象实现	88
7.5 用 C 语言实现对象	90
7.6 TI 公司算法规范概述	95
7.7 结构图等价于模块	98
第 8 章 C 语言生成的段和 CMD 文件	101

8.1	COFF 格式	101
8.2	C 语言生成的段	102
8.3	连接命令文件 (CMD 文件)	104
8.4	复杂的.const 段	108
第 9 章	从汇编看 DSP 特色	111
9.1	特色汇编指令	112
9.2	汇编伪指令	124
9.3	C 语言和汇编混合编程	126
第 10 章	实时仿真	130
10.1	实时仿真的概念及实现机制	130
10.2	软件设置和 CC 设置	131
10.3	典型应用中的一个技巧	137
10.4	小结	139
第 11 章	欲善其事, 先利其器	140
11.1	你的程序 lint-clean 了么?	140
11.1.1	PC-lint	141
11.1.2	一个小例子	143
11.1.3	lint 小结	145
11.2	Source Insight	145
11.3	MATLAB	148
11.4	智能源码统计专家	150
11.5	UltraEdit	152
11.6	小结	153
第 12 章	简单工程实例的扩展	154
12.1	恰当地设置目录	154
12.2	最早的初始化	156
12.3	程序列表	156
第 13 章	快速傅里叶变换 (FFT)	165
13.1	FFT 理论	165
13.2	FFT 模块	166
13.3	FFT 应用代码	169
第 14 章	SVPWM 理论及实现	174
14.1	SVPWM 原理	174
14.2	程序说明及源代码	183
14.3	波形观测	201
附 录		205
附录 A	一个 DSP 程序员应具备的素质	205
附录 B	变频器实用主流控制算法评述	205
参考文献		207

第 1 章 DSP 芯片概述

“DSP 的应用才刚刚开始，未来将遍及我们生活的各个角落”。——2004 年 4 月 23 日，TI 公司首席战略科学家 Gene A. Frantz 在北京的 TI 公司亚洲开发者大会上宣布。（《电子产品世界》）

DSP 有两个意思，既可以指数字信号处理这门理论，此时它是 Digital Signal Processing 的缩写；也可以是 Digital Signal Processor 的缩写，表示数字信号处理器，有时也缩写为 DSPs，以示与理论的区别。本书中 DSP 仅用来代表数字信号处理器。

DSP 属于嵌入式处理器。在介绍 DSP 之前，先扼要地介绍一下嵌入式处理器。简单地说，嵌入式处理器就是嵌入到应用对象系统中的专用处理器，相对于通用 CPU（如 x86 系列）而言，一般对价格、尺寸、功耗等方面限制比较多。

嵌入式处理器大体可分为以下几类：

1. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器可谓是通用计算机中 CPU 的微缩版。相对于通用 CPU，嵌入式微处理器具有体积小、功耗少、成本低的优点，当然在速度上也慢一些。嵌入式微处理器在软件配置上常常可以运行嵌入式操作系统，应用于比较高档的领域，典型的如 32 位的 ARM 核、64 位的 MIPS。

2. 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器的最大特点是单片化，常称为单片机。顾名思义，单片机就是将众多的外围设备（简称外设，如 A/D、I/O 等）集成到一块芯片中，从而大幅度降低了成本。单片机非常适合控制领域，典型的如大名鼎鼎的 51 系列。

3. 专用微处理器

相对于上述比较通用的类型，专用微处理器是专门针对某一特定领域应用的微处理器，如昂贵的视频游戏机微处理器等。DSP 本质上也属于专用微处理器，它对系统结构和指令进行了优化设计，使其适合于执行数字信号处理算法（如 FFT、FIR 等）。DSP 运行速度非常快，在数字信号处理的方方面面大显身手。由于越来越广泛的领域需要高速数字信号处理，DSP 也有越来越通用化的倾向，常常可以把 DSP 单独列成一类。

自 1982 年推出第一款 DSP 后，德州仪器公司（Texas Instrument，简称 TI）不断推陈出新，完善开发环境，以其雄厚的实力在业界得到 50% 左右的市场份额。TI 公司的 DSP 经过完善的测试出厂时，都以 TMS320 为前缀。在众多款型 DSP 中，TI 公司把市场销量好和前景看好的 DSP 归为三大系列而大力推广，TI 公司也称之为三个平台（Platform）。

1. C6000

TMS320C6000 平台, 包含定点 C62x 和 C64x 以及浮点 C67x, 其追求的是至高性能, 最近新推出的芯片速度高达 1GHz, 适合宽带网络、图像、影像、雷达等处理应用。

2. C5000

TMS320C5000 平台, 包含代码兼容的定点 C54x 和 C55x, 其提供性能、外围设备、小型封装和电源效率的优化组合, 适合便携式上网、语音处理及对功耗有严格要求的地方。

DSP 的设计往往是采取主从式结构: 在一块电路板上, DSP 作为从机, 负责数字信号处理运算; 外加一块嵌入式微处理器作为主机, 完成输入、控制、显示等其他功能。为此, TI 公司专门推出了一款双核处理器 OMAP, 包含一个 ARM 和一个 C5000 系列 DSP, OMAP 处理器把主从式设计在芯片级上合二为一, 一个典型的应用实例为诺基亚手机。

3. C2000

TMS320C2000 平台, 包含 16 位 C24xx 和 32 位 C28xx 的定点 DSP。C24xx 系列市场销量很好; 而对 C28xx 系列, TI 公司认为很有市场潜力而大力推广。C2000 针对控制领域做了优化配置, 集成了众多的外设, 适合逆变器、电动机、机器人、数控机床、电力等应用领域。

由于 C2000 定位在控制领域, 它包含了大量片内外设, 如 I/O、SCI、SPI、CAN、A/D 等等。这样 C2000 既能作为快速微控制器(单片机)来控制对象, 也能作为 DSP 来完成高速数字信号处理, DSP 的高性能与通用微控制器的方便性紧密结合在一起, 所以 C2000 也常被称为 DSP 控制器。这里 C2000 采用与 OMAP 不同的途径简化了主从式设计。

在工业控制和家电领域中, 一个比较大的市场是变频器和不间断电源(UPS), 二者在电路结构上基本一致, 都是整流+滤波+桥式逆变结构, 控制上都是采用脉冲宽度调制(PWM)控制。C2000 为此专门设计了能产生 PWM 的事件管理器(EV), 用户可以方便地用来生成 PWM、调节死区等。一个典型的应用实例为 AB 公司变频器。

4. 其他的 TMS320 DSPs

在 TI 公司网站上, TI 公司把主推平台以外的其他 DSP, 如 C1x、C2x、C5x、C2xx、C3x、C4x 等全放在此, 其中包含市场上仍常见的浮点 C33、定点 F206 等。由于 C3x 在市场上卖得不错, 有段时间 TI 公司曾单独把 C3x 列成一个平台。

一般而言, 由于目标市场定位的不同, 大多数人都是专注于某一系列芯片和某一领域, 鲜有全部都精通的。

从硬件结构来说, 上述 C5000 和 C2000 中的 C24xx 系列都属于 16 位定点处理器, 指令体系较相近。而 C6000 的结构则跨度非常大, 采用超长指令字体系(VLIW)、CACHE 存储

器等，追求的是至高性能。C2000 中的 C28xx 系列属于 32 位定点处理器，是 C24xx 系列在高性能上的进一步扩展。

从软件开发来说，所有的系列都统一在开发集成环境 CCS 上进行开发。稍有区别的是：C5000 和 C6000 和 C28xx 系列都配有实时操作系统（RTOS）内核和 C/C++ 编译器；C24xx 系列则仅有 C 编译器。

1.1 C24xx 系列

在推出 C1x、C2x 和 C5x 后，TI 公司早期推出的 16 位定点 C2xx 系列，获得了巨大的成功，至今 F206（32K 字的 FLASH，运算速度高达 40MIPS）仍广泛应用在电力等行业。

在 C2xx 内核基础上，通过添加外设，1996 年 TI 公司推出了第一款带有 FLASH 的 DSP——F240。F240 在控制领域影响深远，至今仍有很多用户使用。

在 F240 基础上形成了 C/F24x 系列，其性能高达 20MIPS。很快，TI 公司又推出了性能高达 30MIPS 的 LF/LC240x 系列，紧接着是增强型 LF/LC240xA 系列，其性能高达 40MIPS。C/F24x 和 LF/LC240xA 这两个子系列合称为 C24xx 系列，其硬件内核与汇编指令跟 C2xx 完全相同。

在 C24xx 系列基础上，TI 公司又推出了 C28xx 系列。C28xx 系列包括 C/F2810、C/F2811、C/F2812、F2801、F2806、F2808 等，其中多款都是近一年内才推出的。

C28xx 系列的主要特色如下：

- 1) 峰值速度高达 150MIPS。
- 2) 具有 4K 字的 RAM 和最高达 128K 字的 FLASH。
- 3) 采用双电压设计，外设电压 3.3V，内核电压 1.8V。
- 4) 12 位 A/D，采样速度高达惊人的 80ns。

5) 软件上支持 C++ 和实时操作系统内核（RTOS），其数学库也起了个时髦的名字：智能 Q 格式数学库。

在 LF/LC240xA 子系列中，LF2407A 可作为超集来看待，包括了最多的外设和存储器等。C/F24x 子系列中，F240 可作为超集来看待。

TI 公司的一些文献把 F240 归为第一代，F243/C242/F241 等归为第二代，两者主要的区别是 F243 多了 CAN 控制器，且 A/D 的采样速度更快。但考虑到 F243 等 FLASH 没有超过 8K 字的，所以并没有做到完全替代 F240，且二者区别不是非常大，本书也就不那么细分了。

笔者熟悉 C24xx 系列中的 F243、F240 和 LF2407A，在具体讲述芯片时，本章将以 LF2407A

为主来介绍，兼带对比 F240。

C24xx 系列芯片列表如表 1-1 所示。

表 1-1 C24xx 系列芯片列表

器 件	MIPS	RAM /字	FLASH 或 ROM/字	电压 /V	定时 器	SPI	PWM	CAN	A/D 通道/ 转换时间/ μ s	每千片价格 /美元
LF2407A	40	2.5K	32K	3.3	4	Y	16	Y	16/0.5	9.39
LF2406A	40	2.5K	32K	3.3	4	Y	16	Y	16/0.5	8.86
LF2403A	40	1K	16K	3.3	2	Y	8	Y	8/0.5	8.73
LF2402A	40	1K	8K	3.3	2	-	8	-	8/0.5	7.88
LF2401A	40	1K	8K	3.3	2	-	7	-	5/0.5	3.49
LC2406A	40	2.5K	32K	3.3	4	Y	16	Y	16/0.375	5.47
LC2403A	40	1.5K	16K	3.3	4	Y	16	-	16/0.375	4.90
LC2402A	40	544	6K	3.3	2	-	8	-	8/0.425	2.95
LC2401A	40	1K	8K	3.3	2	-	7	-	5/0.5	2.95
F243	20	544	8K	5	2	Y	8	Y	8/0.9	13.99
F241	20	544	8K	5	2	Y	8	-	8/0.9	12.37
C242	20	544	4K	5	2	-	8	-	8/0.9	3.69
F240	20	544	16K	5	3	Y	12	-	16/6.1	16.21

注意表 1-1 中：

1) 每一款 DSP 都有一个 SCI 和看门狗，由于空间有限，表中没有列出。LF 系列还都有一个 256 字的引导 ROM (Boot ROM) 用于从外部 8 位存储器启动，这也是继承自 C2xx DSP 的用法。

2) 价格是每千片的批发价。F 和 LF 型号数据来自 TI 公司网站 (2004 年 3 月 16 日)。LC 和 C 型的价格由于 TI 公司网站上没有标出，来自 2003 年 TI 公司选型手册。读者应咨询供应商以最新价格为准。

3) MIPS，每秒百万条指令 (Million Instruction Per Second) 的缩写，是定点处理器表征速度的一个常用指标。

- 4) L: 取 Low 的第一个字母，低功耗的意思；
- F: 取 FLASH 的第一个字母，表示该器件有 FLASH 程序存储器；
- C: 代表 CMOS 工艺的 ROM，表示该器件只有 ROM 程序存储器。

1.2 LF2407A 内核结构

LF2407A 控制器的主要组成如下：

- 1. 中央处理单元
- 1) 32 位中央算术逻辑单元 (CALU)。

- 2) 32 位累加器。
- 3) 16 位×16 位乘法器。
- 4) 3 个比例移位器。
- 5) 间接寻址用的 8 个 16 位辅助寄存器和辅助算术单元 (ARAU)。
- 6) 4 级流水线操作。
- 7) 8 级硬件堆栈。
- 8) 6 个可屏蔽硬件中断。

2. 存储器

- 1) 544 字的片内 DARAM 和 2K 字的片内 SARAM。
- 2) 32K 字片内 FLASH 程序存储器。
- 3) 可用空间: 程序存储空间 64K 字, 数据存储空间 35.5K 字, I/O 空间 64K 字。

3. 指令集

- 1) 源代码与定点 TMS320C2X、C2XX、C5X 兼容。
- 2) 单周期乘加指令。
- 3) 具有 FFT 倒位序变址寻址能力。
- 4) 单周期指令执行时间为 25ns (40MIPS)。

4. 电源

- 1) 3.3V 静态 CMOS 工艺。
- 2) 3 种低功耗模式, 且可以灵活开启和关闭具体外设的时钟。

下面具体讲解 LF2407A 的一些硬件特点。

1. 中断

LF2407A 是两级中断结构: C2xx 内核中断——当中断发生时, 程序自动跳转到内核中断矢量指定的地址处; 外设中断——寄存器 PIV 存放外设中断矢量, 通过比较判断可知道内核中断具体是由哪个外设产生。

完整的中断示意图如图 1-1 所示。

LF2407A 硬件内核共有 1 个不可屏蔽中断 (NMI)、1 个复位中断和 6 个可屏蔽中断 (INT1~INT6)。这里取由 9 个外设中断构成的内核中断 INT1 为例来介绍, 如表 1-2 所示, 这些中断都是可屏蔽的。

就半导体 IC 设计而言, 采用分级中断使得 DSP 比较容易扩展, 且能保持内核的兼容性。假设要添加一个数/模 (D/A) 转换器时, 只需在外设总线上外挂一个 D/A 模块, 在二级中断寄存器 PIV 中, 给其分配一个中断矢量即可, 对内核的改动降低到最小。有人把这种硬件 IC 设计形象地叫做搭积木。

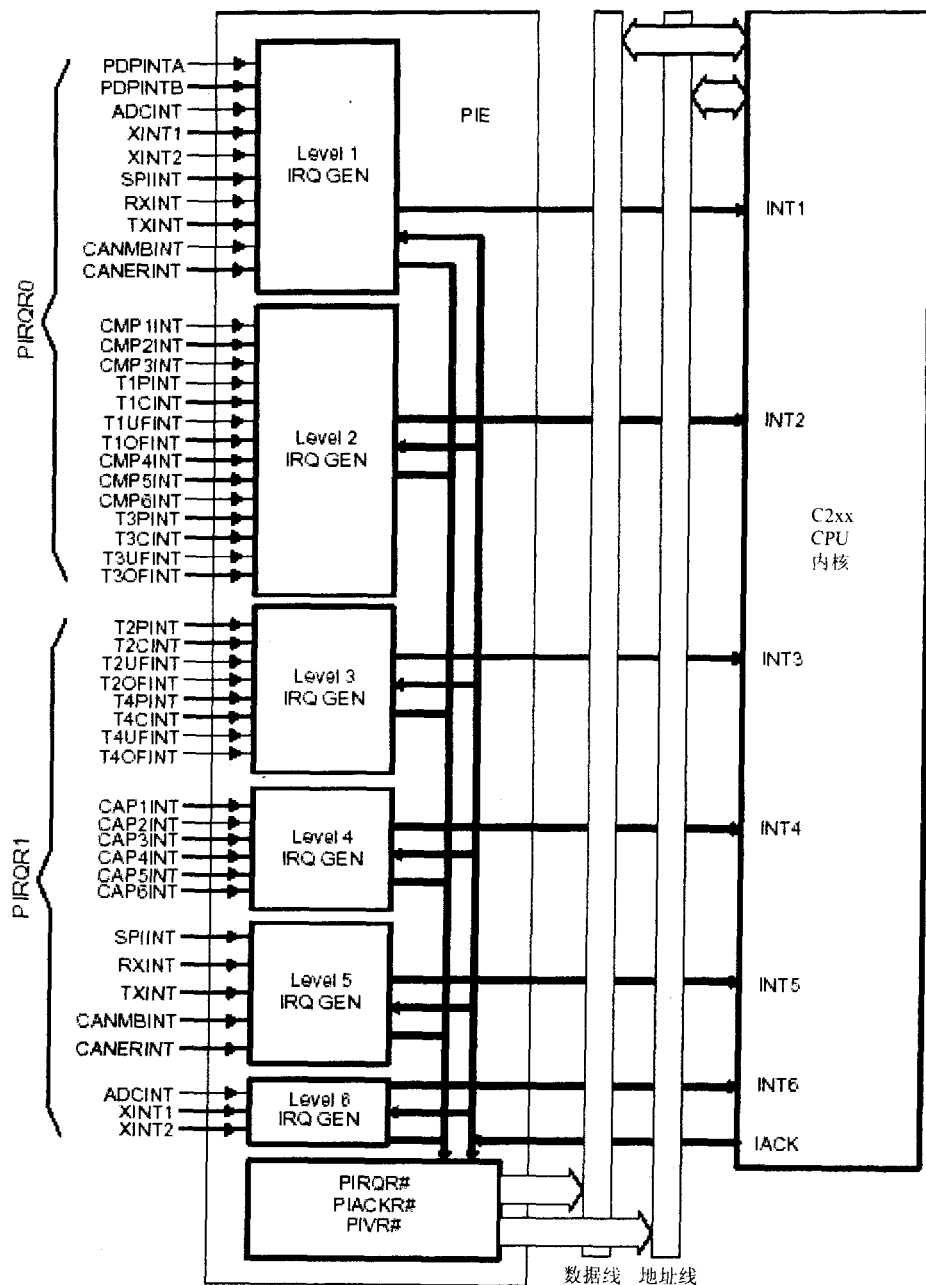


图 1-1 两级中断结构图

狭义的中断仅指硬件中断，DSP 还有软件中断，中断矢量表的地址为 0x0000~0x003F。地址 0x0040~0x0043 在 LF240xA 中存放加密密码，用 CMD 文件给程序段分配空间时，一定不要包括这 4 个字的空间。

表 1-2 INT1 中断

优先级	中断名称	内核中断矢量	外设中断矢量 (PIV)	外设中断源	描 述
4	PDPINTA	INT1 0002h	0020h	EVA	功率驱动保护
5	PDPINTB		0019h	EVB	引脚中断
6	ADCINT		00004h	ADC	高优先级模式的 ADC 中断
7	XINT1		0001h	外部中断	高优先级模式的 外部中断
8	XINT2		0011h	外部中断	
9	SPIINT		0005h	SPI	高优先级模式的 SPI 中断
10	RXINT		0006h	SCI	高优先级模式的 SCI 接收中断
11	TXINT		0007h	SCI	高优先级模式的 SCI 发送中断
12	CANMBINT		0040h	CAN	高优先级模式的 CAN 邮箱中断

2. 时钟

通过对晶振倍频后, LF2407A 的内部时钟是 CPU 时钟 (cpuclock), 最高可达 40MHz。但显然, 很多外设速度比较慢, 并不能承受这么快的时钟。

通过对 CPU 时钟分频, LF2407A 所有外设都可单独设置外设时钟。这点与 F240 有很大的不同, F240 还有一个单独的系统时钟 (sysclock), 大部分外设 (除 EV 外) 是对系统时钟进行分频。LF2407A 废弃了系统时钟, 简化了系统。

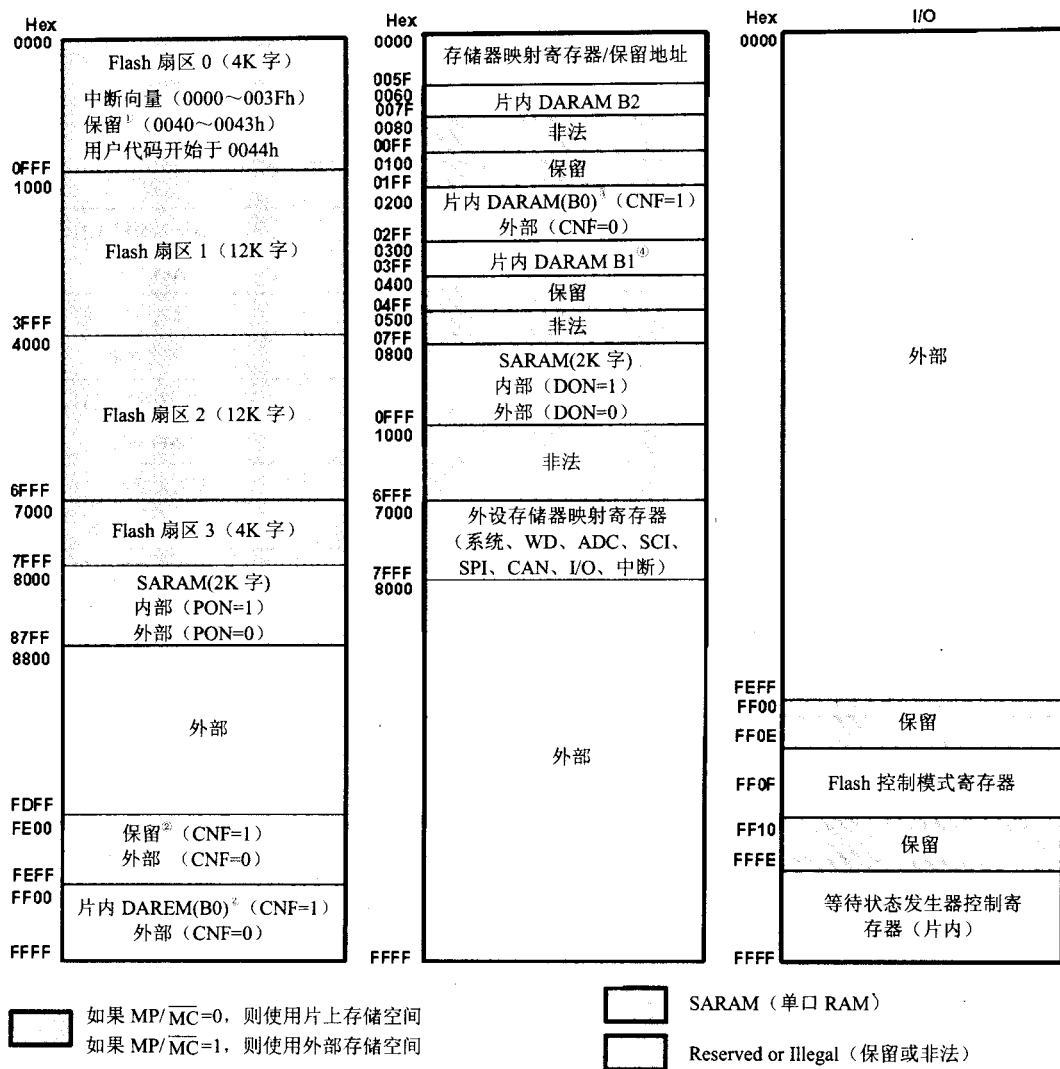
3. 存储器空间

LF2407A 包含三个独立的存储器空间, 如图 1-2 所示。

当把引脚 mp/mc 置为高电平时, 进入微处理器 (MicroProcessor) 模式, 寻址外部程序存储器。在程序调试阶段, 常常译码一个外部 RAM 到程序存储器, 通过 CCS 中的 File→load Program 命令, 下载编译好的程序到外部 RAM 中运行。

当把引脚 mp/mc 置为低电平时, 进入微控制器 (MicroController) 模式, 寻址内部 FLASH 程序存储器, 等最终调试完毕, 再烧写到内部 FLASH。

LF2407A 还可以通过 GEL 语言来设置寄存器 SCSR2 的 mp/mc 位, 从而决定程序存储器映射于内部还是外部空间。



注：1. 如果引导 ROM 有效，则程序存储器空间的 0000h~00FFh 将被引导 ROM 占用。

2. 程序存储器空间的 0040h~0043h 为保留空间。(①)

3. 当 CNF=1 时，地址 FE00h~FEFFh 和 FF00h~FFFFh 被映射到程序存储器空间的相同物理区 (B0)。例如，向 FE00h 与向 FF00h 写数具有同样的效果。为简单起见，当 CNF=1 时，将地址 FE00h~FEFFh 作为保留区间。(②)

4. 当 CNF=0 时，地址 0100h~01FFh 和 0200h~02FFh 被映射到数据存储器空间的相同物理区 (B0)。例如，向 0100h 与向 0200h 写数具有同样的效果。为简单起见，将地址段 0100h~01FFh 作为保留区间。(③)

5. 地址 0300h~03FFh 和 0400h~04FFh 被映射到数据存储器空间的相同物理区 (B1)。如向 0300h 与向 0400h 写数具有同样的效果。为简单起见，在 CNF=1 时，将地址 0400h~04FFh 看作保留区间。(④)

图 1-2 三个独立的存储器空间

虽然理论上数据存储空间为 64K 字，但实际用户可用空间为内部 544 字的 DARAM+2K 字的 SARAM+32K 字的外部空间。剩余的存储空间，除一小部分分配给了寄存器单元外，其

余大部分为非法地址 [(LF2407A 中, 访问非法地址会产生不可屏蔽中断 (NMI))].

数据存储空间采用分页机制, 如图 1-3 所示。整个空间分成 512 页, 通过寄存器的 9 位指针 (DP) 来指定。分页机制有助于缩短汇编指令长短 (只需包含偏移地址即可), 提高访问速度 (页内访问时, 可以灵活指定偏移地址)。

DP 值	偏移量	数据存储空间
0000 0000 0	000 0000	Page 0 : 0000h~007Fh
⋮	⋮	
0000 0000 0	111 1111	Page 1 : 0080h~00FFh
0000 0000 1	000 0000	
⋮	⋮	Page 2 : 0100h~017Fh
0000 0000 1	111 1111	
0000 0001 0	000 0000	⋮
⋮	⋮	
0000 0001 0	111 1111	Page 511 : FF80h~FFFFh
⋮	⋮	
1111 1111 1	000 0000	⋮
⋮	⋮	
1111 1111 1	111 1111	⋮
⋮	⋮	

图 1-3 采用分页机制的数据存储空间

F240 还有 32K 字全局存储空间, 而在 LF2407A 中不复存在。

1.3 LF2407A 外设

LF2407A 外设示意图如图 1-4 所示。

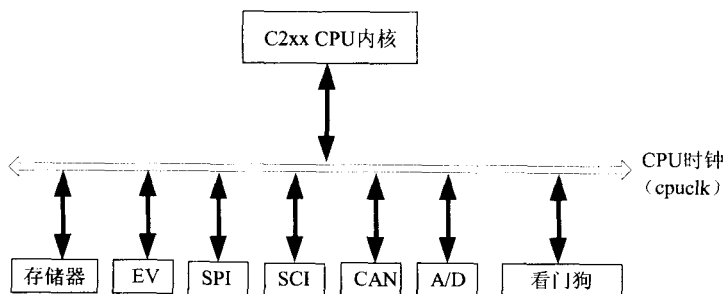


图 1-4 LF2407A 外设示意图

这里仅对外设做提纲挈领式的描述, 详细资料请用户查看 TI 公司手册^[2]:

1. SCI, 串行通信接口 (Serial Communications Interface)

经过电平转换后, SCI 可用作 RS-232 通信。

2. SPI, 串行外围接口 (Serial Peripheral Interface)

SPI 带有同步时钟, 可用来连接一些带有 SPI 器件, 如串行 E²PROM 等, 也可用作器件间高速串行通信。