



ColdFire微处理器 与微控制器

ColdFire Microprocessors and Microcontrollers

[美] Munir Bannoura
Rudan Bettelheim 著
Richard Soja

李晶皎
王爱侠 等译
高晓兴



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

ColdFire 微处理器 与微控制器

ColdFire Microprocessors
and Microcontrollers

Munir Bannoura

[美] Rudan Bettelheim 著

Richard Soja

李晶皎 王爱侠 高晓兴 等译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

ColdFire 是飞思卡尔公司在 M68000 基础上开发的 32 位微处理器与微控制器系列芯片。ColdFire 内核是变长的 RISC 架构, 内有数据和指令 Cache、EMAC 等; 片内集成了各种模块, 如异常和中断控制器、密码加速单元 (ACU)、快速以太网控制器、SDRAM 控制器、DMA 控制器、FlexBus、UART、QSPI、I²C、USB、FlexCAN、eTPU、ADC 等。ColdFire 既支持 BDM 调试, 也支持 JTAG 调试。本书全面介绍了 ColdFire 产品的各种功能和使用方法, 可帮助读者快速应用这些产品。ColdFire 可广泛应用于网络、信息家电、手持电子产品等。

本书可作为电子、自动化、计算机、机械等专业研究生和高年级本科生用书, 也可供相关工程技术人员参考。

ColdFire Microprocessors and Microcontrollers Munir Bannoura, Rudan Bettelheim, Richard Soja

Original English language edition copyright © 2006 by AMT publishing.

The Chinese Translation Edition copyright © 2008 by Publishing House of Electronics Industry

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission in writing from the Proprietor.

本书简体中文版由电子工业出版社出版。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2008-3781

图书在版编目 (CIP) 数据

ColdFire 微处理器与微控制器 / (美) 曼努贝 (Bannoura, M.), (美) 白瑞达 (Bettelheim, R.), (美) 石睿溯 (Soja, L.) 著; 李晶皎等译. - 北京: 电子工业出版社, 2008.10

书名原文: ColdFire Microprocessors and Microcontrollers

ISBN 978-7-121-07380-9

I. C… II. ①曼… ②白… ③石… ④李… III. ①微处理器, ColdFire ②微控制器 IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 140269 号

策划编辑: 谭海平

责任编辑: 秦淑灵

印刷: 北京智力达印刷有限公司

装订: 北京中新伟业印刷有限公司

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 × 980 1/16 印张: 22.25 字数: 458 千字

印 次: 2008 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题, 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 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

译 者 序

ColdFire 是 Freescale 公司在 M68000 基础上开发的 32 位微处理器与微控制器系列芯片。目前已经推出的 ColdFire 系列芯片内核有 V2、V3、V4 版, ColdFire 内核是变长的 RISC 架构, 内有数据和指令 Cache、EMAC 等; 片内集成了各种模块, 如异常和中断控制器、密码加速单元(ACU)、快速以太网控制器、SDRAM 控制器、DMA 控制器、FlexBus、UART、QSPI、I2C、USB、FlexCAN、eTPU、ADC 等。ColdFire 既支持 BDM 调试, 也支持 JTAG 调试。到目前为止, ColdFire 系列芯片已有近百种, 不同型号的芯片具有不同的外围接口、不同大小的片内存储器, 或者不同的内核版本等。工程技术人员可以根据嵌入式系统的应用需求, 选择适合的 ColdFire 产品。

本书的 3 位作者是 Freescale 公司的培训专家和资深产品开发工程师, 他们出版此书的目的是帮助读者很好地理解 ColdFire 体系结构。

全书共计 18 章, 另有 1 个附录。

第 1 章介绍 ColdFire 体系结构。

第 2 章介绍 ColdFire 内核, 它包括执行单元、指令与操作执行流水线。

第 3 章介绍异常和中断控制器。

第 4 章介绍密码加速单元。

第 5 章介绍系统集成和内部存储器。

第 6 章介绍 FlexBus。

第 7 章和第 8 章介绍 SDRAM 控制器、DMA 控制器。

第 9 章至第 11 章介绍 UART、QSPI 和 I²C。

第 12 章介绍快速以太网控制器和物理收发器。

第 13 章介绍通用串行总线(USB)。

第 14 章介绍 FlexCAN 模块。

第 15 章和第 16 章介绍定时器系统、增强型时序处理单元(eTPU)。

第 17 章介绍模数转换器。

第 18 章介绍工具和软件。

附录 A 介绍 ColdFire V2 和 V3 微控制器, 以及它们的一些 I/O 模块。

为适用于电子、自动化、计算机、机械等不同专业研究生、高年级本科生，以及工程技术人员，本书不但介绍了基本原理，还给出了应用举例。

负责本书初译工作的人员有东北大学信息学院的李景宏、闫爱云、马学文、李海朋、曹科研、王光勇，以及沈阳师范大学的吴鹏。

负责本书译校工作的人员有东北大学的李晶皎、王爱侠、高晓兴。

在本书翻译过程中，我们力求忠实、准确地把握原著，同时保留原著的风格。但由于译者水平有限，书中难免有错误和不准确之处，恳请广大读者批评斧正。

联系方式：freescale_neu@mail.neu.edu.cn。

译者

2008年6月于东北大学

作者简介

Munir Bannoura 于 1974 年毕业, 并获得理学学士学位, 之后就职于 Burroughs 公司, 成为一名产品工程师, 在密歇根州和英国苏格兰两地工作。1978 年, 他在阿尔及利亚国家电子和电气学院任电子工程教授。1984 年, 他在 Motorola 技术培训部工作, 负责客户培训与课程开发。在 Freescale 半导体事业部工作时, 他主要负责先进微处理器和微控制器产品的全球培训。Munir 出版的第 1 本书是与 Amy Dyson 合作的 *TPU Microcoding for Beginners*, 介绍时序处理单元微代码编程; 之后与 Richard Soja 合作出版了第 2 本书 *MPC5554/MPC5553 Revealed*; 又与 Margaret Frances 合作出版了第 3 本书 *eTPU Programming Made Easy*。现在, Munir 和妻子 Sharlene 生活在密歇根州 Farmington Hills。

Richard Soja 在苏格兰出生并接受教育。1974 年他毕业于 Aberdeen 大学并获得工学学士学位。完全出于巧合, 他的第一份工作就是在 Munir 工作过的位于苏格兰的 Burroughs 公司, 但在以后的大约 10 年中, 他们的工作历程并没有交叉的地方。1984 年, 在 Hughes 微电子有限公司工作了 5 年以后, Richard 到了位于 East Kilbride 的 Motorola 公司工作, 主要为欧洲汽车电子和工业用户提供微控制器应用工程支持。他和妻子 Linda 以及 3 个孩子 Andrew、Valerie 和 Lucy 在得克萨斯州 Austin 生活了 13 年。现在他在 Freescale 半导体公司工作; 从事新微控制器产品的系统定义和体系开发, 为 MPC5500 系列的体系设计做出了重要贡献。他在美国和欧洲都受到了广泛关注, 并获得了关于微控制器产品设计的 4 项专利。

Rudan Bettelheim 出生于捷克斯洛伐克 (现为捷克共和国) 的布拉格。Rudan 毕业于 1979 年, 并获得中央伦敦工学院 (现为 Westminster 大学) 的电子电气工程师学士学位, 然后作为一名系统工程师在位于苏格兰 East Kilbride 的 Motorola 半导体事业部工作, 为用户开发了许多微控制器应用系统。在 Motorola 微控制器事业部, Rudan 在 1984 年被派到德国的慕尼黑, 1990 年被派到得克萨斯州 Austin。在这几年里, Rudan 一直在不断变换自己的角色, 从设计 MPC500 系列到应用工程师、系统工程师、市场销售, 再到工具产品管理。在写这本书的时候, Rudan 正在从事用户系统工程和 Freescale 微控制器的工业应用方面的工作。Rudan 已经获得关于微控制器设计的 5 项专利。

致 谢

作者在此感谢 Freescale 半导体公司，感谢 Freescale 允许本书使用一些 Freescale 文档中的数据、表格和其他资料。特别感谢 Jeff Bock 对本书的长期支持。我们还要感谢 John Bodner 和 Joe Circello 的支持，感谢他们多次回答我们的问题。我们也要感谢 Melissa Hunter 和 Michael Norman 所提供的帮助和支持。感谢 Matt Peters 让我们使用了早期版本的例程软件，感谢 Pam Gereau 在短时间内无偿校验了本书。最后要感谢 Freescale 半导体公司的管理者和工程师们，他们为本书所介绍的产品付出了辛勤的汗水。如果遗漏了某些人，敬请谅解。

最后感谢 ASH WARE 有限公司的 Andy Klumpp。

作者注

在2003年夏末，Richard和Munir共同走访了欧洲的许多客户，向他们介绍MPC5500系列产品。他们的第一站是瑞典的斯德哥尔摩，第二站是意大利的都灵，最后一站是意大利的博洛尼亚，距都灵大概有500英里。经过主要工程师Turin、Richard和Munir的一致同意，他们驱车从都灵出发，途经Dolomites到达博洛尼亚。他们积极地投身于用户的培训事业，在路途中的大部分时间里，他们都在讨论着MPC5500系列微控制器。Munir建议Richard写一本书来帮助用户更好地理解这款先进的微控制器，Richard同意了。第二天早饭后，他们开始制定写作计划，决定用6个月的时间写完并出版这本书。在2004年4月，*MPC5554/MPC5553 Revealed*第一版问世了。

由于第一本书受到全球Freescall用户的好评，并得到Freescall管理者的支持，于是Munir、Richard和Rudan决定再写一本关于ColdFire的书。作者希望本书能够对理解流行的ColdFire体系结构提供一些帮助。

Munir Bannoura

Richard Soja

Rudan Bettelheim

献 辞

献给我的家人和我第一个可爱的孙子——Christian和他的父母，Christopher和Marisol。同时也献给所有我最爱的人们。

——Munir

献给我的女儿 Joanna，我认为你才是这个家里的作者，而不是我。

——Rudan

将我的感谢和爱献给我的妻子 Linda，是她支持我度过写书的漫漫长夜，也献给我的孩子们，感谢他们的尊敬和赞美。

——Richard

序 言

1978年，M68000系列微处理器问世了，并成为最流行的体系之一，它为汽车电子、消费和通信等市场应用提供了解决方案。由于普及程度高，Freescall半导体公司决定继续为客户提供M68000体系的产品，该系列产品将会有更优的性能和更强的功能。

M68000系列基于复杂指令集计算（Complex Instruction Set Computing, CISC）架构，该架构易于使用，但需要基于相同架构的更高性能的设备。解决方案是向消费者提供精简指令集计算（Reduced Instruction Set Computing, RISC）架构的M68000。为此，推出了ColdFire内核以满足现在更复杂的应用。

ColdFire系列在广大客户所熟悉的相同架构上集成了CISC与RISC的优点，但提供了比CISC更优的性能。

ColdFire内核使用了变长的RISC架构，与固定长度的RISC指令集相比较，系统设计师会发现通过使用变长指令集在系统级具有明显的优势，可以提供更高密度的代码，占用较少的存储空间。尽管许多ColdFire操作包含有效的16位操作码，但根据使用的指令寻址模式，指令长度仍可为1个、2个或3个16位字。

Freescall半导体公司为客户提供了大量的系列产品的衍生产品，这些产品集成了各种外设和不同大小的存储器，用户可以选择最适合其应用需求的器件。

由于内核周围集成了大量可裁剪的外设和存储器，ColdFire器件已经成为许多应用的理想解决方案。

这些器件非常适合低成本应用，这些应用需要高效的控制，如文件管理、连续性、数据缓冲和用户接口，以及各种市场的信号处理应用，如安全、图像、网络、游戏和医疗监控等。凭借这些高度集成的封装和高性能，ColdFire器件通过简单的代码重用和第三方工具支持便能快速占领市场。

本书中，我们主要讲述最常用和最流行的产品，让读者对ColdFire内核以及一系列集成外围器件有一个基本的、全面的了解。

本书结构如下。

第1章——ColdFire体系结构介绍。本章对最流行的片内的每个集成模块都做了简要介绍。

第2章——ColdFire内核介绍，包括执行单元、指令与操作执行流水线。本章内容涵盖了编程模式、寄存器操作、寻址模式、乘和增强型乘/累加的特殊指令，给出了简单的汇编程序例子。

第3章——异常和中断控制器。本章详细介绍了内核的异常和中断，讨论了每一个异常事件，解释了异常产生的原因，以及内核如何处理异常；介绍了所有中断源的中断控制器、中断级别分配、优先级服务，以及中断处理与嵌套。

第4章——密码加速单元。本章主要介绍了编程模式和密码加速单元 (CryptoAnalytic Unit, CAU) 的特殊编程技术。CAU 是一个协处理器，是专门为执行 ColdFire 协处理指令而设计的，可以加速 DES、3DES、MD5、SHA-1 和 AES 密码算法。这些算法主要满足 ColdFire 微控制器在嵌入式网络接入设备（家庭网关或路由器）应用中的安全需求。本章给出了实现 CAU 操作的软件例子。

第5章——系统集成和内部存储器。本章介绍了 ColdFire 产品的各种系统集成模块及其架构与功能，包括集成的 RAM、Cache 和 Flash。

第6章——FlexBus。本章介绍了外部存储器总线接口 FlexBus 的功能，给出了软件初始化例子，以及典型的总线传输时序图。解释了未对齐存储器的访问过程和访问结果，以及外接不同大小存储器器件时如何编程片选信号。

第7章——SDRAM 控制器。本章主要介绍了同步 DRAM 控制器，它可以以单数据速率 (SDR) 或双数据速率 (DDR) 连接到外部存储器，类似于在 PC 主板上的使用；给出了 SDR 和 DDR 的初始化过程和时序图，以及电路板设计的建议。

第8章——DMA 控制器。ColdFire 设备包含 1~2 个直接存储器存取 (Direct Memory Access, DMA) 控制器；增强型版本 (eDMA) 有 16 个通道，DMA 模块有 4 个通道。本章介绍了两种 DMA 的体系结构和操作，给出了 eDMA 应用的例子。

第9章——UART。大多数 MCF5200 系列的 ColdFire 器件都集成了 2~3 个相同的 UART 模块，每一个模块都包含独立的接收器和发送器。本章介绍了 UART 的操作和编程，解释了使用 DMA 通道传输和发送串行数据的方法。

第10章——QSPI。本章介绍了队列串行外围总线接口 (Queued Serial Peripheral Interface, QSPI)，QSPI 提供了 ColdFire 与许多 Freescale MCU、外围器件（比如串行 EEPROM、A/D 转换器、LCD）交换串行数据的方法。本章还介绍了 QSPI 传输、接收和指令 RAM 队列操作的总线信号、时序和编程方法。

第11章——I²C。本章详细介绍了两线串行的 I²C 总线 (Inter-Integrated Circuit Bus) 协议，给出了如何配置和使用 ColdFire 的 I²C 模块的例子；解释了多主机操作和仲裁，以及 I²C 连接 SDRAM SPD 器件的时序图。

第12章——快速以太网控制器和物理收发器。快速以太网控制器（Fast Ethernet Controller, FEC）支持10/100 Mb/s以太网协议。本章介绍了连接FEC到外部PHY及使用片上PHY的方法，给出了FEC硬件接口底层的软件例程，详细描述了集成到FEC模块的DMA控制器对传输和接收缓冲的管理实现方法。

第13章——通用串行总线（USB）。本章给出了USB功能的概要介绍，给出了物理线的位级协议，包括控制、数据和握手包等协议；介绍了USB主机、设备和ColdFire上的On-The-Go操作，给出了配置符合EHCI标准的数据传输描述符和端点的例程。

第14章——FlexCAN模块。本章介绍了CAN（Control Area Network）总线协议，包括所有CAN帧；也介绍了报文缓冲器结构、报文接收和传送序列，给出了C代码例子。

第15章——定时器系统。本章介绍了ColdFire产品的各种定时器，详细描述了它们的体系结构和功能，这些定时器包括32位的DMA定时器、16位的通用定时器、周期中断定时器和8/16位PWM定时器，简要介绍了增强型时序处理单元（enhanced Time Processing Unit, eTPU）。

第16章——增强型时序处理单元（eTPU）。本章首先介绍了它以前的型号TPU，它主要用在MPC500和MC68300微控制器系列；接下来介绍了eTPU的主要功能和通道体系结构，详细描述了主机接口和通道的初始化，给出了角度时钟模式和基于角度的电机控制应用的例程。

第17章——模数转换器。本章主要介绍了模数转换器的原理、体系结构、功能，以及10位队列模数转换器（QADC）与12位模数转换器的操作模式。

第18章——工具和软件。本章介绍了ColdFire产品的硬件、软件工具，以及标准应用软件，概括地介绍了流行的软件工具、产品及其相关网址，还介绍了片上调试支持系统、外部调试工具信息，以及在应用系统中的实时调试。

附录A——产品介绍。附录介绍了所有ColdFire的V2和V3微控制器，及其部分I/O模块。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 ColdFire V2 内核	1
1.2 异常和中断	1
1.3 中断控制器 (INTC)	2
1.4 密码加速单元 (CAU)	2
1.5 系统 Cache	2
1.6 SRAM	3
1.7 FlexBus	3
1.8 SDRAM 控制器	3
1.9 DMA 控制器	4
1.10 队列串行外围接口 (QSPI)	4
1.11 快速以太网控制器 (FEC)	4
1.12 通用串行总线 (USB)	5
1.13 增强型时序处理单元 (eTPU)	5
1.14 通用异步接收 / 发送器 (UART)	5
1.15 局域网控制器 (FlexCAN)	6
1.16 模数转换器	6
1.17 内部集成电路总线 (IC)	6
1.18 工具和软件	7
第 2 章 ColdFire 内核	8
2.1 ColdFire 内核介绍	8
2.2 用户编程模式	10
2.3 管理员编程模式	14
2.4 寻址模式	17
2.5 专用指令	23
2.6 乘法累加单元	28
2.7 EMAC 编程模式	31

2.8	680x0 系列与 ColdFire 系列的区别	32
2.9	增加的 ColdFire 指令	37
第 3 章	ColdFire 异常和中断控制器	40
3.1	异常和中断概述	40
3.2	异常处理流程	40
3.3	异常向量表	41
3.4	ColdFire 异常	42
3.5	ColdFire 中断控制器简介	49
3.6	中断向量产生	50
3.7	INTC 编程模式	52
3.8	INTC 初始化	55
第 4 章	密码加速单元	56
4.1	密码加速单元介绍	56
4.2	CAU 结构和配置	56
4.3	CAU 命令	58
4.4	CAU 命令的等值表	65
第 5 章	系统集成	66
5.1	系统集成介绍	66
5.2	CodeFire 产品平台介绍	67
5.3	系统控制模块 (SCM)	72
5.4	芯片配置模块 (CCM)	75
5.5	复位控制模块	77
5.6	时钟模块	78
5.7	边沿端口模块 (EPORT)	80
5.8	集成静态 RAM (SRAM)	81
5.9	集成 Flash 存储器	82
5.10	Flash 编程的 EzPort	87
5.11	Cache	89
第 6 章	FlexBus	92
6.1	FlexBus 介绍	92
6.2	FlexBus 结构	92

6.3	外部信号和操作	94
6.4	外部接口时序举例	97
6.5	FlexBus 初始化举例	100
第 7 章	SDRAM 控制器	103
7.1	SDRAM 控制器介绍	103
7.2	SDRAM 控制器的外部信号	108
7.3	SDRAM 控制器初始化实例	116
第 8 章	DMA 控制器	124
8.1	DMA 控制器概述	124
8.2	eDMA 结构	124
8.3	通道结构	126
8.4	应用实例	131
8.5	通道优先级	132
8.6	通道抢占	133
8.7	错误信号	133
8.8	设置 / 清除位寄存器	134
8.9	eDMA 通道分配	136
8.10	eDMA 配置顺序	136
8.11	通道操作	137
8.12	DMA 编程举例	137
8.13	四通道 DMA 控制器模块介绍	139
8.14	DMA 控制器结构	139
8.15	DMA 操作	145
第 9 章	UART	147
9.1	UART 概述	147
9.2	UART 结构	147
9.3	UART 波特时钟和波特率产生器	152
9.4	UART 操作模式	153
9.5	中断	156
9.6	DMA 请求产生器	157
9.7	发送和接收的 UART 配置	157

第 10 章	队列串行外围接口 QSPI	162
10.1	QSPI 概述	162
10.2	QSPI 结构	162
10.3	QSPI 信号	167
10.4	QSPI 指针	168
10.5	QSPI 功能描述	170
10.6	中断	172
10.7	QSPI 初始化实例	173
第 11 章	I ² C 总线	175
11.1	I ² C 总线模块概述	175
11.2	I ² C 控制器结构	176
11.3	I ² C 协议的实现	177
11.4	主模式的 I ² C 编程举例	182
11.5	从模式的 I ² C 编程举例	185
11.6	仲裁失败	186
第 12 章	快速以太网控制器与物理层收发器	187
12.1	快速以太网控制器与物理层收发器简介	187
12.2	FEC 体系结构	189
12.3	FEC 功能描述	191
12.4	FEC 控制初始化例程	203
第 13 章	USB	209
13.1	USB 模块介绍	209
13.2	MCF5222X USB OTG 模块	222
13.3	高速 OTG	229
13.4	USB 初始化软件	241
第 14 章	FlexCAN	248
14.1	CAN 总线简介	248
14.2	CAN 报文协议	249
14.3	错误标定	251
14.4	故障界定	252
14.5	FlexCAN 体系结构	253

14.6	报文缓冲器结构	254
14.7	FlexCAN 时钟源	255
14.8	位定时	256
14.9	报文过滤	258
14.10	CAN 模式	258
14.11	FlexCAN 发送顺序	259
14.12	FlexCAN 接收顺序	260
第 15 章	定时器系统	264
15.1	定时器系统介绍	264
15.2	定时器结构	264
15.3	定时器功能描述	268
第 16 章	增强型时序处理单元	278
16.1	增强型时序处理单元介绍	278
16.3	标准功能	279
16.4	常用功能	280
16.5	通道结构	281
16.6	主机接口	283
16.7	TCR1 和 TCR2 时钟	286
16.8	通道资源	288
16.9	角度模式操作	291
16.10	eTPU 初始化序列举例	293
16.11	eTPU 实验	294
第 17 章	模数转换器	299
17.1	模数转换器介绍	299
17.2	ADC 结构	301
17.3	QADC 结构	308
17.4	QADC 功能描述	309
第 18 章	工具和软件	326
18.1	工具和软件简介	326
18.2	片内调试支持	328
18.3	初始化工具	331