

工程师经验手记

ARM Cortex-M0从这里开始

赵俊 编著

[图灵 zhaojun_xf]



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



工程师经验手记

ARM Cortex - M0 从这里开始

赵俊 编 著

(网名 zhaojun_xf)

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是 32 位 ARM Cortex-M0 内核的基础参考书。共 10 章,分为 3 篇:第 1 篇为基础篇,包括 1~3 章,详细介绍了 ARM Cortex-M0 处理器的发展、内核及软件平台等基础知识;第 2 篇为应用篇,包括 4~6 章,全面介绍了 LPC1100 处理器的基本结构和内/外设的应用;第 3 篇为拓展篇,包括 7~10 章,介绍了基于 LPC1100 处理器的综合应用实例,包括数码相框的设计、数字时钟的设计、多媒体播放器的设计及微型热敏打印机的设计等。

本书是笔者多年应用经验的总结,实例多,有很强的实用性,可以作为研究生和本科生嵌入式系统类课程教材,也可作为使用 MDK 进行 LPC1100 系列处理器应用开发的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

ARM Cortex-M0 从这里开始 / 赵俊编著. —北京:
北京航空航天大学出版社, 2012. 1
ISBN 978-7-5124-0686-5

I. ①A… II. ①赵… III. ①微处理器, ARM—系统设计
IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 272904 号

版权所有,侵权必究。

ARM Cortex-M0 从这里开始

赵 俊 编 著

(网名 Zhaojun_xf)

责任编辑 董立娟

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:25.75 字数:577 千字

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-0686-5 定价:49.00 元(含光盘 1 张)

前言

ARM 公司自 1990 年成立以来不断推出各种 ARM 内核,在市场上占据了不少席位。前几年推出的基于 ARM 核的处理器(如 ARM7、ARM9、ARM11 等)都是定位在高端市场。对于这些处理器来说,入门门槛高、开发难度大、芯片价格不菲、开发工具和开发平台也比较昂贵,使得很多应用者望而却步。

2009 年以后,ARM 公司重新定位市场,把 ARM 核分为了 3 个应用等级,专门针对低端微处理器推出 Cortex-M 处理器,从而出现了低功耗、高性能、代码密度高的微处理器,打破了 32 位处理器只涉及高端市场的格局。

自从 ARM Cortex-M0 内核推出以后,不管是入门门槛、开发难度、芯片功耗还是芯片的价格等都不比其他 8 位、16 位处理器高,但性能却有过之而无不及。于是 ARM Cortex-M0 处理器开始真正大规模进军低端微处理器市场,大有与 8 位、16 位一分高下,取代 8 位、16 位微处理器趋势。

NXP 是最新推出基于 Cortex-M0 内核处理器的厂商之一,其推出的 LPC1100 系列微处理器号称是世界上运行功耗最低的 32 位 ARM 处理器。随着 LPC1100 系列处理器的不断丰富(如低功耗系列、CAN 系列和 USB 系列等),此系列芯片得到了业界的广泛关注和认可。

笔者从 2003 年开始接触单片机以来,逐步学习、了解和应用了 8051、AVR、ARM7 和 Cortex-M 等多种内核的多种微处理器。在这个过程中,笔者发现了微处理器发展的趋势,并带着不断的惊喜经历了此过程,对微处理器的未来充满着希望和期盼。从 8051 到 AVR,不管是开发难易程度、还是内核性能以及外设等都得到了质的飞跃;又从 AVR 到 ARM7,同样在这几个方面又是一个里程碑。不过这一系列的发展也导致芯片的成本提高了不少。所以,8051 仍然统治着低端微处理器市场几十年,Cortex-M 的出现终于打破了这样格局。虽然 Cortex-M 内核处理器性能上就相对 ARM7 有了不少的提高,但是这一系列内核微处理器的价格、开发难度、开发成本以及功耗等却并没有提高。由于前些年 ARM 公司对市场的定位以及中国教育等因素,使得很多初学者还是把目光定在 8051 身上,而对 ARM 核芯片还存敬畏之心。为了让初学者能够对 Cortex-M0 核芯片有一个正确的认识并定位好自己的学习目标,所以笔者花费了大量时间来总结自己对 Cortex-M0 处理器学习、开发的经验,希望能够用最快的方式带领读者,用最短的时间了解和使用 ARM Cortex-M0 处理器。

本书是一本基于 ARM Cortex-M0 内核 LPC1100 系列微处理器从入门到综合应用开发

的书籍,分为3篇,共10个章节。

第1篇包括第1~3章,介绍了Cortex-M0处理器内核和LPC1100处理器基础。全面阐述了LPC1100系列微处理器的系统控制模块、中断控制、引脚配置、编程调试以及与其他单片机的性能比较等。详细说明了MDK和LPCXpresso平台下工程新建、项目工程管理及C语言编程规范及约束等。

第2篇包含第4~6章,分别介绍了怎样搭建LPC1100系列处理器的最小系统、此系列芯片的基本接口应用以及片上外设等在MDK下的编程方法,同时,为每一个应用提供实验例程,并进行了详细的注释。通过这些例程读者可以初步掌握LPC1100处理器所有片上资源的应用,为下一步综合应用开发提供必备的基础知识。

第3篇包含第7~10章,介绍了4个基于LPC1100处理器的综合应用实例。首先介绍简易数码相框的设计,这一章主要设计到文件系统的应用和移植、TFT彩屏模块的驱动显示、BMP位图显示以及数码相框的工作原理;第二个实例是数字时钟的设计,主要介绍数字时钟芯片的应用、按键与红外遥控接收、点阵字库的制作与应用等;第三个实例全面介绍多媒体播放器的实现,主要包括调频收音机模块、MP3解码器和多通道数字音频等,详细描述了设计这样一个播放器的全部过程;最后一个实例介绍微型热敏打印机的设计,主要介绍Flash字库芯片的制作、热敏打印机的驱动、电机驱动和打印机的工作原理,本实例已经在具体项目中使用。

本书主要面向的读者是刚接触Cortex-M0内核(最好有8051或其他微处理器基础,没有也不要紧)的电子设计人员,需要有一定的电子技术、C语言基础、原理图与PCB设计基础和一些计算机基础知识。对于熟悉LPC1100系列微处理器的读者意义不大,如果有Cortex-M0内核基础,没有使用过LPC1100系列微处理器,而又想了解或转用这个系列的读者有一定的参考意义。

由于笔者知识局限和时间仓促,不足之处在所难免。如果读者发现错误,可以在电子工程世界的NXP LPC1000版块发帖或给笔者留言,也可以到本人的博客里留言(http://blog.163.com/zhaojun_xf/),笔者将在最短的时间给您答复。

在本书的写作过程中得到了各个方面的支持和帮助,感谢家人和朋友们对我的鼓励,尤其要感谢笔者的妻子邹玲玲和女儿赵雨桐,写书的过程自然少了许多陪伴她们的时间,感谢她们的鼓励、支持和理解。同时也感谢北京航空航天大学出版社对出版本书的关心和支持。

赵俊

2011年08月于深圳

目 录

第 1 篇 基础篇

第 1 章 ARM Cortex - M0 处理器简介	2
1.1 ARM 简介	2
1.1.1 概 述	2
1.1.2 体系结构	3
1.1.3 发展历程	3
1.2 ARM Cortex - M0 简介	5
1.2.1 功 能	5
1.2.2 特 点	6
1.2.3 结 构	6
1.3 ARM Cortex - M0 编程模式	8
1.3.1 寄存器组织	8
1.3.2 工作模式与堆栈使用	9
1.3.3 数据类型	9
1.4 ARM Cortex - M0 存储器管理	10
1.5 ARM Cortex - M0 异常处理	11
1.5.1 异常的优先级	11
1.5.2 异常处理	11
1.5.3 异常向量	12
1.5.4 异常进入与返回	12
1.6 指令集	13
第 2 章 LPC1100 基础知识	17
2.1 LPC1100 处理器介绍	17
2.1.1 LPC1100 处理器的性能	17

2.1.2	LPC1100 处理器系列产品	19
2.1.3	LPC1100 处理器的结构	20
2.1.4	LPC1100 处理器的存储系统	20
2.2	系统控制模块	22
2.2.1	复位模块	22
2.2.2	时钟模块	23
2.2.3	功耗管理	26
2.2.4	掉电检测	28
2.2.5	Flash 控制	29
2.3	LPC1100 中断控制器	29
2.3.1	简介	29
2.3.2	NVIC 特性	30
2.3.3	中断源	30
2.3.4	NVIC 的编程	31
2.4	LPC1100 处理器引脚配置	32
2.4.1	处理器的引脚分布	32
2.4.2	GPIO 配置	36
2.5	编程与调试	39
2.5.1	LPC1100 处理器的开发工具	39
2.5.2	JTAG/SWD 调试	40
2.5.3	ISP 与 IAP 的应用	43
2.5.4	IAP 的应用	44
2.6	LPC1100 与单片机的比较	45
2.6.1	LPC1100 的优势	45
2.6.2	LPC1100 与其他单片机的比较	46
第 3 章	LPC1100 工程新建	50
3.1	工程的管理和编程规范	50
3.1.1	工程管理	50
3.1.2	编程规范	54
3.2	CMSIS 标准	57
3.2.1	CMSIS 简介	57
3.2.2	CMSIS 设计及规范	58
3.3	LPCXpresso 开发环境	61

3.3.1	LPCXpresso 简介	61
3.3.2	LPCXpresso 的安装与配置	62
3.3.3	LPCXpresso 工程模块的新建	67
3.3.4	LPCXpresso 加载与新建文件	69
3.3.5	LPCXpresso 的优点	72
3.4	MDK 开发环境	75
3.4.1	MDK 与 KEIL 的关系	75
3.4.2	MDK 的安装	76
3.4.3	MDK 工程模块的新建	76
3.4.4	MDK 硬件配置	82
3.4.5	MDK 的应用	88
3.4.6	MDK 下启动代码及时钟配置	98

第 2 篇 应用篇

第 4 章	LPC1100 处理器最小系统	101
4.1	最小系统概述	101
4.2	电源电路的设计	102
4.2.1	概 述	102
4.2.2	电路的实现	102
4.2.3	注意事项	106
4.3	复位电路的设计	106
4.3.1	概 述	106
4.3.2	电路的设计	107
4.3.3	注意事项	108
4.4	时钟电路的设计	109
4.4.1	概 述	109
4.4.2	电路的实现	109
4.4.3	注意事项	109
4.5	调试电路	110
4.5.1	概 述	110
4.5.2	电路的实现	110
4.5.3	注意事项	110

4.6	LPC1114 最小系统原理图	111
第 5 章 LPC1100 处理器基本接口		113
5.1	GPIO	113
5.1.1	概 述	113
5.1.2	特 性	114
5.1.3	GPIO 配置	114
5.1.4	GPIO 应用	118
5.2	外中断	127
5.2.1	概 述	127
5.2.2	特 性	127
5.2.3	GPIO 中断寄存器	127
5.2.4	GPIO 中断设置	130
5.2.5	应用程序的设计	131
5.3	定时/计数器	133
5.3.1	概 述	133
5.3.2	特 性	134
5.3.3	寄存器描述	134
5.3.4	定时中断设置	139
5.3.5	定时应用	140
5.4	ADC	144
5.4.1	概 述	144
5.4.2	特 性	145
5.4.3	引脚描述	145
5.4.4	寄存器描述	146
5.4.5	A/D 转换实验	149
5.5	看门狗定时器	152
5.5.1	概 述	152
5.5.2	特 性	152
5.5.3	功能描述	153
5.5.4	寄存器描述	154
5.5.5	看门狗应用	155
5.6	系统定时器 SysTick	158
5.6.1	概 述	158

5.6.2 寄存器描述	158
5.6.3 应用程序的设计	160
第 6 章 LPC1100 通信总线	163
6.1 通用异步收发器 UART 的应用	163
6.1.1 概 述	163
6.1.2 特 性	163
6.1.3 引脚描述	164
6.1.4 寄存器描述	165
6.1.5 串行总线	174
6.1.6 应用程序设计	176
6.2 I ² C 总线接口的应用	182
6.2.1 概 述	182
6.2.2 特 点	183
6.2.3 引脚描述	184
6.2.4 寄存器描述	184
6.2.5 I ² C 应用	187
6.3 SSP 总线的应用	194
6.3.1 概 述	194
6.3.2 特 点	195
6.3.3 引脚配置	195
6.3.4 寄存器描述	196
6.3.5 SD 卡介绍	200
6.3.6 应用程序设计	202
6.4 1-Wire 总线的应用	219
6.4.1 概 述	220
6.4.2 DS18B20 介绍	220
6.4.3 硬件电路设计	226
6.4.4 应用程序的设计	227

第 3 篇 拓展篇

第 7 章 简易数码相框的设计	237
7.1 数码相框综合分析	237

7.1.1 数码相框简介	237
7.1.2 功能介绍	238
7.1.3 结构框图	238
7.2 硬件电路的设计	238
7.2.1 处理器电路	238
7.2.2 SD 卡的硬件电路	239
7.2.3 TFT 液晶模块电路	239
7.2.4 电源电路	240
7.2.5 简易数码相框整体原理图	241
7.3 TFT 彩屏模块的应用	241
7.3.1 概 述	241
7.3.2 TFT 彩屏模块转接电路	242
7.3.3 TFT 彩屏模块驱动	246
7.4 文件系统	255
7.4.1 概 述	255
7.4.2 FAT 文件系统	256
7.4.3 文件系统 FatFs 的移植	266
7.5 BMP 位图显示	274
7.5.1 概 述	274
7.5.2 BMP 结构	274
7.5.3 BMP 显示	278
7.6 简易数码相框的实现	283
7.6.1 代码实现	284
7.6.2 数码相框实物图	284
第 8 章 数字时钟的设计	285
8.1 数字时钟综合分析	285
8.1.1 概 述	285
8.1.2 数字时钟功能实现	285
8.1.3 数字时钟结构框图	286
8.2 数字时钟芯片	287
8.2.1 DS1302 概述	288
8.2.2 硬件电路的设计	289
8.2.3 软件的实现	290

8.3 按键与红外遥控接收	297
8.3.1 遥控概述	297
8.3.2 硬件电路的设计	298
8.3.3 程序设计	299
8.4 字库设计与应用	304
8.4.1 字库制作	305
8.4.2 TFT 上显示字符	310
8.5 数字时钟的实现	314
8.5.1 数字时钟整体电路	314
8.5.2 数字时钟软件实现	315
8.5.3 数字时钟实物图	315
第9章 多媒体播放器的实现	316
9.1 多媒体播放器综合分析	316
9.1.1 概 述	316
9.1.2 多媒体播放器结构框图	317
9.2 LPC1100 控制电路	318
9.2.1 概 述	318
9.2.2 LPC1100 控制电路设计	318
9.3 多通道数字音频设计	320
9.3.1 音效集成芯片 PT2314 介绍	320
9.3.2 PT2314 寄存器说明	324
9.3.3 硬件电路的设计	324
9.3.4 软件的实现	325
9.4 调频收音机的设计	330
9.4.1 调频收音机介绍	330
9.4.2 硬件电路的设计	332
9.4.3 寄存器说明	333
9.4.4 软件实现	336
9.5 MP3 解码电路的设计	344
9.5.1 MP3 解码介绍	344
9.5.2 MP3 硬件电路的设计	350
9.5.3 VS1053 寄存器说明	350
9.5.4 MP3 软件编写	351

第 1 篇 基础篇

✧ 第 1 章 ARM Cortex - M0 处理器简介

✧ 第 2 章 LPC1100 基础知识

✧ 第 3 章 LPC1100 工程新建

第 1 章

ARM Cortex - M0 处理器简介

ARM 公司于 1990 年成立以来,经过近 20 年的发展,该系列处理器已经发展成为世界领先的 32 位嵌入式微处理器核,几乎成了高端嵌入式处理器的代名词,得到了业界的大量关注。目前,市场上已经出现了多种基于 ARM 核的微处理器,而几乎所有的大型微处理器公司都有各自的 ARM 系列产品。

本章简要介绍 ARM 处理器的发展史、基本结构、处理器特点、编程模式、存储器管理、异常处理和指令集,让读者对 ARM 以及 Cortex - M0 处理器有个全面的认识。

1.1 ARM 简介

1.1.1 概 述

ARM 是 Advanced RISC Machines 的缩写,是微处理器行业的一家知名企业,是由苹果电脑、Acorn 电脑集团和 VLSI Technology 的合资企业。ARM 公司的总部位于英国剑桥,在全球设立了多个办事处和设计中心。该企业设计了大量高性能、廉价、低功耗的 RISC 处理器、相关技术及软件。ARM 公司设计的处理器具有性能高、成本低、功耗小和代码密度高等特点,广泛使用在手机、数字机顶盒、汽车制动系统、网络路由器等多种领域。

ARM 将其知识产权授权给世界上许多著名的半导体、软件和 OEM 产商,每个厂商得到 IP 内核后结合自己的特点,设计生产各自特点的 ARM 芯片。利用这种方式,ARM 公司已经和全世界 200 多家公司合作,出售了 600 多个处理器许可证。以这种合作关系,ARM 很快成为了全球 RISC 标准的缔造者,目前已销售了超过 150 亿枚基于 ARM 的芯片,赢得了长期成长型市场份额,可以说 ARM 的收益增速通常要比整个半导体行业还要快。

随着 ARM 的不断普及,其不再是遥不可及的高端处理器。ARM 设计了一系列面向低端市场的微处理器内核——Cortex - M 系列核,大有取代 8 位和 16 位微处理器的趋势。

1.1.2 体系结构

ARM 处理器体系结构并不复杂,可以进行极小规模的实现,从而实现了高性能、低功耗等特点。ARM 是 32 位精简指令计算机(RISC),集成了以下非常典型的 RISC 结构特性:

- ✧ 大型统一寄存器文件;
- ✧ 加载/存储体系结构,其中的数据处理操作只针对寄存器内容,并不直接针对内存内容;
- ✧ 简单寻址模式,所有加载/存储地址只通过寄存器内容和指令字段确定。

此外,ARM 体系结构还包括以下某些可改进代码密度和性能的其他主要特性:

- ✧ 可组合使用转换与算术或逻辑运算的指令;
- ✧ 用于优化程序循环的自动递增和自动递减寻址模式;
- ✧ 加载和存储多个指令以使数据吞吐量最大化;
- ✧ 几乎所有指令都采取条件执行的方式以使执行吞吐量最大化。

这些对基本 RISC 体系结构的增强使得 ARM 处理器可以实现高性能、较小代码、较低功耗和较小硅片的良好平衡。

1.1.3 发展历程

ARM 公司开发了很多系列的 ARM 处理器核,以前都是以 ARM_x(_x 为具体数字)命名,如比较经典的 ARM7、ARM9、ARM11 等。目前 ARM 公司不再按照这样的方式命名,而是按照应用等级划分成 3 个方面,并以 Cortex 为前缀进行命名,而且每一个大的系列里又分为若干小的系列。

ARM Cortex 系列处理器采用全新的 ARMv7 架构,根据适用的领域不同,ARM 微处理器分为 3 大类:

- ✧ Cortex - A 系列——开放式操作系统的高性能处理器;
- ✧ Cortex - R 系列——面向实时应用的卓越性能;
- ✧ Cortex - M 系列——面向具有确定性的微控制器应用的成本敏感型解决方案。

图 1-1 为目前市场上比较流行的几大系列微处理器,并根据性能、功能和处理能力来划分的。ARM 体系结构的发展经历了几个关键时期,如图 1-2 所示。

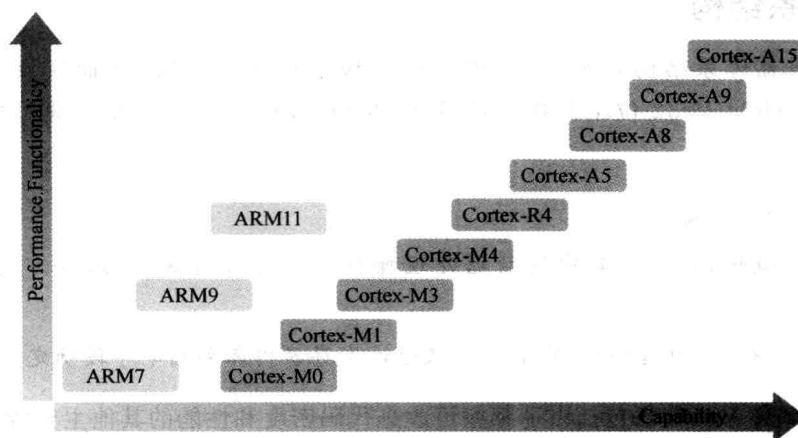


图 1-1 ARM 处理器性能比较

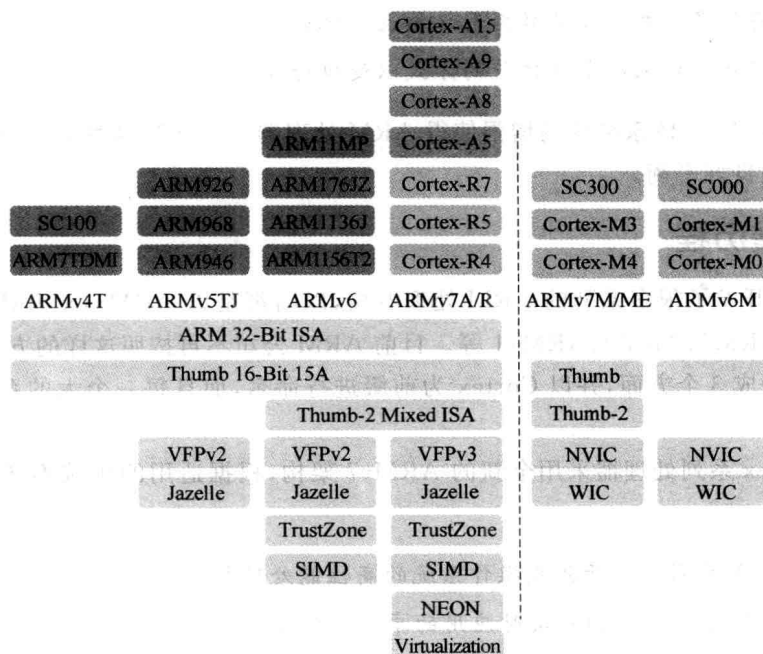


图 1-2 ARM 体系结构的发展过程

1.2 ARM Cortex-M0 简介

ARM Cortex-M 系列是必须考虑不同的成本、能耗和性能的各类可兼容、易于使用的嵌入式设备的理想解决方案。每个处理器都针对十分广泛的嵌入式应用范围提供最佳权衡取舍,具体划分如表 1-1 所列。

图 1-3 是 ARM Cortex-M 系列微处理器性能比较图。该系列处理器都是二进制向上兼容的,这使得软件重用以及从一个 Cortex-M 处理器无缝发展到另一个成为可能。

表 1-1 ARM Cortex-M 微处理器应用定位

Cortex-M0	Cortex-M3	Cortex-M4
“8/16 位”应用	“16/32 位”应用	“32 位/DSC”应用
低成本和简单性	性能效率	有效的数字信号控制

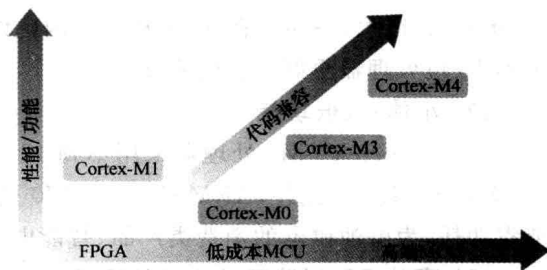


图 1-3 ARM Cortex-M 系列微处理器

1.2.1 功能

ARM Cortex-M0 处理器是 ARM 公司于 2009 年推出的,该处理器一出现就得到了业界的重视。其本身就是针对低端市场的,大有取代 8051 的趋势。到目前为止市场上已经出现了多种基于 ARM Cortex-M0 核的微控制器,如 NXP 公司的 LPC1100 系列、LPC1200 系列以及 Nuvoton 公司的 NuMicro 系列等。主要功能如表 1-2 所列。

表 1-2 ARM Cortex-M0 功能

体系结构	ARMv6-M(冯诺·依曼)
ISA 支持	Thumb* / Thumb-2 技术
管道	3 阶段
Dhrystone	0.9 DMIPS/MHz
中断	NMI+1~32 个物理中断
中断延迟	16 个周期
睡眠模式	集成的 WFI 和 WFE 指令 睡眠和深度睡眠信号 随电源管理工具包提供的可选保留模式
增强的指令	单周期 (32×32) 乘法
调试	JTAG 或 SWD 端口