

COMPUTER

高等院校计算机技术



“十二五”规划教材

嵌入式系统原理与设计

(第二版)

◎ 王 勇 编著
何立民 主审



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

高等院校计算机技术“十二五”规划教材

嵌入式系统原理与设计

(第二版)

王 勇 编著

何立民 主审



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

内容简介

本书主要讲述嵌入式系统的原理及其设计方法,对嵌入式系统的开发过程、主要开发方法、开发工具进行了完整的介绍。本书第二版更新了书中过时的内容,并增加了 Android、Windows Phone 与 iPhone OS 的介绍及其应用程序的开发。

本书共有十五章,内容涉及了嵌入式系统的基本概念、设计方法、开发模式,ARM 处理器的概念、指令系统、编程方法,嵌入式 Linux,Android,Windows CE、Windows Phone 以及 iPhone 等内容。本书内容丰富,理论讲述和实际开发相结合。本书不是针对某种处理器开发用书,为了做到通用性和便于读者学习,书中所涉及的开发内容基本上都可以在 PC 机上实现,因此读者在学习过程中可以充分利用 PC 机来完成嵌入式系统的开发练习,提高学习效果。

本书可作为电子类研究生和高年级大学生的参考教材,也可以作为嵌入式系统研发人员及相关科研人员的技术参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

嵌入式系统原理与设计 / 王勇编著. —2 版. —杭州:
浙江大学出版社, 2013. 11
ISBN 978-7-308-12425-6

I. ①嵌… II. ①王… III. ①微型计算机—系统设计
IV. ①TP360. 21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 252377 号

嵌入式系统原理与设计(第二版)

王 勇 编著 何立民 主审

责任编辑 吴昌雷

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 浙江省良渚印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 22.75

字 数 554 千

版 次 2013 年 11 月第 2 版 2013 年 11 月第 3 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-12425-6

定 价 39.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式:0571-88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

高等院校计算机技术“十二五” 规划教材编委会

顾 问

李国杰 中国工程院院士,中国科学院计算技术研究所所长,浙江大学计算机学院院长

主 任

潘云鹤 中国工程院副院长,院士,计算机专家

副主任

陈 纯 浙江大学计算机学院常务副院长、软件学院院长,教授,浙江省首批特级专家

卢湘鸿 北京语言大学教授,教育部高等学校文科计算机基础教学指导委员会秘书长

冯博琴 西安交通大学计算机教学实验中心主任,教授,2006—2010 年教育部高等学校计算机基础课程教学指导委员会副主任委员,全国高校第一届国家级教学名师

何钦铭 浙江大学软件学院副院长,教授,2006—2010 年教育部高等学校理工类计算机基础课程教学指导分委员会委员

委 员(按姓氏笔画排列)

马斌荣 首都医科大学教授,2006—2010 年教育部高等学校医药类计算机基础课程教学指导分委员会副主任,北京市有突出贡献专家

石教英 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室学术委员会委员,浙江大学计算机学院教授,中国图像图形学会副理事长

刘甘娜 大连海事大学计算机学院教授,原教育部非计算机专业计算机课程教学指导分委员会委员

庄越挺 浙江大学计算机学院副院长,教授,2006—2010 年教育部高等学校计算机科学与技术专业教学指导分委员会委员

- 许端清 浙江大学计算机学院教授
- 宋方敏 南京大学计算机系副主任,教授,2006—2010 年教育部高等学校理工类计算机基础课程教学指导分委员会委员
- 张长海 吉林大学计算机学院副院长,教授,2006—2010 年教育部高等学校理工类计算机基础课程教学指导分委员会委员
- 张 森 浙江大学教授,教育部高等学校文科计算机基础教学指导委员会副主任,全国高等院校计算机基础教育研究会副理事长
- 邹逢兴 国防科技大学教授,全国高校第一届国家级教学名师
- 陈志刚 中南大学信息学院副院长,教授,2006—2010 年教育部高等学校计算机科学与技术专业教学指导分委员会委员
- 陈根才 浙江大学计算机学院副院长,教授,2006—2010 年教育部高等学校农林类计算机基础课程教学指导分委员会委员
- 陈 越 浙江大学软件学院副院长,教授,2006—2010 年教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会软件工程专业教学指导分委员会委员
- 岳丽华 中国科学技术大学教授,中国计算机学会数据库专委会委员,2006—2010 年教育部高等学校计算机科学与技术专业教学指导分委员会委员
- 耿卫东 浙江大学计算机学院教授,CAD&CG 国家重点实验室副主任
- 鲁东明 浙江大学计算机学院教授,浙江大学网络与信息中心主任

序 言

在人类进入信息社会的 21 世纪,信息作为重要的开发性资源,与材料、能源共同构成了社会物质生活的三大资源。信息产业的发展水平已成为衡量一个国家现代化水平与综合国力的重要标志。随着各行各业信息化进程的不断加速,计算机应用技术作为信息产业基石的地位和作用得到普遍重视。一方面,高等教育中,以计算机技术为核心的信息技术已成为很多专业课教学内容的有机组成部分,计算机应用能力成为衡量大学生业务素质与能力的标志之一;另一方面,初等教育中信息技术课程的普及,使高校新生的计算机基本知识起点有所提高。因此,高校中的计算机基础教学课程如何有别于计算机专业课程,体现分层、分类的特点,突出不同专业对计算机应用需求的多样性,已成为高校计算机基础教学改革的重要内容。

浙江大学出版社及时把握时机,根据 2005 年教育部“非计算机专业计算机基础课程指导分委员会”发布的“关于进一步加强高等学校计算机基础教学的几点意见”以及“高等学校非计算机专业计算机基础课程教学基本要求”,针对“大学计算机基础”、“计算机程序设计基础”、“计算机硬件技术基础”、“数据库技术及应用”、“多媒体技术及应用”、“网络技术与应用”六门核心课程,组织编写了大学计算机基础教学的系列教材。

该系列教材编委会由国内计算机领域的院士与知名专家、教授组成,并且邀请了部分全国知名的计算机教育领域专家担任主审。浙江大学计算机学院各专业课程负责人、知名教授与博导牵头,组织有丰富教学经验和教材编写经验的教师参与了对教材大纲以及教材的编写工作。

该系列教材注重基本概念的介绍,在教材的整体框架设计上强调针对不同专业群体,体现不同专业类别的需求,突出计算机基础教学的应用性。同时,充分考虑了不同层次学校在人才培养目标上的差异,针对各门课程设计了面向不同对象的教材。除主教材外,还配有必要的配套实验教材、问题解答。教材内容丰富,体例新颖,通俗易懂,反映了作者们对大学计算机基础教学的最新探索与研究成果。

希望该系列教材的出版能有力地推动高校计算机基础教学课程内容的改革与发展,推动大学计算机基础教学的探索和创新,为计算机基础教学带来新的活力。

中国工程院院士
中国科学院计算技术研究所所长
浙江大学计算机学院院长



前 言

嵌入式系统的发展日新月异,为了适应这种变化,本书第二版更新了书中过时的内容,并且主要增加了 Android、Windows Phone 和 iPhone OS 的介绍和其应用程序的开发。

嵌入式系统并不是一个很新的概念,但其成为大家关注的焦点则是近几年的事情,近年来,嵌入式系统的飞速发展和两个因素密切相关,一是 Linux 操作系统的迅速普及和发展,二是大批基于 ARM 内核处理器的出现。第一个因素为嵌入式系统提供了免费的、功能强大的嵌入式操作系统。第二个因素则为嵌入式系统提供了物美价廉的核心器件——嵌入式处理器。因此,谈到嵌入式系统,就不得不谈 Linux 和 ARM。当然除了 Linux 和 ARM 之外,嵌入式系统还包含许多内容,找到一本可以包络各种嵌入式系统开发的书是不现实的。本书希望能够在嵌入式系统的概念、特点、开发方法、开发流程等概念方面做出较为全面的论述,同时希望在一些具体的开发方面,例如 ARM 的编程、嵌入式 Linux 的开发、Android、Windows CE、Windows Phone 以及 iPhone OS 等方面给出一些有用的指导。从而做到能够理论结合实际,既不泛泛而谈,也不沦为针对特定处理器的应用手册。

根据这个指导思想,本书主要讲述嵌入式系统的原理及其设计方法,对嵌入式系统的开发过程、主要开发方法、开发工具进行了完整的介绍。本书共有十五章,每章的主要内容安排如下:

第一章介绍嵌入式系统的整体知识,内容涉及嵌入式系统的概念、特点及其组成要素;

第二章主要介绍嵌入式系统的设计方法及其设计的流程模型,把软件工程中的一些概念引入嵌入式系统的设计中,相信对控制嵌入式系统开发过程会有所帮助;

第三章介绍嵌入式系统开发中会遇到的一些基础知识,内容包括基本概念、开发工具、软硬件调试等,主要是为本书以后章节的学习打下基础;

第四章主要讲述嵌入式系统的开发模式,本章的内容不多,目的是让读者对嵌入式系统的开发有一个整体的认识;

第五章介绍目前嵌入式系统中应用较为广泛的 ARM 处理器,本章内容包括 ARM 处理器的分类、工作状态、工作模式、寄存器的组织及 ARM 处理器的异常处理等内容;

第六章重点介绍 ARM 处理器的指令系统,内容包括对 ARM 处理的寻址方式、ARM 指令集、Thumb 指令集以及伪指令等内容的详细解释;

第七章主要介绍针对 ARM 处理器的编程,内容涉及 ARM 汇编程序的设计、汇编语言与 C/C++ 的混合编程以及 ARM 集成开发环境 ADS 的使用等;

第八章讲述了嵌入式操作系统的概念,为接下来介绍的 Linux 和 Windows CE 操作系统打下基础;

第九章重点介绍 Linux 操作系统,包括 Linux 的发展历史、Linux 中的相关概念、嵌入式 Linux 的概念以及常用的嵌入式 Linux 介绍等内容。

第十章是在第九章的基础上详细介绍嵌入式 Linux 的开发过程,内容涉及开发嵌入式 Linux 过程中的工具准备和配置,其中还包括 Linux 操作系统的定制、编译和测试等内容。第十章的内容较为丰富,其中还对 Linux 下 BootLoader 的开发、驱动程序的开发、GUI 的编程等有所叙述,同时本章对 Linux 的启动过程、Linux 下的常用命令等也作了叙述。

第十一章在第九章和第十章的基础上,以构建 U 盘 Linux 为例,详细介绍小型化 Linux 的构建过程,使读者对 Linux 系统的开发有一个感性的认识。

第十二章介绍目前最为流行的嵌入式系统之一 Android。简单介绍 Android 操作系统的构架,并对其开发环境的构建进行了详细描述,最后给出一个简单的开发实例。通过本章的学习,读者可以很快了解 Android 的应用程序的开发流程,为以后进一步的学习打下基础。

第十三章介绍目前另一种最为流行的嵌入式操作系统之一 iPhone OS,本章以 iPhone 应用程序开发为例,介绍其操作系统 iPhone OS 的发展历史及系统构建,详细介绍其开发环境的构建过程,给出了一个开发实例。为读者提供一个 IOS 程序开发的概览,起到入门和抛砖引玉的作用。

第十四章介绍另外一个重要的嵌入式操作系统 Windows CE,包括了 Windows CE 的基本概念、内存管理、中断处理和编程模式等基本内容,还详细介绍 Windows CE 的集成开发平台 Platform Builder 的使用、CE 系统的引导方式以及 BootLoader 的开发和使用。

第十五章介绍 Windows Phone 开发。以 Windows Phone 7 和 Windows Phone 8 为例,介绍其开发环境的构建和应用程序的开发,有助于读者了解微软公司最新一代的嵌入式操作系统。

本书不是针对某种处理器使用手册,为了做到通用性和便于读者学习,书中所涉及的开发内容基本上都可以在 PC 机上实现,因此读者在学习过程中可以充分利用 PC 机来完成嵌入式系统的开发练习,提高学习效果。

由于编者水平有限,本书的错漏之处在所难免,还望各位专家和读者给予批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 嵌入式系统的基本概念	(1)
1.2 嵌入式系统的特征	(2)
1.2.1 嵌入式系统的基本特征	(2)
1.2.2 嵌入式系统特征的模糊化	(4)
1.3 嵌入式系统的组成要素	(4)
1.3.1 嵌入式处理器	(5)
1.3.2 嵌入式操作系统	(12)
第 2 章 嵌入式系统的设计方法	(14)
2.1 嵌入式系统设计的基本流程	(14)
2.1.1 需求分析	(15)
2.1.2 详细说明	(17)
2.1.3 结构设计	(17)
2.1.4 组件设计	(18)
2.1.5 系统集成	(19)
2.2 嵌入式系统设计的流程模型	(20)
2.2.1 瀑布模型	(20)
2.2.2 逐步求精模型	(21)
2.2.3 螺旋模型	(23)
2.2.4 分层设计模型	(24)
2.2.5 其他流程模型	(24)
第 3 章 嵌入式系统的基础知识	(27)
3.1 基本概念	(27)
3.1.1 存储器结构	(27)
3.1.2 流水线技术	(29)
3.1.3 CISC & RISC	(31)
3.1.4 大端存储和小端存储	(32)
3.1.5 存储器管理单元 MMU	(34)
3.1.6 BSP	(36)
3.1.7 BootLoader 和 OSLoader	(36)
3.1.8 进程和线程	(37)

3.2 开发相关知识	(37)
3.2.1 ICE 和 ICD	(37)
3.2.2 其他硬件调试工具	(38)
3.2.3 JTAG	(38)
3.2.4 编译器和交叉编译器	(40)
3.2.5 模拟器和仿真器	(41)
第4章 嵌入式系统的开发模式	(45)
4.1 面向硬件的开发模式	(45)
4.1.1 适用情况	(45)
4.1.2 需要的工具	(45)
4.1.3 开发场景	(45)
4.2 面向操作系统的开发模式	(46)
4.2.1 适用情况	(46)
4.2.2 需要的工具	(46)
4.2.3 开发场景	(47)
4.3 开发模式的控制	(47)
第5章 ARM 处理器概述	(49)
5.1 ARM 处理器概述	(49)
5.1.1 ARM 的发展历史	(49)
5.1.2 ARM 处理器的特点	(49)
5.1.3 ARM 微处理器系列	(50)
5.1.4 ARM 微处理器的应用选型	(55)
5.2 ARM 微处理器的工作状态和工作模式	(56)
5.2.1 工作状态	(56)
5.2.2 ARM 的工作模式	(57)
5.3 ARM 微处理器的寄存器	(57)
5.3.1 ARM 微处理器的寄存器结构	(57)
5.3.2 Thumb 状态下的寄存器组织	(62)
5.4 ARM 处理器的存储器组织结构	(63)
5.4.1 ARM 的数据类型	(63)
5.4.2 存储器的格式	(64)
5.5 ARM 处理器的异常	(65)
5.5.1 ARM 体系结构所支持的异常类型	(65)
5.5.2 异常优先级(Exception Priorities)	(67)
5.5.3 应用程序中的异常处理	(68)
5.5.4 对异常的响应	(68)
5.5.5 异常返回	(69)
5.5.6 异常进入/退出时的指令	(69)

第 6 章 ARM 指令系统	(71)
6.1 ARM 处理器的寻址方式	(71)
6.1.1 立即数寻址	(71)
6.1.2 寄存器寻址	(72)
6.1.3 寄存器偏移寻址	(73)
6.1.4 寄存器间接寻址	(73)
6.1.5 寄存器基址变址寻址	(74)
6.1.6 多寄存器寻址	(74)
6.1.7 相对寻址	(74)
6.1.8 堆栈寻址	(75)
6.1.9 块拷贝寻址	(76)
6.2 ARM 指令集合	(77)
6.2.1 ARM 指令的基本格式	(77)
6.2.2 ARM 指令详解	(80)
6.3 Thumb 指令集合	(98)
6.3.1 Thumb 指令集合	(98)
6.3.2 Thumb 指令集与 ARM 指令集的区别	(99)
6.3.3 Thumb 存储器访问指令	(99)
6.3.4 Thumb 数据处理指令	(101)
6.3.5 Thumb 跳转指令	(102)
6.3.6 Thumb 杂项指令	(103)
6.4 伪指令	(103)
6.4.1 符号定义伪指令	(104)
6.4.2 数据定义伪指令	(106)
6.4.3 报告伪指令	(111)
6.4.4 汇编控制伪指令	(112)
6.4.5 杂项伪指令	(114)
6.4.6 ARM 伪指令	(120)
6.4.7 Thumb 伪指令	(123)
第 7 章 ARM 程序设计	(126)
7.1 ARM 汇编语言程序设计	(126)
7.1.1 汇编语言的语句格式	(126)
7.1.2 汇编程序中的符号	(127)
7.1.3 汇编语言程序中的表达式和运算符	(129)
7.1.4 汇编语言的程序结构	(132)
7.1.5 汇编语言程序设计举例	(133)
7.2 汇编语言与 C/C++ 的混合编程	(139)
7.2.1 ATPCS 规则	(139)

7.2.2 内嵌汇编	(141)
7.2.3 C 程序与汇编程序相互调用	(146)
7.3 ARM 集成开发环境 ADS 的使用	(148)
7.3.1 ADS 简介	(148)
7.3.2 ADS 快速使用教程	(149)
7.3.3 ADS 具体介绍	(155)
第 8 章 嵌入式操作系统	(161)
8.1 嵌入式操作系统的发展	(161)
8.2 软件编程模式	(162)
8.2.1 无操作系统的软件编程模式	(162)
8.2.2 有操作系统的编程模式	(164)
8.3 嵌入式操作系统的特点	(165)
8.4 实时操作系统	(166)
8.4.1 实时和分时操作系统	(166)
8.4.2 实时操作系统的特点	(167)
第 9 章 嵌入式 Linux 操作系统概述	(169)
9.1 Linux 的诞生	(169)
9.2 Linux 相关的概念	(170)
9.2.1 Minix	(170)
9.2.2 Unix	(170)
9.2.3 共享软件(Shareware)	(170)
9.2.4 自由软件(Freeware 或 FreeSoftware)	(170)
9.2.5 免费软件(Freeware)	(170)
9.2.6 通用软件许可证(GPL, General Public License)	(171)
9.2.7 GNU	(171)
9.2.8 LGPL(Lesser GPL)	(171)
9.2.9 BSD	(172)
9.3 Linux 操作系统的组成及其版本	(172)
9.3.1 Linux 操作系统的组成	(172)
9.3.2 Linux 的版本	(173)
9.4 Linux 的特点	(173)
9.4.1 Linux 的优点和不足	(173)
9.4.2 Linux 下的硬盘分区与文件系统	(176)
9.5 嵌入式 Linux 的概念	(178)
9.6 嵌入式 Linux 操作系统介绍	(178)
9.6.1 uClinux	(178)
9.6.2 RTLinux	(180)
9.6.3 DSPLinux	(181)

第 10 章 嵌入式 Linux 的开发	(183)
10.1 嵌入式 Linux 开发步骤	(183)
10.2 开发环境的构建	(184)
10.2.1 安装 Linux 操作系统	(184)
10.2.2 配置开发工具	(189)
10.3 BootLoader 的开发	(192)
10.3.1 BootLoader 的基本知识	(192)
10.3.2 BootLoader 的开发过程	(193)
10.3.3 BootLoader 的移植	(196)
10.4 Linux 系统的构建	(197)
10.4.1 Linux 内核的构建	(197)
10.4.2 Linux 根文件系统的构建	(207)
10.4.3 针对嵌入式应用的 Linux 系统开发	(209)
10.5 Linux 系统下设备驱动程序的开发	(211)
10.5.1 Linux 设备驱动程序的概念	(212)
10.5.2 设备的类型	(213)
10.5.3 特殊设备的使用	(213)
10.5.4 设备文件的创建	(214)
10.5.5 设备驱动程序的开发	(214)
10.5.6 设备驱动程序中的问题	(218)
10.6 Linux 应用程序开发	(219)
10.6.1 几种流行的 GUI	(219)
10.6.2 Qt/Embedded 编程	(222)
10.6.3 Qt/Embedded 编程示例	(223)
10.7 Linux 系统的启动流程	(227)
10.7.1 内核的引导	(228)
10.7.2 运行 init	(229)
10.7.3 系统初始化	(231)
10.7.4 启动对应运行级别的守护进程	(231)
10.7.5 建立终端	(232)
10.7.6 登录系统	(232)
10.8 常用的 Linux 工具和命令	(233)
10.8.1 vi 的使用	(233)
10.8.2 GCC 的使用	(236)
10.8.3 gdb 的使用	(237)
10.8.4 ncftp 工具的使用	(240)
10.8.5 mount 和 unmount 指令	(240)
10.8.6 基本命令	(242)

10.8.7 Linux 下软件安装指令	(247)
第 11 章 Linux 系统构建的实战练习	(251)
11.1 使用现成工具构建 U 盘 Linux	(251)
11.1.1 使用 pup2usb 进行构建	(251)
11.1.2 使用 Ultra ISO 进行构建	(252)
11.2 从零开始构建自己的 U 盘 Linux	(254)
11.2.1 前期准备	(254)
11.2.2 编译 Linux 内核	(256)
11.2.3 在 U 盘上建立根文件系统	(257)
11.2.4 安装 grub 到 U 盘中	(260)
11.2.5 使用 initrd 内核作为根文件系统	(261)
第 12 章 Android 的开发与应用	(264)
12.1 Android 操作系统简介	(264)
12.1.1 Android 系统构架	(264)
12.1.2 Android 系统开发环境的构建	(267)
12.1.3 Android 应用程序开发实例	(269)
第 13 章 iPhone OS 应用程序的开发	(277)
13.1 苹果操作系统简介	(277)
13.2 iPhone 开发环境的构建	(278)
13.2.1 Mac OS 虚拟机的安装	(279)
13.2.2 XCode 和 iPhone SDK 的介绍与安装	(286)
13.3 iPhone 应用程序的开发示例	(287)
第 14 章 Windows CE 操作系统	(292)
14.1 微软的嵌入式产品简介	(292)
14.1.1 Windows Embedded Compact 平台	(292)
14.1.2 Windows Embedded Standard 平台	(293)
14.1.3 Windows Embedded Enterprise 平台	(293)
14.1.4 Windows Embedded Server 平台	(293)
14.1.5 Windows Phone 8 平台	(293)
14.2 Windows CE 简介	(294)
14.3 Windows CE 的中断处理机制	(297)
14.3.1 中断体系结构	(297)
14.3.2 中断延迟	(298)
14.4 Windows CE 的进程和线程	(299)
14.4.1 CE 的进程	(299)
14.4.2 CE 的线程	(300)
14.4.3 进程之间的通信	(301)
14.5 Windows CE 的内存管理	(301)

14.5.1	内存结构	(301)
14.5.2	进程地址空间结构	(302)
14.5.3	堆和栈的内存分配	(304)
14.5.4	内存映射文件	(304)
14.6	Windows CE 的编程模式	(305)
14.6.1	基于 Win32 的程序开发	(305)
14.6.2	基于 MFC 的程序开发	(305)
14.6.3	基于 Microsoft .NET Framework 精简版的程序开发	(306)
14.7	Windows CE 5.0 的开发	(307)
14.7.1	开发层面	(307)
14.7.2	开发实例	(308)
14.7.3	CE 系统的引导方式及其 BootLoader	(323)
14.8	Windows Embedded Compact 7 的开发	(326)
14.8.1	Windows Embedded Compact 7 开发环境的构建	(326)
14.8.2	Windows Embedded Compact 7 应用程序的开发	(330)
第 15 章	Windows Phone 的开发	(334)
15.1	Windows Phone 7 的开发	(334)
15.1.1	Windows Phone 7 简介	(334)
15.1.2	Windows Phone 7 开发环境的搭建	(334)
15.1.3	Windows Phone 7 简单例程的开发	(335)
15.2	Windows Phone 8 的开发	(339)
15.2.1	Windows Phone 8 简介	(339)
15.2.2	Windows Phone 8 的开发环境的构建	(340)
15.2.3	Windows Phone 8 应用程序开发	(341)
参考文献		(344)

ARM 指令索引

●跳转指令	81	●程序状态寄存器访问指令	89
B 指令	82	MRS 指令	90
BL 指令	82	MSR 指令	90
BX 指令	82	●存储器加载/存储指令	91
●数据处理指令	83	LDR 字数据加载指令	91
数据传送指令	83	LDRH 半字数据加载指令	92
MOV 传送指令	83	LDRB 字节数据加载指令	92
MVN 取反传送指令	83	STR 字数据存储指令	92
数据比较指令	84	STRH 半字数据存储指令	93
CMP 比较指令	84	STRB 字节数据存储指令	93
CMN 取反比较指令	84	LDM(或 STM)指令	93
TST 位测试指令	84	●数据交换指令	95
TEQ 指令相等测试指令	84	SWP 指令	95
逻辑运算类指令	85	SWPB 指令	95
AND 逻辑与操作指令	85	●异常产生指令	95
ORR 逻辑或指令	85	SWI 软件中断指令	95
EOR 逻辑异或指令	85	BKPT 指令	96
BIC 位清零指令	85	●协处理器指令	96
算术运算类指令	86	CDP 协处理器数据操作指令	96
ADD 指令	86	LDC 协处理器数据加载指令	97
ADC 指令	86	STC 协处理器数据存储指令	97
SUB 减法指令	86	MCR ARM 处理器寄存器到协处理器	
SBC 带借位减法指令	87	寄存器的数据传送指令	97
RSB 逆向减法指令	87	MRC 协处理器寄存器到 ARM 处理器	
RSC 带借位逆向减法指令	87	寄存器的数据传送指令	97
乘法指令与乘加指令	88	●Thumb 存储器访问指令	99
MUL 指令	88	●Thumb 数据处理指令	101
MLA 指令	88	●Thumb 跳转指令	102
SMULL 指令	88	B 跳转指令	102
SMLAL 指令	89	BL 带链接的跳转指令	103
UMULL 指令	89	BX 带状态切换的跳转指令	103
UMLAL 指令	89	●Thumb 杂项指令	103
		SWI 软中断指令	103

●符号定义伪指令	104	●杂项伪指令	114
GBLA、GBLL、GBLS 全局变量声明		ALIGN 伪指令	115
伪指令	104	AREA 伪指令	116
LCLA、LCLL、LCLS 局部变量声明伪		CODE16 和 CODE32 伪指令	117
指令	104	END 伪指令	117
SETA、SETL、SETS 变量赋值		ENTRY 伪指令	117
伪指令	105	EQU 伪指令	117
RLIST 伪指令	105	EXPORT 和 GLOBAL 伪指令	118
CN 伪指令	105		118
CP 伪指令	106	IMPORT 和 EXTERN 伪指令	118
DN 和 SN 伪指令	106	GET 和 INCLUDE 伪指令	118
FN 伪指令	106	INCBIN 伪指令	119
●数据定义伪指令	106	KEEP 伪指令	119
LTORG 伪指令	107	NOFP 伪指令	119
MAP 伪指令	107	REQUIRE 伪指令	119
FIELD 伪指令	108	PEQUIRE8 和 PRESERVE8 伪指令	
SPACE 伪指令	108		119
DCB 伪指令	108	RN 伪指令	120
DCD 和 DCDU 伪指令	108	ROUT 伪指令	120
DCDO 伪指令	109	●ARM 伪指令	120
DCFD 和 DCFDU 伪指令	109	ADR 小范围的地址读取伪指令	
DCFS 和 DCFSU 伪指令	109		121
DCI 伪指令	110	ADRL 中等范围的地址读取伪指令	
DCQ 和 DCQU 伪指令	110		121
DCW 和 DCWU 伪指令	110	LDR 大范围的地址读取伪指令	
●报告伪指令	111		122
ASSERT 伪指令	111	NOP 空操作伪指令	122
INFO 伪指令	111	LDFD 伪指令	123
OPT 伪指令	111	LDFS 伪指令	123
TTL 和 SUBT 伪指令	112	●Thumb 伪指令	123
●汇编控制伪指令	112		123
IF、ELSE 和 ENDIF 伪指令	112	ADR 小范围的地址读取伪指令	
MACRO 和 MEND 伪指令	113		123
WHILE 和 WEND 伪指令	114	LDR 大范围的地址读取伪指令	
			123
		NOP 空操作伪指令	124