



全国高等职业教育“十三五”规划教材

嵌入式操作系统实用教程

主编 沙 祥

- 注重实践操作，兼顾理论知识。
- 由浅入深，展现较为完整的流程。
- 多种平台和软件，内容丰富。



电子课件下载网址 www.cmpedu.com

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育“十三五”规划教材

嵌入式操作系统实用教程

主编 沙 祥

参编 杨 永 杜 锋



机械工业出版社

本书全面而详细地介绍了嵌入式系统的使用，共分为5章：第1章介绍了目前在嵌入式系统中主流使用的 ARM 芯片和常见的硬件系统及其组成；第2章介绍了嵌入式系统与 PC 的连接和嵌入式 Linux 操作系统的安装、备份和恢复；第3章介绍了交叉编译工具链的安装与配置；第4章介绍了如何定制嵌入式 Linux 以及怎样利用交叉编译工具链生成相关文件；第5章介绍了嵌入式操作系统的使用方法。

本书可作为高职高专院校电子信息类相关专业学生的教材，也适合作为嵌入式系统初学者的参考书。

本书配有授课电子课件，需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册，审核通过后下载，或联系编辑索取（QQ：1239258369，电话：010-88379739）。

图书在版编目（CIP）数据

嵌入式操作系统实用教程 / 沙祥主编. —北京：机械工业出版社，2016.7
全国高等职业教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-55248-2

I. ①嵌… II. ①沙… III. ①实时操作系统—高等职业教育—教材
IV. ①TP316.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 257563 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王颖 责任编辑：王颖

责任校对：张艳霞 责任印制：李飞

北京振兴源印务有限公司印刷

2017 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·12.75 印张·303 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-55248-2

定价：33.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：（010）88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：（010）88379649

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

全国高等职业教育规划教材

电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 董维佳 俞 宁 杨元挺 任德齐
华永平 吴元凯 蒋蒙安 梁永生 曹 毅 程远东
吴雪纯

委 员 (按姓氏笔画排序)

于宝明	王卫兵	王树忠	王新新	牛百齐	吉雪峰
朱小祥	庄海军	刘 松	刘 勇	孙 刚	孙 萍
孙学耕	李菊芳	杨打生	杨国华	何丽梅	邹洪芬
江赵强	张静之	陈子聪	陈东群	陈必群	陈晓文
邵 瑛	季顺宁	赵新宽	胡克满	姚建永	聂开俊
贾正松	夏西泉	高 波	高 健	郭 兵	郭 勇
郭雄艺	黄永定	章大钧	彭 勇	董春利	程智宾
曾晓宏	詹新生	蔡建军	谭克清	戴红霞	

秘 书 长 胡毓坚

出版说明

《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》指出：到 2020 年，形成适应发展需求、产教深度融合、中职高职衔接、职业教育与普通教育相互沟通，体现终身教育理念，具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系，推进人才培养模式创新，坚持校企合作、工学结合，强化教学、学习、实训相融合的教育教学活动，推行项目教学、案例教学、工作过程导向教学等教学模式，引导社会力量参与教学过程，共同开发课程和教材等教育资源。机械工业出版社组织全国 60 余所职业院校（其中大部分是示范性院校和骨干院校）的骨干教师共同策划、编写并出版的“全国高等职业教育规划教材”系列丛书，已历经十余年的积淀和发展，今后将更加结合国家职业教育文件精神，致力于建设符合现代职业教育教学需求的教材体系，打造充分适应现代职业教育教学模式的、体现工学结合特点的新型精品化教材。

“全国高等职业教育规划教材”涵盖计算机、电子和机电 3 个专业，目前在销教材 300 余种，其中“十五”“十一五”“十二五”累计获奖教材 60 余种，更有 4 种获得国家级精品教材。该系列教材依托于高职高专计算机、电子、机电 3 个专业编委会，充分体现职业院校教学改革和课程改革的需要，其内容和质量颇受授课教师的认可。

在系列教材策划和编写的过程中，主编院校通过编委会平台充分调研相关院校的专业课程体系，认真讨论课程教学大纲，积极听取相关专家意见，并融合教学中的实践经验，吸收职业教育改革成果，寻求企业合作，针对不同的课程性质采取差异化的编写策略。其中，核心基础课程的教材在保持扎实的理论基础的同时，增加实训和习题以及相关的多媒体配套资源；实践性较强的课程则强调理论与实训紧密结合，采用理实一体的编写模式；涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法，同时重视企业参与，吸纳来自企业的真实案例。此外，根据实际教学的需要对部分课程进行了整合和优化。

归纳起来，本系列教材具有以下特点。

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度，强调专业技术应用能力的训练，适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁，多用图表来表达信息；增加相关技术在生产中的应用实例，引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新，及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念，并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合，提高教学服务水平，为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快，加之我们的水平和经验有限，因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和疏漏。恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息，以利于我们今后不断提高教材的出版质量，为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

近年来，基于 ARM 的嵌入式系统得到了飞速的发展，应用范围遍布人们生产、生活的各个领域。嵌入式系统的构成主要包括两方面，通俗地说就是硬件和软件。硬件方面，ARM 芯片是嵌入式系统的核心。但是一个系统还需要其他组成部分，它们是怎样组合在一起的？软件又可以分为操作系统和应用软件。操作系统中，嵌入式 Linux 的应用非常广泛，甚至于 Android 也是以 Linux 为基础的半开源操作系统，那么怎样在嵌入式系统中定制和安装操作系统呢？

本书着重解决以上两个问题。

第 1 章介绍了常用的 ARM 芯片和开发板及其构成等内容。

第 2 章介绍了嵌入式系统与 PC 的连接和嵌入式操作系统的安装等内容。

第 3 章介绍了使用交叉编译工具链的原因以及交叉编译工具链的安装等内容。

第 4 章介绍了系统的定制等内容。

第 5 章介绍了嵌入式操作系统的使用等内容。

嵌入式系统重在“移植”，要充分参考前辈的经验；嵌入式系统重在“总结”，要分析每一次失败的原因。

本书由淮安信息职业技术学院沙祥主编，杨永、杜锋参编，在本书编写过程中，得到了淮安信息职业技术学院的领导和同仁们的大力支持，在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，本书中必然存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 嵌入式系统的组成	1
1.1 ARM 微处理器简介	1
1.1.1 ARM 公司简介	1
1.1.2 ARM 系列处理器	1
1.1.3 常用的 ARM 芯片	6
1.2 嵌入式系统的硬件构成	7
1.2.1 Micro2440 核心板的构成	7
1.2.2 Smart210 开发板的构成	13
1.2.3 A8 实验仪的构成	17
1.3 实训	18
1.4 习题	18
第 2 章 嵌入式操作系统的安装	20
2.1 嵌入式系统与 PC 的连接与通信	20
2.1.1 嵌入式系统与 PC 的连接	20
2.1.2 终端与串口的设置	24
2.2 嵌入式操作系统的备份、恢复与烧写	27
2.2.1 Micro2440 开发板系统的备份、恢复与烧写	27
2.2.2 Smart210 开发板系统的烧写	42
2.2.3 A8 实验仪系统的烧写	53
2.3 实训	63
2.4 习题	64
第 3 章 交叉编译、Linux 与虚拟机	65
3.1 交叉编译简介	65
3.2 Linux PC 与虚拟机	66
3.2.1 虚拟机	66
3.2.2 VirtualBox 的安装与使用	67
3.2.3 Linux 与 Ubuntu	73
3.2.4 Ubuntu 安装	76
3.2.5 Ubuntu 使用初步	87
3.2.6 Ubuntu 的目录	96
3.3 交叉编译环境	103
3.3.1 共享文件夹的设置与使用	103

3.3.2	交叉编译环境的安装与配置	107
3.4	实训	113
3.5	习题	113
第 4 章	嵌入式操作系统的定制	115
4.1	bootloader 的生成	115
4.2	Linux 内核定制	117
4.2.1	Linux 内核源代码	117
4.2.2	定制 Linux 内核	119
4.2.3	制作启动 logo	155
4.2.4	编译内核	157
4.3	目标文件系统定制与生成	158
4.3.1	定制目标文件系统	158
4.3.2	生成目标文件系统	161
4.4	实训	164
4.5	习题	164
第 5 章	嵌入式操作系统的使用	165
5.1	登录嵌入式操作系统	165
5.1.1	使用串口登录嵌入式操作系统	165
5.1.2	使用 Telnet 登录嵌入式操作系统	166
5.2	程序上传与运行	172
5.2.1	使用 U 盘上传程序	173
5.2.2	使用串口上传程序	173
5.2.3	使用 FTP 上传程序	178
5.2.4	程序运行	182
5.3	NFS 的使用	183
5.3.1	开启服务器的 NFS 服务	183
5.3.2	使用 NFS 共享文件夹	187
5.3.3	使用 NFS 根文件系统启动嵌入式系统	190
5.4	实训	193
5.5	习题	193
参考文献	194

第1章 嵌入式系统的组成

1.1 ARM 微处理器简介

目前，很多嵌入式产品和手持式设备使用了 ARM 芯片，那么什么是 ARM 呢？

1.1.1 ARM 公司简介

ARM Holdings 是全球领先的半导体知识产权（IP）提供商，并因此在数字电子产品的开发中处于核心地位。ARM 公司的总部位于英国剑桥，它拥有 1700 多名员工，在全球设立了多个办事处，其中包括比利时、法国、印度、瑞典和美国的设计中心。

ARM 公司是专门从事基于 RISC 技术芯片设计开发的公司，作为知识产权供应商，本身不直接从事芯片生产，靠转让设计许可由合作公司生产各具特色的芯片，世界各大半导体生产商从 ARM 公司购买其设计的 ARM 微处理器核，根据各自不同的应用领域，加入适当的外围电路，从而形成自己的 ARM 微处理器芯片进入市场。全世界有几十家大的半导体公司都使用 ARM 公司的授权，因此既使得 ARM 技术获得更多的第三方工具、制造、软件的支持，又使整个系统成本降低，使产品更容易进入市场被消费者所接受，更具有竞争力。

ARM 商品模式的强大之处在于它在世界范围有超过 100 个的合作伙伴。ARM 采用转让许可证制度，由合作伙伴生产芯片。

1.1.2 ARM 系列处理器

常见的 ARM 微处理器的系列及性能示意图如图 1-1 所示，常见的 ARM 系列微处理器如表 1-1 所示。

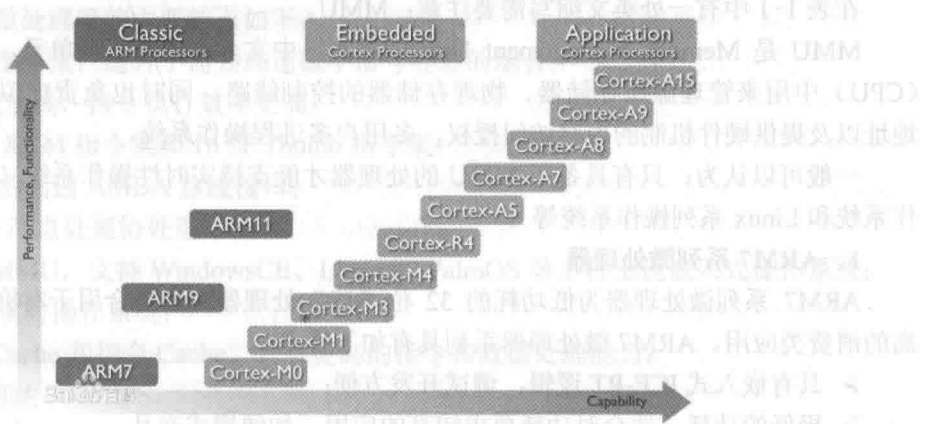


图 1-1 常见的 ARM 微处理器的系列及性能示意图

表 1-1 常见的 ARM 系列微处理器

系列	架构	内核	特色	高速缓存 (I/D) 与 MMU
ARM7TDMI	ARMv4T	ARM7TDMI (-S)	3 级流水线	无
		ARM710T		均为 8KB、MMU
		ARM720T		均为 8KB、MMU
		ARM740T		MPU
	ARMv5TEJ	ARM7EJ-S	Jazelle DBX	无
ARM9TDMI	ARMv4T	ARM9TDMI	5 级流水线	无
		ARM920T		16KB/16KB、MMU
		ARM922T		8KB/8KB、MMU
		ARM940T		4KB/4KB、MPU
ARM9E	ARMv5TE	ARM946E-S		可变动、tightly coupled memories、MPU
		ARM966E-S		无高速缓存、TCMs
		ARM968E-S		无高速缓存、TCMs
	ARMv5TEJ	ARM926EJ-S	Jazelle DBX	可变动、TCMs、MMU
	ARMv5TE	ARM996HS	无振荡器处理器	无高速缓存、TCMs、MPU
ARM10E	ARMv5TE	ARM1020E	(VFP), 6 级流水线	32KB/32KB、MMU
		ARM1022E	(VFP)	16KB/16KB、MMU
	ARMv5TEJ	ARM1026EJ-S	Jazelle DBX	可变动, MMU or MPU
ARM11	ARMv6	ARM1136J (F)-S	SIMD、Jazelle DBX、(VFP)、8 级流水线	可变动, MMU
	ARMv6T2	ARM1156T2 (F)-S	SIMD、Thumb-(2) (VFP)、9 级流水线	可变动, MPU
	ARMv6KZ	ARM1176JZ (F)-S	SIMD、Jazelle DBX、(VFP)	可变动, MMU+TrustZone
	ARMv6K	ARM11 MPCore	1~4 核多处理器、SIMD、Jazelle DBX、(VFP)	可变动, MMU
Cortex	ARMv7-A	Cortex-A8	Application profile、VFP、NEON、Jazelle RCT、Thumb-(2) 13 级流水线	可变动 (L1+L2)、MMU+TrustZone
	ARMv7-R	Cortex-R4 (F)	Embedded profile、(FPU)	可变动高速缓存、MMU 可选配
	ARMv7-M	Cortex-M3	Microcontroller profile	无高速缓存、(MPU)

在表 1-1 中有一处英文缩写需要注意: MMU。

MMU 是 Memory Management Unit 的缩写, 中文名是内存管理单元, 它是中央处理器 (CPU) 中用来管理虚拟存储器、物理存储器的控制线路, 同时也负责虚拟地址映射为物理地址以及提供硬件机制的内存访问授权, 多用户多进程操作系统。

一般可以认为: 只有具备了 MMU 的处理器才能支持实时性操作系统 (Windows 系列操作系统和 Linux 系列操作系统等)。

1. ARM7 系列微处理器

ARM7 系列微处理器为低功耗的 32 位 RISC 处理器, 最适合用于对价位和功耗要求较高的消费类应用。ARM7 微处理器系列具有如下特点:

- 具有嵌入式 ICE-RT 逻辑, 调试开发方便;
- 极低的功耗, 适合对功耗要求较高的应用, 如便携式产品;
- 能够提供 0.9MIPS/MHz 的三级流水线结构;

- 代码密度高并兼容 16 位的 Thumb 指令集;
- 对操作系统的支持广泛, 包括 WindowsCE、Linux 和 PalmOS 等;
- 指令系统与 ARM9 系列、ARM9E 系列和 ARM10E 系列兼容, 便于用户的产品升级换代;
- 主频最高可达 130MIPS, 高速的运算处理能力能胜任绝大多数的复杂应用。

ARM7 系列微处理器包括如下几种类型的核: ARM7TDMI、ARM7TDMI-S、ARM720T 和 ARM7EJ。其中, ARM7TDMI 是目前使用最广泛的 32 位嵌入式 RISC 处理器, 属低端 ARM 处理器核。TDMI 的基本含义如下。

- T: 支持 16 位压缩指令集 Thumb;
- D: 支持片上 Debug;
- M: 内嵌硬件乘法器;
- I: 嵌入式 ICE, 支持片上断点和调试点。

2. ARM9 系列微处理器

ARM9 系列微处理器在高性能和低功耗特性方面提供最佳的性能。具有以下特点:

- 5 级整数流水线, 指令执行效率更高;
- 提供 1.1MIPS/MHz 的哈佛结构;
- 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集;
- 支持 32 位的高速 AMBA 总线接口;
- 全性能的 MMU, 支持 Windows CE、Linux 和 PalmOS 等多种主流嵌入式操作系统 MPU 支持实时操作系统;
- 支持数据 Cache 和指令 Cache, 具有更高的指令和数据处理能力。

ARM9 系列微处理器包含 ARM920T、ARM922T 和 ARM940T 3 种类型, 以适用于不同的应用场合。

3. ARM9E 系列微处理器

ARM9E 系列微处理器为可综合处理器, 使用单一的处理器内核提供了微控制器、DSP 和 Java 应用系统的解决方案, 极大减少了芯片的面积和系统的复杂程度。ARM9E 系列微处理器提供了增强的 DSP 处理能力, 很适合于那些需要同时使用 DSP 和微控制器的应用场合。

ARM9E 系列微处理器的主要特点如下:

- 支持 DSP 指令集, 适合于需要高速数字信号处理的场合;
- 5 级整数流水线, 指令执行效率更高;
- 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集;
- 支持 32 位的高速 AMBA 总线接口;
- 支持 VFP9 浮点处理协处理器;
- 全性能的 MMU, 支持 WindowsCE、Linux 和 PalmOS 等多种主流嵌入式操作系统;
- MPU 支持实时操作系统;
- 支持数据 Cache 和指令 Cache, 具有更高的指令和数据处理能力;
- 主频最高可达 300MIPS。

ARM9E 系列微处理器包含 ARM926EJ-S、ARM946E-S 和 ARM966E-S 3 种类型, 以适用于不同的应用场合。

4. ARM10E 系列微处理器

ARM10E 系列微处理器具有高性能、低功耗的特点，由于采用了新的体系结构，与同等的 ARM9 器件相比较，在同样的时钟频率下，性能提高了近 50%，同时，ARM10E 系列微处理器采用了两种先进的节能方式，使其功耗极低。

ARM10E 系列微处理器的主要特点如下：

- ▶ 支持 DSP 指令集，适合于需要高速数字信号处理的场合；
- ▶ 6 级整数流水线，指令执行效率更高；
- ▶ 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集；
- ▶ 支持 32 位的高速 AMBA 总线接口；
- ▶ 支持 VFP10 浮点处理协处理器；
- ▶ 全性能的 MMU，支持 WindowsCE、Linux 和 PalmOS 等多种主流嵌入式操作系统；
- ▶ 支持数据 Cache 和指令 Cache，具有更高的指令和数据处理能力；
- ▶ 主频最高可达 400MIPS；
- ▶ 内嵌并行读/写操作部件。

ARM10E 系列微处理器包含 ARM1020E、ARM1022E 和 ARM1026EJ-S 3 种类型，以适用于不同的应用场合。

5. ARM11 系列微处理器

ARM11 系列微处理器是 ARM 公司近年推出的新一代 RISC 处理器，它是 ARM 新指令架构——ARMv6 的第一代设计实现。ARMv6 架构是根据下一代的消费类电子、无线设备、网络应用和汽车电子产品等需求而制定的。

ARMv6 架构决定了可以达到高性能处理器的基础。总的来说，ARMv6 架构通过以下几点来增强处理器的性能：

- ▶ 多媒体处理扩展，使 MPEG4 编码/解码加快一倍、使音频处理加快一倍；
- ▶ 增强的 Cache 结构，实地址 Cache4，减少 Cache 的刷新和重载，减少上下文切换的开销；
- ▶ 增强的异常和中断处理使实时任务的处理更加迅速；
- ▶ 支持 Unaligned 和 Mixed-endian 数据访问，使数据共享、软件移植更简单，也有利于节省存储器空间。

对绝大多数应用来说，ARMv6 保持了 100% 的二进制向下兼容，使用户过去开发的程序可以进一步继承下去。ARMv6 保持了所有过去架构中的 T (Thumb 指令) 和 E (DSP 指令) 扩展，使代码压缩和 DSP 处理特点得到延续；为了加速 Java 代码执行速度的 ARM Jazalle 技术也继续在 ARMv6 架构中发挥重要作用。

ARM11 系列微处理器主要有 ARM1136J、ARM1156T2 和 ARM1176JZ 3 个内核型号，以适用于不同的应用场合。

6. ARM Cortex 系列微处理器

ARM 公司在经典处理器 ARM11 以后的产品改用 Cortex 命名 (ARM11 及之前的则重新命名为 Classic 系列)，并分成 A、R 和 M 三类，旨在为各种不同的市场提供服务。

Cortex 系列属于 ARMv7 架构，这是 ARM 公司最新的指令集架构。ARMv7 架构定义了三大分工明确的系列：

- “A”系列面向尖端的基于虚拟内存的操作系统和用户应用；
- “R”系列针对实时系统；
- “M”系列对微控制器。

由于应用领域不同，基于 v7 架构的 Cortex 处理器系列所采用的技术也不相同，基于 v7A 的称为 Cortex-A 系列，基于 v7R 的称为 Cortex-R 系列，基于 v7M 的称为 Cortex-M 系列。

(1) ARM Cortex-A

ARM Cortex-A 系列应用型处理器可向托管丰富 OS 平台和用户应用程序的设备提供全方位的解决方案，从超低成本手机、智能手机、移动计算平台、数字电视和机顶盒到企业网络、打印机和服务器解决方案。高性能的 Cortex-A15、可伸缩的 Cortex-A9、经过市场验证的 Cortex-A8 处理器和高效的 Cortex-A7 和 Cortex-A5 处理器均共享同一架构，因此具有完全的应用兼容性，支持传统的 ARM、Thumb 指令集和新增的高性能紧凑型 Thumb-2 指令集。

Cortex-A15 和 Cortex-A7 都支持 ARMv7A 架构的扩展，从而为大型物理地址访问和硬件虚拟化以及处理 AMBA4ACE 一致性提供支持。同时，这些都支持大小端处理。

ARM 在 Cortex-A 系列处理器大体上可以排序为 Cortex-A57 处理器、Cortex-A53 处理器、Cortex-A15 处理器、Cortex-A9 处理器、Cortex-A8 处理器、Cortex-A7 处理器和 Cortex-A5 处理器。

需要指出的是，单从命名数字来看 Cortex-A7 似乎比 A8 和 A9 低端，但是从 ARM 的官方数据看，A7 的架构和工艺都是仿照 A15 来做的，单个性能超过 A8 并且能耗控制很好。另外 A57 和 A53 属于 ARMv8 架构。

(2) ARM Cortex-R

ARM Cortex-R 实时处理器为要求可靠性、高可用性、容错功能、可维护性和实时响应的嵌入式系统提供高性能计算解决方案。

Cortex-R 系列处理器通过已经在数以亿计的产品中得到验证的成熟技术提供极快的上市速度，并利用广泛的 ARM 生态系统、全球和本地语言以及全天候的支持服务，保证快速、低风险的产品开发。

许多应用都需要 Cortex-R 系列的关键特性。

- 高性能：与高时钟频率相结合的快速处理能力；
- 实时：处理能力在所有场合都符合硬实时限制；
- 安全：具有高容错能力的可靠且可信的系统；
- 经济实惠：可实现最佳性能、功耗和面积的功能。

Cortex-R 系列处理器与 Cortex-M 和 Cortex-A 系列处理器都不相同。显而易见，Cortex-R 系列处理器提供的性能比 Cortex-M 系列提供的性能高得多，而 Cortex-A 系列专用于具有复杂软件操作系统（需使用虚拟内存管理）的面向用户的应用。

(3) ARM Cortex-M

ARM Cortex-M 处理器系列是一系列可向上兼容的高能效、易于使用的处理器，这些处理器旨在帮助开发人员满足将来的嵌入式应用的需要。这些需要包括以更低的成本提供更多功能、不断增加连接、改善代码重用和提高能效。

Cortex-M 系列针对成本和功耗敏感的 MCU 和终端应用（如智能测量、人机接口设备、汽车和工业控制系统、大型家用电器、消费性产品和医疗器械）的混合信号设备进行过优化。

1.1.3 常用的 ARM 芯片

目前在嵌入式系统中比较常用的 ARM 芯片有 S3C2440A 和 S5PV210。

1. S3C2440A 简介

S3C2440A 是三星推出的一款基于 ARM920T 核心、0.13 μm 的 CMOS 标准宏单元和存储器单元的微处理器。S3C2440A 具备的低功耗、简单、精致且全静态的设计特别适合于低成本和功率敏感型的应用。它采用了新的总线架构如先进微控制总线构架 (AMBA)。S3C2440A 的主频为 400MHz, 最高可以达到 533MHz。

S3C2440A 的突出特点是其处理器核心, ARM920T 实现了 MMU、AMBA 总线和哈佛结构高速缓冲体系结构。这一结构具有独立的 16KB 指令高速缓存和 16KB 数据高速缓存。每个都是由具有 8 字长的行 (line) 组成。

通过提供一套完整的通用系统外设, S3C2440A 减少整体系统成本, 无须配置额外的组件。S3C2440A 集成了以下片上功能:

- 1.2V 内核供电、1.8V/2.5V/3.3V 存储器供电、3.3V 外部 I/O 供电, 具备 16KB 的指令缓存和 16KB 的数据缓存和 MMU 的微处理器;
- 外部存储控制器 (SDRAM 控制和片选逻辑);
- LCD 控制器 (最大支持 4K 色 STN 和 256K 色 TFT) 提供 1 通道 LCD 专用 DMA;
- 4 通道 DMA 并有外部请求引脚;
- 3 通道 UART (IrDA1.0、64 字节发送 FIFO 和 64 字节接收 FIFO);
- 2 通道 SPI;
- 1 通道 I²C 总线接口 (支持多主机);
- 1 通道 IIS 总线音频编码器接口;
- AC'97 编解码器接口;
- 兼容 SD 主接口协议 1.0 版和 MMC 卡协议 2.11 兼容版;
- 2 通道 USB 主机/1 通道 USB 设备 (1.1 版);
- 4 通道 PWM 定时器和 1 通道内部定时器/看门狗定时器;
- 8 通道 10 位 ADC 和触摸屏接口;
- 具有日历功能的 RTC;
- 摄像头接口 (最大支持 4096 \times 4096 像素输入; 2048 \times 2048 像素输入支持缩放);
- 130 个通用 I/O 口和 24 通道外部中断源;
- 具有普通、慢速、空闲和掉电模式;
- 具有 PLL 片上时钟发生器。

2. S5PV210 简介

S5PV210 又名“蜂鸟” (Hummingbird), 是三星推出的一款适用于智能手机和平板式计算机等多媒体设备的应用处理器, S5PV210 和 S5PC110 功能一样, 110 小封装适用于智能手机, 210 封装较大, 主要用于平板式计算机和上网本, 苹果的 iPad 和 iPhone4 上用的 A4 处理器 (三星制造的), 就用的和 S5PV210 一样的架构 (只是 3D 引擎和视频解码部分不同), 三星的 Galaxy Tab 平板式计算机上用的也是 S5PV210。

S5PV210 采用了 ARM Cortex-A8 内核、ARMv7 架构指令集; 主频可达 1GHZ、64/32 位内部总线结构、32/32KB 的数据/指令一级缓存、512KB 的二级缓存, 可以实现

2000DMIPS（每秒运算两亿条指令集）的高性能运算能力。

S5PV210 包含很多强大的硬件编解码功能：

- 内建 MFC (Multi Format Codec)，支持 MPEG-1/2/4、H.263 和 H.264 等格式视频的编解码，支持模拟/数字 TV 输出；
- JPEG 硬件编解码，最大支持 8192×8192 分辨率；
- 内建高性能 PowerVR SGX540 3D 图形引擎和 2D 图形引擎，支持 2D/3D 图形加速，是第五代 PowerVR 产品，其多边形生成率为 2800 万多边形/s，像素填充率可达 2.5 亿/s，在 3D 和多媒体方面比以往大幅提升，能够支持 DX9、SM3.0 和 OpenGL2.0 等 PC 级别显示技术；
- 具备 IVA3 硬件加速器，具备出色的图形解码性能，可以支持全高清、多标准的视频编码，流畅播放和录制 30 帧/s 的 1920×1080 像素的视频文件，可以更快解码更高质量的图像和视频；
- 内建的 HDMI V1.3，可以将高清视频输出到外部显示器上。

S5PV210 的存储控制器支持 LPDDR1、LPDDR2 和 DDR2 类型的 RAM，Flash 支持 OneNand、Nand Flash 和 Nor Flash 等。

S5PV210 提供的资源非常丰富，包括：

- 具有 NEON 单元，可加速浮点运算和信号处理算法，可用于多媒体应用；
- 使用 AMBA3.0 标准中的 AXI 总线，可挂载加密引擎和音频数字信号处理器等；
- 片内自带 64KB 安全启动代码区 ROM 和可安全性区域配置的 96KB 片内 RAM；
- 具有 1 个 RTC (Real Time Clock) 实时时钟；
- 具有 4 个 PLL (Phase Locked Loop) 锁相环；
- 具有 5 个定时器 (timer) 支持 PWM (脉宽调制)；
- 具有 1 个看门狗定时器 (WatchdogTimer)；
- 具有 24 通道 DMA (Direct Memory Access)：8 通道用于内存到内存，16 通道用于外围总线接口；
- 支持 14×8 矩阵键盘；
- 具有 10 个的 12 位 IO 复用 ADC；
- 音频接口模块：3 个 24 位 IIS 总线接口，1 路 SPDIF 数字音频接口，1 个 AC'97 编解码接口，3 通道 PCM 串行接口；
- 存储接口：支持 4 路 SDIO 接口，ATA/ATAPI-6 转输接口；
- 连接接口：支持 USB2.0 OTG (主从可切换)，4 路 UART 串行接口，3 路 I²C 总线接口，2 路高速 SPI 总线接口，1 个调制解调接口；
- 237 个 GPIO (通用处理输入输出接口)。

1.2 嵌入式系统的硬件构成

1.2.1 Micro2440 核心板的构成

图 1-2 所示为 FriendlyARM (友善之臂) 的 Micro2440 核心板布局图，它采用 6 层板设

计，并使用等长布线以满足信号完整性要求。

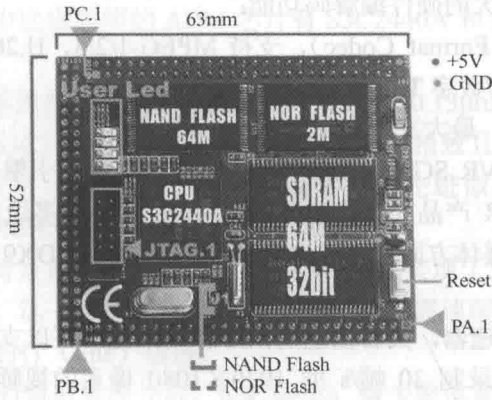


图 1-2 Micro2440 核心板布局图

1. S3C2440A 地址空间分配和片选信号定义

S3C2440A 支持两种启动模式：从 Nand Flash 启动和从 Nor Flash 启动。在此两种启动模式下，各个片选的存储空间分配是不同的，S3C2440A 存储空间分配如图 1-3 所示。

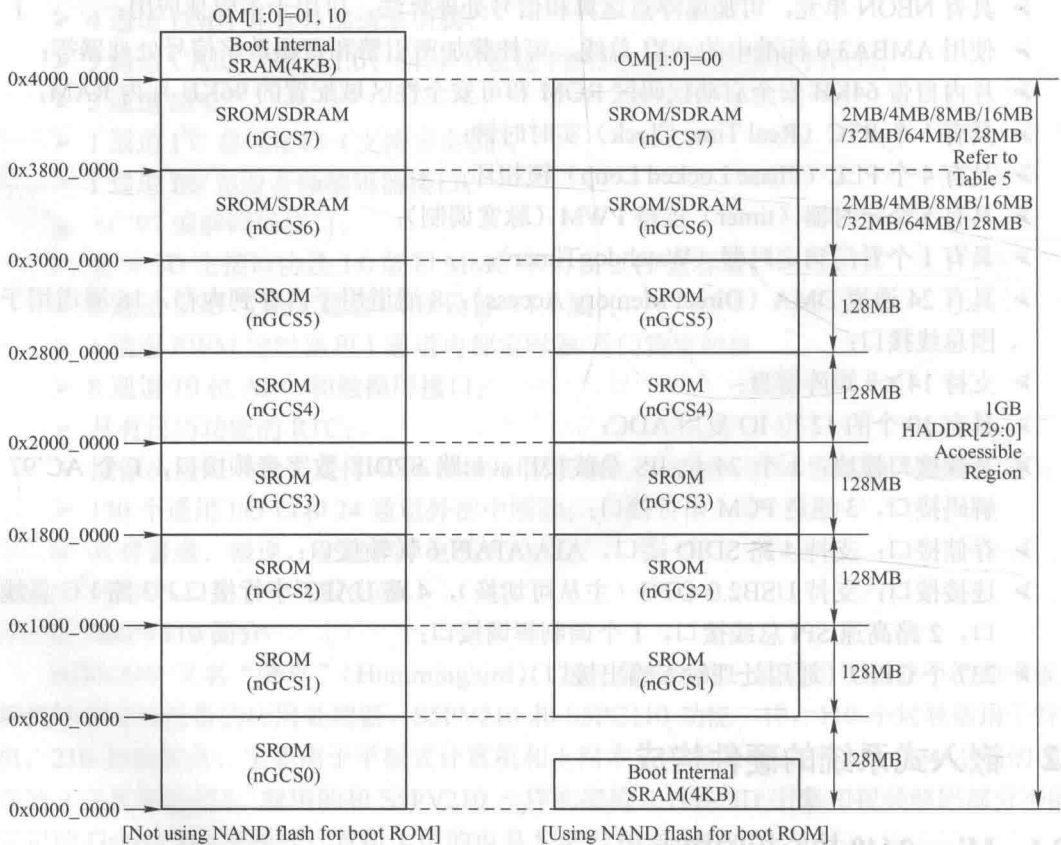


图 1-3 S3C2440A 存储空间分配

从图 1-3 可以看出：

- 图 1-3 中指出了器件地址空间分配和其片选定义；
 - 图 1-3 左侧是 nGCS0 片选的 Nor Flash 启动模式下的存储空间分配图；
 - 图 1-3 右侧是 Nand Flash 启动模式下的存储空间分配图。
- 可见，nGCS0 片选的空间在不同的启动模式下，映射的器件是不一样的：
- 在 NAND Flash 启动模式下，内部的 4KB BootSRAM 被映射到 nGCS0 片选的空间；
 - 在 Nor Flash 启动模式下（非 Nand Flash 启动模式），与 nGCS0 相连的外部存储器 Nor Flash 就被映射到 nGCS0 片选的空间；
 - 由于 Nor Flash 存储器价格较高，相对而言 SDRAM 和 Nand Flash 存储器更经济，这样促使了一些用户在 Nand Flash 中执行引导代码，在 SDRAM 中执行主代码。
 - S3C2440A 引导代码可以在外部 Nand Flash 存储器上执行。为了支持 Nand Flash 的 bootloader，S3C2440A 配备了一个内置的 SRAM 缓冲器，如图 1-3 所示：Boot Internal SRAM，称为：Steppingstone。引导启动时，Nand Flash 存储器的开始 4KB 将被加载到 Steppingstone 中并且执行加载到 Steppingstone 的引导代码。
 - 通常引导代码会复制 Nand Flash 的内容到 SDRAM 中。通过使用硬件 ECC，有效地检查 Nand Flash 数据。在复制完成的基础上，将在 SDRAM 中执行主程序。
 - 当复位时，Nand Flash 控制器将通过引脚状态来获取连接的 Nand Flash 的信息，在发生掉电或系统复位后，Nand Flash 控制器自动加载 4KB 的 bootloader 代码。在加载完 bootloader 代码后，Steppingstone 中的 bootloader 代码已经执行了。在此需要注意的是：当自动引导启动期间，ECC 不会去检测，所以，Nand Flash 的开始 4KB 不应当包含位相关的错误。

2. SDRAM 存储系统

(1) SDRAM 简介

SDRAM 的全称是 Synchronous Dynamic Random Access Memory，中文为同步动态随机存储器，其中：

- 同步是指 Memory 工作需要同步时钟，内部的命令的发送与数据的传输都以它为基准；
- 动态是指存储阵列需要不断刷新来保证数据不丢失；
- 随机是指数据不是线性依次存储，而是自由指定地址进行数据读写。

SDRAM 等产品一般又称为内存（相对于外存而言），是计算机中的主要部件，我们平常使用的程序，如 Windows 操作系统、打字软件和游戏软件等，一般都是安装在硬盘等外存上的，但仅此是不能使用其功能的，必须把它们调入内存中运行，才能真正使用其功能。我们平时输入一段文字，或玩一个游戏，其实都是在内存中进行的。就好比在一个书房里，存放书籍的书架和书柜相当于计算机的外存，而我们工作的办公桌就是内存。通常我们把要永久保存的、大量的数据存储在外存上，而把一些临时的或少量的数据和程序放在内存上，当然内存的好坏会直接影响计算机的运行速度。

SDRAM 在计算机中被广泛使用，从起初的 SDRAM 到之后一代的 DDR（或称为 DDR1），然后是 DDR2 和 DDR3 进入大众市场，显卡上的 DDR 已经发展到 DDR5。

(2) SDRAM 芯片的寻址