

嵌入式系统教学系列丛书

嵌入式系统设计 与实例开发实验教材 II

—— 基于 ARM9 微处理器与 Linux 操作系统

魏洪兴 胡 亮 曲学楼 编著



清华大学出版社

嵌入式系统教学系列丛书

嵌入式系统设计与实例开发实验教材 II

——基于 ARM9 微处理器与 Linux 操作系统

魏洪兴 胡 亮 曲学楼 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是“嵌入式系统教学系列丛书”中的一本,以目前最为流行的 ARM 9 嵌入式微处理器和 Linux 操作系统为主要内容,采用案例教学的形式,详细介绍了如何基于 Linux 操作系统构建嵌入式系统平台的过程,包括 Linux 基础编程实验、ARM 硬件接口设计、驱动程序开发、嵌入式图形用户界面 MiniGUI 的开发方法,以及 Linux 内核编程等核心实验案例。

本书可作为高等院校与职业技术学校计算机、软件工程专业嵌入式系统专业课程的教材使用,又可以作为电子工程、工业自动化、仪器仪表与机电工程等专业大三、大四学生的基础平台课和硕士研究生选修课的教材。与此同时,也可以作为广大从事嵌入式技术相关工作的工程技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计与实例开发实验教材 II——基于 ARM 9 微处理器与 Linux 操作系统/魏洪兴,胡亮,曲学楼编著. —北京:清华大学出版社,2005.12

(嵌入式系统教学系列丛书)

ISBN 7-302-11724-1

I. 嵌… II. ①魏… ②胡… ③曲… III. ①微处理器, ARM-系统设计-高等学校:技术学校-教材 ②Linux 操作系统-系统设计-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TP332 ②TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 099934 号

出版者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编:100084
社总机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:钟志芳

文稿编辑:刘 丽

封面设计:范华明

版式设计:杨 洋

印刷者:清华大学印刷厂

装订者:三河市春园印刷有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:18.25 字数:404 千字

版 次:2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-11724-1/TP·7648

印 数:1~4000

定 价:25.00 元

前 言

随着计算机技术的不断发展，嵌入式系统的应用领域也在不断地扩展。它所涉及的领域包括工业控制、消费电子、网络通信、科学研究、军事国防、医疗卫生、航空航天等方面。我们今天所熟悉的电子产品几乎都可以找到嵌入式系统的影子，它从各个方面影响着我们的生活。

学习嵌入式系统，我们推荐学习 ARM 嵌入式处理器，不仅因为 ARM 处理器是一种高性能、低功耗的 RISC 32 位芯片，而且还因为世界上几乎所有的主要半导体厂商都生产基于 ARM 体系结构的通用芯片，或在其专用芯片中嵌入 ARM 的相关技术。S3C2410 芯片由韩国三星公司出品，为 ARM 9 体系结构，最高处理速度为 203MHz，是同类 ARM 处理器中最快的一款，并兼有低功耗、高度集成性等特性，是当今业内应用最广的嵌入式处理器之一。

在嵌入式领域，随着价格低廉、结构小巧、速度越来越快的各种微处理器的产生为外设连接提供了稳定可靠的硬件架构，限制嵌入式系统发展的瓶颈就突出表现在软件方面。Linux 操作系统以其源代码的开放性、可剪裁性，对多种处理器的支持，尤其是对 ARM 体系结构的广泛支持，以及对多任务多文件系统的支持，丰富的网络功能支持等特性。

本实验教材基于北京博创兴业科技有限公司 UP-NETARM2410/UP-NETARM2410-S 在嵌入式领域得到了广泛的应用。UP-NETARM2410 的 CPU 采用 AMR920T 内核的三星 S3C2410 芯片，并对其外围硬件进行了丰富的扩展，目前支持 Linux、 μ C/OS、WinCE 三种操作系统，提供全套的原理图，方便用户进行硬件的设计学习；套件中提供非常丰富的软件资源，可以使用户深入到嵌入式 Linux 的方方面面，是一款很完善的硬件软件教学平台。

本书架构：

第 1 章 嵌入式 Linux 开发基础知识篇，对基于 ARM 体系结构的嵌入式 Linux 开发流程以及开发环境的配置进行了详细的介绍。

第 2 章 基础实验篇，安排了 9 个基本的实验，目的在于熟悉 Linux 下应用程序的开发及交叉编译，结合 ARM 外围基本接口电路，熟悉硬件软件结合编程的基本知识。

第 3 章 MiniGUI 图形应用程序设计篇，结合 UP-NETARM2410 教学平台，详细介绍了 MiniGUI 图形用户界面程序的开发过程。

第 4 章 内核实验篇，介绍了 Linux 内核移植与编译及内核、根文件系统烧写实验。

第 5 章 驱动模块实验篇，详细介绍了 Linux 下设备驱动程序的开发以及设备的使用。

本书由魏洪兴、胡亮、曲学楼教授组织编写，其间得到了北京博创兴业科技有限公司的大力支持，他们为本书提供了大量的资料和实验案例，在此深表感谢。书中涉及到光盘的内容可到北京博创兴业科技有限公司的网站 www.up-tech.com 下载。

虽然，在编写本书的时候已经尽力保证本书内容的正确性，但由于时间仓促，且自身能力有限难免会有疏漏存在，恳请各位读者提出宝贵意见，为此将不胜感激。最后希望本书能够对嵌入式系统的了解、应用和推广有所帮助，同时也借本书感谢所有帮助过我们的人，感谢国内嵌入式 Linux 的先行者。

再次恳请各位读者提出宝贵意见！

作者
2005.10.1

目 录

第 1 章 嵌入式 Linux 开发基础知识	1
1.1 嵌入式 Linux 简介	1
1.2 嵌入式 Linux 开发平台简介	2
1.3 嵌入式 Linux 开发流程	6
1.4 建立嵌入式 Linux 开发环境	8
一、预备知识	8
二、对开发 PC 机的性能要求	8
三、开发工具软件的安装与配置	9
四、Linux 开发软件的安装目录结构	14
第 2 章 基础实验	16
2.1 熟悉 Linux 开发环境	16
一、实验目的	16
二、实验内容	16
三、预备知识	16
四、实验设备及工具（包括软件调试工具）	16
五、实验步骤	16
2.2 多线程应用程序设计	18
一、实验目的	18
二、实验内容	18
三、预备知识	18
四、实验设备及工具	18
五、实验原理	18
六、实验步骤	24
七、思考题	26
2.3 串行端口程序设计	26
一、实验目的	26
二、实验内容	26
三、预备知识	26
四、实验设备及工具	27
五、实验原理	27
六、实验步骤	30

七、思考题.....	33
2.4 A/D 接口实验.....	33
一、实验目的.....	33
二、实验内容.....	33
三、预备知识.....	33
四、实验设备及工具.....	33
五、实验原理.....	34
六、实验步骤.....	38
七、思考题.....	40
2.5 D/A 接口实验.....	40
一、实验目的.....	40
二、实验内容.....	40
三、预备知识.....	40
四、实验设备及工具.....	40
五、实验原理.....	41
六、实验步骤.....	44
七、思考题.....	45
2.6 CAN 总线通信实验.....	45
一、实验目的.....	45
二、实验内容.....	45
三、预备知识.....	45
四、实验设备及工具.....	45
五、实验原理.....	46
六、实验步骤.....	51
七、思考题.....	51
2.7 GPS 通信实验.....	52
一、实验目的.....	52
二、实验内容.....	52
三、预备知识.....	52
四、实验设备及工具.....	52
五、实验原理.....	52
六、实验步骤.....	55
七、思考题.....	56
2.8 GPRS 通信实验.....	56
一、实验目的.....	56
二、实验内容.....	56
三、预备知识.....	56

四、实验设备及工具.....	56
五、实验原理.....	56
六、实验步骤.....	59
七、思考题.....	60
2.9 简单嵌入式 Web 服务器实验	60
一、实验目的.....	60
二、实验内容.....	60
三、预备知识.....	60
四、实验设备及工具.....	60
五、实验原理及说明.....	60
六、模块设计.....	64
七、实验步骤.....	67
八、思考题.....	67
第 3 章 MiniGUI 图形应用程序设计	68
3.1 MiniGUI 的配置与安装.....	68
一、实验目的.....	68
二、实验内容.....	68
三、预备知识.....	68
四、实验设备及工具.....	68
五、实验原理.....	68
六、实验步骤.....	70
3.2 MiniGUI 的程序架构及 Helloworld 程序.....	73
一、实验目的.....	73
二、实验内容.....	73
三、预备知识.....	73
四、实验设备及工具.....	74
五、实验原理.....	74
六、实验步骤.....	74
3.3 MiniGUI——loadbmp 位图实验	79
一、实验目的.....	79
二、实验内容.....	79
三、预备知识.....	80
四、实验设备及工具.....	80
五、实验原理.....	80
3.4 基于 NEWGAL 的高级 GDI 函数——综合例子.....	82
一、实验目的.....	82
二、实验内容.....	82

三、预备知识.....	82
四、实验设备及工具.....	82
五、实验原理.....	83
六、实验步骤.....	92
第 4 章 内核实验.....	94
4.1 Linux 内核移植与编译实验.....	94
一、Linux 内核背景知识.....	94
二、Linux 移植准备.....	95
三、关于交叉编译环境.....	96
四、修改 Linux 内核源码.....	100
五、Linux 内核裁剪.....	104
六、内核的编译.....	115
七、思考题.....	115
4.2 内核、根文件系统烧写实验.....	115
一、配置 minicom.....	116
二、建立通信连接.....	118
三、映像文件烧写过程.....	118
四、烧写注意事项.....	126
第 5 章 驱动模块实验.....	127
5.1 内核驱动设计入门——模块方式驱动实验.....	127
一、实验目的.....	127
二、实验内容.....	127
三、预备知识.....	127
四、实验设备及工具.....	127
五、实验原理.....	127
六、实验步骤.....	146
七、思考题.....	151
5.2 内核驱动设计实验——触摸屏驱动.....	151
一、实验目的.....	151
二、实验内容.....	151
三、预备知识.....	152
四、实验设备及工具.....	152
五、实验原理.....	152
六、实验步骤.....	159
七、思考题.....	168
5.3 系统中断实验——键盘中断的实现.....	168
一、实验目的.....	168

二、实验内容.....	169
三、预备知识.....	169
四、实验设备及工具.....	169
五、实验原理.....	169
六、实验步骤.....	179
七、思考题.....	181
5.4 IC卡读写实验.....	182
一、实验原理.....	182
二、实验步骤.....	198
三、思考题.....	198
5.5 PS/2 键盘鼠标驱动实验.....	198
一、实验目的.....	198
二、实验内容.....	199
三、预备知识.....	199
四、实验设备及工具.....	199
五、实验原理.....	199
六、实验步骤.....	203
5.6 SD 驱动使用实验.....	210
一、实验目的.....	210
二、实验内容.....	210
三、预备知识.....	210
四、实验设备及工具.....	210
五、实验原理.....	210
六、实验步骤.....	220
七、思考题.....	230
八、参考文献.....	230
5.7 IDE_CF 卡模块读写实验.....	232
一、实验目的.....	232
二、实验内容.....	232
三、预备知识.....	232
四、实验设备及工具.....	232
五、实验原理.....	232
六、实验步骤.....	241
5.8 基于 PCMCIA 的 CF 卡读写和无线局域网通信实验.....	244
一、实验目的.....	244
二、实验内容.....	244
三、预备知识.....	244

四、实验设备及工具.....	244
五、实验原理.....	244
六、实验步骤.....	245
七、思考题.....	249
5.9 音频驱动及应用实验.....	249
一、实验目的.....	249
二、实验内容.....	249
三、预备知识.....	249
四、实验设备及工具.....	250
五、实验原理.....	250
六、实验步骤.....	259
附录 A 常用 Linux 命令的使用.....	261
附录 B gcc 与 gdb.....	272
附录 C GNU 通用公共许可证 (GPL1991.6 第二版).....	275

第 1 章 嵌入式 Linux 开发基础知识

目前 Linux 已被广泛应用于信息家电、数据网络、工业控制、医疗卫生、航空航天等众多领域。在嵌入式领域，由于价格低廉、结构小巧的各种微处理器的出现为外设连接提供了稳定可靠的硬件架构，限制嵌入式系统发展的瓶颈就突出表现在软件方面。

尽管从 20 世纪 80 年代末开始，陆续出现了一些嵌入式操作系统，比较著名的有 VxWorks、pSOS、Neculeus 和 Windows CE。但这些专用操作系统都是商业化产品，其高昂的价格使许多低端产品的小公司望而却步，并且其源代码的封闭性也大大限制了开发者的积极性。

结合中国实情，当前国家对自主操作系统的大力支持，为开放源码的 Linux 的推广提供了广阔的发展前景。对上层应用开发者而言，嵌入式系统需要的是一套高度简练、界面友善、质量可靠、应用广泛、易开发、多任务，并且价格低廉的操作系统。Linux 对厂商不偏不倚而且成本极低，因此很快成为用于各种设备的操作系统。如今，业界已经达成共识：即嵌入式 Linux 是大势所趋，其巨大的市场潜力与酝酿的无限商机必然会吸引众多的厂商进入这一领域。

1.1 嵌入式 Linux 简介

Linux 正在嵌入式开发领域稳步发展。因为 Linux 使用 GPL，所以对将 Linux 定制于自己特定开发板或 PDA、掌上机、可佩带设备感兴趣的人都可以从因特网免费下载其内核和应用程序，并开始移植或开发。许多 Linux 改良品种迎合了嵌入式市场。它们包括 RTLinux（实时 Linux）、 μ CLinux（用于非 MMU 设备的 Linux）、Montavista Linux（用于 ARM、MIPS、PPC 的 Linux 分发版）、ARM-Linux（ARM 上的 Linux）和其他 Linux 系统。

嵌入式 Linux 的发展比较迅速。NEC、索尼已经在销售个人视频录像机等基于 Linux 的消费类电子产品，摩托罗拉则计划在其未来的大多数手机上使用 Linux，IBM 也制定了在手持机上运行 Linux 的计划。

数年来，“Linux 标准库”组织一直在从事对在服务器上运行的 Linux 进行标准化的工作，现在，嵌入式计算领域也开始了这一工作。嵌入式 Linux 标准吸引了“Linux 标准库”以及 UNIX 组织中有益的元素。

在嵌入式系统中使用 Linux 的优点和缺点

虽然大多数 Linux 系统运行在 PC 平台上，但 Linux 也可以作为嵌入式系统的操作系统。Linux 的安装和管理比 UNIX 更加简单灵活，这对于那些 UNIX 专家们来说又是

一个优点, 因为 Linux 中有许多命令和编程接口同传统的 UNIX 一样。但是对于习惯于 Windows 操作系统的人来说, 需要记忆大量的命令行参数却是一个缺点。随着 Linux 社团的不断努力, Linux 的人机界面开发环境正在不断完善。

典型的 Linux 系统经过打包, 在拥有硬盘和大容量内存的 PC 机上运行, 而嵌入式系统不需要这么高的配置。一个功能完备的 Linux 内核要求大约 1 MB 内存。而 Linux 微内核只占用其中很小一部分内存, 包括虚拟内存和所有核心的操作系统功能在内, 只需占用系统约 100KB 内存。只要有 500KB 的内存, 一个有网络栈和基本实用程序的完全的 Linux 系统就可以在一台 8 位总线 (SX) 的 Intel 386 微处理器上运行得很好了。由于内存要求常常是由应用的需要所决定的, 例如 Web 服务器或者 SNMP 代理, Linux 系统甚至可以仅使用 256 KB ROM 和 512 KB RAM 进行工作。因此它是一个瞄准嵌入式市场的轻量级操作系统。

与传统的实时操作系统 (RTOS) 相比, 采用像嵌入式 Linux 这样的开放源码的操作系统的另外一个好处是 Linux 开发团体看来会比 RTOS 的供应商更快地支持新的 IP 协议和其他协议。例如, 用于 Linux 的设备驱动程序要比用于商业操作系统的设备驱动程序多, 如网络接口卡 (NIC) 驱动程序以及并口、串口驱动程序。

Linux 操作系统本身的微内核体系结构相当简单。网络和文件系统以模块形式置于微内核的上层。驱动程序和其他部件可在运行时作为可加载模块编译到或者是添加到内核。这为构造定制的可嵌入式系统提供了高度模块化的构件方法。而在典型情况下该系统需结合定制的驱动程序和应用程序以提供附加功能。

嵌入式系统也常常要求通用的功能, 为了避免重复劳动, 这些功能的实现运用了许多现成的程序和驱动程序, 它们可以用于公共外设和应用。Linux 可以在外设范围广泛的多数微处理器上运行, 并早已经具备了现成的应用库。

Linux 用于嵌入式的因特网设备也是很合适的, 原因是它支持多处理器系统, 该特性使 Linux 具有了伸缩性。因而设计人员可以选择在双处理器系统上运行实时应用, 提高整体的处理能力。例如, 可以在一个处理器运行 GUI, 同时在另一个处理器上运行 Linux 系统。

在嵌入式系统上运行 Linux 的一个缺点是 Linux 体系提供实时性能需要添加实时软件模块。而这些模块运行的内核空间正是操作系统实现调度策略、硬件中断异常和执行程序的部分。由于这些实时软件模块是在内核空间运行的, 因此代码错误可能会破坏操作系统从而影响整个系统的可靠性, 这对于实时应用将是一个非常严重的弱点。尽管如此, 已经有许多嵌入式 Linux 系统的示例, 可以有把握地说, 某种形式的 Linux 能在几乎任一台执行代码的计算机上运行。

1.2 嵌入式 Linux 开发平台简介

嵌入式 Linux 可以运行的硬件平台十分广泛, 从 x86、MIPS、POWERPC 到 ARM, 以

及其他许多硬件体系结构。目前在世界范围内, ARM 体系结构的 SOC 逐渐占领 32 位嵌入式微处理器市场, 并且在国内市场上很容易购买到 ARM 核的嵌入式处理器, 我们所介绍的硬件平台也是基于 ARM 体系结构的, 由北京博创兴业科技有限公司开发的 UP-NetARM3000 和 UP-NetARM2410/UP-NetARM2410-S 实验仪器。

UP-NetARM3000 的 CPU 为 AMR7TDMI 内核的三星 S3C44B0X01 芯片, 由于没有 MMU, 只能运行 μ CLinux, UP-NetARM2410 的 CPU 为 AMR920T 内核的三星 S3C2410 芯片, 由于有 MMU, 就可以运行标准的 ARM-Linux 内核。通过这两个平台, 可以学习嵌入式 Linux 中的针对有 MMU 和无 MMU 的不同开发过程。UP-NetARM3000 及其他产品的资料可以访问博创公司的网站 www.up-tech.com 获得。这里针对 UP-NetARM2410 作详细的介绍。

1. 硬件配置

UP-NetARM2410 的硬件配置如表 1-1 所示, 实物如图 1-1 所示。

表 1-1 UP-NetARM2410 的硬件配置

配置名称	型号	规格
CPU	ARM920T 结构芯片三星 S3C2410X	工作频率为 203MHz
以太网	AX88796	10/100Mbps 自适应
Flash 盘	SAMSUNG K29F2808	64MB
内存 SDRAM	HY57V561620BT-H	32MB×2=64MB
LCD	STN 240×320 256 色 TFT 640×480 24 位色	
键盘 LED 数码管驱动器	ZLG7290	17 键数字小键盘
触摸屏	FM7843 驱动	
USB 主从接口	USB1.1	
串口	RS232	2 个
AD	3 个电位器控制输入	
调试接口	JTAG, 14 针、20 针	JTAG 烧写 Flash
音频输出	IIS 总线, UDA1341 芯片, 44.1kHz 音频	
扩展插槽	3 个 168Pin	总线直接扩展
DA 扩展板		DA 转换
SD 卡扩展板		
GPS_GPRS 扩展板	SIMCOM 的 SIM100-E 模块	支持双道语音通信
PS/2&IC_CARD 扩展板		外接键盘鼠标和 IC 卡
CAN 扩展板		
IDE_CF 卡展板		

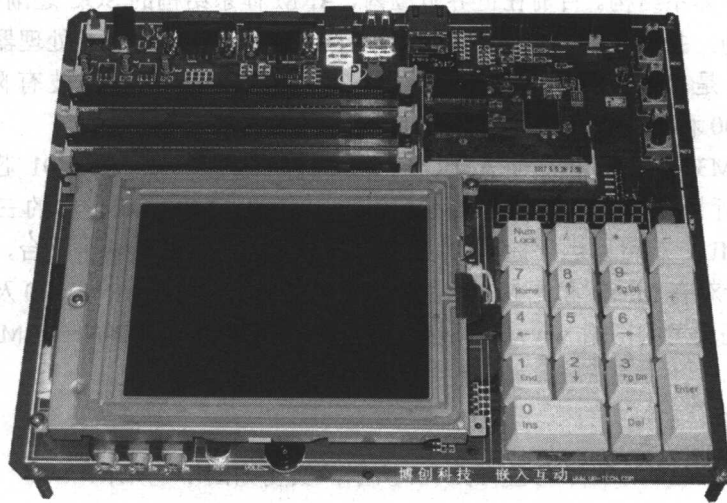


图 1-1 UP-NetARM2410 实物图

2. S3C2410 芯片介绍

(1) S3C2410X 芯片集成了大量的功能单元，包括：

- 内部 1.8V，存储器 3.3V，外部 I/O 3.3V，16KB 数据 CACHE，16KB 指令 CACHE，MMU。
- 内置外部存储器控制器（SDRAM 控制和芯片选择逻辑）。
- LCD 控制器，一个 LCD 专用 DMA。
- 4 个带外部请求线的 DMA。
- 3 个通用异步串行端口（IrDA1.0, 16-Byte Tx FIFO, and 16-Byte Rx FIFO），2 通道 SPI。
- 一个多主 I²C 总线，一个 I²S 总线控制器。
- SD 主接口版本 1.0 和多媒体卡协议版本 2.11 兼容。
- 两个 USB HOST，一个 USB DEVICE（VER1.1）。
- 4 个 PWM 定时器和一个内部定时器。
- 看门狗定时器。
- 117 个通用 I/O。
- 24 个外部中断。
- 电源控制模式：标准、慢速、休眠、掉电。
- 8 通道 10 位 ADC 和触摸屏接口。
- 带日历功能的实时时钟。
- 芯片内置 PLL。
- 设计用于手持设备和通用嵌入式系统。
- 16/32 位 RISC 体系结构，使用 ARM920T CPU 核的强大指令集。
- 带 MMU 的先进的体系结构支持 WinCE、EPOC32、Linux。

- 指令缓存 (CACHE)、数据缓存、写缓冲和物理地址 TAG RAM, 减小了对主存储器带宽和性能的影响。
 - ARM920T CPU 核支持 ARM 调试的体系结构。
 - 内部先进的位控制器总线 (AMBA) (AMBA2.0, AHB/APB)。
- S3C2410X 芯片其结构图如图 1-2 所示。

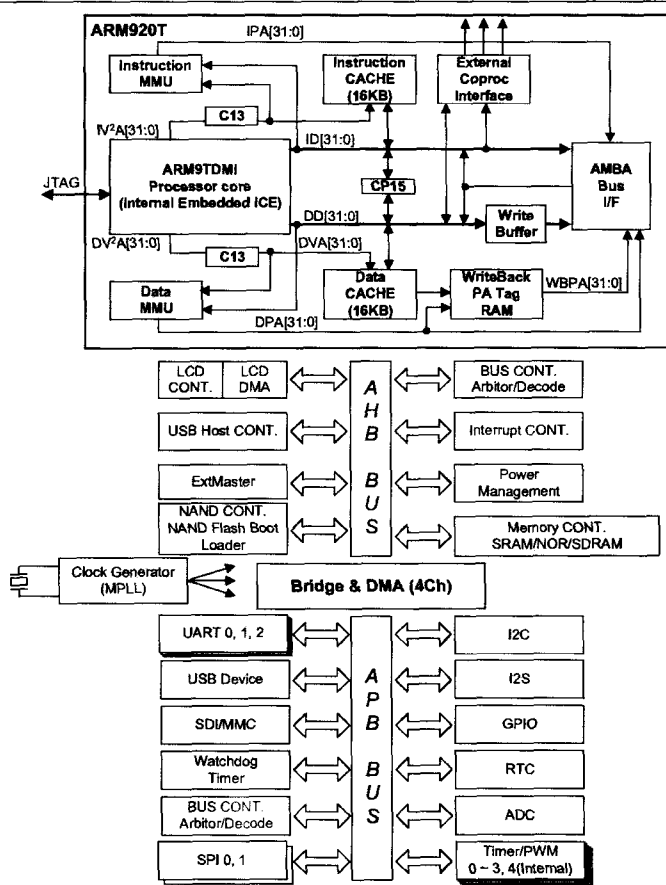


图 1-2 S3C2410X 芯片

(2) 系统管理

- 小端/大端支持。
- 地址空间: 每个 BANK128MB (全部为 1GB)。
- 每个 BANK 可编程为 8/16/32 位数据总线。
- BANK 0 到 BANK 6 为固定起始地址。
- BANK 7 可编程 BANK 起始地址和大小。
- 一共 8 个存储器 BANK。
- 6 个存储器 BANK 用于 ROM、SRAM 和其他。

