



电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

基于LPC3250的 嵌入式Linux系统开发

桂电-丰宝联合实验室 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

基于 LPC3250 的 嵌入式 Linux 系统开发

桂电-丰宝联合实验室 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以 NXP 最新推出的 LPC3250 芯片为例,从硬件系统(LINPO-PS-LPC3250 开发板)的设计到嵌入式 Linux 系统的移植及为新硬件编写设备驱动,全面介绍了嵌入式 Linux 系统的开发过程。内容涵盖 LINPO-PS-LPC3250 开发板的硬件设计;Linux 操作系统的安装,相关工具的使用、配置,嵌入式编程所需的基础知识(常用 Linux 命令、Script 编程、交叉编译工具的选项设置、Makefile 语法等),向目标板部署引导程序、内核和根文件系统映像;Kickstart、Stage1 阶段的启动流程及 Nand、SPI 芯片驱动开发;U-Boot 的代码结构、启动流程及 Nand 芯片的驱动及以太网芯片驱动;Linux 系统层次的设备驱动编程基础,以太网、I²C 设备的驱动设计等。

本书以 LINPO-PS-LPC3250 开发板的 Linux 系统移植及驱动开发为例,紧扣实际开发过程的每个环节,使读者比较容易掌握整个嵌入式系统的开发方法。本书可以作为电气与电子信息类相关专业高年级本科生和研究生教材,也可作为从事通信、电子及计算机等领域的、与嵌入式软硬件设计相关的工程师的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

基于 LPC3250 的嵌入式 Linux 系统开发 / 桂电-丰宝联合实验室编著. —北京: 电子工业出版社, 2010.3
电子信息与电气学科规划教材. 电子信息科学与工程类专业
ISBN 978-7-121-10447-3

I. 基… II. 桂… III. Linux 操作系统—程序设计—高等学校—教材 IV.TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 031489 号

责任编辑: 凌 毅 特约编辑: 张 莉

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

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: 787×1092 1/16 印张: 16.5 字数: 422 千字

印 次: 2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册 定价: 35.00 元

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

服务热线: (010) 88258888。

前 言

嵌入式技术是当前发展最快、应用最广、最有发展前景的应用技术之一。嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，软/硬件可裁剪的，能够适应实际应用中对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。随着嵌入式技术的发展，嵌入式系统已经逐渐渗透到我们生活的各个方面——家用电器、玩具、汽车、电视、医疗仪器、工业控制、仪器仪表、移动计算设备、网络设备等。技术的迅速发展带来了人才的旺盛需求，但是嵌入式系统，尤其是嵌入式 Linux 系统的开发对开发者的综合能力要求比较高，开发者不仅需要了解硬件，也需要了解软件；不仅需要看懂电路原理图，看懂芯片数据手册，还需要了解操作系统及相关的编程技术，并且在调试的过程中需要用到的工具五花八门，这常常使初学者望而却步。

嵌入式技术是一门实践性很强的技术，因此，本书的编写以工程实践为指导、以嵌入式 Linux 系统开发流程为主线，紧扣开发过程的每个阶段展开内容，使读者可以边阅读，边跟着书中的内容实践，有些难点内容甚至可以先用后学，这样才能逐步提高学习嵌入式 Linux 的兴趣。

本书以 LINPO-PS-LPC3250 的开发板为例，从硬件系统的构成到嵌入式 Linux 系统的移植及为新硬件编写设备驱动，一步步展开每个阶段的内容。“LINPO-PS-LPC3250 的 Linux 系统移植”是“桂电-丰宝联合实验室”继“LPC2400 系列 ARM 实验教学平台”的另一个成功的合作开发项目，在此基础上，由上海丰宝科技有限公司资助并与桂林电子科技大学合作编写了这本基于 LPC3250 的嵌入式 Linux 系统开发教材，以求达到理论与实践的高度统一。

本书共 6 章，包括 4 个部分，分别为：嵌入式系统概述、LPC32xx 系统处理器简介及 LINPO-PS-LPC3250 开发板的硬件设计、Linux 内核的生成和移植及不同阶段设备驱动的编写。第一部分为第 1 章，即嵌入式系统概述，介绍嵌入式系统的基本概念、嵌入式处理器的分类和常用的嵌入式操作系统；第二部分为嵌入式系统的硬件平台基础，即第 2 章，介绍基于 LPC3250 的嵌入式硬件平台。内容包括 LPC3250 处理器的芯片资源、内置的系统启动过程、时钟和功率控制、中断控制器及由上海丰宝电子有限公司开发的 LINPO-PS-LPC3250 开发板硬件设计。第三部分为嵌入式 Linux 系统移植，即第 3 章，介绍在基于 LPC3250 的嵌入式开发板上移植 Linux 的过程，其中包括如何配置和建立系统，如何向目标板部署引导程序、内核和根文件系统映像。第四部分为设备驱动开发，即第 4~6 章，该部分包括 3 个层次，第一层次是进入 Stage1 之前的设备驱动，主要介绍目标板的串行口、Nand、SPI 芯片驱动及用 VC++ 开发的串行口装载工具，使读者不需要额外的仿真器，利用串行口就可以直接加载 Kickstart、Stage1 甚至 U-Boot；第二层次是进入 U-Boot 之前的芯片驱动，主要讨论 U-Boot 的代码结构、启动流程、Nand 芯片的驱动及以太网芯片驱动；第三层次是 Linux 系统层次的设备驱动，主要介绍以太网、I²C 等设备的驱动设计。附录部分介绍常用 Linux 命令和 Script 编程，内容包括 Linux 常用命令、Shell 脚本编程、交叉编译工具的使用说明、Makefile 规则及常用函数、代码阅读、编辑工具 Source Insight 和 Kscope。

与“与芯片无关”类的嵌入式书籍相比，本书的开发板例子采用 NXP 最新推出的 LPC3250 处理器，本书的例子都是在开发板上运行调试过的，可以在开发板上直接使用；而“与芯片无

关”类的书籍，书上的例子读者是需要根据具体芯片对程序做相应的改动才能使用的，但对一般的初学者来说，这常常是比较困难的；而且先用后学式的学习方法对提高初学者的兴趣是很有帮助的。

本书适合作为高等院校电子信息类、计算机类、自动控制类和机械电子类等高年级本科生及研究生“嵌入式 Linux 系统理论与实践”课程的教材，也可供从事嵌入式系统设计的工程技术人员参考。

本书由张红梅担任主编，由“桂电-丰宝联合实验室”的教师和工程师共同策划和编写，其中参与策划和编写的有张红梅、魏艺海、张向利、欧阳宁、黄建华、宾辰忠、牛晓东、傅钿。本书各章的编写分工如下：欧阳宁编写第 1 章，宾辰忠编写第 2 章的 2.1~2.5 节，牛晓东编写第 2 章的 2.6 节，张向利编写第 3 章、第 4 章的 4.1~4.2 节、第 6 章的 6.7 节，张红梅编写第 4 章的 4.3~4.6 节、第 6 章的 6.1~6.5 节和附录 D，黄建华编写第 5 章及附录 A~C，傅钿编写第 6 章的 6.6 节。全书由张红梅负责统稿工作，刘文正、冯欢、宋天楹对本书进行了认真的校对。

特别感谢桂林电子科技大学欧阳缮教授、刘永根副研究员，上海丰宝电子科技有限公司朱玉峰先生，恩智浦半导体（上海）有限公司王维先生，华东理工大学王行愚教授、牛玉刚教授、卿湘运博士给予的大力支持。项目实施的过程中遇到问题时，得到了恩智浦半导体（北京）有限公司王鹏鹏女士很多有益的帮助，在此特别感谢。

由于时间仓促及作者水平有限，书中难免存在遗漏和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者
2009 年 12 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统概论	1
1.1.1 嵌入式系统的定义	1
1.1.2 嵌入式系统的组成	2
1.1.3 嵌入式系统的特点	2
1.2 嵌入式处理器	3
1.2.1 嵌入式处理器的分类	3
1.2.2 ARM 处理器	5
1.3 嵌入式操作系统	8
1.3.1 操作系统的概念	8
1.3.2 嵌入式 Linux	9
1.3.3 μ C/OS-II	10
1.3.4 Windows CE	10
1.3.5 VxWorks	10
1.3.6 IAR PowerPac	10
第 2 章 LPC3250 处理器简介	12
2.1 LPC3250 特点及结构	12
2.1.1 LPC3250 结构	12
2.1.2 LPC3250 特点	13
2.2 LPC3250 总线结构及地址映射	14
2.2.1 LPC3250 总线结构	14
2.2.2 LPC3250 地址映射	15
2.3 LPC3250 启动过程	18
2.3.1 启动流程综述	18
2.3.2 服务启动流程	19
2.3.3 正常启动流程	21
2.4 LPC3250 时钟及功耗控制	27
2.4.1 时钟及功耗控制概述	27
2.4.2 LPC3250 内部时钟	27
2.4.3 LPC3250 的 PLL 功能及使用方法	29
2.5 LPC3250 中断控制器	33
2.5.1 中断控制器概述	33
2.5.2 中断控制器功能描述	33
2.6 LINPO-PS-LPC32xx 开发板硬件设计	35

2.6.1	CPU 部分	35
2.6.2	系统配置	39
2.6.3	外部存储器硬件设计	39
2.6.4	LPC3250 电源管理设计	46
2.6.5	LPC3250 连接 TFT LCD 液晶设计	48
2.6.6	LPC3250 USB 接口设计	50
2.6.7	LPC3250 以太网电路设计	50
2.6.8	LPC3250 I ² S 音频接口设计	52
2.6.9	LPC3250 SD 卡接口设计	52
2.6.10	LPC3250 I ² C 接口设计	52
第 3 章	内核生成与移植	55
3.1	BSP 介绍	55
3.2	建立开发环境	56
3.2.1	硬件连接	56
3.2.2	主机的 Linux 安装与配置	57
3.2.3	设置 LTIB、配置和建立 Linux 系统	72
3.3	系统部署	76
3.3.1	安装 U-Boot	76
3.3.2	设置网络开发环境	77
3.3.3	配置 U-Boot 环境	78
3.3.4	引导网络系统	79
3.3.5	设置 Nand 引导系统	79
3.3.6	在 SD 卡上安装 ext2 根文件系统	82
3.3.7	用 Windows 主机设置快速 demo	83
3.3.8	系统引导	83
3.4	功能演示	89
3.4.1	LCD	89
3.4.2	触摸屏	89
3.4.3	USB	90
3.4.4	以太网	92
3.5	应用开发	93
3.5.1	标准 Linux 应用的部署	93
3.5.2	mp3play	93
3.5.3	Qtopia	94
3.5.4	开发用户应用	95
3.5.5	VFP 支持的应用	96
3.6	BSP 移植到定制的目标板	96
3.7	常用工具及资源	96
3.7.1	LTIB 命令	96

3.7.2	BSP 文件	97
3.7.3	U-Boot 补丁	97
3.7.4	Kernel 补丁	97
3.7.5	预建立的工具链	97
3.7.6	可使用的链接	97
3.8	常见问题解答	98
第 4 章	BootLoader 之 Stage1 阶段的芯片驱动	101
4.1	KS 的操作过程及实现的功能	101
4.1.1	KS 操作	102
4.1.2	Stage1 应用	103
4.2	S1L 的操作过程及实现的功能	103
4.2.1	S1L 操作过程	103
4.2.2	资源使用	103
4.3	通用驱动库的介绍 (CDL)	114
4.3.1	软件结构	115
4.3.2	软件包	115
4.3.3	软件包安装	116
4.3.4	CodeSourcery GNU 工具支持	116
4.3.5	Build 软件	116
4.4	KS 和 S1L 及烧写工具 Restore 的编程实现	122
4.4.1	KS 的编程实现	122
4.4.2	S1L 的编程实现	124
4.5	restore 程序	135
4.5.1	restore 的源代码	135
4.5.2	将 restore 程序下载到目标板运行	141
4.6	Nand Flash 芯片介绍和 Nand 控制器的使用	145
第 5 章	Bootloader 之 U-Boot 阶段的启动过程及芯片驱动	158
5.1	U-Boot 简介	158
5.2	U-Boot 的源代码结构和使用方法	159
5.2.1	源代码结构	159
5.2.2	U-Boot 的启动流程	160
5.2.3	U-Boot 的配置和编译	163
5.2.4	U-Boot 的使用	164
5.3	U-Boot 的移植	169
5.4	U-Boot 设备驱动程序的编写	170
5.4.1	U-Boot 中与设备有关的数据结构	170
5.4.2	Nand Flash 的 U-Boot 驱动	171
5.4.3	以太网控制器的 U-Boot 驱动	173

5.5 U-Boot 命令的添加	183
第 6 章 Linux Kernel 加载移植及设备驱动	188
6.1 Linux 内核简介	188
6.1.1 Linux2.6 内核的特点	188
6.1.2 Linux 内核源代码目录结构	189
6.2 Linux Makefile 分析	190
6.3 Linux 内核的引导	195
6.4 Linux 内核模块编程基础	196
6.4.1 Linux 内核模块简介	196
6.4.2 Linux 内核编程基础	197
6.4.3 Linux 内核模块命令	198
6.4.4 模块加载函数	199
6.4.5 模块卸载函数	199
6.4.6 模块的使用计数	199
6.4.7 模块的编译	200
6.5 Linux 设备驱动程序开发	201
6.6 I ² C 设备驱动	206
6.6.1 I ² C 总线介绍	206
6.6.2 LM75A 温度传感器	206
6.6.3 I ² C 驱动程序编写范例	207
6.7 Linux 网络设备驱动	211
6.7.1 初始化	212
6.7.2 打开	213
6.7.3 发送	214
6.7.4 接收	215
6.7.5 关闭	217
6.7.6 退出	218
附录 A Linux 常用命令	219
A.1 Linux 的树形目录结构	219
A.2 文件/目录处理命令	220
A.3 挂接和卸载文件系统的命令	223
A.4 进程处理命令	223
A.5 备份与压缩命令	223
A.6 磁盘管理命令	225
A.7 网络命令	226
A.8 软件安装命令	231

附录 B Linux 的 shell 编程	233
B.1 shell 程序的变量和参数	233
B.2 shell 程序设计的流程控制	234
B.3 运行 shell 程序的方法	237
B.4 LTIB 中 shell 脚本的例子	238
附录 C Linux 编程基础	240
C.1 编译器 GCC 的使用	240
C.2 用 gdb 调试 GCC 程序	241
C.3 Makefile	243
附录 D 代码阅读、编辑工具	250
D.1 Source Insight	250
D.2 Kscope	253
参考文献	254

第1章 嵌入式系统概述

1.1 嵌入式系统概论

1.1.1 嵌入式系统的定义

在科学技术高速发展的今天,从厨房的电饭煲、微波炉、电冰箱到客厅里的家庭媒体中心,各种智能化设备已经遍布我们的周围。此时,我们听到最多的一个词便是“嵌入式系统”。现在,嵌入式系统带来的工业年产值已超过了1万亿美元,它已经成为信息技术(IT)产业争夺的重点。目前,中国嵌入式系统的主要客户分布在电信、医疗、汽车、安全和消费类等行业。其中消费类电子领域占据了嵌入式最大的市场份额,约占36%,紧随其后的是安全占26%,其次是电信、医疗及其他各占20%、8%和10%。

那么,什么才是“嵌入式系统”呢?按照IEEE的定义:嵌入式系统是“用于监视、控制或者辅助操作机器和设备的装置”(devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。这个定义是从应用角度考虑的,可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体,还可以涵盖机电等附属装置。

而目前我们最常见、最通用的一个定义是:嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,其软/硬件可裁剪,对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格约束的一种专用计算机系统。

这个定义是从技术角度来进行阐述的,因此更加全面。它不仅指出了嵌入式系统是一种专用计算机系统(非PC的智能电子设备),而且说明了嵌入式系统的几个基本要素,即面向应用、以计算机技术为基础、软/硬件可裁剪及在功能、可靠性、成本、体积和功耗上有严格约束。而“嵌入式系统”中“嵌入”一词,即指其软/硬件可裁剪的特性,它表示该系统通常是更大系统中的一个完整部分。嵌入的系统中可以共存多个嵌入式系统。

嵌入式系统几乎应用于所有电气设备:手机、机顶盒、个人数字助理(PDA)、汽车控制系统、微波炉控制器、电梯控制器、安全系统、医疗仪器、立体音响、自动售货机控制器、自动取款机等。即使是一台通用PC,也包括嵌入式系统。PC的外部设备包含了嵌入式微处理器的成分,如硬盘、软驱、显示器、键盘、鼠标、声卡、网卡、Modem和打印机、扫描仪等,都是由嵌入式处理器控制的。

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的。如果独立于应用而自行发展,则会失去市场。因此,大多数嵌入式系统的开发者不是计算机专业的人才,而是各个行业的技术人员。例如开发数字医疗设备,往往是生物医学工程技术人员和计算机专业的技术人员一起来共同完成。

嵌入式系统是一种专用计算机系统,它和通用计算机系统使用的技术是一样的,都包含了硬件和软件部分,但对二者的性能评价指标是不同的。嵌入式系统往往只是一个大系统中的组成部分,控制大系统的工作,它的价值在于它所控制的大系统。例如,智能洗衣机的评价指标往往是洗净度、耗水、耗电、洗衣速度等,而不是控制它的处理器的速度、存储容量等。而通

用计算机则不同，其更关注计算能力、处理速度、存储数据的能力等指标。

1.1.2 嵌入式系统的组成

由于嵌入式系统基于计算机技术，它的组成也与计算机组成类似，主要包括两个部分：嵌入式硬件系统和嵌入式软件系统。

嵌入式硬件系统主要包括：嵌入式处理器、存储器、接口控制器与接插件、模拟电路及电源等几个部分。目前针对嵌入式系统的外围硬件设备扩展有很多，常用的有串行口、以太网接口（网络设备）、USB 接口（USB 设备，如优盘、数码相机、移动硬盘等外部存储设备）、音频接口（如 MP3）、液晶显示屏（如数码相机、数码摄像机、MP4 播放器、PDA 等）、摄像头（拍照手机）等。可以看到，不同的嵌入式系统的设计可能会用到不同的外围硬件设备。以数码相机为例，它需要使用到摄像头、液晶显示屏、USB、SD 或 MS 卡，如果该数码相机还要有 MP3 功能，就还需要加上音频解码设备。没有外围设备的支持，嵌入式系统是不完整的。

嵌入式软件系统主要包括：底层驱动、操作系统软件（嵌入式操作系统）和应用程序（应用软件）几个部分。底层驱动实现嵌入式系统硬件和软件之间的接口，操作系统实现系统的进程调度、任务处理，应用程序实现系统功能的应用。由于嵌入式系统的应用领域十分广泛，应用程序（应用软件）的表现形式也千差万别。有时设计人员会把操作系统和应用软件两部分组合在一起：应用软件控制系统的运作和行为，操作系统控制应用程序编程与硬件的交互作用。

在嵌入式系统的组成中，其核心是嵌入式处理器。因此嵌入式处理器的技术指标如功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力、电磁兼容性等均受到应用要求的制约，这些也是各半导体厂商之间竞争的热点。嵌入式处理器的应用软件是实现嵌入式系统功能的关键。一般来说，软件需要固化存储，有时称为固件（Firmware），软件代码要求高质量、高可靠性。

1.1.3 嵌入式系统的特点

与常见的通用计算机系统相比，嵌入式系统一般具有以下特点。

① 面向特定的应用。与通用 CPU 相比，嵌入式 CPU 是为特定用户群设计的。如 ARM 系列多用于手机中，Motorola 的龙珠系统多用于中档 PDA 中。应用需求决定了嵌入式系统的设计。决定嵌入式 CPU 应用环境的主要因素在于其提供的接口功能和处理速度。

② 专用性强，可根据需要灵活定制。嵌入式系统的个性化很强，其中的软件系统和硬件的结合非常紧密，一般要针对硬件进行系统的移植。

③ 系统内核小。嵌入式系统一般是应用于小型电子装置的，系统资源相对有限，所以内核较之传统的操作系统要小得多。例如， $\mu\text{C}/\text{OS}$ 系统内核只有 5KB，而 Windows 的内核则要大得多。

④ 体积小、功耗低、成本低、效率高。由于嵌入式系统集成度高、体积小，所以其系统软件和应用软件一般有一些特殊要求，如：软件固化在 ROM 中、要求高质量高可靠性的软件代码、具有实时处理能力等。同时，由于嵌入式系统往往没有充足的电能（如电池供电），所以多为低功耗系统。而且系统功耗越低，温度越低，其可靠性和稳定性也就越高。

⑤ 具有较长的生命周期。嵌入式系统与具体应用有机结合在一起，它的升级和具体产品同步进行。

⑥ 通常有实时性要求，因此都要求要有高实时性操作系统（Real-Time Operating System, RTOS）。这是嵌入式软件的基本要求，用以实现任务调度、资源分配等功能。按照实时性的不

同，嵌入式系统可以分为软实时系统和硬实时系统。软实时系统对实时要求不高，通常用于人机交互较多的领域；而硬实时系统主要应用于工控、航天、军事等领域。

⑦ 需要专门的软/硬件开发工具和环境。由于嵌入式系统的运行平台与开发平台是不同的，嵌入式系统本身不具备自主开发能力，需要专门的软/硬件开发工具和环境-交叉开发环境，开发较为困难。通常嵌入式系统的开发采用交叉开发环境：开发平台称为宿主机，有丰富的软/硬件资源；运行嵌入式软件的平台称为目标机，资源相对有限。在宿主机上进行软件的编辑、编译；然后下载到目标机上调试、运行。

1.2 嵌入式处理器

嵌入式系统的核心部件是嵌入式处理器，据不完全统计，到 2000 年全世界嵌入式处理器的品种总量已经超过 1000 种，流行体系结构有 30 多个系列，其中 8051 体系的占了多半。生产 8051 单片机的半导体厂家有 20 多个，共 350 多种衍生产品，仅 NXP 就有近百种。现在几乎每个半导体制造商都生产嵌入式处理器，而且越来越多的公司有自己的处理器设计部门。嵌入式处理器的寻址空间一般从 64KB 到 4GB，处理速度从 0.1MIPS 到 2000MIPS，常用封装从 8 个引脚到 208 个引脚。

1.2.1 嵌入式处理器的分类

从应用的角度来划分，嵌入式处理器包含下面几种类型。

1. 嵌入式微控制器（Microcontroller Unit, MCU）

MCU 又称单片机，就是将整个计算机系统集成到一块芯片中。MCU 一般以某一种微处理器（MPU）内核为核心，芯片内部集成 ROM、RAM、总线逻辑、定时器等各种必要的功能模块。与 MPU 相比，微控制器的最大特点是单片化，体积大大减小，从而使功耗和成本下降，可靠性提高。

MCU 是目前嵌入式系统应用的主流。由于 MCU 的片上资源一般比较丰富，适合于控制，因此称为微控制器。为适应不同的应用需求，一般一个系列的单片机具有多种衍生产品，每种衍生产品的处理器内核都是一样的，不同的是存储器和外设的配置及封装。这样可以最大限度地与应用需求相匹配，从而减小功耗和成本。

MCU 目前的品种和数量最多，比较有代表性的通用系列包括 8051、P51XA、MCS-251、MCS-96/196/296、C166/167、MC68HC05/11/12/16、68300 等。另外，还有许多半通用系列，如支持 USB 接口的 MCU 8XC930/931、C540、C541。

2. 嵌入式微处理器（Embedded Microprocessor Unit, EMPU）

MPU 的基础是通用计算机中的 CPU。为了满足嵌入式应用的特殊要求，MPU 虽然在功能上和标准微处理器基本是一样的，但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面一般都做了各种增强。

MPU 目前主要有 Am186/88、386EX、SC-400、PowerPC、68000、MIPS、ARM 系列等。

MPU 又可分为复杂指令集计算机（CISC）和精简指令集计算机（RISC）两类。大家熟悉的大多数台式 PC 都使用 CISC 微处理器，如 Intel 的 x86。RISC 结构体系有两大主流：Silicon

Graphics 公司（硅谷图形公司）的 MIPS 技术；ARM 公司的 Advanced RISC Machines 技术。

RISC 和 CISC 是目前设计制造微处理器的两种典型技术，为达到高效的目的，采用的方法不同。它们的差异主要有以下几点。

① 指令系统：RISC 设计者把主要精力放在那些经常使用的指令上，对不常用的功能，常通过组合指令来实现；而 CISC 计算机的指令系统比较丰富，有专用指令来完成特定的功能。

② 存储器操作：RISC 对存储器操作有限制，使控制简单化；而 CISC 机器的存储器操作指令多，操作直接。

③ 程序：RISC 汇编语言程序一般需要较大的内存空间，实现特殊功能时程序复杂，不易设计；而 CISC 汇编语言程序编程相对简单，科学计算及复杂操作的程序设计相对容易，效率较高。

④ 中断：RISC 机器在一条指令执行的适当地方可以响应中断；而 CISC 机器是在一条指令执行结束后响应中断的。

⑤ CPU：RISC CPU 包含较少的单元电路，面积小、功耗低；而 CISC CPU 包含丰富的电路单元，功能强、面积大、功耗大。

⑥ 设计周期：RISC 微处理器结构简单，布局紧凑，设计周期短，且易于采用最新技术；CISC 微处理器结构复杂，设计周期长。

⑦ 易用性：RISC 微处理器结构简单，指令规整，性能容易把握，易学易用；CISC 微处理器结构复杂，功能强大，实现特殊功能容易。

⑧ 应用范围：RISC 机器更适合于嵌入式应用；而 CISC 机器则更适合于通用计算机。

3. 嵌入式 DSP (Embedded Digital Signal Processor, EDSP)

DSP 对系统结构和指令进行了特殊设计，使其适合于执行 DSP 算法，编译效率较高，指令执行速度也较高。在数字滤波、FFT、谱分析等方面，DSP 算法正在大量进入嵌入式领域。

推动嵌入式 DSP 发展的一个重要因素是嵌入式系统的智能化。例如，各种带有智能逻辑的消费类产品、生物信息识别终端、带有加解密算法的键盘、ADSL 接入、实时语音压缩解压系统、虚拟现实显示，等等。这类智能化算法一般运算量都比较大，特别是向量运算、指针线性寻址等较多，而这些正是 DSP 的长处所在。

嵌入式 DSP 有两个发展来源：一是 DSP 经过单片化、EMC 改造、增加片上外设成为嵌入式 DSP，TI 公司的 TMS320C2000/C5000 等属于此范畴；二是在通用单片机或片上系统(SoC)中增加 DSP 协处理器，例如 Intel 的 MCS-296。

嵌入式 DSP 比较有代表性的产品是 TI 的 TMS320 系列和 Motorola 的 DSP56000 系列。TMS320 系列处理器包括用于控制的 C2000 系列、用于移动通信的 C5000 系列及性能更高的 C6000 和 C8000 系列。DSP56000 系列目前已经发展成为 DSP56000、DSP56100、DSP56200 和 DSP56300 等几个不同系列的处理器。DSP 的设计者们把重点放在了处理连续的数据流上。如果嵌入式应用中强调对连续的数据流的处理及高精度复杂运算，则应该选用 DSP 器件。

4. 嵌入式片上系统 SoC (Embedded System on Chip)

随着 VLSI 设计的普及和半导体工艺的迅速发展，可以在一块硅片上实现一个更为复杂的系统，这就是 SoC (System on Chip)。各种通用处理器内核和其他外围设备都将成为 SoC 设计公司的标准库中的器件，用标准的 VHDL 等硬件描述语言描述。用户只需定义出整个应用

系统，仿真通过后就可以将设计图交给半导体工厂制作芯片样品。这样，整个嵌入式系统大部分都可以集成到一块芯片中，应用系统的电路板将变得很简洁，这将有利于减小体积和功耗，提高系统的可靠性。

SoC 可以分为通用和专用两类。通用系列包括 Motorola 的 M-Core、某些 ARM 系列器件、Echelon 和 Motorola 联合研制的 Neuron 芯片等。专用 SoC 一般专用于某类系统中，不为一般用户所知。一个有代表性的产品是 NXP 的 Smart XA，它将 XA 单片机内核和支持超过 2048 位复杂 RSA 算法的 CCU 单元制作在一块硅片上，形成一个可加载 Java 或 C 语言的专用 SoC，可用于 Internet 安全方面。

1.2.2 ARM 处理器

ARM (Advanced RISC Machines)，既可以认为是一个公司的名字，也可以认为是对一类微处理器的通称，还可以认为是一种技术的名字。1991 年 ARM 公司成立于英国剑桥，主要出售芯片设计技术的授权。目前，采用 ARM 技术知识产权 (IP) 核的微处理器，即通常所说的 ARM 微处理器，已广泛应用于工业控制、消费类电子产品、通信系统、网络系统、无线系统等各个领域。

1. ARM 微处理器的应用领域

① 工业控制领域：作为 32 位的 RISC 架构，基于 ARM 核的微控制器芯片不但占据了高端微控制器市场的大部分市场份额，同时也逐渐向低端微控制器应用领域扩展。ARM 微控制器的低功耗、高性价比，向传统的 8 位/16 位微控制器提出了挑战。

② 无线通信领域：目前已有超过 85% 的无线通信设备采用了 ARM 技术，ARM 以其高性能和低成本，在该领域的地位日益巩固。

③ 网络应用：随着宽带技术的推广，采用 ARM 技术的 ADSL 芯片正逐步获得竞争优势。此外，ARM 在语音及视频处理上进行了优化，并获得广泛支持，也对 DSP 的应用领域提出了挑战。

④ 消费类电子产品：ARM 技术在目前流行的数字音频播放器、数字机顶盒和游戏机中得到广泛采用。

⑤ 成像和安全产品：现在流行的数码相机和打印机中绝大部分采用 ARM 技术。手机中的 32 位 SIM 智能卡也采用了 ARM 技术。

2. ARM 微处理器的特点

- ① 体积小、低功耗、低成本、高性能；
- ② 支持 Thumb (16 位) /ARM (32 位) 双指令集，兼容 8 位/16 位器件；
- ③ 大量使用寄存器，指令执行速度更快；
- ④ 大多数数据操作都在寄存器中完成；
- ⑤ 寻址方式灵活简单，执行效率高；
- ⑥ 指令长度固定。

3. ARM 微处理器系列

目前常用的 ARM 处理器有 ARM7 系列、ARM9 系列、ARM9E 系列、ARM10E 系列、SecurCore

系列、Intel 的 StrongARM、Intel 的 Xscale 等。其中，ARM7、ARM9、ARM9E 和 ARM10E 为 4 个通用处理器系列，每个系列提供一套相对独特的性能来满足不同应用领域的需求。如 ARM7 系列适用于工业控制、网络设备、移动电话等应用；ARM9、ARM9E 和 ARM10E 系列则更适合无线设备、消费类电子产品的设计；SecurCore 系列专门为安全要求较高的应用而设计。

4. 常用的 ARM 芯片生产厂家

(1) NXP Semiconductors

NXP Semiconductors（恩智浦半导体）是 2006 年从皇家飞利浦体系中独立出的半导体公司，共有超过 6700 位研发工程师，总部仍设在荷兰的 Eindhoven，为欧洲第二大半导体公司，且名列全球前十强的行列。NXP 公司的 ARM 处理器主要为 LPC 系列芯片，主要包括以下几大系列。

● LPC1000 系列

NXP LPC1000 先进的高度集成的微控制器基于 ARM Cortex-M3 内核，专为那些需要在经济型 32 位微控制器上开展高性能低功耗的嵌入式应用而设计，该系列微控制器在闪存或内存的运行频率最高可达到 80MHz。

NXP LPC1000 系列 ARM 具有丰富的外设资源，最高配置包括 512KB 片内 Flash 程序存储器、64KB 片内 SRAM、8 通道 GPDMA 控制器、4 个 32 位通用定时器、1 个 8 通道 12 位 ADC、1 个 10 位 DAC、1 路电机控制 PWM 输出、1 个正交编码器接口、6 路通用 PWM 输出、1 个看门狗定时器及 1 个独立供电的超低功耗 RTC。

NXP LPC1000 系列 ARM 还集成了大量的通信接口：1 个以太网 MAC、1 个 USB 2.0 全速接口、4 个 UART 接口、2 路 CAN、2 个 SSP 接口、1 个 SPI 接口、3 个 I²C 接口、2 路 I²S 输入和 2 路 I²S 输出。

按照推出的时间次序进行排列，NXP 的 Cortex 产品线主要有 LPC1700、LPC1300 及 LPC1100 等几个系列器件。

● LPC2000 系列

NXP LPC2000 系列基于一个支持实时仿真和跟踪的 16/32 位 ARM7TDMI-S CPU，并带有大容量嵌入的高速 Flash 存储器。128 位宽度的存储器接口和独特的加速结构使 32 位代码能够在最大时钟速率下运行。对代码规模有严格控制的应用可使用 16 位 Thumb 模式将代码规模降低超过 30%，而性能的损失却很小。

NXP LPC2000 系列采用非常小的 64 脚封装、极低的功耗、多个 32 位定时器、4 路 10 位 ADC、PWM 输出及多达 9 个外部中断，这使它们特别适用于工业控制、医疗系统、访问控制和电子收款机（POS）等应用领域。由于内置了宽范围的串行通信接口、以太网、802.11 及 USB 功能，也非常适合于通信网关、协议转换器、嵌入式软件调制解调器及其他各种类型的应用。

NXP LPC2000 微控制器系列产品线十分丰富，包括 LPC2100、LPC2200、LPC2300、LPC2400、LPC2800 和 LPC2900 等几个系列器件。

● LPC3000 系列

NXP LPC3000 系列是基于 ARM926EJ 内核的 32 位微控制器，提供矢量浮点协处理器和集成移动 USB，可以在最低达 0.9V 的超低电压下运行。主要针对消费电子、工业、医疗和汽车电子应用，为设计师提供一种高性能、高功耗效率的微控制器。

NXP LPC3200 系列采用 90nm 工艺设计, 结合了 1 个 ARM926EJ 核、1 个矢量浮点协处理器 (VFP)、1 个 LCD 控制器、1 个以太网 MAC、On-The-Go USB、1 个高效的总线阵列及大量的标准外设, 使得嵌入式系统设计师能够在不损失任何性能的前提下减少片上器件数量, 并且最大程度地节省功耗。

NXP LPC3200 结合了高性能、低功耗和众多的外设, 被设计用来为那些要求高速并同时进行通信的应用提供灵活性。其特性包括: I²C、I²S、SPI、SSP、UART、USB、OTG、SD、PWM、具有触摸屏接口的 A/D、10/100 以太网 MAC 和一个支持 STN 和 TFT 面板的 24 位 LCD 控制器。该系列支持 DDR、SDR、SRAM 和闪存, 并且提供从 Nand 闪存、SPI 存储器、UART 或 SRAM 启动的可选项。

NXP LPC3000 微控制器系列包括 LPC31x0 和 LPC32x0 等几个系列器件。

● LH7 系列

NXP 还推出高度集成的基于 ARM7 和 ARM9 的多用途微控制器系列产品。这些器件非常适合多种应用领域, 包括工业控制、智能家电和 PDA 等。

LH75xxx 系列采用 ARM7TDMI 内核、32 位处理器、32KB 片上 SRAM、LCD 色彩和灰度控制器、外加 3 个 UART、1 个 SPI 接口、CAN 总线 2.0B、3 个 16 位计数/定时器、1 个 A/D 转换器、看门狗定时器和低电压检测器。该系列产品是那些需要集成 LCD 控制的低成本设计绝佳的解决方法。应用范围包括全球定位系统、PDA、打印机/复印机、安全控制面板和智能家电等。

LH79xxx 系列采用 32 位 ARM720T 内核与 8KB 缓存、存储器管理单元、LCD 色彩控制器和 32KB SRAM。同时还包括一些增强型外围设备, 如 DMA 控制器、串行和并行接口、红外支持、计数/定时器、实时时钟、看门狗定时器、脉宽调制器和片上锁相环。

LH7Axxx 系列采用 32 位的 ARM922T 内核, 带有 8KB 的指令缓存、8KB 的数据缓存和 80KB 的帧缓冲存储器。它们包含相同的 LCD 控制器, 支持 1024×768、64k 色的 STN、CSTN、TFT 和 AD-TFT 显示屏。为包括消费、娱乐、工业/商业、医药和汽车等各种应用提供了强大、灵活的特性。

(2) Samsung

Samsung 公司的 ARM 处理器是目前使用最广的 ARM 处理器之一。Samsung 公司针对 ARM 处理器的应用范围将其处理器分成 3 类。

① 手持设备。适合各类低功耗产品, 常用的芯片有: S3C44B0 (ARM7TDMI 核心, 主频 66MHz, 集成 STN LCD 控制器, 无网络接口) 和 S3C2410 (ARM920T 核心, 主频 200MHz, 支持 TFT, USB Host, Device, SD Host 及 MMC 接口, 触摸屏接口, Nand Flash 直接引导, 无网络接口)。适用产品: POS、PDA、E-Book、GPS、智能电话、电子书包、机顶盒、手持游戏机、电子相册、视频监控、智能控制仪表等。

② 网络设备。常用的芯片有: S3C4510B (ARM7TDMI 核心, 主频 50MHz, MAC 接口, 无 LCD 控制器) 和 S3C2510 (ARM940T 核心, 主频 166MHz, 2ch MAC 接口, DES/3DES 加密, PCI 总线, USB Host 和 Device)。适用产品: 以太网 HUB、交换机、路由器、VOIP、XDSL Modem、WLAN 产品、家庭网关等。

③ ADSL。常用的芯片有 S5N8947 (ARM7, 66MHz, 2ch MAC, USB, ATM SAR)。适用产品: ADSL 桥接 Modem、ADSL 路由器、ADSL 网关、VOIP、VODSL、DSLAM 等。

(3) TI

TI 公司的 OMAP 处理器内含一个增强型处理器 (ARM925) 和 TI 公司最新研制出的低功