

配多媒体教学资料包

全国高等职业教育应用型人才培  
养规划教材

### 本书特色

内容简洁清晰，好学易懂

校企合作编写，实践性强

以具体完整的项目带动和引导学习

 全面开启嵌入式工程师之路

# 嵌入式Linux系统 设计与开发

◎黎燕霞 主 编 ◎刘光壮 刘奕宏 刘仲明 副主编



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

全国高等职业教育应用型人才培养规划教材

# 嵌入式 Linux 系统 设计与开发

黎燕霞 主 编

刘光壮 刘奕宏 刘仲明 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

## 内 容 简 介

作为一种 32 位高性能、低成本的嵌入式 RISC 微处理器, ARM 目前已经成为应用最广泛的嵌入式处理器。目前 Cortex-A 系列处理器已经占据了大部分中高端产品市场。

本书基于 Cortex-A8 的应用处理器“S5PV210”为核心, 首先详细讲述了嵌入式 Linux 系统应用的基础, 然后通过具体完整的实训项目对嵌入式 Linux 系统应用所需的基本技能进行覆盖。全书主要介绍的内容有嵌入式系统入门、嵌入式 Linux 开发环境构建、Linux 基础、裸机开发、嵌入式 Linux 的系统制作、字符型设备驱动程序设计、嵌入式数据库 SQLite 移植、嵌入式 Web 服务器 BOA 移植、基于 Qt 的嵌入式 GUI 程序设计。

本书的编写特色在于用具体完整的任务带动和引导读者完成整个嵌入式 Linux 相关应用领域的学习, 并且每个任务都有非常详细的讲解, 此外还提供了源代码。

本书内容实用、简单, 语言浅显易懂, 能有效培养读者的学习兴趣, 提高实际动手能力。本书可作为高职院校电子信息工程、应用电子技术、计算机应用、电气自动化、机电一体化等专业学生的教材, 也非常适合嵌入式系统入门的普通读者自学。

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

嵌入式 Linux 系统设计与开发 / 黎燕霞主编. —北京: 电子工业出版社, 2016.2  
全国高等职业教育应用型人才培养规划教材

ISBN 978-7-121-28204-1

I. ①嵌… II. ①黎… III. ①Linux 操作系统—程序设计—高等职业教育—教材 IV. ①TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 035371 号

策划编辑: 王昭松

责任编辑: 郝黎明

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 15.25 字数: 390.4 千字

版 次: 2016 年 2 月第 1 版

印 次: 2016 年 2 月第 1 次印刷

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 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

# 前 言

嵌入式技术是一种软硬件结合的技术，已经广泛应用于通信设备、家用电器、数据网络、工业控制、医疗卫生、航空航天等众多领域，有着巨大的市场潜力和无限的商机。嵌入式系统已经从 8 位 51 单片机发展到如今的 32 位嵌入式 RISC 微处理器，其软件设计的复杂性也成倍增长。目前 Cortex-A 系列处理器已经占据了嵌入式处理器大部分的中高端产品市场，尤其是在移动设备市场上，几乎占据了绝对垄断的地位。

随着嵌入式应用的迅猛发展，人们越来越关注嵌入式系统的相关技术和设计方法的研究。嵌入式系统已经成为高等院校电子信息、计算机及相关专业的一门重要课程，也是相关领域研究、应用和开发专业技术人员必须掌握的重要技术之一。当前，以嵌入式 Linux 系统应用相关的图书较多，但是有些难度较大，不太适合高职高专的学生及一般初学者。因此，读者需要一本实践性强、提供源代码、理论讲解简练清晰的实训类教材，并且需要有具体完整的实训项目来引导读者学习嵌入式 Linux 系统的应用。

本书试图从零开始讲述嵌入式系统的环境搭建、嵌入式 Linux 系统应用的基础，然后通过具体完整的实训项目对嵌入式 Linux 系统应用所需的基础技能进行覆盖。本书的编写特色在于用具体完整的任务带动和引导学生完成整个嵌入式 Linux 相关应用领域的学习，并且每个任务都有非常详细的讲解，此外还提供了源代码。本书不追求讲述所有的嵌入式 Linux 技术，但追求完整地讲解每个具体的任务，特别适合高职高专相关专业的学生及其他初学者使用。

在学习本书之前，读者需要具有数字电路、模拟电路、C 语言等基础知识。通过本书的学习，读者可以掌握嵌入式系统的环境搭建、基于 Cortex-A8 核心的 S5PV210 处理器的 GPIO 接口技术和常见的应用开发的方法，掌握嵌入式系统开源软件的移植。

本书是广东省高职院校类的示范性专业——电子信息工程技术专业核心课程的配套教材，具备丰富的教学资源存储在该专业的教学资源库中。同时，本教材也是高校“校企”联合培养人才项目的合作教材，得到广州杰赛科技股份有限公司、北京凌阳爱普科技有限公司、广州粤嵌通信科技股份有限公司的大力支持。

另外，嵌入式系统的学习和硬件的关系十分密切，本书尽量避免仅针对某一种硬件平台，阅读时请注重学习设计的方法。对于本书的程序，是具有普适性的，有一些涉及硬件电路的程序，需要读者根据自己所使用的实验开发系统的硬件配置，灵活改变其中的诸如函数调用、地址、I/O 接口等的定义和语句。

本书由黎燕霞主编并统稿。黎燕霞编写第 1、2、3、5 章，刘光壮博士编写了第 4、6 章，工业与信息化部电子第五研究生的刘奕宏高级工程师编写第 7、8 章，广州杰赛科技股份有限公司的刘仲明高级工程师编写第 9 章。同时，企业的这两位高级工程师对本书的编写还提出了大量中肯的建议，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，敬请专家和读者批评、指正。

编者

# 目 录

## 基础知识篇

第 1 章 嵌入式系统入门	1
1.1 嵌入式系统的概念	1
1.2 嵌入式系统的应用领域	2
1.3 嵌入式系统的发展	3
1.3.1 嵌入式系统硬件平台的发展	4
1.3.2 嵌入式系统软件平台的发展	6
1.4 典型的嵌入式系统组成	6
1.5 ARM 处理器	7
1.5.1 ARM 处理器介绍	7
1.5.2 ARM 处理器的应用领域	8
1.5.3 ARM 处理器的特点	8
1.5.4 ARM 的功能选型	8
1.6 嵌入式 Linux	11
1.6.1 常见的嵌入式操作系统	11
1.6.2 嵌入式 Linux 操作系统	13
本章小结	15
第 2 章 嵌入式 Linux 开发环境构建	16
2.1 虚拟机及 Linux 安装	16
2.1.1 虚拟机 VMware Workstation 软件介绍	16
2.1.2 安装 Linux 操作系统 Ubuntu12.04	16
2.1.3 设置 Ubuntu 的 root 账号	24
2.1.4 修改 Ubuntu 的默认图形界面	25
2.1.5 修改 Linux 系统中的计算机名称	26
2.2 安装 VMware Tools	26
2.3 虚拟机与主机共享文件	28

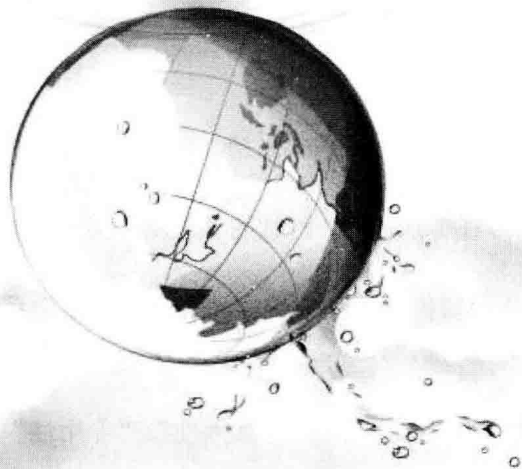
2.4	安装配置 minicom .....	29
2.5	配置超级终端 .....	32
2.6	NFS 挂载 .....	34
2.7	交叉编译器的安装 .....	35
2.7.1	交叉编译器的定义 .....	35
2.7.2	交叉编译环境搭建 .....	35
	本章小结 .....	36
<b>第 3 章</b>	<b>Linux 基础 .....</b>	<b>37</b>
3.1	Linux 基础知识 .....	37
3.1.1	Linux 文件 .....	37
3.1.2	Linux 文件系统 .....	38
3.1.3	Linux 目录 .....	39
3.2	Linux 常用命令 .....	40
3.2.1	文件相关命令 .....	40
3.2.2	系统相关命令 .....	45
3.2.3	网络相关命令 .....	47
3.2.4	压缩打包相关命令 .....	48
3.2.5	其他命令 .....	49
3.3	vi 编辑器的使用 .....	50
3.3.1	vi 编辑器的模式 .....	50
3.3.2	vi 编辑器使用的基本流程 .....	51
3.3.3	vi 各模式的功能键 .....	52
3.4	gcc 编译器的使用 .....	53
3.4.1	gcc 编译流程 .....	53
3.4.2	gcc 编译选项 .....	54
3.5	gdb 调试器的使用 .....	56
3.5.1	gdb 使用流程 .....	56
3.5.2	gdb 基本命令 .....	59
3.6	arm-linux-gcc 交叉编译器的使用 .....	63
3.7	make 工程管理器与 makefile 文件 .....	63
3.7.1	了解 makefile 文档 .....	64
3.7.2	编写 makefile .....	64
3.7.3	makefile 的五部分 .....	68
3.7.4	make 管理器的使用 .....	71
	本章小结 .....	72

<b>第 4 章</b>	<b>裸机开发</b>	<b>73</b>
4.1	概述	73
4.2	建立 Linux 开发环境	73
4.3	S5PV210 介绍	75
4.3.1	S5PV210 简介	75
4.3.2	S5PV210 内存空间	76
4.3.3	S5PV210 特殊功能寄存器	77
4.4	ARM 常用指令集	79
4.4.1	ARM 寻址方式	79
4.4.2	ARM 指令集	80
4.5	裸机程序编程步骤	88
4.6	编程实现点亮 LED	89
4.7	调用 C 函数	93
4.8	编程实现按键查询点亮 LED	95
4.9	串口通信	99
	本章小结	107
<b>第 5 章</b>	<b>嵌入式 Linux 的系统制作</b>	<b>108</b>
5.1	编译 Bootloader	108
5.1.1	U-Boot 简介	109
5.1.2	编译 U-Boot	110
5.2	编译 Linux 内核	110
5.2.1	Linux 内核简介	110
5.2.2	内核编译	110
5.3	制作嵌入式 Linux 根文件系统	112
5.3.1	根文件系统类型	112
5.3.2	制作简单 yaffs 根文件系统	113
5.4	使用 Fastboot 烧写 Linux 系统镜像	118
	本章小结	121
<b>第 6 章</b>	<b>字符型设备驱动程序设计</b>	<b>122</b>
6.1	设备驱动介绍	122

6.2	Linux 内核模块	123
6.2.1	内核模块的特点	123
6.2.2	模块与内核的接口函数	123
6.2.3	操作模块相关的命令	123
6.3	Linux 设备驱动	124
6.4	硬件接口、驱动程序、设备文件、应用程序的关系	125
6.5	简单的字符设备驱动开发	126
6.6	驱动程序中编写 ioctl 函数供应用程序调用	129
6.7	驱动程序与应用程序之间的数据交换	134
6.8	GPIO 接口控制 LED 灯	138
6.9	GPIO 接口控制按键	143
	本章小结	151
<b>第 7 章</b>	<b>嵌入式数据库 SQLite 移植</b>	<b>152</b>
7.1	SQLite 支持的 SQL 语言	152
7.1.1	数据定义语句	152
7.1.2	数据操作语句	153
7.2	SQLite 数据库编译、安装和使用	153
7.2.1	安装 SQLite	154
7.2.2	利用 SQL 语句操作 SQLite 数据库	154
7.2.3	利用 C 接口访问 SQLite 数据库	155
7.3	移植 SQLite	157
7.3.1	交叉编译 SQLite	158
7.3.2	测试已移植的 SQLite3	158
7.3.3	交叉编译应用程序	160
	本章小结	160
<b>第 8 章</b>	<b>嵌入式 Web 服务器 BOA 移植</b>	<b>161</b>
8.1	BOA 概述	161
8.1.1	BOA 的功能	161
8.1.2	BOA 的流程分析	162
8.1.3	BOA 的配置信息	167
8.2	BOA 的编译和移植	168
8.2.1	交叉编译 BOA	168
8.2.2	设置 BOA 配置信息	170
8.2.3	BOA 移植	171



8.3	HTML 页面测试 .....	171
8.4	CGI 脚本测试 .....	172
8.5	HTML 和 CGI 传参测试 .....	173
8.6	网页控制 LED .....	178
8.7	BOA 与 SQLite 结合 .....	181
	8.7.1 通过 CGI 程序访问 SQLite .....	181
	8.7.2 编译和测试 .....	183
	本章小结 .....	184
<b>第 9 章</b>	<b>基于 Qt 的嵌入式 GUI 程序设计 .....</b>	<b>185</b>
9.1	嵌入式 GUI 简介 .....	185
	9.1.1 嵌入式 GUI 的特点 .....	185
	9.1.2 常用的嵌入式 GUI 图形系统 .....	185
	9.1.3 Qt/E 概述 .....	187
9.2	Qt/E 开发环境的搭建 .....	187
	9.2.1 移植 JPEG 库 .....	187
	9.2.2 移植 tslib .....	188
	9.2.3 交叉编译 qt-embedded 库 .....	189
	9.2.4 修改 profile 文件添加环境变量 .....	190
9.3	创建简单的 Qt 工程 HelloWorld .....	190
	9.3.1 使用 Qt Creator 创建 HelloWorld 程序 .....	190
	9.3.2 编译 HelloWorld 工程 .....	194
9.4	用纯源码编写 Qt 工程 .....	202
	9.4.1 C++ 基础 .....	202
	9.4.2 变量、数据类型 .....	203
	9.4.3 C++ 的类、继承、构造函数、析构函数 .....	206
	9.4.4 用纯源码编写 Qt 工程 .....	211
9.5	登录界面程序设计 .....	215
	9.5.1 信号与槽概述 .....	215
	9.5.2 建立信号与槽的关联 .....	218
	9.5.3 登录界面程序设计 .....	219
9.6	LED 图形界面控制程序设计 .....	224
	本章小结 .....	231
	参考文献 .....	232



# 基础知识篇

## 第1章

### 嵌入式系统入门

本书是使用基于 ARM CortexTM-A8 内核的处理器 S5PV210 的目标机作为开发平台，在讲述了嵌入式 Linux 系统开发环境的构建、Linux 的基础知识、裸机开发、驱动开发后，以完整的项目形式讲述了嵌入式 Linux 系统的具体应用，为读者今后从事相关技术应用打下良好的基础。

本章将从应用角度出发，介绍嵌入式系统的概念，带领读者进入嵌入式系统开发的领域，主要内容包括以下几个方面。

- 嵌入式系统的定义
- 嵌入式系统的应用领域
- 嵌入式系统的发展
- 嵌入式系统的组成
- ARM 处理器
- 嵌入式 Linux 操作系统

#### 1.1 嵌入式系统的概念

目前，嵌入式系统（Embedded System）和普通人的生活联系非常紧密，如日常生活中使用的手机、照相机、微波炉、电视机机顶盒等，都属于嵌入式系统。与通常使用的 PC 相比，嵌入式系统的形式多样、体积小，可以灵活地适应各种设备的需要。因此，可以把嵌入式系统理解为“一种为特定设备服务的软件硬件可裁剪的计算机系统”。

目前被普遍接受的对嵌入式计算机系统的定义是：以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。通常嵌入式计算机系统简称嵌入式系统。

从广义上讲，凡是带有微处理器的专用软硬件系统都可称为嵌入式系统，如各类单片机和 DSP 系统。这些系统在完成较为单一的专业功能时具有简洁高效的特点。但由于它们没有操作系统，管理系统硬件和软件的能力有限，在实现复杂多任务功能时，往往困难重重，甚至无法实现。

从狭义上讲，我们更加强调那些使用嵌入式微处理器构成独立系统，具有自己的操作系统，具有特定功能，用于特定场合的嵌入式系统。这里所谓的嵌入式系统，是指狭义上的嵌入式系统。

简单地说，嵌入式系统就是嵌入到对象体系中的专用计算机系统。“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的 3 个基本要素。

(1) 嵌入性相关特点。专指计算机嵌入到对象体系中，实现对象体系的智能控制。当嵌入式系统变成一个独立应用产品时，可将嵌入性理解为内部嵌有微处理器或计算机。由于是嵌入到对象系统中，必须满足对象系统的环境要求，如物理环境（小型）、电气环境（可靠）、成本（价廉）等要求。

(2) 专用性相关特点。软、硬件的可裁剪性；满足对象要求的最小软、硬件配置等。

(3) 计算机系统相关特点。嵌入式系统必须是能满足对象系统控制要求的计算机系统。与上两个特点相呼应，这样的计算机必须配置有与对象系统相适应的接口电路。

## 1.2 嵌入式系统的应用领域

---

从嵌入式系统的特点可以看出，嵌入式系统技术具有非常广阔的应用前景，其应用领域可以包括以下几个方面。

### 1. 工业控制

基于嵌入式芯片的工业自动化设备将获得长足的发展，目前已经有大量的 8 位、16 位、32 位嵌入式微控制器在应用中，网络化是提高生产效率和产品质量、减少人力资源主要途径，如工业过程控制、数字机床、电力系统、电网安全、电网设备监测、石油化工系统。就传统的工业控制产品而言，低端型采用的往往是 8 位单片机。但是随着技术的发展，32 位、64 位的处理器逐渐成为工业控制设备的核心，在未来几年内必将获得长足的发展。

### 2. 交通管理

在车辆导航、流量控制、信息监测与汽车服务方面，嵌入式系统技术已经获得了广泛的应用，内嵌 GPS 模块、GSM 模块的移动定位终端已经在各种运输行业获得了成功的使用。目前 GPS 设备已经从尖端产品进入了普通百姓的家庭。

### 3. 信息家电

这将成为嵌入式系统最大的应用领域，冰箱、空调等的网络化、智能化将引领人们的生活步入一个崭新的空间。即使用户不在家里，也可以通过电话线、网络进行远程控制。在这些设备中，嵌入式系统将大有用武之地。

### 4. 家庭智能管理系统

水、电、煤气表的远程自动抄表，安全防火、防盗系统，其中嵌有的专用控制芯片将代替

传统的人工检查，并实现更高、更准确和更安全的性能。目前在服务领域，如远程点菜器等已经体现了嵌入式系统的优势。

## 5. POS 网络及电子商务

公共交通无接触智能卡（Contactless Smart Card, CSC）发行系统、公共电话卡发行系统、自动售货机、各种智能 ATM 终端将全面走入人们的生活，到时手持一卡就可以行遍天下。

## 6. 环境工程与自然

应用在水文资料实时监测，防洪体系及水土质量监测、堤坝安全、地震监测网，实时气象信息网，水源和空气污染监测。在很多环境恶劣、地况复杂的地区，嵌入式系统将实现无人监测。

## 7. 机器人

嵌入式芯片的发展将使机器人在微型化、高智能方面优势更加明显，同时会大幅度降低机器人的价格，使其在工业领域和服务领域获得更广泛的应用。

这些应用中，可以着重于在控制方面的应用。就远程家电控制而言，除了开发出支持 TCP/IP 的嵌入式系统之外，家电产品控制协议也需要制定和统一，这需要家电生产厂家来做。同样的道理，所有基于网络的远程控制器件都需要与嵌入式系统之间实现接口，然后再由嵌入式系统通过网络实现控制。所以，开发和探讨嵌入式系统有着十分重要的意义。

# 1.3 嵌入式系统的发展

---

嵌入式系统的出现至今已经有 30 多年的历史了，嵌入式技术也历经了几个发展阶段。进入 20 世纪 90 年代后，以计算机和软件为核心的数字化技术取得了迅猛发展，不仅广泛渗透到社会经济、军事、交通、通信等相关行业，而且深入到家电、娱乐、艺术、社会文化等各个领域，掀起了一场数字化技术革命。多媒体技术与 Internet 的应用迅速普及，消费电子、计算机和通信一体化趋势日趋明显，嵌入式技术再度成为一个研究热点。嵌入式技术的发展大致经历了以下 4 个阶段。

第一阶段是以单芯片为核心的可编程控制器形式的系统具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能。这类系统大部分应用于一些专业性强的工业控制系统中，一般没有操作系统的支持，通过汇编语言编程对系统进行直接控制。这一阶段系统的主要特点是：系统结构和功能相对单一，处理效率较低，存储容量较小，几乎没有用户接口。由于这种嵌入式系统简单、价格低的特点，以前在国内工业领域应用较为普遍，但是已经远不能适应高效的、需要大容量存储的现代工业控制和新兴信息家电等领域的需求。

第二阶段是以嵌入式微处理器为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。主要特点是：微处理器种类繁多，通用性比较弱；系统开销小，效率高；操作系统达到一定的兼容性和扩展性；应用软件较专业化，用户界面不够友好。

第三阶段是以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。主要特点是：嵌入式操作系统能运行于各种不同类型的微处理器上，兼容性好；操作系统内核小、效率高，并且具有高度的模块化和扩展性；具备文件和目录管理、多任务、网络支持、图形窗口以及用户界面等功能；具有大量的应用程序接口 API，开发应用程序较简单；嵌入式应用软件丰富。

第四阶段是以 Internet 为标志的嵌入式系统。

这是一个正在迅速发展的阶段。目前大多数嵌入式系统还孤立于 Internet 之外，但随着 Internet 的发展以及 Internet 技术与信息家电、工业控制技术的结合日益密切，嵌入式设备与 Internet 的结合将代表嵌入式系统的未来。

综上所述，嵌入式系统技术日益完善，32 位微处理器在该系统中占主导地位，嵌入式操作系统已经从简单走向成熟，它与网络 Internet 结合日益密切，因而嵌入式系统应用将日益广泛。

### 1.3.1 嵌入式系统硬件平台的发展

嵌入式系统的硬件是以各种类型的嵌入式处理器为核心部件的。在嵌入式系统的早期，所有基本硬件构件相对较小，也较简单，如 8 位的 CPU、74 系列的芯片及晶体管等，其软件子系统采用一体化的监控程序，不存在操作系统平台。如今组成嵌入式系统的基本硬件构件则已较复杂，如 16 位、32 位 CPU 或特殊功能的微处理器、特定功能的集成芯片、FPGA 或 CPLD 等，其软件设计的复杂性成倍增长。不同等级的处理器的不同应用如表 1.1 所示。

表 1.1 不同等级的处理器应用

嵌入式处理器	应用产品
4 位	遥控器、相机、防盗器、玩具、简易计量表等
8 位	电视游戏机、空调、传真机、电话录音
16 位	手机、摄像机、录像机、各种多媒体应用
32 位	Modem、掌上电脑、路由器、数码相机、GPRS、网络家庭
64 位	高级工作站、新型电脑游戏机、各种多媒体应用

据不完全统计，目前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。嵌入式处理器的寻址空间一般从 64KB 到几十亿字节，处理速度为 0.1~2000MIPS (Million Instruction Per Second, 百万条指令每秒)。根据不同的应用状况，嵌入式处理器可以分为下面几类。

#### 1. 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller Unit, EMCU) 的典型代表是单片机，单片机从诞生之日起，就称为嵌入式微控制器。它体积小，结构紧凑，作为一个部件埋藏于所控制的装置中，主要完成信号控制的功能，将整个计算机系统集成到一块芯片中。单片机芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时器/计数器、看门狗、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要功能和外设。和嵌入式微处理器相比，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。

微控制器是目前嵌入式系统工业的主流。由于微控制器的片上外设资源一般比较丰富，适合于控制，因此称为微控制器。为了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名字，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。由于 MCU 低廉的价格，优良的功能，因此拥有的品种和数量最多。比较有代表性的包括 8051、MCS-251、MCS-96/196/296、P51XA、C166/167、68K 系列，以及 MCU 8XC930/931、C540、C541，并且支持 12C、CAN-Bus、

LCD 及众多专用 MCU 和兼容系列。目前 MCU 占嵌入式系统约 70% 的市场份额。

## 2. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器是由通用计算机中的 CPU 演变而来的。它的特征是具有 32 位以上的处理器，具有较高的性能，当然其价格也相应较高。但与计算机处理器不同的是，在实际嵌入式应用中，嵌入式微处理器只保留和嵌入式应用紧密相关的功能硬件，去除其他的冗余功能部分，这样就以最低的功耗和资源实现嵌入式应用的特殊要求。和工业控制计算机相比，嵌入式微处理器具有体积小、质量轻、成本低、可靠性高的优点。

当前 32 位嵌入式微处理器主要有：ARM (Advanced RISC Machines)，只设计内核的英国公司；MIPS (Microprocessor without Interlocked Piped Stages)，只设计内核的美国公司；Power PC，IBM 和 Motorola 共有；X86，Intel；68K/ColdFire，Motorola 独有；龙芯一号。

## 3. 嵌入式 DSP 处理器

DSP 处理器是专门用于信号处理方面的处理器，其在系统结构和指令算法方面进行了特殊设计，使其适合于执行 DSP 算法，编译效率较高，指令执行速度也较快，在数字滤波、FFT、谱分析等各种仪器上 DSP 获得了大规模的应用。DSP 的理论算法在 20 世纪 70 年代就已经出现，但是由于专门的 DSP 处理器还未出现，因此这种理论算法只能通过 MPU 等由分立元件实现。1982 年世界上诞生了首枚 DSP 芯片。在语音合成和编码解码器中得到了广泛应用。DSP 的运算速度进一步提高，应用领域也从上述范围扩大到了通信和计算机方面。

嵌入式 DSP 处理器 (Embedded Digital Signal Processor, EDSP) 有两个发展来源：一是 DSP 处理器经过单片化、EMC (Energy Management Contract, 合同能源管理) 改造、增加片上外设，成为嵌入式 DSP 处理器，TI (得州仪器) 的 TMS320C2000/C5000 等属于此范畴；二是在通用单片机或 SoC (System on Chip) 中增加 DSP 协处理器，如 Intel 的 MCS-296 和 Siemens 的 TriCore。

推动嵌入式 DSP 处理器发展的另一个因素是嵌入式系统的智能化，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、实时语音解压系统，虚拟现实显示等，而这些正是 DSP 处理器的长处所在。

## 4. 嵌入式片上系统

集成电路的发展已有 40 年的历史，它一直遵循摩尔所指示的规律推进，现已进入深亚微米阶段。由于信息市场的需求和微电子自身的发展，引发了以微细加工 (集成电路特征尺寸不断缩小) 为主要特征的多种工艺集成技术和面向应用的系统级芯片的发展。随着半导体产业进入超深亚微米乃至纳米加工时代，在单一集成电路芯片上就可以实现一个复杂的电子系统，诸如手机芯片、数字电视芯片、DVD 芯片等。在未来几年内，上亿个晶体管、几千万个逻辑门都可在单一芯片上实现。SoC (System on Chip) 设计技术始于 20 世纪 90 年代中期，随着半导体工艺技术的发展，IC 设计者能够将越来越复杂的功能集成到单硅片上，SoC 正是在集成电路 (IC) 向集成系统 (IS) 转变的大方向下产生的。

一般来说，SoC 称为系统级芯片，也称为片上系统，意指它是一个产品，是一个有专用目标的集成电路，其中包含完整系统并有嵌入软件的全部内容。同时它又是一种技术，用以实现从确定系统功能开始，到软/硬件划分，并完成设计的整个过程。从狭义角度讲，它是信息系统核心的芯片集成，是将系统关键部件集成在一块芯片上；从广义角度讲，SoC 是一个微型



系统，如果说中央处理器（CPU）是大脑，那么 SoC 就是包括大脑、心脏、眼睛和手的系统。国内外学术界一般倾向将 SoC 定义为“将微处理器、模拟 IP 核、数字 IP 核和存储器（或片外存储控制接口）集成在单一芯片上，它通常是客户定制的，或是面向特定用途的标准产品”。

### 1.3.2 嵌入式系统软件平台的发展

嵌入式操作系统是嵌入式系统极为重要的组成部分，通常包括与硬件相关的底层驱动程序、系统内核、设备驱动接口、通信协议、图形界面、标准化浏览器等。嵌入式操作系统具有通用操作系统的基本特点，如能够有效管理越来越复杂的系统资源；能够把硬件虚拟化，使得开发人员从繁忙的驱动程序移植和维护中解脱出来；能够提供库函数、驱动程序、工具集以及应用程序。与通用操作系统相比较，嵌入式操作系统在系统实时高效性、硬件的相关依赖性、软件固态化以及应用的专用性等方面具有较为突出的特点。嵌入式操作系统伴随着嵌入式系统的发展经历了 3 个比较明显的阶段。

第一阶段：无操作系统的嵌入算法阶段，通过汇编语言编程对系统进行直接控制，运行结束后清除内存。系统结构和功能都相对单一，处理效率较低，存储容量较小，几乎没有用户接口，比较适合于各类专用领域中。

第二阶段：以嵌入式 CPU 为基础、简单操作系统为核心的嵌入式系统。CPU 种类繁多，通用性比较差；系统开销小，效率高；一般配备系统仿真器，操作系统具有一定的兼容性和扩展性；应用软件较专业，用户界面不够友好；系统主要用来控制系统负载以及监控应用程序运行。

第三阶段：通用的嵌入式实时操作系统阶段，以嵌入式操作系统为核心的嵌入式系统。能运行于各种类型的微处理器上，兼容性好；内核精小、效率高，具有高度的模块化和扩展性；具备文件和目录管理、设备支持、多任务、网络支持、图形窗口以及用户界面等功能；具有大量的应用程序接口 API；嵌入式应用软件丰富。

## 1.4 典型的嵌入式系统组成

---

嵌入式系统与传统的 PC 一样，也是一种计算机系统，是由硬件和软件组成的。硬件包括嵌入式微控制器和微处理器，以及一些外围元器件和外部设备；软件包括嵌入式操作系统和应用程序。

与传统计算机不同的是，嵌入式系统种类繁多。许多的芯片厂商、软件厂商加入其中，导致有多种硬件和软件，甚至解决方案。一般来说，不同的嵌入式系统的软件、硬件是很难兼容的，软件必须修改，而硬件必须重新设计才能使用。虽然软件、硬件种类繁多，但是不同的嵌入式系统还是有很多相同之处的。如图 1.1 所示是一个典型的嵌入式系统组成示意图。

图 1.1 展示出一个典型的嵌入式系统是由软件和硬件组成的整体。硬件部分可以分成嵌入式处理器和外部设备，处理器是整个系统的核心，负责处理所有的软件程序以及外部设备的信号。外部设备在不同的系统中有不同的选择。例如，在汽车上，外部设备主要是传感器，用于采集数据；而在一部手机上，外部设备可以是键盘、液晶屏幕等。

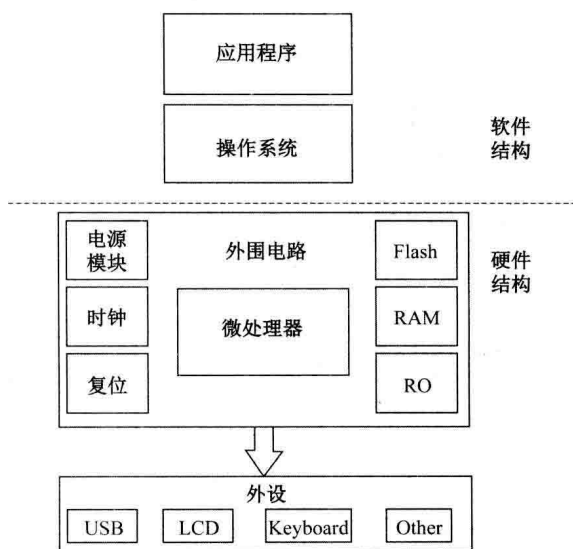


图 1.1 典型的嵌入式系统构成

软件部分可以分成两层，最靠近硬件的是嵌入式操作系统。操作系统是软硬件的接口，负责管理系统的软件和硬件资源。操作系统还可以通过驱动程序与外部设备打交道。最上层的是应用软件，应用软件利用操作系统提供的功能开发出针对某个需求的程序，供用户使用。用户最终是和应用软件打交道，如在手机上编写一条短信，用户看到的是短信编写软件的界面，而看不到里面的操作系统以及嵌入式处理器等硬件。

## 1.5 ARM 处理器

目前有数十家公司使用 ARM 体系结构开发自己的芯片，支持的外部设备和功能丰富多样。ARM 体系相对其他的体系具有结构简单、使用入门快等特点。使用 ARM 核心的处理器虽然众多，但是核心都是相同的。因此，掌握了 ARM 的体系结构，在用不同的处理器时，只要是基于 ARM 核心都能很快入手。

### 1.5.1 ARM 处理器介绍

ARM (Advanced RISC Machines) 既可以认为是一家公司的名字，也可以认为是对一类嵌入式处理器的统称，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) 的处理器，即通常所说的 ARM 处理器，已普及到工业控制、消费类电子产品、通信系统、网络系统和无限系统等各类产品市场，基于 ARM 技术的处理器应用约占据 32 位 RISC 处理器 75% 以上的市场份额，ARM 技术正在逐步渗入到人们生活的各个方面。

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，它本身不直接从事芯片生产，靠转让设计许可权，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 处理器核，然后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 处理器芯片进入市场。目前，全世界大的半导体公司都



使用 ARM 公司的授权，这不仅使得 ARM 技术获得更多的第三方工具、制造、软件的支持，还可使整个系统成本降低，从而使产品更容易进入市场被消费者所接受，进而更具有竞争力。

## 1.5.2 ARM 处理器的应用领域

到目前为止，ARM 处理器及技术的应用几乎已经深入到各个领域。

### 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的应用领域扩展。ARM 微控制器的低功耗、高性价比，向传统的 8 位/16 位微控制提出了挑战。

### 2. 无线通信领域

目前已经有超过 85% 的无线通信设备采用了 ARM 技术，ARM 以及高性能和低成本的优势，日益巩固了其在该领域的地位。

### 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，同时也对 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了广泛采用。

### 5. 成像和安全产品

现在流行的数码相机和打印机中的绝大部分采用了 ARM 技术，手机中的 32 位 SIM 智能卡也采用了 ARM 技术。

## 1.5.3 ARM 处理器的特点

采用 RISC 架构的 ARM 处理器一般具有如下特点。

- (1) 体积小、功耗低、低成本、高性能。
- (2) 支持 Thumb (16 位) /ARM (32 位) 双指令集，能很好地兼容 8 位/16 位器件。
- (3) 大量使用寄存器，指令执行速度更快。
- (4) 采用多级流水线结构处理速度快。
- (5) 大多数数据操作都在寄存器中完成。
- (6) 寻址方式灵活简单，执行效率高。
- (7) 指令长度固定。

## 1.5.4 ARM 的功能选型

ARM 公司自 1990 年正式成立以来，在 32 位 RISC (Reduced Instruction Set Computer) CPU 开发领域不断取得突破，其结构已经从 V3 发展到 V6。由于 ARM 公司自成立以来，一直以 IP (Intelligence Property) 提供者的身份向各大半导体制造商出售知识产权，而自己从不介入芯片