



嵌入式研发系列丛书

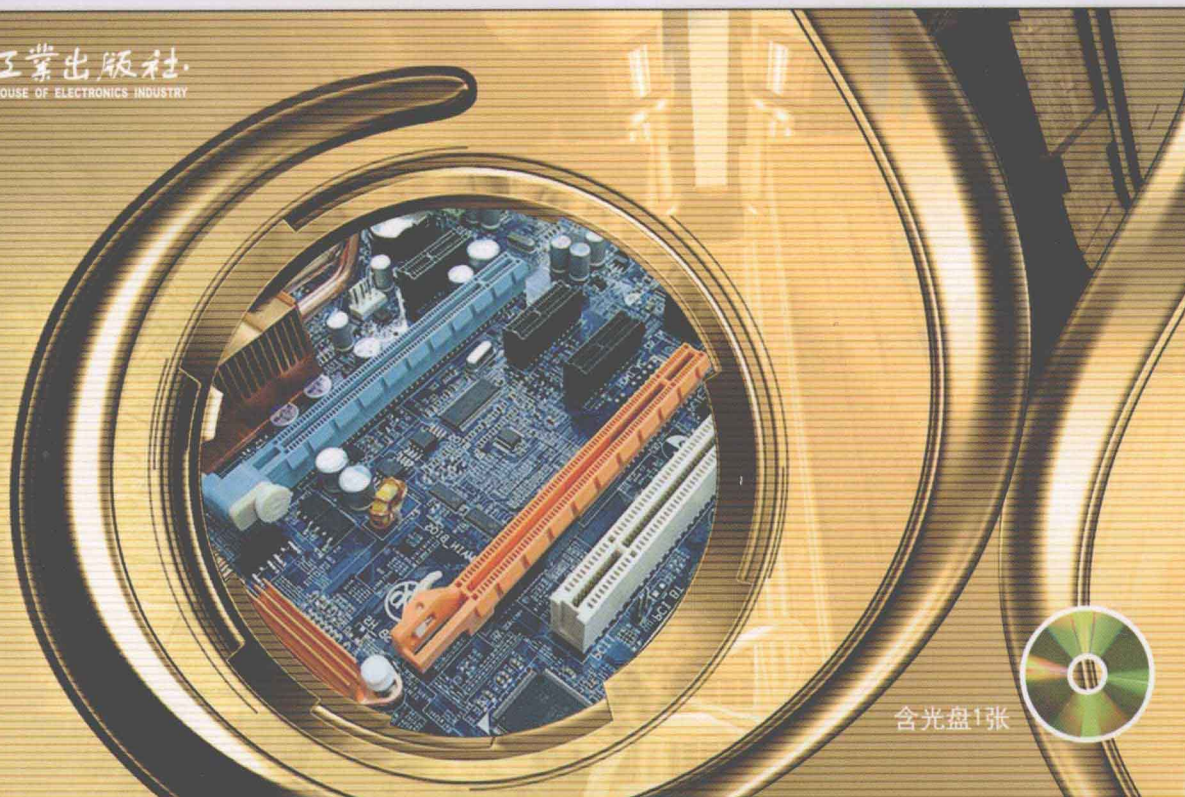
基于ARM 9 的嵌入式Linux 开发技术

ARM9 Embedded
Linux Development Technology

◆ 李新峰 何广生 赵秀文 编著

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

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



含光盘1张



嵌入式研发系列丛书

基于ARM9 的嵌入式 Linux开发技术

李新峰 何广生 赵秀文 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书根据当前嵌入式开发的热点和实际应用的需要,从基础知识和关键知识入手,突出全面性和实用性,全面介绍了基于 ARM9 硬件平台的嵌入式 Linux 开发技术,主要包括 ARM9 硬件平台设计、Linux 操作系统、驱动开发、应用程序开发,以及软硬结合的应用系统设计,共分 16 章。随书附带的光盘中不仅包含开发的源代码程序,还有基本的硬件原理图,读者既可以作为学习时的参考资料,也可以直接将其应用于实际的项目开发。

本书适合于 ARM 嵌入式开发的入门读者和中级读者,可作为从事嵌入式开发的工程技术人员的参考书,也可作为大专院校相关专业的实用教材。

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 ARM9 的嵌入式 Linux 开发技术 / 李新峰,何广生,赵秀文编著. —北京:电子工业出版社,2008.10
(嵌入式研发系列丛书)

ISBN 978-7-121-07177-5

I. 基… II. ①李… ②何… ③赵… III. ①微处理器, ARM—系统设计 ②Linux 操作系统—系统设计
IV. TP332 TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 114251 号

策划编辑:刘海艳(lhy@phei.com.cn)

责任编辑:徐磊

印刷:北京民族印刷厂

装订:北京鼎盛东极装订有限公司

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:24.5 字数:627.2 千字

印次:2008 年 10 月第 1 次印刷

印数:5000 册 定价:49.00 元(含光盘 1 张)

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 zllts@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

嵌入式开发是当前 IT 产业界最活跃、近年来发展最快的一个方向，已吸引了大批 IT 从业人员进行该方面的研究与应用，也取得了丰硕的成果。其中，最引人注意的就是对 ARM 和 Linux 的研究。

ARM 是 Advanced RISC Machines 的简称，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。英国 ARM 公司是知识产权供应商的设计公司，本身不生产芯片，主要业务是转让设计许可，将其技术授权给世界上许多著名的半导体、软件和 OEM 厂商，包括 Intel、IBM、NEC、SONY、三星、LG 等，由它们加入适当的外围电路来生产各具特色的 ARM 微处理器芯片，成为高端嵌入式开发的主流芯片。

Linux 是一个开源操作系统，它具有源码开放、内核稳定高效、软件丰富等优势，而且还具备支持广泛的处理器结构和硬件平台，具有占有空间小、成本低廉、结构紧凑等特点，占据着嵌入式操作系统市场中最大份额。因此，基于 ARM 处理器芯片的 Linux 开发成为当前嵌入式领域开发的热点，也是最有前景的硬软组合搭档。

当前，市场上关于嵌入式开发的图书很多，很多是关于理论学习的教材或教学试验教材，也有一些是关于某种教学开发板的说明教材。而关于实用性案例开发的图书有的过于专业，或者不能软、硬兼顾。本书则是从实用角度出发，从基础知识开始，逐步拓展加深，最后到实际应用设计，将读者从入门一步一步带到具体应用的实例开发。在内容设计上，本书剔除了旁支末节的知识点，精选在嵌入式开发学习过程中必备的知识点，重点突出在“全面”和“掌握”两个词上。通过阅读此书，笔者力图使一个嵌入式开发入门人员或中级人员能学习到“全面”的知识内容，并且能快速“掌握”开发技巧，让读者快速由入门水平进阶到实践操作水平。

本书全面介绍基于 ARM9 硬件平台的嵌入式 Linux 开发技术，共分 16 章，主要内容包括：嵌入式系统概述、ARM 处理器及 S3C2410 基本外围电路、嵌入式 Linux 系统、嵌入式开发环境的建立、BootLoader、Linux 内核向 ARM 平台的移植、嵌入式文件系统、设备驱动程序开发基础、网络设备驱动程序开发、USB 设备驱动程序开发、音频设备驱动程序开发、嵌入式应用软件开发、QT、嵌入式 Web 服务、嵌入式数据库设计，以及嵌入式网络视频终端。

本书适合于 ARM 嵌入式开发的入门读者和中级读者，可作为从事嵌入式开发的工程技术人员参考书，也可作为大专院校相关专业的实用教材。

本书由李新峰、何广生、赵秀文编写，在写作过程中，得到了张延伟同志的大力帮助和指导，在此表示衷心感谢。

由于时间仓促，加上作者水平有限，书中的不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 什么是嵌入式系统	1
1.1.1 嵌入式系统的历史与现状	1
1.1.2 嵌入式计算机的分类	4
1.1.3 嵌入式系统的一些基本概念	6
1.1.4 嵌入式系统的特点	6
1.2 嵌入式系统的设计方法	7
1.2.1 嵌入式系统体系结构	7
1.2.2 嵌入式系统的开发环境	8
1.2.3 嵌入式系统的开发流程	8
1.3 嵌入式系统应用领域与发展趋势	9
1.3.1 嵌入式系统的应用领域	10
1.3.2 嵌入式系统发展趋势	11
1.4 本章小结	12
第 2 章 ARM 处理器及 S3C2410 基本外围电路	13
2.1 ARM 处理器概述	13
2.1.1 ARM 公司简介	13
2.1.2 ARM 微处理器特点	14
2.1.3 ARM 处理器系列	14
2.2 ARM 体系结构	17
2.2.1 硬件构架	17
2.2.2 RISC 指令体系	18
2.3 ARM 开发环境和调试系统	19
2.3.1 ARM 开发环境的组成	20
2.3.2 开发调试方法简介	20
2.3.3 ADS 集成开发软件介绍	21
2.4 S3C2410 简介	27
2.5 S3C2410 基本外围电路	28
2.5.1 S3C2410 芯片各引脚意义	28
2.5.2 电源和复位电路	34
2.5.3 晶振及 JTAG 电路	35
2.5.4 存储器电路	36
2.5.5 Nor-Flash/Nand -Flash 电路	40

2.5.6 串口及 USB 接口电路	42
2.6 本章小结	43
第 3 章 嵌入式 Linux 系统	44
3.1 嵌入式操作系统概述	44
3.1.1 嵌入式操作系统发展历史	44
3.1.2 选择嵌入式操作系统的原则	45
3.1.3 典型的嵌入式操作系统	46
3.2 Linux 介绍	48
3.2.1 Linux 的特性	48
3.2.2 Linux 的内核版本	50
3.2.3 Linux 操作系统内核组成	51
3.2.4 Linux 系统数据结构	52
3.2.5 Linux 内核源码结构	53
3.2.6 Linux 操作系统的其他部分	55
3.2.7 Linux 作为嵌入式操作系统的优缺点	56
3.3 嵌入式 Linux 简介	57
3.3.1 常用的嵌入式 Linux 系统	58
3.3.2 嵌入式 Linux 的基本要素	59
3.3.3 嵌入式 Linux 开发步骤	59
3.4 本章小结	61
第 4 章 嵌入式开发环境的建立	62
4.1 Linux 操作系统的安装	62
4.1.1 系统安装程序的获取	62
4.1.2 对开发 PC 的性能要求	63
4.1.3 Redhat Linux Fedora 的安装	63
4.1.4 Linux 系统运行	65
4.2 开发环境配置	65
4.2.1 串口配置方法	65
4.2.2 网口配置方法	67
4.3 立交叉编译环境	72
4.3.1 交叉编译工具下载和版本选择	72
4.3.2 准备资源文件	73
4.3.3 建立脚本文件	73
4.3.4 建立配置文件	74
4.3.5 执行脚本	74
4.3.6 添加环境变量	75
4.3.7 测试交叉编译工具链	76

4.4	Makefile 和 Make	76
4.4.1	Makefile	76
4.4.2	Make 用法	78
4.5	镜像文件烧写	79
4.5.1	将应用程序加入到 Linux 系统	79
4.5.2	让应用程序自动启动	80
4.6	本章小结	81
第 5 章	BootLoader	82
5.1	BootLoader 简介	82
5.1.1	BootLoader 的作用	82
5.1.2	BootLoader 在嵌入式系统中的位置	83
5.1.3	BootLoader 程序结构	83
5.1.4	BootLoader 的操作模式	84
5.2	常用嵌入式 BootLoader 介绍	84
5.2.1	VIVI	84
5.2.2	U-Boot	85
5.2.3	RedBoot	85
5.2.4	ARMBoot	86
5.2.5	Blob	86
5.2.6	DIY	86
5.3	BootLoader 程序编写	87
5.3.1	硬件环境介绍	87
5.3.2	软件环境介绍	88
5.3.3	BootLoader 的 stage1	89
5.3.4	BootLoader 的 stage2	97
5.4	BootLoader 程序调试和烧写	101
5.5	本章小结	102
第 6 章	Linux 内核向 ARM 平台的移植	103
6.1	Linux 内核移植概述	103
6.2	修改内核代码	104
6.2.1	选定处理器支持	104
6.2.2	修改与 Flash 存储器相关的内核代码	105
6.3	配置内核选项	108
6.3.1	内核配置系统原理	108
6.3.2	内核配置选项说明	110
6.4	Linux 2.6 内核移植实例	113
6.5	本章小结	116

第 7 章 嵌入式文件系统	117
7.1 嵌入式文件系统概述.....	117
7.1.1 嵌入式系统存储介质.....	117
7.1.2 嵌入式 Linux 文件系统.....	118
7.2 根文件系统.....	121
7.2.1 根文件系统目录.....	121
7.2.2 根文件系统制作.....	123
7.3 Cramfs 文件系统.....	127
7.3.1 Cramfs 文件系统概述.....	127
7.3.2 Cramfs 文件系统移植.....	128
7.4 JFSS2 文件系统.....	130
7.4.1 JFSS2 文件系统概述.....	130
7.4.2 JFSS2 文件系统移植.....	131
7.5 Yaffs 文件系统.....	135
7.5.1 Yaffs 文件系统概述.....	135
7.5.2 Yaffs 文件系统移植.....	136
7.6 网络文件系统.....	139
7.6.1 NFS 概述.....	139
7.6.2 NFS 文件系统建立.....	139
7.7 本章小结.....	141
第 8 章 设备驱动程序开发基础	142
8.1 设备驱动概述.....	142
8.1.1 设备驱动程序基本原理.....	142
8.1.2 设备驱动和文件系统的关系.....	143
8.1.3 设备分类.....	143
8.1.4 设备号.....	144
8.1.5 设备驱动程序开发步骤.....	145
8.2 设备驱动程序框架.....	146
8.2.1 设备驱动程序结构.....	146
8.2.2 设备驱动程序关键数据结构.....	149
8.3 设备驱动程序的加载.....	153
8.3.1 内核模块和设备驱动程序.....	153
8.3.2 驱动程序静态编译加载.....	155
8.3.3 设备驱动程序动态加载.....	158
8.4 设备驱动程序开发中的关键问题.....	159
8.4.1 内核空间和用户空间.....	159
8.4.2 设备注册和卸载.....	160

8.4.3	驱动程序内存分配	162
8.4.4	与硬件通信	162
8.4.5	中断处理函数	164
8.5	本章小结	167
第 9 章	网络设备驱动程序开发	168
9.1	Linux 网络设备驱动程序原理	168
9.1.1	Linux 驱动程序框架	168
9.1.2	Linux 网络设备关键数据结构	169
9.1.3	网络驱动程序接口	176
9.2	CS8900 以太网芯片	178
9.2.1	芯片介绍	178
9.2.2	CS8900 芯片电路连接	179
9.2.3	CS8900 片内寄存器介绍	181
9.2.4	CS8900 芯片工作原理	185
9.3	CS8900 芯片驱动程序实现	186
9.3.1	网络设备初始化函数	187
9.3.2	网络设备打开函数	189
9.3.3	网络设备关闭函数	190
9.3.4	网络设备发送数据函数	191
9.3.5	网络设备接收数据函数	192
9.3.6	网络设备中断处理函数	193
9.4	本章小结	195
第 10 章	USB 设备驱动程序开发	196
10.1	USB 系统概述	196
10.1.1	USB 系统基本模型	196
10.1.2	USB 硬件系统总体结构	197
10.1.3	USB 系统层次结构	198
10.2	USB 主机	199
10.2.1	USB 主机端构成	199
10.2.2	客户软件	200
10.2.3	USB 系统软件	200
10.2.4	USB 主机控制器	202
10.3	USB 集线器	202
10.4	USB 设备	203
10.4.1	USB 设备逻辑结构	203
10.4.2	USB 设备物理结构	203
10.4.3	USB 数据传输	204

10.4.4	USB 协议栈框架	205
10.5	Linux 下 USB 系统框架	206
10.5.1	USB 系统文件节点	206
10.5.2	USB 驱动结构	207
10.5.3	Linux 下 USB 内核系统代码结构	208
10.6	USB 内核分析	209
10.6.1	USB 内核主要数据结构	209
10.6.2	USB 内核接口	213
10.7	USB 客户端驱动程序分析	217
10.7.1	初始化和卸载设备模块	217
10.7.2	上层文件系统接口模块	221
10.7.3	数据传输模块	226
10.7.4	USB 内核的支持	226
10.8	本章小结	227
第 11 章	音频设备驱动程序开发	228
11.1	音频设备概述	228
11.1.1	音频信号基础	228
11.1.2	音频设备原理	229
11.2	Linux 音频设备驱动	230
11.2.1	DSP 设备	230
11.2.2	Mixer 设备	231
11.2.3	DMA 缓存和内存管理	233
11.3	I ² S 音频系统硬件设计	234
11.3.1	I ² S 音频接口	234
11.3.2	音频接口电路设计	237
11.4	I ² S 音频驱动程序开发实例	239
11.4.1	DSP 设备驱动程序设计	239
11.4.2	Mixer 设备驱动程序设计	245
11.5	I ² S 音频应用程序开发实例	247
11.5.1	DSP 应用程序编程	247
11.5.2	Mixer 应用程序编程	249
11.6	本章小结	251
第 12 章	嵌入式应用软件开发	252
12.1	嵌入式应用软件开发简介	252
12.1.1	嵌入式应用软件的生命周期	252
12.1.2	嵌入式应用软件的体系结构	254
12.1.3	嵌入式应用软件分类	256

12.2	嵌入式应用软件开发特点	263
12.3	本章小结	265
第 13 章	QT	266
13.1	嵌入式 GUI 简介	266
13.1.1	MicroWindows	267
13.1.2	MiniGUI	267
13.1.3	QT/Embedded	268
13.2	初识 QT/Embedded	268
13.2.1	QT 的优势	268
13.2.2	QT 的架构	270
13.2.3	组成	271
13.2.4	系统要求	272
13.3	QT 的安装	273
13.3.1	系统及安装文件设置	273
13.3.2	安装 QT	274
13.3.3	另一种安装方法	275
13.4	用 QT 制作嵌入式应用程序	276
13.5	编译与移植	284
13.5.1	编译	284
13.5.2	移植	286
13.6	本章小结	287
第 14 章	嵌入式 Web 服务	288
14.1	嵌入式 Web 服务基础知识	288
14.1.1	TCP/IP 简介	288
14.1.2	嵌入式 Web 服务器	291
14.1.3	CGI 技术	293
14.1.4	常见嵌入式 Web 服务器介绍	297
14.2	嵌入式 Web 服务器——Boa	299
14.2.1	Boa 的功能实现及源文件下载	299
14.2.2	Boa 的安装和配置	300
14.2.3	移植测试	304
14.3	CGI 开发技术	305
14.3.1	CGIC 库的移植	306
14.3.2	HTML 模板的制作	308
14.3.3	CGI 程序的开发	308
14.4	本章小结	309

第 15 章 嵌入式数据库设计	310
15.1 数据库知识介绍.....	310
15.1.1 基本概念.....	310
15.1.2 关系数据库语言 SQL.....	311
15.2 Linux 环境下常见数据库简介.....	313
15.2.1 商业数据库.....	313
15.2.2 自由软件数据库.....	314
15.3 SQLite.....	316
15.3.1 SQLite 的优点.....	316
15.3.2 SQLite 安装.....	317
15.3.3 直接操作 SQLite 数据库.....	319
15.3.4 用 C/C++ 语言操作 SQLite 数据库.....	324
15.3.5 SQLite 的移植.....	331
15.4 本章小结.....	334
第 16 章 嵌入式网络视频终端	335
16.1 嵌入式网络视频终端简介.....	335
16.2 系统总体设计.....	337
16.2.1 硬件框架结构.....	337
16.2.2 软件框架结构.....	337
16.3 硬件设计.....	338
16.3.1 ARM 处理器模块.....	338
16.3.2 存储器模块.....	339
16.3.3 图像传感器模块.....	341
16.3.4 音频传感器模块.....	343
16.3.5 视频压缩模块.....	347
16.3.6 网络控制器模块.....	348
16.3.7 辅助部分.....	351
16.4 软件设计.....	352
16.4.1 硬件驱动程序.....	352
16.4.2 网络数据发送.....	370
16.4.3 系统编译.....	374
16.5 系统调试.....	375
16.6 本章小结.....	376
参考文献	377

01

第 1 章

嵌入式系统概述

随着电子技术的快速发展，特别是大规模集成电路的产生而出现的微型机，使现代科学研究得到了质的飞跃，而嵌入式微控制器技术的出现则是给现代工业控制领域带来了一次新的技术革命。嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术、电子技术和各个行业的具体应用相结合后的产物，这一点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。目前，嵌入式系统每年带来的工业产值已超过了 1 万亿美元，嵌入式计算机不仅被应用于民品，而且还被大量应用在军事装备上，成为各国技术战略竞争的要点。本章包括以下内容：

- 嵌入式系统的概念
- 嵌入式系统的设计方法
- 嵌入式系统的应用和发展

1.1 什么是嵌入式系统

嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，并且软硬件可裁减，适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积和功耗有严格要求的专用计算机系统。它一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统，以及用户应用程序 4 部分组成，用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。与通用计算机不同，嵌入式系统是针对具体应用的专用系统，目的就是要更简单、更方便、更普遍、更适用；它的硬件和软件都必须有高效率地设计，量体裁衣、去除冗余，力争在同样的硅片面积上实现更高的性能。

1.1.1 嵌入式系统的历史与现状

虽然嵌入式系统是近几年才风靡起来的，但是这个概念并非新近才出现。同其他计算机技术一样，它也是在硬件和软件交替发展的双螺旋支撑下逐渐趋于稳定和成熟的。从 20 世纪 70 年代单片机的出现到今天各式各样的嵌入式微处理器、微控制器的大规模应用，

嵌入式系统已经有了近 40 年的发展历史。

1. 萌芽阶段——单板机

第一代嵌入式系统出现在 20 世纪 70 年代。1971 年 11 月，Intel 公司成功地把算术运算器和控制器电路集成在一起，推出了世界上第一片微处理器 Intel 4004，其后各厂家推出了许多 8 位、16 位的微处理器，包括 Intel 8080/8085、8086，Motorola 的 6800、68000，Zilog 的 Z80、Z8000 等。由这些微处理器为核心构成的单板计算机系统，广泛用于制造仪器仪表、医疗设备、机器人和家用电器等，这些装置已经初步具备了嵌入式的应用特点，但是这时的应用只是使用 8 位的芯片，执行一些控制逻辑，还谈不上“系统”的概念。

2. 形成阶段——单片机

20 世纪 80 年代初，Intel 又进一步完善了 8048，在它的基础上研制成功了 8051，这在单片机的历史上是值得纪念的一页。迄今为止，51 系列的单片机仍然是最为成功的单片机芯片，在各种产品中有着非常广泛的应用。它内部集成寄存器、ROM/EPROM、总线逻辑、计数器、看门狗、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D 和 D/A 等各种必要功能，可以连接定时器、Flash RAM、EEPROM 等外设，使其完全可以形成一套独立的计算机系统，完成各种控制和运算任务。与单板机相比，单片机最大的特点是体积大大减小，功耗和成本下降，可靠性提高。

从 20 世纪 80 年代早期开始，嵌入式系统的程序员开始用商业级的“操作系统”编写嵌入式应用软件，这使得可以获取更短的开发周期、更低的开发资金和更高的开发效率的“嵌入式系统”真正出现了。这个时候的操作系统仅是一个实时核，它包括任务管理、数据通信、同步与相斥和中断处理等简单功能。其中比较著名的有 Ready System 公司的 VRTX、Integrated System Incorporation (ISI) 的 PSOS、IMG 的 VxWorks 和 QNX 公司的 QNX 等。这些嵌入式操作系统都具有嵌入式的典型特点：均具有较强的实时性和可靠性，适合嵌入式应用；系统内核很小，具有可裁减、可扩充和可移植性，可以移植到各种处理器上。

3. 发展阶段——嵌入式处理器

20 世纪 90 年代，在分布控制、柔性制造、数字化通信和数字化家电等巨大需求的牵引下，嵌入式应用进一步加速发展。越来越多的工业应用要求嵌入式系统要有高速度、高精度、实时处理能力，这就使得嵌入式处理器具有更高的运算能力和速度，8 位的数据处理能力远远跟不上应用的需要。

一方面由于像数码相机、MP3 播放机、PDA、游戏机和移动电话手机等手持设备、以及各种信息家电等有更高性能要求的多媒体和通信设备的推出，庞大的多媒体数据必然需要更大的存储空间，目前许多 32 位微控制器都可以使用 SDRAM，因此可极大地降低使用更大容量数据存储器的成本；而 8 位微控制器一般只能使用成本较高的 SRAM 作为数据存储器。此外除了处理应用控制功能外，有越来越多的像电视机、汽车音响及电子玩具等传统应用也与时俱进地提出数字化和“硬件软化”的要求，它们对计算性能的要求及存储器容量的需求都超出了绝大多数 8 位微控制器能提供的范围。

另一方面由于 IT 技术发展的推动，32 位 ARM 体系结构已经成为一种事实上的标准，

随着高端 32 位 CPU 价格的不断下降和开发环境的成熟,促使 32 位嵌入式处理器日益挤压原先由 8 位微控制器主导的应用空间。随着 ARM 处理器在全球范围的流行,32 位的 RISC 嵌入式处理器已经开始成为中高端嵌入式应用和设计的主流。

除此之外,需要支持互联网接入的功能也渐渐成为嵌入式系统的需求,在嵌入式微控制器 MCU (Micro Controller Unit) 运行 TCP/IP 或其他通信协议的情况下,要求系统建立在 RTOS (Real-time operating system) 上就必然成为一种现实需求。20 世纪 90 年代以后,随着对实时性要求的提高,软件规模不断上升,实时核逐渐发展为实时多任务操作系统 (RTOS),并作为一种软件平台逐步成为目前国际嵌入式系统的主流。这时候更多的公司看到了嵌入式系统的广阔发展前景,开始大力发展自己的嵌入式操作系统。除了上面的几家老牌公司以外,还出现了 Palm OS、Windows CE、嵌入式 Linux、Lynx、Nucleux,以及国内的 Hopen、Delta OS 等嵌入式操作系统。随着嵌入式技术的发展前景日益广阔,相信会有更多的嵌入式操作系统软件出现。

4. 嵌入式系统发展现状

进入 21 世纪,嵌入式技术全面展开,目前已成为通信和消费类产品的共同发展方向。在通信领域,数字技术正在全面取代模拟技术。在广播电视领域,美国已经由模拟电视向数字电视转变,欧洲的 DVB (数字电视广播) 技术已在全球大多数国家推广。数字音频广播 (DAB) 也已进入商品化阶段。所有上述产品中,都离不开嵌入式系统技术。

在个人领域中,嵌入式产品将主要是个人商用,作为个人移动的数据处理和通信软件。嵌入式设备具有自然的人机交互界面,以 GUI 屏幕为中心的多媒体界面给人很大的亲和力。手写文字输入、语音拨号上网、收发电子邮件,以及彩色图形、图像已成功在生产生活中广泛运用。近期长虹推出的 ADSL 产品,结合了网络、控制和信息;这种智能化、网络化将是家电发展的新趋势。

对于企业专用解决方案,如物流管理、条码扫描、移动信息采集等,这种小型手持嵌入式系统将发挥巨大的作用。在自动控制领域,它不仅可用于 ATM 机、自动售货机、工业控制等专用设备,而且已与移动通信设备、GPS 卫星导航系统成功结合,使嵌入式系统发挥了前所未有的巨大作用。

在硬件方面,不仅有各大公司的微处理器芯片,还有用于学习和研发的各种配套开发包。目前低层系统和硬件平台经过若干年的研究,已经相对比较成熟,实现各种功能的芯片应有尽有。而且巨大的市场需求为开发者提供了学习研发的资金和技术力量。

在软件方面,也有相当一部分的成熟软件系统。国外商品化的嵌入式实时操作系统,已进入我国市场的有 VxWorks、Windows CE、QNX、Linux 和 Nuclear 等产品。我国也自主研发了一些嵌入式系统软件,如科银(CoreTek)公司的嵌入式软件开发平台 DeltaSystem,中科院的希望(Hopen)嵌入式操作系统。同时,作为研究的热点,可在网上找到各种各样的免费资源,从各大厂商的开发文档,到各种驱动和程序源代码,甚至很多厂商还提供微处理器的样片,这对于从事嵌入式方面的研发,无疑是个资源宝库。对于软件设计来说,不管是入门学习还是进一步开发,都相对比较容易。这就使得很多入门者能够比较快地进入研究状态,利于发挥大家的积极创造性。

1.1.2 嵌入式计算机的分类

由于嵌入式系统由硬件和软件两大部分组成，所以其分类也可以从硬件和软件进行划分。

从硬件方面来讲，各式各样的嵌入式处理器是嵌入式系统硬件中的最核心的部分，而目前世界上具有嵌入式功能特点的处理器已经超过 1000 种，流行体系结构包括 MCU、MPU 等 30 多个系列。鉴于嵌入式系统广阔的发展前景，很多半导体制造商都大规模生产嵌入式处理器，并且公司自主设计处理器也已经成为了未来嵌入式领域的一大趋势，其中从单片机、DSP 到 FPGA 有着各式各样的品种，速度越来越快，性能越来越强，价格也越来越低。目前嵌入式处理器的寻址空间可以从 64KB 到 16MB，处理速度最快可以达到 2000 MIPS，封装从 8 个引脚到 144 个引脚不等。

根据其现状，嵌入式处理器可以分成下面几类。

1. 嵌入式微处理器 (Micro Processor Unit, MPU)

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，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。与工业控制计算机相比，嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点。目前主要的嵌入式处理器类型有 Am186/88、386EX、SC-400、Power PC、68000、MIPS、ARM/ StrongARM 系列等。

其中 Arm/StrongArm 是专为手持设备开发的嵌入式微处理器，属于中档价位。

2. 嵌入式微控制器 (Microcontroller Unit, MCU)

嵌入式微控制器的典型代表是单片机，从 20 世纪 70 年代末单片机出现到今天，虽然已经经过了 20 多年的历史，但这种 8 位的电子器件目前在嵌入式设备中仍然有着极其广泛的应用。单片机芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、看门狗、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM 和 EEPROM 等各种必要功能和外设。与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。微控制器的片上外设资源一般比较丰富，适合于控制，因此称微控制器。

由于 MCU 低廉的价格，优良的功能，所以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 I²C、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。近来 Atmel 出产的 Avr 单片机由于其集成了 FPGA 等器件，所以具有很高的性价比，势必将推动单片机获得更高的发展。

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

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有特殊设计，具有很高的编译效率和执行速度。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,所以这种理论算法只能通过 MPU 等由分立元件实现。MPU 较低的处理速度无法满足 DSP 的算法要求,其应用领域仅仅局限于一些尖端的高科技领域。随着大规模集成电路技术的发展,1982 年世界上诞生了首枚 DSP 芯片。其运算速度比 MPU 快了几十倍,在语音合成和编码解码器中得到了广泛应用。到 20 世纪 80 年代中期,随着 CMOS 技术的进步与发展,第二代基于 CMOS 工艺的 DSP 芯片应运而生,其存储容量和运算速度都得到成倍提高,成为语音处理和图像硬件处理技术的基础。到 20 世纪 80 年代后期,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。90 年代后,DSP 发展到了第五代产品,集成度更高,使用范围也更加广阔。

目前最为广泛应用的是 TI 的 TMS320C2000/C5000 系列,另外如 Intel 的 MCS-296 和 Siemens 的 TriCore 也有各自的应用范围。

4. 嵌入式片上系统 (System On Chip, SOC)

SOC 是追求产品系统最大包容的集成器件;是目前嵌入式应用领域的热门话题之一。SOC 最大的特点是成功实现了软硬件无缝结合,直接在处理器片内嵌入操作系统的代码模块。而且 SOC 具有极高的综合性,它在一个硅片内部运用 VHDL 等硬件描述语言,实现一个复杂的系统。用户不需要再像传统的系统设计一样,绘制庞大复杂的电路板,并一点点地连接焊制,只需要使用精确的语言,综合时序设计直接在器件库中调用各种通用处理器的标准,然后通过仿真之后就可以直接交付芯片厂商进行生产。由于绝大部分系统构件都是在系统内部,整个系统就特别简洁,不仅减小了系统的体积和功耗,而且提高了系统的可靠性,提高了设计生产效率。

由于 SOC 往往是专用的,所以大部分都不为用户所知,比较典型的 SOC 产品是 Philips 的 Smart XA。少数通用系列如 Siemens 的 TriCore, Motorola 的 M-Core, 某些 ARM 系列器件,以及 Echelon 和 Motorola 联合研制的 Neuron 芯片等。

预计不久的将来,一些大的芯片公司将通过推出成熟的、能占领多数市场的 SOC 芯片,一举击退竞争者。SOC 芯片也将在声音、图像、影视、网络及系统逻辑等应用领域中发挥重要作用。

从软件方面划分,主要可以依据操作系统的类型。目前嵌入式系统的软件主要有两大类:实时系统和分时系统。其中实时系统又分为两类:硬实时系统和软实时系统。

实时嵌入系统是为执行特定功能而设计的,可以严格地按时序执行功能。其最大的特征就是程序的执行具有确定性。在实时系统中,如果系统在指定的时间内未能实现某个确定的任务,会导致系统的全面失败,则系统被称为硬实时系统。而在软实时系统中,虽然响应时间同样重要,但是超时却不会导致致命错误。一个硬实时系统往往在硬件上需要添加专门用于时间和优先级管理的控制芯片,而软实时系统则主要在软件方面通过编程实现时限的管理。比如,Windows CE 就是一个多任务分时系统,而 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 则是典型的实时操作系统。

当然,除了上述分类之外,还有许多其他分类方法,如从应用方面分为工业应用和消费电子等,在这里就不一一描述了。