 电子信息与电气学科规划教材

嵌入式 Linux

系统开发与应用

金伟正 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

嵌入式 Linux 系统开发与应用

金伟正 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

嵌入式系统技术已被广泛地应用于军事、工业控制系统、信息家电、通信设备、医疗仪器、智能仪器仪表等众多领域。Linux 是一个优秀的操作系统，嵌入式操作系统是近年来的热门话题。嵌入式系统原理与应用对大学生、研究生今后的工作与科研有着很重要的作用，也是科研人员、工程人员必备的知识。

本书在介绍嵌入式操作系统一般原理的基础上，详细地论述了嵌入式系统开发过程中的主要技术问题，着重介绍主流的、广受欢迎的 Linux 操作系统的设计与实现，包括 Linux 的内核开发原理。本书注重原理讲解和实验相结合，培养学生的理论和实际动手能力。全书分为 12 章，内容包括嵌入式系统概论、Linux 基础知识、Linux 编程环境、Linux 外壳程序编程、构建嵌入式 Linux 开发平台、ARM 调试环境、嵌入式 BootLoader 技术、Linux 内核配置、ARM-Linux 内核分析和移植、嵌入式文件系统、嵌入式 Web 设计、嵌入式 Linux 的 GUI 等内容。

本书内容丰富，图文并茂，语言流畅，叙述清楚，通俗易懂，注重理解与实例，可操作性强，大部分章节配有实例和源程序。本书可作为计算机学科、电子信息及电气学科等相关专业（电子工程、通信工程、电子科学与技术、信号处理等专业）本科生、研究生及工程硕士生的嵌入式课程的教材，也可供对嵌入式系统感兴趣的技术人员参考使用。

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 系统开发与应用 / 金伟正编著. —北京：电子工业出版社，2011.4

电子信息与电气学科规划教材

ISBN 978-7-121-13153-0

I. ①嵌… II. ①金… III. ①Linux 操作系统—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 047688 号

策划编辑：杨丽娟

责任编辑：杨丽娟 特约编辑：黄志余

印 刷：北京京科印刷有限公司

装 订：

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：20.25 字数：518 千字

印 次：2011 年 4 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：38.00 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，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

在数字信息技术和网络技术高速发展及物联网兴起的时代，嵌入式系统已经广泛地渗透到科学研究、工程设计、军事技术、商业文化艺术、娱乐业，以及人们的日常生活中的方方面面。随着物联网及国内外嵌入式产品的进一步开发和推广，嵌入式技术越来越和人们的生活密切相关。在当今的信息时代，可能有人从来没有接触过计算机；但是在后 PC 时代，就不可能接触不到嵌入式系统，因为嵌入式系统无处不在，从家里的平板电视、手机、洗衣机、电冰箱、微波炉，到作为交通工具的自行车、汽车及办公室里的远程会议系统等，都属于可以使用嵌入式技术开发的产品。所以，嵌入式系统是继因特网络技术以后，又一个新的技术发展方向，它对社会的各个领域产生了越来越深远的影响。

嵌入式系统的发展过程大体经历了四个阶段：无操作系统阶段、简单操作系统阶段、实时操作系统阶段和面向因特网阶段。在嵌入式产品的不同发展阶段，对嵌入式操作系统功能上的要求也逐渐由简单向复杂过渡。同时，因为新的微处理层出不穷，嵌入式操作系统自身结构的设计必须更加便于移植，要求在短时间内支持更多的微处理器。尤其，随着网络化、信息化和智能化的发展，随着因特网技术的成熟和带宽的提高，网络互联成为必然趋势，以往功能单一的设备如平板电视、手机等功能不再单一，给嵌入式操作系统提出了更高的要求。比如，对于面向因特网的嵌入式操作系统，不但要求其嵌入式操作系统具备文件、设备及多任务管理、网络连接和图形用户界面（GUI）等功能，而且要求尽量提供较多的 API（应用程序接口）接口，以易于应用程序的二次开发。

比较流行的嵌入式系统有 Windows CE、VxWorks、Palm OS、uC/OS II 和嵌入式 Linux 操作系统等，这些嵌入式操作系统在开放性、实用性及性能等方面各有千秋。其中，由于嵌入式 Linux 操作系统遵循 GNU 的 GPL 条款，具有源代码开放、代码漂亮、工作稳定、内核结构清晰、移植方便、系统内核小、执行效率高、网络功能强大等特点，而成为嵌入式市场的有力竞争者。

由于嵌入式系统的研究和开发是一个理论性、实践性都非常强的工作，因此在开发嵌入式系统的时候，对研究开发人员的要求非常高。不但要求研究开发人员熟悉嵌入式 CPU 的结构和编程，更多地要求掌握嵌入式系统研究开发的各个环节，如：BootLoader、Kernel、Driver 和文件系统等，同时还必须具备所属各行业的相关知识和丰富的实践经验。本书总结了编者多年在教学和科研上的经验和资料，力求从基本概念、基本原理、基本方法和基本应用出发，使读者能扎实地掌握嵌入式系统开发的方法和技能。

全书分为 12 章：第 1 章介绍嵌入式系统的基础知识；第 2 章为 Linux 操作系统入门基础；第 3 章介绍 Linux 系统环境下的程序设计基础；第 4 章学习 Linux 外壳的编程方法；第 5 章介绍如何构建嵌入式 Linux 开发平台；第 6 章对 ARM 调试工具、编译环境进行介绍；第 7 章对嵌入式 BootLoader 技术进行了详细的分析；第 8 章详细讲述 Linux 内核配置方法；第 9 章以嵌入式操作系统 ARM-Linux 为例，对其内核进行了详细剖析，其原理也适用其他架构的处理器；第 10 章对嵌入式文件系统进行了综合描述和具体分析；第 11 章就构建嵌入式 Web 服务器使用的相关技术进行了详细的分析介绍；最后，在第 12 章中详细介绍嵌入式图形用

户界面（GUI）的原理和设计方法。

本书参考的许多内容取材于国内外最新的教材和技术资料，详见参考文献，读者可以根据需求选读。本书所选参考材料有的无法事先与原作者协商而加以采用，在此，谨向多位原作者表达诚挚的敬意和真诚的感谢。同时，本书的部分资料来自网上，无法一一列举，在此一并感谢。

本书由金伟正主编，另外参与本书编著的还有杨光义、汤红文、周文、张巍、余涛、宋志强、吴铁洲、王振华、周金和等，同时由全体作者共同完成了书稿的校对和修改，在此感谢大家的辛勤劳动。

由于时间仓促，编著者的水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正，您们提出的问题和建 议是编著者前进的动力。

编著者

目 录

第 1 章 嵌入式系统概论	1
1.1 嵌入式系统概述	1
1.1.1 嵌入式系统的历史	1
1.1.2 什么是嵌入式系统	2
1.1.3 嵌入式系统的特点	2
1.1.4 嵌入式处理器	2
1.1.5 嵌入式系统的应用领域	5
1.1.6 嵌入式系统的发展趋势	6
1.2 嵌入式系统开发	7
1.2.1 需求分析和概要设计	7
1.2.2 嵌入式系统中的硬件	8
1.2.3 嵌入式系统中的软件	12
1.2.4 嵌入式系统软件开发的一般过程	16
1.2.5 嵌入式应用程序的开发	17
1.3 嵌入式操作系统	21
1.3.1 嵌入式操作系统概述	21
1.3.2 嵌入式操作系统的分类	22
1.3.3 嵌入式操作系统的特点	24
1.3.4 典型的嵌入式操作系统	25
1.3.5 嵌入式操作系统的选择	29
1.4 Linux 操作系统	29
1.4.1 Linux 操作系统概述	29
1.4.2 Linux 的重要性	31
1.4.3 嵌入式 Linux 系统开发平台	33
1.4.4 Linux 的发展前景	33
1.5 思考题	35
第 2 章 Linux 基础知识	36
2.1 认识 Linux 操作系统	37
2.1.1 Linux 简明历史	37
2.1.2 Linux 系统的特点和组成	39
2.1.3 Linux 的开发过程	41
2.2 基本操作命令	43
2.2.1 字符界面简介	43

2.2.2 常用命令简介	44
2.3 Linux 文件与目录系统	48
2.3.1 Linux 文件系统类型介绍	48
2.3.2 Linux 目录系统	51
2.4 Shell 简介	53
2.5 网络服务简介	55
2.5.1 Linux 支持的网络协议	55
2.5.2 Linux 的网络服务	57
2.6 思考题	58
第 3 章 Linux 编程环境	59
3.1 Linux 编程环境介绍	59
3.1.1 系统平台环境	59
3.1.2 开发工具环境	59
3.1.3 基于文本模式的开发平台	60
3.1.4 集成开发平台 Eclipse+CDT	60
3.1.5 文档帮助环境	62
3.2 常用编辑器	63
3.2.1 VIM 编辑器	63
3.2.2 Emacs 编辑器	66
3.3 gcc 编译器的使用	69
3.3.1 gcc 的主要选项	70
3.3.2 GNU C 扩展简介	74
3.4 GNU make 管理项目	75
3.4.1 make 简介	75
3.4.2 编写 Makefile 文件的规则	76
3.5 GDB 调试	80
3.5.1 GDB 命令介绍	80
3.5.2 GDB 调试例程	83
3.5.3 基于 GDB 的图形界面调试工具	86
3.6 思考题	87
第 4 章 Linux 外壳程序编程	88
4.1 创建和运行外壳程序	88
4.1.1 创建外壳程序	88
4.1.2 运行外壳程序	89
4.2 使用外壳变量	90
4.2.1 给变量赋值	90
4.2.2 读取变量的值	90
4.2.3 位置变量和其他系统变量	91

4.2.4 引号的作用	91
4.3 数值运算命令	92
4.4 条件表达式	94
4.4.1 if 表达式	94
4.4.2 case 表达式	95
4.5 循环语句	97
4.5.1 for 语句	97
4.5.2 while 语句	98
4.5.3 until 语句	99
4.6 shift 命令	99
4.7 select 语句	100
4.8 repeat 语句	101
4.9 函数	101
4.10 Shell 应用举例	103
4.11 思考题	107
第 5 章 构建嵌入式 Linux 开发平台	108
5.1 GNU 跨平台开发工具链	108
5.2 嵌入式 Linux 内核	115
5.3 嵌入式 Linux 根文件系统	116
5.4 BootLoader 简介	117
5.5 思考题	118
第 6 章 ARM 调试环境	119
6.1 ARM 调试工具简介	119
6.1.1 JTAG 仿真器	119
6.1.2 Multi-ICE Server	120
6.2 ADS 软件调试工具	121
6.2.1 使用 Metrowork CodeWarrior for ARM Developer Suite	122
6.2.2 使用 RealView Debugger	124
6.2.3 使用 AXD Debugger	126
第 7 章 嵌入式 BootLoader 技术	132
7.1 BootLoader 的基本概念	132
7.1.1 BootLoader 所支持的 CPU 和嵌入式板	132
7.1.2 BootLoader 的安装点和启动过程	133
7.1.3 BootLoader 的模式	133
7.1.4 BootLoader 与主机之间的通信方式	134
7.2 BootLoader 典型结构框架	135
7.2.1 BootLoader 总体流程	135

7.2.2	BootLoader 的 stage1	135
7.2.3	BootLoader 的 stage2	137
7.3	典型 BootLoader 分析和移植	145
7.3.1	U-Boot	145
7.3.2	Blob	152
7.4	其他 BootLoader 介绍	155
7.4.1	Redboot	155
7.4.2	ARMBoot	156
7.4.3	PPCBoot	156
7.4.4	ViVi	156
7.4.5	Yamon	156
7.5	思考题	156
第 8 章	Linux 内核配置	157
8.1	内核概述	157
8.2	嵌入式 Linux 内核代码结构	158
8.3	内核开发的特点	160
8.3.1	没有 libc 库	160
8.3.2	GNU C	160
8.3.3	没有内存保护机制	162
8.3.4	不要轻易在内核中使用浮点数	162
8.3.5	容积小而固定的栈	162
8.3.6	同步和并发	162
8.3.7	可移植性的重要性	163
8.4	嵌入式 Linux 内核的配置	163
8.4.1	Makefile	163
8.4.2	配置文件	168
8.4.3	Linux 内核配置选项	171
8.5	配置举例	177
8.6	思考题	179
第 9 章	ARM-Linux 内核分析和移植	180
9.1	ARM 微处理器	180
9.1.1	RISC 体系结构	180
9.1.2	ARM 微处理器的类型	181
9.1.3	ARM 微处理器的寄存器结构	183
9.1.4	ARM 微处理器的指令结构	185
9.2	ARM-Linux 内存管理	186
9.2.1	内存管理单元 MMU	186
9.2.2	ARM-Linux 的存储管理机制	186

9.2.3	ARM-Linux 存储机制的建立	186
9.2.4	ARM-Linux 对进程虚拟空间的管理	191
9.3	ARM-Linux 进程管理与调度	195
9.3.1	task_struct 数据结构	195
9.3.2	Linux 进程的创建、执行和消亡	204
9.3.3	ARM_Linux 的进程调度	210
9.4	ARM-Linux 中断与中断处理	217
9.4.1	Linux 处理中断概述	217
9.4.2	ARM 体系程序的执行流程	221
9.4.3	ARM 的异常中断种类	221
9.4.4	ARM 处理器对异常中断的响应及返回过程	222
9.5	ARM-Linux 系统启动与初始化	224
9.5.1	内核数据结构的初始化	225
9.5.2	外设初始化	230
9.5.3	init 进程和 linitab 文件	231
9.5.4	rc 启动脚本	232
9.5.5	Shell 的启动	232
9.6	Linux 驱动程序简介	233
9.6.1	设备的分类	234
9.6.2	设备号	234
9.6.3	设备节点	235
9.6.4	用户空间和内核空间	235
9.7	Linux 模块化机制	235
9.7.1	Linux 的模块化	235
9.7.2	模块的载入	237
9.7.3	模块的卸载	238
9.8	ARM-Linux 内核裁减	238
9.9	嵌入式 Linux 的移植	240
9.9.1	移植准备	240
9.9.2	移植步骤	240
9.9.3	配置内核选项	241
9.9.4	修改 Kernel 文件系统部分代码	242
9.10	思考题	244
第 10 章	嵌入式文件系统	245
10.1	Linux 文件系统结构与特征	245
10.1.1	Linux 文件系统概述	245
10.1.2	Linux 文件系统布局	245
10.1.3	Linux 支持的文件系统	252

10.2	嵌入式文件系统简介	253
10.2.1	NOR Flash 与 NAND Flash 介绍	254
10.2.2	MTD 介绍	254
10.2.3	cramfs 文件系统简介	256
10.2.4	romfs 文件系统简介	257
10.2.5	嵌入式文件系统 JFFS 简介	259
10.2.6	嵌入式文件系统 YAFFS 简介	260
10.3	构建根文件系统	261
10.4	根文件系统设置	263
10.5	BusyBox	265
10.5.1	BusyBox 简介	265
10.5.2	使用 BusyBox 构建根文件系统	267
10.6	嵌入式文件系统的设计	269
10.6.1	文件系统格式的选型的基本策略	269
10.6.2	混合型文件系统的设计	269
10.7	思考题	270
第 11 章	嵌入式 Web 服务器设计	271
11.1	TCP/IP 协议	271
11.1.1	TCP/IP 协议栈	271
11.1.2	TCP/IP 协议栈的数据流向	272
11.1.3	TCP 协议与 UDP 协议	273
11.2	HTTP 协议	274
11.2.1	HTTP 协议的方法	274
11.2.2	HTTP 协议消息头	276
11.2.3	HTTP 协议使用举例	277
11.2.4	内核网络服务	278
11.3	Socket 编程基础	278
11.3.1	Socket 描述	278
11.3.2	Socket 描述符	279
11.4	嵌入式 Web 服务器系统结构	280
11.4.1	协议标准	280
11.4.2	瘦 Web 服务器	280
11.4.3	嵌入式应用接口技术	281
11.4.4	实现形式	282
11.4.5	EMIT	282
11.4.6	RomPager	282
11.5	Web 服务器构建	283
11.6	思考题	286

第 12 章 嵌入式 Linux 的 GUI	287
12.1 嵌入式 GUI 简介	287
12.1.1 MiniGUI	288
12.1.2 Qt/Embedded	288
12.1.3 Nano-X	289
12.1.4 OpenGUI	289
12.2 MiniGUI 程序设计基础	290
12.2.1 MiniGUI V1.3.3 软件包	290
12.2.2 MiniGUI 的特点	291
12.2.3 窗口处理过程	293
12.2.4 MiniGUI 的线程机制	294
12.2.5 MiniGUI 的体系结构	295
12.2.6 MiniGUI 的底层引擎	296
12.2.7 MiniGUI 的三种运行模式	297
12.2.8 MiniGUI 移植	298
12.3 Qt/Embedded 程序设计基础	299
12.3.1 Qt/Embedded 的图形引擎实现基础	301
12.3.2 Qt/Embedded 的事件驱动基础	303
12.3.3 Qt/Embedded 底层支持分析	304
12.3.4 Qt/Embedded 的移植	304
12.4 思考题	309
参考文献	310

第1章 嵌入式系统概论

在数字信息技术和网络技术高速发展及物联网兴起的时代，嵌入式系统已经广泛地渗透到科学研究、工程设计、军事技术、商业文化艺术、娱乐业，以及人们的日常生活中的方方面面。随着物联网及国内外嵌入式产品的进一步开发和推广，嵌入式技术越来越和人们的生活密切相关。在当今的信息时代，可能有人从来没有接触过计算机；但是在后 PC 时代，就不可能接触不到嵌入式系统，因为嵌入式系统存在于生活的方方面面中，从家里的洗衣机、电冰箱、微波炉、平板电视，到作为交通工具的自行车、汽车及办公室里的远程会议系统等，都属于可以使用嵌入式技术开发和改造的产品。

1.1 嵌入式系统概述

1.1.1 嵌入式系统的历史

实际上嵌入式系统这个概念很早以前就已经存在了。在通信方面，嵌入式系统在 1960 年就被用于对电子机械电话交换的控制，当时被称为存储式程序控制系统（Stored Program Control）。那时还没有出现操作系统的概念，对每一个应用都需要提供整个计算机的设计。后来，随着微处理器的出现，可以提供一个中央计算引擎。利用微处理器，可以组成一个基于总线连接起来的计算机硬件体系结构，并且提供一个通用功能的编程模型，从而简化了编程。

嵌入式系统的概念是在 1970 年左右出现的。不过在当时，大部分都是由汇编语言完成的，而且这些汇编程序只能用于某一种固定的微处理器。当这种微处理器过时之后，这种嵌入式系统就没有用了；并且还要开始对新的微处理器编写新的嵌入式系统。这个时候的嵌入式系统很多都不用操作系统，它们只是为了实现某个控制功能，使用一个简单的循环控制对外界的控制请求进行处理，即所谓的前后台系统或超级循环系统。

C 语言的出现使得操作系统开发变得越来越简单。利用 C 语言可以很快地构建一个小型的、稳定的操作系统。众所周知，C 语言的作者 Dennis M.Ritchie 和 Brian W.Kemighan 利用它写出了著名的 UNIX 操作系统，直接影响了近 30 年计算机业的发展；同时，对开发嵌入式系统来说，在效率和速度上都提高了很多。

在未来的社会里，使用嵌入式系统的情形会越来越多，人们可以不接触计算机，但是不可能不接触嵌入式系统。嵌入式系统可能存在于生活的每个角落：您家里可能就是通过一个嵌入式系统控制的中心，它可以管理您家里的所有家电，控制家庭和外界网络的连接，让您的生活更为方便；在您坐车的时候，汽车电脑可以通过全球定位系统（GPS）来判断自己的具体位置，利用嵌入式智能系统判断走哪条路比较方便。而且随着因特网的飞速发展及因特网技术与信息家电、工业控制技术和射频通信技术等紧密结合，嵌入式设备与因特网的结合

将代表着嵌入式技术的真正未来，催生出物联网的产生和发展。

1.1.2 什么是嵌入式系统

什么是嵌入式系统？根据国际电气和工程师协会（IEEE）所做的定义，嵌入式系统是控制、监视或辅助某个设备、机器或工厂运作的装置。它具备下列 4 项特性：

- 用来执行特定功能；
- 以微型计算机与周边外设构成核心；
- 需要严格的时序与稳定度；
- 全自动循环操作。

目前国内普遍认同的定义是：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、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、嵌入式操作系统及用户的应用程序四个部分组成，用于实现对其他设备的控制、监视或管理等目标。

1.1.3 嵌入式系统的特点

嵌入式系统通常具有如下一些特点：

- 嵌入式系统是面向用户、面向产品、特定应用的。嵌入式 CPU 与通用型系统的最大不同就是嵌入式 CPU 大多工作在为特定用户群设计的系统中。它通常都具有功耗低、体积小、集成度高等特点，能够把通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部，从而有利于嵌入式系统设计趋于小型化。
- 嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合的产物。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。
- 嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计，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。这样才能在具体应用中对处理器的选择更具有竞争力。
- 嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起，它的升级换代也和具体产品同步进行，因此嵌入式系统产品一旦进入市场，就具有较长的生命周期。
- 为了提高执行速度和系统可靠性，嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或处理器中，而不是存储于磁盘等载体中。由于嵌入式系统的运算速度和存储容量仍然存在一定程度的限制，同时由于大部分嵌入式系统必须具有较高的实时性，因此对程序的质量，特别是可靠性，有着较高的要求。
- 嵌入式系统本身不具备自举开发能力，即使设计完成以后用户通常也是不能对其中的程序功能进行修改的，必须有一套开发工具和环境才能进行开发。

1.1.4 嵌入式处理器

从硬件方面来讲，嵌入式系统的核心部件是各种类型的嵌入式处理器。目前据不完全统计，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。现在几乎每个半导体制造商都生产嵌入式处理器，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为 64 KB~4 GB，处理速度从 0.1 MIPS（非指令每秒）到 2 000MIPS，常用封装从 8 个引脚到 576 个引脚等。嵌入式处理器一般具备以下 4 个特点：

- 对实时多任务有很强的支持能力，能完成多任务并且有较短的中断响应时间，从而使内部的代码和实时内核的执行时间减少到最低限度。
- 具有功能很强的存储区保护功能。这是由于嵌入式系统的软件结构已模块化，而为了避免在软件模块之间出现错误的交叉作用，需要设计强大的存储区保护功能，同时也有利于软件诊断。
- 可扩展的处理器结构能最迅速地开发出满足应用的最高性能的嵌入式微处理器。
- 嵌入式微处理器必须功耗很低，尤其是用于便携式的无线及移动的计算和通信设备中靠电池供电的嵌入式系统更是如此，有的需要功耗只有毫瓦（mW）级。

根据其现状，嵌入式处理器可以分成 4 类，即嵌入式微处理器、嵌入式微控制器、嵌入式数字信号处理器（EDSP），嵌入式片上系统嵌入式处理器的分类，如图 1.1 所示。

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

嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的 CPU。在应用中，将微处理器装配在专门设计的电路板上，只保留和嵌入式应用有关的母板功能，这样可以大幅度减小系统体积和功耗。为了满足嵌入式应用的特殊要求，嵌入式微处理器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有了增强。

和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，但是在电路板上必须包括 ROM、RAM、总线接口、各种外设等元器件。嵌入式微处理器及其存取器、总线、外设等安装在一块电路板上，称为单板计算机，如 STDBUS、PC104 等。近年来，美国、德国、日本的一些公司又开发出类似“火柴盒”式名片大小的嵌入式计算机系列 OEM 产品。

嵌入式微处理器目前主要有 Am186/88、386EX、Power PC、68000、MIPS、ARM 系列等。

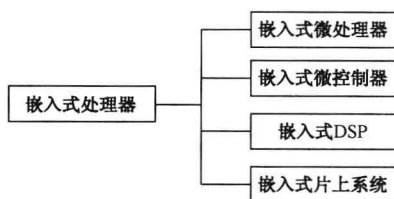


图 1.1 嵌入式处理器的分类

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

嵌入式微控制器又称单片机，顾名思义，就是将整个计算机系统集成到一块芯片中。嵌入式微控制器一般以某一种微处理器内核为核心，芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时计数器、watchdog、I/O、串口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash ROM、EEPROM、LAN 控制器等各种必要功能和外设。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。这样可以使单片机最大限度地和应用需求相匹配，但功能不变，从而减少功耗和成本。

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。微控制器的片上外设资源一般比较丰富，适合用于控制，因此称为微控制器。

嵌入式微控制器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、MCS96/196/296、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；支持 I2C、CAN-Bus、LCD 的 MCU 及专用 MCU 和兼容系列。目前 MCU 占嵌入式系统约 70% 的市场份额。

特别值得注意的是近年来提供 X86 微处理器的著名厂商 AMD 公司，将 Am186CC/CH/CU 等嵌入式处理器称为微控制器（Microcontroller）。Freescale 公司把以 Power PC 为基础的 PPC505 和 PPC555 列入单片机行列。TI 公司也将其 OMAP、MSP430、TMS320C2XXX 系列 DSP 作为 MCU 进行推广。

3. 嵌入式数字信号处理器（Embedded Digital Signal Processor: EDSP）

EDSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计，使其适合执行 DSP（数字信号处理）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，DSP 应用正在从通用单片机中以普通指令实现 DSP 功能，过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。嵌入式 DSP 处理器有两个发展来源，一是 DSP 处理器经过单片化、EMC 改造、增加片上外设成为嵌入式 DSP 处理器，TI 公司的 TMS320C2000/C5000 等属于此范畴；二是在通用单片机或 SoC 中增加 DSP 协处理器，例如 Intel 公司的 MCS-296 和 Infineon 公司（英飞凌公司）的 TriCore，TI 的达芬奇处理器等。

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、实时语音压/解系统、实时图像压/解系统、虚拟现实显示等。这类智能化算法一般运算量都较大，特别是向量运算、指针线性寻址等较多，而这些正是 DSP 处理器的长处。

嵌入式 DSP 处理器比较有代表性的产品是 TI 公司的 TMS320 系列和 Freescale 公司的 DSP56000 系列。TMS320 系列处理器包括用于控制的 C2000 系列、移动通信的 C5000 系列，以及性能更高的 C6000 和 Davinci 系列。DSP56000 目前已经发展成为 DSP56000、DSP56100、DSP56200 和 DSP56300 等几个不同系列的处理器。另外 Philips 公司今年也推出了基于可重置嵌入式 DSP 结构低成本、低功耗技术制造的 R.E.A.LDSP 处理器，特点是具备双 Harvard 结构和双乘/累加单元，应用目标是大批量消费类产品。此外还有 ADI 公司推出的 ADSP2K 系类、Shark 系列、TrigShark、Blackfin 系列的 DSP。

4. 嵌入式片上系统（System on Chip, SoC）

随着 EDA 的推广和 VLSI 设计的普及化，以及半导体工艺的迅速发展，在一个硅片上实现一个更为复杂的系统的时代已来临，这就是 SoC。各种通用处理器内核将作为 SoC 设计公司的标准库，和许多其他嵌入式系统外设一样，成为 VLSI 设计中一种标准的器件，用标准的 VHDL 等语言描述存储在器件库中。用户只需定义出其整个应用系统，仿真通过后就可以

将设计图交给半导体工厂制作样品。这样，除个别无法集成的器件以外，整个嵌入式系统大部分均可集成到一块或几块芯片中去，应用系统电路板将变得很简洁，对于减小体积和功耗、提高可靠性非常有利。

SoC 可以分为通用和专用两类。通用系列包括 Infineon 公司的 TriCore、Freescale 公司的 M-core、某些 ARM 系列器件、Echelon 公司和 Freescale 公司联合研制的 Neuron 芯片等。专用 SoC 一般专用于某个或某类系统中，不为一般用户所知。具有代表性的产品是 Philips 的 SmartxA，它将 xA 单片机内核和支持超过 2 048 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 语言的专用的 SoC，可用于公众互联网如因特网安全方面。SoC 芯片也将在声音、图像、影视、网络 and 系统逻辑等应用领域中发挥重要作用。

目前的开发工具平台主要分为以下几类：实时在线仿真系统 ICE (In-Circuit Emulator)、高级语言编译器 (Compiler Tools)、源程序模拟器 (Simulator)、实时多任务操作系统 RTOS (Real Time multi-tasking Operation System)。其中 RTOS 是嵌入式系统的软件开发平台，它的引入解决了随着嵌入式系统中软件比重不断上升、应用程序越来越大而带来的嵌入式软件开发标准化的难题。

1.1.5 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统技术具有非常广阔的应用前景，其应用领域如下。

1. 工业控制

基于嵌入式芯片的工业自动化设备具有很大的发展空间，目前已经有大量的 8 位、16 位、32 位、64 位嵌入式微控制器应用于工业过程控制、数控机床、电力系统、电网安全、电网设备监测和石油化工系统等领域。

2. 交通运输

在车辆导航、流量控制、信息监测与汽车服务方面，嵌入式系统技术得到了广泛的应用，内嵌 GPS 模块、GSM 模块的移动定位导航终端成功地应用于各种运输行业。

3. 信息家电

信息家电将成为嵌入式系统最大的应用领域，电视、电冰箱、空调、洗衣机、微波炉等的网络化、智能化将引领人们的生活步入一个崭新的空间。即使不在家也可以通过电话线、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。网络视频电话就是典型的信息家电。这些技术推动了物联网的到来。

4. POS 网络和电子商务

公共交通无接触智能卡发行系统、公共电话卡发行系统、自动售货机、各种智能 ATM 终端全面进入人们的生活，实现了手持一卡行遍天下。

5. 环境监测

环境监测包含水文资料实时监测、防洪体系和水土质量监测、堤坝安全、地震监测网、