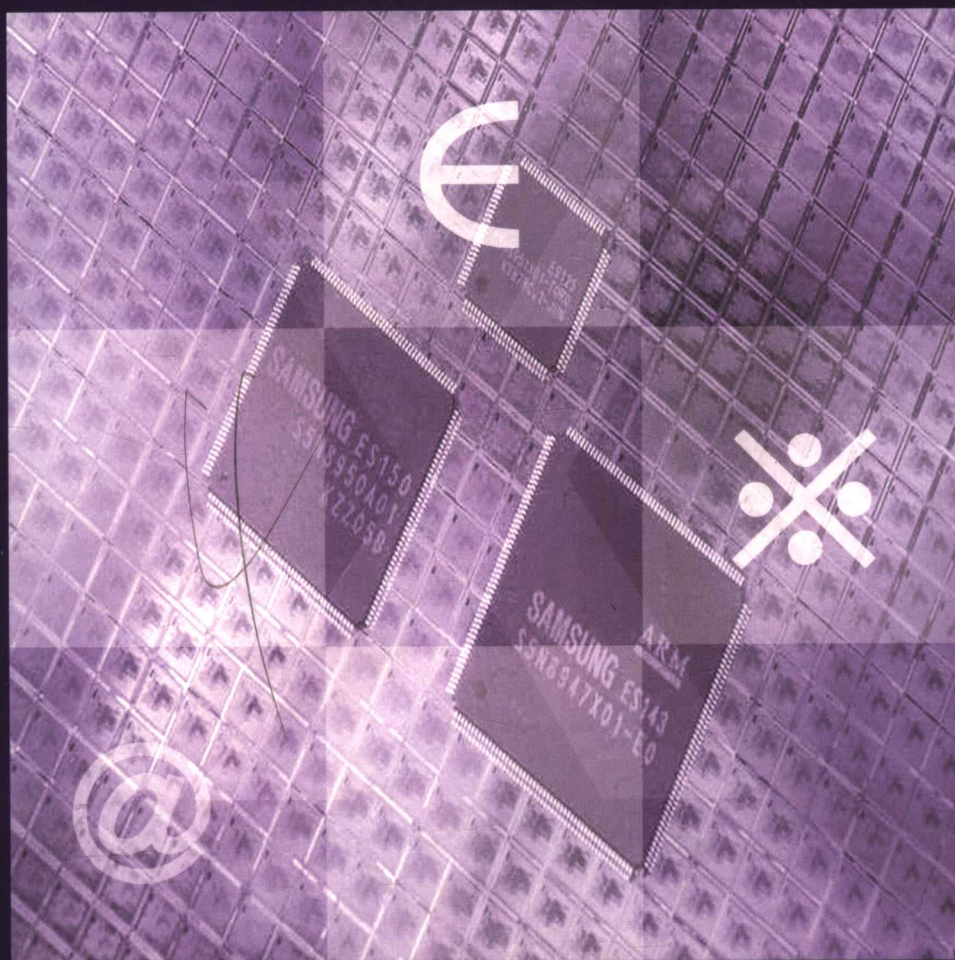


嵌入式系统设计 与实例开发

——基于 ARM 微处理器与 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 实时操作系统
(第 2 版)



王田苗 主编



清华大学出版社

嵌入式系统设计与实例开发

——基于 ARM 微处理器与 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时操作系统（第 2 版）

王田苗 主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以目前流行的基于 ARM 架构的嵌入式微处理器及易于学习开发的 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 嵌入式操作系统为核心, 结合作者的教学与科研工作, 介绍了嵌入式系统的原理、设计方法及实例编程开发。

本书共分 10 章, 前 3 章介绍了嵌入式系统的基本概念及嵌入式系统设计的一般方法。第 4~8 章是本书的核心内容, 介绍了如何在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时内核基础上扩展一个实用嵌入式操作系统的设计过程, 包括 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 ARM7 微处理器上移植、文件系统、外设驱动、Unicode 汉字库、图形用户接口 (GUI) 和其他应用程序接口 (API) 的设计, 并介绍了在扩展的嵌入式系统开发平台上进行编程的方法。最后 2 章介绍了二次开发的实例——嵌入式机器人控制器和嵌入式工程机械监控器的设计。

本书可以作为机器人技术、机电控制系统、信息家电、工业控制、手持设备、智能玩具、医疗仪器等方面嵌入式系统开发与应用的参考书, 也可作为高等学校有关嵌入式系统教学的本科生或研究生的教材。

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: 基于 ARM 微处理器与 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时操作系统 (第 2 版) / 王田苗主编.
—北京: 清华大学出版社, 2003.10

ISBN 7-302-07268-X

I. 嵌… II. 王… III. 微型计算机—系统设计 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 083484 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

责任编辑: 钟志芳

封面设计: 秦 铭

版式设计: 杨 洋

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印 张: 21.5 字 数: 494 千字

版 次: 2003 年 10 月第 2 版 2005 年 5 月第 6 次印刷

书 号: ISBN 7-302-07268-X/TP · 5276

印 数: 13501~16000

定 价: 32.00 元



王田苗, 1960.2 出生, 教授, 博士生导师, 国家教育部长江学者特聘教授。现任国家 863 计划机器人技术主题专家组组长、国家科技部制造业信息化工程专家组副组长、机器人专业委员会委员、北京航空航天大学机器人研究所所长及校学术和校学位委员会委员、IEEE 会员等。主要研究方向为先进机器人技术, 在医用机器人、仿生机器人鱼与嵌入式技术等方面取得过突出成绩。

近年来在国内外核心刊物上发表论文约 20 篇, 合作出版专著 3 部。“机器人行动规划与控制技术”项目荣获国家电子工业部科技进步一等奖、“基于多传感器局部自主的臂手集成系统”项目荣获国家航空部科技进步二等奖、“立体定向脑外科机器人集成系统”项目荣获北京市科技进步二等奖。先后被国家人事部列为全国首批 20 名重点资助优秀回国留学人员, 被授予北京高等学校学科带头人和中国航空总公司有突出贡献的青年专家称号, 荣获茅以升北京青年科技提名奖、美国联合技术容闳科技教育奖等。

网站: <http://www.up-tech.com>

前 言

十分感谢各位读者的厚爱，本书第一版在出版不到半年的时间里，首印 5000 册已经销售告罄。这期间收到许多全国各地读者的电话和电子邮件，他们对本书给予了充分肯定，并非常中肯地提出了许多希望和建议。根据读者的反馈意见，结合我们在清华大学和北京航空航天大学嵌入式系统课程教学中的体会，总结我们在将嵌入式技术应用于教学实验、机器人控制和工业自动化等方面的经验，在第一版的基础上，我们对本书进行了修订再版。

与第 1 版比较，第 2 版增加了很多新的内容。由于嵌入式系统设计课程是一门新课，涉及内容很多，课时有限，学生基础差异较大，既没有前车之鉴，也没有成熟教材。为此，在分析研究美国科罗拉多州立大学和华盛顿大学有关嵌入式系统教学课程体系结构的基础上，结合我们自己的嵌入式系统教学经验，形成了一套简单实用的有关嵌入式系统基本知识、设计方法和实验课件的教学课程和实验课程体系，希望与国内从事嵌入式系统教学与研究的同行们共同探讨。考虑到嵌入式系统是一门实践性很强的课程，没有实验环节的嵌入式系统教学难以开展。为此，我们研究开发了一系列基于 ARM 嵌入式微处理器和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实验课件，从基本知识、基础技能、综合应用三个方面增加了相应实验内容，在清华大学软件学院和北京航空航天大学软件学院嵌入式系统课程教学中进行了应用，学生的反馈效果较好。另外，本书再版增加了一些先进实用的嵌入式技术内容，如基于 ARM 的 TCP/IP 网络接口设计、ARM 的 JTAG 调试接口设计、FLASH 文件系统、CAN 总线设计、I/O 信号采集等。这些内容是我们这一年来在嵌入式系统方面的研究总结，其中部分研究成果在工程机械控制器、嵌入式数控系统、微小型机器人控制系统等实际项目中得到了应用。

无庸赘言，嵌入式系统技术是目前电子产品设计领域最为热门的技术之一，目前已经广泛地应用于军事国防、消费电子、网络通信、工业控制等各个领域。ARM、Linux、 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的概念已经深入人心，学习嵌入式、应用嵌入式已经成为计算机、电子和自动化领域工程师的感兴趣话题，由衷希望本书对高校相关专业的教师和学生、从事嵌入式系统设计与开发的研究人员和企业工程师能继续有所参考和帮助。

本书第 2 版修订工作由王田苗、魏洪兴负责完成，感谢刘淼、高林对实验课件进行的修正，感谢北京航空航天大学机器人研究所嵌入式机电控制技术研究小组全体教师及研究生的支持和帮助，同时感谢清华大学出版社的钟志芳编辑，感谢她高效辛勤的工作，使本书能够以最快的时间与读者见面。

对本书配套的基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的应用扩展程序和嵌入式教学平台感兴趣的读者，可以与北京航空航天大学机器人研究所魏洪兴博士联系。电话：(010) 82338271/82338033，传

真: (010) 82338017, E-mail: whx1630@163.com。

由于受作者知识所限, 书中不足之处在所难免, 恳请各位专家和读者赐正。

王田苗

于北京航空航天大学逸夫科学馆

2003.7.31

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统简介	1
1.1.1 什么是嵌入式系统	1
1.1.2 嵌入式系统的特点	4
1.1.3 嵌入式系统的分类	5
1.2 嵌入式系统的应用领域	10
1.3 嵌入式系统在机电控制方面的应用	12
1.4 嵌入式系统的现状和发展趋势	14
1.4.1 嵌入式系统的现状	14
1.4.2 未来嵌入式系统的发展趋势	15
练习题	16
第 2 章 嵌入式系统的基本知识	18
2.1 嵌入式微处理器和嵌入式操作系统	18
2.1.1 嵌入式微处理器	18
2.1.2 嵌入式操作系统	23
2.2 嵌入式系统的选型原则	28
2.2.1 硬件平台的选择	28
2.2.2 嵌入式操作系统的选型原则	29
2.3 嵌入式系统中的一些重要概念	32
2.3.1 基本概念	32
2.3.2 关于实时系统的概念	34
2.4 基于 ARM 和 μ C/OS-II 的嵌入式开发平台	34
2.4.1 为什么选择 ARM 和 μ C/OS-II	35
2.4.2 UP-NetARM300 嵌入式开发平台简介	36
2.4.3 UP-NetARM300 嵌入式开发平台结构	36
练习题	38
第 3 章 嵌入式系统的设计方法	39
3.1 嵌入式系统的总体结构	39
3.2 嵌入式系统的设计方法	42

3.2.1 嵌入式系统的设计流程	42
3.2.2 嵌入式系统的一般设计方法	43
3.2.3 嵌入式系统的硬件/软件协同设计技术	45
3.3 SDT 仿真开发环境概述	47
3.3.1 ARM 仿真器的流程简介	48
3.3.2 重要概念	48
3.4 开发简单的嵌入式应用程序	49
3.4.1 配置 ARM SDT 2.5 开发环境及编程	49
3.4.2 进行程序的在线仿真、调试	55
3.4.3 下载程序	58
3.4.4 Source Insight 简介	60
第 4 章 μC/OS-II 在 ARM 微处理器上的移植	62
4.1 移植——将 μ C/OS-II 移植到自己的硬件平台	62
4.2 μ C/OS-II 在 S3C44B0X 上的移植	64
4.2.1 设置 includes.h 中与处理器和编译器相关的代码	64
4.2.2 用 C 语言编写 6 个操作系统相关的函数 (OS_CPU_C.C)	65
4.2.3 用汇编语言编写 4 个与处理器相关的函数 (OS_CPU.ASM)	68
练习题	70
第 5 章 基于 μC/OS-II 建立自己的 RTOS	71
5.1 基于 μ C/OS-II 扩展 RTOS 的体系结构	71
5.2 建立文件系统	73
5.2.1 文件系统简介	73
5.2.2 文件系统的实现过程	81
5.2.3 文件系统相关的 API 函数功能详解	84
5.3 外设及驱动程序	85
5.3.1 串行口	85
5.3.2 液晶显示驱动程序	86
5.3.3 键盘驱动程序	88
5.3.4 USB 接口	88
5.3.5 网络相关组件	89
5.4 图形用户接口 (GUI) 函数	92
5.4.1 基于 Unicode 的汉字字库	92
5.4.2 Unicode 字库的显示及相关函数	98
5.5 基本绘图函数	98
5.5.1 相关绘图函数	99
5.5.2 典型的控件	107

5.6 系统的消息队列	117
5.6.1 系统消息	117
5.6.2 消息相关函数	118
5.7 其他实用的应用程序接口 (API) 函数	119
练习题	124
第 6 章 ARM7 的硬件开发平台介绍	125
6.1 ARM7 微处理器简介	125
6.1.1 ARM 系列芯片简介	125
6.1.2 ARM7TDMI 简介	125
6.1.3 Samsung S3C44B0X 介绍	126
6.2 基于 S3C44B0X 微处理器的嵌入式系统	126
6.2.1 Samsung S3C44B0X 简介	126
6.2.2 基于 S3C44B0X 微处理器的嵌入式系统体系结构	131
6.3 存储器系统介绍	131
6.4 接口介绍	134
6.4.1 通用异步收发器 (UART)	134
6.4.2 USB 接口	141
6.4.3 I/O 接口设计	155
6.4.4 A/D 转换器	156
6.5 人机交互接口	160
6.5.1 LCD 显示模块	160
6.5.2 触摸屏模块	163
6.5.3 键盘模块	166
6.6 嵌入式系统的网络接口设计	171
6.6.1 以太网接口的基本知识	171
6.6.2 嵌入式的以太网接口的实现	173
6.6.3 基于 ARM 的 RTL8019AS 网络接口芯片的设计	174
6.6.4 在嵌入式系统中主要处理的以太网协议	179
6.6.5 基于 ARM 和 μ C/OS-II 的 TCP/IP 协议	181
6.6.6 网络编程接口	182
6.7 嵌入式系统的调试接口 ARM JTAG 的设计	183
6.7.1 ARM 的 JTAG 调试接口	183
6.7.2 JTAG 的基本知识	185
6.7.3 ARM7TDMI 内核的 JTAG 扫描链结构	190
6.7.4 ARM7TDMI 中通过 JTAG 对外设的访问	193
练习题	195

第 7 章 基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的应用程序的建立	196
7.1 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时多任务操作系统简介	196
7.1.1 任务	196
7.1.2 任务的状态	197
7.1.3 任务调度	198
7.1.4 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 初始化	198
7.1.5 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的启动	199
7.2 在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统上运行的应用程序的结构	199
7.3 建立应用程序	202
7.3.1 系统的消息循环	202
7.3.2 创建新任务以及任务之间的同步	203
7.3.3 使用绘图函数	204
7.3.4 系统的控件	206
练习题	207
第 8 章 嵌入式应用程序举例	208
8.1 绘图 API 函数	208
8.1.1 绘图的 API 函数应用举例	208
8.1.2 绘图的 API 函数应用举例的源代码	210
8.2 系统的消息循环	215
8.2.1 使用系统的消息循环	215
8.2.2 系统的消息循环使用的源代码	217
8.3 USB 联机通信	222
8.3.1 USB 联机通信程序的实现过程	222
8.3.2 USB 联机通信程序实现的源代码	223
8.4 文件的使用	224
8.4.1 文件的读取应用举例	224
8.4.2 文件的读取实现的源代码	225
8.5 列表框控件的使用	226
8.5.1 列表框控件的使用举例	227
8.5.2 列表框控件举例的源代码	228
8.6 文本框控件的使用	230
8.6.1 文本框控件的使用举例	230
8.6.2 文本框控件举例的源代码	232
8.7 系统的多任务和系统时钟	235
8.7.1 系统的多任务和系统时钟应用举例	235

8.7.2 系统的多任务和系统时钟举例源代码	237
8.8 UDP 通信实验	241
8.9 综合举例	250
8.9.1 综合举例的设计思路	251
8.9.2 综合举例的源代码	253
练习题	259
第 9 章 嵌入式机器人控制器的设计	260
9.1 基于 PC 的机器人控制系统	260
9.1.1 基于 DSP 的嵌入式网络直流伺服驱动器	261
9.1.2 PC 机与网络直流伺服驱动器的接口关系	262
9.2 两自由度机器人控制软件结构设计	263
9.2.1 G 代码编辑环境	264
9.2.2 G 代码解析	266
9.2.3 轨迹插补与运动学逆解	266
9.3 机器人控制	267
9.3.1 两自由度机器人控制软件的实现	268
9.3.2 运动轨迹仿真及机器人运动学逆解的实现	268
9.3.3 机器人控制的实现	270
9.4 嵌入式机器人控制器设计	271
9.4.1 嵌入式控制器可以取代 PC 机码	271
9.4.2 嵌入式机器人控制器的结构	271
9.4.3 嵌入式机器人控制器应用程序设计	271
9.4.4 菜单式应用程序的结构分析	272
9.4.5 用嵌入式控制器实现机器人控制	275
9.4.6 嵌入式控制与网络直流伺服驱动器的通信接口	277
练习题	280
第 10 章 嵌入式工程机械监控器	281
10.1 工程机械在国民经济发展中的重要意义	281
10.1.1 中国的工程机械	281
10.1.2 工程机械的监控器	282
10.2 基于 ARM 的工程机械监控器	283
10.2.1 监控器的硬件结构	285
10.2.2 CAN 总线的扩展	285
10.2.3 监控器的功能及相关函数	288
练习题	310

附录 1 基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 和 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 的一些产品	311
附录 2 国外高校嵌入式系统课程的体系结构	323
附录 3 《嵌入式系统设计》教学实验体系	328
参考文献	331

第 1 章 嵌入式系统概述

随着社会的日益信息化, 计算机和网络已经全面渗透到日常生活的每一个角落。对于我们每个人来说, 需要的已经不仅仅是那种放在桌上处理文档、进行工作管理和生产控制的计算机“机器”。任何一个普通人都可能拥有从小到大的、各种使用嵌入式技术的电子产品, 小到 MP3、PDA 等微型数字化产品, 大到网络家电、智能家电、车载电子设备等。目前, 各种各样的新型嵌入式系统设备在应用数量上已经远远超过了通用计算机。在工业和服务领域中, 使用嵌入式技术的数字机床、智能工具、工业机器人、服务机器人正在逐渐改变着传统的工业生产和服务方式。

嵌入式系统 (Embedded System) 是当今最热门的概念之一, 然而到底什么是嵌入式系统呢? 什么样的技术可以称之为嵌入式系统技术呢? 通过本章的学习, 不仅可以回答以上问题, 同时还能够对嵌入式系统及其技术和应用有一个全面的了解。

通过本章的学习, 读者可以掌握以下内容:

- ✧ 什么是嵌入式系统
- ✧ 嵌入式系统的特点及分类
- ✧ 嵌入式系统的主要应用领域
- ✧ 嵌入式系统的发展趋势

1.1 嵌入式系统简介

1.1.1 什么是嵌入式系统

在讨论嵌入式系统定义之前, 先来看一看图 1-1 所示的几个嵌入式系统的典型应用。

嵌入式系统本身是一个相对模糊的定义。由于目前嵌入式系统已经渗透到日常生活的各个方面, 其在工业、服务业、消费电子等领域的应用范围都不断扩大, 因此难以给“嵌入式系统”下一个明确的定义。

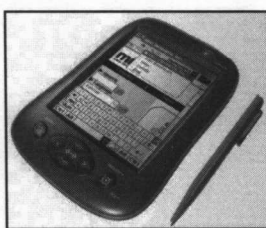
举个简单例子: 一个手持的 MP3 是否可以称为嵌入式系统呢? 答案是肯定的。那么一个 PC104 的微型工业控制计算机是嵌入式系统吗? 当然也是, 工业控制是嵌入式系统技术的一个典型应用领域。然而比较两者, 会发现除了其中都嵌入了微处理器, 二者几乎完全不同。那是否可以说嵌入了微处理器的设备就是嵌入式系统呢?



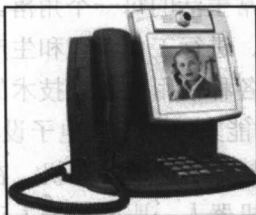
机顶盒



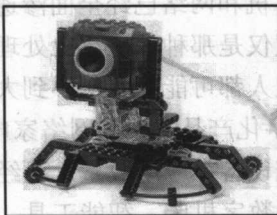
火星车



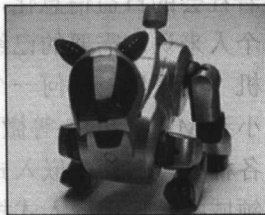
PDA



可视电话



机器人



SONY 机器狗

图 1-1 使用嵌入式技术的各种设备

那么到底什么是嵌入式系统呢？

1. 嵌入式系统的历史

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。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 30 年的发展历史。

作为一个系统，往往是在硬件和软件双螺旋式交替发展的支撑下逐渐趋于稳定和成熟，嵌入式系统也不例外。

嵌入式系统最初的应用是基于单片机的。20 世纪 70 年代单片机的出现，使得汽车、家电、工业机器人、通信装置以及成千上万种产品可以通过内嵌电子装置来获得更佳的使用性能，更易使用，速度更快、价格更低。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 位的芯片执行一些单线程的程序，还谈不上“系统”的概念。

提示：最早的 8 位单片机是 Intel 公司的 8048，它出现在 1976 年。Motorola 同时推出了 68HC05，Zilog 公司推出了 Z80 系列，这些早期的单片机均含有 256 字节的 RAM、4KB 的 ROM、4 个 8 位并口、1 个全双工串行口、两个 16 位定时器。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。

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，这使得开发人员可以进一步缩短开发周期，降低开发成本并提高开发效率。1981 年，Ready System 开发出世界上第 1 个商业嵌入式实时内核（VTRX32）。这个

实时内核包含了许多传统操作系统的特征，包括任务管理、任务间通信、同步与相互排斥、中断支持、内存管理等功能。此后一些公司也纷纷推出了自己的嵌入式操作系统，如 Integrated System Incorporation (ISI) 的 pSOS 和 WindRiver 的 VxWorks、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：它们均采用占先式的调度，响应时间很短，任务执行的时间可以确定；系统内核很小，具有可裁剪性、可扩充性和可移植性，可以移植到各种处理器上；较强的实时性和可靠性，适合嵌入式应用。这些嵌入式实时多任务操作系统的出现，使得应用开发人员从小范围的开发中解放出来，同时也促使嵌入式有了更为广阔的应用空间。

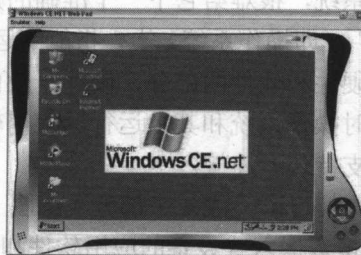
20 世纪 90 年代以后，随着对实时性要求的提高，软件规模不断上升，实时内核逐渐发展为实时多任务操作系统 (RTOS)，并作为一种软件平台逐步成为目前国际嵌入式系统的主流。这时候更多的公司看到了嵌入式系统的广阔发展前景，开始大力发展自己的嵌入式操作系统。除了上面的几家老牌公司以外，还出现了 Palm OS、Windows CE、嵌入式 Linux、Lynx、Nucleus 以及国内的 Hopen、Delta OS 等嵌入式操作系统。随着嵌入式技术的发展前景日益广阔，相信会有更多的嵌入式操作系统软件出现。图 1-2 是几个比较有代表性的嵌入式操作系统。



风河的 Tornado/VxWorks



Palm 公司的 Palm OS



微软的 Windows CE (引自 www.pocketpcpower.net)

图 1-2 各种嵌入式操作系统

今天，RTOS 已经在全球形成了一个产业，根据美国 EMF (电子市场分析) 报告，1999 年全球 RTOS 市场产值达 3.6 亿美元，而相关的整个嵌入式开发工具 (包括仿真器、逻辑分析仪、软件编译器和调试器) 则高达 9 亿美元。

2. 嵌入式系统的定义

根据 IEEE (国际电气和电子工程师协会) 的定义，嵌入式系统是“控制、监视或者辅助设备、机器和车间运行的装置” (原文为 devices used to control, monitor, or assist the

operation of equipment, machinery or plants)。这主要是从应用上加以定义的，由此可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体，可以涵盖机械等附属装置。

不过，上述定义并不能充分体现出嵌入式系统的精髓。目前国内一个普遍被认同的定义是：以应用为中心、以计算机技术为基础，软、硬件可裁剪，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。

可以从以下几个方面来理解国内对嵌入式系统的定义：

- ◆ 嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的，它必须与具体应用相结合才会具有生命力、才更具有优势。可以这样理解上述三个方面的含义，即嵌入式系统是与应用紧密结合的，它具有很强的专用性，必须结合实际系统需求进行合理的裁剪利用。
- ◆ 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以及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。所以，介入嵌入式系统行业，必须有一个正确的定位。例如 Palm OS 之所以在 PDA 领域占有 70% 以上的市场，就是因为其立足于个人电子消费品，着重发展图形界面和多任务管理；而风河的 VxWorks 之所以在火星车上得以应用，则是因为其高实时性和高可靠性。
- ◆ 嵌入式系统必须能够根据应用需求对软硬件进行裁剪，满足应用系统的功能、可靠性、成本、体积等要求。所以，如果能建立相对通用的软硬件基础，然后在其上开发出适应各种需要的系统，是一个比较好的发展模式。目前的嵌入式系统的核心往往是一个只有几 KB 到几十 KB 的微内核，需要根据实际的使用进行功能扩展或者裁剪。由于微内核的存在，使得这种扩展能够非常顺利地进行。

由于嵌入式系统本身是一个外延极广的名词，凡是与产品结合在一起的具有嵌入式特点的控制系統都可以叫嵌入式系统，很难给它下一个准确的定义。因此，目前通常把嵌入式系统概念的重心放在“系统”（即操作系统）上，指能够运行操作系统的软硬件综合体。总体上嵌入式系统可以划分成硬件和软件两部分，硬件一般由高性能的微处理器和外围的接口电路组成，软件一般由实时操作系统和其上运行的应用软件构成，软件和硬件之间由所谓的中间层（BSP 层，板级支持包）连接。

一般而言，嵌入式系统的构架可以分成 4 个部分（如图 1-3 所示）：处理器、存储器、输入/输出（I/O）和软件（由于多数嵌入式设备的应用软件和操作系统都是紧密结合的，在这里对其不加区分，这也是嵌入式系统和 Windows 系统的最大区别）。

1.1.2 嵌入式系统的特点

从前面对嵌入式系统所作的定义可以看出嵌入式系统的几个重要特征：

1. 系统内核小。由于嵌入式系统一般是应用于小型电子装置，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。比如 ENEA 公司的 OSE 分布式系统，内核只有 5KB，而 Windows 的内核则要大得多。

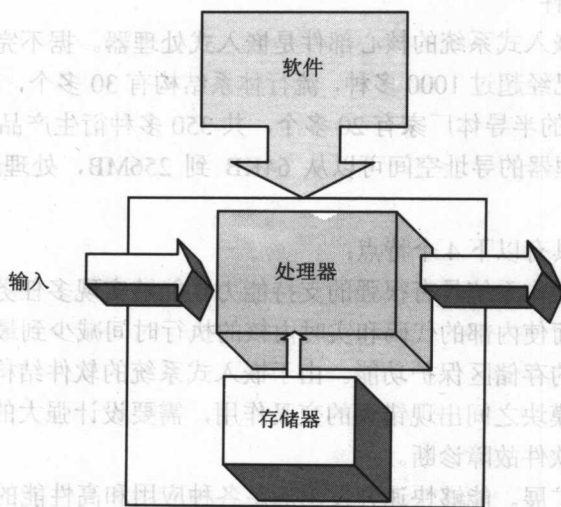


图 1-3 嵌入式系统的组成

2. 专用性强。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，即使在同一品牌、同一系列的产品中也需要根据系统硬件的变化和增减不断进行修改。同时，针对不同的任务，往往需要对系统进行较大更改；程序的编译下载要和系统相结合，这种修改和通用软件的“升级”是完全不同的概念。

3. 系统精简。嵌入式系统一般没有系统软件和应用软件的明显区分，不要求其功能的设计及实现过于复杂，这样一方面利于控制系统成本，同时也利于实现系统安全。

4. 高实时性的操作系统软件是嵌入式软件的基本要求。而且软件要求固化存储，以提高速度。软件代码要求高质量和高可靠性。

5. 嵌入式软件开发要想走向标准化，就必须使用多任务的操作系统。嵌入式系统的应用程序可以没有操作系统而直接在芯片上运行；但是为了合理地调度多任务，利用系统资源、系统函数以及专家库函数接口，用户必须自行选配 RTOS (Real-Time Operating System) 开发平台，这样才能保证程序执行的实时性、可靠性，并减少开发时间，保障软件质量。

6. 嵌入式系统开发需要专门的开发工具和环境。由于嵌入式系统本身不具备自主开发能力，即使设计完成以后，用户通常也不能对其中的程序功能进行修改，因此必须有一套开发工具和环境才能进行开发，这些工具和环境一般是基于通用计算机上的软硬件设备以及各种逻辑分析仪、混合信号示波器等。开发时往往有主机和目标机的概念，主机用于程序的开发，目标机作为最后的执行机，开发时需要交替结合进行。

1.1.3 嵌入式系统的分类

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。