

● 嵌入式系统开发人员必备

● 从基础讲起，引导读者快速入门

● 内容丰富，案例完整，结构清晰，代码准确

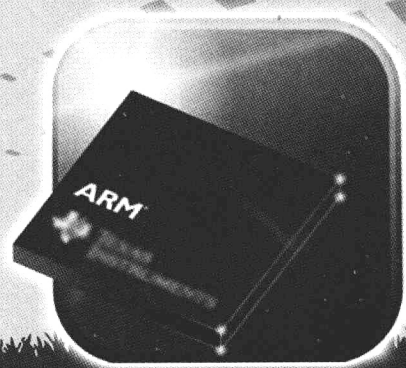
● 所有实例都可以拿来就用，快速提升系统开发水平



基于**ARM**的嵌入式 **windowsce** 系统高级开发技术

李尚柏○主编 钟 睿○编著 栗思科○审校

清华大学出版社



基于ARM的嵌入式 Windows CE 系统高级开发技术

李尚柏○主编 钟 睿○编著 栗思科○审校

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

嵌入式系统涉及嵌入式硬件设备、嵌入式操作系统和嵌入式应用软件等多种技术和概念。本书从嵌入式系统设计和应用开发的角度,系统、全面、详细地介绍了基于 Windows CE 的嵌入式系统的设计原理、开发步骤和高级应用开发技术。全书共 12 章,分为 3 部分,第 1~3 章为基础和概念部分,介绍了嵌入式系统的基本概念、嵌入式微处理器及其主要的片内外设;第 4~8 章为 Windows CE 操作部分,介绍了 Windows CE 嵌入式操作系统的特性、体系结构、系统原理、设计方法、驱动程序开发以及应用程序开发;第 9~12 章为提高部分,在介绍基本原理、设计方法的基础上,为了加深读者对嵌入式系统基本概念和原理的理解,提高读者的设计水平,以应用实例分析的形式,重点讨论了嵌入式系统开发中常见但不易解决的技术难题,包括无操作系统的应用程序开发、Windows CE 中断驱动程序的开发、Windows CE 内核的修改和扩展以及嵌入式系统引导程序的修改和扩展等。

本书采用循序渐进、深入浅出、理论联系实际的写作理念,既有理论分析,又有丰富生动的应用实例,使读者能够快速、全面地掌握嵌入式系统设计与开发中的基本技能。

本书可作为从事嵌入式系统开发的工程技术人员的参考用书,也可作为高等院校电子工程、计算机、微电子、自动控制等相关专业本科生和研究生的教材。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

基于 ARM 的嵌入式 Windows CE 系统高级开发技术/李尚柏主编;钟睿编著. —北京:清华大学出版社, 2011. 10

ISBN 978-7-302-26501-6

I. ①基… II. ①李… ②钟… III. ①窗口软件, Windows CE-程序设计 IV. ①TP316.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 168895 号

责任编辑:贾小红

封面设计:刘 超

版式设计:文森时代

责任校对:柴 燕

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:29 字 数:670 千字

版 次:2011 年 10 月第 1 版 印 次:2011 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:52.00 元

产品编号:037115-01

前 言

近年来，以嵌入式微处理器和嵌入式操作系统为核心的嵌入式技术成为一个新的技术发展方向，并在众多领域得到了广泛应用。从手机到电子书，从音频视频播放器到智能家电，从电子商务到工业控制，嵌入式系统以丰富多彩的形式日渐融入人们的工作和生活之中。

随着嵌入式时代的到来，嵌入式开发人才越来越紧缺，尤其是嵌入式开发复合型人才缺乏，如今已成为嵌入式应用可持续发展的障碍。目前，国内介绍嵌入式系统开发且具有完整开发实例的资料非常少，这或多或少地影响了嵌入式系统在我国的开发和应用。多年来，笔者一直从事嵌入式领域的科研、开发应用和教学工作，积累了丰富的经验。本书就是笔者多年来在嵌入式领域工作经验的结晶，书中的应用实例也是从笔者的工作实践中精选而来的。

嵌入式系统由嵌入式硬件设备、嵌入式操作系统和嵌入式应用软件组成。以 ARM 公司的 32 位 IP 核为基础的 ARM 嵌入式微处理器，因其高性能、低功耗、低成本、小体积的特点，再加上完整的工业产业链支持，取得了巨大的成功，在如今的嵌入式系统市场上占有绝大部分的市场份额。而在众多的 ARM 微处理器中，ARM9 系列以其独立的数据指令 Cache、MMU 和优化的片上性能，格外引人注目，已在工业控制、数字多媒体、自动音乐点播机、生物测量安全系统、GPS 装置等领域得到了广泛应用。

嵌入式操作系统是嵌入式系统的核心，也是嵌入式设备和嵌入式应用程序之间的桥梁。它不仅提供了大多数嵌入式硬件设备的驱动支持，而且为应用程序提供了统一的功能调用接口。Windows CE 是微软公司推出的一款功能强大的实时嵌入式操作系统，其模块化设计、可量身定制的特性、稳定和可靠的性能以及与桌面 Windows 系统一致的界面和开发特征，使它获得了众多开发者的青睐，成为全球市场占有率最高的嵌入式操作系统之一。

本书特点

本书的内容编排和目录组织十分讲究，读者可通过目录快速地浏览和查阅所关心的内容。书中的每个知识点都先以简短的篇幅介绍其中最基本、最常用的内容，然后通过精心设计的一些编程实例，阐述嵌入式系统的基本内容和设计方法，避免了枯燥而空洞的说教，使读者在循序渐进的阅读中掌握嵌入式系统的原理、开发流程和应用程序设计方法，从而激发读者对嵌入式系统开发的兴趣。

概括来讲，本书具有如下特点：

- 取材广泛，内容丰富。本书既有嵌入式硬件的原理介绍，又有对嵌入式操作系统和应用实例的分析。
- 实例完整，结构清晰。本书选择的实例及代码实现都有明确的针对性，且在内容

安排上由浅入深、循序渐进。

- 讲解通俗，步骤详细。每个实例的开发步骤都以通俗易懂的语言阐述，并穿插图片和表格。
- 代码准确，注释清晰。本书所有实例的代码都经过严格测试，并有详尽的注释，以便于读者理解核心代码的功能和逻辑意义。

书中“重要提示”中所列内容为读者容易产生混淆而需要特别澄清的概念和问题，“提示”部分用于提示读者需要重点注意的问题或对实际操作有帮助的一些经验性的方法和技巧。

组织结构

全书共 12 章，分为 3 部分。第 1 部分（第 1~3 章）为嵌入式系统的概念和硬件基础，介绍了嵌入式系统的基本概念、嵌入式微处理器及其主要的片内外设；第 2 部分（第 4~8 章）为嵌入式操作系统，介绍了 Windows CE 嵌入式操作系统的特性、体系结构、系统原理、设计方法、驱动程序开发以及应用程序开发；第 3 部分（第 9~12 章）为实例分析，重点讨论了嵌入式系统开发过程中常见但不易解决的技术难题，内容包括无操作系统的应用程序开发、Windows CE 中断驱动程序的开发、Windows CE 内核的修改和扩展以及嵌入式系统引导程序的修改和扩展等。

具体内容安排如下：

第 1 章 嵌入式系统概论。介绍了嵌入式系统的组成、主流的嵌入式微处理器和嵌入式操作系统。通过本章可以了解嵌入式系统的特征，使读者对嵌入式系统有一个宏观上的了解。本章还比较分析了嵌入式微处理器和嵌入式操作系统的不同特征，以便读者在设计嵌入式硬件设备和操作系统时能作出正确的选择。

第 2 章 ARM 微处理器基础。介绍了 ARM 处理器的编程模型，内容包括 ARM 处理器的数据类型、存储格式、工作状态、工作模式、寄存器的组织以及异常的处理。通过本章，读者可以了解 ARM 处理器的组织结构、工作原理和工作模式，为下一步的编程打下良好的基础。本章还深入讨论了异常产生机理、异常的种类、异常的处理和响应等问题，并给出了应用实例，内容涉及异常处理程序的安装、软件异常中断的应用以及内嵌汇编的使用。

第 3 章 ARM9 内核处理器常用资源。介绍 ARM920T 内核的特点及其内部总线，并对嵌入式应用开发中常见的技术问题作了较深入的讨论，内容涉及系统的引导机制、系统的复位与启动、系统时钟配置、向量中断的工作机制等。尽管众多的 ARM9 处理器支持的外围设备有所不同，具体的实现方法、寄存器的定义也各有差异，但它们的操作原理、使用方法都是相似的。因此本章还介绍了 ARM9 支持的主要外设，包括 LCD 控制器、图形加速器、数字协处理器、DMA 控制器、USB 控制器、存储控制器和通用 I/O。本章的主要目的是让读者对 ARM9 系列微处理器有个全面而深入的了解。

第 4 章 Windows CE 操作系统。简要介绍了 Windows CE 操作系统的发展历史和应用领域。详细介绍了 Windows CE 的特点，包括模块化功能、实时特性、兼容性、多媒体支

持、多语言支持等。重点介绍了 Windows CE 的主要开发工具，包括操作系统定制工具 Platform Builder，应用程序开发工具 Embedded Visual C++、软件开发包 SDK 以及远程访问工具。通过本章的学习，可以帮助读者建立 Windows CE 嵌入式操作系统的基本概念，了解基于 Windows CE 的嵌入式系统的开发流程以及开发工具的使用。

第 5 章 Windows CE 体系结构。首先介绍了 Windows CE 操作系统的分层模型；其次阐述了 Windows CE 的内核模块功能，包括进程和线程、内存管理、文件系统和注册表、用户界面和图形系统、进程间的通信等内容；最后从应用程序开发的角度对线程同步和进程间的通信作了深入的讨论，并给出了应用实例和程序实现代码。通过本章的理论分析和应用实例，可以加深对 Windows CE 操作系统功能的理解，以及熟练掌握应用程序编程接口，并应用于具体的开发实践之中。

第 6 章 Windows CE 的内核定制。首先介绍了板级支持包的基本概念、安装方法及其所包含的内容；其次详细地描述了内核的定制方法，同时也讲述了每个步骤中各个组件的含义、功能和使用范围；最后介绍了操作系统的编译、下载和测试方法。通过本章可以了解 Windows CE 的组件特性，内核的定制、编译、下载和测试方法，SDK 的导出以及构建操作系统所需的各种配置文件。

第 7 章 Windows CE 驱动程序。首先介绍了驱动开发的软硬件基础、Windows CE 驱动程序分类、设备管理器、驱动程序的资源等内容，重点讨论了流接口驱动程序。最后，作为分层驱动的开发实例，分析了 PCMCIA 驱动程序。通过本章可以了解 Windows CE 驱动程序模型，掌握 Windows CE 驱动程序的开发方法。

第 8 章 Windows CE 应用程序开发。本章从应用开发的角度介绍了 WinCE 与桌面系统的差异，包括 MFC 的差异、数据结构的差异和字符串处理差异，这对熟悉桌面系统的读者尤为重要。嵌入式产品通常是一个通信终端设备，与外界的通信是至关重要的问题。所以本章详细讨论了 WinCE 支持的几种通信方式以及编程实现，包括网络 UDP 编程、网络 TCP 服务器/客户编程、FTP 编程和共享资源编程，并给出了具体的编程实例。通过本章可以了解 Windows CE 应用开发与桌面系统的差异、Windows CE 支持的通信方式，以及编程方法。

第 9 章 应用实例——无操作系统的应用程序开发。本章的实例是开发一个无操作系统的应用程序，其目的是讨论在无操作系统的情况下如何使应用程序加载和运行。首先介绍了 ARM 处理器的开发工具 ADS，讲述了 ADS 应用程序的基本开发过程，包括工程的建立、开发环境的设置以及调试工具的使用；其次阐述了 ARM 引导程序的功能、开发步骤和调试技术；最后讨论了无操作系统应用程序的生成和调试，并通过一个实例详细讲述了应用程序的生成、下载、调试的过程及其方法。通过本章可以了解 ARM 开发工具的使用，掌握无操作系统的应用程序的开发方法以及调试技巧。

第 10 章 应用实例——Windows CE 中断驱动程序开发。本实例通过从一个采样设备中获取数据的过程，讨论如何开发一个中断驱动的驱动程序。首先详细描述了建立一个基本的流接口驱动程序的过程和步骤，内容涉及接口函数的实现、模块定义文件、设备注册、应用程序接口以及加载和调试；其次阐述了驱动程序中中断的使用，内容包括 Windows CE 逻辑中断定义、硬件中断到逻辑中断的映射、中断安装；最后讨论了驱动程序共享应用程

序地址空间的步骤，内容涉及进程间内存空间的映射、驱动程序对应用程序地址空间的访问、驱动程序到应用程序的消息传递及应用程序对消息的响应。通过本章可以掌握流驱动程序的开发方法、驱动程序访问应用程序地址空间的方法以及二者之间的消息传递方法。

第 11 章 应用实例——内核驱动的修改和扩展。本章的实例是为 Windows CE 增加实时时钟，其目的是讨论如何修改和扩展 Windows CE 的内核驱动。首先介绍了实时时钟芯片（M41ST95）的性能、接口、操作方式以及时间校正等问题；其次阐述了 ARM（EP9315）的 SPI 接口及其工作原理；最后讨论了实时时钟的内核实现，详细描述了 Windows CE 的时钟系统、时间操作接口函数、内核代码的修改、编译以及平台生成等步骤。通过本章可以掌握 Windows CE 内核驱动的修改和扩展方法。

第 12 章 应用实例——引导程序的修改和扩展。本章的实例是扩展开发板的 SDRAM 容量，其目的是讨论如何修改和扩展引导程序（BootLoader）。首先介绍了 ARM（EP9315）的 SDRAM 控制器和 SDRAM 的初始化；其次介绍了 ARM 的存储器管理，内容涉及虚拟地址到物理地址的变换、内存访问过程以及地址映射的程序实现，并给出了无操作系统下存储器的扩容和使用方法；最后讨论了 Windows CE 的内存管理、系统内存配置以及内存扩充、修改后在 Windows CE 中的实现。通过本章可以掌握 BootLoader 的修改和扩展方法，从而进一步加深对 Windows CE 内存管理的理解。

读者对象

- 从事嵌入式系统设计和开发的工程技术人员。
- 从桌面系统开发转入嵌入式系统开发的工程技术人员。
- 从事嵌入式系统设计和开发的培训教师和学员。
- 高等院校电子工程、计算机、微电子、自动控制等相关专业的学生。
- 计算机爱好者和相关技术人员。

如何使用本书

一般情况下，嵌入式系统的开发人员有 3 类，即硬件开发人员、操作系统设计和驱动开发人员、应用程序开发人员。

对于硬件开发人员，应仔细阅读本书的硬件基础部分（第 1~3 章）以及第 9 章和第 12 章关于系统引导的有关内容。其他章节可以浏览或略读。

对于操作系统设计和驱动开发人员，应仔细阅读本书的操作系统部分（第 4~7 章）以及第 10、11 章的内容。如果读者对 Windows CE 操作系统有一定的基础，则可以略去第 4 章不读。

对于应用程序开发人员，应认真阅读第 2、5、8、9~12 章的内容，其他章节可以略读或不读。如果读者对桌面 Windows 系统的应用开发比较熟悉，则应重点关注两个操作系统的差异。

本书的应用实例贯彻了“为什么做（Why to do）”、“做什么（What to do）”、“怎么做（How to do）”的设计理念，首先分析做的原因和目的，其次讨论应该做些什么，应

具备哪些条件，最后用程序实现来说明做的方法和步骤。所以建议读者在阅读书中的实例代码时，应充分理解实例的设计思想。尽管本书的实例都可以直接使用，但作为学习和提高，“知其然更应知其所以然”，会有更大的收获。

编者与致谢

本书由李尚柏教授主编、钟睿编著。其中由李尚柏教授完成编写第1章、第5章和第7~12章；钟睿老师完成编写第2~4章和第6章。全书内容与结构由李尚柏教授规划、统稿，由粟思科审校。书中源代码的调试工作由各章的编者负责完成。

参与本书编写工作的人员还有王治国、冯强、曾德惠、许庆华、程亮、周聪、黄志平、胡松、邢永峰、邵军、边海龙、刘达因、赵婷、马鸿娟、侯桐、赵光明、李胜、李辉、侯杰、王红研、王磊、闫守红、康涌泉、蒋杼倩、王小东、张森、张正亮、宋利梅、何群芬、程瑶，在此一并表示感谢。

在这里，首先感谢郑高群教授，他渊博的软硬件知识、独特的见解令人心折和尊重，同他的多次讨论使我对嵌入式系统的开发应用有了更深的理解。本书中的许多实例都凝结着他的心血。

其次感谢我的同事们，在进行嵌入式系统的研发过程中，大家共同讨论、互相启发，许多疑难问题才得以澄清。本书的部分内容也有他们的贡献。

最后感谢我的家人，在他们的鼓励和支持下，我才得以努力并坚持编写完本书。

配套服务

由于笔者水平所限，加之嵌入式技术发展迅速，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指证。如果读者愿参加“基于ARM的嵌入式Windows CE高级开发技术”的学习培训，或是在学习过程中发现问题，或有更好的建议，欢迎致函。同时，我们也非常愿意同嵌入式技术爱好者保持联系。我们的联系方式：china_54@tom.com。

编 者

目 录

第 1 章 嵌入式系统概论.....	1	2.4.2 异常的响应与处理.....	28
1.1 概述	1	2.4.3 异常优先级与异常向量.....	30
1.2 嵌入式系统简介	1	2.5 ARM 编程技术和应用实例	30
1.3 嵌入式微处理器	2	2.5.1 异常处理程序的安装.....	30
1.3.1 ARM 嵌入式微处理器	3	2.5.2 软件中断异常.....	33
1.3.2 其他类型的嵌入式微处理器.....	4	2.5.3 内嵌式汇编的使用.....	39
1.3.3 嵌入式微处理器的选型.....	4	2.6 本章小结.....	41
1.4 嵌入式操作系统	6	2.7 复习与思考.....	41
1.4.1 嵌入式操作系统的特点.....	7	第 3 章 ARM9 内核处理器常用资源	42
1.4.2 嵌入式操作系统分类.....	7	3.1 概述.....	42
1.4.3 常见嵌入式操作系统简介.....	8	3.2 ARM920T 内核及其处理器简介... ..	42
1.4.4 常用嵌入式操作系统特征比较.....	9	3.3 Boot ROM.....	45
1.5 本章小结	10	3.3.1 Boot ROM 地址映射	46
1.6 复习与思考	10	3.3.2 Boot ROM 引导过程.....	46
第 2 章 ARM 微处理器基础.....	11	3.3.3 启动状态硬件配置.....	48
2.1 概述	11	3.4 系统控制器.....	49
2.2 ARM 处理器简介	11	3.4.1 系统的复位与启动.....	50
2.2.1 ARM 处理器结构特点	12	3.4.2 时钟控制.....	51
2.2.2 ARM 的版本	13	3.4.3 电源管理.....	53
2.2.3 ARM 结构的变体	14	3.5 向量中断控制器.....	53
2.2.4 常见 ARM 型号简介	15	3.5.1 中断优先级.....	54
2.2.5 ARM9TDMI 内核	17	3.5.2 中断源.....	54
2.2.6 ARM9 流水线结构	18	3.5.3 关于中断的进一步讨论.....	56
2.3 ARM 微处理器的编程模型	19	3.6 LCD 控制器.....	58
2.3.1 数据类型.....	19	3.7 图形加速器.....	60
2.3.2 存储格式.....	20	3.8 MaverickCrunch 数字协处理器	61
2.3.3 存储器组成.....	21	3.9 DMA 控制器	61
2.3.4 工作状态.....	22	3.10 USB 控制器.....	62
2.3.5 工作模式.....	22	3.11 存储控制器.....	64
2.3.6 ARM 寄存器	23	3.12 GPIO	65
2.4 ARM 的中断与异常	26	3.13 本章小结.....	66
2.4.1 ARM 异常种类	27	3.14 复习与思考.....	67

第 4 章 Windows CE 操作系统	68		
4.1 概述	68	5.2.1 硬件层	96
4.2 Windows CE 操作系统简介	68	5.2.2 OEM 层	96
4.2.1 Windows CE 的版本和发展史	69	5.2.3 操作系统层	97
4.2.2 Windows CE 与 Windows XP Embedded	69	5.2.4 应用程序层	99
4.3 Windows CE 系统特点	70	5.3 进程和线程	99
4.3.1 系统功能模块化	70	5.3.1 进程	99
4.3.2 稳定的实时性支持	71	5.3.2 线程	103
4.3.3 良好的兼容性和平台支持	72	5.3.3 线程同步	109
4.3.4 丰富的多媒体支持	72	5.3.4 进程间的通信	120
4.3.5 广泛的全球性支持	73	5.4 内存管理	123
4.3.6 强大的开发平台支持	73	5.4.1 ROM 与 RAM	123
4.3.7 广阔的应用前景	73	5.4.2 物理内存与虚拟内存	124
4.4 Windows CE 开发概述	74	5.4.3 内存的组织结构	125
4.4.1 Windows CE 开发类型	74	5.4.4 进程地址空间结构	127
4.4.2 Windows CE 开发流程	74	5.4.5 堆和栈	128
4.5 Windows CE 的开发工具	76	5.4.6 内存管理函数	130
4.5.1 Platform Builder 简介	76	5.5 文件管理与注册表	131
4.5.2 EVC 简介	82	5.5.1 文件系统	131
4.5.3 Visual Studio	84	5.5.2 WinCE 文件 I/O 函数	132
4.5.4 Windows CE 标准 SDK 简介	85	5.5.3 对象存储	133
4.6 远程访问工具	86	5.5.4 注册表	134
4.6.1 远程工具的连接	87	5.6 用户界面和图形子系统简介	140
4.6.2 远程文件浏览工具	87	5.6.1 图形系统	140
4.6.3 远程注册表编辑器	88	5.6.2 窗口系统	141
4.6.4 远程系统信息查看工具	89	5.6.3 事件系统	141
4.6.5 远程测评工具	89	5.7 应用实例：进程间的通信方法	144
4.6.6 远程内核跟踪工具	90	5.7.1 剪贴板	145
4.6.7 远程堆查看工具	91	5.7.2 WM_COPYDATA 消息	147
4.6.8 远程进程浏览工具	91	5.7.3 内存映射文件	149
4.6.9 远程消息监视工具	92	5.7.4 点到点消息队列	152
4.7 本章小结	93	5.8 本章小结	155
4.8 复习与思考	93	5.9 复习与思考	156
第 5 章 Windows CE 体系结构	94	第 6 章 Windows CE 的内核定制	157
5.1 概述	94	6.1 概述	157
5.2 WinCE 操作系统模型	95	6.2 板级支持包	157
		6.2.1 BSP 的基本概念	158
		6.2.2 BSP 包的内容	158

6.2.3	BSP 的安装	159	7.5.3	流接口驱动的访问方式	225
6.3	Windows CE 内核定制	160	7.6	PCMCIA 设备驱动程序剖析	225
6.3.1	Windows CE 基本内核定制	160	7.6.1	WinCE 的 PCMCIA 卡设备 驱动结构	226
6.3.2	内核的编译	171	7.6.2	EP9315 的 PCMCIA 总线 接口	227
6.3.3	内核下载	173	7.6.3	PCMCIA 卡设备驱动的实现	229
6.3.4	操作系统映像的调试	174	7.7	本章小结	244
6.4	操作系统映像的配置文件	179	7.8	复习与思考	244
6.4.1	BIB 文件	180			
6.4.2	REG 文件	184	第 8 章	Windows CE 应用程序	
6.4.3	DAT 文件	184		开发	245
6.4.4	DB 文件	185	8.1	概述	245
6.5	SDK 的生成与导出	186	8.2	WinCE MFC 与标准桌面系统 MFC 的差异	245
6.6	内核定制范例	186	8.2.1	完全支持的 MFC 类	246
6.6.1	添加人机接口组件	186	8.2.2	不完全支持的 MFC 类	248
6.6.2	存储设备支持	187	8.2.3	不支持的类	252
6.7	本章小结	188	8.2.4	WinCE 专用类	253
6.8	复习与思考	188	8.3	WinCE 数据结构差异	254
第 7 章	Windows CE 驱动程序	189	8.3.1	支持的数据结构	254
7.1	概述	189	8.3.2	不支持的数据结构	256
7.1.1	驱动开发的硬件基础	190	8.4	字符及字符串处理差异	256
7.1.2	驱动开发前的必要准备	191	8.4.1	ANSI 字符串和 Unicode 字符串	257
7.2	WinCE 驱动程序	192	8.4.2	字符串处理函数	257
7.2.1	驱动程序分类	192	8.4.3	ANSI 字符串与 Unicode 字符串 之间的转换	258
7.2.2	WinCE 设备驱动概览	195	8.4.4	MFC 类 CString 对字符串的 处理	260
7.3	设备管理器	198	8.5	网络编程	260
7.3.1	设备注册信息	199	8.5.1	WinSock 网络编程接口	261
7.3.2	设备命名	201	8.5.2	WinCE 网络编程函数	262
7.3.3	设备索引	201	8.5.3	UDP 编程	264
7.3.4	设备管理 API	202	8.5.4	TCP 编程	270
7.3.5	驱动程序加载	202	8.6	FTP 编程	284
7.4	驱动程序的资源	204	8.6.1	FTP 服务器注册表设置	285
7.4.1	I/O 资源管理器	204	8.6.2	FTP 编程函数	286
7.4.2	中断处理	205			
7.4.3	内存管理和使用	211			
7.5	流接口设备驱动	217			
7.5.1	流接口驱动的结构	217			
7.5.2	流接口驱动的访问	223			

8.6.3 FTP 编程实例.....	287	10.1.2 流驱动程序接口代码.....	345
8.7 资源共享编程	297	10.1.3 模块定义文件 (*.def 文件) ...	347
8.7.1 SMB 服务器的注册表设置	297	10.1.4 驱动程序注册表.....	348
8.7.2 资源共享编程函数.....	300	10.1.5 驱动程序的产生、加载和 测试	348
8.7.3 磁盘共享编程实例.....	301	10.1.6 应用程序接口测试.....	349
8.8 本章小结	308	10.2 驱动程序中断的使用	350
8.9 复习与思考	309	10.2.1 Windows CE 逻辑中断	350
第 9 章 应用实例——无操作系统的 应用程序开发	310	10.2.2 硬件中断到逻辑中断映射的 实现	352
9.1 概述	310	10.2.3 中断的安装.....	353
9.2 ADS 开发环境简介	310	10.2.4 EGPIO 中断的映射	355
9.2.1 CodeWarrior	311	10.2.5 EGPIO 中断的安装.....	356
9.2.2 AXD.....	312	10.3 驱动程序中数据的输入和 输出	358
9.2.3 Multi-ICE.....	313	10.3.1 驱动程序中物理内存的 映射	358
9.3 ADS 应用程序开发	314	10.3.2 驱动程序中内存的使用.....	359
9.3.1 建立工程项目.....	314	10.3.3 在中断中获取设备的数据.....	361
9.3.2 产生源文件代码.....	316	10.3.4 应用程序从驱动中读取 数据	362
9.3.3 编译项目.....	317	10.3.5 从应用程序获取数据.....	362
9.3.4 项目的软件调试.....	320	10.4 驱动程序共享应用程序的 地址空间	363
9.4 嵌入式系统引导程序	325	10.4.1 应用程序内存到驱动程序 地址空间的映射	363
9.4.1 BootLoader 的任务和开发 方式.....	325	10.4.2 驱动程序中使用应用程序的 地址空间	367
9.4.2 EP9315 开发板的启动配置.....	326	10.4.3 在驱动程序中向应用程序发 消息	369
9.4.3 BootLoader 代码分析	327	10.4.4 在应用程序中响应驱动程序的 消息	370
9.5 无操作系统应用程序的生成和 调试.....	334	10.5 本章小结.....	370
9.5.1 无操作系统应用程序的生成.....	334	10.6 复习与思考.....	371
9.5.2 无操作系统应用程序的下载.....	337	第 11 章 应用实例——内核驱动的 修改和扩展.....	372
9.5.3 无操作系统应用程序的引导和 测试.....	337	11.1 概述.....	372
9.5.4 应用程序中异常中断处理.....	339		
9.6 本章小结	341		
9.7 复习与思考	341		
第 10 章 应用实例——Windows CE 中断驱动程序开发	342		
10.1 概述	342		
10.1.1 创建驱动程序工程.....	343		

11.2 M41ST95 实时时钟芯片简介 ...	373	12.3 SDRAM 接口及地址映射	403
11.2.1 M41ST95 的 SPI 总线接口	373	12.3.1 SDRAM 存储器电路及寻址方式	403
11.2.2 M41ST95 的内部寄存器	375	12.3.2 4Bank×13Row×9Col SDRAM 的地址映射	405
11.3 EP9315 的 SPI 接口	377	12.3.3 4Bank×13Row×10Col SDRAM 的地址映射	406
11.3.1 SPI 接口寄存器	377	12.4 SDRAM 的初始化	407
11.3.2 SPI 的工作过程	380	12.4.1 SDRAM 的模式寄存器	407
11.4 M41ST95 与 EP9315 的硬件、软件接口	381	12.4.2 SDRAM 的初始化	408
11.4.1 硬件接口	381	12.5 ARM 处理器的内存管理部件 MMU	412
11.4.2 EP9315 SPI 接口的初始化	382	12.5.1 存储器管理部件	412
11.4.3 M41ST95 的初始化	384	12.5.2 虚拟地址到物理地址的变换	413
11.4.4 M41ST95 的多寄存器读写	387	12.5.3 内存访问过程	419
11.5 Windows CE 下实时时钟的内核实现	389	12.5.4 地址映射表的程序实现	420
11.5.1 Windows CE 的时钟系统及其用户接口	390	12.5.5 SDRAM 扩容后的地址映射表	426
11.5.2 Windows CE 实时时钟的内核实现	392	12.6 Windows CE 的存储器管理	427
11.5.3 Windows CE 实时时钟的实现步骤	394	12.6.1 虚拟地址模型及其地址映射	427
11.5.4 修改内核代码应注意的问题	397	12.6.2 系统内存配置	431
11.6 本章小结	398	12.6.3 系统内存配置调整	434
11.7 复习与思考	398	12.7 本章小结	435
第 12 章 应用实例——引导程序的修改和扩展	399	12.8 复习与思考	435
12.1 概述	399	参考文献	436
12.2 EP9315 的 SDRAM 控制器	400	附录 A ARM 指令速查表	437
		附录 B Thumb 指令速查表	448

第 1 章 嵌入式系统概论

本章要点：

- ☑ 嵌入式系统简介
- ☑ 常见嵌入式微处理器及其选型
- ☑ 嵌入式操作系统的特点
- ☑ 常见嵌入式操作系统及其特征比较

1.1 概 述

嵌入式技术是近年来风靡全球的热点技术，从手机到电子书，从音频视频播放器到智能家电，从电子商务到工业控制，嵌入式系统已逐渐深入到人们日常生活的方方面面。那么，什么是嵌入式系统，什么是嵌入式操作系统，它们各有哪些特点，二者之间又有什么联系呢？

本章首先在 1.2 节中介绍嵌入式系统的概念，让读者对嵌入式系统有一个基本的印象，并讨论嵌入式系统的特点，从而了解嵌入式系统与一般的计算机系统的区别。

1.3 节中主要介绍嵌入式微处理器，它是嵌入式系统的核心部件。通过对嵌入式微处理器特点的分析，来了解它与一般的计算机系统的处理器的差别。同时还介绍 ARM、x86、MIPS、PowerPC 等几种常见的嵌入式微处理器，并对它们的内核特征、应用领域进行总结和比较。由于嵌入式微处理器的体系结构复杂、种类繁多，为便于开发者选择适合于自己的处理器芯片，在该节中还应从应用的角度提出了选择微处理器芯片时应该考虑的若干问题。

在 1.4 节中，介绍嵌入式操作系统，因为它是嵌入式系统的灵魂。嵌入式操作系统是运行在嵌入式系统硬件环境下的操作系统，为嵌入式应用程序的开发提供软件支持。通过对嵌入式操作系统特点的讨论，了解它与一般操作系统的区别，并从应用角度和实时性两个方面对嵌入式操作系统进行分类。此外，还介绍了几种常见的嵌入式操作系统，包括 VxWork、嵌入式 Linux、uClinux、RT-Linux、Windows CE、Windows XP Embedded 和 eCos，并对它们的特征进行了比较。最后对本章的内容进行了总结。

1.2 嵌入式系统简介

嵌入式系统是以应用为中心，以电子技术、计算机技术、信息技术为基础，以产品、设备为目标的专用计算机系统。它具有可靠性强、成本低、体积小、功耗低、维护和扩展方便以及升级换代快速等特点。

嵌入式系统一般是指非 PC 系统，它是相对于通用计算机（微型、小型、大型计算机）

系统而言的。嵌入式系统将自己隐身（嵌入）于各种设备或装置的内部，并根据设备、装置的要求发挥其独特的作用（如计算、处理、存储、控制等），该系统有着与通用计算机系统完全不同的技术要求和的发展方向。通用计算机采用标准化、模块化的设计理念，技术要求是高速、兼容性好、海量信息处理；技术发展方向是处理速度、总线宽度和存储容量的最大化。而嵌入式系统是针对性较强的设计，技术要求是满足具体功能需求和高可靠性；技术发展方向是在保证功能要求和可靠性的前提下，追求低成本、小体积和低功耗。

嵌入式系统是由嵌入式硬件和嵌入式软件紧密耦合在一起的系统。硬件包括微处理器、存储器、各种外设、I/O 控制端口等（微处理器是嵌入式硬件的核心，通常有 8 位、16 位、32 位微控制器）；软件包括嵌入式操作系统和应用程序。嵌入式系统的组成如图 1-1 所示。

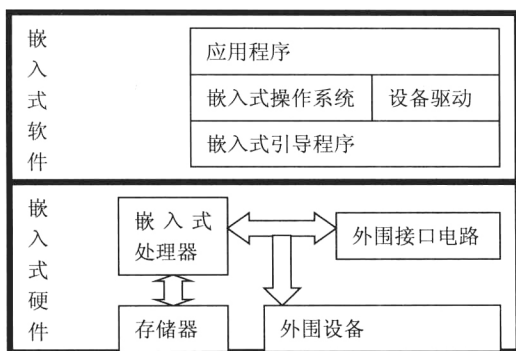


图 1-1 嵌入式系统的组成

国际电气和电子工程师协会（IEEE）对嵌入式系统的定义是这样的：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”。这表明嵌入式系统具有嵌入性、专用性和智能性。概括起来，嵌入式系统具有如下特点：

- ❑ 嵌入式系统是面向特定对象的系统，它的设计和开发只需要满足特定环境和系统要求即可，如小型化、结构紧凑、成本价廉等要求；不追求通用性和高速度。换句话说，嵌入式系统通常需要与某些特定的应用领域紧密结合。
- ❑ 嵌入式系统是先进计算机技术、电子技术、半导体技术与具体应用结合的产物，其设计开发必须将硬件技术和软件技术相结合，应用开发和行业特点相结合。
- ❑ 嵌入式系统的硬件和软件都必须具有较高的效率，量体裁衣，在相同资源条件下实现更高的性能，追求性价比的极大化。
- ❑ 嵌入式系统将计算机系统的底层技术与特定行业特点或特定行业领域融合为一体，这使得嵌入式系统的产品生命周期一般比计算机系统更长。
- ❑ 嵌入式系统的软件大多都固化在非易失的存储器中，而不是存储在磁盘中，这大大提高了系统的执行速度和可靠性。

1.3 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器是嵌入式系统的核心，而嵌入式系统的应用需求也加速了嵌入式微处

理器的完善和发展。嵌入式微处理器通常具有如下两个特点。

- ❑ 低功耗：由于嵌入式微处理器大多使用在移动设备中，使用环境决定了不可能利用持续的电源供电，因而要求处理器的功耗应尽可能低。大多数的嵌入式微处理器的功耗在毫瓦级，甚至微瓦级。
- ❑ 高集成度：许多嵌入式系统要求具有便携特性，这就要求体积小、重量轻。因而要求微处理器具有高的集成度，尽可能将通用外设或接口集成到微处理器芯片中。

常见的嵌入式微处理器主要有 ARM、x86、MIPS 和 PowerPC。

1.3.1 ARM 嵌入式微处理器

ARM (Advanced RISC Machines) 既是一个公司的名称，又是一类微处理器的通称，也是一种技术的名称。ARM 公司是微处理器行业的知名企业，设计了大量高性能、廉价、低功耗的 RISC (Reduced Instruction Set Computing, 精简指令集计算机) 芯片，并开发了相关技术和软件。ARM 处理器具有高性能、低成本和低功耗的特点，广泛应用于嵌入式系统。

ARM 的设计实现了小体积、高性能的结构。由于使用精简指令，使得 ARM 处理器的内核非常小，功耗也非常低。ARM 体系结构的主要特点如下：

- ❑ 统一和固定长度的指令域，简化了指令的译码。
- ❑ 简单的寻址模式（只有 2~3 种），所有加载/存储的地址只由寄存器的内容和指令域确定。
- ❑ 使用单周期指令，便于流水线操作。
- ❑ 数据的处理只对寄存器操作，而不直接对存储器操作，提高了指令执行的效率。
- ❑ 在一条数据处理指令中同时完成算术逻辑处理和移位器处理，实现对 ALU 和移位器的最大利用。
- ❑ 自动地址增减寻址模式实现了程序循环优化。
- ❑ 对寄存器加载和存储指令实现了最大数据吞吐量。
- ❑ 所有指令的条件执行实现了程序快速跳转。

目前 ARM 公司推出的 ARM 处理器主要有 6 个产品系列，即 ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10E、ARM11 和 SecurCore。其中前 4 个是通用处理器系列，每个系列提供了一套特定的性能来满足设计者对功耗、性能和体积的需要。SecurCore 是专门为安全设备而设计的。ARM11 为最新产品。此外，还有其他合作伙伴的基于 ARM 的嵌入式微处理器，如 Intel XScale。ARM 系列处理器内核特征比较如表 1-1 所示。

表 1-1 ARM 系列处理器内核特征比较

比较项目	ARM7	ARM9	ARM9E	ARM10E	ARM11	SecurCore	XScale
处理器结构	冯·诺依曼	哈佛	哈佛	哈佛	哈佛	哈佛	哈佛
流水线	3 级	5 级	5 级	6 级	8 级	5 级	7~8 级
时钟频率 /MHz	133	270	250	325	350~1000	110	200~1000

续表

时钟效率 /MHz	0.9MIPS	1.1MIPS	1.1MIPS	1.35MIPS	2.1MIPS	1.1MIPS	1.35MIPS
指令集	ARM, Thumb	ARM, Thumb	ARM, Thumb, DSP	ARM, Thumb DSP	ARM, Thumb, Thumb-2	ARM, Thumb, Thumb-2	ARM,Thumb, DSP
MMU	无	有	有	有	有	有	有
版本	v4T	v4T	v5TE	v5TE	v6	v5	v5
功耗/mW	0.06	0.19	0.19	0.5	0.4		
乘法器	8×32	8×32	8×32	16×32	16×32		
应用范围	工业控制, 个人音频设备, 打印机, 照相机, 电子秘书	工业控制, 无线设备, 仪器仪表, 安全系统, 数字消费, 汽车, 通信, 信息系统	工业控制, 下一代无线设备, 数字消费品, 成像设备, 存储设备, 网络设备汽车, 通信和信息系统	工业控制, 下一代无线设备, 数字消费品, 成像设备, 汽车, 通信和信息系统, 网络设备	下一代高端移动无线设备, 数字消费品, 网络汽车电子产品	安全产品及应用系统, 如电子商务、电子银行、网络认证, 移动媒体	数字移动电话, 个人数字助理, 网络产品

1.3.2 其他类型的嵌入式微处理器

尽管 ARM 内核的嵌入式微处理器占据了约 80%的嵌入式系统的市场份额，但嵌入式系统的特点决定了需要多样化的处理器来满足不同用户的需求。除了 ARM 微处理器外，还有其他类型的嵌入式微处理器用于不同的领域。在嵌入式系统的发展进程中，它们与 ARM 处理器相互借鉴，取长补短，形成了鲜明的个性和特点。

(1) x86 嵌入式微处理器

x86 框架的嵌入式微处理器主要有 Intel 公司的 386EX 和 AMD 公司的 Geode NX，由于这些微处理器性价比高，软件兼容性强，开发工具完善，在嵌入式系统中得到了广泛的应用。

(2) PowerPC 嵌入式微处理器

PowerPC（Performance Optimization with Enhanced RISC Performance Computing）是性能经过优化的增强型 RISC 结构处理器，其体系结构借鉴 IBM 公司的 Power 微处理器。具有代表性的嵌入式微处理器有 IBM 的 PowerPC604s、PowerPC750 和 Motorola 公司的 MPC7400、MPC8260 等。

(3) MIPS 嵌入式微处理器

MIPS（Microprocessor without Interlocked Piped Stages）是指无内部互锁流水级的微处理器，其机制是利用软件方法避免流水线中的数据处理问题。MIPS 既是处理器架构的名称，也是开发该处理器公司的名称。例如，中国龙芯处理器采用的就是 64 位 MIPS 指令架构。

1.3.3 嵌入式微处理器的选型

随着嵌入式系统的应用和发展，嵌入式微处理器的种类会越来越多，就 ARM 处理器