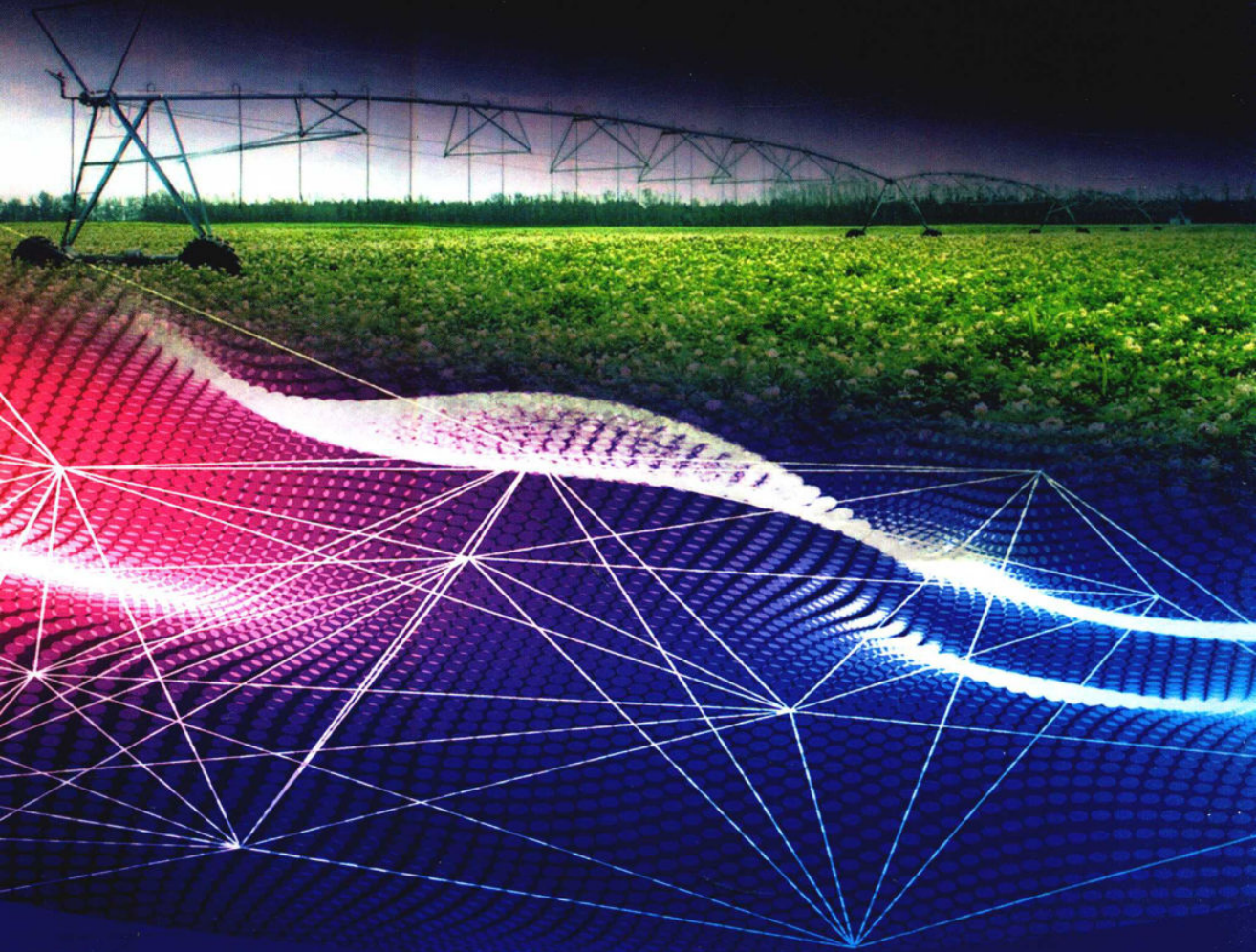


物联网与嵌入式技术及其在农业上的应用

● ◎ 马德新 著



中国农业科学技术出版社



责任编辑 白姗姗
封面设计 孙宝林 高 鑫

ISBN 978-7-5116-4189-2



9 787511 641892 >

定价：168.00元

物联网与嵌入式技术及其在农业上的应用

● ◎ 马德新 著



中国农业科学技术出版社

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

图书在版编目 (CIP) 数据

物联网与嵌入式技术及其在农业上的应用 / 马德新著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2019. 6

ISBN 978-7-5116-4189-2

I. ①物… II. ①马… III. ①互联网络-应用-农业②智能技术-应用-农业
③微处理器-系统设计-应用-农业 IV. ①S126

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 089675 号

责任编辑 白姗姗

责任校对 贾海霞

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82106638 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)

(010) 82109709 (读者服务部)

传 真 (010) 82106650

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京建宏印刷有限公司

开 本 787mm×1 092mm 1/16

印 张 29.25

字 数 715 千字

版 次 2019 年 6 月第 1 版 2019 年 6 月第 1 次印刷

定 价 168.00 元

前 言

随着网络技术和计算机技术的高速发展，嵌入式产业迅速崛起，嵌入式系统已经越来越多地应用在各个领域之中。嵌入式操作系统作为嵌入式系统的重要组成部分，发挥着越来越重要的作用。在工程实践中，嵌入式系统往往需要有较高的实时性，这就向嵌入式操作系统提出了更高的要求，本书第一篇主要讨论为满足嵌入式应用领域的需要，对 $\mu\text{COS-II}$ 操作系统的实时性进行研究。首先概述了嵌入式系统、嵌入式实时操作系统和嵌入式 $\mu\text{COS-II}$ ，随后对 $\mu\text{COS-II}$ 的工作原理及进程管理等进行详细的介绍，并对 $\mu\text{COS-II}$ 嵌入式操作系统的优势和在实时性方面的不足作了深入研究与分析。

物联网 (Internet of Things, IoT) 是新一代信息技术的重要组成部分，物联网可以看作是物物相连的互联网，通过感知、识别技术，与普适计算等技术融合应用，形成了继计算机、互联网之后又一次信息产业发展的浪潮。我们在分析物联网系统各部分功能与特点的基础上，从基于 Web 的物联网业务环境的基本原则出发，将物联网系统架构分为感知域和业务域。无线传感器网络作为感知域中的重要内容，具有特别重要的地位。本书第二篇对物联网关键技术进行研究，重点研究了基于 Web 的物联网体系结构和感知域中的拓扑管理与路由技术，取得了部分研究成果及创新。

随着各种嵌入式技术、物联网技术及装备的普及应用，面向感知过程的智能技术在农业生产中发挥越来越重要的作用。在以上研究的基础上，对嵌入式技术、物联网技术在农业上的研究与应用进行探索，具体包括嵌入式操作系统的实时性、物联网感知域关键技术、智能化设施园艺技术、水肥精准调控技术、信息化管理系统等。本书第三篇、第四篇对嵌入式和物联网技术在农业上的应用和项目分别进行研究和总结。

本书部分内容得到山东省重点研发计划项目 (2019GNC106001)、青岛市民生科技计划项目 (18-6-1-112-nsh)、山东省高等学校科技计划项目 (J17KA154)、青岛农业大学高层次人才科研基金项目 (663-1116017) 的资助，在此一并表示感谢。

著 者

2019 年 4 月

目 录

第一篇 嵌入式关键技术研究

第一章 绪 论	(3)
第一节 嵌入式系统的概况	(3)
第二节 嵌入式操作系统与实时操作系统	(5)
第三节 常用嵌入式操作系统介绍	(7)
第二章 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$	(10)
第一节 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的特点及结构	(10)
第二节 选择 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的原因	(12)
第三节 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 工作原理及进程控制	(12)
第四节 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 进程的创建和删除	(17)
第五节 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 进程调度分析	(19)
第三章 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 在 PC 上的移植	(21)
第一节 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 源码简介	(21)
第二节 开发工具简介及安装	(21)
第三节 移植及配置详细步骤	(22)
第四章 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 调度的研究与改进	(24)
第一节 实时任务的调度	(24)
第二节 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 内核调度算法的改进	(29)
第三节 各种调度算法评估	(33)
第五章 优先级反转问题的研究与改进	(36)
第一节 进程优先级反转现象的研究	(36)
第二节 优先级反转的理论解决	(38)
第三节 各种操作系统对优先级反转的问题的解决	(40)
第四节 优先级反转的实验模型	(41)
第五节 互斥量 Mutex 的研究和改进	(43)
参考文献	(46)

第二篇 物联网关键技术研究

第一章 绪 论	(51)
第一节 引 言	(51)
第二节 物联网	(51)
第三节 无线传感网络	(59)
第四节 主要贡献	(66)
第二章 基于 Web 的物联网体系结构	(69)
第一节 物联网系统体系架构	(69)
第二节 物联网发展存在的问题及需求	(73)
第三节 基于 Web 的物联网系统服务平台	(74)
第四节 基于 Web 的物联网系统的商业模式	(74)
第五节 应用服务中间件	(77)
第六节 应用与服务管理平台	(80)
第七节 物联网生态系统	(82)
第三章 一种基于虚拟坐标的动态自适应分簇协议	(83)
第一节 引 言	(83)
第二节 相关工作	(84)
第三节 系统模型	(84)
第四节 基于虚拟坐标的动态自适应分簇协议	(86)
第五节 算法性能评估	(90)
第四章 一种基于小生境粒子群优化的自适应分簇协议	(93)
第一节 引 言	(93)
第二节 相关工作	(94)
第三节 系统模型	(94)
第四节 无参数小生境粒子群优化算法的改进	(96)
第五节 一种基于小生境粒子群优化的自适应分簇协议	(101)
第六节 算法性能评估	(105)
第五章 一种基于粒子群蚁群优化的动态分簇路由协议	(109)
第一节 引 言	(109)
第二节 相关工作	(110)
第三节 系统模型	(110)
第四节 蚁群算法及性能分析	(111)
第五节 一种基于粒子群蚁群优化的动态分簇路由协议	(117)
第六节 算法性能评估	(118)
第六章 附 录	(121)
参考文献	(122)

第三篇 关键技术在农业上的应用

茶树种质及基因资源发掘与开发利用数据库系统构建	(137)
茶园水肥一体化技术应用现状与发展前景	(140)
滴灌在樱桃种植区的应用	(143)
电子元器件在智能家居领域中的应用发展	(146)
基于“互联网+”的农业信息传播应用现状与发展趋势	(150)
基于彭曼-蒙特斯公式的温室茶树腾发量计算模型研究	(154)
基于物联网的水肥精准配比调控技术	(162)
农村经济地理信息系统的构建	(167)
青岛农业科技传播服务平台的构建	(172)
实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 调度算法的研究	(176)
实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的改进与应用研究	(181)
数字茶园实验基地建设实践与探索	(185)
数字化农业平台科技传播服务系统的构建	(189)
水肥一体化技术的发展现状与应用对策研究	(194)
水肥一体化技术的应用发展建议	(198)
水肥一体化技术在设施温室中的应用分析	(202)
水肥智能调控技术在设施温室中的应用	(205)
网站创建与管理课程建设的探索与实践	(208)
我国农业信息管理系统发展现状及趋势分析	(212)
无线传感器网络在环境监测应用 领域的研究进展	(215)
智慧农业现状与发展建议	(218)
作物腾发量计算方法比较与评价	(223)
A clustering protocol based on Virtual Area Partition using Double Cluster Heads scheme	(227)
A clustering protocol with Adaptive Assistant-Aided Cluster Head using Particle Swarm Optimization	(236)
An Adaptive Assistant-Aided Clustering Protocol using Niching Particle Swarm Optimization	(246)
An Adaptive Clustering Protocol using Niching Particle Swarm Optimization	(255)
An Adaptive Node Partition Clustering protocol using Particle Swarm Optimization	(269)
An Adaptive Virtual Area Partition Clustering Protocol using Particle Swarm Optimization	(278)

An Adaptive Virtual Area Partition Clustering Routing protocol using Ant Colony Optimization	(289)
An Efficient Node Partition Clustering protocol using Niching Particle Swarm Optimization	(297)
An energy distance aware clustering protocol with Dual Cluster Heads using Niching Particle Swarm Optimization	(305)
An Energy Efficient Clustering protocol based on Niching Particle Swarm Optimization	(315)
Energy-aware Clustering Protocol with Dual Cluster Heads using Niching Particle Swarm Optimization for Wireless Sensor Networks	(321)
Solar-powered Wireless Sensor Network's Energy Gathering Technology	(331)
Virtual Area Partition Clustering protocol with Assistant Cluster Head	(336)
Wireless Sensor Networks' Application Research Progress	(345)

第四篇 项目资料

茶园水肥一体自适应调控模式研究	(353)
农村土地管理信息系统	(372)
测土配方施肥专家系统	(382)
农业物联网管理系统	(388)
农产品价格预警管理系统	(410)
农产品电子商务服务平台	(419)
农产品质量安全可追溯管理系统	(429)
智能农业机械物联网系统	(442)
农民教育培训系统	(453)

第一篇

嵌入式关键技术研究

第一章 绪 论

第一节 嵌入式系统的概况

一、嵌入式系统的定义及组成

根据 IEEE（国际电器和电子工程师协会）的定义，嵌入式系统是“控制、监视或辅助设备、机器和车间运行的装置。”这个定义把嵌入式系统的概念定义得很宽泛。具体的我们也可以这样说，嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，并且软硬件是可裁剪的，适用于对功能、可靠性、成本、体积、功耗等有严格要求的专用计算机系统。嵌入式系统是现代多学科互相融合的产物，嵌入式系统无多余软件，并且以固态出现，硬件亦无多余存储器，有可靠性高、成本低、体积小、功耗少等特点。嵌入式系统又是知识密集，投资规模大，产品更新换代快，且具有不断创新特征、不断发展的系统，系统中采用片上系统（SoC）将是其主要发展趋势。也有人认为，只要计算机（或处理器）是作为某个专用系统中的一个部件而存在的，那么这个计算机系统就可以称之为嵌入式系统。

所谓将计算机嵌入到系统中，一般并不是指直接把一台通用计算机原封不动地安装到目标系统中，而是指为目标系统构筑起合适的计算机系统，再把它有机地植入，甚至融入目标系统。常规的计算机系统是面向计算（包括数值和非数值）和处理的，而嵌入式计算机则一般是面向控制的。

整个嵌入式系统的体系结构可以分成四个部分：嵌入式处理器、嵌入式外围设备、嵌入式操作系统和嵌入式应用软件。如图 1-1 所示。

嵌入式系统的核心是各种类型的嵌入式处理器，嵌入式处理器与通用处理器最大的不同点在于，嵌入式处理器多工作在为特定用户群所专门设计的系统中，它将通用处理器中许多由板卡完成的任务集成到芯片内部，从而有利于嵌入式系统在设计时趋于小型化，同时还具有很高的效率和可靠性。嵌入式处理器的种类主要有：嵌入式微处理器（EMPU）、嵌入式微控制器（EMCU）、嵌入式 DSP 处理器（EDSP）、嵌入式片上系统（ESoC）。

在嵌入式系统的硬件系统中，除了中心控制部件以外，还有用于完成存储、通信、调试、显示等辅助功能的其他部件，事实上都可以算作嵌入式外围设备。目前常用的嵌入式外围设备按功能可以分为存储设备、通信设备和显示设备三类。

为了使嵌入式系统的开发更加方便和快捷，需要有专门负责管理存储器分配、中断



图 1-1 嵌入式系统的组成

处理、进程调度等功能的软件模块，这就是嵌入式操作系统。嵌入式操作系统是用来支持嵌入式应用的系统软件，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、图形用户界面等。嵌入式操作系统具有通用操作系统的基本特点，如能够有效管理复杂的系统资源，能够对硬件进行抽象，能够提供库函数、驱动程序、开发工具集等。但与通用操作系统相比较，嵌入式操作系统在实时性、硬件依赖性、软件固化性以及应用专用性等方面，具有更加鲜明的特点。

嵌入式应用软件是针对特定应用领域，基于某一固定的硬件平台，用来达到用户预期目标的计算机软件，由于用户任务可能有时间和精度上的要求，因此有些嵌入式应用软件需要特定嵌入式操作系统的支持。嵌入式应用软件和普通应用软件有一定的区别，它不仅要求其准确性、安全性和稳定性等方面能够满足实际应用的需要，而且还要尽可能地优化，以减少对系统资源的消耗，降低硬件成本。

二、嵌入式系统的现状和发展

嵌入式系统的出现至今已经有 30 多年的历史了，嵌入式技术也经历了几个发展阶段。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，不仅广泛渗透社会经济、军事、交通、通信等相关行业，而且深入家电、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，电子、计算机、通信（3C）一体化趋势日趋明显，嵌入式技术再度成为一个研究热点。综观嵌入式技术的发展，大致经历了以下几个阶段。

第一阶段是以单片机为核心的可编程控制器形式的系统，同时具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能。这种系统大部分应用于一些专业性极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，运行结束后清除内存。这一阶段系统的主要特点是：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。由于这种嵌入式系统使用简便、价格低廉，以前在国内外工业领域应用中较为普遍，但是已经远远不能适应高效的、需要大容量存储介质的现代

化工业控制和新兴的信息家电等领域的需求。

第二阶段是以嵌入式 CPU 为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。这一阶段系统的主要特点是：CPU 种类繁多，通用性比较弱，系统开销小，效率高；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；系统要用来控制系统负载以及监控应用程序运行。

第三阶段是以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。这一阶段系统的主要特点是：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、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），开发应用程序简单；嵌入式应用软件丰富。

第四阶段是以基于 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、工业控制技术等结合日益密切，嵌入式设备与 Internet 的结合将代表着嵌入式技术的真正未来。

当今嵌入式系统种类繁多、应用数量大、分布范围广，已经广泛应用于工业、农业、商业、金融、科研、国防、医疗、运输等一系列国民经济领域中。嵌入式系统目前已经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。在个人领域中，嵌入式产品将主要是作为个人的移动数据处理和通信工具，手写文字输入、语音拨号、收发电子邮件、以及彩色图形、图像都已在现实生活中得以实现。在自动控制领域，嵌入式系统技术不仅用于 ATM 机、自动售货机、工业控制等专用设备，还和移动通信设备、GPS（全球定位系统）相结合，发挥着巨大的作用。

21 世纪无疑将是一个网络的时代，随着网络技术的飞速发展，将嵌入式系统应用到各种网络环境中去的呼声自然也越来越高，嵌入式设备与 Internet 的结合已经成为嵌入式技术未来发展的趋势。

第二节 嵌入式操作系统与实时操作系统

一、嵌入式实时操作系统的特点

从嵌入式系统发展过程我们可以看到最初的嵌入式系统并没有操作系统。甚至直到现在，很多的嵌入式系统也不需要操作系统。首先是因为没有必要，功能简单的设备系统只要用监控程序就可以满足要求了；其次是因为当时的硬件条件不允许，在硬件条件很苛刻的情况下，根本没有操作系统生存的空间。但是随着硬件条件的改善以及嵌入式系统应用领域日益扩大，所需提供的功能越来越复杂，简单的监控程序已经不能很好地适应嵌入式系统的开发。这就促使人们在嵌入式系统中引入了操作系统。

用于嵌入式计算机的操作系统称为嵌入式操作系统。它已经成为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软件、系统内核、设备驱动接口、通信协议、图形用户界面等。

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。

实时操作系统阶段嵌入式系统的主要特点是:操作系统的实时性得到了很大改善,已经能够运行在各种不同类型的微处理器上,兼容性好。操作系统内核精小、效率高,具有高度的模块化和扩展性。此时的嵌入式操作系统已经具备了文件和目录管理、设备管理、多任务、网络、图形用户界面等功能,并提供了大量的应用程序接口,从而使得应用软件的开发变得更加简单。

同时,嵌入式系统实时性要求高,所以嵌入式操作系统往往又是实时操作系统。许多嵌入式操作系统的内核是微内核结构,而不是宏内核。其他如在硬件相关性、软件固化性以及专用性等方面都具有较为突出的特点。

二、实时操作系统关键技术指标

由于实时操作系统在实时应用中的特殊地位,在实时操作系统的研究设计中对其性能指标的要求比通用操作系统严格。对于通用操作系统来说,其目的是方便用户管理计算机资源,追求系统资源的最大利用率。而实时操作系统追求的是实时性、可确定性和可靠性。

评价一个实时操作系统一般可以用以下几个技术指标来衡量。

1. 任务调度算法

实时操作系统的实时性在很大程度上取决于它的任务调度算法。

2. 上下文切换时间

在多任务系统中,上下文切换时间是当处理器的控制权由运行进程转移到另外一个就绪任务时所需要的时间。这是影响实时操作系统性能的一个重要指标。

3. 最大中断禁止时间

当实时操作系统运行在内核空间或执行某些系统调用时,是不会因为外部中断的到来而中断执行的。只有当重新回到用户态时才响应外部中断请求,这一过程所需的最大时间就是最大中断禁止时间。

三、实时操作系统的任务调度

在操作系统的多任务调度算法的设计上,要根据系统的具体需求来确定调度策略,实时调度策略可以按不同的方法分为:静态/动态;基于优先级/不基于优先级;抢占式/非抢占式;单处理器/多处理器。

各种实时操作系统的实时调度算法可以分为以下三种类别:基于优先级的调度算法(Priority-driven scheduling, PD)、基于CPU使用比例的共享式的调度算法(Share-driven scheduling, SD)以及基于时间的进程调度算法(Time-driven scheduling, TD)。本文主要介绍基于优先级的调度算法。

基于优先级的调度算法给每个进程分配一个优先级,在每次进程调度时,总是调度那个具有最高优先级的进程来执行。根据不同的优先级分配方法,基于优先级的调度算

法可以分为静态优先级调度算法和动态优先级调度算法两种类型。

关于调度策略及其改进是本文研究的一个重点，在以后的章节中将会作更进一步的介绍。

四、可剥夺型内核及优先级反转问题

一般认为只有可剥夺型内核的操作系统才可以称为实时操作系统。根据 IEEE 实时 UNIX 分委会对实时操作系统的定义，进程的可剥夺调度也是实时操作系统的基本特征之一。因此，绝大多数商业的实时内核都是可剥夺型内核。

可剥夺型内核是指最高优先级的进程一旦就绪，总能得到 CPU 的使用权。当一个比当前运行进程优先级高的进程进入了就绪态时，当前进程的 CPU 使用权就被剥夺了，或者说被挂起了，更高优先级的进程立刻得到了 CPU 的使用权。这样就可以保证就绪的最高优先级的进程，往往也是最重要的进程，能够及时得到运行。那么，采用了可剥夺型内核的操作系统是否一定就能使最高优先级的进程得到及时的运行呢？不是的。对于可剥夺型内核有个很常见的问题，那就是优先级反转。在这种特殊情况下，高优先级的进程可能会被低优先级的进程阻塞，结果会在比自己优先级低的进程之后运行，甚至有时还会得不到运行的机会，这在实时要求比较高的情况下是无法忍受的。

关于优先级反转问题及其解决也是本文研究的一个重点，在以后的章节中将会作更进一步的介绍。

第三节 常用嵌入式操作系统介绍

一、 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 简介

$\mu\text{C}/\text{OS}$ 可以说是最小的操作系统内核了。这里的 μ 表示 micro，所以 μC 就是指微控制器。其作者 Jean J. Labrosse 将第 1 版的源代码发表在 1992 年的“Embedded System Programming”杂志上，从而引起人们的注意和采用。在此基础上，后来又推出了 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 的第 2 版，即 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 。

现在 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 已经在世界范围内得到广泛使用，包括诸多领域，如手机、路由器、集线器、不间断电源、飞行器、医疗设备以及工业控制。这表明 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 具有足够的安全性及稳定性，能用于与人生命攸关的、安全性条件极为苛刻的系统。

二、Linux 简介

嵌入式 Linux 的开发和研究是操作系统领域中的一个热点。Linux 能够支持 x86、ARM、MIPS、ALPHA、Power PC 等多种体系结构，目前已经成功移植到数十种硬件平台，几乎能够运行在所有流行的 CPU 上。Linux 内核的高效和稳定性已经在各个领域内得到了大量事实的验证，Linux 的内核包括进程调度、内存管理、进程间通信、虚拟文件系统和网络接口五大部分，其独特的模块机制可以根据用户的需要，实时地将某些模块插入到内核或从内核中移走。这些特性使得 Linux 系统内核可以裁剪得非常小巧，很

适合于嵌入式系统的需要。

Linux 虽然已经被成功地应用到了 PDA、移动电话、车载电视、机顶盒、网络微波炉等各种嵌入式设备上,但在医疗、航空、交通、工业控制等对实时性要求非常严格的场合中还无法直接应用,原因在于现有的 Linux 是一个通用的操作系统,虽然它也采用了许多技术来加快系统的运行和响应速度,但从本质上来说并不是一个嵌入式实时操作系统。Linux 内核采用的是宏内核,整个内核是一个单独的、非常大的程序,这样虽然能够使系统的各个部分直接沟通,有效地缩短任务之间的切换时间,提高系统响应速度,但与嵌入式系统存储容量小、资源有限的特点不相符合。目前在基于图形界面的特定系统定制平台的研究上,与 Windows CE 等商业嵌入式操作系统相比还有很大的差距,整体集成开发环境有待提高和完善。

三、其他嵌入式操作系统简介

1. Windows CE

Windows CE 是美国 Microsoft 公司专门为各种移动和便携电子设备、个人信息产品、消费类电子产品、嵌入式应用系统等设计的一种 32 位高性能操作系统。它具有一个简洁、高效的完全抢占式多任务操作系统内核,支持强大的通信和图形功能,能够适应广泛的系统需求。Windows CE 是微内核结构的操作系统,它是从整体上为有限资源的平台设计的多线程、完整优先权、多任务的操作系统。操作系统由一些独立的模块组成,每个模块提供特定的功能,大的模块又可以分成几个组件。这种组件式结构能使系统变得非常紧凑,仅需使用很少的硬件资源就可运行。最主要的系统模块有四个,即内核、持久性存储模块、绘图窗口事件子系统和通信模块。内核是整个操作系统的核心部分,它负责基本的操作系统功能,包括内存管理、进程管理和必需的文件管理。它的模块化设计允许它对从掌上电脑到专用工业控制器的用户电子设备进行定制。操作系统的基本内核需要至少 200K 的 ROM (只读内存镜像)。Windows CE 不需要任何特定的硬件结构,实际的硬件系统完全由用户根据需要自由设计。

Windows CE 的图形用户界面也是非常值得一提的。它兼容于 Microsoft 公司的 Windows 操作系统,支持超过 1 000 个常用的 32 位 Windows 应用程序结构函数,支持高分辨率真彩色。对于需要有较强人机界面的应用,特别是对于用惯了 Windows 界面的用户,这当然是个非常重要的因素。此外,其他 Windows 操作系统上的应用软件移植到 Windows CE 上也比较方便,因此,Windows CE 所拥有的应用软件以及所支持的外设的数量是其他系统难以比拟的。

2. VxWorks

VxWorks 是美国 Wind River 公司 1983 年设计开发的一种嵌入式实时操作系统的产品。因其良好的持续发展能力、高性能的内核、友好的开发环境、卓越的可靠性,被广泛应用于通信、航空、航天等实时性要求极高的领域中。VxWorks 采用微内核的结构,支持多种硬件环境。另外,它还具有网络协议丰富、兼容性好和裁减性好等特点,具有程序动态链接和下载的功能。VxWorks 是一种功能强大而且比较复杂的操作系统,包括了进程管理、存储管理、设备管理、文件系统管理、网络协议及系统应用等几个部分,