



嵌入式技术

QIANRUSHIJISHU

及其应用

JIQIYINGYONG

■ 方尔正 王 燕 编著



哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书讲授嵌入式技术原理和嵌入式系统设计方法,并实践性地描述系统设计过程和开发方法。书中内容以嵌入式技术的特点为索引,按照嵌入式系统的软硬件组成,详细讲解嵌入式系统的构建过程,内容覆盖了嵌入式系统的各个组成部分。

书中结合了作者丰富的经验和设计实例,详尽描述了嵌入式系统的不同组成部分,包括嵌入式系统的体系结构、存储体系、输入输出设备、总线接口、电源,ARM 开发环境与调试系统,嵌入式系统软件设计等。

本书内容丰富、结构合理、概念清晰。适用对象为大专院校在校本科生和研究生,也可以作为相关专业嵌入式类课程的教材,还可以供从事相关内容开发的科技工作者使用。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式技术及其应用/方尔正,王燕编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2008.7
ISBN 978-7-5603-2726-6

I. 嵌… II. ①方…②王… III. 微处理器—系统设计
IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 089644 号

策划编辑 张晓京
责任编辑 范业婷
封面设计 卞秉利
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451 - 86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 16.5 字数 380 千字
版 次 2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-2726-6
定 价 26.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

嵌入式技术的产生已经有相当长的时间,随着此项技术的发展,在各个行业都可以见到它的身影。越来越多的科技工作者开始接触和熟悉嵌入式技术,并取得了相当的成就。各高校也纷纷开设嵌入式技术类课程。然而需要看到的是,很多课程选用的教材或偏重于理论而远离实践,或内容陈旧而与现实脱节。为此,作者编写了此书。

本书在描述系统理论的同时,给出了众多的工程应用实例,特别给出了流行嵌入式操作系统 VxWorks 在 ARM 上设计实现的原理和关键源代码,可以作为本科高年级学生、研究生和教师的教材和参考书,也可供从事嵌入式技术的研究人员使用。

全书共分 9 章,主要内容安排如下:

第 1 章 嵌入式系统概述。主要介绍嵌入式系统的概念、嵌入式系统的发展和重要作用,同时叙述了嵌入式系统的简单组成和发展前景。

第 2 章 嵌入式系统的体系结构及嵌入式处理器。介绍嵌入式系统的体系结构和嵌入式处理器的分类。

第 3 章 嵌入式系统的存储体系。介绍各类存储器的特点和优点,详细介绍目前常用存储器的内部结构,给出了不同类型存储器的应用实例。

第 4 章 嵌入式系统的输入输出设备。详细介绍了各类嵌入式系统的输入输出设备,分析了不同设备的原理和用法,通过几个具体例子提出了输入输出设备的设计方法。

第 5 章 嵌入式系统的总线接口。介绍目前嵌入式系统中常用的总线和接口,总结其优缺点和使用规范,并给出了具体工程实例。

第 6 章 嵌入式系统的电源。详细阐述嵌入式系统电源的分类与组成。通过描述和分析不同嵌入式电源的原理,提出嵌入式系统电源的设计方法并给出具体实例。

第 7 章 ARM 开发环境与调试系统。简要介绍了当前流行的 ARM 处理器开发平台的开发环境和调试系统的使用方法。

第 8 章 嵌入式系统软件及操作系统知识。介绍基于 ARM 处理器的 VxWorks 操作系统的开发方法,阐述从启动到板级支持包的全部开发原理和过程。

第 9 章 嵌入式软件程序设计。以 Samsung 公司的 S3C2410 处理器为核心,介绍基于此处理器的 VxWorks 的 bootrom 和 BSP 的开发方法和实例。

本书第 1~6 章由方尔正编写,第 7~9 章由王燕编写,全书由方尔正统稿。在编写过程中,研究生陈珊、何董行、陈洁、魏建新做了许多工作,在此表示感谢。

由于作者水平有限,错误和疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2008 年 6 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统——后 PC 时代的中流砥柱	1
1.2 嵌入式系统的定义	2
1.3 嵌入式系统的发展历程	2
1.4 嵌入式系统的特征	3
1.5 嵌入式系统的组成	4
1.6 嵌入式操作系统简介	6
1.7 嵌入式系统在不同领域的应用	11
第 2 章 嵌入式系统的体系结构及嵌入式处理器	13
2.1 嵌入式处理器的分类	14
2.2 嵌入式处理器的体系结构	16
2.3 嵌入式处理器的选择	38
2.4 嵌入式处理器开发工具	45
第 3 章 嵌入式系统的存储体系	46
3.1 存储器系统概述	46
3.2 存储器的分类	46
3.3 半导体存储器的分类	47
3.4 FLASH 存储器的原理与种类	51
3.5 RAM 存储器	55
3.6 外部存储器的种类与选型	58
第 4 章 嵌入式系统的输入输出设备	81
4.1 嵌入式系统常用输入输出设备概述	81
4.2 GPIO	82
4.3 键盘	86
4.4 LED 显示屏的驱动	91
4.5 液晶屏	93
4.6 触摸屏	94
4.7 音频接口	98
4.8 A/D 和 D/A 转换器	103
第 5 章 嵌入式系统的总线接口	110
5.1 串行接口的基本原理和结构	110
5.2 并行接口的基本原理和结构	117
5.3 PCI 接口的基本原理和结构	118

5.4	USB 接口的基本原理和结构	120
5.5	SPI 接口的基本原理和结构	124
5.6	I ² C 接口的基本原理和结构	126
5.7	CAN 接口的基本原理和结构	131
5.8	IEEE 1394 总线接口原理	135
第 6 章	嵌入式系统的电源	139
6.1	嵌入式系统的电源系统组成	139
6.2	电源稳定子系统	140
6.3	电源管理技术	149
6.4	充电管理	155
6.5	电源保护	161
第 7 章	ARM 开发与调试系统	169
7.1	ADS 开发环境	169
7.2	ARM 体系中调试系统概述	173
7.3	用仿真器调试系统	175
7.4	基于 JTAG 的调试系统	177
第 8 章	嵌入式系统软件及操作系统知识	182
8.1	嵌入式系统软件基础	182
8.2	常见的嵌入式操作系统	183
8.3	实时系统的任务管理	184
8.4	存储管理	195
8.5	设备管理	202
8.6	文件系统	203
第 9 章	嵌入式软件程序设计	210
9.1	嵌入式软件开发概述	210
9.2	VxWorks 的主要功能和结构	210
9.3	板级支持包	211
9.4	VxWorks 的引导过程	212
9.5	VxWorks BSP 的移植	216
9.6	组件管理	249
参考文献		258

第 1 章 嵌入式系统概述

1.1 嵌入式系统——后 PC 时代的中流砥柱

PC 机主要应用于办公自动化领域,而嵌入式系统已经广泛渗透到人们的工作、生活中,从家用电器、手持通信设备、汽车,到信息终端、仪器仪表、航天航空、军事装备、制造业、过程控制等。

如今,嵌入式系统带来的工业年产值已超过 1 万亿美元。美国著名未来学家尼葛罗庞蒂在 1999 年 1 月访华时曾预言:“4 至 5 年后嵌入式智能电脑将是除了 PC 和因特网之外最伟大的发明。”据统计,嵌入式处理器的数量占分散处理器的 94%,而 PC 机用的处理器只占 6%。汽车大王福特公司的高级经理曾称:“福特卖出的‘计算能力’已超过了 IBM!”用市场观点来看,PC 已经从高速增长进入到平稳发展时期,其年增长率由 20 世纪 90 年代中期的 35% 逐年下降,单纯由 PC 机带领电子产业蒸蒸日上的时代已经成为历史,根据 PC 时代的概念,美国 Business week 杂志提出了“后 PC 时代”概念。

根据美国嵌入式系统专业杂志 RTC 报道,21 世纪初的 10 年中,全球嵌入式系统市场需求量具有比 PC 市场大 10 ~ 100 倍的商机。1998 年在芝加哥举办的嵌入式系统会议上,与会专家一致认为,21 世纪嵌入式系统将无所不在,它将为人类生产带来革命性的发展,实现“PCs Everywhere”的生活梦想。

虽然嵌入式系统这一名词在最近几年才成为流行,但在 20 世纪 80 年代初期,国际上就有一些 IT 组织、公司开始进行商用嵌入式系统和专用操作系统的研发。在硬件方面,32、64 位微处理器成为目前嵌入式系统的核心,它们的使用同样也是未来发展的一大趋势。为了抢占这个无限广阔的市场,各大硬件厂商竞相推出产品,包括 Intel, Motorola, Philip, AMD 等均不甘示弱,几乎每个月都有新产品出现。近来, Microchip 推出具有数字信号处理能力的微控制器(DSC), Atmel 也推出针对消费市场的可编程系统芯片(PsoC)。市场之争日益激烈,同时也给嵌入式技术的发展带来了无限活力。在软件方面,嵌入式操作系统也蓬勃发展、日益成熟。国外商品化的嵌入式实时操作系统,已进入我国市场的有 WindRiver、Microsoft、QNX 和 Nuclear 等。我国自主开发的嵌入式系统软件也逐渐应用。如 CoreTek 公司的嵌入式软件开发平台 DeltaSystem, 开发工具齐全;此外,中科院也推出了 Hopen 嵌入式操作系统。同时由于嵌入式系统技术是热门技术,在网上各种各样的免费资源也十分丰富,从各大厂商的开发文档,到各种驱动、程序源代码,甚至很多厂商还提供微处理器的样片。这对于从事此类研发的工作者,无疑是个资源宝库。对于软件设计来说,不论是初学还是进一步开发,都相对比较容易。

嵌入式系统是这个后 PC 时代的中流砥柱。有理由相信,未来的世界将会是嵌入式系统技术引领潮流。

1.2 嵌入式系统的定义

嵌入式系统通常是指那些嵌入在电子设备当中的、有别于台式计算机的、能够独立执行部分或全部任务的专用系统。它由传感器、微处理器、微控制器、存储器等一系列微电子芯片与器件,和嵌入在存储器中的微型操作系统、控制应用软件组成,共同实现诸如实时控制、监视、管理、计算、数据处理等各种任务。

而根据英国电机工程师协会的定义,嵌入式系统则是控制、监视或辅助某个设备、机器甚至工厂等运行的装置。它具有如下特点:

- ①用来执行特定的功能;
- ②由微处理器和外围电路构成;
- ③具有严格的时序和可靠性;
- ④具有全自动操作循环。

嵌入式系统是一种面向应用的系统,以微电子技术和计算技术为核心,辅助以传感器技术和通信等技术,强调硬件与软件的协同性与整合性,软件与硬件的可剪裁性,以满足系统对功能、成本、体积和功耗等要求。

不同功能的嵌入式系统的复杂程度有很大不同。简单的嵌入式系统仅仅具有单一功能,存储器中的程序就是为了这一功能设计的,其系统处理核心也是单一任务处理器。复杂的嵌入式系统不仅功能强大,往往还配用实时操作系统,例如 PDA 等,几乎具有与微型计算机一样的功能。嵌入式系统采用紧凑的存储器来存储代码和数据,而不采用磁盘等载体。

典型的简单嵌入式系统如图 1.1 所示,它是传感器网络中用于数据传输的 ZigBee 嵌入式通信模块。

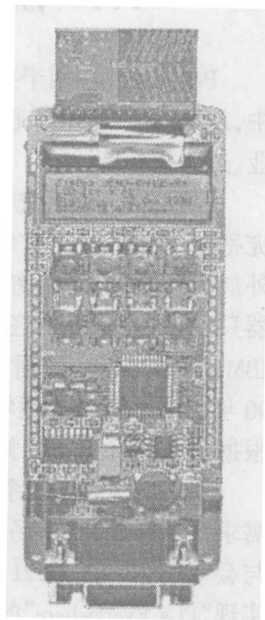


图 1.1 无线数据传输模块

1.3 嵌入式系统的发展历程

嵌入式系统的出现已有 30 多年的历史,近几年来,计算机、通信、消费电子一体化趋势日益明显,嵌入式技术已成为一个研究热点。纵观嵌入式技术的发展过程,大致经历了 4 个阶段。

(1)以单芯片为核心的可编程控制器形式的系统。这类系统具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能,大部分应用于一些专业性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。这一阶段系统的主要特点是:系统结构和功能相对单一,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单、价格低,以前在国内工业领域应用较为普遍,但是已经远不能适应高效的、需要大容量存储的现代工业控制和新兴信息家电等领域的需求。

(2)以嵌入式 CPU 为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。主要特点是:CPU 种类繁多,通用性比较弱;系统内核小,效率高;操作系统具有一定的兼容性和扩展性;应用软件较专业化,用户界面不够友好。

(3)以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。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、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,开发应用程序较简单;嵌入式应用软件丰富。

(4)以 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、工业控制技术结合日益紧密,嵌入式设备与 Internet 的结合将代表嵌入式系统的未来。

综上所述,嵌入式系统技术日益完善,32 位微处理器在该系统中占主导地位,嵌入式操作系统已经从简单走向成熟,它与网络、Internet 结合日益紧密,因此,嵌入式系统应用将日益广泛,各种令人目眩的新装置、新技术层出不穷,它们都具有第四阶段嵌入式系统的特点。图 1.2 所示的穿戴式计算机和投影键盘即为一例。

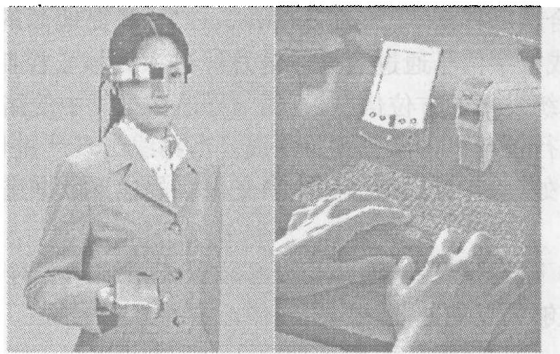


图 1.2 穿戴式计算机和投影键盘

1.4 嵌入式系统的特征

无论何种嵌入式系统,通常都具有不同于其他计算机系统的典型特征。

(1)功能的单一性

嵌入式系统包含简单的嵌入式系统和复杂的嵌入式系统。在通常情况下,由于设计思想的原因,一个嵌入式系统只能执行一个或一组特定的功能,而不具备如个人计算机的那种随着执行程序的不同有着不同的功能表现。例如生活中常用的数码相机,无论功能如何强大,均只执行照相这一特定任务。而个人计算机则可以运行不同的执行程序进而执行如:计算、字处理、统计和游戏等操作。

随着嵌入式技术的发展,某些复杂的嵌入式设备已经能够通过更新,对自身功能进行升级,并具有多种能力,然而其设计初衷仍然是以某一项核心任务为主线。例如智能手机,除了进行电话通信之外,还可以进行网上沟通、游戏等,但即使具有多种辅助功能,仍是以语言通信为主。

(2) 系统的紧凑性

由于设计指标的严格约束,嵌入式系统需要综合考虑价格、体积、功耗和可靠性等问题。简单的嵌入式系统成本必须在几个美元之内,体积与芯片大小可比拟,并且处理速度要足够快,还需要有较低的功耗,以便延长电源的寿命。

除了成本之外,复杂的嵌入式系统也同样面临上述问题。除此之外,复杂的嵌入式系统由于系统的复杂性和体积以及功耗等问题,往往在开发过程中都会遇到更为棘手的“样机建立时间”和“上市时间”等类似问题。

(3) 运行的实时性

很多嵌入式系统都要不断地对所处环境变化作出反应,而且要实时得到计算结果,不能延迟。例如,汽车的定速控制器需要持续检测速度等参数,并针对不同情况作出反应,同时还要在有限的时间内对汽车的加速度进行计算,从而控制发动机中喷油嘴开合程度,保持一定的速度,计算延迟将会导致控制失灵。而台式计算机则主要用于计算,偶尔的计算延迟并不对系统产生致命的影响。

一个突出的实时性例子是兵器中的巡航导弹。分析如图 1.3 所示系统,在核心控制器的控制下,电荷耦合器(Charge - Coupled Device, CCD)捕捉地面的实时影像,通过模拟/数字转换器之后,形成数字信号通过数据传输总线进入到核心控制器。核心控制器在飞行过程中接收导航系统发来的方位信息,不断与导航数据库中的路线数据进行对比,并且根据对比结果指挥飞行控制机构校正飞行路线。当路线出现严重偏差时,立即对 CCD 采集来的图像数据进行处理,与导航数据库中事先保存的地形数据进行匹配运算,修正飞行路线和姿态。

由于巡航导弹的飞行速度相当快,因此,必须保证系统的实时性,由此需要嵌入式系统的各个部分都有足够的反应速度。

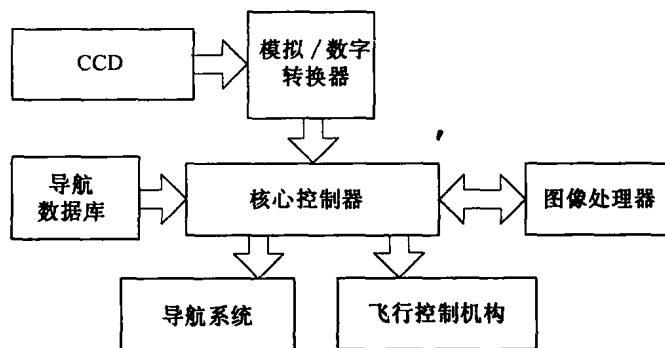


图 1.3 巡航导弹的系统简图

1.5 嵌入式系统的组成

嵌入式系统的硬件一般包括嵌入式处理器、存储器、操作系统、应用程序和输入/输出设备,如图 1.4 所示。

嵌入式计算机系统是整个嵌入式系统的核心,由硬件部分和软件部分组成。输入系

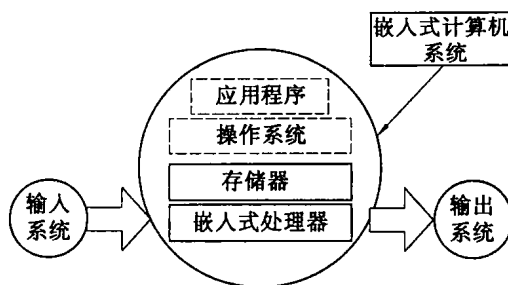


图 1.4 典型的嵌入式系统结构

统获取外界信息,传输给嵌入式计算机系统,经过处理后,由嵌入式计算机系统发出指令,输出系统接收到指令后进行动作。输入系统和输出系统可以很简单,如温控系统在感知温度变化后需要使继电器动作;也可能很复杂,如机器人的手臂,输入系统有几十个传感器,输出系统则有近十个伺服电机,可以执行复杂的动作。

从图 1.4 中可以看出,嵌入式系统硬件的组成可以简单地分为嵌入式处理器和存储器。实际上,由于超大规模集成电路的迅速发展,很多单片的嵌入式处理器中都含有丰富的资源。目前,在一片嵌入式处理器上添加电源电路、时钟电路和存储器电路,就构成了一个嵌入式核心控制模块。软件中的操作系统和应用程序都可以存放在存储器当中。以下就嵌入式系统的不同组成部分进行简要的介绍。

1.5.1 嵌入式处理器

嵌入式处理器是嵌入式系统的硬件核心,它与通用处理器的最大区别在于嵌入式处理器大多数工作于专门设计的应用场合,它将许多通用处理器中需要外接辅助设备的功能使用芯片内部的资源完成,因此,系统可以设计得比较小巧,同时兼有高效率和高可靠性。

早期的处理器均采用冯·诺伊曼体系结构,而目前的嵌入式处理器大多采用哈佛体系结构。指令系统可以是精简指令集计算机(Reduced Instruction Set Computer, RISC),也可以是复杂指令集计算机(Complex Instruction Set Computer, CISC)。CISC 计算机指令集复杂多样,寻址方式众多,但是大多数指令使用频率并不高;RISC 计算机系统则只使用使用频率最高的指令,其他指令的功能用指令组合的方式得到,从而提高了执行效率,并使 CPU 硬件结构设计简单化。

嵌入式微处理器有各种不同的体系,即使在同一体系中也可能具有不同的时钟频率和数据总线宽度,或集成了不同的外设和接口。目前嵌入式微处理器已经超过 1 000 多种,体系结构有 30 多个系列,较成熟、应用较为广泛的有:ARM、MIPS、PowerPC、X86 和 SH 等。这些嵌入式处理器共同占据了市场的大部分份额。

1.5.2 存储器

(1) 主存储器

主存储器是嵌入式微处理器能直接访问的存储器,用来存放系统和用户的应用程序

以及数据。一般在处理器内部有部分主存储器,这部分存储器通常在几十 KB 到数百 MB 之间,由于可以被 CPU 在一个时钟周期内访问而无等待,因此速度较其他存储器快。有时微处理器自带的存储器不能满足需求,这时就需要片外的大容量存储器支持。经常用做片外存储器的有 ROM 类和 RAM 类两种。其中 ROM 类的 FLASH 存储器由于寿命长、存取速度快、存储容量大、价格便宜等因素在嵌入式领域内得到了广泛的应用。

(2) 高速缓冲存储器

高速缓冲存储器简称高速缓存,是一种容量小、速度快的存储器阵列,它位于主存和嵌入式微处理器内核之间,存储的信息是处理器经过预测需要运行的代码和数据。在需要取指的时候,微处理器尽可能从高速缓冲存储器中而不是主存储器中寻找指令。由于高速缓存的速度快,因此,可大大提高系统性能。

(3) 辅助存储器

辅助存储器用来存放大量数据的程序代码或信息,它的容量大,但是读取速度较慢,适合用于长期存储数据和信息。

1.5.3 接 口

嵌入式处理器获取外界信息并驱动输出系统产生动作或执行指令,这需要通过接口的形式来完成。较为常用的输入输出接口有 A/D、D/A 和 I/O 接口等。不同系列的嵌入式处理器集成了不同的接口,可以驱动丰富的外设资源。较为常用的接口有:A/D(模拟量/数字量转换接口)、D/A(数字量/模拟量转换接口)、串行通信接口、并行接口、以太网接口、USB 接口、音频接口、SPI 接口、红外接口以及蓝牙接口等。

1.5.4 电源系统

嵌入式系统中的电源是系统组成的重要部分,它已经不再是那种只需要简单的电池或交流稳压器的简单电源,而是集成了电源管理和电源保护功能的集成系统。目前有很多成型产品使用方便、功能强大,单片集成电路就可以完成电源系统的全部功能。

1.6 嵌入式操作系统简介

嵌入式操作系统是在嵌入式系统发展过程中为解决复杂嵌入式系统软件可靠性和可移植性问题而逐渐形成的。它是嵌入式系统极为重要的组成部分。它的突出特点是体积小、可裁剪、实时性强。

目前流行的嵌入式操作系统可以分为两类:一类是从运行在个人电脑上的操作系统移植到嵌入式系统中,形成的嵌入式操作系统,如微软公司的 Windows CE 及其新版本, SUN 公司的 Java 操作系统,朗讯科技公司的 Inferno,嵌入式 Linux 等。这类系统经过个人电脑或高性能计算机等产品的长期运行考验,技术日趋成熟,其相关的标准和软件开发方式已被用户普遍接受,同时积累了丰富的开发工具和应用软件资源。另一类是实时操作系统,如 WindRiver 公司的 VxWorks, ISI 的 pSOS, QNX 系统软件公司的 QNX, ATI 的 Nucleus,这类产品在操作系统的结构和实现上都针对所面向的应用领域,对实时性和高可靠性

等进行了精巧的设计,而且提供了独立而完备的系统开发和测试工具,较多地应用在军用产品和工业控制等领域中。下面介绍典型的主流嵌入式操作系统产品。

1.6.1 VxWorks

VxWorks 操作系统是美国 WindRiver 公司于 1983 年设计开发的一种嵌入式实时操作系统(RTOS),是 Tornado 嵌入式开发环境的关键组成部分。它适用面广、适用性强且可靠性高,具有多达 1 800 个功能强大的应用程序接口(API),可以用于所有的流行的 CPU 平台。美国火星探测器所使用的嵌入式实时操作系统就是 VxWorks。良好的持续发展能力、高性能的内核以及友好的用户开发环境,使其在嵌入式实时操作系统领域占据一席之地。

VxWorks 具有可裁剪微内核结构,高效的任务管理,灵活的任务间通信,微秒级的中断处理,支持 POSIX 1003.1b 实时扩展标准,支持多种物理介质及标准的、完整的 TCP/IP 网络协议等优点,但其价格昂贵。由于操作系统本身以及开发环境都是专有的,价格一般都比较高,通常需花费 10 万元人民币以上才能建起一个可用的开发环境,对每一个应用一般还要另外收取版税。一般不提供源代码,只提供二进制代码。由于它们都是专用操作系统,需要专门的技术人员掌握开发技术和维护,所以软件的开发和维护成本都非常高。支持的硬件数量有限。

1.6.2 μ C/OS - II

μ C/OS - II 是著名的源代码公开的实时内核,是专为嵌入式系统应用设计的,可用于 8 位、16 位和 32 位单片机或数字信号处理器(DSP)。它在原版本 μ C/OS 的基础上做了重大改进与升级,并有了近 10 年的使用实践,有许多成功应用该实时内核的实例。它的主要特点如下:

- ①公开源代码。很容易把操作系统移植到各个不同的硬件平台上。
- ②可移植性。绝大部分源代码是用 C 语言编写的,便于移植到其他微处理器上。
- ③可固化。
- ④可裁剪性。可有选择地使用需要的系统服务,以减少所需的存储空间。
- ⑤占先式。完全是占先式的实时内核,即总是运行就绪条件下优先级最高的任务。
- ⑥多任务。可管理 64 个任务,任务的优先级必须是不同的,不支持时间片轮转调度法。

- ⑦可确定性。函数调用与服务的执行时间具有其可确定性,不依赖于任务的多少。
- ⑧实用性和可靠性。成功应用该实时内核的实例,是其实用性和可靠性的最好证据。

由于 μ C/OS - II 仅是一个实时内核,这就意味着它不像其他实时存在系统那样提供给用户的只是一些 API 函数接口,还有很多工作需要用户自己去完成。

1.6.3 Linux

Linux 是一个类似于 Unix 的操作系统。它起源于芬兰一个名为 Linus Torvalds 的业余爱好者,但是现在已经是最流行的一款开放源代码的操作系统。Linux 从 1991 年问世到现在,短短十几年的时间内已发展成为一个功能强大、设计完善的操作系统,伴随网络技

术进步而发展起来的 Linux OS 已成为 Microsoft 公司的 DOS 和 Windows95/98 的强劲对手。Linux 系统不仅能够运行于 PC 平台,还在嵌入式系统方面广泛应用,在各种嵌入式 Linux OS 迅速发展的状况下, Linux OS 逐渐形成了可与 Windows CE 等 EOS 抗衡的局面。目前正在开发的嵌入式系统中,49% 的项目选择 Linux 作为嵌入式操作系统。Linux 现已成为嵌入式操作的理想选择。

中科红旗软件技术有限公司开发的红旗嵌入式 Linux 正在成为许多嵌入式设备厂商的首选。在不到一年的时间内,红旗公司先后推出了 PDA、机顶盒、瘦客户机、交换机用的嵌入式 Linux 系统,并且投入了实际应用。现以红旗嵌入式 Linux 为例来讲解嵌入式 Linux OS 的特点:

- ①精简的内核,性能高、稳定,多任务;
- ②适用于不同的 CPU,支持多种体系结构,如 X86、ARM、MIPS、ALPHA、SPARC 等;
- ③能够提供完善的嵌入式 GUI 以及嵌入式 X - Windows;
- ④提供嵌入式浏览器、邮件程序、MP3 播放器、MPEG 播放器、记事本等应用程序;
- ⑤提供完整的开发工具和 SDK,同时提供 PC 上的开发版本;
- ⑥用户可定制,可提供图形化的定制和配置工具;
- ⑦常用嵌入式芯片的驱动集支持大量的周边硬件设备,驱动丰富;
- ⑧针对嵌入式的存储方案,提供实时版本和完善的嵌入式解决方案;
- ⑨完善的中文支持,强大的技术支持,完整的文档;
- ⑩开放源代码,丰富的软件资源,广泛的软件开发者的支持,价格低廉,结构灵活,适用面广。

在嵌入式系统上运行 Linux 的一个缺点是 Linux 体系提供实时性能需要添加实时软件模块。而这些模块运行的内核空间正是操作系统实现调度策略、硬件中断异常和执行程序的部分。由于这些实时软件模块是在内核空间运行的,因此代码错误可能会破坏操作系统从而影响整个系统的可靠性,这对于实时应用将是一个致命的弱点。

1.6.4 Windows CE

Windows CE 是微软开发的一个开放的、可升级的 32 位嵌入式操作系统,是基于掌上型电脑类的电子设备操作,它是精简的 Windows 95 操作系统。Windows CE 的图形用户界面相当出色。CE 中的 C 代表袖珍(Compact)、消费(Consumer)、通信能力(Connectivity)和伴侣(Companion);E 代表电子产品(Electronics)。与 Windows 95/98/NT 不同的是,Windows CE 所有源代码全部由微软自行开发的嵌入式新型操作系统,其操作界面虽来源于 Windows 95/98,但 Windows CE 是基于 Win32API 重新开发的新型的信息设备平台。Windows CE 具有模块化、结构化和基于 Win32 应用程序接口以及与处理器无关等特点。Windows CE 不仅继承了传统的 Windows 图形界面,并且在 Windows CE 平台上可以使用 Windows95/98 上的编程工具(如 Visual Basic、Visual C++ 等)、使用同样的函数、使用同样的界面网格,使绝大多数的应用软件只需简单的修改和移植就可以在 Windows CE 平台上继续使用。

Windows CE 的设计目标是:模块化及可伸缩性、实时性能好、通信能力强、支持多种 CPU。它的设计可以满足多种设备的需要,这些设备包括了工业控制器、通信集线器以

及销售终端之类的企业设备,还有像照相机、电话和家用娱乐器材之类的消费产品。一个典型的基于 Windows CE 的嵌入系统通常为某个特定用途而设计,并在不联机的情况下工作。它要求所使用的操作系统体积较小,内部兼有对中断的响应功能。Windows CE 的特点有:

①具有灵活的电源管理功能,包括睡眠/唤醒模式。

②使用了对象存储(object store)技术,包括文件系统、注册表及数据库。它还具有很多高性能、高效率的操作系统特性,包括按需换页、共享存储、交叉处理同步、支持大容量堆(heap)等。

③拥有良好的通信能力。广泛支持各种通信硬件,亦支持直接的局域连接以及拨号连接,并提供与 PC、内部网以及 Internet 的连接,还提供与 Windows9x/NT 的最佳集成和通信。

④支持嵌套中断,允许更高优先级别的中断首先得到响应,而不是等待低级别的 ISR 完成。这使得该操作系统具有嵌入式操作系统所要求的实时性。

⑤更好的线程响应能力。对高级别 IST(中断服务线程)的响应时间上限的要求更加严格,在线程响应能力方面的改进,帮助开发人员掌握线程转换的具体时间,并通过增强的监控能力和对硬件的控制能力帮助他们创建新的嵌入式应用程序。

⑥256 个优先级别。可以使开发人员在控制嵌入式系统的时序安排方面有更大的灵活性。

⑦Windows CE 的 API 是 Win32API 的一个子集,支持近 1 500 个 Win32API。有了这些 API,足可以编写任何复杂的应用程序。当然,在 Windows CE 系统中,所提供的 API 也可以随具体应用的需求而定。

在掌上型电脑中,Windows CE 包含如下一些重要组件:Pocket Outlook 及其组件、语音录音机、移动频道、远程拨号访问、世界时钟、计算器、多种输入法、GBK 字符集、中文 TTF 字库、英汉双向词典、袖珍浏览器、电子邮件、Pocket Office、系统设置、Windows CE Services 软件等。

Windows CE 与 Windows 系列有较好的兼容性,无疑是 Windows CE 推广的一大优势。其中 WinCE3.0 是一种针对小容量、移动式、智能化、32 位、了解设备的模块化实时嵌入式操作系统。

从技术角度上讲,Windows CE 作为嵌入式操作系统有很多缺陷:没有开放源代码,使应用开发人员很难实现产品的定制;在效率、功耗方面的表现并不出色,而且和 Windows 一样占用过多的系统内存,运行程序庞大;版权许可费也是厂商不得不考虑的因素。

1.6.5 RTEMS

RTEMS 是一种开源的无版权实时嵌入式操作系统,主要应用于通信、航空航天、工业控制、军工产品和民用产品中。RTEMS 是一种微内核抢占式实时系统,支持硬实时和软实时两种方式,支持优先级继承功能,并有防止优先级翻转机制。RTEMS 支持单调周期调度,有一个高度可裁剪内核,其最小尺寸可以精简至 30 KB。就总体性能来讲,RTEMS 与 VxWorks 相当。

1.6.6 PalmOS

Palm 是 3Com 公司的产品,其操作系统为 PalmOS。PalmOS 是一种 32 位的嵌入式操作系统。Palm 提供了串行通信接口和红外线传输接口,利用它可以方便地与其他外部设备通信、传输数据。拥有开放的 OS 应用程序接口,开发商可根据需要,自行开发所需的应用程序。PalmOS 是一套极具开放性的系统,现在大约有数千种专门为 PalmOS 编写的应用程序。从程序内容上看,小到个人管理、游戏,大到行业解决方案,PalmOS 无所不含。在丰富的软件支持下,基于 PalmOS 的掌上电脑功能得以不断扩展。

PalmOS 是一套专门为掌上电脑开发的 OS。在编写程序时,PalmOS 充分考虑了掌上电脑内存相对较小的情况,只占用非常小的内存。由于基于 PalmOS 编写的应用程序占用的空间也非常小(通常只有几十 KB),因此,基于 PalmOS 的掌上电脑(虽然只有几 MB 的 RAM)可以运行众多应用程序。

由于 Palm 产品的最大特点是使用简便、机体轻巧,因此决定了 PalmOS 具有以下特点:

①操作系统的节能功能。由于掌上电脑要求使用电源尽可能小,因此在 PalmOS 的应用程序中,如果没有事件运行,则系统设备进入半休眠(Doze)状态;如果应用程序停止活动一段时间,则系统自动进入休眠(Sleep)状态。

②合理的内存管理。Palm 的存储器全部是可读写的快速 RAM,动态 RAM(Dynamic RAM)类似于 PC 机上的 RAM,它为全局变量和其他不需永久保存的数据提供临时的存储空间;存储 RAM(Storage RAM)类似于 PC 机上的硬盘,可以永久保存应用程序和数据。

③PalmOS 的数据以数据库(Database)的格式存储。数据库由一组记录(Records)和一些数据库头信息组成。为保证程序处理速度和存储器空间,在处理数据的时候,PalmOS 不是把数据从存储堆(Storage Heap)拷贝到动态堆(Dynamic Heap)后再进行处理,而是在存储堆中直接处理。为避免错误地调用存储器地址,PalmOS 规定,一切数据处理都必须调用其内存管理器里的 API 来实现。

PalmOS 与同步软件(HotSync)结合可以使掌上电脑与 PC 机上的信息实现同步,把台式机的功能扩展到了掌上电脑。Palm 应用范围相当广泛,如,联络及工作表管理、电子邮件及互联网通信、销售人员及组别自动化等。Palm 外围硬件也十分丰富,有数码相机、GPS 接收器、调制解调器、GSM 无线电话、数码音频播放设备、便携键盘、语音记录器、条码扫描、无线寻呼接收器、探测仪等。其中 Palm 与 GPS 结合的应用,不但可以作导航定位,还可以进行气候监测、地名调查等。

1.6.7 国产嵌入式实时操作系统

DeltaCore 是中国完全自主研发的最成熟的嵌入式强实时多任务操作系统,该系统已应用于飞机导航、核动力控制、雷达终端录取平台等军用与民用领域。

Hopen 操作系统是凯思集团自主研制开发的嵌入式操作系统,也是中国第一个实现手机自主软件产业化的操作系统。它由一个体积很小的内核及一些可以根据需要进行定制的系统模块组成。其核心 Hopen Kernel 一般为 10 KB 左右,具有实时、多任务、多线程的

系统特征。该系统可广泛应用于移动计算平台(PDA)、家庭信息环境(机顶盒,数字电视)、通信计算平台(多媒体手机)等领域。

1.7 嵌入式系统在不同领域的应用

嵌入式技术应用前景广阔,领域包括:信息家电、工业控制、环境工程、军事国防等。

(1) 信息家电

嵌入式系统在信息家电中应用得很广泛,如移动电话、数码相机、便携式摄像机、MP3等产品中,均可以见到嵌入式技术。传统的电视机、电冰箱中也有嵌入式处理器,但这些处理器只是用于控制方面。目前,具有用户界面、能够远程控制、智能管理的电器才是嵌入式系统的发展趋势。从IDG的统计数据中可以看出,未来信息家电将会以5~10倍的速度增长。

(2) 工业控制

嵌入式系统在工业自动化设备中获得了迅速的发展。目前有大量的嵌入式处理器应用于诸如工业过程控制、数控设备、电力系统运行和检测等方面。早期的工业用嵌入式系统产品虽然只采用低级处理器,完成简单的控制和监控任务,但是其使用数量非常巨大。随着技术的发展,出现了具有智能的嵌入式控制系统,使得32位处理器成为主流。

工业设备是机电产品中最大的一类,在目前工业控制设备中,工业控制机的使用非常广泛。这些工业控制机中,以采用X86为核心处理器的符合工业级标准的标准机箱的计算机系统和采用PC/104总线的嵌入式计算机系统应用得最多。由于它们具有体积小、稳定可靠等特点,受到用户的青睐。不过这些工业控制机采用的往往是DOS和Windows操作系统,虽然具有嵌入式的特点,却不能称为纯粹的嵌入式系统。

(3) 环境工程

“传感器网络”作为未来四大支柱产业之一,经常用于高危环境的检测中。嵌入式系统的特点是经常用于组成环境检测网络,因而在很多恶劣环境、地况复杂的地区应用。

当前许多公司都开发针对环境检测的传感器网络类嵌入式节点。

(4) 军事国防

嵌入式计算系统广泛应用于军事指挥、通信系统和兵器系统中。当前各种先进的武器控制系统如导弹和鱼雷控制,以及坦克、飞机中的稳定控制、成像系统、制导系统等,都有嵌入式系统的身影。

在国防技术的重点学科水声技术当中,嵌入式技术也得到成功的应用,如水下自主航行器、声呐系统、水中兵器系统等。在水中兵器的自行导航系统和目标搜索系统中均采用了嵌入式处理器。此外,无人侦查水下航行器、声呐浮标等系统也都开始采用高可靠性、低功耗的嵌入式系统。

现代的水声技术工程实践已经坚定地小型化和智能化方向发展,因此嵌入式技术

对水声工程来说是最佳的解决方案。从目前的形势可以看出以下趋势：

①嵌入式技术作为一项系统工程,完全能够满足水声技术实践的要求,而且能提供优秀的解决方案。

②网络化、信息化技术必将透过嵌入式这一平台渗透到水声领域当中。

③高精度、低成本的水声设备将会通过嵌入式技术得到长足的发展。