

EMBEDDED
SYSTEM

嵌入式技术与应用丛书

嵌入式系统设计教程

马洪连 丁男 李屹璐 马艳华 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

嵌入式技术与应用丛书

嵌入式系统设计教程

马洪连 丁 男 李屹璐 马艳华 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书从实用的角度出发,详细介绍了嵌入式系统的设计步骤、设计方法和相应接口电路的参考原理图、硬件调试方法以及部分驱动程序。本书系统设计分别以不同层次的基于 ARM7 架构的 S3C44B0X、基于 ARM9 架构的 S3C2410 和基于 ARM10 的 XScale 架构微处理器为例,在软件方面介绍了 μ C/OS-II、Linux 和 Windows CE 操作系统,接着又介绍了系统的低功耗设计和如何提高系统稳定性的注意事项以及通常采取的措施,最后介绍了一项设计实例供读者参考和借鉴。

本书适合高等院校相关专业的大学高年级学生和研究生用做专业课教材,也可作为从事嵌入式系统开发和设计人员的参考用书。

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

嵌入式系统设计教程/马洪连,丁男,李屹璐等编著. —北京:电子工业出版社,2006.6

(嵌入式技术与应用丛书)

ISBN 7-121-02697-X

I. 嵌… II. ①马…②丁…③李… III. 微型计算机—系统设计—高等学校—教材 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 052490 号

责任编辑:高买花 特约编辑:陈宁辉

印 刷:北京燕南印刷厂

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:16 字数:410 千字

印 次:2006 年 6 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:20.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。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。

出版说明

嵌入式技术是 21 世纪最具生命力的新技术之一，经过近几年的快速发展，已经成为电子信息产业中最具增长力的一个分支。随着手机、掌上电脑、GPS、机顶盒等新兴产品的大量应用，嵌入式系统的设计正成为软/硬件工程师越来越关心的话题。面对不断涌现的技术需求和发展机遇，各大嵌入式系统开发商、各科研院所的研发人员都急需一套全方位、针对性强，且具有实际指导意义的嵌入式技术类书籍；各高等院校相关专业的本科生、研究生也迫切希望了解、掌握嵌入式系统的开发技巧，以推动嵌入式技术在各领域的广泛应用和快速发展。

《嵌入式技术与应用丛书》正是针对当前技术与市场需求，由国内站在 IT 业前沿并有实践开发经验的嵌入式系统专家，以实用技术为主线，理论联系实际，将他们在理论研究与实践工作中积累的大量经验和体会有机地融于一体，以丛书的形式奉献给广大读者！

本丛书由基础理论类、硬件设计类、软件开发类、综合应用类书籍组成，立足当前嵌入式技术的发展趋势、核心技术及其主要应用领域，将技术热点与实践应用紧密结合，以实际应用为主线，融合关键性嵌入式设计技术，围绕嵌入式设计理论、开发流程、嵌入式软件验证及测试、代码可重构以及代码优化等方面进行深入浅出的讲解和论述。

读者群定位于高等院校相关领域的高年级学生，科研、开发人员，嵌入式相关领域设计人员等，本丛书可作为嵌入式领域学习、开发人员的参考资料，也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

本丛书的出版得到了业界许多专家、学者的鼎力相助，对此表示衷心的感谢！同时，热切欢迎广大读者提出宝贵意见，或者推荐更多优秀选题（gmholife@hotmail.com），共同为嵌入式技术的发展添砖加瓦！

电子工业出版社

2006 年 1 月

前 言

嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,同时结合半导体技术、网络技术和通信技术等具体应用的产物,是对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。目前,嵌入式系统已经应用到工业监控、国防军事、交通通信、医疗卫生以及人们日常生活的各个方面,如数控机床、汽车、航天器、PDA、手机、智能家电等产品中都包含嵌入式系统。

以信息、家电为代表的互联网时代嵌入式产品,不仅为嵌入式市场展现了美好前景,注入了新的生命,同时也对嵌入式系统技术,特别是软件技术提出新的挑战。这主要包括:支持日趋增长的功能密度、灵活的网络连接、轻便的移动应用和多媒体的信息处理,此外当然还需对付更加激烈的市场竞争。

1. 学习嵌入式系统的意义

(1) 市场需求——嵌入式系统开创了电子新纪元,采用嵌入式系统技术的微处理器遍及各类电子产品。在汽车、消费娱乐、成像、工业控制、网络、存储、保安等市场,嵌入式系统无处不在。

(2) 企业人才需求——软/硬件设计人才,应用开发人才,综合性人才。

(3) 技术发展趋势和要求——8位、16位、32位计算机和实时操作系统。嵌入式微处理器兼有32位的计算和16位的低功耗能力。微处理器的内核向设计商开放,避免了商业不信任和安全隐患。微处理器开发工具比较成熟,对于技术力量相对薄弱的中国研发者容易上手。

2. 开展嵌入式系统教学的必要性

由于诸多原因,我国计算机行业错过了世界范围技术发展的前几次机遇,当我们意识到应组织发展本国计算机产业时,微软已在PC软件上处于世界垄断地位,我们只能在软件汉化等方面开展工作,虽然对计算机系统软件偶有出击,但总是难以突出重围。21世纪之初,微软王国已从登峰造极走向地位下滑的后PC时代。所谓后PC时代,就是非PC信息设备大显神通的时代。嵌入式系统正是非PC设备的主体,由于其应用广、领域特色突出,谁也无力独霸这一市场。互联网技术在世界范围的扩展和中国通信事业的高速发展,已为我国开发嵌入式产品造就了广大市场。因此,我国信息产业的专家、学者及制造商应该牢牢抓住这一大好机遇,找准发展点,在新一轮嵌入式技术上下大力冲刺一番,定能使我国IT技术迈上一个新台阶。总之,目前嵌入式技术是中国IT发展最难得的机遇。

据权威部门调查,中国在今后相当长的一段时间内,每年都将存在很大的软件人才缺口,嵌入式系统的设计人才需求量更是急剧增加,而近几年学历教育培养的相关专业毕业生却不能填补这个缺口。

3. 嵌入式系统教学的特点

因为嵌入式系统开发与应用的内容繁杂,需要软件、硬件设计的完美结合,所以嵌入式系统的设计涉及到计算机、电子、自动控制等诸多专业知识,包括基本的硬件知识(如微处理器及其基本接口、人机接口和网络接口等)和软件基本知识(操作系统和程序设计知识),综合性强;同时,还需要掌握模拟电路与数字电路设计以及常用检测工具的使用等基本技能。由于嵌入式系统课程知识点多,想让学生在短短的有限课时内完全掌握嵌入式系统设计方法是不现实的。因此,本书通过嵌入式系统的学习方法介绍,力争使读者能够掌握嵌入式系统设计的基本知识和开发方法,达到“入门”。

上机实践是学习嵌入式系统设计的重要环节,通过课堂讲解,让学生掌握嵌入式系统基本知识,通过动手实践,才能让学生掌握嵌入式系统设计开发方法。

4. 嵌入式系统设计(实践课)内容

建议安排为以下三个层次:

① 基本知识部分。目的是让学生了解(认识)嵌入式软件和硬件的一般开发环境与流程;让学生熟悉(某一种)嵌入式系统开发工具;掌握实验开发工具的操作方法及使用,熟悉软件编程环境,为设计实践做准备。

② 基础技能部分。目的是让学生掌握基本的嵌入式程序开发方法,可以根据实践指导书内容进行实验的调试。

③ 综合应用部分。目的在于根据学生在基础技能部分所学知识,创造性地进行综合应用。

随着嵌入式系统应用的普及,对精通嵌入式系统设计的技术人才的需求越来越大,同时也迫切需要适用于不同层次人员使用的教材和参考书。本书定位于从事嵌入式系统开发和设计的初学人员,书中主要以几种目前国内流行的基于 ARM 系列的嵌入式微处理器及常用的几种嵌入式操作系统为平台,介绍嵌入式微处理器的内部结构、工作原理和嵌入式操作系统的移植和裁减以及嵌入式系统设计的方法。

作者从事计算机教学工作多年,近年来一直负责基于 ARM 微处理器系列的科研项目的开发和设计工作。所以,在编写本教材的过程中,精选内容,力求符合从事嵌入式系统开发初学者的需求特点,做到概念清晰、理论联系实际。在叙述方法上,则力求由浅入深、通俗易懂,以使读者能在较短的时间内迅速掌握相关知识,达到事半功倍的效果。

本书从实用的角度出发,详细介绍了嵌入式系统的设计步骤、设计方法和相应接口电路的参考原理图、硬件调试方法以及部分驱动程序。本书系统设计分别以不同层次的基于 ARM7 架构的 S3C44B0X、基于 ARM9 架构的 S3C2410 和基于 ARM10 的 XScale 架构微处理器为例,在软件方面介绍了 μ C/OS-II、Linux 和 Windows CE 操作系统,接着又介绍了系统的低功耗设计和如何提高系统稳定性的注意事项以及通常采取的措施,最后介绍了一项设计实例供读者参考和借鉴。

本书适合高等院校相关专业的大学高年级学生和研究生用做专业课教材，也可作为从事嵌入式系统开发和设计人员的参考用书。

另外，由于时间匆忙，且作者水平有限，书中难免有出错和疏漏之处，敬请读者批评指正。为了便于本课程的教学需要，本书另配有多媒体教学课件，需要者可通过 E-mail:mhl@dlut.edu.cn 或 gmholife@hotmail.com 联系。

作 者

2006 年 4 月 3 日于大连

目 录

第 1 章 嵌入式系统概况	(1)
1.1 嵌入式系统的定义	(1)
1.2 嵌入式技术的应用领域及发展趋势	(1)
1.2.1 嵌入式技术的现状	(1)
1.2.2 嵌入式技术的应用领域	(2)
1.2.3 嵌入式技术的发展趋势	(6)
1.3 嵌入式系统组成简介	(8)
1.3.1 嵌入式系统的重要特征	(9)
1.3.2 典型嵌入式系统的硬件组成	(11)
1.3.3 嵌入式系统的软件组成	(14)
习题	(16)
第 2 章 嵌入式系统的基本知识	(17)
2.1 嵌入式系统的硬件基础	(17)
2.1.1 基于 ARM 技术的嵌入式系统硬件架构	(18)
2.1.2 硬件系统基本体系结构原理	(19)
2.2 嵌入式系统的软件基础	(29)
2.2.1 软件基础知识	(29)
2.2.2 嵌入式实时操作系统简介	(32)
2.2.3 常用的嵌入式操作系统	(35)
习题	(40)
第 3 章 基于 ARM 的处理器体系结构	(41)
3.1 ARM 架构的嵌入式微处理器	(41)
3.1.1 基于 ARM 指令集体系结构的分类版本	(41)
3.1.2 ARM 微处理器系列产品及性能简介	(42)
3.1.3 ARM 微处理器体系结构	(50)
3.2 ARM 微处理器的指令系统	(60)
3.2.1 概述	(60)
3.2.2 ARM 指令的寻址方式和指令集的分类方法	(62)
3.2.3 基于 ARM 体系的语言程序设计	(66)
3.3 常用的三种 ARM 微处理器	(71)
3.3.1 Samsung S3C44B0X 的内部结构	(71)
3.3.2 S3C2410 微处理器	(76)
3.3.3 Intel XScale PXA25x /27x 系列微处理器	(79)
习题	(83)

第 4 章 基于 ARM 的硬件结构设计	(85)
4.1 概述	(85)
4.1.1 嵌入式系统的设计步骤	(85)
4.1.2 嵌入式系统开发方法和开发经验	(91)
4.1.3 嵌入式系统设计的层次和设计架构	(93)
4.2 微处理器系统的硬件设计	(94)
4.2.1 微处理器芯片选型的一般原则	(94)
4.2.2 多路时钟电路的设计	(95)
4.2.3 系统复位电路的设计	(96)
4.2.4 电源管理器	(97)
4.3 存储系统的分析与设计	(98)
4.3.1 存储系统的工作原理	(98)
4.3.2 存储系统的构成分析	(100)
4.3.3 存储器系统的设计	(105)
4.4 通用 I/O 接口的设计	(106)
4.4.1 中断接口概述	(107)
4.4.2 RS-232-C 串行接口	(110)
4.4.3 USB 接口电路的设计	(112)
4.4.4 JTAG 接口与嵌入式系统的在线调试方法	(113)
4.4.5 A/D 转换接口	(119)
4.5 人机交互接口	(120)
4.5.1 显示器接口	(120)
4.5.2 键盘接口	(123)
4.5.3 触摸屏	(125)
4.5.4 嵌入式系统中几种常用的接口	(127)
4.6 常用的嵌入式系统网络接口	(129)
4.6.1 I ² C 总线接口设计	(129)
4.6.2 CAN 总线接口设计	(130)
4.6.3 嵌入式以太网设计	(132)
4.6.4 嵌入式 Internet	(135)
4.6.5 无线通信技术	(137)
习题	(141)
第 5 章 μC/OS-II 在 ARM 系统中的应用与开发	(143)
5.1 μ C/OS-II 系统的特点及结构	(143)
5.1.1 μ C/OS-II 系统的特点	(143)
5.1.2 μ C/OS-II 系统的内核结构	(144)
5.1.3 主要模块	(146)
5.1.4 μ C/OS-II 操作系统的初始化	(148)

5.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 ARM 系统中的移植	(149)
5.2.1	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 移植条件	(149)
5.2.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 移植步骤	(151)
5.3	基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的应用开发	(157)
5.3.1	在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统上的应用程序结构	(157)
5.3.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的 API	(158)
5.3.3	基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的绘图函数以及开发实例	(159)
	习题	(168)
第 6 章	嵌入式 Linux 操作系统的应用与开发	(169)
6.1	嵌入式 Linux 操作系统的组成与版本	(169)
6.2	嵌入式 Linux 操作系统的开发工具	(172)
6.2.1	编译器 Gcc 的使用	(172)
6.2.2	Makefile 的使用	(174)
6.2.3	gdb 的使用	(176)
6.3	Linux 操作系统内核的配置及编译	(177)
6.3.1	嵌入式 Linux 操作系统的定制过程	(178)
6.3.2	增加新的内核组件	(179)
6.3.3	配置操作系统内核	(180)
6.3.4	生成内核及内核的装载	(181)
6.3.5	嵌入式系统的文件系统	(181)
6.4	基于 Linux 操作系统的开发	(182)
6.4.1	基于 Linux 操作系统的应用程序开发	(182)
6.4.2	嵌入式 Linux 操作系统图形用户接口	(183)
6.4.3	MiniGUI 的应用	(184)
6.4.4	驱动程序的开发	(189)
	习题	(194)
第 7 章	Windows CE 操作系统的应用与开发	(195)
7.1	Windows CE 操作系统的体系结构	(195)
7.1.1	分层模型	(195)
7.1.2	组件模型	(196)
7.2	Windows CE 的开发工具	(198)
7.2.1	Platform Builder 的使用	(198)
7.2.2	eMbedded Visual C++ 的使用	(199)
7.3	Windows CE 操作系统的开发	(200)
7.3.1	Windows CE 的裁减与编译	(200)
7.3.2	驱动程序的开发	(207)
7.4	基于 Windows CE 操作系统的应用开发	(209)
	习题	(216)

第 8 章 系统低功耗设计与提高稳定性的措施 (217)

8.1 嵌入式系统中的低功耗设计 (217)

8.2 系统的稳定性和抗干扰措施 (218)

8.2.1 系统中常见的几种干扰源 (218)

8.2.2 硬件电路中常采用的抗干扰措施和方法 (220)

8.2.3 软件系统中常用的抗干扰措施和方法 (226)

习题 (227)

第 9 章 开发应用实例 (228)

9.1 概述 (228)

9.2 硬件系统的设计 (228)

9.2.1 系统核心板的组成与工作原理 (228)

9.2.2 系统板的组成与工作原理 (231)

9.2.3 专用键盘的设计 (235)

9.3 软件系统的设计 (235)

9.3.1 操作系统的定制与实现 (235)

9.3.2 盘点机系统驱动程序的开发 (238)

9.3.3 用户应用程序的开发 (240)

参考文献 (242)

第 1 章 嵌入式系统概况

1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统是将计算机硬件和软件结合起来构成的一个专门的装置, 这个装置可以完成一些特定的功能和任务。由于它可能会工作在一个与外界发生交互并受到时间约束的环境中, 所以要求其能够在没有人工干预的情况下独立地进行实时监测和控制。另外, 由于被嵌入对象的体系结构、应用环境不同, 所以各个嵌入式系统也可以由各种不同的结构组成。

到目前为止, 嵌入式系统已经有了 40 多年的发展历史, 并且是以硬件和软件交替双螺旋式发展的。第一款微处理器是 Intel 的 4004, 它出现在 1971 年, 20 世纪 80 年代初, Intel 研制成功了 MCS8051 系列单片机。1981 年出现了世界上第一个商业嵌入式实时内核 (VTRX32), 该内核中包含了许多传统操作系统的特征, 如任务管理、任务间通信、同步与互斥、中断支持、内存管理等功能。随后, 出现了成型的多种嵌入式操作系统。目前, 嵌入式实时操作系统已经在全球形成了一个产业。

根据 IEEE (国际电气和电子工程师协会) 的定义, 嵌入式系统是“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置”(devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。可以看出, 此定义是从应用上考虑的, 嵌入式系统是软件和硬件的综合体, 还可以涵盖机电等附属装置。

嵌入式系统的一般定义是: “以应用为中心, 以计算机技术为基础, 软件、硬件可裁减, 功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统”。

嵌入式系统本身是一个相对模糊的定义。一个手持的 MP3 和一个 PC104 的微型工业控制计算机都可以认为是嵌入式系统。总之, 嵌入式系统采用“量体裁衣”的方式把所需的功能嵌入到各种应用系统中。

1.2 嵌入式技术的应用领域及发展趋势

1.2.1 嵌入式技术的现状

随着信息化、智能化、网络化的发展, 嵌入式技术也将获得广阔的发展空间。美国著名学者尼葛洛庞帝 1999 年 1 月访华时预言, 4 至 5 年后嵌入式智能工具将是 PC 和 Internet 之后最伟大的发明。

在硬件方面, 不仅有各大公司的微处理器芯片, 还有用于学习和进行研发的各种配套的软件开发包。目前, 底层系统和硬件平台已经相对比较成熟, 实现各种功能的芯片

应有尽有，巨大的市场需求给我们提供了学习嵌入式技术的机遇。

在软件方面，也有相当多的成熟软件系统。国外的嵌入式实时操作系统有 WindRiver、QNX 和 Nuclear 等。我国自主开发的嵌入式系统软件产品，如科银京城（CoreTek）公司的 DeltaSystem 开发平台，中科院推出的 Hopen 嵌入式操作系统。读者可以在网上找到各种各样的免费资源及各种驱动程序源代码。

嵌入式系统技术的发展，大致经历了以下四个阶段：无操作系统阶段，如单片机；简单操作系统阶段，如 Power PC；实时操作系统阶段，如 DSP；面向 Internet 阶段。

1.2.2 嵌入式技术的应用领域

嵌入式技术可应用在工业控制、交通管理、信息家电、家庭智能管理、网络及电子商务、环境监测和机器人等方面。ARM 技术的 IP（知识产权）在许多领域已经取得了很大成功。比如，目前在绝大部分的无线设备（如手机等）中都采用了嵌入式技术。在 PDA 之类的无线设备中，嵌入式微处理器针对视频流进行了优化，并获得了广泛的支持；在数字音频播放器、数字机顶盒和游戏机等中，得到了更广泛的应用。在汽车领域，包括驾驶、安全和车载娱乐等各种功能在内的设备仅用五六个嵌入式微处理器就可将要求的功能统一实现。事实上，嵌入式技术无处不在，计算机技术也开始进入一个被称为后 PC 技术的春天。我们不仅拥有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”，而且一个普通人也可能拥有从大到小的各种使用嵌入式技术的电子产品，如 MP3、PDA、手机、智能玩具、电子病历、智能血压仪、无线收费设备、超市物流设备、网络家电、智能车载电子设备、安全监控装置、GPS、倒车雷达等。

在工业和服务领域中，大量嵌入式技术也已经应用于工业控制、数控机床、智能工具、工业机器人、服务机器人等各个行业，正在逐渐改变着传统的工业和服务方式。例如，飞机的电子设备、城市地铁购票系统等都可应用嵌入式系统来实现。嵌入式系统的应用领域如图 1-1 所示。

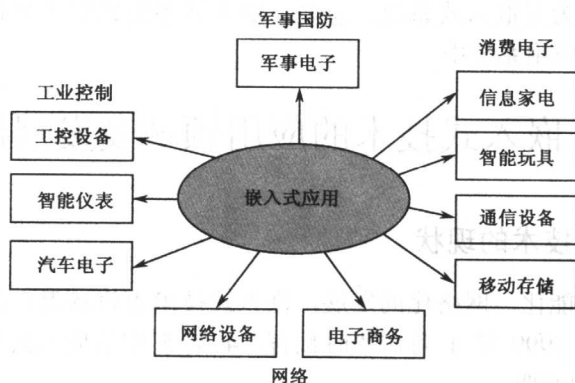


图 1-1 嵌入式系统的应用领域

一些典型的嵌入式系统应用实例如图 1-2 所示。下面具体以图示方式说明嵌入式系统的应用领域。



图 1-2 典型的嵌入式系统应用实例

(1) 家用方面：数字电视、信息家电、智能玩具、手持通信、存储设备的核心，如图 1-3 所示。

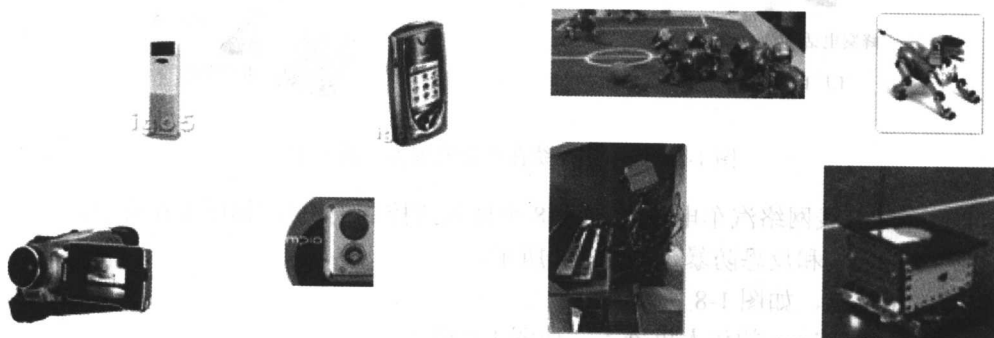


图 1-3 嵌入式系统在家电、智能玩具等方面的应用

(2) 家庭智能管理系统: 社区建筑的水、电、煤气表的远程自动抄表, 安全防火、防盗系统, 远程点菜器等, 如图 1-4 所示。

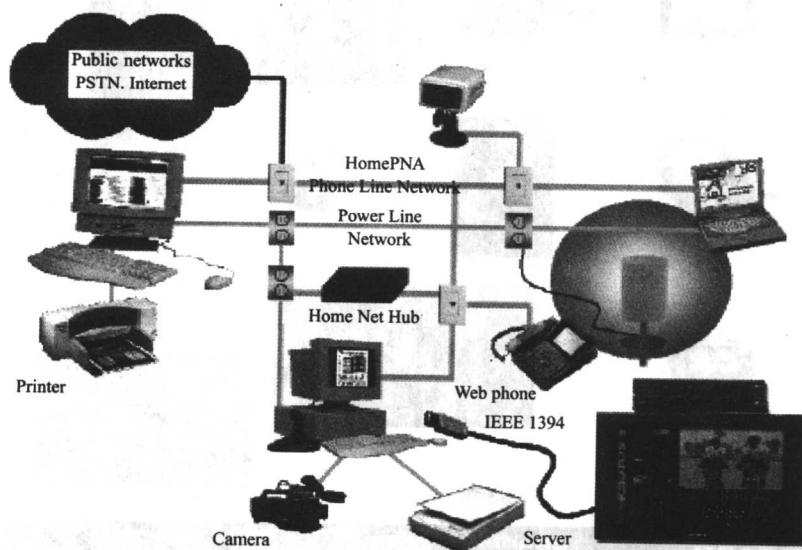


图 1-4 家庭智能管理系统

(3) 社会发展方面: 嵌入式 Internet 应用, 如图 1-5 所示。

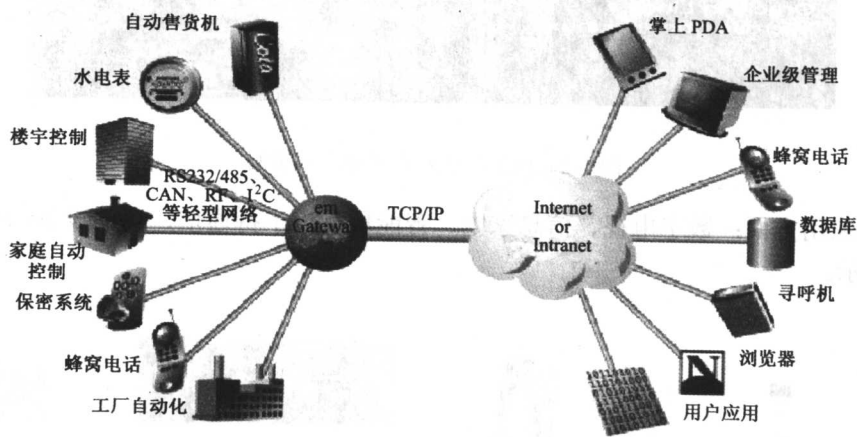


图 1-5 嵌入式系统在社会发展方面的应用

(4) CAN 总线网络汽车电子产品 (18 个嵌入式控制模块), 如图 1-6 所示。

(5) 军事侦察和反恐防暴, 如图 1-7 所示。

(6) 掌上电脑, 如图 1-8 所示。

(7) 基于 RTLinux 的仿人机器人, 如图 1-9 所示。

(8) 工程机械智能监控系统, 如图 1-10 所示。

(9) 基于 VxWorks 的火星探路者, 如图 1-11 所示。

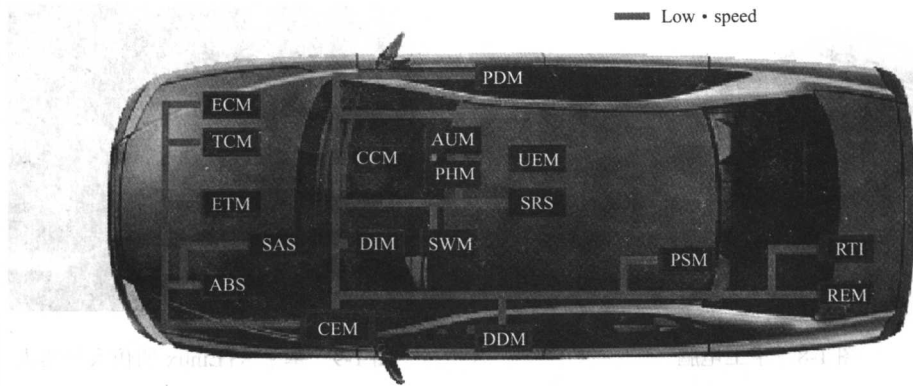
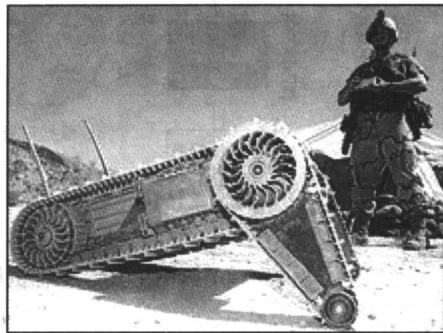
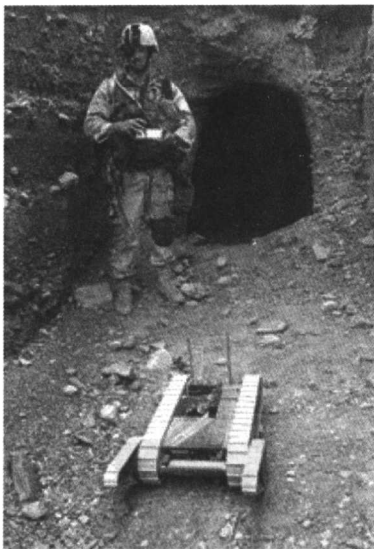
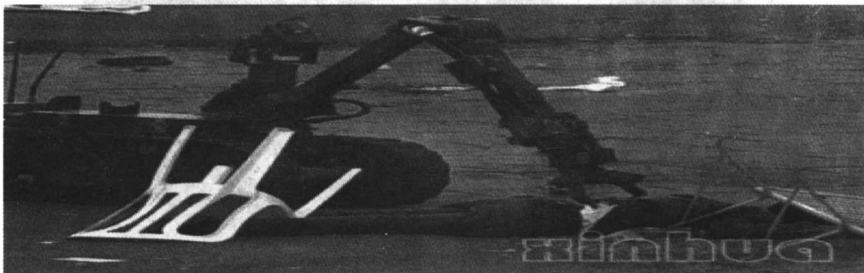


图 1-6 Volvo S80 汽车的 CAN 总线网络



阿富汗参加反恐作战的“赫尔墨斯”
价值 4 万美元，可携带 2 架摄像机，
发挥了很好作用。

(a) 军事侦察



(b) 反恐防暴

2002 年 11 月 28 日，以色列一选举投票点发生枪击事件造成至少 7 人死亡，数十人受伤。图中所示为以警方用机器人在检查一具巴勒斯坦枪手的尸体

图 1-7 嵌入式系统在军事侦察和反恐防暴中的应用



图 1-8 掌上电脑

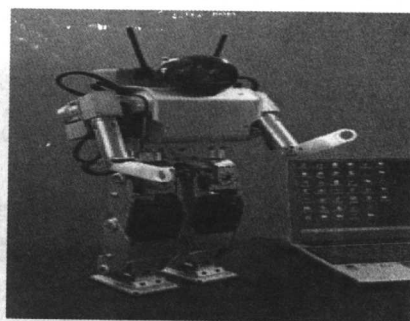


图 1-9 基于 RTLinux 的仿人机器人

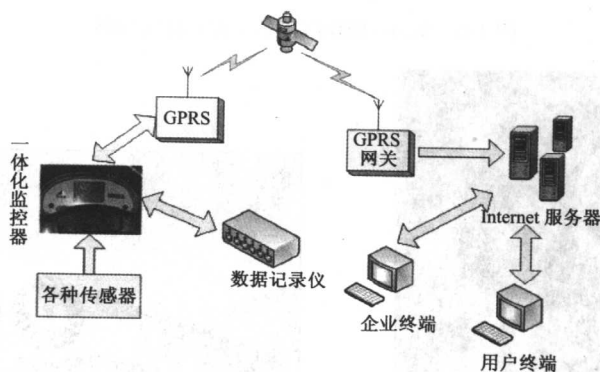


图 1-10 工程机械智能监控系统

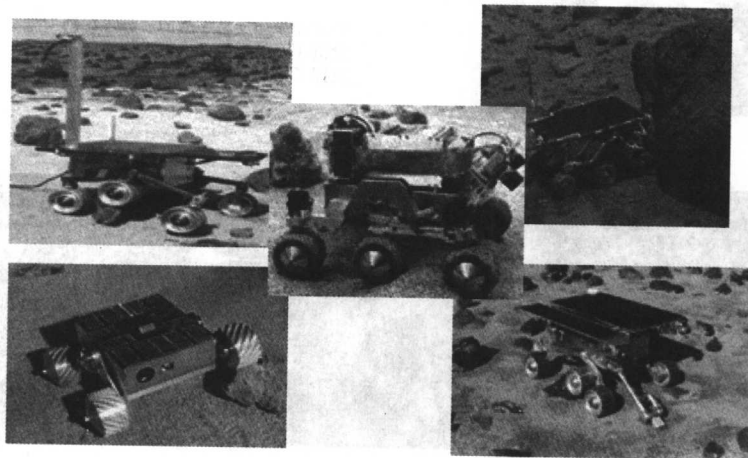


图 1-11 基于 VxWorks 的火星探路者

1.2.3 嵌入式技术的发展趋势

嵌入式系统宏观方面的发展趋势是在经济性上，计算机要很便宜，让更多的人能够