

 普通高等教育计算机规划教材

嵌入式系统设计

程克非 主编
陈昌志 许强 易芝 副主编



提供电子教案

下载网址 <http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育计算机规划教材

嵌入式系统设计

程克非 主 编

陈昌志 许 强 易 芝 副主编



机械工业出版社

本书作为嵌入式系统设计的基本教程,全面地阐述了嵌入式系统的软硬件技术及其应用设计的基本方法和过程。本书从嵌入式系统的发展历程开始,以 ARM 处理器为蓝本介绍嵌入式系统的硬件原理,然后介绍了操作系统原理,并用 μ Clinux、 μ C/OS - II 和 Windows CE 介绍了广泛应用的嵌入式操作系统平台,最后用 MIPS 的应用系统设计实验介绍了嵌入式系统应用设计的步骤和方法。

本书可以作为高等院校的电子工程类、计算机类、自动化类等专业的本科生以及相关专业的研究生教材,亦可作为相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计/程克非主编. —北京:机械工业出版社,2010.1
(普通高等教育计算机规划教材)
ISBN 978 - 7 - 111 - 28599 - 1

I. 嵌… II. 程… 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(2010)第 009246 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:张宝珠

责任印制:杨曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2010 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11.75 印张 · 289 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 28599 - 1

定价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

出版说明

信息技术是当今世界发展最快、渗透性最强、应用最广的关键技术，是推动经济增长和知识传播的重要引擎。在我国，随着国家信息化发展战略的贯彻实施，信息化建设已进入了全方位、多层次推进应用的新阶段。现在，掌握计算机技术已成为 21 世纪人才应具备的基础素质之一。

为了进一步推动计算机技术的发展，满足计算机学科教育的需求，机械工业出版社聘请了全国多所高等院校的一线教师，进行了充分的调研和讨论，针对计算机相关课程的特点，总结教学中的实践经验，组织出版了这套“普通高等教育计算机规划教材”。

本套教材具有以下特点：

- (1) 反映计算机技术领域的新发展和新应用。
- (2) 注重立体化教材的建设，多数教材配有电子教案、习题与上机指导或多媒体光盘等。
- (3) 针对多数学生的学习特点，采用通俗易懂的方法讲解知识，逻辑性强、层次分明、叙述准确而精炼、图文并茂，使学生可以快速掌握，学以致用。
- (4) 符合高等院校各专业人才的培养目标及课程体系的设置，注重培养学生的应用能力，强调知识、能力与素质的综合训练。
- (5) 适合各类高等院校、高等职业学校及相关院校的教学，也可作为各类培训班和自学用书。

机械工业出版社

前 言

嵌入式系统设计一直以来是大学生认为非常难学的课程，但从一个专业人员和教师的角度来看，该门课程入门其实是很容易的。那么学生对该门课程的难易看法为什么会相差这么大呢？根据作者这几年授课的过程来看，主要有这样几个问题：

1) 学生先入为主的想法，认为嵌入式系统设计是和硬件相关的课程，这样的课程都很难学，如微机原理一般，持这种看法的学生主要是专业方向偏软件，凡是对硬件相关的课程都会有一定的心理畏惧。

2) 没有良好的实践环节支撑。这个问题也是困扰嵌入式课程教学的一个难题，因为现在学校的规模太大，很多实验设施和师资跟不上，无法针对学生的具体情况和当前的嵌入式发展进行对应的实践教学工作，导致该门课程多半时间花在理论教学上，学生对一些基本的实践过程和操作难以理解。作者出于这两个原因，针对当前大学计算机专业学生在硬件方面偏弱的特点，将学习重点落在实践环节，强调软件操作，本书用两章的篇幅针对 ARM 的体系结构作一些说明，更多地介绍软件体系、嵌入式软件开发与常规的 PC 软件开发的的不同，从而将学生从较熟悉的 PC 软件开发自然过渡到嵌入式软件开发中。毕竟从本质上说，嵌入式软件开发与 PC 软件开发并没有很大的不同。作者建议在教学过程中，不强调某一类具体的开发平台，而是强调共性开发和理念的转移。

本书以介绍 ARM 体系结构基础知识为起点，以在 ARM 平台上进行 C 语言程序设计和对操作系统的熟悉为主，编写思路符合嵌入式系统入门学习，力求通俗、易懂，适合作为电信类和计算机学科本科生及研究生教材。本书各章节安排如下：

第 1 章介绍嵌入式系统的概念、发展历史、嵌入式系统结构、应用和开发工具。

第 2 章介绍市场上应用最广泛的嵌入式处理器——ARM，并对其特点和应用进行简要介绍。

第 3 章主要介绍 ARM 体系结构、ARM 的编程模型和寄存器组织、寻址方式以及 Thumb 指令集与 ARM 指令集的区别。然后针对 ARM 汇编程序设计基础进行入门性说明，并给出了实例。

第 4 章介绍嵌入式 C 语言程序设计以及 C 语言和汇编混合编程，读者可以通过本章的学习了解常规的 C 语言程序设计和嵌入式程序设计的异同。

第 5 章介绍嵌入式操作系统的基本概念和嵌入式实时操作系统。

第 6 章介绍 μ CLinux 的特点和基本移植过程。

第 7 章介绍 μ C/OS-II 嵌入式实时操作系统内核的任务运行的基本原理，包括状态变化及调度、任务间通信与同步、中断与时间中断和内存管理方法。

第 8 章介绍基于 Windows CE 及其开发环境。

第 9 章给出一个基于 ARM 开发板的嵌入式路由器的设计和开发过程。

本书由程克非任主编，陈昌志、许强和易芝任副主编，黄颖、王练等参与了书的编写。本书中部分文字的输入、图的绘制以及对书中程序进行上机实验验证由郭瑞杰、贾如、冯俊

等完成。

邓亚平教授对本书的编写提出许多建设性意见，并审阅了全书，在此表示衷心感谢。

在本书的编写过程中，得到北京博创科技公司和广州周立功单片机有限公司的大力支持，在此谨向他们深表感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 绪论	1
1.1 嵌入式系统概述	1
1.1.1 嵌入式系统的概念	1
1.1.2 嵌入式系统的发展	2
1.1.3 嵌入式系统的结构	4
1.1.4 嵌入式系统的应用	6
1.2 嵌入式系统开发工具简介	8
1.2.1 ADS	8
1.2.2 RVDS	10
1.2.3 EVC	10
1.3 小结	11
1.4 习题	12
第2章 ARM 处理器	13
2.1 ARM 处理器概述	13
2.1.1 ARM 微处理器系列	13
2.1.2 ARM 微处理器结构	16
2.1.3 ARM 微处理器的特点及应用领域	16
2.2 ARM 微控制器的体系结构	17
2.2.1 ARM7 微处理器的结构	17
2.2.2 ARM9 微处理器的结构	18
2.2.3 ARM 其他处理器的结构	18
2.2.4 ARM 的存储器	19
2.2.5 ARM 的片上总线	21
2.3 小结	24
2.4 习题	24
第3章 ARM 处理器及汇编语言	25
3.1 ARM 微处理器的编程模型	25
3.1.1 ARM 微处理器的工作状态	25
3.1.2 ARM 微处理器的指令长度及数据类型	25
3.1.3 ARM 微处理器的存储格式	26
3.1.4 ARM 微处理器的运行模式	26

3.1.5	ARM 微处理器的寄存器	27
3.1.6	ARM 微处理器的异常	32
3.2	ARM 微处理器的指令系统	36
3.2.1	ARM 微处理器指令的寻址方式	36
3.2.2	ARM 微处理器的指令集	38
3.3	ARM 汇编语言	53
3.3.1	ARM 汇编语言的语句格式	53
3.3.2	伪指令	56
3.3.3	汇编语言的程序结构	67
3.4	小结	71
3.5	习题	71
第4章	嵌入式 C/C++ 编程	72
4.1	嵌入式 C/C++ 概述	72
4.2	嵌入式 C/C++ 编程模式	74
4.2.1	软件架构	74
4.2.2	内存操作	77
4.2.3	高效的 C 语言编程	80
4.3	ARM 微处理器的 C/C++ 编程	83
4.3.1	ARM C++ 编译器及语言库介绍	83
4.3.2	实验——串行端口程序设计	84
4.4	小结	88
4.5	习题	89
第5章	操作系统	90
5.1	操作系统概述	90
5.1.1	操作系统简介	90
5.1.2	操作系统的相关概念	90
5.2	嵌入式操作系统	93
5.2.1	嵌入式操作系统简介	93
5.2.2	嵌入式实时操作系统	95
5.3	小结	98
5.4	习题	98
第6章	μClinux	99
6.1	简介	99
6.2	μClinux	99
6.2.1	μClinux 的特点	99
6.2.2	μClinux 的内核	100
6.2.3	μClinux 的模块	101

6.2.4	μ Clinux 内核运行方式	107
6.2.5	μ Clinux 针对实时性的解决方案	107
6.2.6	μ Clinux 的开发环境	107
6.3	μ Clinux 的移植	109
6.4	小结	110
6.5	习题	111
第7章	μC/OS- II 操作系统基础及移植	112
7.1	μ C/OS- II 简介	112
7.2	μ C/OS- II 基础内容	112
7.2.1	μ C/OS- II 的特点	112
7.2.2	μ C/OS- II 的模块	113
7.2.3	μ C/OS- II 的内核	113
7.3	基于 ARM 的 μ C/OS- II 操作系统移植	125
7.3.1	μ C/OS- II 的移植内容	126
7.3.2	OS_CPU_H 的移植	128
7.3.3	OS_CPU_C_C 的移植	129
7.3.4	OS_CPU_A_S(OS_CPU_A_ASM) 的移植	132
7.4	小结	138
7.5	习题	138
第8章	Windows CE	139
8.1	Windows CE 的体系结构	139
8.1.1	Windows Embedded CE 6.0 的总体结构	139
8.1.2	Windows Embedded CE 6.0 的各模块简介	140
8.2	Windows CE 的发展历程	141
8.3	Windows Embedded CE 6.0	143
8.3.1	Windows Embedded CE 6.0 的特点	143
8.3.2	开发平台	144
8.3.3	BSP 的克隆	150
8.3.4	应用程序的调试	152
8.4	小结	154
8.5	习题	154
第9章	基于 MIPS 的应用系统设计实验	155
9.1	应用系统设计概述	155
9.2	按应用要求的概念性设计	156
9.2.1	嵌入式系统的设计步骤	156
9.2.2	嵌入式系统的硬、软件协同设计	157
9.3	基于 MIPS 的 Linux 内核裁剪与编译	159

9.3.1 Linux 内核的裁剪与编译	159
9.3.2 具体的裁剪与编译过程	160
9.4 基于 MIPS 处理器的路由器功能设计	165
9.4.1 MIPS 简介	165
9.4.2 UP-MIPS5000 开发板功能和特点	165
9.4.3 实验平台的搭建	166
9.4.4 Zebra 的移植	172
9.5 小结	177
9.6 习题	177
参考文献	178

第1章 绪 论

本章主要介绍嵌入式系统的基本概念及其应用领域，并简要说明嵌入式系统开发工具的使用。

1.1 嵌入式系统概述

计算机包括处理器、控制器、存储系统、输入输出系统等。从应用方面来看，计算机分为通用计算机（如微型计算机、大型计算机等）和专用计算机（如嵌入式系统）。嵌入式系统是一种专用系统，不具有通用性，而是具有某一种特定应用的电子装置。随着后 PC 时代的到来，嵌入式系统应用于人们的工作、生活等各个方面。

1.1.1 嵌入式系统的概念

嵌入式系统综合了计算机技术、微处理器技术、电子技术、通信技术、集成电路技术等多个学科技术。嵌入式系统已经成为计算机技术和计算机应用领域的一个重要组成部分。

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（原文为 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认为：嵌入式系统（Embedded System）是以应用为中心，以计算机技术为基础，软件和硬件可裁剪，对功能、可靠性、成本、体积、功耗要求严格的专用计算机系统。此定义给出了嵌入式系统作为专用计算机系统所包含的 4 个要素。

1) 以应用为中心。嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的。嵌入的目的是为了提高产品的功能和性能、降低成本和体积等。如果独立于应用而自行发展则会失去市场。

2) 以计算机技术为基础。嵌入式系统“以计算机技术为基础”和“以应用为中心”这两个要素对从事嵌入式技术的开发人员提出了较高要求。一方面，他们应具备扎实的计算机科学或计算机工程方面的专业知识；另一方面，他们还需要掌握相关应用行业领域的知识。也就是说，从事嵌入式技术的开发人员往往是跨专业的复合型人才。

3) 软件和硬件可裁剪。嵌入式系统的硬件和软件需要针对用户的具体要求进行高效率的设计。一方面，需要选择嵌入式处理器的种类型号，对其芯片的配置进行裁剪或扩展，实现理想的资源组合和较低的成本；另一方面，嵌入式软件的各组件或模块设计需要量体裁衣、去除冗余，力求在有限的硬件资源环境下实现更高的性能。

4) 对功能、可靠性、成本、体积、功耗要求严格。嵌入式处理器在功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力、EMC（电磁兼容性）等方面均受到应用要求的制约，这些也是各个半导体厂商之间竞争的热点。

由以上定义可以看出，嵌入式系统是设计完成特定功能的硬件和软件，并使其紧密耦合在一起的专用计算机系统。该专用计算机系统对软件和硬件的可裁剪性、功能、可靠性、成本、体积、功耗等方面提出了严格的要求。

术语“嵌入式”反映了嵌入式系统通常是更大系统中的一个完整的部分。更大系统成为“嵌入的系统”，“嵌入的系统”中可以共存多个嵌入式系统。

作为有别于通用计算机系统的嵌入式系统，它具有以下重要特征：

(1) 系统内核小

由于嵌入式系统一般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。

(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结合得非常紧密，一般要针对硬件进行系统的移植。即使是同一品牌、同一系列的产品也需要根据系统硬件的变化和增减不断地进行修改。同时针对不同的任务，往往需要对系统进行较大的更改，程序的编译下载要与系统相结合，这种修改与通用软件的“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，不要求其功能设计及实现过于复杂，这样既有利于控制系统成本，也有利于系统安全。

(4) 高实时性 OS

这是嵌入式软件的基本要求，而且软件要求固态存储，以提高速度，软件代码要求高质量、高可靠性和实时性。

(5) 嵌入式软件开发走向标准化

嵌入式系统的应用程序可以没有操作系统，直接在芯片上运行。为了合理地调度多任务，利用系统资源、系统函数以及与专家库函数的接口，用户必须自行选配实时操作系统（Real-Time Operating System, RTOS）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) 嵌入式系统需要开发工具和环境

由于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，而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。

(7) 嵌入式系统是知识集成系统

嵌入式系统是先进的计算机技术、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。

1.1.2 嵌入式系统的发展

嵌入式系统发展至今，其软件和硬件总是交替上升，呈双螺旋式的发展，而且一直保持

着较快的发展速度。这一方面得益于微电子技术的发展；另一方面也得益于人们对应用需求的不断深入。同时，嵌入式技术的复杂性和难度也在不断加大，对从业人员软、硬件开发能力的要求也越来越高，而且开发模式由原来较多的单兵作战或者两三个人开发，逐步过渡到具备多种技术背景的团队开发。

嵌入式系统近 30 年的发展历史基本上可以概括为以下三个阶段：

第一阶段：以单芯片为核心的系统。在这个阶段，硬件是以 8 位单片机为主，从现在的眼光来看，芯片比较简单；软件开发以汇编语言为主，直接编程实现系统功能，多数系统中还没有引入操作系统。嵌入式系统发展到现在，虽然功能强大且性价比也不错的单芯片已经有很多，但 8 位或者 16 位单片机因为其开发难度低、上手快、参考资料多，且随着技术的发展功能变得越来越强大，所以还是受到很多开发者的青睐，在低端嵌入式产品开发中还是被大量用到，仍然有旺盛的生命力和存在的价值。

第二阶段：以嵌入式 CPU 为基础，嵌入式操作系统为核心的嵌入式系统。现阶段所讲所学的嵌入式系统，也主要是指这个阶段的嵌入式系统。在这个阶段，硬件方面嵌入式微处理器是以 32 位机为主，CPU 的种类和性能也空前丰富。软件方面，也不再以汇编语言为主，而是以 C 语言为主，并开始应用操作系统作为软件开发的中间层，利用操作系统本身优越的性能提高产品的开发速度和产品的可靠性、实时性。

第三阶段：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，正在使用的嵌入式系统大多数还处于单独应用的阶段，工业上大多也是利用孤立于 Internet 以外的控制通信网络（如 CAN、IIC、PROFIBUS 等现场总线）实现 MCU 组网，但这种网络的有效半径比较有限，有关的通信协议也比较少，并且一般都是孤立于 Internet 之外的。如果能将嵌入式系统连接到应用广泛的 Internet 上，或者在现有网络的基础上利用 Internet，则可以方便、低廉地将信息传送到世界任何一个地方，从而将整个世界互联起来，如图 1-1 所示。

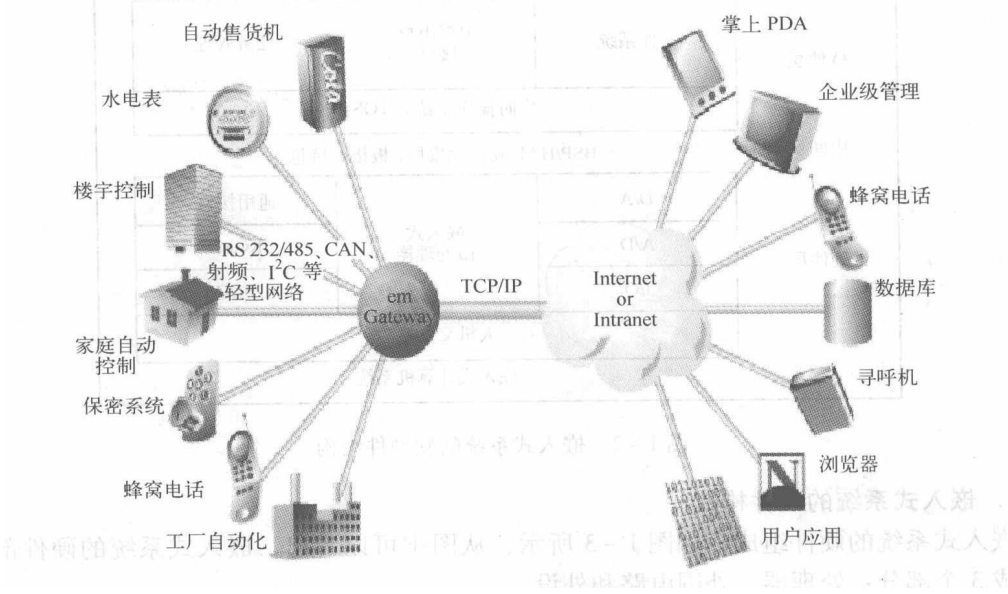


图 1-1 Internet 的网络世界

嵌入式 Internet 技术就是将 Internet 延伸到 8 位、16 位及 32 位单片机，这种技术的市场需求极其巨大。将嵌入式系统与 Internet 结合起来的想法很早以前就有了，主要的困难在于 Internet 上的各种通信协议对计算机的存储器、运算速度等要求比较高，而嵌入式系统中除部分 32 位处理器以外，大量存在的是 8 位和 16 位 MCU，要支持 TCP/IP 等 Internet 协议将会占用大量的系统资源，这在大多数的 8 位和 16 位 MCU 中是根本不可能实现的。现在较为认可的一种解决方案就是嵌入式微型因特网互连技术（Embedded Micro Internetworking Technology, EMIT），这种方案采用桌面计算机或高性能的嵌入式处理器作为网关，称为 emGateway，在它上面支持 TCP/IP 协议并运行 HTTP 服务程序，形成用户通过网络浏览器进行远程访问的服务器。

emGateway 通过 RS-232、RS-485、CAN、红外、射频等轻量级总线与多个嵌入式设备联系起来。每个嵌入式设备的应用程序中包含一个独立的通信任务，它监测嵌入式设备中预先定义各个变量，并将结果反馈到其中；同时还可以解释命令，修改设备中的变量或进行某种控制。嵌入式系统中的 emMicro 代码长度一般在 1~8 KB 左右，不会影响 MCU 的正常运作。这样仅通过增加一个 emGateway 网关，就可以解决嵌入式设备连接 Internet 的问题。网关还可以同时管理多个嵌入式设备，从而提高嵌入式网络的结构化、智能化、信息资源的归一化。

1.1.3 嵌入式系统的结构

与普通的计算机系统一样，嵌入式系统也是由硬件和软件两大部分组成，如图 1-2 所示。前者是整个系统的物理基础，提供软件运行平台和通信（包括人机交互）接口；后者实际控制系统的运行。下面分别介绍嵌入式系统的硬件和软件构成。

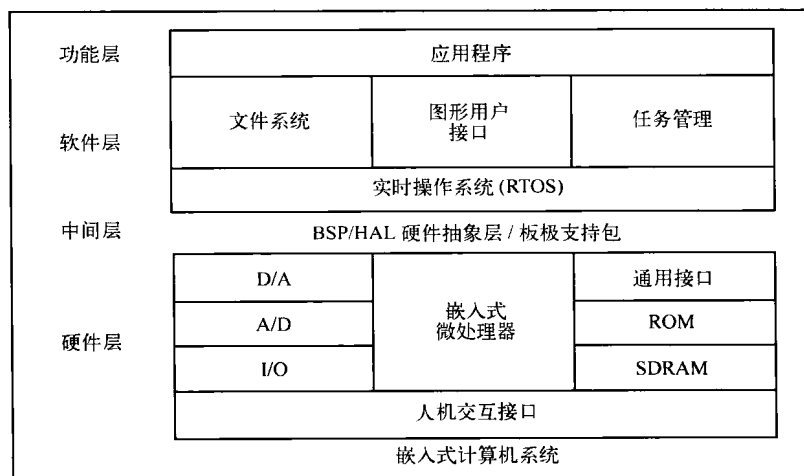


图 1-2 嵌入式系统的软硬件结构

1. 嵌入式系统的硬件构成

嵌入式系统的硬件组成，如图 1-3 所示，从图中可以看出，嵌入式系统的硬件部分可以分成 3 个部分：处理器、外围电路和外设。

(1) 处理器

处理器是嵌入式系统的核心部件，包括负责控制整个嵌入式系统执行的核心处理器、时

钟分频定时器、中断控制、I/O 端口等，也可能直接包含 A/D 和 D/A 转换处理端口。

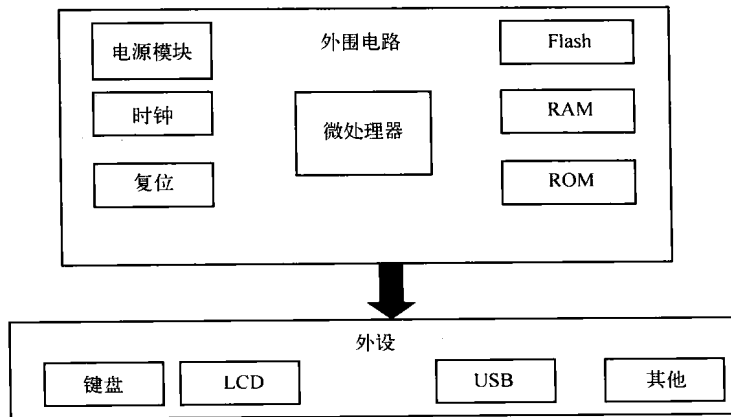


图 1-3 典型嵌入式系统基本硬件组成

(2) 外围电路

外围电路包括嵌入式系统所需要的基本存储管理、晶振、复位和电源等控制电路及接口。它们与处理器核一起构成一个完整的嵌入式微处理器。对于 32 位以上的微处理器，一般还带有专门的调试接口（JTAG 或 BDM）。另外，也可能直接提供网络、多媒体等处理功能。

(3) 外设

外设位于嵌入式微处理器之外，是嵌入式系统与真实环境交互的接口，可看成是板上电路。它可以提供包括扩展存储（如 Flash Card）、I/O 接口（如键盘、鼠标、LCD）和打印（如打印机、扫描仪）等设备的控制电路，或直接使用相关的控制芯片。此外，根据实际应用的需要，还可以扩展一些专用芯片，如加密解密、现场总线（如 CAN、1553B）、移动通信（如 CDMA、GSM）等专用芯片。

在实际应用中，嵌入式系统的硬件配置非常灵活。不但外设可以根据需要进行裁剪，而且嵌入式微处理器内部的模块也能进行选择。当然，后者实际上也就是选择不同型号的微处理器。

2. 嵌入式系统的软件构成

嵌入式系统的软件包括设备驱动层、嵌入式操作系统、应用程序接口（API）层以及实际应用程序层。对于简单的嵌入式系统，可以没有嵌入式操作系统，仅存在设备驱动程序和应用程序。对于大部分嵌入式系统，由于性能要求越来越高，通常需要嵌入式操作系统。

(1) 中间层程序

任何外部设备都需要相应的驱动程序的支持，中间层程序为上层软件提供了设备的操作接口，是嵌入式系统中不可缺少的重要组成部分。

中间层程序包括硬件抽象层（Hardware Abstraction Layer, HAL）、板级支持包（Board Support Package, BSP）以及设备驱动程序。

1) 硬件抽象层。硬件抽象层（HAL）位于操作系统内核与硬件电路之间的接口层，其目的就是将硬件抽象化，即可以通过程序来控制对处理器、I/O 接口以及存储器等所有硬件

的操作，这样使系统的设备驱动程序与硬件设备无关，从而提高了系统的可移植性。

硬件抽象层包括相关硬件的初始化、数据的输入/输出操作、硬件设备的配置等操作。

2) 板级支持包。板级支持包 (BSP) 是介于硬件和嵌入式操作系统中驱动层程序之间的一层，主要是实现对嵌入式操作系统的支持，为上层的驱动程序提供访问硬件设备寄存器的函数包，使之能够更好地运行于硬件。不同的嵌入式操作系统对应的 BSP 不同。

BSP 实现的主要功能有：① 系统启动时对硬件初始化；② 为驱动程序提供访问硬件的手段，Boot Loader 便属于此类。

3) 设备驱动程序。系统安装的硬件设备必须经过驱动才能被使用，设备的驱动程序为上层软件提供调用的操作接口。上层软件只要调用驱动程序提供的接口，而不必关心设备内部的具体操作，就可以控制硬件设备。驱动程序除了实现基本的功能函数外（初始化、中断响应、发送、接收等），还具备完善的错误处理函数。

(2) 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统在复杂的嵌入式系统中发挥着非常重要的作用，有了嵌入式操作系统，进程管理、进程间的通信、内存管理、文件管理、驱动程序、网络协议等就可实现。常用的嵌入式操作系统有 Vxworks、Palm OS、 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 、 μClinux 、Windows CE 以及 Windows XP Embedded 等。

(3) 应用软件层

应用软件是在嵌入式操作系统支持下通过调用 API 函数，结合实际应用编制的用户软件。例如，抄表系统的软件、掌上信息查询软件等。

1.1.4 嵌入式系统的应用

嵌入式系统广泛地应用于消费电子、通信、汽车、国防、航空航天、工业控制、仪表、办公自动化等领域，如图 1-4 所示。

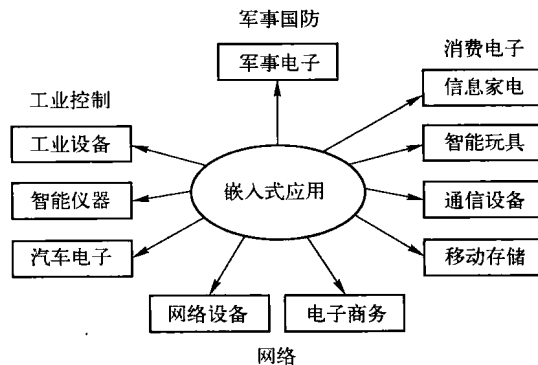


图 1-4 嵌入式系统应用领域

据欧盟的统计：2003 年全球大概有 80 亿片嵌入式微处理器，到 2010 年，预计会达到 160 亿片，地球上平均每人拥有 3 个嵌入式微处理器。

在航空电子领域，嵌入式软件的开发成本占整个飞机研制成本的 50%；对于汽车工业，汽车电子在整车价值中的比例逐年提高，将从 1997 年的 20% 提升到 2010 年的 33%~40%。

消费电子的数量会越来越大。据预测，到 2010 年，仅数字家庭在美国的销售额就将达

到 2000 亿欧元。

1. 工业控制

工业控制是机电产品中最大的一类。过去在工业控制、数字机床、电力系统、电网安全、电网设备检测、石油化工系统等方面，大部分低端型设备主要采用 8 位单片机。随着科学技术的发展，目前许多设备除了进行实时控制外，还需将设备状态、传感器的信息等显示屏上实时显示。各种智能测量仪表、数控装备、可编程控制器、控制机、分布式控制系统、现场总线仪表及控制系统、工业机器人、机电一体化机械设备、汽车电子设备等，通常采用微处理器、控制器芯片级、标准总线的模板级或系统嵌入式计算机，如图 1-5 所示。

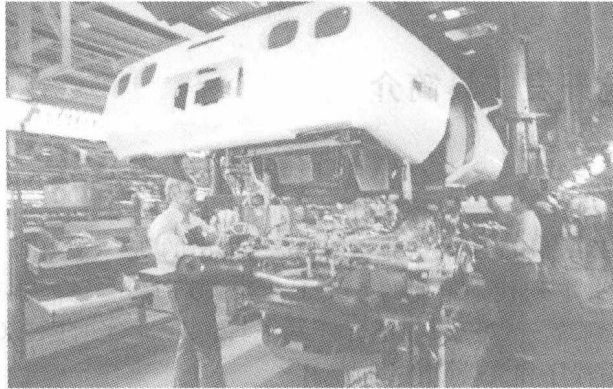


图 1-5 工业控制领域

2. 信息家电

我国各种信息家电产品将成为嵌入式系统最大的应用领域。只有按钮、开关的电器显然已经不能满足人们的日常需要。具有用户界面、能远程控制、智能管理的电器将是未来的发展趋势，如数字电视机、机顶盒、数码照相机、VCD/DVD 音响设备、可视电话、家庭网络设备、洗衣机、电冰箱、空调、智能玩具等，广泛采用了微处理器、微控制器及嵌入式软件，如图 1-6 所示。



图 1-6 信息家电应用领域