

全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试指定用书

# 嵌入式系统设计师教程

魏洪兴 主编 湛卫军 康一梅 陈友东 编著

全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试办公室组编

清华大学出版社



全国计算机技术与软件专业技术资格

TP368.1  
264

指定用书

# 嵌入式系统设计师教程

魏洪兴 主编 谌卫军 康一梅 陈友东 编著  
全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试办公室组编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书按照人事部、信息产业部全国计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试要求编写,内容紧扣《嵌入式系统设计师考试大纲》。全书共6章,分别对嵌入式系统基础知识、嵌入式微处理器与接口设计、嵌入式软件与操作系统、嵌入式软件程序设计、嵌入式系统设计与维护等知识进行了详细的讲解,最后介绍了一个典型的嵌入式系统设计案例。

本书内容丰富,结构合理,概念清晰。既可作为全国计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试中嵌入式系统设计师级别的考试用书,供有关考生学习使用,也可以作为本科生嵌入式系统相关课程教材或培训用书使用。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书扉页为防伪页,封面贴有清华大学出版社防伪标签,无上述标识者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

### 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计师教程/魏洪兴主编. —北京:清华大学出版社,2006.8

(全国计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试指定用书)

ISBN 7-302-13286-0

I. 嵌… II. 魏… III. 微型计算机-系统设计-工程技术人员-资格考核-教材 IV. TP360.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第070690号

出版者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社总机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:柴文强

文稿编辑:刘霞

印刷者:北京密云胶印厂

装订者:三河市金元印装有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:33.75 字数:753千字

版 次:2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-13286-0/TP·8381

印 数:1~6000

定 价:50.00元

# 序

在国务院鼓励软件产业发展政策的带动下，我国软件业一年一大步，实现了跨越式发展，相关政策措施正在落实，我国软件产业的国际竞争力日益提高。

在软件产业快速发展的带动下，人才需求日益迫切，队伍建设与时俱进，而作为规范软件专业人员技术资格的计算机软件考试已在我国实施了十余年，累计报考人数超过一百五十万，为推动我国软件产业的发展作出了重要贡献。

软件考试在全国率先执行了以考代评的政策，取得了良好的效果。为贯彻落实国务院颁布的《振兴软件产业行动纲要》和国家职业资格证书制度，国家人事部和信息产业部对计算机软件考试政策进行了重大改革：考试名称调整为计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试；考试对象从狭义的计算机软件扩大到广义的计算机软件，涵盖了计算机技术与软件的各个主要领域（5个专业类别、3个级别层次和20个职业岗位资格）；资格考试和水平考试合并，采用水平考试的形式（与国际接轨，报考不限学历与资历条件），执行资格考试政策（各用人单位可以从考试合格者中择优聘任专业技术职务）；这是我国人事制度改革的一次新突破。此外，将资格考试政策延伸到高级资格，使考试制度更为完善。

信息技术发展快，更新快，要求从业人员不断适应和跟进技术的变化，有鉴于此，国家人事部和信息产业部规定对通过考试获得的资格（水平）证书实行每隔三年进行登记的制度，以鼓励和促进专业人员不断接受新知识、新技术、新法规的继续教育。考试设置的专业类别、职业岗位也将随着国民经济与社会发展而动态调整。

目前，我国计算机软件考试的部分级别已与日本和韩国信息处理工程师考试的相应级别实现了互认，以后还将继续扩大考试互认的级别和国家。

为规范培训和考试工作，信息产业部电子教育中心组织一批具有较高理论水平和丰富实践经验的专家编写了全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试的教材和辅导用书，按照考试大纲的要求，全面介绍相关知识与技术，帮助考生学习和备考。

我们相信，经过全社会的共同努力，全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试将会更加规范、科学，进而对培养信息技术人才，加快专业队伍建设，推动国民经济和社会信息化作出更大的贡献。

信息产业部副部长 姜勤俭

# 前 言

全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试实施至今已经历了近 20 年，在社会上产生了很大的影响，对我国软件产业的形成和发展做出了重要的贡献。为了适应我国计算机信息技术发展的需求，国家人事部和信息产业部决定将考试的级别拓展到计算机信息技术行业的各个方面，以满足社会上对各种计算机信息技术人才的需要。

以数字科技（微电子是其重要组成部分）为基础，计算机科学技术为框架的嵌入式系统目前已普遍应用于工业控制系统、信息家电、通信设备、医疗仪器、智能仪器仪表等众多领域，如手机、PDA、MP3、手持设备、智能电话、机顶盒等，可以说嵌入式技术无处不在。由于社会对掌握嵌入式技术人才的大量需求，使嵌入式软硬件工程师成为未来几年的热门职业之一。为了推动国内嵌入式技术的发展和嵌入式人才培养，全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试设立了“嵌入式系统设计师”级别考试内容。

编者受全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试办公室委托，编写《嵌入式系统设计师教程》一书，以适应嵌入式系统设计师级别的考试大纲要求。由于嵌入式系统设计涉及计算机基础知识、数字逻辑电路基础、微处理器原理与接口技术、实时操作系统、嵌入式软件编程等诸多知识内容，编写相应的教程难度较大。编者在撰写本书时紧扣《嵌入式系统设计师考试大纲》，对考生需掌握的内容进行了全面、深入的阐述。考虑到参加考试的人员已有一定的基础，所以本书中只对考试大纲中所涉及到的重点知识领域加以阐述，限于篇幅不能详细地展开，请读者谅解。

全书共分 6 章，第 1 章由魏洪兴、贾智平、陈友东编写，第 2 章由魏洪兴编写，第 3 章和第 4 章由湛卫军编写，第 5 章由康一梅、陈友东编写，第 6 章由陈友东编写，全书由魏洪兴统稿。

在本书的编写过程中，参考了许多相关的书籍和资料，编者在此对这些参考文献的作者表示感谢。同时感谢清华大学出版社在本书出版过程中所给予的支持和帮助。

因水平有限，书中难免存在错漏和不妥之处，望读者指正，以利改进和提高。

编 者

2006 年 4 月

# 目 录

<b>第 1 章 嵌入式系统基础知识</b> .....1	<b>第 2 章 嵌入式微处理器与接口知识</b> .....83
1.1 嵌入式系统的定义和组成.....1	2.1 嵌入式微处理器的结构和类型.....83
1.1.1 嵌入式系统的定义.....1	2.1.1 嵌入式微处理器的分类.....83
1.1.2 嵌入式系统发展概述.....2	2.1.2 典型 8 位微处理器的结构 和特点.....86
1.1.3 嵌入式系统的组成.....5	2.1.3 典型 16 位微处理器的结构 和特点.....94
1.1.4 实时系统.....12	2.1.4 典型 32 位微处理器的结构 和特点.....97
1.2 嵌入式微处理器体系结构.....17	2.1.5 DSP 处理器的结构和特点...112
1.2.1 冯·诺依曼与哈佛结构.....17	2.1.6 多核处理器的结构和特点...118
1.2.2 CISC 与 RISC.....18	2.2 嵌入式系统的存储体系.....124
1.2.3 流水线技术.....23	2.2.1 存储器系统概述.....124
1.2.4 信息存储的字节顺序.....25	2.2.2 嵌入式系统存储设备分类...132
1.3 嵌入式系统的硬件基础.....28	2.2.3 ROM 的种类与选型.....135
1.3.1 组合逻辑电路基础.....28	2.2.4 Flash Memory 的种类与 选型.....137
1.3.2 时序逻辑电路.....35	2.2.5 RAM 的种类与选型.....141
1.3.3 总线电路及信号驱动.....39	2.2.6 外部存储器的种类与选型...145
1.3.4 电平转换电路.....47	2.3 嵌入式系统输入输出设备.....151
1.3.5 可编程逻辑器件基础.....51	2.3.1 嵌入式系统常用输入/输出 设备概述.....151
1.4 嵌入式系统中信息表示与运算基础.....61	2.3.2 GPIO 原理与结构.....153
1.4.1 进位计数制与转换.....61	2.3.3 A/D 接口基本原理与结构...154
1.4.2 计算机中数的表示.....62	2.3.4 D/A 接口基本原理与结构...159
1.4.3 非数值数据编码.....65	2.3.5 键盘接口基本原理与结构...161
1.4.4 差错控制编码.....70	2.3.6 显示接口基本原理与结构...164
1.5 嵌入式系统的性能评价.....77	
1.5.1 度量项目.....77	
1.5.2 评价方法.....79	
1.5.3 评估嵌入式系统处理器的主 要指标.....81	

2.3.7	触摸屏接口基本原理与结构	173	3.1.1	嵌入式软件概述	246
2.3.8	音频接口基本原理与结构	177	3.1.2	嵌入式软件分类	247
2.4	嵌入式系统总线接口	179	3.1.3	嵌入式软件的体系结构	247
2.4.1	串行接口基本原理与结构	179	3.1.4	设备驱动层	251
2.4.2	并行接口基本原理与结构	185	3.1.5	嵌入式中间件	253
2.4.3	PCI 接口基本原理与结构	187	3.2	嵌入式操作系统概述	254
2.4.4	USB 接口基本原理与结构	189	3.2.1	嵌入式操作系统的概念	254
2.4.5	SPI 接口基本原理与结构	193	3.2.2	嵌入式操作系统的分类	255
2.4.6	IIC 接口基本原理与结构	195	3.2.3	常见的嵌入式操作系统	258
2.4.7	PCMCIA 接口基本原理与结构	198	3.3	任务管理	261
2.5	嵌入式系统网络接口	199	3.3.1	多道程序技术	261
2.5.1	以太网接口基本原理与结构	199	3.3.2	进程、线程和任务	262
2.5.2	CAN 总线接口的基本原理与结构	204	3.3.3	任务的实现	270
2.5.3	xDSL 接口基本原理与结构	209	3.3.4	任务的调度	277
2.5.4	无线以太网基本原理与结构	213	3.3.5	实时系统调度	286
2.5.5	蓝牙接口基本原理与结构	215	3.3.6	任务间的同步与互斥	290
2.5.6	1394 接口基本原理与结构	219	3.3.7	任务间通信	299
2.6	嵌入式系统电源	222	3.4	存储管理	301
2.6.1	电源接口技术	222	3.4.1	存储管理概述	301
2.6.2	电源管理技术	223	3.4.2	实模式与保护模式	302
2.7	电子电路设计基础	227	3.4.3	分区存储管理	305
2.7.1	电路设计	227	3.4.4	地址映射	311
2.7.2	PCB 电路设计	229	3.4.5	页式存储管理	315
2.7.3	电子设计	236	3.4.6	虚拟存储管理	321
2.7.4	电子电路测试	241	3.5	设备管理	328
			3.5.1	设备管理基础	328
			3.5.2	I/O 控制方式	329
			3.5.3	I/O 软件	332
			3.6	文件系统	335
			3.6.1	嵌入式文件系统概述	335
			3.6.2	文件和目录	336
			3.6.3	文件系统的实现	338
<b>第 3 章</b>	<b>嵌入式系统软件及操作</b>		<b>第 4 章</b>	<b>嵌入式软件程序设计</b>	343
	系统知识	246	4.1	嵌入式软件开发概述	343
3.1	嵌入式软件基础	246			

4.1.1 嵌入式应用开发过程	343	5.2.1 系统分析的目的和任务	435
4.1.2 嵌入式软件开发的特点	343	5.2.2 用户需求	436
4.1.3 嵌入式软件开发的挑战	345	5.2.3 系统需求	438
4.2 嵌入式程序设计语言	346	5.2.4 系统规格说明书的编写方法	443
4.2.1 程序设计语言概述	346	5.3 系统设计知识	447
4.2.2 汇编语言	351	5.3.1 传统的系统设计方法	447
4.2.3 面向过程的语言	355	5.3.2 实时系统分析与设计	449
4.2.4 面向对象的语言	362	5.3.3 软硬件协同设计方法	452
4.2.5 汇编、编译与解释程序的基本原理	367	5.4 系统实施知识	461
4.3 嵌入式软件开发环境	374	5.4.1 系统架构设计	461
4.3.1 宿主机、目标机	375	5.4.2 系统详细设计	472
4.3.2 嵌入式软件开发工具	376	5.4.3 系统测试	475
4.3.3 集成开发环境	384	5.5 系统维护知识	480
4.4 嵌入式软件开发	388	5.5.1 系统运行管理	480
4.4.1 嵌入式平台选型	388	5.5.2 系统维护知识	484
4.4.2 软件设计	390	5.5.3 系统评价知识	487
4.4.3 嵌入式程序设计	396	<b>第 6 章 嵌入式系统设计</b>	<b>490</b>
4.4.4 编码	399	6.1 嵌入式系统设计的特点	490
4.4.5 测试	402	6.2 嵌入式系统的设计流程	492
4.4.6 下载和运行	410	6.2.1 产品定义	494
4.5 嵌入式软件移植	412	6.2.2 嵌入式系统的软硬件划分	495
4.5.1 无操作系统的软件移植	412	6.2.3 嵌入式系统硬件设计	496
4.5.2 有操作系统的软件移植	413	6.2.4 嵌入式系统的软件设计	498
4.5.3 应用软件的移植	415	6.2.5 系统集成和测试	503
<b>第 5 章 嵌入式系统开发与维护知识</b>	<b>417</b>	6.3 设计示例: 嵌入式数控系统	503
5.1 系统开发过程及其项目管理	417	6.3.1 数控系统简介	505
5.1.1 系统开发生命周期各阶段的目标和任务的划分方法	417	6.3.2 需求分析	505
5.1.2 系统开发项目管理基础知识及其常用管理工具使用方法	421	6.3.3 系统体系结构设计	506
5.1.3 系统开发工具与环境知识	425	6.3.4 硬件设计	509
5.2 系统分析基础知识	435	6.3.5 软件设计	521
		6.3.6 系统集成与测试	527



# 第 1 章 嵌入式系统基础知识

## 1.1 嵌入式系统的定义和组成

### 1.1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统是一种应用范围非常广泛的系统。可以说除了桌面计算机和服务器外所有计算设备都属于嵌入式系统，例如从便携式音乐播放器到航天飞机上的实时系统控制都属于嵌入式系统。

大多数商用的嵌入式系统都设计成专用任务的低成本的产品。大多数的嵌入式系统都具有实时性的要求。有些功能需要非常快的主频，但其他大多数功能并不需要高速的处理能力。这些系统通过特定的器件和软件来满足实时性的要求。

简单地通过速度和成本来定义嵌入式系统是困难的，但对于大批量的产品而言，成本常常对系统设计起决定作用。通常，一个嵌入式系统的很多部分相对系统主要功能来说需要较低的性能，因此嵌入式系统和通用 PC 相比，能够使用一个满足辅助功能的合适的 CPU，从而简化了系统设计，降低了成本。例如，数字电视的机顶盒需要处理每秒以百万兆位计的连续数据，但 these 数据处理大部分是由定制的硬件来实现的，如解析、管理和编解码多个频道的数字影像。

对于大批量生产的嵌入式系统，如便携式音乐播放器或手机等，降低成本就成为最主要的问题。这些系统通常只具有几个芯片：一个高度集成的 CPU，一个定制的芯片用于控制其他所有的功能，还有一个存储芯片。在这种设计中，每部分都设计成使用最小的系统功耗。

对于小批量的嵌入式应用，为了降低开发成本，常常使用 PC 体系结构，通过限制程序的执行时间或用实时操作系统来替换原先的操作系统。在这种情况下，可以使用一个或多个高性能的 CPU 来替换特殊用途的硬件。

嵌入式系统的软件通常运行在有限的硬件资源上：没有硬盘、操作系统、键盘或屏幕。软件一般都没有文件系统，如果有的话，也会采用 Flash 驱动器。如果有人机交互接口的话，也是一个小键盘或液晶显示器。硬件是计算机的物理部分，和存储在硬件中的计算机

软件程序和数据区分开来。

嵌入到机械中的嵌入式系统需要长期无故障连续运行，因此它的软件需要比 PC 中的软件更加仔细地开发和更加严格地测试。

那么，到底什么是嵌入式系统呢？

根据 IEEE（国际电气和电子工程师协会）的定义，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”（原文为 *devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants*）。这主要是从应用上加以定义的，从中可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体，还可以涵盖机械等附属装置。

目前国内一个普遍被认同的定义是：以应用为中心、以计算机技术为基础，软件硬件可裁剪，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

可以这样认为，嵌入式系统是一种专用的计算机系统，作为装置或设备的一部分。通常，嵌入式系统是一个控制程序存储在 ROM 中的嵌入式处理器控制板。事实上，所有带有数字接口的设备，如手表、微波炉、录像机、汽车等，都使用嵌入式系统，有些嵌入式系统还包含操作系统，但大多数嵌入式系统都是由单个程序实现整个控制逻辑。

## 1.1.2 嵌入式系统发展概述

### 1. 嵌入式系统的发展历史

世界上第一个应用的嵌入式系统可以追溯到 20 世纪 60 年代中期的阿波罗导航计算机 AGC（Apollo Guidance Computer）系统，用来完成阿波罗飞船的导航控制。当时随着微电子技术的发展，嵌入式计算机才逐步兴起。从单片机的出现到今天各种嵌入式微处理器、微控制器的广泛应用，嵌入式系统少说也有了 30 多年的历史。纵观嵌入式系统的发展历程，大致经历了以下 4 个阶段。

#### （1）无操作系统阶段

嵌入式系统最初的应用是基于单片机的，大多以可编程控制器的形式出现，具有监测、伺服和设备指示等功能，通常应用于各类工业控制和飞机、导弹等武器装备中，一般没有操作系统的支持，只能通过汇编语言对系统进行直接控制，运行结束后再清除内存。这些装置虽然已经初步具备了嵌入式的应用特点，但仅仅只是使用 8 位的 CPU 芯片来执行一些单线程的程序，因此严格地说还谈不上“系统”的概念。

这一阶段嵌入式系统的主要特点是：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便、价格低廉，因而曾经在工业控制领域中得到了非常广泛的应用，但却无法满足现今对执行效率和存储容量都有较高要求的信息家电等的需要。

## (2) 简单操作系统阶段

20 世纪 80 年代, 随着微电子工艺水平的提高, 集成电路 (Integrated Circuit, IC) 制造商开始把嵌入式应用中所需要的微处理器、I/O 接口、串行接口及 RAM、ROM 等部件集成到一片 VLSI 中, 制造出面向 I/O 设计的微控制器, 并一举成为嵌入式系统领域中异军突起的新秀。与此同时, 嵌入式系统的程序员也开始基于一些简单的“操作系统”开发嵌入式应用软件, 大大缩短了开发周期、提高了开发效率。

这一阶段嵌入式系统的主要特点是: 出现了大量具有高可靠性、低功耗的嵌入式 CPU (如 Power PC 等), 各种简单的嵌入式操作系统开始出现并得到迅速发展。此时的嵌入式操作系统虽然还比较简单, 但已经初步具有了一定的兼容性和扩展性, 内核精巧且效率高, 主要用来控制系统负载及监控应用程序的运行。

## (3) 实时操作系统阶段

20 世纪 90 年代, 在分布控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大需求的牵引下, 嵌入式系统进一步飞速发展, 而面向实时信号处理算法的数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 产品则向着高速度、高精度、低功耗的方向发展。随着硬件实时性要求的提高, 嵌入式系统的软件规模也不断扩大, 逐渐形成了实时多任务操作系统 (Real-time Operation System, RTOS), 并开始成为嵌入式系统的主流。

这一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, 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 (Graphic User Interface, GUI) 等功能, 并提供了大量的应用程序接口 (Application Programming Interface, API), 从而使应用软件的开发变得更加简单。

## (4) 面向 Internet 阶段

21 世纪是网络时代, 随着 Internet 的进一步发展, 以及 Internet 技术与信息家电、工业控制技术等的结合日益紧密, 嵌入式设备与 Internet 的结合是嵌入式系统未来的发展趋势。

## 2. 嵌入式系统的发展趋势

信息时代和数字时代的到来, 为嵌入式系统的发展带来了巨大的机遇, 同时也向嵌入式系统厂商提出了新的挑战。目前, 嵌入式技术与 Internet 技术的结合正在推动着嵌入式系统的飞速发展, 嵌入式系统的研究和应用产生了如下新的显著变化:

- 新的微处理器层出不穷, 嵌入式操作系统自身结构的设计更加便于移植, 能够在短时间内支持更多的微处理器。
- 嵌入式系统的开发成了一项系统工程, 开发厂商不仅要提供嵌入式软硬件系统本身, 同时还要提供强大的硬件开发工具和软件支持包。
- 通用计算机上使用的新技术、新观念开始逐步移植到嵌入式系统中, 嵌入式软件

平台得到进一步完善。

- 各类嵌入式 Linux 操作系统迅速发展，由于具有源代码开放、系统内核小、执行效率高、网络结构完整等特点，很适合信息家电等嵌入式系统的需要，目前已经形成了能与 Windows CE、Palm OS 等嵌入式操作系统进行有力竞争的局面。
- 网络化、信息化的要求随着 Internet 技术的成熟和带宽的提高而日益突出，以往功能单一的设备（如电话、手机、冰箱、微波炉等）功能不再单一，结构变得更加复杂，网络互联成为必然趋势。
- 精简系统内核，优化关键算法，降低功耗和软硬件成本。
- 提供更加友好的多媒体人机交互界面。

### 3. 知识产权核

IC 产业是一个自 20 世纪 80 年代特别是 90 年代后飞速发展的产业。从 90 年代中期开始，由于基于专用集成电路的板级系统设计已经不能满足系统产品的可靠性等要求，出现了片上系统（System On Chip, SOC）的概念，并成为现代集成电路设计的发展方向。SOC 是指在单芯片上集成数字信号处理器、微控制器、存储器、数据转换器、接口电路等电路模块，可以直接实现信号采集、转换、存储、处理等功能，其中知识产权核（Intellectual Property Core, IP Core）设计是 SOC 设计的基础。

IP 核是指具有知识产权的、功能具体、接口规范、可在多个集成电路设计中重复使用的功能模块，是实现系统芯片（SOC）的基本构件。IP 核在功能设计上考虑了可重用性，验证方法也非常明确。IP 核模块有行为（Behavior）、结构（Structure）和物理（Physical）3 级不同程度的设计，对应描述功能行为的不同分为三类，即软核（Soft IP Core）、完成结构描述的固核（Firm IP Core）和基于物理描述并经过工艺验证的硬核（Hard IP Core）。

- IP 软核（Soft IP Core）：通常是用硬件描述语言（hardware Description Language, HDL）文本形式提交给用户，它经过 RTL 级设计优化和功能验证，但其中不含有任何具体的物理信息。据此，用户可以综合出正确的门电路级设计网表，并可以进行后续的结构设计，具有很大的灵活性，借助于 EDA 综合工具可以很容易地与其他外部逻辑电路合成一体，根据各种不同半导体工艺，设计成具有不同性能的器件。其主要缺点是缺乏对时序、面积和功耗的预见性。而且 IP 软核以源代码的形式提供的，IP 知识产权不易保护。
- IP 硬核（Hard IP Core）是基于半导体工艺的物理设计，已有固定的拓扑布局和具体工艺，并已经过工艺验证，具有可保证的性能。其提供给用户的形式是电路物理结构掩模版图和全套工艺文件。由于无需提供寄存器转移级（Register transfer level, RTL）文件，因而更易于实现 IP 保护。其缺点是灵活性和可移植性差。
- IP 固核（Firm IP Core）的设计程度则是介于软核和硬核之间，除了完成软核所有

的设计外,还完成了门级电路综合和时序仿真等设计环节。一般以门级电路网表的形式提供给用户。

IC 设计中采用 IP 复用可以缩短产品的开发周期,提高产品的可靠性。全球 IP 核市场目前处于快速成长的阶段,1999 年到 2004 年的增长率高达 43%。2001 年全球 IP 核市场规模达 8.9 亿美元,较 2000 年的 7.1 亿美元增长了 25%。在十大 IP 供应商排行中,ARM、Rambus 和 MIPS 居前 3 位。

为了保护 IP 核的开发者与使用者,同时建立良好的 IP 核技术基础,全球各界已筹备了许多策略联盟,如 EDA 联盟、RAPID 联盟、VCX 联盟与 VSIA 联盟等,来积极推动 IP 核的开发、应用及推广。其中 EDA 联盟主要由提供集成电路自动化设计软件的公司所组成,主要工作是要提升集成电路设计产业对 EDA 软件功能的认知与肯定,同时建立 EDA 公司与集成电路设计公司沟通交流渠道与解决集成电路产业所面临的问题,所以 EDA 联盟主要是以如何提供更好的 EDA 软件工具为主,也处理一部分 IP 核使用标准的问题。而 VSIA 联盟主要是针对 IP 核可复用性进行规范,希望建立一个共性标准,以方便实现将不同公司的 IP 核整合于一个 SOC 芯片中。VSIA 联盟针对 IP 核的定义、开发、授权及测试等建立了一个公开的共性规范。

### 1.1.3 嵌入式系统的组成

嵌入式系统是一种应用范围非常广泛的系统。可以说除了一般用途的计算机外的所有计算机都属于嵌入式系统,例如从便携式音乐播放器到航天飞机上的实时系统控制都属于嵌入式系统。

大多数商用的嵌入式系统都设计成专用任务的低成本的产品。大多数的嵌入式系统都具有实时性的要求。有些功能需要非常快的主频,但其他大多数功能并不需要高速的处理能力。这些系统通过特定的器件和软件来满足实时性的要求。

简单地通过速度和成本来定义嵌入式系统是困难的,但对于大批量的产品而言,成本常常对系统设计起决定作用。通常,一个嵌入式系统的很多部分相对于系统主要功能来说需要较低的性能,因此嵌入式系统和通用 PC 相比,能够使用一个可满足辅助功能的合适的 CPU,从而简化了系统设计,降低了成本。例如,数字电视的机顶盒需要处理每秒以百万兆位计连续数据的连续数据,但数据处理大部分是由定制的硬件来实现的,如解析、管理和编解码多个频道的数字影像。

对于大批量生产的嵌入式系统,如便携式音乐播放器或手机等,降低成本就成为最主要的问题。这些系统通常只具有几个芯片:一个高度集成的 CPU,一个定制的芯片用于控制其他所有的功能,还有一个存储芯片。在这种设计中,每部分都设计成使用最小的系统功耗。

对于小批量的嵌入式应用，为了降低开发成本，常常使用 PC 体系结构，通过限制程序的执行时间或用实时操作系统来替换原先的操作系统。在这种情况下，可以使用一个或多个高性能的 CPU 来替换特殊用途的硬件。

嵌入式系统的软件通常运行在有限的硬件资源上：没有硬盘、操作系统、键盘或屏幕。软件一般都没有文件系统，如果有，也会采用 Flash 驱动器。如果有人机交互接口，也是一个小键盘或液晶显示器。硬件是计算机的物理部分，和存储在硬件中的计算机软件程序及数据区分开来。

嵌入到机械中的嵌入式系统需要长期无故障连续运行，因此它的软件需要比 PC 中的软件更加仔细的开发和更加严格的测试。

那么，到底什么是嵌入式系统呢？

### 1. 嵌入式系统的定义

根据 IEEE（国际电气和电子工程师协会）的定义，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”。这主要是从应用上加以定义的，从中可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体，还可以涵盖机械等附属装置。

目前国内一个普遍被认同的定义是：以应用为中心、以计算机技术为基础，软件硬件可裁剪，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

可以这样认为，嵌入式系统是一种专用的计算机系统，作为装置或设备的一部分。通常，嵌入式系统是一个控制程序存储在 ROM 中的嵌入式处理器控制板。事实上，所有带有数字接口的设备，如手表、微波炉、录像机、汽车等，都使用嵌入式系统，有些嵌入式系统还包含操作系统，但大多数嵌入式系统都是由单个程序实现整个控制逻辑。

### 2. 嵌入式系统的组成

一个嵌入式系统装置一般都由嵌入式计算机系统和执行装置组成，如图 1-1 所示，嵌入式计算机系统是整个嵌入式系统的核心，由硬件层、中间层、系统软件层和应用软件层组成。执行装置也称为被控对象，它可以接受嵌入式计算机系统发出的控制命令，执行所规定的操作或任务。执行装置可以很简单，如手机上的一个微小型的电机，当手机处于震动接收状态时打开；也可以很复杂，如 SONY 智能机器狗，上面集成了多个微小型控制电机和多种传感器，从而可以执行各种复杂的动作和感受各种状态信息。

下面对嵌入式计算机系统的组成进行介绍。

#### 1) 硬件层

硬件层中包含嵌入式微处理器、存储器（SDRAM、ROM、Flash 等）、通用设备接口和 I/O 接口（A/D、D/A、I/O 等）。在一片嵌入式处理器基础上添加电源电路、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。其中操作系统和应用程序都可以固化在 ROM 中。

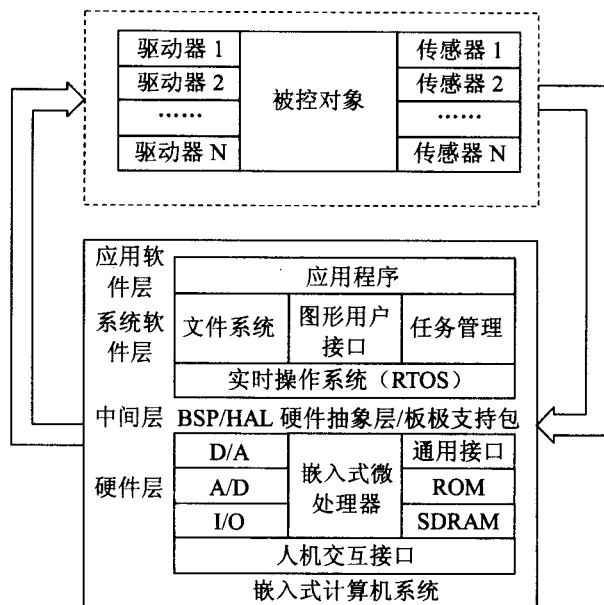


图 1-1 嵌入式系统的典型组成

### (1) 嵌入式微处理器

嵌入式系统硬件层的核心是嵌入式微处理器，嵌入式微处理器与通用 CPU 最大的不同在于嵌入式微处理器大多工作在为特定用户群所专门设计的系统中，它将通用 CPU 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。

嵌入式微处理器的体系结构可以采用冯·诺依曼体系结构或哈佛体系结构；指令系统可以选用精简指令系统 (Reduced Instruction Set Computer, RISC) 和复杂指令集系统 CISC (Complex Instruction Set Computer, CISC)。CISC 计算机具有大量的指令和寻址方式，但大多数程序只使用少量的指令就能够运行；RISC 计算机在通道中只包含最有用的指令，确保数据通道快速执行每一条指令，从而提高了执行效率并使 CPU 硬件结构设计变得更为简单。

嵌入式微处理器有各种不同的体系，即使在同一体系中也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。据不完全统计，目前全世界嵌入式微处理器已经超过 1000 多种，体系结构有 30 多个系列，其中主流的体系有 ARM、MIPS、PowerPC、X86 和 SH 等。但与全球 PC 市场不同的是，没有一种嵌入式微处理器可以主导市场，仅以 32 位的产品而言，就有 100 种以上的嵌入式微处理器。嵌入式微处理器的选择是根据具体

的应用而决定的。

## (2) 存储器

嵌入式系统需要存储器来存放和执行代码。嵌入式系统的存储器包含 Cache、主存和辅助存储器，其存储结构如图 1-2 所示。

### ① Cache

Cache 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，存放的是最近一段时间微处理器使用最多的程序代码和数据。在需要进行数据读取操作时，微处理器尽可能的从 Cache 中读取数据，而不是从主存中读取，这样就大大改善了系统的性能，提高了微处理器和主存之间的数据传输速率。Cache 的主要目标就是：减小存储器（如主存和辅助存储器）给微处理器内核造成的存储器访问瓶颈，使处理速度更快，实时性更强。

在嵌入式系统中 Cache 全部集成在嵌入式微处理器内，可分为数据 Cache、指令 Cache 或混合 Cache，Cache 的大小依不同处理器而定。一般中高档的嵌入式微处理器才会把 Cache 集成进去。

### ② 主存

主存是嵌入式微处理器能直接访问的寄存器，用来存放系统和用户的程序及数据。它可以位于微处理器的内部或外部，其容量为 256KB~1GB，根据具体的应用而定，一般片内存储器容量小，速度快，片外存储器容量大。

常用作主存的存储器有：

- ROM 类 NOR Flash、EPROM 和 PROM 等。
- RAM 类 SRAM、DRAM 和 SDRAM 等。

其中 NOR Flash 凭借其可擦写次数多、存储速度快、存储容量大、价格便宜等优点，在嵌入式领域内得到了广泛应用。

### ③ 辅助存储器

辅助存储器用来存放大数据量的程序代码或信息，它的容量大，但读取速度与主存相比就慢得多，用来长期保存用户的信息。

嵌入式系统中常用的外存有：硬盘、NAND Flash、CF 卡、MMC 和 SD 卡等。

## (3) 通用设备接口和 I/O 接口

嵌入式系统和外界交互需要一定形式的通用设备接口，如 A/D、D/A、I/O 等，外设通过和片外其他设备的或传感器的连接来实现微处理器的输入/输出功能。每个外设通常都只有单一的功能，它可以在芯片外也可以内置在芯片中。外设的种类很多，可从一个简单的

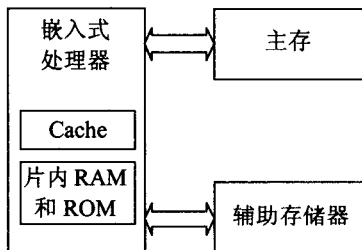


图 1-2 嵌入式系统的存储结构



串行通信设备到非常复杂的 802.11 无线设备。

目前嵌入式系统中常用的通用设备接口有 A/D（模/数转换接口）、D/A（数/模转换接口）、I/O 接口有 RS-232 接口（串行通信接口）、Ethernet（以太网接口）、USB（通用串行总线接口）、音频接口、VGA 视频输出接口、I2C（现场总线）、SPI（串行外围设备接口）和 IrDA（红外线接口）等。

## 2) 中间层

硬件层和软件层之间为中间层，也称为硬件抽象层（Hardware Abstract Layer, HAL）或板级支持包（Board Support Package, BSP），它将系统上层软件与底层硬件分离开来，使系统的底层驱动程序与硬件无关，上层软件开发人员无需关心底层硬件的具体情况，根据 BSP 层提供的接口即可进行开发。该层一般包含相关底层硬件的初始化、数据的输入/输出操作和硬件设备的配置等功能。BSP 具有以下两个特点。

- 硬件相关性：因为嵌入式实时系统的硬件环境具有应用相关性，而作为上层软件与硬件平台之间的接口，BSP 需要为操作系统提供操作和控制具体硬件的方法。
- 操作系统相关性：不同的操作系统具有各自的软件层次结构，因此，不同的操作系统具有特定的硬件接口形式。

在实现上，BSP 是一个介于操作系统和底层硬件之间的软件层次，包括了系统中大部分与硬件联系紧密的软件模块。设计一个完整的 BSP 需要完成两部分工作：嵌入式系统的硬件初始化以及 BSP 功能，设计硬件相关的设备驱动。

### (1) 嵌入式系统硬件初始化

系统初始化过程可以分为 3 个主要环节，按照自底向上、从硬件到软件的次序依次为：片级初始化、板级初始化和系统级初始化。

#### • 片级初始化

完成嵌入式微处理器的初始化，包括设置嵌入式微处理器的核心寄存器和控制寄存器、嵌入式微处理器核心工作模式和嵌入式微处理器的局部总线模式等。片级初始化把嵌入式微处理器从上电时的默认状态逐步设置成系统所要求的工作状态。这是一个纯硬件的初始化过程。

#### • 板级初始化

完成嵌入式微处理器以外的其他硬件设备的初始化。另外，还需设置某些软件的数据结构和参数，为随后的系统级初始化和应用程序的运行建立硬件和软件环境。这是一个同时包含软硬件两部分在内的初始化过程。

#### • 系统级初始化

该初始化过程以软件初始化为主，主要进行操作系统的初始化。BSP 将对嵌入式微处理器的控制权转交给嵌入式操作系统，由操作系统完成余下的初始化操作，包含加载和初