

Embded System and Application

嵌入式系统及应用

陈建明 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

嵌入式系统及应用

陈建明 主编
陈建明 王洪艳 罗晓玲 编著
张晶晶 王子强 陈 颂

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要介绍了嵌入式系统、嵌入式处理器和嵌入式操作系统的一般原理，把嵌入式系统一般内容与单片机具体内容融合在一起，注重可读性、实用性，并加入装备应用实例。每章编写时首先说明嵌入式系统的相关概念，然后以单片机作为例子展开应用。

全书共分 10 章，依次为概论、嵌入式处理器、嵌入式软件基础、嵌入式高级语言基础、嵌入式系统的存储器、嵌入式系统的中断、定时器/计数器及应用、嵌入式 I/O 接口应用、A/D 与 D/A 应用、嵌入式系统综合应用等。

本书可作为高等院校机械、电子、通信、计算机等专业高年级本科生的参考教材，也可供从事嵌入式系统设计的工程技术人员作为参考书使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

嵌入式系统及应用 / 陈建明主编. —北京: 国防工业出版社, 2017.2

ISBN 978-7-118-11151-4

I. ①嵌… II. ①陈… III. ①微型计算机—系统设计
IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 012982 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 17½ 字数 336 千字

2017 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 78.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

前 言

21 世纪是嵌入式系统飞速发展的时代,人们日常生活和工作中所接触的仪器与设备中,很多都嵌入具有强大计算能力的嵌入式微处理器。今天的嵌入式系统基本硬件构件已很复杂,其应用需求也比以前复杂得多,如希望支持多媒体信号的处理及接入因特网,因而软件设计的复杂性成倍增加。随着 Windows CE、Linux、Android 等嵌入式操作系统软件的快速发展,一方面为复杂功能的嵌入式应用系统开发带来便利,另一方面也对开发人员带来更高的要求。实际上,今天嵌入式系统的设计,已经涵盖硬件设计和软件设计(包括硬件层软件设计、驱动层软件设计、操作系统移植和应用层软件设计),其复杂性和快速发展对高等院校相关专业教学工作以及工程技术人员开发工作都带来巨大挑战。

在这样的背景下,我们编写本书以帮助读者对嵌入式系统有一个比较清醒的认识,为嵌入式系统的设计与开发提供参考。全书共分 10 章,较完整地讲述了嵌入式系统的各组成部件的工作原理、应用开发与编程。

第 1 章主要讲述嵌入式系统的基本概念、特点、组成及应用,使读者对嵌入式系统有一个基本认识,建立起一个完整的概念。

第 2 章主要介绍嵌入式处理器的基本概念,从分类的角度详细说明目前嵌入式处理器的基本特征,探讨了嵌入式处理器的发展趋势,并以 MCS-51 单片机为例重点讲述了嵌入式处理器的基本原理、最小系统及时序概念。

第 3 章主要介绍嵌入式软件的基本概念、嵌入式操作系统的基本知识,以及嵌入式软件的开发流程,并详细介绍了目前常用的几种嵌入式操作系统。

第 4 章主要介绍以 C51 为代表的嵌入式高级语言的基本知识、C51 语言与标准 C 语言的不同点以及如何使用 C51 语言进行程序设计。

第 5 章首先讲述了嵌入式存储器的基本概念,并对嵌入式存储器的结构、分类、性能指标等进行了说明,最后以 MCS-51 单片机为例,详细介绍了嵌入式系统存储器的扩展设计。

第 6 章重点介绍中断的基本概念、中断处理的流程,然后介绍 MCS-51 单片机的中断系统结构、中断控制原理及应用。

第 7 章首先讲述定时器/计数器的基本概念,以 MCS-51 单片机为例,讲述定时器/计数器结构、工作原理及应用编程。

第 8 章介绍了 I/O 接口的几个基本概念、I/O 端口编址方式及 CPU 与外设间

的数据传送方式。以 MCS-51 单片机为例，详细讲述了 I/O 并行通道的扩展方式；介绍了串行接口基本结构、工作方式及应用编程。最后以装备为例，说明嵌入式 I/O 接口的应用。

第 9 章主要介绍了 A/D、D/A 的基本原理、分类及性能指标，采用典型的芯片 ADC0809、AD574 和 DAC0832 等作为经典例程来学习 A/D、D/A。

第 10 章通过典型实例讲解嵌入式系统的设计原理，然后给出硬件电路图，再详细提供程序代码。

本书的作者都是教学和科研一线的骨干教师，具有多年从事嵌入式系统教学和开发经验。全书由陈建明教授担任主编，参与编写的有王洪艳副教授和罗晓玲讲师，其中第 1 章~第 3 章、第 7 章和第 10 章由陈建明编写，第 6 章、第 8 章、第 9 章由王洪艳编写，第 4 章、第 5 章由罗晓玲编写，张晶晶参与了部分章节的编写和全书的图片及文字的审校，王子强、陈颂参与了部分实验设计及资料的收集和整理，最后由陈建明教授对全书内容梳理和统稿。

由于时间紧迫，书中错误和疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正，并与作者本人联系（邮箱 cchjm@163.com）。

作者
2016 年 11 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 嵌入式系统的概念	1
1.2 嵌入式系统的分类	4
1.3 嵌入式系统的基本组成	5
1.4 嵌入式系统的开发	6
1.5 嵌入式系统的应用	7
1.6 嵌入式系统的发展	10
习题 1	11
第 2 章 嵌入式处理器	12
2.1 嵌入式处理器的特征	12
2.2 嵌入式处理器的分类	13
2.2.1 基于单片机的嵌入式微处理器	13
2.2.2 基于 DSP 的嵌入式微处理器	15
2.2.3 基于 ARM 的嵌入式微处理器	17
2.2.4 基于通用 CPU 的嵌入式微处理器	19
2.2.5 基于 SoC 的嵌入式微处理器	19
2.3 嵌入式处理器的发展趋势	20
2.4 嵌入式处理器内部结构——单片机 MCS-51	22
2.4.1 单片机概述	22
2.4.2 单片机 CPU 结构	24
2.4.3 单片机存储结构	27
2.4.4 单片机并行 I/O 端口结构及原理	32
2.4.5 MCS-51 单片机其他资源配置	35
2.5 嵌入式处理器最小系统	37
2.5.1 单片机管脚及功能	37
2.5.2 单片机最小系统	39
2.6 嵌入式处理器时序	41
2.6.1 单片机时序单位	41

2.6.2	单片机指令时序	42
2.7	嵌入式处理器行业分析	46
	习题 2	48
第 3 章	嵌入式软件基础	49
3.1	嵌入式软件的基本概念	49
3.1.1	嵌入式软件的定义	49
3.1.2	嵌入式软件分类	49
3.1.3	嵌入式软件的特征	51
3.2	嵌入式操作系统基础	51
3.2.1	嵌入式操作系统的概念	52
3.2.2	嵌入式操作系统的发展	53
3.2.3	嵌入式操作系统的分类	55
3.2.4	嵌入式操作系统的选择	56
3.3	几种典型的嵌入式操作系统	57
3.3.1	嵌入式 Linux	57
3.3.2	VxWorks	59
3.3.3	Windows CE	60
3.3.4	其他嵌入式操作系统	64
3.4	嵌入式应用软件的开发方法	65
3.4.1	嵌入式应用软件开发流程	65
3.4.2	嵌入式应用软件开发方法	67
	习题 3	69
第 4 章	嵌入式高级语言基础	70
4.1	嵌入式高级语言简介	70
4.1.1	高级语言编程优势	70
4.1.2	C51 语言简介	71
4.2	C51 语言基础	73
4.2.1	C51 中的标识符和关键字	73
4.2.2	C51 中的数据类型	75
4.2.3	C51 中的运算符	79
4.2.4	C51 中的基础语句	80
4.2.5	C51 中的数组与指针	81
4.2.6	数据存储类型与存储模式	84
4.2.7	绝对地址访问	87

4.3	C51 语言的函数	90
4.3.1	函数的定义与调用	90
4.3.2	重入函数	91
4.3.3	中断服务函数	92
4.3.4	库函数	93
4.4	C51 语言程序设计	93
	习题 4	98
第 5 章	嵌入式系统的存储器	100
5.1	嵌入式系统存储器的结构	100
5.1.1	存储器结构	100
5.1.2	嵌入式系统存储器结构	101
5.2	嵌入式系统存储器的性能指标	102
5.3	嵌入式系统存储器的分类	104
5.4	嵌入式系统存储器的选择	107
5.5	嵌入式系统存储器设计	109
5.5.1	存储器设计概述	109
5.5.2	存储器地址空间分配	110
5.5.3	存储器扩展基础	113
5.5.4	程序存储器扩展设计	114
5.5.5	数据存储器扩展设计	117
5.6	嵌入式系统存储器应用实例	120
	习题 5	123
第 6 章	嵌入式系统的中断	124
6.1	嵌入式中断的概念	124
6.1.1	中断的定义	124
6.1.2	中断源及其分类	125
6.1.3	中断优先级	126
6.1.4	中断嵌套	126
6.1.5	中断屏蔽	127
6.2	中断处理的一般工作过程	127
6.2.1	中断请求	127
6.2.2	中断判优	127
6.2.3	中断响应	129
6.2.4	中断服务	129
6.2.5	中断返回	129

6.3	MCS-51 单片机中断系统	130
6.3.1	单片机中断系统的结构	130
6.3.2	中断源及中断请求标志	131
6.3.3	中断控制	133
6.3.4	中断响应过程	136
6.3.5	外部中断的触发方式	138
6.3.6	中断请求的撤销	139
6.4	MCS-51 中断服务子程序的设计	140
6.4.1	中断服务子程序的编写格式	141
6.4.2	中断服务子程序实例	141
6.5	MCS-51 对外部中断的扩展	144
6.5.1	扩展外部中断源的设计	144
6.5.2	装备应用实例	145
	习题 6	146
第 7 章	定时器/计数器及应用	148
7.1	概述	148
7.2	定时器/计数器的结构及原理	149
7.3	定时器/计数器的工作方式	152
7.3.1	定时器/计数器工作方式 0	152
7.3.2	定时器/计数器工作方式 1	155
7.3.3	定时器/计数器工作方式 2	158
7.3.4	定时器/计数器工作方式 3	160
7.4	定时器/计数器的简单应用	163
7.4.1	定时器/计数器编程总结	163
7.4.2	定时器/计数器简单应用中的问题	164
7.4.3	定时器/计数器在装备中的应用	168
	习题 7	171
第 8 章	嵌入式 I/O 接口应用	172
8.1	I/O 接口概述	172
8.1.1	基本概念	172
8.1.2	I/O 端口编址	175
8.1.3	CPU 与外设间的数据传送方式	176
8.2	单片机的外部 I/O 通道及扩展	179
8.2.1	I/O 通道扩展概述	179
8.2.2	利用标准的 TTL 电路扩展可编程 I/O 通道	181

8.3	串行接口及应用	185
8.3.1	通信基础知识	185
8.3.2	MCS-51 单片机串行通信	188
8.3.3	串行接口的工作方式及应用编程	191
8.4	串行通信协议	202
8.4.1	串行通信协议	202
8.4.2	常用接口芯片	206
8.5	装备应用实例	209
8.5.1	并行接口应用	209
8.5.2	串行接口应用	210
	习题 8	211
第 9 章	A/D 与 D/A 应用	212
9.1	D/A 转换器及应用	213
9.1.1	D/A 转换器	213
9.1.2	典型的 D/A 转换器及应用	214
9.2	A/D 转换器及应用	220
9.2.1	A/D 转换器	220
9.2.2	典型的 A/D 转换器及应用	222
9.3	装备应用实例	228
	习题 9	235
第 10 章	嵌入式系统综合应用	236
10.1	单片机数字滤波	236
10.1.1	功能描述	236
10.1.2	算法原理及程序实现	237
10.2	频率检测与输出	241
10.2.1	功能描述	241
10.2.2	设计原理	242
10.2.3	电路设计	243
10.2.4	程序设计	244
10.3	单片机与 PC 机的串行通信	246
10.3.1	功能描述	246
10.3.2	设计原理	246
10.3.3	电路设计	247
10.3.4	程序设计	249

10.4 键盘接口设计	250
10.4.1 功能描述	250
10.4.2 设计原理	250
10.4.3 电路设计	252
10.4.4 程序设计	253
10.5 显示接口设计	257
10.5.1 功能描述	257
10.5.2 串行口扩展的4位LED显示	259
10.5.3 LED数码管动态显示设计	262
附录 C51库函数	264
参考文献	267

第 1 章 概 论

近年来，嵌入式系统的应用遍布人们工作、生活、娱乐等各个领域，给人们带来了便利的同时也带来无尽的乐趣。芯片技术的发展使得单个芯片具有更强的处理能力，而且也使得芯片内部集成更多的接口成为可能，给系统设计者带来了极大的方便。由于应用的需要，对产品的功能、成本、可靠性、更新换代等提出了更高的要求，嵌入式系统逐渐成为人们应用的主流。

本章主要讲述嵌入式系统的基本概念、特点、组成及应用，使读者对嵌入式系统有一个基本认识，建立起一个完整的概念。

1.1 嵌入式系统的概念

1. 嵌入式系统的定义

嵌入式系统一般指非 PC 系统，是一种嵌入了计算机硬件与软件作为其最重要的一部分的系统。许多教材或文献对其有各种定义。

定义 1：“An embedded system is a computer system contained within some larger device or product with the intent purpose of providing monitoring and control services to that device.”

定义 2：“Any sort of device which includes a programmable computer but itself is not intended to be a general-purpose computer.”(Wayne Wolf 在他的著作“Computers as Components-Principles of Embedded Computing System Design”中描述)

定义 3：“Device used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants.”(IEEE 的定义)

国内许多学者通过不断地应用实践，对嵌入式系统普遍认同如下定义：“以应用为中心，以计算机技术为基础，软硬件可裁减，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等综合性严格要求的专用计算机系统。”

该定义描述了嵌入式系统包含的基本要素。简言之，嵌入式系统是面向应用的专用计算机系统，是将先进的计算机技术、半导体技术、电子技术和各个行业的具体应用相结合的产物，这就决定了它必然是一个技术密集、知识密集、不断创新的集成系统。

由以上的定义应注意：专用性、软硬件可裁减、具有特定应用的计算机系统。

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单元，这个大系统可以共存多个嵌入式系统。

嵌入式系统几乎包括了生活中的所有电器设备，如掌上 PDA、移动计算设备、电视机顶盒、手机上网、数字电视、多媒体、汽车、微波炉、数字相机、家庭自动化系统、电梯、空调、安全系统、自动售货机、蜂窝式电话、消费电子设备、工业自动化仪表与医疗仪器等。

2. 嵌入式系统的特点

嵌入式系统实际上就是一个计算机系统，但是，与我们通常使用的计算机系统相比具有它的特殊性。

(1) 嵌入式系统是专用系统，与应用密切相关。

嵌入式系统是面向应用、面向产品、面向用户的，嵌入式处理器的功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力以及电磁兼容等都受应用环境的约束。

(2) 嵌入式系统的资源受限。

尽管半导体技术的发展，使得处理器速度不断提高，芯片内部的存储容量不断增加，但根据应用不同，大多数情况下，处理速度、存储资源仍然很宝贵。由于嵌入式系统有实时性要求，对操作系统、应用软件编程有较高的要求，尽量用较少的存储空间、较高的编码质量以提高执行效率。

(3) 嵌入式系统软件故障带来的后果严重。

不像 PC 机系统，一旦软件出现“死机”，通过软件界面可以观察到具体情况，但嵌入式系统一般嵌入到大系统中，没有人机界面，无法看到软件故障现象，有的嵌入式系统运行在无人值守环境，一旦发生故障后果严重。因此，嵌入式系统对软件质量有很高的要求。

(4) 嵌入式系统一般采用实时操作系统。

嵌入式系统大部分是实时系统，在多任务嵌入式系统中，对优先级各不相同的任务进行合理调度是保证每个任务及时且正常运行的关键，这种任务调度一般由操作系统来完成，因而要求操作系统是实时性的。

(5) 嵌入式系统大都有成本、功耗的要求。

有很多嵌入式系统的宿主对象都是一些小型应用系统，如移动电话、PDA、MP3、数码相机等，这些设备成本受限，且不可能配备容量较大的电源，低功耗是其追求的目标。飞机、坦克、舰船内部的某些控制单元等为了降低系统的功耗，这些控制单元也需低功耗设计。嵌入式系统中的软件一般不存储于磁盘等载体中，而都固化在存储器芯片或单片系统的存储器之中，同样达到降低功耗和成本的目的。

(6) 嵌入式系统软硬件可裁剪性。

嵌入式系统从专用性的特点来看，作为嵌入式系统的设计者，理应提供各式各样的硬件和软件以备选用。但是，这样做势必会提高产品的成本。为了既不提

高成本,又满足专用性的需要,嵌入式系统的设计者必须采取相应措施使产品在通用和专用之间进行某种平衡。目前的做法是:把嵌入式系统硬件和操作系统设计成可裁剪的,以便使嵌入式系统开发人员根据实际应用需要来量体裁衣,去除冗余,从而使系统在满足应用要求的前提下达到最精简的配置。

(7) 嵌入式系统得到多种微处理体系的支持。

目前,支持嵌入式系统的微处理器有许多种,如 TI 公司 DSP 体系、ARM 公司的 ARM 系列、Intel 公司的单片机系列等。嵌入式系统还支持多处理器,如手机中“DSP+ARM”多处理器体系等。

(8) 嵌入式系统需要专用的开发工具。

嵌入式系统本身不具备自举开发能力,系统设计完成后,用户也不能对其中的功能进行修改,必须有一套开发工具和环境才能进行开发。这些开发环境和工具都是基于 PC 机系统环境的,因而需要专门的开发工具。

3. 装备中的嵌入式系统

在装甲装备中,随着信息化程度的提高,大量的内部控制设备都是嵌入式系统,以下是几个重要的概念,如图 1-1 所示。

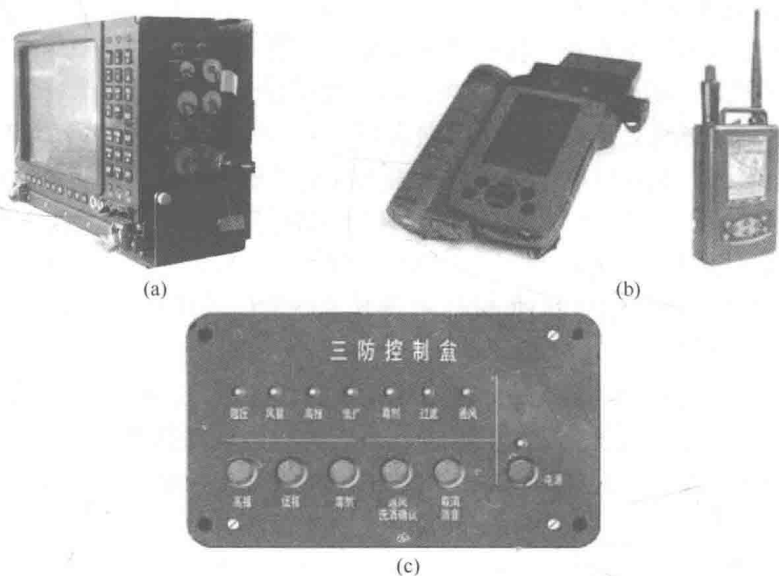


图 1-1 装备中的嵌入式系统

(a) 车载一体计算机; (b) 单兵信息终端; (c) 任务控制器。

车载一体计算机: 主要应用于坦克、步兵战车、自行火炮、自行高炮等装甲武器装备平台和工程、防化、后勤、装备抢修等特业保障车辆上,它是各种武器平台的信息终端设备。

单兵信息终端: 主要配备给指挥车辆和特种作战士兵,供脱离指挥、战斗车

辆后单独行动时使用。它集成了电话、电视和计算机的基本功能，能够保障单兵完成语音、文字、图像与视频等不同媒体业务处理和对指定用户进行信息交互。

任务控制器：用于完成某一特定任务的控制设备，由单片机、存储器、外围元件等组成，如发动机控制器、电台控制器、三防控制器等。

1.2 嵌入式系统的分类

1. 嵌入式系统与实时系统

IEEE 给实时系统做过如下定义：实时系统为“那些正确性不仅取决于计算的逻辑结果，也取决于产生结果所花费的时间的系统”。也就是说，实时嵌入式系统必须在一个可预测、可保证的时间段内做出对外部事件的反应。如果没有达到上述要求，那么，系统就会做出错误的操作。

根据嵌入式系统和实时系统的定义，不难得出：嵌入式系统不一定是实时系统，但实时系统一般都是嵌入式系统。其实在实际应用系统中，都把嵌入式系统看做实时系统来考虑。

2. 嵌入式系统分类

(1) 按处理器位宽分类。按处理器位宽可将嵌入式系统分为 4 位、8 位、16 位、32 位系统，一般情况下，位宽越大，性能越强。

对于通用计算机处理器，因为要追求尽可能高的性能，在发展历程中总是高位宽处理器取代、淘汰低位宽处理器。嵌入式处理器不同，千差万别的应用对处理器的要求也大不相同，因此不同性能处理器都有各自的用武之地。

(2) 按有无操作系统分类。现代通用计算机中，操作系统是必不可少的系统软件。在嵌入式系统中则有两种情况：有操作系统的嵌入式系统和无操作系统（裸机）的嵌入式系统。

在有操作系统支持的情况下，嵌入式系统的任务管理、内存管理、设备管理、文件管理等都由操作系统完成，并且操作系统为应用软件提供丰富的编程接口，用户应用软件开发可以把精力都放在具体的应用设计上，这与在 PC 上开发软件相似。

在一些功能单一的嵌入式系统中，如基于 8051 单片机嵌入式系统，硬件平台很简单，系统不需要支持复杂的显示、通信协议、文件系统、多任务的管理等，这种情况下可以不用操作系统。

(3) 按确定性分类。

① 硬实时系统 (Hard Real Time)。系统对系统响应时间有严格的要求，如果系统响应时间不能满足，就要引起系统崩溃或致命的错误。

例如，网络中的交换机，当你在互联网上冲浪时，交换机速度很快，你感觉不到交换机的交换时间消耗。你访问一个网站，需要经过无数次交换过程，如果

其中一个交换机的交换服务速度下降，将导致访问速度的下降，甚至导致网络的瘫痪而中断。

② 软实时系统 (Soft Real Time)。系统对系统响应时间有要求，但是如果系统响应时间不能满足，不会导致系统出现致命的错误或崩溃。

例如，PDA、手机，PDA、手机支持很多应用软件，这些应用软件的响应时间只要用户可以接受即可。

③ 严格实时系统 (Firm Real Time)。系统对系统响应时间有严格的要求，如果系统响应时间不能满足，就要导致无法接受的低质量服务。

例如，视频点播，宽带视频点播一般可以达到 512K，视频效果基本可以观看。如果宽带视频速度只能达到 128K，你能忍受吗？

④ 非实时系统 (Non Real Time)。系统对系统响应时间没有实时要求。

1.3 嵌入式系统的基本组成

1. 嵌入式系统的组成

如图 1-2 所示，嵌入式系统通常由软件和硬件两部分组成。其中硬件部分包括嵌入式微处理器、存储器、I/O 接口及输入/输出模块。嵌入式系统有别于一般的计算机处理系统，它不具备像硬盘那样大容量的存储介质，而大多使用 EPROM、EEPROM 或闪存 (Flash Memory) 作为存储介质。软件部分包括嵌入式操作系统 (要求实时和多任务操作) 和应用程序，应用程序控制着系统的运作和行为，而操作系统控制着应用程序编程与硬件的交互作用。但对于某些嵌入式系统来说，操作系统是可选的，如以单片机作为嵌入式处理器的嵌入式系统，就没有操作系统，需要编程人员在应用程序中直接与硬件交互，完成操作系统的功能。

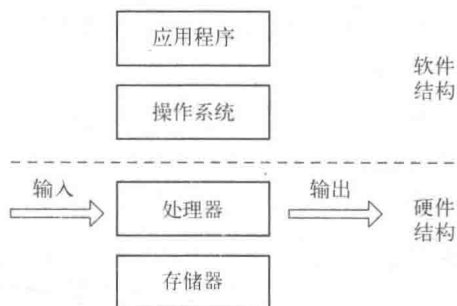


图 1-2 嵌入式系统组成

2. 嵌入式系统的层次结构

如图 1-3 所示，嵌入式系统的层次结构分成四层：功能层、软件层、中间层和硬件层。

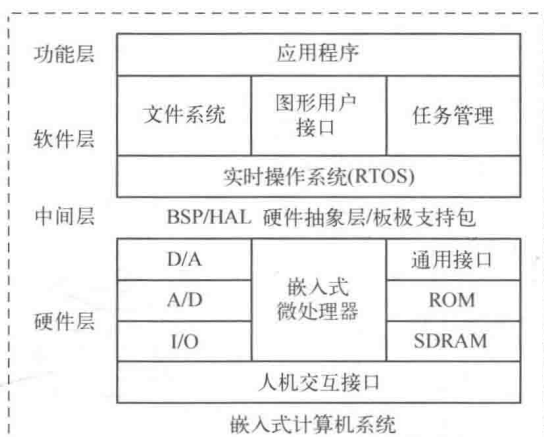


图 1-3 嵌入式系统的层次结构

(1) 功能层。用来实现对被控对象的控制功能，由所开发的应用程序组成，面向被控对象和用户。为方便用户操作，通常需要提供一个人机界面。

(2) 软件层。软件层通常包含实时操作系统 (Real Time Operation System, RTOS)、文件系统、图形用户接口 (Graphic User Interface, GUI)、网络系统及通用组件模块。RTOS 是嵌入式应用软件的基础和开发平台。

(3) 中间层。中间层位于硬件层和软件层之间，也称为硬件抽象层 (Hardware Abstract Layer, HAL) 或板级支持包 (Board Support Package, BSP)，将系统上层软件与底层硬件分离开来。BSP 作为上层软件与硬件平台之间的接口，需要为操作系统提供操作和控制具体硬件的方法。不同的操作系统具有各自的软件层次结构，BSP 需要为不同的操作系统提供特定的硬件接口形式。BSP 使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。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。BSP 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。

(4) 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)。硬件层通常是一个以嵌入式处理器为中心并包含电源电路、时钟电路和存储器电路的电路模块，其中操作系统和应用程序都固化在模块的 ROM 中。

1.4 嵌入式系统的开发

由于嵌入式系统本身不具有自主开发能力，在开发一个嵌入式系统时必须借助 PC 机，如图 1-4 所示。嵌入式系统的开发有以下几个步骤。

(1) 根据应用需要，确定软硬件结构及嵌入式微处理器类型与操作系统类型。