

高等学校教材

嵌入式 应用系统设计

葛纫秋 韩宇龙 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

TP360.21/29

高等学校教材

2008

嵌入式 应用系统设计

葛劬秋 韩宇龙 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书注重培养学生对嵌入式应用系统的分析、设计能力,重点介绍嵌入式系统的应用技术。本书内容深入浅出、通俗易懂,易于培养学生的学习兴趣。

在内容编排上,本书将实验指导与学习内容交织编写,结合具体的实验平台,安排了较多的实验,以培养学生的实际动手能力。这既方便教师教学,又便于学生自学,有利于学生实践能力的培养,同时也充分体现了“宽浅新用”和“精讲多练”的原则。

全书共分7章:第1章 概述,第2章 ARM 微处理器基础,第3章 ARM 指令系统与编程基础,第4章 嵌入式应用系统的设计,第5章 嵌入式应用系统的扩展接口电路,第6章 嵌入式 μ CLinux 及其应用开发,第7章 综合举例。

本书可作为高等院校本科电子类、计算机应用类专业的教材,也适合自学使用,还可供相关领域的工程技术人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式应用系统设计/葛勿秋,韩宇龙主编.

—北京:高等教育出版社,2008.2

ISBN 978-7-04-023007-9

I.嵌… II.①葛…②韩… 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(2008)第 008211 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	北京北苑印刷有限责任公司	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2008 年 2 月第 1 版
印 张	17	印 次	2008 年 2 月第 1 次印刷
字 数	320 000	定 价	21.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23007-00

本书可作为高等院校计算机专业及相关专业的教材，也可供从事嵌入式系统开发的工程技术人员参考。

清华大学出版社
2008年5月第1版

前 言

近几年嵌入式系统应用技术发展迅速，基于嵌入式系统的产品在各个领域都得到了广泛应用。本书在讲述嵌入式系统基础知识和应用系统设计技术的同时，重点讲述应用系统设计方法及调试工具。

编者在编写教材的过程中，始终遵循“宽浅新用”和“精讲多练”的原则，结合多年的教学和实践经验，同时结合嵌入式应用系统设计的实用技术，力求使教材内容精练、概念清晰。本书的主要特色是实例讲解与实验操作互相融合、渗透和促进。结合实例与实验，本书分别介绍了开发环境、程序设计、接口技术、系统设计技术及相关调试工具的应用。教材中实验的软硬件环境具有普遍性，方便组织实验教学；教材内容深入浅出、通俗易懂，有利于培养学生的学习兴趣，同时便于自学。

本书系统地介绍了嵌入式系统设计的理论、技术和应用。全书共分7章：第1章 概述，第2章 ARM微处理器基础，第3章 ARM指令系统与编程基础，第4章 嵌入式应用系统的设计，第5章 嵌入式应用系统的扩展接口电路，第6章 嵌入式 μ CLinux及其应用开发，第7章 综合举例。本书重点介绍嵌入式系统的技术应用，注重学生开发嵌入式系统的技术和应用能力的培养。本书在相应章节配有实验指导，教师可结合本校实验室的条件安排实验，这样既有利于教师教学，又有利于学生实践能力的培养。

本书由葛绉秋教授、韩宇龙老师担任主编，对全书进行构思与编写。李卫国、雷挺、王霞、潘皓收集、整理资料与应用实例，进行综合设计与实验验证。张延华教授担任了本书的主审，对全书的编写提出了不少宝贵意见。在此对他们的辛勤劳动深表感谢。

在本书的编写过程中，编者参阅了大量的与嵌入式系统领域相关的书

籍和文献，在此对这些文章的作者表示感谢。由于嵌入式技术和应用发展迅速，而且编者水平有限，书中难免有疏漏不妥之处，尚祈专家和读者不吝指正。

编 者

2007年8月

目 录

第1章

概 述

1.1 嵌入式系统	1
1.1.1 嵌入式系统的定义	2
1.1.2 嵌入式系统的发展历史	3
1.1.3 嵌入式系统的特点	5
1.1.4 典型嵌入式系统的基本组成	6
1.1.5 嵌入式系统的应用领域	7
1.2 嵌入式处理器	9
1.2.1 嵌入式微控制器	9
1.2.2 数字信号处理器	10
1.2.3 嵌入式微处理器	10
1.2.4 片上系统	11
1.3 嵌入式操作系统	12
1.4 嵌入式系统的开发流程	15
1.5 嵌入式系统的发展趋势	16

第2章

ARM 微处理器基础

2.1 ARM 微处理器概述	19
2.1.1 对 ARM 的认识	19
2.1.2 ARM 微处理器的应用领域及特点	20
2.1.3 ARM 微处理器系列	21
2.1.4 ARM 微处理器结构	22

2.1.5	ARM 芯片的应用选型	24
2.2	ARM7 微处理器的编程模型	25
2.2.1	指令长度及数据类型	27
2.2.2	ARM 体系结构的存储器格式	28
2.2.3	ARM 微处理器的工作状态	28
2.2.4	ARM 微处理器工作模式	29
2.2.5	寄存器组织	29
2.2.6	异常	34

第3章

ARM 指令系统与编程基础

3.1	ARM 指令系统	38
3.1.1	ARM 指令集概述	38
3.1.2	ARM 指令的寻址方式	42
3.1.3	ARM 指令集	46
3.1.4	Thumb 指令及其应用	58
3.2	ARM 程序设计基础	58
3.2.1	ARM 伪指令	58
3.2.2	汇编语言的语句格式	65
3.2.3	汇编语言的程序设计	67
3.2.4	汇编语言与 C/C++ 语言的混合编程	71
3.3	实验与练习	72
3.3.1	EL-ARM(DSP)-E100/830 教学实验系统简介(核心板资源)	72
3.3.2	实验一 ARM ADS1.2 集成开发环境的创建及简要介绍	74
3.3.3	实验二 ARM 的汇编语言程序设计	88
3.3.4	实验三 基于 ARM 的 C 语言程序设计	94

第4章

嵌入式应用系统的设计

4.1	嵌入式硬件系统设计概述	101
4.2	S3C44B0x 最小应用系统的设计	104
4.2.1	S3C44B0x 概述	105
4.2.2	S3C44B0x 的引脚分布及信号描述	107
4.2.3	S3C44B0x 最小应用系统	110
4.3	最小应用系统各单元电路设计	111
4.3.1	S3C44B0x 芯片引脚分析	111
4.3.2	电源电路设计	111

4.3.3	晶振电路与复位电路的设计	112
4.3.4	Flash 存储器接口电路的设计	113
4.3.5	SDRAM 接口电路的设计	118
4.3.6	UART 串行接口电路的设计	122
4.3.7	JTAG 接口调试电路的设计	123
4.4	其他常用接口电路的设计	125
4.4.1	10 M 以太网接口电路的设计	125
4.4.2	主/从 USB 接口电路的设计	130
4.5	印制电路板的设计	132
4.5.1	电源质量与分配	132
4.5.2	同类型信号线的分布	133
4.6	嵌入式应用系统的调试	133
4.6.1	电源、晶振及复位电路的调试	134
4.6.2	S3C44B0x 及 JTAG 接口电路的调试	134
4.6.3	SDRAM 接口电路的调试	135
4.6.4	Flash 接口电路的调试	136
4.6.5	10 M/100 M 以太网接口电路的调试	136

第 5 章

嵌入式应用系统的扩展接口电路

5.1	中断处理系统	139
5.1.1	ARM 中断系统	140
5.1.2	S3C44B0x 的定时器	143
5.1.3	S3C44B0x 的通用 I/O 端口	150
5.1.4	实验四 定时器中断控制的 LED 显示实验	152
5.2	键盘与七段数码管接口	157
5.2.1	通过 I/O 端口直接控制的键盘	157
5.2.2	键盘及七段数码管控制芯片 HD7279A	160
5.2.3	实验五 键盘和七段数码管控制实验	162
5.3	LCD 接口	168
5.3.1	S3C44B0x 中的 LCD 控制器	168
5.3.2	8 位彩色 LCD 显示原理	173
5.3.3	实验六 LCD 显示实验	179
5.4	模数 (A/D) 转换接口	184
5.4.1	A/D 转换器的工作原理	184
5.4.2	S3C44B0x 的 A/D 转换器	188

5.4.3 A/D 转换函数分析	190
5.4.4 实验七 A/D 转换接口实验	191

第6章

嵌入式 μ CLinux 及其应用开发

6.1 嵌入式操作系统 μ CLinux 概述	193
6.2 开发工具 GNU 的使用	195
6.2.1 GCC 编译器	195
6.2.2 GNU Make	197
6.2.3 使用 GDB 命令工具调试程序	202
6.3 建立 μ CLinux 开发环境	203
6.3.1 建立交叉编译器	203
6.3.2 μ CLinux 内核参数针对具体硬件电路的改动	206
6.3.3 编译 μ CLinux 内核	207
6.3.4 内核的加载运行	209
6.4 在 μ CLinux 下开发应用程序	210
6.4.1 一个简单程序的开发	210
6.4.2 添加应用程序到 μ CLinux 操作系统中	211

第7章

综合举例

7.1 便携式电子邮件收发装置	215
7.1.1 系统总体方案的设计	215
7.1.2 μ CLinux 开发	218
7.1.3 电子邮件的收取	231
7.1.4 电子邮件的发送	236
7.1.5 系统测试	239
7.1.6 系统的改进	241
7.2 家庭智能报警系统	242
7.3 停车场 IC 卡智能收费系统	247
7.3.1 系统的硬件结构	248
7.3.2 系统的软件结构	259
7.3.3 系统的完善和改进	261

参考文献	262
------------	-----

概 述

嵌入式系统是最近这几年很流行的一个词语，听起来似乎很专业，但实际上和人们的生产、生活息息相关。其实，人们的生活因为嵌入式系统而变得方便和实惠也不是最近这几年才开始的。那究竟什么是嵌入式系统，嵌入式系统又存在于人们生活中的哪些角落呢？可以从图 1-1 中获得一些初步的感受。

图 1-1 无处不在的嵌入式产品

如果看了图片以后认为嵌入式产品仅仅是人们身边的一些家电或者数码类消费品,那就大错特错了。其实嵌入式产品可以说是多的数不胜数,比如银行的ATM取款机,工业生产线上的机器手,甚至美国宇航局发射的火星探测机器人等,无一例外都属于嵌入式产品,也都属于现在要讨论的嵌入式系统的范畴。

1.1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式产品遍及生活的每一个角落,那究竟什么是嵌入式系统呢?

原则上讲,嵌入式系统是对所有形态各异、功能有别的嵌入式产品所具备的共同特征的抽象和概括。

IEEE(电气和电子工程师协会)组织对嵌入式系统下过定义,它的原文是:Devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants. 翻译成中文就是:用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置。

仔细揣摩这个定义可以发现,它主要是从应用的角度为嵌入式系统作出的定义。嵌入式系统是硬件和软件的综合体,同时还可以涵盖机电等附属装置。

除了IEEE组织对嵌入式系统的这个定义外,平时讲到嵌入式系统时,还会用到另外一个大家都比较认可的定义: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、功耗等方面的严格要求的专用计算机系统。这更多地是从技术层面对嵌入式系统作的一个定义。

单看这个定义就可以预见到嵌入式系统内涵的广度和深度。嵌入式系统的世界有多大?它只取决于人们对应用的想象力有多大。因为应用本身是没有止境的,思想可以触及的地方,不久之后的某一天嵌入式系统就会在那里定居、繁衍。

定义中提到的“专用计算机系统”是相对于现在的个人计算机系统提出的。个人计算机或者称为PC机,不管是台式机还是笔记本,它的应用领域是不受限制的:文字编辑可以用,平面设计师也可以用,电子工程师用它来设计印制电路板,数学家用它来做数学研究。彼此之间关联性并不明显的各个行业都在用个人计算机,当然不同的应用对计算机硬件配置的要求不同,计算机里面安装的专业软件也不同。而专用计算机系统则不同,如果让平面设计师用一个MP3播放器去做图像处理,或者让一台普通的打印机作为复印机使用,这些都是不可想象也是不可能完成的。虽然现在的智能手机功能越来越强大,手机开发商也试图把尽可能多的功能集成到手机当中去,比如听歌、拍照、上网、看电视等,但没有一家手机开发商敢期望有一天自己功能强大的手机占领各个领域的办公桌面,文字编辑用智能手机做专业的版面设计,地质工作者用同一款手机做地下矿藏测量数据分析,等等。

通过以上这些例子可以了解专用计算机系统和通用计算机系统的差异，对嵌入式系统也有了更深一步的认识。

1.1.2 嵌入式系统的发展历史

提到嵌入式系统，就要回顾一下它的发展历史。回顾历史，可以对嵌入式系统本身有更深刻地认识，有助于在纷繁复杂的嵌入式世界中把握住技术的主流和脉搏。

嵌入式系统可大可小，可深可浅，也可易可难。一个 MP3 播放器可以说是一个嵌入式系统，一条大型工业生产线上由 PC104 构成的微型工控机群同样也是一个嵌入式系统。冠以嵌入式，说明它通常是更大更完整的系统中的一个部分，这个部分相对完整，而这个部分里面有可能又能分出多个更小但也相对完整的“小”嵌入式系统。

嵌入式系统发展至今，已经有大约 30 年的历史。在这 30 年的发展过程中，嵌入式的软件和硬件总是交替上升地呈双螺旋式发展，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二三个人开发，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，虽然功能强大而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、参考资料多而且随着技术的发展功能变得越来越强大，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地丰富；软件上，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 上面,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上几乎任何一个地方,从而将整个世界互连起来,如图 1-2 所示。

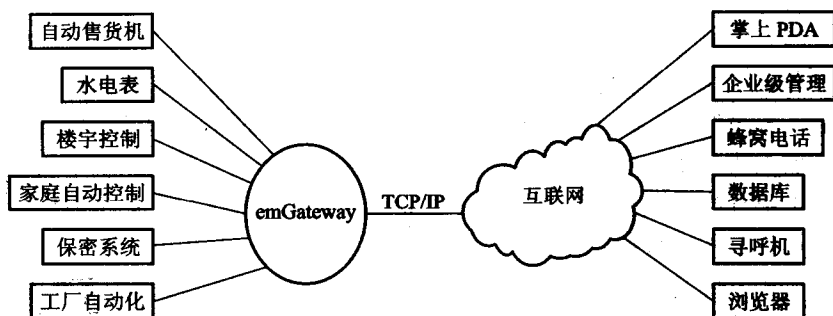


图 1-2 Internet 的网络世界

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,例如可以用来实现基于 Internet 的远程数据采集、远程控制、自动报警、上传/下载数据文件、自动发送 E-mail 等功能,为 IST (Internet Sensor Technology, 网络传感器技术)、HVAC (家庭环境自动控制)、局部环境自动监测、智能小区管理、网络自动抄表、高速公路出入口管理等功能的实现提供技术前提。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于计算机存储器、运算速度等的要求比较高,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,称为 emMicro,监测嵌入式设备中预先定义各个变量,并将结果反馈到 emGateway 中;同时 emMicro 还可以解释 emGateway 的命令,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,就解决了

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 嵌入式系统的特点

因为专用性和以应用为主,嵌入式系统和其他计算机系统相比有很多自己的特点和特色。

1. 嵌入式系统用到的操作系统的系统内核小

这是由于嵌入式系统一般都应用于小型电子装置,这种装置很多情况下要求成本较低,可配置的硬件资源相对有限,一般又不具备硬件升级的能力,所以客观上要求系统中用到的操作系统的内核必须很小。

比如,ENE 公司的 OSE 分布式系统的内核只有 5 KB,相比之下,Windows 的内核就要大得多了。

2. 专用性强

每一款嵌入式产品投放到市场时,其目标定位都很明确,也就是说嵌入式系统的个性化特征很明显。这在客观上要求嵌入式系统在开发阶段就要把软件和硬件紧密结合起来通盘考虑,特别是软件开发时要针对具体的硬件“量身定做”,“合身”即可,不必为以后“身体”可能“发福”而事先留任何的余量。

比如同一品牌、同一系列的产品之间,可能只是在硬件上有些许的变化和增减,但在软件开发时就要根据产品间硬件的具体差异做出相应的调整和修改。

同时,针对不同的任务,往往需要对系统进行较大的更改,此时程序在修改、编译和下载等几个阶段都要结合系统的具体情况进行,这种修改和调整与个人计算机上安装的通用软件的“升级”是两个完全不同的概念。

3. 系统精简

嵌入式系统的软件很难明显地区分出系统软件和应用软件,在软件的功能设计和实现上也不要求过于复杂,这样做一方面有利于降低开发成本,另一方面系统的安全性也容易得到保障。

4. 高实时性操作系统

实时性是嵌入式系统软件的基本要求,而且为了提高速度,软件往往以固态存储的形式存在,对软件代码的编写质量和可靠性要求都比较高。

5. 嵌入式软件开发逐步走向标准化

嵌入式系统的软件并不要求必须在操作系统的基础上进行开发,很多嵌入式产品中的应用程序就是在没有操作系统的情况下直接在芯片上运行的。

但如果应用程序要求的功能复杂而且强大,涉及怎样合理地调度多任务,怎样合理地利用系统资源、系统函数和专家库函数接口等一系列问题时,利用

现有的嵌入式操作系统开发平台是合理而明智的选择。因为如果每开发一个嵌入式产品时，都要从写任务调度函数这样的基础工作做起，开发周期和开发成本是所有厂商都难以承受也承担不起的。而选择成熟的、得到大家一致认可的嵌入式操作系统开发平台，可以有效地保证程序执行的实时性、可靠性，减少开发时间，保障软件的质量。现有的实时操作系统开发平台有几种，其性能各有千秋，需要在权衡性能、成本、通用性、技术支持力度等多方面因素以后做出综合的选择。

6. 嵌入式系统开发需要开发工具和环境

嵌入式系统本身并不具备自主开发的能力，设计过程中或者定型产品进行软件升级时，需要借助必要的开发环境和开发工具才可以完成。

这些工具和环境一般是基于通用计算机的软、硬件设备以及逻辑分析仪、混合信号示波器等通用测示设备，图 1-3 所示就是嵌入式产品的基本开发方式。

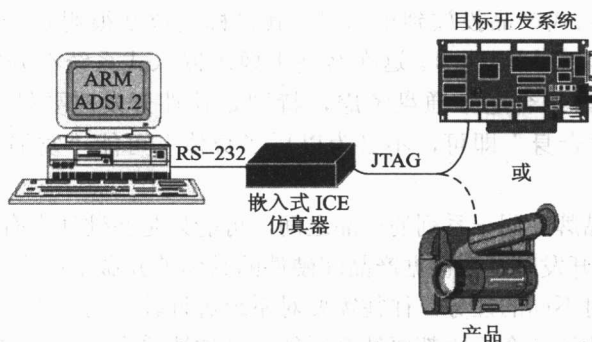


图 1-3 嵌入式系统开发平台的一般结构

开发时往往有主机和目标机的区别，主机用于程序的开发，目标机作为最后的执行机，开发时二者交替结合进行。

1.1.4 典型嵌入式系统的基本组成

嵌入式系统一般是专用的计算机系统，虽然不同于通用的个人计算机，但也可分为硬件和软件 2 个部分。

嵌入式系统的硬件主要包括处理器、存储器以及外设器件和 I/O 端口、图形控制器等。图 1-4 就是嵌入式系统的通用硬件结构模型。

嵌入式系统的软件通常包括操作系统和应用程序 2 个部分。应用程序一般用来控制系统的运作和行为，而操作系统在应用程序与硬件平台之间扮演“中介”的角色，有时这两个部分没有太清晰的界限。图 1-5 就是嵌入式系统的通用软件结构以及软、硬件之间关系的示意图。

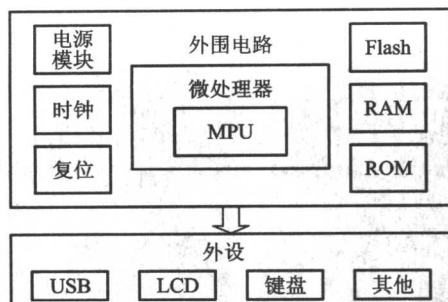


图 1-4 嵌入式系统的通用硬件结构

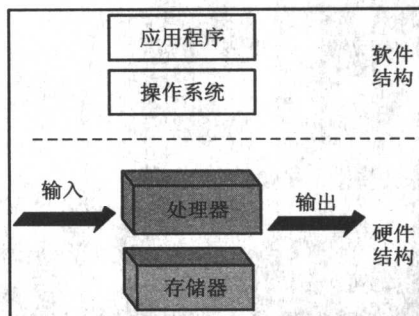


图 1-5 嵌入式系统的通用软件结构以及软、硬件关系示意图

1.1.5 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统的应用涉及很多领域，包括工业控制、交通管理、信息家电、家庭智能管理系统、汽车电子、医疗仪器（远程医疗）、电子商务、环境监测和机器人等。图 1-6、图 1-7 和图 1-8 分别是嵌入式系统在家庭智能管理系统、医疗设备和汽车控制系统中应用的基本情况。

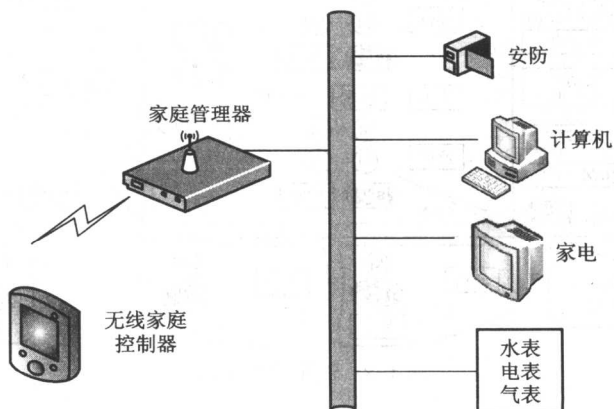


图 1-6 家庭智能管理系统

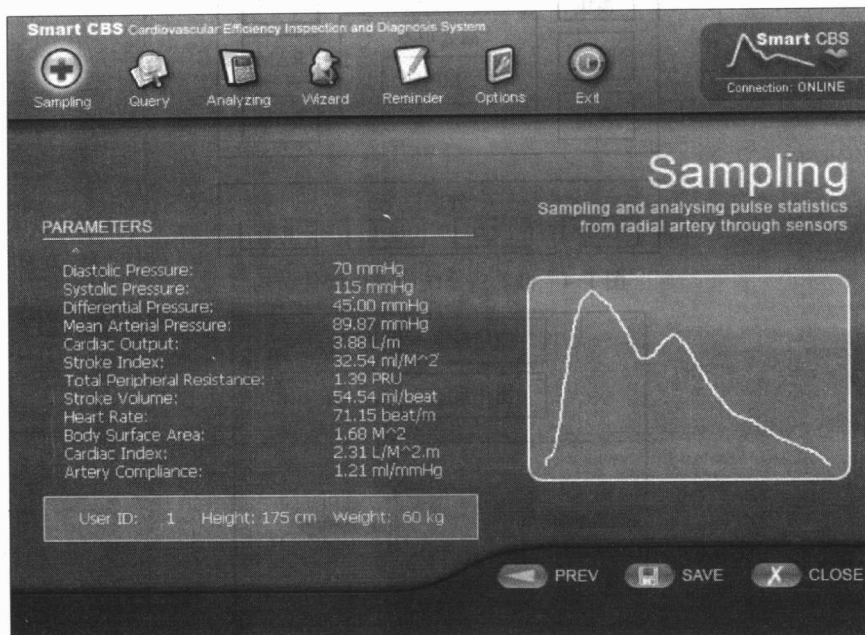


图 1-7 医疗设备

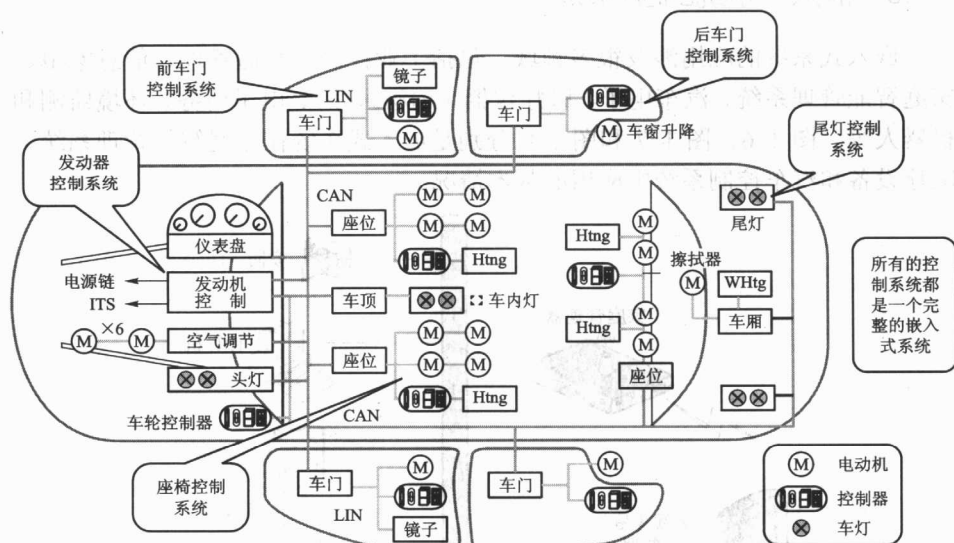


图 1-8 汽车控制系统