嵌入式系统设计与开发系列

ARM嵌入式系统设计与开发指南

周维虎　石良臣　何嘉扬　编著

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

嵌入式系统设计与开发系列

ARM嵌入式系统
设计与开发指南

周维虎　石良臣　何嘉扬　编著

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

近几年来，嵌入式系统在众多领域得到了广泛的使用，而ARM处理器作为其中最重要的一部分，也得到了巨大的发展，预计在未来的几年中以ARM为核心的嵌入式系统在人们生活中的方方面面都会起到更大的作用。

本书以基于ARM嵌入式系统开发流程为主线，展示了嵌入式系统开发所要经历的各个环节。首先从嵌入式系统基础知识和ARM微处理器讲起，之后比较详细地介绍了ARM指令集，由于嵌入式开发一般都离不开Linux环境，接下来对Linux开发环境作了简单介绍。本书从实践操作上提供了具体的步骤，使读者能够对嵌入式系统的开发有一般理解。

本书可作为高等院校电子、电气类专业初学者的嵌入式开发教材，也可供广大希望转入嵌入式领域的科研和工程技术人员参考使用，还可供广大嵌入式培训班作为教材和教辅材料使用。

图书在版编目（CIP）数据

ARM嵌入式系统设计与开发指南／周维虎，石良臣，何嘉扬编著. —北京：中国电力出版社，2009

（嵌入式系统设计与开发系列）

ISBN 978-7-5083-8922-6

Ⅰ. A… Ⅱ. ①周…②石…③何… Ⅲ. 微处理器，ARM－系统设计－指南 Ⅳ. TP332-62

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第089212号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn）

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年9月第一版 2009年9月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 20.5印张 483千字

印数 0001—3000册 定价 **35.00** 元

前　言

嵌入式系统作为一个日益成熟的平台，应用已经非常广泛。20世纪80年代可以说是一个各种总线层出不穷、群雄并起的时代，微处理器，I/O接口，A/D、D/A转换，串行接口以及RAM、ROM等部件统统集成到一个VLSI中，从而制造出面向I/O设计的微控制器。20世纪90年代，在分布式控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大需求的牵引下，嵌入式系统进一步加速发展。面向实时信号处理算法的DSP产品向着高速、高精度、低功耗方向发展。21世纪无疑是一个网络的时代，使嵌入式计算机系统应用到各类网络中去也必然是嵌入式系统发展的重要方向。在发展潜力巨大的“信息家电”中，人们非常关注的网络电话设备，即IP电话，就是一个代表。嵌入式设备主要在于结合微处理器或微控制器的系统电路与其专属的软件，来达到系统操作效率最大化。当前我们普遍使用的电子游戏机、电视、冰箱等民用电子与通信产品，乃至于电动汽车等电动交通工具的控制核心，无不与嵌入式系统息息相关。

自1990年11月ARM公司于英国成立以来，采用ARM技术知识产权核的微处理器，即我们通常所说的ARM微处理器，已遍及工业控制、消费类电子产品、通信系统、网络系统、无线系统等各类产品市场，基于ARM技术的微处理器应用约占据了32位RISC微处理器75%以上的市场份额，ARM技术正在逐步渗入到我们生活的各个方面，到目前为止，ARM微处理器及技术的应用几乎已经深入到各个领域：工业控制、无线通信、网络应用、消费类电子产品、成像和安全产品领域等。采用RISC架构的ARM微处理器一般具有如下特点：体积小、低功耗、低成本、高性能、支持Thumb/ARM双指令集，能很好的兼容8/16位器件、大量使用寄存器，指令执行速度更快、大多数数据操作都在寄存器中完成、寻址方式灵活简单，执行效率高、指令长度固定。正是鉴于ARM处理器独有的特点，使得它在嵌入式处理器的领域里占据了独有的地位。

1993年，Linux的第一个“产品”版Linux 1.0问世以来，Linux操作系统已经成为应用越来越广泛的操作系统。由于Linux是一套自由软件，用户可以无偿地得到它及其源代码，可以无偿地获得大量的应用程序，而且可以任意地修改和补充它们。这对用户学习、了解UNIX操作系统的内核非常有益。学习和使用Linux，能为用户节省一笔可观的资金。Linux是目前唯一可免费获得的，为PC机平台上的多个用户提供多任务、多进程功能的操作系统，这是人们要使用它的主要原因。就PC机平台而言，Linux提供了比其他任何操作系统都要强大的功能，Linux还可以使用户远离各种商品化软件提供者促销广告的诱惑，可以节省大量用于购买或升级应用程序的资金。Linux不仅为用户提供了强大的操作系统功能，而且还提供了丰富的应用软件。用户不但可以从Internet上下载Linux及其源代码，而且还可以从Internet上下载许多Linux的应用程序。可以说，Linux本身包含的应用程序以及移植到Linux

上的应用程序包罗万象，任何一位用户都能从有关 Linux 的网站上找到适合自己特殊需要的应用程序及其源代码，这样，用户就可以根据自己的需要下载源代码，以便修改和扩充操作系统或应用程序的功能。这对 Windows NT、Windows 98、MS-DOS 或 OS/2 等商品化操作系统来说是无法做到的。

本书以 ARM 开发为例，介绍了嵌入式开发的一般流程，使得初学者能够对嵌入式系统的开发有比较系统的认识。全书共分为 12 章，第 1 章主要介绍的是嵌入式系统基础，其中包括嵌入式系统的特点、分类、组成，之后对嵌入式系统开发的设计流程和发展趋势作了简单的介绍。第 2 章对 ARM 微处理器作了简单介绍，其中包括 ARM 处理器的起源和发展以及它的应用领域，之后对现今比较流行的 ARM 处理器系列做了一个比较，最后对 ARM 处理器的选型原则进行了简单的介绍。第 3 章的主要内容是 ARM/THUMB 指令集，其中包括 ARM/Thumb 指令集的一般格式和一些常用的指令，随后介绍了一些常用的伪指令。第 4 章以一个典型的 ARM 开发板为例，阐述开发板的硬件特点以及处理器的工作模式，之后以看门狗和 MMU 为例，对开发板作了更进一步的介绍。第 5 章介绍了 ARM 程序设计基础，主要包括汇编语言和嵌入式 C 语言程序设计基础。第 6 章的主要内容是搭建交叉编辑环境，主要介绍了嵌入式 Linux 开发环境和 ELDK 的集成开发环境，之后展示了如何将 Linux 操作系统移植到 ARM 平台。同时介绍了实验板使用 ADS 进行的系统开发和简单实验，目的是使读者对 ARM 的嵌入式开发板的开发工具有初步的了解。第 7 章介绍了 Boot Loader、U-Boot、嵌入式 Linux 的移植过程以及如何编译 Linux 内核。第 8 章单独介绍了内核移植，主要介绍了移植的具体实现。第 9 章的主要内容是文件系统及其制作，在嵌入式开发中会涉及依据需要制作所需的文件系统。第 10 章介绍的是 Makefile 与内核配置实例，在生成系统所需要的内核的时候，Makefile 是一个非常重要的文件，几乎涉及内核配置的所有内容，本章对它的生成规则做了比较详细的介绍。第 11 章通过实例介绍嵌入式驱动开发过程，希望读者能够有直观的认识。第 12 章主要以 PXA255 开发平台为基础，介绍嵌入式开发的一般流程，其中包括平台的选择、交叉编译环境的搭建、远程调试、U-Boot 的烧录、内核的配置、文件系统的烧录等内容，事实上是从一个崭新的开发平台到需要的实际可以使用设备的开发过程。读者在阅读本章的过程中应当注意开发流程的逻辑考虑以及一些基本的操作过程。

本书以深入浅出为原则，意在使对嵌入式开发不太熟悉的读者能够在阅读本书后对其有比较直观和全面的了解，从而为日后独立进行嵌入式开发工作打下基础。

本书由周维虎、石良臣、何嘉扬编著，同时张斌、崔丽娜、李凤青、张晓静、高健、刘小军、王洪健、陈洁、徐文娟、岳军、朱雷、周义政、杨君正、查守辉、郭永强、汪文生、李小兵、尹华奇、朱兆伟等也参与了本书的编写工作。在本书编写过程中，还得到了包括网络上的朋友在内的其他许多热心人的帮助，在此对所有在本书编写过程中给予帮助的朋友表示感谢。

由于水平所限，本书难免有很多不足之处，希望各位读者不吝指出。

编　者

2009 年 5 月

目　录

第 1 章

嵌入式系统基础

嵌入式系统，作为一个应用越来越广泛的系统，在人类生活中扮演着不可替代的角色，从日常用品到商业、军事等各个领域，嵌入式系统的身影无处不在。对于广大读者来说，尽早掌握这门技术有着非常重要的意义，因此本章将从嵌入式系统的起源和特点等方面对嵌入式系统作一个简单的介绍，希望读者能对其有初步认识。

1.1 嵌入式系统

嵌入式这个概念事实上在很早以前就已经存在了，在通信方面，嵌入式系统在 20 世纪 60 年代就用于对电子机械电话交换的控制，当时被称为存储式程序控制系统（Stored Program Control）。

而嵌入式计算机的真正发展是在微处理器问世之后。1971 年 11 月，Intel 公司成功地把算术运算器和控制器电路集成在一起，推出了第一款微处理器 Intel 4004，其后各厂家陆续推出了许多 8 位、16 位的微处理器，包括 Intel 8080/8085、8086，Motorola 的 6800、68000，以及 Zilog 的 Z80、Z8000 等。以这些微处理器作为核心所构成的系统，广泛地应用于仪器仪表、医疗设备、机器人和家用电器等领域。微处理器的广泛应用形成了一个广阔的嵌入式应用市场，计算机厂家开始大量地以插件方式向用户提供 OEM 产品，再由用户根据自己的需要选择一套适合的 CPU 板、存储器板以及各式 I/O 插件板，从而构成专用的嵌入式计算机系统，并将其嵌入到自己的系统设备中。

为兼容灵活，出现了系列化、模块化的单板机。流行的单板计算机有 Intel 公司的 ISBC 系列、Zilog 公司的 MCB 等。后来人们可以不必从选择芯片开始来设计一台专用的嵌入式计算机，而是只要选择各功能模块，就能够组建一台专用的计算机系统。用户和开发者都希望从不同的厂家选购最适合的 OEM 产品，插入外购或自制的机箱中就形成新的系统，这样我们就希望插件是互相兼容的，也就导致了工业控制计算机系统总线的诞生。1976 年 Intel 公司推出 Multibus，1983 年扩展为带宽达 40Mb/s 的 Multibus II。1978 年由 Prolog 设计的简单 STD 总线广泛应用于小型嵌入式系统。

20 世纪 80 年代可以说是各种总线层出不穷、群雄并起的时代。随着微电子工艺水平的提高，集成电路制造商开始把嵌入式应用中所需要的微处理器、I/O 接口、A/D、D/A 转换、串行接口以及 RAM、ROM 等部件统统集成到一个 VLSI 中，从而制造出面向 I/O 设计的微控制器，也就是俗称的单片机，成为嵌入式计算机系统异军突起的一支新秀。其后发展的 DSP 产品则进一步提升了嵌入式计算机系统的技术水平，并迅速地渗入到消费电子、医用电

子、智能控制、通信电子、仪器仪表和交通运输等各种领域。

20世纪90年代，在分布式控制、柔性制造、数字化通信和信息化家电等巨大需求的牵引下，嵌入式系统进一步加速发展。面向实时信号处理算法的DSP产品向着高速、高精度和低功耗方向发展。Texas推出的第三代DSP芯片TMS320C30，引导着微控制器向32位高速智能化发展。在应用方面，掌上电脑、手持个人计算机、机顶盒技术相对成熟，发展也较为迅速。特别是掌上电脑，1997年在美国市场上掌上电脑不过四五个品牌，而1998年底，各式各样的掌上电脑如雨后春笋般纷纷涌现出来。此外，Nokia推出了智能电话，Siemens推出了机顶盒，Wyse推出了智能终端，NS推出了WebPAD。装载在汽车上的小型电脑，不但可以控制汽车内的各种设备（如音响等），还可以与GPS连接，从而自动操控汽车。21世纪无疑是一个网络的时代，使嵌入式计算机系统应用到各类网络中去也必然是嵌入式系统发展的重要方向。在发展潜力巨大的“信息家电”中，人们非常关注的网络电话设备，即IP电话，就是一个代表。该设备可以简单到像普通电话一样，可它却是通过互联网来实现双方通话的，花市话的钱就可以打长途电话。

嵌入式系统的应用日益广泛，它主要在于结合微处理器或微控制器的系统电路与其专属的软件，来达到系统操作效率成本的最高化。当前我们普遍使用的移动电话、手表、电子游戏机、PDA、电视、冰箱等民用电子与通信产品，电动机车、电动脚踏车乃至于电动汽车等电动交通工具的控制核心，无不与嵌入式系统息息相关。而随着PC时代的来临，家电、玩具、汽车、新一代手机、数码相机、先进的医疗仪器乃至即将到来的智能型房屋、智能型办公室与其他跟电有关的器材设备都属于使用嵌入式技术进行开发和制造的产品。

嵌入式系统在我们日常生活中的应用举例如图1-1所示。

图1-1　嵌入式系统的应用

1.1.1　嵌入式系统基本概念

根据英国电机工程师协会的定义所做的翻译，“嵌入式系统为控制、监视或辅助装置、机器设备运行的装置”。

一般来说，嵌入式系统具备下列四项的特性：

（1）通常执行特定功能；

（2）以微机与外围构成核心；

（3）严格的时序与稳定性要求；

（4）全自动操作循环。

嵌入式系统是电脑软件与硬件的综合体，它是以应用为中心，以计算机技术为基础，软、硬件可裁剪，从而能够适应实际应用中对功能、可靠性、成本、体积和功耗等严格要求的专用计算机系统。整个综合体设计的目的在于满足某种特殊功能。嵌入式系统的架构可分成五个部分，分别为处理器、内存、输入与输出、操作系统与应用软件。它们常见于各类实验仪器、办公设备、交通运输设备、电信设备、制造设备、建筑设备、医疗设备及个人计算机等，甚至在航天和军事装备上也应用广泛。

嵌入式系统还可以分为硬件及软件两部分，其中硬件的设计包括单片机控制电路的设计、网络功能设计、无线通信设计及使用接口等。嵌入式软件为信息、通信网络或消费性电子等产品系统中的必备软件，专司硬件产品的驱动、控制处理或基本接口功能，以提升硬件产品的价值，为该硬件产品不可或缺的重要部分，它常以软件形式，如控制器或驱动程序等方式来呈现。现今嵌入式系统大多数的产品仍然以低级的8位处理器配合少量的内存与电路来作控制，不过高级的嵌入式系统产品也逐渐增加，本书将以高级的嵌入式系统产品为主作介绍。

1.1.2 嵌入式系统的特点

一般来说，嵌入式系统具备如下几个特点：

（1）系统内核比较小。由于嵌入式系统一般是应用于小型电子装置的，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。

比如ENEA公司的OSE分布式系统，内核只有5KB，而Windows的内核则要大得多。

（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的结合非常紧密，一般要针对硬件进行系统的移植。

同时针对不同的任务，往往需要对系统进行较大更改，程序的编译下载要和系统相结合，这种修改和通用软件的“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上过于复杂，这样一方面利于控制系统成本，另一方面也利于实现系统安全。

为了提高执行速度和系统可靠性，嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或单片机本身中，而非存储于磁盘等载体中。

（4）高实时性操作系统。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和高可靠性、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而直接在芯片上运行。

为了合理地处理多任务、利用系统资源、系统函数以及和专家库函数接口，用户必须自行选配RTOS（Real－Time Operating System）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）嵌入式系统开发需要开发工具和环境。由于其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。

1.1.3 嵌入式系统的分类

根据不同的分类标准，嵌入式系统有不同的分类方法。这里根据嵌入式系统的复杂程度，可以将嵌入式系统分为以下四类。

（1）单个微处理器。这类系统可以在小型设备中（如温度传感器、烟雾和气体探测器及断路器）找到。这类设备是供应商根据设备的用途来设计的。这类设备受 Y2K（Year 2000）影响的可能性不大。

（2）不带计时功能的微处理器装置。这类系统可在过程控制、信号放大器、位置传感器及阀门传动器等中找到。这类设备也不太可能受到 Y2K 的影响。但是，如果它依赖于一个内部操作时钟，那么这个时钟可能受 Y2K 问题的影响。

（3）带计时功能的组件。这类系统可见于开关装置、控制器、电话交换机、电梯、数据采集系统、医药监视系统、诊断及实时控制系统等。它们是一个大系统的局部组件，由它们的传感器收集数据并传递给该系统。这种组体可同个人计算机一起操作，并可包括某种数据库（如事件数据库）。

（4）在制造或过程控制中使用的计算机系统。对于这类系统，计算机与仪器、机械及设备相连来控制这些装置的工作。这类系统包括自动仓储系统和自动发货系统。在这些系统中，计算机用于总体控制和监视，而不是对单个设备直接控制。过程控制系统可与业务系统连接（如根据销售额和库存量来决定定单或产品量）。

1.2 嵌入式系统的组成

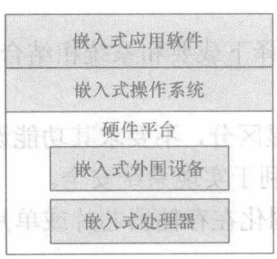

图 1-2 嵌入式系统

上一节对嵌入式系统的产生、应用和特点作了简单的介绍，下面主要介绍嵌入式系统的组成。一般来说，嵌入式系统可以分为嵌入式处理器、嵌入式外围设备、嵌入式操作系统和应用软件四个部分。它们的关系简单表示如图 1-2 所示。

下面就这四部分分别予以介绍。

1. 嵌入式处理器

嵌入式系统的核心是各种类型的嵌入式处理器，嵌入式处理器与通用处理器最大的不同点在于，嵌入式 CPU 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。

嵌入式处理器的体系结构经历了从复杂指令集（CISC）至精简指令集（RISC）和 Compact RISC 的转变，位数则由 4、8、16、32 位逐步发展到 64 位。目前常用的嵌入式处理器可分为低端的嵌入式微控制器（Micro Controller Unit，MCU）、中高端的嵌入式微处理器（Embedded Micro Processor Unit，EMPU）、用于计算机通信领域的嵌入式 DSP 处理器

（Embedded Digital Signal Processor，EDSP）和高度集成的嵌入式片上系统（System On Chip，SOC）。

目前几乎每个半导体制造商都生产嵌入式处理器，并且越来越多的公司开始拥有自主的处理器设计部门，据不完全统计，全世界嵌入式处理器已经超过 1000 多种，流行的体系结构有 30 多个系列，其中以 ARM、PowerPC、MC68000、MIPS 等使用得最为广泛。

2. 嵌入式外围设备

在嵌入式系统硬件系统中，除了中心控制部件（MCU，DSP，EMPU，SOC）以外，用于完成存储、通信、调试、显示等辅助功能的其他部件，事实上都可以算作嵌入式外围设备。目前常用的嵌入式外围设备按功能可以分为存储器、通信接口设备和人机交互设备三类。

存储设备主要用于各类数据的存储，常用的有静态易失型存储器（RAM，SRAM），动态存储器（DRAM）和非易失型存储器（ROM，EPROM，EEPROM，FLASH）三种。

目前存在的绝大多数通信设备都可以直接在嵌入式系统中应用，包括 RS-232 接口（串行通信接口）、SPI（串行外围设备接口）、IrDA（红外线接口）、I^2C（现场总线）、USB（通用串行总线接口）、Ethernet（以太网接口）等。

由于嵌入式应用场合的特殊性，通常使用的是阴极射线管（CRT）、液晶显示器（LCD）和触摸板（Touch Panel）等外围显示设备。

3. 嵌入式操作系统

为了使嵌入式系统的开发更加方便和快捷，需要有专门负责管理存储器分配、中断处理、任务调度等功能的软件模块，这就是嵌入式操作系统。嵌入式操作系统是用来支持嵌入式应用的系统软件，是嵌入式系统极为重要的组成部分，通常包括与硬件相关的底层驱动程序、系统内核、设备驱动接口、通信协议和图形用户界面（GUI）等。嵌入式操作系统具有通用操作系统的基本特点，如能够有效地管理复杂的系统资源，能够对硬件进行抽象，能够提供库函数、驱动程序、开发工具集等。但与通用操作系统相比较，嵌入式操作系统在系统实时性、硬件依赖性、软件固化性以及应用专用性等方面具有更加鲜明的特点。

嵌入式操作系统根据应用场合可以分为两大类：一类是面向消费电子产品的非实时系统，这类设备包括个人数字助理（PDA）、移动电话和机顶盒（STB）等；另一类则是面向控制、通信和医疗等领域的实时操作系统，如 WindRiver 公司的 VxWorks、QNX 系统软件公司的 QNX 等。实时系统（Real Time System）是一种能够在指定或者确定时间内完成系统功能，并且对外部和内部事件在同步或者异步时间内能作出及时响应的系统。在实时系统中，操作的正确性不仅依赖于逻辑设计的正确程度，而且与这些操作进行的时间有关，也就是说，实时系统对逻辑和时序的要求非常严格，如果逻辑和时序控制出现偏差将会产生严重后果。

实时系统主要通过三个性能指标来衡量系统的实时性，即响应时间（Response Time）、生存时间（Survival Time）和吞吐量（Throughput）。

实时系统根据响应时间可以分为弱实时系统、一般实时系统和强实时系统三种。弱实时系统在设计时的宗旨是使各个任务运行得越快越好，但没有严格限定某一任务必须在多长时间内完成，弱实时系统更多关注的是程序运行结果的正确与否，以及系统安全性能等其他方面，对任务执行时间的要求相对来讲较为宽松，一般响应时间可以是数十秒或者更长。强实时系统则要求各个任务不仅要保证执行过程和结果的正确性，同时还要保证在限定的时间内

完成任务，响应时间通常要求在毫秒甚至微秒的数量级上，这对涉及医疗、安全、军事的软硬件系统来说是至关重要的。一般实时系统是弱实时系统和强实时系统的一种折中，它的响应时间可以在秒的数量级上，广泛应用于消费电子设备中。

时限（deadline）是实时系统中的一个重要概念，指的是对任务截止时间的要求，根据时限对系统性能的影响程度，实时系统又可以分为软实时系统（soft real-time-system）和硬实时系统（hard real-time-system）。软实时指的是虽然对系统响应时间有所限定，但如果系统响应时间不能满足要求，并不会导致系统产生致命的错误或者崩溃；硬实时则指的是对系统响应时间有严格的限定，如果系统响应时间不能满足要求，就会引起系统产生致命的错误或者崩溃。如果一个任务在时限到达之时尚未完成，对软实时系统来说还是可以容忍的，最多只会降低系统性能，但对硬实时系统来说则是无法接受的，因为这样带来的后果根本无法预测，甚至可能是灾难性的。在目前实际运用的实时系统中，通常允许软、硬两种实时性同时存在，其中一些事件没有时限要求，另外一些事件的时限要求是软实时的，而对系统产生关键影响的那些事件的时限要求则是硬实时的。

4. 嵌入式应用软件

嵌入式应用软件是针对特定应用领域，基于某一固定的硬件平台，用来达到用户预期目标的计算机软件，由于用户任务可能有时间和精度上的要求，因此有些嵌入式应用软件需要特定嵌入式操作系统的支持。嵌入式应用软件和普通应用软件有一定的区别，它不仅要求其准确性、安全性和稳定性等方面能够满足实际应用的需要，而且还要尽可能地进行优化，以减少对系统资源的消耗，降低硬件成本。嵌入式系统的一般结构如图 1-3 所示。

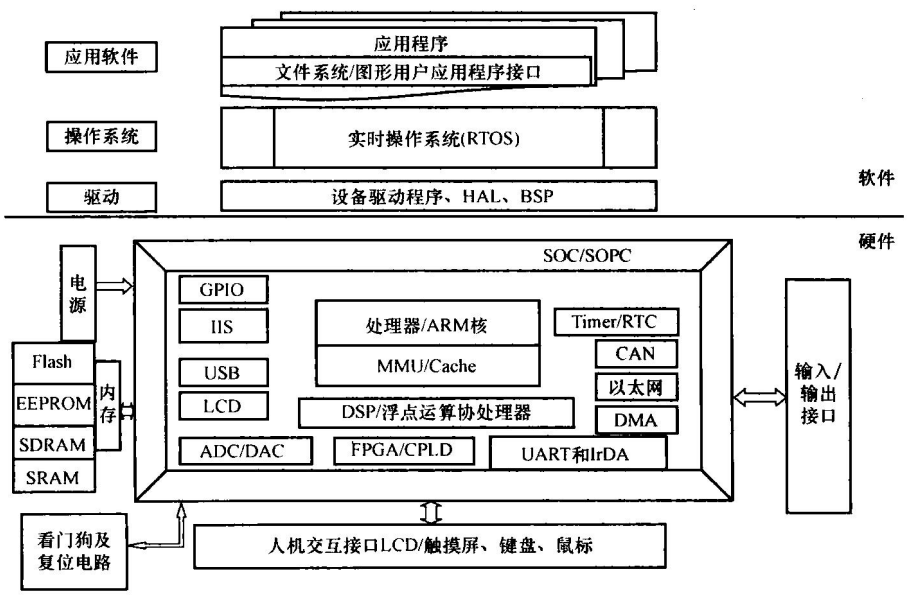

图 1-3　嵌入式系统结构图

1.2.1　嵌入式处理器

嵌入式处理器通常把通用计算机中许多由板块完成的任务集成在芯片内部，从而有利于嵌入式系统趋于小型化，并具有高效率、高可靠性等特征。