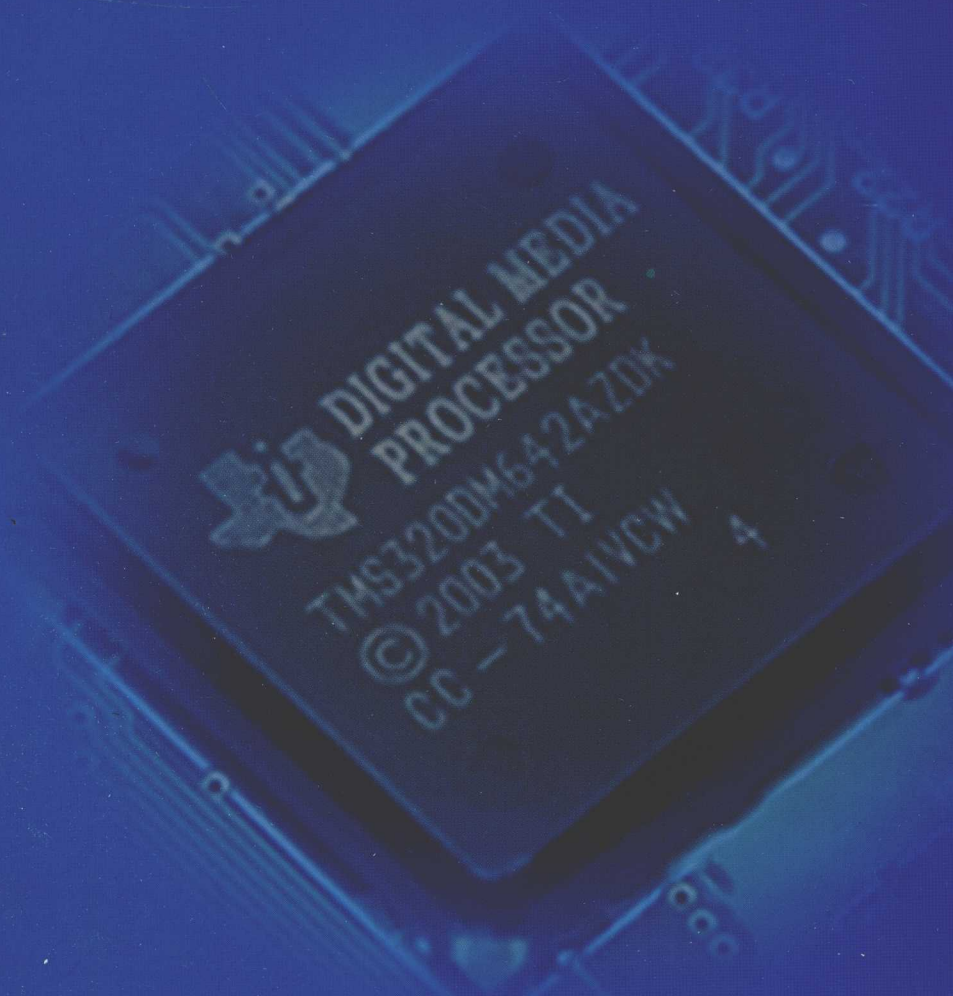


戴庆 肖红 王辉 车燕娜 陈红丽 编著

DSP 嵌入式系统

The Embedded System Based on DSP



哈尔滨地图出版社

DSP 嵌入式系统

DSP QIANRUSHI XITONG

戴庆 肖红 王辉 车燕娜 陈红丽 编著

哈尔滨地图出版社

• 哈尔滨 •

图书在版编目 (CIP) 数据

DSP 嵌入式系统/戴庆等编著. —哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2008. 12

ISBN 978-7-80717-968-9

I. D… II. 戴… III. 数字信号—信息处理系统—系统设计 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 191453 号

哈尔滨地图出版社出版发行

(地址: 哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮政编码: 150086)

哈尔滨翰翔印务有限公司印刷

开本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 17.375 字数: 400 千字

ISBN 978-7-80717-968-9

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1~300 册 定价: 29.80 元

前 言

20 世纪 90 年代后, 嵌入式系统设计从以嵌入式微处理器为核心的“集成电路”级设计, 逐渐转向“集成系统”级设计, 提出了片上系统 SoC (System on a Chip) 的基本概念。目前比较有影响的 32 位嵌入式处理器有 TI 公司的 TMS320C6000, Compaq 公司的 Alpha, HP 公司的 PARISC, IBM 公司的 PowerPC, MIPS 公司的 MIPS 和 Sun 公司的 Sparc 等。而 TI 公司的 TMS320C6000 目前在 DSP 应用领域具有高性能、低功耗和低成本等显著优点。

本教材讲述了嵌入式系统开发的基础理论与应用技术, 以嵌入式系统的基本开发技术为主线, 以 TI 公司的 TMS320C6000 处理器为硬件平台, 系统地讲述了嵌入式系统开发的基本知识、基本流程、基本方法及 TMS320C6000 微处理器为核心的嵌入式系统软硬件开发过程。本书按技术内容分为 5 章。第 1 章: 嵌入式系统概述, 主要介绍嵌入式系统开发的基础知识。第 2 章: 嵌入式计算机硬件结构, 主要对 TMS320C6000 系列单片机的硬件结构进行论述。第 3 章: 实时操作系统, 主要介绍 TMS320C6000 的实时操作系统——DSP/BIOS。第 4 章: 嵌入式系统设计, 主要介绍基于 TMS320C6000 的 DSP 嵌入式系统的开发和设计。第 5 章: 嵌入式系统实例, 通过一个视频信号处理系统的应用实例, 对 DSP 嵌入式系统的设计、开发、调试进行了全面的总结。

本书由戴庆、肖红、王辉、车燕娜、陈红丽共同编写完成。其中, 第 4 章 4.4 节由戴庆编写; 第 3 章由肖红编写; 第 2 章 2.1 节到 2.4 节由王辉编写; 第 1 章、第 5 章由车燕娜编写; 第 2 章 2.5 节和第 4 章 4.1 节到 4.3 节由陈红丽编写。由于时间仓促, 书中难免存在缺点和错误, 敬请读者批评指正。

戴庆

2008 年 6 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述.....	1
1.1 嵌入式系统的基本概念.....	1
1.1.1 嵌入式计算机.....	1
1.1.2 嵌入式系统的概念.....	2
1.1.3 嵌入式系统的分类.....	2
1.1.4 嵌入式系统的几个发展阶段.....	3
1.1.5 嵌入式的发展趋势.....	3
1.1.6 嵌入式技术是中国 IT 发展的难得机遇.....	4
1.2 嵌入式系统的特点.....	5
1.3 嵌入式系统组成结构.....	8
1.3.1 嵌入式系统硬件基本结构介绍.....	8
1.3.2 嵌入式系统软件的层次结构.....	9
1.3.3 启动程序 BootLoader 介绍.....	11
1.4 嵌入式系统的硬件组成.....	12
1.4.1 嵌入式处理器.....	12
1.4.2 典型嵌入式处理器介绍.....	13
1.4.3 嵌入式 SoC.....	17
1.4.4 可编程片上系统 SOPC.....	18
1.4.5 嵌入式外围接口电路和设备接口.....	19
1.5 嵌入式系统的开发流程.....	20
1.5.1 嵌入式开发考虑的要素.....	21
1.5.2 软硬件协同设计.....	21
1.5.3 嵌入式系统开发的基本流程.....	21
1.6 嵌入式系统的设计过程.....	24
1.6.1 需求分析阶段.....	24
1.6.2 详细设计阶段.....	27
1.6.3 实现阶段.....	30
1.6.4 测试阶段.....	31
习题一.....	32
第 2 章 嵌入式计算机的硬件结构.....	33
2.1 TMS320C6000 系列体系结构.....	33
2.1.1 TMS320C6000 简介.....	33

2.1.2	TMS320C6000 的结构特点	33
2.2	TMS320C6000 系列的存储器结构	34
2.2.1	片内存储器简介	34
2.2.2	C620x/C670x 的片内程序存储器	34
2.2.3	C620x/C670x 的片内数据存储器	38
2.2.4	C621x/C671x/C64x 的片内 2 级存储器	42
2.2.5	直接存储器访问 (DMA)	45
2.2.6	扩展的直接存储器访问 (EDMA)	52
2.2.7	多通道缓冲串口 (McBSP)	60
2.2.8	主机口 (HPI)	71
2.3	TMS320C6000 系列单片机的外部接口	74
2.3.1	外部接口概述	74
2.3.2	接口信号与控制寄存器	75
2.3.3	同步接口设计	81
2.3.4	异步接口设计	91
2.3.5	PDT 传输接口	94
2.3.6	HOLD 接口	94
2.3.7	EMIF 访问的仲裁	95
2.4	TMS320C6000 系列单片机的扩展总线	95
2.4.1	概述	95
2.4.2	信号接口与控制寄存器	96
2.4.3	扩展总线上的 I/O 口工作方式	97
2.4.4	扩展总线的主机口工作方式	98
2.4.5	扩展总线的仲裁	100
2.4.6	通过扩展总线引导 DSP 芯片	100
2.5	其他片内外设	100
2.5.1	定时器	100
2.5.2	中断控制	102
2.5.3	power-down 逻辑	104
2.5.4	GPIO	105
2.5.5	PCI 接口	107
2.5.6	UTOPIA 接口	119
	习题二	125
第 3 章	实时操作系统 DSP/BIOS	126
3.1	DSP/BIOS 概述	127
3.2	DSP/BIOS 的组件	128
3.2.1	DSP/BIOS 实时内核和 API	128
3.2.2	DSP/BIOS 配置工具	128

3.2.3	DSP/BIOS 实时分析工具	129
3.3	DSP/BIOS 程序生成过程	129
3.3.1	开发过程	129
3.3.2	使用配置工具 (Configuration Tool)	129
3.3.3	DSP/BIOS 编程中使用的文件	133
3.3.4	程序的编译和链接	135
3.3.5	在 DSP/BIOS 中使用运行时支持库	135
3.3.6	DSP/BIOS 启动序列	136
3.3.7	在 DSP/BIOS 中使用 C++	136
3.3.8	在 main 函数中调用 DSP/BIOS API	136
3.4	DSP/BIOS 程序调试	137
3.4.1	实时分析	137
3.4.2	监测性能	137
3.4.3	监测 API	138
3.4.4	隐式 DSP/BIOS 监测	141
3.4.5	内核/对象视图	142
3.4.6	用于现场测试 (Field Testing) 的监测	142
3.4.7	实时数据交换 (Real-time Data Exchange)	142
3.4.8	任务调度	145
3.4.9	输入/输出和管道	160
3.5	其他实时操作系统	165
3.5.1	Virtuoso	165
3.5.2	OSE	167
	习题三	169
第 4 章	嵌入式系统设计	170
4.1	嵌入式系统设计的形式化方法	170
4.1.1	统一建模语言	170
4.1.2	结构描述	171
4.1.3	行为描述	172
4.2	嵌入式系统设计模型	172
4.2.1	状态机设计模型	173
4.2.2	循环队列设计模型	174
4.2.3	编程模型	174
4.3	应用系统程序的分析与优化	176
4.3.1	程序执行时间的分析与优化	176
4.3.2	能量和功率的分析与优化	182
4.3.3	程序长度的分析与优化	184
4.4	应用系统程序的实现方法	185

4.4.1	如何选择嵌入式处理器	185
4.4.2	嵌入式 CPU 子系统的设计方法	187
4.4.3	嵌入式计算平台	190
习题四		258
第 5 章	嵌入式系统应用实例	259
5.1	图像采集系统的基本结构	259
5.1.1	系统基本结构和工作流程	259
5.1.2	系统技术指标	259
5.2	图像采集系统设计	260
5.2.1	硬件电路设计	260
5.2.2	软件设计	261
5.3	网络多媒体开发平台设计	263
5.3.1	硬件系统的设计	263
5.3.2	软件系统的设计	264
5.4	嵌入式网络视频服务器设计	265
5.4.1	硬件系统的设计	266
5.4.2	软件系统的设计	266
习题五		269
参考文献		270

第 1 章 嵌入式系统概述

本章介绍嵌入式系统开发的基础知识，从嵌入式计算机的发展、嵌入式系统的定义、嵌入式系统的基本特点、嵌入式系统的分类及应用、嵌入式系统软硬件各部分组成、嵌入式系统的开发流程以及嵌入式技术的发展趋势等方面进行了介绍，涉及嵌入式系统开发的基本内容，可使读者系统地建立起嵌入式系统的整体概念。

1.1 嵌入式系统的基本概念

嵌入式系统的应用日益广泛，可以说无处不在，嵌入式系统的快速发展也极大地丰富、延伸了嵌入式系统的概念。本节从嵌入式系统的核心——嵌入式计算机的形成和发展历史出发，详细地介绍嵌入式的基本概念、基本特点和应用范围等。

1.1.1 嵌入式计算机

1. 嵌入式计算机的基本概念

传统的计算机分类是按照计算机的处理字长、体系结构、运算速度、结构规模、选用领域进行的，如通常所说的大型计算机、中型计算机、小型计算机和微型计算机，并以此为标准来组织学科和产业分工。

随着近 20 年来微电子技术、计算机技术和移动通信技术的迅速发展以及网络技术的广泛应用，实际情况已发生了根本性的变化。例如，在 20 世纪 70 年代末定义的微型计算机演变出来的个人计算机 PC，其处理速度已远远超过了当年对大、中、小型计算机的定义。

随着计算机技术对其他行业的广泛渗透及与其他行业应用技术的相互结合，以应用为中心的分类方法变得更加切合实际发展，即按计算机的嵌入式应用和非嵌入式将其分为通用计算机和嵌入式计算机。

而通用计算机具有一般计算机的基本标准形态，通过装配不同的应用软件，以基本雷同的面目出现并应用于社会的各个领域，其典型产品为 PC；而非通用计算机的计算机——嵌入式计算机，则是非通用计算机形态的计算机应用，它是以作为嵌入式系统的核心部件的形式隐藏在各种装置、设备、产品和系统中。因此，嵌入式计算机是计算机技术发展中的一种计算机存在形式，是从计算机技术的发展中分离出来的。

2. 嵌入式计算机的基本特征和应用范围

嵌入式计算机应用是非通用计算机的应用，属于“专用计算机”应用。嵌入式计算

机与实际应用的广泛结合,是在一切可能的设备上都使用计算机,使这些设备变得更智能化、可计算化。嵌入式计算机是构成未来数字化世界的基本细胞、元素。

嵌入式计算机并非现在才有,嵌入式计算机用于控制设备或嵌入系统的历史几乎与计算机自身的历史一样长。例如,在通信领域的 20 世纪 60 年代晚期,计算机被用于电子电话交换机,称为“存储程序控制”系统。存储程序指内存装有程序和例程信息。存储控制逻辑,而不是将其固化在硬件中,这在当时的确是有突破性的。许多嵌入式计算机就是从早期台式 PC 机应用中淘汰后,应用在智能产品的开发中。早期 PC,诸如 TRS-80, Apple-II 及所用的 Z80 和 6502 处理器至今仍然在许多领域中应用,因此旧的微处理器没有灭绝,没有消沉,而是变成了嵌入式应用。

嵌入式计算机在应用数量上已远远超过了各种通用计算机。一台通用计算机的外设中就包含了多个嵌入式微处理器,如键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示卡、显示器、网卡、USB 集线器等都是由嵌入式处理器控制的。在制造工业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备、消费类产品等方面均是嵌入式计算机广泛应用的领域。

1.1.2 嵌入式系统的概念

嵌入式系统是嵌入到对象体系中的专用计算机系统。以嵌入式计算机为核心,嵌入式系统是继 IT 网络技术之后,又一个新的技术发展方向。IEEE(国际电气和电子工程师协会)对嵌入式系统的定义为: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)。这主要是从应用对象上加以定义,涵盖了软硬件及辅助机械设备。国内普遍认同的嵌入式系统定义为:以应用为中心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。相比较而言,国内的定义更全面一些,体现了嵌入式系统的“嵌入”、“专用性”、“计算机”的基本要素的特征。

1.1.3 嵌入式系统的分类

1. 嵌入式系统按表现形式及使用硬件种类可分为:
 - 1) 系统中使用含程序或算法的处理器器的嵌入式系统为芯片级嵌入;
 - 2) 系统中使用某个核心模块的嵌入式系统为模块级嵌入。
2. 嵌入式系统按软件实时性需求可分为:
 - 1) 非实时系统(如 PDA);
 - 2) 软实时系统(如消费类产品);
 - 3) 硬实时系统(工业实时控制系统)。

1.1.4 嵌入式系统的几个发展阶段

纵观嵌入式技术的发展过程，大致经历四个阶段。

第一阶段是以单芯片为核心的可编程控制器形式的系统，具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能。这类系统大部分应用于一些专业性强的工业控制系统中，一般没有操作系统的支持，通过汇编语言编程对系统进行直接控制。这一阶段系统的主要特点是：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单、价格低，以前在国内工业领域应用较为普遍，但是已经远不能适应高效的、需要大容量存储的现代工业控制和新兴信息家电等领域的需求。

第二阶段是以嵌入式 CPU 为基础，以简单操作系统为核心的嵌入式系统。主要特点是：CPU 种类繁多，通用性比较弱；系统开销小，效率高；操作系统达到一定的兼容性和扩展性；应用软件较专业化，用户界面不够友好。

第三阶段是以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。主要特点是：嵌入式操作系统能运行于各种不同类型的微处理器上，兼容性好；操作系统内核小、效率高，并且具有高度的模块化和扩展性；具备文件和目录管理、多任务、网络支持、图形窗口以及用户界面等功能；具有大量的应用程序接口 API，开发应用程序较简单；嵌入式应用软件丰富。

第四阶段是以 Internet 为标志的嵌入式系统。这是一个正在迅速发展的阶段。目前大多数嵌入式系统还孤立于 Internet 之外，但随着 Internet 的发展以及 Internet 技术与信息家电、工业控制技术结合得日益密切，嵌入式设备与 Internet 的结合将代表嵌入式系统的未来。

综上所述，嵌入式系统技术日益完善，32 位微处理器在该系统中占主导地位，嵌入式操作系统已经从简单走向成熟，它与网络、Internet 结合日益密切，因而，嵌入式系统应用将日益广泛。

1.1.5 嵌入式的发展趋势

以信息家电为代表的互联网时代嵌入式产品，不仅为嵌入式市场展现了美好前景，注入了新的生命；同时也对嵌入式系统技术，特别是软件技术提出新的挑战。这主要包括：支持日趋增长的功能密度、灵活的网络连接、轻便的移动应用和多媒体的信息处理，此外，当然还需对付更加激烈的市场竞争。

1. 嵌入式应用软件的开需要强大的开发工具和操作系统的支持

随着因特网技术的成熟、带宽的提高，ICP 和 ASP 在网上提供的信息内容日趋丰富、应用项目多种多样，像电话手机、电话座机及电冰箱、微波炉等嵌入式电子设备的功能不再单一，电气结构也更为复杂。为了满足应用功能的升级，设计师们一方面采用更强大的嵌入式处理器如 32 位、64 位 RISC 芯片或信号处理器 DSP 增强处理能力；同时还采用实时多任务编程技术和交叉开发工具技术来控制功能复杂性，简化应用程序设计、保

障软件质量和缩短开发周期。

目前，国外商品化的嵌入式实时操作系统，已进入我国市场的有 WindRiver，Microsoft，QNX 和 Nuclear 等产品。我国自主开发的嵌入式系统软件产品如科银(CoreTek)公司的嵌入式软件开发平台 DeltaSystem，它不仅包括 DeltaCore 嵌入式实时操作系统，而且还包括 LamdaTools 交叉开发工具套件、测试工具、应用组件等；此外，中国科学院也推出了 Hopen 嵌入式操作系统。

2. 联网成为必然趋势

为适应嵌入式分布处理结构和应用上网需求，面向 21 世纪的嵌入式系统要求配备标准的一种或多种网络通信接口。针对外部联网要求，嵌入设备必须配有通信接口，相应需要 TCP/IP 协议簇软件支持；由于家用电器相互关联（如防盗报警、灯光能源控制、影视设备和信息终端交换信息）及实验现场仪器的协调工作等要求，新一代嵌入式设备还需具备 IEEE1394，USB，CAN，Bluetooth 或 IrDA 通信接口，同时也需要提供相应的通信组网协议软件和物理层驱动软件。为了支持应用软件的特定编程模式，如 Web 或无线 Web 编程模式，还需要相应的浏览器，如 HTML，WML 等。

3. 支持小型电子设备实现小尺寸、低功耗和低成本

为满足这种特性，要求嵌入式产品设计者相应降低处理器的性能，限制内存容量和复用接口芯片。这就相应提高了对嵌入式软件设计技术要求。例如，选用最佳的编程模型和不断改进算法，采用 Java 编程模式，优化编译器性能。因此，既需要软件人员有丰富经验，更需要发展先进嵌入式软件技术，如 Java，Web 和 WAP 等。

4. 提供精巧的多媒体人机界面

嵌入式设备之所以为亿万用户所乐于接受，重要因素之一是它们与使用者之间的亲和力，自然的人机交互界面，如司机操纵高度自动化的汽车主要还是通过习惯的方向盘、脚踏板和操纵杆。人们与信息终端交互要求以 GUI 屏幕为中心的多媒体界面。手写文字输入、语音拨号上网、收发电子邮件以及彩色图形、图像已取得初步成效。目前一些先进的 PDA 在显示屏幕上已实现汉字写入、短消息语音发布，但离掌式语言同声翻译还有很大距离。

1.1.6 嵌入式技术是中国 IT 发展的难得机遇

嵌入式系统工业基础是以具体应用为中心、以片上系统 SoC (System on a Chip) 设计为核心和面向实际应用的软硬件产品开发，为远远落后的我们提供了技术上发展和存在的可能空间。我国是信息产业的制造大国，但绝对不是信息产业的强国，一个制约我国成为信息产业强国的根本因素是集成电路制造和设计业。自从 1965 年我国研制出第一块集成电路到今，集成电路产业经历了近 40 年风风雨雨，可现在依然落后于发达国家，甚至不如后起的一些国家和地区。原因是多方面的：利用嵌入式系统带来的良好机遇，采取特色产品战略，瞄准 SoC，在发展系统产品的同时，大力发展各种具有自主知识产权的 IP (Intelligence Property) 核，形成技术积累和 IC 产品特色，满足国内嵌入式产品市

场需求，缩短技术差距，进而参与国际分工并进入国际市场，也可能是我国电子产业走出的一条新的成功道路。这是因为实现嵌入式系统需要系统技术、设计环境平台、IP 核、中间软件、制造工艺 5 大技术。其中在系统应用技术、特色的 IP 核和中间应用软件 3 个方面，最易于发挥我们在智力资源和满足市场需求方面的优势，而且投资小，见效快，易于启动和操作。

由于当前信息技术和网络技术的高速发展和后 PC (Post-PC) 时代的到来，嵌入式系统已广泛地渗透到科学研究、工程设计、军事技术、各类产品和商业文化艺术以及人们的日常生活中。随着国内外各种嵌入式产品的进一步开发和推广，嵌入式技术越来越和人们的生活紧密结合。由于诸多原因，我国计算机行业在过去未能赶上世界范围技术发展的前几次机遇；当我们意识到应组织发展本国计算机产业时，微软已在 PC 软件上处于世界垄断地位，我们只得在软件汉化等“小范围”徘徊，对计算机系统软件虽偶有出击，但难以冲出重围。21 世纪之初，微软王国已从登峰造极走向地位下滑的后 PC 时代。后 PC 时代，即非 PC 信息设备大显神通的时代。嵌入式系统正是非 PC 设备的主体，由于其应用广，领域特色突出，独霸这一市场。互联网技术在世界范围的扩展和中国通信事业的高速发展，已为我国开发嵌入式产品造就了广大市场，此外我国素有智力优势。因此，我国信息产业的专家、学者及制造商应该牢牢抓住这一大好机遇，找准发展点，在新一轮嵌入式技术上，下大力冲刺一番，定能使我国 IT 技术迈上一个台阶，对发展我国经济作出应有的贡献。

1.2 嵌入式系统的特点

由于嵌入式系统是特定环境下，针对特定的用途来设计的系统，所以不同于通用计算机系统。同样是计算机系统，嵌入式系统是针对具体应用设计的“专用系统”。它的硬件和软件都必须高效率地设计，“量体裁衣”，去除冗余，力争在较少的资源上实现更高的性能。与通用计算机系统相比，它具有以下显著特点：

(1) 是“专用”的计算机系统

嵌入式系统通常是面向特定任务的，而不同于一般通用 PC 计算平台，是“专用”的计算机系统。

嵌入式系统微处理器大多非常适合于工作在为特定用户群所设计的系统中，称为“专用微处理器”，它专用于某个特定的任务，或者很少几个任务。具体的应用需求决定着嵌入式处理器的性能选型和整个系统的设计。如果要更改其任务，就可能要废弃整个系统并重新进行设计。

(2) 运行环境差异大

嵌入式系统运行环境差异很大。

嵌入式系统无所不在，但运行环境差异也很大，可运行在飞机上、冰天雪地的两极中、骄阳似火的汽车里、要求温湿度恒定的科学实验室等。特别是在恶劣的环境或突然断电的情况下，要求系统仍能够正常工作。这些情况对设计人员来说，意味着要同时考

虑到硬件与软件。“严酷的环境”一般意味着更高的温度与湿度。军用设备标准对嵌入式元器件的要求非常严格，并且在价格上与商用、民用差别很大。例如，Intel 公司 8086，当它用在火箭上时，单价竟高达几百美元。

(3) 比通用 PC 系统资源少

嵌入式系统比通用 PC 系统资源少很多。

通用 PC 系统有数不胜数的系统资源，可轻松地完成各种工作。在自己的 PC 机上编写程序的同时，可播放 MP3，CD，下载资料等。因为个人 PC 机拥有几百兆，甚至几个 G 内存，几十个 G 的硬盘空间，并且在 SCSI 卡上连接软驱和 CD-ROM 驱动器是目前非常普遍的配置。而控制 GPS 接收机的嵌入式系统，由于是专门执行很少几个确定任务的，它所能管理的资源比能用 PC 系统少很多。当然，这主要是因为在设计时考虑到经济性，不能使用通用的 CPU。这就意味着选用的 CPU 只能管理很少的资源，其成本更低，结构更简单。

(4) 功耗低、体积小、集成度高、成本低

嵌入式系统“嵌入”到对象的体系中，对对象、环境和嵌入式系统自身具有严格的要求。一般的嵌入式系统具有功耗低、体积小、集成度高、成本低等特点。

通用 PC 有足够大的内部空间，具有良好的通风能力，系统中的 Pentium 或 AMD 处理器均配备庞大的散热片和冷却风扇进行系统散热。而许多嵌入式系统就没有如此充足的电能供应，尤其是便携式嵌入式设备，即使有足够的电源供应，散热设备的增加也往往是不方便的。因此，在设计嵌入式系统时，应尽可能降低功耗。整个系统设计有严格的功耗预算，因为系统中的处理器大部分时间必须工作在低功耗的睡眠模式下，只有在处理任务时，它才会醒来。软件必须围绕这种特性进行设计。因此，一般的外部事件通过中断驱动唤醒系统工作。

功耗约束影响了系统设计决策的许多方面，包括处理器的选择、内存体系结构的设计等。系统要求的功耗很有可能决定软件是用汇编语言编写，还是用 C/C++ 语言编写，这是由于必须在功耗预算内使系统达到最佳性能。功耗需求由 CPU 时钟速度以及使用的其他部件（RAM，ROM，I/O 设备等）的数量决定。因此，从软件设计人员的观点来看，功耗约束可能成为决定性的系统约束，它决定了软件工具的选择、内存的大小和性能的好坏。

能够把通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在高度集成的 SoC 系统芯片内部，而不是微处理器与分立外设的组合，就能节省许多印制电路板、连接器等，使系统的体积、功耗、成本大大降低，也能提高移动性和便携性，从而使嵌入式系统的设计趋于小型化、专业化。

嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计，在保证稳定、安全、可靠的基础上量体裁衣，去除冗余，力争用较少的软硬件资源实现较高的性能。这样，才能最大限度地降低应用成本，从而在具体应用中更具有市场竞争力。

(5) 具有系统测试和可靠性评估体系

建立完整的嵌入式系统的系统测试和可靠性评估体系，保证嵌入式系统高效、可靠、稳定地工作。

嵌入式应用的复杂性、繁杂性要求设计的代码应该是完全没有错误的。怎样才能科学、完整地测试全天候运行的嵌入式复杂软件呢？首先，要有科学的测试方法，建立科学的系统测试和可靠性评估体系，尽可能避免因系统的不可靠而造成巨大损失。在大多数嵌入式系统中一般都包括一些机制，比如看门狗定时器，它在软件失去控制后能使之重新开始正常运行。总之，嵌入式软件测试和评估体系是非常复杂的一门学科。

（6）具有较长的生命周期

嵌入式系统是和实际具体应用有机结合的产物，它的升级换代也是和具体产品同步进行的。因此，一旦定型进入市场，一般就具有较长的生命周期。

（7）具有固化在非易失性存储器中的代码

嵌入式系统的目标代码通常是固化在非易失性存储器（ROM，EPROM，EEPROM 和 Flash）芯片中。

嵌入式系统开机后，必须有代码对系统进行初始化，以便其余的代码能够正常运行。这就是建立运行时的环境，比如初始化 RAM 放置变量，测试内存的完整性，测试 ROM 完整性以及其他初始化任务。为了系统的初始化，几乎所有系统都要在非易失性存储器（现在普遍使用 Flash）中存放部分代码（启动代码）。为了提高执行速度和系统可靠性，大多数嵌入式系统常把所有代码（也常使用所有代码的压缩代码）固化、存放在存储器芯片或存储器的内部存储器件中，而不使用外部的磁盘等存储介质。

（8）使用实时操作系统 RTOS

嵌入式系统使用的操作系统一般是实时操作系统 RTOS，系统有实时约束。

嵌入式系统往往对时间的要求非常严格，且一般是实时操作系统 RTOS（Real-Time Operating System）。嵌入式实时操作系统随时都要对正在运行的任务授予最高优先级。嵌入式任务是时间关键性约束，它必须在某个时间范围内完成，否则由其控制的功能就会失效。例如，控制飞行器稳定飞行的控制系统如果反馈速度不够，其控制算法就可能会失效，飞行器在空中飞行就会出现問題。

（9）需要专用开发工具和方法进行设计

从调试的观点看，代码在 ROM 中意味着调试器不能在 ROM 中设置断点。要设置断点，调试器必须能够用特殊指令取代用户指令。嵌入式调试已发展出支持嵌入式系统开发过程的专用工具套件。

（10）包括专用调试电路

目前常用的嵌入式微处理器较过去相比，最大区别是芯片上都包含专用调试电路，如 ARM 的 Embedded ICE。这一点似乎与反复强调的嵌入式系统经济性相矛盾。事实上，大多数厂商发现为所有芯片加入调试电路更经济。嵌入式处理器发展到现在，厂商都认识到了具有片上调试电路是嵌入式应用产品广泛应用的必要条件之一。也就是说，他们的芯片必须能提供很好的嵌入式测试方案，解决嵌入式系统设计及调试问题，这样才会使面临上市压力的应用开发者在考虑其嵌入式系统芯片时，采用这些厂商的芯片。

（11）是知识集成系统

嵌入式系统是技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体工艺、电子技术和通信网络技术与各领

域的具体应用相结合的产物。这一特点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。嵌入式系统的广泛应用前景和巨大的发展潜力已成为 21 世纪 IT 技术发展的热点之一。

从某种意义上来说,通用计算机行业的技术是垄断的。占整个计算机行业 90%的 PC 产业,80%采用 Intel 公司的 8X86 体系结构,芯片基本上出自 Intel,AMD 和 Cyrix 等几家公司。在几乎每台计算机必备的操作系统和办公软件方面,Microsoft 公司的 Windows 及 Office 占 80%~90%,凭借操作系统还可搭配其他办公等应用程序。因此,当代的通用计算机行业的基础已被认为是由 Wintel (Microsoft 和 Intel 公司 20 世纪 90 年代初建立的联盟)垄断的行业。

嵌入式系统则不同,没有哪一个系列的处理器和操作系统能够垄断其全部市场。即便在体系结构上存在着主流,但各个不相同的应用领域决定了不可能有少数公司、少数产品垄断全部市场。因此,嵌入式系统领域的产品和技术必然是高度分散的,留给各行业的中小规模高技术公司的创新余地很大。另外,各个应用领域是在不断向前发展的,要求其中的嵌入式处理器/DSP 核心也同步发展。尽管高科技技术的发展起伏不定,但嵌入式行业却一直保持持续强劲的发展态势,在复杂性、实用性和高效性等方面都达到了一个前所未有的高度。

1.3 嵌入式系统组成结构

嵌入式系统是专用计算机应用系统,它具有一般计算机组成的共性,也是由硬件和软件组成的。图 1-1 完整地描述了嵌入式系统的软硬件各部分的组成结构。

嵌入式系统的硬件是嵌入式系统软件环境运行的基础,它提供了嵌入式系统软件运行的物理平台和通信接口;嵌入式操作系统和嵌入式应用软件则是整个系统的控制核心,控制整个系统的运行,提供人机交互的信息等。为了叙述方便,将嵌入式系统的软件分为嵌入式操作系统和嵌入式应用软件两大部分。由于嵌入式系统和实际应用对象密切相关,而实际应用非常繁杂,应用也日新月异,很难用一种构架或模型加以描述。

1.3.1 嵌入式系统硬件基本结构介绍

嵌入式系统的硬件架构如图 1-1 下半部分所示,是以嵌入式处理器为中心,由存储器、I/O 设备、通信模块及电源等必要的辅助接口组成。嵌入式系统是量身定做的专用计算机应用系统,又不同于普通计算机组成,在实际应用中的嵌入式系统硬件配置非常精简,除了微处理器和基本的外围电路以外,其余的电路都可根据需要和成本进行裁剪、定制 (Customize),非常经济、可靠。

嵌入式系统硬件核心是嵌入式微处理器,有时为了提高系统的信息处理能力,常外接 DSP 和 DSP 协处理器 (也可内部集成),以完成高性能信号处理。

随着计算机技术、微电子技术、应用技术的不断发展及纳米芯片加工工艺技术的发展

展，以微处理器为核心的集成多种功能的 SoC 系统芯片已成为嵌入式系统的核心。在嵌入式系统设计中，要尽可能地选择能满足系统功能接口的 SoC 芯片。这些 SoC 芯片集成了大量的外围 USB，UART，以太网，AD/DA，IIS 等功能模块。

可编程片上系统 SOPC (System On Programmable Chip) 结合了 SoC 和 PLD，FPGA 各自技术优点，使得系统具有可编程功能，是可编程逻辑器件在嵌入式应用中的完美体现，极大地提高了系统的在线升级、换代能力。

以 SoC/SOPC 为核心，用最少的外围部件和连接部件构成一个应用系统，满足系统的功能需求，这也是嵌入式系统发展的一个方向。

因此，现代嵌入式设计是以处理器/SoC/SOPC 为核心来完成系统设计的，其外围接口包括存储设备、通信接口设备、扩展设备接口和辅助的机电设备（电源、连接器、传感器等），构成硬件系统。

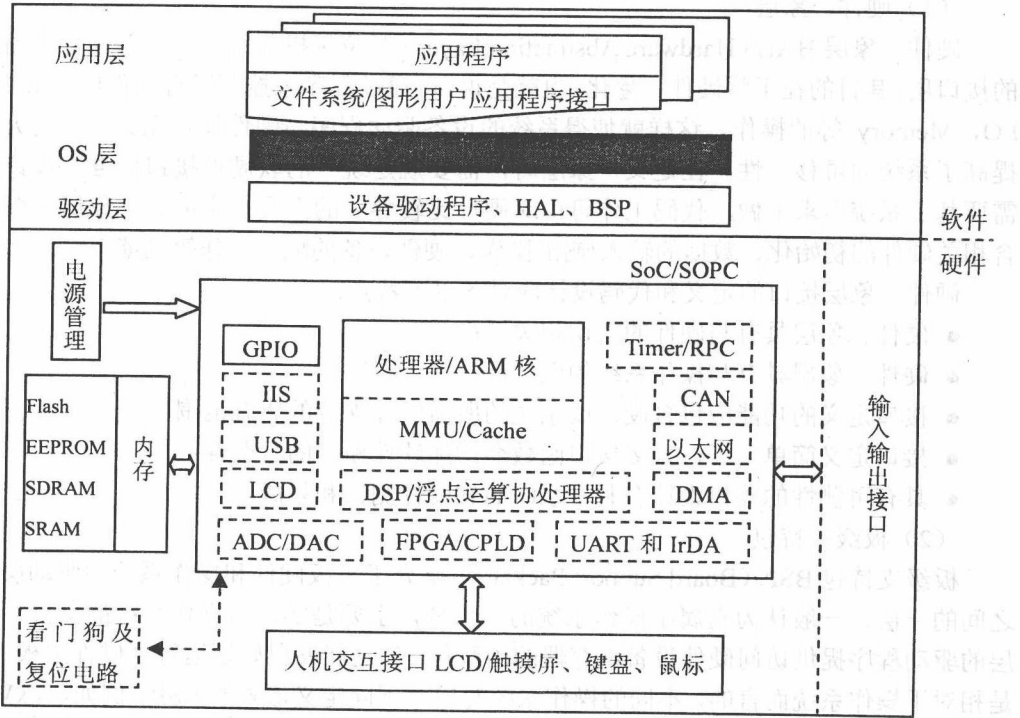


图 1-1 典型的嵌入式系统组成

1.3.2 嵌入式系统软件的层次结构

在设计一个简单的应用程序时，可以不使用操作系统，但在设计较复杂的程序时，可能就需要一个操作系统（OS）来管理和控制内存、多任务、周边资源等。依据系统所提供的程序界面来编写应用程序，可大大减少应用程序员的负担。

对于使用操作系统的嵌入式系统来说，嵌入式系统软件结构：设备驱动层、实时操