

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

吴国伟 姚琳 刘坐松 编著

嵌入式操作系统 原理与应用

清华大学出版社



21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

吴国伟 姚琳 刘坐松 编著

嵌入式操作系统 原理与应用



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书深入而全面地论述了嵌入式操作系统的基本原理及应用开发方法,主要内容包括嵌入式操作系统的基本特性、基于嵌入式操作系统的嵌入式软件基本开发方法和流程、嵌入式软件结构、异常和中断处理方法、定时器和定时器服务、嵌入式软件设计中的常见问题、典型嵌入式操作系统 Android 的基本构成和应用开发案例。

本书注重知识的系统性和先进性,注重理论和实践的联系,以实例应用来阐述嵌入式操作系统相关知识模块,有利于培养嵌入式软件应用开发能力。

本书可作为普通高等院校软件工程、计算机科学与技术、通信工程等专业的低年级本科生和研究生教材,也可作为相关工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式操作系统原理与应用/吴国伟,姚琳,刘坐松编著.--北京:清华大学出版社,2011.11
(21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材)

ISBN 978-7-302-26548-1

I. ①嵌… II. ①吴… ②姚… ③刘… III. ①实时操作系统—高等学校—教材 IV. ①TP316.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 174697 号

责任编辑:高买花 李玮琪

责任校对:白 蕾

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18 字 数:450 千字

版 次:2011 年 11 月第 1 版 印 次:2011 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.50 元

产品编号:039529-01

出版说明

嵌入式计算机技术是 21 世纪计算机技术两个重要发展方向之一,其应用领域相当广泛,包括工业控制、消费电子、网络通信、科学研究、军事国防、医疗卫生、航空航天等方方面面。我们今天所熟悉的电子产品几乎都可以找到嵌入式系统的影子,它从各个方面影响着我们的生活。

技术的发展和生产力的提高,离不开人才的培养。目前国内外各高等院校、职业学校和培训机构都涉足了嵌入式技术人才的培养工作,高校及其软件学院和专业的培训机构更是嵌入式领域高端人才培养的前沿阵地。国家有关部门针对专业人才需求大增的现状,也着手开发“国家级”嵌入式技术培训项目。2006 年 6 月底,国家信息技术紧缺人才培养工程(NITE)在北京正式启动,首批设定的 10 个紧缺专业中,嵌入式系统设计与软件开发、软件测试等 IT 课程一同名列其中。嵌入式开发因其广泛的应用领域和巨大的人才缺口,其培训也被列入国家商务部门实施服务外包人才培训“千百十工程”,并对符合条件的人才培训项目予以支持。

为了进一步提高国内嵌入式系统课程的教学水平和质量,培养适应社会经济发展需要的、兼具研究能力和工程能力的高质量专业技术人才,在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,清华大学出版社与国内多所重点大学共同对我国嵌入式系统软硬件开发人才培养的课程框架和知识体系,以及实践教学内容进行了深入的研究,并在该基础上形成了“嵌入式系统教学现状分析及核心课程体系研究”、“微型计算机原理与应用技术课程群的研究”、“嵌入式 Linux 课程群建设报告”等多项课程体系的研究报告。

本系列教材是在课程体系的研究基础上总结、完善而成,力求充分体现科学性、先进性、工程性,突出专业核心课程的教材,兼顾具有专业教学特点的相关基础课程教材,探索具有发展潜力的选修课程教材,满足高校多层次教学的需要。

本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本组织原则和特点。

(1) 反映嵌入式系统学科的发展和专业教育的改革,适应社会对嵌入式人才的培养需求,教材内容坚持基本理论的扎实和清晰,反映基本理论和原理的综合应用,在其基础上强调工程实践环节,并及时反映教学体系的调整 and 教学内容的更新。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点。规划教材建设把重点放在专业核心(基础)课程的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现工程型和应用型的专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

(4) 支持一纲多本,合理配套。专业核心课和相关基础课的教材要配套,同一门课程可以有多种具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教

学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源的配套。

(5) 依靠专家,择优落实。在制定教材规划时依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主编。书稿完成后认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的、以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

联系人: 魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

嵌入式技术是物联网系统的底层基础。嵌入式系统的应用无处不在,典型应用包括智能信息家电、车载网系统、智能交通、消费类电子等应用领域。

伴随着嵌入式技术的发展,国内外各高校陆续开设了“嵌入式操作系统”的相关课程,介绍嵌入式操作系统的结构、原理及应用开发。然而,现有嵌入式操作系统教材、有的偏重于结构、原理的阐述,比较抽象,学生难于掌握和应用;有的侧重阐述某一个具体的嵌入式操作系统的应用方法,缺少嵌入式操作系统的一般知识与原理,读者难以举一反三。据此,编者精心组织编写了本书,以利于教学和应用。

内容安排上,全书共分 10 章,分别介绍了嵌入式操作系统的基本概念、嵌入式操作系统的组成结构、基于嵌入式操作系统的嵌入式软件开发方法和流程。重点阐述了嵌入式操作系统的软件设计、中断和异常的处理、定时服务、软件设计中的普遍问题等,并以典型的嵌入式操作系统 Android 为例阐述了其基本构成和应用开发。

叙述方法上,各章首先介绍了相应知识模块的基本原理,然后通过实例设计来阐述相应的实践应用,这种叙述方法最大限度地使读者易于掌握嵌入式操作系统原理及其应用。此外,本书的案例均是作者多年科研实践的项目总结,具有很强的工程实用性。

本书适合作为高年级本科生、研究生和从事嵌入式软件开发设计的工程技术人员。

本书由多位教师合力完成,吴国伟撰写了第 1、2、8、9 章,姚琳撰写了第 3、4、10 章,刘坐松撰写了第 5、6、7 章。

本书的出版得到教育部特色专业建设支持,Intel 教育部精品课程建设和大连理工大学精品课程建设支持。感谢大连理工大学软件学院领导对本书出版的关怀和支持;同时,本书的出版也得到了清华大学出版社的大力支持,对他们的辛苦工作表示感谢。

伴随着物联网的发展,嵌入式系统技术也不断发展。由于作者才疏学浅,书中错误在所难免,敬请读者批评指正,E-mail: wgwdu@dlut.edu.cn。

编著者

2011 年 8 月

目 录

第 1 章 嵌入式操作系统基本概念	1
1.1 嵌入式系统的基本概念	1
1.1.1 现代计算机发展的历史	1
1.1.2 嵌入式系统的定义和特点	1
1.1.3 嵌入式系统的独立发展	3
1.2 嵌入式系统的架构	4
1.3 嵌入式处理器	4
1.3.1 嵌入式处理器分类	5
1.3.2 典型嵌入式微处理器介绍	6
1.3.3 嵌入式处理器选型原则	8
1.4 嵌入式操作系统	10
1.4.1 概述	10
1.4.2 典型的嵌入式操作系统	10
1.5 嵌入式系统的开发方法	11
1.6 嵌入式系统的现状和发展趋势	15
思考题	18
第 2 章 嵌入式软件设计——结构与方法	19
2.1 嵌入式软件系统结构	19
2.1.1 嵌入式系统软件	19
2.1.2 板级支持包 BSP	25
2.1.3 轮转结构	26
2.1.4 带有中断的轮转结构	28
2.1.5 实时操作系统结构	33
2.1.6 嵌入式软件结构的选择	35
2.2 嵌入式软件开发工具	35
2.2.1 宿主机与目标机	35
2.2.2 嵌入式系统的链接器和定位器	39
2.2.3 调试技术	47
2.3 嵌入式系统的软件设计方法	52
2.3.1 无嵌入式操作系统的软件设计方法	52
2.3.2 有嵌入式操作系统的软件设计方法	55
思考题	59

第3章 嵌入式操作系统服务	60
3.1 嵌入式操作系统服务	60
3.1.1 消息队列、信箱和管道	60
3.1.2 定时器服务	69
3.1.3 事件	73
3.1.4 存储管理	75
3.1.5 中断服务	78
3.1.6 进程间通信	82
3.1.7 设备管理与驱动	85
3.2 调度器	87
3.2.1 可调度实体	87
3.2.2 多任务	88
3.2.3 上下文切换	88
3.2.4 调度算法	88
3.2.5 Linux 任务调度	90
3.3 操作系统性能	94
3.4 设计实例：嵌入式 Linux 中的进程管理	95
3.5 完全公平调度程序	100
3.5.1 概述	100
3.5.2 CFS 原理	100
思考题	101
第4章 嵌入式系统软件设计——异常和中断	102
4.1 异常和中断的基本概念	102
4.2 异常的分类和优先级	104
4.2.1 异常的分类	104
4.2.2 异常的优先权	105
4.3 可编程中断控制器和外部中断	106
4.4 异常和中断的处理	108
4.4.1 异常和中断处理程序的安装	109
4.4.2 保存处理器状态	110
4.4.3 装入和调用异常处理程序	111
4.5 ARM 异常中断机制	112
4.5.1 概述	112
4.5.2 ARM 的异常中断响应过程	113
4.5.3 ARM 异常中断优先级	117
4.5.4 中断控制寄存器	117
4.6 操作系统对中断的支持	132

4.6.1 嵌入式 Linux 异常和中断的处理	132
4.6.2 设计实例: μ C/OS-II 异常和中断的处理	135
4.6.3 设计实例: WinCE 异常和中断的处理	138
4.7 中断编程实例	138
4.7.1 中断编程模式	139
4.7.2 实例	139
思考题	144
第 5 章 嵌入式软件设计中的普遍问题	145
5.1 同步与通信	145
5.1.1 资源同步	145
5.1.2 关键段重访问	147
5.1.3 特殊解决方案的设计模式	147
5.1.4 应用实例	151
5.2 死锁及处理	156
5.2.1 死锁检测	157
5.2.2 死锁恢复	160
5.2.3 死锁避免	160
5.2.4 死锁预防	161
5.2.5 应用实例——银行家算法	162
5.3 优先权倒置	175
5.3.1 资源共享引发的问题	175
5.3.2 优先级倒置技术	175
5.3.3 两种优先级倒置方案	176
5.4 堆栈溢出	176
思考题	179
第 6 章 Android 系统	180
6.1 Android 系统架构	180
6.1.1 软件结构	180
6.1.2 开发环境及工具	183
6.1.3 Android 的底层库 libutils 介绍	186
6.2 Android 的 Linux 内核与驱动程序	194
6.2.1 Linux 内核特性	194
6.2.2 设备管理方法	197
6.2.3 Android 专用驱动	200
思考题	201

第 7 章 Android 系统驱动设计	202
7.1 Framebuffer 显示驱动	202
7.1.1 驱动架构	202
7.1.2 注册与注销方法	205
7.2 MTD 驱动	205
7.2.1 驱动架构	206
7.2.2 注册与注销方法	208
7.3 蓝牙驱动	209
7.3.1 驱动架构	209
7.3.2 注册与注销方法	211
思考题	211
第 8 章 Android ARM 平台移植	212
8.1 ARM 11 平台	212
8.1.1 平台组成	212
8.1.2 移植需求	215
8.2 移植 LCD double buffer 驱动	216
8.2.1 Android 图形显示原理	216
8.2.2 Android 的双缓冲技术	217
8.2.3 底层驱动与驱动移植	218
8.3 移植触摸屏驱动	219
8.4 移植电源管理驱动, 支持 Android 电池/能源管理	221
8.5 Android 系统部署	225
思考题	227
第 9 章 基于 Android 的应用程序开发	228
9.1 程序框架	228
9.1.1 程序目录结构	228
9.1.2 Android 应用解析	230
9.2 多线程程序设计	232
9.3 多媒体应用程序设计	234
9.4 网络服务	241
思考题	244
第 10 章 应用实例	245
10.1 记事本	245
10.1.1 UI 设计	245
10.1.2 数据库设计	245

10.2	手机信息查看助手	248
10.2.1	功能设计	248
10.2.2	性能规定	248
10.2.3	系统分析	249
10.2.4	界面设计	251
10.2.5	代码结构设计	254
10.2.6	代码各模块的主要功能及主要函数	255
10.3	smart 电子词典	261
10.3.1	系统设计	262
10.3.2	系统实现	265
10.3.3	具体技术分析	270
参考文献		276

第 1 章 嵌入式操作系统基本概念

嵌入式系统正在重新塑造人们的生活、工作和娱乐方式。嵌入式系统产生了无数的种类,每类都具有自己独特的个性。例如,当今驾驶的汽车就嵌入了执行附加任务的智能计算机芯片,它使汽车更轻快、更干净、更容易驾驶。电话系统依靠集成在一起的多个硬件和软件将全世界的人们联系起来。即使在私人住宅中,也充满了智能家电和围绕嵌入式系统建造的集成系统,这些都极大地便利和丰富了人们的生活。

现实生活中的嵌入式系统实例无处不在,例如,电视的有线或卫星接收盒、机顶盒、家庭影院系统和电话自动应答机等。本章将介绍嵌入式系统的概念、特点及发展趋势。

1.1 嵌入式系统的基本概念

1.1.1 现代计算机发展的历史

计算机作为 20 世纪最伟大的发明,给人们的生活带来了翻天覆地的变化。传统上,按照结构规模的不同,把计算机分为大型机、中型机、小型机和微型计算机,并以此来组织学科和产业分工,这种分类沿袭了约 40 年。近十几年来随着计算机技术的迅速发展,各种社会需求的不断涌现,使得实际情况产生了根本性的变化:例如,个人计算机占据了当前全球计算机工业 90% 的市场份额,个人计算机的处理速度早已超过了几十年前大型计算机的运算速度;再如,十几年前的笔记本计算机曾被视为“阳春白雪”,价格十分昂贵,如今性能提升了几十倍,价格只有当初十分之一的笔记本早已走入千家万户。此外,各种包含微处理器的消费类电子产品如 MP4、个人数字助理(Personal Digital Assistant, PDA)、手机、数码相机等已成为人们生活中不可或缺的一部分。由此可见,计算机技术的发展已经使按照规模划分层次结构的方法落后于实际情况,计算机技术和产品在不断地对其他行业进行广泛的渗透,以应用为中心的分类方法变得更为切合实际,即按计算机的嵌入式应用和非嵌入式应用将其分为嵌入式计算机和通用计算机。

通用计算机具有计算机的标准形态,通过安装不同的应用软件,以相似面目出现并应用在社会各个方面,其典型产品为个人计算机(Personal Computer, PC)。而嵌入式计算机则是以嵌入式系统的形式隐藏在各种装置、产品和系统内部,不显式地具有计算机的外观,没有通用计算机的标准输入和标准输出部分,功能比较单一,一般不具备通用计算机处理各种事务的综合能力。

1.1.2 嵌入式系统的定义和特点

1. 嵌入式系统的定义

根据 IEEE(国际电气电子工程师协会)的定义:嵌入式系统是“用来控制或监视机器、

装置或工厂等大规模系统的设备”(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。

在国内嵌入式行业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。从这个定义可以看出,嵌入式系统是与应用紧密结合的,它具有很强的专用性,必须结合实际系统需求进行合理的裁剪利用。因此有人把嵌入式系统比作是一个针对特定的应用而“量身定做”的专用计算机系统。

IEEE 给嵌入式系统下的定义是从整体上对嵌入式系统的描述,而国内嵌入式行业所下的定义更侧重细节。当然,随着时代的发展,会不断赋予嵌入式系统新的内涵。因此我们对嵌入式系统定义的理解也会随着时代的不同而有所变化。例如,当前的嵌入式系统功能已经非常完善,其内部资源和处理速度远远超过 20 世纪 90 年代的计算机。由于网络技术的发展,当前的嵌入式产品不仅支持各种通信协议,而且在互联网、浏览器、可视化等方面都取得了很大的突破。

2. 嵌入式系统的特点

网络已经普遍融入到日常生活中,因此,嵌入式系统的发展从早期到现在,也因为网络环境的成长,开始有了急剧的变化。因为环境的改变,嵌入式操作系统不再仅仅只需要负责某一特定的功能,而必须面对各种日益复杂的函数库,更需要支持各种不同的网络通信协议。嵌入式系统的产品形态,逐渐朝多机一体的复合式方向发展,例如智能型手机,除了手机功能外,又结合了 PDA、数码相机等功能。因此,未来嵌入式操作系统所需执行的功能将越来越多元,也越来越复杂,而不像早期的嵌入式操作系统,单纯只为特定情况服务。为了应付现今的改变,嵌入式操作系统必须具备下列条件。

(1) 精简内存空间

因为系统设计与成本问题,嵌入式系统的内存空间都会有一定的容量上限,所以精简内存空间是嵌入式操作系统的基本要求。虽然内存的发展技术日趋成熟,让内存的价格不再像以前那样高不可攀,但操作系统所需的内存空间越少,相对就能释放出更多的内存,产品的价格竞争力也就会跟着提高。即使所用空间较小,也要维持良好的执行效率,如此才能使产品除了具有价格优势之外,也具有效能上的优势。

(2) 待机时间长

消费性电子产品,为了能吸引顾客使用,通常机身设计都会比较小,所以电池容量就不会太大。待机时间越长的产品,就越具有市场竞争力。在一些嵌入式硬件的设计上,本身就有支持省电的功能。若是操作系统也具备相同的支持能力,让嵌入式系统可以根据使用的状况,来调整硬件的执行电压或是操作的频率等,就能发挥这些硬件在省电上的最大效能。更有些嵌入式系统会使用电源感知技术,并将其融入到嵌入式操作系统内,使该系统可根据使用上的需求,自动调整线程的切换频率,达到省电的效果。

(3) 可与外界设备连接

嵌入式系统能与外界设备互相连接,且彼此沟通信息,其系统的附加价值才会高,例如传送通讯录、电子邮件或下载音乐等。为了达到这个目的,大部分嵌入式系统都会通过串行端口、红外线或者是 USB 来进行传输操作。

(4) 动态加载应用程序

由于嵌入式系统只具备一些基本的功能,并不能完全符合用户的需求,所以系统就必须为用户提供扩充或者下载的能力。下载的程序可以通过与计算机连接同步传输或是其他途径,将程序加载到系统上执行,该动作称为“动态加载”。为了实现动态加载的功能,需要嵌入式操作系统能够调整内存空间,并且配合系统强大的函数库,才能完成此动作。

(5) 网络通信

为了能够扩充嵌入式系统的网络功能,许多系统都提供扩充卡,以达到无线通信的功能,来提升嵌入式系统的工作。为了达到此种目标,嵌入式操作系统还必须支持各种不同的通信协议。

1.1.3 嵌入式系统的独立发展

由嵌入式系统的定义可以知道,用于嵌入式系统上的操作系统,会与一般计算机所使用的操作系统有着极大的差别,而且因为嵌入式系统几乎都是为专业特定功能或是为客户量身定做而设计的,所以搭配使用于系统上的操作系统,也都必须为该系统专门定做,才可以符合系统要求。嵌入式操作系统所扮演的角色主要就是控制系统的负载及监控应用程序,图 1.1 为嵌入式操作系统的演变过程。

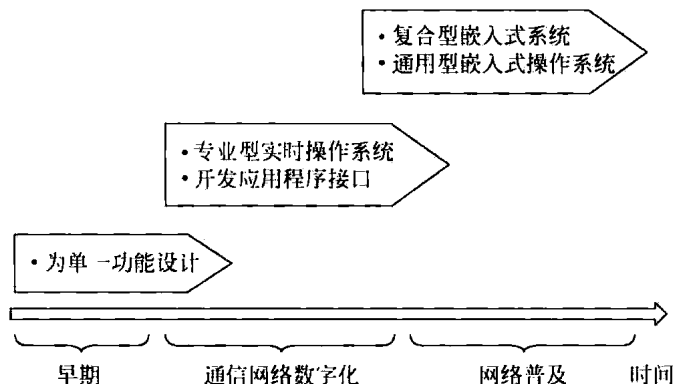


图 1.1 嵌入式操作系统的演进

早期的嵌入式系统,基本上都是为了某一个特定功能而设计的,也因为功能简单,所以对于嵌入式操作系统的要求并不多,只希望操作系统能辅助系统维持一定的稳定性,并能操作一些简单的小型应用程序。但因为嵌入式系统日趋复杂,所以现今安装于系统上的嵌入式操作系统几乎都必须由厂家自行开发,唯有自行研发才能完全符合系统产品的需求。这种专属于某种嵌入式系统的操作系统,属于封闭式系统架构。

随着嵌入式系统产业持续发展,通信网络数字化的潮流兴起,对于嵌入式系统的实时性要求也越来越高。就操作系统而言,实时操作系统开始成为市场主流。由于实时操作系统的产业兴起,在市场上出现了多种操作系统供系统厂商选择。系统厂商若选择现有的操作系统,就可以缩短其系统开发时程。此种专业型实时操作系统,为了能够应付系统厂商提出的各种需求,大多以开放式架构为主。除了采用开放式架构外,为了应付系统功能的不断扩增,嵌入式操作系统也开始具备一般计算机所拥有的文件管理、图形接口、安全管理、网络通

信数据处理以及多任务环境等功能,并提供中间软件与应用程序开发接口,使应用软件的开发与执行更加方便,也更有效率。

如今,信息科技的发展已经进入到网络普及的时代,使用宽带网络已成为生活中的寻常事。由于用户对嵌入式产品的要求越来越广,所以具备多种功能的复合型嵌入式系统逐渐成为主流,因此,整个嵌入式系统架构也会趋于复杂。通用型操作系统也进入了嵌入式的领域,与实时操作系统共同竞争新的市场。

1.2 嵌入式系统的架构

虽然嵌入式系统发展至今,技术不断改进,操作系统不断更新,而且硬件也推陈出新,但基本上,嵌入式系统上的软件功能都可以用层级的架构来描述,如图 1.2 所示。例如,PDA 在进行远程个人信息管理时,会通过数字网络进入 ISP 的服务器,以整理电子邮件或其他信息。整个过程会由特定的通信协议与程序来完成。这些协议运行于驱动程序之上,类似一般的通信软件。

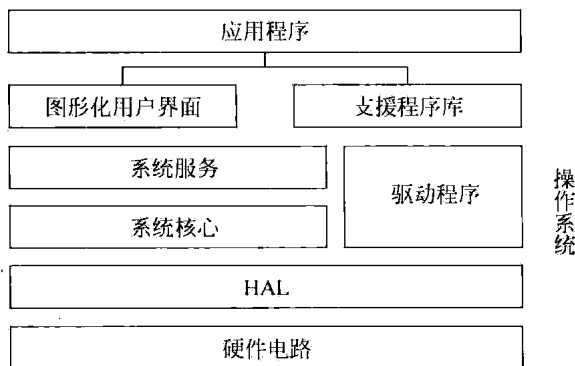


图 1.2 嵌入式系统的层级架构

1.3 嵌入式处理器

嵌入式处理器是嵌入式系统的核心,是控制、辅助系统运行的硬件单元。范围极其广阔,从最初的 4 位处理器,目前仍在大规模应用的 8 位单片机,到最新的受到广泛青睐的 32 位、64 位嵌入式 CPU。

目前世界上具有嵌入式功能特点的处理器已经超过 1000 种,流行体系结构包括 MCU、MPU 等 30 多个系列。鉴于嵌入式系统广阔的发展前景,很多半导体制造商都大规模生产嵌入式处理器,并且公司自主设计处理器也已经成为未来嵌入式领域的一大趋势,其中从单片机、DSP 到 FPGA 有着各式各样的品种,速度越来越快,性能越来越强,价格也越来越低。目前嵌入式处理器的寻址空间可以从 64KB 到 32MB,处理速度最快可以达到 2000MIPS,封装从 8 个引脚到 144 个引脚不等。

1.3.1 嵌入式处理器分类

根据其现状,嵌入式处理器可以分成下面几类。

1. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器(Embedded Microprocessor Unit, EMPU)的基础是通用计算机中的CPU。在应用中,将微处理器装配在专门设计的电路板上,只保留和嵌入式应用有关的母板功能,这样可以大幅度减小系统体积和功耗。为了满足嵌入式应用的特殊要求,嵌入式微处理器虽然在功能上和标准微处理器基本是一样的,但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面一般都做了各种增强。

和工业控制计算机相比,嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点,但是在电路板上必须包括 ROM、RAM、总线接口、各种外设等器件,从而降低了系统的可靠性,技术保密性也较差。嵌入式微处理器及其存储器、总线、外设等安装在一块电路板上,称为单板计算机,如 STD-BUS、PC104 等。近年来,德国、日本的一些公司又开发出了类似“火柴盒”式名片大小的嵌入式计算机系列 OEM 产品。

嵌入式处理器目前主要有 Am186/88、386EX、SC-400、Power PC、68000、MIPS、ARM 系列等。

2. 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器(Microcontroller Unit, MCU)又称单片机,顾名思义,就是将整个计算机系统集成到一块芯片中。嵌入式微控制器一般以某一种微处理器内核为核心,芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、WatchDog、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要功能和外设。为适应不同的应用需求,一般一个系列的单片机具有多种衍生产品,每种衍生产品的处理器内核都是一样的,不同的是存储器和外设的配置及封装。这样可以使单片机最大限度地和应用需求相匹配,功能不多不少,从而减少功耗和成本。

和嵌入式微处理器相比,微控制器的最大特点是单片化,体积大大减小,从而使功耗和成本下降,可靠性提高。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流。微控制器的片上外设资源一般比较丰富,适合于控制,因此称微控制器。

嵌入式微控制器目前的品种和数量最多,比较有代表性的通用系列包括 8051、P51XA、MCS-251、MCS-96/196/296、C166/167、MC68HC05/11/12/16、68300 等。另外还有许多半通用系列,如支持 USB 接口的 MCU 8XC930/931、C540、C541,支持 I2C、CAN-Bus、LCD 及众多专用 MCU 和兼容系列。目前 MCU 占嵌入式系统约 70% 的市场份额。

特别值得注意的是近年来提供 x86 微处理器的著名厂商 AMD 公司,Am186CC/CH/CU 等嵌入式处理器称为 Microcontroller, Motorola 公司把以 Power PC 为基础的 PPC505 和 PPC555 亦列入单片机行列。TI 公司亦将其 TMS320C2×××系列 DSP 作为 MCU 进行推广。

3. 嵌入式 DSP 处理器

嵌入式 DSP 处理器(Embedded Digital Signal Processor, EDSP)对系统结构和指令进行了特殊设计,使其适合于执行 DSP 算法,编译效率较高,指令执行速度也较高。在数字滤波、FFT、谱分析等方面 DSP 算法正在大量进入嵌入式领域,DSP 应用正从在通用单片机中

以普通指令实现 DSP 功能,过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。嵌入式 DSP 处理器有两个发展来源,一是 DSP 处理器经过单片化、EMC 改造、增加片上外设成为嵌入式 DSP 处理器, TI 的 TMS320C2000 /C5000 等属于此范畴;二是在通用单片机或 SOC 中增加 DSP 协处理器,例如 Intel 的 MCS-296 和 Infineon(Siemens)的 TriCore。

推动嵌入式 DSP 处理器发展的另一个因素是嵌入式系统的智能化,例如各种带有智能逻辑的消费类产品,生物信息识别终端,带有加解密算法的键盘,ADSL 接入、实时语音解压系统,虚拟现实显示等。这类智能化算法一般都是运算量较大,特别是向量运算、指针线性寻址等较多,而这些正是 DSP 处理器的长处所在。

嵌入式 DSP 处理器比较有代表性的产品是 Texas Instruments 的 TMS320 系列和 Motorola 的 DSP56000 系列。TMS320 系列处理器包括用于控制的 C2000 系列,移动通信的 C5000 系列,以及性能更高的 C6000 和 C8000 系列。DSP56000 目前已经发展成为 DSP56000、DSP56100、DSP56200 和 DSP56300 等几个不同系列的处理器。另外,Philips 公司今年也推出了基于可重置嵌入式 DSP 结构低成本、低功耗技术上制造的 R. E. A. L DSP 处理器,特点是具备双 Harvard 结构和双乘/累加单元,应用目标是大批量消费类产品。

4. 嵌入式片上系统

随着 EDI 的推广和 VLSI 设计的普及化,及半导体工艺的迅速发展,在一个硅片上实现一个更为复杂的系统的时代已来临,这就是嵌入式片上系统(System On Chip,SOC)。各种通用处理器内核将作为 SOC 设计公司的标准库,和许多其他嵌入式系统外设一样,成为 VLSI 设计中一种标准的器件,用标准的 VHDL 等语言描述,存储在器件库中。用户只需定义出其整个应用系统,仿真通过后就可以将设计图交给半导体工厂制作样品。这样除个别无法集成的器件以外,整个嵌入式系统大部分均可集成到一块或几块芯片中去,应用系统电路板将变得很简洁,对于减小体积和功耗,提高可靠性非常有利。

SOC 可以分为通用和专用两类。通用系列包括 Infineon 的 TriCore, Motorola 的 M-Core,某些 ARM 系列器件,Echelon 和 Motorola 联合研制的 Neuron 芯片等。专用 SOC 一般专用于某个或某类系统中,不为一般用户所知。一个有代表性的产品是 Philips 的 Smart XA,它将 XA 单片机内核和支持超过 2048 位复杂 RSA 算法的 CCU 单元制作在一块硅片上,形成一个可加载 Java 或 C 语言的专用的 SOC,可用于公众互联网如 Internet 安全方面。

1.3.2 典型嵌入式微处理器介绍

随着嵌入式系统不断深入到人们生活中的各个领域,嵌入式处理器得到了前所未有的飞速发展。市面上的嵌入式处理器数量也在迅速上升。目前比较有影响的嵌入式处理器产品有 IBM 公司的 PowerPC、MIPS 公司的 MIPS、Sun 公司的 Sparc 和 ARM 公司的 ARM 系列,下面将详细介绍。

1. PowerPC

PowerPC 是早期 Motorola 和 IBM 联合为 Apple 的 MAC 机开发的 CPU 芯片,商标权同时属于 IBM 和 Motorola,并成为他们的主导产品。IBM 主要的 PowerPC 产品有 PowerPC 604s(深蓝内部的 CPU)、PowerPC 750、PowerPCG 3(1.1GHz)。Motorola 主要有 MC 和 MPC 系列。尽管他们产品不一样,但都采用 PowerPC 的内核。这些产品大都用