

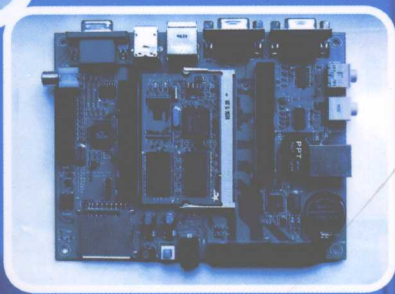
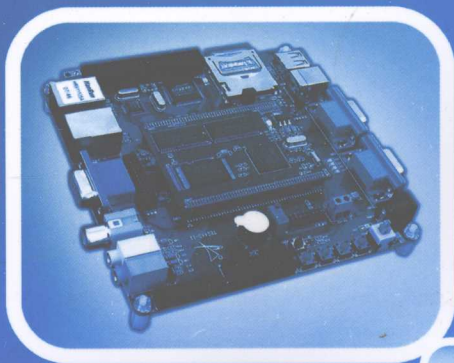


人工心理与数字人技术丛书

从硬件到软件

——嵌入式系统应用实战

○ 杨扬 王志良 王粉花 迟健男 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

人工心理与数字人技术丛书

从硬件到软件——嵌入式系统 应用实战

杨 扬 王志良 王粉花 迟健男 编著

图书在版编目(CIP)数据

从硬件到软件：嵌入式系统应用实战 / 杨扬等编著. — 北京：机械工业出版社，2010.5

(人工心理与数字人技术丛书)

ISBN 978-7-111-30017-2

I. ①从… II. ①杨… III. ①嵌… IV. ①TP360.31

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第038834号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑：付永强 责任编辑：吕 洁
封面设计：张朋幸 文字编辑：纪 敏
责任印制：纪 敏

北京中兴印刷有限公司印刷

机械工业出版社

本书较为全面地介绍了嵌入式系统的基本概念、硬件制作、操作系统移植、驱动程序编写和应用程序编写，并对其方法和相关技术进行了讨论。首先介绍了嵌入式系统的定义、特点以及发展历史，接着详细介绍了嵌入式系统的硬件设计和调试的方法，然后描述了 Linux 内核移植、定制、驱动及应用的实现方法和流程，分析了使用 Windows CE 操作系统定制、驱动程序和嵌入式图像处理的实例，最后详细介绍了轻量级网络协议栈在嵌入式系统上的设计原理与实现。

本书适合从事计算机、自动化、电子信息等科技人员阅读，也可以作为高等院校相关专业高年级本科生和研究生嵌入式系统方面课程的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

从硬件到软件：嵌入式系统应用实战/杨扬等编著. —北京：机械工业出版社，2010.5

(人工心理与数字人技术丛书)

ISBN 978-7-111-30017-5

I. ①从… II. ①杨… 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 (2010) 第 038594 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：付承桂 责任编辑：吕潇 版式设计：张世琴

封面设计：陈沛 责任校对：纪敬 责任印制：杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2010 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 12.25 印张 · 301 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-30017-5

定价：29.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

销售一部：(010)68326294

销售二部：(010)88379649

读者服务部：(010)68993821

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面防伪标均为盗版

丛书序言

在2006年1月26日公布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》中,指出了信息技术将继续向高性能、低成本、普适计算和智能化等主要方向发展,寻求新的计算与处理方式和物理实现是未来信息技术领域面临的重大挑战。纳米科技、生物技术与认知科学等多学科的交叉融合,将促进基于生物特征的、以图像和自然语言理解为基础的“以人中心”的信息技术发展,作为信息学科前沿技术要研究个性化的智能机器人和人机交互系统。在国家科技发展纲要中如此描述信息技术的发展方向,这表明新世纪科学发展的特征是对人的研究、对人与自然和谐相处的研究;其表现是纳米-生物-信息-认知(Nano-Bio-Info-Cognition, NBIC)多学科交叉、多技术融合研究的突起;是数字人(物理机器人与虚拟软件人的总称,数字人与数字社会的关系研究)技术的趋于热门化和普遍化。

以人为本,以人与自然的和谐相处为研究目标;多学科交叉结合为研究手段,以人工科学为主要研究领域,将是未来若干年科学技术研究的主要特征。

为了响应执行国家《科技发展纲要》,顺应科学技术潮流,我们萌生了编写“人工心理与数字人技术丛书”的想法,希望能够对国家的科技进步有所贡献。

“人工心理与数字人技术丛书”选题主要包括以下范围(不局限于这些范围):

- 1) NBIC技术;
- 2) 广义人工智能技术;
- 3) 生物特征识别技术;
- 4) 虚拟现实技术;
- 5) 机器人技术;
- 6) 虚拟人技术;
- 7) 人机交互技术;
- 8) 普适计算。

“丛书”的选题是开放的,我们殷切希望国内外同行专家学者一起来撰写此领域的学术著作,为中华民族的科学技术事业共同努力。

本丛书有如下特色:

- 1) 本丛书主要是前沿技术专题论著,选题内容新颖;
- 2) 选题主要是前沿技术,重点在于紧跟世界科技发展新趋势;
- 3) 内容深入浅出,便于自学。

本丛书以科研人员及大专院校师生为主要读者,也可供工程技术人员学习前沿技术时作为参考。

丛书主编 王志良

前言

嵌入式技术已经渗透到了生活、工业、农业、医学等各个角落，它在消费类电子到航空航天电子，从医学设备到军事设备等诸多领域中起着不可或缺的作用。然而，要深入掌握嵌入式系统却不是一件很容易的事情。嵌入式技术涉及的知识多、种类广，从硬件到软件，从处理器到操作系统，可以说无不涉及。因此对于初学者来说，要抓住一条主线入门嵌入式技术非常困难。针对这种需求，作者在多年开发研究的基础上整理编写了本书，期望为广大从事嵌入式技术相关研究的学生和研究人员提供一本比较全面的参考书籍。

本书注重实际，希望用实际的嵌入式系统开发流程引导读者学习嵌入式系统开发。书中较为全面地介绍了嵌入式系统的基本概念、硬件制作、操作系统移植、驱动程序编写和应用程序编写，并对其方法和相关技术进行了讨论。

全书共有9章。第1章主要介绍嵌入式系统的相关理论、开发流程以及发展历程；第2章叙述了嵌入式硬件设计的基本方法和原则；第3章介绍了嵌入式硬件检测与调试的方法和手段；第4章介绍了Linux内核移植和定制、网卡驱动及根文件系统制作方法；第5章介绍了Linux嵌入式HTTP服务器的构建方法与视频采集模块的实现；第6章介绍了Windows CE操作系统定制的方法；第7章介绍了Windows CE驱动开发的方法以及键盘驱动和多串口驱动的实现实例；第8章介绍了Windows CE图像处理的应用；第9章介绍了轻量级网络协议栈INET在嵌入式系统中的实现。

本书由杨扬、王志良、王粉花和迟健男编著。祝长生、温昌旺、方颖参与了第1、2、3章的研究或资料整理工作；杨德强、计卓尔等参与了第4、5、6章的研究工作或资料整理；修宸、贺章正等参与了第7、8、9章的研究工作或资料整理。

本书的出版得到了机械工业出版社的大力支持，在此表示诚挚的感谢。同时感谢国家自然科学基金(60573059)、国家高技术研究发展计划(863计划)(2007AA04Z218)、北京市教育委员会科技计划重点项目(KZ200810028016)的相关单位给予的支持。

由于作者的水平有限，书中肯定有不少的缺点和疏漏之处，敬请读者批评指正。

杨扬

于北方工业大学

2010年3月

目 录

丛书序言	1	3.2.1 目检	31
前言	1	3.2.2 电压检查	31
第1章 绪论	1	3.2.3 上电检查	32
1.1 嵌入式系统的定义	1	3.3 各关键部分的检测与调试	32
1.2 嵌入式系统的特点	2	3.3.1 CPU 调试	32
1.3 嵌入式系统的发展历史	3	3.3.2 SDRAM 的调试	34
1.4 嵌入式系统的层次结构	4	3.3.3 NAND Flash 的测试	44
1.4.1 嵌入式处理器	4	3.4 小结	44
1.4.2 嵌入式操作系统	5	思考题	44
1.4.3 嵌入式处理器与嵌入式操作 系统选取的原则	6	第4章 Linux 内核移植与系统定制	45
1.5 嵌入式系统的开发流程	7	4.1 Linux 简介	45
1.6 嵌入式系统的应用领域和发展方向	8	4.1.1 Linux 的诞生	45
1.6.1 嵌入式系统的应用领域	8	4.1.2 Linux 的特点	45
1.6.2 嵌入式系统的发展方向	9	4.1.3 嵌入式 Linux 的开发	46
1.7 小结	10	4.2 Linux-2.6.24.4 内核裁剪和移植	47
思考题	10	4.2.1 移植目标	48
第2章 嵌入式系统的硬件设计	11	4.2.2 准备工作	48
2.1 硬件设计方法和原则	11	4.2.3 修改配置文件	49
2.1.1 原理图设计	11	4.2.4 修改启动支持源代码	50
2.1.2 PCB 设计	12	4.2.5 配置及编译内核	56
2.1.3 检查和调试	13	4.3 网卡驱动的移植	64
2.2 原理图设计实例	13	4.3.1 DM9000 网卡简介	64
2.2.1 Cadence 硬件开发环境简介	13	4.3.2 DM9000 网卡工作原理	65
2.2.2 设计流程	14	4.3.3 移植 DM9000 驱动	66
2.2.3 系统整体设计	15	4.4 根文件系统制作	73
2.2.4 子系统设计	15	4.4.1 系统运行库裁剪方法	73
2.2.5 原理图设计小结	28	4.4.2 基于 Busybox-1.9.2 的根文件 系统裁剪和定制	74
2.3 PCB 设计	29	4.4.3 裁剪系统运行库	79
2.3.1 布局	29	4.5 小结	83
2.3.2 电源平面的分割	29	思考题	83
2.3.3 约束驱动下的布线	29	第5章 嵌入式 Linux 的应用	84
2.4 小结	30	5.1 嵌入式 http 服务器的构建	84
思考题	30	5.2 Web 服务器	84
第3章 硬件的检测与调试	31	5.2.1 HTTP 工作原理	84
3.1 测试的意义	31	5.2.2 CGI 技术	86
3.2 PCB 检测的步骤	31	5.2.3 Boa 原理及实现	87

5.2.4	Boa 的移植	89	7.4.4	多串口驱动的实现	142
5.3	视频采集模块的实现	91	7.5	小结	145
5.3.1	Video for Linux	91		思考题	145
5.3.2	摄像头驱动的移植	91	第 8 章 Windows CE 应用——嵌入式		
5.3.3	Video4Linux 采集图像	92	图像处理	146	
5.3.4	spcaserv 采集图像并发送	98	8.1	简介	146
5.3.5	Applet 解析并显示图像	101	8.2	S3C2440A 图像采集硬件原理与工作流程	147
5.4	小结	105	8.3	CAM 控制器驱动接口设计	149
	思考题	105	8.3.1	驱动部分 YUV 采集实现	149
第 6 章 Windows CE 设备 OS 定制		106	8.3.2	驱动部分 RGB 采集实现	151
6.1	Windows CE 系统概述	106	8.3.3	驱动部分采集控制实现	153
6.1.1	系统模型	106	8.3.4	用户接口的实现	153
6.1.2	内核结构	107	8.4	显示加速功能设计	155
6.1.3	Bootloader 与启动	112	8.5	图像处理应用——人脸检测算法的实现	155
6.2	Windows CE OS 定制	114	8.5.1	算法流程和优化关键点	155
6.2.1	Platform Builder 工具	114	8.5.2	算法的实现	156
6.2.2	OS 的生成步骤	117	8.5.3	算法实现小结	164
6.2.3	OS 定制实例	118	8.6	小结	164
6.3	小结	123		思考题	164
	思考题	123	第 9 章 INET 协议的设计与实现	165	
第 7 章 Windows CE 驱动程序开发		124	9.1	INET 协议的总体设计	165
7.1	Windows CE 驱动程序模型	124	9.1.1	设计目标	165
7.1.1	Windows CE 驱动程序的分类	124	9.1.2	INET 构架	165
7.1.2	流接口驱动的开发	125	9.2	INET 协议的实现	166
7.2	Windows CE 驱动开发的关键技术	127	9.2.1	设备发现与注册机制	166
7.2.1	Windows CE 下 I/O 空间物理地址的访问	127	9.2.2	服务发现与注册机制	169
7.2.2	Windows CE 下的中断处理	129	9.2.3	服务请求与应答机制	170
7.3	矩阵键盘驱动的开发	132	9.2.4	服务器端与客户端初始化流程	176
7.3.1	电路连接与硬件原理	132	9.2.5	INET 协议栈 SDK 和用户接口	178
7.3.2	寄存器配置与硬件流程	133	9.3	小结	184
7.3.3	驱动程序的实现	133		思考题	184
7.3.4	验证程序	138	附录 缩略语	185	
7.4	多串口驱动的实现	139	参考文献	187	
7.4.1	S3C2440A UART 相关寄存器与其工作流程	139			
7.4.2	多串口实现的原理	140			
7.4.3	串口注册表配置与初始化过程	141			

第 1 章 绪 论

从消费类电子到航空航天电子,从医学设备到军事设备,嵌入式技术已经渗透到了生活、工业、农业、医学等各个角落。在本章,我们将探讨嵌入式技术的基本知识,包括了嵌入式系统的定义、嵌入式系统的发展过程、嵌入式系统的特点、嵌入式系统的开发流程,以及嵌入式系统的使用领域及发展方向等。

1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统(Embedded System)是一个具有特殊目的的计算机系统,旨在完成一个或几个专门的功能。一般来说,嵌入式系统需要具有实时计算的要求,一般嵌入在一个包括了硬件和机械部件的完整设备中。相对普通用途的计算机,嵌入式系统可以定制软硬件,而完成不同的任务。由于嵌入式系统是专用于特定的任务,设计工程师可以对其进行优化,减少尺寸和成本,提高性能和可靠性。嵌入式系统的大规模生产,可以节省很大的成本。在应用领域上,嵌入式系统可以应用于便携式设备,如数字手表和 MP4 播放器,也可以用于大型固定设施,像交通灯,工厂控制器,或系统控制核电厂。由于应用的范围不同,嵌入式系统复杂性也有所不同,它可以小到一个微小的控制器芯片,也可以大到成千上万的处理器、外设和网络的集合。图 1-1 所示的 ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Loop, 非对称数字用户环路) 调制解调器内部结构就是一个典型的嵌入式系统。

由于应用领域的不断扩大,使得嵌入式系统难于明确定义。目前,业界有多种不同的关于嵌入式系统的定义:

1) IEEE 定义:嵌入式系统是用以控制,监视或者辅助操作设备、机器或车间运行的装置 (An Embedded system is the devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。

IEEE 的定义并没有反映出嵌入式系统最本质的特征。目前,国内普遍采用下列描述来定义嵌入式系统:

2) 国内定义:嵌入式系统以应用为中心,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、功耗严格要求的专用计算机系统。

这个定义明确指出了嵌入式系统包括硬件和软件两部分,同时是一个软硬件可裁剪的专用的计算机系统,这也是嵌入式系统与普通计算机的最大差别。更详细地说,嵌入式系统一般指非 PC 系统,它的硬件部分包括处理器/微处理器、存储器及外设器件和 I/O 接口、图形控制器等。软件部分包括操作系统 (Operating System, OS) 软件 (要求实时和多任务操作) 和应用程序编程。它一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户的应用程序等四个部分组成,用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。

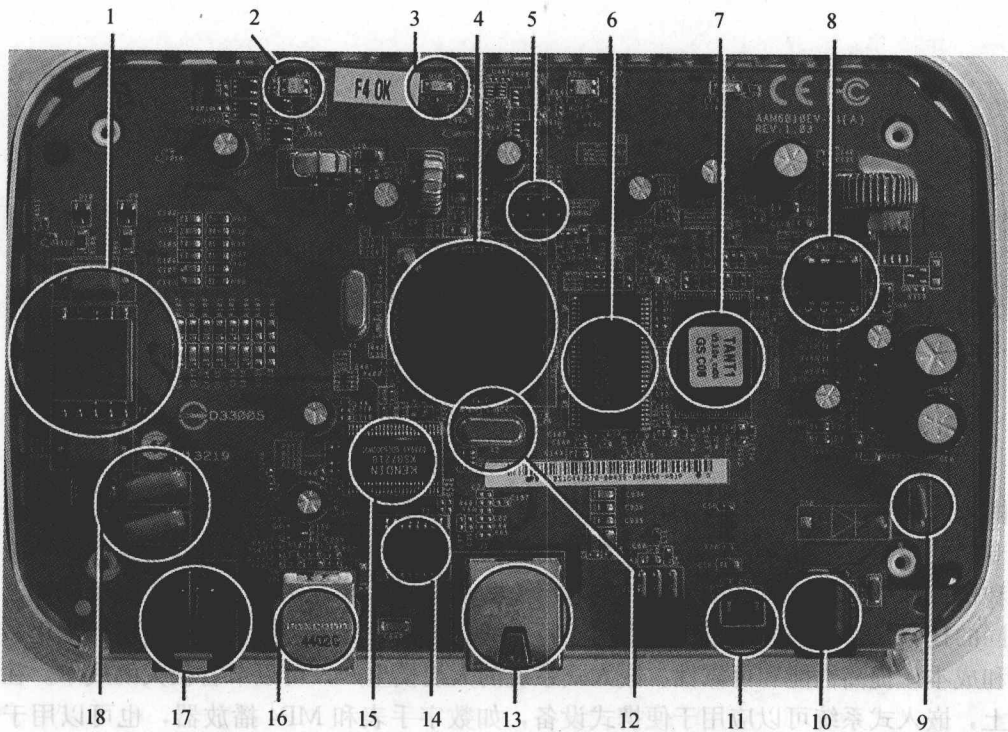


图 1-1 ADSL 调制解调器内部结构

1—电话去耦电路 2—多色发光二极管（显示网络状态） 3—单色发光二极管

（显示 USB (Universal Serial Bus, 通用串行总线) 连接) 4—主处理器 (TNETD7300GDU, 德州仪器 ARM7 产品) 5—JTAG (联合测试工作组, 测试和编程接口)

6—内存 (M12L64164A 8MB 内存芯片) 7—快闪存储器 (FLASH Memory) 8—电源稳压器

9—主电源熔断器 10—电源连接器 11—复位按钮 12—石英晶体 13—以太网端口 14—以太网变压器

15—KS8721B 以太网收发器 16—USB 端口 17—电话 (RJ11) 端口 18—电话连接器

1.2 嵌入式系统的特点

通过嵌入式系统的定义可以看出, 嵌入式系统具有以下几个非常明显的特点:

1) 嵌入式系统通常是面向特定应用的。嵌入式 CPU 与通用 CPU 的最大不同就是嵌入式 CPU 大多工作在为特定用户群设计的系统中, 它通常都具有功耗低、体积小、集成度高等特点, 能够把通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部, 从而有利于嵌入式系统设计趋于小型化, 移动能力大大增强, 与网络的耦合也越来越紧密。

2) 嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合的产物。这一点就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。

3) 嵌入式系统由软件和硬件两大部分组成。嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计, 量体裁衣、去除冗余, 力争在同样的硅片面积上实现更高的性能, 这样才能在具体应用中对处理器的选择更具有竞争力。

4) 较长的生命周期。嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起, 它的升级换代也是和具体产品同步进行, 因此嵌入式系统产品一旦进入市场, 就要具有较长的生命周期。

5) 具有特定的开发工具。嵌入式系统本身不具备自主开发能力, 即使设计完成以后, 用户通常也是不能对其中的程序功能进行修改的, 必须有一套开发工具和环境才能进行开发。

1.3 嵌入式系统的发展历史

虽然嵌入式系统是近几年才风靡起来的, 但是这个概念并非新近才出现。从 20 世纪 70 年代单片机的出现到今天, 各式各样的嵌入式微处理器、微控制器的大规模应用, 嵌入式系统已经有了近 30 年的发展历史。作为一个系统, 往往是在硬件和软件交替发展这种双螺旋式的支撑下逐渐趋于稳定和成熟, 嵌入式系统也不例外。

第一个公认的现代嵌入式系统是阿波罗导航计算机, 它是由麻省理工学院的 Charles Stark Draper 开发的。在项目的开始, 阿波罗导航计算机被认为是极具风险的阿波罗计划项目, 因为它采用了当时新开发的单片集成电路, 减少了尺寸和重量。早期大规模生产的嵌入式系统是在 1961 年公布的 Autonetics D-17 导航计算机, 它用于“民兵”导弹 (Minute man Missile) 的导航, 由晶体管逻辑和一个硬盘主存储器组成。“民兵 II”导弹投产于 1966 年, 它第一次使用大规模集成电路。这也使集成电路上单个非门的价格从 1000 美元降至 3 美元。价格的降低也促进了大规模的商用。而 20 世纪 70 年代单片机的出现, 使得汽车、家电、工业机器、通信装置以及其他成千上万种产品可以通过内嵌电子装置来获得更佳的使用性能: 更容易使用、更快、更便宜。最早的单片机是 Intel 公司的 8048, 它出现在 1976 年。Motorola 公司同时推出了 68HC05, Zilog 公司也推出了 Z80 系列, 这些早期的单片机均含有 256B 的 RAM (随机存取存储器)、4KB 的 ROM (只读存储器)、4 个 8 位并行接口、1 个全双工串行接口、两个 16 位定时器。之后在 80 年代初, Intel 公司又进一步完善了 8048, 在它的基础上研制成功了 8051, 这在单片机的历史上是值得纪念的一页, 迄今为止, 51 系列芯片仍然是最为成功的单片机芯片, 在各种产品中有着非常广泛的应用。

从 20 世纪 80 年代早期开始, 嵌入式系统的程序员开始用商业级的“操作系统”编写嵌入式应用软件, 这使得可以获取更短的开发周期、更低的开发费用和更高的开发效率, “嵌入式系统”真正出现了。确切地说, 这个时候的操作系统是一个实时核, 这个实时核包含了许多传统操作系统的特征, 包括任务管理、任务间通信、同步与相互排斥、中断支持、内存管理等功能。其中比较著名的有 Ready System 公司的 VRTX、Integrated System 公司 (ISI) 的 pSOS 和 Wind River System 公司的 VxWorks、QNX 公司的 QNX 等。这些嵌入式操作系统都具有嵌入式的典型特点。90 年代以后, 随着对实时性要求的提高, 软件规模不断上升, 实时核逐渐发展为多任务实时操作系统 (RTOS), 并作为一种软件平台逐步成为目前国际嵌入式系统的主流。这时候更多的公司看到了嵌入式系统的广阔发展前景, 开始大力发展自己的嵌入式操作系统。除了上面的几家老牌公司以外, 还出现了 Palm OS、Windows CE, Linux、Lynx、Nucleus, 以及国内的 Hopen、Delta 等嵌入式操作系统。随着嵌入式技术的发展前景日益广阔, 相信会有更多的嵌入式操作系统软件出现。

1.4 嵌入式系统的层次结构

正如前文所说，嵌入式系统一般指非 PC 系统，它包括硬件和软件两部分。硬件包括处理器/微处理器、存储器及外设器件和 I/O 接口、图形控制器等。软件部分包括操作系统软件 and 应用程序编程软件。有时设计人员把这两种软件组合在一起。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。嵌入式系统包括功能层、软件层、中间层、硬件层 4 大部分，如图 1-2 所示。

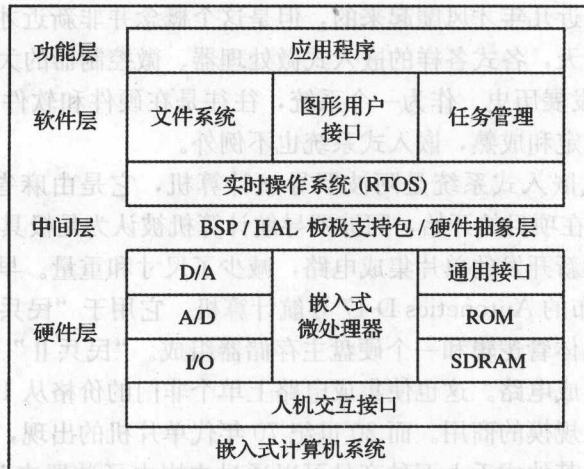


图 1-2 嵌入式系统结构图

在嵌入式系统结构中，嵌入式处理器和嵌入式操作系统是在做嵌入式系统设计前，首先要作选择考虑的问题。

1.4.1 嵌入式处理器

嵌入式处理器有许多种流行的处理器核，芯片生产厂商一般都基于这些处理器核生产不同型号的芯片，比如：

1. ARM

ARM (Advanced RISC Machine, 高级精简指令集计算机) 是一个由 ARM 公司开发的 32 位精简指令集计算机 (RISC) 指令集架构 (ISA)。ARM 架构是目前使用最广泛的 32 位 ISA，它是许多嵌入式系统中使用的微处理器和微控制器的内核。由于 ARM 处理器消耗功率小，而在移动电子产品中，低功耗是一个关键的设计目标，因此 ARM 在移动电子产品市场上占主导地位。截至 2009 年，ARM 处理器大约占嵌入式 32 位 RISC 处理器的 90% 市场份额。ARM 处理器目前广泛使用于消费电子产品，包括个人数字助理 (PDA)、移动电话、iPod 和其他数字媒体和音乐播放器、手持游戏机、计算机和计算机外围设备 (如硬盘驱动器和路由器) 等。

2. MIPS

MIPS (Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages, 无内部互锁流水级的微处理器) 是由 MIPS 公司开发的一种精简指令集计算 (RISC) 的指令集架构 (ISA)。早期的

MIPS 架构是 32 位，而更高的版本是 64 位。MIPS 目前应用在许多嵌入式系统中，如 Windows CE 设备、路由器、住宅网关，以及任天堂 64 和索尼 PlayStation 视频游戏机等。到 2006 年底，它还在许多的 SGI 公司的计算机产品中使用。在 20 世纪 90 年代中期至后期，据估计，1/3 的 RISC 微处理器使用了 MIPS 内核。

3. PowerPC

PowerPC 架构的特点是伸缩性好、方便灵活。PowerPC 处理器品种很多，既有通用处理器，又有嵌入式控制器和内核，应用范围非常广泛，分布于从高端的工作站、服务器到桌面计算机系统，从消费电子产品到大型通信设备等各个方面。目前 PowerPC 独立微处理器与嵌入式微处理器的主频从 25~700MHz 不等，它们由于能量消耗、大小、整合程度的不同，价格差异也比较悬殊，主要产品模块有主频为 350~700MHz 的 PowerPC 750CX/CXe 以及主频为 400MHz 的 PowerPC440GP 等。嵌入式的 PowerPC 405（主频最高为 266MHz）和 PowerPC 440（主频最高为 550MHz）处理器内核可以用于各种集成的片上系统（System-on-Chip, SoC）设备上，在电信、金融和其他许多行业中具有广泛的应用。

4. x86

x86 系列处理器是应用最广泛的微处理器，它起源于 Intel 架构的 8080 处理器，再发展出 286、386、486，直到现在 Intel 公司的 64 位四核处理器 Core i7 和 AMD 公司的 PhenomII 处理器。从嵌入式微处理器市场来看，486DX 是当时和 ARM、68K、MIPS 和 SuperH 齐名的五大嵌入式处理器之一，8080 是第一款主流的处理器。今天的 Core i7 使用了 X86-64 指令集，是当初 8080 使用的指令集的延伸，保持了向下的兼容性，至少 10 年前写的程序在现在的机器上还能运行。

1.4.2 嵌入式操作系统

1. VxWorks

VxWorks 操作系统是美国 Wind River System 公司于 1983 年设计开发的一种实时操作系统。VxWorks 拥有良好的持续发展能力、高性能的内核以及友好的用户开发环境，在实时操作系统领域内占据了一席之地。它以其良好的可靠性和卓越的实时性被广泛地应用在通信、军事、航空、航天等高精尖技术及实时性要求极高的领域中，如卫星通信、军事演习、导弹制导、飞机导航等。在美国的 F-16、F/A-18 战斗机、B-2 隐形轰炸机和爱国者导弹上，甚至连 1997 年 4 月在火星表面登陆的火星探测器上也使用了 VxWorks。它是目前嵌入式系统领域中使用最广泛、市场占有率最高的系统。它支持多种处理器，如 x86、i960、Sun Sparc、Motorola MC68000、MIPS RX000、Power PC、StrongARM、XScale 等。大多数的 VxWorks API（Application Programming Interface，应用程序编程接口）是专用的。

2. pSOS

pSOS 是 ISI 公司研发的产品。该公司成立于 1980 年，其产品在其成立后不久即被推出，是世界上最早的实时操作系统之一，也是最早进入中国市场的实时操作系统。该公司于 2000 年 2 月 16 日与 Wind River System 公司合并。

pSOS 是一个模块化、高性能、完全可扩展的实时操作系统，专为嵌入式微处理器设计，提供了一个完全多任务环境，在定制的或是商业的硬件上具有高性能和高可靠性。它包含单处理器支持模块（pSOS+）、多处理器支持模块（pSOS+m）、文件管理器模块

(pHILE)、TCP/IP (传输控制协议/网际协议) 通信包 (pNA)、流式通信模块 (OpEN)、图形界面、Java 和 http (超文本传输协议) 等。开发者可以利用它来实现从简单的单个独立设备到复杂的、网络化的多处理器系统。

3. Palm OS

3Com 公司的 Palm OS 在掌上电脑和 PDA 市场上占有很大的市场份额。它有开放的操作系统应用程序接口, 开发商可以根据需要自行开发所需的应用程序。目前共有 3500 多个应用程序可以运行在 Palm Pilot 上, 其中大部分应用程序均为其他厂商和个人所开发, 使 Palm Pilot 的功能不断增多。在开发环境方面, 可以在 Windows 和 Macintosh 环境下安装 Palm Pilot 平台。Palm Pilot 可以与 PC 平台上的应用程序进行数据交换。

4. Windows CE

Microsoft Windows CE 是从整体上为有限资源的平台设计的多线程、完整优先权、多任务的操作系统。它的模块化设计允许对从掌上电脑到专用的工业控制器的用户电子设备进行定制。操作系统的基本内核至少需要 200KB 的 ROM。

5. 嵌入式 Linux

随着 Linux 的迅速发展, 嵌入式 Linux 现在已经有许多版本, 包括强实时的嵌入式 Linux (如新墨西哥工学院的 RT-Linux 和堪萨斯大学的 KURT-Linux 等) 和一般的嵌入式 Linux 版本 (如 uCLinux 和 PocketLinux 等)。其中, RT-Linux 通过把通常的 Linux 任务优先级设为最低, 而所有的实时任务的优先级都高于它, 以达到既兼容通常的 Linux 任务, 又保证强实时性能的目的。另一种常用的嵌入式 Linux 是 uCLinux, 它是针对没有 MMU (Memory Management Unit, 内存管理单元) 的处理器而设计的。它不能使用处理器的虚拟内存管理技术, 对内存的访问是直接的, 所有程序中访问的地址都是实际的物理地址。它专为嵌入式系统做了许多小型化的工作。

1.4.3 嵌入式处理器与嵌入式操作系统选取的原则

嵌入式系统设计的过程中, 一个棘手的问题就是软硬件平台的选择问题, 因为它的好坏直接影响着实现阶段的任务完成。而软硬件平台的选择, 最重要的是选择嵌入式处理器和嵌入式操作系统, 它直接决定了开发难度和开发成本, 以及开发的目标能否达到。

1. 嵌入式处理器的选取原则

(1) 处理器性能 一个处理器的性能取决于多个方面的因素, 如处理器的时钟频率、内部 RAM 和 ROM 的大小、处理器的结构等。对于许多嵌入式系统的设计来说, 目标不是在于挑选速度最快的处理器, 而是在于选取能够完成作业的处理器和 I/O 子系统。假如是面向高性能的应用设计, 那么建议考虑某些新的高端处理器, 如 IBM 和 Motorola 公司的 PowerPC。

(2) 外围接口 当前, 许多嵌入式处理器都集成了外围设备的功能, 减少了芯片的数量, 降低了整个系统的开发费用。开发人员还需考虑的是, 系统所要求的一些硬件能否无需过多的胶合逻辑就可以连接到处理器上。其次是考虑该处理器的一些支持芯片, 如 DMA (Direct Memory Access, 直接存储器访问) 控制器、中断控制器、串行设备、时钟等的配套。

(3) 功耗 嵌入式微处理器最大并且增长最快的市场是手持设备、电子记事本、PDA、手机、GPS (Global Positioning System, 全球定位系统) 导航器、智能家电等消费类电子

产品。这些产品中选购的微处理器，典型的特点是要求高性能、低功耗。许多 CPU 生产厂家已经进入了这个领域。今天，用户可以买到的嵌入式微处理器，其速度只是略微低于、甚至不低于 PC 中的通用处理器；但它仅使用普通电池供电即可，并且价格很便宜。假如用于工业控制，则对这方面的考虑较弱。

(4) 软件支持工具 仅有一个处理器，没有较好的软件开发工具支持也是不行的，因此选择合适的软件开发工具对系统的实现会起到很好的作用。

(5) 是否内置调试工具 假如处理器内置调试工具则可以大大缩短调试周期、降低调试的难度。

(6) 供应商是否提供评估板 许多处理器供应商可以提供评估板来验证理论是否正确、决策是否得当。

(7) 软件对硬件的依赖性 软件是否可以在硬件没有到位的时候并行设计或先行开发。

(8) 开发的市场目标 假如想使产品尽快发售，以获得竞争力，此时要尽可能购买成熟、软硬件资料齐全的处理器。只要可能，尽量选择使用通用的硬件。在 CPU 及架构的选择上，一个原则是：只要有可替代的方案，尽量不要选择厂商支持少或尚不支持的硬件平台。

2. 嵌入式操作系统的选取原则

(1) 操作系统提供的开发工具 有些实时操作系统 (RTOS) 只支持该系统供应商的开发工具，因此，还必须向操作系统供应商获取编译器、调试器等必要的开发工具；而有些操作系统使用广泛，且有多种第三方工具可用，因此选择的余地比较大。

(2) 操作系统向硬件接口移植的难度 操作系统到硬件的移植是一个重要的问题，是关系到整个系统能否按期完工的一个关键因素。因此，要选择那些可移植性程度高的操作系统，避免因操作系统难以向硬件移植而带来的种种困难，以加速系统的开发进度。

(3) 操作系统的内存要求 均衡考虑是否需要额外花钱去购买 RAM 或 E²PROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory, 电可擦写可编程只读存储器) 或选择支持较大 RAM 的处理器来迎合操作系统对内存的较大要求。

(4) 开发人员是否熟悉此操作系统及其提供的 API 选择开发人员熟悉的操作系统及其 API，能有效地减少开发时间，提高开发效率。

(5) 操作系统是否提供硬件驱动程序 串口、网卡、LCD 等硬件接口和设备在项目开发中经常使用。选择提供这些接口驱动的操作系统，可提高开发速度，缩短开发时间。

(6) 操作系统的可剪裁性 有些操作系统具有较强的可剪裁性，如嵌入式 Linux、Tornado/VxWorks 等等。

(7) 操作系统的实时性 根据项目的需求选择合适的实时操作系统。如在实时性需求非常高时，选择 VxWorks 操作系统，而在一般对实时性没有特殊要求的情况下，选择 Windows CE 或 Linux 系统。

1.5 嵌入式系统的开发流程

典型的嵌入式系统开发通常采用软硬件协同设计，将软件设计和硬件设计作为一个整体并行设计，找到软硬件的最佳结合点，从而使系统高效工作。这样的设计方法，可以充分利

用现有的软硬件资源、缩短系统开发周期、降低开发成本、提高系统性能，避免由于独立设计软硬件体系结构而带来的弊端。嵌入式系统开发一般由4个阶段构成，如图1-3所示，包括系统描述、系统设计、仿真验证与综合实现。系统描述是用一种或多种系统级描述语言对所设计的嵌入式系统的功能和性能进行全面的描述，建立系统的软硬件模型的过程。

系统设计又可以分为软硬件功能分配和系统映射两个子过程。软硬件功能分配就是要确定哪些系统功能由硬件模块来实现，哪些系统功能由软件模块来实现。硬件一般能够提供更好的性能，而软件更容易开发和修改，成本相对较低。系统映射是根据系统描述和软硬件任务划分的结果，选择系统的软硬件模块及其接口的具体实现方法，并将其集成，最终确定系统的体系结构。这一过程要确定系统将采用哪些硬件模块（如存储器、MCU（Micro Controller Unit，微控制器）、FPGA（Field-Programmable Gate Array，现场可编程门阵列）、I/O接口部件等）、软件模块（嵌入式操作系统、驱动程序、功能模块等）和软硬件模块之间的通信方法（数据总线、共享存储器、数据通道等）以及这些模块的具体实现方法。

仿真验证是检验系统设计正确性的过程。由它对设计结果的正确性进行评估，以达到避免在系统实现过程中发现问题时再进行反复修改的目的。在系统仿真验证的过程中，模拟的工作环境和实际使用时差异很大，软硬件之间的相互作用方式及作用效果也就不同，这也使得难以保证系统在真实环境下工作的可靠性。因此，系统模拟的有效性是有限的。但是选择好的仿真验证环境对于系统的开发验证往往能起到事半功倍的效果。

软硬件综合实现就是软件、硬件系统的具体制作。设计结果经过仿真验证后，可按系统设计的要求进行系统制作，即按照前述工作的要求设计硬件软件，并使它们能够协调一致地工作，制作完成后即可进行现场实验。

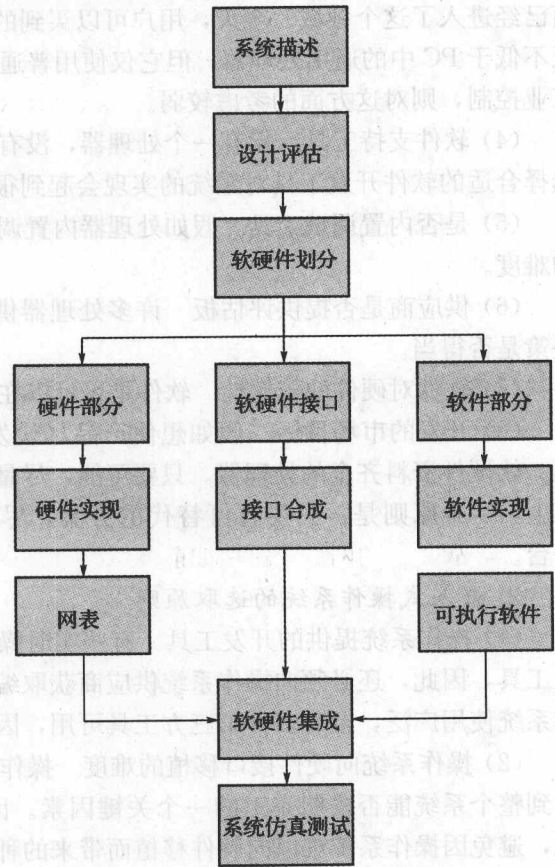


图 1-3 嵌入式系统开发流程

1.6 嵌入式系统的应用领域和发展方向

1.6.1 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统具有非常广阔的应用领域，是现代计算机技术改造传统产业、提升许多领域

技术水平的有力工具。目前大量的 8、16、32 位嵌入式微处理器应用在工业过程控制、数控机床、电网安全、电网设备检测、石油化工和消费类电子产品等领域，显著提高了这些技术领域的自动化和智能化程度。航空航天、交通管理、家庭智能管理系统、POS（销售终端）网络及电子商务、环境检测等领域技术进步与智能化水平的提高，其中的嵌入式系统功不可没。

1. 航天领域

嵌入式系统在航天领域得到了广泛的应用，比如在美国宇航局的“火星极地登陆者”号、“深空二号”和火星气候轨道器等登陆火星的探测器上，就采用了 VxWorks 嵌入式操作系统，负责火星探测器的全部飞行控制，包括飞行纠正、载体自转和降落时的高度控制等，而且还负责数据收集以及与地球的通信工作。

2. 军事领域

进入 20 世纪 90 年代以来，随着高新技术的迅猛发展及在军事领域的广泛应用，武器装备在军事斗争和军队建设中的作用日益突出。各国在新军事变革中发展武器装备的一个明显共性是，利用现有信息技术的发展成果对现有的武器装备进行改造，最终实现武器装备的智能化、作战系统的网络化。例如前面提到的美国的“民兵”系列导弹的导航系统就采用了先进的嵌入式系统。

3. 其他

当前嵌入式系统还广泛用于下面的领域：

(1) 无线设备 超过 85% 的无线设备（手机等）都采用了嵌入式技术，在向 3G 升级的过程中，嵌入式系统也地位稳固。在 PDA 一类的无线设备中，嵌入式系统针对视频流进行了优化，并获得了广泛的支持。

(2) 蓝牙技术 嵌入式技术已经为蓝牙的推广做好了准备，有 20 多家公司的元器件产品采用了嵌入式技术，如 Ericsson、Intel、Lucent、Philips 和 TI 公司等。

(3) 互联网 随着宽带接入市场的成长，采用嵌入式技术的 ADSL 芯片组正在获得竞争优势。

(4) 消费类电子产品 这是增长迅速的市场。嵌入式技术在数字音频播放器、数字机顶盒和游戏机等领域应用广泛。

(5) 汽车 汽车上使用的嵌入式处理器正在进行设计中，驾驶、安全和车载娱乐等各种功能在内的设备有可能采用 5~6 个嵌入式处理器统一实现。

(6) 海量存储设备 采用嵌入式技术的存储产品包括硬盘系列、微型闪存卡和可读写光盘等，这些产品已经投入生产，并且将会有更加先进的产品问世。

(7) 成像设备 包括嵌入式技术的相机和打印机。

(8) 安全产品 如 GSM 和 3G 手机中的 32 位 SIM 智能卡。

1.6.2 嵌入式系统的发展方向

信息时代、数字时代的来临，使嵌入式产品获得巨大的发展机遇，同时带给嵌入式系统应用市场光明的前景，也为嵌入式系统的发展指明了方向。首先，嵌入式系统技术水平的提升，要求嵌入式系统厂商不仅要提供技术水平更高的嵌入式硬件，还要提供功能更加强大的硬件开发工具和软件包。其次是对网络化、信息化的需求，随着国际互联网技术的日益成

熟、带宽的增加而日益迫切，这就要求嵌入式系统芯片提供强大的网络支持功能。为适应网络发展的要求，新一代的嵌入式系统芯片已经开始内嵌网络接口，且不仅支持 TCP/IP，还支持 IEEE1394、USB、CAN (Controller Area Network, 控制器局域网)、Bluetooth (蓝牙) 或 IrDA (Infrared Data Association, 红外数据协会) 通信接口中的一种或几种，同时还提供相应的通信网络协议软件和物理层驱动软件。最后，功耗和成本的进一步降低是嵌入式系统今后重要的发展趋势，这就要求其操作系统在可以支撑应用需求的条件下，能进一步精简系统的内核。而为了便于开发，还应提供更加友好的多媒体人机界面等。

1.7 小结

本章主要对嵌入式系统进行了总体介绍，包括嵌入式系统的定义、特点、选型原则、开发流程、应用领域和发展方向。接下来的章节里主要分两大部分向读者介绍嵌入式系统设计和开发的方法流程。第 2~4 章为硬件部分，主要介绍嵌入式硬件的设计开发方法。第 5~9 章为软件部分，主要介绍嵌入式操作系统和嵌入式软件。

思考题

- 1-1 什么是嵌入式系统？嵌入式系统的定义是什么？
- 1-2 嵌入式系统的特点是什么？
- 1-3 对于嵌入式处理器和嵌入式操作系统，其选取的原则是什么？
- 1-4 嵌入式系统的开发流程是什么？