

嵌入式系统系列教材

嵌入式系统设计

康一梅 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

嵌入式系统系列教材

嵌入式软件设计

康一梅 等编著

图书在版编目(CIP)

康一梅,等. 嵌入式软件设计. 北京:机械工业出版社, 2002.12
(嵌入式系统系列教材)

ISBN 7-111-11499-1

1. 嵌... 康... 著

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第114991号

机械工业出版社(北京) 出版
张天华, 付建群 编著

北京市燕山印刷厂印刷

2002年6月第1次印刷

184mm×260mm 31印张

定价: 22.00元

张捷



机械工业出版社
China Machine Press

本书重点讨论复杂嵌入式系统的软件分析设计问题。首先本书从系统的角度出发,介绍在系统分析设计中的系统思想,以及嵌入式系统的软硬件协同设计方法。然后,针对嵌入式软件开发,按照软件开发的过程介绍嵌入式软件需求分析、系统设计和详细设计。书中全面介绍了嵌入式软件设计可能涉及的各种问题及解决方法,如 BSP、可靠性、资源管理、界面等的设计以及开发环境选择等。本书力图结合嵌入式系统的特点,将软件工程领域成熟的分析设计方法引入到嵌入式软件的分析设计中。由于嵌入式软件设计领域现有的研究成果较少,因而本书希望向读者传授一种能够全面考虑问题,尽可能利用各个学科已有的设计思想解决问题的思维方式。

本书可作为与嵌入式软件开发相关的硕士研究生与高年级本科生的教材。同时,本书还可作为有志于从事嵌入式软件开发、维护的专业技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式软件设计/康一梅等编著. -北京:机械工业出版社,2007.6
(嵌入式系统系列教材)
ISBN 978-7-111-21499-1

I. 嵌… II. 康… III. 软件设计-高等学校-教材 IV TP311.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第068791号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:杨庆燕

北京牛山世兴印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2007年6月第1版第1次印刷

184 mm × 260 mm · 21 印张

定价:33.00 元

凡购本书,如有倒页、脱页、缺页,由本社发行部调换
本社购书热线:(010) 68326294

丛 书 序

二十世纪,以量子物理、信息科学、计算数学、控制科学等为基础的信息技术的迅速发展,对全世界的政治、经济、军事、科研、教育等领域都产生了巨大和深远的影响。其中,离散数字式计算、控制装置和各种通用工具性计算机商品是其杰出代表。随着技术的不断进步,应用领域的日益广泛,以及实际需求的不断扩大,以体积小、功耗低、可按需定制等特点为主的嵌入式系统被应用到越来越多的领域。从数控机床到航空航天,从汽车电子到智能家电,随处可见嵌入式系统的身影,嵌入式系统正在不断起到名符其实的嵌入作用。

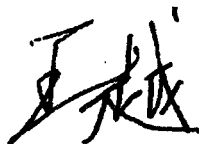
在信息科学技术领域,我国和发达国家相比还存在着一定的差距,而嵌入式产品和技术的应用,为我们提供了一个“嵌入”发展的机会。从嵌入式技术的发展趋势来看,32位、64位微处理器的出现、嵌入式操作系统的广泛应用、硬件技术的不断进步……极大地推动着嵌入式系统朝着运行速度更快、功能更强大、开发方式更便利快捷等方向不断发展。同时,我国庞大的消费人群也为嵌入式技术的应用提供了广阔的市场空间;汽车、通信、智能家电等领域竞争的不断加剧,极大地激发了嵌入式技术的研发和创新能力;而传统产业的转型和提升也对嵌入式领域提出了更高的要求。因此,我国嵌入式系统的发展应着眼于科学技术并应用多层次并进的方针。

一切事业的发展除了其推动的必然因素和机遇外,人才因素是重要的基础条件,对高等学校而言,培养人才更是其本质工作,因此嵌入式领域人才的培养尤为重要和紧迫。作为肩负人才培养重任的国内各高等院校已经充分的认识到,在完善已有课程体系及授课内容的同时,还要时刻关注科学技术和相关产业的发展趋势,充分利用优秀的教学资源,力争培养出更多中华复兴所需要的优秀人才。正是在这种思想的指导下,北京航空航天大学软件学院结合实际教学及产业发展趋势,在总结已有教学经验及科研成果的基础上,邀请了国内众多嵌入式领域的专家,共同编写了此套嵌入式系统系列教材。本套教材的推出,在嵌入式技术普及和推广、相关人才培养及教学、科研体系建设等方面进行了有益的探索和尝试,同时也必将对国内嵌入式产业的发展起到积极的推动作用。

信息与通信系统专家

中国科学院院士

中国工程院院士



2007.6.11

丛书前言

嵌入式系统技术已被广泛地应用于工业控制系统、信息家电、通信设备、医疗仪器、智能仪器仪表等众多领域，如手机、PDA、MP3、手持设备、智能电话、机顶盒等，可以说嵌入式系统无处不在。

市场对嵌入式系统的需求在飞速增长，企业在努力使开发嵌入式系统的速度跟上市场与竞争的需要。但是，与此同时，嵌入式系统开发的基础理论与方法的研究却严重滞后，这与嵌入式系统的特点有关。嵌入式系统与其他系统的差别主要体现在以下方面：

- 跨学科性：嵌入式系统融合了微电子、计算机硬件、通信、电子工程、软件工程与系统工程等多种技术。
- 非功能性需求要求更高：如近乎最优的运行效率、强实时性、稳定性、更高的可靠性与安全性、并发性、移动性等要求。
- 资源约束：如有限的 CPU、内存、电源、显示窗口、按钮或键盘等。
- 面向应用：无论是软硬件的设计，还是系统的规模、开发过程等都与应用领域密切相关。

相应地，嵌入式系统设计开发的方法、技术、过程以及工具也都与通用计算机系统的开发设计不同。但由于其面向应用、跨学科等特点，相关研究成果也分散在各个学科中，没有系统、完整的集成跨学科成果的理论与方法来指导嵌入式系统的开发。

由于市场对嵌入式系统开发人员的大量需求，自 2006 年以来，许多学校期望设置嵌入式专业，现在都处于探索阶段，主要存在以下问题：

(1) 课程体系不健全。如果课程设置只是将现有不同专业的相关课程拼凑在一起，那么是不可能成为体系的。

(2) 没有教材。教材是支撑课程体系的基础，作为一个专业须有系统的教材，这些教材应将分散在各个学科的一些研究成果、理论与技术进行梳理整合。

目前对嵌入式软件开发人员的需求远远大于硬件系统开发人员的需求，这是因为嵌入式系统的功能越来越复杂，嵌入式软件是实现嵌入式系统功能的关键，是嵌入式系统设计创新和增值的关键因素。2005 年，北航软件学院成立了嵌入式软件专业，主要是培养嵌入式软件工程硕士，为嵌入式软件产业输送软件开发人员。由于嵌入式系统开发人员必须有一定的硬件基础，所以嵌入式软件工程硕士要求学生本科是电子工程、通信、自动控制、仪器仪表和机电一体化等专业。经过两届嵌入式软件工程硕士的培养，我们总结出一套针对嵌入式软件人才的培养方案，并在教学实践中逐渐完成这套教材的编写。

下面分别简单介绍其中几本主要教材。

《嵌入式系统概论》是一本最基本的关于嵌入式系统开发的教材，这本书结合 32 位嵌入式微处理器和实时操作系统，介绍了嵌入式系统设计的基本原理与方法。主要内容包括实时系统基本原理、嵌入式系统的设计方法与开发工具、嵌入式微处理器体系结构、嵌入式操作系统基本原理、嵌入式系统软件编程和嵌入式系统应用等知识，每一部分都有相应的实验

环节相配合,着重培养学生的实际动手能力,充分体现了嵌入式系统设计“软硬结合,面向应用”的特点。

《嵌入式软件设计》首先从系统的角度出发,介绍在系统分析设计中的系统思想,以及嵌入式系统的软硬件协同设计方法。然后,针对嵌入式软件开发,按照软件开发过程,介绍嵌入式软件需求分析、系统设计和详细设计。书中全面介绍了嵌入式软件设计可能涉及的各种问题及解决方法,如BSP、可靠性、资源管理、界面等的设计与开发环境选择等。本书力图结合嵌入式系统的特点,将软件工程领域成熟的分析设计方法引入到嵌入式软件的分析设计中。由于嵌入式软件设计方面现有的研究成果较少,大多还不是很深入,本书主要是希望向读者传授一种能够全面考虑问题,尽可能利用各个学科已有的设计思想解决问题的思维方式。

《嵌入式软件测试》主要从嵌入式软件测试方法、测试管理和测试工具三个方面介绍嵌入式软件测试。嵌入式软件测试与通用软件测试有相通之处,也有很大差异。嵌入式系统测试与系统软硬件平台关系密切,测试环境的搭建、测试方法都有其特殊要求。本书将主要介绍软件测试的基本理论,嵌入式软件测试方法,嵌入式软件测试环境,嵌入式软件测试过程管理,嵌入式软件测试工具等。

《移动通信技术与嵌入式应用》以信息论为基础,以移动通信系统的3个主要问题——有效性、可靠性和安全性为主线,紧密结合移动通信的特点,系统介绍移动通信基本理论和定性分析结论,目前第二代(2G)和第三代(3G)移动通信技术体制和网络的结构与组成,移动通信系统的开发方式,以及移动通信系统网络各部分与用户终端处嵌入式软件的特点与应用。本书内容主要包括多址技术与扩频通信,无线信道与调制理论,信源编码与信道编码,第三代(3G)移动通信技术体制,移动网络的结构与组成,移动通信(GSM, CD-MA2000 与 WCDMA 等)系统通信协议,移动通信系统的解决方案与开发。

这套教材不仅仅面向软件工程硕士,还可作为本科相关专业的教材,以及有志于从事嵌入式软件开发、维护的专业技术人员的参考书。

这套教材的主要作者都是多年从事相关领域研究、开发的专业技术人员,但是由于嵌入式系统的开发涉及跨学科的知识与技术,将嵌入式系统作为独立学科进行的研究还很少,又受到时间和精力限制,这套书在深度与广度方面有一定局限性,不当及谬误之处,恳请读者批评指正,帮助我们改进、完善这套书。

下表是北航软件学院嵌入式软件专业的主要课程,这些课程可以作为硕士阶段或本科三四年级学习嵌入式软件开发的课程参考。

嵌入式专业课程
• 嵌入式系统概论 • 嵌入式操作系统 • 嵌入式软件设计 • 嵌入式软件测试 • DSP 嵌入式软件开发技术 • 嵌入式应用算法基础 • 移动通信技术与嵌入式应用 • 嵌入式数据库 • Windows CE 与嵌入式软件开发 • VxWorks 与嵌入式软件开发

(续)

嵌入式专业课程
• 基于 J2ME 架构的嵌入式软件开发 • 可编程器件应用 • 工业数据通信与控制网络
工程与管理
• 软件工程 • 项目管理 • 软件开发过程
实践
• 课程设计 • C/C++ 程序设计实训 • 团队项目设计

康一梅

2007 年 5 月于北京

前 言

生物的发展过程是由单细胞生物到多细胞生物，一直到智能生物，嵌入式系统的发展就像生物的发展一样，从简单的4位、8位控制芯片到32位处理器，从单机系统到分布式系统等。在这个过程中，嵌入式软件的结构越来越复杂，但在复杂系统不断发展的同时，简单系统仍然不可缺少。

近十年来，中国软件产业的发展非常迅速，但是我们设计复杂大系统的能力仍然很弱。嵌入式软件的设计难度更大，这是因为嵌入式系统设计涉及微电子、计算机硬件、通信和电子工程等多种技术，嵌入式软件设计直接与底层硬件相关，而且嵌入式系统在资源有限的约束条件下，对系统性能有更高的要求。此外，由于嵌入式系统与应用紧密结合，以往的研究更多针对应用域的研究，如航空、航天、工业控制、医疗等。因此，嵌入式系统作为其辅助系统，很少有人将其作为专门的研究对象，深入研究其设计开发的基础理论与方法等。

随着嵌入式系统在各个应用领域的重要性不断增加，嵌入式系统的规模越来越大，嵌入式软件在嵌入式系统中所占比例也越来越大。目前，嵌入式软件已成为实现嵌入式系统功能的关键，嵌入式软件的设计也成为系统开发成功的关键因素。

本书重点讨论复杂嵌入式系统的软件分析设计问题。全书共15章，第1章首先介绍与嵌入式软件设计相关的嵌入式系统的软硬件基础知识，包括处理器、操作系统等。第2章介绍系统论与系统工程的基本概念，希望读者能够在系统分析设计中建立系统的思维方式。第3章介绍嵌入式系统的软硬件协同设计方法，这是系统设计思想的一种具体体现。然后，针对嵌入式软件开发，按照软件开发过程，介绍嵌入式软件需求分析、架构设计和详细设计。在第4章中，介绍了需求工程的三个活动：问题定义、需求定义和需求分析，在需求分析中分别介绍了结构化的分析方法——数据流图分析DFD和面向对象的分析方法。第5章全面介绍了针对复杂嵌入式软件进行架构设计应考虑的各个问题。第6章专门介绍针对实时软件设计的DARTS方法。第7章到第12章全面介绍了嵌入式软件设计可能涉及的各种问题及解决方法，如BSP、可靠性、资源管理、数据库设计、界面设计、软件设计模式等。第13章详细介绍了分布式嵌入式系统设计需要考虑的网络架构及数据传输等问题。第14章介绍嵌入式软件开发环境。在第15章中，希望读者建立采用分层体系结构设计开发嵌入式软件的概念，为了使读者真实体会这种设计开发方法，介绍了嵌入式无线应用开发平台BREW。

本书力图结合嵌入式系统的特点，将软件工程领域成熟的分析设计方法引入嵌入式软件的分析设计中，如软件体系结构、设计模式等。由于嵌入式软件设计方面现有的研究成果较少，大多还不是很深入，本书主要希望向读者传授一种能够全面考虑问题，尽可能利用各个学科已有的设计思想解决问题的思维方式。

本书可作为与嵌入式软件开发相关的硕士研究生与高年级本科生的教材。同时，本书还可作为有志于从事嵌入式软件开发、维护的专业技术人员的参考书。

在本书的编写过程中，刘景伟、吕雪飞、向民华、陈畅、姜波和李志军同学在资料检索、实验与示例方面做了大量工作，在此谨表示诚挚的感谢。

由于作者才疏学浅，又受到时间和精力限制，本书在深度与广度方面有一定的局限性，不当及谬误之处，恳请读者批评指正，以帮助作者改进并完善本书。

康一梅

2007 年 5 月于北京

目 录

丛书序	
丛书前言	
前言	
第1章 嵌入式系统基础知识..... 1	
1.1 嵌入式系统概述 1	
1.1.1 嵌入式系统的组成 2	
1.1.2 嵌入式系统的特点 4	
1.1.3 嵌入式系统的分类 5	
1.1.4 学习嵌入式系统应具备哪些 基础知识 6	
1.2 嵌入式系统硬件基础知识 6	
1.2.1 输入/输出端口 6	
1.2.2 时钟振荡电路和时钟单元 7	
1.2.3 存储器 7	
1.2.4 中断控制器 8	
1.2.5 嵌入式微处理器 8	
1.2.6 总线 12	
1.3 嵌入式系统软件基础知识 15	
1.3.1 嵌入式软件的分类 15	
1.3.2 嵌入式操作系统 17	
1.3.3 嵌入式软件的开发 22	
第2章 系统基础知识..... 25	
2.1 系统思想 25	
2.1.1 系统的定义及组成 26	
2.1.2 系统分析中重要的系统概念 27	
2.1.3 系统工程思想 27	
2.2 系统生存周期 28	
2.2.1 系统分析 30	
2.2.2 系统设计 31	
2.2.3 系统评价 32	
2.3 工程系统建模 33	
第3章 嵌入式系统软硬件协同设计..... 34	
3.1 软硬件分开设计 34	
3.1.1 先硬件后软件设计 34	
3.1.2 先软件后硬件设计 36	
3.2 软硬件协同设计 36	
3.2.1 软硬件协同设计模型 37	
3.2.2 协同设计的系统分析与 系统设计 38	
3.2.3 软硬件任务划分与软硬件 接口 40	
3.2.4 仿真验证 45	
3.2.5 集成调试与综合实现 46	
3.3 开发平台选择 47	
3.4 嵌入式系统设计应注意的问题 49	
第4章 嵌入式系统软件需求分析 51	
4.1 需求概述 51	
4.2 UML 简介 52	
4.2.1 常见的模型元素 52	
4.2.2 图 53	
4.2.3 视图 58	
4.3 嵌入式系统问题定义 58	
4.4 嵌入式系统需求定义 61	
4.4.1 需求定义的概念 61	
4.4.2 与客户协商的需求定义方法： 联合应用设计 62	
4.4.3 嵌入式系统需求定义常见的 问题 63	
4.4.4 面向对象需求定义 64	
4.5 需求分析 72	
4.5.1 需求分析技术发展 72	
4.5.2 结构化需求分析：数据流分析 73	
4.5.3 面向对象需求分析 78	
4.6 需求规格说明书 87	
第5章 嵌入式软件架构设计 89	
5.1 确定系统设计目标 90	
5.2 将系统分解为子系统 93	
5.2.1 系统分解 93	
5.2.2 软件体系结构 95	
5.3 并发 104	
5.4 开发环境和已有组件的选择 105	
5.4.1 开发环境选择 105	
5.4.2 组件设计 106	

5.5	子系统到软硬件的映射	109	7.2.1	嵌入式系统的硬件初始化	144
5.6	持续数据管理基础设施的选择	111	7.2.2	BSP 与 PC 机中 BIOS 硬件 初始化的比较	145
5.7	完整性控制策略的选择	111	7.3	嵌入式系统的引导技术	146
5.8	全局控制流机制的选择	111	7.3.1	Boot Loader 简介	146
5.9	边界条件的处理	112	7.3.2	嵌入式 Linux 的 Boot Loader 设计思想	147
5.10	人机界面设计	112	7.4	嵌入式系统的设备驱动程序	149
5.11	应对预期变化的设计	114	7.4.1	驱动程序的重要性	149
5.12	架构设计中应注意的问题	114	7.4.2	机制与策略的问题	150
第 6 章	实时软件分析设计方法		7.4.3	设备驱动的分层管理	150
	DARTS	115	7.4.4	设备类型和设备号	151
6.1	实时软件分析设计概述	116	7.4.5	模块化编程	152
6.1.1	实时系统的性能要求	116	7.4.6	设备文件接口	152
6.1.2	实时系统的设计要素	117	7.4.7	字符驱动程序编写实例	153
6.1.3	嵌入式实时软件系统的 生存周期	118	第 8 章	嵌入式软件图形用户界面设计	158
6.2	需求分析与说明	119	8.1	人机交互界面设计概述	158
6.2.1	人员进出房间系统实例介绍	119	8.1.1	人机交互技术	158
6.2.2	人员进出房间系统实例需求 分析与说明	119	8.1.2	用户界面设计原则	159
6.3	DARTS 系统设计	120	8.1.3	界面设计活动	160
6.3.1	数据流分析	121	8.1.4	界面评价	160
6.3.2	划分任务	121	8.2	图形用户界面概述	160
6.3.3	定义任务接口	123	8.2.1	图形用户界面的基本特征	161
6.3.4	人员进出房间系统实例 系统设计	124	8.2.2	图形用户界面的结构模型	161
6.4	任务设计	129	8.2.3	图形用户界面实现	162
6.4.1	任务设计概念	129	8.3	图形用户界面与嵌入式系统	163
6.4.2	人员进出房间系统实例 任务设计	129	8.3.1	嵌入式图形用户界面的特点	163
6.5	模块构筑	134	8.3.2	嵌入式系统的图形界面 开发方案	163
6.5.1	模块设计	134	8.3.3	嵌入式 GUI 的体系结构层次	164
6.5.2	人员进出房间系统实例 模块设计	134	8.3.4	嵌入式 GUI 主要技术分析	166
6.6	任务与系统集成	135	8.3.5	几种嵌入式 GUI 简介	169
6.7	CODARTS 实时软件分析设计方法	136	8.4	MiniGUI 的安装和使用	170
第 7 章	板级支持包技术	138	8.4.1	MiniGUI 的组成	170
7.1	BSP 技术概述	138	8.4.2	MiniGUI 使用环境的建立	171
7.1.1	什么是 BSP	138	8.4.3	MiniGUI 程序的编写	172
7.1.2	BSP 的作用与功能	139	第 9 章	嵌入式数据库	175
7.1.3	常见的 BSP 实现方式和 开发方法	140	9.1	概述	175
7.1.4	主流嵌入式操作系统及其 BSP 技术	141	9.1.1	嵌入式数据库的特点	175
7.2	嵌入式系统的硬件初始化技术	144	9.1.2	嵌入式数据库的体系结构	176
			9.1.3	嵌入式数据库系统发展现状	178
			9.2	嵌入式数据库的分类	178
			9.2.1	基于内存方式	178
			9.2.2	基于文件方式	179

9.2.3 基于网络的嵌入式数据库	179	第 12 章 资源管理	222
9.3 嵌入式数据库系统设计技术指标	180	12.1 功耗	222
9.3.1 嵌入式数据库设计的 数据模型	180	12.1.1 功耗简介	222
9.3.2 实时性	182	12.1.2 基于硬件的低功耗设计	224
9.3.3 可靠性	183	12.1.3 基于软件的低功耗设计	226
9.3.4 并发控制	183	12.1.4 嵌入式低功耗的软硬件 协同设计	230
9.3.5 数据索引	183	12.2 电源	230
9.3.6 查询优化	184	12.2.1 电源基础知识	230
9.3.7 备份与恢复	185	12.2.2 电源管理技术	231
9.4 嵌入式数据库管理系统设计	185	12.2.3 常用省电方法	234
9.5 嵌入式数据库应用设计	187	12.3 内存管理	235
9.6 几种嵌入式数据库	189	12.3.1 概述	235
9.6.1 非开源嵌入式数据库	189	12.3.2 基本内存管理方案	238
9.6.2 开源嵌入式数据库 Berkeley DB 与 SQLite	189	12.3.3 常见实时系统内存管理模式	239
9.6.3 SQLite 开发环境移植与 应用示例	191	12.3.4 内存泄露	245
第 10 章 设计模式	195	12.3.5 内存保护	246
10.1 设计模式概述	196	第 13 章 嵌入式系统与分布式应用	247
10.1.1 什么是设计模式	196	13.1 什么是嵌入式分布式系统	247
10.1.2 设计模式的基本要素	197	13.1.1 分布式系统的定义	247
10.1.3 如何描述设计模式	198	13.1.2 分布式系统与单处理器系统的 比较	248
10.2 设计模式举例	198	13.1.3 分布式嵌入式系统相关技术	248
10.3 中断设计模式	200	13.2 分布式嵌入式系统体系结构	249
10.4 设计模式的应用	204	13.2.1 企业网络系统的层次结构	249
第 11 章 嵌入式软件可靠性设计	207	13.2.2 移动网络的层次结构	251
11.1 概述	207	13.2.3 分布式嵌入式系统结构	251
11.2 可靠性涉及的性能指标	208	13.3 嵌入式系统的广域网络接入	261
11.3 嵌入式系统可靠性设计方法	209	13.3.1 嵌入式系统的局域网与 网络互连	261
11.3.1 嵌入式系统硬件可靠性设计	210	13.3.2 嵌入式系统的无线局域网	263
11.3.2 常用元器件的可靠性分析	211	13.3.3 嵌入式系统的广域网接入	266
11.3.3 提高嵌入式系统可靠性的 具体措施	212	13.3.4 无线传感器网络技术	270
11.4 嵌入式软件的可靠性设计	213	第 14 章 嵌入式软件开发环境	277
11.4.1 软件可靠性与硬件可靠性的 区别	214	14.1 嵌入式软件开发环境概述	277
11.4.2 影响软件可靠性的因素	214	14.2 嵌入式调试方法概述	279
11.4.3 提高软件可靠性的方法 和技术	215	14.2.1 驻留监控软件	279
11.4.4 软件产品可靠性的评估	217	14.2.2 基于 JTAG 方式的调试代理	280
11.4.5 嵌入式软件的可靠性设计	219	14.2.3 指令集模拟器	280
11.5 可靠性的管理	221	14.2.4 在线仿真器	281
		14.2.5 ARM 中基于 JTAG 的 调试系统	281
		14.3 Linux 嵌入式系统开发环境	282
		14.3.1 嵌入式 Linux 概述	282

14.3.2 嵌入式 Linux 开发环境架构	283	15.3 BREW 体系架构	302
14.3.3 Linux 开发工具	286	15.3.1 BREW 编程环境	303
14.3.4 实例：建立嵌入式 Linux-Arm 开发环境	292	15.3.2 BREW 应用运行环境	303
14.3.5 实例：实现“hello world” 程序	293	15.3.3 BREW 的分发环境	304
14.4 Windows CE 应用开发环境	295	15.4 BREW 开发环境	305
14.4.1 Windows CE 内核定制工具 Platform Builder	296	15.4.1 搭建 BREW 开发环境	305
14.4.2 Visual Studio .NET 简介	297	15.4.2 BREW SDK	306
14.4.3 Embedded Visual C++ 简介	297	15.4.3 常用的 BREW 配套工具	309
第 15 章 嵌入式无线应用开发平台 BREW	301	15.5 BREW 开发指导原则	312
15.1 应用开发平台	301	15.6 基于 BREW 平台开发实例	314
15.2 BREW 平台概述	302	15.6.1 开发 BREW 程序前的准备	314
		15.6.2 在 PC 上开发一个 BREW 应用程序	315
		15.6.3 将 BREW 应用移植到手机上 ...	319
		参考文献	322

第 1 章

嵌入式系统基础知识

计算机系统可以处理并管理各种数据，这里所说的数据包括文字、数字、图片以及各种指令。人们希望能制造各种智能机器，这些机器需要一套大脑系统，这些机器可能很小，如数码照相机就需要给它设计一套小小的可以嵌在里面的大脑系统，这个大脑有多聪明，就要看它的软件了。带有微处理器的专用软硬件系统称为嵌入式计算机系统，通常称为嵌入式系统。这方面的应用技术称为嵌入式技术。

但是，有些系统完全符合上面的定义，却不是嵌入式系统。比如，一台车载电脑，当它安装的操作系统是 Windows XP 时人们就认为它不是嵌入式计算机系统，而如果它安装的操作系统是 Windows CE 时就认为它是嵌入式计算机系统。因此，我们可以这样定义：隐藏在一些更大的机器中，管理控制这些机器，带有微处理器，并且没有使用操作系统，或使用嵌入式操作系统的专用软硬件系统称为嵌入式计算机系统，通常称为嵌入式系统。

IEEE（国际电气和电子工程师协会）对嵌入式系统的定义是：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）。可以看出此定义是从应用方面考虑的，嵌入式系统是软件和硬件的综合体，还可以涵盖机电等附属装置。一般定义是“以应用为中心，以计算机技术为基础，软件硬件可裁剪，功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。”

1.1 嵌入式系统概述

嵌入式系统已经有近 30 年的发展历史，其发展过程是硬件和软件交替进行的双螺旋式发展。

最早的单片机是 1976 年 Intel 公司推出的 8048，Motorola 同时推出了 68HC05，Zilog 公司推出了 Z80 系列，这些早期的单片机均含有 256 字节的 RAM、4K 的 ROM、4 个 8 位并行接口、1 个全双工串行接口、两个 16 位定时器。在 20 世纪 80 年代初，Intel 公司又进一步完善了 8048，在 8048 的基础上研制成功了 8051。

1981 年 Ready System 开发了世界上第 1 个商业嵌入式实时内核（VTRX32），该内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、同步与互斥、中断支持、内存

管理等功能。这个实时内核可以运行在 8051 单片机上。

嵌入式微控制器的出现是计算机工程应用史上的一个里程碑，随着微电子技术的飞速发展，CPU 已经成为低成本器件。在可能的情况下，各种机电设备已经或者正在嵌入 CPU 构成的嵌入式系统。据 Virginia Tech 公司报告，嵌入式系统中所使用的 CPU 数量已经超过通用 PC 中 CPU 数量的 30 倍。特别是在工业控制中，嵌入式微控制器直接位于控制第一线，是工业自动化的关键部件之一。目前，中、高档 8 位嵌入式微控制器，16 位、32 位嵌入式微控制器，以及一些专用嵌入式微控制器（如数字信号处理、数字图像处理、通信控制单片机等）已在通信系统、因特网系统、非嵌入式计算机系统、工业测控系统、机器人感知行走系统、分布式测控系统、快速多机实时处理系统和图像系统中成为不可缺少的重要组成部分。

嵌入式系统的应用涉及众多领域，深入到了社会、生活的各个方面。表 1-1 列举了嵌入式系统的主要应用领域。

表 1-1 嵌入式系统的主要应用领域

应用领域	实 例
家用电器	机顶盒、掌上电脑、DVD、录像机、MP3、数码相机、数字电视、可视电话、电子玩具、电子字典、游戏机、复读机、空调机、冰箱、洗衣机、网络电视、网络冰箱、网络空调、家庭网关、其他家用智能电器等
通信设备	电话交换系统、电缆系统、卫星全球定位系统、数据交换设备、移动电话
工业	数控机床、电力传输系统、检测设备、建筑设备、核电站、机电控制、工业机器人、过程控制、DDC 控制、DCS 控制、智能传感器等
仪器仪表	智能仪器、智能仪表、医疗器械、色谱仪、示波器等
导航控制	导弹控制、鱼雷制导、航天导航系统、电子干扰系统等
商业和金融	自动柜员机、信用卡系统、POS 系统、安全系统等
办公设备	复印机、打印机、扫描仪、电话、传真系统、投影仪等
交通运输	智能公路（导航、流量控制、信息监测与汽车服务）、雷达系统、航空管理系统、售检票系统、行李处理系统、信令系统、汽车点火控制器、车载导航系统、停车系统等
建筑	电力供应、安防监控系统、电梯升降系统、车库管理系统等
医疗	心脏除颤器、心脏起搏器、X 光设备、电磁成像系统等

1.1.1 嵌入式系统的组成

总体上嵌入式系统可划分成硬件和软件两部分，硬件一般由高性能的微处理器和外围的接口电路组成，软件一般由硬件抽象层、嵌入式操作系统、板级支持包、应用平台和应用程序几部分组成，如图 1-1 所示。

并非所有嵌入式系统都包含这些部分，有些系统没有操作系统，有些系统没有应用平台。许多时候设计人员是把这几种软件组合在一起的，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与硬件的交互作用。因为嵌入式系统对实时性要求很高，这种设计方式更有利于程序与硬件、程序与程序的交互，从而提高整个系统的速度。嵌入式操作系统具有相对不变性，而不同的系统需要设计不同的嵌入式应用程序。如何简洁有效地使嵌入式系统能够应用于各种不同的应用环境，是嵌入式系统发展中所必须解决的关键问题。

硬件层：硬件是整个嵌入式操作系统和应用程序运行的平台，包括输入输出接口/驱动电路、处理器、存储器、定时器、串口、中断控制器、外设器件、图形控制器及相关系统电路等部分。

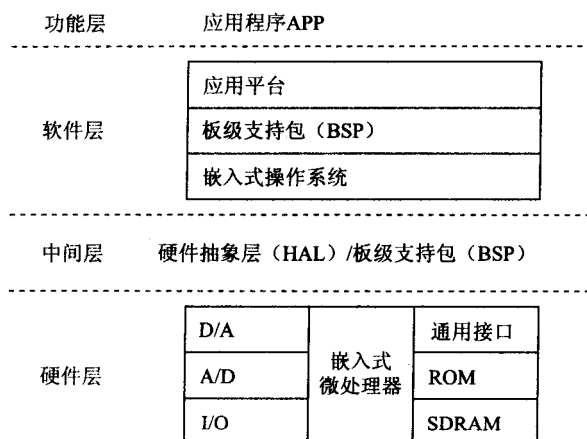


图 1-1 嵌入式系统的组成

不同的应用通常有不同的硬件平台，硬件平台的多样性是嵌入式系统的一个主要特点。

硬件层之上的中间层、软件层、功能层都是软件。软件是嵌入式系统的核心部分，是根据特定的需求量身定做的、在相对固定的环境下完成特定任务的应用程序。这些处理过的指令代码和数据被放置到存储器中用于执行任务。产品的最终机器可以将软件嵌入在 ROM（或 PROM）中。所以，最终阶段软件也被称为 ROM 映像。

中间层：硬件抽象层（HAL），负责对各种硬件功能提供软件接口，包括硬件初始化、硬件时钟、中断板级支持包、计时器时钟、总线管理、内存地址的映射等。它是一个介于硬件与软件之间的中间层次。如果有操作系统，它在硬件与操作系统之间，硬件抽象层通过特定的上层接口与操作系统进行交互，主要是对系统基础硬件提供初始化和软件接口，而一些设备驱动则是在操作系统之上提供，它的引入大大推动了嵌入式操作系统的通用化；如果没有操作系统，中间层则称为板级支持包，提供对所有硬件，包括各种设备的初始化和驱动。

每个 HAL /BSP 包括一个 ROM 启动（Boot ROM）和其他启动机制。

嵌入式操作系统：实现对资源的访问和管理，完成任务调度，支持应用程序的运行及开发。

板级支持包（Board Support Package, BSP）：BSP 针对某一个特定的嵌入式系统，提供与硬件相关的设备驱动。每个 BSP 包括一套模板，模板中有设备驱动程序的抽象结构代码、具体硬件设备的底层初始化代码等。通常这些设备驱动是在系统初始化过程中由 BSP 将操作系统中的设备驱动程序与它们相关联。随后，由通用设备驱动程序调用，实现对硬件设备的控制。另外，BSP 还参与了嵌入式系统初始化及硬件初始化的过程。板级支持包是嵌入式应用开发中的关键环节。

虽然某些嵌入式操作系统包含了设备驱动，但仍有许多设备驱动需要开发者自己编写。因此现在嵌入式软件行业存在一个争论：板级支持包究竟是不是嵌入式操作系统的一部分。不管它是不是操作系统的一部分，可以肯定的是，作为嵌入式软件中一个不可分割的部分，它在为整个嵌入式系统服务。

应用平台：为了提高开发速度与软件质量，一些应用提供商开发出了一些可重用的应用

平台,封装一些常用的功能,同时提供 API 接口,可以在此基础上进行二次开发。如为开发手机应用提供的 BREW 平台,不仅包括开发用的 SDK,还有运行在操作系统之上的应用运行环境(AEE),它为基于 BREW 平台开发的应用提供了一个全功能的实时运行环境。

应用软件: 应用软件层位于嵌入式系统层次结构的最顶层,直接与最终用户交互,决定整个产品的成败。其质量及其可靠性依赖于应用软件的设计质量、资源使用情况以及与操作系统耦合的程度。嵌入式应用软件与通用计算机程序相比主要存在以下几点不同。

1) 嵌入式系统软件设计过程中,针对功能差异较大的硬件层、操作系统层、BSP 层、平台层,不仅要设计适当,而且要系统集成。

2) 各层之间响应时间要求严格。

3) 存储器、电源等资源有限,须优化使用。

4) 测试要求更为严格。

除了上述内容之外,嵌入式软件的开发过程也必须符合软件工程的各種标准。

1.1.2 嵌入式系统的特点

嵌入式系统是一种针对于特定任务、特殊环境而进行特殊设计的定制产品,所以与传统的计算机系统相比,主要有以下几个方面的特征。

1. 嵌入式系统产业是不可垄断的高度分散的产业

从某种意义上来说,通用计算机行业的技术是垄断的。而嵌入式系统产业充满了竞争、机遇与创新,没有哪一个系列的处理器和操作系统能够垄断全部市场。即便在体系结构上存在着主流,但各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。

2. 操作系统内核小,资源少

由于嵌入式系统主要应用在一些对成本、资源、占用空间都有严格要求的环境下,系统资源的多少以在满足实际运用的要求下尽可能少为目标。故嵌入式操作系统内核要比传统的操作系统小得多,如 ENEA 公司的 OSE 分布系统的内核只有 5KB,这是无法与 Windows 的内核相比的。

3. 专用性强

嵌入式系统的设计、软件的开发、操作系统的裁剪都是以满足特定的要求为目标,针对特定的应用量身裁衣、去除冗余,进行高效率的设计,力争在同样的硅片面积上实现更高的性能。

4. 系统稳定持久

各个行业的嵌入式应用系统和产品与通用计算机软件不同,很少发生突然性的跳跃,嵌入式系统中的软件也因此更强调可继承性和技术衔接性,发展比较稳定。嵌入式处理器的发展也体现出稳定性,一个体系一般要存在 8~10 年的时间。一个体系结构及其相关的片上外设、开发工具、库函数、嵌入式应用产品是一套复杂的知识系统,用户和半导体厂商都不会轻易地放弃一种处理器。

5. 软硬件结合紧密

在嵌入式系统中,软硬件的结合尤为紧密。通常要针对不同的硬件平台进行系统的移植。即使在同一品牌、同一系列的产品中也需要根据系统硬件的变化和增减不断进行修改。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