

“十一五”高等院校规划教材

# 嵌入式系统原理

Principles of Embedded Systems

本书配套多媒体教学课件



李庆诚 刘嘉欣 张 金 著



北京航空航天大学出版社

# 嵌入式系统原理

2. 钱学 李庆诚 刘嘉欣 张金 著

- [illegible]

## 内 容 简 介

本书是嵌入式系统的原理性教材,作者根据多年在嵌入式领域中的实践经验,在书中严选了一部分比较有代表性的实例。本书的写作宗旨是拨开嵌入式系统纷繁复杂的迷雾,提炼其中的精华,系统性地将嵌入式系统的设计原理介绍给读者,而不是聚焦于某一款具体的芯片或某一种特定的操作系统。本书的另一个特点是从多角度、全方位对嵌入式系统进行审视和剖析,提出并运行一种新颖的五层结构模型来诠释嵌入式系统的内涵和真谛。

本书结构清晰,运用了通俗易懂的语言进行讲解,并辅以生动翔实的例子来进行说明,是一本从全新角度来阐述与理解嵌入式系统的原理性教材。

本书既可作为高等院校相关专业的教材,也可作为从事研发、生产和教学的广大科技工作者的自学用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统原理/李庆诚,刘嘉欣,张金著. —北京:

北京航空航天大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-81077-977-7

I. 嵌… II. ①李…②刘…③张… III. 微型计算机-系统设计—高等学校—教材 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 020426 号

© 2007,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。  
侵权必究。

## 嵌入式系统原理

李庆诚 刘嘉欣 张 金 著

责任编辑 王慕冰 朱胜军

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×960 1/16 印张:22.25 字数:498 千字

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81077-977-7 定价:29.50 元

当前,中国 ICT 制造业的规模已达到世界第二位,但其工业增加值和利润率却都很低。为了使中国能从一个“信息大国”发展到“信息强国”,我们必须努力掌握嵌入式系统的核心技术,并将现在各种简单的信息电子产品更新换代,发展成为具有数字化、智能化、网络化特征的嵌入式系统。这样,才能大大提高信息电子产品的附加值和竞争力,实现从“信息大国”向“信息强国”的过渡。

因此,在一个相当长的时期内,我国都需要重视培养精通嵌入式系统的人才。但由于嵌入式系统的覆盖面很广,不但牵涉到硬件和软件,而且也牵涉到各种各样的应用领域,因此对嵌入式系统的教材也提出了很高的要求。在这种情况下,我们高兴地看到,李庆诚、刘嘉欣、张金等老师合著的《嵌入式系统原理》一书问世了。

本书具有鲜明的特色,给人以耳目一新的感觉,这和本书作者的背景是分不开的。本书的主要作者具备跨书中涉及的三大学科(即计算机、自动化和通信)的学识,对嵌入式系统有许多独到的见解。书中涉及到的基本理论和方法,是作者们近二十年教学、科研和工程实践的结晶。他们多年的教学和科研实践,以及从事多种商业化嵌入式系统的规划、设计的成功经验,使本书既注重理论、方法的抽象沉淀,又注重理论、方法的工程实现。本书理论和样例并举,讲授和实验融合,深入浅出、通俗易懂。

嵌入式系统作为后 PC 时代兴起的、嵌入到各类电子信息设备中的专用计算机系统,要求高性价比、高可靠性、高可裁剪性,因而具有与 PC 不同的系统理论以及工程策略与方法。本书关于依据嵌入式系统的可靠性、实时、交换和可信四个主轴进行分类的方法,以及将嵌入式系统分成硬件层、引导层、内核层、用户界面层和应用层五层结构的方法,都有一定的新意,是经受了实践检验的有效方法。

按照五层结构,本书详细剖析了作为硬件核心的各类哈佛结构与冯氏结构的嵌入式处理器和指令系统类型;深入研究了构成嵌入式系统的最小系统的引导和驱动;准确定义了作为中间件软件核心的嵌入式操作系统和用户界面,以及另一类常用的中间件——嵌入式数据库;系统讲解了应用编程和数据处理问题,并强调了软件测试的重要性。

本书突出了嵌入式系统的指标体系和量化方法,以可信性、可崩溃性、可交换性、实时性作为评价标准(即“多维评价图”或“蜘蛛图”),使读者对嵌入式系统有了一个全面的认识和判别。



为了使读者掌握正确的思维方法,本书在将现代计算机系统理论与我国传统的阴阳辩证逻辑的结合方面也作了有益的尝试,这有助于使读者更好地掌握嵌入式系统的本质。

本书的读者对象为计算机、自动化、通信等专业的本科生和研究生。一方面,由于当前计算设备、自动化设备和通信设备都会或多或少地含有嵌入式系统,这使嵌入式系统可以成为这三个学科的共同专业基础课程;另一方面,嵌入式系统也有它自身固有的原理、规则和方法,可以成为具有独立理论与工程意义的专业基础课程。

总之,鉴于本书的上述特点,它的出版将为嵌入式系统人才的培养提供一部优秀的教材。

倪光南

2007年2月11日

本书的读者对象为计算机、自动化、通信等专业的本科生和研究生。一方面,由于当前计算设备、自动化设备和通信设备都会或多或少地含有嵌入式系统,这使嵌入式系统可以成为这三个学科的共同专业基础课程;另一方面,嵌入式系统也有它自身固有的原理、规则和方法,可以成为具有独立理论与工程意义的专业基础课程。

总之,鉴于本书的上述特点,它的出版将为嵌入式系统人才的培养提供一部优秀的教材。

本书的读者对象为计算机、自动化、通信等专业的本科生和研究生。一方面,由于当前计算设备、自动化设备和通信设备都会或多或少地含有嵌入式系统,这使嵌入式系统可以成为这三个学科的共同专业基础课程;另一方面,嵌入式系统也有它自身固有的原理、规则和方法,可以成为具有独立理论与工程意义的专业基础课程。

总之,鉴于本书的上述特点,它的出版将为嵌入式系统人才的培养提供一部优秀的教材。

本书的读者对象为计算机、自动化、通信等专业的本科生和研究生。一方面,由于当前计算设备、自动化设备和通信设备都会或多或少地含有嵌入式系统,这使嵌入式系统可以成为这三个学科的共同专业基础课程;另一方面,嵌入式系统也有它自身固有的原理、规则和方法,可以成为具有独立理论与工程意义的专业基础课程。

总之,鉴于本书的上述特点,它的出版将为嵌入式系统人才的培养提供一部优秀的教材。

本书的读者对象为计算机、自动化、通信等专业的本科生和研究生。一方面,由于当前计算设备、自动化设备和通信设备都会或多或少地含有嵌入式系统,这使嵌入式系统可以成为这三个学科的共同专业基础课程;另一方面,嵌入式系统也有它自身固有的原理、规则和方法,可以成为具有独立理论与工程意义的专业基础课程。

总之,鉴于本书的上述特点,它的出版将为嵌入式系统人才的培养提供一部优秀的教材。

本书的读者对象为计算机、自动化、通信等专业的本科生和研究生。一方面,由于当前计算设备、自动化设备和通信设备都会或多或少地含有嵌入式系统,这使嵌入式系统可以成为这三个学科的共同专业基础课程;另一方面,嵌入式系统也有它自身固有的原理、规则和方法,可以成为具有独立理论与工程意义的专业基础课程。

总之,鉴于本书的上述特点,它的出版将为嵌入式系统人才的培养提供一部优秀的教材。

本书的读者对象为计算机、自动化、通信等专业的本科生和研究生。一方面,由于当前计算设备、自动化设备和通信设备都会或多或少地含有嵌入式系统,这使嵌入式系统可以成为这三个学科的共同专业基础课程;另一方面,嵌入式系统也有它自身固有的原理、规则和方法,可以成为具有独立理论与工程意义的专业基础课程。

总之,鉴于本书的上述特点,它的出版将为嵌入式系统人才的培养提供一部优秀的教材。

## 前言

## 一、写作背景

火星探测器探索太空的实现,赋予了人类更大的想象空间;高科技战争中全球范围内的精确制导攻击,带来了全球性的安全隐患;植入人体的电子起搏器,挽救了无数人的生命;成千上万大规模使用的无线传感网络,在军事、环保和建筑测量等众多领域发挥着不可限量的作用。从现实的角度来说,这些都属于嵌入式系统的范畴。这么多类别,这么多领域,可以用相对独立的理论将它们统一起来吗?

人们可以忍受 PC 死机,但绝不允许家里的电视死机;而汽车的调速系统和飞行器的制导系统在运行中更不能出问题,否则后果是灾难性的。那么嵌入式系统可靠性如何保障?又应该如何分类?

学生们把智能手机、数码音乐播放器、手持游戏机、掌上电脑、数码相机和电视机顶盒等大量消费类电子产品当作嵌入式系统的全部,甚至经常有学生将 PC 认为是计算机的全部和将 Windows 认为是操作系统的全部一样,这些是谁的错?

以上问题,通过本书可以找到答案。

## 二、写作动机

## 1. 学科整合感受

1998 年,从香港做博士后归来后,在南开大学建立了“嵌入式系统与信息安全”实验室(<http://safelab.nku.cn>),全面开始对嵌入式系统进行抽象和针对性研究。从带有网络控制性质的自动售货机,到具有消费类电子的基于 Linux 的手持电子阅读器,其间主持了两个操作系统的设计与应用,即 Wolf mini-OS(相当于  $\mu$ OS)和 Wolf Linux。加之早年(1986~1996 年)在自动控制中的实践,体会到了自动控制和计算机两个专业角度体会嵌入式系统的不同。想将此种感受纪录和抽象出来是写作本书的动机之一。

## 2. 科研、产业体验总结

大学毕业后二十余年间,前十年(1986~1996 年)主要从事自动控制方面的教学和科研工作,后十年(1997 年至今)主要从事计算机系统方面的教学、科研和产业方面的工作。在这种



工作跨度中,深深体会到教育、工业和商业方面的区别。这种感悟和体会的纪录,便是写作本书的动机之二。

### 3. 教学培养压力

从 2003 年开始,在南开大学为信息学院的硕士研究生开始教授“现代嵌入式系统”已经近五年,授课期间感受到很多系统抽象方面的内容。然从 2004 年开始为学院本科主讲“嵌入式系统”以来,面对学生缺乏基本专业知识,市面参考书目良莠不齐,国外教材与国内难以同步,网络资源缺乏权威和严肃性等状态,颇受缺乏有效教材的袭扰,由此形成了本人写作本书的主要动力!

2004 年开始规划,至今已经跨越了四个年度。

## 三、主要思想

### 1. 嵌入式系统定义与分类方式

嵌入式系统作为概念并不是新词,大约二十多年前就已经有定义了,而被学科和人们开始重视,应该也仅是近十几年的事情。但从“嵌入式系统”定义的角度,却发生了较大的分歧,由此形成对系统评判和构造的方向性差异,也就是:

应用设备系统(本书中称作对象体系)中含有专用计算机系统;

将专用计算机系统嵌入到应用设备系统中。

这是方向的不同,本书中强调后者,即“将专用计算机系统嵌入到应用设备系统中”,但也不绝对否认前者,因为前者是很多单片机系统的构造方式,至今依旧是嵌入式系统中的重要组织方式。从这个角度来说,本书作为教材是兼收并蓄的,而不是学术极化。

本书依据嵌入式系统的可靠性、实时、交换和可信四个主轴,为现存的嵌入式系统进行了全面的分类,因此为学生建立前面的嵌入式系统概念,建立了全局的基础。例如,按照本书的划分,将 WinCE 系统划分为:可崩溃可交换非可信非实时系统,这样从类别的角度,可让学生清晰的建立全局观,客观的审视和评价周边的嵌入式系统。这一点应该是本教材的突破,既屏蔽应用和商业带来的障碍,又提高了学习过程的感知度和理解度。

### 2. 系统结构层次

#### ● 五层结构

按照常规嵌入式系统层次的分法,大都将嵌入式系统分为三层,即硬件+操作系统+应用。但本书将系统细分为五层,主要思想来源于 PC 产业的细分。PC 中的 BIOS(Basic Input Output System,基本输入/输出系统)将 PC 的硬件制造和个人计算机系统分离,同时也将硬件和软件变化分离,由此可以保证系统的整体可靠性。书中强化了最小系统和驱动部分,并将操作系统的 UI(User interface 用户接口)剥离。

#### ● 裁减控制

关于内核的描述,书中引入了层次结构下的模块式结构和插件式结构,明晰和强调了嵌入式系统的另一大特征——可裁剪性。

### ● 控制数学模型

在结构性分析的同时,书中强调了工程控制论思想,明确了在嵌入式系统土壤中如何构造以精确控制为目标的控制数学模型。

## 3. 评价体系

### ● 系统与平衡

对于嵌入式系统的评价,很难用绝对的方式进行衡量,就像人的健康状态,极化任何一个方面,都可能造成误导。因此,建立嵌入式系统评价体系,应从系统和平衡的着眼点进行考量。

### ● 过程与生存环境

评价应该包括嵌入式系统的全过程,从系统的创建、设计、制造,到运行/维护和消亡,也因此形成了设计空间、制造空间、运维空间和用户空间的嵌入式系统环境概念。这是大多数教材和论著忽略的,但在本书中相对强化了该点,这些在本书封面上都有所体现。

### ● 系统制约与干扰

嵌入式系统不是孤立的,它与对象体系既息息相关,又有制约和干扰。表达方式上,书中采用了蜘蛛图进行描述,比较形象。整体的评价体系充分的吸收了我国传统阴阳系统二元逻辑,多级对称的精髓,注重在很多方面强调了两极互补、互动的关系。例如,硬件与软件、处理器和存储、程序与数据等。客观地定位了大多数人强化嵌入式操作系统和数据库的观点,将其定位为本书定义体系下的中间件,即在设计中,工程师希望它们越庞大越好,但在用户使用时,则希望其越瘦、越薄为好,否则在性能、可靠性、成本等方面都会受到影响。

## 4. 工程方法

嵌入式系统的工程方法主要强调设计空间环节,以及与之密切相关的制造和维护空间。

### ● 时间指标量化

传统的控制和仪表系统,大都在时序控制和时间精细安排方面有着众多的原则和理论支撑,但在计算机系统中,软件编程人员往往淡化这一概念。真对于这一方面,本书也安排了相关融合内容,来强调时间量化和时序的重要性。

### ● 系统可裁剪

系统配置和条件编译,无疑是裁减过程的重要环节,但嵌入式系统的可裁剪性应该体现在所有的环节和模块中。为此,本书从软件封装到硬件支撑等许多部分都安排了相关内容的讲解,来使读者了解相关的设计考虑。

### ● 系统整合

嵌入式系统整合是从事嵌入式系统设计人员必须具备的意识和能力。例如, Motorola 公司发布的 A780 手机,是基于嵌入式 Linux 操作系统的,整体整合了十几家嵌入式软件产品,



才形成了最终的用户产品。这意味着整合本身就需要很强的评判、界定和融合能力。作为裁剪相对应的部分,这一概念也是本书中强调的重点之一。

### ● 透明可测性设计

复杂系统性能和可靠性的保障,不完全靠认真,或者负责任,还必须依靠合理有效的方法去保障,其中每个环节加入透明可测设计,是非常有效的。此类方法是故障隔离的前提,尽管在设计初期会产生性能或用户体验的下降,但在系统成熟的过程中,其优势会充分体现出来。

## 5. 发展与变化

电子和 IT 领域中有一个重要的特点,就是变化快,思想和感悟难于沉淀,嵌入式系统同样难以逃离这样的规律。本书试图将抽象的模型、体系判据和工程方法与具体的商业产品分开,减少变化引起的冲击。由于书中主要采用了系统辩证的方法去解释和阐述,使得该书作为教材具有较强的适应力。尽管如此,也很难以书面的方式应对所有的问题,因此本书在出版的同时,也在南开大学嵌入式系统与信息安全实验室的网站上专门开辟了《嵌入式系统原理》论坛(<http://safelab.nku.cn:8080/cgi-bin/leobbs.cgi>),欢迎关注该书的专家、教师、读者和同学多多参与这样的互动,发表您的宝贵意见,与我们一起努力,帮助这本教材的成长。

## 6. 教学思考

本书作为计算机、自动化和电子通信专业本科基础课教材,需要与实验教程紧密配合。学生一般在经过二年到二年半学习后,可以开始学习本课程。学习本书应该具备电路、软件基础等方面的知识。三年的教学实践表明,通过学习本书,在全方位学习嵌入式系统知识的同时,还能够在以下方面得到提升:

建立系统、辩证和比对的思维方式;

评价相关事件,能够适当剥离商业因素。

## 四、章节导读

- 第一章:本章从两种不同角度,给出嵌入式系统的定义,并介绍了与嵌入式系统相关的三大学科的历史,描述了在 20 世纪末,嵌入式系统如何融合起来,用以说明相互的关联与区别,并确定了作为专用计算机系统的嵌入式系统的位置。接着讲述嵌入式系统本身存在的危机,同时也道出了嵌入式系统应该解决哪些问题。
- 第二章:首先按照系统论的思想给出了系统思想和相关概念,接着针对嵌入式系统给出了有别于他人的五层结构模型,描述了各层的具体内涵和评价方式。此章后部以工程控制论的思想,说明了控制数学模型的建立和使用原则。
- 第三章:以第二章的五层结构为基础,说明和讲解第一层硬件体系。本章中综合讲解了主要硬件部件,尤其对嵌入式微处理器做了重点讨论。同时,从硬件系统设计的角度说明了硬件系统要素:时钟与总线、内存管理、供电和能耗以及看门狗技术。最后给

出了基本的硬件系统评价指标。

- 第四章:在第一层硬件体系的基础上,以构成最小系统为本章的开始,对引导层、引导模式等问题进行了诠释。同时,对中断、I/O 和 MMU 的初始化进行了介绍,引出了系统驱动建立原则和基本方法。最后以 WinCE、Linux 和 PC DOS 为例说明了最小系统、引导等问题。
- 第五章:本章是五层结构中的第三层和第四层的介绍。章节名冠以“中间件”的目的是想说明在设计空间和用户空间的不同感受。本章对嵌入式操作系统的结构、实时特征和可裁剪性进行讲解的同时,还给出了评测方法。接着对操作系统的用户接口进行了讨论。最后以嵌入式数据库为重点,讲解了其作用、特性,以及移动和本地数据库的相关内容。
- 第六章:做为第五层的应用,应该是在选择的嵌入式操作系统的基础上如何进行应用编程,以及如何管理用户数据。本章首先从抽象的角度进行了程序和数据的评价,然后分别介绍嵌入式系统编程的基本语言:汇编语言和 C 语言。同时介绍了对象式分布语言 Java 及其体系,并对比性地介绍了 .NET 和 XML。最后讲解了嵌入式系统的测试。
- 第七章:作为综合评价的一章,首先说明了以“嵌入”为中心的内外作用指标,并从工程角度给出了封装和软件整合的概念。然后讲解了系统的可靠性、裁剪和指标体系。最后对整个嵌入式系统进行了分类,其中 7.4 节的系统安全,为本科可选内容。

## 五、致 谢

本书是在南开大学信息技术科学学院嵌入式系统与信息实验室(<http://safelab.nku.cn>)教师和学生多年教学、科研和产业实践基础上,历经三年多完成的。实验室的刘海松、任健、黄宝贞、卢涛、陈越、田志刚、徐志雄、唐德凯同学和田源同志分别参与了书稿部分章节的写作和资料整理工作,同时,刘立冬、王庆、赵亮、宫晓利、刘永超、彭杰、杨晓为本书也贡献了他们的很多时间。在本书的成稿期间,南开大学黄亚楼教授、袁晓洁教授、王计会教授和天津大学王江教授分别给予了很多有益的建议,Google 中国的李开复博士、荷兰 Philips 研究院的周国富博士、日本松下公司早川先生、方正科技孙国富博士和天津津科公司刘全礼先生都曾经做过许多有益的讨论,在此一并表示深深的感谢!

北航出版社的马广云社长和何立民总编为此书,给予了很大的关注,并提出许多中肯的建议,同时王鹏编辑为此书也倾注了大量的心血,作者在此深表感谢!

最令作者感动的是倪光南院士抽出许多宝贵的时间,为此书作序,在肯定本书的同时,又对此书中的部分观点给予了修正,作者只能以不断提升本书的内涵和质量,来表达对倪院士的感激!

作者

2007 年 2 月于南开园

# 目 录

## 第1章 嵌入式系统历史与现代特征

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 1.1 定 义 .....           | 2  |
| 1.2 嵌入式系统与相关领域的历史 ..... | 3  |
| 1.2.1 嵌入式系统的发展历史 .....  | 4  |
| 1.2.2 计算与机器计算 .....     | 5  |
| 1.2.3 自动控制的发展历程 .....   | 6  |
| 1.2.4 计算机的发展历史 .....    | 8  |
| 1.3 危机与发展特征 .....       | 15 |
| 1.3.1 嵌入式系统的危机 .....    | 15 |
| 1.3.2 嵌入式系统的发展特征 .....  | 17 |
| 本章小结 .....              | 18 |

## 第2章 系统结构与模型

|                        |    |
|------------------------|----|
| 2.1 系统与系统思想 .....      | 20 |
| 2.1.1 系统思想 .....       | 20 |
| 2.1.2 系统结构的一些概念 .....  | 23 |
| 2.2 系统五层结构模型 .....     | 26 |
| 2.2.1 物理结构与逻辑结构 .....  | 26 |
| 2.2.2 五层结构模型 .....     | 28 |
| 2.2.3 各层的功能及指标 .....   | 29 |
| 2.2.4 五层模型的应用与评价 ..... | 34 |
| 2.3 模型建立 .....         | 36 |
| 2.3.1 嵌入式系统模型定义 .....  | 36 |
| 2.3.2 建模原则 .....       | 39 |
| 2.3.3 建模方法与步骤 .....    | 40 |



|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 2.3.4 面向对象的建模过程       | 41  |
| 2.4 模型使用              | 45  |
| 2.4.1 结构化综合控制模型       | 45  |
| 2.4.2 对象化环模型          | 47  |
| 2.4.3 建模示例            | 49  |
| 本章小结                  | 54  |
| 习 题                   | 55  |
| <b>第3章 系统硬件体系</b>     |     |
| 3.1 硬件体系框架            | 57  |
| 3.2 硬件系统元素            | 61  |
| 3.2.1 微处理器和指令系统       | 61  |
| 3.2.2 存储器             | 80  |
| 3.2.3 输入/输出设备         | 85  |
| 3.2.4 通信与扩展接口         | 91  |
| 3.3 硬件系统要素            | 98  |
| 3.3.1 时钟与总线           | 99  |
| 3.3.2 内存管理            | 108 |
| 3.3.3 看门狗技术           | 111 |
| 3.3.4 供电与能耗           | 114 |
| 3.4 硬件系统评价            | 117 |
| 3.4.1 常规指标            | 117 |
| 3.4.2 资源分配            | 118 |
| 3.4.3 电气功耗            | 120 |
| 3.4.4 可靠性和稳定性         | 121 |
| 本章小结                  | 121 |
| 习 题                   | 124 |
| <b>第4章 最小系统:引导与驱动</b> |     |
| 4.1 引导层建立             | 126 |
| 4.1.1 引导部分            | 127 |
| 4.1.2 驱动部分            | 128 |
| 4.1.3 BIOS            | 128 |
| 4.2 引导模式              | 131 |
| 4.2.1 非片内引导           | 131 |
| 4.2.2 片内引导            | 133 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 4.3 中断、I/O、MMU 初始化 .....     | 134 |
| 4.3.1 中断初始化 .....            | 134 |
| 4.3.2 I/O 初始化 .....          | 137 |
| 4.3.3 MMU 初始化 .....          | 138 |
| 4.4 驱动部分的设计 .....            | 140 |
| 4.4.1 驱动部分的设计开发 .....        | 140 |
| 4.4.2 BSP 与 BIOS .....       | 144 |
| 4.5 运行举例 .....               | 144 |
| 4.5.1 最小系统 .....             | 145 |
| 4.5.2 WinCE .....            | 146 |
| 4.5.3 Linux .....            | 147 |
| 4.5.4 PC-DOS .....           | 150 |
| 本章小结 .....                   | 151 |
| 习 题 .....                    | 152 |
| <b>第 5 章 中间件：嵌入式操作系统和数据库</b> |     |
| 5.1 嵌入式操作系统 .....            | 154 |
| 5.1.1 操作系统体系结构 .....         | 156 |
| 5.1.2 实时特性 .....             | 172 |
| 5.1.3 操作系统裁剪 .....           | 188 |
| 5.1.4 嵌入式操作系统评测 .....        | 200 |
| 5.2 用户接口 .....               | 203 |
| 5.2.1 UI 的定义 .....           | 204 |
| 5.2.2 UI 的发展历程 .....         | 204 |
| 5.2.3 嵌入式 UI 的结构特点 .....     | 205 |
| 5.2.4 嵌入式 UI 设计原则 .....      | 209 |
| 5.3 嵌入式数据库 .....             | 211 |
| 5.3.1 定 义 .....              | 212 |
| 5.3.2 作用与应用特性 .....          | 212 |
| 5.3.3 设计要求 .....             | 214 |
| 5.3.4 嵌入式移动数据库 .....         | 215 |
| 5.3.5 嵌入式本地数据库 .....         | 217 |
| 本章小结 .....                   | 219 |
| 习 题 .....                    | 220 |



## 第6章 应用编程与数据处理

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 6.1 程序与数据评价 .....             | 222 |
| 6.1.1 程序与数据——信息的表现 .....      | 222 |
| 6.1.2 开放性 .....               | 225 |
| 6.1.3 兼容性 .....               | 226 |
| 6.2 汇编语言与 C 语言 .....          | 227 |
| 6.2.1 汇编语言 .....              | 227 |
| 6.2.2 C 语言 .....              | 229 |
| 6.2.3 汇编语言与 C 语言嵌入式编程举例 ..... | 234 |
| 6.3 Java .....                | 237 |
| 6.3.1 Java 体系结构 .....         | 237 |
| 6.3.2 JVM .....               | 239 |
| 6.3.3 Java 标准与规范 .....        | 241 |
| 6.3.4 Java 与 C 语言混合编程 .....   | 245 |
| 6.3.5 Java 嵌入式编程举例 .....      | 246 |
| 6.4 .NET 与 XML .....          | 248 |
| 6.4.1 .NET 战略 .....           | 249 |
| 6.4.2 XML .....               | 252 |
| 6.4.3 .NET 嵌入式设计举例 .....      | 254 |
| 6.5 应用编程与数据处理 .....           | 255 |
| 6.5.1 应用编程 .....              | 256 |
| 6.5.2 数据处理 .....              | 262 |
| 6.5.3 电子阅读器应用举例 .....         | 265 |
| 6.6 嵌入式系统测试 .....             | 267 |
| 6.6.1 软件测试 .....              | 267 |
| 6.6.2 硬件测试 .....              | 275 |
| 6.6.3 综合测试举例 .....            | 286 |
| 本章小结 .....                    | 287 |
| 习 题 .....                     | 288 |

## 第7章 指标体系与系统类别分析

|                  |     |
|------------------|-----|
| 7.1 内在指标 .....   | 290 |
| 7.1.1 传统评价 ..... | 291 |
| 7.1.2 信息评价 ..... | 302 |
| 7.2 作用指标 .....   | 304 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 7.2.1 干扰度 .....        | 305 |
| 7.2.2 智能度 .....        | 306 |
| 7.2.3 控制度 .....        | 308 |
| 7.2.4 融合度 .....        | 310 |
| 7.3 封装与软件整合 .....      | 311 |
| 7.3.1 封装 .....         | 311 |
| 7.3.2 软件整合 .....       | 312 |
| 7.4 系统安全 .....         | 314 |
| 7.4.1 系统安全概述 .....     | 314 |
| 7.4.2 嵌入式系统安全 .....    | 315 |
| 7.4.3 本质安全概述 .....     | 316 |
| 7.5 可靠性 .....          | 319 |
| 7.5.1 定义及说明 .....      | 319 |
| 7.5.2 评价方法 .....       | 319 |
| 7.5.3 优化方法 .....       | 320 |
| 7.6 裁 剪 .....          | 321 |
| 7.6.1 硬件裁剪 .....       | 321 |
| 7.6.2 软件裁剪 .....       | 322 |
| 7.7 指标体系 .....         | 326 |
| 7.8 嵌入式系统类别分析 .....    | 330 |
| 7.8.1 可崩溃、不可崩溃系统 ..... | 331 |
| 7.8.2 实时/非实时系统 .....   | 332 |
| 7.8.3 可交换/不可交换系统 ..... | 334 |
| 7.8.4 可信/非可信系统 .....   | 335 |
| 本章小结 .....             | 337 |
| 习 题 .....              | 338 |
| 参考文献 .....             | 339 |

# 第 1 章

## 嵌入式系统历史与现代特征



什么是嵌入式系统？什么是嵌入式产品？

本章将从嵌入式系统的定义出发，在回顾嵌入式系统发展历史的基础上，带领读者本着系统的思想，用整体的、联系的、辩证的观点从宏观的角度来审视嵌入式系统，以帮助读者探究嵌入式系统的全貌。



工具、计算和通信对于人类文明与科技史的发展是如此的重要,以致于人类文明与科技的发展完全可以用工具、计算和通信的发展作为度量。由此发展起来的三大学术方向——计算与计算机、自动化和通信构成了以动力革命为代表的工业革命中重要的支撑。二十世纪三四十年代诞生的信息论、控制论和系统论为这三大学术方向提供了催化剂,推动了动力革命向网络革命的过渡。而随着微处理器、网络 and 软件等相关技术的迅猛发展,二十世纪八九十年代又在这三大领域的交叉中诞生了“嵌入式系统”这一名词。

本章从嵌入式系统的定义作为起点,以辩证与发展的观点,在回顾嵌入式系统发展历史的基础上,指出嵌入式系统发展中的特征和危机,以帮助读者探究嵌入式系统的全貌。

## 1.1 定 义

在各种科学技术高速发展的今天,从厨房里的微波炉到摆在客厅的家庭媒体中心,各种智能化设备已经遍布在我们的周围。而我们听到最多的一个词语便是嵌入式系统。而嵌入式系统究竟是什么?很多从事嵌入式系统工作的研究人员都难以给它一个明确而相对完善的定义。当前大部分与嵌入式系统相关的书籍都是以某些具体器件或者操作系统作为背景,或者是单片机,或者是 ARM(Advanced RISC Machine)或 DSP(Digital Signal Processor)。这样以偏概全的描述,难免会将读者引入一个误区:嵌入式系统就是单片机,或者就是 ARM,甚至处理器就是 x86,操作系统就是 Windows,体系结构就是冯·诺依曼。实际上,这种观点是片面的,是不正确的。

那么什么才是嵌入式系统?各种嵌入式系统之间内在的规律和联系又是什么呢?通过后面章节的详细介绍和阐述,本书将对嵌入式操作系统进行系统性的总结和分析,并将建立起全局的、系统的思想。作为迈进嵌入式系统殿堂的第一步,就是要对嵌入式系统有一个明确的定义。

谈到嵌入式系统,很多人可能会联想到手机、PDA(Personal Digital Assistant)、智能家电,等等。但实际上这些例子全部都是嵌入式产品,而且大多数都是消费类嵌入式产品,它们包含了嵌入式系统,但并不是嵌入式系统。这是必须清楚界定的。

嵌入式操作系统是一个宏观的抽象的概念,而嵌入式产品是具体的设备或者运行着的操作系统。如果将嵌入式产品比作是混凝土,如图 1.1 中所示,那么嵌入式系统是里面的“钢筋”。在后文中言及的嵌入式操作系统都是统指宏观概念,并不是任何一种或几种具体的产品或者操作系统。正是因为把嵌入式操作系统建立为宏观的概念,才能将其中的特征抽象出来进行研究和指导具体的产品设计。

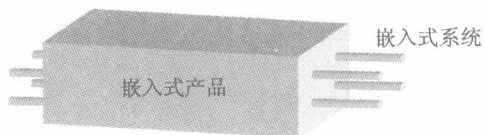


图 1.1 嵌入式系统与嵌入式产品示意图