



全国高等学校自动化专业系列教材  
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Embedded Control Systems

# 嵌入式控制系统

孙鹤旭 林涛 主编

Sun Hexu, Lin Tao

袁著祉 主审

Yuan Zhuzhi

清华大学出版社





全国高等学校自动化专业系列教材  
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Embedded Control Systems

# 嵌入式控制系统

河北工业大学 孙鹤旭 林涛 主编  
Sun Hexu, Lin Tao

南开大学 袁著祉 主审  
Yuan Zhuzhi

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书不仅介绍了嵌入式控制系统技术的基本理论和设计方法,而且将控制算法、嵌入式系统硬件、操作系统、应用程序设计及组态软件作为统一的技术平台来介绍,突出嵌入式技术在控制系统中应用的特点,通过应用实例分析,解析嵌入式控制系统中各部分的问题。

本书可作为高等院校自动控制类、计算机类、电子信息类专业高年级本科生和研究生嵌入式控制系统课程的教材,也可供从事嵌入式系统应用开发的工程技术人员参考。

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 13501256678 13801310933

## 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式控制系统/孙鹤旭,林涛主编. —北京:清华大学出版社,2007.5  
(全国高等学校自动化专业系列教材)

ISBN 978-7-302-14794-7

I. 嵌… II. ①孙… ②林… III. 计算机控制系统—高等学校—教材  
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 027951 号

责任编辑:王一玲 李玮琪

责任校对:白 蕾

责任印制:孟凡玉

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

[c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:175×245 印 张:14.25 字 数:280 千字

版 次:2007 年 5 月第 1 版 印 次:2007 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:017414-01

# 出版说明

《全国高等学校自动化专业系列教材》



为适应我国对高等学校自动化专业人才培养的需要,配合各高校教学改革的进程,创建一套符合自动化专业培养目标和教学改革要求的新型自动化专业系列教材,“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”(简称“教指委”)联合了“中国自动化学会教育工作委员会”、“中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会”、“中国系统仿真学会教育工作委员会”和“中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科委员会”四个委员会,以教学创新为指导思想,以教材带动教学改革为方针,设立专项资助基金,采用全国公开招标方式,组织编写出版了一套自动化专业系列教材——《全国高等学校自动化专业系列教材》。

本系列教材主要面向本科生,同时兼顾研究生;覆盖面包括专业基础课、专业核心课、专业选修课、实践环节课和专业综合训练课;重点突出自动化专业基础理论和前沿技术;以文字教材为主,适当包括多媒体教材;以主教材为主,适当包括习题集、实验指导书、教师参考书、多媒体课件、网络课程脚本等辅助教材;力求做到符合自动化专业培养目标、反映自动化专业教育改革方向、满足自动化专业教学需要;努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材。

本系列教材在“教指委”的领导下,从2004年起,通过招标机制,计划用3~4年时间出版50本左右教材,2006年开始陆续出版问世。为满足多层面、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

本系列教材的主要读者群是自动化专业及相关专业的大学生和研究生,以及相关领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望本系列教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者和工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的参考资料。感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并欢迎提出批评和意见。

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

2005年10月于北京

## 《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

---

**顾问** (按姓氏笔画):

|             |             |
|-------------|-------------|
| 王行愚(华东理工大学) | 冯纯伯(东南大学)   |
| 孙优贤(浙江大学)   | 吴启迪(同济大学)   |
| 张嗣瀛(东北大学)   | 陈伯时(上海大学)   |
| 陈翰馥(中国科学院)  | 郑大钟(清华大学)   |
| 郑南宁(西安交通大学) | 韩崇昭(西安交通大学) |

**主任委员:** 吴澄(清华大学)

**副主任委员:** 赵光宙(浙江大学) 萧德云(清华大学)

**委员** (按姓氏笔画):

|               |              |
|---------------|--------------|
| 王雄(清华大学)      | 方华京(华中科技大学)  |
| 史震(哈尔滨工程大学)   | 田作华(上海交通大学)  |
| 卢京潮(西北工业大学)   | 孙鹤旭(河北工业大学)  |
| 刘建昌(东北大学)     | 吴刚(中国科技大学)   |
| 吴成东(沈阳建筑工程学院) | 吴爱国(天津大学)    |
| 陈庆伟(南京理工大学)   | 陈兴林(哈尔滨工业大学) |
| 郑志强(国防科技大学)   | 赵曜(四川大学)     |
| 段其昌(重庆大学)     | 程鹏(北京航空航天大学) |
| 谢克明(太原理工大学)   | 韩九强(西安交通大学)  |
| 褚健(浙江大学)      | 蔡鸿程(清华大学出版社) |
| 廖晓钟(北京理工大学)   | 戴先中(东南大学)    |

**工作小组**(组长): 萧德云(清华大学)

(成员): 陈伯时(上海大学) 郑大钟(清华大学)  
田作华(上海交通大学) 赵光宙(浙江大学)  
韩九强(西安交通大学) 陈兴林(哈尔滨工业大学)

陈庆伟(南京理工大学)

(助理): 郭晓华(清华大学)

**责任编辑:** 王一玲(清华大学出版社)

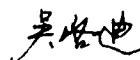
---

自动化学科有着光荣的历史和重要的地位,20 世纪 50 年代我国政府就十分重视自动化学科的发展和自动化专业人才的培养。五十多年来,自动化科学技术在众多领域发挥了重大作用,如航空、航天等,“两弹一星”的伟大工程就包含了许多自动化科学技术的成果。自动化科学技术也改变了我国工业整体的面貌,不论是石油化工、电力、钢铁,还是轻工、建材、医药等领域都要用到自动化手段,在国防工业中自动化的作用更是巨大的。现在,世界上有很多非常活跃的领域都离不开自动化技术,比如机器人、月球车等。另外,自动化学科对一些交叉学科的发展同样起到了积极的促进作用,例如网络控制、量子控制、流媒体控制、生物信息学、系统生物学等学科就是在系统论、控制论、信息论的影响下得到不断的发展。在整个世界已经进入信息时代的背景下,中国要完成工业化的任务还很重,或者说我们正处在后工业化的阶段。因此,国家提出走新型工业化的道路和“信息化带动工业化,工业化促进信息化”的科学发展观,这对自动化科学技术的发展是一个前所未有的战略机遇。

机遇难得,人才更难得。要发展自动化学科,人才是基础、是关键。高等学校是人才培养的基地,或者说人才培养是高等学校的根本。作为高等学校的领导和教师始终要把人才培养放在第一位,具体对自动化系或自动化学院的领导和教师来说,要时刻想着为国家关键行业和战线培养和输送优秀的自动化技术人才。

影响人才培养的因素很多,涉及教学改革方方面面,包括如何拓宽专业口径、优化教学计划、增强教学柔性、强化通识教育、提高知识起点、降低专业重心、加强基础知识、强调专业实践等,其中构建融会贯通、紧密配合、有机联系的课程体系,编写有利于促进学生个性发展、培养学生创新能力的教材尤为重要。清华大学吴澄院士领导的《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会,根据自动化学科对自动化技术人才素质与能力的需求,充分吸取国外自动化教材的优势与特点,在全国范围内,以招标方式,组织编写了这套自动化专业系列教材,这对推动高等学校自动化专业发展与人才培养具有重要的意义。这套系列教材的建设有新思路、新机制,适应了高等学校教学改革与发展的新形势,立足创

建精品教材,重视实践性环节在人才培养中的作用,采用了竞争机制,以激励和推动教材建设。在此,我谨向参与本系列教材规划、组织、编写的老师致以诚挚的感谢,并希望该系列教材在全国高等学校自动化专业人才培养中发挥应有的作用。

 教授

2005 年 10 月于教育部

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会在对国内外部分大学有关自动化专业的教材做深入调研的基础上,广泛听取了各方面的意见,以招标方式,组织编写了一套面向全国本科生(兼顾研究生)、体现自动化专业教材整体规划和课程体系、强调专业基础和理论联系实际的系列教材,自2005年起将陆续面世。全套系列教材共50多本,涵盖了自动化学科的主要知识领域,大部分教材都配置了包括电子教案、多媒体课件、习题辅导、课程实验指导书等立体化教材配件。此外,为强调落实“加强实践教育,培养创新人才”的教学改革思想,还特别规划了一组专业实验教程,包括《自动控制原理实验教程》、《运动控制实验教程》、《过程控制实验教程》、《检测技术实验教程》和《计算机控制系统实验教程》等。

自动化科学技术是一门应用性很强的学科,面对的是各种各样错综复杂的系统,控制对象可能是确定性的,也可能是随机性的;控制方法可能是常规控制,也可能需要优化控制。这样的学科专业人才应该具有什么样的知识结构,又应该如何通过专业教材来体现,这正是“系列教材编审委员会”规划系列教材时所面临的问题。为此,设立了《自动化专业课程体系结构研究》专项研究课题,成立了由清华大学萧德云教授负责,包括清华大学、上海交通大学、西安交通大学和东北大学等多所院校参与的联合研究小组,对自动化专业课程体系结构进行深入研究,提出了按“控制理论与工程、控制系统与技术、系统理论与工程、信息处理与分析、计算机与网络、软件基础与工程、专业课程实验”等知识板块构建的课程体系结构。以此为基础,组织规划了一套涵盖几十门自动化专业基础课程和专业课程的系列教材。从基础理论到控制技术,从系统理论到工程实践,从计算机技术到信号处理,从设计分析到课程实验,涉及的知识单元多达数百个、知识点几千个,介入的学校50多所,参与的教授120多人,是一项庞大的系统工程。从编制招标要求、公布招标公告,到组织投标和评审,最后商定教材大纲,凝聚着全国百余名教授的心血,为的是编写出版一套具有一定规模、富有特色的、既考虑研究型大学又考虑应用型大学的自动化专业创新型系列教材。

然而,如何进一步构建完善的自动化专业教材体系结构?如何建设

基础知识与最新知识有机融合的教材? 如何充分利用现代技术, 适应现代大学生的接受习惯, 改变教材单一形态, 建设数字化、电子化、网络化等多元形态、开放性的“广义教材”? 等等, 这些都还有待我们进行更深入的研究。

本套系列教材的出版, 对更新自动化专业的知识体系、改善教学条件、创造个性化的教学环境, 一定会起到积极的作用。但是由于受各方面条件所限, 本套教材从整体结构到每本书的知识组成都可能存在许多不当甚至谬误之处, 还望使用本套教材的广大教师、学生及各界人士不吝批评指正。

吴俊 院士

2005 年 10 月于清华大学



嵌入式技术的飞速发展,为自动化控制开辟了广阔的发展空间,用户可以方便、快捷地组建优质高效的控制系统。由于嵌入式系统具有功能强大、开发方便的优点,目前已经成为工业控制产品的基本技术。作为嵌入式控制系统的技术书籍,本书提供了最基本的嵌入式控制系统概念和设计方法。

嵌入式控制系统需要具有能跨越传统硬件和软件设计界限的新型设计者,这是嵌入式系统技术与传统单片机和微处理器系统技术的重要区别。嵌入式系统具有系统级应用开发技术的基本特征,而以往的微处理器、单片机和 DSP 处理器应用设计,则属于器件或芯片级应用开发技术。以操作系统和硬件系统提供的接口作为应用系统设计的基础,其开发技术与 PC 的应用开发颇为相似。在嵌入式系统应用开发中,设计者不必了解很多底层知识和技术,只需要在操作系统之上完成应用系统设计即可。嵌入式系统随设计需要来选择,如成本、性能、功率、体积和灵活性等。

全书共分为 5 章,系统介绍了嵌入式控制系统的基本知识、基本原理与设计方法。

第 1 章以较小的篇幅介绍嵌入式系统的定义、嵌入式技术的发展、嵌入式技术与其他学科的关系以及学习嵌入式技术的重要意义。本章要求深刻理解嵌入式系统的定义、内容和发展。

第 2 章首先讲述嵌入式系统中的主流嵌入式处理器,包括 ARM、Intel、AMD、Motorola 等各大厂商的产品,以及一种专门为嵌入式控制而定义的工业控制总线 PC/104,然后介绍嵌入式外部设备。本章要求了解嵌入式系统的常用硬件平台。

第 3 章首先讲述嵌入式操作系统的基本概念和工作机理,然后从介绍嵌入式软件开发的特点入手,逐步介绍嵌入式软件的开发流程及使用的开发工具。通过本章的学习,读者对嵌入式操作系统和嵌入式软件的开发过程及常用工具会有一个深入的了解。本章要求了解嵌入式操作系统及其开发工具。

第 4 章介绍组态软件的基本概念、功能和特点,讲述组态软件的系统总体框架,引导读者了解组态软件对硬、软件的要求,掌握实时数据库

在组态中的应用。本章要求深刻理解嵌入式组态软件的基本概念,掌握工程案例的实现。

第5章介绍嵌入式系统开发案例,讲述硬、软件的选型与裁减,嵌入式模块的基本接口电路及其软件编程方法。本章要求掌握嵌入式主板的工作原理,掌握嵌入式操作系统 Windows CE 的配置过程。

本书第1、2章由孙鹤旭编写,第3、4章由林涛编写,第5章由云利军、槐博超、牛春刚、张浩、王铮编写。袁著祉教授对本书的整体构思和内容安排等进行了指导,并对全书进行了审阅。

本书在编写过程中参考了大量中外书籍资料,编者在此向各位文献资料作者深表感谢。由于时间仓促及作者水平所限,书中难免有不当之处,敬请专家和读者指正。

编 者

2007年1月

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第 1 章 嵌入式系统概述 .....       | 1  |
| 1.1 嵌入式系统简介 .....         | 1  |
| 1.1.1 嵌入式系统的历史 .....      | 1  |
| 1.1.2 嵌入式系统的定义 .....      | 3  |
| 1.1.3 嵌入式系统相关概念 .....     | 4  |
| 1.2 嵌入式系统的构成 .....        | 5  |
| 1.2.1 硬件系统 .....          | 5  |
| 1.2.2 软件系统 .....          | 6  |
| 1.3 嵌入式系统的特点 .....        | 7  |
| 1.4 嵌入式系统的分类 .....        | 9  |
| 1.4.1 嵌入式微控制器 .....       | 9  |
| 1.4.2 数字信号处理器 .....       | 9  |
| 1.4.3 微处理器 .....          | 10 |
| 1.4.4 嵌入式片上系统 .....       | 10 |
| 1.5 嵌入式系统的应用领域 .....      | 11 |
| 1.6 嵌入式系统的发展现状和发展趋势 ..... | 14 |
| 1.6.1 嵌入式系统的发展现状 .....    | 14 |
| 1.6.2 嵌入式系统的发展趋势 .....    | 15 |
| 思考题 .....                 | 16 |
| 第 2 章 嵌入式系统硬件平台 .....     | 17 |
| 2.1 嵌入式处理器 .....          | 17 |
| 2.1.1 嵌入式微控制器 .....       | 17 |
| 2.1.2 嵌入式微处理器 .....       | 21 |
| 2.1.3 嵌入式片上系统 .....       | 30 |
| 2.1.4 数字信号处理器 .....       | 37 |
| 2.1.5 其他嵌入式微处理器 .....     | 43 |
| 2.2 工业控制总线 .....          | 45 |
| 2.2.1 总线结构 .....          | 46 |
| 2.2.2 电气特性 .....          | 48 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 2.3 嵌入式外部设备 .....                  | 51         |
| 2.3.1 LCD .....                    | 51         |
| 2.3.2 USB .....                    | 53         |
| 2.3.3 串行通信 .....                   | 54         |
| 2.3.4 嵌入式存储设备 .....                | 56         |
| 思考题 .....                          | 57         |
| <b>第3章 嵌入式系统软件平台 .....</b>         | <b>58</b>  |
| 3.1 嵌入式操作系统概述 .....                | 58         |
| 3.1.1 嵌入式操作系统的概念及分类 .....          | 59         |
| 3.1.2 嵌入式操作系统的特征和功能 .....          | 60         |
| 3.1.3 嵌入式操作系统的发展简史 .....           | 63         |
| 3.2 嵌入式操作系统体系结构 .....              | 63         |
| 3.2.1 一般操作系统的设计目标和特点 .....         | 63         |
| 3.2.2 嵌入式操作系统的设计目标和特点 .....        | 64         |
| 3.2.3 通用操作系统的体系结构 .....            | 65         |
| 3.2.4 嵌入式操作系统的体系结构 .....           | 69         |
| 3.2.5 Windows CE .NET 操作系统模型 ..... | 70         |
| 3.3 常用嵌入式操作系统 .....                | 74         |
| 3.3.1 VxWorks .....                | 74         |
| 3.3.2 Windows CE .....             | 76         |
| 3.3.3 嵌入式 Linux .....              | 80         |
| 3.3.4 Palm OS .....                | 81         |
| 3.3.5 pSOS .....                   | 83         |
| 3.3.6 QNX .....                    | 84         |
| 3.3.7 OS-9 .....                   | 84         |
| 3.3.8 LynxOS .....                 | 85         |
| 3.4 嵌入式操作系统的开发 .....               | 85         |
| 3.4.1 嵌入式 Linux 系统的构造 .....        | 85         |
| 3.4.2 Windows CE .NET 的开发工具 .....  | 96         |
| 思考题 .....                          | 106        |
| <b>第4章 嵌入式组态软件及其应用 .....</b>       | <b>107</b> |
| 4.1 嵌入式组态软件概述 .....                | 107        |
| 4.1.1 什么是组态和组态软件 .....             | 107        |
| 4.1.2 什么是嵌入式组态 .....               | 108        |

|        |                      |     |
|--------|----------------------|-----|
| 4.2    | 嵌入式组态软件的系统构成 .....   | 109 |
| 4.2.1  | 以使用软件的工作阶段划分 .....   | 109 |
| 4.2.2  | 以组态软件系统的成员构成划分 ..... | 111 |
| 4.3    | 嵌入式组态软件的功能和特点 .....  | 113 |
| 4.3.1  | 嵌入式组态软件的主要功能 .....   | 113 |
| 4.3.2  | 嵌入式组态软件的主要特点 .....   | 115 |
| 4.4    | 嵌入式组态软件的工作方式 .....   | 116 |
| 4.4.1  | 实时数据库 .....          | 116 |
| 4.4.2  | 用户窗口 .....           | 119 |
| 4.4.3  | 主控窗口 .....           | 122 |
| 4.4.4  | 设备组态 .....           | 123 |
| 4.4.5  | 运行策略 .....           | 126 |
| 4.4.6  | 脚本语言 .....           | 127 |
| 4.4.7  | 数据处理 .....           | 128 |
| 4.4.8  | 报警处理 .....           | 128 |
| 4.4.9  | 报表输出 .....           | 130 |
| 4.4.10 | 曲线显示 .....           | 130 |
| 4.4.11 | 配方处理 .....           | 132 |
| 4.4.12 | 安全机制 .....           | 133 |
| 4.4.13 | 远程多机监控 .....         | 133 |
| 4.5    | 嵌入式组态软件应用 .....      | 135 |
| 4.5.1  | MCGS 组态软件概述 .....    | 136 |
| 4.5.2  | 工程分析 .....           | 138 |
| 4.5.3  | 创建工程 .....           | 139 |
| 4.5.4  | 设计工程画面 .....         | 139 |
| 4.5.5  | 定义数据变量 .....         | 142 |
| 4.5.6  | 动画连接 .....           | 143 |
| 4.5.7  | 设备连接 .....           | 148 |
| 4.5.8  | 编写控制流程 .....         | 150 |
| 4.5.9  | 报警显示 .....           | 151 |
| 4.5.10 | 报表输出 .....           | 155 |
| 4.5.11 | 曲线显示 .....           | 158 |
| 4.5.12 | 安全机制 .....           | 161 |
| 思考题    | .....                | 164 |

## 第5章 嵌入式控制系统的组成与设计 .....

|     |                     |     |
|-----|---------------------|-----|
| 5.1 | 嵌入式控制系统硬件平台设计 ..... | 165 |
|-----|---------------------|-----|

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 5.2 嵌入式控制系统操作系统的设计 .....        | 167 |
| 5.2.1 是否支持目标硬件平台 .....          | 167 |
| 5.2.2 可移植性 .....                | 167 |
| 5.2.3 开发工具的支持程度 .....           | 167 |
| 5.2.4 能否满足应用需求 .....            | 168 |
| 5.2.5 中文内核支持 .....              | 168 |
| 5.2.6 标准兼容性 .....               | 169 |
| 5.2.7 技术支持 .....                | 169 |
| 5.2.8 源代码还是目标代码 .....           | 169 |
| 5.3 嵌入式控制系统的实现 .....            | 170 |
| 5.3.1 控制系统设计 .....              | 170 |
| 5.3.2 系统组成与工作原理 .....           | 171 |
| 5.3.3 操作系统的定制 .....             | 177 |
| 5.3.4 应用系统的实现 .....             | 188 |
| 5.3.5 系统优化 .....                | 192 |
| 5.4 基于 ARM 平台嵌入式控制系统的实现方案 ..... | 195 |
| 5.4.1 嵌入式控制器的设计 .....           | 196 |
| 5.4.2 控制系统软件设计与开发 .....         | 201 |
| 思考题 .....                       | 202 |
| 附录：相关术语中英文对照 .....              | 203 |
| 参考文献 .....                      | 206 |

自计算机技术从 20 世纪 90 年代进入充满机遇的“后 PC”时代以来,控制系统正在向网络化、数字化迅猛发展,这使得控制技术与嵌入式技术的结合更加紧密。现代工业对控制系统的可扩展性、可管理性和易用性提出了越来越高的要求,这使得常规仪表逐渐被以嵌入式系统为核心的计算机控制系统所替代。嵌入式系统在工业控制中的广泛应用,极大地提高了工业生产的信息化、现代化和自动化水平。工业生产线上将广泛应用嵌入式控制技术和基于嵌入式技术的控制器。目前,各种各样的新型嵌入式系统在应用数量上已经远远超过通用计算机。在工业生产中,使用嵌入式技术的数字机床、智能工具、工业机器人正在逐渐改变着传统的工业生产方式。因此,嵌入式系统将是今后的主流发展趋势。

本章首先回顾了嵌入式系统(Embedded System)的发展历史,然后概述了嵌入式系统的基本概念、应用领域及其特点,最后介绍了嵌入式系统的基本知识。

本章学习以下内容:

- 嵌入式系统简介。
- 嵌入式系统的构成。
- 嵌入式系统的特点。
- 嵌入式系统的分类。
- 嵌入式系统的应用。
- 嵌入式系统的现状和发展趋势。

### 1.1 嵌入式系统简介

#### 1.1.1 嵌入式系统的历史

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 50 年的发展历史。

这段历史大体上可划分为以下 4 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,同时具有与监测、驱动、指示设备相配合的功能。这种系统大部分应用于一些专业性极强的工业控制系统中,一般没有操作系统的支持,而是通过汇编语言编程对系统进行直接控制,运行结束后清除内存。这一阶段系统的主要特点是:系统结构和功能都相对单一,处理效率较低,存储容量较小,几乎没有友好的用户接口。由于这种嵌入式系统使用简便,价格很低,以前在国内工业领域的应用较为普遍,但是已经远远不能适应高效的、需要大容量存储介质的现代化工业控制等领域的需求。

第二阶段是以嵌入式中央处理器(Embedded Central Processing Unit, ECPU)为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。这一阶段系统的主要特点是:CPU 种类繁多,通用性比较弱;系统开销小,效率高;操作系统具有一定的兼容性和可扩展性;应用软件较专业,用户界面不够友好;系统主要用来控制系统负载以及监控应用程序运行。

第三阶段是以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。这一阶段系统的主要特点是: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;操作系统内核精小,效率高,并且具有高度的模块化和可扩展性;具备文件和目录管理、设备支持、多任务管理、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(Application Programmable Interface, API),开发应用程序简单;嵌入式应用软件丰富。随着嵌入式微处理器的发展、操作系统设计开发水平的提高,嵌入式系统的性能也不断提高。

第四阶段是以基于 Internet 为标志的嵌入式系统,这是一个正在迅速发展的阶段。进入 20 世纪 90 年代后,Internet 的应用迅速普及,广泛渗透到社会、经济、军事、交通、通信等相关行业,计算机与通信一体化的趋势日趋明显,嵌入式技术再度成为一个研究热点。目前,嵌入式系统正通过各种方式与 Internet 相联。随着 Internet 的发展以及 Internet 技术与工业控制技术、信息家电等的结合日益紧密,嵌入式系统与 Internet 的结合将代表着嵌入式技术的真正未来。

嵌入式系统最初的应用是基于单片机的。20 世纪 70 年代,单片机的应用使得汽车、家电、工业机器、通信装置等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,并且更容易使用,既快又便宜。这些装置已经初步具备了嵌入式的特点,但是这时的应用只是使用 8 位的芯片,执行一些单进程的程序,不能与现在的系统相比。例如 Intel 公司的 8048, Motorola 公司的 68HC05, 这些早期的单片机均含有 256B 的 RAM、4KB 容量的 ROM、4 个 8 位并口、1 个全双工串行口和 2 个 16 位定时器。20 世纪 80 年代初, Intel 公司在完善 8048 的基础上研制成功了 8051, 迄今为止, 51 系列的单片机在各种产品中仍然有着非常广泛的应用。

从 20 世纪 80 年代早期开始,工程人员开始使用商业级的软件系统编写嵌入