



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

谭浩强 主编

高职高专计算机教学改革 **新体系** 规划教材

ARM 9 嵌入式系统设计与应用

李新荣 曲凤娟 编著

清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

谭浩强 主编

高职高专计算机教学改革**新体系**规划教材

ARM9嵌入式系统设计与应用

李新荣 曲凤娟 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以 ARM 9 处理器和 Linux 操作系统为平台,从 S3C2440A 处理器及其外围设备的基本知识讲起,然后介绍在 Linux 操作系统下开发嵌入式系统所需的知识,最后介绍开发一个典型的嵌入式系统的全过程,使学生对嵌入式系统的开发有一个全面的认识,为今后从事嵌入式系统开发奠定了基础。

本书深入浅出,适合计算机及相关专业的师生使用,也可作为嵌入式系统爱好者学习嵌入式系统设计入门教材和嵌入式系统开发人员的技术参考书。

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

ARM 9 嵌入式系统设计与应用/李新荣,曲凤娟编著. —北京:清华大学出版社,2011.6
(高职高专计算机教学改革新体系规划教材)

ISBN 978-7-302-25340-2

I. ①A… II. ①李… ②曲… III. ①微处理器—系统—设计—高等职业教育—教材
IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 068720 号

责任编辑:张 景

责任校对:刘 静

责任印制:何 芊

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:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:20.75

字 数:498 千字

版 次:2011 年 6 月第 1 版

印 次:2011 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 元

产品编号:031467-01

丛书编委会

主任 谭浩强

副主任 丁桂芝 李凤霞 焦金生

委员 孔令德 王天华 王兴玲 王学卿
刘 星 安淑芝 安志远 宋金珂
宋文官 沈 洪 束传政 邵丽萍
尚晓航 张 玲 张翰韬 林小茶
赵丰年 高文胜 秦建中 崔武子
谢 琛 薛淑斌 熊发涯



近年来,我国高等职业教育迅猛发展,目前,高等职业院校已占全国高等学校半数以上,高职学生数已超过全国大学生的半数。高职教育已占了我国高等教育的“半壁江山”。发展高职教育,培养大量技术型和技能型人才,是国民经济发展的迫切需要,是高等教育大众化的要求,是促进社会就业的有效措施,也是国际教育发展的趋势。

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分,高职教育的质量直接影响了全国高等教育的质量。办好高职教育,提高高职教育的质量已成为我国教育事业中的一件大事,已引起了全社会的关注。

为了更好地发展高职教育,首先应当建立起对高职教育的正确理念。

高职教育是不同于普通高等教育的一种教育类型。它的培养目标、教学理念、课程体系、教学内容和教学方法都与传统的本科教育有很大的不同。高职教育不是通才教育,而是按照职业的需要,进行有针对性培养的教育,是以就业为导向,以职业岗位要求为依据的教育。高职教育是直接面向市场、服务产业、促进就业的教育,是高等教育体系中与经济社会发展联系最密切的部分。

在高职教育中要牢固树立“人才职业化”的思想,要最大限度地满足职业的要求。衡量高职学生质量的标准,不是看学了多少理论知识,而是看会做什么,能否满足职业岗位要求。本科教育是以知识为本位,而高职教育是以能力为本位的。

强调以能力为本位,并不是不要学习理论知识,能力是以知识为支撑的,问题是学什么理论知识和怎样学习理论知识。有两种学习理论知识的模式:一种是“建筑”模式,即“金字塔”模式,先系统学习理论知识,打下宽厚的理论基础,以后再结合专业应用;另一种是“生物”模式,如同植物的根部、树干和树冠是同步生长的一样,随着应用的开展,结合应用学习必要的理论知识。对于高职教育来说,不应该采用“金字塔”模式,而应当采用“生物”模式。

可以比较一下以知识为本位的学科教育和以能力为本位的高职教育在教学各个方面的不同。知识本位着重学习一般科学技术知识;注重的是系统的理论知识;讲求的是理论的系统性和严密性;学习要求是“了解、理解、掌握”;构建课程体系时采用“建筑”模式;教学方法采用“提出概念—解释概念—举例说明”的传统三部曲;注重培养抽象思维能力。而能力本位着重学习工作过程知识;注重的是实际的工作能力,讲求的是应用的熟练性;学习要求是“能干什么,达到什么熟练程度”;构建课程体系时采用“生物”模式;教学方法采用“提出问

题—解决问题—归纳分析”的新三部曲；常使用形象思维方法。

近年来，国内教育界对高职教育从理论到实践开展了深入的研究，引进了发达国家职业教育的理念和行之有效的做法，许多高职院校从多年的实践中总结了成功的经验，有力地推动了我国的高职教育。再经过一段时期的研究与探索，会逐步形成具有中国特色的完善的高职教育体系。

全国高校计算机基础教育研究会于2007年7月发布了《中国高职院校计算机教育课程体系2007》(以下简称《CVC 2007》)，系统阐述了高职教育的指导思想，深入分析了我国高职教育的现状和存在的问题，明确提出了构建高职计算机课程体系的方法，具体提供了各类专业进行计算机教育的课程体系参考方案，并深刻指出为了更好地开展高职计算机教育应当解决好的一些问题。《CVC 2007》是一个指导我国高职计算机教育的重要的指导性文件，建议从事高职计算机教育的教师认真学习。

《CVC 2007》提出了高职计算机教育的基本理念是：面向职业需要、强化实践环节、变革培养方式、采用多种模式、启发自主学习、培养创新精神、树立团队意识。这是完全正确的。

教材是培养目标和教学思想的具体体现。要实现高职的教学目标，必须有一批符合高职特点的教材。高职教材与传统的本科教育的教材有很大的不同，传统的教材是先理论后实际，先抽象后具体，先一般后个别，而高职教材则应是从实际到理论，从具体到抽象，从个别到一般。教材应当体现职业岗位的要求，紧密结合生产实际，着眼于培养应用计算机的实际能力。要引导学生多实践，通过“做”而不是通过“听”来学习。

评价高职教材的标准不是愈深愈好、愈全愈好，而是看它是否符合高职特点，是否有利于实现高职的培养目标。好的教材应当是“定位准确，内容先进，取舍合理，体系得当，风格优良”。

教材建设应当提倡百花齐放，推陈出新。我国高职院校为数众多，情况各异。地域不同、基础不同、条件不同、师资不同、要求不同，显然不能一刀切，用一个大纲、一种教材包打天下。应该针对不同的情况，组织编写出不同的教材，供各校选用。能有效提高教学质量的就是好教材。同时应当看到，高职计算机教育发展很快，新的经验层出不穷，需要加强交流，推陈出新。

从20世纪90年代开始，我们开始注意研究高职教育，并在1999年组织编写了一套“高职高专计算机教育系列教材”，由清华大学出版社出版，这是在国内最早出版的高职教材之一。在国内产生很大的影响，被许多高职院校采用为教材，有力地推动了蓬勃兴起的高职教育，后来该丛书扩展为“高等院校计算机应用技术规划教材”，除了高职院校采用之外，还被许多应用型本科院校使用。几年来已经累计发行近300万册，被教育部确定为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。

根据高职教育发展的新形势，我们于2005年开始策划，在原有基础上重新组织编写一套全新的高职教材——“高职高专计算机教学改革新体系规划教材”，经过两年的研讨和编写，于2007年正式由清华大学出版社出版。这套教材遵循高职教育的特点，不是根据学科的原则确定课程体系，而是根据实际应用的需要组织课程；书名不是按照学科的角度来确定的，而是体现应用的特点；写法上不是从理论入手，而是从实际问题入手，提出问题、解决问题、归纳分析、循序渐进、深入浅出、易于学习，有利于培养应用能力。丛书的作者大都是多

年从事高职院校计算机教育的教师,他们对高职教育有较深入的研究,对高职计算机教育有丰富的经验,所写的教材针对性强,适用性广,符合当前大多数高职院校的实际需要。这套教材经教育部审查,已列入“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。

本套教材统一规划,分工编写,陆续出版,逐步完善。随着高职教育的发展将会不断更新,与时俱进。恳切希望广大师生在使用中发现本丛书不足之处,并不吝指正,以便我们及时修改完善,更好地满足高职教学的需要。

全国高校计算机基础教育研究会 会长 谭浩强
“高职高专计算机教学改革新体系规划教材”主编

基于 ARM 技术的微处理器应用占据了 32 位 RISC 微处理器的大部分市场,并渗入到人们生活的各个方面。本书将以基于 ARM920T 核的 S3C2440A 芯片为核心,以 Linux 操作系统为平台,详细介绍嵌入式系统的设计与开发过程、调试方法。

本书共分 8 章,每章内容介绍如下:

第 1 章 嵌入式系统概述 介绍目前嵌入式系统的发展状况;嵌入式系统的定义、特点、应用领域;嵌入式系统的组成,包括嵌入式硬件组成与软件系统,为读者以后的学习打下基础。

第 2 章 ARM 微处理器 介绍 ARM 处理器的技术特点和应用领域;ARM 处理器体系结构、版本、变种及版本命名格式;ARM 处理器的编程模型,包括 ARM 处理器的数据类型、工作状态、工作模式和寄存器组织、存储模式、I/O 端口的访问方式和异常;ARM 微处理器的选型。

第 3 章 ARM 程序设计基础 重点讲述 ARM 汇编程序设计基本编程方法,包括 ARM 及 Thumb 指令集以及 ARM 寻址方式,并通过范例进一步讲解 ARM 指令集的使用方法;ARM 汇编语言和汇编程序规范、程序格式;ARM 汇编器的伪操作和伪指令的使用;ARM 汇编程序中的常用符号、表达式、运算符和程序的基本结构;最后结合实例介绍汇编语言与 C/C++ 语言的混合编程。

第 4 章 嵌入式系统硬件设计 首先介绍嵌入式最小系统的设计和 S3C2440A 芯片设计,然后重点介绍 S3C2440A 外围部件的工作原理,包括存储器控制器、Nand Flash 控制器、中断控制器、通用 I/O 口、串行通信和定时器;嵌入式系统硬件基本电路,包括电源、复位、晶振电路、存储器接口和 JTAG 接口、串行接口等;S3C2440A 启动程序,包括中断向量表、初始化存储器系统、初始化堆栈、初始化有特殊要求的端口和设备、初始化用户程序执行环境、改变处理器模式、呼叫主应用程序。

第 5 章 嵌入式操作系统基础 详细介绍操作系统的基础知识,包括操作系统的定义、功能、特征、类型;进程和线程的基本知识;中断和中断的处理;内核的分类等基础知识,这些都是开发嵌入式系统必不可少的基础知识。本章还将对当今流行的开源和商业的嵌入式操作系统进行介绍,最后针对 Linux 系统的特点、组成和应用前景展开介绍。

第 6 章 嵌入式 Linux 开发基础 从 Linux 的基本知识、常用命令讲起,这是学习 Linux 的入门知识,然后通过实例讲述 Linux C 编程的基本过程及相

应的开发工具,包括 vi 和 emacs 编辑工具、gcc 编译工具、make 工程管理工具和 gdb 调试工具的使用,版本控制的基本概念,这些都是进行 Linux 开发必须掌握的工具。本章还将介绍多进程和多线程的开发,讲述 Linux 下进程和线程编程的基本方法,相应地介绍多进程和多线程的程序调试方法。最后讲解交叉编译的概念,通过实例分析如何将一个 Linux 的程序交叉编译为在 ARM 处理器上运行的程序。

第 7 章 构建嵌入式 Linux 系统 讲述构建 Linux 系统的全过程,包括嵌入式 Linux 的组成、开发主机和目标机之间的通信、Bootloader 的启动、Linux 内核的移植和配置、根文件系统的构建等内容。

第 8 章 基于 Web 的远程监控系统的设计实例 详细介绍一个基于 Web 的远程监控系统的设计过程,包括系统架构设计和软、硬件的实现。本章首先介绍嵌入式 Web 服务器和远程监控系统的概念,然后介绍嵌入式 Web 远程监控系统的整体架构设计,其中网络架构以嵌入式 Web 服务器为中心,通过 Internet 远程访问嵌入式 Web 服务器,嵌入式 Web 服务器通过现场总线控制各个节点,以达到远程监控的目的;硬件架构采用三星公司的主流 ARM 9 处理器 S3S2440A 进行构建;软件架构以 Linux 操作系统为平台,选择 boa + CGI 方案。

本书由李新荣负责编写第 3、5、6、7、8 章,并对本书进行了统稿,曲凤娟负责编写第 1、2、4 章。李建义、房好帅、王慧娟、金大兵、李楠、王静、刘立媛等也参加了本书大纲的讨论和部分内容的编写。

由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正,本书作者的邮箱为 l_xinrong@sina.com(李新荣)。

编 者
2011 年 5 月

第1章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统基础	2
1.1.1 嵌入式系统的发展历史	2
1.1.2 嵌入式系统的定义与特点	4
1.1.3 嵌入式系统的组成	5
1.1.4 嵌入式系统的应用领域	6
1.1.5 嵌入式技术的发展趋势	7
1.2 嵌入式系统的硬件组成	8
1.2.1 嵌入式处理器	9
1.2.2 嵌入式外围设备与接口	10
1.2.3 典型的嵌入式处理器与开发板	11
1.3 嵌入式系统的软件组成	13
1.3.1 嵌入式软件的基本特点与分类	13
1.3.2 嵌入式软件开发环境	15
1.3.3 嵌入式软件开发的要点	16
1.3.4 嵌入式操作系统	18
小结	19
第2章 ARM 微处理器	20
2.1 ARM 微处理器概述	21
2.1.1 ARM 微处理器的技术特点	21
2.1.2 ARM 微处理器的应用领域	22
2.2 ARM 微处理器体系结构	22
2.2.1 RISC 体系结构	22
2.2.2 ARM 体系结构版本	23
2.2.3 ARM 体系结构的变种及版本命名格式	25
2.2.4 ARM 微处理器系列	26
2.3 ARM 微处理器的编程模型	30
2.3.1 ARM 微处理器的数据类型	30
2.3.2 ARM 微处理器的工作状态	30
2.3.3 ARM 微处理器的工作模式	31



2.3.4	ARM 微处理器的寄存器组织	32
2.3.5	ARM 体系中的存储模式	36
2.3.6	I/O 端口的访问方式	36
2.3.7	异常	37
2.4	ARM 微处理器的选型	38
	小结	39
第 3 章	ARM 程序设计基础	40
3.1	ARM 指令系统	41
3.1.1	ARM 指令系统概述	41
3.1.2	ARM 寻址方式	43
3.1.3	ARM 指令集	46
3.1.4	Thumb 指令集	56
3.2	ARM 汇编语言和汇编语言编程规范	58
3.2.1	ARM 汇编语言语句格式	58
3.2.2	ARM 汇编器的伪操作	59
3.2.3	ARM 汇编器支持的伪指令	69
3.3	ARM 汇编语言程序格式	71
3.3.1	ARM 汇编语言程序中常用的符号	71
3.3.2	汇编语言程序中的表达式和运算符	74
3.3.3	ARM 汇编语言程序的基本结构	76
3.3.4	ARM 汇编程序设计举例	77
3.4	汇编语言与 C/C++ 语言的混合编程	80
3.4.1	在 C/C++ 程序中嵌入汇编指令	80
3.4.2	在 ARM 汇编程序和 C/C++ 程序之间进行变量的互访	81
3.4.3	汇编程序、C/C++ 程序间的相互调用	82
	小结	84
第 4 章	嵌入式系统硬件设计	85
4.1	嵌入式最小系统	86
4.2	S3C2440A 概述	87
4.3	S3C2440A 外围部件工作原理	88
4.3.1	存储器控制器	89
4.3.2	Nand Flash 控制器	97
4.3.3	中断控制器	105
4.3.4	通用 I/O 口	121
4.3.5	串行通信	130
4.3.6	定时器	141
4.4	嵌入式系统硬件基本电路	149
4.5	S3C2440A 启动程序	152

小结	156
第 5 章 嵌入式操作系统基础	157
5.1 操作系统的基本概念	158
5.1.1 操作系统的定义	158
5.1.2 操作系统的功能	159
5.1.3 操作系统的基本特征	161
5.1.4 进程和线程的基本概念	162
5.1.5 进程的同步与互斥	164
5.2 中断和中断处理	165
5.2.1 中断	165
5.2.2 中断处理与中断返回	166
5.3 单内核与微内核	167
5.3.1 内核	167
5.3.2 单内核操作系统与微内核操作系统	168
5.4 操作系统的类型	169
5.4.1 单用户操作系统	169
5.4.2 批处理操作系统	170
5.4.3 分时操作系统	170
5.4.4 实时操作系统	171
5.5 当今流行的嵌入式操作系统简介	172
5.5.1 嵌入式操作系统的发展	172
5.5.2 使用嵌入式操作系统的必要性	173
5.5.3 嵌入式操作系统选型	174
5.5.4 常见的开源嵌入式操作系统简介	175
5.5.5 常见的商业嵌入式操作系统简介	176
5.6 Linux 系统简介	178
5.6.1 Linux 的特性	178
5.6.2 Linux 版本及其特点	180
5.6.3 嵌入式 Linux 系统及其应用前景	180
小结	181
第 6 章 嵌入式 Linux 开发基础	182
6.1 Linux 系统的结构	183
6.1.1 Linux 内核	183
6.1.2 Linux Shell	184
6.1.3 Linux 文件系统	185
6.1.4 Linux 实用工具	186
6.2 Linux 常用命令	187
6.2.1 磁盘管理命令	187



6.2.2	文件操作命令	189
6.2.3	联机帮助命令	194
6.3	Linux C 编辑、编译、调试工具	195
6.3.1	Linux 下 C 语言编程概述	195
6.3.2	vi 编辑器	197
6.3.3	emacs 编辑器	199
6.3.4	gcc 编译工具	203
6.3.5	gdb 调试工具	205
6.3.6	make 的使用和 Makefile 文件的编写	210
6.3.7	版本控制	214
6.4	Linux C 编程基础	215
6.4.1	Linux 的进程	215
6.4.2	Linux 下的进程控制	216
6.4.3	多线程编程入门	219
6.5	调试程序	222
6.5.1	调试多线程程序	222
6.5.2	调试多进程程序	225
6.6	交叉编译	227
6.6.1	嵌入式系统开发模型	228
6.6.2	交叉编译工具链	228
6.6.3	交叉编译实例	229
	小结	230
第 7 章	构建嵌入式 Linux 系统	232
7.1	嵌入式 Linux 系统的构建流程	233
7.1.1	嵌入式 Linux 系统的组成	233
7.1.2	嵌入式 Linux 系统的构建	234
7.2	宿主机和目标机之间的通信	235
7.2.1	宿主机和目标机	235
7.2.2	Windows 的超级终端	235
7.2.3	Linux 的 minicom	236
7.2.4	TFTP 协议	238
7.2.5	NFS 网络共享	239
7.3	Bootloader	240
7.3.1	Bootloader 的作用	240
7.3.2	Bootloader 的启动方式	241
7.3.3	Bootloader 的两个阶段	241
7.3.4	常用 Bootloader 简介	242
7.4	Linux 内核配置和移植	243
7.4.1	Linux 内核移植准备	243

7.4.2	内核的配置	253
7.4.3	Linux 内核的编译	255
7.5	构建嵌入式根文件系统	256
7.5.1	Linux 下的文件系统	256
7.5.2	嵌入式 Linux 的文件系统	257
7.5.3	Linux 根文件系统目录结构	259
7.5.4	制作根文件系统	262
	小结	264
第 8 章	基于 Web 的远程监控系统的设计实例	265
8.1	基于 Web 的远程监控系统简介	266
8.1.1	嵌入式 Web 服务器和远程监控系统	266
8.1.2	基于嵌入式 Web 的远程监控系统应用	267
8.2	系统架构设计	270
8.2.1	网络架构	270
8.2.2	硬件架构设计	271
8.2.3	软件架构设计	272
8.3	系统软件实现	272
8.3.1	嵌入式 Web 服务器的移植和配置	273
8.3.2	HTML 中表单的使用	277
8.3.3	CGI 程序设计	289
8.4	Linux 设备驱动程序设计	302
8.4.1	Linux 下的驱动程序设计基础	302
8.4.2	基于 Linux 2.6 内核的设备驱动程序举例	304
8.5	基于 Web 的 LED 远程控制系统设计	308
8.5.1	LED 驱动程序设计	308
8.5.2	表单设计	311
8.5.3	CGI 程序的编写	312
	小结	313
	参考文献	315

嵌入式系统概述

学习目标

通过本章的学习,应该掌握:

- 嵌入式系统的定义、组成、发展概况、应用领域及发展趋势
- 嵌入式系统的开发流程、特点和调试方法
- 常用的嵌入式微处理器和嵌入式操作系统

1.1 嵌入式系统基础

问题: 什么是嵌入式系统? 嵌入式系统的发展阶段有哪些? 和通用计算机相比嵌入式系统有哪些特点? 嵌入式系统由哪些部分组成? 嵌入式系统主要应用在哪些领域?

重点: 嵌入式系统的定义, 嵌入式系统的组成。

内容: 讲述了嵌入式系统的发展历史、特点、应用领域和发展趋势。

1.1.1 嵌入式系统的发展历史

任务: 认识嵌入式系统的起源, 掌握嵌入式系统不同发展阶段的特点。

嵌入式系统起源于微型机时代, 近些年来随着网络技术、无线通信、多媒体以及工业自动控制技术的发展, 嵌入式技术的发展与应用也日新月异, 逐渐成为继个人计算机(Personal Computer, PC)和 Internet 之后信息技术领域的热点。

从 20 世纪 70 年代起, 微型机以小型、廉价、低功耗、使用方便、性价比高等特点, 得到了广泛的应用, 其所具备的智能化功能在工业控制领域内发挥了很大作用, 例如, 将微型计算机经电气加固与机械加固, 另外配置各种外围接口电路, 安装到舰船或飞行器构成驾驶辅助系统或是发动机状态检测系统。基于这种需求, 传统的计算机便失去了原来的形态和通用的计算机功能。区别于原有的通用计算机系统, 将这类为了“专用”的目的而嵌入到对象体系中以实现对象体系智能化控制的计算机系统称为嵌入式计算机系统。

尽管嵌入式系统起源于微型机, 由于应用的场合及特点不同, 通用计算机与嵌入式计算机之后开始沿两个不同的方向发展。通用计算机的技术要求是高速、海量的数值计算, 技术发展方向是总线速度无限提升, 存储容量无限扩大。而嵌入式计算机系统的技术要求则是对象的智能化控制能力, 技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性。通用计算机系统在体积、价位、可靠性上都无法满足广大对象系统的嵌入式应用要求, 因此嵌入式技术的发展必须走独立发展的道路, 至今主要经历了无操作系统的单片机(Single Chip Microcomputer, SCM)阶段, 以微控制器(Micro Controller Unit, MCU)为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统阶段, 以通用的嵌入式操作系统和系统级芯片(System On a Chip, SOC)为标志的嵌入式系统阶段, 面向 Internet 的应用 4 个阶段。

1. 无操作系统的单片机阶段

单片机即单片微型计算机, 随着大规模集成电路的出现及发展, 计算机的 CPU、RAM、ROM、定时器和多种 I/O 接口集成在一片芯片上, 形成芯片级的计算机。1976 年 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机, 这个只有 1KB ROM 和 64B RAM 的简单芯片成为世界上第一个单片机, 同时也开创了将微处理机系统的各种 CPU 外的资源集成到 CPU 芯片上的时代。1980 年 Intel 公司在 MCS-48 的基础上进行全面改进, 推出了 8 位的 MCS-51 单片机, 获得巨大成功, 奠定了嵌入式系统的单片机应用模式, 至今 MCS-51 单片机仍在大量使用。

这个阶段是以单片机为核心的控制系统阶段, 嵌入式系统大部分应用于一些专业性极强的工业控制系统中, 没有操作系统的支持, 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,存储容量小,几乎没有用户接口。也是从这个阶段起,嵌入式技术与通用计算机技术开始沿两个不同的方向发展。

2. 以微控制器为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统阶段

20世纪80年代,随着微电子工艺水平的提高,IC制造商开始把嵌入式应用中所需要的微处理器、I/O接口、串行接口以及RAM、ROM等部件全部集成到一片超大规模集成电路(Very Large Scale Integration, VLSI)中,制造出面向I/O设计的微控制器,并一举成为嵌入式系统领域中异军突起的新秀。与此同时,嵌入式系统的程序员也开始基于一些简单的“操作系统”开发嵌入式应用软件,大大缩短了开发周期,提高了开发效率。

这一阶段嵌入式系统的主要特点是:出现了大量高可靠、低功耗的嵌入式CPU(如Power PC等),各种简单的嵌入式操作系统开始出现并得到迅速发展。此时的嵌入式操作系统虽然还比较简单,但已经初步具有一定的兼容性和扩展性,内核精巧且效率高,主要用来控制系统负载以及监控应用程序的运行。

3. 以通用的嵌入式操作系统和系统级芯片为标志的嵌入式系统阶段

20世纪90年代,随着设计与制作技术的发展,集成电路设计从晶体管的集成发展到逻辑门的集成,现在又发展到IP集成,即SoC设计技术。SoC可以有效地降低电子/信息系统产品的开发成本,缩短开发周期,提高产品的竞争力,是未来工业界将采用的最主要的产品开发方式。SoC通常有以下特征。

- (1) 实现复杂系统功能的VLSI。
- (2) 采用超深亚微米工艺技术。
- (3) 使用一个以上的嵌入式CPU/数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)。
- (4) 外部可以对芯片进行编程。
- (5) 其主要采用第三方IP进行设计。

从SoC的特征可以看出,SoC中包含了微处理器/微控制器、存储器以及其他专业功能逻辑,但并不是包含微处理器、存储器以及其他专业功能逻辑的芯片就是SoC,如8051就集成了微处理器、存储器、时钟部件,但不属于SoC。SoC技术被广泛应用的根本原因并不是SoC可以集成多少个晶体管,而在于其可以用较短的时间设计出来,这是SoC的主要价值所在。

这一阶段系统的主要特点是:嵌入式操作系统能运行在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扩展性;具备文件和目录管理、设备支持、多任务、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编程接口(Application Programming Interface, API),开发应用程序简单;嵌入式应用软件丰富。

4. 面向Internet的应用阶段

面向Internet的应用阶段是正在迅速发展的阶段。现在大多数嵌入式系统还孤立于Internet之外,但随着Internet的发展,Internet技术和信息家电、工业控制技术结合日益密切,嵌入式设备和Internet的结合将是嵌入式系统的未来发展方向。

目前,嵌入式技术与Internet技术的结合正在推动着嵌入式技术的飞速发展,嵌入式系统的研究和应用产生了如下新的显著变化。

- (1) 新的微处理器层出不穷,嵌入式操作系统自身的结构被设计得更加便于移植,能够在短时间内支持更多的微处理器。
- (2) 嵌入式系统的开发成了一项系统工程,开发厂商不仅要提供嵌入式软、硬件系统本