

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
计算机科学与技术

嵌入式系统与单片机 基础教程

王粉花 李擎 胡广大 主编



清华大学出版社

013040914

TP368.1-43
272

高等学校教材
计算机科学与技术

嵌入式系统与单片机 基础教程

王粉花 李擎 胡广大 主编



清华大学出版社
北京



北航

C1649132

TP368.1-43
272

内 容 简 介

本书是“嵌入式系统与单片机实践教程”的主教材,内容包括 8 位单片机和 32 位嵌入式系统两部分。单片机部分以 PIC16F87X 系列单片机为例,主要介绍单片机结构与引脚、指令系统与汇编语言、外围模块等内容,并结合实例重点阐述单片机系统的设计原理和开发过程。嵌入式系统部分以 ARM 微处理器为例,主要介绍 ARM 微处理器体系结构和指令系统、嵌入式操作系统及嵌入式系统设计方法等。旨在使学生由浅入深,从学习单片机系统设计入手,逐步学习嵌入式系统接口设计与嵌入式 Linux 编程开发技术。本书与配套的《嵌入式系统与单片机实践教程》内容同步,有助于学生从理论和实践两方面去学习和掌握嵌入式技术。

本书可供高等学校控制类和信息类相关专业学生、教师和从事嵌入式系统设计开发人员参考。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统与单片机基础教程/王粉花,李擎,胡广大主编. —北京:清华大学出版社,2013.4
(高等学校教材·计算机科学与技术)

ISBN 978-7-302-31330-4

I. ①嵌… II. ①王… ②李… ③胡… III. ①单片微型计算机—系统设计—高等学校—教材
IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 030649 号

责任编辑:刘向威 赵晓宁

封面设计:常雪影

责任校对:梁 毅

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:24.75

字 数:620 千字

版 次:2013 年 4 月第 1 版

印 次:2013 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:41.00 元

产品编号:029005-01

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

从 20 世纪 70 年代单片机的推出开始,嵌入式技术经过了 40 多年的发展,在工业控制、智能家电、消费电子、航天、军事等诸多领域得到了广泛的应用。嵌入式系统涵盖了电子技术、计算机软硬件技术、通信与网络技术等多个专业领域的知识。本书在仔细梳理嵌入式系统所涵盖知识点的基础上,理出一条循序渐进的知识线路,并详细阐述了其中的关键技术。作为教材,本书具有以下特色。

1. 由浅入深,知识融会贯通

从 8 位 PIC16F87X 单片机入手,在详细介绍单片机内部结构、指令系统及外围功能模块的基础上,结合实际案例,重点阐述了单片机系统的开发过程,便于读者从理论和实践两方面去学习和掌握单片机应用技术。在此基础上,详细介绍了 32 位的 ARM 微处理器体系结构和指令系统、嵌入式操作系统及嵌入式系统设计方法。知识分布既有连续性,又有一定的跨越性,以满足不同层次教学的需求。

2. 案例丰富,面向实际应用

针对单片机微处理器的每一个外围模块,本书都设计了相应的应用案例;在单片机系统的开发过程中,编写了丰富的面向应用的案例,便于读者学以致用。

3. 例题、习题齐全,方便教学

在总结作者多年教学经验的基础上,本书编排了丰富的例题和习题,非常适合教学和学习。

本书由王粉花、李擎、胡广大主编,王粉花制定了本书大纲、指导文字写作并负责全书的统稿和组织工作。王粉花编写第 1~7 章;胡广大编写第 8 章;李擎编写第 9 章;王粉花、王玲共同编写第 10 章。王粉花、李擎编写第 11 章。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点与疏漏,敬请广大读者批评指正。作者的电子邮箱是 E-mail:w_fh_2001@sina.com; 电话: 010-62332680。

王粉花
于北京科技大学
2012 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 嵌入式系统简介	1
1.1.1 嵌入式系统的定义和组成	1
1.1.2 嵌入式系统的特点	2
1.2 嵌入式系统发展史	3
1.2.1 现代计算机技术的两大分支	3
1.2.2 嵌入式系统的独立发展史	3
1.3 嵌入式微处理器简介	4
1.4 嵌入式系统的应用领域	5
习题 1	6
第 2 章 PIC16F87X 系列单片机的内部结构	7
2.1 PIC16F87X 系列单片机概述	7
2.2 PIC16F87X 系列单片机的内部结构及引脚	9
2.2.1 PIC16F87X 系列单片机的内部结构	9
2.2.2 PIC16F87X 系列单片机的引脚及功能	11
2.2.3 时序图和指令流	16
2.3 PIC16F87X 系列单片机的存储器组织结构	18
2.3.1 程序存储器组织	18
2.3.2 数据存储器组织	19
习题 2	33
第 3 章 PIC 系列单片机指令系统与汇编语言程序设计	34
3.1 概述	34
3.2 PIC16F87X 系列单片机的指令格式	34
3.3 PIC16F87X 系列单片机的寻址方式	35
3.3.1 绝对寻址	35
3.3.2 相对寻址	36
3.3.3 直接寻址	36
3.3.4 间接寻址	37
3.4 PIC16F87X 单片机指令集	38
3.4.1 字节操作类指令	39

3.4.2	位操作类指令	46
3.4.3	立即数与控制操作类指令	48
3.5	PIC 系列单片机汇编语言程序设计	53
3.5.1	PIC 单片机汇编语言程序的基本格式	53
3.5.2	伪指令	55
3.5.3	PIC 汇编语言编程实例	64
习题 3		68
第 4 章	PIC 单片机的外围模块及应用	70
4.1	I/O 端口	70
4.1.1	PORTA 端口	71
4.1.2	PORTB 端口	73
4.1.3	PORTC 端口	76
4.1.4	PORTD 端口	78
4.1.5	PORTE 端口	79
4.1.6	并行从动端口 PSP	82
4.1.7	I/O 端口基本功能的应用举例	84
4.2	定时器/计数器	87
4.2.1	定时/计数器 0	89
4.2.2	定时/计数器 1	98
4.2.3	定时/计数器 2	106
4.3	中断系统	113
4.3.1	中断源	113
4.3.2	中断控制寄存器	114
4.3.3	中断现场保护	114
4.4	A/D 转换模块	120
4.4.1	概述	120
4.4.2	与 A/D 转换模块相关的寄存器	121
4.4.3	A/D 转换	123
4.5	捕捉、比较和脉宽调制模块	130
4.5.1	捕捉工作方式	131
4.5.2	比较工作方式	135
4.5.3	脉宽调制方式	137
4.6	主同步串行端口	145
4.6.1	概述	145
4.6.2	串行外设接口 SPI 模式	146
4.6.3	芯片间互联总线 I ² C 模式	153
4.6.4	MSSP 模块初始化举例	175
4.7	通用同步异步收发器 USART	175

4.7.1	与 USART 相关的寄存器	175
4.7.2	USART 波特率发生器 BRG	178
4.7.3	USART 异步工作方式	179
4.7.4	USART 同步主控工作方式	187
4.7.5	USART 同步从动工作方式	191
4.7.6	同步/异步收发器 USART 的应用举例	193
4.8	数据存储器 EEPROM 和程序存储器 Flash	194
4.8.1	相关的寄存器	196
4.8.2	对 EEPROM 数据存储器操作	198
4.8.3	对 Flash 程序存储器的操作	200
4.8.4	误写操作保护	202
4.8.5	代码保护期间的操作	202
4.8.6	EEPROM 数据存储器操作举例	203
习题 4		205
第 5 章	CPU 的特殊功能	208
5.1	系统配置寄存器	209
5.2	振荡器配置	210
5.2.1	振荡器分类	210
5.2.2	晶体振荡器/陶瓷谐振器	210
5.2.3	RC 振荡器	212
5.3	复位	213
5.3.1	上电复位 POR	216
5.3.2	上电延时定时器 PWRT	216
5.3.3	起振定时器 OST	216
5.3.4	欠压复位 BOR	217
5.3.5	上电复位延时时序	217
5.3.6	电源控制/状态寄存器 PCON	217
5.3.7	看门狗定时器 WDT	219
5.4	休眠省电模式	221
5.4.1	休眠唤醒	221
5.4.2	中断唤醒	222
5.5	在线调试与串行编程	223
5.5.1	在线调试	223
5.5.2	在线串行编程	223
5.5.3	低电压在线串行编程	223
习题 5		224

第 6 章 PIC 单片机的开发工具	225
6.1 概述	225
6.2 MPLAB IDE 集成开发软件	225
6.2.1 MPLAB IDE 的组成	226
6.2.2 MPLAB IDE 的功能与安装运行	227
6.3 Hitech-PICC 编译器	229
6.3.1 PICC 编译器的安装	229
6.3.2 PICC C 程序设计基本结构	232
6.3.3 PICC 中的变量	234
6.3.4 PICC 中的函数	235
6.4 MPLAB ICD2 调试器	236
6.4.1 MPLAB ICD2 功能	236
6.4.2 MPLAB ICD2 系统组件及配置	237
6.4.3 MPLAB ICD2 工作原理	241
6.4.4 MPLAB ICD2 开发过程	246
习题 6	252
第 7 章 单片机系统开发过程及应用实例	253
7.1 单片机系统开发过程	253
7.1.1 前期调研	253
7.1.2 系统方案设计	253
7.1.3 系统硬件设计	255
7.1.4 系统软件设计	259
7.1.5 系统联机调试	261
7.2 单片机应用实例	261
7.2.1 单片机应用系统的基本组成	261
7.2.2 按键与键盘输入接口电路设计	262
7.2.3 显示输出接口电路的设计	264
7.2.4 基于单片机的室内环境监测系统	271
7.2.5 基于单片机的声源定位系统	279
7.2.6 基于超声波测距的导航系统	283
习题 7	287
第 8 章 嵌入式微处理器体系结构	288
8.1 ARM 简介	288
8.2 ARM 微处理器系列	289
8.2.1 ARM7 系列	289
8.2.2 ARM9 系列	290

8.2.3	ARM10 系列	291
8.2.4	ARM11 系列	291
8.2.5	Xscale 系列	292
8.2.6	SecurCore 系列	292
8.2.7	Cortex 系列	292
8.3	ARM 微处理器体系结构	293
8.3.1	流水线技术	295
8.3.2	ARM 处理器状态	297
8.3.3	ARM 处理器模式	297
8.3.4	ARM 寄存器组	297
8.3.5	异常与中断处理	300
8.3.6	ARM 处理器的数据格式	301
习题 8		303
第 9 章	ARM 指令系统	304
9.1	ARM 微处理器的寻址方式	304
9.1.1	立即寻址	304
9.1.2	寄存器寻址	304
9.1.3	寄存器移位寻址	305
9.1.4	寄存器间接寻址	305
9.1.5	基址变址寻址	305
9.1.6	多寄存器寻址	305
9.1.7	堆栈寻址	306
9.1.8	相对寻址	306
9.2	ARM 微处理器的指令集	306
9.2.1	ARM 指令集分类与格式	307
9.2.2	ARM 指令的条件码	308
9.2.3	跳转指令	309
9.2.4	数据处理指令	310
9.2.5	load/store 指令	318
9.2.6	协处理器指令	321
9.2.7	程序状态寄存器指令	323
9.2.8	异常中断指令	323
9.3	Thumb 指令集简介	324
9.3.1	Thumb 寄存器的使用	324
9.3.2	Thumb 指令集	324
9.4	Thumb 指令集与 ARM 指令集的对比	325
习题 9		326

第 10 章 嵌入式操作系统	327
10.1 嵌入式操作系统简介	327
10.2 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$	327
10.2.1 嵌入式实时操作系统的基本概念	327
10.2.2 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 简介	328
10.2.3 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 内核结构分析	330
10.2.4 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 任务调度	331
10.2.5 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 初始化	334
10.2.6 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 内核实现	334
10.3 嵌入式 Linux 操作系统	338
10.3.1 嵌入式 Linux 操作系统组成与编程基础	339
10.3.2 Linux 应用程序设计	348
10.3.3 Linux 内核结构分析与系统移植	356
10.4 嵌入式 Windows CE 操作系统	363
10.4.1 Windows CE 发展简史	363
10.4.2 Windows CE 的功能	364
10.4.3 Windows CE 系统结构	364
10.4.4 开发工具简介	368
习题 10	370
第 11 章 嵌入式系统设计方法	371
11.1 嵌入式系统设计过程	371
11.2 嵌入式系统的需求分析	372
11.2.1 需求与规格	372
11.2.2 需求分析	373
11.2.3 制作需求表格	373
11.3 嵌入式系统的体系结构设计	375
11.4 嵌入式系统的硬件设计	376
11.4.1 硬件设计方法和原则	377
11.4.2 嵌入式处理器的选择	379
11.5 嵌入式系统的软件设计	380
11.6 嵌入式系统的集成	381
11.7 嵌入式系统的调试	381
习题 11	383
参考文献	384

第1章

绪论

本章学习目标

本章对嵌入式系统进行了简要介绍,通过学习,读者应该掌握以下内容:

- 嵌入式系统的定义、组成和特点;
- 嵌入式系统发展史;
- 嵌入式微处理器类型;
- 嵌入式系统应用领域。

1.1 嵌入式系统简介

嵌入式系统的应用已涉及生产、工作、生活各个方面。从家用电子电器产品中的冰箱、洗衣机、电视、微波炉到 MP3、DVD;从轿车控制到火车、飞机的安全防范;从手机电话到 PDA;从医院的 B 超、CT 到核磁共振器;从机械加工中心到生产线上的机器人、机械手;从航天飞机、载人飞船,到水下核潜艇,到处都有嵌入式系统和嵌入式技术的应用。嵌入式技术和设备的应用在我国国民经济和国防建设的各个方面存在着广泛的应用,有着巨大的市场。可以说它是信息技术的一个新的发展,是信息产业的一个新的亮点,也成为当前最热门的技术之一。

1.1.1 嵌入式系统的定义和组成

1. 嵌入式系统的定义

按照历史性、本质性、普遍性要求,嵌入式系统应定义为:“嵌入到对象体系中的专用计算机系统”。“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的 3 个基本要素。对象系统则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。

根据 IEEE(电气和电子工程师协会)的定义,嵌入式系统是“控制、监视或者辅助装置、机器和设备运行的装置”。从中可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体,还可以涵盖机械等附属装置。

目前国内一个普遍被认同的定义是:以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、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。

2. 嵌入式系统的组成

嵌入式系统包括硬件和软件两个部分。

嵌入式系统硬件一般包括嵌入式微处理器、存储器(SDRAM、ROM、Flash 等)、I/O 接口(A/D、D/A、串行口、并行口、USB 口等)和输入输出设备(键盘、LCD 等);嵌入式系统软件包括嵌入式 RTOS(Real Time Operating System)和应用程序,如图 1-1 所示。

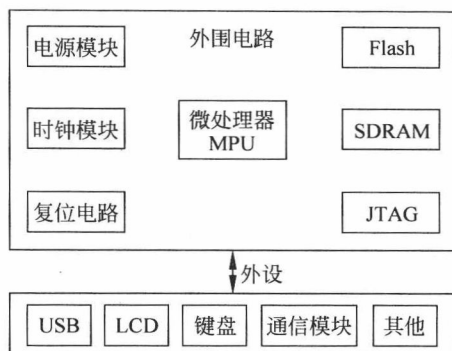


图 1-1 嵌入式系统组成

嵌入式系统的软件结构又分为两类：一类是不带操作系统的软件结构，另一类是带操作系统的软件结构，分别如图 1-2 和图 1-3 所示。

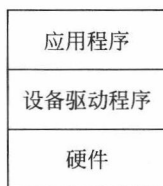


图 1-2 不带操作系统软件结构模型

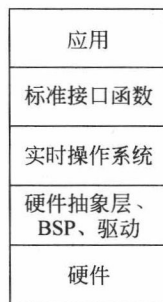


图 1-3 带操作系统软件结构模型

1.1.2 嵌入式系统的特点

从上面的定义,可以看出嵌入式系统具有以下几个重要特征:

(1) 系统内核小。由于嵌入式系统一般应用于小型电子装置,系统资源相对有限,所以内核较之传统的操作系统要小得多。比如 Enea 公司的 OSE 分布式系统,内核只有 5KB,而 Windows 的内核简直没有可比性。

(2) 专用性强。嵌入式系统的个性化很强,其中的软件系统和硬件的结合非常紧密,一般要针对硬件进行系统的移植,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,这种修改和通用软件的“升级”是完全不同的两个概念。

(3) 系统精简。嵌入式系统一般没有系统软件和应用软件的明显区分,不要求其功能设计及实现上过于复杂,这样一方面利于控制系统成本,同时也利于实现系统安全。

(4) 高实时性的系统软件(OS)。这是嵌入式软件的基本要求,而且软件要求固态存

储,以提高速度;软件代码要求高质量和高可靠性。

(5) 嵌入式软件开发要想走向标准化,就必须使用多任务的操作系统。嵌入式系统的应用程序可以没有操作系统直接在芯片上运行;但是为了合理地调度多任务,利用系统资源、系统函数及和专家库函数接口,用户必须自行选配 RTOS(Real-Time Operating System)开发平台,这样才能保证程序执行的实时性、可靠性,并缩短开发时间,保障软件质量。

(6) 嵌入式系统开发需要开发工具和环境。由于嵌入式系统本身不具备自举开发能力,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,这些工具和环境一般是基于通用计算机上的软硬件设备以及各种逻辑分析仪、混合信号示波器等。开发时往往有主机和目标机的概念,主机用于程序的开发,目标机作为最后的执行机,开发时需要交替结合进行。

1.2 嵌入式系统发展史

1.2.1 现代计算机技术的两大分支

世界上第一台真正意义上的数字电子计算机诞生于 1946 年的美国宾夕法尼亚大学,在之后的 20 多年间,计算机始终是供养在特殊的机房中,实现数值计算的大型昂贵设备。直到 20 世纪 70 年代集成电路的出现,计算机才得到了飞速发展。以微处理器为核心的微型计算机以其小型、价廉、高可靠性等特点迅速得到广泛的应用。基于高速数值解算能力的微型机表现出的智能化水平引起了专业人士的兴趣,他们将计算机嵌入到一个对象系统中,实现对对象的智能化控制。例如,将微型计算机经电气加固、机械加固,并配置各种外围接口电路,安装到大型舰船中构成自动驾驶仪或轮机状态监测系统。这样一来,计算机便失去了原来的形态与通用计算机的功能。为了区别于通用计算机系统,把嵌入到对象中实现对对象智能化控制的计算机称为嵌入式计算机系统。

嵌入式计算机与通用计算机有着完全不同的技术要求与技术发展方向。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的无限提升、存储容量的无限扩大。而嵌入式计算机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。这便形成了计算机的两大分支。

这些年来掀起嵌入式系统应用热潮的原因有两个方面:一方面是芯片技术的发展,使得单个芯片具有更强的处理能力,而且使集成多种接口已经成为可能,众多芯片生产厂商已经将注意力集中在这方面;另一方面的原因就是应用的需要,由于对产品可靠性、成本、更新换代要求的提高,使得嵌入式系统逐渐从纯硬件实现和使用通用计算机实现的应用中脱颖而出,成为近年来令人关注的焦点。

1.2.2 嵌入式系统的独立发展史

嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器,单片机开创了嵌入式系统独立发展的道路。20 世纪 70 年代单片机的出现,使得汽车、家电、工业机器、通信装置及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。这些装置已经初步具备了嵌入式的应用特点,但是这时的应用只是使用 8 位的芯片,执行一些单线程的程序,还谈不上“系统”的概念。

1971 年 11 月,Intel 公司成功地把算术运算器和控制器电路集成在一起,推出了第一款微处理器——Intel 4004,其后各厂家陆续推出了许多 8 位、16 位的微处理器,微处理器的广泛应用形成了一个广阔的嵌入式应用市场。1976 年 Intel 公司推出 Multibus,1983 年扩展为带宽达 40MB/s 的 Multibus II。1978 年由 Prolog 设计的简单 STD 总线广泛应用于小型嵌入式系统。

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,这使得开发者可以获取更短的开发周期、更低的发展资金和更高的开发效率,出现了真正意义上的“嵌入式系统”。20 世纪 90 年代以后,在分布控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大需求的牵引下,嵌入式系统进一步加速发展。随着对实时性要求的提高,软件规模不断上升,实时核逐渐发展为实时多任务操作系统(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。

21 世纪无疑是一个网络的时代,未来的嵌入式设备为了适应网络发展的需求,必然要求硬件上提供各种网络通信接口。新一代的嵌入式处理器已经开始内嵌网络接口,除了支持 TCP/IP 协议,还有的支持 IEEE 1394、USB、CAN、Bluetooth 或 IrDA 通信接口中的一种或者几种,同时也需要提供相应的通信组网协议软件和物理层驱动软件。软件方面系统内核支持网络模块,甚至可以在设备上嵌入 Web 浏览器,真正实现随时随地使用各种设备上网。

1.3 嵌入式微处理器简介

嵌入式系统的核心是各种类型的嵌入式微处理器,嵌入式微处理器的体系结构经历了从 CISC(复杂指令集)到 RISC(精简指令集)和 Compact RISC 的转变,位数则由 4 位、8 位、16 位、32 位逐步发展到 64 位。现在常用的嵌入式处理器可分为低端的嵌入式微控制器(Micro-Controller Unit, MCU)、中高端的嵌入式微处理器(Embedded Micro-Processor Unit, EMPU)、嵌入式 DSP 处理器(Embedded Digital Signal Processor, EDSP)和高度集成的嵌入式片上系统(System on a Chip, SoC)。

不同位数的嵌入式微处理器主要有以下几种:

- (1) 4 位。TI 公司的 TMS1000, NS 的 COP 系列等。
- (2) 8 位。Intel 公司的 8048/49/50、8051/52, Motorola 公司的 6800 系列, Zilog 公司的 Z8 系列, Atmel 公司的 89C51/52、89C1051/2051, Microchip 公司的 PIC 系列等。
- (3) 16 位。Intel 公司的 8096/97, Thompson 公司 68200 等。
- (4) 32 位。ARM 公司的 ARM7、ARM9、ARM10 核的 CPU 等。
- (5) 64 位。ARM 公司的 ARM11, MIPS 公司的 R2000、R3000 等。

本书主要涉及两种嵌入式微处理器,8 位的 PIC16F877A 单片机和 32 位的 ARM9 微处理器,详细介绍分别参见第 2 章和第 8 章。

1.4 嵌入式系统的应用领域

当前,人类处在数字信息技术和网络技术高速发展的后 PC 的时代,国内外的嵌入式系统已经广泛地应用到各个行业、各个学科以及人们的日常生活中。放眼全球,手机、互联网、智能家电、智能交通等嵌入式移动互联已经在世界的各个角落得以应用。在现如今的物联网时代,嵌入式系统又面临着新的机遇。

1. 消费电子

嵌入式系统正在越来越广泛地应用于消费电子产品领域,并为之带来了更高的附加值。如人们日常使用的智能手机、数字电视、便携多媒体播放器、数码相机、数码相框、可视电话等,嵌入式技术正在人们的生活中占据着越来越重要的地位。在近几年的消费电子产业保持良好的增长势头中,创新成为产业持续高速发展的源动力,是带动和促进消费电子产业升级和产业融合的增长引擎。2007年,由 iPhone、GoogleAndroid 及 OpenMoko 更是掀起了智能手机等消费电子产品创新的热潮。而嵌入式技术成为了创新的主要手段。

2. 网络通信设备

网络通信设备中,嵌入式系统发挥了重要的作用。路由器内部可以划分为控制平面和数据通道,数据通道的主要任务就是数据转发,对于软件转发式路由器来说,系统中的 CPU 中一定要有一个操作系统来完成一定的工作才能实现软件转发功能。由于路由器的功能相对单一,主要工作就是数据转账,因此嵌入式系统最能适应其工作。在市场份额方面路由器和交换机占了绝对的比例。2011年,电信级路由器和交换机市场创下销售新纪录,总额达到 145 亿美元。

3. 工业控制

嵌入式系统的发展提高了工业控制的自动化程度。随着精密仪器、高精尖技术、生产工艺技术等方面的发展,系统中控制任务可能越来越多且越来越复杂,信息处理往往要经过复杂的算法,因此对嵌入式系统的性能要求越来越高,要求嵌入式系统具有更高的处理能力、更高可靠性和更强的实时性。

4. 汽车电子

嵌入式系统在汽车电子中的应用可以分为 3 个阶段:底层的汽车 SCM(Single Chip Microcomputer)系统主要用于任务相对简单、数据处理量小和实时性要求不高的控制场合,如雨刷、车灯系统、仪表盘及电动门窗等;第二代汽车嵌入式系统能够完成简单的实时任务,目前在汽车电控系统中得到了最广泛的应用,如 ABS 系统、智能安全气囊、主动悬架及发动机管理系统等;第三代汽车 SoC 系统是嵌入式技术在汽车电子上的高端应用,满足了现代汽车电控系统功能不断扩展、逻辑渐趋复杂、子系统间通信频率不断提高的要求,代表着汽车电子技术的发展趋势,汽车嵌入式 SoC 系统主要应用在混合动力总成、底盘综合控制、汽车定位导航、车辆状态记录与监控等领域。