



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
上海市教育委员会高校重点教材建设项目

PIC[®]单片机 原理及应用 (第4版)

李荣正 王诚杰 戴国银 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

上海市教育委员会高校重点教材建设项目

PIC[®]单片机原理及应用

(第4版)

李荣正 王诚杰 戴国银 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”，是“PIC 单片机系列教程”的理论教材。以美国 Microchip 公司的 PIC16F877 单片机为主线，详细介绍其基本组成、工作原理及其应用技术。全书共分 12 章，内容包括 PIC 系列单片机的基本结构、存储器模块、集成开发环境和在线仿真、指令系统、I/O 端口、定时器、中断处理、A/D 转换、串行通信模式和综合训练等。

本书内容丰富，通俗易懂，实用性强，列举并分析了大量应用实例，可作为高等工科院校相关专业的本科教材，也可供从事单片机开发应用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

PIC 单片机原理及应用 / 李荣正，王诚杰，戴国银编
著. --4 版. --北京：北京航空航天大学出版社，
2010.11

ISBN 978-7-5124-0243-0

I. ①P… II. ①李… ②王… ③戴… III. ①单片微
型计算机 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 201237 号

版权所有，侵权必究。

PIC® 单片机原理及应用 (第 4 版)

李荣正 王诚杰 戴国银 编著
责任编辑 李 青 李冠咏 李徐心

*

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(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpresse@263.net 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:27 字数:605 千字

2010 年 11 月第 4 版 2010 年 11 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-0243-0 定价:42.00 元

版 权 声 明

本书引用以下资料已得到其版权所有者的授权。Microchip Technology Inc. (美国微芯科技公司) 的授权。

[1] Microchip Technical Library CD-ROM	DS00161P
[2] Microchip Technical Documentation Analog & interface Product Families CD-ROM	DS51205G
[3] Microchip 2005 Product Selector Guide	DS00148K1
[4] PIC16F87X EEPROM Memory Programming Specification	DS39025F
[5] PIC16F87X DATA SHEET	DS30292C
[6] 24LC515 512K 1 ² C™ CMOS Serial EEPROM	DS21673C
[7] 2002 PICmicro®基础技术研讨会	DS00841A

再版上述资料须经过其版权所有者的许可。Microchip Technology Inc. 的许可。
所有权保留。未得到该公司的书面许可, 不得再版或复制。

商 标 声 明

以下图案是 Microchip Technology Inc. 在美国及其他国家的注册商标:



以下文字是 Microchip Technology Inc. 的注册商标(状态:®):

Accuron, AmpLab, dsPIC, ENVOY, FilterLab, KEELog, KEELog Logo, Microchip Logo, Microchip Name and Logo, microID, MPLAB, MXDEV, MXLAB, PIC, PICmicro, PICMASTER, PICSTART, PowerSmart, PRO MATE, rfPIC, SEEVAL, SmartShunt, *The Embedded Control Solutions Company*

以下文字是 Microchip Technology Inc. 的商标(状态:TM):

Analog-for-the-Digital Age, Application Maestro, dsPIC(development tools only), dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, ICEPIC, ICSP or In-Circuit Serial Programming, Migratable Memory, MPASM, MPLAB Certified Logo, MPLIB, MPLINK, MPSIM, Now Design It, PICDEM, PICDEM.net, PICKit, PICLAB, PICtail, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, QuickASIC, rfLAB, rfPICDEM, Select Mode, Smart Seril, SmartTel, The Emerging World Standard, Total Endurance

以下文字是 Microchip Technology Inc. 的服务标记(状态:SM):

SQTP

以下所有其他商标的版权归各自公司所有:

PICC, PICC Lite, PICC-18, CWPIC, EWPIC

《PIC 单片机系列教程》

编 委 会

顾	问	阮家栋			
主	任	委	员	刘启中	
副	主	任	委	员	李荣正
				杨维坚	李建国
				陈学军	
				王 威	吴石伟
				王 伟	苏 力
				王诚杰	戴育良
				李 嘉	乐 侯
				侯国强	
委		员		王力生	任润柏
				张 文	高 飞
				杜 威	杨晓毓
				朱文立	戴国银
				丁 晨	郁君俊
				徐圣俊	徐卓越

《PIC 单片机系列教程》

出版说明

随着我国进入 WTO,不少行业对单片机应用的需求日益增加。为了推广和普及 PIC 单片机的基础知识,提高系统开发及应用能力,特别是适应高校专业改造和教学内容更新的需求,近年来,在美国 Microchip Technology Incorporated 公司(微芯科技公司,本书以后简称 Microchip 公司)卓有成效的推广之下,PIC 单片机已逐渐为国内从事单片机开发应用的工程技术人员所理解和应用。特别是不少高校已将这一部分内容作为电子及控制类专业的必修课程,51 单片机一统天下的局面已经被打破。

正是基于这样的原因,在 PIC 单片机教材还比较缺乏的情况下,作者深感有责任去繁荣这样一个可喜的端倪,在积累了长期教学经验,并在总结全国 PIC 单片机培训班教学体会的基础上,形成了一个系统的 PIC 单片机教学、实验和研究模式,将逐步推出一套(4 册)PIC 单片机系列教程,即:

- ◆《PIC 单片机原理及应用》;
- ◆《PIC 单片机习题与解答》;
- ◆《PIC 单片机实验教程》;
- ◆《PIC 单片机控制技术》。

本套教程作为“上海市教育委员会高校重点教材建设项目”,同时也是 Microchip 公司中国大学计划的一部分。其中《PIC 单片机原理及应用》已列入“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。对本套教程各册的简要内容及用途说明如下:

第一册——《PIC 单片机原理及应用》。以美国 Microchip 公司 PIC16F877 单片机为主线,详细介绍其基本组成、工作原理及应用技术。全书共分 12 章,内容包括:基本结构、存储器模块、集成开发环境和在线仿真、指令系统、I/O 端口、定时器、中断处理、A/D 转换、串行通信模式以及 PIC 单片机综合训练等。

第二册——《PIC 单片机习题与解答》。对第一册教材中的难点和重点通过习题分析的形式作了详细的说明,以帮助读者理解和掌握 PIC 单片机的基本概念。全书共分 3 部分,内容包括:选择习题、习题解答与分析以及综合训练习题与答案。本书各部分章节与第一册教材完全对应,精心组织了大量习题,融入了 PIC16F877 单片机所有的概念和分析内容。

第三册——《PIC 单片机实验教程》。以培养学生创新能力为宗旨,依托开放型实验,全面提高学生实践技能。全书共分两部分:第一部分,PIC 单片机全功能实验开发系统设计原理及应用指南,着重设计思想和操作说明,坚持面向对象式解决方案、开放型的实验思路,强调以

学生为主体,留有充分发挥和创新的余地;第二部分,与第一册教材配套设计了系列实验内容,从 PIC 单片机基本验证性实验到拓展性实验,包括键盘显示模块实验(LED、LCD 等)、同步串行通信实验(SPI、I²C)、输入信号捕捉/输出信号比较/脉宽调制 PWM 功能的实现、A/D 转换和 D/A 转换以及并机通信实验等内容。

第四册——《PIC 单片机控制技术》。以 PIC 单片机的实际应用为主线,结合系统控制方法,介绍建立现场解决方案的专业知识。主要内容包括:PIC 单片机与上位计算机通信模式研究、外部扩展模块分析、面向对象的现场控制方法、脉宽调制 PWM 功能的实际应用以及构建一个大型实验型控制项目。

《PIC 单片机系列教程》的出版,不论是对大学生,还是对有关工程技术人员及广大自学爱好者来说,无疑都是一个福音。该教程提供了一个比较全面的 PIC 单片机系统学习的选择方案。我们衷心希望本套单片机教程能帮助广大读者闯关过隘,取得就业和升学的主动权,同时也祝愿天下莘莘学子早日如愿以偿,前程万里。

《PIC 系列单片机教程》编委会

2006 年 9 月

序

21 世纪是全球科学技术飞速发展的时代,也是高等教育剧烈变革的年代。中国一直遵循科教兴国的根本战略,而高等学校则是国家先进生产力发展的生力军,是传播知识、开发高科技、培养专门人才的重要基地。教材作为知识的载体,是人才培养过程中传授知识、训练技能和发展智力的重要工具之一,也是学校教学、科研水平的重要反映,与高校能否培养出新时代的创新英才息息相关。

上海工程技术大学是一所集工程技术、经济管理、艺术设计等多学科于一体的高等学府,为中国培养了无数优秀的科技精英。而美国微芯科技公司(Microchip Technology Incorporated),作为一家致力于单片机市场发展的领导厂商,一直致力于通过与中国各大高校开展合作实验室和奖学金计划,挖掘和培养更多优秀的中国青年工程师,激励他们取得更优异的成绩。早在 2002 年,上海工程技术大学就与美国微芯科技公司合作成立了 PIC 单片机联合实验室,并已结出丰硕的成果,形成了一个比较贴近产业技术发展,具有较强特色,集 PIC 单片机教学、科研及应用开发为一体的团队,并成立了全国第一家由美国微芯科技公司授权的 PIC 单片机技术培训中心,先后出版了本科系列 PIC 单片机教材和教辅书共 4 本:《PIC 单片机原理及应用》、《PIC 单片机实验教程》、《PIC 单片机习题与解答》和《PIC 单片机初级教程》。

作为一名优秀的教育专家,为配合中国教育部制订的普通高等教育“十一五”国家级教材规划,李荣正教授结合多年的一线教学实践经验,潜心致力于高校教材的改革研究。我为李荣正教授渊博的学识和执著的敬业精神所感染和折服。悉闻李荣正教授的《PIC 单片机原理及应用(第 3 版)》一书将于 10 月底出版,深感欣慰。在此,谨代表美国微芯科技公司对新书的成功出版表示衷心的祝贺!

新书已获准作为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”,并被国内华中科技大学、同济大学、黑龙江大学和福州大学等 20 多个高校作为本科教材。拜读此书,获益匪浅!该书不仅体现了科学性、系统性和新颖性,同时反映了教学改革和课程建设的丰富经验和前沿成果,将成为教师传授知识和培养学生综合能力的最佳媒介。新教材的发布,无疑将在高校未来的电子工程教学中起到稳定教学秩序、保证教学质量、创新教学内容、主导教学方向的重要作用。

相信,新书的出版不仅将成为高教教材改革的典范,更将为中国的电子工程教育注入新鲜活力和强大动力!美国微芯科技公司也将一如既往地全力支持合作院校,为中国市场培养更多的本地化科技人才做出应有的贡献。

再次衷心地祝愿李荣正教授桃李满天下,学术传神州!



保罗·布拉德
大中华区副总裁
美国微芯科技公司
2006 年 9 月 5 日

第4版前言

美国 Microchip Technology Incorporated 公司(微芯科技公司,以下简称 Microchip 公司)生产的 PIC 系列单片机,为从事单片机开发应用的工程技术人员展示了全新的技术内容,为广大用户提供了一种可靠的选择方案。PIC 系列单片机以其独特的优势、完整的系列产品,多年来在国外得到广泛的应用,特别是在仪器仪表行业更显示出其独特的魅力。近年来,在 Microchip 公司的努力推广下,PIC 单片机已逐渐为国内从事单片机开发应用的工程技术人员所理解和应用。我们也正是基于这样的原因,深感有责任为推动 PIC 产品在国内的广泛应用贡献绵薄之力。

PIC 系列单片机的硬件系统设计简洁,指令系统设计精炼。在所有的单片机品种中,PIC 单片机具有性能完善、功能强大、学习容易、开发应用方便以及人机界面友好等突出优点。学好 PIC 单片机,掌握其核心技术内涵和拓展其应用范围,将具有划时代的意义。

本书是在作者积累长期教学经验,并总结全国 PIC 单片机培训班教学体会的基础上形成的。本书以美国 Microchip 公司的 PIC16F877 单片机为主线,详细介绍其基本组成、工作原理及其应用技术。书中内容由浅入深,循序渐进,通过大量例题分析和讲解,让读者能够深刻领会 PIC 单片机的精髓。

全书共分 12 章。

第 1 章: PIC 单片机组成结构。主要讨论 PIC 系列单片机的基本结构及内部组成模块。

第 2 章: PIC 单片机存储器。从 PIC16F877 单片机配置的三大存储器模块作为切入点,对地址寻址方式和存储器结构分布类型进行分析。

第 3 章: PIC 集成开发系统。分析 PIC 单片机软件工作平台 ICD2 集成开发环境及使用方法。

第 4 章: PIC 指令系统。从操作码类别的角度着手对指令集系统进行分析 and 说明。

第 5 章: 汇编语言程序设计。介绍指令的构造方式,系统伪指令以及常用子程序的设计技巧。

第 6 章: I/O 端口。讨论 I/O 端口的基本功能,并对其内部结构及初始化设置进行说明,同时列举了很多应用实例。

第 7 章: 定时器/计数器。重点讨论内部 3 个定时器/计数器结构、配置情况以及工作方式。

第 8 章: 中断系统。主要涉及中断源分析及中断服务程序的处理过程。

第 9 章: 串行通信方式及通用接收发送器模块。介绍主同步串行通信 SPI、I²C 模式及异步/同步串行通信 USART 模式。

第 10 章: CCP 捕捉/比较/脉宽调制。两个 CCP 模块与 TMR1、TMR2 配合,可实现捕捉外部输入脉冲,输出不同宽度的脉冲信号及输出脉冲宽度 PWM 调整。

第 11 章: A/D 转换器。介绍 10 位 A/D 转换器的工作原理及其应用。

第 12 章: PIC 单片机综合训练。基于 PIC 单片机 SPI 通信方式构建单片机网络化信息交互平台和基于密码保护 LCD 时钟显示。

本书自 2006 年被教育部评选为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”以来,得到许多

重点高校教师的厚爱,本次第4版就是在第3版的基础上,听取了使用本书教授们的建议和良言,对所采用的集成开发环境进行了调整,以介绍 MPLAB ICD 2 为主。另外,对第3版书中的应用范例给予了较大篇幅的调整,特别是新增了综合训练,介绍两个大型的应用实例。作者的目的是为了使本书更加实用,便于教学以及学生自学。

本书内容丰富而实用,通俗而流畅,可作为高等工科院校相关专业的本科教材,也可供从事单片机开发应用的工程技术人员参考。

在本书的编写过程中,荣幸地得到了 Microchip 公司、贝能科技有限公司总经理杨维坚先生和市场部副总经理王开伟先生以及北京航空航天大学出版社的大力支持。

作者写书的灵感来自于长期的实践,特别是本书是与荣获美国 Microchip 公司“2003 年中国区最佳代理商”贝能科技有限公司([www. Burnon. com](http://www.Burnon.com))、国内最大示波器生产企业江苏绿扬电子仪器集团有限公司(www. lvyang. com)和仪器仪表生产企业上海思锐电子仪器有限公司(www. sirui-elec. com)等广泛交流和多方位合作的产物。他们为我们的科研开发和实验教学提供了良好的平台和无私帮助。

上海交通大学朱仲英教授、黑龙江大学石广范教授以及上海工程技术大学程武山教授审阅了本教材的初稿,并提出了许多宝贵建议和修改方案。

在此,借本书出版之际,对有关的人员和单位表示衷心的感谢!

本书由李荣正、王诚杰、戴国银主编。参加编写的还有王威、王力生、王伟、苏力、戴育良、侯国强、郁君俊、徐卓越、丁晨、杨晓毓、陈文杰、黄烨晨、杜威、秦侃、徐圣俊、梁湧、曹志刚和谢露艳等。李嘉乐同学承担了书中部分应用实例程序的编写和调试,李荣正负责全书的策划和书稿的主审工作。

作者真诚地希望把正确、无误的前沿作品奉献给每一位读者,但由于学识所限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

- 本教材配套有《PIC 单片机实验教程》一书,并备有硬件实验开发系统。该实验装置全面考虑学生的动手实践环节,给学生以充分发挥和创新的余地。其特色是:硬件设备配置较全,组合灵活方便。该实验装置已获国家专利授权,由我们与江苏绿扬电子仪器集团有限公司合作研制。该公司已于 2005 年初推出了“模块式开放型 PIC 单片机实验系统”。凡需要该实验系统的读者,请与作者联系。
- 本教材配套有免费 PPT 电子教学课件。凡需要教学课件的教师,请与作者或北京航空航天大学出版社联系。

作者 E-mail: lrz_2008@126.com

北京航空航天大学出版社联系方式:

通信地址:北京市海淀区学院路 37 号北京航空航天大学出版社市场部

邮编:100191

电话/传真:010-82317027

E-mail: bhkejian@126.com

李荣正

2010 年 9 月

目 录

第1章 PIC 单片机组成结构	1
1.1 嵌入式微控制器系统	1
1.1.1 单片机系统	2
1.1.2 PIC 系列单片机	2
1.2 PIC 系列单片机概述	3
1.2.1 PIC 系列单片机特点	3
1.2.2 PIC16F877 单片机的结构	6
1.2.3 PIC16F877 单片机的引脚	11
1.3 存储器概述	13
1.3.1 程序存储器	13
1.3.2 数据存储器	14
测试题	15
第2章 PIC 单片机存储器	17
2.1 存储器分类	17
2.2 程序存储器构架	17
2.3 数据存储器构架	19
2.3.1 通用寄存器	21
2.3.2 特殊功能寄存器	22
2.4 失电保护数据存储器构架	26
2.4.1 向 E ² PROM 数据存储器写数据	27
2.4.2 从 E ² PROM 数据存储器读数据	29
测试题	31
第3章 PIC 集成开发系统	33
3.1 MPLAB IDE 软件工具	33
3.1.1 MPLAB 的安装	33
3.1.2 MPLAB 界面介绍	35
3.1.3 MPLAB 的组成	37
3.1.4 器件连接及系统配置	38
3.2 MPLAB ICD 2 概述	40
3.2.1 MPLAB ICD 2 基本功能	40
3.2.2 MPLAB ICD 2 工作方式	40
3.2.3 MPLAB ICD 2 模块接口连接	41
3.3 创建源程序	42
3.3.1 建立源程序文件	42
3.3.2 建立项目	43
3.3.3 编译项目文件	48
3.3.4 源程序编写要素	51

3.4 程序调试及运行	54
3.4.1 运行模拟器	54
3.4.2 在线程序调试	55
3.4.3 脱机程序运行	60
3.4.4 基本调试功能	61
测试题	66
第4章 PIC 指令系统	69
4.1 指令流水线操作原则	69
4.2 指令集说明	70
4.2.1 数据传送类指令	71
4.2.2 算术运算类指令	74
4.2.3 逻辑运算类指令	75
4.2.4 控制转移类指令	79
测试题	88
第5章 汇编语言程序设计	91
5.1 汇编语言指令格式	91
5.2 系统伪指令	93
5.3 存储器选择方式	99
5.3.1 数据存储器体选方式	99
5.3.2 程序存储器页选方式	101
5.4 常用子程序的设计	107
5.4.1 跳转和循环子程序	107
5.4.2 软件延时子程序	109
5.4.3 数据查表子程序	111
5.4.4 分支功能跳转子程序	117
5.4.5 常用数学运算类子程序	117
测试题	130
第6章 I/O 端口	134
6.1 I/O 端口功能的通用结构	134
6.1.1 设置端口的输入/输出状态	134
6.1.2 查询端口的输入/输出状态	136
6.1.3 从端口输入数据	136
6.1.4 从端口输出数据	136
6.1.5 I/O 端口分析	137
6.2 I/O 端口寄存器及其初始化	141
6.3 基本输入/输出应用实例	143
测试题	168
第7章 定时器/计数器	170
7.1 定时器/计数器 TMR0	170

7.1.1 TMR0 模块的功能和特性	171
7.1.2 与定时器/计数器 TMR0 模块相关的寄存器	171
7.1.3 定时器/计数器 TMR0 模块的电路结构和工作原理	173
7.1.4 定时器/计数器 TMR0 模块的应用实例	175
7.2 看门狗定时器 WDT	181
7.3 定时器/计数器 TMR1	183
7.3.1 TMR1 模块的功能和特性	183
7.3.2 与定时器/计数器 TMR1 模块相关的寄存器	184
7.3.3 TMR1 模块的电路结构和工作原理	185
7.4 定时器 TMR2	197
7.4.1 TMR2 模块的功能和特性	197
7.4.2 与定时器 TMR2 模块相关的寄存器	198
7.4.3 TMR2 模块的电路结构和工作原理	199
测试题	205
第 8 章 中断系统	207
8.1 中断的概念和机理	207
8.2 PIC16F877 单片机的中断	208
8.3 中断服务程序的设计	209
8.4 与中断相关的寄存器	210
8.5 中断响应和处理	214
8.5.1 中断信号的实时检测和延时响应	214
8.5.2 中断现场处理	215
测试题	219
第 9 章 串行通信方式	221
9.1 SPI 串行通信模块	221
9.1.1 与 SPI 模式相关的寄存器	222
9.1.2 SPI 模式工作原理	226
9.1.3 SPI 串行通信应用	227
9.2 I ² C 串行通信模块	256
9.2.1 I ² C 串行通信模式	256
9.2.2 与 I ² C 总线模式相关的寄存器	259
9.2.3 I ² C 主控工作方式	264
9.2.4 I ² C 从动工作方式	265
9.2.5 I ² C 串行通信应用	265
9.3 USART 串行通信模块	276
9.3.1 与 USART 模块相关的寄存器	276
9.3.2 USART 波特率发生器	280
9.3.3 USART 异步通信模式	281
9.3.4 USART 同步通信模式	284

9.3.5 USART 串行通信应用	285
测试题	310
第10章 CCP 捕捉/比较/脉宽调制	313
10.1 CCP 模块功能分析	313
10.1.1 CCP 模块基本功能	313
10.1.2 CCP 模块寄存器介绍	314
10.2 捕捉功能模式	315
10.2.1 捕捉方式工作原理	315
10.2.2 与捕捉方式相关的寄存器	316
10.2.3 CCP1 捕捉方式的应用	317
10.3 比较功能模式	328
10.3.1 比较方式工作原理	328
10.3.2 与比较方式相关的寄存器	329
10.3.3 CCP1 比较方式的应用	329
10.4 脉宽调制功能	330
10.4.1 脉宽调制方式工作原理	331
10.4.2 与脉宽调制方式相关的寄存器	332
10.4.3 CCP1 脉宽调制方式的应用	334
测试题	343
第11章 A/D 转换器	346
11.1 模块结构和操作原理	346
11.1.1 A/D 转换原理	346
11.1.2 A/D 转换器主要技术指标	347
11.1.3 A/D 模块结构	348
11.2 与 A/D 转换器模块相关的寄存器	348
11.3 A/D 转换器模块的应用	352
测试题	362
第12章 PIC 单片机综合训练	365
12.1 构建单片机网络化信息交互平台	365
12.1.1 综合训练基本情况分析	365
12.1.2 信息交互的协议规则及分析	367
12.1.3 综合训练参考程序及说明	369
12.2 基于密码保护 LCD 时钟显示	387
12.2.1 综合训练基本情况分析	387
12.2.2 密码保护分析	389
12.2.3 综合训练参考程序及说明	390
附录 测试选择题参考答案	416
参考文献	418

第1章 PIC 单片机组成结构

单片机是在一块芯片上集成了中央处理单元、数据存储器、程序存储器、输入/输出和定时器/计数器等部件的一台小型计算机。随着芯片集成度的提高,单片机的功能得以迅速地扩充,特别是 PIC(Periphery Interface Chip)单片机,增加了许多强大的外围功能模块,从而给用户带来极大的便利。

本书重点讨论 PIC16F87X 系列单片机,各章若无特殊说明,所述“单片机”一般指 PIC16F87X 系列单片机。PIC16F87X 系列单片机包括 PIC16F870、PIC16F871、PIC16F872、PIC16F873、PIC16F874、PIC16F876 和 PIC16F877 等型号。其中 PIC16F877 单片机具有一定的代表性,基本囊括本系列单片机的全部功能。其他 PIC16F87X 系列单片机都是在 PIC16F877 的基础之上,部分简化或功能缩简而得来的,它们之间的差别很小。为便于分析说明,本书主要介绍 PIC16F877 单片机。

1.1 嵌入式微控制器系统

在计算机的发展历史上,运算和控制一直是计算机功能实施的两条主线。其角色的转换也常常困扰着人们的认识思路 and 研发目标。这是一对矛盾,对于不同的课题或截然不同的两个应用方面,用相同的价值去衡量显然是不合适的。在 20 世纪 70 年代,半导体微电子专家为了绕开这个矛盾,深有远虑地另辟蹊径,按照嵌入式微控制器系统的发展思路,将一个微型计算机的核心部件集成在一个芯片上,这就形成了最早的单片机(single chip microcomputer)。必须指出,当第一台小型嵌入式控制器件形成以后,计算机便真正开始相互独立地沿着两个完全不同的方向发展,使得具有不同用途、不同价格和不同技术内涵的计算机被充实到人们的日常生活中。其中一个方向是以 PC 机为核心的群体为代表,承担高速、海量技术数据的处理和分析,一般以计算能力(即运算速度)为重要标志,形成一个独立的应用及发展空间;而另一个方向则以嵌入式独立系统为技术理念,主要与控制对象耦合,能与控制对象互动和实时控制。嵌入式系统以成本低、体积小、可靠性高、功能强等优点脱颖而出,极大地丰富了该项研究领域的内涵。同时,随着微电子技术的迅速发展,嵌入式系统为单片机的发展提供了广阔的空间,从单一的控制思想到多功能组合设计,特别是增加了许多外围功能性模块。

面对全球“残酷”的计算机竞争市场,各微电子系统制造商集中各路大规模集成电路设计

的精英,努力为单片机嵌入更多、更强的功能。在研究中,针对单片机的缺陷,相继开发出具有强大计算功能的数字信号处理器(DSP)等芯片,特别是 ARM 核心技术以及多任务操作系统的移植和应用,从而使单片机原本已走到技术尽头的状况又得以扭转,嵌入式微控制器系统真正迎来了一个具有很大潜力的发展空间。对计算机的发展过程及其应用在这里暂不做讨论,本书主要就单片机展开分析。

1.1.1 单片机系统

单片机的发展过程及其性能的日益完善,实际上是对传统控制技术的一场革命,开创了微控技术的新天地。现代控制理念的核心内涵就是嵌入式计算机应用系统,通过不断提高控制功能和拓展外围接口功能,使单片机成为最典型、最广泛、最普及的嵌入式微型控制系统(MCU——MicroController Unit)。单片机拥有计算机的基本核心部件,将其嵌入到电子系统中,可以满足控制对象要求,实现嵌入到非计算机产品中应用的计算机系统,从而为电子系统高级智能化奠定了基础。它的实现方式要比模拟控制思想简洁和方便得多。同时,可以跨越式地实现对外部模拟量的高速采集、逻辑分析处理和对目标对象的智能控制。

近 30 多年来,计算机得到了前所未有的发展,从航空、航天军事专用到走入千家万户,成为人们生活的必须品。而同样具有计算机的一般功能,价格低廉的单片机应运而生,并且正在不断改变人们的生活方式。嵌入式系统源于计算机的嵌入式应用。早期的嵌入式系统的概念就是将通用计算机经过适应性配制后嵌入到各种实际应用系统中,如轮船的自动驾驶仪和飞机的导航仪等系统。与计算机相比,单片机的优势是显而易见的,尤其是现在单片机应用已渗入到各个领域,完全不能按照原有嵌入式的思路去理解和应用。例如,对于一个家用的电子产品(智能电饭煲、模糊智能洗衣机和手机等),利用 PC 机控制几乎是不可能的,几十元或几百元的电子产品要求配套一台几千元的电脑,这不成为笑话。单片机是芯片级的小型计算机系统,可以嵌入到任何应用对象系统中,实现以智能化为主要的控制目的。同时,单片机的应用领域随着其功能化外沿的不断拓展而日益广泛,已渗入到现场控制、电信手机、家用电器、仪表仪器、汽车电气和电子玩具等领域的智能化控制和管理方面。在 2007 年第 8 届全国大学生电子设计大赛中,有一个智能化小车系统的设计,就是采用 PIC 单片机嵌入到小车的整体设计方案,曾荣获上海赛区一等奖的好成绩。

目前,各个单片机生产厂家已不再满足于 8 位单片机的竞争,相继推出了 16 位和 32 位单片机,但 8 位单片机仍有相当大的市场需求。近年来,美国 Microchip 和 Freescale(原 Motorola 公司办导体部)两家公司,仍占据着世界 8 位单片机产量最高的前两个芯片制造商的地位。

1.1.2 PIC 系列单片机

PIC 系列单片机是美国 Microchip 公司生产的单片机系列产品的标志产品。它从 15 年以前的默默无闻到今天跃居全世界 8 位单片机销量第一,是与其过硬的技术支持和系统内核

的设计完善不无关系。PIC 系列单片机可以满足用户的各种需要。可以从中档产品 PIC16F877 单片机作为切入点,掌握非常完备、易学易用的 MPLAB - IDE 集成开发环境。特别是对于单片机入门者来说,仿佛从茫然迷惑的大海搭上一艘便捷平稳的小船,会感到非常轻松自如。

此外, Microchip 公司已推出几十款数字信号控制器(简称 dsPIC)。它既是一款 16 位单片机,具有单片机丰富的周边资源;同时又在其内部嵌入了 DSP 引擎,具有 DSP 的高速运算功能。这更为人们学好 PIC 单片机,拥有一个强大的 SOC 系统,提供了长远的信心支持。

单片机的降临,主要是源于其性能价格比。一般单片机主要用于控制,而对于计算功能却要求不高,只要能按照一定的程序进行在线检测和实时控制即可。例如,一台简单的温度测试仪,由于它对数据采集和控制的要求并不是很高,因此可以利用 PIC 系列单片机产品的多样性,选择一款较低档次的 PIC16C54 单片机即可满足控制和检测的要求。只花几元钱就可以轻松拥有一个智能核心控件,这就是 PIC 系列单片机的优势。我们的教学重点为什么转向 PIC 单片机,这也许就不言而喻了。

学习单片机的原理,掌握其核心技术内涵和拓展应用范围,将具有划时代的意义。本书将致力于这方面的研究,为广大读者提供一个学习的平台,架起通往 PIC 单片机的桥梁。本书将采用美国 Microchip 公司生产的中档产品 PIC16F877 单片机作为解剖和分析对象,借助于 MPLAB - IDE 集成开发环境,将读者引入一个色彩斑斓的单片机世界。

为什么把 PIC 系列单片机列入重点研究的对象呢?在综合评估各类单片机的性能及应用情况后,我们不得不把工作重点转到具有良好潜质的 PIC 单片机上。PIC 系列单片机的硬件系统设计简洁,指令系统设计精炼。在所有的单片机品种中,PIC 单片机具有性能完善,功能强大,学习容易,开发应用方便和人机界面友好等突出优点。PIC 单片机已经成为初学单片机人员的首选,因此,没有理由不引导学生去接受和面对一个很有发展空间的领域。

1.2 PIC 系列单片机概述

PIC 系列单片机是美国 Microchip 公司生产的产品。它以独特的硬件系统和指令系统的设计,逐渐被广大工程设计人员采用。特别对于单片机新手,更能充分感受到 PIC 单片机所具有的性能完善,功能强大,学习容易,开发应用方便,人机界面友好等突出优点。

1.2.1 PIC 系列单片机特点

Microchip 公司是一家集开发、研制和生产为一体的专业单片机芯片制造商,其产品综合应用系统设计的思路,具有很强的技术特色。PIC 单片机采用全新的流水线结构、单字节指令体系、嵌入 Flash 以及 10 位 A/D 转换器,具有卓越的性能,代表着单片机发展新的潮流。PIC 系列单片机具有高、中、低 3 个档次,可以满足不同用户开发的需要,适合在各个领域中