

新版

21世纪

高职高专系列教材

PIC单片机 开发与应用

◎陈国先 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书系统地介绍了 PIC 单片机的开发与应用,包括 PIC 单片机的硬件构成、指令系统、汇编语言程序设计;PIC 单片机的应用系统开发工具及开发过程;PIC 单片机的基本输入输出端口、定时器/计数器、中断系统、A/D 转换、通信系统、存储器、CCP 系统等应用,以及 PIC 单片机的接口综合应用。

本书内容循序渐进、系统完整,并强调学用结合,书后还附有 12 个实用的实例,基本覆盖了 PIC 单片机的所有功能。

本书可作为高职高专院校师生的教材,还可供电子制作爱好者、电子产品开发者,以及工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

PIC 单片机开发与应用/陈国先主编. —北京:机械工业出版社,2004.7

(21 世纪高职高专系列教材)

ISBN 7-111-14760-X

I. P... II. 陈... III. 单片微型计算机, PIC 系列—高等学校:技术学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 060217 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策 划: 胡毓坚

责任编辑: 李馨馨

责任印制: 施 红

煤炭工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·16.5 印张·407 千字

0 001—5000 册

定价: 23.00 元

凡购本图书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话:(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专 计算机专业系列教材编委会成员名单

主 任 周智文

副主任 周岳山 詹红军 林 东 王协瑞
赵佩华 陈付贵 吕何新 朱连庆

委 员 (按姓氏笔画排序)

马 伟 马林艺 卫振林 于恩普
王养森 王 泰 王德年 刘瑞新
余先锋 陈丽敏 汪赵强 姜国忠
赵国玲 赵增敏 陶书中 顾可民
顾 伟 陶 洪 龚小勇 眭碧霞
曹 毅 谢 川 鲁 辉 翟社平

秘书长 胡毓坚

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国 40 余所院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了修订工作。

在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价。因此,在修订过程中,各编委会保持了第 1 版教材“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。同时,针对教育部提出的高等职业教育的学制将由三年逐步过渡为两年,以及强调以能力培养为主的精神,制定出了本次教材修订的原则:跟上我国信息产业飞速发展的节拍,适应信息行业相关岗位群对第一线技术应用型操作人员能力的要求,针对两年制兼顾三年制,理论以“必须、够用”为原则,增加实训的比重,并且制作了内容丰富而且实用的电子教案,实现了教材的立体化。

针对课程的不同性质,修订过程中采取了不同的处理办法。核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。此外,在修订过程中,还进行了将几门课程整合在一起的尝试。所有这些都充分地体现了修订版教材求真务实、循序渐进和勇于创新的精神。在修订现有教材的同时,为了顺应高职高专教学改革的不深入,以及新技术新工艺的不断涌现和发展,机械工业出版社及教材编委会在对高职高专院校的专业设置和课程设置进行了深入的研究后,还准备出版一批适应社会发展的急需教材。

信息技术以前所未有的速度飞快地向前发展,信息技术已经成为经济发展的关键手段,作为与之相关的教材要抓住发展的机遇,找准自身的定位,形成鲜明的特色,夯实人才培养的基础。为此,担任本系列教材修订任务的广大教师努力将最新的教学实践经验融于教材的编写,并以可贵的探索精神推进本系列教材的更新。由于高职高专教育处在不断的发展中,加之我们的水平和经验有限,在教材的编审中难免出现问题和错误,恳请使用这套教材的师生提出宝贵的意见和建议,以利我们今后不断改进,为我国的高职高专教育事业作出积极的贡献。

机械工业出版社

前 言

美国 Microchip 公司的 PIC 单片机总线结构采取数据总线和指令总线分离独立的哈佛结构,具有很高的流水处理速度。它的精简指令集结构(RISC)基本上使所有的指令都是单字节,PIC 单片机具有高速度、低电压、低功耗、强大驱动能力、体积小等特点。

PIC16F87XA 系列单片机是第二代具有 Flash 程序存储器的产品,并且内置 ICD 功能,支持在线串行编程,同时也与其他 PIC 型号的单片机保持良好的兼容性。PIC16F87XA 单片机可以用成本比较低的开发工具来开发学习 PIC 单片机。所以本书用 PIC 系列单片机中最有代表性的型号 PIC16F87XA 作为主线进行介绍。

全书有 12 章。第 1 章 PIC 单片机开发与应用概述,介绍了单片机的发展、类型、应用以及 PIC 单片机的开发与特点。第 2 章 PIC 单片机的开发基础,介绍了 PIC 单片机的硬件系统、指令系统以及 PIC 单片机的汇编程序设计。第 3 章 PIC 单片机的应用系统开发工具,介绍了 MPLAB-ICD 在线调试器的硬件构成、软件操作以及在线调试方法。第 4 章 PIC 单片机系统开发过程,介绍了 PIC 系统开发的总体设计、硬件设计、软件设计和系统调试方法。第 5 章 PIC 单片机的基本输入/输出端口的应用,主要介绍基本输入/输出端口的内部结构、功能及其应用。第 6 章 PIC 单片机的定时器/计数器的应用,主要介绍了定时器/计数器(TMR0/TMR1/TMR2)的内部结构、相关寄存器以及三个定时器/计数器的应用实例。第 7 章 PIC 单片机的中断系统的应用,主要介绍了中断系统的内部结构、相关寄存器以及不同中断系统的应用实例。第 8 章 PIC 单片机的 A/D 转换的应用,主要介绍了 A/D 转换的内部结构、相关寄存器以及 A/D 转换的应用实例。第 9 章 PIC 单片机的通信系统的应用,主要介绍了通信系统内部结构、相关寄存器以及通信系统的应用实例。第 10 章 PIC 单片机的 EEPROM 和 Flash,主要介绍了 EEPROM 和 Flash 内部结构、相关寄存器、以及 EEPROM 和 Flash 的应用实例。第 11 章 PIC 单片机的 CCP 系统的应用,主要介绍了 CCP 系统内部结构、相关寄存器以及 CCP 系统的应用实例。第 12 章 PIC 单片机的接口综合应用,主要介绍了 PIC 单片机综合应用的系统组成、硬件电路,程序框图以及源程序。每章都有思考与练习题,本书的附录中还有 12 个实用的实验。各章的应用实例、实验和综合应用,基本上覆盖了 PIC 单片机的所有功能并均通过测试。

本书内容丰富、系统完整,学用结合,将 PIC 单片机的基本原理、开发过程以及实际应用结合起来,兼顾了深度和广度,兼顾了初学者和具有一定单片机知识的读者。

本书由陈国先主编,朱铭、赵湘纹参加编写,全书由陈国先统稿,林东审稿。福州高奇晶圆电子科技有限公司提供了部分资料和教学实验设备。机械工业出版社对本书的出版给予了极大的关心和支持,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中难免出现缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编者

2004 年 6 月于福州

目 录

出版说明

前言

第1章 PIC单片机开发与应用概述 1

1.1 单片机的发展、类型、应用 1

1.1.1 单片机的发展 1

1.1.2 单片机的类型 2

1.1.3 单片机的应用 3

1.2 PIC单片机的开发与特点 4

1.2.1 PIC单片机的开发工具 4

1.2.2 PIC单片机的特点 5

1.3 本章小结 9

1.4 思考与练习 9

第2章 PIC单片机的开发基础 10

2.1 PIC单片机的硬件系统 10

2.1.1 核心区域 10

2.1.2 封装形式和引脚功能 14

2.1.3 程序存储器和堆栈 18

2.1.4 RAM数据存储器 19

2.1.5 I/O端口 27

2.1.6 系统时钟 29

2.1.7 复位电路 30

2.1.8 监视定时器 WDT 31

2.2 PIC单片机的指令系统 32

2.2.1 指令时序 32

2.2.2 指令系统分类 32

2.2.3 寻址方式 33

2.2.4 数据传送类指令 33

2.2.5 算术操作类指令 35

2.2.6 逻辑操作类指令 38

2.2.7 控制转移类指令 41

2.2.8 位操作类指令 43

2.3 PIC单片机汇编语言程序设计 44

2.3.1 汇编语言的程序格式 44

2.3.2 常用伪指令 45

2.3.3 程序流程图 47

2.3.4 顺序程序结构 47

2.3.5 分支程序结构 48

2.3.6 循环程序结构 49

2.3.7 子程序结构 50

2.3.8 查表程序结构 51

2.4 本章小结 51

2.5 思考与练习 51

第3章 PIC单片机的应用系统

开发工具 54

3.1 概述 54

3.2 MPLAB-ICD的硬件构成 55

3.2.1 MPLAB-ICD模块 55

3.2.2 MPLAB-ICD仿真头 56

3.2.3 MPLAB-ICD教学实验板 56

3.2.4 开发工具的硬件安装 59

3.3 MPLAB集成开发环境 60

3.3.1 MPLAB的界面 61

3.3.2 创建项目 62

3.3.3 新建和汇编源文件 65

3.4 MPLAB-ICD在线调试 68

3.4.1 建立MPLAB-ICD与微机 之间的通信 68

3.4.2 MPLAB-ICD的设置 69

3.4.3 在线调试 73

3.5 本章小结 76

3.6 思考与练习 77

第4章 PIC单片机系统开发过程 78

4.1 总体设计 78

4.2 硬件设计 78

4.3 软件设计 79

4.4 系统调试 81

4.4.1 软硬件调试全过程 81

4.4.2 常用的调试方法 83

4.5 本章小结 87

4.6 思考与练习 87

第5章 PIC 单片机的基本输入/输出		6.7 定时器/计数器的应用(三)	117
端口的应用	88	6.7.1 实现功能要求	117
5.1 概述	88	6.7.2 软件主要设计思路	117
5.2 基本输入/输出端口的内部结构	88	6.7.3 程序清单	117
5.2.1 基本输入/输出端口的相关寄存器	88	6.8 本章小结	119
5.2.2 基本输入/输出端口的基本结构	89	6.9 思考与练习	120
5.3 基本输入/输出端口功能的应用	97	第7章 PIC 单片机的中断系统的应用	121
5.3.1 实现功能要求	97	7.1 概述	121
5.3.2 软件主要设计思路	97	7.1.1 中断源	121
5.3.3 程序清单	99	7.1.2 中断的逻辑控制	122
5.4 本章小结	100	7.1.3 中断处理过程	122
5.5 思考与练习	100	7.2 中断相关的寄存器	124
第6章 PIC 单片机的定时器/计数器的应用	102	7.3 中断功能的应用(一)	129
6.1 定时器/计数器概述	102	7.3.1 实现功能要求	129
6.2 定时器/计数器 0(TMR0)	102	7.3.2 软件主要设计思路	129
6.2.1 定时器/计数器 TMR0 的结构	102	7.3.3 程序清单	129
6.2.2 定时器/计数器 TMR0 相关的寄存器	104	7.4 中断功能的应用(二)	133
6.3 定时器/计数器 1(TMR1)	105	7.4.1 实现功能要求	133
6.3.1 定时器/计数器 TMR1 的结构	105	7.4.2 软件主要设计思路	133
6.3.2 定时器/计数器 TMR1 相关的寄存器	108	7.4.3 程序清单	134
6.4 定时器/计数器 2(TMR2)	109	7.5 本章小结	135
6.4.1 定时器/计数器 TMR2 的结构	109	7.6 思考与练习	135
6.4.2 定时器/计数器 TMR2 相关的寄存器	111	第8章 PIC 单片机的 A/D 转换的应用	136
6.5 定时器/计数器的应用(一)	112	8.1 概述	136
6.5.1 实现功能要求	112	8.2 A/D 转换相关的寄存器	138
6.5.2 软件主要设计思路	112	8.3 A/D 转换的应用	140
6.5.3 程序清单	113	8.3.1 实现功能要求	140
6.6 定时器/计数器的应用(二)	115	8.3.2 软件主要设计思路	141
6.6.1 实现功能要求	115	8.3.3 程序清单	141
6.6.2 软件主要设计思路	115	8.4 本章小结	144
6.6.3 程序清单	116	8.5 思考与练习	144
		第9章 PIC 单片机的通信系统的应用	146
		9.1 概述	146
		9.1.1 串行通信的基本方式	146
		9.1.2 串行通信的数据传送方向	146
		9.1.3 串行通信的控制方式	147

9.1.4 串行通信的校验	147	11.1.2 输入捕捉模式的电路结构和 工作原理	191
9.2 通用同步/异步收发器 USART	148	11.2 输出比较工作模式	192
9.2.1 USART 相关的寄存器	148	11.2.1 输出比较工作模式相关的 寄存器	193
9.2.2 USART 波特率发生器	151	11.2.2 输出比较模式的电路结构 和工作原理	193
9.2.3 USART 的异步工作方式	151	11.3 脉宽调制(PWM)输出工作 模式	194
9.2.4 USART 同步主控工作方式	155	11.3.1 脉宽调制模式相关的寄存器 ...	194
9.2.5 USART 同步从动工作方式	158	11.3.2 脉宽调制模式的电路结构 和工作原理	196
9.3 同步串行接口 SPI	159	11.4 CCP 系统的应用	199
9.3.1 SPI 接口相关的寄存器	160	11.4.1 实现功能要求	199
9.3.2 SPI 接口的工作原理	162	11.4.2 软件主要设计思路	199
9.4 同步串行接口 I ² C	164	11.4.3 程序清单	200
9.4.1 I ² C 接口相关寄存器	165	11.5 本章小结	201
9.4.2 I ² C 的工作方式	169	11.6 思考与练习	201
9.4.3 I ² C 从模式通信方式	169	第 12 章 PIC 单片机的接口综合应用 ——自动电子打铃系统	202
9.4.4 I ² C 主控模式通信方式	172	12.1 系统功能要求	202
9.5 通信系统的应用	175	12.2 系统组成与硬件电路	203
9.5.1 实现功能要求	175	12.3 程序设计	203
9.5.2 软件主要设计思想	175	12.4 本章小结	218
9.5.3 程序清单	175	12.5 思考与练习	218
9.6 本章小结	177	附录 实验	220
9.7 思考与练习	177	实验 A PIC 系列单片机的开发工具 的使用——MPLAB-ICD 在 线调试器	220
第 10 章 PIC 单片机的 EEPROM 和 Flash	179	实验 B PIC 系列单片机输出端口 的实验——循环流水灯控 制器	223
10.1 概述	179	实验 C PIC 单片机输入端口的实 验——智能延时灯	225
10.2 片内 EEPROM 和 Flash 存储 器相关的寄存器	180	实验 D 带 1 位 LED 数码管显示的 计数器	226
10.3 片内 EEPROM 数据存储器的 操作	183	实验 E 4 位 LED 数码管动态显示 ...	229
10.3.1 从 EEPROM 中读取数据	183	实验 F 定时/计数器 TMR0 的应 用——流水广告灯	231
10.3.2 向 EEPROM 中烧写数据	183		
10.4 片内 Flash 程序存储器操作 ...	185		
10.5 本章小结	187		
10.6 思考与练习	188		
第 11 章 PIC 单片机的 CCP 系统的 应用	189		
11.1 输入捕捉工作模式	189		
11.1.1 输入捕捉模式和比较器相关的 寄存器	189		

实验 G	定时/计数器 TMR1 的应用——电子钟 1 秒时间基准的产生	234	实验 K	CCP 模块输入捕捉的应用——简易的方波信号频率(周期)测量仪	244
实验 H	INT 外部中断的应用——系统电源断电检测器	235	实验 L	CCP 模块 PWM 模式的应用——小型直流有刷电动机的控制	250
实验 I	文字型 LCD 模块的应用	237			
实验 J	ADC 模块的应用——LCD				
				背光的控制	242

第 1 章 PIC 单片机开发与应用概述

1.1 单片机的发展、类型、应用

1.1.1 单片机的发展

单片机是单片微型计算机(Single-Chip Microcomputer)的简称,是在一块硅片上集成了 CPU、RAM、ROM、定时器/计数器、中断和多种 I/O 端口的完整的数字处理系统。

随着大规模集成电路(LSI)制造技术的飞速发展,单片机的功能日益完善,以满足各个领域各种复杂的现场控制。

在 1975 年,德克萨斯仪器公司发明的世界上第一个 4 位单片机 TM-1000 诞生后,一些大型微电子公司竞相研制开发了各种单片机系列产品。以字长划分,单片机有 4 位、8 位、16 位、32 位 4 大类,其中前 3 类占据了单片机市场的主要份额,在这 3 类单片机中,8 位机又一直为主流产品。据专家预计,在未来的 10 余年内,8 位机将仍然保持主流产品的地位。

1. 4 位单片机

单片机的开发和应用是从 4 位机开始的。4 位单片机的字长为 4 位,一次并行处理(运算或传送)4 位二进制数据。4 位单片机不仅结构简单,价格低廉,而且功能灵活,既有相当的数据处理能力,又具备较强的控制能力。

由于 4 位单片机具有较高的性能价格比,至今仍在发展使用。目前,4 位单片机主要用于家用电器、民用电子装置和电子玩具等。

2. 8 位单片机

1976 年 9 月美国 Intel 公司首次推出了 MCS-48 系列 8 位单片机,这是第一个完全的 8 位单片机。它在一块芯片上包含了 8 位 CPU、1K 字节的 ROM、64 字节的 RAM、27 个 I/O 接口引脚端、1 个 8 位定时器/计数器和 2 个中断源。

在 1978 年以前各厂家生产的 8 位单片机,由于受集成度(几千只晶体管/片)的限制,一般都没有串行 I/O 接口,并且寻址空间的范围小(小于 8K 字节),从性能来看,属于低档 8 位单片机。

随着集成电路工艺水平的提高,在 1978 年到 1983 年期间电路集成度提高到几万只晶体管/片,因而一些高性能的 8 位单片机相继问世。例如,1978 年 Motorola 公司推出的 MC6801 系列、Zilog 公司的 Z80 系列;1979 年 NEC 公司的 μ PD78XX 系列;1980 年 Intel 公司的 MCS-51 系列等 8 位单片机。这类单片机的寻址能力达 64~128KB,片内 ROM 容量达 4~8KB、RAM 容量达 128~256B,片内除了带有并行 I/O 口外,还有串行 I/O 口,某些 8 位单片机还有 A/D 转换功能,因此,把这类单片机就称为高档 8 位单片机。

在高档 8 位单片机的基础上,功能进一步加强,近年来推出了超 8 位单片机。这种单片机不仅进一步扩大了片内 ROM 或 RAM 的容量,同时还增加了通信功能、DMA 传送功能以及高速 I/O 功能等。自 1985 年以来,各种高性能、大存储容量、多功能的超 8 位单片机不断涌现,

将在单片机应用领域中发挥越来越大的作用。

8 位单片机由于功能强、品种多,正广泛应用于各个领域,是单片机的主流机种。

3. 16 位单片机

1983 年以后,集成电路的集成度达十几万个晶体管/片,16 位单片机逐渐问世。Intel 公司于 1983 年研制出 16 位 MCS-96 系列单片机。8096 是整个 MCS-96 系列的代表性产品,集成度为 12 万只晶体管/片。内含 16 位 CPU、8K 字节 ROM、232 字节 RAM、5 个 8 位并行 I/O 口、4 个全双工串行口、4 个 16 位定时器/计数器、8 个通道的 10 位 A/D 转换器(48 脚封装的只有 4 个通道)、8 级中断处理系统。硬件设置使 8096 具有多种 I/O 功能。

目前,单片机正朝着片内存储器 RAM 和 ROM 容量大、I/O 端口功能多、电源电压范围宽、功率消耗低、操作速度快的方向发展。

近 20 年来,8 位单片机因其价格低廉、功耗极低、指令精练、易学好用,加上近几年嵌入式 C 语言的推广普及、执行指令的速度不断得到提升、片载 Flash 程序存储器及其在系统内编程 ISP 和在应用中编程 IAP 技术的广泛采纳和多种片内的外围设备模块的集成,以及新型外围接口的不断扩充,广泛受到电子工程师的欢迎。

目前,各个单片机生产厂家竞相增加符合潮流的功能和为设计者提供 C 语言编译器、软件模拟器和硬件仿真器等开发工具。

1.1.2 单片机的类型

单片机从字长方面分为 4 位、8 位、16 位、32 位 4 大类,从用途上可分为通用型单片机和专用型单片机两大类。专用型单片机是指用途比较专一,出厂时程序已经一次性固化好,不能再修改的单片机。这种单片机的生产成本很低,例如电子表里的单片机就是其中的一种。通用型单片机使用不同的接口电路及编制不同的应用程序就可完成不同的功能。通常所说的都是通用型单片机。当今通用型单片机的生产厂家已不下几十家,种类有几百种之多。下面介绍几家著名的单片机制造公司的单片机产品:

美国 Intel 公司是最早的单片机生产商之一,8051 单片机是其最早最典型的产品,由 8051 发展起来的 MCS-51 系列单片机有 8031、8051、8751、8032、8052、8752 等,该系列其他单片机都是在 8051 的基础上进行功能扩展而来的,人们习惯称呼这类单片机为 MCS-51 系列单片机。8031 是在我国较流行的单片机。MCS-51 系列单片机由 Intel 公司推出后,多家公司购买了 8051 的内核并生产以 8051 为核心的单片机,使得以 8051 为内核的 CMU 系列单片机在世界上产量最大,应用也最广泛。

Motorola 也是世界上最大的单片机生产商之一,其产品特点品种齐全、选择余地大、新产品多,多年来一直雄居单片机销售量的榜首。从 M6800 开始,开发了众多的品种:4 位、8 位、16 位和 32 位单片机。Motorola 单片机的特点之一是在同样的速度下所用的时钟频率低,相当于提高了单片机的速度,使得高频噪声低,抗干扰能力强,更适合于工控领域恶劣的环境。在 8 位机方面有 68HC05 和升级产品 68HC08,68HC05 有三十多个系列,二百多个品种。8 位增强型单片机 68HC11 也有三十多个品种。16 位机和 32 位单片机也有几十个品种。

ATMEL 公司是全球著名的半导体公司之一,它生产基于 8051 内核的 AT89 系列单片机和基于精简指令集(RISC)的 AVR 系列单片机。20 世纪 90 年代初,ATMEL 率先将 MCS-51 的内核与 Flash 技术相结合,推出了 AT89 系列单片机。AT89C51 系列单片机完全与 In-

tel8051 系列兼容,在市场上仍占据主要份额。AVR 单片机是增强型 RISC 内载 Flash 的单片机,芯片上的 Flash 存储器可随时编程,再编程,使用户的产品设计容易,更新换代方便。AVR 单片机由于采用了精减指令,处理速度得到提高,处理能力得到改善。几年来,AVR 单片机已形成系列产品,其 ATtiny、AT90 与 ATmega 分别对应为低、中、高档产品。

Microchip 单片机是市场份额增长最快的单片机,发展非常迅速。它的主要产品是 PIC16C/F 系列、17C/F 系列和 18F 系列 8 位单片机。CPU 采用 RISC 结构,分别仅有 33、35、58 条指令,采用 Harvard 双总线结构,运行速度快,低工作电压,低功耗,有较大的输入输出直接驱动能力,价格低,一次性编程,体积小。Microchip 单片机强调节约成本的最优化设计,适于用量大、档次低、价格敏感的产品。在办公自动化设备、电子产品、电信通信、智能仪器仪表、汽车电子、金融电子、工业控制、智能监控等不同领域都有广泛的应用。

1.1.3 单片机的应用

单片机的应用范围十分广泛,下面介绍一些典型的应用领域:

1. 电信

电话机、无绳电话机、投币电话机、磁卡电话机、光卡电话机、数字或汉字寻呼机、模拟或数字蜂窝移动通信手持机、无线对话机、业余无线电台、传真机、调制解调器、通话计费器、智能线路、数字滤波、电话密码锁、来电显示器等。

2. 家用电器

遥控电视机、录像机、摄像机、VCD、CD、LD、卫星电视接收机、音响音调控制器、卡拉 OK 点唱机、数码照相机、全自动洗衣机、冰箱、空调、洗碗机、微波炉、电饭煲、热水器、万年历、游戏机、智能充电器、各种报警器等。

3. 计算机外围设备

键盘、打印机、绘图仪、扫描仪、智能终端、智能扩充卡、调制解调器、外设控制板等。

4. 办公自动化

复印机、智能打字机、传真机、个人数字助理 PDA、智能终端机等。

5. 工业控制

数控机床、智能机器人、可编程顺序控制器、电动机控制器、离散与连续过程控制器、温度控制器、智能传感器等。

6. 商用电子

自动售货机、自动柜员机、电子收款机、电子秤、智能卡、IC 卡读写器等。

7. 玩具

袖珍游戏机、电子宠物、智能玩具、遥控玩具、学习玩具等。

8. 仪器仪表

用于医疗、化工、电子计量等领域的各种智能仪器仪表。

9. 汽车电子

点火控制、变速控制、防滑控制、防撞控制、排气控制、最佳燃烧控制、计价器、交通控制、防盗报警、电子地图、车载通信装置等。

10. 军用电子

各种导弹和鱼雷的精确制导控制、智能武器、雷达系统、电子战设备等。

单片机应用的意义不仅在于它的广阔范围以及所带来的经济效益,更重要的还在于它从根本上改变了传统的控制系统设计思想和设计方法。从前必须由模拟电路或数字电路实现的大部分控制功能,现在已能使用单片机通过软件方法实现了。这种以软件取代硬件并能提高系统性能的控制技术称为微控制技术。微控制技术标志着一种全新概念,随着单片机应用的推广普及,微控制技术将不断发展和日趋完善,而单片机的应用则将更加深入、更加广泛。

1.2 PIC 单片机的开发与特点

1.2.1 PIC 单片机的开发工具

Microchip 公司及其在我国的多家代理商,为用户的应用开发提供了丰富的硬件和软件支持。有各种档次的硬件仿真器和程序烧写器(或称编程器)出售,如福建福州晶圆电子科技有限公司代理生产的 PICMATE 和 MPLAB-ICD 系列开发工具等。主要产品如下:

1. PICMATE2002

PICMATE2002 开发工具的主要功能:

- 采用 Microchip 专供的仿真芯片设计制造,能 100% 全实时在线仿真,不占 MCU 任何资源。
- 采用积木式结构,通过更换不同的仿真模板即可仿真不同 PIC MCU 型号,增加仿真型号,成本低廉。
- 提供集成开发调试环境,可在线编辑、编译、调试源程序,并且支持 C 语言源程序或汇编源程序调试。
- 多窗体界面设计,操作便捷。
- 任意位置单次断点、多次断点设置,并且均不影响实时运行。
- 多种运行方式:实时/单步/指定地址运行。
- 在线修改单片机所有寄存器内容,包括 I/O 寄存器等。
- 32K 程序运行轨迹记录。
- 32K×6 逻辑记录功能(时序图)。
- 双通道可编程外部断点,可以由硬件信号暂停程序的运行。

2. MPLAB-ICD2 在线调试器

MPLAB-ICD2 在线调试器是一款低价位的 PIC 开发工具,它利用 Flash 工艺芯片的程序区自读写功能,使用芯片来实现仿真调试功能。MPLAB-ICD2 由美国 Microchip 公司设计,并授权福州高奇晶圆电子科技有限公司生产销售。

MPLAB-ICD2 使用的软件平台是 Microchip 的 MPLAB-IDE v6.20(集成开发环境软件包)或更高版本,兼容 Windows 95/98、Windows NT 和 Windows 2000 等操作系统。

其通信接口方式可以是 USB(最高可达 2Mbit/s)或 RS-232 串行接口方式;工作电压范围为 2.0~5.5V,可支持最低 2.0V 的低压调试。

其主要功能特性有:

- 源程序编辑。
- 直接在源程序界面调试。

- 可设置一个 1 次断点。
- 变量和寄存器观察。
- 程序代码区观察。
- 修改寄存器。
- 停止冻结(当上位机停止运行程序时,冻结芯片的运行)。
- 过电压/短路保护电路。
- 实时背景调试。

MPLAB-ICD2 可以支持大部分的 Flash 工艺的芯片,它不仅可以用作调试器,同时还可以作为开发型的烧写器使用。

3. MPLAB-ICD 在线调试器

PIC16F87XA 是 Microchip 公司于 1998 年底推出的一款特色鲜明的产品,在其众多的优点中最重要的一条是,它可以实现在线调试和在线编程。Microchip 公司还专为 PIC16F87XA 系列单片机设计了一套小巧的在线调试工具套件,以下简称 MPLAB-ICD。借助于这套在线调试工具,既可以实现硬件仿真,又可以实现程序烧写,由此可见,开发 PIC16F87XA 比前面介绍的开发其他 PIC 型号单片机更加简便易行。当然,如果只是为了学习 PIC 单片机的基本概念和软、硬件结构原理,只需用免费下载的综合开发环境软件(MPLAB-IDE)的软件模拟仿真功能,对 PIC16F87XA 进行软件模拟仿真来调试程序。MPLAB-ICD 在线调试器的主要功能如下:

- 源程序代码调试。
- 实时在线仿真。
- 变量观察。
- 实时断点。
- 单步、全速运行。
- PIC16F87XA 子系列 MCU 的编程器。
- RS-232 串行接口方式。
- 工作电压范围为 3.0~5.5V。
- 工作频率范围为 32kHz~20MHz。

工作于 MPLAB-IDE 集成开发环境,该软件兼容 Microsoft Windows 95/98、Windows NT 和 Windows 2000 等操作系统。

1.2.2 PIC 单片机的特点

1. PIC 系列单片机的特点

PIC 系列单片机的硬件系统设计简洁,指令系统设计精练。在所有的单片机品种当中,它是最容易学习、最容易应用的单片机品种之一。其主要特点如下:

(1) 哈佛总线结构

PIC 系列单片机不仅采用了哈佛体系结构,而且还采用了哈佛总线结构。在 PIC 系列单片机中采用的这种哈佛总线结构,就是在芯片内部将数据总线和指令总线分离,并且采用不同的宽度。便于实现指令提取的“流水作业”,也就是在执行一条指令的同时对下一条指令进行取指操作;便于实现全部指令的单字节化、单周期化,从而有利于提高 CPU 执行指令的速度。

(2) 精简指令集(RISC)技术

PIC 单片机的指令系统就是该单片机所能识别的全部指令的集合,叫做指令系统或者指令集,指令集最多只有 58 条指令(16 位指令系统)。这给指令的学习、记忆、理解带来很大的好处,也给程序的编写、阅读、调试、修改、交流带来极大的便利。

(3) 寻址方式简单

寻址方式就是寻找操作数的方法。PIC 系列单片机只有 4 种寻址方式(即寄存器间接寻址、立即数寻址、直接寻址和位寻址),容易掌握。

(4) 功耗低

PIC 系列单片机的功率消耗极低,是目前世界上功耗最低的单片机品种之一。其中有些型号,在 4MHz 时钟频率下工作时电流不超过 2mA,在睡眠模式下的电流可以低到 1 μ A 以下。

(5) 驱动能力强

I/O 端口驱动负载的能力较强,每个 I/O 引脚输入和输出电流的最大值可分别达到 25mA 和 20mA,能够直接驱动发光二极管 LED、光电耦合器或微型继电器等。

(6) I²C 和 SPI 串行总线端口

PIC 系列单片机的一些型号具备 I²C 和 SPI 串行总线端口。

(7) 外接电路简洁

PIC 系列单片机内集成了上电复位电路、I/O 引脚上拉电路、看门狗定时器等,可以最大程度地减少或免用外接器件,以便实现“纯单片”应用。

(8) 开发方便

Microchip 公司还研制了多种版本的软件仿真器和软件综合开发环境,为爱好者学习与实践、应用与开发的实际操练提供了极大的方便。

(9) C 语言编程

对于掌握了 C 语言的用户,Microchip 公司还为其提供了“C 语言编译程序”。使用 C 语言这种高级语言进行程序设计,可以大大提高工作效率。

(10) 品种丰富

PIC 系列单片机目前已形成 3 个层次、50 多个型号。片内功能从简单到复杂,封装形式从 8 脚到 68 脚,可以满足各种不同的应用需求。用户总能在其中找到一款适合自己开发目标的单片机。

(11) 程序存储器版本齐全

Microchip 公司对其单片机的某一种型号又可提供多种存储器版本和封装工艺的产品:

- 1) 带窗口的 EPROM 型芯片,适合程序反复修改的开发阶段。
- 2) 一次编程(OTP)的 EPROM 芯片,适合于小批量试生产和快速上市的需要。
- 3) ROM 掩模型芯片,适合大企业大批量定型产品的规模化生产。
- 4) 具有 EEPROM 或 Flash 程序存储器,特别适合在线反复擦写,编程。

(12) 程序保密性强

目前,尚无办法对其直接进行解密复制,可以最大限度地保护用户的程序版权。PIC 单片机除了以上特点之外还有代码压缩率高,寻址空间设计简洁等特点。

2. PIC 单片机的类型

Microchip 可提供的 PIC 单片机系列,按其指令的位数可分为三类:初级产品、中级产品和

高级产品,每种产品包含了多种型号,如表 1-1 所示。

(1) 初级产品——8 位指令字系列(PIC16C5X/PIC12C5XX)

8 位指令系列中,PIC16C5X 是最早发展的系列。适用于各种对成本要求严格的嵌入式控制。而 PIC12C5XX 是第一个 8 脚低价单片机,其小巧,应用前景广阔。

(2) 中级产品——12 位指令字系列(PIC12C6XX/PIC16C/FXXX)

12 位指令字系列是品种最丰富的系列。它在 PIC16C5X 的基础上进行了很多改进,并保持了很高的兼容性。从 8 脚到 68 脚各种形式的封装,PIC12C6XX/16CXXX 可应用于各种高、中、低档电子产品设计中。它的特点是在保持低价格的前提下具有很高的性能,如带 A/D、内部 EEPROM 数据存储、双时钟工作、比较输出、捕捉输入、PWM 输出、I²C 和 SPI 接口、异步串行通信(USART)、模拟电压比较器及 LCD 驱动等等,已被广泛应用在各种电子产品中,表现极佳。

(3) 高级产品——16 位指令字系列(PIC17CXXX 和 PIC18CXXX)

16 位指令字系列是 8 位单片机中运行速度最快的,它具备了一个指令周期内(最短 160ns)完成 8 位二进制乘法运算的能力,可以在一些需要高速数字运算的应用场合中取代 DSP(数字信号处理器)。再加上 PIC17CXXX 还具有丰富的 I/O 控制功能,并可以外接扩展 EPROM 和 RAM,使它成为目前 8 位单片机中性能最高的机种之一,被广泛应用于高、中档电子设备中。

PIC18CXXX 系列是一款高性能、全静态设计、内带 A/D 转换器的 CMOS16 位单片机,采用高性能增强型的 RISC 结构,具有 32 级硬件堆栈和多种内外中断。数据总线和指令总线分离独立的哈佛结构允许 16 位指令字和 8 位数据相结合。精简指令集,仅 68 条单字节指令,除地址分支跳转指令为双周期指令外,其余所有指令皆为单周期指令。另外,片内寄存器组大大提高了运行速度,可达到每秒百万条指令。增加了一些特殊的功能部件,这样减少了外围器件,可降低成本,增强系统可靠性,减少功耗。

PIC 系列单片机还具有非常优秀的微处理特性,如多种复位方式、多种中断功能、低功耗睡眠功能、掉电复位锁定等等。在 PIC 单片机的内部还集成有上电复位电路(POR)、看门狗电路、I/O 口弱上拉等,可以大大减少外围器件,节省用户的成本。

PIC 系列单片机所有型号都有商用级(0~70℃)、工业级(-40~85℃)和汽车工业级(-40~125℃)芯片,可以适应各种环境温度。

PIC16F87X(A)系列单片机是一种具有 Flash 程序存储器的 8 位 CMOS 单片机,在 PIC 单片机中,各方面的功能是有代表性的。其主要功能如表 1-2 所示。

表 1-1 PIC 系列单片机分类

级别 层次	系 列 名 称	子系列名称	芯 片 型 号
初 级 系 列	PIC12CXXX 单片机	PIC12C5XX 单片机	PIC12C508(A)、PIC12C509(A)
		PIC12CE5XX 单片机	PIC12CE518(A)、PIC12CE519(A)
	PIC16C5XX 单片机	PIC16C5X 单片机	PIC16C54(A,C)、PIC16CR54(A,C)、IC16C55(A)、PIC16C56(A)、 PIC16C57(C)、IC16CR56A、PIC16CR57A、PIC16CR57C、PIC16C58 (B) PIC16CR58B
		PIC16C505 单片机	PIC16C505
		PIC16HV540 单片机	PIC16HV540

(续)

级别 层次	系 列 名 称	子系列名称	芯 片 型 号
中 级 系 列	PIC12CXXX 单片机	PIC12C6XX 单片机	PIC12C671、PIC12C672
		PIC12CE6XX 单片机	PIC12CE673 PIC12CE674(无)
			PIC12F629/675
	PIC16CXXX 单片机	PIC16C55X 单片机	PIC16C554、PIC16C558
		PIC16C43X 单片机	PIC16C432
			PIC16C433
		PIC16C6X 单片机	PIC16C62、PIC16C63、PIC16CR63、PIC16C64A、PIC16CR64、 PIC16C65A、PIC16CR65、PIC16C66、PIC16C67
			PIC16C62B
			PIC16C63A、PIC16C65B
		PIC16C62X/64X/66X 单片机	PIC16C620(A)、PIC16C621(A)、PIC16C622(A)
			PIC16C662
		PIC16CE62X 单片机	PIC16CE623、PIC16CE624、PIC16CE625
		PIC16F62X 单片机	PIC16F627、PIC16F628
		PIC16F63X/67X 单片机	PIC16F630/676
		PIC16C71X 单片机	PIC16C71、PIC16C710、PIC16C711、PIC16C715
			PIC16C712、PIC16C716
			PIC16C717
		PIC16C7X 单片机	PIC16C72、PIC16CR72
			PIC16C72A
			PIC16C73(B)、PIC16C74(B)
			PIC16C73A、PIC16C74A、PIC16C76、PIC16C77
		PIC16F7X 单片机	PIC16F73、PIC16F74、PIC16F76、PIC16F77
		PIC16C77X 单片机	PIC16C770、PIC16C771
			PIC16C773、PIC16C774
		PIC16C7X5X 单片机	PIC16C745、PIC16C765
		PIC16C78X 单片机	PIC16C781、PIC16C782
		PIC16F8X 单片机	PIC16F83、PIC16CR83、PIC16F84、PIC16CR84
			PIC16F84A
			PIC16F85(无 DATASHEET)、PIC16F86(无)
		PIC16F81X 单片机	PIC16F812(无) PIC16F816(无) PIC16F818/819
		PIC16F87X 单片机	PIC16F870、PIC16F871、PIC16F872、PIC16F873、PIC16F874、 PIC16F876、PIC16F877A、PIC16F873A、PIC16F874A、PIC16F876A、 PIC16F877A
		PIC16C9XX 单片机	PIC16C923 PIC16C924
			PIC16C925 PIC16C926
		PIC14000 单片机	PIC14000
高 级 系 列	PIC17CXXX 单片机	PIC17C4X 单片机	PIC17C42、PIC17C42A、PIC17C43、PIC17CR43、PIC17C44
		PIC17C7XX 单片机	PIC17C752、PIC17C756A
			PIC17C762、PIC17C766
	PIC18C/FXXX 单片机	PIC18CX01 单片机	PIC18C601、PIC18C801
		PIC18F0X0 单片机	PIC18F010、PIC18F020
		PIC18C/FXX2 单片机	PIC18F012、PIC18F022 (无 DATASHEET)
			PIC18F232、PIC18F242、PIC18F252
			PIC18C432、PIC18C442、PIC18C452
			PIC18F6520、PIC18F8520
			PIC18F6620、PIC18F6720、PIC18F8720、PIC18F8620
			PIC18F258、PIC18F248
		PIC18C/FXX8 单片机	PIC18F448、PIC18F458
			PIC18C658、PIC18C858