



PIC[®]单片机 C语言开发入门

武 锋 陈新建 编著

 北京航空航天大学出版社



PIC 单片机 C 语言开发入门

武 锋 陈新建 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是一本 PIC 系列单片机 C 语言开发应用的入门级指导丛书,以美国 Microchip(微芯)公司的中级产品 PIC16F87X 和高级产品 PIC18FXX2 单片机为例,首先简要介绍其硬件结构和指令系统,然后重点介绍集成开发环境、C 语言的开发应用基础和 C 语言的开发应用实验等内容。在 C 语言的开发应用等内容中,主要以 HI-TECH 公司的 PICC 和 PICC18 C 编译器和 Microchip 公司的 MPLAB C18 C 编译器为例,介绍这几种 C 编译器的特性、安装、基本应用方法及其开发应用实验等内容。附录中详细说明了 HI-TECH 公司的 PICC 和 PICC18 C 编译器与 Microchip 公司的 MPLAB C18 C 编译器的错误和告警信息。本书附配套光盘一张,内有新版的 MPLAB IDE 6.4 集成开发软件、PICC 和 PICC18 C 编译器(DEMO 版)、MPLAB C18 C 编译器(DEMO 版)和本书实验用的 C 语言源程序等内容。

本书内容通俗易懂,实用性强,可供学习 PIC 单片机 C 语言开发的有关技术人员和爱好者以及高等院校相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

PIC 单片机 C 语言开发入门/武锋等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2005.2

ISBN 7-81077-543-X

I. P… II. 武… III. ①单片机微型计算机, PIC 系
列②C 语言—程序设计 IV. ①TP368.1②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 008586 号

PIC 单片机 C 语言开发入门

武 锋 陈新建 编著

责任编辑 崔肖娜

*

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(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

北京市时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:429 千字

2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-543-X 定价:29.00 元 (含光盘 1 张)

版 权 声 明

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

MPLAB ICE Emulator User's Guide	(DS51159C)
MPLAB C18 Compiler Libraries	(DS51297C)
MPLAB C18 Compiler Getting Started	(DS51295C)
MPLAB C18 Compiler User's Guide	(DS51288C)
Technical Library CD - ROM	(DS00161P)

再版上述资料须经过其版权所有 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, rPIC, 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, rPICDEM, 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

前 言

PIC 系列单片机是美国 Microchip 公司推出的一种新型的高性能 8 位系列单片微控制器,采用 RISC(精简指令集)和 Harvard(哈佛总线)结构。其主要特点是不搞单纯的功能堆积,而是从实际出发,重视产品的性能与价格比,靠发展多种型号的系列产品来满足不同层次的应用要求,真正体现了单片机的“单片”特性。

早期的 PIC 系列单片机都是采用汇编语言进行开发的。近年来随着高级语言的不断发展,特别是 C 语言以其结构化和能够产生高效代码的优点,已逐步成为单片机系统编程的首选开发工具之一,所以后期的 PIC 系列单片机产品(特别是高级产品)都可以采用 C 语言来进行开发。本书主要以 HI-TECH 公司的 PICC 和 PICC18 C 编译器和 Microchip 公司的 MPLAB C18 编译器为例,介绍这几种 C 编译器的特性、安装、基本应用方法及其在 MPLAB IDE 集成开发环境下的开发应用实验等内容。

本书各章节主要内容介绍如下:

第 1 章——PIC 系列单片机与 C 语言,主要介绍了 PIC 系列单片机的主要特点和 PIC16F87X、PIC18FXX2 系列产品的硬件结构及其用 C 语言开发的优点和基本过程。

第 2 章——相关的 C 语言基础知识,主要介绍了标准 C 语言的结构、符号、数据、语句、函数和指针等基础知识。

第 3 章——MPLAB IDE 6.4 版集成开发环境及其应用,主要介绍了 MPLAB IDE 6.4 版集成开发环境的特点、安装运行和菜单命令等内容。

第 4 章——PICC 和 PICC18 编译器的安装与使用,主要介绍了 PICC 和 PICC18 C 编译器的特点、语句结构、安装运行和使用方法等内容。

第 5 章——MPLAB C18 编译器的安装与使用,主要介绍了 MPLAB C18 C 编译器的特点、语句结构、安装运行和使用方法等内容。

第 6 章——PICC 和 PICC18 的应用实验,主要介绍了 PICC 和 PICC18 C 编译器在 MPLAB IDE 集成开发环境下的开发应用实验。

第 7 章——MPLAB C18 编译器的应用实验,主要介绍了 MPLAB C18 C 编译器在 MPLAB IDE 集成开发环境下的开发应用实验。

附录 A——PICC 和 PICC18 的错误信息,详细说明了 PICC 和 PICC18 C 编译器主要错误信息的含义及其可能的原因。

附录 B——MPLAB C18 的错误和告警信息,详细说明了 MPLAB C18 C 编译器错误和告警信息的含义及其可能的原因。

附录 C——低成本的 PIC 系列单片机开发工具。

附录 D——配套光盘目录,介绍了本书配套光盘的内容。

本书在出版过程中得到了北京航空航天大学出版社的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。由于作者水平有限,如有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

作者 2004 年 11 月

目 录

第 1 章 PIC 系列单片机与 C 语言

1.1 PIC 系列单片机概况及其开发应用方法	1
1.1.1 PIC 系列单片机概述	1
1.1.2 PIC 系列单片机的开发应用方法	3
1.1.3 PIC 系列单片机的汇编语言与 C 语言开发	5
1.2 PIC16F87X 系列单片机的硬件结构概述	8
1.2.1 PIC16F87X 系列单片机的硬件功能结构	9
1.2.2 PIC16F87X 系列单片机的程序存储器和堆栈	12
1.2.3 PIC16F87X 系列单片机的数据存储器	13
1.3 PIC18FXX2 系列单片机的硬件结构概述	25
1.3.1 PIC18FXX2 系列单片机的硬件功能结构	26
1.3.2 PIC18FXX2 系列单片机的程序存储器和堆栈	29
1.3.3 PIC18FXX2 系列单片机的数据存储器	32
1.4 PIC 系列单片机的汇编指令集	55
1.5 用 C 语言开发 PIC 单片机的优点	66

第 2 章 相关的 C 语言基础知识

2.1 C 语言的基本概念	67
2.1.1 C 语言的标识符和关键字	67
2.1.2 C 语言中的常量	68
2.1.3 C 语言中的变量	68
2.1.4 C 语言中的运算符	70
2.1.5 C 语言中的数组	74
2.1.6 C 语言中的结构	75
2.1.7 C 语言中的联合	77
2.2 C 语言的语句	78
2.2.1 赋值语句和赋值表达式	78
2.2.2 循环控制语句	79
2.2.3 转移语句	81
2.3 C 语言中的函数和指针	83
2.3.1 C 语言中的函数	83

2.3.2 C 语言中的指针	85
2.3.3 函数的调用	86
2.3.4 指针的操作	86
2.4 C 语言源程序的编译与链接	89
2.4.1 C 语言源程序的编译预处理	89
2.4.2 C 语言源程序的编译与链接	90
2.4.3 输出与调试	90

第 3 章 MPLAB IDE 6.4 版集成开发环境及其应用

3.1 MPLAB IDE 6.4 版集成开发环境概述	91
3.1.1 MPLAB IDE 6.4 版的特性	91
3.1.2 MPLAB IDE 6.4 版的安装	92
3.1.3 MPLAB IDE 6.4 版的启动运行	94
3.2 MPLAB IDE 6.4 版的界面和菜单命令	94
3.2.1 MPLAB IDE 6.4 版的界面	95
3.2.2 MPLAB IDE 6.4 版的菜单命令集	95
3.2.3 MPLAB IDE 6.4 主菜单的应用操作	98
3.3 MPLAB IDE 6.4 中外部设备的应用	102
3.3.1 几种典型外部设备的介绍	102
3.3.2 专用编程器 PICSTART Plus 的使用	103
3.3.3 MPLAB ICD2 在线调试器的特点	107
3.3.4 ICD2 的硬件配置及驱动程序的安装	108
3.3.5 ICD2 作为调试器的使用	112
3.3.6 ICD2 作为编程器使用	121

第 4 章 PICC 与 PICC18 C 编译器的安装与使用

4.1 PICC 与 PICC18 C 编译器概述	123
4.1.1 PICC 与 PICC18 C 编译器的特性	123
4.1.2 PICC 与 PICC18 所支持的文件和变量类型	124
4.1.3 PICC 与 PICC18 中 C 语言源程序的基本框架	126
4.2 PICC 与 PICC18 C 编译器的安装	129
4.2.1 PICC C 编译器的安装	129
4.2.2 PICC18 C 编译器的安装	134
4.2.3 设置 PICC 和 PICC18 的编译环境	135
4.3 在 MPLAB 6.4 中项目编译与调试	144
4.3.1 增加节点	144
4.3.2 编译项目	145

4.3.3 源文件模拟仿真与调试	146
------------------------	-----

第5章 MPLAB C18 编译器的安装与使用

5.1 MPLAB C18 编译器概述	150
5.1.1 MPLAB C18 编译器的主要特性	150
5.1.2 MPLAB C18 编译器所需的文件与路径	152
5.1.3 MPLAB C18 中 C 语言源程序的基本框架	152
5.2 MPLAB C18 编译器的安装与运行	153
5.2.1 安装 MPLAB C18 编译器	153
5.2.2 MPLAB C18 编译器的升级	156
5.2.3 MPLAB C18 编译器的启动运行	156
5.3 MPLAB C18 编译器的使用	156
5.3.1 设置 MPLAB C18 的编译环境	156
5.3.2 项目的编译与模拟调试	162
5.3.3 使用 MPLAB ICD2 调试器	171

第6章 PICC 和 PICC18 的应用实验

6.1 8路顺序发光控制实验	175
6.1.1 AW 型多功能 PIC 实验板简介	175
6.1.2 PIC16F87X 的 8 路顺序发光控制实验电路	177
6.1.3 PIC18FXX2 的 8 路顺序发光控制实验电路	179
6.2 8路顺序发光控制实验 C 语言源程序的编写	179
6.2.1 8 路顺序发光实验 C 语言的头文件	179
6.2.2 8 路顺序发光实验 C 语言源程序的编写	179
6.2.3 C 语言源程序清单	180
6.3 C 语言源程序的编辑、编译与运行	186
6.3.1 C 语言源程序的编辑	186
6.3.2 C 语言源程序的编译与运行	188
6.3.3 输出机器码与独立运行	196

第7章 MPLAB C18 编译器的应用实验

7.1 2 位十进制计数器实验	198
7.1.1 PIC18FXX2 系列单片机简介	198
7.1.2 2 位十进制计数器实验概述	202
7.1.3 硬件电路的连接	202
7.2 2 位十进制计数器实验 C 语言源程序的编写	204
7.2.1 2 位十进制计数器实验 C 语言的头文件	205

7.2.2	2 位十进制计数器实验 C 语言源程序的编写	205
7.2.3	2 位十进制计数器实验 C 语言源程序清单	206
7.3	C 语言源程序的编辑、编译与运行	209
7.3.1	C 语言源程序的编辑	209
7.3.2	C 语言源程序的编译与运行	211
7.3.3	模拟运行与调试	215
附录 A PICC 和 PICC18 的错误信息		
附录 B MPLAB C18 的错误和警告信息		
附录 C 低成本的 PIC 系列单片机开发工具		
附录 D 配套光盘目录		
参考文献		

第 1 章 PIC 系列单片机与 C 语言

PIC 系列单片机是美国 Microchip 公司推出的一种新型高性能的 8 位系列单片微控制器,体现了现代单片微控制器发展的新趋势,目前深受用户欢迎,正在逐渐成为单片机世界的一种新潮流。PIC 的名称是 Peripheral Interface Controller(外围接口控制器)的缩写。由此可以清楚地知道 PIC 单片机的市场定位。从 PIC 单片机的问世到快速普及,并为业界广为采用,最主要的原因是它具有完整的单片机系列芯片,可以让使用者根据不同需求选择最合适的单片机芯片;通常无需再外扩程序存储器、数据存储器 and A/D 转换器等外部芯片,这真正体现了单片机的“单片”特性,并具有实用、低价、省电、高速、体积小、驱动强等特点,因此目前在国内市场上,PIC 系列单片机已得到了广泛的应用。

本章将对 PIC 系列单片机的种类、特性、汇编语言与 C 语言的开发方法等作一些简述。如果您对 PIC 系列单片机已有一定的了解,可以跳过这一章,直接阅读其他章节的内容。

1.1 PIC 系列单片机概况及其开发应用方法

美国 Microchip 公司推出的哈佛总线(Hovrard)结构的 RISC(精简指令集)PIC 系列 CMOS 8 位单片机,其主要结构特点是不搞单纯的功能堆积,而是从实际出发,重视产品性能与价格比,靠发展多种型号系列产品来满足不同层次用户的应用需求,真正体现了单片机的“单片”特性。由于 PIC 系列单片机采用了哈佛总线(Hovrard)结构的 RISC 指令集,其指令总线 and 数据总线的位数可以不同,PIC 系列单片机中的数据总线是 8 位的(故称为 8 位单片机),而其指令总线则有 12 位(基本级产品)、14 位(中级产品)和 16 位(高级产品)3 种。目前这些单片机已被广泛应用于工业控制、仪器仪表、计算机外设、家用电器等许多领域中,在国内有极为广阔的发展前景。

早期的 PIC 系列单片机都是采用汇编语言进行程序开发的。近年来随着高级语言的不断发展,特别是 C 语言的广泛应用,使用 C 语言开发单片机应用程序的用户越来越多,这必将促进 C 语言在 PIC 系列单片机开发应用中的进一步发展。

1.1.1 PIC 系列单片机概述

1. PIC 系列单片机的型号分类

Microchip 公司目前已开发生产的 PIC 系列单片机产品可分为基本级、中级和高级 3 个档次,其具体的型号分类情况如表 1-1 所列。

表 1-1 PIC 系列单片机的型号分类

等 级	主要特性	系列名称	工艺特点	型 号
基本级	12 位 RISC 指令系统, 8 位数据线, DC 20 MHz 时钟, 最快指令周期 200 ns, 价格低	PIC12CXXX PIC12CEXXX	OTP/EPROM EEPROM	PIC12C(CE)508/ 509/671/672
		PIC16C5X/50X PIC16HV5XX	OTP/EPROM	PIC16C54/55/ 56/57/58/505 PIC16HV540
中 级	14 位 RISC 指令系统, 8 位数据线, DC 20 MHz 时钟, 最快指令周期 200 ns, 多种中断, 复位锁定, 8 位 A/D (PIC16C7X), 电压比较器 (PIC16C62X), EEPROM (PIC16C8X), FLASH (PIC16F62X/8X/87X), LCD 驱动 (PIC16C9XX)	PIC14000	OTP/EPROM 含 A/D、 D/A 温度传感器	PIC14000
		PIC16C55X	OTP/EPROM	PIC16C554/556/ 558/559
		PIC16C6X	OTP/EPROM	PIC16C61/62/63/ 64/65
		PIC16C(F)62X PIC16CE62X	OTP/EPROM FLASH EEPROM	PIC16C (F) 620/ 621/622/627/628 PIC16CE623/624/ 625
		PIC16C (F) 7X/ 71X/7XX	OTP/EPROM	PIC16C(F)70/71/ 72/73/74/711/ 712/745/765/ 770/771/773/774
		PIC16C (F) 8X PIC16F87X	EEPROM FLASH	PIC16C83/84 PIC16F84/870/871/ 872/873/874/876/ 877
		PIC16C9XX	OTP/EPROM 含 LCD 驱动	PIC16C923/924
高 级	16 位 RISC 指令系统, 8 位数据线, DC 25 MHz 时钟, 最快指令周期 160 ns, 多种中断, 硬件乘法器, 高性价比	PIC17CXX/XXX	OTP/EPROM	PIC17C42/43/44/ 752/756/762/766
		PIC18C(F)XXX	OTP/EPROM FLASH	PIC18C601/801 PIC18C242/252/ 442/452/658/858 PIC18F010/020/ 248/258

注: CE 表示有 EEPROM 数据存储器; F 表示有 FLASH 程序存储器。

在 PIC 各系列单片机产品中,其基本级产品 PIC12CXXX/12CEXXX 和 PIC16C5X/50X 系列产品采用 12 位 RISC 指令系统,价格很低,适用于低成本应用。在这两个系列产品中, PIC16C5X 目前应用很广;PIC12C5XX 则是世界上第一个 8 脚封装的低价 8 位单片机,其小巧低价的特点可使其应用在很多以前不能应用单片机的领域,且应用前景广阔。

中级产品 PIC14000 和 PIC16C(F)55X/6X/62X/7X/71X/8X/87X/9XX 采用的是 14 位 RISC 指令系统(其中 PIC16FXX/XXX 为 FLASH 型),它在 PIC16C5X 的基础上进行了很多改进,并与 PIC16C5X 系列保持了很高的兼容性。该级产品拥有从 18 脚到 68 脚各种形式的封装,品种最为丰富,而且在保持低价的前提下增加了温度传感器(仅 PIC14000 有)、A/D 转换器、内部 EEPROM 存储器、FLASH 程序存储器、比较输出、捕捉输入、PWM 输出、I²C 和 SPI 接口、异步串行通信(USART)、模拟电压比较器和 LCD 驱动等许多功能,可广泛应用于各种高、中、低档电子产品中。

高级产品 PIC17CXX 和 PIC18C(F)XXX 系列采用 16 位 RISC 指令系统(其中 PIC18FXXX 为 FLASH 型),该系列产品目前在世界 8 位单片机中运行速度最快,具备在一个指令周期内(最短 160 ns)完成 8×8 位二进制乘法的功能,可以在一些需要高速数字运算的场合取代 DSP(数字信号处理器)芯片。因此它已成为目前 8 位单片机中性能最高的机种之一,可广泛应用于各种高、中档电子设备中。

2. PIC 系列单片机的主要特点

PIC 系列 8 位 CMOS 单片机具有实用、低价、易学、省电、高速和体积小等特点,特别是其独特的 RISC(精简指令集)及其独立分开的数据总线和指令总线的哈佛总线(Hovrard)结构使其指令具有单字长特性,且允许其指令码位数可多于 8 位数据位数,这与传统的采用 CISC(复杂指令集)和冯·诺伊曼(Von-Neuman)结构的 8 位单片机相比,可以达到 2:1 的代码压缩和 4:1 的速度提高。

PIC 系列单片机的另一特点是不搞单纯的功能堆积,而是靠发展多个系列产品型号来满足不同层次用户的需求。它分为基本级、中级和高级 3 个系列产品,用户可根据需要选择不同档次和不同功能的芯片;通常无需外扩程序存储器、数据存储器和 A/D 转换器等,真正体现了单片机的“单片”特性,以避免用户投资的浪费。另外, PIC 系列单片机还提供多种不同的芯片封装形式,特别是 PIC 系列单片机所提供的 OTP 型(一次性可编程)芯片的价格和 MASK 型(掩膜型)芯片的价格已非常接近,这样就特别适合批量产品的应用;对于 EPROM 型(紫外线可擦除程序存储器型,又称窗口型)和 FLASH 型(闪烁程序存储器型,又称闪存型)芯片则可反复多次编程使用,特别适合于学生实验和产品开发时使用。

1.1.2 PIC 系列单片机的开发应用方法

一个实际的单片机应用系统在完成总体设计、硬件设计、制板与安装、软件设计等工作之后即可借助各种开发工具对其进行运行调试,以发现错误并加以改正。因为对于一个实际的单片机应用系统,通常情况下一一次性成功几乎是不可能的,所以成功的单片机应用系统与合适的单片机开发工具是分不开的。

1. PIC 系列单片机的开发概况

PIC 系列单片机的开发工具可分为硬件开发工具和软件开发工具两类。硬件开发工具主要指各种编程器、仿真开发机等编程开发设备;软件开发工具主要指各种编辑、汇编、编译、模

拟调试、集成开发环境(将 PIC 系列单片机的汇编、编译、模拟调试、编程器和硬件仿真器的应用软件集成在一起的开发应用平台)等工具软件。在对 PIC 系列单片机的开发中,可以采用汇编语言和 C 语言两种语言进行程序设计;在进行程序调试时,根据其所用开发工具的不同,可分为硬件在线仿真调试(采用硬件仿真器或在线调试器等进行在线仿真调试)和软件模拟调试(采用模拟仿真调试软件进行模拟调试)两种方式。

Microchip 公司在推出 PIC 系列单片机产品的同时,也相继推出了一些适用于 PIC 系列单片机的硬件和软件开发工具,如 PIC 通用编程器、PIC 在线仿真器 ICE、PIC 在线调试器(ICD 调试器)、MPASM 宏汇编程序、PICC ME C 语言编译器、C17 和 C18 编译器以及 MPSIM 仿真软件与 MPLAB 集成开发环境(MPLAB IDE)等。在国内,PIC 系列单片机目前开发应用发展很快,现已有许多公司相继开发推出了一些 PIC 系列单片机的开发应用装置及其相关模拟调试软件,其中既有价格低廉的简易开发应用装置,也有一些功能较为先进和完善的高档开发应用装置。有些高档的开发应用装置不仅具有编辑、汇编和反汇编功能,而且支持 C 编译器(MP-C)与模糊逻辑开发系统(FUZZY TECH-MP)等;既可以独立运行,也可以和 PC 机联机运行。另外,有些开发应用装置还配有用户应用与演示板,用户可直接用来进行一些开发应用实验或进行一些演示实验。

2. PIC 的基本开发应用步骤

PIC 系列单片机的开发应用包括硬件开发设计和软件开发设计两部分。首先要根据其实际的应用情况进行硬件设计。硬件设计的主要任务是选择合适的 PIC 芯片并设计硬件电路,根据所设计的硬件电路制作用户应用电路板等。其次在完成硬件设计工作之后即可进行软件开发设计。在进行软件开发设计时,要利用文本编辑软件(如 EDIT、WPS、写字板、WORD 等)输入建立源程序;PIC 的源程序可以用汇编语言或 C 语言来建立。

在源程序建立好之后可以用 PIC 汇编软件(如 MPALC、MPASM 等)或 C 编译器(如 PICC、C17、C18 等)对其源程序进行汇编或编译;汇编或编译时如有语法错误,汇编或编译软件将会给以提示;根据提示对源程序进行修改后即可再次进行汇编或编译。当汇编或编译工作正确完成后,会自动产生一个扩展名为 .HEX (或 .OBJ 等)的目标文件(机器码文件)和一个扩展名为 .LST 的列表文件以及扩展名为 .ERR 的错误记录文件,以供用户调试目标程序和机器码烧写之用。

在完成汇编或编译工作之后,可以分别利用硬件在线仿真器或模拟调试软件对其目标程序进行运行调试,以发现其不正确的地方并加以改正。对于一些实时性要求不高,仅需要进行开关量处理的简单应用系统,可在 PC 机中的 PIC 集成开发环境下,用模拟调试软件进行开发调试。对实时性要求较高,需要进行模拟量处理的复杂应用系统,最好采用硬件仿真器进行实时在线开发调试。当经过调试—修改—再调试等工作之后,目标程序已能够正确运行时即可通过编程器(烧写器)将其机器码编程(烧写)到用户的 PIC 芯片中,最后将用户的 PIC 芯片插入用户板中脱机试运行。如果脱机试运行有问题的话,则应进一步检查其用户板的硬件电路和程序,找出错误后并加以改正。对于比较复杂的用户系统,往往需要借助示波器和逻辑分析仪等设备进行故障查找。如果脱机试运行正常的话,则开发应用工作即告结束。

PIC 的基本开发应用步骤框图如图 1-1 所示。

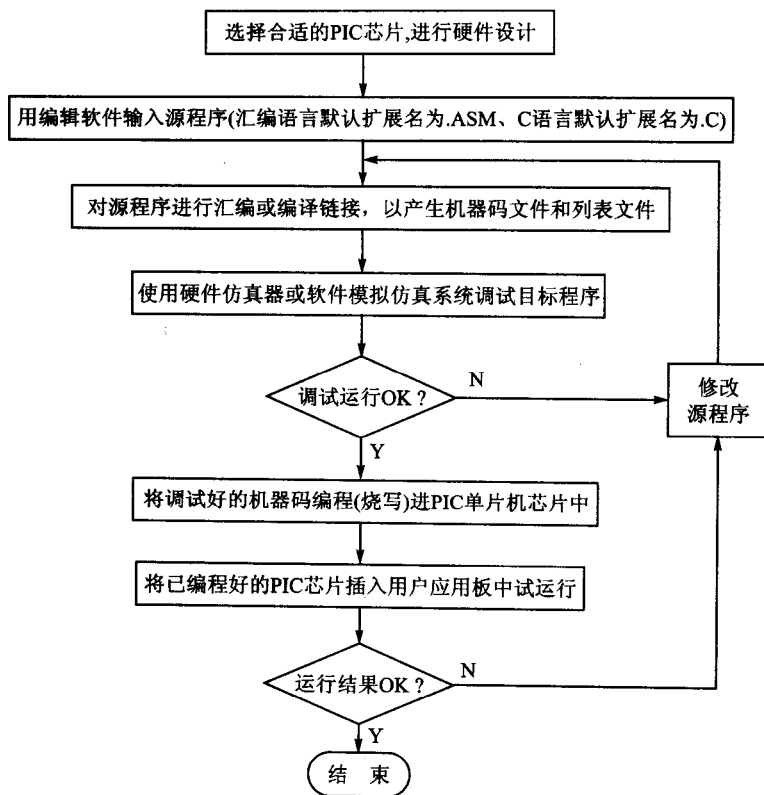


图 1-1 PIC 的基本开发应用步骤

1.1.3 PIC 系列单片机的汇编语言与 C 语言开发

PIC 系列单片机的软件开发可以采用汇编语言和 C 语言两种方式。汇编语言作为一种传统的嵌入式系统编程语言,在各种单片机的开发应用中使用广泛。早期的 PIC 系列单片机产品(特别是初级产品)都是采用汇编语言来进行开发;后期的 PIC 系列单片机产品(特别是高级产品)都可以采用 C 语言来进行开发。

1. PIC 的汇编语言及其特性

PIC 系列单片机的汇编语言源程序指采用 PIC 的助记符指令编写的程序,也可称为助记符程序。每条语句一般可分为标号、助记符指令、操作数和注释 4 个部分,其格式要求如下:

[标号] <助记符指令> [操作数 1], [操作数 2] [;注释]

在一条语句中,<助记符指令>是不可缺少的部分,而[]中的内容为可选项,有时可以省去。若有两个以上操作数,两个操作数间应用逗号隔开,助记符指令与标号和操作数之间至少应有一个空格。若一行语句没有标号,则助记符指令前至少应有一个空格;否则汇编程序会把助记符当成标号。

设有一个延时程序,其程序名为 example1.asm,其源程序如下:

```

; *****
;               example1.asm
; *****
LIST P=16F873, F=INHX8M           ;说明芯片型号和输出格式
INCLUDE "P16F873.INC"             ;调用已定义了特殊寄存器的头文件
;-----
COUNT1      EQU      11           ;用伪指令定义 COUNT1=F11
COUNT2      EQU      12           ;用伪指令定义 COUNT2=F12
;-----
                ORG      0X00H       ;PIC16F873 的复位地址
                GOTO     Dely         ;从复位地址跳转到 Dely 处
;-----
                ORG      0X100H      ;定义存储指令码的起始地址
Dely          MOVLW     41H           ;将延时常数 41H(十进制数 65)送入 W
                MOVWF    COUNT2      ;将延时常数再送入 COUNT2 中
                CLRF     COUNT1      ;将 COUNT1 中数据清为 0
Loop          INCFSZ    COUNT1      ;判 COUNT1=COUNT1+1 是否为 0
                GOTO     Loop         ;不为 0,跳转到 Loop 处继续循环
                DECFSZ    COUNT2      ;COUNT1=0,判断 COUNT2-1=0?
                GOTO     Loop         ;不为 0,跳转到 Loop 处继续循环
;-----
                END                  ;COUNT2=0,程序结束
;-----

```

- 标号：标号必须由源程序的第 1 格(最左边的一格)起始,最多为 15~32 个字符(视汇编程序的不同而定),如上例中的 Dely。标号必须以一个字母或下划线“_”开始,可包含字母、数字或下划线的任意组合,一般作为源程序中表示位置的符号来引用,除非使用选择项把字母大小写识别功能关闭,否则标号中的字母大小写是不一样的。

例如：_Start、START、start,它们是不同的标号。

- 助记符指令：指 PIC 的各种助记符指令、伪指令或宏定义符等(如上例中的 ORG、MOVLW 等)。
- 操作数：操作数可以是常数、符号或表达式。当操作数不止一个时,操作数之间应用“,”号分开,它可以是可选项,也可以是不可选项(如上例中的 11、41H 等)。
- 注释：位于分号右边,对程序的解释字符均被作为注释且汇编时被汇编程序忽略。

PIC 系列单片机的汇编语言具有指令结构清晰、代码执行效率高等优点;但它和机器语言一样仍是一种低级语言,编程效率低下、可移植性和可读性差、软件维护升级不便。PIC 的汇编语言源程序经过汇编之后即可生成相应的机器码文件,再将机器码写入到相应的 PIC 芯片中即可。

2. PIC 的 C 语言及其特性

PIC 系列单片机的 C 语言源程序指采用高级语言 C 语言编写的程序。它一般由函数、标识符、关键字、变量、常量、数据和注释等部分组成。在程序的开始,要用 #include 指令包含调

用“头文件”，“头文件”中有标准的寄存器和 I/O 口的定义，用“{ }”表示函数体（程序体），用“;”号表示一行结束，在“//”之后或在“/ * ”与“ * /”之间的内容为注释，注释与最后生成的代码无关。每个 C 语言源程序必须经过编译处理之后才能进行仿真调试。

一个典型的 PIC 单片机的 C 语言源程序示例如下（扩展名为 .c）：

例：用指针访问 ROM(example1.c)。

```
 ; *****
//example1.c
 ; *****
#include <pic18.h>           //引用包含文件(头文件)
const char ROMArray1[] = "C Compiler for PICmicro";
const char * romptr;         //定义指针

void write_LCD( char data )  //定义写 LCD 数据函数
{                             //此段相当于一个写 LCD 数据子程序
    PORTD = data;            //将数据送 PORTD 口
}

void Update_LCD( void )      //定义更新 LCD 函数
{                             //此段相当于一个更新 LCD 子程序
    romptr = ROMArray1;
    while( * romptr ) {      //检测无效的字符变量
        write_LCD( * romptr ); //调用写 LCD 数据函数
        romptr++;
    }
}

void main( void )            //主函数(相当于主程序)开始
{
    Update_LCD();             //调用更新 LCD 显示函数
    while(1);                 //无穷循环语句
}
```

PIC 系列单片机的 C 语言是一种高级语言，具有逻辑结构清晰、可读性和可维护性好、可进行结构化编程等优点，兼容性好，移植方便。PIC 的 C 语言源程序经过编译之后即可生成相应的机器码文件，再将机器码写入到相应的 PIC 芯片中即可投入使用。

在 PIC 系列单片机中，目前比较适合学习实验使用的产品有 PIC16F87X 系列和 PIC18FXX2 系列。在用 C 语言进行 PIC 单片机开发时，应对其硬件结构和汇编指令有一定的了解，故本节将对 PIC16F87X 系列和 PIC18FXX2 系列的硬件结构和汇编指令集作一些简介，以供学习和实验时参考。

1.2 PIC16F87X 系列单片机的硬件结构概述

PIC16F87X 是微芯公司的中档产品。它采用 14 位的 RISC 指令系统,在保持低价格的前提下,增加了 A/D 转换器、内部 E²PROM 存储器、比较输出、捕捉输入、PWM 输出(加上简单的滤波电路可以作为 D/A 输出)、异步串行通信(USART)接口电路、模拟电压比较器和 FLASH 程序存储器等许多功能,可以方便地在线多次编程和调试,特别适用于初学者学习和在产品的开发阶段使用。

PIC16F87X 系列单片机产品包括 PIC16F870/871/872/873/874/876/877 等几种产品。这几种产品的程序存储器全是 FLASH 型产品,其中 PIC16F870/872/873/873A/876/876A 是 28 脚封装,余下的是 40 脚或 44 脚封装。在 28 脚封装的型号中,以 PIC16F876/876A 的内部资源居多,功能最强;在 40 脚或 44 脚封装的型号中,以 PIC16F877/877A 的内部资源居多,功能最强。

PIC16F87X 系列单片机的主要特性如表 1-2 所列。

表 1-2 PIC16F87X 系列单片机的主要特性表

器件型号	程序存储器 FLASH/KB	通用寄存器 RAM/字节	EEPROM 数据寄存器/ 字节	I/O 接口	串行口	最大时钟/ MHz
PIC16F870	2	128	64	22	USART	20
PIC16F871	2	128	64	33	USART	20
PIC16F872	2	128	64	22	MSSP	20
PIC16F873	4	192	128	22	USART MSSP	20
PIC16F873A	4	192	128	22	USART MSSP	20
PIC16F874	4	192	128	33	USART MSSP	20
PIC16F874A	4	192	128	33	USART MSSP	20
PIC16F876	8	368	256	22	USART MSSP	20
PIC16F876A	8	368	256	22	USART MSSP	20
PIC16F877	8	368	256	33	USART MSSP	20
PIC16F877A	8	368	256	33	USART MSSP	20

注: 1 PIC16F87X 系列单片机还具有 5~8 通道 ADC(A/D 转换)、1~2 个 PWM(脉宽调制输出)、3 个 Timers (定时计数器)、1~2 个 CCP——捕捉器/比较器/PWM(Capture/Compare/PWM)等功能模块。

2 PIC16F87X 系列单片机还具有掉电复位/上电延时(BOR/POR)、低电压编程(ICSP)、USART——通用同步异步接收/发送器(Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter)、MSSP——主同步串行口(Master Synchronous Serial Port)等功能。