

普通高等院校嵌入式系统规划教材

Embedded

微芯公司大学计划推荐用书

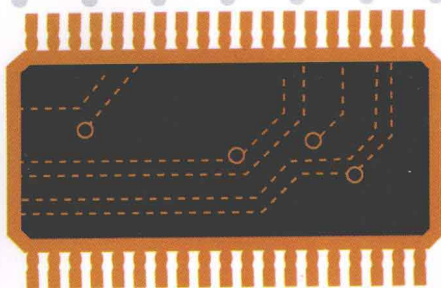


PIC18 MICROCONTROLLERS ARCHITECTURE AND DEVELOPING  
USING C PROGRAMMING LANGUAGE

# PIC18系列单片机 原理及C语言开发

张珣 张钰 编著

Zhang Xun Zhang Yu



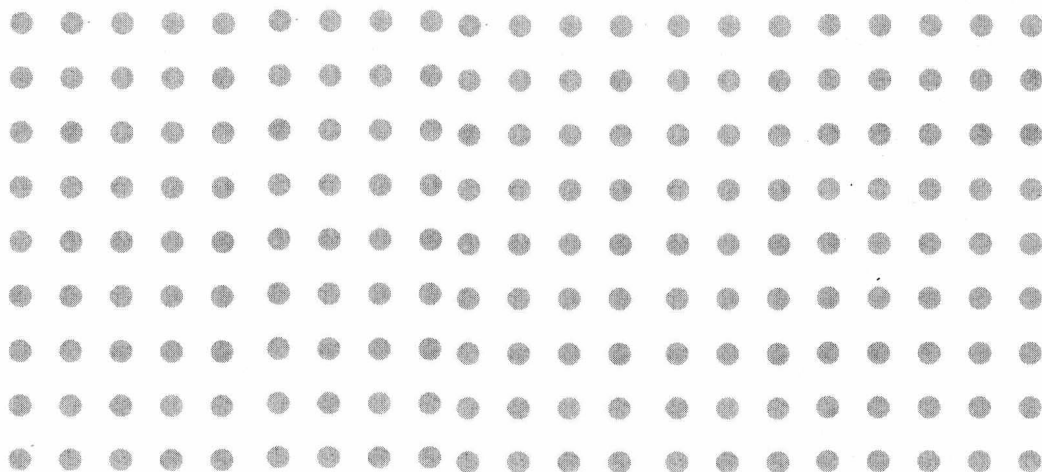
清华大学出版社



PIC18 Microcontrollers Architecture and Developing  
using C Programming Language

# PIC18系列单片机 原理及C语言开发

张珣 张钰 编著  
Zhang Xun Zhang Yu



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是一本 PIC 单片机 C 语言开发应用的入门级指导图书,详细叙述了美国 Microchip(微芯)公司 PIC 系列单片机的技术特点,以 PIC18F452 单片机为例,结合具体应用实例,重点介绍了集成开发环境的使用和 C 语言开发的基础知识,并给出了相应的参考应用程序。使用 PIC18 系列单片机 C 语言编程的初级和中高级用户可以在本书中了解到 C 语言编译器的特性和细节,也可以从本书中找到一些实际应用问题的解决方法。

本书内容通俗易懂,实用性较强,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。

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

PIC18 系列单片机原理及 C 语言开发/张珣,张钰编著. —北京:清华大学出版社,2012.7

(普通高等院校嵌入式系统规划教材)

ISBN 978-7-302-28812-1

I. ①P… II. ①张… ②张… III. ①单片微型计算机—C 语言—程序设计 IV. ①TP368.1 ②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 101937 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

责任印制:王静怡

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

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

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:186mm×240mm 印 张:24 字 数:597 千字

(附光盘 1 张)

版 次:2012 年 7 月第 1 版

印 次:2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.50 元

---

产品编号:041314-01

微芯科技股份有限公司(Microchip Tech, Inc.)专注于 8 位、16 位、32 位单片机及各种模拟器件的研发和生产,拥有独立的 MCU、模拟器件设计部门和制造工厂。用户能够在 6~100 引脚的产品里面找到适合自己应用的控制核心,以满足嵌入式控制不断增加的需求。微芯公司还针对未来的市场变化和需求不断设计更新的、软件兼容的开发工具和单片机产品。

本书针对微芯公司 8 位单片机 PIC18F452 的结构、外设、存储器模式、寻址模式和开发工具等进行了循序渐进、深入浅出的介绍,内容包括了从入门到实战。本书配套提供基础实验和高级实验(共 22 个)的源代码(见配书盘),以方便工程人员、教师以及学生参考。

本书主要内容分为 9 章,以下是内容简介:

**第 1 章** 单片机概述:主要介绍了数字逻辑基础、单片机基本原理、单片机软件基础等基本概念,介绍了使用 Proteus 软件进行系统仿真和 PCB 设计的方法,同时以具体实例说明了 Proteus 软件的使用方法。

**第 2 章** PIC 系列单片机:主要介绍了 PIC 系列单片机,重点介绍了 PIC18F452 单片机,并且介绍了 PIC 单片机的编译环境。以具体实例说明如何创建一个工程。

**第 3 章** 程序设计:简单介绍了汇编程序设计,重点介绍了嵌入式环境的 C 语言程序设计。以“Hello world!”为例,说明了 C 语言编程的方法和流程。

**第 4 章** PIC18 系列单片机功能模块:介绍了 PIC18 系列单片机的存储器、中断、I/O 端口、定时器、A/D 转换模块、通信模块的相关寄存器、编程方法等。以具体实例详细说明了上述模块的编程方法。

**第5章** PIC单片机的低功耗设计:主要介绍了单片机低功耗产生的原因,以及软硬件降低功耗的方法,并介绍了XLP系列纳瓦级单片机的特点。通过具体实例测试单片机的功耗。

**第6章** PIC单片机的电源管理:介绍了单片机电路的电源稳压与抗干扰、WDT与复位以及电池充放电等内容,并以具体实例说明了WDT编程方法。

**第7章** PIC单片机mTouch技术:介绍了电容触摸、电感触摸、CSMU模块等内容,并且介绍了mTouch按键编程方法。

**第8章** PIC单片机在测量方面的应用:介绍了PIC单片机在电压与电流、温度、频率与周期测量方面,以及在声音采集与还原方面的应用。通过实例说明了上述应用的编程方法。

**第9章** PIC单片机的智能控制:介绍了PIC单片机在直流、步进电机,以及D类放大器的应用与设计的编程方法,并且编写了直流电机、步进电机驱动和简易频率计的设计代码。

本书在编写过程中受到了微芯公司工程师的指导与帮助,得到了杭州电子科技大学电子信息学院师生的大力支持,在此向他们表示感谢!

其中,张珣编写了本书1.4节、3.2节以及第4~9章的全部内容;张钰编写了1.1~1.3节、第2章、3.1节。张珣和张钰负责本书的统稿。参与编写本书的还有袁梦颖、刘宝宇、石鑫栋、王慧渊、戴世宇、程阳、丁杨青、颜东、朱欢燕、杨涛、林翰涛、田鹤、田先春、郝晓亮、陈婷婷等,在此向他们表示感谢!

由于作者知识的局限性,书中难免存在不足之处。请读者不吝赐教,欢迎批评和指正!

编 者

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 第 1 章 单片机概述 .....                   | 1  |
| 1.1 数字逻辑基础 .....                    | 1  |
| 1.1.1 计算机中的数与符号 .....               | 1  |
| 1.1.2 信号与编码 .....                   | 1  |
| 1.1.3 二进制算术运算 .....                 | 1  |
| 1.1.4 逻辑运算 .....                    | 1  |
| 1.1.5 关系运算 .....                    | 2  |
| 1.1.6 ALU 与 CU .....                | 2  |
| 1.1.7 输入输出接口 .....                  | 2  |
| 1.1.8 存储器 .....                     | 2  |
| 1.1.9 模拟数字转换 .....                  | 2  |
| 1.1.10 总线驱动与抗干扰 .....               | 3  |
| 1.2 单片机基本原理 .....                   | 3  |
| 1.2.1 单片机体系结构 .....                 | 3  |
| 1.2.2 单片机最小系统 .....                 | 3  |
| 1.2.3 单片机历史与发展 .....                | 3  |
| 1.3 单片机软件基础 .....                   | 4  |
| 1.3.1 计算机语言 .....                   | 4  |
| 1.3.2 指令与指令系统 .....                 | 4  |
| 1.3.3 CISC 与 RISC .....             | 4  |
| 1.3.4 程序的健壮性与程序设计风格 .....           | 5  |
| 1.3.5 监控程序设计 .....                  | 5  |
| 1.3.6 软件测试 .....                    | 6  |
| 1.4 Proteus 软件 .....                | 6  |
| 1.4.1 Proteus Professional 界面 ..... | 7  |
| 1.4.2 Proteus 仿真工具 .....            | 10 |
| 1.4.3 Proteus 单片机电路仿真 .....         | 13 |

|              |                            |           |
|--------------|----------------------------|-----------|
| 1.4.4        | Proteus 物理接口模型 .....       | 16        |
| 1.4.5        | Proteus 单片机电路 PCB 设计 ..... | 18        |
|              | 本章小结 .....                 | 20        |
|              | 课外阅读——如何阅读 Datasheet ..... | 21        |
|              | 本章实训 .....                 | 24        |
| 实验 1         | Proteus 软件仿真 .....         | 24        |
| <b>第 2 章</b> | <b>PIC 系列单片机</b> .....     | <b>28</b> |
| 2.1          | PIC 系列单片机介绍 .....          | 28        |
| 2.1.1        | PIC 系列单片机的发展 .....         | 28        |
| 2.1.2        | PIC16 系列单片机的技术特点 .....     | 29        |
| 2.1.3        | PIC18 系列单片机的技术特点 .....     | 30        |
| 2.1.4        | PIC24 系列单片机的技术特点 .....     | 31        |
| 2.1.5        | PIC32 系列单片机的技术特点 .....     | 33        |
| 2.1.6        | dsPIC 系列单片机的技术特点 .....     | 34        |
| 2.2          | PIC18F452 单片机介绍 .....      | 38        |
| 2.2.1        | PIC18F452 单片机体系结构 .....    | 38        |
| 2.2.2        | PIC18F452 单片机最小系统 .....    | 46        |
| 2.2.3        | 复位电路、振荡电路及时钟电路 .....       | 46        |
| 2.3          | PIC 单片机编译环境介绍 .....        | 49        |
| 2.3.1        | 编译环境的安装 .....              | 49        |
| 2.3.2        | 创建工程 .....                 | 51        |
| 2.3.3        | 例程的编译和调试 .....             | 55        |
|              | 本章小结 .....                 | 56        |
|              | 课外阅读——让 MPLAB 更易用 .....    | 56        |
|              | 本章实训 .....                 | 58        |
| 实验 2         | 创建第一个工程 .....              | 58        |
| <b>第 3 章</b> | <b>程序设计</b> .....          | <b>60</b> |
| 3.1          | 汇编程序设计 .....               | 60        |
| 3.1.1        | PIC18 系列指令集 .....          | 60        |
| 3.1.2        | 汇编格式 .....                 | 70        |
| 3.1.3        | 汇编程序工程的创建和调试 .....         | 71        |
| 3.2          | 嵌入式环境的 C 语言程序设计 .....      | 87        |
| 3.2.1        | C 语言概述 .....               | 87        |
| 3.2.2        | 在嵌入式环境中使用 C 语言 .....       | 88        |

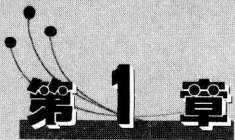
|                                     |                     |         |
|-------------------------------------|---------------------|---------|
| 3.2.3                               | 注释 .....            | 89      |
| 3.2.4                               | 变量、标识符和数据类型 .....   | 91      |
| 3.2.5                               | 字面常量 .....          | 95      |
| 3.2.6                               | 符号常量 .....          | 98      |
| 3.2.7                               | printf()库函数 .....   | 100     |
| 3.2.8                               | 运算符 .....           | 101     |
| 3.2.9                               | 表达式和语句 .....        | 107     |
| 3.2.10                              | 条件判定 .....          | 109     |
| 3.2.11                              | 循环 .....            | 115     |
| 3.2.12                              | 函数 .....            | 119     |
| 3.2.13                              | 多文件项目和存储类别说明符 ..... | 126     |
| 3.2.14                              | 数组 .....            | 129     |
| 3.2.15                              | 指针 .....            | 132     |
| 3.2.16                              | 结构体 .....           | 137     |
| 3.2.17                              | 共用体 .....           | 144     |
| 3.2.18                              | 位域 .....            | 147     |
| 3.2.19                              | 枚举 .....            | 148     |
| 3.2.20                              | 使用#define宏 .....    | 150     |
| 本章小结 .....                          |                     | 151     |
| 课外阅读——MPLAB C18 函数库那些事 .....        |                     | 152     |
| 本章实训 .....                          |                     | 157     |
| 实验3 从“Hello World!”开始 .....         |                     | 157     |
| <br><b>第4章 PIC18系列单片机功能模块</b> ..... |                     | <br>159 |
| 4.1                                 | 存储器 .....           | 159     |
| 4.1.1                               | 存储器构成 .....         | 159     |
| 4.1.2                               | 闪存程序存储器 .....       | 159     |
| 4.1.3                               | 数据存储器(RAM) .....    | 162     |
| 4.1.4                               | 数据EEPROM存储器 .....   | 162     |
| 4.2                                 | 中断 .....            | 164     |
| 4.2.1                               | PIC单片机中断介绍 .....    | 164     |
| 4.2.2                               | 中断相关寄存器介绍 .....     | 164     |
| 4.2.3                               | 中断编程 .....          | 167     |
| 4.3                                 | I/O 端口 .....        | 174     |
| 4.3.1                               | PIC单片机I/O端口介绍 ..... | 174     |
| 4.3.2                               | 按键扫描与处理 .....       | 192     |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 4.3.3 数码显示 .....                 | 194        |
| 4.4 定时器 .....                    | 199        |
| 4.4.1 定时器模块 .....                | 199        |
| 4.4.2 捕捉/比较/PWM(CCP)模块 .....     | 210        |
| 4.4.3 定时器编程 .....                | 212        |
| 4.4.4 PWM 信号的产生 .....            | 216        |
| 4.5 A/D 转换模块 .....               | 218        |
| 4.5.1 数据采集与处理 .....              | 218        |
| 4.5.2 A/D 转换原理 .....             | 220        |
| 4.5.3 A/D 转换编程 .....             | 221        |
| 4.5.4 D/A 转换 .....               | 226        |
| 4.5.5 D/A 转换编程 .....             | 228        |
| 4.6 通信模块 .....                   | 229        |
| 4.6.1 串行通信概述 .....               | 229        |
| 4.6.2 USART 模块 .....             | 230        |
| 4.6.3 SPI 模块 .....               | 233        |
| 4.6.4 I <sup>2</sup> C 模块 .....  | 238        |
| 4.6.5 串行通信编程举例 .....             | 244        |
| 本章小结 .....                       | 246        |
| 课外阅读——PIC18 系列中断注意事项 .....       | 246        |
| 本章实训 .....                       | 247        |
| 实验 4 存储器操作实验 .....               | 247        |
| 实验 5 中断实验 .....                  | 250        |
| 实验 6 按键扫描与处理实验 .....             | 252        |
| 实验 7 数码显示实验 .....                | 255        |
| 实验 8 定时器实验 .....                 | 258        |
| 实验 9 PWM 实验 .....                | 260        |
| 实验 10 A/D 转换实验 .....             | 262        |
| 实验 11 函数发生器实验 .....              | 264        |
| 实验 12 串行通信实验 .....               | 270        |
| 实验 13 简易电子琴实验 .....              | 274        |
| <b>第 5 章 PIC 单片机的低功耗设计 .....</b> | <b>277</b> |
| 5.1 功耗产生的原因 .....                | 277        |
| 5.2 如何降低硬件功耗 .....               | 278        |
| 5.3 低功耗设计软件技巧 .....              | 279        |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 5.4 PIC 低功耗模式系列纳瓦级单片机 .....              | 280        |
| 5.5 XLP 系列纳瓦级单片机 .....                   | 282        |
| 本章小结 .....                               | 286        |
| 课外阅读——液晶显示与驱动 .....                      | 286        |
| 本章实训 .....                               | 288        |
| 实验 14 单片机功耗测试 .....                      | 288        |
| <br><b>第 6 章 PIC 单片机的电源管理</b> .....      | <b>290</b> |
| 6.1 电源波动与干扰 .....                        | 290        |
| 6.2 BOR 与 POR .....                      | 291        |
| 6.3 单片机电路的电源稳压与抗干扰 .....                 | 293        |
| 6.4 WDT 与复位 .....                        | 293        |
| 6.5 电池充放电与电量检测 .....                     | 294        |
| 本章小结 .....                               | 297        |
| 课外阅读——电池的特性 .....                        | 298        |
| 本章实训 .....                               | 299        |
| 实验 15 WDT 实验 .....                       | 299        |
| <br><b>第 7 章 PIC 单片机 mTouch 技术</b> ..... | <b>302</b> |
| 7.1 电容触摸 .....                           | 302        |
| 7.1.1 传感器的构建 .....                       | 302        |
| 7.1.2 振荡器工作原理 .....                      | 303        |
| 7.1.3 测试频率 .....                         | 303        |
| 7.1.4 检测按键是否按下 .....                     | 304        |
| 7.1.5 寄存器配置 .....                        | 305        |
| 7.2 电感触摸 .....                           | 305        |
| 7.2.1 传感器的构建 .....                       | 305        |
| 7.2.2 内部结构说明 .....                       | 305        |
| 7.2.3 线圈的连接 .....                        | 307        |
| 7.2.4 比率测量 .....                         | 307        |
| 7.3 CSMU 模块 .....                        | 307        |
| 7.3.1 模拟 MUX .....                       | 308        |
| 7.3.2 容性传感振荡器 .....                      | 309        |
| 7.3.3 定时器资源 .....                        | 309        |
| 7.4 mTouch 按键编程 .....                    | 309        |
| 7.4.1 使用默认数量的按钮 .....                    | 309        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 7.4.2 通过多路复用器进行扩展 .....            | 311        |
| 本章小结 .....                         | 312        |
| 课外阅读——分布电容与电感 .....                | 313        |
| 本章实训 .....                         | 314        |
| 实验 16 触摸按键实验 .....                 | 314        |
| <b>第 8 章 PIC 单片机在测量方面的应用 .....</b> | <b>317</b> |
| 8.1 电压与电流的测量 .....                 | 317        |
| 8.2 温度测量 .....                     | 318        |
| 8.2.1 用 DS18B20 测量温度 .....         | 318        |
| 8.2.2 用 TC1047A 测量温度 .....         | 325        |
| 8.3 频率与周期测量 .....                  | 327        |
| 8.4 声音的采集与还原 .....                 | 329        |
| 本章小结 .....                         | 334        |
| 课外阅读——常见传感器 .....                  | 334        |
| 本章实训 .....                         | 335        |
| 实验 17 数字电压表设计 .....                | 335        |
| 实验 18 采用 DS18B20 实现数字温度计 .....     | 338        |
| 实验 19 可编程控制放大器设计 .....             | 342        |
| <b>第 9 章 PIC 单片机的智能控制 .....</b>    | <b>346</b> |
| 9.1 直流电机控制 .....                   | 346        |
| 9.1.1 直流电机介绍及其工作原理 .....           | 346        |
| 9.1.2 程序设计 .....                   | 347        |
| 9.1.3 应用场合 .....                   | 347        |
| 9.2 步进电机控制 .....                   | 348        |
| 9.2.1 步进电机介绍及其工作原理 .....           | 348        |
| 9.2.2 程序设计 .....                   | 349        |
| 9.2.3 应用场合 .....                   | 351        |
| 9.3 D 类放大器设计 .....                 | 351        |
| 9.3.1 D 类放大器原理 .....               | 351        |
| 9.3.2 D 类放大器控制设计 .....             | 358        |
| 9.3.3 程序设计 .....                   | 358        |
| 9.3.4 应用场合 .....                   | 358        |
| 本章小结 .....                         | 359        |
| 课外阅读——模糊控制理论 .....                 | 359        |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 本章实训.....            | 365 |
| 实验 20 直流电机驱动实验 ..... | 365 |
| 实验 21 步进电机驱动实验 ..... | 366 |
| 实验 22 简易频率计实验 .....  | 367 |
| 参考文献.....            | 370 |



# 单片机概述

## 1.1 数字逻辑基础

### 1.1.1 计算机中的数与符号

在计算机中只能表示 0 和 1 两种数码,所以计算机中的任何信息都是采用 0 和 1 的组合序列来表示。一个数在机器(计算机)中的表示形式称为机器数。机器数在形式上为二进制数,但有别于日常生活中使用的二进制数。机器数的实际值叫真值。无符号数的表示比较简单,和其真值的二进制形式比较相近,其最高位不再是符号位,而是数值位。有符号数采用原码、反码和补码来表示。

### 1.1.2 信号与编码

信号是数据的电磁编码或电子编码。和数据一样,信号也分为模拟信号和数字信号。模拟信号是指电信号的参量是连续取值的,其特点是幅度连续。常见的模拟信号有电话、传真和电视信号等。数字信号是离散的,从一个值到另一个值的改变是瞬时的,就像开启和关闭电源一样。数字信号的特点是幅度限制在有限个数值之内。常见的数字信号有电报符号、数字数据等。

编码是用预先规定的方法将文字、数字或其他对象编成数码,或将信息、数据转换成规定的电脉冲信号。编码在电子计算机、电视、遥控和通信等方面得到了广泛使用。编码是信息从一种形式或格式转换为另一种形式的过程。解码是编码的逆过程。

### 1.1.3 二进制算术运算

二进制算术运算就是二进制数的加、减、乘、除、乘方以及开方等数学运算,区别于几何运算。

### 1.1.4 逻辑运算

逻辑运算又称布尔运算。在逻辑代数中,有与、或、非三种基本逻辑运算。表示逻辑运算的方法有多种,如语句描述、逻辑代数式、真值表、卡诺图等。

### 1.1.5 关系运算

关系运算用于比较运算。包括大于(>)、小于(<)、等于(==)、大于等于(>=)、小于等于(<=)和不等于(!=)六种。

### 1.1.6 ALU 与 CU

CPU 是 Central Processing Unit(中央微处理器)的缩写,可分为控制单元(Control Unit,CU)、算术逻辑单元(Arithmetic Logic Unit,ALU)、存储单元(Memory Unit,MU)三大部分。

Arithmetic Logic Unit(算术逻辑单元)在处理器 CPU 中用于计算。ALU 负责处理数据的运算工作,包括算术运算(如加、减、乘、除等)、逻辑运算(如 AND、OR、NOT 等)及关系运算(比较大小等关系),并将运算的结果存储在记忆单元。

控制单元(CU)是提供完成机器全部指令操作的微操作命令序列部件。

### 1.1.7 输入输出接口

计算机输入输出接口(I/O 接口)是 CPU 与外部设备之间交换信息的连接电路,它们通过总线与 CPU 相连。I/O 接口分为总线接口和通信接口两类。当需要外部设备或用户电路与 CPU 之间进行数据、信息交换以及控制操作时,应使用微型计算机总线把外部设备和用户电路连接起来,这时就需要使用微型计算机总线接口;当微型计算机系统与其他系统直接进行数字通信时使用通信接口。所谓总线接口是把微型计算机总线通过电路插座提供给用户的一种总线插座,供插入各种功能卡。插座的各个管脚与微型计算机总线的相应信号线相连,用户只要按照总线排列的顺序制作外部设备或用户电路的插线板,即可实现外部设备或用户电路与系统总线的连接,使外部设备或用户电路与微型计算机系统成为一体。常用的总线接口有:AT 总线接口、PCI 总线接口、IDE 总线接口等。通信接口是指微型计算机系统与其他系统直接进行数字通信的接口电路,通常分串行通信接口和并行通信接口两种,即串口和并口。

### 1.1.8 存储器

存储器(memory)是计算机系统中的记忆设备,用来存放程序和数据。计算机中的全部信息,包括输入的原始数据、计算机程序、中间运行结果和最终运行结果都保存在存储器中。它根据控制器指定的位置存入和取出信息。有了存储器,计算机才有记忆功能,才能保证正常工作。存储器按用途可分为主存储器(内存)和辅助存储器(外存),也有分为外部存储器和内部存储器的分类方法。

### 1.1.9 模拟数字转换

模拟数字转换是把模拟量转换为数字量的过程。在计算机控制系统中,须经各种检测

装置,以连续变化的电压或电流作为模拟量,随时提供被控制对象的有关参数(如速度、压力、温度等)。计算机的输入必须是数字量,故须用模数转换器达到控制目的。

### 1.1.10 总线驱动与抗干扰

总线驱动用于控制和配置特殊的总线,同时会控制和配置总线上的硬件,通过 client 驱动形式来加载、卸载总线上的设备驱动。抗干扰用来对抗通信或雷达运行的任何干扰的系统或技术。也可以定义为结合电路的特点使干扰减少到最小,或者指设备能够防止经过天线输入端、设备的外壳以及沿电源线作用于设备的电磁干扰。

## 1.2 单片机基本原理

### 1.2.1 单片机体系结构

计算机体系结构解决的是计算机系统在总体上、功能上需要解决的问题,它和计算机组成、计算机实现是不同的概念。一种体系结构可能有多种组成,一种组成也可能有多种物理实现。计算机体系结构的逻辑实现,包括机器内部数据流和控制流的组成以及逻辑设计等。其目标是合理地把各种部件、设备组成计算机,以实现特定的系统结构,同时满足所希望达到的性能价格比。一般而言,计算机组成研究的范围包括:确定数据通路的宽度、确定各种操作对功能部件的共享程度、确定专用的功能部件、确定功能部件的并行度、设计缓冲和排队策略、设计控制机构和确定采用何种可靠技术等。计算机组成的物理实现包括处理机、主存等部件的物理结构,器件的集成度和速度,器件、模块、插件、底板的划分与连接,专用器件的设计,信号传输技术,电源、冷却及装配等技术以及相关的制造工艺和技术。

### 1.2.2 单片机最小系统

最小系统是指能进行正常工作的最简单电路。包括电源电路、时钟电路、复位电路和程序烧制接口,四者缺一不可。

### 1.2.3 单片机历史与发展

将 8 位单片机的推出作为起点,单片机的发展历史大致可分为以下几个阶段:

(1) 第一阶段(1976—1978):单片机的探索阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表。MCS-48 的推出是在工控领域的探索,相关公司还有 Motorola、Zilog 等,它们都取得了令人满意的效果。这就是 SCM 的诞生年代,“单片机”一词即由此而来。

(2) 第二阶段(1978—1982)单片机的完善阶段。Intel 公司在 MCS-48 基础上推出了完善的、典型的单片机系列 MCS-51。它在以下几个方面奠定了典型的通用总线型单片机体系结构。

① 完善的外部总线。MCS-51 设置了经典的 8 位单片机的总线结构,包括 8 位数据总

线、16 位地址总线、控制总线及具有多机通信功能的串行通信接口。

② CPU 外围功能单元的集中管理模式。

③ 体现工控特性的位地址空间及位操作方式。

④ 指令系统趋于丰富和完善,并且增加了许多突出控制功能的指令。

(3) 第三阶段(1982—1990): 8 位单片机的巩固和发展及 16 位单片机的推出阶段,也是单片机向微控制器发展的阶段。Intel 公司推出的 MCS-96 系列单片机,将一些用于测控系统的模数转换器、程序运行监视器、脉宽调制器等纳入片中,体现了单片机的微控制器特征。随着 MCS-51 系列的广泛应用,许多电气厂商竞相使用 80C51 作为内核,将许多测控系统中使用的电路技术、接口技术、多通道 A/D 转换部件、可靠性技术等应用到单片机中,增强了外围电路功能,强化了智能控制的特征。

(4) 第四阶段(1990 至今): 单片机的全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面深入地发展和应用,出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位/16 位/32 位通用型单片机,以及小型廉价的专用型单片机,并向 SoC 及多核技术发展。

## 1.3 单片机软件基础

### 1.3.1 计算机语言

计算机语言(computer language)指用于人与计算机之间通信的语言。语言分为自然语言与人工语言两大类。自然语言是人类在自身发展的过程中形成的语言,是人与人之间传递信息的媒介。人工语言指的是人们为了某种目的而自行设计的语言。计算机语言就是人工语言的一种。计算机语言是人与计算机之间传递信息的媒介。计算机系统最大的特征是指令通过一种语言传达给机器。为了使电子计算机进行各种工作,就需要有一套用以编写计算机程序的字符和语法规则,由这些字符和语法规则组成计算机的各种指令(或各种语句),这些就是计算机语言。

### 1.3.2 指令与指令系统

指令是指计算机完成某个基本操作的命令。计算机硬件能解释指令并执行。一条指令就是计算机机器语言的一个语句,是程序设计的最小语言单位。一台计算机所能执行的全部指令的集合,称为这台计算机的指令系统。指令系统比较充分地说明了计算机处理数据的能力。不同种类的计算机,其指令系统的指令数目与格式也不同。指令系统越丰富完备,编制程序就越方便灵活。指令系统是根据计算机使用要求设计的。

### 1.3.3 CISC 与 RISC

长期以来,计算机性能的提高往往是通过增加硬件的复杂性来获得的。随着集成电路技术,特别是 VLSI(超大规模集成电路)技术的迅速发展,为了软件编程方便和提高程序的

运行速度,硬件工程师采用的办法是不断增加可实现复杂功能的指令和多种灵活的编址方式。甚至某些指令可支持高级语言语句归类后的复杂操作,至使硬件越来越复杂,造价也相应提高。为实现复杂操作,微处理器除向程序员提供类似各种寄存器和机器指令功能外,还通过存储于只读存储器(ROM)中的微程序来实现其极强的功能,处理在分析每一条指令之后执行一系列初级指令运算所需的功能,这种设计的形式称为复杂指令集计算机(Complex Instruction Set Computer,CISC)结构,一般 CISC 计算机所含的指令数目至少 300 条,有的甚至超过 500 条。

采用复杂指令系统的计算机有着较强的处理高级语言的能力。这对提高计算机的性能是有益的。当计算机的设计沿着这条道路发展时,有些人并没有随波逐流,他们回顾曾走过的道路,开始怀疑这种传统的做法。IBM 公司设在纽约 Yorktown 的 Thomas. J. Waston 研究中心于 1975 年组织力量研究指令系统的合理性问题。因为当时该公司已感到,日趋庞杂的指令系统不但不易实现,而且还可能降低系统性能。1979 年以帕特逊教授为首的一批科学家也开始在美国加州大学伯克利分校开展这一项研究。研究结果表明,CISC 存在许多缺点。首先,在这种计算机中,各种指令的使用率相差悬殊。一个典型程序的运算过程所使用的 80%指令只占一个处理器指令系统的 20%。事实上最频繁使用的指令是取、存和加这些最简单的指令。这样一来,长期致力于复杂指令系统的设计,实际上是在设计一种难以在实践中用得上的指令系统的处理器。其次,复杂的指令系统必然带来结构的复杂性。这不但增加了设计的时间与成本,还容易造成设计失误。再次,尽管 VLSI 技术在当时已达到很高的水平,但也很难把 CISC 的全部硬件做在一个芯片上,这也妨碍了单片计算机的发展。最后,在 CISC 中,许多复杂指令需要极复杂的操作,这类指令多数是某种高级语言的直接翻版,因而通用性差。由于采用二级的微码执行方式,它也降低那些被频繁调用的简单指令系统的运行速度。因此,针对 CISC 的这些弊病,帕特逊等人提出了精简指令的设想,即指令系统应当只包含那些使用频率很高的少量指令。并提供一些必要的指令以支持操作系统和高级语言。按照这个原则发展而成的计算机称为精简指令集计算机(Reduced Instruction Set Computer,RISC)结构。

#### 1.3.4 程序的健壮性与程序设计风格

程序的健壮性是指程序对于规范要求以外的输入情况的处理能力。健壮的系统是指对于规范要求以外的输入能够判断出这个输入不符合规范要求,并能有合理的处理方式。另外健壮性有时也和容错性、可移植性、正确性有交叉的地方。

程序设计风格指在程序设计中要使程序结构合理、清晰,形成良好的编程习惯,要求程序不仅可以在机器上执行,给出正确的结果,而且要便于调试和维护,这就要求编写的程序不仅自己看得懂,而且也要让别人能看懂。

#### 1.3.5 监控程序设计

单片机常常因为外界的严重干扰而引起系统程序跑飞。为防止这类情况出现,一般有