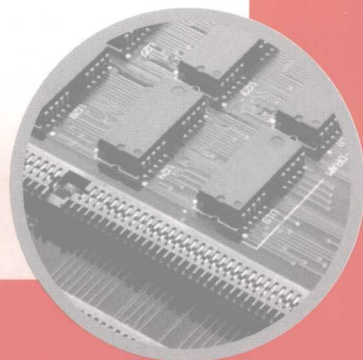
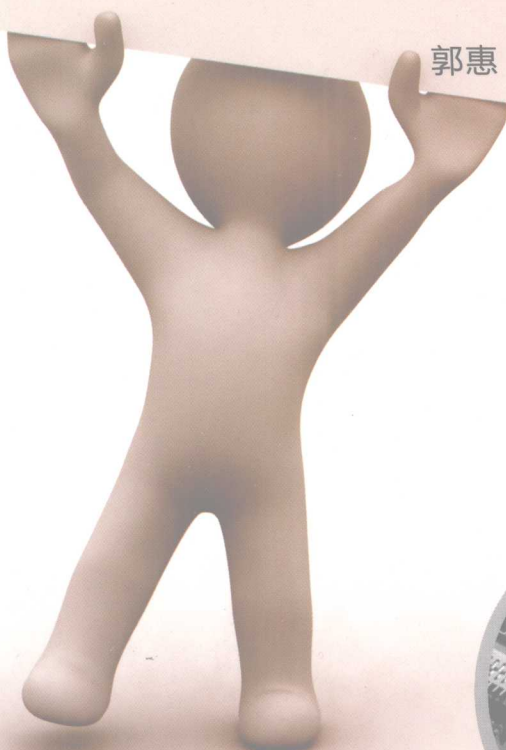


单片机 C语言程序设计 完全自学手册

郭惠 吴迅 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

单片机 C语言程序设计 完全自学手册

郭惠 吴迅 编著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京•BEIJING

内 容 简 介

本书以“基础、实用”为原则,通过基础知识与大量实例结合的形式,详细介绍了单片机 C 语言应用开发的各种方法和技巧。全书分为 12 章,前 6 章讲述单片机概述硬件结构、指令系统、C 语言程序设计基础、常用开发工具、C 语言与汇编混合编程等知识;后 6 章重点介绍单片机软硬件开发流程、常用单元模块设计、应用系统设计实例、扩展设计、系统设计经验总结以及 RTX51 实时操作系统等内容。读者通过学习,可以快速入门和提高。

本书语言简洁,内容安排从零开始、由浅入深、循序渐进。实例典型丰富,代表性和指导性强,涵盖了单片机 C 语言开发的大多数应用领域和开发技术。同时本书对程序开发的关键细节做了深入解释,程序代码进行详细注释,利于读者掌握牢固、学懂学透,达到举一反三的效果。

本书附有光盘,其中包括丰富的硬件原理图和程序源代码,方便读者学习和参考。本书适合从事单片机系统开发的初级设计人员,以及计算机、电子信息及相关专业的在校大学生使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

单片机 C 语言程序设计完全自学手册 / 郭惠, 吴迅编著. —北京: 电子工业出版社, 2008.10
ISBN 978-7-121-07167-6

I. 单… II. ①郭… ②吴… III. 单片微型计算机—C 语言—程序设计—技术手册 IV. TP368.1-62
TP312-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 112825 号

责任编辑: 朱沐红

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 25 字数: 514 千字

印 次: 2008 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 4500 册 定价: 49.00 元(含光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前言

1971 年微处理器研制成功不久,就出现了单片微型计算机(即单片机)技术。随着科学技术的日新月异,单片机从一开始的 8 位单片机发展到现在的 16 位、32 位等诸多系列。单片机种类很多,常见的有 51 系列、AVR 系列、PIC 系列等。其中,51 系列单片机由于其灵活方便、价格便宜的优点,成为工程应用最广泛的单片机,是大学里电子、自动化及相关专业的必修课。至今为止,其他任何一个单片机系列都无法与其媲美。

单片机系统的开发是硬件、软件相结合的过程,技术性较强。要完成单片机系统的开发,用户需要了解单片机的硬件结构、指令系统、C 语言编程,掌握单片机开发工具,学习基本模块与综合系统的设计方法,包括扩展设计等内容。目前市场上关于单片机入门学习的书,要么内容不够全面、要么实用性不强,或者就是结构不合理、讲解方式不易学等,因此本书安排从零开始、由简到难,详细深入介绍单片机 C 语言应用开发的各种方法和技巧。

本书内容

本书以“基础、实用”为原则,通过基础知识与大量实例结合的形式,详细介绍了单片机 C 语言应用开发的各种方法和技巧。本书共分为 12 章,主要内容安排如下图所示。



光盘介绍

本书附光盘 1 张, 包括丰富的硬件原理图和程序源代码, 方便读者学习和参考。本书适合从事单片机系统开发的初级设计人员, 以及计算机、电子信息及相关专业的在校大学生使用。

1. 光盘的组成内容

该光盘包括 2 部分内容: “第 9 章的程序代码和电路原理图”、“部分插图”。其中:

“程序代码和电路图”文件夹里面内容为各实例章节的程序源代码, 以及相应的电路原理图(由 Protel 99 软件制成, 读者需要安装此软件来打开)。

“部分插图”文件夹里面内容为第 9 章、第 10 章的插图, 为 BMP 格式。

2. 光盘的使用说明

光盘里面的程序需要采用 C 语言的编译软件打开阅读, 也可以使用“UltraEdit”等软件打开阅读或者编辑。

3. 系统要求

操作系统推荐为 Windows 2000 或者 Windows XP 系统, 但不能是 Linux 或者 UNIX 系统。

本书特色

与同类 51 单片机相比, 本书具有以下特色。

- ① 内容系统、全面, 基础知识、开发工具和大量实例结合介绍, 实践和应用性强。
- ② 内容从零开始、循序渐进, 概念和设计思想讲解透彻, 代码注释详细深入, 便于读者举一反三。
- ③ 光盘中包含了丰富的实例硬件原理图和程序源代码, 读者稍加修改, 便可应用于实际的工作中或者完成自己的课题设计。

致谢

本书主要由郭惠、吴迅编写, 参加编写的人员还有: 廖日坤、金镇、李宁宇、黄小惠、廖济林、庞丽梅、邱远彬、黄桂群、刘伟捷、黄乘传、黄小欢、李彦超、付军鹏、张广安、张洪波、贾素龙、李焱冰、王艳波、张剑等人, 他们在资料收集、整理和技术支持方面做了大量的工作, 在此一并向他们表示感谢!

由于时间仓促, 加之作者的水平有限, 书中难免存在一些不足之处, 欢迎广大读者批评指正, jsj@phei.com.cn。

目 录

基础篇 51 单片机

第 1 章 单片机概述 1

- 1.1 单片机的发展历史 1
- 1.2 单片机现状与趋势 2
- 1.3 单片机系统分类 4
 - 1.3.1 MCS-51 单片机 5
 - 1.3.2 AVR 单片机 5
 - 1.3.3 PIC 单片机 6
- 1.4 单片机系统功能及应用 7
 - 1.4.1 单片机系统硬件开发原理 7
 - 1.4.2 单片机系统软件开发原理 8
 - 1.4.3 单片机系统应用领域 9
- 1.5 本章总结 10
- 1.6 思考与练习题 10

第 2 章 51 单片机的硬件结构 11

- 2.1 引脚及其功能 11
- 2.2 内部结构 13
 - 2.2.1 功能模块 13
 - 2.2.2 CPU 13
 - 2.2.3 并行 I/O 端口 15
 - 2.2.4 存储器结构 17
 - 2.2.5 定时/计数器 21
 - 2.2.6 串行口 26
 - 2.2.7 中断系统 32

- 2.3 本章总结 34

- 2.4 思考与练习题 34

第 3 章 51 单片机工作方式和指令系统 36

- 3.1 单片机的工作方式 36
 - 3.1.1 复位方式 36
 - 3.1.2 程序执行方式 37
 - 3.1.3 低功耗方式 38
 - 3.1.4 编程方式 39
- 3.2 单片机指令系统简介 40
- 3.3 单片机的寻址方式 41
- 3.4 单片机的指令格式与符号 44
 - 3.4.1 指令格式 44
 - 3.4.2 符号说明 57
- 3.5 本章总结 61
- 3.6 思考与练习题 61

进阶篇 C 语言开发

第 4 章 C 语言程序设计基础 63

- 4.1 标识符与关键字 63
- 4.2 运算符与表达式 63
 - 4.2.1 运算符分类与优先级 64
 - 4.2.2 算术运算符与表达式 64
 - 4.2.3 关系运算符与表达式 65
 - 4.2.4 逻辑运算符与表达式 65

4.2.5	位操作运算符与表达式	66
4.2.6	赋值运算符与表达式	66
4.3	数据类型	67
4.4	变量与常量	70
4.5	数组与指针	74
4.5.1	数组	74
4.5.2	指针	78
4.6	结构变量	82
4.6.1	结构类型及变量的定义	82
4.6.2	结构类型变量的使用	84
4.6.3	结构数组和结构指针	84
4.7	共用体	86
4.8	枚举	88
4.9	程序结构与函数	89
4.9.1	程序结构	89
4.9.2	函数	90
4.10	流程控制语句	97
4.10.1	选择语句	98
4.10.2	循环语句	101
4.10.3	转移语句	104
4.11	本章总结	105
4.12	思考与练习题	106

第5章 单片机常用开发工具 107

5.1	编程器概述	107
5.2	编程器的安装与使用举例	108
5.3	仿真器	111
5.3.1	仿真器概述	111
5.3.2	仿真器安装和使用举例	112
5.4	Keil 8051 C 编译器	116
5.4.1	Keil 8051 C 编译器简介	116
5.4.2	Keil μ Vision 集成开发环境	117
5.4.3	Keil dScope 仿真调试	123
5.5	本章总结	129
5.6	思考练习题	129

第6章 C语言与汇编语言

混合编程 130

6.1	单片机汇编程序设计	130
6.2	汇编与C语言混合编程技术	134
6.2.1	函数名转换规则	134
6.2.2	函数及相关段的命名规则	135
6.2.3	参数传递规则	136
6.2.4	段和局部变量	137
6.2.5	变量地址设置	138
6.2.6	汇编语言和C语言的互访	140
6.2.7	内联汇编代码	144
6.2.8	仿真多级中断	147
6.2.9	时序问题	148
6.3	C语言与汇编语言混合编程实例	152
6.4	本章总结	156
6.5	思考与练习题	157

实践篇 常用模块

第7章 单片机软硬件开发流程 158

7.1	单片机系统设计分析	158
7.2	单片机软件开发流程	160
7.3	单片机硬件开发流程	167
7.4	本章总结	170
7.5	思考与练习题	170

第8章 单片机常用单元模块

设计与实例 171

8.1	键盘输入单元模块	171
8.1.1	行列式键盘	171
8.1.2	键识别方法	172
8.1.3	键识别法举例	173
8.1.4	程序代码与注释	176

8.2 数码显示单元模块.....	178	8.7.4 存储器的扩展应用举例.....	227
8.2.1 如何驱动 8 段数码管.....	178	8.8 A/D 转换模块.....	230
8.2.2 8 段数码管动态显示举例.....	179	8.8.1 A/D 转换器概述.....	230
8.2.3 程序代码与注释.....	182	8.8.2 典型 A/D 转换器芯片	
8.3 液晶显示单元模块.....	182	ADC0809 简介.....	230
8.3.1 液晶模块分类.....	183	8.8.3 MCS-51 单片机与	
8.3.2 液晶模块的电源设计.....	184	ADC0809 的接口.....	233
8.3.3 如何显示液晶模块.....	186	8.8.4 A/D 转换应用举例.....	235
8.3.4 液晶显示模块举例.....	188	8.8.5 程序代码及注释.....	236
8.3.5 程序代码及注释.....	189	8.9 D/A 转换模块.....	237
8.4 数学运算.....	196	8.9.1 D/A 转换器概述.....	237
8.4.1 限幅滤波算法.....	197	8.9.2 典型 D/A 转换器芯片	
8.4.2 中值滤波算法.....	197	DAC0832 简介.....	238
8.4.3 算术平均滤波算法.....	198	8.9.3 MCS-51 单片机与	
8.4.4 加权平均滤波算法.....	199	DAC0832 的接口.....	239
8.4.5 滑动平均滤波算法.....	199	8.9.4 D/A 转换应用举例.....	241
8.5 中断单元模块.....	200	8.9.5 程序代码及注释.....	242
8.5.1 中断概念.....	200	8.10 看门狗监控模块.....	243
8.5.2 MCS-51 单片机的中断系统.....	201	8.10.1 看门狗工作原理.....	243
8.5.3 中断响应的条件、		8.10.2 硬件看门狗.....	244
过程与时间.....	204	8.10.3 软件看门狗.....	247
8.5.4 中断请求的撤销.....	205	8.11 串行通信接口模块.....	248
8.5.5 中断编程举例.....	206	8.11.1 单片机串行通信的原理.....	249
8.5.6 程序代码及注释.....	207	8.11.2 单片机串行通信举例.....	251
8.6 定时器与计数器模块.....	208	8.11.3 程序代码及注释.....	253
8.6.1 定时器与计数器的结构		8.12 本章总结.....	255
及工作原理.....	209		
8.6.2 定时器与计数器的方式			
寄存器和控制寄存器.....	210		
8.6.3 定时器与计数器的			
工作方式.....	211		
8.6.4 定时器与计数器的举例.....	214		
8.6.5 程序代码与注释.....	216		
8.7 ROM/RAM 存储模块.....	217		
8.7.1 存储器概述.....	217		
8.7.2 MCS-51 单片机存储器.....	218		
8.7.3 MCS-51 单片机存储器			
的扩展.....	225		

实战篇 应用系统设计

第 9 章 单片机应用系统设计实例.....256

9.1 步进电机控制系统的设计.....	256
9.1.1 实例说明.....	256
9.1.2 设计思路分析.....	257
9.1.3 硬件电路设计.....	262
9.1.4 软件设计.....	266
9.1.5 实例总结.....	269

9.2 基于 H6152 的智能卡	
读写系统设计	270
9.2.1 实例说明	270
9.2.2 设计思路分析	271
9.2.3 硬件电路设计	274
9.2.4 软件设计	277
9.2.5 实例总结	291
9.3 SPI 总线通信系统设计	291
9.3.1 实例说明	291
9.3.2 设计思路分析	292
9.3.3 硬件电路设计	294
9.3.4 软件设计	294
9.3.5 实例总结	299

提高篇 扩展与经验

第 10 章 单片机系统扩展 300

10.1 总线的扩展设计	300
10.2 存储器的扩展设计	305
10.2.1 程序存储器的扩展设计	306
10.2.2 数据存储器的扩展设计	309
10.3 接口的扩展设计	313
10.3.1 扩展串行 I/O 口	313
10.3.2 扩展并行 I/O 口	316
10.4 本章总结	322
10.5 思考与练习题	322

第 11 章 单片机 C 语言设计 经验归纳 323

11.1 系统方案的选择	323
11.2 硬件系统的稳定性	324
11.3 编程技巧与程序优化	325
11.3.1 编程技巧	325
11.3.2 程序优化	328

11.4 系统抗干扰处理	328
11.4.1 系统硬件抗干扰设计	328
11.4.2 软件系统的稳定性	329
11.4.3 软件系统的安全性	331
11.5 本章总结	331

第 12 章 RTX51 实时多任务 操作系统 332

12.1 RTX51 概述	332
12.1.1 RTX51 入门知识	332
12.1.2 单任务程序	333
12.1.3 时间片轮转程序	333
12.1.4 用 RTX51 进行循环调度	334
12.1.5 RTX51 事件	335
12.1.6 编译和连接	337
12.2 系统要求和任务定义	339
12.3 建立 RTX51 Tiny 应用程序	343
12.3.1 RTX51 Tiny 配置	343
12.3.2 RTX51 Tiny 程序的 编译和连接	345
12.3.3 优化 RTX51 Tiny 程序	345
12.4 RTX51 Tiny 系统函数详解	345
12.5 堆栈处理与系统调试	352
12.5.1 堆栈管理	352
12.5.2 用 dScope-51 进行调试	352
12.6 RTX51 系统应用实例	353
12.6.1 RTX_EX1: 第一个 RTX51 程序	354
12.6.2 RTX_EX2: 一个简单的 RTX51 应用程序	355
12.6.3 TRAFFIC: 交通灯控制器	357
12.7 本章总结	371

附录 A 全书练习题答案 372

附录 B 单片机断电保护方法归纳 379

第 1 章

单片机概述

随着大规模集成电路技术的发展,出现了单片机技术。单片机全称单片微型计算机(Single Chip Microcomputer),顾名思义,它是一种单硅片上集成微型计算机主要功能部件的集成芯片。它正如同一个微型计算机系统,内部集成了中央处理器(CPU)、随机数据存储器(RAM)、只读程序存储器(ROM)、定时器/计数器、输入/输出(I/O)接口电路以及串行通信接口等主要功能部件。本章,将简要介绍单片机的发展、系统分类、系统功能以及应用特点。

1.1 单片机的发展历史

1971 年微处理器研制成功不久,就出现了单片微型计算机(即单片机),但最早的单片机是 1 位的,处理能力很有限。

单片机的发展可分为下面 4 个阶段。

第一阶段(1974 年—1976 年):单片机初级阶段。在这一阶段由于受工艺限制,单片机采用单片的形式并且功能比较简单。这一阶段出现的代表性的单片机有 Intel 公司的 Intel 4004, TI 公司的 TMS 1000。在这个阶段 TI 公司为微处理器申请了专利,所以无法确定究竟那家公司第一个在实验室做出了微处理器。

第二阶段(1976 年—1978 年):低性能单片机阶段。以 Intel 公司制造的 MCS-48 系列单片机为代表,该系列单片机片内集成有 8 位 CPU、8 位定时器/计数器、并行 I/O 接口、RAM 和 ROM 等,但是最大的缺点是无串行接口,中断处理比较简单,片内 RAM 和 ROM 容量较小且寻址范围不大于 4KB。

第三阶段（1978年—1983年）：高性能单片机阶段。这个阶段推出的单片机普遍带有串行接口，多级中断系统，16位定时器/计数器，片内ROM、RAM容量加大，且寻址范围可达64KB，有的片内还带有A/D转换器。这类单片机的典型代表是Intel公司的MCS-51系列的8051、Motorola公司的6801和Zilog公司的Z8等。由于这类单片机的性价比高，所以直到现在仍被广泛应用，是目前应用数量较多的单片机。

第四阶段（1983年至今）：8位单片机巩固发展以及16位单片机、32位单片机推出阶段。此阶段的主要特点是：一方面发展16位单片机、32位单片机及专用型单片机；另一方面不断完善高档8位单片机，改善其结构，增加片内器件，以满足不同的用户需要。16位单片机的典型产品，如早期Intel公司生产的MCS-96系列单片机，片内带有多通道10位逐次逼近比较式A/D转换器和高速输入输出部件，实时处理的能力很强；再如近几年TI公司推出的MSP430系列低功耗的16位单片机，更是降低了功耗，可采用1.8~3.6V电压供电，并集成了更丰富的片内资源。而32位单片机除了具有更高的集成度外，其晶振已达20MHz，这使32位单片机的数据处理速度比16位单片机增快许多，性能比8位、16位单片机更加优越，也能处理比较复杂的图形和声音数据。

1.2 单片机现状与趋势

20世纪70年代到80年代末，虽然系统设计者不断地对基于8051单片机的应用进行着改进和升级。但由于对8051内核的改进一直没有跟上，所以发展不快。

从20世纪90年代初开始，购买了Intel公司8051内核的各大厂商都开始积极地分析8051设计上的缺陷，并重新设计。设计的原则基本上都按照一条绝对不变的准则——指令集和8051指令集操作码必须保持兼容。重新设计之后，各大公司相继于90年代末推出了一系列完全符合8051指令集的高性能8位单片机，有时只需要4个时钟周期就能运行1个机器周期，这样在晶振不变的情况下，吞吐率为原来的3倍。而且大多数新型芯片内部都集成了大量的功能器件，极大地提升了8051内核单片机的应用范围，并减少了老产品改进的成本。

进入21世纪之后，随着科学技术的日新月异，单片机向高速、高性能化、大容量、外电路内装化、片上系统（System On Chip, SOC）等方向飞速发展。今后相当一段时期内，单片机的发展趋势将具有以下一些特点。

1. 不断推出高档、高性能的新型单片机

单片机作为计算机技术的一个分支，必然按其自身的发展规律，不断沿着新的方向飞速前进。如前所述，有8位、16位、32位等，从根本上改变传统控制器的面貌，大大拓宽新的，更高层次的应用领域。

提高 CPU 的处理字长或提高时钟频率,采用双 CPU 结构,这样可以提高处理能力,还有一些改进了系统的设计,提升了系统速度;高性能单片机增加数据总线宽度,内部采用 16 位或 32 位数据总线,其数据处理能力明显优于一般 8 位单片机;16 位和 32 位单片机大多采用了流水线结构,指令以队列形式出现在 CPU 中,且具有很快的运算速度,尤其适用于数字信号处理;大多数单片机的总线接口采用串行总线结构,如 I2C 总线,该总线是用 3 条数据线代替现行的 8 位数据总线,从而大大地减少了单片机引线,降低了单片机的成本,目前许多公司都在积极开发此类产品。

2. 存储器的发展

主要是存储容量的扩展。现在的半导体技术更新越来越快,早期使用的 EEPROM 都已被 Flash 存储器所替代,这样不仅大大提高了程序固化的速度,而且程序的擦写次数也高达 10 万次;对于 8051 内核的单片机片内的程序存储器容量从 1KB 提高到 64KB,甚至部分单片机内部程序存储器的容量超过 128KB,这样简化了外围电路的设计。对于 16 位和 32 位单片机来说只要制造条件允许,就可以集成更多的程序存储器。

3. 片内 I/O 的改进

一般单片机都有较多的并行接口,以满足外围设备,芯片扩展的需要;并配有串行接口,以满足多机通讯功能的要求。

增加并行接口的驱动能力。这样可减少外部驱动,例如,有的单片机能直接输出较大电流和较高电压,以便能直接驱动 LED 和 LCD。

增加 I/O 接口的逻辑控制功能。大部分单片机的 I/O 都能进行逻辑操作。中、高档单片机的位处理系统能够对 I/O 接口进行位寻址及位操作,大大加强了 I/O 接口线控制的灵活性。

有些单片机设置了一些特殊的串行接口功能,为构成网络化系统提供了方便条件。

4. 外围电路内装化

随着集成度的不断提高,有可能把众多的外围功能器件集成在片内,这也是单片机发展的重要趋势。除了一些必须具有的 ROM、RAM、定时器/计数器、中断系统外,为适应检测、控制功能更高的要求,随着单片机档次的提高,片内集成的部件还有模数转换器(A/D 转换器)、数模转换器(D/A 转换器)、DMA 控制器、中断控制器、锁相环、频率合成器、字符发生器、声音发生器、CRT 控制器、译码驱动器等。

随着集成电路技术及工艺不断发展,能装入片内的外围电路也可以是大规模的。把所需的外围电路全部装入单片机内,即系统的单片化。

5. 低功耗化

MCS-51 系列的 8031 推出时功耗达 630mW，而现在的单片机普遍都在 100mW 左右，随着对单片机要求功耗的越来越低，现在的各个单片机制造商基本都采用了 CMOS（互补金属氧化物半导体工艺）。CMOS 虽然功耗较低，但其物理特性决定其工作速度不够高，而 CHMOS（互补高密度金属氧化物半导体工艺）则具备了高速和低功耗的特点，这些特性更适用于要求低功耗，例如电池供电的应用场合。所以这种工艺是今后一段时期单片机发展的主要方向。

目前 8 位单片机中有 1/2 的产品已 CMOS 化，这类单片机普遍配有 Wait 和 Stop 两种工作方式。例如，采用 CHMOS 工艺的 MCS-51 系列单片机 80C31/80C51/87C51 在正常运行（5V，12MHz）时，工作电流为 16mA；同样条件下用 Wait 方式工作时，工作电流则为 3.7mA；而用 Stop（2V）方式工作时，工作电流仅为 50nA。

6. SOC 嵌入式系统

随着集成技术的发展，单片机将进一步发展成 SOC 嵌入式系统。即一块芯片就是一个完整的以单片机为内核的嵌入式应用系统。这个应用系统是具有明确的应用对象的系统，包括了传感器在内的所有硬件组织的全部应用软件。例如，某种类型的空调、冰箱或手机等，只需配上对应的 SOC 芯片，即可构成完整的应用系统。这样的系统体积更小，可靠性更高。

目前国内外正加大投入，研究 SOC 系统芯片。最近，国内已开发出包括温度传感器在内的较简单的 SOC 应用系统芯片。不久的将来单片机将进入 SOC 时代。

7. 单片机应用网络化

近几年来网络技术的发展突飞猛进，已有很多单片机应用产品网络化，即借助网络技术实现更广泛的通信。例如，智能家庭、智能建筑，应用领域实现大范围的多机网络测控与管理等。这样，可以通过网络查询相关信息，调度、控制和管理有关仪器、设备、家电等。

纵观单片机几十年的发展历程，单片机的今后发展方向将向多功能、高性能、高速度、低电压、低功耗、低价格、外围电路内装化以及片内存储器容量增加和 Flash 存储器化方向发展。但其位数不一定会继续增加，尽管现在已经有了 32 位单片机，但使用的并不多。可以预言，今后的单片机将是功能更强、集成度和可靠性更高而功耗更低，使用则更方便。

1.3 单片机系统分类

单片机类型比较多，主要包括 MCS-51 单片机、AVR 单片机、PIC 单片机。下面分别介绍。

1.3.1 MCS-51 单片机

MCS-51 系列单片机是 Intel 公司开发的非常成功的产品,具有性价比高、稳定、可靠、高效等特点。自从开放技术以来,不断有其他公司生产与 MCS-51 兼容或者具有与 MCS-51 相似内核的单片机。MCS-51 已成为当今 8 位单片机中具有事实标准意义的单片机,应用非常广泛。

MCS-51 按系列又分为如下几类。

(1) 8031/8051/8751/8951。这 4 种芯片常称为 8051 子系列,它们之间的区别仅在于片内程序存储器不同。8031 无片内程序存储器,8051 片内有 4KB 的 ROM,8751 片内有 4KB 的 EPROM,8951 片内存储器是 Flash 型的,其他结构相同。其中 8031 易于开发,价格低廉,应用广泛。

(2) 8032/8052/8752。这是 8031/8051/8751 的改进型,常称为 8052 子系列。其片内 ROM 和 RAM 比 8051 各增加 1 倍,ROM 为 8KB, RAM 为 256B;另外增加了一个定时器计数器和一个中断源。

(3) 80C31/80C51/87C51。这 3 个型号是 8051 子系列的 CHMOS 型芯片,可称为 80C51 子系列,两者功能兼容。CHMOS 型芯片的基本特点是高集成度和低功耗。

(4) 其他系列产品。有 80C52、80C54、80C58 等。

1.3.2 AVR 单片机

20 世纪 90 年代初,ATMEL 公司把 EEPROM 及 Flash 技术巧妙地用于特殊的集成电路,推出了 AT90 系列单片机。AT90 系列单片机是增强 RISC 内载 Flash 的单片机,AVR 单片机内部 32 个寄存器全部与 ALU 直接连接,突破瓶颈限制,每 1MHz 可实现 1Mbit/s 的处理能力;内置 1~128KB 的 Flash ROM,内部集成有 UART、SPI、PWM、WDT、10 位 A/D 等器件;片内 EEPROM 可做系统内下载;支持 C 语言及汇编语言编程;采用可多次擦写的 Flash 存储器,给用户的开发生产和维护带来了方便;具有省电模式,更低的功耗(4MHz/3V,掉电模式时工作电流小于 1 μ A),良好的抗干扰性。绝大部分 AVR 单片机支持程序的在线编程(ISP),还支持在线应用编程(IAP)。AVR 单片机是一种高速单片机,其机器周期等于时钟周期,绝大部分指令为单周期指令。AVR 系列单片机的端口有较强的负载能力,可以直接驱动 LED,新版 MEGA 系列的 I/O 口驱动能力达到了 40mA,具有多种封装形式满足不同用户的需求,完全免费的开发环境,包括汇编器、支持汇编和高级语言源代码级调试的模拟和仿真环境。

AVR 单片机系列齐全,可适应各种不同场合的要求。

AVR 单片机有以下 3 个档次。

(1) 低档 Tiny 系列 AVR 单片机,主要有 Tiny 11/12/13/15/26/28 等。

(2) 中档 AT90S 系列 AVR 单片机, 主要有 AT90S 1200/2313/8515/8535 等。随着单片机技术的发展, 这一系列单片机逐渐被淘汰或转型到 Mega 系列。

(3) 高档 ATmega 系列 AVR 单片机, 主要有 Atmega 8/16/32/64/128, 以及 Atmega 8515/8535 等。

1.3.3 PIC 单片机

由美国 Microchip 公司推出的 PIC 单片机系列, 是较早采用 RISC (Reduced Instruction Set Computer, 精简指令集) 结构的嵌入式微控制器。PIC 单片机突破了传统单片机对 PC 机在结构上的依赖性, 并具备哈佛总线的存储器结构、两级流水线指令结构、单周期指令等技术, 从而在单片机硬件结构上独辟蹊径, 大大提高了系统运行的效率。除此以外, PIC 单片机还包括高速度、低电压、低功耗、大电流 LCD 驱动能力和低价位 OTP 技术, 自带看门狗定时器, 可以用来提高程序运行的可靠性, 具有睡眠和低功耗模式。PIC 单片机产品的性能与价格比较高, 有多种型号可满足不同层次的应用要求。

PIC 系列单片机分为 8 位单片机、16 位单片机和 32 位单片机, 每种产品都包含了多种型号。

1. PIC 的 8 位单片机

PIC 的 8 位单片机是目前应用最广泛的单片机之一, 按指令的位数, 可分为 3 个种类: 基本级产品、中级产品和高级产品。其中每种产品又包含了多种型号, 所有的产品都提供 OTP 或 Flash 存储, 低电压和低功耗选择, 多种封装选择。

1) 基本级产品

该级产品的特点是低价位, 如 PIC16C5X, 适用于各种对成本要求严格的家电产品。又如 PIC12C5XX 是世界上第一个 8 引脚的低价位单片机, 体积很小, 完全可以应用在以前不能使用单片机的家电产品中。

2) 中级产品

该级产品是 PIC 最丰富的品种系列。它在基本级产品上进行了改进, 并保持了很高的兼容性。外部结构也有多种, 从 8 引脚到 68 引脚的各种封装。该级产品性能很高, 内部带有 A/D 转换器、EEPROM 数据存储器、比较器输出、PWM 输出、I2C 和 SPI 等接口。PIC 中级系列产品适用于各种高、中、低档的电子产品中。

3) 高级产品

该产品如 PIC18 系列, 其特点是速度快, 适用于高速数字运算的应用场合中。PIC18 系列是 PIC 8 位单片机中的高级产品, 具有 16 位指令字的高性能结构, 也是目前世界上 8 位单片机中运行速度最快的产品之一, 它具备了一个指令周期内 (最短 160ns) 完成 8 位

×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）。PIC 18 包含了丰富的 CAN、USB、ZigBee、TCP/IP 等外设接口，并可以外接扩展 EPROM 和 RAM，使之成为目前 8 位单片机中性能最高的机种之一，广泛应用于高、中档电子设备。

2. PIC 的 16 位单片机

PIC 的 16 位单片机包括 PIC24F 系列、PIC24H 系列、dsPIC30 系列、dsPIC33 系列。

Microchip 公司于 2005 年正式进入 16 位单片机市场，其首个 16 位单片机系列是 PIC24 系列。PIC24 采用 RISC 结构，其指令宽度为 24 位，一些 16 位系统要用 2 个指令完成的命令在 PIC24 中只需要 1 个指令即可，因此完成同样的任务其指令代码总长度相对于其他同类产品要小，兼顾到了用户在速度与代码长度方面的要求。

除了通用单片机产品外，Microchip 还结合 DSP 强大的运算能力，针对电机控制应用推出 16 位数字信号控制器 dsPIC33F 系列，该系列产品内核集成了 1 个 DSP 引擎和两个累加器，带有 PWM 和正交编码接口，可以实现对电机，如步进电机的精确控制。

3. PIC 的 32 位单片机

PIC32 系列产品能够在最高 80MHz 频率下运行，提高强大的代码及数据存储能力，具有最大 512KB 的闪存和 32KB 的 RAM。该系列还包含一应俱全的集成外设，可大大降低整体设计的复杂性及成本。其中包括多种通信外设，一个支持外接存储器及显示装置的 16 位并行主控接口，以及一个单电源片上稳压器。

1.4 单片机系统功能及应用

单片机应用系统是以单片机为核心，能满足使用要求并在使用环境中可靠地实现预定功能的产品系统。典型的单片机应用系统框图如图 1-1 所示。

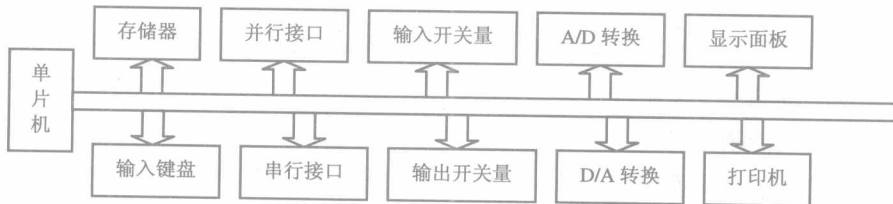


图 1-1 单片机应用系统框图

1.4.1 单片机系统硬件开发原理

单片机硬件开发主要包括设计系统的电路原理图，绘制印刷电路板（PCB 板）、印刷板的焊接与测试。

系统原理图的设计是单片机硬件开发中最重要的一步，原理图中存在的缺陷将对整个设计产生影响。一个单片机应用系统的硬件电路设计包含两部分内容：一是系统扩展，即单片机内部的功能单元，如 RAM、ROM、I/O 接口、定时器/计数器、中断系统等，容量不能满足应用系统的要求时，必须在片外进行扩展，选择适当的芯片，设计相应的电路；二是系统配置，即按照系统功能要求配置外围设备，如键盘、显示器、打印机、A/D、D/A 转换器等，要设计合适的接口电路。

系统的扩展和配置设计应遵循下列原则。

(1) 尽可能选择典型电路，并符合单片机的常规用法。为硬件系统的标准化、模块化打下良好的基础。

(2) 系统的扩展与外围设备配置的水平应充分满足应用系统的功能要求，并留有适当余地，以便进行二次开发。

(3) 硬件结构应结合应用软件方案一并考虑。硬件结构与软件方案会相互影响，考虑的原则是：软件能实现的功能尽可能由软件来实现，以简化硬件结构。但必须注意，由软件实现的硬件功能，其响应时间比直接用硬件实现要长，而且占用 CPU 时间。因此，选择软件方案时，要考虑到这些因素。

(4) 整个系统中相关的器件要尽可能做到性能匹配，例如选用晶振频率较高时，存储器存取时间有限，应该选择允许存取速度较高的芯片；选择 CMOS 芯片单片机构成低功耗系统时，系统的所有芯片都应该选择低功耗的产品。

(5) 可靠性及抗干扰设计是硬件系统设计不可缺少的一部分，包括芯片、器件选择、去耦滤波、印刷电路板布线、通道隔离等。

(6) 单片机外接电路较多时，必须考虑其驱动能力。驱动能力不足时，系统工作不可靠，解决的办法是增加驱动能力，增设线驱动器或减少芯片功耗，降低总路线负载。

1.4.2 单片机系统软件开发原理

单片机系统软件是根据系统功能要求设计的，应可靠地实现系统的各种功能。优秀的系统软件开发应遵循以下原则。

(1) 软件结构清晰、简捷、流程合理。

(2) 各功能程序实现模块化、子程序化，这样既便于调试、链接，又便于移植、修改。

(3) 程序存储区、数据存储区规划合理，既能节约内存容量，又使操作方便。

(4) 运行状态实现标志化。各个功能程序运行状态、运行结果以及运行要求都设置状态标志以便查询，程序的转移、运行、控制都可通过状态标志条件来控制。

(5) 经过调试修改后的程序应进行规范化，除去修改“痕迹”。规范化的程序便于交流、借鉴，也为今后的软件模块化、标准化打下了基础。