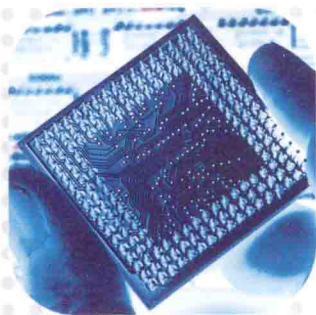


● 精·益·工·程·视·频·讲·堂 ●

电子设计
自动化系列

51单片机

原理与程序设计



● 王欣飞 谢龙汉 谢锋然 编著



- “精益生产”精神，造就了丰田汽车王国，振兴了日本整个工业产业，精益开发乃精益生产之重要组成部分。本书将精益生产的理念融入到电子自动化设计过程中。
- 精选、精简、精细、高效——功能简洁必要、组织紧凑合理、学习高效方便。
- 视频教学。



清华大学出版社

精益工程视频讲堂

51 单片机原理与程序设计

王欣飞 谢龙汉 谢锋然 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书基于 51 单片机基本型进行编写,共 12 讲和两个附录,依次介绍了单片机基础知识、MCS-51 单片机结构与原理、MCS-51 单片机汇编指令系统、汇编程序设计、51 单片机 C 语言程序设计、单片机应用系统开发、MCS-51 单片机中断系统、MCS-51 单片机定时/计数器、单片机存储器与并行口的扩展、单片机串行接口与通信、MCS-51 单片机接口技术和综合实例等内容。全书主要章节以“实例·模仿→内容讲解→实例·操作→实例·练习”为表述方式,通过适量的典型实例操作和重点知识相结合的方法对 51 单片机的使用进行了详细讲解。

本书在讲解过程中,一方面以精练的语言针对基础以及原理性知识进行较为全面的阐述,帮助读者了解和掌握 51 单片机工作的来龙去脉;另一方面针对关键性的知识进行细致讲解,并配合实例演示,帮助读者学习和掌握 51 单片机的使用方法。本书的实例介绍采用汇编语言和 C 语言相结合的方法,读者可以通过对比汇编语言和 C 语言编程实现的异同,加深对两种语言使用的认识。本书实例还采用 proteus 硬件仿真和 keil 软件仿真相结合的方法进行阐述,通过硬件仿真一方面可以加深读者对程序功能的认识,同时也为读者使用单片机完成功能打下基础。

本书语言简练、功能全面且层次递进,同时配有全程操作视频,包括相关寄存器的使用及程序的编写,读者可以通过观看视频来学习。

本书可作为 51 单片机初学者入门和提高的学习宝典,也可作为各大中专院校、培训机构的专业教材,还可作为从事单片机开发领域的专业人员的实用参考书。

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

51 单片机原理与程序设计/王欣飞,谢龙汉,谢锋然编著. —北京:清华大学出版社,2014
(精益工程视频讲堂)

ISBN 978-7-302-34370-7

I. ①5… II. ①王… ②谢… ③谢… 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(2013)第 257290 号



责任编辑:钟志芳

封面设计:刘超

版式设计:文森时代

责任校对:王云

责任印制:李红英

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

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

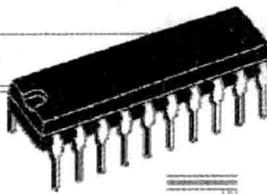
开 本:185mm×260mm 印 张:20 字 数:458 千字

(附 DVD 光盘 1 张)

版 次:2014 年 2 月第 1 版 印 次:2014 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:46.00 元



前 言

单片机具有集成度高、结构简单、可靠性强和价格低廉等优点，如今已经被广泛应用于家用电器、智能仪表、工业控制以及机电一体化等各个领域。就 CPU 位数而言，现在市场上有 4 位单片机、8 位单片机、16 位单片机以及 32 位单片机等多种类别。其中在单片机发展历史中，Intel 公司的 MCS-51 8 位单片机有着里程碑意义，基于 MCS-51 技术的 51 单片机现今仍有着十分广泛的应用。一个典型的 51 单片机由微处理器、存储器、输入/输出设备接口组成，同时还包括中断系统、定时/计数器以及串行通信接口等常用功能接口。通过对 51 单片机的学习，有助于读者学习和掌握其他类型的单片机。本书将利用硬件和软件仿真，配合丰富的实例、全视频讲解等方式对 51 单片机的工作原理以及方法进行全方位介绍。

本书的特色

本书主要章节以“实例·模仿→内容讲解→实例·操作→实例·练习”为表述方式，通过适量的典型实例操作和重点知识相结合的方法对 51 单片机的使用进行了详细讲解。在讲解过程中，一方面以精练的语言，针对基础和原理性知识进行较为全面的阐述，帮助读者了解和掌握 51 单片机工作的来龙去脉；另一方面针对关键性的知识进行细致讲解，并配合实例演示，帮助读者学习和掌握 51 单片机的使用方法。

本书的实例介绍采用汇编语言和 C 语言相结合的方法，读者可以通过对比汇编语言和 C 语言编程实现的异同，加深对两种语言使用的认识；同时还采用 proteus 硬件仿真和 keil 软件仿真相结合的方法进行阐述，通过硬件仿真可以加深读者对程序功能的认识，也为读者使用单片机完成功能打下基础。

本书提供了全部实例的操作录像，读者可以按照书中列出的视频路径，从光盘中打开相应的视频直接观看学习，这样学习起来更加轻松。视频包含语音讲解，可以用 Windows Media Player 等常用播放器观看。如果无法播放，可安装光盘中的 tsc.exe 插件。

本书内容

本书共 12 讲和两个附录。讲解中有大量原理图和表格，形象直观，便于读者理解和学习。另附有光盘，包含本书的教学视频及实例讲解的汇编语言和 C 语言工程项目文件，方便读者自学。

第 1 讲为单片机基础知识。通过对本讲的学习，读者可以学习并掌握单片机基本概念以及数制编码等基础知识。

第 2 讲为 MCS-51 单片机结构与原理。本讲主要阐述单片机的类型和基本结构，通过对本讲的学习，读者可以学习并掌握单片机中微处理器、存储器、输入/输出接口以及内部时序等相关知识。

第3~5讲为51单片机的编程语言，包括汇编指令系统、汇编程序设计和C语言程序设计。通过这几讲的学习，读者可以初步学习并了解51单片机汇编语言和C语言的编程方法。

第6讲为单片机的应用系统开发。本讲主要介绍利用proteus软件和keil软件相结合进行单片机仿真的方法，通过本讲的学习，读者可以学习并掌握proteus和keil软件的使用方法。

第7~11讲依次讲解了51单片机的中断系统、定时/计数器、存储器与并行口的扩展、串行接口与通信以及外部接口技术。通过这几讲的学习，读者可以较好地理解51单片机的典型模块和常用功能，并掌握51单片机的一般使用方法。

第12讲为综合实例，主要讲解步进电机的使用方法和LCD1602型液晶屏的显示，以及如何使用PIC单片机对这两个模块进行控制。

本书附有两个附录，其内容为PIC指令表汇总及课后习题答案，供有需要的读者参考。

本书读者对象

本书具有操作性强、指导性强、语言简练等特点，可作为51单片机初学者入门和提高的学习宝典，也可作为各大中专院校、培训机构的专业教材，还可作为从事单片机开发领域的专业人员的实用参考书。

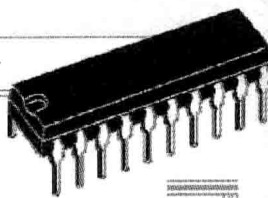
学习建议

建议读者按照图书编排的先后次序学习51单片机。从第3讲开始，读者可以先浏览“实例·模仿”，然后打开该实例的光盘视频仔细观看，再根据实例的操作步骤一步步在keil和proteus ISIS中进行操作。如果遇到操作困难的地方，可以再次观看视频功能讲解部分，也可以阅读书本的相关内容，然后再动手进行操作；对于“实例·操作”部分，建议读者先根据书中的程序及注释进行相关操作，完成后再观看视频以加深印象，并解决自己动手操作中所遇到的问题；对于“实例·练习”部分，建议读者根据案例的要求自行练习，遇到不懂的地方再查看书中的程序或观看操作视频。

本书由王欣飞、谢龙汉、谢锋然编著，同时，腾龙工作室的杨依领、吴琼伟、娄军强、王益、王亚飞等人也参加了部分内容的编写。感谢您选用本书进行学习，请您将本书的意见和建议告诉我们，电子邮箱地址为tenlongbook@163.com。

祝您学习愉快！

编 者



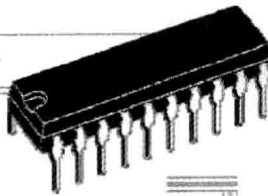
目 录

第 1 讲 单片机基础知识	1	2.5 MCS-51 单片机工作方式	38
1.1 单片机概述	1	2.5.1 复位方式	38
1.1.1 有关单片机的几个概念	1	2.5.2 程序执行方式	39
1.1.2 单片机的发展历史	2	2.5.3 节电方式	40
1.1.3 单片机的基本组成与特点	3	2.6 习题	41
1.1.4 单片机的应用	7		
1.1.5 单片机的发展趋势	8	第 3 讲 MCS-51 单片机汇编指令系统	42
1.2 单片机中的预备知识	8	3.1 实例·模仿——数据运算与转移	42
1.2.1 数制及其转换	9	3.2 MCS-51 单片机汇编指令概述	42
1.2.2 计算机中的常用编码	11	3.2.1 指令与指令系统	43
1.2.3 计算机中的运算	14	3.2.2 51 单片机汇编指令	43
1.3 习题	17	3.2.3 51 汇编指令格式及常用符号解释	44
		3.3 7 种寻址方式	45
第 2 讲 MCS-51 单片机结构与原理	18	3.3.1 寄存器寻址	45
2.1 MCS-51 单片机的类型与结构	18	3.3.2 寄存器间接寻址	45
2.1.1 MCS-51 单片机的基本类型	18	3.3.3 立即寻址	46
2.1.2 MCS-51 单片机的基本结构	20	3.3.4 直接寻址	46
2.1.3 MCS-51 单片机的封装与引脚	24	3.3.5 变址寻址	47
2.2 MCS-51 单片机存储器	27	3.3.6 相对寻址	47
2.2.1 单片机存储器组织结构	27	3.3.7 位寻址	48
2.2.2 程序存储器	28	3.4 51 单片机指令系统	48
2.2.3 片外数据存储器	28	3.4.1 数据传送指令 (29 条)	48
2.2.4 片内数据存储器	29	3.4.2 算术运算指令 (24 条)	53
2.2.5 特殊功能寄存器	30	3.4.3 逻辑运算指令	56
2.3 MCS-51 单片机并行 I/O 口	31	3.4.4 移位指令	59
2.3.1 P0 口	31	3.4.5 控制转移指令 (17 条)	59
2.3.2 P1 口	32	3.4.6 位操作指令	63
2.3.3 P2 口	33	3.5 实例·操作——BCD 加减法实现	64
2.3.4 P3 口	33	3.6 实例·练习——条件转移指令的 使用	65
2.3.5 并行口数据的读取	34	3.7 习题	66
2.4 MCS-51 单片机时序	35		
2.4.1 时钟信号的产生	35	第 4 讲 汇编程序设计	68
2.4.2 时序定时单位	36	4.1 实例·模仿——寄存器数据交换	68
2.4.3 单片机基本指令时序	37		

4.2 汇编语言格式.....	68	6.2 单片机系统开发工具与过程.....	113
4.3 常用伪指令.....	70	6.2.1 单片机的开发环境.....	113
4.4 汇编程序的结构及常用子程序设计... 73		6.2.2 单片机的开发过程.....	114
4.4.1 顺序结构.....	73	6.3 Keil 仿真软件.....	114
4.4.2 分支结构.....	74	6.3.1 keil 软件简介.....	115
4.4.3 循环结构.....	75	6.3.2 工程创建.....	115
4.4.4 子程序结构.....	76	6.3.3 添加程序代码.....	117
4.4.5 查表程序.....	77	6.3.4 代码编译及调试.....	118
4.4.6 延时程序.....	78	6.4 proteus 仿真软件.....	120
4.5 实例·操作——数据排列和计数.....	78	6.4.1 proteus 软件简介.....	120
4.6 实例·练习——并串行数据转换.....	80	6.4.2 利用 proteus 绘制电路图.....	120
4.7 习题.....	81	6.4.3 proteus 仿真.....	123
第 5 讲 51 单片机 C 语言程序设计.....	82	6.4.4 keil 和 proteus 联调.....	124
5.1 实例·模仿——数值的循环累加.....	82	6.5 实例·操作——并行口的读写.....	126
5.2 51 单片机 C 语言编程概述.....	83	6.6 实例·练习——跑马灯程序.....	128
5.2.1 C 语言特点.....	83	6.7 习题.....	131
5.2.2 51 单片机的 C 语言编程.....	84	第 7 讲 MCS-51 单片机中断系统.....	132
5.2.3 C51 与标准 C 语言编程的异同.....	84	7.1 实例·模仿——中断的使用.....	132
5.3 C51 的基本语法.....	85	7.2 中断的概念.....	135
5.3.1 基本数据类型.....	85	7.2.1 输入/输出数据传送方式.....	135
5.3.2 常量与变量.....	86	7.2.2 中断的定义.....	136
5.3.3 C51 存储模式和地址访问.....	90	7.3 MCS-51 中断控制系统.....	136
5.3.4 运算符及表达式.....	91	7.3.1 中断系统结构.....	136
5.4 指针和数组.....	94	7.3.2 中断源.....	137
5.4.1 指针.....	94	7.3.3 中断控制寄存器.....	138
5.4.2 数组.....	95	7.3.4 中断优先级结构和中断嵌套.....	140
5.5 C51 常用的编程控制语句.....	96	7.4 MCS-51 中断过程.....	142
5.5.1 选择控制语句.....	96	7.4.1 中断响应条件.....	142
5.5.2 循环控制语句.....	100	7.4.2 中断处理过程.....	143
5.6 函数.....	101	7.4.3 中断响应时间.....	144
5.7 实例·操作——多种结构类型程序 设计.....	103	7.4.4 中断响应撤销.....	145
5.8 实例·练习——数值判断及数学 运算.....	107	7.5 MCS-51 单片机外部中断源的 扩展.....	146
5.9 习题.....	109	7.5.1 定时/计数器溢出扩展法.....	146
第 6 讲 单片机应用系统开发.....	111	7.5.2 硬件申请软件查询扩展法.....	147
6.1 实例·模仿——keil 及 proteus 使用.....	111	7.6 实例·操作——中断扩展.....	148
		7.7 实例·练习——跑马灯的中断 控制.....	152

7.8 习题.....	155	9.7 习题.....	205
第 8 讲 MCS-51 单片机定时/计数器.....	157	第 10 讲 单片机串行接口与通信.....	206
8.1 实例·模仿——定时器的使用.....	157	10.1 实例·模仿——串行口 I/O 扩展.....	206
8.2 定时/计数器工作原理.....	160	10.2 串行通信基础知识.....	209
8.3 定时/计数器控制.....	161	10.2.1 两种基本通信方式.....	209
8.3.1 工作模式寄存器 TMOD (89H)	161	10.2.2 串行通信制式.....	209
8.3.2 控制寄存器 TCON.....	162	10.2.3 串行通信两种基本方式.....	210
8.4 定时/计数器工作方式.....	163	10.2.4 串行通信基本电路.....	212
8.4.1 工作方式 0.....	163	10.3 51 单片机串口通信原理.....	215
8.4.2 工作方式 1.....	164	10.3.1 51 单片机串口电路.....	215
8.4.3 工作方式 2.....	164	10.3.2 串口控制寄存器 (SCON 和 PCON)	216
8.4.4 工作方式 3.....	165	10.4 串行口的工作方式.....	217
8.5 定时/计数器的初始化.....	166	10.4.1 方式 0.....	217
8.5.1 初始化的步骤.....	166	10.4.2 方式 1.....	218
8.5.2 计数器初值的计算.....	166	10.4.3 方式 2 和方式 3.....	218
8.5.3 定时器初值的计算.....	167	10.5 波特率的指定.....	219
8.6 实例·操作——方式 2 的应用.....	167	10.6 异步串行通信接口电路.....	220
8.7 实例·练习——定时时间的扩展.....	169	10.6.1 TTL 电平直接传输.....	221
8.8 习题.....	176	10.6.2 RS232 接口传输.....	221
第 9 讲 单片机存储器与并行口的扩展.....	177	10.6.3 RS422 和 RS485 接口.....	223
9.1 实例·模仿——8031 最小系统实现.....	177	10.7 单片机多机通信.....	224
9.2 系统扩展概述.....	178	10.8 实例·操作——串行通信实现.....	225
9.2.1 单片机最小系统.....	178	10.9 实例·练习——多机通信.....	229
9.2.2 片外三总线结构.....	179	10.10 习题.....	236
9.2.3 系统扩展的几个方面.....	180	第 11 讲 MCS-51 单片机接口技术.....	238
9.2.4 几种常用的扩展器件介绍.....	180	11.1 实例·模仿——LED 显示器的使用.....	238
9.3 存储器扩展.....	182	11.2 单片机与显示器接口技术.....	242
9.3.1 单片机存储器扩展概述.....	182	11.2.1 常用显示器功能概述.....	243
9.3.2 程序存储器的扩展.....	183	11.2.2 7 段 LED 显示器的工作方法.....	245
9.3.3 数据存储器的扩展.....	187	11.2.3 LCD 显示器的工作方法.....	248
9.4 并行 I/O 口的扩展.....	189	11.3 单片机与键盘接口技术.....	251
9.4.1 并行口扩展概述.....	189	11.3.1 按键状态的输入与检测.....	251
9.4.2 TTL 芯片扩展 I/O 口.....	190	11.3.2 独立式键盘.....	253
9.4.3 8255 芯片扩展 I/O 口.....	192	11.3.3 矩阵式键盘.....	254
9.4.4 8155 芯片扩展 I/O 口.....	199	11.4 单片机与 D/A 转换器接口技术.....	255
9.5 实例·操作——存储器的扩展.....	202	11.4.1 D/A 转换技术概述.....	256
9.6 实例·练习——8255 的扩展.....	203		

11.4.2 DAC0832 基本结构	256	11.8 习题	272
11.4.3 DAC0832 与单片机接口	258	第 12 讲 综合实例	274
11.5 单片机与 A/D 转换器接口技术	260	12.1 步进电机控制	274
11.5.1 A/D 转换技术概述	260	12.1.1 步进电机的工作原理	274
11.5.2 ADC0809 基本结构	260	12.1.2 51 单片机的步进电机控制	275
11.5.3 ADC0809 与单片机接口	262	12.2 键盘输入和 LCD 显示	286
11.6 实例·操作——LCD 及数据 采集	263	附录 A 51 单片机指令表	299
11.7 实例·练习——数据采集系统	268	附录 B 习题答案	303



第 1 讲 单片机基础知识

从 1946 年 2 月宾夕法尼亚大学研制出第一台数字计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator, 电子数字积分器与计算机) 至今, 计算机的发展已经经历了电子管计算机、晶体管计算机、集成电路计算机以及大规模集成电路计算机 4 个时代。如今计算机已经不再是当年少数科研人员使用的“庞然大物”, 而是以微机 (Microcomputer) 的形式进入到了我们日常工作、生活的各个角落。单片机作为微型计算机的一种, 在工业控制以及日常生活中都有十分广泛的应用。本讲将介绍单片机的概念和预备知识, 为后面系统详细学习单片机做好铺垫。

本讲内容

❏ 单片机概述

❏ 单片机中的预备知识

1.1 单片机概述

从仪器仪表到工业控制, 从家用电器到航空航天, 单片机在我们的日常生活和工作中有着十分广泛的应用。而在平时的学习过程中, 除了单片机我们还常常听到微处理器、微型计算机、嵌入式系统等名词, 这些名词与单片机有着密切的联系, 同时也有着一定的区别。本节将从这几个概念开始继而详细阐述单片机的相关概念、发展历史、基本组成、应用以及发展趋势。

1.1.1 有关单片机的几个概念

微处理器、微型计算机、微型计算机系统、嵌入式系统、单片机这几个概念之间有着一定的联系也存在一定的区别, 弄清楚这几个概念有利于我们更好地理解什么是单片机。

(1) 微处理器 (Micro Processor Unit)

微处理器即 MPU, 是由一块或者几块大规模集成电路组成的中央处理器 (CPU), 具有控制运算功能。1971 年, 计算机发展进入到大规模集成电路时代, 微处理器得以诞生并开始高速发展。从第一代 4 位处理器开始, 历经 8 位处理器、16 位处理器、32 位处理器, 现在 64 位处理器也已经得到广泛的使用。由于是将 CPU 集成在一个半导体芯片上, 所以相较传统的 CPU, 其具有体积小、重量轻以及容易模块化的特点。微处理器是构成微型计算机的核心部件。

(2) 微型计算机 (Micro Computer)

微型计算机简称微机, 是以微处理器为核心单元, 配以存储器、输入/输出设备接口电路以及相应辅助电路构成的裸机。依据组成微型计算机电路板数量类型的不同, 可以将微型计算机

分为多板微型计算机、单板微型计算机以及单片微型计算机。其中，单片微型计算机即通常所说的单片机，也就是说单片机是微型计算机中的一种。

(3) 微型计算机系统 (Micro Computer System)

以微型计算机为核心，再配以相应的外围设备、电源、辅助电路和控制微型计算机工作的软件就构成了完整的微型计算机系统。因此，所说的单独的微型计算机并不是一个微型计算机系统，一般而言，微型计算机系统包含硬件和软件两个部分。

通过上面的介绍可以看出，从微处理器到微型计算机再到微型计算机系统，这 3 个概念包含的范围依次递增，微处理器是微型计算机的核心单元，微型计算机又是微型计算机系统的核心单元。

(4) 嵌入式系统 (Embedded System)

嵌入式系统是一种完全嵌入受控器件内部且为特定应用而设计的专用计算机系统。相较于平常使用的个人计算机 (Personal Computer) 系统，嵌入式系统通常执行的是有特定要求预先设置的任务。嵌入式系统是面向具体应用的，它能够与应用紧密结合，并适应具体应用在功能、可靠性、成本、体积、功耗等方面的严格要求。

嵌入式系统的核心单元最初是基于单片机的，但是随着嵌入式系统的发展，其核心单元也有了许多变化。除了单片机之外，出现了基于 DSP、ARM 等多种处理器的嵌入式系统。

(5) 单片机 (Single Chip Micro Computer)

单片微型计算机即单片机，是将 CPU、RAM、ROM、定时器、中断系统、输入/输出接口电路等集成到一块芯片上的计算机。由于单片机在控制领域得到广泛的使用，所以逐渐被称之为微控制器 (Micro Controller Unit, MCU)。单片机属于微型计算机中的一种，具有普通微型计算机的基本组成和功能。

1.1.2 单片机的发展历史

单片机从诞生至今已经有 30 多年的历史，从最初的低性能 8 位单片机到如今的单片机，经历了如下几个阶段。

(1) 第一阶段 (1974—1976 年)

这个阶段是单片机的探索阶段。1971 年，Intel 首次宣布了 4004 的 4 位微处理器，各大公司就开始酝酿生产单片机。1974 年 12 月，Fair Child 公司推出 8 位单片机 F8，但是实际上只包含 8 位 CPU、64B 的 RAM 和两个并行口，还需加一块 3851 (由 1KB ROM、定时/计数器和两个并行 I/O 口构成) 才能组成一台完整的微型计算机。

(2) 第二阶段 (1976—1978 年)

这个阶段是低性能单片机阶段。在这个阶段出现一些具有单片机结构功能的单片机型号，并在工业控制领域得到了广泛的应用。但是这个阶段的单片机仍处于初级阶段，规模较小，功能也比较简单。以 Intel 公司推出的 MCS-48 为例，一块芯片内只含有 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时/计数器、RAM 和 ROM 等，无串行 I/O 口。中断处理也比较简单，片内 RAM 和 ROM 容量较小，且寻址范围有限，一般都不大于 4KB。

(3) 第三阶段 (1978—1982 年)

这个阶段是高性能单片机阶段。这一类单片机带有串行 I/O 口，有多级中断处理，定时/计

计数器为 16 位，片内的 RAM 和 ROM 相对增大，且寻址范围可达 64KB，有的片内还带有 A/D 转换接口。这个阶段单片机的典型代表是 Intel 推出的 MCS-51 单片机，同时各大公司也争相研制开发出了自己的单片机，如 Zilog 公司的 Z8 系列等。由于这类单片机的性价比高，所以被广泛应用，目前仍是应用数量最多的单片机。

(4) 第四阶段（1982—1990 年）

这是 16 位单片机阶段。16 位单片机除了 CPU 为 16 位外，RAM 和 ROM 容量进一步增大，实时处理的能力更强。如 Intel 公司的 MCS-96，其集成度为 120000 管子/片，主振幅为 12MHz，片内 RAM 为 232 字节，ROM 为 8KB，中断处理为 8 级，而且片内带有多通道 10 位 A/D 转换和高速输入/输出部件（HSIO），实时处理的能力很强。

(5) 第五阶段（1990 年至今）

这是微控制器的全面发展阶段。各个公司的产品在尽量兼容的同时向更高速度、更强运算能力、更大寻址范围方面发展。典型的有美国 Microchip 公司推出的完全不兼容 MCS-51 的新一代 PIC 单片机和 Intel 公司推出的 80960 超级 32 位计算机等。许多高速、强运算能力、大寻址范围的 8 位/16 位/32 位通用型单片机，以及小而廉价的专用型单片机得到了广泛的发展和运用。

1.1.3 单片机的基本组成与特点

单片机是微型计算机的一种，如同绝大部分微机一样，其基本结构由控制器、运算器、存储器、输入设备和输出设备 5 部分组成。单片机的硬件结构体系如图 1-1 所示，主要由存储器、微处理器（MPU）、输入/输出（I/O）接口组成，三者通过数据总线（Data Bus）、地址总线（Address Bus）、控制总线（Control Bus）相连接。下面将分别介绍存储器、MPU、I/O 接口和总线的概念。

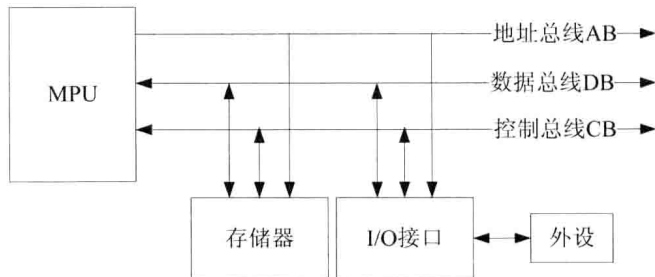


图 1-1 单片机的硬件结构体系

1. 存储器（Memory）

存储器是计算机用以存放程序以及数据的单元。存储器的容量单位包括 Byte、KB、MB、GB、TB 等。其中，1Byte 简称 1B，容量为 8 个二进制数，即 1Byte=8bit。1KB=1024Byte，1MB=1024KB，1GB=1024MB，1TB=1024GB。在存储器中又将两个字节（Byte）称作一个字（Word），把两个字称作双字（Double Word）。存储器的读写速度指的是读或者写一条指令的时间，它是影响计算机速度的主要因素之一。

在微型计算机中，存储器分为内部存储器和外部存储器两种。内部存储器为半导体存储器，具有造价高、速度快、容量小的特征，主要用于存放当前正在运行的程序或者待处理的数据。外部存储器包括软盘、光盘、硬盘、U 盘等存储器件，它们一般具有造价低、容量大、速度慢的特征，一般用以存放暂时不运行的程序或者数据。单片机中的存储器单元指的是半导体内部存储器。

（1）只读存储器（Read Only Memory）

内部存储器又分为只读存储器（ROM）和随机存取存储器（RAM）两种。只读存储器通常情况下只允许读操作，不允许写操作。在开始阶段通过特殊手段向 ROM 中写入固定的程序或者数据，写入的数据则可以长期保存，断电也不会丢失，需要时从中读出使用即可。ROM 分为掩膜 ROM、可编程只读存储器（PROM）、可擦除可编程只读存储器（EPROM）、电擦除可编程只读存储器（E²PROM）和 Flash 存储器（闪存）等。随着 ROM 技术的发展，ROM 与 RAM 的界限逐渐模糊，一些 ROM 具有了 RAM 那样可读可写的功能，同时保持了断电不丢失的功能。下面简单介绍几种常见的 ROM。

◆ 掩膜 ROM

掩膜 ROM 是由厂家写入数据供用户使用的 ROM，用户不能更改其中的内容。在批量很大的情况下，掩膜 ROM 价格最便宜。

◆ 可编程只读存储器（Programmable ROM，PROM）

相对于掩膜 ROM 中的程序完全不能更改，在制造完成后，可编程只读存储器中的内容可以根据用户的需求进行一次更改。这种更改操作有且只有一次，一旦更改之后无法再次更改，PROM 成本与掩膜 ROM 相比较。现在有一种被称为 One Time Programmable（OTP）的存储器，它也属于 PROM 的范畴，只是在实现方式和原来普通的 PROM 有所区别。

◆ 可擦除可编程只读存储器（Erasable PROM，EPROM）

EPROM 是一种可以改写内部程序或者数据的 ROM，但是 EPROM 的数据改写并不像 RAM 那么简单方便。想要改写 EPROM 中的数据首先需要将 EPROM 拔下并放于紫外线中照射 10~30 分钟清除原数据，因此称 EPROM 为电写入紫外线擦除存储器。

◆ 电擦除可编程只读存储器（Electrically Erasable PROM，E²PROM 或者 EEPROM）

如上所述 EPROM 是一种电写入紫外线擦除的存储器，而 E²PROM 是一种电写入电擦除的可编程 ROM。E²PROM 与 RAM 一样读写操作简单，同时又有数据不会掉电消失的优点，因此使用极为方便。一般 E²PROM 保存的数据至少可达 10 年以上，每块芯片可擦写 1000 次以上。

◆ Flash 存储器（Flash Memory）

Flash 存储器又称为闪存，是一种快速编程的 E²PROM。它既拥有 E²PROM 读写数据的方便性，又简化了结构，进一步提高了集成度和可靠性，降低了成本。一般 PC 机上的 BIOS 采用的就是 Flash 存储器。许多新型单片机内部都有片内闪速存储器，如 89S52 有 8KB 的 Flash 存储器。

（2）随机存取存储器（Random Access Memory）

随机存取存储器中存储的信息可以随意读出与写入，并且读写速度与存储的位置无关。一旦断电，则 RAM 中原来的信息就会消失。按照存储信息方式的不同，RAM 又可分为静态随机存储器和动态随机存储器。

◆ 静态随机存储器（Static RAM，SRAM）

SRAM 的特点是只要有电源加在存储器上面，则存储器中的内容一直存在不会消失。SRAM 具有速度快、控制电路简单的特征，但其集成度低、功耗大，一般相同存储容量下 SRAM 体积较大，价格较贵。一般单片机中 RAM 多采用 SRAM，容量一般在 128B~64KB 之间。

◆ 动态随机存储器 (Dynamic RAM, DRAM)

与 SRAM 不同, 在供电的情况下, DRAM 中写入的信息只能保存若干毫秒的时间, 因此每隔一段时间需要将数据重新写入以保证原来的数据不丢失, 这种重写的操作称为刷新 (Refresh)。相较于 SRAM 而言, DRAM 容量较大, 价格便宜但是速度较慢, 控制电路复杂。一般 PC 机上的内存条多采用 DRAM, 容量一般在 64MB~2GB 之间。

2. 微处理器 (MPU)

微处理器是微机的核心单元, 是微机的运算和指挥控制中心。一般而言, 微处理器的组成包括运算器、控制器以及内部总线。微处理器 MPU 的基本结构如图 1-2 所示。下面简单介绍微处理器的运算器与控制器。

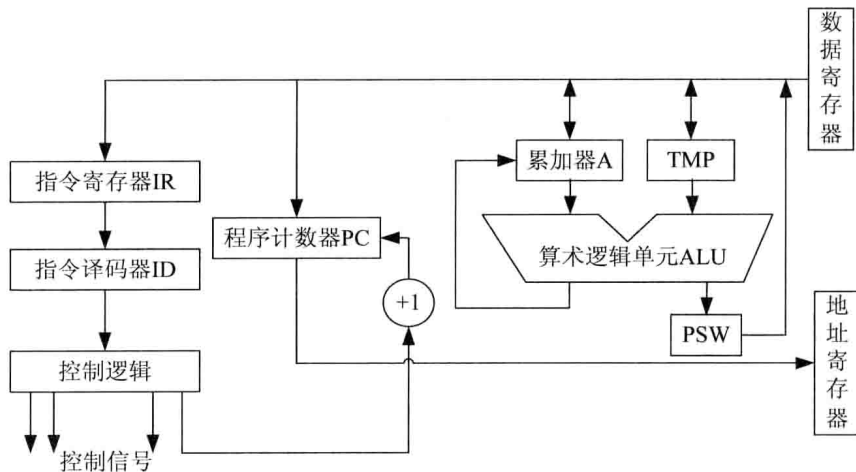


图 1-2 MCU 结构框图

(1) 运算器

一般而言, 运算器包括算术逻辑单元 ALU、累加器 A、暂存器 TMP、程序状态字 PSW 以及通用寄存器几个部分。

◆ 算术逻辑单元 ALU (Arithmetic-Logic Unit)

算术逻辑单元是运算器的核心部件, 它以全加器为基础, 配合移位和控制逻辑进行加减乘除以及各种逻辑运算。

◆ 累加器 A (Accumulator)

累加器是一个移位寄存器, 用于运算前存放操作数以及运算后存放运算结果。在 MPU 中, 单操作数运算多从累加器中获取操作数, 多操作数运算也常常从累加器中获取一个操作数。

◆ 暂存器 TMP (Temporary)

暂存器也是一个移位寄存器, 用来存放 ALU 运算中所需的操作数或者操作结果。从本质上说, 暂存器的作用在于解决 MPU 处理速度与内存速度不匹配的问题。通过将少量需要重复使用的数据存放于暂存器中可以避免 MPU 频繁向内存索取数据, 从而提高计算机数据处理速度。

◆ 程序状态字 PSW (Program Status Word)

程序状态字 PSW 包含 8 个触发器, 用来存放 ALU 运算过程中产生的状态。运算过程中最

高位是否有进位或者借位，低 4 位是否向高 4 位进位等都通过程序状态字中的状态位表示。

◆ 通用寄存器（General Purpose Register）

通用寄存器是相对专用寄存器而言的，上面所说的以及后面提及的程序计数器 PC 等都是专用计数器，它们的功能固定。在 MPU 中还有部分寄存器，它们可以被指定用来存放操作数或者运算结果，这部分寄存器被称为通用寄存器。

（2）控制器

如果说运算器是计算机的运算中心，那么控制器就是计算机的指挥中心，其作用在于控制 MPU 中各个部分协调工作，共同完成整个程序的自动执行。

计算机中的典型工作过程为取指令、分析指令、执行指令。计算机中要执行的指令放在内存中，MPU 想要执行一条指令，首先要从内存中找到将要执行的指令并将其取出。在单片机 MPU 中，有一个程序计数器 PC 用来存放将要执行程序的内存地址。计算机根据 PC 中的内存地址取得想要执行的指令，取出指令后，PC 自动加 1 指向下一条指令。

分析指令的过程是一个译码的过程。在 MPU 中存在一个指令寄存器 IR，用来暂时存放从内存中获取的指令码。MPU 从 IR 中获取指令码后，通过指令译码器 ID 对指令码进行译码。在与时序系统的配合下，MPU 译码后将按时序产生控制信号，对响应部分进行控制。

执行指令的过程就是一个将控制信号发送到 I/O 接口执行的过程。执行指令的过程也包括对计算结果的处理以及 MPU 中转移地址的形成。

为了实现上述所说的典型工作过程，CPU 控制器需要包括以下几个部分的控制功能。

◆ 指令控制

指令控制指的是控制计算机按照取指令、分析指令、执行指令步骤对指令进行操作的过程。指令控制是控制器的基本功能。如上所述，控制器中包含了程序计数器 PC、指令寄存器 IR 以及指令译码器 ID 来实现指令控制功能。

◆ 时间控制

时间控制指的是 MPU 控制器对指令执行过程中操作时间的控制过程。如上所述，MPU 译码后会按照时序产生控制信号，这个时序信号就是用来完成 MPU 的时间控制的。

◆ 操作控制

操作控制指的是 MPU 控制器按照译码后的控制信号完成控制的过程。通过操作控制，MPU 可以完成指令操作。

3. 输入/输出（I/O）接口及设备

微机通过输入/输出设备来实现具体信号的输入和输出。常见的输入设备包括鼠标、键盘、摄像头等。常见的输出设备包括 CRT 屏幕、液晶显示屏、打印机等。

输入/输出接口是 MPU 与外部设备进行信息交互的连接电路。微机通过 I/O 接口来实现 MPU 与输入/输出设备之间的数据、信息通信以及操作控制。在微机系统中，一般较为复杂的 I/O 接口都在一个电路插板上，电路插板与系统总线相连。当使用外部设备时，只要将外部设备插在电路插板上，即可实现外部设备与微机系统的连接。

4. 系统总线

MPU 通过系统总线与存储器、I/O 接口以及外部设备进行信息交换。根据功能的不同，微

机中的系统总线分为地址总线、数据总线和控制总线3种。

(1) 地址总线 AB (Address Bus)

MPU 通过地址总线向外传送地址信息。地址总线是单向总线,只能由 MPU 向外发出。在 MPU 要对存储器或者外部设备进行读/写操作时,首先要将存储器或者外设的地址码送到地址总线上进行选中,进而进行读/写操作。

地址总线的数量由 MPU 型号决定,其大小决定了一次寻址的寄存器数目。假如有 n 条地址总线,那么一次的最大寻址数量为 2^n 个单元。在多数 8 位机中地址总线的数量为 16。

(2) 数据总线 DB (Data Bus)

MPU 通过数据总线与存储器和外设进行数据交换。数据总线为双向总线,数据即可以通过 DB 从 MPU 流出,也可以通过 DB 向 MPU 流入。

数据总线的数量代表了 MPU 进行数据处理的位数。一般 MPU 位数与数据总线数量相同,即 8 位机数据总线数量为 8,16 位机数据总线数量为 16。但是也有 MPU 为 16 位但是外部数据总线仍然为 8 的情况。

(3) 控制总线 CB (Control Bus)

MPU 通过控制总线对外传送控制信号,同时存储器或者外部设备也通过控制总线向 MPU 发送状态或者请求信号。在微机中,单个控制总线的数据传输方向是固定的,而所有控制总线呈现的总体情况是双线的:有的控制总线负责从 MPU 传出信号,有的控制总线向 MPU 传入信号。

1.1.4 单片机的应用

单片机具有集成度高、结构简单、可靠性强、价格低廉等特点,如今已被广泛应用于国民经济的各个领域。

1. 日常生活中的应用

单片机自诞生以后就开始进入人们的日常生活。现在,在空调、洗衣机、录音机、微波炉、电饭煲、饮水机等各种日常电器中都可以找到单片机的影子。单片机不仅提高了这些日常电器的智能化程度,还方便了普通百姓的日常生活。

2. 智能仪器仪表中的应用

单片机的应用大大降低了传统仪器仪表的电路复杂程度,不仅使仪器仪表的数字化、智能化程度得到提高,而且减小了仪表的体积、降低了价格。目前,温度、湿度、压力、流量、流速、电压、电流、角度等量的测量与控制都可以加入单片机来实现。

3. 工业控制中的应用

单片机广泛应用于工业控制现场。这既包括工业机器人、机器人、工业测控、航空军工中的实时控制,又包括机械、造纸、去污、纺织生产线中的分布式控制。单片机的实时数据处理能力以及 I/O 口扩展通信能力为工业控制中的快速、稳定性提供了保障。

4. 机电一体化产品中的应用

集合机械、电子以及计算机技术于一体的机电一体化技术是当今机械工业的发展方向。数控机床、钻床、电梯、电脑缝纫机等都是机电一体化的典型产品。单片机作为一种微机产品,

由于其体积小、可靠性高、功能性强的特点能够方便地融入到机械产品中去，提高机械产品的自动化和智能化程度。

1.1.5 单片机的发展趋势

从大的角度来看单片机的发展方向有两个：一是朝着高性能、大容量的方向发展，通过新技术或者高集成提高单片机的性能，使其拥有更加强大的功能；另一方面与上述相反，单片机朝着小容量、低价格的方向发展，强调在满足一定功能条件下尽可能减小体积，降低价格。站在新技术、新功能的角度上看，单片机的发展趋势有以下几个方面。

1. CMOS 化

CHMOS（互补高性能 MOS）技术的出现大大促进了单片机的 CMOS 化。CMOS 芯片具有低功耗、高密度、低价格的特点，通过单片机的 CMOS 化可以减小单片机的体积以及功耗。CMOS 同时有低速度的特点。HMOS 工艺芯片的出现解决了低速度的问题但同时提高了芯片的体积以及功耗。CHMOS 技术是 CMOS 工艺与 HMOS 工艺的结合，通过 CHMOS 技术能够在提高速度的同时保持低功耗、高密度的特点，是单片机发展的方向。

2. 低电压、低功耗

降低单片机工作电压以及电流，使单片机能够在低电压、低功耗条件下运行是单片机的发展方向。

3. 高性能化

通过提高单片机中 MPU 的性能进一步提高单片机处理速度和可靠性是单片机发展方向之一。32 位处理器以及精简指令 RISC（Reduced Instruction Set Computer）结构可以大幅提高单片机运行速度。

4. 大容量化

以往单片机内部 ROM 的大小为 1~4KB，RAM 大小为 64~128B。在复杂场合下，需要通过内存扩展的方法来提高单片机的内存容量。现在通过闪存技术和其他方法扩大存储器容量可以减少单片机内存扩展需求，使单片机系统更加简单。

5. 系统单片化

通常所说的单片机包含了 MPU、存储器以及 I/O 接口几部分主要结构，系统需要的其他一些结构，如 DMA（Direct Memory Access）控制器、D/A 转换、A/D 转换器等并没有集成在单片机内部。如果在系统中需要用到上述功能则需要通过外部扩展实现。根据系统要求将一些外围功能集成到单片机内部也是单片机的一个发展趋势。

1.2 单片机中的预备知识

计算机中的数据是以二进制数进行存储和运算的。要弄清单片机的工作原理和工作方式，