

单片机原理 及接口技术 实用教程

高春甫 王冬云 马继杰 贺新升 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

单片机原理及接口 技术实用教程

高春甫 王冬云 马继杰 贺新升 编著

机械工业出版社

本书共8章,对单片机的理论及应用进行了讲解。第1章对单片机简单进行了介绍;第2章介绍了单片机组成及存储器扩展的硬件知识;第3章首先介绍了单片机汇编语言指令系统,然后介绍了一些程序设计方法;第4章对单片机中断及定时/计数器进行了描述;第5章介绍了单片机串口通信接口技术;第6~8章针对单片机应用中涉及的单片机C51语言程序设计及Keil C51、单片机外部接口电路、单片机的应用实例进行了介绍。

本书从应用角度出发,所编写的内容力求简单适用,删除了一些应用过程中不必要掌握的内部结构知识,只是从应用角度介绍了外部接线接口方式,具有很强的应用性。

本书可作为高等院校电子、自动化、车辆工程、机械等专业本科生和研究生及相关科技工作者的教材或参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及接口技术实用教程/高春甫等编著.

—北京:机械工业出版社,2014.6

ISBN 978-7-111-46285-9

I. ①单… II. ①高… III. ①单片微型计算机-基础
理论-教材 ②单片微型计算机-接口技术-教材 IV.
①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第087851号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:徐明煜 责任编辑:徐明煜 王琪

版式设计:赵颖喆 责任校对:陈秀丽

封面设计:陈沛 责任印制:刘岚

北京京丰印刷厂印刷

2014年6月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·14.5印张·356千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-46285-9

定价:39.90元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

自动控制技术各个领域得到非常广泛的应用,如工业自动化、航空航天、智能家居、智能交通等,可以说已经贯穿生产、生活的各个方面,对于科技进步和生活质量的提高具有广泛的意义。尤其近年各级政府开始主导工业企业“机器换人”的发展战略,更增加了对自动化应用开发技术人才的大量需求。

一个复杂的自动控制系统分解开来其实就是由控制核心和部件驱动组成,控制核心一般由可编程的芯片组成,驱动部件则一般由信号转换、功率放大等专用电路组成。作为可编程芯片家族的核心成员之一,单片机在自动控制领域得到了广泛的应用,它管理整个自动控制系统的各个环节,因此掌握自动控制系统就应该从单片机的基础知识及应用开始学习。

单片机及其应用技术是工科类专业学生必须掌握的知识,是进一步学习机电一体化、自动化技术的基础,具有重要的学习、应用价值,同时也是广大科技工作者和教育工作者需要重点掌握的知识。学习单片机知识具有很多方式和途径,作为初学者或者高校学生应该在系统学习单片机基础知识的同时重点专注于单片机的应用技术方面的学习,不需要一开始就深陷于复杂的芯片级的结构,而只需要掌握其应用方式和技巧就可以了。因此本书在编写的过程中,着重于应用,删减了一些不必要的内部结构,重点在于介绍其外部连接方式和对应的软件编程。循序渐进地学习本书,可以实现从了解单片机的工作原理及外设的特点到基于单片机进行简单的应用开发,并逐步精通单片机技术。

本书以 MCS-51 系列单片机为对象,主要介绍了单片机的基本原理、汇编语言及编程、定时计数器、中断系统、串行通信技术、芯片的扩展等,另外为了面向于实际应用开发,增加了 C51 和对应的 Keil 仿真软件介绍。在最后一章,为满足读者应用单片机技术的需求,编写了一些实例,其中有采用 C51 进行编程的实例,也有采用汇编语言进行编程的实例。

本书配有对应的教学课件,教学过程中可以根据需要对内容进行适当的选择。课件索取邮箱: cfgao2007@zjnu.cn。

本书的编写者均是浙江师范大学单片机应用方面的教师,从事多年教学和相应的科研工作,对单片机的应用具有较丰富的经验。本书的内容还参考了其他单片机教材和科技文献,在此,向这些作者致以衷心的感谢。由于时间匆忙,书中值得商榷之处难免,欢迎广大师生和科技工作者交流指正,以备将来修改完善。

编 者

目 录

前言

第1章 单片机概述	1
1.1 概述	1
1.1.1 单片机的分类	1
1.1.2 单片机的发展趋势	2
1.1.3 单片机产品的应用	2
1.2 单片机设计语言的发展	3
1.3 MCS-51 系列单片机的内部基本结构	5
1.4 MCS-51 系列单片机的外部引脚说明	5
1.5 本章小结	7
第2章 单片机组成及存储器扩展	8
2.1 MCS-51 系列单片机的硬件结构	8
2.2 MCS-51 系列单片机的并行端口结构和操作	9
2.2.1 P0 端口及其操作	10
2.2.2 P1 端口及其操作	10
2.2.3 P2 端口及其操作	11
2.2.4 P3 端口及其操作	12
2.3 MCS-51 系列单片机的存储器配置	13
2.3.1 程序存储器配置	13
2.3.2 数据存储器配置	14
2.3.3 特殊功能寄存器	16
2.4 存储器 EPROM 和 RAM 的综合扩展	20
2.4.1 程序存储器的扩展	21
2.4.2 数据存储器的扩展	24
2.5 MCS-51 系列单片机的时钟电路与时序	26
2.5.1 时钟电路	26
2.5.2 单片机时序	27
2.6 MCS-51 系列单片机的复位	29
2.6.1 复位的概念	29
2.6.2 单片机的复位电路	29
2.7 本章小结	30

第3章 MCS-51 汇编语言指令系统

及程序设计	31
3.1 概述	31
3.1.1 汇编语言指令格式与伪指令	31
3.1.2 指令的分类	33
3.1.3 指令中的常用符号	33
3.2 MCS-51 系列单片机的寻址方式	34
3.2.1 立即寻址	34
3.2.2 直接寻址	35
3.2.3 寄存器寻址	35
3.2.4 寄存器间接寻址	35
3.2.5 变址寻址	35
3.2.6 相对寻址	36
3.2.7 位寻址	36
3.3 MCS-51 系列单片机的指令系统	37
3.3.1 数据传送指令	37
3.3.2 算术运算指令	39
3.3.3 逻辑运算和移位指令	41
3.3.4 控制转移指令	42
3.3.5 位操作指令	45
3.4 汇编语言及程序设计	46
3.4.1 汇编语言程序设计的步骤	47
3.4.2 顺序程序设计	47
3.4.3 分支程序设计	49
3.4.4 循环程序设计	50
3.4.5 查表程序设计	55
3.4.6 子程序设计	57
3.5 程序设计举例	59
3.5.1 多字节算术运算程序	59
3.5.2 数制转换程序	60
3.5.3 散转程序	62
3.6 汇编语言的开发环境	64
3.6.1 单片机开发系统	64
3.6.2 汇编语言的编辑与汇编	65
3.6.3 汇编语言的调试	65
3.7 本章小结	66

第4章 单片机中断及定时/

计数器	67	5.6.1 SPI 的信号组成	103
4.1 中断系统概述	67	5.6.2 SPI 数据传输过程	104
4.1.1 中断的概念	67	5.6.3 DS1302 时钟日历芯片	104
4.1.2 中断的作用	67	5.7 本章小结	108
4.2 MCS-51 系列单片机中断系统的 结构	67	第6章 单片机 I/O 接口技术	109
4.3 中断源和中断控制寄存器	68	6.1 MCS-51 系列单片机对非编码键盘 的接口	109
4.3.1 中断源	68	6.1.1 键盘接口需要解决的问题	109
4.3.2 中断控制寄存器	69	6.1.2 独立式按键	110
4.4 MCS-51 系列单片机的中断处理 过程	71	6.1.3 矩阵式按键	111
4.4.1 中断请求	71	6.2 LED 数码管接口	112
4.4.2 中断响应	71	6.2.1 LED 数码管的译码	113
4.4.3 执行中断服务程序	72	6.2.2 LED 数码管的显示方式	113
4.4.4 中断返回	72	6.3 MCS-51 系列单片机与液晶显示器 的接口	117
4.4.5 中断响应等待时间	73	6.3.1 指令格式与指令功能	118
4.4.6 中断请求的撤除	73	6.3.2 LCD 与单片机的接口与应用	120
4.4.7 中断优先控制和中断嵌套	73	6.4 MCS-51 系列单片机与 A-D、D-A 电路的接口	123
4.4.8 中断系统的应用	73	6.4.1 D-A 转换电路原理	123
4.5 MCS-51 系列单片机的定时/ 计数器	74	6.4.2 DAC0832 芯片的外部与内部 特性	124
4.5.1 定时/计数器概述	74	6.4.3 DAC0832 的应用	125
4.5.2 定时/计数器的控制寄存器	74	6.4.4 A-D 转换接口	125
4.6 定时/计数器的工作方式	76	6.4.5 ADC0809 的内部结构与外部 特性	126
4.7 定时/计数器的应用	79	6.4.6 MCS-51 系列单片机配置 ADC0809 的硬件接口	127
4.8 本章小结	83	6.5 MCS-51 系列单片机与 8155 并行 扩展接口	129
第5章 单片机串行通信接口技术	84	6.5.1 引脚说明	129
5.1 串行通信基础	84	6.5.2 工作方式	131
5.1.1 异步通信和同步通信	84	6.5.3 定时/计数器	131
5.1.2 串行通信的数据传送方式	85	6.5.4 电路原理框图	132
5.2 MCS-51 系列单片机的串口结构	86	6.5.5 软件编写	133
5.2.1 缓冲器 SBUF	86	6.6 本章小结	133
5.2.2 寄存器 SCON	87	第7章 单片机的 C 语言概述	134
5.2.3 寄存器 PCON	88	7.1 C 语言的特点	134
5.3 单片机串口工作方式	88	7.2 Cx51 程序结构及开发过程	134
5.4 单片机间的点对点通信	90	7.3 Cx51 数据与运算	135
5.4.1 硬件设计	90	7.3.1 Cx51 数据的存储类型与 MCS-51 存储结构	136
5.4.2 系统软件设计	91	7.3.2 MCS-51 特殊功能寄存器	
5.5 I ² C 总线通信	97		
5.5.1 I ² C 总线的工作原理	97		
5.5.2 I ² C 总线协议及其单片机 实现	98		
5.6 串行通信接口 (SPI)	102		

(SFR) 的 Cx51 定义	137
7.3.3 MCS-51 并行接口及 Cx51 定义	138
7.3.4 80C51 位变量及 Cx51 定义	138
7.4 Cx51 运算符、表达式及其规则	139
7.4.1 算术运算符	139
7.4.2 关系运算符及其表达式	139
7.4.3 逻辑运算符及其表达式	139
7.4.4 位运算及其表达式	139
7.4.5 自增减运算符、复合运算符 及其表达式	139
7.4.6 复合的赋值运算符	139
7.5 C51 程序基本结构	140
7.5.1 顺序结构	140
7.5.2 选择结构	140
7.5.3 循环结构	140
7.6 Cx51 构造数据类型	142
7.6.1 数组和数组单元的基本概念	142
7.6.2 指针的基本概念	143
7.6.3 结构体	143
7.7 Cx51 函数	144
7.7.1 函数的分类	144
7.7.2 函数的定义	145
7.7.3 函数的参数和函数值	145
7.7.4 函数的返回值及其类型	145
7.7.5 函数的调用	145
7.8 Keil 软件简介	146
7.9 Keil 软件的安装	146
7.10 Keil 软件开发流程	151
7.10.1 创建项目文件	151
7.10.2 建立源代码文件	153
7.11 项目设置	156

7.12 软件调试工具	158
7.12.1 常用调试命令	159
7.12.2 在线汇编	161
7.12.3 断点设置	161
7.12.4 实例调试	162
7.13 软件调试窗口	163
7.14 Keil C51 调试实例	168
7.15 本章小结	172

第 8 章 基于 MCS-51 系列单片机的

应用实例

8.1 基于 MCS-51 系列单片机和 DS1302 芯片的电子实时时钟设计	173
8.1.1 硬件设计	173
8.1.2 程序框图设计	177
8.1.3 程序设计	178
8.2 基于 MCS-51 系列单片机和 ADC 的快速测温系统	199
8.2.1 硬件电路设计	199
8.2.2 程序框图设计	203
8.2.3 程序设计	203
8.3 基于 MCS-51 系列单片机的直流 电动机控制	208
8.3.1 直流电动机的工作原理	208
8.3.2 PWM 控制的基本原理	209
8.3.3 单片机控制直流电动机 PWM 驱动电路	210
8.4 基于 MCS-51 系列单片机的红外 遥控开关系统设计	214
8.4.1 系统总体方案设计	215
8.4.2 系统软件设计	216
8.5 本章小结	224

参考文献	225
------------	-----

第 1 章 单片机概述

1.1 概述

随着微电子技术的不断发展,微电子芯片集成度越来越高,使在一块集成芯片上集成微处理器、存储器等电路成为可能。1976 年,第一片单片机芯片 8048 诞生。自问世以来,单片机以其体积小、功能全、可靠性高、控制性强、性价比高等特点,在智能产品、智能仪表、测控系统与数控系统、智能接口等各个领域得到了广泛的应用,对各行各业产品的升级起着非常重要的推动作用,对人们的生活产生了深刻的影响。

1.1.1 单片机的分类

世界上各大芯片生产厂家的单片机产品品种繁多,按照其结构和应用对象划分,大致可以分为以下两类。

1. CISC 结构的单片机

CISC 结构也称冯·诺依曼结构,其含义是复杂指令集 (Complex Instruction Set Computer, CISC)。该结构单片机的基本特征是取指令和取数据分时进行。

CISC 结构的单片机指令集合有较多的复杂指令,指令数量多。相应地,使芯片结构变得很复杂,同时导致 CISC 结构的单片机效率低下。

2. RISC 结构的单片机

RISC 结构又称为哈佛结构,其含义是精简指令集 (Reduced Instruction Set Computer, RISC)。该结构单片机的基本特征是取指令和取数据可同时进行。

RISC 结构的主要特点是:①具有一个有限的简单的指令集,简单指令小于 100 条,甚至寻址方式只有 2~3 种;②绝大部分指令是单周期指令,在增加程序存储器宽度的情况下,可在一个存储单元中存放一条指令,这样能容易地实现并行流水线操作,有效地提高了指令的运行速度。

按照产品类型划分,单片机大致可以分为以下 4 种。

(1) 51 系列 Intel 公司的 51 系列在市场上占有相当大的比例,这与它优秀的性能分不开。51 系列单片机的优点众多。它有完整的按位操作系统,除了能进行传送、置位、清零、测试等操作,还能进行位逻辑操作。I/O 脚的设置简单,使用方便。随着技术的发展,51 系列单片机的运行速度越来越快,晶体振荡器频率可从以前的 12MHz 提升到 40MHz,并引入 ISP 功能。ISP 功能实现了在线可编程功能,可以省去通用的编程器。单片机在用户板上即可下载和烧录用户程序,加快了产品的开发速度,减少了新产品因软件缺陷带来的风险。

(2) AVR 系列 AVR 系列单片机是由 Atmel 公司推出,其显著的特点是高速度、低功耗。

(3) PIC 系列 PIC 系列单片机是美国微芯公司 (Microchip) 的产品,是当前市场份额

增长最快的单片机之一。

(4) ARM 系列 ARM 公司位于英国,由 Acom、苹果公司和 VLSI 公司联合出资。ARM 公司本身不生产芯片,靠转让设计许可盈利,联合伙伴公司根据它设计的芯片生产出各具特色的产品。ARM 公司专注于设计,其内核耗电少、成本低、功能强,具有 16 位/32 位双指令集。ARM 已成为移动通信、手持计算机、多媒体数字产品嵌入式解决方案的标准。目前,市场上 80% 的手机采用 ARM 核芯片。

1.1.2 单片机的发展趋势

1976 年 Intel 公司率先推出 MCS-48 系列 8 位机,单片机的发展推动了应用系统的发展,应用系统的发展又反过来对单片机提出了更高的要求,从而促进了单片机的发展。目前,单片机正朝着功能更强、速度更快、功耗更低的方向发展,主要体现在以下几方面:

1) CPU 的发展:

①采用双 CPU 结构,以提高处理能力;

②增加数据总线的宽度;

③采用流水线结构;

④采用串行数据总线结构。

2) 存储器的发展:

①存储容量加大;

②片内使用 EEPROM 或 Flash。

3) 程序保密化。

4) I/O 端口多功能化。

5) 低功耗和宽电压范围。

6) 采用 RISC 体系结构。

7) 总线串行化。

现在虽然单片机的品种繁多,各具特色,但仍以 80C51 为核心的单片机占主流,兼容其结构和指令系统的有 Philips 公司的产品,Atmel 公司的产品和我国台湾省的 Winbond 系列单片机。所以 80C51 为核心的单片机占据了半壁江山。而 Microchip 公司的 PIC 精简指令集 (RISC) 也有着强劲的发展势头,我国台湾省的 Holtek 公司近年的单片机产量与日俱增,以其低价质优的优势,占据一定的市场份额。此外还有 Motorola 公司的产品,日本几大公司的专用单片机。在一定的时期内,这种情形将得以延续,将不存在某个单片机垄断市场的局面,走的是依存互补、相辅相成、共同发展的道路。

1.1.3 单片机产品的应用

单片机面向控制且体积小、功耗低的特点使其在众多领域获得了极为广泛的应用,下面列出了单片机应用的几个典型领域。

1. 智能仪器仪表

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点,广泛应用于仪器仪表中,结合不同类型的传感器,可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、元素、压力等物理量的测量。采用单片机控制使得

仪器仪表数字化、智能化,微型化,且功能比采用模拟电路或数字电路更加强大。例如,精密的测量设备(功率计、示波器、各种分析仪)大多采用单片机为核心。

2. 过程控制

无论从硬件结构的设计还是从指令系统的构成来看,单片机都具有很强的控制功能,特别适合于实时控制,被广泛应用于工业实时测量与控制领域。

生产过程的自动化,包括自动生产流水线、步进电动机的驱动、机器人、车辆驾驶等都可用单片机控制,具有自动化、智能化的程度高,成本低,维护容易等特点。如用单片机构成的电力系统数字式继电保护系统不仅在判断准确、动作灵敏、体积小、可靠性高等方面的性能指标要优于模拟式继电保护装置,而且记忆存储故障信息,便于事后故障分析,将故障状态以图像、表格等形式直观、清晰地提供给设计运行人员,集系统监视和多种保护功能于一体都是传统继电保护装置所无法具备的优点。

3. 智能产品

单片机与机械产品结合,使传统的机械产品结构简化、控制智能化,构成了新一代的机电一体化产品。智能产品不仅用于家用电器、办公设备,还广泛应用于机床、纺织机械以及工业设备中。

4. 测控系统与数控系统

用单片机可以构成各种工业控制系统、适应控制系统以及数据采集系统等。可以采用单片机作为机床数控系统的控制机,以提高机床数控系统的可靠性,增强功能,降低控制机成本,还可以改变数控机床的数控模式。

5. 家用电器及电子玩具

单片机被普遍用于各类家用电器,目前高档的家用电器产品和电子玩具几乎都以单片机作为其控制器,这大大提高了产品的性价比和市场竞争能力。

6. 武器装备

由于单片机体积小、控制功能强大,特别是其适应能力强,能在各种恶劣的环境条件下可靠地工作,故它被广泛地应用于各种军事武器、装备的控制中,可大大提高武器装备的自动化和智能化水平。例如,将其用于导弹制导、鱼雷及各种智能式军事装备等。

7. 医疗仪器

用单片机构成的新型医疗仪器克服了传统的医用诊疗仪器存在的不具备数据处理能力、不易得到直观而易保存的诊疗结果、人工干预工作量大、可靠性较差等缺点和弊端,具有自动化程度高、功能强、操作简便、治疗效果好、诊断结果准确直观等优点。

8. 计算机外部设备

单片机还被广泛用于计算机各种输入/输出设备的智能化,如智能化打印机和扫描仪、智能式键盘、智能化 CRT 显示器等。单片机的应用使得这些智能化外部设备与计算机间的通信更为简单、可靠,功能得到进一步扩充,操作使用更加灵活方便。

1.2 单片机设计语言的发展

嵌入式单片机在推广应用初期的主要编程语言是汇编语言,这是因为当时的开发工具只能支持汇编语言。随着硬件技术的发展,嵌入式单片机开发工具的功能也有很大扩展。

MCS-51 单片机有 4 种语言支持,即汇编语言、PL/M 语言、C 语言和 BASIC 语言,而 MCS-51 主要使用汇编语言与 C 语言。

汇编语言是一种面向机器的程序设计语言,它以助记符表示机器语言,每一条指令对应一条机器语言。随着机器的不同,汇编语言也不同。汇编语言是介于高级语言和机器语言之间的一种程序设计语言。机器语言 (Machine Language) 则是一种计算机直接识别和执行的程序设计语言。汇编语言具有如下特点:

- 1) 每一条指令都有一条机器语言与之对应,以助记符表示机器语言。用汇编语言编写的程序效率高、占用存储空间小,运行速度快,因此用汇编语言能编写出最优化的程序。
- 2) 与使用高级语言编写程序相比,使用汇编语言编写程序的过程较为繁琐,而且要求程序设计人员必须对单片机体系结构有相当深入的了解。
- 3) 汇编语言能直接访问存储器及接口电路,也能处理中断,因此汇编语言程序能直接管理和控制硬件设备。
- 4) 汇编语言是面向机器的程序设计语言,不同的 CPU 其汇编语言一般是不同的,因而彼此缺乏通用性,程序不易移植。

汇编语言程序设计就是使用汇编指令来编写计算机程序。使用汇编语言进行程序设计时,数据的存放、寄存器和工作单元的使用等都要由设计者安排。而使用高级语言进行程序设计时,这些工作则由计算机软件安排,程序设计者不必考虑。汇编语言程序设计要求设计人员必须对所使用的计算机的硬件结构有较为详细的了解,特别是对各类寄存器、端口、定时/计数器、中断等内容更应了如指掌,以便在程序设计中熟练使用。汇编语言程序设计的技巧性较高,软硬件结合特别紧密。

在 MCS-51 嵌入式系统应用中,大部分实用程序都是采用汇编语言编写的。由于汇编语言程序的可持续性和可移植性都比较差,因此采用汇编语言编写程序不但周期长,而且调试和排除程序错误也比较困难。但是,汇编语言程序设计是 MCS-51 系列单片机程序设计的基础,并且直接关系到所设计的应用系统的控制特性、存储容量和工作效率,汇编程序设计的关键问题是编程与硬件结构密切相关。为了编写高质量和功能强大的实用程序,设计者一方面正确理解程序设计的目标和步骤,另一方面还要掌握汇编语言程序设计的原理和方法。

为了提高编写程序的效率,改善程序的可读性和可移植性,汇编语言作为传统的嵌入式系统的编程语言,已经不能满足实际需要了,而 C 语言的结构化和高效性满足了这样的需要,成为电子工程师在进行嵌入式系统编程时的首选语言,并得以广泛应用。尤其是 C 语言编译系统的发展,更加促进了 C 语言的应用。1985 年出现了针对 8051 的 C51 编译器,进而又出现了其他流行的嵌入式处理器系统如 196 系列、PIC 系列、MOTORAL 系列、MSP430 系列、AD 公司和 TI 公司的 DSP 系列的 C 语言编译系统,以及丰富的 C 语言库函数。C 语言是一种通用的程序设计语言,其代码效率高、数据类型及运算符丰富,并具有良好的程序结构,适用于各种应用程序设计。C 语言既具有一般高级语言的优点,又能直接对硬件进行操作。采用汇编语言与 C 语言配合编译来解决实际问题,既可保留嵌入式应用系统程序设计中控制特性和效率的要求,又可提高程序的可读性,还能缩短软件开发的周期。

1.3 MCS-51 系列单片机的内部基本结构

单片机最初的结构是由中央处理器 (CPU)、存储器、一般的 I/O 接口组成,随着计算机技术的发展以及单片机主要应用于控制的特点,现在的单片机内部的典型结构是由 CPU、存储器、一般 I/O 接口、特殊 I/O 接口等组成,如图 1-1 所示。单片机的内部结构将在第 2 章详细介绍。

CPU 是微机或单片机中最核心的部件,具有运算与控制功能。存储器用来存放指令(程序)和数据。MCS-51 系列单片机有两个

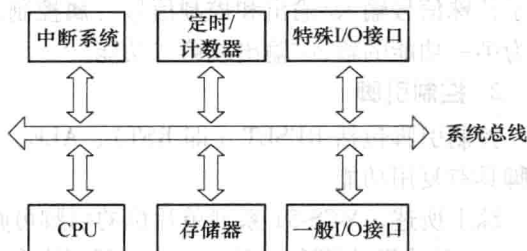


图 1-1 单片机内部的典型结构

16 位的可编程定时/计数器,以实现定时/计数。它也可以产生中断,从而控制程序转向。单片机通过并行输入/输出 (I/O) 口和外部设备进行通信,以便于处理外部的输入和将运算结果反馈到外部设备。MCS-51 系列单片机内置一个全双工串行通信口,用于与其他设备间的串行数据传送,同时具备较完善的中断功能,有两个外中断、两个定时/计数器中断和一个串行中断。这些功能可满足不同的控制要求,并具有 2 级的优先级别选择。MCS-51 系列单片机内置最高频率达 12MHz 的时钟电路,只需外置晶体振荡器和电容器,便可以产生整个单片机运行的脉冲时序。

1.4 MCS-51 系列单片机的外部引脚说明

MCS-51 系列单片机大部分采用 40 个引脚的双列直插式封装 (DIP),其引脚排列如图 1-2 所示,各主要引脚说明如下。

1. 输入/输出引脚

输入/输出 (I/O) 引脚包括 P0 口、P1 口、P2 口和 P3 口。

(1) P0 口 (P0.0 ~ P0.7) P0 口为双向 8 位三态 I/O 口。在不接片外存储器与不扩展 I/O 口时,可作为准双向输入/输出口。在接有片外存储器或扩展 I/O 口时,P0 口用于分时传送低 8 位地址总线和 8 位数据总线,可驱动 8 个 TTL 负载。一般作为扩展时地址/数据总线口使用。

(2) P1 口 (P1.0 ~ P1.7) P1 口为 8 位准双向 I/O 口,它的每一位都可以分别定义为输入线或输出线(作为输入时,P1 口锁存器必须置 1,可启动 4 个 TTL 负载。对于 52 系列单片机,P1.0 与 P1.1 还有第二功能:P1.0 可用作定时/计数器 2 的计数脉冲输入端 T2,P1.1 可用作定时/计数器 2 的外部控制端 T2EX。

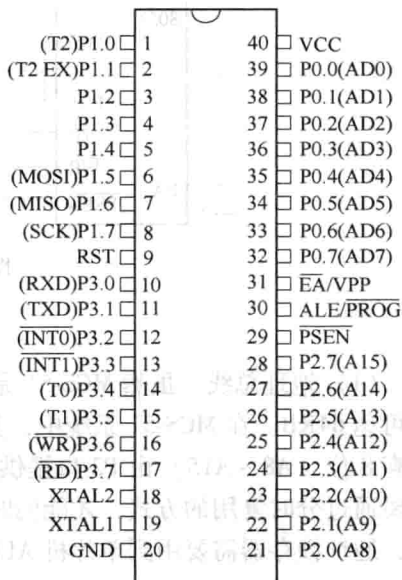


图 1-2 MCS-51 系列单片机的引脚排列

(3) P2 口 (P2.0 ~ P2.7) P2 口为 8 位准双向 I/O 口。当作为 I/O 口使用时, P2 口可直接连接外部 I/O 设备; 在接有片外存储器或扩展 I/O 口且寻址范围超过 256B 时, P2 口用于传送高 8 位地址总线。一般作为扩展时地址总线的高 8 位使用。

(4) P3 口 (P3.0 ~ P3.7) P3 口为 8 位准双向 I/O 口, 还可以将每一位用于第二功能, 用于特殊信号输入/输出和控制信号 (属控制总线), 而且 P3 口的每一个引脚均可以独立定义为第一功能的输入/输出或第二功能。

2. 控制引脚

控制引脚包括 RESET (即 RST)、ALE、PSEN、EA 等。此类引脚提供控制信号, 有些引脚具有复用功能。

综上所述, MCS-51 系列单片机的引脚可归纳为以下两点:

- 1) 单片机功能多, 引脚数少, 因而许多引脚都具有第二功能。
- 2) 单片机对外呈现三总线形式, 由 P2、P0 口组成 16 位地址总线。由 P0 口分时复用为数据总线。由 ALE、PSEN、RST、EA 与 P3 口中的 $\overline{\text{INT0}}$ 、 $\overline{\text{INT1}}$ 、 $\overline{\text{T0}}$ 、 $\overline{\text{T1}}$ 、 $\overline{\text{WR}}$ 、 $\overline{\text{RD}}$ 共 10 个引脚组成控制总线。

3. 单片机控制总线

MCS-51 系列单片机可以有各种不同的封装形式, 不管是哪种单片机, 它的引脚都是由电源、复位、时钟输入、4 个并行 I/O 口以及一些控制引脚构成的, 这些引脚除了具有这些基本功能外, 还可以用于单片机的扩展。此时, 单片机的这些引脚可以构成三总线结构 (即地址总线、数据总线和控制总线), 如图 1-3 所示。

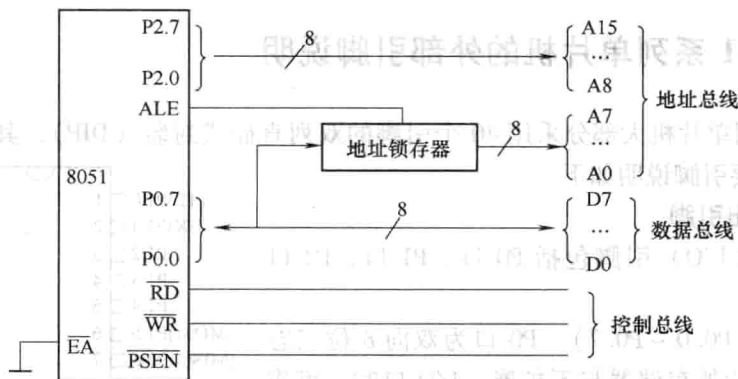


图 1-3 单片机的总线结构

(1) 地址总线 虽然 MCS-51 是 8 位机, 但其地址总线宽度为 16 位, 即其最大寻址空间可达 64KB。在 MCS-51 系统中, 其地址总线低 8 位 (AD0 ~ AD7) 由 P0 口提供, 地址总线高 8 位 (A8 ~ A15) 由 P2 口提供。但是, 在实际使用时, P0 口还要用作数据总线, 因而需要通过分时复用的方式, 才能同时用作地址总线, 此时需要在 P0 口外接地址锁存器来实现, 地址锁存器需要用到单片机 ALE 引脚发出的地址锁存信号来控制。

P2 口用作地址总线时, 因本身具有锁存功能, 故不需要外加地址锁存器。当然, 如果 P0 口和 P1 口不用作地址总线时, 它可以作为一般的 I/O 口来使用, 但一旦用作地址总线

后,则不能用作一般 I/O 口了。

(2) 数据总线 在 MCS-51 系列单片机中,数据总线总是用 P0 口来提供。由于数据总线宽度为 8 位,因此 MCS-51 系列单片机是 8 位机。

P0 口为三态双向口,是单片机中使用最频繁的 I/O 口。单片机所有需要与外部交换的数据信息大部分都通过此口来传输。

在单片机系统扩展中,数据总线通常是所有外围芯片的公共数据通道,但这些外围芯片并不能同时使用此数据总线,此时需要用到片选信号,片选信号加到不同芯片的片选端,如果芯片被选中,则由此芯片使用数据总线。

(3) 控制总线 控制总线是系统扩展时非常重要的控制信号的传送通道,与系统扩展有关的控制信号有 $\overline{\text{WR}}$ 、 $\overline{\text{RD}}$ 、 $\overline{\text{PSEN}}$ 、 $\overline{\text{ALE}}$ 、 $\overline{\text{EA}}$ 等。(注:上面画一横表示是低电平有效)。

$\overline{\text{WR}}$ 、 $\overline{\text{RD}}$: 读、写控制信号,分别用于单片机对片外扩展数据存储器及 I/O 端口的读写选通,当执行外部数据存储器操作 MOVX 指令时,这两个信号分别自动生成。 $\overline{\text{WR}}$ 、 $\overline{\text{RD}}$ 分别与扩展数据存储器及 I/O 端口的 $\overline{\text{WR}}$ 、 $\overline{\text{RD}}$ 相接。

$\overline{\text{PSEN}}$: 外部 ROM 读选通信号,用于片外程序存储器 (EPROM) 的选通信号。与数据存储器不同,读取 EPROM 中的数据时不用 $\overline{\text{RD}}$ 信号。在单片机执行片外程序存储器查表指令 MOVC 时,该信号自动生成。 $\overline{\text{PSEN}}$ 与扩展程序存储器相接。

$\overline{\text{ALE}}$: 地址锁存允许,用于锁存 P0 口输出的低 8 位地址的控制线。通常, $\overline{\text{ALE}}$ 在 P0 口输出地址期间用其下降沿控制锁存器地址数据。

$\overline{\text{EA}}$: 片外 ROM 选通信号,用于选择片内或片外程序存储器。当 $\overline{\text{EA}}=0$ 时,只访问外部程序存储器,对于没有片内 ROM 的芯片 (如 8031),此时,必须将 $\overline{\text{EA}}$ 接地。

1.5 本章小结

本章主要对单片机的分类、发展趋势及其应用做了概括说明,对单片机内部结构做了概述,着重介绍了外部引脚及其三总线技术,使读者对单片机有了初步了解。

第2章 单片机组成及存储器扩展

2.1 MCS-51 系列单片机的硬件结构

MCS-51 系列单片机的内部结构框图如图 2-1 所示。

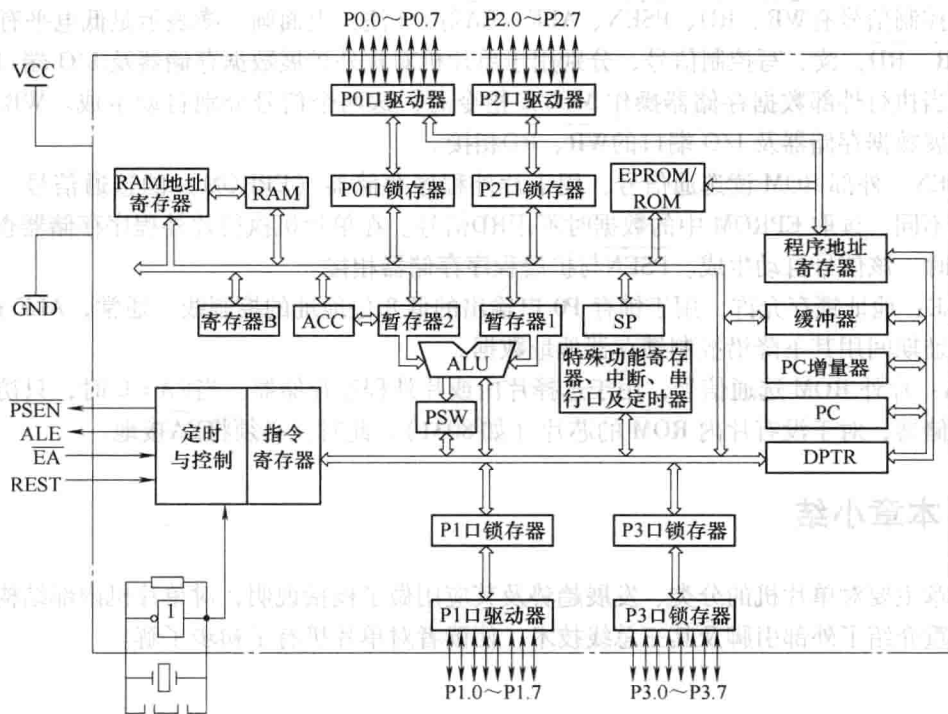


图 2-1 MCS-51 系列单片机的内部结构框图

MCS-51 系列单片机按其功能部件可划分为 9 个组成部分。

(1) 运算器 运算器包括算术/逻辑单元 (ALU)、累加器 (ACC)、寄存器 (B)、暂存器 (TEMP) 及程序状态寄存器 (PSW) 等。运算器的功能是进行算术运算和逻辑运算，可以对单字节、半字节 (4 位) 等数据进行操作，如能完成加、减、乘、除、加“1”、减“1”、BCD 码十进制调整、比较等算术运算，还能实现与、或、异或、取反、左右循环等逻辑操作。操作结果一般存放在累加器 (A) 中，结果的状态信息在程序状态寄存器 (PSW) 中呈现出来。PSW 是一个 8 位寄存器，用来存放运算结果的一些特征。

(2) 控制器 控制器是控制单片机工作的神经中枢，它包括程序计数器 (PC)、指令寄存器 (IR)、指令译码器 (ID)、数据指针 (DPTR)、堆栈指针 (SP)、RAM 地址寄存器、

时钟发生器、定时和控制逻辑电路等。控制器以主振频率为基准,发出 CPU 的控制时序,从程序存储器取出指令,放在指令寄存器,然后对指令进行译码,并通过定时和控制逻辑电路,在规定的时刻发出一定序列的微操作控制信号,协调 CPU 各部分的工作,以完成指令所规定的操作。其中一些控制信号通过芯片的引脚传送到片外,控制扩展芯片的工作。

(3) 数据存储器 (RAM) 单片机片内有 128 位用户读写数据存储单元和 21 个特殊功能寄存器,读写数据存储器是通用存储器,用于存放运算中间结果或临时数据等。特殊功能寄存器是 CPU 运行和片内功能模块专用的寄存器,如累加器 (A)、定时/计数器等,一般不能作为通用数据存储器使用。当片内数据存储器不够使用时,可扩展片外 RAM。MCS-51 系列单片机对外有 64KB 数据存储器的寻址能力。

(4) 内部程序存储器 MCS-51 系列单片机内部有 4KB 的 ROM 存储单元,简称内部 ROM。目前内部 ROM 的种类基本上有掩膜 ROM、OPTROM、EPROM、FlashROM 等。掩膜 ROM、OPTROM 都是一次性编程的,一般只用在定型产品中,成本低。FlashROM 可以在线擦除和编程,用于程序调试阶段非常方便。

(5) 接口电路 MCS-51 系列单片机有 4 个 8 位宽度的并行输入/输出 (I/O) 端口,分别称为 P0 口、P1 口、P2 口和 P3 口,I/O 线共有 32 根。单片机输出的控制信号和采集自外部的输入信号,都是通过这 32 根 I/O 线进行传输的,有的端口还具有第二功能。

(6) 定时/计数器 MCS-51 系列单片机内部有两个 16 位的定时/计数器,可以设置计数方式或定时方式,用以对外部脉冲或内部时钟进行计数。详细介绍请参见本书第 4 章。

(7) 中断控制系统 MCS-51 系列单片机具有 5 个 (详细介绍请参见本书第 4 章) 中断源,可编程为 2 个优先级进行中断处理。

(8) 串行通信接口 MCS-51 系列单片机内部有一个全双工的 UART (通用串行收发器),可以和其他 UART 通信,实现数据的串行传送,详细介绍请参见本书第 5 章。

(9) 时钟电路 振荡器为 MCS-51 系列单片机内部的时钟电路,外接石英晶体或外部输入一定频率的脉冲即可作为时钟脉冲序列,控制 CPU 内部逻辑电路的运行。

2.2 MCS-51 系列单片机的并行端口结构和操作

通用并行输入/输出端口 (General Purpose Input/Output Port, GPIO) 是指单片机片内普遍配置的、用于通用目的的一种并行端口模块,也可以称为输入/输出端口 (或简称 I/O 口),是单片机内部电路与外部世界交换信息的主要通道。输入端口负责从外界接收检测信号、测量信号、按键信号等各种开关量信号;输出端口负责向外界输送由内部电路产生的处理结果、显示信息、控制命令、驱动信号等。如果将单片机看成是一个为人们服务的机器,那么单片机的 I/O 口就相当于是“人-机对话”的界面和窗口。由此可见,并行输入/输出端口对于单片机来说是一种极其重要的外围模块,以至于对任何一个厂家生产的任何一种型号的单片机来说,I/O 口模块都是必不可少的,只是配置的数量不同而已。

在 40 个引脚封装的标准 MCS-51 型号上,配备有 4 个并行“准双向”端口,分别称为 P0、P1、P2 和 P3。由于 80C51 属于 8 位单片机,因此每个端口都由数量不超过 8 个的端口引脚 (或称口线) 构成。每个端口中的每个引脚都可以独立作为输出引脚或者输入引脚。“端口引脚”与“端口”这两个概念之间的关系就是一种个体与整体的关系。

4 个端口共包含 32 根引脚,其中有些 I/O 引脚和单片机内部的某些功能部件或(I/O 模块之外的)其他外围模块的外接信号线进行了复用。也就是说,既可以作为普通 I/O 引脚,又可以作为某些功能部件或外围模块的外接引脚,由用户以软件方式选择。例如端口 P3 中的引脚 P3.4 既可作为一般的输入/输出引脚,又可以作为“定时器 T0”的外部触发信号输入引脚,集两种功能于一体,这样即可给用户开发不同的具体项目带来极大的灵活性和便利。

在 MCS-51 系列单片机中,每个端口都对应着 1 个在数据存储器 RAM 中统一编址的寄存器(也称为 P0、P1、P2 和 P3,与 4 个并行端口同名)。也就是 MCS-51 系列单片机把端口都当作寄存器来访问(即读出或写入),并且既可以字节访问也可以位访问,这样有利于减少指令集中指令类型和数量,为用户的记忆和编程也带来了方便。

MCS-51 系列单片机的 4 个端口 P0、P1、P2 和 P3 之间不仅功能不相同,而且还存在内部结构上的差异。但 4 个端口模块的电路结构大同小异,都具有一个相同的基本部分,在此基础上再添加一些小电路附件,就形成了各个端口和引脚之间的差异。在此先把各个端口模块的相同部分提炼出来,作为一个有代表性的“基本结构模型”,来向读者讲解一个端口模块和一条端口引脚的基本功能、电路结构和工作原理。

2.2.1 P0 端口及其操作

P0 口既可作为通用 I/O 口使用,又可作为地址/数据分时复用总线使用。作为通用 I/O 输出时,必须外接上拉电阻,才有高电平输出;作为通用 I/O 输入时,必须先向对应的锁存器写入“1”,不影响输入电平。当 P0 口被地址/数据总线占用时,在从 P0 口输入数据前,CPU 会自动地把对应的锁存器写入“1”,从而被称为“真双向”数据总线。另外,因为采用了复用技术,要使地址和数据分离,必须在片外增加一个地址锁存器,用于锁存 P0 口输出的地址信号。这时,P0 口不能再作为通用 I/O 口使用了。

2.2.2 P1 端口及其操作

1. P1 口的功能

P1 口是一个准双向口,只作为通用的 I/O 口使用。它作为输出口使用时,能带 3~4 个 TTL 负载;作为输入口使用时,必须先向锁存器写入“1”,然后才能读取数据。

2. P1 口作为通用 I/O 口

对 P1 口的操作,可以采用字节操作,也可以采用位操作。复位以后,口锁存器为“1”,对于作为输入的口线,相应位的口锁存器不能写入“0”,在图 2-2 中 P1.0~P1.3 作为输出线,接指示灯 HL0~HL3,P1.4~P1.7 作为输入线,接 4 个开关 S0~S3。例 2-1 中的子程序采用字节

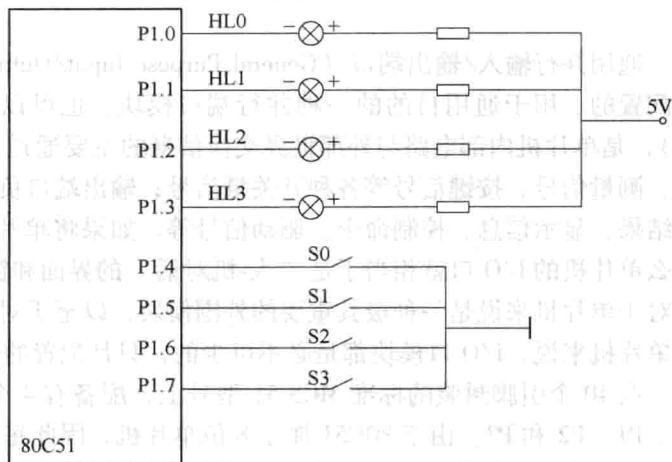


图 2-2 P1 口的输入/输出