

高等学校“十二五”规划教材

单片机 原理及应用

□ 王连英 吴静进 主编 □

DANPIANJI
UANLI JI YINGYONG

化学工业出版社

高等学校“十二五”规划教材

单片机原理及应用

王连英 吴静进 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书由微机系统基本知识, 80C51 单片机内部结构和工作原理, 指令系统, 中断、定时/计数器和串行口, 系统扩展与接口及单片机应用系统的开发、设计和应用实例等内容组成。

本书以工程应用能力培养为目的, 突出重点, 加强基本原理、基本概念的叙述; 注重解决实际问题综合应用能力的培养; 强调理论与工程应用的结合。书中每个章节都有丰富的课堂活动内容, 各章都安排有大量的例题或习题, 书中力求将理论讲授、实践操作、讨论互动、自学练习、应用设计等教学环节有机结合, 可根据教学需要的不同而适当地取舍、灵活地安排。

本书可作为普通高等院校本、专科电气自动化、电子信息工程、应用电子技术、通信工程、测控技术与仪器、机电一体化、机械设计及其自动化、车辆工程等相关专业的教学用书, 也可作为相关技术人员的参考书及培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用 / 王连英, 吴静进主编. —北京: 化学工业出版社, 2011.7
高等学校“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-11389-4

I. 单… II. ①王… ②吴… III. 单片微型计算机—高等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 099007 号

责任编辑: 王昕讲

文字编辑: 吴开亮

责任校对: 边涛

装帧设计: 韩飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 14 字数 349 千字 2011 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

前 言

单片机是单片微型计算机的简称,又称为微控制器,是微型计算机的一个很重要的分支,单片机主要是将 CPU、ROM、RAM、I/O 接口和中断系统集成在一个芯片上。单片机自 20 世纪 70 年代问世以来,已经对人类社会产生了巨大的影响。

作为典型嵌入式系统的单片机,自面世以来出现了许多高性能新型机种,现已成为各控制领域的支柱产业之一,在我国很多行业已经得到了大规模的应用。目前在全国高等工科院校已经普遍开设了单片机及其相关课程。在很多应用型工科院校中还涉及许多实践环节,如课程设计、毕业设计等,尤其是在全国各种电子大赛中,采用嵌入式系统来解决各类电子自动化技术问题已成趋势。

单片机不同于通用微型计算机,它能够灵活嵌入到各类电子产品中,使电子产品具备智能化和操作简单化,现已成为了电子、自动化技术的核心基础。因此,学习单片机非常重要,特别是在学习本课程的同时,配合一定的实验和计算机仿真,就会收到更好的效果。

本书是以 MCS-51 系列单片机中的 80C51 为主线,全面阐述了单片机系统的结构、原理及应用。全书结构紧凑、重点突出,加强了基本原理、基本概念的讲解。

本书由王连英、吴静进主编,参加本书编写的还有罗小青、何尚平、万皓、吴轶、徐璐。其中,王连英编写了第 1 章,万皓编写了第 2、7 章,徐璐编写了第 3 章,吴轶编写了第 4 章,吴静进编写了第 5、6、8 章,何尚平编写了第 9 章,罗小青编写了第 10 章。全书由王连英、吴静进负责统稿工作。

全书理论参考教学 40~60 学时,实验 20 学时。各学校在教学过程中可以根据实际情况,对各章讲授的内容进行适当的取舍。

我们将为使用本书的教师免费提供电子教案,需要者可以到化学工业出版社教学资源网站 <http://www.cipedu.com.cn> 免费下载使用。

由于编者水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,恳请专家、同行老师和读者批评指正。

编 者
2011 年 4 月

目 录

第 1 章 微型计算机基础知识	1
1.1 概述	1
1.1.1 微型计算机的组成	1
1.1.2 单片机的概念及特点	1
1.1.3 单片机的发展史	2
1.1.4 单片机的发展趋势	4
1.2 单片机系统的组成	4
1.2.1 微处理器 (CPU)	5
1.2.2 存储器	6
1.2.3 输入/输出接口	7
1.3 计算机中数的表示方法和运算	7
1.3.1 数制	7
1.3.2 数制间的转换	9
1.3.3 单片机中常用的编码	10
1.4 AT89 系列单片机	13
习题	14
第 2 章 MCS-51 单片机硬件结构	15
2.1 MCS-51 单片机内部结构及引脚功能	15
2.1.1 MCS-51 单片机内部结构	15
2.1.2 MCS-51 单片机引脚功能	16
2.2 80C51 单片机的存储空间配置	19
2.2.1 程序存储器 (ROM)	20
2.2.2 外部数据存储器 (片外 RAM)	21
2.2.3 内部数据存储器 (片内 RAM)	22
2.3 并行 I/O 端口结构及工作原理	28
2.3.1 P0 口	28
2.3.2 P1 口	29
2.3.3 P2 口	30
2.3.4 P3 口	30
2.4 时钟电路及 CPU 的时序	31
2.4.1 时钟电路	31
2.4.2 MCS-51 单片机 CPU 时序的基本概念	32
2.4.3 一般指令的取指时序和执行时序	32
2.5 单片机工作方式	33
2.5.1 复位工作方式	33
2.5.2 低功耗工作方式	35

习题	36
第3章 MCS-51 系列单片机的指令系统	37
3.1 单片机指令系统基础	37
3.1.1 汇编语言指令及汇编语言指令格式	37
3.1.2 MCS-51 单片机指令系统说明	39
3.1.3 MCS-51 单片机的寻址方式	40
3.2 MCS-51 单片机的指令系统	42
3.2.1 数据传送类指令	43
3.2.2 算术运算类指令	49
3.2.3 逻辑运算及移位指令	53
3.2.4 程序控制转移类指令	57
3.2.5 布尔变量操作指令（位操作类指令）	66
第4章 MCS-51 单片机典型程序设计	72
4.1 程序设计概述	72
4.1.1 程序设计语言	72
4.1.2 程序设计步骤和基本程序结构	72
4.2 汇编语言程序设计基本概念	73
4.2.1 MCS-51 单片机汇编语言语句格式	73
4.2.2 伪指令	73
4.3 C 语言程序设计基本概念	75
4.3.1 单片机 C 语言数据类型	75
4.3.2 常量	77
4.3.3 变量	78
4.3.4 运算符及表达式	79
4.3.5 C51 构造数据类型	82
4.4 顺序程序的设计	83
4.5 分支程序的设计	84
4.5.1 单分支程序	85
4.5.2 多分支程序	86
4.6 循环程序的设计	88
4.6.1 循环程序的基本结构	88
4.6.2 循环程序的设计方法	89
4.6.3 循环结构程序设计举例	91
习题	92
第5章 MCS-51 单片机的中断系统	94
5.1 中断概述	94
5.2 MCS-51 单片机的中断系统结构	95
5.2.1 MCS-51 的中断源	95

5.2.2 MCS-51 中断系统的总体结构	95
5.2.3 中断控制	95
5.3 中断处理过程	98
5.3.1 中断响应	99
5.3.2 中断处理	101
5.3.3 中断返回	101
5.4 中断响应后中断请求的撤销	101
5.5 MCS-51 单片机的中断应用举例	102
5.5.1 怎样编写中断服务程序	102
5.5.2 中断应用举例	102
5.6 外部中断源扩展	106
5.6.1 利用定时器扩展外部中断源	106
5.6.2 中断加查询扩展外部中断源	107
习题	107

第 6 章 MCS-51 单片机的定时/计数器 109

6.1 定时/计数器概述	109
6.1.1 MCS-51 定时/计数器的结构	109
6.1.2 MCS-51 定时/计数器的基本原理	109
6.2 定时/计数器的控制	110
6.2.1 定时/计数器的工作模式控制寄存器 TMOD	110
6.2.2 定时/计数器的控制寄存器 TCON	111
6.3 定时/计数器的工作模式及应用	111
6.3.1 工作模式 0 及应用	111
6.3.2 工作模式 1 及应用	113
6.3.3 工作模式 2 及应用	115
6.3.4 工作模式 3 及应用	116
6.4 定时/计数器综合应用	119
习题	121

第 7 章 MCS-51 单片机的串行口 122

7.1 串行通信概述	122
7.1.1 串行通信的分类	122
7.1.2 串行通信的制式	124
7.1.3 串并行转换和串行接口	124
7.1.4 串行通信的校验	125
7.2 MCS-51 系列单片机的串行接口	125
7.2.1 MCS-51 串行口结构	125
7.2.2 串行口控制寄存器 SCON	126

7.2.3 电源控制寄存器 PCON	127
7.3 MCS-51 单片机的串行口的工作方式	128
7.3.1 串行口工作方式 0	128
7.3.2 串行口工作方式 1	129
7.3.3 串行口工作方式 2	131
7.3.4 串行口工作方式 3	133
7.4 多机通信	133
习题	134
第 8 章 单片机系统的扩展与接口技术	136
8.1 单片机系统扩展概述	136
8.2 8155 可编程多功能接口的扩展	137
8.2.1 8155 的结构和引脚	137
8.2.2 8155 的 RAM 和 I/O 口寻址	138
8.2.3 8155 的 I/O 接口工作方式	138
8.2.4 8155 的命令/状态寄存器	139
8.2.5 8155 的定时/计数器	140
8.2.6 8155 在单片机扩展中的应用	141
8.3 单片机与键盘的接口	142
8.3.1 键盘的工作原理	142
8.3.2 键盘的接口方式	143
习题	145
第 9 章 Keil 集成开发环境及 Proteus ISIS 仿真	146
9.1 Keil 集成开发环境	146
9.1.1 Keil μ Vision2 工作环境	146
9.1.2 Keil 工程的创建	151
9.1.3 存储空间资源的查看和修改	162
9.1.4 变量的查看和修改	164
9.1.5 外围设备的查看和修改	164
9.2 Proteus ISIS 简介	165
9.2.1 Proteus ISIS 工作环境	165
9.2.2 电路原理图的设计与编辑	168
9.2.3 Proteus ISIS 与 Keil C51 的联调	175
第 10 章 单片机应用系统设计与开发实例	176
10.1 单片机应用系统开发流程	176
10.1.1 单片机应用系统设计与开发	176

10.1.2 应用系统设计过程	176
10.2 基于单片机的八路电压巡检系统设计	179
10.2.1 系统的功能	179
10.2.2 总体方案设计	179
10.2.3 单元硬件电路设计、仿真及软件编程	179
10.2.4 程序下载接口电路	202
10.3 硬件电路制作	204
习题	205
 附录 A MCS-51 系列单片机指令表	 206
 附录 B MCS-51 系列单片机指令助记符	 211
 参考文献	 213

第 1 章 微型计算机基础知识

1.1 概述

世界上公认的第一台电子数字计算机诞生于 1946 年, 这台计算机字长为 12 位, 运算速度为 5000 次/s, 使用 18800 个电子管, 1500 个继电器, 占地面积为 150m², 重达 30t, 其造价为 100 多万美元, 这台计算机被称做 ENIAC。它的诞生标志着人类文明进入了一个新的历史阶段。

电子计算机的产生与发展, 使过去许多因为计算复杂而长期被搁置的数学难题得以解决, 从而有力地推动了科学技术的发展, 推动了工农业生产、交通运输、空间技术及医疗卫生等事业的发展。特别是近 10 多年来, 微处理机与微型计算机的发展, 已深入到科研、国防、工业、农业、交通运输、宇航、医疗卫生、企业管理及人类社会生活的各个领域, 有力地推动了人类社会的进步。

计算机的发展日新月异, 60 多年来大致经历了电子管、晶体管、大规模集成电路和超大规模集成电路等四代, 并继续向第五代计算机——人工智能计算机和第六代计算机——神经网络计算机发展。

60 多年来, 计算机的性能价格比提高了千万倍, 主要体现在速度提高了千万倍, 存储器容量提高了千万倍, 体积缩小了千万倍, 软件性能提高了百万倍, 而价格却降为万分之几。目前, 在世界各行各业中, 发展速度最快的要首推计算机行业。这和社会对它的需求是分不开的。而真正使计算机的应用能深入社会生活的各个方面, 导致人类社会大步跨入信息时代的一个重要原因, 则是由于微型计算机的产生和发展。

1.1.1 微型计算机的组成

微型计算机 (Microcomputer), 简称微机, 诞生于 20 世纪 70 年代初, 是第四代计算机的重要分支, 它是具有完整运算及控制功能的计算机, 除了包括微处理器 (Micro Processor Unit) 作为它的中央处理单元 (Control Processing Unit, CPU) 外, 还包括存储器、接口适配器 (即输入/输出接口电路) 以及输入/输出 (I/O) 设备等。

图 1-1 所示为微机硬件系统的各组成部分。其中微处理器由控制器、运算器和若干个寄存器组成; I/O 设备与微处理器的连接需要通过接口适配器 (即 I/O 接口); 存储器是指微机内部的存储器 (RAM、ROM 和 EPROM 等芯片)。

1.1.2 单片机的概念及特点

为适应社会发展的需要, 微型计算机不断地更新换代, 新产品层出不穷。在微型计算机的大家族中, 近年来单片微型计算机异军突起, 发展极为迅速。单片微型计算机 (Single-Chip Microcomputer) 简称单片机, 它是在一块芯片上集成有 CPU、随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM)、只读存储器 (Read Only Memory, ROM)、定时/计数器及 I/O (Input/Output) 接口电路等部件, 构成一个完整的微型计算机。

它的特点是: 高性能, 高速度, 低功耗, 控制能力强, 体积小, 价格低廉, 稳定可靠,

易于扩展，应用广泛。图 1-2 为 ATMEL 公司的 AT89S51 芯片的实物图。

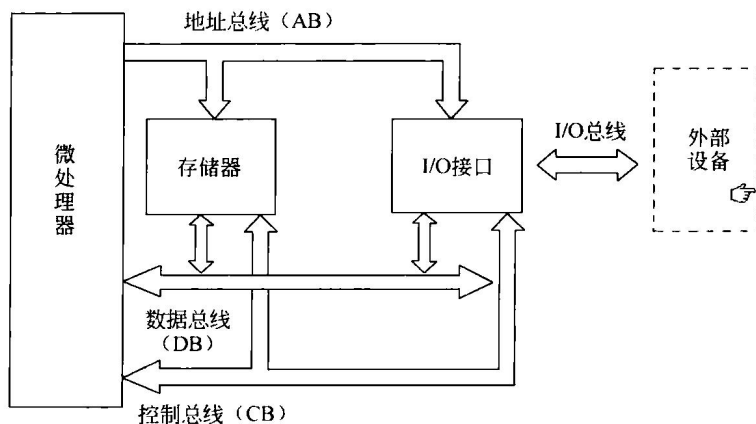


图 1-1 微机的组成框图



图 1-2 AT89S51 实物图

单片机是典型的嵌入式系统，从体系结构到指令系统都是按照嵌入式应用特点专门设计的，能最好地满足面对控制对象、应用系统的嵌入、现场的可靠运行以及非凡的控制品质要求。因此，单片机是发展最快、品种最多、数量最大的嵌入式系统。

嵌入式系统与单片机已深入到国民经济众多技术领域，从天上到地下，从军事、工业到家庭日常生活。在人类进入信息时代的今天，难以想象没有单片机的世界将会怎样。

1.1.3 单片机的发展史

单片机的发展历史并不长，它的产生和发展与计算机的产生和发展大体上同步，也经历了四个阶段。

第一阶段（1970—1974 年）：为 4 位单片机阶段。这种单片机的特点是：价格便宜，控制功能强，片内含有多种 I/O 接口，有的根据不同用途还配有许多专用接口，有些甚至还包括 A/D 转换、D/A 转换、声音合成等电路。丰富的 I/O 功能大大增强了 4 位单片机的控制能力，从而使外部设备接口电路极为简单。4 位单片机主要应用于录音机、摄像机、电视机、电冰箱、洗衣机、录像机和电子玩具等产品中。

第二阶段（1974—1978 年）：为低中档 8 位单片机阶段。它是 8 位单片机的早期产品，以 Intel 公司的 MCS-48 系列单片机为代表，这个系列的单片机在片内集成 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时/计数器、RAM 和 ROM 等，无串行接口，中断处理较简单，片内 RAM 和 ROM 容量较小，且寻址范围不大于 4 KB。

第三阶段(1978—1983年):为高档8位单片机阶段。这类单片机是在低、中档基础上发展起来的,其性能有明显提高。以Intel公司的MCS-51系列单片机为代表,在片内增加了串行接口,有多级中断处理系统,16位定时/计数器,片内RAM、ROM容量增大,寻址范围可达64KB,有的片内带有A/D转换接口。这类单片机功能强,应用领域广,是目前各类单片机中应用最多的一种。

第四阶段(1983—现在):为8位单片机巩固发展阶段及16位单片机、32位单片机推出阶段。此阶段主要特征是:一方面不断完善高档8位单片机,改善其结构,以满足不同用户的需要;另一方面发展16位单片机、32位单片机及专用型单片机。16位单片机除了CPU为16位外,片内RAM为232B,ROM为8KB,片内带有高速输入输出部件,多通道10位A/D转换部件,中断处理为8级,其实时处理能力更强。近年来,各个计算机生产厂家已进入更高性能的32位单片机研制、生产阶段,32位单片机除了具有更高的集成度外,主振频率已达20MHz,这使32位单片机的数据处理速度比16位单片机快很多,性能比8位、16位单片机更加优越。

需要提到的是,单片机的发展虽然经历了4位、8位、16位各阶段,但4位、8位、16位单片机仍各有其应用领域,如4位单片机在一些简单家用电器、高档玩具中仍有应用,8位单片机在中、小规模应用场合仍占主流地位,16位单片机在比较复杂的控制系统中才有应用,32位单片机因控制领域对它的需求并不十分迫切,所以32位单片机在我国的应用并不多。正是由于单片机具有上述显著的特点,使单片机的应用范围日益扩大。单片机的应用,打破了人们的传统设计思想,原来很多用模拟电路、脉冲数字电路和逻辑部件来实现的功能,现在均可以使用单片机,通过软件来完成。使用单片机具有体积小、可靠性高、性能价格比高和容易产品化的优点。

单片机应用的主要领域有以下几点。

(1) 智能化仪器仪表

用单片机改造原有的测量、控制仪表,使仪器仪表数字化、智能化、多功能化和微型化,并使长期以来测量仪表中的误差修正和线性化处理等难题迎刃而解。由单片机构成的智能仪表,集测量、处理控制功能于一身,从而赋予测量仪表以崭新的面貌,是仪器产品更新换代的标志。

(2) 机电一体化产品

机电一体化是机械工业发展的方向。机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术和计算机技术于一体,具有智能化特征的机电产品。单片机的出现促进了机电一体化的发展,它作为机电产品中的控制器,使传统的机械产品结构简单化、控制智能化,构成了新一代的机电一体化产品。例如,在电传打字机中,由于采用了单片机而取代了近千个机械部件。

(3) 测控系统

用单片机可以构成各种工业控制系统、自适应控制系统和数据采集系统等。例如,温度、湿度的自动控制,锅炉燃烧的自动控制,电镀生产线的自动控制和包装生产线的自动控制等。

(4) 计算机网络及通信技术

高档单片机集成有通信接口,为单片机在计算机网络与通信设备中的应用提供了良好的条件。例如,用MCS-51系列单片机控制的串行自动呼叫应答系统、列车无线通信系统和无线遥控系统等。

(5) 家用电器

由于单片机价格低廉、体积小、逻辑判断和控制功能强,且内部具有定时/计数器,所

以广泛应用于家电设备。例如洗衣机、电冰箱、微波炉、高级智能玩具、电子门铃和家用防盗报警器等，配上单片机后，提高了自动化程度，增加了功能，备受人们的喜爱。总之，单片机将使人类的生活更加方便舒适、丰富多彩。

1.1.4 单片机的发展趋势

现在可以说单片机是百花齐放，百家争鸣的时期，世界上各大芯片制造公司都推出了自己的单片机，从 8 位、16 位到 32 位，数不胜数，应有尽有，有与主流 C51 系列兼容的，也有不兼容的，但它们各具特色，互成互补，为单片机的应用提供广阔的天地。

纵观单片机的发展过程，可以预示单片机的发展趋势。

1. 低功耗 CMOS 化

MCS-51 系列的 8031 推出时的功耗达 630mW，而现在的单片机普遍都在 100mW 左右，随着对单片机功耗要求越来越低，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）。像 80C51 就采用了 HMOS（即高密度金属氧化物半导体工艺）和 CHMOS（互补高密度金属氧化物半导体工艺）。CMOS 虽然功耗较低，但由于其物理特征决定其工作速度不够高，而 CHMOS 则具备了高速和低功耗的特点，这些特征更适合于在要求低功耗像电池供电的应用场合，所以这种工艺将是今后一段时期单片机发展的主要途径。

2. 微型单片化

现在常规的单片机普遍都是将中央处理器（CPU）、随机存取数据存储（RAM）、只读程序存储器（ROM）、并行和串行通信接口、中断系统、定时电路、时钟电路集成在一块单一的芯片上；增强型的单片机集成了如 A/D 转换器、PMW（脉宽调制电路）、WDT（看门狗）；有些单片机将 LCD（液晶）驱动电路都集成在单一的芯片上，这样单片机包含的单元电路就更多，功能就越强大。甚至单片机厂商还可以根据用户的要求量身定做，制造出具有自己特色的单片机芯片。

此外，现在的产品普遍要求体积小、重量轻，这就要求单片机除了功能强和功耗低外，还要求其体积要小。现在的许多单片机都具有多种封装形式，其中 SMD（表面封装）越来越受欢迎，使得由单片机构成的系统正朝微型化方向发展。

3. 主流与多品种共存

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 公司的产品和中国台湾的 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，中国台湾的 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一统天下的垄断局面，走的是依存互补、相辅相成、共同发展的道路。

1.2 单片机系统的组成

一个完整的单片机系统可由硬件和软件两大部分组成。硬件系统是单片机的物理实体，软件则是对硬件使用和管理的程序。单片机的硬件主要由单片机芯片和外围设备构成。而单片机芯片则包含微处理器（CPU）、存储器（ROM 和 RAM）、输入输出（I/O 口）、定时/计数器及中断系统等。它们通过地址总线（AB）、数据总线（DB）和控制总线（CB）连接

起来, 如图 1-3 所示。

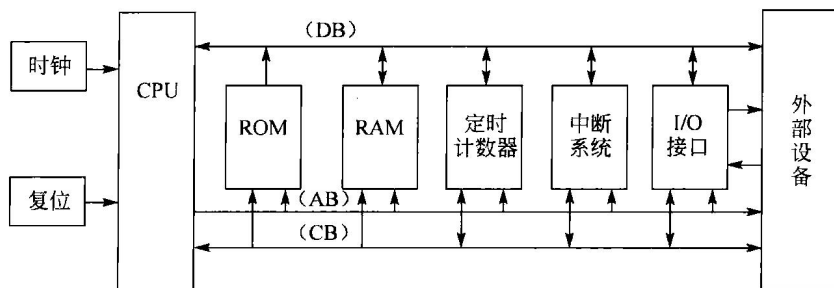


图 1-3 AT89S51 组成框图

1.2.1 微处理器 (CPU)

微处理器是单片机的核心, 它主要由三部分组成: 运算器、控制器和寄存器阵列。

1. 运算器

运算器由运算部件——算术逻辑单元 (Arithmetic & Logical Unit, ALU)、累加器和寄存器等几部分组成。ALU 的作用是把传送到微处理器的数据进行算术或逻辑运算。ALU 具有两个主要的输入来源: 一个来自累加器, 另一个来自数据寄存器。ALU 能够完成这两个输入数据的相加或相减运算, 也能够完成某些逻辑运算。ALU 执行不同的运算操作是由不同控制线上的信号所确定的。

通常 ALU 接收来自累加器和数据寄存器的两个 8 位二进制数。因为要对这些数据进行某些操作, 所以将这两个输入的数据均称为操作数。

ALU 可对两个操作数进行加、减、与、或和比较大小等操作, 最后将结果存入累加器。例如: 两个数 7 和 9 相加, 在相加之前, 操作数 9 放在累加器中, 7 放在数据寄存器中, 执行两数相加运算的控制线发出“加”操作信号, ALU 即把两个数相加, 并把所得结果 16 存入累加器, 取代累加器原来存放的数 9。总之, 运算器有两个主要功能:

- ① 执行各种算术运算;
- ② 执行各种逻辑运算并进行逻辑测试, 如零值测试或两个值的比较。

通常, 一个算术操作产生一个运算结果, 而一个逻辑操作产生一个判决。

2. 控制器

控制器由程序计数器、指令寄存器、指令译码器、时序发生器和操作控制器等组成, 是分析和执行指令的部件, 即协调和指挥整个计算机系统的操作。控制器的主要功能如下。

- ① 从内存中取出一条指令, 并指出下一条指令在内存中的位置。
- ② 对指令进行译码或测试, 并产生相应的操作控制信号, 以便执行规定的动作, 例如一次内存读/写操作、一个算术/逻辑运算操作或一个输入/输出操作等。
- ③ 指挥并控制 CPU、内存和输入/输出设备之间数据流动的方向。

相对控制器而言, 运算器接收控制器的命令而进行动作, 即运算器所执行的全部操作都是由控制器发出的控制信号来指挥的。

ALU、计数器、寄存器和控制器除在微处理器内通过内部总线相互联系外, 还通过外部总线与外部的存储器和输入/输出接口电路联系。外部总线一般分为数据总线 DB、地址总线 AB 和控制总线 CB, 统称为系统总线。存储器包括 RAM 和 ROM。微型计算机通过输入/输出接口电路可与各种外围设备连接。

3. CPU 中的主要寄存器

(1) 累加器 (A)

累加器是微处理器中最忙碌的寄存器。在算术和逻辑运算时,它具有双重功能:运算前用于保存一个操作数;运算后用于保存所得的和、差或逻辑运算结果。

(2) 指令寄存器 (IR) 及指令译码器 (ID)

指令寄存器用来保存当前正在执行的一条指令。当执行一条指令时,先把它从内存取到数据寄存器中,然后再传送到指令寄存器。指令分为操作码和地址码字段,由二进制数字组成。为执行给定的指令,必须对操作码进行译码,以便确定所要求的操作。指令译码器就是负责这项工作的。指令寄存器中操作码字段的输出就是指令译码器的输入。操作码一经译码后,即可向操作控制器发出具体操作的特定信号。

(3) 程序计数器 (PC)

为了保证程序能够连续地执行下去,CPU 必须采取某些手段来确定下一条指令的地址。

程序计数器正是起到了这种作用,所以通常又称其为指令地址计数器。在程序开始执行前,必须将其起始地址,即程序第一条指令所在的内存单元地址送入 PC;当执行指令时,CPU 将自动修改 PC 的内容,使之总是指示出将要执行的下一条指令的地址。由于大多数指令都是按顺序执行的,所以修改的过程通常只是简单的加 1 操作。

1.2.2 存储器

存储器是用来存放程序和数据部件。

1. 存储器的分类

按存储器与微处理器的关系,可分为内存储器和外存储器。内存储器设在 CPU 芯片内部,容量小但速度快,主要用于存放当前所需的程序和数据;外存储器设在 CPU 芯片外部,容量大但速度较慢,主要用于存放大量不直接参与运算的程序和数据。

按存储器的功能分,又可分为随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM) 和只读存储器 (Read-Only Memory, ROM) 两种。

RAM 可在任何时刻对存储器内任意一个单元直接存取信息,随机存储器既能读、又能写,断电后信息会丢失,属易失性存储器。

ROM 在正常运行时,只能读、不能写,断电后信息保持,属非易失性存储器,ROM 可分为掩膜 ROM、一次可编程 ROM (PROM)、可改写只读存储器 (EPROM、E²PROM、Flash Memory) 等。

2. 存储器的结构

存储器由存储体、地址译码器和控制电路组成,如图 1-4 所示。

(1) 存储体

即存储数据的载体,由一系列的存储单元组成,每个存储单元都有确定的地址。

(2) 地址译码器

地址译码器将 CPU 发出的地址信号转换为对存储体中某一存储单元的选通信号。相当于 CPU 给出地址,地址译码器找出相应地址房间的钥匙。

例如某单片机使用 256 字节的 8 位随机存储器 (RAM) 与 CPU 交换数据,经常把这种规格的存储器称作 256×8 位读/写存储器。两根 8 位总线和若干控制线把存储器和 CPU 连接起来。地址总线将一组 8 位二进制数 (能表示 256 个单元) 从 CPU 送到存储器的地址译码器。每个存储单元被赋予一个唯一的地址,规定第一单元地址为 0,最后一单元的地址为 255 (用二进制表示为 11111111B,用十六进制表示为 FFH)。在地址总线上,通过 8 位地址

线选择指定的单元。地址译码器的输出可以唯一确定被选择的存储单元。

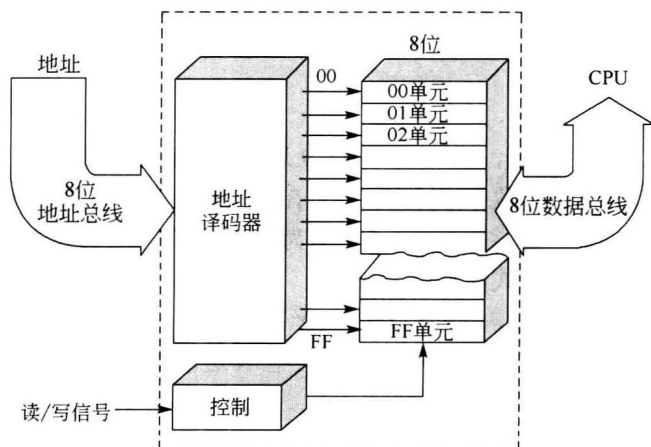


图 1-4 存储器的结构示意图

(3) 控制电路

存储器控制电路主要包括有片选控制、读/写控制和带三态门的输入/输出缓冲电路。其中片选控制确定存储器是否工作。读/写控制确定数据的传输方向，若是读指令，就将已被选通的存储单元中的内容传送到数据总线（DB）上；若是写指令，就将数据总线（DB）上的数据传送到已被选通的存储单元中。带三态门的缓冲电路用于数据缓冲以及防止总线上数据竞争。

1.2.3 输入/输出接口

从图 1-3 可以看到，I/O 接口与地址总线、数据总线的连接同存储器一样，而每个外部设备与微处理器的连接必须经过接口适配器（I/O 接口）。每个 I/O 接口及其对应的外部设备都有一个固定的地址，在 CPU 的控制下实现对外部设备的输入（读）和输出（写）操作。

1.3 计算机中数的表示方法和运算

计算机是用于处理数字信息的，单片机也是如此。各种数据及非数据信息在进入计算机前必须转换成二进制数或二进制编码。下面介绍计算机中常用数制和编码以及数据在计算机中的表示方法。

1.3.1 数制

由多位数码的构成方式以及从低位到高位进位的规则称为数制。单片机中常用的数制有三种：二进制、十进制和十六进制。二进制是计算机能直接处理的，但其容量过小，因而引入十六进制进行表示，而十进制则是人们最熟悉的进制。

1. 十进制（Decimal）

十进制数归纳后，有以下特点。

① 采用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个计数符号，亦称数码表示。就是说，十进制数中的任一位，只能出现这十个数码中的某一个；基数为 10，即计数符号的个数为 10。

② 十进制数中任一位可能出现的最大数码是 9，低位和相邻高位之间的关系是“逢十进一”或“借一当十”，故称为十进制。因此，每一数码处于不同的位置时，它所代表的数值是

不同的。任何一个十进制数 N 可展开表示为

$$\begin{aligned}(N)_D &= K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 + K_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + K_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 10^i\end{aligned}\quad (1-1)$$

式中, K_i 表示第 i 位的数码, 它可以是 $0 \sim 9$ 这十个数码中的任何一个; n 为整数位数, m 为小数位数, m 、 n 均为正整数; 10^i 称为 K_i 所在位的权, 是以基数 10 为底的 i 次幂; 下标 D 或 10 表示为十进制数。通常把式 (1-1) 称为十进制数的位权展开式。例如, 十进制数 858.38 按式 (1-1) 的位权展开式为

$$(858.38)_D = (858.38)_{10} = 858.38_D = 8 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

若以 R 取代式 (1-1) 中的 D , 就可以得到任意 R 进制数的位权展开式

$$(N)_R = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times R^i \quad (1-2)$$

2. 二进制 (Binary)

二进制数有以下特点。

- ① 采用 0、1 两个计数符号, 基数为 2。
- ② 二进制数中任一位可能出现的最大数码是 1, 低位和相邻高位之间的关系是“逢二进一”或“借一当二”, 故称为二进制。任意一个二进制数 N 可展开表示为

$$\begin{aligned}(N)_2 = (N)_B &= K_{n-1} \times 2^{n-1} + K_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + K_1 \times 2^1 + K_0 \times 2^0 + K_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + K_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 2^i\end{aligned}\quad (1-3)$$

根据位权展开式 (1-3), 可计算出二进制数所对应的十进制数的大小。例如

$$\begin{aligned}(101.01)_2 &= (101.01)_B = 101.01_B = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= (4+0+1+0+0.25)_{10} \\ &= (5.25)_{10}\end{aligned}$$

二进制数 $(101.01)_2$ 对应的十进制数为 5.25。

3. 十六进制 (Hexadecimal)

十六进制数有以下特点。

- ① 采用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 十六个计数符号, 基数为 16。
- ② 十六进制数中任一位可能出现的最大数码是 F, 低位和相邻高位之间的关系是“逢十六进一”或“借一当十六”, 故称为十六进制。任意一个十六进制数 N 可展开表示为

$$\begin{aligned}(N)_{16} = (N)_H &= K_{n-1} \times 16^{n-1} + K_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + K_1 \times 16^1 + K_0 \times 16^0 + K_{-1} \times 16^{-1} + \cdots + K_{-m} \times 16^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 16^i\end{aligned}\quad (1-4)$$

根据位权展开式 (1-4), 可计算出十六进制数所对应的十进制数的大小。例如

$$\begin{aligned}(2A.8)_{16} &= (2A.8)_H = 2A.8_H = 2 \times 16^1 + A \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} \\ &= (32+10+0.5)_{10} \\ &= (42.5)_{10}\end{aligned}$$

十六进制数 $(2A.8)_{16}$ 对应的十进制数为 42.5。