

21世纪高等职业教育规划教材

单片机

应用技术教程

Danpianji Yingyong Jishu Jiaocheng



徐爱华 主编

68.1
1

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等职业教育规划教材

单片机应用技术教程

主 编 徐爱华

副主编 曹家喆

参 编 范维浩 齐向阳

主 审 钟江生

机 械 工 业 出 版 社

本书系统地介绍了 MCS-51 系列单片机的组成原理、指令系统和汇编语言程序设计、中断和定时系统、系统扩展、接口技术、串行通信等技术及应用程序的编写等问题,并结合实例对单片机应用系统的实验、设计及开发和调试进行了专门的说明。全书共 8 章,每章后面都附有思考与练习题。

全书语言通俗、结构紧凑,具有一定的系统性和实用性,可作为高职高专类的单片机教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机应用技术教程/徐爱华主编. —北京:机械工业出版社, 2003.7
21 世纪高等职业教育规划教材
ISBN 7-111-12233-X

I. 单... II. 徐... III. 单片微型计算机—高等学校:技术学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 039964 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:贡克勤 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣
封面设计:张静 责任印制:路琳
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2003 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm 1/16·13.5 印张·331 千字
定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

前 言

为了适应我国高职教育迅猛发展对教材建设的需求,由机械工业出版社牵头,于2001年在广东省召开了高职院校电类专业教材会议,与会者达成共识,决定编写一套具有高职特色并体现当前最新技术的系列教材。

众所周知,高职教育与普通高等教育从培养目标、教学计划、课程大纲到教学方法等各方面都存在很大的差异,两者相应的教材在知识结构和内容要求等方面也都有较大的差别。

本书可用作工科高职院校机械、电气、自动化等类专业“单片机技术”课程的教材,并可供广大工程技术人员作参考之用。

本书具有以下鲜明的特色:

1. 作为高职教育的教材,在指导思想方面尽量体现以综合职业能力的培养为中心,而不追求学科体系的完整性。理论部分体现以“必需、够用”为度的原则,实践部分则突出职业技能训练和职业素质的培养提高。内容选材方面既注重实际应用,又强调必要的基础知识。

2. 注意体现“教师为主导、学生为主体”的教学原则。本书依据作者多年的教学经验,从提出问题,到分析思路、归纳结论等都注意到对学生的引导作用。内容的讲述由浅入深、循序渐进并通俗易懂,便于自学和讨论,以体现“启发式”的教学方法。每章之后都列出一些思考题和练习题,目的在于巩固所学知识、提高分析问题和解决问题的能力。

3. 本书具有一定的通用性。既考虑到教学要求的系统性和规范性,同时也提供一些参考性的内容。因此,不仅适合于高职、高专、成教等类教育的教学使用,而且也可用作广大工程技术人员的参考书,尤其适合初学者自学使用。

作为教材,参考学时为90学时左右。考虑到各地院校具体教学实验设备各不相同,本书所提供的实验和制作尽量具有通用性和参考性。各院校可视具体条件设计教学实验和制作内容。

参加本书编写的有:徐爱华(第4、8章及附录)、曹家喆(第1、3章)、范维浩(第5、6章)、齐向阳(第2、7章),并由徐爱华负责全书的统稿。

本书由钟江生教授担任主审,并对本书稿提出了不少宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

本书编写过程中,还得到了深圳职业技术学院机电系同仁及领导的大力支持和帮助,在此一并致以深深的谢意。

由于作者水平有限和时间紧迫等原因,书中错误在所难免,希望广大读者批评指正。

编 者

2003年4月于深圳

目 录

前言

第1章 微型计算机基础 1

1.1 微型计算机概述 1

1.1.1 一些基本概念 1

1.1.2 微型计算机的组成 1

1.1.3 微型计算机的发展与应用 3

1.2 单片机概述 4

1.2.1 单片机的主要特点 5

1.2.2 单片机的内部结构 5

1.2.3 单片机的发展与应用 6

1.3 计算机的数制与编码 8

1.3.1 数制及其转换 8

1.3.2 带符号数的表示方法 11

1.3.3 常用的二进制编码 14

思考与练习 16

第2章 MCS-51 系列单片机的硬件 结构和原理 17

2.1 引脚及其功能 17

2.2 内部结构和工作原理 19

2.3 中央处理单元 21

2.3.1 运算器 21

2.3.2 控制器 (Controller) 23

2.4 存储器配置 24

2.4.1 程序存储器 ROM 25

2.4.2 数据存储器 RAM 26

2.5 输入/输出端口 30

2.5.1 P0 端口 30

2.5.2 P1 端口 32

2.5.3 P2 端口 32

2.5.4 P3 端口 32

2.5.5 I/O 端口小结 33

2.6 时钟电路与时序 34

2.6.1 时钟电路及时钟信号的产生 34

2.6.2 基本时序 35

2.6.3 访问片外 ROM/RAM 指令的

时序 36

2.7 工作方式 38

2.7.1 复位及复位电路 38

2.7.2 程序执行方式 40

2.7.3 掉电保护方式 (Power Down Mode) 40

2.7.4 节电工作方式 41

2.7.5 编程和校验方式 42

思考与练习 42

第3章 MCS-51 单片机的指令系统 43

3.1 指令系统概述 43

3.1.1 指令的格式 43

3.1.2 寻址方式 44

3.1.3 指令系统中的符号说明 46

3.1.4 单片机指令的分类 47

3.2 数据传送指令 47

3.2.1 内部 RAM 数据传送指令 47

3.2.2 外部 RAM 数据传送指令 49

3.2.3 程序存储器数据传送指令 50

3.2.4 数据交换指令 51

3.2.5 堆栈操作指令 51

3.3 算术运算类指令 52

3.3.1 加法指令 52

3.3.2 减法指令 54

3.3.3 乘除法指令 55

3.3.4 十进制调整指令 55

3.4 逻辑运算及移位指令 56

3.4.1 逻辑运算指令 56

3.4.2 移位指令 58

3.5 控制转移指令 59

3.5.1 无条件转移指令 59

3.5.2 条件转移指令 62

3.5.3 子程序调用与返回指令 63

3.5.4 空操作指令 65

3.6 位操作指令 66

3.7 汇编语言程序设计	68	6.1.3 矩阵式键盘接口及编程	114
3.7.1 汇编语言组成与格式	68	6.2 LED 显示器及接口技术	119
3.7.2 汇编语言程序设计方法	71	6.2.1 LED 显示器结构与工作原理	119
3.7.3 源程序的编辑、汇编和调试	76	6.2.2 LED 显示器与单片机的接口技 术	121
思考与练习	77	6.3 A/D 转换器接口及应用	126
第 4 章 中断和定时系统	79	6.3.1 逐次逼近法 A/D 转换器的工作 原理	126
4.1 中断概述	79	6.3.2 ADC0809 芯片结构及引脚	127
4.2 MCS-51 的中断系统	80	6.3.3 ADC0809 与 MCS-51 单片机的 接口方法	128
4.2.1 MCS-51 的中断源的中断标志	80	6.4 D/A 转换器接口及应用	130
4.2.2 MCS-51 对中断请求的控制	82	6.4.1 D/A 转换器的基本概念	130
4.2.3 中断处理过程	83	6.4.2 DAC0832 的内部结构及引脚 功能	130
4.3 定时器及定时控制	87	6.4.3 DAC0832 的工作方式	131
4.3.1 定时器的控制	88	6.4.4 DAC0832 与单片机的接口及 应用	132
4.3.2 定时器的 4 种工作方式	89	6.5 开关量输出接口技术	133
思考与练习	93	6.5.1 单片机与直流电磁式继电器的 接口技术	133
第 5 章 MCS-51 单片机的系统扩展	94	6.5.2 单片机与固态继电器的接口技 术	135
5.1 MCS-51 系列单片机的系统扩展结 构	94	思考与练习	136
5.1.1 MCS-51 单片机的系统总线	94	第 7 章 MCS-51 系列单片机串行口及 应用	137
5.1.2 MCS-51 系列单片机的总线构 成	95	7.1 串行通信基础	137
5.2 程序存储器的扩展	96	7.1.1 异步通信和同步通信	137
5.2.1 常用程序存储器芯片	96	7.1.2 传输制式	139
5.2.2 程序存储器的扩展方法	97	7.1.3 近程通信和远程通信	140
5.2.3 典型扩展电路介绍	98	7.1.4 波特率 (Baud rate)	140
5.3 数据存储器扩展	100	7.1.5 RS-232C 总线标准	141
5.3.1 常用数据存储器芯片介绍	100	7.2 串行口的结构和工作原理	142
5.3.2 数据存储器的扩展方法	101	7.2.1 串行口结构及基本原理	142
5.3.3 典型扩展电路介绍	101	7.2.2 串行通信控制寄存器	144
5.4 程序存储器与数据存储器综合扩展 简介	103	7.3 串行口的工作方式和应用	145
5.5 并行 I/O 端口的扩展	103	7.3.1 串行工作方式 0	146
5.5.1 简单并行 I/O 口扩展	104	7.3.2 串行工作方式 1	148
5.5.2 可编程并行 I/O 口的扩展	105	7.3.3 串行工作方式 2、3	152
思考与练习	111	7.3.4 单片机与微机之间的通信	156
第 6 章 单片机应用系统的接口技术	112	思考与练习	157
6.1 键盘输入接口	112		
6.1.1 按键输入的抖动现象	112		
6.1.2 独立式按键的接口及编程	113		

第 8 章 实验及专题制作 158

8.1 Insight® 仿真器及 MedWin 集成开发环境的使用	158
8.1.1 安装 Medwin 集成开发环境	159
8.1.2 MedWin 的菜单命令和简单使用	161
8.2 基础实验	163
8.2.1 流水灯实验	164
8.2.2 单片机控制蜂鸣器发声实验	168
8.2.3 单片机数码显示实验	169
8.2.4 中断和定时实验	172
8.3 电脑时钟的制作	174

附录 177

附录 A MedWin 集成开发环境菜单命令速查	177
附录 B MCS-51 系列单片机常用子程序库	184
附录 C 单片机系统常用芯片引脚图	196
附录 D ASCII 码字符表	199
附录 E 按照功能排列的 MCS-51 系列单片机指令表	200
附录 F 按照字母顺序排列的 MCS-51 系列单片机指令表	204
参考文献	208

第 1 章 微型计算机基础

自 20 世纪 70 年代以来，微型计算机的出现和迅猛发展，对人类社会产生了极其深远的影响。如今，微型计算机已经深入到国民经济的各个领域，它使我们的工作和生活方式发生着根本的变化。

单片机是微型计算机中的一个重要分支。在学习单片机之前，我们首先介绍一些与微型计算机相关的基本概念、微型计算机与单片机的基本组成以及它们的主要应用范围等。

1.1 微型计算机概述

1.1.1 一些基本概念

1. 微处理器

微处理器 (Microprocessor) 也就是微型计算机的中央处理单元 CPU (Central Processing Unit)，它是微型计算机以至计算机系统的核心部件。

在微型计算机中，CPU 常以单一芯片的形式出现。

2. 微型计算机

微型计算机由 CPU、存储器、I/O (Input and Output) 接口电路和系统总线等部分组成。

就历史发展而言，计算机经历了电子管 (第一代)、晶体管 (第二代)、集成电路 (第三代) 和大规模集成电路 (第四代) 等四个阶段；今天的微型计算机属于第四代计算机。

从体积和功能方面看，第四代计算机又可以分为巨型、大型、中型、小型和微型等种类。不过，就系统结构和基本功能而言，微型计算机与其他类型计算机并无本质区别。

3. 微型计算机系统

以微型计算机为主体，再配置必要的外围设备 (键盘、显示器、磁盘控制器和打印机等) 和系统软件之后，就组成了一套完整的微型计算机系统。我们平时所说的个人电脑 (PC 机)，就是最常见的微型计算机系统。

1.1.2 微型计算机的组成

在结构上，微型计算机主要包括 CPU、存储器、输入/输出 (I/O) 接口电路以及连接它们的系统总线等，基本结构如图 1-1 所示。

1. CPU

中央处理单元 CPU 主要包括运算器、控制器以及相关的寄存器阵列等部分。

运算器主要用于对二进制数进行算

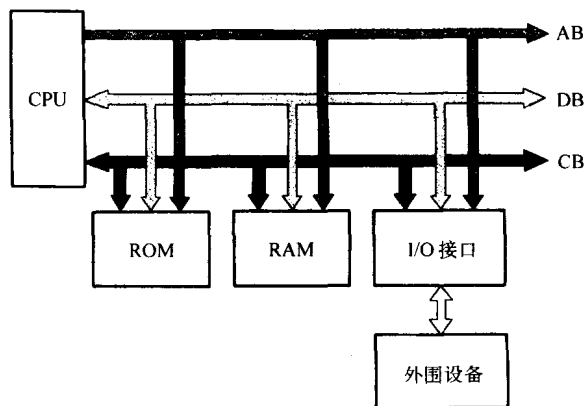


图 1-1 微型计算机基本结构框图

术运算和逻辑操作。

控制器是计算机的中枢，它指挥计算机各部件按预定的步骤（即事先编好的程序）和一定的节拍有序地工作。

寄存器主要用于临时存放计算机运行过程中的数据、地址或指令代码等。

2. 存储器

存储器是用来存放数据或程序的重要部件。存储器有很多相同的存储单元，用来存放数据或程序信息。

我们首先介绍存储器的存储能力，即存储器的容量问题。

“位”（Bit）是计算机存储信息的最小单位，1bit 就是二进制数的一个位。

一个连续的 8 位二进制数称为一个字节（Byte）。即 $1\text{Byte} = 8\text{bit}$ 。

存储容量的单位是字节（B），实际的存储器容量都很大，所以又常以 KB（ $1\text{KB} = 1024\text{B} = 2^{10}\text{B}$ ）、MB（ $1\text{MB} = 1024\text{KB} = 2^{20}\text{B}$ ）或 GB（ $1\text{GB} = 1024\text{MB} = 2^{30}\text{B}$ ）为单位。

根据计算机的布置，存储器分为内部存储器和外部存储器两大部分。内部存储器简称内存，置于计算机内部，一般为半导体存储器。它与 CPU 直接进行数据交换，所以存取速度很快。外部存储器也叫外存，置于计算机外部，种类很多，如软盘、硬盘、光盘存储器等。外部存储器容量大，但存取速度较慢。

按照存储器的读写功能的不同，计算机中的存储器又可分为只读存储器 ROM（Read Only Memory）和随机存取存储器 RAM（Random Access Memory）两大类。以下分别作些介绍。

（1）ROM ROM 在正常工作时是只能读不能写的存储器。ROM 中一旦有了信息，就不会轻易改变，掉电后也不会丢失。所以它一般用来存放固定的程序和数据。

ROM 按制造工艺的不同，又可分为以下几种：

1) 掩膜型只读存储器 ROM 存储在这种 ROM 中的信息是在芯片制造时由厂家用“掩膜”工艺写入（固化）的，用户在使用过程中无法改变其中的内容。

2) 可编程只读存储器 PROM（Programmable Read Only Memory）这种 ROM 出厂时，里面并没有任何信息。可由用户用专门设备将存储信息写入芯片中，但只能写入一次，以后也不能再改变。

3) 可擦除可编程只读存储器 EPROM（Erasable Programmable Read Only Memory）它允许用户写入信息，并可用紫外线照射的方式擦除已写入的信息，然后可再重新写入。

4) 电可擦除可编程只读存储器 EEPROM 或 $E^2\text{PROM}$ （Electrically Erasable Programmable Read Only Memory）它允许用户写入信息，并可用外加电压擦除已写入的信息，然后可再重新写入。用电擦除比用紫外线擦除更方便。

5) 闪速可编程/擦除只读存储器 FPEROM（Flash Programmable and Erasable Read Only Memory）这种存储器简称为闪存存储器或闪存（Flash Memory）。之所以有这个名称，是因为信息在闪电式的一瞬间被存储下来之后，即使除去电源，存储器中的信息仍可保留。闪存是电可擦除的，也是可以重复编程的。闪存作为一种半导体存储芯片，具有体积小、功耗低、不易受物理破坏的优点，而且闪存比 EPROM 价格低，存储密度高，特别适合于移动数码产品中，如计算机外设、移动电话、数码相机以及掌上电脑等。

（2）RAM RAM 在正常工作时是可以随时读写的存储器，所以它常用来存放随时处理的数据。但是在系统断电之后，其中的内容会消失。RAM 常用来存放原始数据、中间结果、

实时数据和临时性文件或数据等。

目前微型计算机的内存主要用的就是 RAM。由于内存可由 CPU 直接进行存取，而且一般都用快速存储器器件来构成内存，所以内存的存取速度很快。

3. I/O 接口与外围设备

I/O 接口是连接 CPU 与外围设备之间的必不可少的部件。由于外围设备有不同种类，工作速度一般都比 CPU 慢很多，有的电压或信息的种类性质也不同。I/O 接口就是在两者之间构建的一个数据信息中转站，以解决两者之间速度、电压和信息的匹配问题。

I/O 接口通常做成专用的集成电路芯片。

4. 总线 (BUS)

总线是计算机中传送信息的公共通道。CPU 与各 RAM、ROM 以及 I/O 等部件传送信息，都是通过相应的总线进行的。根据信息种类不同，总线分为数据总线 DB (Data Bus)、地址总线 AB (Address Bus) 和控制总线 CB (Control Bus) 三种。

(1) 数据总线 DB 数据总线用来传送数据或指令代码，实现 CPU 与存储器和 I/O 设备之间的数据交换。所以数据的传送是双向的。数据总线的条数一般与计算机的字长（指 CPU 处理数据的位数）相同。例如 8 位机就用 8 条线组成数据总线。

(2) 地址总线 AB 地址总线是 CPU 用来发送地址信息的总线，所以信息的传递是单向的。所谓地址，就是存储器中存储单元的编号。存储容量越大，要寻找某个存储单元所需地址线的条数也越多。例如存储器容量为 64KB，就需要 16 条地址线，它可以寻找 2^{16} 即 64K 个存储单元中的任一个。

(3) 控制总线 CB 控制总线用于传送各类控制信号。控制总线条数因机型不同而有所不同。控制信号有两类：一类是由 CPU 发出，如读、写等信号；另一类是存储器或外部设备所产生的状态信息，如中断请求和复位等。

例如，当 CPU 要访问某个存储单元时，首先通过地址总线发出该单元的地址信息，又通过控制总线发出读/写等控制信息，再通过数据总线传送数据信息。

1.1.3 微型计算机的发展与应用

1. 微型计算机的发展

可以说，微型计算机的发展，完全是依靠了微处理器技术的进步。而微处理器技术的进步，主要表现在芯片集成度的提高（从最初的约 2000 个晶体管/片发展到目前的几百万个晶体管/片）、处理位数的增加（从 4 位增加到 64 位）、时钟频率的加快（从 1MHz 到约 150MHz）以及价格的逐渐降低等方面。

(1) 第一代微处理器 (1971 ~ 1973 年) 第一个微处理器是 1971 年美国 Intel 公司生产的 4004。它的开发取得了极大的成功。不过 4004（以及后来的 4040）还只是 4 位机。不久以后，其他公司也生产了类似功能的产品，这些可以算作第一代微处理器，其集成度大约为 2000 管/片，时钟频率为 1MHz。

(2) 第二代微处理器 (1974 ~ 1978 年) 这时期的产品以 8 位机为主。例如 Intel 公司的 8080，Motorola 公司的 6800，Zilog 公司的 Z80 等。芯片集成度大约为 5000 ~ 10000 管/片。

(3) 第三代微处理器 (1978 ~ 1981 年) 这一时期，一些厂家先后推出了 16 位微处理器。其中有代表性的是 Intel 公司的 8086/8088，Motorola 公司的 M68000，以及 Zilog 公司的

Z8000。这些微处理器集成度为 20000 ~ 60000 管/片，时钟频率为 4 ~ 8MHz。

(4) 第四代微处理器 (1981 ~ 1992 年) 这个时期许多公司都采用超大规模集成电路 SLSI (Super Large Scale Integration) 推出了自己的 32 位微处理器。例如 Intel 公司的 80486 以及后来的 Pentium (后者的集成度高达 310000 管/片)，Motorola 公司的 68030 和 68040 等高档微处理器，HP 公司的 HP9000 (集成度高达 450000 管/片)，Zilog 公司的 Z8000 等。时钟频率达到 16 ~ 20MHz。

(5) 第五代微处理器 (1992 年以后) 1992 年以来，微处理器进入了第五个发展阶段，即 64 位微处理器的时代。例如美国 MIPS 公司、DEC 公司、Intel 公司等推出了自己的 64 位微处理器产品。目前的芯片集成度已经超过 300 万管/片。今后，随着超大规模集成电路 ULSI (Ultra Large Scale Integration) 和巨大规模集成电路 GLSI (Great Large Scale Integration) 技术的成功，微处理器技术还将不断取得新的进展。

2. 微型计算机的应用

微型计算机由于具有体积小、重量轻、价格低和功能强等许多优点，因此它的应用范围十分广泛。概括起来，大体上有以下几个方面：

(1) 计算 这是计算机的最早、最基本的一种功能。计算机的名称即由此而来。目前，科学计算仍是微型计算机的主要功能之一。用了多个微处理器的并行计算机，其计算速度和性能甚至超过了大型计算机。科学计算在基础科学、应用科学的研究以及工程技术领域中，都有广泛的应用。

(2) 控制 利用微型计算机进行控制，是目前应用最广、也是最有成效的一大领域。例如自动化生产线、大型工厂的集散控制系统、CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) (计算机辅助设计/制造)、智能化仪器仪表以及智能家电等等，都是微型计算机大显身手的地方。

(3) 信息处理与管理 在航空、航天、气象、通信、军事、国民经济计划以及日常办公管理中，都有大量数据信息需要分析、处理、检索、统计、打印等，需要大量的微型计算机和相应的信息管理软件。

另外，源于美国的“信息高速公路”计划促使全球进入了网络时代。各种网络的建设更加离不开作为信息终端的微型计算机的支持。目前，微型计算机在这方面正在发挥着越来越大的作用。

1.2 单片机概述

单片机因将 CPU、存储器和 I/O 接口电路等最基本的部件都集中在一块芯片上而得名。它是微型计算机向小型化发展而产生的一个重要分支，也是极具生命力的机种。尤其是在较低层次的工业控制领域，单片机的应用十分广泛。

单片机的全名应该叫做“单片微型计算机”(Single Chip Microcomputer)。不过，由于单片机较多地应用在控制领域，在国外，它更多地被称为微控制器 (Microcontroller)。“单片机”只是国内一直沿用的名称。

尽管单片机和微型计算机有着共同的本质，但是单片机在内部结构以及应用范围等方面都有很多自己的特色。

1.2.1 单片机的主要特点

与一般的微型计算机相比，单片机主要具有以下特点：

1. 体积小、结构简单

由于单片机内部已经包含了计算机最基本的功能部件，不用扩展、或稍加扩展就可以满足很多应用领域对计算机控制功能的要求，所以单片机系统的体积可以做得比普通微型计算机小得多，结构也简单得多。

2. 可靠性高

由于单片机的数据、地址和控制总线都集中在芯片内部，应用程序也多固化在片内，因此不容易受到外部环境的干扰。再加上它的体积小，容易采用电磁屏蔽措施，所以单片机系统的运行可靠性要比一般微型计算机高得多。

3. 控制功能强

单片机虽然结构简单，但是它已经具备了足够的控制功能。单片机具有较多的 I/O 口，CPU 可以直接对 I/O 口进行 I/O 操作、算术、逻辑操作和位的操作，指令简单而丰富。所以说，单片机是“面向控制”的计算机。

4. 开发使用方便

单片机具有很方便的系统扩展功能，这使得系统硬件的设计十分简单。而且目前市场上有各种仿真开发机（用于开发调试的专用单片机），又使得应用软件的设计开发比较容易。这些有利条件，就能够大大缩短单片机控制系统的研究开发周期。

5. 系统性能/价格比高

由于单片机构成的控制系统硬件结构简单、开发周期短、控制功能强、可靠性高，因此，在达到同样功能的条件下，用单片机开发的控制系统比用微型计算机开发的控制系统价格便宜。

1.2.2 单片机的内部结构

如前所述，单片机将计算机的最基本部件都集中到一块芯片上，所以它的内部结构与一般微型计算机有所不同。不同类型的单片机其内部资源会有所不同，以 MCS-51 系列单片机为例，单片机的内部结构见图 1-2。

单片机主要是“面向控制”的机型。为此，单片机将作为控制用的基本部件，如 CPU、少量的存储器、中断与定时电路以及 I/O 电路等，都集中在一块芯片内。从而，一块单片机的芯片，就是一个完整意义的微型计算机。

前面我们已经介绍了微型计算机的基本结构。下面简单介绍一下单片机的基本结构，主要介绍它在结构方面的特

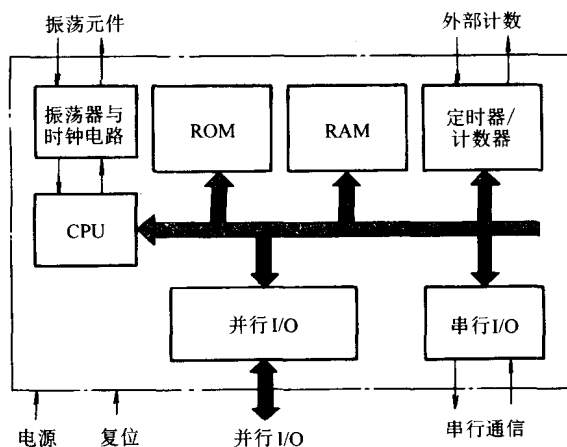


图 1-2 单片机内部结构

点。

1. CPU

与微型计算机一样，CPU 也是单片机的核心部件。它一般由运算器、控制器和中断电路等组成。

根据单片机的字长（CPU 一次处理的数据位数）不同，单片机有 4 位、8 位、16 位和 32 位等区别。字长越长则数据处理能力越强，执行速度也越快。目前应用较多的是 8 位和 16 位单片机。

每种单片机的 CPU 都有自己的指令系统，用于编制应用程序。不同厂家的单片机有不同的指令系统。

2. 存储器

在单片机内部，ROM 和 RAM 是分开制造的。通常 ROM 的容量较大而 RAM 的容量较小，这是单片机作为控制用机型的一个特点。

(1) ROM 单片机内部的 ROM 用于存放应用程序，所以也叫程序存储器。其容量一般为 1~32KB，也有的单片机片内没有 ROM。

不同厂家和不同型号的产品，其 ROM 种类也不同。片内带有掩膜 ROM 的单片机，因其中的程序用户不能修改，所以不便于实验开发。而带有 EPROM 的单片机，用户可以写入和修改程序，所以很受欢迎。片内没有 ROM 的单片机，用户常在外围扩展一片 EPROM，所以使用起来也很方便。近来有些厂家推出了内部带有闪速可编程/擦除只读存储器 FPEROM（如美国 ATMEL 公司的 AT89C51 系列），具有质优价廉的特点，极具竞争力。

(2) RAM 单片机内部的 RAM 主要用作通用寄存器、数据堆栈或存放实时数据等。通常片内 RAM 容量不大，8 位机多为 64~256B，16 位机有的已达 4KB。

3. I/O 接口

为了实现对外控制或信息传递，单片机都带有 I/O 接口电路。I/O 接口电路分并行和串行两种。并行口一般是 8 位，可以在单片机和存储器或外围设备之间并行传送 8 位数据信息。串行口用于在单片机之间、或单片机与外围设备之间实现串行通信。

4. 定时/计数器

定时/计数器是具有特殊功能的部件，实现对外的计数或定时控制功能。

5. 时钟电路

时钟电路通过外接的石英晶体产生频率固定的时钟脉冲，用以协调指挥整个单片机的工作。

1.2.3 单片机的发展与应用

1. 单片机的发展

1974 年，美国仙童半导体（Fairchild）公司研制出世界第一台单片微型计算机 F8，不过它还是由两片集成电路组成。它的出现，立即受到家电行业和仪器仪表行业的欢迎和重视。

1976 年，Intel 公司开发出 MCS-48 系列单片机。这是较早的 8 位机，已经在一块芯片上集成了 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 等功能部件，为以后的单片机发展奠定了坚实的基础。

1980 年前后，已经有许多半导体厂商都竞相推出自己的单片机系列产品。例如 Intel 公

司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 MC6801 系列、Zilog 公司的 Z8 系列、TI (美国德州仪器) 公司的 TMS7000 等。与前相比, 这一时代的产品存储容量增大, 而且中断源、并行 I/O 口和定时/计数器数量也都有增加。可以说, 这是 8 位单片机技术的成熟时期。

自 1983 年以后, 一方面 8 位单片机不断推出高档的新机型, 另一方面, 16 位单片机也已经出现。16 位单片机的工艺更先进, 集成度更高, 内部功能更强, 例如不仅引脚增多、I/O 口增加, 而且很多 16 位单片机都增加了 A/D 转换、PWM (脉宽调制) 输出、Watchdog (监视定时器)、以及高速 I/O 等功能。代表产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列、TI 公司的 TMS9900、Motorola 公司的 M68HC16 系列等。如今已经出现了 32 位的单片机。

尽管单片机种类很多, 新技术发展也很快, 不过目前应用最多的还是 8 位单片机。据统计, 8 位机的产量占整个单片机产量的 60% 以上。在我国, 使用最多的是 Intel 公司的 MCS-51 系列、或与该系列兼容的 80C51 系列 (很多公司都有生产) 产品。16 位以上的单片机价格较高, 使用还不普遍。

2. 单片机的应用

单片机的应用范围十分广泛。下面介绍一些主要的使用场合。

(1) 工业控制 例如各种数控机床、带“电脑控制”(即单片机控制)的专用生产设备(注塑机、缝纫机、自动包装机等)、自动生产线、汽车自动检测线、电机变频调速系统、带动态测量的自动给料机等。

(2) 智能化仪器仪表 单片机用于仪器仪表, 可以使测量控制自动化和智能化。例如智能电能表、智能流量计、汽车自动检测设备、智能轨道衡以及各种过程控制用的自动化仪表等。

(3) 智能家电 单片机可以广泛地用于家用电器的自动控制, 从而大大提高了产品的功能和档次。如自动洗衣机、变频空调、智能电冰箱、彩电、音响、录像机、DVD、照相机等等。

3. 单片机的主要系列

单片机型号品种繁多, 无法一一列举, 而且新产品还在不断推出。表 1-1 和表 1-2 主要列出了目前 8 位机和 16 位机中常用系列或其中有代表性的产品的一些基本性能数据。

表 1-1 常用 8 位单片机基本性能表

公司	系列	型号	片内 ROM	片内 RAM	I/O 口	定时/计数器
Intel	MCS-51	8031	无	128B	4 × 8 位	2 × 16 位
		8051	4KB/ROM			
		8751	4KB/EPROM			
		8032	无	256B		3 × 16 位
		8052	8KB/ROM			
		8752	8KB/EPROM			
Intel	80C51	80C51GB	无	256B	4 × 8 位	3 × 16 位
		83C51GB	5KB/ROM			
		87C51GB	8KB/EPROM			

(续)

公司	系列	型号	片内 ROM	片内 RAM	I/O 口	定时/计数器
Philips	80C51	80C552	无	256B	6×8 位	3×16 位
		83C552	8KB/ROM			
		87C552	8KB/EPROM			
ATMEL		89C51	4KB/E ² PROM	128B	4×8 位	2×16 位
		89C52		256B		
Motorola	68HC	68HC05C	4－16KB/ROM	176B/352B	31 位	16 位
		68HC705C8	8KB/EPROM	304B	31 位	16 位
		68HC11A8	8KB/ROM 512B/E ² PROM	256B	38 位	16 位
Zilog	Z8	Z86C21	8KB	256B	4×8 位	2×8 位
NEC	UPD78xx		4KB/6KB	128B/256B	6×8 位	1×12 位
TI	TMS7000		2KB/12KB	128B	4×8 位	1/2×13 位

表 1-2 常用 16 位单片机基本性能表

公司	型号	片内 ROM	片内 RAM	A/D	PWM 输出	监视定时器	计数器
Intel	MCS-96	8KB	232B	8×10 位	有	有	2×16 位
Thomson	682000	4KB	256B	无	借用通用计数器		3×16 位
NS	BPC16040	4KB	256B	无	有	有	8×16 位
NEC	783xx	8KB	256B	4×8 位	有	有	2×16 位
Motorola	M68HC16	8～48KB	1～4KB	8×10 位	2 路	有	9 功能 16 位

1.3 计算机的数制与编码

当我们需要由计算机处理数据或字符时，大体上会遇到几种情况：

- 1) 有的数是带符号（正负号）的，如加减法运算中的数；有的数是不带符号的，例如电话号码。
- 2) 我们常用的数是十进制，而计算机用的是二进制。
- 3) 有时输入到计算机的是单个的数字或符号，例如用键盘输入的字符。计算机需要识别和妥善处理这些字符。

因此，计算机在处理数字或字符时，需要解决三个问题：一是数制及其转换问题，二是带符号数与无符号数的表示方法及其运算问题；三是数字和字符的编码问题。

1.3.1 数制及其转换

1. 几种常用的数制

我们早已熟悉了十进制数。所谓十进制，进位规则就是“逢 10 进 1”，例如

$$\text{十进制数 } 3250.6 = 3 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 6 \times 10^{-1}$$

这里, 10^3 、 10^2 、 10^1 、 10^{-1} 称为相应位的“权”(weight), 或者说, 3、2、5、6 这些数字处于十进制数中不同的位置时, 它们实际的“份量”是不同的。

众所周知, 计算机多使用二进制。这是因为二进制数字 0 和 1 很容易用硬件电路的状态(电平的高低, 电路的通断等)表示。二进制是“逢 2 进 1”, 例如

$$\text{二进制数 } 1101.1 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}$$

同样, 这里的 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 也是相应位的权。

8 位单片机常使用 8 位二进制数, 最右边为最低位, 用 D0 表示 (又记为 LSB); 最左边为最高位, 用 D7 表示 (又记为 MSB)。中间依次为 D1, D2, …, D6 各位:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
MSB				LSB			

由于十六进制与二进制之间有简单的对应关系, 而且书写更加简单, 所以计算机还会用到十六进制。十六进制的每一位需要用到 16 个不同数字, 即 0, 1, …, 9, A, B, C, D, E, F, 分别表示 0, 1, …, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15。它的进位规则是“逢 16 进 1”, 例如

$$\text{十六进制数 } 1F3A = 1 \times 16^3 + 15 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + 10 \times 16^0$$

在遇到几种不同数制时, 为了区别起见, 常用 B (Binary) 表示二进制数, 用 D (Decimal) 表示十进制数, 用 H (Hexadecimal) 表示十六进制数, 分别加在数字末尾。例如 $00001111B = 0FH = 15D$ 。在不至混淆的情况下, 表示十进制的 D 可以省略。

2. 几种数制的基本运算

我们只要掌握了各种数制的进位规则, 进行加减等运算也就没有什么困难。

【例 1.1】 二进制加法: 计算 $10010010 + 00111011 = ?$

解: 列出算式:

$$\begin{array}{r} 10010010 \\ +) \quad 00111011 \\ \hline 11001101 \end{array}$$

【例 1.2】 二进制减法: 计算 $11100111 - 01011110 = ?$

解: 列出算式:

$$\begin{array}{r} 11100111 \\ -) \quad 01011110 \\ \hline 10001001 \end{array}$$

【例 1.3】 十六进制加法: $2EH + A4H = ?$

解: 列出算式:

$$\begin{array}{r} 2EH \\ +) \quad A4H \\ \hline D2H \end{array}$$

3. 数制间的转换

进行各种数制间的转换, 既需要规则, 也需要经验。

(1) 二—十进制数之间的转换

将一个二进制数转换成对应的十进制数，可以按加权的概念，将各位数值加起来。

【例 1.4】 $10101001\text{B} = ? \text{D}$

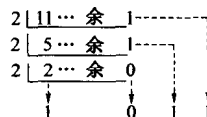
解： $10101001\text{B} = 1 \times 2^7 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^0 = 128 + 32 + 8 + 1 = 169\text{D}$

将一个十进制数转换成对应的二进制数，可以使用“除 2 取余”方法。

【例 1.5】 $11\text{D} = ? \text{B}$

解：按照连除的方法列出算式，将每次除以 2 后的余数写在右边；

将所有的余数排列在一起（最末一个余数作最高位），就是计算结果。



故 $11\text{D} = 1011\text{B}$

在我们积累了一定的经验之后，也可以将十进制数分解为一系列 2 的幂之和，直接得出结果。

【例 1.6】 $109\text{D} = ? \text{B}$

解： $109\text{D} = 64 + 32 + 8 + 4 + 1$

$$= 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0$$

$$= 01101101\text{B}$$

(2) 二进制与十六进制数之间的转换 由于二进制数中 $\text{D}_0 \sim \text{D}_3$ 这 4 位所表示的数值范围是 $0 \sim 15$ ， D_4 位的 1 代表 16，所以二进制数与十六进制数之间有着简单的对应关系：4 位二进制数对应 1 位十六进制数。表 1-3 给出了 4 位二进制数与十六进制和十进制数间的对应关系。

表 1-3 4 位二进制数与十进制、十六进制数的对应关系

十进制数	二进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	十六进制数
0	0000	0	8	1000	8
1	0001	1	9	1001	9
2	0010	2	10	1010	A
3	0011	3	11	1011	B
4	0100	4	12	1100	C
5	0101	5	13	1101	D
6	0110	6	14	1110	E
7	0111	7	15	1111	F

对于较大的数，仍然采用上述原则，由低位到高位，每 4 位二进制数与 1 位十六进制数对应起来即可。

【例 1.7】 $11101001\text{B} = ? \text{H}$

解： $1110 \ 1001\text{B} = \text{E9H}$

【例 1.8】 $7\text{F0DH} = ? \text{B}$

解： $7\text{F0DH} = 0111111100001101\text{B}$

(3) 十进制与十六进制数间的转换 与前述十进制与二进制数值转换的做法类似。

若将一个十六进制数转换为十进制数，可将十六进制数按定义展开后相加。

【例 1.9】 $1\text{A3H} = ? \text{D}$

解： $1\text{A3H} = 1 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 3 \times 16^0 = 256 + 160 + 3 = 419\text{D}$