



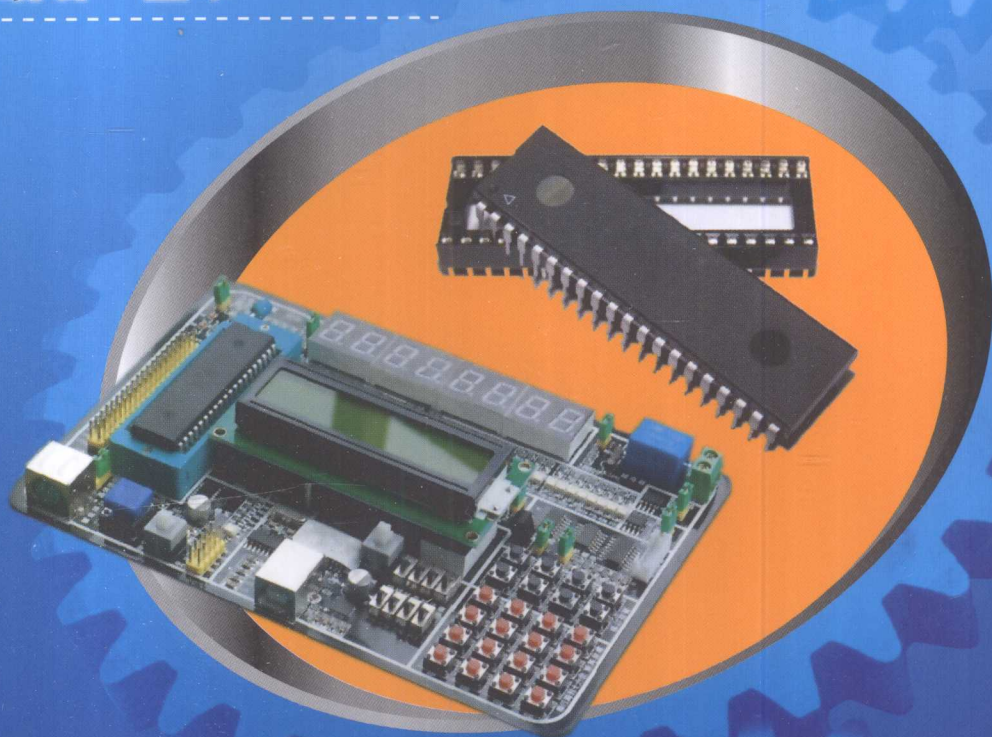
高职高专“十一五”规划教材

单片机原理及应用

DANPIANJI YUANLI JI YINGYONG

孙康岭 刘永海 主编

刘晓岩 主审



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

单片机原理及应用

孙康岭	刘永海	主 编
裴桂玲	徐遵义	副主编
	刘晓岩	主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共分 10 章,全面系统地介绍了 80C51 系列单片机的结构、原理及应用技术。内容包括:单片机基础,80C51 的结构与功能,80C51 的指令系统,80C51 汇编语言程序设计,80C51 的中断系统及定时/计数器,80C51 的并行接口与串行接口,单片机系统功能扩展,80C51 单片机 C 语言程序设计基础,80C51 单片机 C 语言程序设计,单片机应用系统的设计方法。在本书的附录部分,详细介绍了 Keil μ Vision2 集成开发软件的使用方法,同时给出了步骤详尽的实训内容以及完善的课程设计实施计划,图文并茂,实例丰富。

本书针对高职教学的特点,循序渐进,深入浅出,兼具系统性和实用性,突出应用。为了便于教学和自学,书中列举了大量的应用实例。由于单片机 C 语言巨大的优越性,与传统的教材相比,本书在汇编语言程序设计的基础上增加了单片机 C 语言程序设计部分。为了便于对比学习,书中的许多实例都给出了两种语言的程序版本。实训内容不仅包括两种语言的程序版本,还包括软件仿真与硬件仿真详细的程序调试步骤。另外,本书有配套电子教案。

本书可作为高职高专院校自动化、应用电子、计算机、机电一体化、数控等相关专业的教材,也可供相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用/孙康岭,刘永海主编. —北京:化学工业出版社,2009.9

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-06419-6

I. 单… II. ①孙…②刘… III. 单片微型计算机-高等学校:技术学院-教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 131888 号

责任编辑:韩庆利

装帧设计:刘丽华

责任校对:李 林

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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{1}{4}$ 字数 445 千字 2009 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:29.50 元

版权所有 违者必究

前 言

单片机技术发展迅猛,其应用已渗透到社会生活的各个领域。单片机的应用正从根本上改变着传统的控制系统设计思想和设计方法。因此,学习单片机的原理并掌握其应用技术,应用前景十分广阔。

本书以应用广泛的 80C51 系列单片机为例,系统地介绍了 80C51 系列单片机的结构、原理及应用技术。本书的主要特点是:

(1) 内容结构合理,循序渐进,深入浅出。结合高职教育的特点,首先介绍了电子计算机的硬件系统与软件系统的相关知识,特别是条理清晰地讲述了数制转换以及信息在计算机中的表示方法;接下来详细介绍了 80C51 的结构、指令系统、汇编语言程序设计、内部资源、片外功能扩展以及单片机 C 语言程序设计;最后结合实例介绍了单片机应用系统的设计方法。

(2) 理论联系实际,实例丰富,突出应用。在介绍理论知识的同时,书中列举了大量的应用实例,并给出了相应的分析,画出了程序流程图。在本书的附录部分,详细介绍了 Keil μ Vision2 集成开发软件的使用方法,同时给出了步骤详尽的实训内容以及完善的课程设计实施计划,图文并茂,加强了实践教学环节。

(3) 突破传统教材的框架,汇编语言和 C 语言和谐共存。大多数教材只讲汇编语言及其程序设计,不涉及 C 语言。的确,对于单片机应用系统来说,采用汇编语言编程能直接操作硬件,指令的执行速度快,学习汇编语言有助于理解单片机原理。但当需要解决的问题较为复杂时,C 语言的优势就更为突出,如可以较大程度上缩短开发周期,降低开发成本,开发出的系统易于维护、可靠性高、可移植性好等,即使在代码的使用效率上,使用 Keil C51 编译器对 C 程序编译后所得到的机器代码程序也完全可以和汇编语言程序相比。因此,本书在汇编语言程序设计的基础上增加了单片机 C 语言程序设计部分,并介绍了两种语言的混合编程技术,以利于优势互补。为了便于对比学习,书中的许多实例都给出了两种语言的程序版本。

(4) 实训内容安排合理,步骤详尽,实训开展不受实验器材的限制。许多教材都有配套的实验指导,但一般都是针对某种特定的实验器材,如果没有这种器材,实验指导发挥不了应有的作用。Keil C51 集成开发环境支持纯软件仿真与硬件仿真,本书对它的用法作了深入的介绍。本书实训内容不仅给出了汇编语言和 C 语言的两种程序版本,还包括软件仿真与硬件仿真详细的调试步骤。只要有一台 PC 机,没有其它实验器材,也可以开展单片机实训,进行程序的仿真调试,方便了教学和自学。

本书可作为高职高专院校自动化、应用电子、计算机、机电一体化、数控、通信工程等相关专业的教材,特别便于教学和自学,也可供相关工程技术人员参考使用。

本书有配套电子教案,可赠送给用本书作为授课教材的院校和老师,如有需要,可发邮件至 hqlbook@126.com 索取。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2009 年 6 月

目 录

第 1 章 单片机基础	1
1.1 电子计算机的硬件结构	1
1.2 计算机系统的组成	3
1.3 微型计算机的组成及应用形态	5
1.4 单片机的发展及产品简介	6
1.5 数制	7
1.6 信息在计算机内的表示	11
复习与思考题	14
第 2 章 80C51 的结构与功能	15
2.1 概述	15
2.2 80C51 的微处理器	17
2.3 80C51 的存储器结构	18
2.4 80C51 的时钟与时序	23
2.5 80C51 单片机的工作方式	26
2.6 80C51 单片机的应用模式	28
复习与思考题	30
第 3 章 80C51 的指令系统	31
3.1 概述	31
3.2 寻址方式	33
3.3 指令系统	37
复习与思考题	51
第 4 章 80C51 汇编语言程序设计	53
4.1 概述	53
4.2 程序设计的基本步骤	55
4.3 汇编语言程序的基本结构	56
4.4 实用程序举例	67
复习与思考题	74
第 5 章 80C51 的中断系统及定时/计数器	76
5.1 80C51 的中断系统	76
5.2 80C51 的定时/计数器	88
复习与思考题	98
第 6 章 80C51 的并行接口与串行接口	99
6.1 80C51 的内部并行 I/O 口	100
6.2 80C51 的串行接口	105
复习与思考题	136
第 7 章 80C51 单片机系统功能扩展	137
7.1 外部存储器扩展	137
7.2 并行 I/O 接口扩展	143
7.3 A/D 和 D/A 转换器的接口	150
7.4 键盘/显示器接口	159
复习与思考题	165
第 8 章 80C51 单片机 C 语言程序设计基础	166

8.1 C 程序的结构特点	166
8.2 Keil C51 的数据类型	171
8.3 Keil C51 变量的存储类型及其支持的主要编译模式	173
8.4 Keil C51 变量的作用范围类型	174
8.5 运算符与表达式	175
8.6 Keil C51 的数组	179
8.7 Keil C51 的选择语句	181
8.8 Keil C51 的循环控制	186
8.9 Keil C51 的函数	193
复习与思考题	196
第 9 章 80C51 单片机 C 语言程序设计	198
9.1 并行输入/输出端口的 C 语言程序设计	198
9.2 定时器/计数器的 C 语言程序设计	199
9.3 中断应用的 C 语言程序设计	200
9.4 串行口应用的 C 语言程序设计	204
9.5 C51 与 ASM 混合编程技术	207
复习与思考题	209
第 10 章 单片机应用系统的设计方法	210
10.1 单片机应用系统的设计过程	210
10.2 提高应用系统可靠性的方法	212
10.3 单片机应用系统设计举例	215
复习与思考题	217
附录	218
附录 A Keil μ Vision2 仿真软件的使用说明	218
A.1 主要菜单项及其功能简介	218
A.2 项目的创建、设置及编译	220
A.3 Keil 的调试命令	229
A.4 Keil 常用的程序调试窗口	233
附录 B 单片机实训	238
实训 1 Keil C51 项目的创建、设置及编译	238
实训 2 基于 Keil C51 集成开发环境的纯软件仿真与调试	239
实训 3 P1 口输入/输出实训	240
实训 4 80C51 单片机汇编指令及程序设计训练	243
实训 5 80C51 单片机计数器的应用	244
实训 6 80C51 单片机定时器的应用	246
实训 7 80C51 单片机外部中断的应用	247
实训 8 80C51 与 PC 机串行通讯实验	249
附录 C 单片机课程设计	250
课程设计概述	250
课程设计 1 单片机报警系统	251
课程设计 2 基于单片机的交通信号灯控制系统	251
课程设计 3 基于单片机的数字电子钟	252
课程设计 4 基于单片机的电子密码锁	252
附录 D ASCII 码	252
附录 E 80C51 系列单片机汇编语言指令速查表	254
参考文献	259

第 1 章 单片机基础

1.1 电子计算机的硬件结构

1946 年 2 月 15 日, 美籍匈牙利数学家冯·诺依曼课题组研制成功第一台电子数字计算机 (ENIAC), ENIAC 是电子管计算机, 时钟频率仅有 100kHz, 但能在 1s 的时间内完成 5000 次加法运算。

1946 年 6 月, 冯·诺依曼提出了“程序存储”和“二进制运算”的思想, 进一步构建了计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备组成的经典结构 (见图 1-1)。也就是说, 人们采用计算机指令编制相应的程序并将其存储起来, 计算机即可按照指令对各种数据和信息进行自动加工和处理并输出结果。

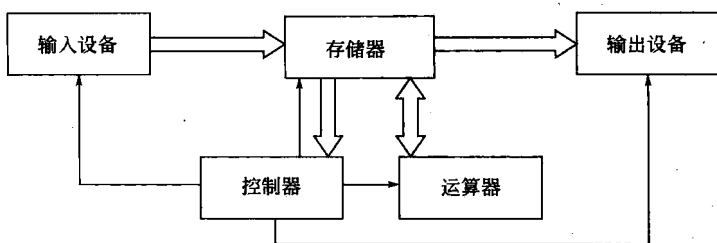


图 1-1 计算机经典结构

遵循这种结构框架, 到目前为止, 计算机的发展先后经历了电子管计算机、晶体管计算机、集成电路计算机、大规模及超大规模集成电路计算机几个时代。当前计算机技术发展迅猛, 但计算机的结构依然是采用冯·诺依曼提出的经典结构。对五大部件的说明如下:

1. 运算器

运算器的主要功能是算术运算、逻辑运算和数据传递。计算机中最主要的工作是运算, 大量的数据运算任务是在运算器中进行的。

运算器又称算术逻辑单元 (Arithmetic and Logic Unit, 简称 ALU)。

在计算机中, 算术运算是指加、减、乘、除 (早期的 ALU 并无乘、除功能) 等基本运算, 逻辑运算是指逻辑判断、逻辑比较以及其它的基本逻辑运算。但不管是算术运算还是逻辑运算, 都只是基本运算。也就是说, 运算器只能做这些最简单的运算, 复杂的计算只能通过基本运算一步一步实现。由于运算器的运算速度快得惊人, 因而计算机才有高速的信息处理功能。

运算器中的数据取自内部存储器, 运算的结果又送回部存储器。运算器对存储器的读写操作是在控制器的控制之下进行的。

2. 控制器

控制器是计算机的神经中枢, 只有在它的控制之下整个计算机才能有条不紊地工作, 自动执行程序。

控制器的工作过程是: 首先从内存中取出指令, 并对指令进行分析, 然后根据指令的功能向有关部件发出控制命令, 控制它们执行这条指令规定的功能。当各部件执行完控制器发来的命令后, 都会向控制器反馈执行的情况。这样逐一执行这一系列指令, 就使计算机能够

按照这一系列指令组成的程序的要求自动完成各项任务。

控制器和运算器一起组成中央处理单元,即 CPU (Central Processing Unit),它是计算机的核心。

3. 存储器

存储器的主要功能是存放程序和数据。使用时,可以从存储器中取出信息,不破坏原来的内容,这种操作称为存储器的读操作;也可以把信息存入存储器,原来的内容被抹掉,这种操作称为存储器的写操作。

存储器通常分为内存储器和外存储器。

内存储器简称内存(又称主存),是计算机中信息交流的中心。内存分为随机存储器(RAM)和只读存储器(ROM)两种。

随机读/写存储器 RAM 可以进行多次信息写入和读出,每次写入后,原来的信息将被新写入的信息所取代。另外, RAM 在断电后再通电时,原存的信息全部丢失。它主要用来存放临时的数据和程序。

RAM 按生产工艺分,又可以分为双极型 RAM 和 MOS 型 RAM,而 MOS 型 RAM 又分为静态 RAM(SRAM)和动态 RAM(DRAM)。

① 双极型 RAM:是以晶体管触发器作为基本存储电路,存取速度快,但结构复杂、集成度较低,比较适合用于小容量的高速暂存器。

② MOS 型 RAM:是以 MOS 管作为基本集成元件,具有集成度高,功耗低,价格便宜等优点,现在微型机一般都采用 MOS 型 RAM。

只读存储器 ROM 的信息一旦写入后,便不能随机修改。在使用时,只能读出信息,而不能写入,且在掉电后 ROM 中的信息仍然保留。它主要用来存放固定不变的程序和数

据。ROM 按生产工艺分,又可以分为以下几种。

① 掩膜 ROM:其存储的信息在制造过程中采用一道掩膜工艺生成,一旦出厂,信息就不可改变。

② 可编程只读存储器 PROM:其存储的信息可由用户通过特殊手段一次性写入,但只能写入一次。

③ 可擦除只读存储器:其存储的信息用户可以多次擦除,并可用专用的编程器重新写入新的信息。可擦除只读存储器又可分为紫外线擦除的 EPROM、电擦除的 EEPROM 和 Flash ROM。

近年来 Flash ROM 全面代替了 EPROM 在嵌入式系统中的地位。因为相较 EPROM 而言,Flash ROM 有成本低、容易在线改写等优点。

用户通过输入设备输入的程序和数据最初送入内存,控制器执行的指令和运算器处理的数据取自内存,运算的中间结果和最终结果保存在内存中,输出设备输出的信息来自内存,内存中的信息如要长期保存,就应送到外存储器中。总之,内存要与计算机的各个部件打交道,进行数据传送。因此,内存的存取速度直接影响计算机的运算速度。

当今绝大多数计算机的内存是以半导体存储器为主,由于价格和技术方面的原因,内存的存储容量受到限制,而且大部分内存是不能长期保存信息的随机存储器(断电后信息丢失),所以还需要能长时间保存大量信息的外存储器。

外存储器设置在主机的外部,简称外存(又称辅存),主要用来长期存放“暂时不用”的程序和数据。通常外存不和计算机的其它部件直接交换数据,只和内存交换数据,而且不是按单个数据进行存取,而是成批地进行数据交换。

常用的外存是磁盘、磁带、光盘等。

外存与内存有许多不同之处。一是外存不怕停电。如磁盘上的信息可以保持几年,甚至

几十年, CD-ROM 可以永久保存。二是外存的容量不像内存那样受多种限制, 可以大得多, 如今硬盘的容量有 160GB、320GB 等。三是外存速度慢, 内存速度快。

由于外存储器安装在主机外部, 所以也可以归属外部设备。

存储器的有关术语简述如下:

① 位 (Bit): 存放一位二进制数即 0 或 1。

② 字节 (Byte): 8 个二进制位为一个字节。为了便于衡量存储器的大小, 统一以字节 (Byte 简称为 B) 为单位。容量一般用 KB、MB、GB、TB 来表示, 它们之间的关系是:

$1\text{KB}=1024\text{B}$, $1\text{MB}=1024\text{KB}$, $1\text{GB}=1024\text{MB}$, $1\text{TB}=1024\text{GB}$, 其中 $1024=2^{10}$ 。

③ 地址: 整个内存被分成若干个存储单元, 每个存储单元 (即字节) 可存放 8 位二进制数。每个存储单元可以存放数据或程序代码。为了能有效地存取该单元内的内容, 每个单元必须有唯一的编号来标识, 这个唯一的编号就称为地址。如同旅馆中每个房间必须有唯一的房间号, 才能找到该房间内的人一样。

4. 输入设备

输入设备用来接受用户输入的原始数据和程序, 并将它们转变为计算机可以识别的形式 (二进制形式) 存放在内存中。常用的输入设备有键盘、鼠标、扫描仪、光笔、数字化仪、麦克风等。

5. 输出设备

输出设备用于将存放在内存中由计算机处理的结果转变为人们所能接受和识别的形式。常用的输出设备有: 显示器、打印机、绘图仪、音箱等。

1.2 计算机系统的组成

计算机系统由计算机硬件系统和计算机软件系统两大部分组成。硬件系统和软件系统组成一个完整的系统, 缺一不可。硬件是软件的基础, 软件是硬件功能的完善和扩充, 它们相互依存, 相互渗透, 相互促进。

1.2.1 计算机硬件系统

将组成计算机系统的所有电子和机械装置称为硬件 (Hardware)。计算机硬件系统实际是由各种物理部件组成的, 是一大堆看得见、摸得着的物理设备, 是构成计算机的物质基础。

1.2.2 计算机软件系统

仅有硬件系统的计算机是无法正常工作的, 必须为它编写程序。计算机系统的所有程序及相关的文档称为软件 (Software)。计算机的软件系统就是为了运行、管理和维护计算机而编写的程序 (包括文档) 的总和, 是计算机的灵魂。

程序是为实现一定功能, 用计算机程序设计语言所编制的语句的有序集合。文档是描述程序设计的过程及程序的使用方法的有关资料。程序可由计算机执行, 文档不能执行, 在软件的整个生命周期内, 两种成分缺一不可。整个软件系统按其功能可分为系统软件和应用软件。

1. 系统软件

系统软件是为了计算机能正常、高效工作所配备的各种管理、监控和维护系统的程序及其有关资料。系统软件是为了更好地发挥计算机的效率以及方便用户使用计算机而编制的, 它具有基础性、通用性的特点。没有系统软件, 计算机将难以发挥其功能, 甚至无法工作。系统软件主要包括如下几个方面。

(1) 操作系统 作为系统软件的核心, 操作系统 (Operating System, 简称 OS) 由指

挥与管理计算机系统运行的程序模块和数据结构组成,用来管理计算机的全部硬件资源和软件资源,为用户提供高效、方便的服务界面。例如 Windows、UNIX、Linux 等。

(2) 语言处理程序 为待处理的问题编排出确定的工作步骤,把预定的方案用特定的语言表示出来即形成程序。这种计算机系统所能接受的语言称为程序设计语言。语言处理系统是与用户接触最多的一类软件,主要包括汇编程序、编译程序和解释程序,是将用程序设计语言编写的源程序翻译成机器语言的程序。

(3) 数据库管理系统 数据库是以一定的组织方式存储起来的具有相关性的数据集合。数据库中的数据没有不必要的冗余,独立于使用它的任何应用程序,可为多种应用服务。

数据库管理系统(Database Management System)是一种操纵和管理数据库的大型软件,用于建立、使用和维护数据库,简称 DBMS。它对数据库进行统一的管理和控制,以保证数据库的安全性和完整性。用户通过 DBMS 访问数据库中的数据,数据库管理员也通过 DBMS 进行数据库的维护工作。

基于数据库管理系统建立的管理信息系统,可使一个部门更好地利用、控制它的数据资源,所以数据库管理系统是提高数据处理工作效率的重要工具。

(4) 软件编程支持程序 借助软件编程支持程序,可以提高软件编制效率和质量。有多种支持程序分别与软件开发过程的各个阶段相对应,如输入阶段的编辑程序、系统分析工具、测试阶段的排错程序、测试数据产生程序等。

2. 应用软件

应用软件是用户利用系统软件,为解决实际问题开发的软件的总称。随着计算机应用的推广与普及,应用软件逐步向标准化、模块化发展,并组合成各种软件包以方便用户使用。应用软件的存在与否不影响整个计算机系统的运转,但它必须在系统软件的支持下才能工作。

1.2.3 计算机语言和软件的发展

1. 计算机语言

计算机语言分为三类:机器语言、汇编语言和高级语言。

(1) 机器语言 机器语言是人与计算机进行信息交流的工具,是计算机在进行硬件设计时已经确定的机器硬件可以直接识别的语言,也称为机器指令或机器代码,采用二进制数形式表示。不同的计算机,通常具有不同的机器语言。用机器语言编写程序,将程序输入计算机并存于存储器中,计算机通过运行程序体现人们的设计意图,进行计算或处理相应的问题。

(2) 汇编语言 机器语言是面向具体机器的,其程序通用性、可读性极差。由于机器指令采用二进制数表示,编写程序麻烦、困难,效率很低。这种情况严重阻碍了计算机的应用和发展。于是,在机器语言的基础上推出了汇编语言。汇编语言采用助记符形式表示操作码和地址码,比机器语言的指令代码易于记忆。

用汇编语言编写的程序(又称源程序)经汇编程序加工处理后,生成在计算机上可直接执行的机器语言程序。

汇编语言实质上是机器语言的符号化形式,仍属于面向机器的一种低级语言。

(3) 高级语言 由于汇编语言依赖于硬件体系,且助记符量大难记,于是人们又发明了独立于机器、接近于数学表达形式和自然语言的更加易用的高级语言。其语法和结构更类似普通英文,封装了大部分针对硬件的操作,不必对计算机的指令系统有深入的了解就可以编写程序。从 20 世纪 50 年代末、60 年代初开始,相继开发了多种高级程序设计语言。

每一种高级语言,在不同型号的计算机上都有相应的高级语言编译程序。高级语言编译程序可把高级语言源程序“翻译”成机器语言程序供计算机执行。当希望用某种高级语言编

写的程序在某一型号的计算机上运行时,只需用相应的编译程序重新编译即可。高级语言的出现,使计算机的应用范围扩大到各行各业。

2. 计算机软件的发展

计算机软件的发展受到应用和硬件发展的推动和制约,软件的发展反过来又推动了应用和硬件的发展。软件的发展经历了如下三个阶段:

(1) 第一阶段(20世纪40年代中期到50年代中期) 从第一台计算机上的第一个程序开始到实用的高级程序设计语言出现以前。这一阶段主要研究科学计算与工程计算程序、服务性程序和程序库。编制程序所用的工具是低级语言。程序的设计和编制采用个体工作方式,强调编程技巧和运行效率。研究对象是顺序程序。

(2) 第二阶段(20世纪50年代中期到60年代后期) 从实用的高级程序设计语言出现到60年代后期软件工程提出以前。1956年在IBM 704机器研制出第一个实用的高级语言FORTRAN及其翻译程序。此后,相继又有多种高级语言问世,如ALGOL 60、COBOL、ALGOL 68等,从而大大提高了设计和编制程序的功效。为了充分利用系统资源,产生了操作系统(如IBM 360操作系统)。为了适应大量数据处理问题的需要,研制了数据库及其管理系统。人们逐渐认识到和程序相关的文档的重要性,20世纪60年代初期,出现了“软件”一词,融程序及其有关文档为一体。

由于软件的复杂程度迅速提高,研制周期变长,正确性、可靠性问题相当突出。到20世纪60年代中期,发生了人们难以控制的局面,即所谓软件危机。

为解决软件危机,人们进行了三方面的工作:提出结构化程序设计方法;提出用工程方法开发软件;从理论上探讨程序正确性和软件可靠性问题。

(3) 第三阶段(20世纪60年代后期到目前) 从软件工程提出迄今为第三阶段。由于大型软件的开发是一项工程性任务,采用个体方式效率低、产品可靠性差,而且很难完成,只有采用工程方法才能适应。于是,人们提出了“软件工程”的概念,并建立了相应的理论体系指导软件的开发。

1.3 微型计算机的组成及应用形态

1. 微型计算机的组成

1971年1月,INTEL公司与日本商业通讯公司合作研制台式计算器时,将原始方案的十几个芯片压缩成三个集成电路芯片。其中的两个芯片分别用于存储程序和数据,另一芯片集成了运算器、控制器及一些寄存器,称为微处理器(即Intel 4004,见图1-2)。

微处理器4004是第一块微处理器,它内部集成了约2000多个晶体管,采用P-MOS工艺技术制造。它的面积不足 1cm^2 ,但却具有比第一台计算机ENIAC更强大的计算能力。

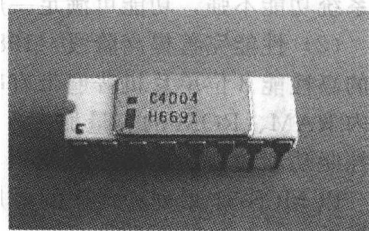


图1-2 4004微处理器

以后Intel公司相继推出了Intel8080、Intel8086、Intel8088、Intel80286、Pentium、PentiumPro、Pentium II、Pentium III、Pentium IV等微处理器,极大地推动了计算机的发展。

微处理器、存储器加上I/O接口电路组成了微型计算机。各个部分通过地址总线(AB)、数据总线(DB)和控制总线(CB)相连(见图1-3)。

2. 微型计算机的应用形态

微型计算机的应用形态可以分为3种。

(1) 多板机(系统机) 将CPU、存储器、I/O接口电路和总线接口等组装在一块主机

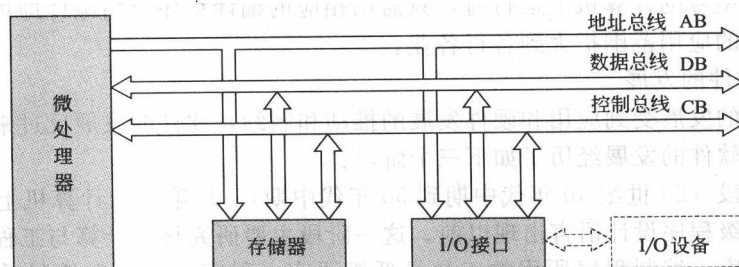


图 1-3 微型计算机的组成

板（即微机主板）上，各种适配板卡插在主机板的扩展槽中，连同电源、软/硬盘驱动器及光驱等装在同一机箱内，再配上键盘、显示器、系统软件，就构成了一台完整的微型计算机系统。

系统机（桌面应用）属于通用计算机，主要应用于数据处理、办公自动化及辅助设计。IBM PC 及其兼容机、苹果机等都属于多板机。

(2) 单板机 将 CPU 芯片、存储器芯片、I/O 接口芯片和简单的 I/O 设备（小键盘、LED 显示器）等部件装配在一块印刷电路板上，再配上监控程序（固化在 ROM 中），构成了一台单板微型计算机（简称单板机），目前应用较少。

(3) 单片机 将微处理器、存储器、I/O 接口电路集成在一片集成电路芯片上，构成了单芯片微型计算机，即单片机。单片机属于专用计算机，体积小、价格低、控制性能及可靠性高，现应用广泛。

1.4 单片机的发展及产品简介

1.4.1 单片机的发展过程

单片机技术发展过程可分为三个主要阶段。

(1) 单片机形成阶段 1976 年，Intel 公司推出了 MCS-48 系列单片机。该系列单片机将 8 位 CPU、8 位并行 I/O 接口、8 位定时/计数器、RAM 和 ROM 等集成于一块半导体芯片上，存储器容量较小，寻址范围小（不大于 4KB），无串行接口，中断系统也较简单，指令系统功能不强，功能可满足一般工业控制和智能化仪器、仪表等方面的需要。

(2) 性能完善提高阶段 1980 年，Intel 公司推出了 MCS-51 系列单片机。这一阶段推出的高性能 8 位单片机普遍带有串行口，有多级中断处理系统，多个 16 位定时器/计数器，片内 RAM、ROM 的容量加大，寻址范围可达 64 KB，个别片内还带有 A/D 转换接口，并有控制功能较强的布尔处理器。

以 MCS-51 系列为代表的单片机，结构体系完善，性能大大提高，面向控制的特点进一步突出。

(3) 微控制器化阶段 1983 年，Intel 推出 MCS-96 系列单片机。芯片内集成有 16 位 CPU、8K 字节 ROM、232 字节 RAM、5 个 8 位并口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时/计数器，片上还有 4~8 路 10 位 ADC、1 路 PWM 输出及高速 I/O 部件等。

由于片内面向测控系统的外围电路增强，使单片机可以方便灵活地用于复杂的自动测控系统及设备。“微控制器”的称谓更能反映单片机的本质。

单片机技术的发展速度十分惊人。当前，单片机技术已经发展得相当完善，它已成为计算机技术的一个独特而又重要的分支。单片机的应用领域也日益广泛，特别是在电信、家用电器、工业控制、仪器仪表、汽车电子等领域的自动化和智能化方面，扮演着极其重要的

角色。

学习单片机应用的意义不仅在于它广阔的应用领域以及所带来的巨大经济效益，更重要的意义还在于单片机的应用正从根本上改变着传统的控制系统设计思想和设计方法。因此，学习单片机的原理、掌握单片机的应用技术，具有划时代的意义。

1.4.2 单片机产品简介

到目前为止，Intel 公司的 MCS-51 系列单片机市场占有率最高。MCS-51 系列分为 51 和 52 两个子系列，51 子系列属于基本型，52 子系列属于增强型。

在制造上，MCS-51 系列单片机主要有两种生产工艺：HMOS 工艺（高密度短沟道 MOS 工艺）和 CHMOS 工艺（互补金属氧化物的 HMOS 工艺，由 CMOS 和 HMOS 结合而成）。CHMOS 工艺的芯片具有高速度和低功耗的特点，其电平与 TTL 电平及 CMOS 电平皆兼容，所以在单片机应用系统中要尽量选用 CHMOS 工艺的芯片。芯片型号中不带“C”的为 HMOS 芯片，带“C”的为 CHMOS 芯片。

不同的芯片主要的区别之一是片内 ROM 的配置不同，主要有四种配置类型：

片内无 ROM、掩膜 ROM、EPROM（紫外线可擦除 ROM）、EEPROM 或 Flash ROM（电可擦除、写入型 ROM）。Flash ROM 型单片机由于程序可被方便快速地进行擦除、写入，大大加快了开发速度，目前被广泛应用。

Intel、Philips、ATMEL 等公司以 8051 为基核开发的 CHMOS 工艺单片机产品称为 80C51 系列，如表 1-1 所示。

表 1-1 80C51 系列单片机

分类		芯片型号	存储器类型及字节数		片内其它功能单元数量			
			ROM	RAM	并行口	串行口	定时/计数器	中断源
总线型	基本型	80C31	无	128	4 个	1 个	2 个	5 个
		80C51	4KB 掩膜	128	4 个	1 个	2 个	5 个
		87C51	4KB EPROM	128	4 个	1 个	2 个	5 个
		89C51	4KB Flash	128	4 个	1 个	2 个	5 个
	增强型	80C32	无	256	4 个	1 个	3 个	6 个
		80C52	8KB 掩膜	256	4 个	1 个	3 个	6 个
		87C52	8KB EPROM	256	4 个	1 个	3 个	6 个
		89C52	8KB Flash	256	4 个	1 个	3 个	6 个
非总线型		89C2051	2KB Flash	128	2 个	1 个	2 个	5 个
		89C4051	4KB Flash	128	2 个	1 个	2 个	5 个

非 80C51 结构单片机也有很多，它们性能也很优异，给用户提供了更为广阔的选择空间。主要有 ATMEL 公司的 AVR 单片机，Motorola 公司的单片机，Microchip 的 PIC 系列单片机，Zilog 公司的单片机等。

1.5 数制

所谓数制，就是计数的规则。数制分为进位计数制和非进位计数制，现在常用的是各种进位计数制，如十进制、二进制、八进制、十六进制等。

1.5.1 各数制特点及其转换

1. 各进制数的特点

(1) 十进制 十进制使用十个数字 (0、1、2、3、4、5、6、7、8、9) 记数, 基数为 10, 逢十进一, 借一当十。十进制用于计算机输入输出, 人机交互。

一个十进制的数 $S = K_n K_{n-1} \cdots K_1 K_0 K_{-1} K_{-2} \cdots K_{-m}$, 可以表示成以下格式 (按权展开式):

$$S = K_n \times 10^n + K_{n-1} \times 10^{n-1} \cdots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 + K_{-1} \times 10^{-1} + K_{-2} \times 10^{-2} \cdots + K_{-m} \times 10^{-m}$$

其中, n 和 m 为整数, 10^n 叫做相应位的权。

例如: $S = 108.65 = 1 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$

(2) 二进制 二进制以 2 为基数, 只用 0 和 1 两个数字来表示数, 逢二进一, 借一当二。任何信息在计算机中最终都表示成二进制数的形式。

设计十进制机器比设计二进制机器复杂得多, 而自然界具有两种稳定状态的组件普遍存在, 如开关的开和关, 电路的通和断, 电压的高和低等, 非常适合表示二进制数。用这样的组件设计计算机相对简单得多, 可靠性高, 所以现在的计算机都是二进制计算机, 即计算机中的数据采用二进制表示。计算机中数据的最小存取单位是 1 个二进制位 (bit), 8 个二进制位叫 1 个字节 (Byte), 2 个字节是 1 个字 (Word), 4 个字节是 1 个双字 (Double Word)。

(3) 八进制 八进制使用八个数字 (0、1、2、3、4、5、6、7) 记数, 基数为 8, 逢八进一, 借一当八。3 位二进制数可表示 1 位八进制数。

(4) 十六进制 十六进制也是应用非常广泛的一种计数制。由于二进制书写冗长, 且二进制与十六进制间有简单的对应关系 (4 位二进制数可表示 1 位十六进制数, 可直接转换), 所以人们有时也用十六进制表示二进制数进行书写。

十六进制使用十六个数字 (0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F) 记数, 基数为 16, 逢十六进一, 借一当十六。在十六进制系统中, 十进制数 10 到 15 分别用 A、B、C、D、E、F 表示。

二进制数及与之等值的八进制、十进制和十六进制数的对应关系见表 1-2。

表 1-2 四种进制等值对应表

二进制	八进制	十进制	十六进制	二进制	八进制	十进制	十六进制
0000	0	0	0	1000	10	8	8
0001	1	1	1	1001	11	9	9
0010	2	2	2	1010	12	10	A
0011	3	3	3	1011	13	11	B
0100	4	4	4	1100	14	12	C
0101	5	5	5	1101	15	13	D
0110	6	6	6	1110	16	14	E
0111	7	7	7	1111	17	15	F

2. 各进制数的标识

二进制、八进制、十进制、十六进制的标识符分别为 B、O (或 Q)、D、H 表示, 或用基数作下标表示。不同进制数以下标或后缀区别, 十进制数可省略下标及后缀。

如: 101、 $(101)_{10}$ 、101D、101B、 $(101)_2$ 、101Q、 $(101)_8$ 、101H、 $(101)_{16}$

3. 二进制数与十进制数间的转换

(1) 二进制转换为十进制 将每个二进制数按权展开后求和即可。

例如： $(101.101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (5.625)_{10}$

(2) 十进制转换为二进制 一般需要将十进制数的整数部分与小数部分分开处理，分别转换为二进制数的整数与小数。

① 十进制整数转换成二进制整数。十进制整数转换成二进制整数，可以采取“除2取余法”。把一个十进制整数依次除以2，并记下每次所得的余数（1或0），最后所得的余数的组合即为转换的十进制数整数部分。第一位余数为最低位（LSB），最后一个余数为最高位（MSB）。

例如将十进制数126转换成二进制数，算式如下所示：

0	1 2 6
1	6 3
1	3 1
1	1 5
1	7
1	3
	1

结果是 $126 = (1111110)_2$ 。同理， $127 = (1111111)_2$ 。 $(1111111)_2$ 是最大的七位二进制数，相当于十进制的127； $255 = (11111111)_2$ 。 $(11111111)_2$ 是最大的八位二进制数，相当于十进制的255。

② 十进制小数转换成二进制小数。十进制小数转换成二进制小数，可以采用“乘2取整法”。把给定的十进制小数乘以2，把乘积的整数部分作为二进制小数的最高位，然后把乘积的小数部分再乘以2，再取乘积的整数部分作为二进制小数的第二位，依次类推。有时只能得到近似值。例如，将十进制数0.318转换成二进制数，算式如下所示：

溢出整数	小数部分 $\times 2$	剩余小数部分
0	$0.318 \times 2 = 0.636$	0.636
1	$0.636 \times 2 = 1.272$	0.272
0	$0.272 \times 2 = 0.544$	0.544
1	$0.544 \times 2 = 1.088$	0.088
0	$0.088 \times 2 = 0.176$	0.176
0	$0.176 \times 2 = 0.352$	0.352
0	$0.352 \times 2 = 0.65$	0.65
1	$0.65 \times 2 = 1.3$	0.3

结果是 $0.318 = (0.010100010\cdots)_2$ 。结果可以采取“0舍1入”法保留指定小数位数。

同理，可以得出 $(0.875)_{10} = (0.111)_2$ 。

4. 八进制数与十进制数间的转换

(1) 八进制数转换成十进制数 先把八进制数按权展开，然后按照十进制运算法则求和。

如： $(653)_8 = 6 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 3 \times 8^0 = 384 + 40 + 3 = 427$

(2) 十进制数转换成八进制数 十进制数转换成八进制数的方法与十进制转换为二进制的方法类似，即整数部分的转换采取“除以8取余法”，小数部分的转换采用“乘以8取整

法”。此处不再赘述。

5. 十六进制与十进制间的转换

(1) 十六进制数转换成十进制数 先把十六进制数按权展开，然后按照十进制运算法则求和。

如： $\text{DFC.8H} = 13 \times 16^2 + 15 \times 16^1 + 12 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} = 3580.5$

(2) 十进制数转换成十六进制数 十进制数转换成十六进制数的方法与十进制转换为二进制的方法类似，即整数部分的转换采取“除以16取余法”，小数部分的转换采用“乘以16取整法”。此处不再赘述。

6. 非十进制数之间的转换

(1) 二进制数与八进制数之间的转换 转换方法是：以小数点为界，分别向左右每三位二进制数合成一位八进制数；每一位八进制数可展成三位二进制数，不足三位者补0凑齐三位。

例如：

$423.45\text{Q} = 100\ 010\ 011.100\ 101\text{B}$

$1001001.1101\text{B} = 001\ 001\ 001.110\ 100\text{B} = 111.64\text{Q}$

(2) 二进制与十六进制转换 转换方法：以小数点为界，分别向左右每四位二进制数合成一位十六进制数；每一位十六进制数可展成四位二进制数，不足四位者补0凑齐四位。

例如：

$(\text{ABCD.EF})_{16} = (1010\ 1011\ 1100\ 1101.1110\ 1111)_2$

$(101101101001011.01101)_2 = (0101\ 1011\ 0100\ 1011.0110\ 1000)_2 = (5\text{B}4\text{B}.68)_{16}$

1.5.2 二进制数的运算

二进制数有两种不同类型的运算：算术运算和逻辑运算。基本的算术运算有2种：加法和减法；基本的逻辑运算有4种：逻辑加（也叫“或”运算）、逻辑半加（也叫“异或”运算）、逻辑乘（也叫“与”运算）和取反（也叫“非”运算）。

1. 算术运算

(1) 算术运算——加法

规则一： $0+0=0$ ；

规则二： $0+1=1$ ；

规则三： $1+0=1$ ；

规则四： $1+1=10$ 。

简单地说，就是向高位进一。

(2) 算术运算——减法

规则一： $0-0=0$ ；

规则二： $0-1=1$ ；

规则三： $1-0=1$ ；

规则四： $1-1=0$ 。

简单地说，就是向高位借一。

2. 逻辑运算

(1) 逻辑运算——逻辑加（或运算）

规则一： $0+0=0$ ；

规则二： $0+1=1$ ；

规则三： $1+0=1$ ；

规则四： $1+1=1$ 。

(2) 逻辑运算——逻辑半加 (异或运算)

规则一: $0+0=0$;规则二: $0+1=1$;规则三: $1+0=1$;规则四: $1+1=0$ 。

简单地说, 就是参与运算的两位数相同时运算结果为 0, 相异结果为 1。

(3) 逻辑运算——逻辑乘 (与运算)

规则一: $0\times 0=0$;规则二: $0\times 1=0$;规则三: $1\times 0=0$;规则四: $1\times 1=1$ 。

(4) 逻辑运算——取反 (非运算)

“0”取反后是“1”, “1”取反后是“0”。

注意: 多位二进制数的算术运算会发生进位和借位处理, 而逻辑运算则按位独立进行, 位与位之间不发生关系。

1.6 信息在计算机内的表示

所有信息在计算机中都表示成二进制数, 主要分为数值的表示、字符的表示和图形信息的表示。

1.6.1 数值信息在计算机内的表示

计算机中的数值信息都是用二进制表示的。数值可以分为整数和实数两大类。这里的实数是既有整数又有小数的数。数在计算机内的表示形式叫机器数, 机器数所对应的数的实际值叫真值。

1. 整数

计算机中的整数可以分为“不带符号的整数”和“带符号的整数”两类。它们可以用 8 位、16 位、32 位甚至是 64 位来表示。

(1) 不带符号的整数 每一个二进制位都用来表示数的大小, 这种数叫不带符号的整数 (无符号数)。若把 $(11111111)_2$ 看作无符号数, 则它是最大的 8 位二进制数, 相当于十进制的 255。因此, 如果用二进制的 8 位数来表示, 那么不带符号的整数的取值范围是 $(00000000)_2 \sim (11111111)_2$, 即 $0 \sim 255$ 。

(2) 带符号的整数 如果要表示数的符号, 必须要用一个二进位作为其符号位, 一般用最高位即最左边的一位作为其符号位, 0 表示正号, 1 表示负号。如: 01010111 为正数; 11010111 为负数。

带符号的整数可以有三种表示形式: 原码、反码及补码。

① 原码: 用 0 或 1 表示符号位, 数值用其绝对值表示。

② 反码: 正数的反码与原码相同; 负数的反码为保持符号位不变, 其它各位逐位取反。如 01010111B 的反码为本身, 11010111B 的反码是 10101000B 。

③ 补码: (用于带符号数的运算) 正数的补码与其原码相同; 负数的补码为其反码末位加 1。如 01010111B 的补码为本身, 11010111B 的补码是 10101001B 。带符号的整数在计算机中一般用补码表示, 单字节补码的表示范围为: $-128 \sim +127$ 。

【例】 用 8 位补码运算, 求 $3-9$ 的真值。

解 $(3)_{\text{补码}} = (3)_{\text{原码}} = 00000011\text{B}, (-9)_{\text{补码}} = (-9)_{\text{反码}} + 1 = 11110111\text{B}$