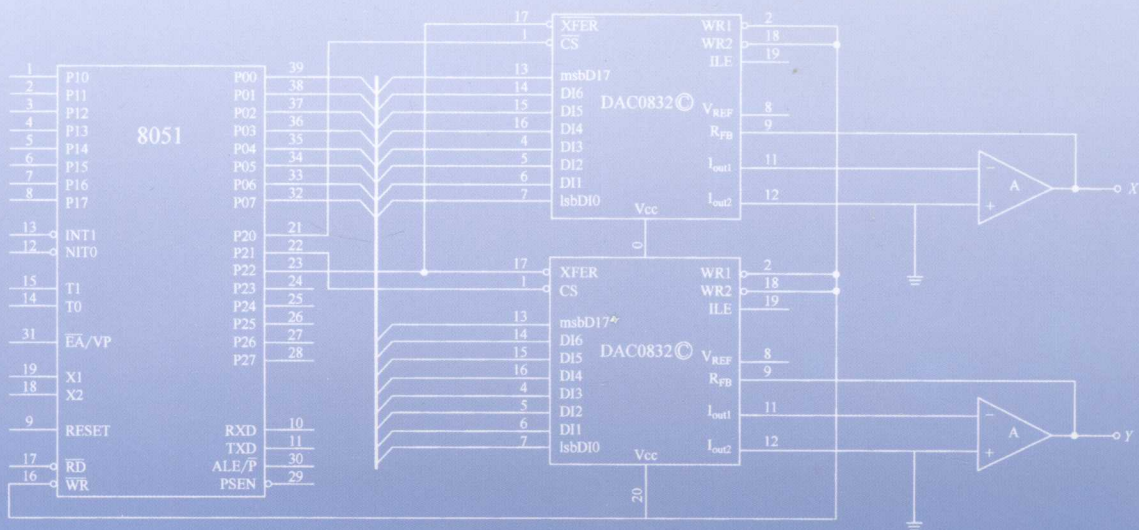


“十一五”规划教材

# 单片机原理及应用设计

白林峰 李国厚 主编 孔晓红 副主编



化学工业出版社

“十一五”规划教材

# 单片机原理及应用设计

白林峰 李国厚 主 编

孔晓红 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统全面地介绍了 MCS-51 系列单片机的系统结构、工作原理以及应用系统设计的一般方法。

全书共分为 9 章, 内容主要包括: 计算机与单片机产生、发展及应用概述; 单片机的系统结构及工作原理; 单片机的指令系统; 汇编语言程序设计; 单片机的中断系统及定时器; 单片机的系统扩展与接口技术; I<sup>2</sup>C 总线及外围接口芯片的应用; 单片机应用系统设计; 单片机的 C 语言程序设计等方面。

本书内容深入浅出, 丰富实用, 可作为大、中专院校自动化、电气、机电、电子、通信、计算机等相关专业的教材, 也可作为应用技术培训教材或相关领域的工程技术人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用设计 / 白林峰, 李国厚主编. —北京:  
化学工业出版社, 2009.2  
“十一五”规划教材  
ISBN 978-7-122-04406-8

I. 单… II. ①白… ②李… 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 (2008) 第 207825 号

---

责任编辑: 张建茹  
责任校对: 王素芹

装帧设计: 关 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: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 字数 508 千字 2009 年 3 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: 29.80 元

版权所有 违者必究

# 前 言

单片微型计算机简称单片机,也称微控制器,是微型计算机的一个重要分支,其诞生可谓是计算机发展史上的一个重要的里程碑。由于单片机具有体积小、成本低、集成度高、功能强、性能稳定、控制灵活等诸多优点,因而在计算机外围设备、网络设备、通信、智能仪器仪表、过程控制、航空航天、家用电器乃至智能玩具等领域获得了日益广泛的应用,可谓无处不在,特别适合构成机、电、仪一体化的智能设备,具有广大的工业、农业、军工和民用市场。在当前日渐趋热的嵌入式应用系统中,单片机占有重要的地位,并充分显示出强大的生命力和广阔的应用前景。单片机目前的年产量数以亿计,其数量之大,应用之广,是其他任何类型的计算机所无法比拟的。

自从20世纪80年代以来,中国在单片机应用领域取得了辉煌的成就,单片机已然成为新产品设计和旧技术改造的首选,许多相关领域的技术人员都渴望能迅速迈进单片机应用和开发的大门。目前在实际应用设计中使用的单片机类型很多,不同的单片机在整体结构和指令系统上各不相同。本书以当前较为常见的MCS-51系列单片机为例,系统地介绍了单片机的结构原理和实际应用系统设计。全书共分为9章,第1章概述了计算机与单片机产生、发展及应用的情况,第2章介绍了单片机的系统结构及工作原理,第3章介绍了单片机的指令系统,第4章介绍了单片机汇编语言程序设计,第5章介绍了单片机的中断系统及定时器,第6章介绍了单片机的系统扩展与接口技术,第7章介绍了I<sup>2</sup>C总线及外围接口芯片的应用,第8章介绍了单片机应用系统设计,第9章介绍了单片机的C语言程序设计。

本书在编写过程中力求循序渐进、系统全面,论述深入浅出,注重理论联系实际。在具体的叙述中,尽量采用简洁易懂的语言进行解释和说明,并结合多年的教学和工程应用经验,尝试从新的角度解释一些概念,可以说是本书在编写过程中力求呈现出的特色,以使读者对单片机有一个直观而系统的认识,并为读者从事实际系统设计提供有效的帮助。尽管单片机对于初学者而言显得比较抽象难懂,只要遵循循序渐进的原则,特别是在学习的过程中,如能结合典型实例边学边做,一定会取得事半功倍的效果。

本书由白林峰、李国厚主编,孔晓红任副主编。参加书稿编写、绘图和程序调试工作的还有张学铭、王秀霞、周杰、王应军、陆艺、邵斌、熊建国、王元利、高淑萍、李艳和张丽娜。其中第1、2章由李国厚编写,第3章由孔晓红编写,第4章及附录由王秀霞编写,第5章由张学铭编写,第6章的6.1~6.6由周杰编写,6.7~6.9由邵斌编写,6.10~6.12和第7章由王应军编写,第8章由白林峰编写,第9章由陆艺编写。全书由白林峰和李国厚统稿。

本书配有用于教学的多媒体课件,如有需要可联系:cipedu@163.com。

本书可作为大、中专院校学生的教材和广大科技工作者的参考书。本书在编写过程中,参考了目前许多优秀的单片机方面的论著和论文,在此谨向有关作者表示诚挚的谢意。限于水平,加之编写时间仓促,书中疏漏之处,恳请广大读者提出批评指正。

编者

2008年11月

# 目 录

第 1 章 单片机概述 .....	1	第 5 章 中断系统及定时器/计数器 .....	105
1.1 计算机的发展概况 .....	1	5.1 I/O 控制方式及中断 .....	105
1.2 计算机的特点和应用 .....	3	5.2 8051 单片机的中断系统 .....	108
1.3 计算机系统的组成 .....	5	5.3 中断的应用举例 .....	115
1.4 单片机概述 .....	9	5.4 定时器与计数器 .....	118
1.5 计算机中常用的数制与码制 .....	11	5.5 定时器/计数器的应用 .....	122
习题 .....	17	5.6 外部中断与定时器的综合应用 .....	127
第 2 章 MCS-51 系列单片机的组成		习题 .....	134
与工作原理 .....	18	第 6 章 单片机的系统扩展与接口技术 .....	136
2.1 MCS-51 系列单片机的硬件结构及		6.1 系统扩展概述 .....	136
端子功能 .....	18	6.2 程序存储器的扩展 .....	137
2.2 单片机的 CPU .....	22	6.3 数据存储器的扩展 .....	141
2.3 时钟和时钟电路 .....	23	6.4 接口技术概述 .....	147
2.4 复位和复位电路 .....	26	6.5 单片机的并行口及其应用 .....	148
2.5 存储器 .....	28	6.6 并行口的扩展 .....	152
2.6 并行输入/输出口 .....	36	6.7 串行接口技术 .....	168
习题 .....	39	6.8 拨码盘接口 .....	186
第 3 章 MCS-51 系列单片机的指令系统 .....	40	6.9 显示器接口技术 .....	189
3.1 指令系统概述 .....	40	6.10 键盘接口技术 .....	201
3.2 寻址方式 .....	42	6.11 打印机接口技术 .....	211
3.3 数据传送类指令 .....	46	6.12 数/模与模/数转换接口 .....	213
3.4 算术运算类指令 .....	56	习题 .....	220
3.5 逻辑运算类指令 .....	61	第 7 章 I <sup>2</sup> C 总线及外围接口芯片的应用 .....	223
3.6 控制转移类指令 .....	65	7.1 概述 .....	223
3.7 位操作类指令 .....	72	7.2 I <sup>2</sup> C 总线的操作与使用 .....	225
习题 .....	76	7.3 E <sup>2</sup> PROM 芯片 PCF8582 及其应用 .....	230
第 4 章 汇编语言程序设计 .....	79	7.4 带有日历/时钟的 RAM 芯片 PCF8583	
4.1 汇编语言概述 .....	79	及其应用 .....	234
4.2 汇编语言程序设计 .....	83	7.5 4 位 LED 驱动器 SAA1064T 及其	
4.3 分支程序设计 .....	85	应用 .....	239
4.4 循环程序设计 .....	89	7.6 8 位 A/D 与 D/A 转换器 PCF8591	
4.5 子程序设计 .....	92	及其应用 .....	241
4.6 查表程序设计 .....	95	习题 .....	244
4.7 算术与逻辑运算程序设计 .....	97	第 8 章 单片机应用系统设计 .....	245
4.8 码型转换程序设计 .....	98	8.1 单片机应用系统设计的一般过程 .....	245
习题 .....	101	8.2 单片机开发系统 .....	246

8.3 单片机应用系统的调试与故障诊断	248
8.4 单片机系统的可靠性设计	249
8.5 单片机在自动控制系统中的应用	253
8.6 数字温度传感器的应用	262
习题	279
<b>第9章 单片机的C语言编程</b>	<b>280</b>
9.1 C51数据的定义与操作	281
9.2 C51的运算符	285

9.3 C51的中断处理程序	286
9.4 Keil 8051 C编译器	287
9.5 C51编程实例	300
<b>附录</b>	<b>302</b>
附录1 MCS-51型单片机指令表	302
附录2 指令系统的英文说明	305
附录3 ASCII字符表	309
<b>参考文献</b>	<b>311</b>

# 第1章 单片机概述

单片机属于计算机的一个分支。在深入学习单片机之前，这里首先简单介绍一下计算机系统的一些基本知识，以便在此基础上建立起单片机的概念，为更好地学习和使用单片机奠定基础。

## 1.1 计算机的发展概况

随着生产的发展和社会的进步，人类使用的计算工具经历了从简单到复杂、从低级到高级的发展过程。计算工具先后经过了算盘、计算尺、手摇机械计算机、电动机械计算机和现代的电子计算机等阶段。

### 1.1.1 现代计算机的发展历史

电子计算机是一种在程序的控制下自动进行信息处理的电子装置。根据处理信号的不同，电子计算机一般可分为数字计算机、模拟计算机和数字模拟混合计算机。通常所说的计算机都是指数字计算机（简称计算机），能够直接对数字量信息进行加工处理，运算速度快，计算精度高；同时具有较强的逻辑判断能力，信息存储量大，在存储程序的控制下自动完成运算操作；此外还具有通用性强的特点，不同应用的用户只要通过编写不同的程序就可以解决相应的问题。

现代的计算机是在杰出的美籍匈牙利数学家冯·诺依曼（Von Neumann）提出的现代计算机的理论基础上发展起来的。1945年6月，他在题为《关于离散变量自动电子计算机的草案》的论文中第一次提出了在数字计算机内部的存储器中存放程序的概念（Stored Program Concept），这就是所有现代电子计算机的范式，称为“冯·诺依曼结构”，同时也规范和决定了计算机的发展方向。按照这一结构设计的计算机称为存储程序计算机（Stored Program Computer），又称为通用计算机。

1946年2月15日，世界上第一台现代电子数字计算机ENIAC（The Electronic Numerical Integrator and Calculator）在美国诞生。该机器是由美国宾夕法尼亚州立大学莫尔学院的J.W.Mauchly教授和J.P.Eckert教授领导研制的，开始了计算机技术的新纪元。这台计算机共用了1.8万多个电子管，7万个电阻器，有5百万个焊接点，占地170m<sup>2</sup>，总重量为30吨，耗电140kW，运算速度达到每秒5000次加法或300次乘法运算。

随着相关技术的迅速发展，计算机技术也取得了令人瞩目的更新换代，主要经历了以下几个发展阶段。

第一代是电子管计算机（1946~1957）。1946年，标志现代计算机诞生的ENIAC在费城公之于世。ENIAC代表了计算机发展史上的里程碑，它通过不同部分之间的重新接线编程，拥有并行计算的能力。ENIAC由美国政府和宾夕法尼亚大学合作开发。第一代计算机的特点是操作指令是为特定任务而编制的，不同的机器有各自不同的机器语言，功能受到限制，速度较慢，另一个明显特征是使用真空电子管和磁鼓储存数据。

第二代是晶体管计算机（1957~1964）。第二代计算机体积小，速度快，功耗低，性能更稳定。1948年，晶体管的发明代替了体积较大的电子管，电子设备的体积不断减小。1956



年,晶体管开始在计算机中使用,晶体管和磁芯存储器导致了第二代计算机的产生,此外还有现代计算机的一些部件,如打印机、磁带、磁盘、内存等。1960年,第二代计算机开始成功地应用商业领域、大学和政府部门中。在这一时期出现了更高级的COBOL和FORTRAN等语言,使计算机编程更容易。计算机相关的新职业(如程序员、分析员和计算机系统专家)和整个软件产业由此诞生。

第三代是集成电路计算机(1964~1972)。1958年,德州仪器公司(Texas Instruments, TI)的工程师Jack Kilby成功地3种电子元件结合到一片小小的硅片上,发明了集成电路(Integrated Circuit, IC)。后来更多的元件集成到单一的半导体芯片上,计算机变得更小,功耗更低,速度更快,可靠性更高。这一时期的发展还包括使用了操作系统,使得计算机在中心程序的控制协调下可以同时运行多个不同的程序。

第四代是大规模集成电路计算机(1972~现在)。大规模集成电路(Large Scale Integrated Circuit, LSI)可以在一个芯片上集成很多元件。到了20世纪80年代,超大规模集成电路(Very Large Scale Integration Circuit, VLSI)在芯片上集成了几十万个元件,后来的超大规模集成电路将数字扩充到百万级,可以在硬币大小的芯片上容纳数量众多的元件,当前的集成度达到千万级,使得计算机的体积和价格不断下降,而功能和可靠性不断增强。20世纪70年代中期,计算机制造商开始开发面向普通消费者的计算机。这时的小型机带有方便的软件包,供非专业人员使用的程序,如最受欢迎的字处理程序和电子表格程序等。1981年,国际商用机器公司(International Business Machine Corp., IBM)推出了面向家庭、办公室和学校应用的个人计算机(Personal Computer, PC)。20世纪80年代,市场竞争使得个人计算机的价格不断下降,微型计算机的拥有量不断增加,体积继续缩小。与IBM PC竞争的Apple Macintosh系列于1984年推出,Macintosh提供了友好的图形界面,用户可以用鼠标方便地进行操作。

电子计算机在短短的50多年里经过了电子管、晶体管、集成电路(IC)和超大规模集成电路(VLSI)4个阶段的发展,使计算机的体积越来越小,功能越来越强,价格越来越低,应用越来越广泛,目前正朝智能化(第五代)计算机的方向发展。

自第一台计算机问世以来,计算机技术飞速发展,计算机的性能和器件都发生了非常大的变化。通常根据所用逻辑元件的不同进行的时间阶段的划分,其各阶段特征如表1-1所示。

表 1-1 计算机时代简表

类别	时间	逻辑元件	软件	代表机器	运行速度
第1代	1946~1957	电子管	符号语言、汇编语言	UNIVAC-1	几千~几万次/秒
第2代	1958~1964	晶体管	程序设计语言、管理程序	IBM-7000	几万~几十万次/秒
第3代	1965~1970	中小规模集成电路	操作系统	IBM-360	几十万~几百万次/秒
第4代	1972以后	大规模集成电路	数据库系统、网络软件	IBM-PC	几千万~几亿次/秒

### 1.1.2 计算机的发展方向

计算机的发展之初是作为计算工具出现的,由于计算机的优越性能,目前已应用于国防、工业、教育、农业及日常生活等各个领域。根据应用功能的不同,计算机向以下几个方向发展。

#### (1) 大型化和巨型化

巨型机的运算速度快,存储量大,适用于要求高速、计算量大的场合,但体积大,价格较高,不能在日常生活中普及,只在少数专业领域中使用。



## (2) 微型化

微型计算机是第四代计算机发展的产物，又称 PC 机或微机。这种计算机不仅体积小，重量轻，而且价格便宜，普及得非常快，成为日常生活中的重要工具。

20 世纪 70 年代以后，由于大规模集成电路的发展，出现了中央处理器(Central Processing Unit, CPU)，也称为微处理器(Microprocessor)或微处理单元(Micro Processing Unit, MPU)，以微处理器为特征的微型计算机诞生了，其显著特点是微处理器由一片大规模集成电路组成，标志着计算机的发展和应用达到一个新阶段，大大扩展了计算机的应用领域。微型机的发展十分迅速，微处理器的性能和集成度几乎每两年翻一番，产品更新换代很快，这种换代主要以微处理器的字长作为标志，如表 1-2 所示。

表 1-2 微处理器换代简表

类 别	时 间	逻辑元件	CPU	标志性产品
第一代	1971~1972	中规模集成电路	4 位	Intel 4004
第二代	1972~1978	大规模集成电路	8 位	Zilog Z80
第三代	1978~1981	大规模集成电路	16 位	Intel 8086
第四代	1981~2000	超大规模集成电路	32 位	Intel 80486
第五代	2000~至今	超大规模集成电路	64 位	Intel Itanium

在微处理器的基础上，加上存储器、输入/输出电路、总线接口、外围设备等，就构成了微型计算机，也就是最常见的微机系统。

## (3) 网络化、智能化

计算机网络广泛应用于办公自动化、企业管理与生产自动化、军事、教育、医疗卫生等各个领域，以共享计算机网络中博大的软硬件资源。采用人工智能技术开发的各种专家系统，使各个领域专家的经验智慧得到更充分的利用。

# 1.2 计算机的特点和应用

## 1.2.1 计算机的特点

### (1) 运算速度快

由于电子技术的发展，计算机具有极高的运算速度。巨型机的运算速度可达万亿次/秒，这对运算量大、时间性强的任务特别重要，原来需要几十年时间才能完成的科学计算工作，现在只需很短时间就能完成。

### (2) 计算精度高

计算机只能处理二进制数“0”和“1”。一般来说，二进制位数越多，精度越高。通常把计算机处理的一组二进制数的位数叫做字长，普通的计算机的有效字长已达 32 位以上，能满足一般的应用要求，巨型机一般可达 64 位。理论上讲，增加计算机的字长，就可以获得更高的精确度。

### (3) 存储能力极强

计算机的存储器可以存放大量的信息。这些信息包括数据、计算指令等，计算机在需要时可以随时调用。

### (4) 在程序的控制下自动操作

人们把事先编好的程序存放在存储器内，在程序的控制下机器就可自动连续地进行各种操作，不需人工的干预。

### (5) 通用性强

在同一平台上,不同行业的用户可以通过编制不同的程序解决各自的问题,而不需改变硬件。因此,计算机广泛应用于科学计算、信息处理、自动控制等各种场合。

## 1.2.2 计算机的主要性能指标

在衡量一台计算机的性能时,应综合考虑系统结构、指令系统、硬件组成、软件配置以及外部设备等诸因素,不能仅凭一两项技术指标的高低而随意确定,通常有以下几个主要指标。

### (1) 字长

字长表示计算机能直接处理的二进制位数,代表了实际的处理能力。它的长短直接关系计算机的性能、用途和应用范围等。字长越长,计算精度越高,寻址范围越大。巨型机或大型机的字长为 64 位,中型机字长多为 32 位,小型机字长为 16~32 位,微型机字长为 4~32 位。很多微型机可以进行双倍字长、四倍字长的运算。

### (2) 主存储器量

主存储器就是内存,其大小表示计算机内部存储器存储信息的容量,可以按字长计算,也可以以字节为单位计算,一般按字节计算。一个字节包含 8 位二进制数,1024 个字节为 1KB (Byte),1024K 个字节为 1MB,1024M 个字节为 1GB,一般主存可以为几十 M 到几百 M。主存量越大,执行程序的速度越快。

### (3) 存取周期

存储器进行一次完整的读/写操作所需的时间,也就是从存储器中连续读/写一个字节所用的最小时间间隔,称为存取周期。目前,半导体存储器的存取周期通常在几十到几百纳秒之间。

### (4) 运算速度

计算机的运算速度一般用每秒内所能执行的指令条数来衡量,速度的单位用百万条指令/秒 (Million Instructions Per Second, MIPS) 表示。

### (5) 主频

主频指计算机的时钟频率,一般用 MHz 或 GHz 表示。主频越高,计算机的运行速度就越快。

存取周期和运算速度通常是衡量计算机运行速度的指标。除此之外,可靠性、指令条数和可扩展性等也是常用的技术指标。

## 1.2.3 计算机的应用

计算机由于具有强大的功能而应用广泛,主要体现在以下几个方面。

### (1) 数值计算

计算机可以完成复杂的科学计算。由于计算机具有计算速度快、计算精度高等特点,能够承担人力无法完成的计算工作,从而节省了大量的时间、人力、物力,获得的计算结果既准确又可靠。

### (2) 信息处理和事务管理

利用计算机对数据进行记录、合并、分类、传递、存储、计算、检索等处理称为信息处理。计算机能将大量的信息在短时间内完成加工,并能处理不同内容和形式的信息,如银行的计算机网络。企业管理中依靠计算机及时提供管理信息,提高决策过程中业务处理的正确性和速度,如财务管理、库存管理、销售管理等。

### (3) 自动控制

计算机对生产过程的控制用软件来实现,灵活方便,不同的生产工艺只需改变程序即可。计算机通过传感器采集和检测现场信号,经过模拟-数字(A/D)转换,输入计算机,计算机处理以后,通过数字-模拟(D/A)转换,直接调节和控制生产过程,实现工厂生产的自动化。计算机控制系统还能实现多回路、多参数的控制。

利用计算机实现的自动控制,不仅节省了人力和物力,而且提高了产量和质量。在化工或矿山等有毒、有害、危险等环境恶劣的场合,计算机控制的自动化设备可以替代人的许多工作。

### (4) 计算机辅助应用

计算机辅助设计(Computer-aided Design, CAD)是借助于计算机完成对建筑物、机械、电路、服装等的设计任务,缩短了设计周期,产品更新换代快,大大提高了工作效率。另外,CAD的绘图能力也用于绘画、广告创意和制作,电影动画中特殊的造型效果和特技,电子游戏节目的制作等。

计算机辅助制造(Computer-aided Manufacturing, CAM)利用计算机根据零件的参数直接控制机床对零件的加工,实现无图纸加工。CAD/CAM对制造业是一次了不起的革命,也代表了现代工业制造的发展方向。

计算机辅助教学(Computer-aided Instruction, CAI)利用计算机制作多媒体课件,融合声音、图像等生动直观的手段,提高了教学效果。

### (5) 人工智能

AI(Artificial Intelligence)研究如何利用计算机执行那些与人脑的职能有关的复杂功能,如自然语言翻译、语音识别、图像处理 and 专家系统等。许多专家系统在一些领域中的应用取得了了不起的成就。

### (6) 日常应用

计算机技术在日常生活的许多方面都有应用,如各类微型计算机控制的家用电器、娱乐产品、游戏机、智能玩具、电子词典和学习机等。

## 1.3 计算机系统的组成

一个完整的计算机系统由硬件和软件两部分组成。硬件一般指构成计算机实体的物理部件,软件是计算机正确运行并解决问题所需要的各种程序的总称。这两部分相互依赖,缺一不可。

### 1.3.1 计算机的基本结构

计算机中硬件系统结构之间的信息流动如图 1-1 所示。从图中可以看到,其中的信息有两类,一类是数据,包括各种原始数据、中间结果和程序等;另一类是控制信号,由控制器控制输入设备的启动或停止,控制运算器的运算处理,控制存储器的读写操作和输出结果等。

下面以计算机解决计算题为例说明计算机的工作过程,一个典型的计算处理主要包括以下几个环节:

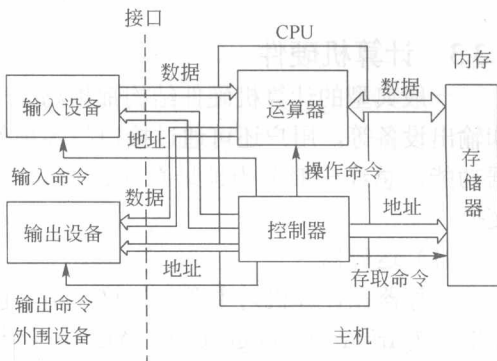


图 1-1 计算机硬件系统结构间的信息流动示意图

- 程序员或用户编好计算程序，并将程序和原始数据输入到内存中；
- 运算，启动机器开始工作；
- 取指令，控制器从内存的相应单元取出指令；
- 取操作数，控制器根据指令所给定的地址取出操作数；
- 完成运算，控制器根据操作码向运算器发出控制命令，由运算器完成具体的运算操作。

在上述的硬件结构中，人们一般把运算器、存储器和控制器合在一起称为计算机的主机，而把各种输入/输出设备称为计算机的外围设备或外部设备(peripheral equipment)，简称外设。在主机部分，又常常把运算器和控制器合在一起称为中央处理单元。在微型计算机中，把运算器和控制器集成在一块大规模集成电路上，称为微处理器或中央处理单元—CPU。

### 1.3.2 微机系统的组成

现代计算机多以微型计算机为主。下面以微机系统为例说明计算机的结构及工作原理。微机系统的组成如图 1-2 所示。

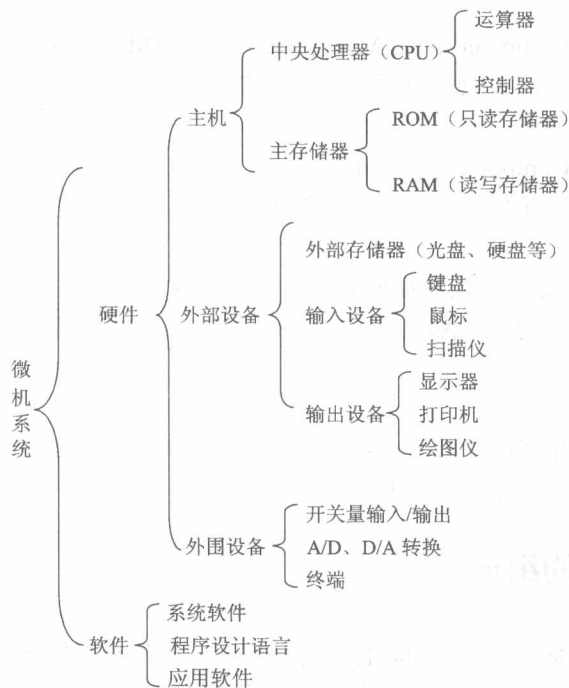


图 1-2 微机的系统组成

### 1.3.3 计算机硬件

一般典型的计算机硬件结构都指冯·诺依曼型，主要包括中央处理器、存储器、输入设备和输出设备等，用户还可通过接口与各种外设相连。在系统内部，各部件通过总线相连。根据功能，总线一般分为地址总线、数据总线和控制总线三类，用于完成各部件之间的信息交换。

#### (1) 运算器

运算器在计算机内主要起运算作用，包括算术运算和逻辑运算，其核心称为算术逻辑运算单元(Arithmetic Logic Unit, ALU)。运算器受控制器发来的控制信息的指挥，由加法器或累加器(Accumulator, 简称 ACC 或 A)、寄存器 B、状态标志寄存器 F(Flag)及通用寄存

器组等组成。累加器 A 用于寄存并向加法器提供参加运算的操作数之一(如被加数或被减数),寄存器 B 寄存并提供另一个操作数。

算术逻辑部件接受来自累加器 A 和寄存器 B 的操作数,完成运算,运算结果仍送回累加器 A,需要时经总线送 I/O 缓冲器输出。状态寄存器 F 用来存储运算结果中的相关特殊状态。

### (2) 控制器

控制器是指挥全机工作的中心。计算机是根据预先编好的程序工作的,程序中的指令规定了机器的一种操作,这种操作需要有关部件、总线按照时间先后次序配合完成,控制器的作用就是产生表示节拍的时序电位和时序脉冲,并根据指令规定的操作类别、条件组成各种相应的控制信号,按一定的时间和条件,把信号送到相应的线路中协调整机工作。计算机的一切工作都是在 CPU 的控制下进行的。

控制器由指令寄存器 (Instruction Register, IR)、指令译码器 (Instruction Decoder, ID)、程序计数器 (Program Counter, PC)、脉冲分配器、时钟电路和操作控制部件 (Control Unit, CU) 组成。

在实际应用中,一般把运算器和控制器合称为中央处理单元 (CPU),中央处理单元和存储器合称为主机,主机加上输入/输出设备及其接口电路,才构成电子计算机。在微型计算机中,运算器和控制器由一块大规模集成芯片构成,称为微处理器、微处理单元或中央处理单元。

### (3) 存储器

存储器是用来存储程序、数据等信息的物理介质。根据用途的不同,一般可将存储器分为内存储器和外存储器。内存又称主存,是直接与 CPU 交换信息的器件,速度比较快,但容量相对较小,断电后信息不能保存。外存一般用于存储容量大的信息,断电后不会丢失,CPU 在需要时可以存取,但速度慢,作为贮存的补充,目前使用较多的是硬盘、U 盘和光盘等,早期使用的软盘则已经被淘汰。

根据存储工作原理的不同,一般又将内存分为只读存储器 (Read-only Memory, ROM) 和随机读写存储器 (Random Access Memory, RAM)。ROM 内的信息只能读取而不能改写,断电后信息不会丢失。RAM 内的数据则可以随机读写,使用非常方便,但断电时信息不能保存。随着现代电子技术的发展,又出现一些新型存储器,如电可擦除只读存储器 (Electrically Erasable Programmable Read-only Memory, EEPROM/E<sup>2</sup>PROM)、闪存 (Flash Memory) 等,ROM 和 RAM 的区分已不是非常严格了。

一个存储器有很多存储单元,每个单元都有自己的编号,称为地址。被存储的信息分别存放在这些存储单元里。计算机只能识别逻辑状态 1 和 0,在存放信息时,指令是一组二进制编码(简称机器码),以字节为单位,每个字节包含 8 位二进制数。CPU 执行程序时,从存储器里顺序取出这些机器码,翻译为对应的操作时序和操作电平,从而指挥各部件协调工作。

### (4) 输入/输出设备

输入/输出设备的作用是辅助主机的工作,提供主机和外设之间交换信息的工具,常用的外部设备主要有键盘、鼠标、显示器、打印机、扫描仪、绘图仪等。

① 键盘 最常用的输入设备,可输入各种命令、程序和数据。

② 鼠标 鼠标在桌子上移动,配合按键可完成相应操作,使用起来直观、方便,具有较强的绘图功能。

③ 显示器 一种常用的输出设备,可显示 ASCII 字符或图形。

④ 打印机 完成字符、图形的打印功能，常用的打印机有点阵式打印机、喷墨打印机和激光打印机 3 种。点阵式打印机为击打式，打出的字符由一组点阵组成。喷墨打印机通过喷嘴的喷墨来进行打印，速度较快。激光打印机为非击打式，打印出的字符清晰度高，速度快，无机械噪声，但价格较高。

⑤ 绘图仪 可输出高质量的图形，如机械加工图和电子电路印刷板图等。

#### (5) 外围设备

计算机用于复杂的控制系统时，如要保证控制系统的正常工作，还必须要有外围器件的支持。常用的外围器件有模数转换器 (A/D)、数模转换器 (D/A)、开关量输入/输出、数据终端以及上网时需要的调制解调器或网络适配器等外部器件。这些外围器件不是组成计算机系统的必备器件，一般根据实际的需要来选用。

#### (6) 总线

CPU 与内存及外设之间的信息交换通过总线完成。所谓总线实际上就是系统中信息传送的公共通道，一般分为地址总线、数据总线和控制总线 3 种。总线的位数在一定程度上决定了计算机的运行速度。

① 地址总线 AB (Address Bus) 用于传送地址信息，表示指令或数据的存放的地址。地址线越多，寻址空间（即管理内存的大小）越大。地址总线一般是单向的。

② 数据总线 DB (Data Bus) 负责计算机内部各部件之间、内部和外设之间的数据交换，数据总线一般是双向的，既能读，又能写。

③ 控制总线 CB (Control Bus) 计算机各部件之间协调工作所需的控制信号就是由这组总线传送的，控制信号是由控制器根据指令码的规定发出的。

综上所述，计算机硬件有 5 大基本部件组成，即典型的冯·诺依曼结构。CPU 是计算机的核心，计算机主要是由电子逻辑器件构成的，外部设备则有机械、电子、电磁等不同形式，两者不能直接进行连接，需要计算机的接口电路进行协调。

### 1.3.4 计算机的指令和指令系统

#### (1) 指令 (instruction)

指令是指要计算机完成某个具体的操作所发出的指示或命令，并且由计算机直接识别执行。一台计算机可以有許多指令，作用也各不相同，所有指令的集合称为计算机的指令系统。

指令通常包含操作码 (operation code) 和操作数 (operand) 两个部分，操作码指明计算机应该执行的某种操作的性质与功能，即指示计算机执行何种操作；操作数指出参加操作的数据或数据所在单元的地址。

指令按其功能可分为两种类型。一类是命令计算机的各个部件完成基本的算术逻辑运算、数据存取和数据传送等操作，属于操作类指令；另一类则是用来控制程序本身的执行顺序，实现程序的分支、转移等操作，属于控制转移类指令。

#### (2) 指令系统

指令系统能具体而集中地体现计算机的基本功能。从计算机系统结构的角度看，指令系统是软件和硬件的界面，指令是对计算机进行程序控制的最小单位。

指令系统的内核是硬件。当一台机器指令系统确定之后，硬件设计师根据指令系统的约束条件构造硬件组织，由硬件支持指令系统使其功能得以实现。而软件设计师在指令系统的基础上建立程序系统，扩充和发挥机器的功能。

对不同种类的机器而言，指令系统的指令数目与种类呈现出比较大的差异。指令系统决定了计算机的能力，也影响着计算机的体系结构。一台计算机的指令种类总是有限的，但在



人们的精心设计下，可以编制出各式各样的程序。计算机的能力固然取决于它自身的性能，但更取决于编程人员的技术水平。

### 1.3.5 计算机软件

软件是计算机系统中必不可少的组成部分，一般分为系统软件、应用软件和程序设计语言。

#### (1) 系统软件

没有软件支持的计算机硬件通常称为裸机。裸机是不能正常工作的，需要管理并使之发挥功能的一系列程序，称为系统软件，一般由计算机制造者提供，包括监控程序、操作系统、汇编软件、解释程序、实用程序和诊断程序等。有了这些程序，才能实现主机和外设之间的信息交换，响应用户命令，构成人机接口，将用户程序翻译成机器码并解释和执行等操作。

#### (2) 程序设计语言

程序设计语言是用来编写程序所使用的语言，一般分为机器语言、汇编语言和高级语言3类。

① 机器语言 程序是指令的集合，指令规定中央处理器执行某种特定的操作，计算机设计者用二进制数码为计算机编制一套指令系统。一条指令通常对应一种基本操作，每台计算机的指令系统就是该机器的机器语言。

机器语言直接用二进制代码“0”和“1”形式表示，能够被计算机识别和执行，所以也经常称为机器码。这种语言是面向机器的，不太直观，容易出错，不同的计算机之间一般不能通用。

② 汇编语言 这种语言也是面向机器的程序语言，采用助记符表示，比较直观，容易记忆和检查，用这种语言编写的程序称为源程序（Source Program）。源程序经过汇编程序（Assembler）编译后，变成机器语言，计算机才能识别并执行。汇编语言与机器指令一一对应，不同的计算机之间汇编语言程序也互不通用。

③ 高级语言 高级语言是面向求解问题过程的语言，不依赖具体的计算机结构和指令系统，是一种通用语言。对同一问题编写的程序可以应用于各种计算机，更接近解决实际问题，从而使程序设计简单容易，常用的高级语言有 BASIC、FORTRAN、C 语言等。

高级语言编写的程序也不能被计算机识别，必须将它翻译成机器语言。这种翻译工作由计算机的翻译程序或编译程序完成。

#### (3) 应用软件

应用软件是指用户专业软件，是为解决某一专业领域的问题而编写的程序，如常用的文字处理软件 WORD、多媒体播放软件 Media Player、电子线路 CAD 软件 Protel 等。

## 1.4 单片机概述

从前面的介绍可以看出，一个计算机系统的硬件是由 CPU、内存、内部功能单元和 I/O 接口电路等部分组成，每一个部分至少需要一片集成电路构成，如图 1-3 所示。单片机是微型计算机的一个分支，但它区别于常规微型计算机的特点就在于结构上。

单片机就是单片微型计算机（Monolithic Microcomputer 或 Single Chip Microcomputer）的简称，也称为微控制器（Microcontroller），是指集成在一个芯片上的微型计算机，也就是把组成微型计算机的各种功能部件，包括 CPU、随机存取存储器 RAM、只读存储器 ROM、基本输入/输出（Input/Output）接口电路、定时/计数器、中断控制、系统时钟及系统总线等



部件都制作在一块集成芯片上, 构成一个完整的微型计算机, 从而实现微型计算机的基本功能。单片机内部结构示意图如图 1-4 所示。

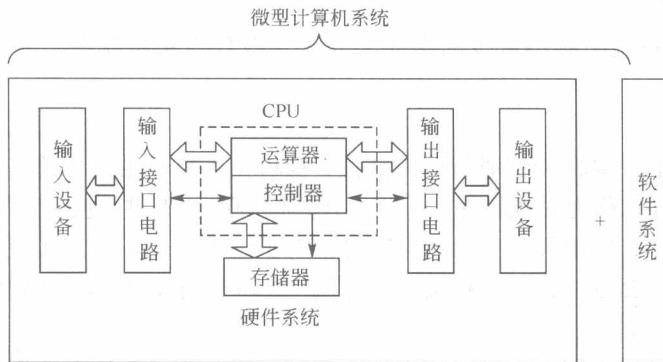


图 1-3 微型计算机系统组成示意图

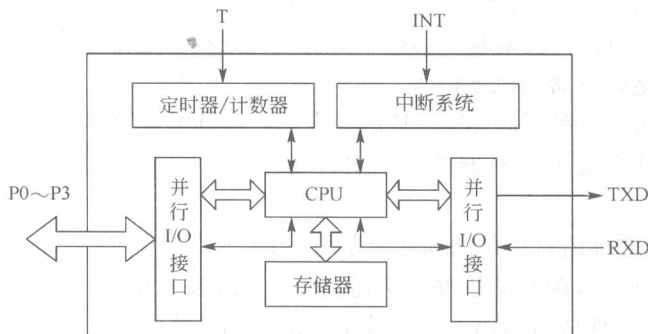


图 1-4 单片机内部结构示意图

单片机实质上是一个芯片。在实际应用中, 通常很难将单片机直接和被控对象进行电气连接, 必须外加各种扩展接口电路、外部设备、被控对象等硬件以及软件, 才能构成一个单片机应用系统。由于单片机在自动控制中应用得十分广泛, 因此国外文献中一般都称为微控制器。

### 1.4.1 单片机的发展过程

第一片单片机是 Intel 公司 1976 年开发的 MCS-48 系列单片机。

第一阶段 (1976~1978) 为低性能单片机阶段, 以 Intel 公司的 MCS-48 为代表, 采用了单片结构, 即在一块芯片内含有 8 位 CPU、定时/计数器、并行 I/O 口、RAM 和 ROM 等, 主要用于工业领域。

第二阶段 (1978~1982) 是高性能单片机阶段。这一类单片机带有串行 I/O 口, 8 位数据线、16 位地址线可以寻址的范围达到 64K 字节、控制总线、较丰富的指令系统等。这类单片机的应用范围较广, 并在不断地改进和发展。

第三阶段 (1982~1990) 为 16 位单片机阶段。16 位单片机除 CPU 为 16 位外, 片内 RAM 和 ROM 容量进一步增大, 实时处理能力更强, 体现了微控制器的特征。例如 Intel 公司的 MCS-96 主振频率为 12M, 片内 RAM 为 232 字节, ROM 为 8K 字节, 中断处理能力为 8 级, 片内带有 10 位 A/D 转换器和高速输入/输出部件等。

第四阶段 (1990~) 是微控制器的全面发展阶段, 各公司的产品在尽量兼容的同时, 向

高速、强运算能力、寻址范围大以及小型廉价方面发展。

单片机经历了由4位机到8位机再到16位机的发展过程。单片机制造商很多，主要有美国的 Intel、Motorola、Zilog、Atmel 等公司。目前，单片机正朝着高性能、多品种方向发展。近年来，32位单片机已进入了实用阶段，但是由于8位单片机在性能价格比上占有优势，而且8位增强型单片机在速度和功能上向现在的16位单片机挑战，在未来相当长的时期内，8位单片机仍是单片机的主流机型。

单片机是在一块芯片上集成了一台微型计算机所需的 CPU、存储器、输入/输出部件和时钟电路等。由它构成的应用系统具有体积小、成本低、使用灵活、性能好、易于产品化等特点，所以单片机强大的面向控制能力，使它在工业控制、机电一体化、智能仪表、计算机外围设备、家用电器、机器人、军事设备等方面得到了日益广泛的应用，可以说已经渗透到社会生活的各个方面。

### 1.4.2 单片机的发展趋势

#### (1) 微型化

芯片集成度的提高为单片机的微型化提供了可能。早期单片机大量使用双列直插式封装，随着贴片工艺的出现，单片机也大量采用了各种符合贴片工艺的封装，大大减小了芯片的体积，方便了嵌入式系统的设计。

#### (2) 低功耗

现在新的单片机功耗越来越小，很多单片机都提供了多种工作方式，包括等待、暂停、睡眠、空闲和节电等方式。扩大电源电压范围以及在较低电压下仍然能工作是当今单片机发展的目标之一。目前，一般单片机都可以在 3.3~5.5V 的条件下工作，一些厂家甚至生产出可以在 2.2~6V 条件下工作的单片机。

#### (3) 高速化

早期 MCS-51 单片机的典型时钟为 12MHz，目前西门子公司 C500 系列单片机的（与 MCS-51 兼容）时钟频率为 36Mz，EMC 公司的 EM78 系列单片机的时钟频率高达 40MHz，现在已有更快的 32 位 100 MHz 的单片机产品出现。

#### (4) 集成更多资源

当前在单片机内部已集成了越来越多的部件，包括一些常用功能电路，如定时/计数器、比较器、A/D 转换器、D/A 转换器、串行通信接口、看门狗 Watchdog 和 LCD 控制器等。有的单片机为了构成控制网络，内部提供了网络控制模块，甚至将网络协议固化在其内部，方便了实际应用。

#### (5) 通信及网络功能加强

有些单片机内部由于封装了网络控制模块，使用这类单片机可十分容易地构成所需要的网络系统。特别是在控制系统较为复杂时，构成一个控制网络十分方便。目前，将单片机嵌入式系统和 Internet 连接起来已是一种趋势。

#### (6) 专用型单片机发展加快

专用型单片机具有最大程度简化的系统结构，资源利用率最高，大批量使用有着可观的经济效益。

## 1.5 计算机中常用的数制与码制

计算机是一个自动的信息加工工具，不论是指令还是数据，若想存入计算机中，都必须