



普通高等教育“十二五”规划教材

卓越工程师系列教材

单片机及应用原理教程

刘海成 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材
卓越工程师系列教材

单片机及应用原理教程

主 编 刘海成
副主编 秦进平
编 写 宋起超 张继东 曲贵波
主 审 叶树江



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书立足于 MCS-51 经典结构,以广泛应用的 AT89S52 单片机为应用对象深入浅出地讲述单片机原理及应用系统设计原理。全书内容采用汇编与 C51 并行的撰写方式,方便对比学习,深入浅出,符合工程应用需求。同时,书中深度融合了微机原理课程中的核心知识,尤其是在汇编指令的深入剖析、中断系统的分析和存储器的扩展方法等方面讲解细致,可以绕过微机原理课程直接学习本书中内容。

全书以应用为出发点,重视设计思路和应用技巧,并能抓住单片机应用的共性问题,深入剖析和整合知识脉络,试图在讲明单片机原理的同时,通过凝练共性技术来讲述单片机的工程应用原理,使读者建立起嵌入式系统的概念,从而构架起电气信息和仪器仪表类工程领域与嵌入式系统应用的桥梁。

本书可以作为电气信息类和仪器仪表类专业单片机原理及接口技术等课程的教材或参考书,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机及应用原理教程/刘海成主编. —北京:中国电力出版社, 2012. 7

普通高等教育“十二五”规划教材. 卓越工程师系列教材
ISBN 978-7-5123-3311-6

I. ①单… II. ①刘… III. ①单片微型计算机-高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 162698 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 10 月第一版 2012 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 508 千字

定价 38.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

随着半导体技术和计算机技术的迅猛发展,各种各样的新型嵌入式计算机在应用数量上已经远远超过通用计算机,小到 mp3、手机、数码摄像机等微型数字化产品,大到智能家电、车载电子设备和工业控制等领域,已经成为嵌入式产品的主要应用市场对象。区别于 PC 机,我们将非 PC 的计算机应用系统称之为嵌入式系统。

目前嵌入式系统技术已经成为了最热门的技术之一,吸引了大批的优秀人才投入其中。作为系统核心的嵌入式计算机包括微控制器(MCU)、数字信号处理器(DSP)和嵌入式微处理器(MPU)等。单片机应用系统作为最典型且相对简单的嵌入式系统,极具性价比优势,各种产品一旦用上了单片机,就能起到使产品升级换代的功效,常在产品名称前冠以形容词——“智能型”,如智能型洗衣机等。

实际上,以单片机为核心的应用系统设计就是在单片机软件的组织下协调电路中各个器件有序工作,完成原来的这些器件分离时无法完成的功能。其根据市场需求按照一定的构思原则(成本低、可靠性高、体积小、功能强和易于升级等)在最短的时间内完成产品设计,采用的技术越成熟先进、功能越强大、成本越低,市场上相对需求就越大,产品就越成功,这就是电子工程师的自身的价值。对于单片机及应用技术原理的初学者最关心的问题就是“如何学好单片机?”。学好单片机及应用技术是电气信息和仪表类工程师的必备素质。单片机应用技术是实践性很强的一门技术,可以说“单片机是玩出来的”,只有多“玩”,也就是多练习、多实际操作,才能真正掌握它;不要被一些流行词汇所迷惑,最根本的是先了解最基础的知识,不要观望,防止徘徊不前,一事无成。掌握单片机的应用开发,入门并不难,难的是长期坚持、探索和不遗余力的学习与实践。

单片机最显著的特点就是一片芯片即可构成一个计算机系统。高可靠性、功能强、高速度、低功耗和低价位,一直是衡量单片机性能的重要指标,也是单片机占领市场、赖以生存的必要条件。在各具特色和优势的单片机各品种竞相投放市场的当代,如何选择学习目标是关键的问题之一。考虑到学习的典型性,本书立足于 MCS-51 经典结构,以广泛应用的 AT89S52 单片机为应用对象深入浅出的讲述单片机及应用系统设计原理。力求具有以下特色:

第一,本书采用汇编与 C51 并行的撰写方式,讲述单片机原理及接口技术,旨在避免学生长期滞留于汇编层面,不利于单片机应用系统设计层面的软件设计。全面采用汇编与 C51 并行撰写的单片机教材还未见于图书市场。

第二,微机原理、单片机原理与接口技术一直是电类专业嵌入式系统类课程保留的模式。本书力求将微机原理与单片机原理有机结合,以掌握必要概念、思想和不影响单片机的学习为原则,跨越早已失去现实应用意义的 8086。同时,将接口技术完全融入课程,形成单片机与应用技术的全面融合。

第三,本书力求采用较新且常用的元器件作为讲述和应用对象。总线的学习以存储器、液晶应用和串行总线扩展为依托,重在讲解接口扩展方法及对应软件设计要点。而 I/O 扩

展按照目前主流的串行扩展法讲述，避免过于陈旧的 8155 和 8255 等 I/O 扩展方法的讲解，系统总线扩展向主流的 PLD 方向引领。旨在总体上不失总线时序及其接口技术的学习和讲解的同时，使读者与具体工程技术应用和技术发展主流快速接轨。

在单片机技术日益广泛应用的今天，较全面系统的讲述单片机及应用系统设计原理的书较少见，尤其立足国内 C51 教学的现状，采用汇编与 C51 并行的撰写方式的书籍符合教学需求，也符合工程应用需求。本书试图在讲述单片机原理的同时，通过单片机的应用来讲述单片机的应用原理，使读者建立起嵌入式系统应用的概念。

全书由刘海成编写（第 2、4、5、7、11 章）主持编写并统稿，秦进平（第 1、6 章）担任副主编，宋起超（第 8、9 章）、张继东（第 3、10 章）和曲贵波（第 12 章和附录）参与部分章节编写。教材全面借鉴了 CDIO 工程教育理念，深入企业一线调研，还与 Intel 移动通信技术北京有限公司李飞工程师和江苏嘉钰新能源技术有限公司余兵工程师等进行深入探讨，对书稿内容全方位工程化优化调整，切合企业对人才能力需求。全书经叶树江教授审阅，提出了很多宝贵意见，在此表示由衷的感谢。同时，书中参考和应用了许多学者和专家的著作和研究成果，在此也向他们表示诚挚的敬意和感谢。

该书叙述简洁，涵盖内容广，知识容量大，涉及的应用实例多。厚基础，重应用，加强了与其他课程间的联系。

本书虽然力求完美，但是水平有限，错误之处在所难免，敬请读者不吝指正和赐教，不胜感激！

编 者

liuhaicheng@126.com

2012 年 3 月



目 录

前言

第1章 单片机与嵌入式系统基础	1
1.1 单片机与嵌入式系统概述	1
1.2 计算机组成及工作模型	4
1.2.1 CPU的内部结构	4
1.2.2 总线与接口	7
1.2.3 存储器	8
1.2.4 模型机的工作过程	10
1.3 MCS-51系列单片机	12
1.3.1 MCS-51经典架构单片机	12
1.3.2 MCS-51单片机的发展及典型产品	16
1.3.3 MCS-51单片机最小系统	19
1.4 MCS-51的存储器结构	20
1.4.1 MCS-51存储器构成	20
1.4.2 MCS-51单片机的特殊功能寄存器	23
习题与思考题	27
第2章 MCS-51指令系统与汇编程序设计	28
2.1 MCS-51系列单片机汇编指令格式及标识	28
2.1.1 指令格式	28
2.1.2 指令中用到的标示符	29
2.2 MCS-51系列单片机的寻址方式	29
2.3 MCS-51系列单片机指令系统	32
2.3.1 数据传送指令	33
2.3.2 算术运算指令	37
2.3.3 逻辑运算指令	40
2.3.4 位操作指令	42
2.3.5 控制转移指令	44
2.4 MCS-51系列单片机汇编程序设计常用伪指令	50
2.5 MCS-51系列单片机汇编程序设计	53
2.5.1 延时程序设计	53
2.5.2 数据块复制粘贴程序	54
2.5.3 数值大小条件判断设计	54
2.5.4 数学运算程序	55

2.5.5 数据的拼拆和转换	59
2.5.6 多分支转移(散转)程序	61
2.5.7 比较与排序	62
习题与思考题	64
第3章 Keil C51 语言程序设计基础与开发调试	69
3.1 C51 与 MCS-51 单片机	69
3.2 C51 的数据类型	70
3.3 数据的存储类型和存储模式	74
3.3.1 C 语言标准存储类型	74
3.3.2 C51 的数据存储类型	74
3.3.3 C51 的存储模式	75
3.4 C51 中绝对地址的访问	76
3.5 C51 的运算符及表达式	78
3.6 C51 应用要点	79
3.7 μ Vision3 集成开发环境	80
3.8 单片机应用系统的开发工具与调试	84
3.8.1 单片机应用系统的开发工具	84
3.8.2 单片机应用系统的调试	85
习题与思考题	87
第4章 中断与中断系统	88
4.1 中断机制与中断系统运行	88
4.2 MCS-51 单片机的中断系统	89
4.2.1 MCS-51 中断源与中断向量	89
4.2.2 中断允许控制	91
4.2.3 中断优先级控制	92
4.2.4 中断响应	94
4.3 中断程序的编制	94
4.4 MCS-51 多外部中断源系统设计	97
习题与思考题	98
第5章 MCS-51 单片机的 I/O 接口及人机接口技术初步	99
5.1 MCS-51 的 I/O 接口结构	99
5.2 MCS-51 的 I/O 驱动电路设计	102
5.3 I/O 口与上下拉电阻	105
5.4 MCS-51 单片机与 LED 显示器接口	107
5.4.1 LED 显示器的结构与原理	107
5.4.2 LED 数码管显示器的译码方式	108
5.4.3 LED 数码管的显示方式	109
5.5 MCS-51 单片机与键盘的接口	112

5.5.1 键盘的工作原理	112
5.5.2 独立式键盘与单片机的接口	116
5.5.3 矩阵式键盘与单片机的接口	117
习题与思考题	121
第6章 单片机系统总线与系统扩展技术	122
6.1 单片机系统总线和系统扩展方法	122
6.1.1 MCS-51 单片机系统总线结构	123
6.1.2 MCS-51 的系统总线时序	124
6.1.3 基于系统总线进行系统扩展的总线连接方法	126
6.2 系统存储器扩展举例	129
6.2.1 程序存储器扩展	129
6.2.2 数据存储器扩展	131
6.2.3 程序存储器与数据存储器综合扩展	132
6.3 输入/输出接口及设备扩展	133
6.3.1 利用 74HC573 和 74HC244 扩展的简单 I/O 接口	133
6.3.2 利用多片 74HC573 和系统总线扩展输出口	134
6.3.3 利用多片 74HC244 和系统总线扩展输入口	136
6.4 并行接口扩展技术及应用小结	137
习题与思考题	137
第7章 MCS-51 单片机的定时/计数器及应用	139
7.1 定时/计数器及应用概述	139
7.2 定时/计数器 T0 和 T1	139
7.2.1 T0 和 T1 定时/计数器的主要特性	139
7.2.2 定时/计数器 T0、T1 的结构及工作原理	140
7.2.3 定时/计数器 T0 和 T1 的相关 SFR	141
7.2.4 定时/计数器 T0 和 T1 的工作方式	142
7.2.5 定时/计数器 T0 和 T1 的初始化编程及应用	144
7.3 定时/计数器 T2	148
7.3.1 定时/计数器 T2 的 SFR	149
7.3.2 定时/计数器 T2 的工作方式	150
7.3.3 定时/计数器 T2 应用举例	152
7.4 定时、计时器应用	154
7.4.1 定时器典型设计举例：(作息时间控制) 数字钟/万年历的设计	154
7.4.2 定时器典型设计举例：赛跑电子秒表的设计	160
同类典型应用设计、分析与提示	164
篮球计时计分牌的设计	164
7.5 时间间隔、时刻测量及应用	164
7.5.1 时间间隔、时刻的测量及应用概述	164

7.5.2 时间间隔、时刻测量应用：超声波测距仪的设计	164
同类典型应用设计、分析与提示	170
利用单摆测重力加速度	170
(扭摆法) 转动惯量测试仪的设计	171
基于 RC 一阶电路的阻容参数测量及应用	171
7.6 频率测量及应用	174
7.6.1 频率的直接测量方法——定时计数	175
7.6.2 通过测量周期测量频率	176
7.6.3 组合法频率计的设计	176
同类典型应用设计、分析与提示	180
多谐振荡器测电阻或电容	180
心率计的设计	181
里程表、计价器和速度表的设计 (光电编码盘、霍尔元件)	182
习题与思考题	182
第 8 章 MCS-51 单片机的串行口	183
8.1 嵌入式系统数据通信的基本概念	183
8.2 MCS-51 单片机串行口的结构及通信原理	186
8.3 MCS-51 单片机串行口的波特率设置及初始化	189
8.4 MCS-51 单片机串行口的异步点对点通信及 RS232 接口应用	190
8.4.1 MCS-51 单片机串行口的异步点对点通信	190
8.4.2 RS-232 接口	198
8.5 多机通信与 RS-485 总线系统	202
8.5.1 多机通信原理	202
8.5.2 RS-485 接口与多机通信	208
* 8.5.3 RS-485 总线通信系统的可靠性分析及措施	211
* 8.5.4 基于 RS485 的网络节点软件设计	214
习题与思考题	220
第 9 章 串行扩展技术	221
9.1 SPI 总线扩展接口及应用	221
9.1.1 SPI 总线及其应用系统结构	221
9.1.2 SPI 总线的接口时序	222
9.1.3 用 MCS-51 的串行口扩展并行口	224
* 9.2 SPI 总线应用——采用日历时钟芯片 DS1302 实现电子钟表	227
9.2.1 DS1302 简介	227
9.2.2 DS1302 与单片机的接口	230
9.3 I ² C 串行总线扩展技术	233
9.3.1 I ² C 串行总线概述	233
9.3.2 I ² C 总线的数据传送	234

9.3.3	I ² C 总线数据传送的模拟	238
9.3.4	I ² C 总线存储器的扩展	246
* 9.4	单总线技术与基于 DS18B20 的温度检测系统设计	247
9.4.1	DS18B20 概貌	247
9.4.2	DS18B20 的内部构成及测温原理	248
9.4.3	DS18B20 的访问协议	249
9.4.4	DS18B20 的自动识别技术	251
9.4.5	DS18B20 的单总线读写时序	252
9.4.6	DS18B20 使用中的注意事项	253
9.4.7	单片 DS18B20 测温应用程序设计	254
	习题与思考题	256
第 10 章	人机接口技术进阶	257
* 10.1	LED 点阵屏技术	257
10.2	1602 字符液晶及其接口技术	258
10.2.1	1602 总线方式驱动接口及读写时序	259
10.2.2	操作 1602 的 11 条指令详解	260
10.2.3	1602 液晶驱动程序设计	262
* 10.3	ST7920 (128×64 点) 图形液晶及其接口技术	267
10.3.1	ST7920 引脚及接口时序	267
10.3.2	ST7920 显示 RAM 及坐标关系	268
10.3.3	ST7920 指令集	270
10.3.4	ST7920 的 C51 例程	272
	习题与思考题	277
第 11 章	A/D、D/A 及接口设计	278
11.1	D/A 转换器原理、接口技术及应用要点	278
11.1.1	D/A 转换器原理及指标	278
11.1.2	D/A 转换器与单片机的连接	280
11.1.3	MCS-51 单片机与 DAC0832 的接口技术	281
11.1.4	基于 TL431 的基准电压源设计	287
11.2	A/D 转换器原理、接口技术及应用要点	287
11.2.1	A/D 转换器原理及指标	287
11.2.2	A/D 转换器的主要性能指标	289
11.2.3	ADC0809 与 MCS-51 的接口	290
* 11.3	TLC2543 及其接口应用	294
* 11.4	4½ 位双积分型 A/D 转换器——ICL7135 及其接口技术	297
	习题与思考题	301
第 12 章	单片机应用系统设计	302
12.1	单片机应用系统结构及设计	302

12.1.1 单片机应用系统结构	302
12.1.2 单片机应用系统的设计内容	304
12.2 单片机应用系统的一般设计过程及原则	304
12.2.1 硬件系统设计原则	304
12.2.2 应用软件设计原则	304
12.2.3 应用系统开发过程	305
12.3 单片机应用系统的抗干扰技术	306
12.3.1 软件抗干扰	306
12.3.2 硬件抗干扰	306
12.3.3 “看门狗”技术	308
12.4 单片机应用系统的低功耗设计	309
12.4.1 单片机应用系统的硬件低功耗设计	309
12.4.2 单片机应用系统的软件低功耗设计	311
12.5 优良人机界面与单片机应用系统设计	314
习题与思考题	316
附录 I 课程设计或实习参考题目	317
附录 II MCS-51 指令速查表	319
附录 III ASCII 表	323
参考文献	324

第 1 章 单片机与嵌入式系统基础

1.1 单片机与嵌入式系统概述

长期以来,计算机按其体系结构、运算速度、结构规模、适用领域,分为大型计算机、中型计算机、小型计算机和微型计算机。作为计算机发展的重要里程碑,20 世纪 70 年代初诞生了微型计算机 (Microcomputer)。它的中央处理单元 (Central Processing Unit, CPU) 是将运算器 (Arithmetic Unit, AU)、控制器 (Control Unit, CU) 和寄存器组 (Registers, R) 等功能部件,通过内部总线集成到一块芯片上,称为微处理器 (Microprocessor),如图 1.1 所示。

以微处理器为核心,以总线为信息传输的中枢,并配以大容量的存储器 (Memory, M)、输入输出接口 (Input/Output, I/O) 所组成的计算机即为微型计算机。以微型计算机为中心,配以电源和相应的外部设备 (简称外设),以及指挥协调微型计算机工作的软件,就构成了微型计算机系统,典型的就是个人计算机 (Personal Computer, PC)。

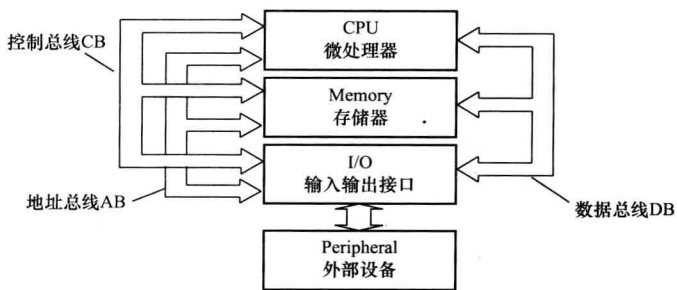


图 1.1 微型计算机组成

计算机是应数值计算要求而诞生的,在相当长的时期内,计算机技术都是以满足越来越多的计算量为目标来发展的。但是随着单片机的出现,它使计算机从海量数值计算进入到智能化控制领域,随着计算机技术的迅速发展以及计算机技术和产品对其他行业的广泛渗透,适应应用需求,计算机就开始了沿着通用计算机和嵌入式计算机两条不同的道路发展。其中,通用计算机具有计算机的标准形态,通过装配不同的应用软件,以类似的形式存在,并应用在社会的各个方面,其典型产品为 PC 机;而嵌入式计算机则以嵌入式系统的形式隐藏在各种装置、产品和系统中。

在现在日益信息化的社会中,计算机和网络已经全面渗透到日常生活的每一个角落,用户需要的已经不再仅仅是进行工作管理和生产控制的通用计算机,各种各样的新型嵌入式系统设备在应用数量上已经远远超过通用计算机。一台通用计算机的外部设备中就包含了多个嵌入式微处理器,键盘、鼠标、硬盘、显卡、显示器、网卡、声卡、Modem、打印机、扫描仪、数码相机、USB 集线器等均是嵌入式微处理器控制的。任何一个普通人可能拥有从大到小的各种使用嵌入式技术的电子产品,小到 mp3、手机等微型数字化产品,大到网络家电、智能家电、车载电子设备、数控机床、智能工具、工业控制、通信、仪器仪表、船舶、航空航天、军事装备等方面,都是嵌入式计算机的应用领域。当我们满怀憧憬与希望跨入 21 世纪大门的时候,计算机技术也开始进入一个被称为后 PC 技术的时代。

目前,嵌入式系统技术已经成为了最热门的技术之一,吸引了大批的优秀人才投入其中。可以认为凡是带有微处理器的专用软硬件系统都可以称为嵌入式系统。作为嵌入式系统核心的微处理器包括三类:微控制器(Microcontroller Unit, MCU)、嵌入式微处理器(Embedded Microprocessor Unit, EMPU)和数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)。

1. 微控制器(MCU)

微控制器就是我们常说的单片机。单片机,顾名思义,就是将整个计算机系统集成到一块芯片中。它以某一种CPU为核心,芯片内部集成非易失性程序存储器(PROM或Flash)、数据存储器SRAM、总线、定时/计数器、并行I/O接口、各种串行I/O接口(UART、SPI、I²C、USB、CAN或IrDA等)、PWM、A/D和D/A等,或者集成其中一部分外设。概括的讲,一块芯片就成了一台计算机,因此有人将单片机称为单片微型计算机。其最大特点就是单片化,体积大幅减小,从而使功耗和成本降低、可靠性提高,极具性价比优势。微控制器是目前嵌入式系统工业应用的重要组成部分。

单片机具有性能高、速度快、体积小、价格低、稳定可靠、应用广泛、通用性强等突出优点。单片机的设计目标主要是体现“控制”能力,满足实时控制(就是快速反应)方面的需要。它在整个装置中,起着类似人类头脑的作用,它出了问题,整个装置就瘫痪了。各种产品一旦用上了单片机,就能起到使产品升级换代的功效,常在产品名称前冠以形容词——“智能型”,如智能型洗衣机等。目前单片机渗透到我们生活的各个领域,几乎很难找到哪个领域没有单片机的踪迹。工业自动化过程的实时控制和数据处理、广泛使用的各种智能IC卡、民用豪华轿车的安全保障系统、摄像机、全自动洗衣机的控制,以及程控玩具、智能仪表等,这些都离不开单片机。

2. 嵌入式微处理器(EMPU)

一般涵盖单片机功能相同,但在运算能力方面有所增强。同时,其工作温度、电磁干扰抑制、可靠性等方面也做了各种增强。

3. 数字信号处理器(DSP)

DSP对CPU的总线架构等进行优化,且采用流水线技术,使其适合于实时执行数字信号处理算法,指令执行速度快。在数字滤波、FFT谱分析等方面广泛应用。

那么什么是嵌入式系统呢?嵌入式系统就是以应用为中心、以计算机技术为基础、软硬件可裁剪、适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。嵌入式系统是将现今的计算机技术、半导体技术和电子技术,以及各个行业的具体应用相结合的产物,这决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

单片机作为最典型的嵌入式系统,它的成功应用推动了嵌入式系统的发展。当今单片机产品琳琅满目,性能各异,但是8位内核单片机仍占主要市场,比较流行的8位内核单片机有基于MCS-51及改进系列单片机,Atmel的AVR系列Harward结构RISC(Reduced Instruction Set CPU)单片机、Microchip公司的PIC系列RISC单片机和Freescale公司的68HC系列等。优秀的16位单片机有TI(Texas Instruments)公司的MSP430系列单片机等。不过,尽管各种单片机各具特色,但仍以MCS-51为核心的单片机产品为主流,PIC、AVR等多单片机品种共存。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。

那么如何衡量嵌入式计算机的性能和指标呢？

1. 字长

所谓字长是指计算机的运算器一次可处理（运算、存取）二进制数的位数，数据总线的宽度及内部寄存器和存储器的长度等。字长越长，一个字能表示数值的有效位就越多，计算精度也就越高，速度就越快。然而，字长越长其硬件代价相应增大，设计计算机时要考虑精度、速度和硬件成本等方面因素。通常，8 位二进制数称为 1 个字节，用 B (byte) 表示；2 个字节定义为 1 个字，用 W (Word) 表示；32 位二进制数就定义为双字，用 DW (Double Word) 表示。

2. 存储器容量

存储器容量是表征存储器存储二进制信息多少的一个技术指标。存储容量一般以字节为单位计算。并将 1024B（即 1024×8 ）简称为 1KB，1024KB 简称为 1MB（兆字节），1024MB 简称为 1GB（吉字节），存储容量越大，能存放数据就越多。

3. 指令系统

指令系统是计算机所有指令（Instruction）的集合，其中包含的指令越多，计算机功能就越强。机器指令功能取决于计算机硬件结构的性能。丰富的指令系统是构成计算机软件的基础。

4. 指令执行时间

指令执行时间是反映计算机运算速度快慢的一项指标，取决于系统的主时钟频率、指令系统的设计以及 CPU 的体系结构等。对于计算机而言，一般仅给出主时钟频率和每条指令执行所用的机器周期数。所谓机器周期就是计算机完成一种独立操作所持续的时间，这种独立操作是指像存储器读或写、取指令操作码等，计算机的主频高，指令的执行时间就短，其运算速度就快，系统性能就好。如果强调平均每秒可执行多少条指令，则根据不同指令出现的频度，乘以不同的系数，求得平均运算速度，这时常用 MIPS (Millions of Instructions Per Second, 百万条指令每秒) 作单位，当然，前提是工作时钟为 1 MHz。因此，指令执行时间是一项评价速度的重要技术指标。

5. 外设扩展能力及配置

外设的扩展能力是指计算机系统配接多种外部设备的可能性和灵活性，一台计算机允许配接多少外部设备，对系统接口和软件的研制有重大影响。尤其是当芯片集成大量片上外设时，无论是从系统的集成度、可靠性、体积和性价比等方面考虑都具有应用优势。

6. 软件开发工具

所谓软件是指能完成各种功能的计算机程序的总和，软件是计算机的灵魂。优秀的软件开发工具和丰富的开发资源是嵌入式应用系统开发的必备条件。

综上所述，对一台计算机性能的评价，要综合它的体系结构、存储器容量、运算速度、指令系统、外设的多寡及软件开发工具等各项技术指标，才能正确评价与衡量其性能的优劣。

当今的计算机和嵌入式技术正向着功能更强、应用灵活方便、速度更快、价格更廉，向着网络化、智能化的方向发展。计算机已经在科学计算与数据处理、生产过程的实时监控和自动化管理、计算机辅助设计、计算机辅助制造、计算机辅助测试、消费电子、信息家电、

航空航天等领域广泛应用,计算机及其应用技术将以前所未有的速度、深度和广度向前发展,迅速改变人们传统的生活方式,给未来的政治、经济发展带来日益深远的影响,并且已经成为人们生产和生活不可或缺的重要工具。

1.2 计算机组成及工作模型

一个实际的计算机结构,无论对哪一位初学者来说都显得太复杂了,因此不得不将其简化、抽象成为一个模型机。先从模型机入手,然后逐步深入分析其基本工作原理。

图 1.2 所示为一个较详细的由中央处理单元 (CPU)、存储器 (Memory, M) 和 I/O 接口组成的计算机硬件模型。为了说明其工作原理,在 CPU 中仅画出主要的功能部件,并假设其中的所有功能部件,如寄存器、计数器和内部总线都为 8 位宽度,可以保存、处理和传送 8 位二进制数据,即本模型机为 8 位机。这里显而易见,大家也就同时知晓 16 位和 32 位机等的具体含义。

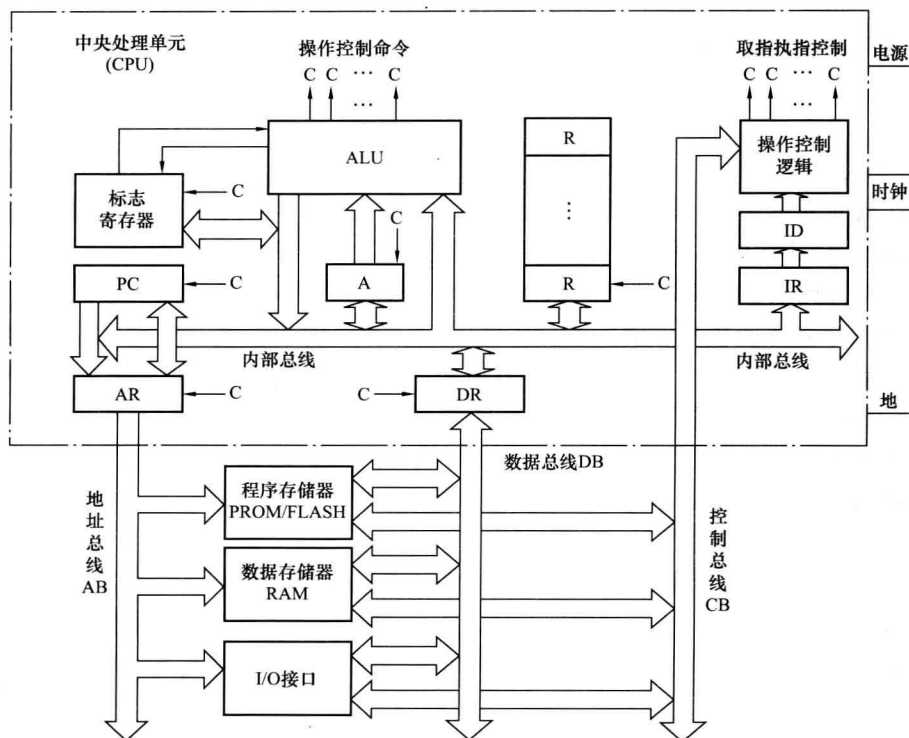


图 1.2 微型计算机硬件模型

1.2.1 CPU 的内部结构

CPU 是计算机的控制核心,它的功能是执行指令,完成算术运算、逻辑运算等功能,并对整机进行控制。由运算器和控制器组成。

1. 运算器

运算器的核心是算术逻辑单元 (Arithmetic Logic Unit, ALU),该模型机的运算器中还有累加器 (Accumulator, A)、标志寄存器和寄存器组等,并通过相互之间连接的总线组

成。它的主要作用是进行数据处理与加工,所谓数据处理是指加、减、乘、除等算数运算或进行与、或、非、异或、移位、比较等逻辑运算。这些数据的处理与加工都是在 ALU 中进行的,不同的运算用不同的操作控制命令(在图 1.2 中用 C 来表示)。ALU 有两个输入端,通常接收两个操作数,一个操作数来自累加器 A,另一个操作数由内部数据总线提供,它可以使用寄存器组的某个寄存器 R 中的内容,也可以是由数据寄存器(Data Register, DR)提供的某个内存单元中的内容。ALU 的运算结果一般放在累加器 A 中。

2. 控制器

控制器由程序计数器(Program Counter, PC)、指令寄存器(Instruction Register, IR)、指令译码器(Instruction Decoder, ID)、用于操作控制的组合逻辑阵列和时序发生器等电路组成,是发布操作命令的“决策机构”。控制器的主要作用有解题程序与原始数据的输入、从内存中取出指令并译码、控制运算器对数据信息进行传送与加工、运算结果的输出、外部设备与主机之间的信息交换、计算机系统中随机事件的自动处理等,都是在控制器的指挥、协调与控制下完成的。

3. CPU 中的主要寄存器

(1) 累加器。累加器是 CPU 中最繁忙的寄存器。运算前,作操作数输入;运算后,保存运算结果;累加器还可通过数据总线向存储器或输入输出设备读取(输入)或写入(输出)数据。

(2) 数据寄存器。数据寄存器(Data Register, DR)是 CPU 的内部总线和外部数据总线的缓冲寄存器,主要用来缓冲或暂存指令及指令的操作数,也可以是一个操作数地址。

(3) 寄存器组。寄存器组是 CPU 内部工作寄存器,用于暂存数据、地址等信息。一般分为通用寄存器组和专用寄存器组,通常由程序控制。每种 CPU 的寄存器组构成均有不同,但对用户却十分重要。用户可以不关心 ALU 的具体构成,但对寄存器组的结构和功能都必须清楚,这样才能充分利用寄存器的专有特性,简化程序设计,提高运算速度。很多种类型计算机的 CPU,其寄存器组中的某些寄存器或全部具有累加器功能,放弃专用累加器。

(4) 指令寄存器、指令译码器、操作控制逻辑。这是控制器的主要组成部分。指令寄存器 IR 用来保存当前正在执行的一条指令,这条指令送到这令译码器,通过译码,由操作控制逻辑发出相应的控制命令 C,以完成指令规定的操作。

(5) 程序计数器。程序计数器 PC 用作指令地址指针,是控制器的一部分,用来存放下一条要执行的指令在程序存储器中的地址。由于通常程序是以指令的形式存放在程序存储器中,当程序顺序执行时,第一条指令地址(即程序的起始地址)被置入 PC,此后每取出一个指令字节,程序计算器便自动加“1”。当程序执行转移、调用或返回指令时,其目标地址自动被修改并置入 PC,程序便产生转移。总之,PC 总是指向下一条要执行的指令地址。

(6) 地址寄存器。地址寄存器(Address Register, AR)是 CPU 内部总线和外部地址总线的缓冲寄存器,是 CPU 与系统地址总线的连接通道。当 CPU 访问存储单元或 I/O 设备时,用来保持其地址信息。

4. 标志寄存器

标志寄存器是用来存放 ALU 运算结果的各种特征状态的,与程序设计密切相关,如算

术运算有无进（借）位、有无溢出、结果是否为零等。这些都可通过标志寄存器的相应位来反映。程序中经常要检测这些标志位的状态以决定下一步的操作。状态不同，操作处理方法就不同。微处理器内部都有一个标志寄存器，但不同型号的 CPU 其名称、标志数目和具体规定亦有不同。下面介绍几种常用的标志位。

(1) 进位标志 (Carry, C 或 CY)。两个数在做加法或减法运算时，如果高位产生了进位或借位，该进位或借位就被保存在 C 中，有进（借）位 C 被置“1”，否则 C 被清“0”。另外，ALU 执行比较等操作也会影响 C 标志。

【例 1.1】 分析 $105+160=265$ ，其中： $105=69\text{H}=01101001\text{B}$ ， $160=\text{A0H}=10100000\text{B}$ ，因此

$$\begin{array}{r} 01101001 \\ +10100000 \\ \hline 10001001 = 109\text{H} = 265 \end{array}$$

运算 $105+160=265$ ，显然 265 超出了 8 位无符号数表示范围的最大值 255，所以产生了第九位的进位 CY（简称 C），若对于 8 位二进制运算，无视进位 CY 将导致运算结果错误。

当运算结果超出计算机位数的限制，会产生进位，它是由最高位计算产生的，在加法中表现为进位，在减法中表现为借位。

(2) 零标志 (Zero, Z)。当 ALU 的运算结果为零时，零标志 (Z) 即被置“1”，否则 C 被置“0”。一般加法、减法、比较与移位等指令会影响 Z 标志。

(3) 符号标志 (Sign, N)。符号标志供有符号数使用，它总是与 ALU 运算结果的最高位的状态相同。在有符号数的运算中， $N=1$ 表示运算结果为负， $N=0$ 表示运算结果为正。很多 CPU 将符号标志也称为负标志。

(4) 溢出标志 (Overflow, OV)。在有符号数的二进制算术运算中，如果其运算结果超过了机器数所能表示的范围，并改变了运算结果的符号位，则称之为溢出，因而 OV 标志仅对有符号数才有意义。

例：

$$\begin{array}{r} 107 \qquad 01101011 \\ +92 \qquad +01011100 \\ \hline 199 \qquad 11000111 = -71\text{H} \end{array}$$

两正数相加，结果却为一个负数，这显然是错误的。原因就在于，对于 8 位有符号数而言，表示的范围为 $-128 \sim +127$ 。而我们相加后得到的结果已超出了范围，这种情况即为溢出，当运算结果产生溢出时，置 $\text{OV} = "1"$ ，反之 $\text{OV} = "0"$ 。

无符号数加法的溢出判断，通过进位位 C 来判断。有符号数加法的溢出与无符号数加法判断有本质不同，计算机要设立不同的硬件单元。有符号数的和运算，符号位和数值位一

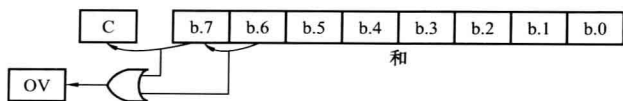


图 1.3 溢出判断

同参加计算，如图 1.3 中，有符号数运算的溢出位 OV 并非由 C 决定，而是由 C 与 b.6 向 b.7 的进位的异或确定，即只有这两个进位有且仅有一个进位时结果发生溢出。