

微型计算机 原理及应用

陈光军 主编◎薛迪 姜庆昌 副主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



微型计算机原理及应用

主 编 陈光军
副主编 薛 迪 姜庆昌
参 编 史庆武 李顺治 马晓君 闫 丹
李红军 于泳红
主 审 龙泽明 颜兵兵

机 械 工 业 出 版 社

为方便广大读者对微型计算机技术学习的需要,本书对微型计算机中的基本概念、工作原理及关键技术进行了系统讨论。全书以弄懂原理、掌握应用为编写宗旨,在内容安排上注重系统性、逻辑性、先进性与实用性。

全书共9章,内容包括:计算机基础知识,16位微型计算机的基本组成电路、工作原理、指令系统、程序设计、汇编语言及汇编程序,32位微型计算机的特点及总体结构等。书中精选出的例题典型翔实、富有教益,同时配合章节内容,设置了相关习题,以加深读者对知识的理解,达到练习和培养动手解决问题能力的目的。

本书可作为高等学校机械自动化、电气化、电子信息及其他电气信息类专业本科生的教材,也可供相关领域内的工程技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机原理及应用/陈光军主编. —北京:机械工业出版社,2017.5
ISBN 978-7-111-55987-0

I. ①微… II. ①陈… III. ①微型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP36

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第023861号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍 杨明远

责任校对:张薇 封面设计:马精明

责任印制:李昂

中国农业出版社印刷厂印刷

2017年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.25印张·443千字

0001—2500册

标准书号:ISBN 978-7-111-55987-0

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

微型计算机原理及接口技术是自动化、电气、电子信息等理工科专业的一门重要的专业基础课，课程设置的目的是让学生掌握微型计算机的基本组成、工作原理、接口功能及其与系统的连接，从而建立微型计算机的整机概念，并在此基础上让学生具有微机应用系统软件开发的初步能力。为适应学生学习微型计算机原理及接口技术的需要，编者结合多年从事微机原理这一专业基础课教学的经验，从教和学的角度出发编写了这本教材。

本书以 8086 CPU 为背景，系统地讲解了 16 位微型计算机的基本工作原理，8086 指令系统及其汇编语言程序设计，输入输出接口及常用芯片，中断与中断管理，数模与模数转换，最后对高性能 32 位微处理器做了介绍，具有一定的参考价值和实用价值。

在编写过程中，编者注重深入浅出、循序渐进，让读者加快基本概念的建立；对知识点的讲解，尽可能地采用图示法，让读者有更深、更清晰的感性认识；在汇编语言程序设计和接口技术上配以较多的程序设计例题，每章后面附以习题，有利于读者尽快掌握程序设计方法和计算机接口技术。

本书得到了国家自然科学基金（51675231）、中国博士后基金（2015M571358）和佳木斯大学教学研究项目（JYLA2012-016）的资助。

本书的第 1 章和第 4 章由佳木斯大学陈光军编写，第 2 章和第 9 章由佳木斯大学姜庆昌编写，第 3 章由佳木斯大学薛迪编写，第 5 章的第 1 节和第 7 章由佳木斯大学史庆武编写，第 5 章的第 2、3、4 节和第 8 章由大庆广播电视大学李顺治编写，第 6 章由佳木斯大学马晓君编写，课后习题由佳木斯电机股份有限公司闫丹、李红军和佳木斯大学于泳红编写。全书由陈光军统稿，由龙泽明教授和颜兵兵教授主审，龙泽明教授和颜兵兵教授对此书的编写提出许多宝贵建议。在此向他们表示深切谢意。

本书在编写过程中参考了国内外相关领域内一些专家学者的论著，在此表示感谢。由于编者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 5 月

目 录

前言

第1章 概述.....	1
1.1 绪论	1
1.1.1 微型计算机的发展史.....	1
1.1.2 微型计算机的特点.....	2
1.1.3 微型计算机的应用领域.....	3
1.2 微型计算机的组成	4
1.2.1 微处理器	4
1.2.2 微型计算机	5
1.2.3 微型计算机系统	5
1.3 微型计算机的工作过程和 主要性能指标	5
1.3.1 微型计算机的工作过程.....	5
1.3.2 微型计算机的主要性能指标	5
1.4 微机系统中采用的先进技术.....	6
1.4.1 流水线技术	6
1.4.2 高速缓冲存储器	6
1.4.3 CISC 和 RISC.....	7
1.4.4 多核心技术	7
1.5 微型计算机中数的表示.....	8
1.5.1 数制及相互转换	8
1.5.2 符号数的表示及运算.....	11
1.5.3 计算机中常用的编码.....	14
1.6 二进制数的算术运算及其加法电路	16
1.6.1 二进制数的相加	16
1.6.2 半加器电路	17
1.6.3 全加器	17
1.6.4 半加器及全加器符号.....	18
1.6.5 二进制数的加法电路.....	18
1.6.6 二进制数的减法运算.....	19
课后习题	20
第2章 8086/8088 微处理器	21
2.1 16 位微处理器概述	21
2.2 8086/8088 微处理器的结构.....	22
2.2.1 8086/8088 的内部结构.....	22
2.2.2 8086/8088 寄存器的结构.....	24
2.3 8086/8088 微处理器的工作 模式及引脚功能	27
2.3.1 8086/8088 的工作模式.....	27
2.3.2 8086/8088 的引脚功能.....	27

2.4 8086/8088 存储器组织和 I/O 组织.....	32
2.4.1 存储器的分段管理.....	32
2.4.2 内存的物理地址形成.....	33
2.4.3 存储器的分体结构.....	33
2.4.4 8086/8088 I/O 组织	34
2.5 8086/8088 系统配置	35
2.5.1 最小模式下的典型配置	35
2.5.2 最大模式下的基本配置	36
2.6 8086/8088 微处理器时序.....	40
2.6.1 8086/8088 的总线周期.....	40
2.6.2 系统的复位及启动.....	41
2.6.3 8086 最小模式下的总线操作	41
2.6.4 8086 最大模式下的总线操作	44
课后习题.....	46
第3章 8086/8088 指令系统.....	47
3.1 8086/8088 的指令格式.....	47
3.1.1 指令的助记符格式.....	47
3.1.2 指令的机器码格式.....	48
3.2 8086/8088 的寻址方式.....	50
3.2.1 操作数的寻址方式.....	50
3.2.2 指令地址的寻址方式.....	55
3.3 8086/8088 的指令系统.....	56
3.3.1 数据传送类指令.....	57
3.3.2 算术运算类指令.....	63
3.3.3 逻辑运算与移位类指令	70
3.3.4 串操作类指令	74
3.3.5 控制转移类指令.....	78
3.3.6 处理器控制类指令.....	84
课后习题.....	85
第4章 汇编语言程序设计.....	88
4.1 汇编语言概述	88
4.1.1 机器语言、汇编语言和高级语言.....	88
4.1.2 汇编语言程序结构.....	89
4.2 汇编语言语句的组成.....	90
4.2.1 字符集	90
4.2.2 保留字与标识符.....	90
4.2.3 常量、变量与标号.....	90
4.2.4 表达式及运算符.....	91
4.3 伪指令语句	98

4.3.1 处理器选择伪指令	99	第 6 章 可编程接口芯片	161
4.3.2 数据定义伪指令	99	6.1 可编程接口芯片概述	161
4.3.3 符号定义伪指令	100	6.2 可编程并行接口芯片 8255A	161
4.3.4 段定义伪指令 SEGMENT 和 ENDS	101	6.2.1 8255A 的内部结构及引脚功能	161
4.3.5 过程定义伪指令 PROC 和 ENDP	104	6.2.2 8255A 的工作方式	163
4.3.6 程序开始与结束伪指令	104	6.2.3 8255A 的控制字及初始化	170
4.3.7 定义符号名伪指令 LABEL	105	6.2.4 8255A 的应用实例	171
4.3.8 结构定义伪指令 STRUC	106	6.3 可编程定时/计数器 8253	172
4.4 宏指令语句及其应用	107	6.3.1 8253 的内部结构及引脚功能	172
4.4.1 宏操作伪指令	107	6.3.2 8253 的控制字及初始化	173
4.4.2 宏指令与子程序的区别	113	6.3.3 8253 的工作方式与工作时序	174
4.5 DOS 系统功能调用	114	6.3.4 8253 应用实例	180
4.5.1 常用 DOS 软中断	114	6.4 可编程串行通信接口芯片 8251A	181
4.5.2 DOS 系统的功能调用	116	6.4.1 概述	181
4.5.3 打印功能调用	118	6.4.2 8251A 的内部结构及外部引脚	186
4.5.4 日期与时间功能调用	119	6.4.3 8251A 的控制字及其工作方式	191
4.6 汇编语言程序设计	119	6.4.4 8251A 串行接口应用举例	194
4.6.1 汇编语言程序设计步骤	119	课后习题	195
4.6.2 顺序结构程序设计	120	第 7 章 中断与中断管理	196
4.6.3 分支结构程序设计	123	7.1 概述	196
4.6.4 循环结构程序设计	124	7.1.1 中断的基本概念	196
4.6.5 子程序结构程序设计	129	7.1.2 中断处理过程	196
4.7 汇编语言程序的上机过程	135	7.1.3 中断优先权排队	197
4.7.1 源文件的建立和汇编	135	7.1.4 中断嵌套	199
4.7.2 目标文件的链接	136	7.2 8086 中断系统	200
4.7.3 执行文件的调试	137	7.2.1 外部中断(硬件中断)	200
课后习题	137	7.2.2 内部中断(软件中断)	201
第 5 章 输入/输出接口	139	7.2.3 中断向量表	202
5.1 I/O 接口概述	139	7.2.4 8086 中断响应过程	203
5.1.1 CPU 与 I/O 设备之间交换的信息	140	7.3 中断控制器 8259A	204
5.1.2 I/O 接口的主要功能	141	7.3.1 8259A 内部结构	204
5.1.3 I/O 接口的编址方式	142	7.3.2 8259A 引脚信号	206
5.2 I/O 端口读写技术	143	7.3.3 8259A 工作方式	207
5.2.1 I/O 端口地址译码技术	143	7.3.4 8259A 命令字	212
5.2.2 I/O 端口的读写控制	145	7.3.5 8259A 级联系统	221
5.3 I/O 设备数据传送控制方式	148	课后习题	223
5.3.1 程序控制传送方式	148	第 8 章 数-模与模-数转换及应用	224
5.3.2 中断控制传送方式	152	8.1 数-模转换及应用	224
5.3.3 DMA 传送方式	153	8.1.1 数-模转换器的基本原理	224
5.4 简单的输入/输出接口芯片	155	8.1.2 数-模转换器的性能参数	225
5.4.1 芯片功能简介	155	8.1.3 8 位 D-A 转换器 DAC 0832	227
5.4.2 芯片应用举例	158	8.2 模-数转换及应用	229
课后习题	160	8.2.1 数-模转换步骤和转换原理	230
		8.2.2 数-模转换步骤和转换原理	233

8.2.3	ADC 0809A-D 转换器	234	9.5.1	多任务及其转换	260
8.2.4	ADC 0809 与系统总线的连接	237	9.5.2	保护	262
	课后习题	238	9.5.3	保护方式下的控制转移	267
第 9 章	Intel 32 位微处理器	239	9.6	80×86 的寻址方式及指令系统	272
9.1	32 位微处理器的 CPU 结构	240	9.6.1	80×86 的数据类型和全地址	272
9.2	32 位微处理器的寄存器结构	242	9.6.2	80×86 指令的寻址方式	273
9.2.1	基本体系结构寄存器	242	9.6.3	80386/80486 增强与增加的指令	275
9.2.2	系统级寄存器	244	9.7	Pentium 微处理器	279
9.3	32 位微处理器的外部引脚功能	246	9.7.1	Pentium 微处理器的结构	279
9.3.1	地址总线 ($A_2 \sim A_{31}$ 和 $BE_0 \# \sim BE_3 \#$)	246	9.7.2	Pentium 微处理器流水线的 工作原理	280
9.3.2	数据总线 ($D_0 \sim D_{31}$)	246	9.7.3	Pentium 微处理器的存储器结构	281
9.3.3	控制总线	246	9.7.4	Pentium 微处理器的分支预测	281
9.4	80486 的存储器管理	249	9.7.5	Pentium 微处理器的高速缓冲 存储器	282
9.4.1	80×86 的存储器组织和地址空间	250	9.7.6	Pentium 微处理器的工作模式	282
9.4.2	存储器的分段管理	251		课后习题	283
9.4.3	存储器的分页管理	257		参考文献	284
9.5	多任务及保护	260			

第1章 概述

1.1 绪论

1.1.1 微型计算机的发展史

讨论微型计算机的发展，最有代表性的是微处理器。随着微电子技术的不断进步，微处理器和其他功能部件遵循摩尔定律，每隔两年集成度和性能增长一倍，价格却下降二分之一。下面以 Intel 系列微处理器为例，回顾微型计算机发展的历程。

1. 第一代：4 位或低档 8 位微处理器

典型的是美国 Intel 4004 和 Intel 8008 微处理器。Intel 4004 是一种 4 位微处理器，可进行 4 位二进制的并行运算，它有 45 条指令，速度为 0.05 MIPS (Million Instruction Per Second, 每秒百万条指令)。Intel 4004 的功能有限，主要用于计算器、电动打字机、照相机、台秤、电视机等家用电器上，使这些电器设备具有智能化，从而提高它们的性能。Intel 8008 是世界上第一种 8 位的微处理器。存储器采用 PMOS 工艺。该阶段计算机工作速度较慢，微处理器的指令系统不完整，存储器容量很小，只有几百字节，没有操作系统，只有汇编语言。主要用于工业仪表、过程控制。

2. 第二代：中档的 8 位微处理器

典型的微处理器有 Intel 8080/8085，Zilog 公司的 Z80 和 Motorola 公司的 M6800。与第一代微处理器相比，集成度提高了 1~4 倍，运算速度提高了 10~15 倍，指令系统相对比较完善，已具备典型的计算机体系结构及中断、直接存储器存取等功能。其存储容量达 64KB，配有荧光屏显示器、键盘、软盘驱动器等设备。

3. 第三代：16 位微处理器

1978 年，Intel 公司率先推出 16 位微处理器 8086，同时，为了方便原来的 8 位机用户，Intel 公司又提出了一种准 16 位微处理器 8088。在 Intel 公司推出 8086、8088 CPU 之后，各公司也相继推出了同类的产品，有 Zilog 公司的 Z8000 和 Motorola 公司的 M68000 等。16 位微处理器比 8 位微处理器有更大的寻址空间、更强的运算能力、更快的处理速度和更完善的指令系统。所以，16 位微处理器已能够替代部分小型机的功能，特别在单任务、单用户的系统中，8086 等 16 位微处理器更是得到了广泛的应用。1982 年，Intel 公司又推出 16 位高级微处理器 80286。微处理器采用短沟道高性能 NMOS 工艺。在体系结构方面吸纳了传统小型机甚至大型机的设计思想，如虚拟存储和存储保护等，时钟频率提高到 5~25MHz。在 20 世纪 80 年代中后期至 1991 年初，80286 一直是微机的主流 CPU。

4. 第四代：32 位微处理器

1985 年，Intel 公司推出了第四代微处理器 80386。它是一种与 8086 向上兼容的 32 位

微处理器 80386, 它具有 32 位的数据总线和 32 位的地址总线, 存储器可寻址空间达 4GB, 运算速度达到 300 万~400 万条指令/s, 即 3~4MIPS。CPU 内部采用 6 级流水线结构, 使用二级存储器管理方式, 支持带有存储器保护的虚拟存储机制。随着集成电路工艺水平的提高, 1989 年, Intel 公司又推出了性能更高的 32 位微处理器 80486, 在芯片上集成约 120 万个晶体管, 是 80386 的 4 倍。80486 由 3 个部件组成: 一个是 80386 体系结构的主处理器, 一个是与 80387 兼容的数字协处理器和一个 8KB 容量的高速缓冲存储器, 并采用了 RISC(精简指令集计算机)技术和突发总线技术, 提高了速度, 在相同频率下, 80486 的处理速度一般比 80386 快 2~4 倍。以这些高性能 32 位微处理器为 CPU 构成的微机的性能指标已达到或超过当时的高档小型机甚至大型机的水平, 被称为高档或超级微机。同期推出的产品还有 MC68040 和 NEC 公司的 V80。

5. 第五代: Pentium 微处理器

1993 年, Intel 公司推出了第五代微处理器 Pentium(中文译名为奔腾)。Pentium 微处理器的推出使微处理器的技术发展到了一个崭新的阶段, 标志着微处理器完成从 CISC 向 RISC 时代的过渡, 也标志着微处理器向工作站和超级小型机冲击的开始。

Pentium 微处理器具有 64 位的数据总线和 32 位的地址总线, CPU 内部采用超标量流水线设计, Pentium 芯片内采用双 Cache 结构(指令 Cache 和数据 Cache), 每个 Cache 容量为 8KB, 数据宽度为 32 位, 数据 Cache 采用回写技术, 大大节省了处理时间。Pentium 微处理器为了提高浮点运算速度, 采用 8 级流水线和部分指令固化技术, 芯片内设置分支目标缓冲器(BTB), 可动态预测分支程序的指令流向, 节省了 CPU 判别分支的时间, 大大提高了处理速度。Pentium 系列处理器有多种工作频率, 工作在 60MHz 和 66MHz 时, 其速度可达 1 亿条指令/s。同期推出的第五代微处理器还有 IBM、Apple 和 Motorola 这 3 家公司联盟的 PowerPC(这是一种完全的 RISC 微处理器), 以及 AMD 公司的 K5 和 Cyrix 公司的 M1 等。

6. 第六代: Pentium Pro 微处理器

1996 年 Intel 公司将其第六代微处理器正式命名为 Pentium Pro(奔腾)。该处理器的时钟频率为 200MHz, 在处理方面, Pentium Pro 引入了新的指令执行方式, 其内部核心是 RISC 处理器, 运算速度达 200MIPS。Pentium Pro 允许在一个系统里安装 4 个处理器, 因此, Pentium Pro 最适合高性能服务器和工作站。

7. 第七代: Pentium 4 微处理器

2000 年 11 月, Intel 推出了第七代微处理器: 奔腾 4(Pentium 4, 或简称奔 4 或 P4), 这一新的架构称为 NetBurst。Pentium 4 有着高达 400MHz 的前端总线, 之后又提升到 533MHz、800MHz。它其实是四条 100MHz 的并行总线(100MHz×4 并行), 因此理论上它可以传送比一般总线多四倍的容量, 所以号称有 400MHz 的速度。

1.1.2 微型计算机的特点

由于微型计算机是采用大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)组成的, 所以它除了具有一般计算机的运算速度快、计算精度高、记忆功能和逻辑判断力强、自动工作等常规特点外, 还有它自己的独特优点。

1. 体积小、质量轻、功耗低

由于采用了大规模和超大规模集成电路, 从而使构成微型计算机所需的器件数目大为

减少, 体积大为缩小。一个与小型机 CPU 功能相当的 16 位微处理器 MC68000, 由 13000 个标准门电路组成, 其芯片面积仅为 $6.25 \times 7.14 \text{mm}^2$, 功耗为 1.25W。32 位的超级微处理器 80486, 有 120 万个晶体管电路, 其芯片面积仅为 $16 \times 11 \text{mm}^2$, 芯片的质量仅十几克。工作在 50MHz 时钟频率时的最大功耗仅为 3W。随着微处理器技术的发展, 今后推出的高性能微处理器产品体积更小、功耗更低, 而功能更强, 这些优点对于航空、航天、智能仪器仪表等领域具有特别重要的意义。

2. 可靠性高、对使用环境要求低

微型计算机采用大规模集成电路以后, 使系统内使用的芯片数大大减少, 接插件数目大幅度减少, 简化了外部引线, 安装更加容易。加之 MOS 电路芯片本身功耗低、发热量小, 使微型计算机的可靠性大大提高, 因而也降低了对使用环境的要求, 普通的办公室和家庭环境就能满足要求。

3. 结构简单、设计灵活、适应性强

微型计算机多采用模块化的硬件结构, 特别是采用总线结构后, 使微型计算机系统成为一个开放的体系结构, 系统中各功能部件通过标准化的插槽和接口相连, 用户选择不同的功能部件(板卡)和相应外设就可构成不同要求和规模的微型计算机系统。由于微型计算机的模块化结构和可编程功能, 使得一个标准的微型计算机在不改变系统硬件设计或只部分地改变某些硬件时, 在相应软件的支持下就能适应不同的应用任务的要求, 或升级为更高档次的微机系统, 从而使微型计算机具有很强的适应性和广泛的应用范围。

4. 性价比高

随着微电子学的高速发展和大规模、超大规模集成电路技术的不断成熟, 集成电路芯片的价格越来越低, 微型机的成本不断下降, 同时也使许多过去只在大、中型计算机中采用的技术(如流水线技术、RISC 技术、虚拟存储技术等)也在微型机中采用, 许多高性能的微型计算机的性能实际上已经超过了中、小型计算机(甚至是大型机)的水平, 但其价格要比中、小型机低得多。随着超大规模集成电路技术的进一步成熟, 生产规模和自动化程度的不断提高, 微型机的价格还会越来越便宜, 而性价比会越来越高, 这将使微型计算机得到更为广泛的应用。

1.1.3 微型计算机的应用领域

自从第一台个人计算机 IBM PC 问世以来, 微型计算机的应用领域在不断扩大, 尤其是 Pentium 处理器应用于个人计算机以来, 微型计算机的应用更加广泛, 涉及方方面面。不论是科学计算、信息处理、事务管理、工业智能控制、CAD/CAM, 还是网络与通信以及电子商务等均离不开微型计算机。

1. 科学计算

最初研制计算机的目的就是用于科学计算, 就是要解决人工无法解决的复杂科学计算问题, 如大型水利工程中的计算、卫星轨道计算、天气预报中的气象参数计算、结构计算等。没有计算机的参与, 这些复杂计算问题不可能解决。

2. 信息处理

在生产组织、企业管理、情报检索等领域存在大量的信息需要及时进行搜索、归纳、分类、整理、存储、检索、统计、分析等。尽管运算量不大, 但有大量的逻辑运算与判断

分析, 处理结果往往以图表形式给出。借助微型计算机, 使人们从繁杂的数据统计和事务管理中解放出来, 大大提高了管理水平和工作效率。

3. 工业控制

工业控制就是利用微型计算机对生产过程进行自动控制, 可以大大提高生产效率, 改进产品质量, 缩短生产周期, 降低生产成本。

4. 计算机集成制造系统

CAD 就是利用计算机进行辅助设计 (Computer Aided Design), CAM 是利用计算机进行辅助制造 (Computer Aided Manufacturing)。另外还有 CAT (Computer Aided Test, 计算机辅助测试)、CAPP (Computer Aided Process Planning, 计算机辅助工艺过程设计)、MIS (Management Information System, 管理信息系统) 等。这些借助计算机的相关技术在飞机、汽车、船舶、机械制造、建筑工程、集成电路等行业中得到广泛应用。我们把具有 CAD、CAM、CAT、CAPP 以及 MIS 功能的计算机综合应用系统称为计算机集成制造系统 (Computer Integration Manufacturing System, CIMS)。

5. 人工智能

尽管目前真正的人工智能计算机还没有问世, 但利用计算机模拟人类某些智能行为 (如感知、思维、推理、学习、理解等) 的理论、技术和应用已经出现, 如专家系统、模式识别、问题求解、机器翻译、自然语言理解等。

6. 电子商务

借助计算机可以构成网络, 在 Internet 上的网络, 可以进行产品交易等商务活动, 就是电子商务, 简单通俗的说法是, 电子商务就是在 Internet 上做生意。电子商务可以节约大量的人力和财力, 提高商品知名度, 降低销售成本等。目前电子商务的应用越来越受到重视。

实际上微型计算机的应用不限于此, 各行各业甚至家庭都在应用微型计算机, 如家用智能化电器、智能大厦、智能仪器仪表、教育、娱乐等。

1.2 微型计算机的组成

1.2.1 微处理器

CPU (Central Processing Unit, 即中央处理器) 是指计算机内部对数据进行处理并对处理过程进行控制的部件。随着大规模集成电路技术的迅速发展, 芯片集成度越来越高, CPU 可以集成在一个半导体芯片上, 这种具有中央处理器功能的大规模集成电路器件, 被统称为微处理器 (Microprocessor, 简称 MP 或 μP)。

近年来, 随着微电子技术和超大规模集成技术的迅猛发展, 在微处理器的内部不仅包括中央处理器的核心部件, 而且已经把数字协处理器、高速缓冲存储器以及多种接口和控制部件, 甚至把多媒体部件也集成到一块微处理器芯片内。

微处理器与存储器合称为微处理机。

不同时期、不同类型的微处理器性能各不相同, 但它们具有共同的特点, 就是完成如下基本功能:

- 1) 进行算术与逻辑运算。
- 2) 对指令进行译码并执行规定操作。

- 3) 能保存有关数据(少量)。
- 4) 能与存储器和外部设备交换数据。
- 5) 提供对其他部件的定时和控制。
- 6) 能响应其他部件包括外部设备发来的中断请求。

1.2.2 微型计算机

微型计算机(Microcomputer, 简称MC或 μ C)是通过总线将微处理器、存储器和输入输出接口连接在一起的有机整体。它包含冯·诺依曼计算机体系结构中的五个部件, 微型计算机简称微型机或微机。

特别要指出的是, 为了进一步微型化, 在微型计算机的发展过程中, 还出现了单片计算机(简称单片机)和单板计算机(简称单板机), 单片机是将微型计算机的所有部件全部集成在一块芯片上, 而单板机则是将微型计算机的各个部件安装在一块印制电路板上, 从而使微型计算机更适合于小型化的应用场合。

1.2.3 微型计算机系统

微型计算机系统(Microcomputer System, 简称MCS或 μ CS)是以微型计算机为核心, 配置相应的外部设备和系统软件及应用软件, 从而使其具有独立的数据处理和运算能力的设备, 通常把它称为微型计算机系统。换句话说, 微型计算机系统是微型计算机硬件、软件以及外部设备的集合, 是一台完整的、可供用户直接使用的计算或控制设备。

1.3 微型计算机的工作过程和主要性能指标

1.3.1 微型计算机的工作过程

根据冯·诺依曼的设计, 计算机应能自动执行程序, 而执行程序又归结为逐条执行指令。执行一条指令又可分为以下五个基本操作:

- 1) 取指令: 从存储器某个地址单元中取出要执行的指令送到CPU内部的指令寄存器暂存。
- 2) 分析指令: 或称指令译码, 把保存在指令寄存器中的指令送到指令译码器, 译出该指令对应的微操作信号, 控制各个部件的操作。
- 3) 取操作数: 如果需要, 发出取数据命令, 到存储器取出所需的操作数。
- 4) 执行指令: 根据指令译码, 向各个部件发出相应控制信号, 完成指令规定的各种操作。
- 5) 保存结果: 如果需要保存计算结果, 则把结果保存到指定的存储器单元中。

完成一条指令所需的时间称为指令周期。一个指令周期往往包括多个总线周期, 而一个总线周期又包含多个时钟周期。时钟周期是计算机中最小的时间单位。

1.3.2 微型计算机的主要性能指标

微型计算机的性能是一个综合的指标, 它与微型计算机的系统结构、各部件的硬件性能以及系统的软件配置有关, 主要评估指标有以下几项。

1. 微处理器的字长

计算机一次能并行处理的二进制的位数称为字长。微处理器的字长一般由算术逻辑单

元 (ALU) 的位数和数据总线的宽度来决定, 字长越长, 表示数据的精度越高, 传送处理数据的速率越快。例如, 8086 是 16 位字长处理器。有些处理器的 ALU 位数和数据总线宽度并不相同, 例如, 8088 的 ALU 是 16 位, 但为了和 8 位的 I/O 设备兼容, 其数据总线只有 8 位, 因此称其为准 16 位处理器。

2. 内存储器容量和访问时间

存储器容量和存储器访问时间是反映微型计算机内存储器性能的两个主要指标。内存存储器的最大容量和处理器的地址线宽度有关, 8086 有 20 位地址线, 最大内存容量为 1MB, 存储器访问时间体现了内存存储器的速度, 直接影响处理机的性能。20 世纪 80 年代初, 动态存储器 DRAM 的访问时间在几百纳秒, 近年来提高到几十纳秒。但是存储器速度的提高远远赶不上微处理器速度的提高, 弥补它们之间的速度间隙一直是微型计算机技术中的难题。

3. 系统总线传输速率

总线每秒钟能够传送的最大字节数称作总线的传输速率。总线速率和总线宽度及总线周期时间有关。总线宽度指总线中数据线的位数。基于 8088 的 PC 系统总线宽度为 8 位, ISA 标准数据线宽度为 16 位。总线周期时间指进行一次总线访问花费的时间, ISA 总线的典型总线周期时间为 3 个时钟周期, 即每 3 个时钟周期传送 1B; 8MHz 主频 16 位宽度的 ISA 总线传输速率是 5.3MB/s。

4. 运算速度

运算速度是衡量计算机性能的一项重要指标。通常所说的计算机运算速度 (平均运算速度), 是指每秒钟所能执行的指令条数, 一般用 “百万条指令/s” (MIPS, Million Instruction Per Second) 来描述。同一台计算机, 执行不同的运算所需时间可能不同, 因而对运算速度的描述常采用不同的方法。常用的有 CPU 时钟频率 (主频)、每秒平均执行指令数 (IPS) 等。

1.4 微机系统中采用的先进技术

1.4.1 流水线技术

借鉴工业流水线制造的思想, 现代 CPU 也采用了流水线设计。流水线 (Pipeline) 技术是指在程序执行时多条指令重叠进行操作的一种准并行处理实现技术。流水线是 Intel 首次在 486 芯片中开始使用的。流水线的工作方式就像工业生产上的装配流水线。在 CPU 中由 5~6 个不同功能的电路单元组成一条指令处理流水线, 然后将一条 X86 指令分成 5~6 步后再由这些电路单元分别执行, 这样就能实现在一个 CPU 时钟周期完成一条指令, 因此提高 CPU 的运算速度。经典奔腾每条整数流水线都分为四级流水, 即指令预取、译码、执行、写回结果, 浮点流水又分为八级流水。

1.4.2 高速缓冲存储器

高速缓冲存储器是存在于主存与 CPU 之间的一级存储器, 由静态存储芯片 (SRAM) 组成, 容量比较小但速度比主存高得多, 接近于 CPU 的速度。在计算机存储系统的层次结构中, 是介于中央处理器和主存储器之间的高速小容量存储器。它和主存储器一起构成一级的存储器。高速缓冲存储器和主存储器之间信息的调度和传送是由硬件自动进行的。

在计算机技术发展过程中,主存储器的存取速度一直比中央处理器操作速度慢得多,使中央处理器的高速处理能力不能充分发挥,导致整个计算机系统的工作效率受到影响。有很多方法可用来缓和中央处理器和主存储器之间速度不匹配的矛盾,如采用多个通用寄存器、多存储体交叉存取等,在存储层次上采用高速缓冲存储器也是常用的方法之一。很多大、中型计算机以及新近的一些小型机、微型机也都采用高速缓冲存储器。

高速缓冲存储器的容量一般只有主存储器的几分之一,但它的存取速度能与中央处理器相匹配。根据程序局部性原理,正在使用的主存储器某一单元邻近的那些单元将被用到的可能性很大。因而,当中央处理器存取主存储器某一单元时,计算机硬件就自动地将包括该单元在内的那一组单元内容调入高速缓冲存储器,中央处理器即将存取的主存储器单元很可能就在刚刚调入高速缓冲存储器的那一组单元内。于是,中央处理器就可以直接对高速缓冲存储器进行存取。在整个处理过程中,如果中央处理器绝大多数存取主存储器的操作能为存取高速缓冲存储器所代替,计算机系统处理速度就能显著提高。

1.4.3 CISC 和 RISC

为了提高计算机性能,人们使 CPU 有更大的指令系统、更多的专用寄存器、更多的寻址方式和更强的指令计算功能等,即 CPU 的结构沿着不断复杂化的方向发展。后来,将它们称为复杂指令集计算机(CISC, Complex Instruction Set Computer)。CISC 技术通过增强指令功能提高计算机的性能,指令码不等长,指令数量多。CISC 技术的复杂性在于硬件,在于 CPU 芯片中控制器部分的设计与实现。自 PC 诞生以来,主流产品一直使用 Intel 公司的 CPU 或其他公司生产的兼容产品,而 Intel 公司的 CPU 沿用了 CISC 技术。

当 CISC 发展到一定程度后,人们发现一些复杂指令很少使用,但把它们加入指令集中却使控制器的设计变得十分复杂,并占用了相当大的 CPU 芯片面积。指令的执行周期也较长。因此,从处理器的执行效率和开发成本两个方面考虑,有必要对复杂指令集结构的处理器进行反思。

1980 年 Patterson 和 Ditzel 首先提出了精简指令集计算机(RISC, Reduced Instruction Set Computer)的概念,另觅提高计算机性能的途径。RISC 具有简单的指令集,指令少,指令码等长,寻址方式少,指令功能简单;强调寄存器的使用,CPU 配备大量的通用寄存器(常称为寄存器文件 Register File),以编译技术优化寄存器的使用;强调对指令流水线的优化,采用超标量、超级流水线。通过简化指令系统使控制器结构简单,进而提高指令执行速度。RISC 技术的复杂性在于软件,在于编译程序的编写与优化。目前,RISC 处理器产品主要用在工程工作站、嵌入式控制器和超级小型计算机上。

今后 RISC 技术和 CISC 技术都会继续发展,同时,RISC 技术与 CISC 技术的竞争使它们互相渗透,如 Power PC 处理器,已不再是“纯”RISC 结构;最新的 CISC 设计也融进不少 RISC 特征,如 Intel Pentium 系列、AMD K6 系列微处理器。

1.4.4 多核心技术

多核心是指在一枚处理器中集成两个或多个完整的计算引擎(内核)。多核心技术的开发源于工程师们认识到,仅仅提高单核芯片的速度会产生过多热量且无法带来相应的性能改善,先前的处理器产品就是如此。他们认识到,在先前产品中以那种速率,处理器产生的热量很快会超过太阳表面。即使没有热量问题,其性价比也令人难以接受,速度稍快的

处理器价格要高很多。

多核心 CPU 就是基板上集成有多个单核心 CPU，早期 PD 双核心需要北桥来控制分配任务，核心之间存在抢二级缓存的情况，后期酷睿自己集成了任务分配系统，再搭配操作系统就能真正同时开工，2 个核心同时处理 2 “份” 任务，速度快了，万一 1 个核心死机，起码另一个还可以继续处理关机、关闭软件等任务。

1.5 微型计算机中数的表示

1.5.1 数制及相互转换

1. 常用计数制

(1) 计数制

计数制是指用一组固定的符号和统一的规则表示数的方法。 r 进制数可以用下式表示：

$$\sum_{i=-m}^n a_i r^i = a_{-m} r^{-m} + \cdots + a_{-2} r^{-2} + a_{-1} r^{-1} + a_0 r^0 + a_1 r^1 + \cdots + a_n r^n$$

其中， r 称为数制的基； r^i 称为数制的权， i 为整数。

r 的含义为：①基为 r 的数制称为 r 进制数；②该数制数由 r 个不同的符号表示；③确定了算术运算时的进位或借位规则，加法时逢 r 进一，减法时借一当 r 。

r^i 的含义为：①表示数字在不同的位置 i 代表的数值是不一样的，每个数字所表示的数值等于它本身乘以该数位 i 对应的权 r^i ；②权是基数的幂。

以十进制为例，十进制数具有下列属性：

① $r=10$ ，由 0~9 共 10 个不同的阿拉伯数字表示。

② i 位置上的权为 10^i 。

③ 加法运算时逢十进一；减法运算时借一当十。

十进制数 $579.43=5 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2}$

(2) 计算机中常用的计数制

计算机常用的计数制除上述十进制数外，还有二进制数、八进制数、十六进制数等。它们的部分属性见表 1-1。

表 1-1 计算机中常用计数制

数 制	基 数	数 码	运 算 规 则	举 例
二进制	2	0, 1	逢二进一，借一当二	1011.11
八进制	8	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	逢八进一，借一当八	745.64
十进制	10	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	逢十进一，借一当十	9999.99
十六进制	16	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F	逢十六进一，借一当十六	0A45.B

说明：为了便于计算机识别，当十六进制数的首字符为字母时，前面加数字 0。

1) 不同数制数的区别表示。为了区分不同的数制，书写上有两种方法：

方法一、用后缀区分

二进制、十进制、八进制、十六进制数的后缀分别为字母 B、D、O、H。

【例题 1-1】

① 123D 表示十进制数 $123D=1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0$

② 123O 表示八进制数 $123O=1\times 8^2+2\times 8^1+3\times 8^0$

③ 123H 表示十六进制数 $123H=1\times 16^2+2\times 16^1+3\times 16^0$

方法二、用下标标注

用括号将数字括起, 加以下标标注。

✎【例题 1-2】

① 十进制数 123 表示为 $(123)_{10}$

② 八进制数 123 表示为 $(123)_8$

③ 十六进制数 123 表示为 $(123)_{16}$

2) 二进制数。二进制数基数为 2, 由 0、1 组成, 各个位置上的权为 2^i , 小数点左边从右至左其各位的位权依次是 2^0 、 2^1 、 2^2 、 $2^3\cdots$; 小数点右边从左至右其各位的位权依次是 2^{-1} 、 2^{-2} 、 $2^{-3}\cdots$ 。运算时, 逢二进一, 借一当二。

✎【例题 1-3】 $1011.11B=1\times 2^3+0\times 2^2+1\times 2^1+1\times 2^0+1\times 2^{-1}+1\times 2^{-2}$

由于二进制数书写长且不易阅读, 因此在计算机中经常使用与二进制之间转换方便的八进制数和十六进制数。

3) 八进制数。八进制数基数为 8, 由 0~7 共 8 个数字组成, 各个位置上的权为 8^i , 小数点左边从右至左其各位的位权依次是 8^0 、 8^1 、 8^2 、 $8^3\cdots$; 小数点右边从左至右其各位的位权依次是 8^{-1} 、 8^{-2} 、 $8^{-3}\cdots$ 。运算时, 逢八进一, 借一当八。

✎【例题 1-4】 $753.45O=7\times 8^2+5\times 8^1+3\times 8^0+4\times 8^{-1}+5\times 8^{-2}$

4) 十六进制数。十六进制数基数为 16, 由 0~9, A~F 共 16 个符号组成, 各个位置上的权为 16^i , 小数点左边从右至左其各位的位权依次是 16^0 、 16^1 、 16^2 、 $16^3\cdots$; 小数点右边从左至右其各位的位权依次是 16^{-1} 、 16^{-2} 、 $16^{-3}\cdots$ 。运算时, 逢十六进一, 借一当十六。

✎【例题 1-5】 $0FA3.3BH=15\times 16^2+10\times 16^1+3\times 16^0+3\times 16^{-1}+11\times 16^{-2}$

2. 不同数制之间的转换

(1) 其他数制数转换为十进制数

其他数制数转换为十进制数的方法是“按权展开”。

✎【例题 1-6】

① $1011.11B=1\times 2^3+0\times 2^2+1\times 2^1+1\times 2^0+1\times 2^{-1}+1\times 2^{-2}=11.75D$

② $753.4O=7\times 8^2+5\times 8^1+3\times 8^0+4\times 8^{-1}=491.5D$

③ $0FA3.4H=15\times 16^2+10\times 16^1+3\times 16^0+4\times 16^{-1}=4003.25D$

(2) 十进制数转换为其他数制数

把十进制数转换为其他数制数的方法很多, 通常采用的方法有降幂法及乘法。下面以十进制数转换为二进制数为例加以说明, 十进制数转换为八进制数、十六进制数以此类推。

1) 降幂法。步骤:

① 写出所有小于此数的各位二进制权。

② 用要转换的十进制数减去与它的值最接近的二进制权值。

③ 如够减, 相应位记为 1; 如不够减, 相应位记 0, 并恢复该减法实施前的数。

④ 重复②、③, 直至该数为 0 或达到所需精度。

✎【例题 1-7】把十进制数 117.75 转换成二进制数

① 小于 117.75D 的二进制权为:

$2^6(64)$ 、 $2^5(32)$ 、 $2^4(16)$ 、 $2^3(8)$ 、 $2^2(4)$ 、 $2^1(2)$ 、 $2^0(1)$ 、 $2^{-1}(0.5)$ 、 $2^{-2}(0.25)$ ……

②、③、④重复过程如下:

整数部分 $117-2^6=53>0\cdots a_6=1$

$53-2^5=21>0\cdots a_5=1$

$21-2^4=5>0\cdots a_4=1$

$5-2^3=-3<0\cdots a_3=0$

$5-2^2=1>0\cdots a_2=1$

$1-2^1=-1<0\cdots a_1=0$

$1-2^0=0\cdots a_0=1$

小数部分 $0.75-2^{-1}=0.25>0\cdots a_{-1}=1$

$0.25-2^{-2}=0\cdots a_{-2}=1$

转换结果为: $a_6a_5a_4a_3a_2a_1a_0a_{-1}a_{-2}=1110101.11\text{B}$

2) 乘除法。操作方法为: 整数部分除以 2 取余数, 直至商为 0; 小数部分乘以 2 取整, 直至积为整数或小数位数达到所需精度。结果为: 整数部分从左到右为余数的逆序; 小数部分从左到右为积的正序。

►【例题 1-8】把十进制数 14.625 转换成二进制数

整数部分:

商 余数

$14/2=7\cdots 0$ $a_0=0$

$7/2=3\cdots 1$ $a_1=1$

$3/2=1\cdots 1$ $a_2=1$

$1/2=0\cdots 1$ $a_3=1$

小数部分:

积 整数

$0.625\times 2=1.25\cdots 1$ $a_{-1}=1$

$0.25\times 2=0.5\cdots 0$ $a_{-2}=0$

$0.5\times 2=1\cdots 1$ $a_{-3}=1$

转换结果为: $a_3a_2a_1a_0.a_{-1}a_{-2}a_{-3}=1110.101\text{B}$

(3) 其他数制之间的转换

1) 二进制与八进制数之间的转换。由于八进制数以 2^3 为基, 因而二进制数转换为八进制数的方法是: 以小数点为界, 整数部分向左、小数部分向右每 3 位为一组, 用 1 位八进制数表示, 不足 3 位的, 整数部分高位补 0, 小数部分低位补 0。反之, 八进制数转换为二进制数的方法是: 把每位八进制数用 3 位二进制数表示即可。

►【例题 1-9】把 10110.11B 转换为八进制

$10110.11\text{B}=\underline{010}\ \underline{110}.\underline{110}\text{B}=26.6\text{O}$

►【例题 1-10】把 27.6O 转换为二进制数

$27.6\text{O}=\underline{010}\ \underline{111}.\underline{110}\text{B}=10111.11\text{B}$

2) 二进制与十六进制数之间的转换。由于十六进制数以 2^4 为基, 因而二进制数转换为十六进制数方法是: 以小数点为界, 整数部分向左、小数部分向右每 4 位为一组, 用 1