



普通高等教育
软件工程

“十二五”规划教材



工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材

12th Five-Year Plan Textbooks
of Software Engineering

微型计算机 原理及应用

郭晓红 闫宏印 ◎ 主编
张晓霞 杨崇艳 ◎ 副主编

*Micro Computer
Principle and Application*



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



普通高等教育
软件工程

“十二五”规划教材



工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材

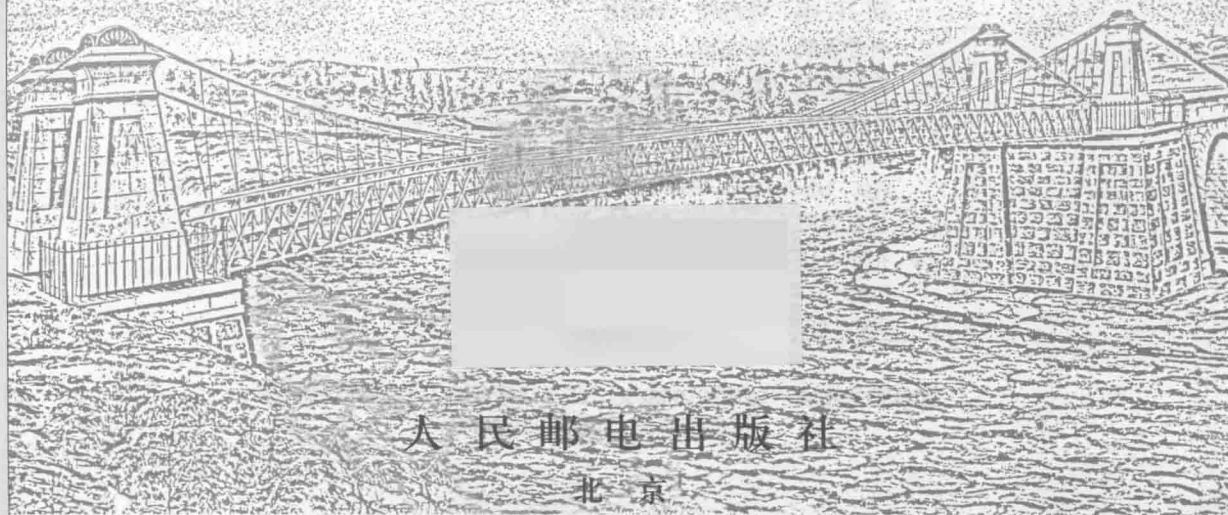
12th Five-Year Plan Textbooks
of Software Engineering

微型计算机 原理及应用

郭晓红 闫宏印 ◎ 主编

张晓霞 杨崇艳 ◎ 副主编

*Micro Computer
Principle and Application*



人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机原理及应用 / 郭晓红, 闫宏印主编. —
北京: 人民邮电出版社, 2013.12
普通高等教育软件工程“十二五”规划教材
ISBN 978-7-115-32630-0

I. ①微… II. ①郭… ②闫… 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(2013)第250833号

内 容 提 要

本书以 80x86 微处理器为模型机, 介绍微处理器的发展、微型计算机的层次结构、微处理器的功能结构、8086 微处理器的指令系统、汇编语言程序设计、微型计算机的存储系统、输入/输出接口技术、总线技术和人机接口技术等内容。本书力求给学习者一个微型计算机的完整轮廓和清晰的结构, 为今后开发和深入研究微型计算机打下一个良好的基础, 同时也为嵌入式系统和专用微型计算机系统的学习打下基础。

本书注重概念、讲解细致、循序渐进、深入浅出, 适合软件学院、非电类专业、非计算机专业的本科生, 同样也适合电类专科、高职、成教学生, 还可以作为普通读者的入门教材。

-
- ◆ 主 编 郭晓红 闫宏印
副 主 编 张晓霞 杨崇艳
责任编辑 邹文波
责任印制 彭志环 杨林杰
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15 2013 年 12 月第 1 版
字数: 390 千字 2013 年 12 月北京第 1 次印刷
-

定价: 35.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

前言

进入 20 世纪 80 年代后,计算机发展史上最重大的事件之一是出现了以微处理器为核心的个人计算机。在以后的 30 年中,微处理器和微型计算机取得了异乎寻常的发展,一些过去原本在经济上不可行的应用,或者还仅仅是“科学幻想”,现在已经成为了现实。下述几项应用是改变现代生活的典型事例。

- 车载计算机:用计算机来控制汽车,在今天已经极为普及。用计算机控制汽车的发动机,不仅改进了燃油效率,减轻了污染,还通过防险刹车和安全气囊实现了撞车保护。车载计算机技术在 30 年前还仅仅是天方夜谈。

- 手机:计算机技术的发展产生了移动电话,让人们几乎在全世界的任何地方都可以自由通信,尤其是目前正在普及的智能手机,已经拥有联网、搜索及各种功能,它给人们的生活、工作、学习带来了极大的方便和极高的效率。

- 万维网和搜索引擎。万维网从诞生到现在已经改变了整个社会,在很多地方它已经取代了传统的图书馆。今天,如何快速精确地找到所需信息变得越来越重要,如果没有搜索引擎,人们将在万维网中寸步难行。

还有用于绘图和分析人类基因序列的人类基因项目,目前所需的计算机设备价值达几亿美元,但随着计算机成本的快速降低,有望在未来实现按个人基因序列来治疗疾病。

微处理器和微型计算机的应用无处不在,本书就是针对微型计算机的广泛应用和发展面向非计算机专业的理工科学生编写的。为了使各理工科专业的学生在有限的课时内能够较好地掌握微型计算机的基本工作原理,学到一些实用知识,本书在大学计算机基础课程和程序设计技术基础课程的基础上以 80x86CPU 为模型机,对 8086 指令系统以及微处理器的相关接口技术进行了全面系统的讲解,力求概念清晰、内容准确、深入浅出、循序渐进、易教易学。

全书共 10 章,内容包括 80x86 微处理器的工作原理、8086CPU 的指令系统、汇编语言程序设计、计算机接口和总线技术等。第 1 章简述微型计算机的发展历程,给出了微型计算机的层次结构和典型系统;第 2 章讲述直接面向 CPU 运算器的数值表示和基本运算;第 3 章介绍微型计算机的核心芯片微处理器,以典型的 8086 和 Pentium CPU 为模型机讲解微处理器的功能结构和工作原理;第 4 章讲解典型 CPU 8086 的指令系统及其种类和功能;第 5 章介绍汇编语言程序设计,并给出了 DOS 系统调用的概念和常用的系统功能调用,以及汇编语言和 C/C++ 的混合编程;第 6 章讲述微型计算机的存储系统,包括主存的工作原理以及高速缓存和虚拟存储器的基本知识;第 7 章介绍接口技术,包括接口的基本工作原理以及中断和 DMA 的基本知识;第 8 章介绍常见可编程接口 8255A、8253、8251 的基本工作原理和应用举例;第 9 章介绍总线技术,讲述微型计算机中常见的总线标准;第 10 章介绍人机交互接口技术,讲解基本输入输出设备键盘、鼠标、显示器、打印机的基本概念及其接口的工作原理。

本书由多年从事微机原理课程教学的教师编写，其中第1章由段富编写；第2章、第7章由郭晓红编写；第3章和第4章由张晓霞编写；第5章和附录由王爱莲编写；第6章由闫宏印编写；第8章和第10章由杨崇艳编写；第9章由孟东霞编写。全书由郭晓红、闫宏印策划统稿。在本书的编写过程中，得到了许多专家的帮助和支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，敬请各位读者提出宝贵的意见和建议，我们将不胜感激。

编 者

2013年8月

目 录

第 1 章 微型计算机系统概述1

1.1 微型计算机的发展1

1.1.1 微处理器的发展1

1.1.2 微型计算机采用的新技术6

1.1.3 微处理器的分类9

1.2 微型计算机系统10

1.2.1 微型计算机的层次结构10

1.2.2 微型计算机的硬件系统11

1.2.3 微型计算机的软件系统15

习题一18

第 2 章 计算机基本数值运算20

2.1 带符号数的编码20

2.1.1 原码、补码和反码20

2.1.2 无符号数和各编码的比较21

2.2 定点数与浮点数22

2.2.1 定点数据表示22

2.2.2 浮点数据表示23

2.3 补码运算及溢出判断24

2.3.1 补码运算24

2.3.2 溢出判断25

2.4 移位运算26

2.4.1 算术移位26

2.4.2 逻辑移位27

习题二27

第 3 章 微处理器29

3.1 8086 微处理器的工作原理29

3.1.1 微处理器的基本结构29

3.1.2 8086 微处理器内部结构30

3.1.3 8086 的引脚功能34

3.1.4 8086 的总线周期37

3.2 80x86 微处理器39

3.2.1 Pentium 微处理器39

3.2.2 80x86 的寄存器41

3.2.3 IA-32 的工作方式46

习题三46

第 4 章 8086 微处理器的 指令系统48

4.1 指令格式48

4.2 数据寻址方式49

4.2.1 立即数寻址方式49

4.2.2 寄存器寻址方式49

4.2.3 存储器寻址方式50

4.3 数据传送类指令52

4.3.1 通用数据传送指令52

4.3.2 其他数据传送指令55

4.4 运算类指令57

4.4.1 算术运算指令57

4.4.2 逻辑运算指令60

4.4.3 移位指令62

4.5 其他指令64

4.5.1 串操作指令64

4.5.2 转移及调用指令67

4.5.3 控制指令71

习题四73

第 5 章 汇编语言程序设计75

5.1 汇编语言概述75

5.1.1 汇编指令的语句格式75

5.1.2 常用汇编伪指令80

5.1.3 汇编程序的开发过程84

5.2 DOS 功能调用84

5.2.1 DOS 功能调用概述84

5.2.2 常用 DOS 功能调用85

5.3 汇编语言程序举例87

5.3.1 顺序程序设计87

5.3.2 分支程序设计89

5.3.3 循环程序设计92

5.3.4 子程序调用	95	第 8 章 常用可编程接口	155
5.4 汇编语言与 C/C++ 混合编程	98	8.1 可编程并行接口芯片 8255A	155
5.4.1 在 C 语言程序中嵌入汇编语言	99	8.1.1 内部结构与引脚功能	155
5.4.2 在 C++ 语言程序中嵌入汇编语言	101	8.1.2 8255A 的工作方式	157
习题五	104	8.1.3 控制字与初始化	160
第 6 章 存储系统	108	8.1.4 8255A 应用举例	163
6.1 存储系统概述	108	8.2 可编程串行接口 8251A	165
6.1.1 存储器的分类	108	8.2.1 串行通信的基本概念	165
6.1.2 存储系统的层次结构	110	8.2.2 可编程串行接口 8251A	168
6.1.3 存储器的主要技术指标	111	8.2.3 串行接口的应用举例	173
6.2 半导体存储器	111	8.3 定时/计数器接口 8253	175
6.2.1 随机存储器	111	8.3.1 定时/计数原理	175
6.2.2 只读存储器	114	8.3.2 内部结构与引脚功能	175
6.2.3 存储器芯片的结构及芯片举例	115	8.3.3 8253 的工作方式	177
6.3 提高存储系统性能的技术	118	8.3.4 控制字与初始化	181
6.3.1 高速缓存	119	8.3.5 定时/计数器 8253 的应用举例	182
6.3.2 虚拟存储器	122	习题八	184
6.3.3 并行存储器	124	第 9 章 总线技术	186
习题六	126	9.1 总线的基本概念	186
第 7 章 I/O 接口技术	128	9.1.1 总线分类	186
7.1 I/O 接口的基本概念	128	9.1.2 总线标准	187
7.1.1 I/O 接口概述	128	9.1.3 总线的性能指标	188
7.1.2 I/O 端口的编址及译码	130	9.2 总线的数据传输过程	188
7.2 数据传输方式	131	9.2.1 总线请求和仲裁	189
7.2.1 无条件传输方式	131	9.2.2 总线的数据传输	190
7.2.2 查询传输方式	132	9.3 微机系统中常见标准总线	191
7.2.3 中断方式	132	9.3.1 PCI 总线	191
7.2.4 直接存储器存取 DMA 方式	135	9.3.2 AGP 总线	195
7.3 中断控制器 8259A	136	9.3.3 标准外部总线 SATA	197
7.3.1 8259A 的内部结构及引脚信号	136	9.3.4 PCI Express 总线	198
7.3.2 8259A 的工作方式	138	9.3.5 USB 通用串行总线	200
7.3.3 8259A 的编程	140	习题九	203
7.3.4 80x86 的中断系统	142	第 10 章 人机接口	205
7.4 DMA 控制器 8237A	147	10.1 键盘接口	205
7.4.1 8237A 的基本功能	147	10.1.1 键盘概述	205
7.4.2 8237A 的内部结构	148	10.1.2 键盘的工作原理	205
7.4.3 8237A 应用举例	152	10.1.3 键盘接口及工作原理	207
习题七	153		

10.1.4 PC 键盘接口	210	10.3.1 鼠标及接口电路	223
10.2 显示器及其接口编程	213	10.3.2 打印机接口	223
10.2.1 CRT 显示器	213	习题十	225
10.2.2 CRT 显示器编程方法	215	附录 A 常用 DOS 功能调用	226
10.2.3 LED 显示器	219	附录 B 8086 指令系统表	227
10.2.4 LCD 显示器	222	参考文献	231
10.3 鼠标与打印机接口	223		

第1章

微型计算机系统概述

微型计算机是相对于巨型机、大型机、小型机等而言体积较小,可供个人拥有的个人电脑(Personal Computer, PC)。根据微型计算机体积的大小,又把它分为台式电脑(Desktop PC)、笔记本电脑(Notebook PC)、平板电脑(Tablet PC)和手持电脑(Handheld PC)。

微型计算机的体积虽然很小,但其结构和工作原理与其他型号的计算机基本类似。由于大规模集成电路的发展,微型计算机的功能越来越强大,应用范围也越来越广泛。现在的微型计算机不仅用于家庭和大部分的工作场合,它的高端产品已用于网络服务器。随着微型计算机的发展,人们的生活方式、工作模式、乃至整个世界都在跟着改变。我们首先看一下微型计算机的发展轨迹。

1.1 微型计算机的发展

计算机的运算和控制核心称为处理器(Processor),即中央处理单元(Central Processing Unit, CPU)。微型计算机中的处理器常采用一块大规模集成电路芯片,称为微处理器(Microprocessor),它代表着整个微型计算机的性能。微型计算机的发展通常是以微处理器的发展为基础的,当一种新型的微处理器研制成功后,一年之内相应的软硬件产品就会推出,进而一代新的微机产品就会形成。微处理器技术的快速发展推动着整个微型计算机技术的发展和更新换代。

1.1.1 微处理器的发展

处理器的性能用字长、时钟频率、集成度等基本的技术参数来衡量。字长(Word Length)表明处理器每个时间单位可以处理的二进制位数,如一次运算或传输的位数。时钟频率表明处理器的处理速度,反应了处理器的基本时间单位。集成度表明了处理器的生产工艺水平,通常用芯片上集成的晶体管数来表达。在微处理器的发展历程中,字长是微处理器换代的一个重要指标,从4位、8位、16位、32位到64位,到目前为止,微处理器先后经历了七代。

1. 第一代微处理器(1971—1973年)

1971年,Intel公司成功地设计了世界上第一个微处理器——4位微处理器Intel 4004。它的寻址范围为4 096个4位宽存储单元(半字节单元,Nibble)。Intel 4004有45条指令,运行速度为0.05MIPS(Million Instruction Per Second),即每秒执行5万条指令。Intel 4004主要用于早期的视频游戏和基于微处理器的小型控制系统中。但时至今日,4位微处理器仍因其良好的性能价格比而应用于一些嵌入式系统中,如微波炉、洗衣机、计算器等设备中。图1-1所示为Intel 4004芯片的外形图。

1971年年末, Intel 公司意识到微处理器是个很有前景的产品, 又推出了 8 位微处理器 8008。它是 4004 的 8 位扩展型微处理器, 其主要改进是增加了 3 条指令 (总计 48 条), 并将寻址空间扩展到 16KB。该阶段的计算机工作速度较慢, 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. 第二代微处理器 (1974—1977 年)

第二代微处理器的典型产品有 Intel 8080/8085, Zilog 公司的 Z-80 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。

微处理器 8080 采用 NMOS 工艺, 集成约 5 000 个晶体管, 8 位数据线, 16 位地址线, 2MHz 时钟频率, 70 多条指令。1974 年, 基于 8080 的个人计算机 Altair 8800 问世。微软公司 (Microsoft) 创始人 Bill Gates 为这种 PC 开发了 BASIC 语言解释程序。图 1-2 所示为 Intel 8080 芯片的外形图。

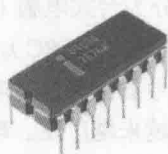


图 1-1 Intel 4004

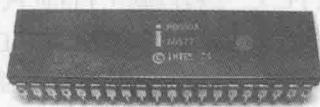


图 1-2 Intel 8080

3. 第三代微处理器 (1978—1984 年)

1978 年, Intel 公司率先推出 16 位微处理器 8086, 这是该公司生产的第一个 16 位芯片。8086 的数据总线为 16 位, 地址总线为 20 位, 时钟频率为 5MHz。1979 年为了方便原来的 8 位机用户, Intel 公司又推出了一种准 16 位微处理器 8088, 其内部总线为 16 位, 而外部数据总线仍为 8 位, 内部结构与 8086 基本上完全一样, 两者的寻址空间均为 1MB, 都能进行 16 位数据的运算和处理, 运行速度达到 2.5MIPS。

在 8086/8088 的设计中, 引入了两个重要的概念: 指令流水线技术和存储器分段技术。这种指令流水线技术加快了指令流的执行速度, 而存储器分段技术的引入, 也为现代微处理器应用虚拟存储器技术奠定了基础。为了提高浮点运算的速度, Intel 公司于 1976 年推出了数字协处理器 8087, 它能够在 8086/8088 的控制下执行浮点运算指令, 进行复杂的数学运算, 进一步提高了 8086/8088 的数据处理能力。

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 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 位微处理器已经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。

1983 年, Intel 公司推出了增强型的 16 位微处理器 80286, 它的最大主频为 20MHz, 内、外部数据传输均为 16 位, 24 位地址线, 内存寻址能力为 16MB。80286 可工作于两种方式, 一种是与 8086 工作方式一样的实模式 (Real Mode), 在实方式下, 80286 可以运行曾经在 8086 上开发的各種程序, 包括应用程序和系统程序; 另一种是保护方式 (Protected Mode)。在保护方式下, 80286 支持存储管理、保护机制和多任务管理的硬件支持, 这些传统上由操作系统实现的功能在处理器硬件支持下实现, 使微机系统的性能得到极大提高。在保护方式下还支持虚拟存储器, 虚拟地址空间可达 2^{30} 字节 (1GB)。80286 的封装是一种被称为 PGA 的正方形包装。它有一块内部和外部固体插脚, 在这个封装中, 80286 集成了大约 130 000 个晶体管。图 1-3 所示为 80286 芯片

的外形图。

IBM 公司将 80286 微处理器用在采用先进技术的 IBM PC/AT 微机中, 引起了极大的轰动。80286 在以下 4 个方面比它的前辈有显著的改进: 支持更大的内存、能够模拟内存空间、能同时运行多个任务、提高了处理速度。

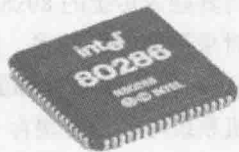


图 1-3 80286 芯片

4. 第四代微处理器 (1985—1992 年)

第四代微处理器是 32 位微处理器时代, 其典型产品有 80386 和 80486。

(1) 微处理器 80386

1985 年, 为满足多用户和多任务应用的需要, Intel 公司推出了它的第一个 32 位微处理器 80386。80386 的数据总线为 32 位, 地址总线也是 32 位, 可寻址 4GB 内存 ($1\text{GB}=2^{30}\text{B}=1024\text{KB}$), 时钟频率有 16MHz、25MHz 和 33MHz。与 80286 相比, 80386 不仅增加了若干寄存器, 而且寄存器的容量都扩充到了 32 位, 具有全 32 位数据处理能力。其内部结构采用 6 级流水线结构, 存储管理新增了一个页式管理单元, 支持段页式虚拟存储管理, 提供了更大虚拟地址空间 (64TB) 和内存实地址空间 (4GB)。

作为 32 位微处理器, 80386 设计得非常成功。当时, Intel 公司明确宣布 80386 芯片的体系结构将被确定为以后开发 80x86 系列微处理器的标准, 称为英特尔 32 位结构: IA-32 (Intel Architecture-32)。IA-32 指令系统全面升级为 32 位, 但仍然兼容原来的 16 位指令系统。

80386 首次引入了虚拟 8086 方式 (Virtual 8086 Mode), 使 80386 的存储管理具有 3 种工作方式: 实地址方式、保护虚地址方式和虚拟 8086 方式。虚拟 8086 方式是在保护方式下的一种特殊状态, 类似 8086 工作方式但又接受保护方式的管理, 可模拟多个 8086 处理器, 因此在保护虚地址方式下仍能与 8086/8088 系统兼容。图 1-4 所示为典型的 Intel 80386 芯片的外形图。

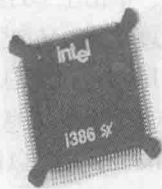


图 1-4 80386

Windows 操作系统可以运行的最低配置就是以 80386 为处理器的 32 位 PC。Windows 操作系统采用保护方式, 其 MS-DOS 命令行 (环境) 就是虚拟 8086 方式, 而 80386 以前的 DOS 操作系统是实方式。1990 年 Intel 还生产了一种适应便携机节能要求的低功耗芯片, 为其增加了一种新的系统管理方式 (System Management Mode, SMM)。当微处理器进入这种方式后, 会根据所处的环境自动减速或停止运行, 还可控制其他部件停运以达到整体最低耗电。

(2) 微处理器 80486

继 80386 之后, Intel 公司于 1989 年 4 月又推出了第二代 32 位高性能微处理器 80486, 它以提高性能和面向多处理器系统为主要目标。从结构上看 $80486=80386+80387+8\text{KB Cache}$, 即 80486 把微处理器 80386、浮点运算单元 (FPU) 80387 和一个 8KB 的数据与指令合用的 Cache 集成在一个芯片内了, 使得微处理器的性能大大提高。

为了有效地处理浮点数据, Intel 公司专门为其各代微处理器配有数学协处理器。例如, 和 8086/8088 配套的是 8087 芯片, 和 80286、80386 配套的分别是 80287、80387 芯片, 但从 80486 开始, 这些协处理器被集成到微处理器内部, 且改名为浮点处理单元 (Floating-Point Unit, FPU)。高速缓冲存储器 Cache 是微处理器与主存之间速度很快但容量较小的存储器, 可以有效地提高整个存储系统的存取速度。80486 除了芯片内部的 8KB 一级高速缓存 (L1 Cache), 还支持外部的第二级高速缓存 (L2 Cache)。

80486 的指令单元采用了精简指令集计算机 (Reduced Instruction Set Computer, RISC) 技术,

将其融入传统的 80x86 的复杂指令集计算机 (Complex Instruction Computer, CISC) 技术中, 同时采用流水线技术, 降低了执行每条指令所需要的时钟数; 此外, 80486 采用了一种突发总线 (Burst Bus) 技术和面向多处理器结构, 在总线接口部件上增加了总线监视功能, 以保证构成多机系统时的高速缓存一致性, 并增加了支持多机操作的指令。

5. 第五代微处理器 (1993—2000 年)

第五代微处理器的典型产品有 Intel 公司的奔腾系列芯片以及与之兼容的 AMD 的 K6 系列微处理器芯片, 其内部采用了超标量指令流水线结构, 并具有相互独立的指令和数据高速缓存。随着 MMX (Multi Media eXtended) 微处理器的出现, 使微机的发展在网络化、多媒体化、智能化等方面跨上了更高的台阶。Pentium 系列处理器主要包括 Pentium、Pentium Pro、Pentium MMX、Pentium II、Pentium III 和 Pentium 4。

(1) Pentium

1993 年 3 月推出, 简称为 P5 或 80586, 中文译名为“奔腾”。Pentium 采用 64 位外部数据总线, 使总线访问内存数据的速度高达 528MB/s; 提供了灵活的存储器页面管理。既支持传统的 4KB 存储器页面, 又可使用更大的 4MB 存储器页面。

(2) Pentium II

1995 年 Intel 先后推出了 P6 级微处理器的第一代产品 Pentium Pro 和 Pentium MMX (Multi Media eXtended)。1997 年, Intel 将多媒体增强技术 (MMX 技术) 融入 Pentium Pro 微处理器之中, 推出了 P6 级微处理器的第二代产品 Pentium II。Pentium II 既保持了 Pentium Pro 原有的强大处理功能, 又增强了 PC 在三维图形、图像和多媒体方面的可视化计算功能和交互功能。Pentium II 采用双重独立总线结构: 一条是处理器至主存储器的系统总线, 称为前端总线 (FBS), 主要负责主存储器的信息传送操作; 另一条是二级 Cache 总线, 也称后端总线, 用于连接到 L2 Cache 上。Pentium II 可以同时使用这两条总线, 使 Pentium II 的数据吞吐能力大大提高, 达到单总线结构处理器的 2 倍。此外, Pentium II 使用了一种与 CPU 芯片相分离的 512KB 的 L2 Cache, 这种 L2 Cache 可以在 CPU 一半的时钟频率下运行, 而片内 L1 Cache 由原来的 16KB 扩大到了 32KB, 从而有效地减少了对 L2 Cache 的调用频率。

(3) Pentium III

Intel 继 Pentium II 之后于 1999 年推出的第三代 P6 级微处理器产品。内部结构与 Pentium II 相似, 主要改进是增加了 70 条流式单指令多数据扩展 (Streaming SIMD Extensions, SSE) 指令和 8 个 128 位单精度浮点数寄存器, 克服了不能同时处理 MMX 数据和浮点数据的缺陷, 使 Pentium III 在三维图像处理、语音识别和视频实时压缩等方面都有了很大提高。此外, Pentium III 首次设置了处理器序列号 PSN, 可用来加强资源跟踪、安全保护和内容管理。

(4) Pentium 4

2000 年年底 Intel 公司推出的第一个非 P6 核心结构的全新 32 位微处理器 Pentium 4。与 P6 级微处理器相比, 主要特点是: 采用了超级管道技术, 使用长达 20 级的分支预测 / 恢复管道; 乱序执行技术中的指令池能容下 126 条指令; 内含一个 4KB 的分支目标缓冲, 使分支错误预测概率比原来下降 33% 以上; 增加了由 144 条新指令组成的 SSE2 指令集, 可支持 128 位 SIMD 整数算法操作和 128 位 SIMD 双精度浮点操作。

尽管 Pentium、Pentium II、Pentium III 和 Pentium 4 的外部数据总线均为 64 位, 但它们的内部寄存器和运算操作仍然是 32 位, 所以 Pentium、Pentium II、Pentium III 和 Pentium 4 并不是真正意义上的 64 位微处理器, 只能说是准 64 位微处理器。图 1-5 所示为典型的 Pentium、Pentium

MMX、Pentium 4 的外形图。



图 1-5 Pentium、Pentium MMX、Pentium 4

6. 第六代微处理器（2001—2005 年）

前面第四代、第五代 Intel 微处理器都是建立在 IA-32 架构基础上的，采用的都是 80x86 指令代码。

2001 年，Intel 公司为满足要求苛刻的高端企业和技术应用的需要而专门设计推出了一款称为 Itanium（安腾）的真 64 位微处理器，次年又推出了 Itanium 2，从而形成了由安腾 1、安腾 2 组成的 Itanium 处理器系列。

Itanium 系列处理器采用的是 IA-64 架构。该架构区别于 IA-32 架构的主要优点表现在：内部集成了可以显著提高指令执行速度和吞吐率的大量执行资源，可以实现处理器到高速缓存的快速访问，具有处理器与内存之间的出色带宽，可以提供更低的功耗以支持与日俱增的计算密集型工作。目前 Itanium 系列各型处理器均可全面支持数据库、企业资源规划、供应链管理、业务智能以及诸如高性能计算（HPC）等其他数据密集型应用。图 1-6 所示为 Itanium 处理器芯片的外形图。

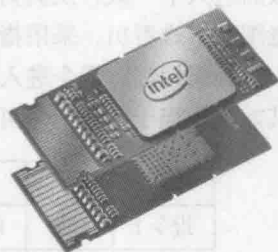


图 1-6 Itanium 处理器芯片

7. 第七代处理器（2005 年至现在）

第七代微处理器是酷睿（core）系列微处理器时代。“酷睿”是一款领先节能的新型微架构，设计的出发点是提高每瓦特性能，也就是所谓的能效比。早期的酷睿是基于笔记本处理器的。酷睿 2：英文名称为 Core 2 Duo，是英特尔在 2006 年推出的新一代基于 Core 微架构的产品体系的统称。于 2006 年 7 月 27 日发布。酷睿 2 是一个跨平台的构架体系，包括服务器版、桌面版、移动版三大领域。其中，服务器版的开发代号为 Woodcrest，桌面版的开发代号为 Conroe，移动版的开发代号为 Merom。

酷睿 2 处理器最显著的变化在于对各个关键部分进行了强化，为了提高两个核心的内部数据交换效率采取共享式二级缓存设计，两个核心共享高达 4MB 的二级缓存。

2007 年以来，Intel 基于酷睿微架构，又相继推出了酷睿 i7-740QM 和酷睿 i7-840QM 两款四核处理器和一款代号为“Dunnington”的六核至强 7400 系列处理器产品。Dunnington 凭借其先进的制造工艺、6 个核心的设计，在某些虚拟化环境以及数据密集型应用中（如数据库、商务智能、企业资源规划和服务器整合），可以获得最多高达 50% 的大幅性能提升，使其成为当时最适合虚拟化应用和简化 IT 的理想平台。图 1-7 所示为酷睿 2 微处理器芯片的外形图。

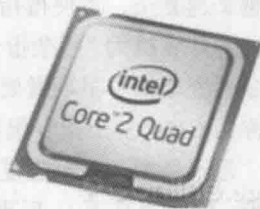


图 1-7 酷睿 2 微处理器芯片

1.1.2 微型计算机采用的新技术

在微型计算机发展的过程中,新的技术被不断采用,使得微型计算机的性能在快速提升、机型在不断地更新换代。通常第一年还是采用最新技术的计算机,到了下一年就被更新换代。这里,从 16 位微型计算机开始总结微处理器所采用的主要新技术。

1. 指令流水线技术

计算机的程序是由按一定顺序排列的指令组成,在早期的计算机中,CPU 运行程序的方式是将一条指令先从存储器中取出再执行,执行完毕后再取出下一条指令执行,这是一种串行执行的方式。指令流水是指将完成一条指令的全过程分解为多个子过程,每个子过程与其他子过程并行进行,这与工厂中的生产流水线十分相似,所以称其为指令流水。

从 8086 微处理器开始,就引入了取指令和执行指令并行执行的流水线技术,随着微处理器的发展,流水线的级数在不断增加,以 Pentium 微处理器为例,它采用 5 级整数流水线,指令在其中分级执行。这 5 级流水线分别为取指、译码、取操作数、执行和回写。一条指令完成一个流水级后进入下一级,从而为指令队列中的下一条指令留下空间。图 1-8 所示为指令流水线操作的示意图。不难看出,采用指令流水线操作后,虽然每条指令实际执行需要 5 个时钟周期,但由于每个时钟周期都有指令进入流水线,并且从第 5 个时钟周期开始也都有一条指令走出流水线,因此其效果相当于每条指令可以在一个时钟周期内完成,指令执行速度比串行执行提高了 4 倍。

时间段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
指令 1	取指	译码	取数	执行	回写					
指令 2		取指	译码	取数	执行	回写				
指令 3			取指	译码	取数	执行	回写			
指令 4				取指	译码	取数	执行	回写		
指令 5					取指	译码	取数	执行	回写	
指令 6						取指	译码	取数	执行	回写

图 1-8 指令流水线操作的示意图

2. CISC 和 RISC 技术

从计算机指令系统的角度来看,当前的指令结构分为两大类:复杂指令集计算机 (Complex Instruction Set Computer, CISC) 和精简指令集计算机 (Reduced Instruction Set Computer, RISC)。由于历史的原因,计算机的指令系统为了适应程序的兼容性、编程的简洁性和硬件系统功能的完善性,把以前用软件 (子程序) 可以实现的功能改为用指令实现,使得同一系列的计算机指令系统越来越复杂,也使得指令系统的硬件实现越来越复杂。一般的指令系统都有上百条指令,我们称这些计算机为“复杂指令集计算机”,简称 CISC。例如,8086/8088 的指令和寻址方式非常丰富,指令系统增加了早期微处理器没有的乘法和除法指令,指令数量多达 200 多条,所以 8086/8088 被称为 CISC 复杂指令集计算机。

是不是指令系统越复杂就越好呢? 回答是否定的,因为它会带来一系列的问题 (例如,实现困难、成本提高等)。后来研究人员通过测试发现,各种指令的使用频率相差悬殊,最常用的指令往往是一些比较简单的指令,它们占指令总数的 20%,而在程序中出现的频率却占到 80% 左右,这说明大部分的复杂指令是不经常使用的。

基于以上的研究分析,在传统的计算机指令系统中,选取使用频率最高的(80%~90%)少数简单指令在一个机器周期内执行完,采用大量的寄存器、高速缓冲存储器技术,通过优化编译程序,提高处理速度。采用这种技术实现的计算机我们称为“精简指令集计算机”,简称 RISC。Intel 的 80x86 微处理器从 80486 开始使用 RISC 技术。

3. 超标量技术

超标量技术是指在处理器内核中采用指令并行机制,在 CPU 中集成多个相同的功能部件,可以根据指令的需要动态分配功能部件,组成多条流水线,每个时钟周期内可以完成多条指令。

在超标量计算机中,配置了多个功能部件和指令译码电路,采取了多条流水线,还有多个寄存器端口和总线,因此可以同时执行多个操作,以并行处理方式来提高机器速度。它可以同时从存储器中取出几条指令,并对这几条指令进行译码,把能够并行执行的指令同时送入不同的功能部件。

超标量计算机的指令流水线执行情况如图 1-9 所示。在 5 个时钟周期完成第一对指令,在第 7 个时钟周期完成第 3 对指令,相比单流水线的计算机,其指令执行速度提高了一倍。对一个指令级并行度为 2 的超标量计算机,每个时钟周期指令数最大为 2。

时间段	1	2	3	4	5	6	7
指令 1	取指	译码	取数	执行	回写		
指令 2	取指	译码	取数	执行	回写		
指令 3		取指	译码	取数	执行	回写	
指令 4		取指	译码	取数	执行	回写	
指令 5			取指	译码	取数	执行	回写
指令 6			取指	译码	取数	执行	回写

图 1-9 指令的超标量流水线执行

超标量计算机的主要特点如下:

- 配置有多个性能不同的处理部件,采用多条流水线并行处理;
- 能同时对若干条指令进行译码,将可并行执行的指令送往不同的执行部件,从而达到每个周期启动多条指令的目的;
- 在程序运行期间由硬件(通常是状态记录部件和调度部件)完成指令调度。

4. 动态执行技术

分支转移指令在程序设计中占有相当大的比重,据统计平均每 7 条指令就会有一条是转移指令。转移指令在运行时会使指令流水线断流,这时进入流水线正在执行的后续指令将会全部作废,这将严重影响指令执行的速度和效率。而新的分支入口指令的获取也成为影响指令执行效率的重要因素。从 Pentium CPU 开始就采用了分支目标缓冲器来实现动态转移预测,其具体做法是将分支指令提前放入分支目标缓冲器中预测该分支转移发生的可能性,为其做好准备工作。

动态执行技术通过预测指令流来调整指令的执行,并且通过分析程序的数据流来选择指令执行的最佳顺序。Pentium II 采用了由 3 种创新处理技巧结合的动态执行技术。

① 多分支预测。采用一种先进的多分支预测算法,允许程序的几个分支流向同时在处理器中执行。当处理器读取指令时,也同时在程序中寻找未来要执行的指令,加速了向处理器传递任务的过程,并为指令执行顺序的优化提供了可调度的基础。

② 数据流分析。通过数据流分析,选择一种最佳的指令执行顺序。其具体作法是:处理器查看被译码的指令,判断是否符合执行条件或依赖于其他指令。然后,处理器决定最佳的执行顺序,以最有效的方法执行指令。

③ 推测执行。将多个程序流向的指令序列,以调度好的优化顺序送往处理器的执行部件去执行,尽量保持多端口、多功能的部件始终为“忙”,充分发挥这些部件的效能。由于程序流向是建立在分支预测基础上的,因此指令序列的执行结果也只能作为“预测结果”而保留。一旦证实分支预测正确,已提前建立的“预测结果”立即变成“最终结果”并及时修改机器的状态。显然,推测执行可保证处理器的超标量流水线始终处于忙碌,加快了程序执行的速度,从而全面提高了处理器的性能。

5. 多媒体增强技术和 3D 数据处理技术

Intel 公司于 1996 年正式公布了多媒体增强 (MultiMedia Extension, MMX) 技术,它在 IA-32 指令系统中新增了 57 条整数运算多媒体指令,可以用这些指令对图像、音频、视频和通信方面的程序进行优化,使微机对多媒体的处理能力较原来有了大幅度提升。MMX 指令用于 Pentium 处理器就是 Pentium MMX (多能奔腾)。MMX 用于 Pentium Pro 处理器就是 Pentium II。

在 Pentium II 中除了采用 MMX 多媒体增强技术,还采用了单指令流多数据流 SIMD 技术,该技术是针对多媒体操作中经常出现的大量并行、重复运算而设计的, SIMD 技术可使一条指令完成多重数据的工作,允许芯片减少在视频、声音、图像和动画中计算密集的循环。Pentium II 将 MMX 技术、SIMD 技术与动态执行技术相结合,在多媒体和通信应用中发挥了卓越的功能。

1999 年,针对因特网和三维多媒体程序的应用要求,Intel 公司在 Pentium II 的基础上又新增了 70 条 SSE (Streaming SIMD Extension) 指令,开发了 Pentium III。SSE 指令侧重于浮点单精度多媒体运算,极大地提高了浮点 3D 数据的处理能力。2000 年 11 月, Intel 推出了 Pentium 4, 在 Pentium III 的基础上新增了 76 条 SSE2 指令集,侧重于增强浮点双精度多媒体运算能力。2003 年的新一代 Pentium 4 微处理器又新增了 13 条 SSE3 指令,使其多媒体和 3D 数据的处理能力进一步加强。

6. 多核技术

在出现多核微处理器以前,各代微处理器的技术及性能进步,从根本上说都是建立在对片内集成晶体管数量和高工作主频的不断追求上。但是,这一过程随着 2004 年 Pentium 4/4.0GHz 极高主频处理器计划的被迫取消而基本终结。于是从 2005 年开始,微处理器的发展进入到了多核时代。

多核处理器是指在单个处理器内部集成两个或多个完整的计算核心或计算引擎。这种多核微处理器被插入一个处理器的插槽,但是操作系统将每个计算核理解为单个的具有所有相关执行资源的逻辑处理器。这些逻辑处理器能够独立的执行线程,因此可以做到多线程的并行,从而大大提高了执行多任务的能力。例如,在每个核的时钟频率不高甚至低于单核的情况下,在每个时钟周期内整个处理器可以处理更多的指令,即处理器的整体性能得到了提高。例如, Intel 公司的双核处理器 Core 2 Duo 相对于此前的单核处理器,性能约提高 40%,同时由于采用了更先进的制造技术,电能的消耗约减少了 40%。

多核处理器可以分为同构多核和异构多核两种。计算内核相同、地位对等的称为同构多核。同构多核处理器大多由通用的处理器组成,多个处理器执行相同或类似的任务;而计算内核不同、地位不对等的称为异构多核,异构多核处理器多采用主处理核 + 协处理核的设计,如 IBM 公司的 CELL 处理器。

由于多核技术大幅提升了微处理器的运算能力,它将是未来微处理器的发展趋势。

1.1.3 微处理器的分类

微处理器按其使用范围可分为通用微处理器和专用微处理器。

1. 通用微处理器

通用微处理器 (Micro Processing Unit, MPU) 就是用于通用微型计算机上的处理器。无论这些处理器是用于台式机、笔记本电脑、工作站、服务器, 还是平板电脑或手持电脑, 它们都具有功能齐全、结构统一、操作规范、界面一致等特点, 被广泛用于工作、家庭、学习的方方面面。

2. 专用微处理器

专用处理器是用于专用场合的微处理器。既然用于专用场合, 就需要根据特殊的用途来构建新的系统, 如车载计算机。通常可以把专用微处理器分为两类: 单片机和数字信号处理器。

(1) 单片机

单片机 (Single Chip Microcomputer) 实质上是把微处理器、存储器和各种可编程 I/O 接口集成在一个芯片上, 这样一个芯片就相当于一个计算机, 多用于智能仪器、智能设备的智能控制核心, 尤其是目前广泛采用的嵌入式系统。在国际上又将单片机称为控制器 (Micro Controller) 或嵌入式控制器 (Embedded Controller), 简称 MCU。典型的产品有 1976—1978 年 Intel 公司的 MCS-48 和 MCS-51 8 位单片机系列; 1982 年以后的 MCS-96/98 的 16 位、32 位单片机系列; Atmel (艾特梅尔) 公司的 AT89 系列 (与 MCS-51 兼容), 16 位、32 位的 AT91 系列 (基于 ARM 内核)。

在一个单片机内部, 通常集成有随机存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、可编程接口, 如定时计数器接口、并行接口、串行接口、A/D 和 D/A 转换接口等, 只要配上相应的电路和硬件设备, 开发相关的软件, 就可构成一个专用的控制或智能系统。

(2) 数字信号处理器

数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 也是一种微控制器, 因其内部集成有高速乘法器, 能够进行快速的乘法和加法运算, 它更专注于数字信号的高速处理。DSP 芯片的用途主要在通信、消费类产品和计算机。典型的 DSP 芯片有:

- Intel 公司的 2920, 该芯片自 1979 年推出以来, 经历了多代的发展;
- 美国德州仪器公司 (Texas Instrument, TI) 的代表性产品 TMS320 的各代:

——1982 年的 TMS32010;

——1985 年的 TMS320C20;

——1987 年的 TMS320C30;

.....

——以及后来的 TMS320C2000/ TMS320C5000/ TMS320C6000 系列等。

还有 AD 公司、Motorola 公司的 DSP 芯片, 这些 DSP 芯片也在我国广为应用。

3. 嵌入式系统

如上所述, 利用单片机或数字信号处理器可以构成一个专用的控制或智能系统。在这些专用的系统中, 嵌入式系统已成为一种通用的形式被广为采用。在嵌入式系统中, 将计算机的软硬件技术、通信技术和半导体微电子技术融为一体, 把单片机或数字信号处理器直接嵌入到应用系统中, 构造信息技术的最终产品。嵌入式系统有 3 个级别的体系结构。

(1) IP 级结构

IP 级结构 (Intellectual Property, IP, 知识产权), 即片上系统 (System on Chip, SoC)。IP 是基于核的设计, 在集成电路的设计领域, 已经把设计细化为基于核 IP 的设计与系统集成 IC 的