微型计算机原理及应用

主编
王新民　方连众
翟淑霞　石素娥

哈尔滨工业大学出版社

微型计算机原理及应用

主　编　王新民　方连众　翟淑霞　石素娥

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本教材在软件方面以介绍 8086/8088 指令系统为基础，重点讨论 Intel 公司的 ASM－86 汇编语言程序设计；硬件着重讨论 8086/8088 的体系结构、接口技术、Intel 公司的 I/O 配套支持器件及应用。通过本门课程的学习，为学生开发微机应用系统打下必要的基础。

本教材供大专院校计算机原理与应用课程教学使用，也可供从事实际工作的工程技术人员参考。

微型计算机原理及应用

Weixin Jisuanji Yuanli ji Yingyong

主编　王新民　方连众等

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

肇 东 粮 食 印 刷 厂 印 刷

*

开本 787×1092　1/16　印张 18.75　　字数 440 千字

1998 年 6 月第 1 版　1998 年 6 月第 1 次印刷

印数 1－3 500

ISBN 7-5603-1276-4/TP·113　定价 22.00 元

前　　言

本教材在软件方面以介绍8086/8088指令系统为基础，重点讨论Intel公司的ASM-86汇编语言程序设计；硬件着重讨论8086/8088的体系结构、接口技术、Intel公司I/O配套支持器件及应用。通过本门课程的学习，为学生开发微机应用系统、解决生产和科学实验中的实际问题打下必要的基础。

本教材共分十四章。第一、三章概述了微型计算机系统的基础知识。第二章着重介绍了二进制数及其运算。第四章介绍了8086/8088CPU的编程结构，以及8086/8088微型微型计算机系统的基本配置。第五章讨论8086/8088指令系统的寻址方式，讲解8086/8088指令系统中基本指令的功能和使用方法。第六、七章介绍了进行汇编语言程序设计所需要的伪指令，着重讨论了ASM-86汇编语言程序结构和程序设计方法。第八章介绍了半导体存储器的构成和使用方法。第九、十一章介绍了Intel系列的并行通信接口芯片8255A和串行通信接口芯片8251A，重点讨论了其与系统总线的接口和应用。第十章介绍了Intel系列的计数器/定时器芯片8253，第十二章讨论了Intel系列的中断控制器芯片8259A的工作原理和使用方法。第十三章介绍了D/A转换器DAC0832和A/D转换ADC0809，重点讨论了数/模转换和模/数转换的实现方法。第十四章介绍了LED显示器件的工作原理及其使用方法。

微型计算机原理和应用课程是实践性很强的课程，上机实践是重要的学习环节。所以，凡有条件的学校，均应安排适当的实验学时。

参加本书编写的人员有：王新民、方连众、翟淑霞、石素娥、杜军、申杰。在编写本教材的过程中，充分体现了将理论教学和实验教学密切结合的指导思想。在相关章节中，共安排了十一个实验。溶理论教学和实验教学为一整体。

在本教材中安排的软件和硬件相结合的实验，可在清华大学计算机工厂产销的、与微机配套使用的TPC-1型16位微机实验培训系统上完成。

本教材供大专院校计算机原理与应用课程教学使用，也可供从事实际工作的工程技术人员参考。

对于本教材中的缺点和错误，敬请读者批评、指正。

编　者

1998年4月于哈尔滨

目　　录

第一章 微型计算机概述

1-1 计算机发展史简介

世界上第一台电子计算机ENIAC是1946年在美国问世的。它由18000只电子管组成，重30吨，占地150平方米，耗电100千瓦，每秒仅能完成5000次加法运算。

经过半个世纪的努力，几代更新，运算速度在每秒10亿次以上的巨型机已投入使用。

电子计算机的发展经历了四代：

第一代：电子管时期（1946～1958）

第二代：晶体管时期（1958～1964）

第三代：集成电路时期（1964～1971）

第四代：大规模、超大规模集成电路时期（1971～ ）

微型计算机是计算机发展到第四代以后才出现的，它是电子计算机技术和大规模集成电路技术发展的结晶。它的发展也经历了几代。

表1 INTEL系列微处理器的发展史

微处理器	内含晶体管数	推出时间
4004	2300	1971
8008	3500	1972
8080	6000	1974
8085	6500	1976
8086	29000	1978
8088	29000	1979
80286	134000	1982
386	275000	1985
486	1200000	1989
Pentium	3100000	1993

审视半导体技术发展的办法莫过于摩尔定律，处理器芯片集成的晶体管数目每隔18～24个月翻一番。INTEL公司处理器的发展从4004直到今天的MMX多能奔腾，始终遵循这一定律。

奔腾芯片的发展：

1. 奔腾 Pentium

2. 高能奔腾　Pentium Pro 32 位速度高，但 16 位速度低

3. 多能奔腾 MMX Pentium 增加 57 条新指令，多媒体和通信功能大大加强

4. Pentium II Pentium Pro 级 MMX 芯片 内含 750 万只晶体管　主频 233M/266M/300M。1997 年 5 月 8 日在上海发布

Pentium II 更小更快的版本——Deschutes 即将问世，采用 0.25 微米工艺生产，主频达 400MHZ。

1-2　微型计算机的特点与性能指标

一、计算机的特点

1. 能自动连续地高速运算

由于计算机采用存储程序控制方式，一旦输入编好的程序，启动之后，就能自动运行下去。

2. 运算速度快

计算机的运算速度每秒可达几百万次，几千万次甚至上亿次，使过去许多无法解决的问题迎刃而解，如 24 小时内的天气预报，用计算机后，几分钟内就可算出。随着计算机器件速度的提高、计算机系统结构等因素的发展，计算机的速度还会有更大的提高。

3. 具有“记忆”功能和逻辑判断能力

计算机的存储能够准确无误地长期保存程序与数据，需要时，可及时调出使用。这种具有记忆和高速存储的能力，是计算机能够自动高速运行的必要基础。计算机还具有逻辑分析逻辑推理和逻辑判断能力。例如判断一个数大于还是小于另一个数，判断一个数的正负。有了逻辑判断能力计算机在运算时，可根据上一步运算结果的判断，自动选择下一步的计算方法。并使计算机能进行诸如资料分类、情报检索、逻辑推理等逻辑加工性质的工作。

4. 运算精度高

计算机的运算精度可达十进制数的十几位，其运算精度，仅取决于机器的字长，为了获得更高的计算精度，还可以进行双倍字长、多倍字长的运算。

5. 通用性强

计算解题时，对不同的问题，只是执行的程序不同。因此，计算机的使用具有很大的灵活性和通用性，同一台计算机能解各式各样的问题，可应用于不同的范围。

对于微型计算机来说，它具有独特之处，例如：它体积小、重量轻、价格便宜，简单灵活、可靠性高、功耗低等诸方面，已经被越来越多的科研工作者、工程技术人员、大学生所认识，故不再赘述。

二、计算机的主要性能指标

一般从以下几个方面来衡量计算机的基本性能：基本字长、主存容量、存取周期、运算速度、外围设备的配置、系统软件配置等。

1. 基本字长

基本字长是指参与运算的基本位数。也是每个存储单元所包含的二进制位数的多少。它决定着寄存器、加法器、数据总线等部件的位数。通常，字长是字节（8 位）的整数倍，如 8 位、16 位、32 位等。字长直接影响着硬件代价，标志着计算精度。

2. 主存容量

常用字数乘以字长来表示主存容量。如 32768×16 表示有 32768 个存储单元，每个单元 16 位。以字节（8 位）为单位的计算机，常以字节数表示主存容量。将 1024 简称为 1K，1024K 称为 1M。现代计算机的主容量从几十 K 到几十 M，甚至可达到几百 M。

3. 存取周期

存储器进行一次完整的读写操作所需要的全部时间，也就是从存储器中连续存（写）、取（读）两个字所用的最小时间间隔称为存取周期。磁芯存储器的存取周期为零点几到几个微秒，半导体存储器的存取周期通常在几十到几百毫微秒之间。

4. 运算速度

计算机每秒钟所能执行的指令条数。由于不同类型的指令所需时间长短不同，因而运算速度的计算方法也不同。

(1) 以最短指令执行的时间（如加法指令）来计算；

(2) 根据不同类型的指令出现的频率，乘上不同的系数，求得统计平均值，得到平均运算速度；

(3) 具体给出机器的主频和每条指令的执行所需的机器周期或执行时间，如定点加、减、乘、除，浮点加、减、乘、除以及其它指令各需多少时间。

5. 外围设备的配置

允许配置外围设备的数量与输入输出处理能力。

6. 系统软件的配置

系统中的软设备，例如是否有功能很强的操作系统和丰富的高级语言，是否有多种应用软件等。

其中存取周期和运算速度是衡量计算机运行速度的指标。除此之外，可靠性，指令条数等也是常用的性能指标。

1-3 微型计算机的应用范围

计算机是 20 世纪科学技术发展的最卓越的成就之一。它问世以来，仅仅 40 多年的历史，已经广泛应用于工业、农业、国防、科研、文教、交通运输、商业、通信以及日常生活等各个领域。实践证明，没有计算机就没有科学技术现代化，就没有工业、农业和国防现代化。计算机的应用可归纳为下述几个主要方面。

一、科学计算

科学计算是计算机最原始的应用领域。在科学技术与工程设计中，存在着大量的类型繁多的数学问题。这类问题往往极其复杂，要加以解决，工作量相当庞大，时间性要求又很强。如大型水坝的设计、卫星轨道的计算、24 小时的天气预报等等，通常，需要求解几十阶微分方程组，几百个线性联立方程组、大型矩阵运算等。没有计算机的快

速性和精确性，其它计算工具根本无法解决的。

计算机用于科学计算可以缩短计算周期、提高效率、降低成本、便于方案优化。

二、数据处理

在生产组织、企业管理、市场预测、情报检索等方面，存在着大量的数据需要及时进行搜集、归纳、分类、整理、存储、检索、统计、分析、列表、绘图等等。这类问题的数据量大，而运算比较简单，有大量的逻辑运算与判断，其处理结果往往以表格或文件形式存储或输出。

据统计，目前的计算机应用中，数据处理所占的比重最大。它使人们从大量的繁杂的数据统计和管理事务中解放出来，大大提高了工作质量，管理水平和效率。

随着计算机的普及，在数据处理方面的应用还将继续扩大与深入。

三、实时控制

使用计算机对连续的工业生产过程进行控制，称为实时控制。采用实时控制，可以提高劳动效率、提高产品质量、降低成本、缩短生产周期。军事工程上采用可以提高命中率、消除失误。

四、计算机辅助设计

在飞机设计、船舶制造、建筑工程设计、大规模集成电路的版图设计、机械制造等行业的复杂设计过程中，为了提高设计质量、缩短设计周期，提高设计的自动化水平而借助于计算机进行设计，称为计算机辅助设计。又称之为 CAD（Computer Aided Design）。

CAD 技术迅速发展、应用范围不断扩大，又派生出许多新的技术分支。如计算机辅助制造 CAM（Computer Aided Manufacture）、计算机辅助测试 CAT（Computer AidedTest）、计算机辅助教育 CAI（Computer Aided Instruction）等等，大大提高了机械工业与电子工业的生产效率和自动化水平。

五、智能模拟

智能模拟是用计算机软硬件系统模拟人类某些智能行为，如感知、思维、推理、学习、理解等的理论和技术。它是在计算机科学、控制论、仿生学和心理学等基础上发展起来的边缘学科。这正是国内外争先研究的人工智能技术。它包括专家系统、模式（声、图、文）识别、问题求解、定理证明、机械翻译、自然语言理解等等。

人工智能的另一个重要应用是机器人。目前国际上已有许多机器人用于各种恶劣环境的生产、试验领域。机器人的视觉、听觉、触觉以及行走系统等。都是目前亟待解决的问题。随着人工智能研究的发展，机器人的智能水平会不断提高，它的应用前景是十分广阔的。

计算机的出现，对科学技术和人类的社会生活产生着巨大的影响。如果说机器的发明是扩展了人手的功能，交通工具的使用扩大了人腿的功能，望远镜和显微镜的使用开阔了人们的视野，那么，计算机的使用扩展了人脑的功能。计算机将帮助人们去探索大自然的秘密，也可以按照人的意志，代替人们完成相当一部分重复性的脑力劳动，使人

们有充裕的时间从事开创性的工作。

从 1971 年微处理器和微型计算机问世以来，计算机成为生活中普遍应用的工具。从人造卫星到日常生活，从科学计算到儿童玩具，都有微型计算机的踪迹。微型计算机的应用之所以发展得到如此迅速，一个重要的原因是其性能、价格比在各种类型的计算机中占有领先地位。微型计算机以廉价物美、可靠性高、维护方便、小巧灵活而深受欢迎。

第二章　数制和编码

计算机最基本的功能就是对数进行计算和处理，数在机器中是用器件的物理状态表示的，而具有两种物理状态的器件容易制造、稳定可靠，所以计算机中的数是用二进制表示的。即计算机只认识二进制数。把指令或命令、英文字母、符号、汉字存入计算机，都必须用二进制数表示，为了让计算机能区分它们，于是采用不同的二进制编码。

2-1　进位计数制

最常用的数制是位置数制，它是按位定值的数制，即是按各个数码的位置规定了该数码所具有的数值，在位置数制中，数 N 可写成：

$$N=(d_{n-1}d_{n-2}\cdots d_1d_0d_{-1}\cdots d_{-m})\ r \tag{2-1}$$

或

$$N=(d_{n-1}r^{n-1}+d_{n-2}r^{n-2}+\cdots+d_1r^1+d_0r^0+d_{-1}r^{-1}+\cdots+d_{-m}r^{-m})$$

$$=\sum_{i=-m}^{n-1}d_i\cdot r^i \tag{2-2}$$

式中，m，n 是正整数，n 为整数的位数，m 为小数的位数，d_i 是 0、1、2…、$(r-1)$ 中的任意一个数，r 表示基值。

所谓基值，是在某一个进位制中可能用到数码的个数，即在该计数制中数字符号状态的个数。当 r 取不同值时，就形成不同的进位制，在日常生产与工程实践中，最常用的是十进制（$r=10$），还有十二进制（$r=12$）、十六进制（$r=16$）、和六十进制（$r=60$）等。计算机中常用的进位制是二进制（$r=2$）、八进制（$r=8$）、和十六进制。

一、十进制

它是十个不同的数字符号（称之为数码）：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9，数码处于不同的位置（叫数位），所代表的值是不同的。如：1983.99 这个数，小数点左边第一位代表个位，第二位代表十位，第三位代表百位，第四位代表千位，小数点右边第一位代表 1/10，第二位代表 1/100。

$$1983.99=1\times10^3+9\times10^2+8\times10^1+3\times10^0+9\times10^{-1}+9\times10^{-2}$$

任意一个十进制数 N 都可以表示为形如（2-2）式的展开式：

$$N=d_{n-1}\ (10)^{n-1}+d_{n-2}\ (10)^{n-2}+\cdots+d_1\ (10)^1+d_0\ (10)^0+d_{-1}\ (10)^{-1}+\cdots$$

$$+d_{-m}\ (10)^{-m}=\sum_{i=-m}^{n-1}d_i\ (10)^i \tag{2-3}$$

式中：d_i 可是：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 中的任--个，具体数值由 N 决定，括号内的 10 为十进制的基值。

十进制计数制的规律是：

①有 0～9 十个不同的数码；

②$r=10$，即基值为 10。每个数位有一定的位值——“权”，它是基值 10 的某次幂，所以，相邻高位的位值是其低位的十倍；

③在加、减法运算中，采用“逢十进一”和“借一当十”的规则。

二、二进制

基值为二，即 $r=2$，d_i 只能取两个数码：0 和 1，权为 2 的幂。所以当计数到 2 时，就要进位，即“逢二进一”。

对二进制数同样可写成形如（2-2）式的展开式。例 11011.101 可写成：

$$(11011.101)=1\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}+0\times2^{-2}+1\times2^{-3}$$

任意一个二进制数 N 都可写成：

$$N=d_{n-1}2^{n-1}+d_{n-2}2^{n-2}+\cdots+d_1\cdot2^1+d_0\cdot2^0+d_{-1}\cdot2^{-1}+\cdots+d_{-m}\cdot2^{-m}$$

$$=\sum_{i=-m}^{n-1}d_i2^i \tag{2-4}$$

式中 d_i 可是 0、1 这两个数码中的任一个，具体取值由 N 决定。

可见，展开式（2-3）与（2-4）完全类似。

对二进制来说，它的规律为：

① 在二进制中，只有 0、1 两个数码；

② $r=2$，每个数位上的位值是基值 2 的某次幂，相邻高位的位值是低位的二倍；

③ 在加减运算中，采用“逢二进一”和“借一当二”的规则。

三、八进制

若 $r=8$，即为八进制。

$$N=\sum_{i=-m}^{n-1}d_i\cdot8^i \tag{2-5}$$

式中的 d_i 是：0、1、2、3、4、5、6、7 这八个数码中的任一个，具体取值由 N 决定。

同前可知：在八进制中，规律是“逢八进一”和“借一当八”。

四、十六进制

$$r=16 \qquad N=\sum_{i=-m}^{n-1}d_i\cdot(16)^i \tag{2-6}$$

式中的 d_i 是：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 这十六个数码中的任一个，具体取值由 N 决定。十六进制的规律是“逢十六进一”和“借一当十

六”。

A、B、C、D、E、F 也有用$\bar{0}$、$\bar{1}$、$\bar{2}$、$\bar{3}$、$\bar{4}$、$\bar{5}$、来表示的。它们分别表示十进制中的 10、11、12、13、14 和 15。

从以上分析，可得到按位定值计数制的两个共同规律如下：

① 每种进位值都有一个固定的基值 r；每一个数位可取 r 个不同的数码，且是“逢 r 进一”，即每一数位计满 r 就向高位进一；“借一当 r”、即相邻高位的权是低位的 r 倍。

② 各种进位制都能写成：$\sum_{i=-m}^{n-1} d_i \cdot r^i$ 的形式，即为按位定值，每一位数码 d_i 对应于一个固定的值（r^i），r^i 称为 d_i 的权。

表 2-1 为几种进位制的对照表。

表 2-1 几种进位制的对照表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0000	0	0	9	1001	11	9
1	0001	1	1	10	1010	12	A
2	0010	2	2	11	1011	13	B
3	0011	3	3	12	1100	14	C
4	0100	4	4	13	1101	15	D
5	0101	5	5	14	1110	16	E
6	0110	6	6	15	1111	17	F
7	0111	7	7	16	10000	20	10
8	1000	10	8	17	10001	21	11

2-2 数制的转换

一、转换到十进制数

只要根据式（2-4）、（2-5）、（2-6）按权展开，就将二进制数、八进制数、十六进制数转换成十进制数了。

例

$$(11001)_2 = 1\times 2^4 + 1\times 2^3 + 0\times 2^2 + 0\times 2^1 + 1\times 2^0$$

$$= 16 + 8 + 1 = (25)_{10}$$

$$(6734.62)_8 = 6\times 8^3 + 7\times 8^2 + 3\times 8^1 + 4\times 8^0 + 6\times 8^{-1} + 2\times 8^{-2}$$

$$= (3548.78125)_{10}$$

二、十进制数到其它进位制的转换

1. 十进制整数部分的转换

除基取余法。

例 将十进制数 25 表示为二进制形式。

由（2-2）式知

$$(25)_{10}=b_{n-1}\times 2^{n-1}+b_{n-2}\times 2^{n-2}+\cdots+b_2\times 2^2+b_1\times 2^1+b_0\times 2^0$$

如何确定 $b_{n-1}\sim b_0$ 呢？用基值 2 除以等式两边，则得

$$\frac{25}{2}=12+\frac{1}{2}=\ (b_{n-1}\times 2^{n-2}+b_{n-2}\times 2^{n-3}+\cdots+b_2\times 2+b_1)\ +\frac{b_0}{2}$$

由于等式两边的整数与小数必须对应相等，于是 $b_0=1$，它正好是$\frac{25}{2}$的余数，减去余数，于是原式化为

$$12=b_{n-1}\times 2^{n-2}+b_{n-2}\times 2^{n-3}+\cdots+b_2\times 2+b_1$$

所以 $b_0=1$。

将此式两边继续除以基数 2，可得：

$$\frac{12}{2}=\ (b_{n-1}\cdot 2^{n-3}+\cdots+b_2)\ +\frac{b_1}{2}=6$$

所以　$b_1=0$。

用类似的方法，可将 b_{n-1}、$b_{n-2}\cdots$、b_2 都确定下来。

为清楚起见，上述过程采用竖式[①]：

2	15	
2	12	余数为 1（$=b_0$）最低位
2	6	余数为 0（$=b_1$）
2	3	余数为 0（$=b_2$）
2	1	余数为 1（$=b_3$）
	0	余数为 1（$=b_4$）最高位

于是　　$(25)_{10}=\ (11001)_2$

2. 十进制小数部分的转换

乘基取整法。

例　将 $(0.6875)_{10}$化为二进制数。

设

$$(0.6875)_{10}=b_{-1}\cdot 2^{-1}+b_{-2}\cdot 2^{-2}+\cdots+b_{-m}\cdot 2^{-m}$$

将上式两边同时乘以 2，得

$$1.3750=b_{-1}+b_{-2}\cdot 2^{-1}+\cdots+b_{-m}\cdot 2^{-m+1}$$

由等式两边的整数与小数必须对应相等，则

$$b_{-1}=1$$

这时

$$0.3750=b_{-2}\cdot 2^{-1}+\cdots+b_{-m}\cdot 2^{-m+1}$$

将此式两边再乘 2[②]，得

$$0.75=b_{-2}+b_{-3}\cdot 2^{-1}+\cdots+b_{-m}\cdot 2^{-m+2}$$

所以　$b_{-2}=0$。

列出竖式：

$$
\begin{array}{r}
0.6875 \\
\times \quad 2 \\
\hline
1.3750
\end{array}
\quad \text{整数部分} = 1 \cdots b_{-1}
$$

$$
\begin{array}{r}
0.3750 \\
\times \quad 2 \\
\hline
0.7500
\end{array}
\quad \text{整数部分} = 0 \cdots b_{-2}
$$

$$
\begin{array}{r}
\times \quad 2 \\
\hline
1.5000
\end{array}
\quad \text{整数部分} = 1 \cdots b_{-3}
$$

$$
\begin{array}{r}
0.5000 \\
\times \quad 2 \\
\hline
1.0000
\end{array}
\quad \text{整数部分} = 1 \cdots b_{-4}
$$

所以 $(0.6875)_{10} = (0.1011)_2$

用上述方法，可以把十进制数转换为八进制数、十六进制数。

三、二进制与八进制数的转换

因为 $2^3 = 8$，所以一位八进制数相当三位二进制数，它们是完全对应的，当数带有小数部分时，从小数点开始向两侧每三位转换为一位八进制数。

例 将 $(11111101.01001111)_2 \Rightarrow$ 八进制数。

$$
\begin{array}{cccccccc}
\underline{011} & \underline{111} & \underline{101} & \cdot & \underline{010} & \underline{011} & \underline{110} \\
\downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
3 & 7 & 5 & & 2 & 3 & 6
\end{array}
$$

所以

$$(11111101.01001111)_2 = (375.236)_8。$$

例 将八进制 $(67.721)_8 \Rightarrow$ 二进制数。

$$
\begin{array}{cccccc}
6 & 7 & & 7 & 2 & 1 \\
\downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
110 & 111 & \cdot & 111 & 010 & 001
\end{array}
$$

所以

$$(67.721)_8 = (110111.111010001)_2$$

四、二进制与十六制数的转换

因为 $2^4 = 16$，所以，只要把一位 16 进制数用 4 位二进制数代替即可。

例 将 $(5F.68)_{16} \Rightarrow$ 二进制数。

$$
\begin{array}{ccccc}
5 & F & & 6 & 8 \\
\downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\
0101 & 1111 & \cdot & 0110 & 1000
\end{array}
$$

所以

$$(5F.68)_{16} = (1011111.01101)_2。$$

例 将 $(110100101011.0100111)_2 \Rightarrow$ 十六进制数。

---

① 该运算过程，直到所得商数为 0 为止，商值为 0 时的余数就是最高位数码。

②上述过程一直继续下去，直至原乘的小数部分等于 0 为止（如出现循环，计算到计算机字长限制下的小数点后某个位数为止。