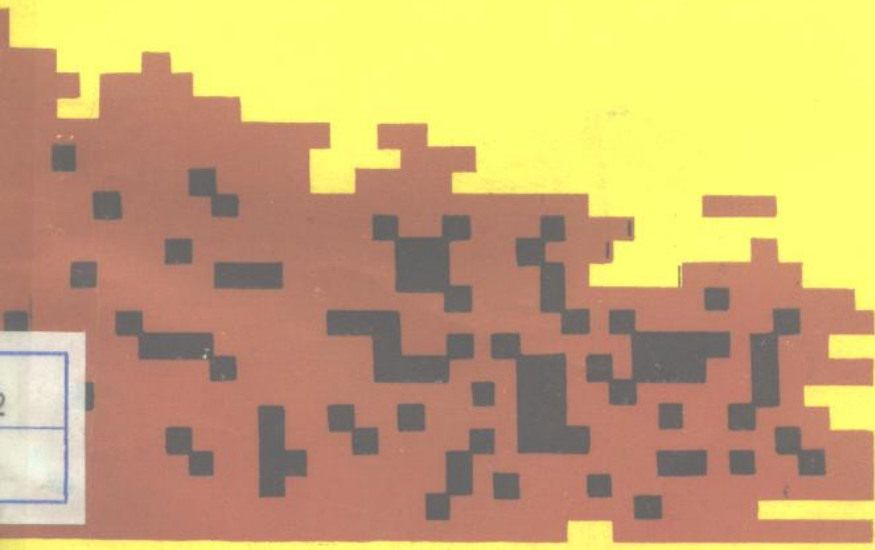


微	型	计	算	机	上	的
			数	值	方	法

T. E. 邵普 著



科学出版社

内 容 简 介

本书用 BASIC 语言深入浅出地叙述了微机上常用的数值方法及其算法程序。内容包括：方程求根，特征值问题，常微分方程，插值和曲线拟合，数值积分和数值微分。还介绍了这些算法在计算机上的实现，选择算法时的考虑和算法评价等。该书对使用计算机的人们选择有效的算法去解决各类问题有很大的益处。对于具有高中以上文化水平、又已熟悉 BASIC 语言的人来说，阅读该书是毫无困难的。

本书适用于高校有关专业的师生、工程技术和科研人员、中学生。

T. E. Shoup
NUMERICAL METHODS
FOR THE PERSONAL COMPUTER
Prentice-Hall, INC., 1983

微型计算机上的数值方法

T. E. 邵普 著

刘学宗 译

责任编辑 林 鹏 刘嘉善

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1989 年 8 月第一版 开本：787×1092 1/32

1989 年 8 月第一次印刷 印张：7 5/8

印数：0001—8 150 字数：170 000

ISBN 7-03-001165-1/TP·72

定价：4.30 元

前 言

小型计算机确实是进行数字运算的非凡工具。近来微型计算机技术不断获得发展的趋势预示了,在今后数十年中,小型计算机将广泛地应用在我们生活的许多方面。然而,虽然小型计算机已广泛地为公众接受,但是它在科学和工程技术中的数值方法方面的应用却比较少见。造成这种情况的主要原因是,大多数数值方法的教科书和软件库都是从大型计算机的角度编写的。可是,考虑到成本、公用程序和方便性等因素,与大型计算机相比,把小型计算机作为解决某些类型的数值方法问题的工具来使用,正在迅速地变得更可取。

在小型计算机上实现数值方法所用的知识和软件极其有限,其中,由既懂数值方法又懂小型计算机通用性的人提出的知识和软件更是微乎其微。本教科书的目的在于利用这些综合领域的最佳特征。因此,本书不仅打算提供关于数值方法方面的知识,而且也将提供软件数据库,其中包括已被加工成能在小型计算机上实现的高质量的算法。

本书及其所给出的软件对于在大学教授数值方法课程,对于科学技术工作者想扩大他们已有的计算设备利用率来说可提供完整的资料。

本教科书所论及的一些课题是求解科学和工程问题时最常遇到的。本书的基本写法是,把数值方法中的基本课题与为发展有用的算法所必须的关键性的数学关系式一道加以介绍,然后给出在小型计算机上实现这些算法的专用软件,以及应用的例子。还在每章的最后给出一个概述,以帮助使用者

能对某一给定的求解问题选择最佳的算法；并且提醒使用者注意到在小型计算机上使用这些算法时所存在的潜在问题。每章末尾列出的参考文献有助于使用者找到专门算法的更多信息。对于那些认为本书中的 BASIC 程序是有用的人们来说，一个软件库是马上可得到的。

(下略感谢语)

T. E. 邓普

目 录

第一章 引言	1
1.1 数字计算机	2
1.2 微型计算机的结构	9
1.3 作为解决数值问题工具的微型计算机	14
第二章 代数方程和超越方程的求根	16
2.1 单个非线性方程的根	16
2.2 二元搜索方法	17
2.3 试位法	19
2.4 Newton 法	21
2.5 弦线法	23
2.6 直接代入法	24
2.7 多项式方程的解法	27
2.8 求复根的 Lin 方法.....	28
2.9 求多项式根的 Bairstow 方法	30
2.10 对于小型计算机选择算法时的考虑	36
第三章 联立方程的求根	39
3.1 Gauss 消去法	39
3.2 Gauss-Jordan 消去法	42
3.3 用 Gauss-Jordan 消去法求矩阵的逆	46
3.4 解联立线性方程组的 Cholesky 方法	51
3.5 解联立线性方程组的迭代法	56
3.6 Jacobi 方法	56
3.7 Gauss-Seidel 方法	57
3.8 逐次超松弛法	57
3.9 求解非线性联立代数方程组	61

3.10 直接迭代法	61
3.11 Newton 迭代法	63
3.12 参数摄动法	67
3.13 对于小型计算机选择算法时的考虑	68
第四章 特征值问题	71
4.1 特征值问题的基础知识	71
4.2 迭代解法	74
4.3 计算特征值的变换法	79
4.4 求对称三对角线矩阵的特征值	90
4.5 矩阵直接简化成 Hessenberg 形式	92
4.6 计算特征值的其它方法	94
4.7 选择特征值算法时的考虑	101
第五章 常微分方程	104
5.1 常微分方程的分类	104
5.2 初值问题的单步法	107
5.3 预估-校正方法	122
5.4 预估-校正方法特征的概述	127
5.5 步长的考虑	128
5.6 刚性问题	129
5.7 求解边值问题的方法	130
5.8 选择求解常微分方程算法时的考虑	133
第六章 数值插值和曲线拟合	135
6.1 线性插值	135
6.2 Lagrange 插值	137
6.3 均差方法	140
6.4 迭代插值方法	145
6.5 反插值法	148
6.6 用最小二乘法拟合曲线	148
6.7 用样条函数光滑曲线	156
6.8 选择插值方法, 曲线拟合方法, 或曲线光滑方法时的考	

考虑	163
第七章 数值微分和积分	166
7.1 数值微分	166
7.2 数值积分	177
7.3 求积分的梯形法	178
7.4 求积分的 Simpson 方法	181
7.5 求积分的高阶 Newton-Cotes 公式	182
7.6 Romberg 积分	188
7.7 Gauss 求积	192
7.8 选择数值微分或数值积分方法时的考虑	197
附录	199
A 计算机词汇	199
B ASCII 表	224
C 时间单位	225
D 数转换方法	226
E RS-232C 接口的连接法	229
参考文献	230

第一章 引言

我们生活在一个前所未有的科学和工程技术不断进步的时代。综观过去几十年因工业技术发展而取得的进步，以及这些进步如何影响着我们的生活和工作方式，那就能看出两个激动人心的趋势。第一个趋势是，重大成就出现的频率随时代的前进趋于加快。第二个趋势是，人们接受这些成就并把它们与人们生活相结合的速率也加快了。为了说明这两个趋势，让我们考察下面的事实，由 Bell 在 1876 年发明的电话是慢慢地才得到完善并为商业上所接受的。直到 1954 年，多数的美国家庭才备有打长途电话的装置。然而，在 1939 年所发展的，具有同等重要意义的第一台现代家庭电视机，只用了不到十年的时间就得到广泛的接受。在 1974 年美国统计局的报告说：97% 的美国家庭至少有一台电视机，45% 的家庭有二台或更多台电视机。这种对照的结论看来是很清楚的。早先在通信和产品运送系统方面，因工业技术的发展而取得的进步实际上造成了加速接受后来的发明的局面。这样，已经发展起来的技术在促进新发明方面具有增效的作用。在我们这个时代，这种现象进一步被证实了。最好的例子或许就是微型计算机革命。第一块微型处理机芯片是 1971 年开发出来的，而第一台微型计算机是 1975 年问世的，在其后不到十年的时间里，已有近五十万台微型计算机用于从娱乐到商业和科学应用的多种工作中。最近的工业调查预言，八十年代末以前，美国的每个家庭都将有一台微型计算机。微型计算机很可能会影响到人们未来的生活方式，正如同过去

电话或电视的发展所带来的影响那样。当代的作家已经预言,在继工业革命之后的下一次社会革命中,微型计算机将扮演着重要的角色。

随着微型计算机的计算能力及其硬件多功能性的发展,微型计算机的应用领域继续在扩大。那些曾经被认为仅仅适合于大型计算机的工作,现在也可以使用微型计算机来完成,不仅物质条件是切实可行的,而且经济上也是更为可取的。这样的扩大应用之一就是求解科学和工程技术方面的数值问题。这本书的目的就是把数值方法的资源提供给那些愿意应用微型计算机的计算能力去求解科学和工程技术问题的人们。本书集中在下面的三个重要目标上:

1. 指出现在的和将来的微型计算机系统的特性,这些特性将提示我们在什么时候使用这些重要的计算装置,以及在什么时候不使用它们。
2. 指出求解工程和科学问题时经常遇到的数值工作。
3. 介绍实用的计算算法,这些算法体现出数值方法必要性与微型计算机能力的结合。

1.1 数 字 计 算 机

第一台电子数字计算机叫 ENIAC (取自英文 Electronic Numerical Integrator And Computer 首字母缩写词,中文的意思是,电子数字积分计算机)。它于 1943 年到 1949 年之间建于 Pennsylvania 大学。像这台计算机一样,早期计算机体积都很大,足以充满一座小房子那样大小的空间。尽管有那么大的体积,但以现在标准来衡量,它们的计算能力却是相当低的。ENIAC 计算机有一万八千多个电子管,由于这些电子管的故障,使得这台机器的可靠性相当低。找到并且更

换出现故障的电子管花费了数不清的时间。另外，电子管还产生大量的热，消耗大量的电力。尽管有这些缺点，ENIAC 还是很好地运行了，从而表明了数字计算机的效能，并且刺激了后来改进的计算机的发展。

1948 年发明了晶体管，到 1959 年开始用于数字计算机，这就使得计算机的体积，能源消耗和成本大幅度下降，而可靠性和计算能力却增加了。在六十年代初期，由于当时几家晶体管公司发展了把完整的电子线路放置在硅表面上的方法，使得计算机的体积和能力发生了另一次飞跃。这些集成电路为一代新的计算机奠定了基础，这代新计算机在质上与以前的大型多用途计算机大不一样。这样，第一次能把计算机造得足够小，足够便宜，以专为特定的计算工作或数据管理工作使用。这些小型的专用计算机称为小型计算机 (minicomputer)，这是因为它们的体积小，大致与一小型文件柜一样大小。第一台小型计算机是 DEC 公司 (Digital Equipment Corporation) 在 1965 年制造的 PDP-8。在同一时期，集成电路对另一类电子计算装置 (电子计算器) 也产生了重大影响。六十年代末期，这些装置的能力获得奇迹般的发展，而售价却下降了一个数量级以上。这种经济上不寻常的成就主要归功于改进了的制造技术。这样，不会让人们惊讶的是，在计算装置方面的下一个突破将从计算器与数字计算机的交界面开始。就像那么多的革命性的发明一样，这种新发明是从试图解决某一个领域中的问题开始的，但却导致了在其它领域中的突破。

1971 年，Intel 公司试图设计一种其本身就是一完整的计算器集成电路的单个集成电路芯片。所得到的具有极多功能的装置就是现在称之为微处理机或“一个芯片上的计算机”的东西，支持获得这种重要突破的技术现在称为大规模集成

(large-scale integration), 这种技术能把成千只的晶体管放置在一个硅片上。在不到一平方厘米的硅片上, 这个微处理机是一个完整的计算机中央处理部件。微处理机可以用于多种专门的应用, 包括计时和控制工业过程, 控制交通灯, 制导飞行器以及其它许许多多的应用。当附加上存储器 and 输入输出设备时, 微处理机就能得到更有趣的应用了。这样的组合称之为微型计算机 (microcomputer)。注意到下面这点是很有趣的, 虽然微型计算机的尺寸很小, 成本很低, 但是它的能力却大大超过电子管和晶体管时代的大型的, 昂贵的计算机。因此, 由于对计算机革命做出贡献的工艺技术不断的改变, 所以划分大型计算机, 小型计算机和微型计算机的界限已不能清晰地加以定义了。为方便起见, 可以把现在正在使用的各种类型的计算机以其大小, 速度, 成本和公用程序进行分类。表 1-1 给出在这个迅速发展的领域中具有代表性的计算机的特性比较。在下面的段落中将讨论这些特性对于求解科学和工程问题的意义。

大小

有个时期能用计算机的物理尺寸作为计算机综合计算能力的一个度量, 然而由于计算机技术的迅速变化, 这已不再是正确的了。计算机技术的进步使得更难用物理尺寸把计算机分成大型, 中型或小型的了。某些小型计算机或许比大型计算机中某些较小的还大。同样, 连同外部设备在一起的微型计算机看起来或许比某些小型计算机还大。字长的有效位数是指在一给定的计算中能有多少位有效数字, 典型的 8 位微型计算机能够进行 9 位有效数字精确度的运算。一般来说, 在计算机字长中所使用的二进制位数愈多, 精确度的有效数字的位数就愈多。微型计算机很少具有大型计算机为提高精

表 1-1 各类计算机特性的比较

特 性	中型/大型计算机	小型计算机	微型计算机
大小			
物理尺寸	房间大小	书桌大小	打字机大小
字长	32—64 位二进制	16—32 位二进制	8—16 位二进制
最大存贮空间	12,000K 字节	4,000K 字节	128 K 字节
速度			
CPU 周期	<70 毫微秒	~100 毫微秒	>200 毫微秒
存贮周期	<250 毫微秒	~300 毫微秒	>400 毫微秒
成本	\$ 2 到 4 百万	\$ 20,000 到 \$ 40,000	\$ 2,000 到 \$ 4,000
公用程序			
操作系统	多道程序设计 (大量的)	多道程序设计 (少数的)	单个工作
支持语言	多种常用语言	一些常用语言	少数
操作要求	专门的机房和训练过的操作人员	对操作员有有限的要求	用户操作
现有的应用程序库	极好	良好	目前是有限

确度所经常使用的以耗费存贮空间为代价达到双倍精确度的能力。简单地比较工作存贮空间的大小可能让人产生误解。应当从字长的角度,以及从在一给定时刻单个用户实际上所能拥有的最大存贮空间的大小的角度,看待这个数字。随着外部存贮设备的存取时间的缩短,64K 字节的有效存贮空间所带来的局限性也就不太严重了。一般地说,一个工程或科学计算很少用到一个大型计算机的全部存贮空间。而那些要求大量存贮空间的应用正需要使用大型计算机,且它们也正是最有效地适于大型计算机处理的一类工作。而那些要求小量存贮空间和一般精确度的计算应用最适于使用微型计算机。

速度

虽然微型计算机的体积小,但是它的运算速度却惊人地

快。就 CPU 周期来说，微型计算机的操作速度大约是大型计算机的十分之一。由于在大型计算机上完成许多工程和科学问题只需不到 6 秒钟的 CPU 时间，所以可以合乎情理地预言，在微型计算机上执行具有同等复杂程度的程序只需不到 1 分钟的时间。当然，应当谨慎地应用这个经验法则，这是因为大多数工程和科学计算程序所需的输入-输出操作时间比实际的 CPU 时间要多。这时，处理速度将更多地受到外部设备的速度而不是 CPU 速度的限制。由于多数微型计算机是与阴极射线管屏幕或者是与低速打印机相连接，所以限于把微型计算机用于解决那些仅需适中的总处理时间和中等信息输出量的问题看来是明智的。

成本

之所以使用微型计算机求解工程和科学问题的最强有力的论据之一或许就是成本这个理由。根据存贮量计算规范化定价，微型计算机是每字节 5 美分，而大型计算机是每字节 40 美分。这种八倍的优势是可能的，因为微型计算机被设计成一次只执行一个任务。根据处理速度计算规范化定价所得到的类似论据比上面依据存贮量所得到的更令人吃惊。大型计算机的 CPU 处理速度大约比微型计算机快一个数量级，然而总的价格却要高出三个数量级。此外，由于微型计算机不需要专门训练过的操作员，也不需要专门准备好的运行环境，所以总的运行成本可能远低于根据对定价进行的比较所做出的估计。因为微型计算机依据于相对新的生产技术，所以今后微型计算机系统的价格看来会继续下降。这个事实进一步增强了在微型计算机效能所及的范围内，使用它们处理计算工作的已经是很强烈的经济缘由。

公用程序

大型计算机和小型计算机的主要区别在于可以同时进行人机对话的用户的数目。在大型计算机所支持的多道程序设计环境中,几百个用户可以同时使用这个计算资源。然而,微型计算机的操作系统设计成只让一个用户使用这台机器。因此,微型计算常被称为“个人”计算机 (personal computer)。就所支持的计算机语言的种类来说,多数大型计算机提供多种常用的高级语言,而微型计算机常常只能提供一种高级语言,多半是 BASIC 语言。虽然常常可以用机器语言在微型计算机上编写程序,但是这个过程将因机器不同而异,造成难以实现软件的移植。目前大多数科学和工程问题的求解是用 FORTRAN 语言完成的。由于微型计算机的广泛普及,现已有 FORTRAN 语言的特定版本提供使用。不过,对于用 BASIC 语言编写的数值方法程序的需求依然是很强烈的。在过去的十年中,已经发展了为各种大型计算机所使用的用 FORTRAN 语言编写的许多优秀的应用程序库。因为这是一新的技术发展,所以微型计算机尚不具有大量的这种为工程和科学所使用的程序库。但是有足够的理由可以相信,这种程序库的可用性近期将获得迅速的发展。

选自近期的 Wall Street Journal (华尔街杂志)的图 1-1 说明在美国小型计算机的预计增长速率。这种趋势清楚地表明,在今后的几年中将拥有更大量的这些有用的设备。图 1-2 也是选自 Wall Street Journal,它说明现在有限的几家公司提供着市场对这种设备的需要的很大比例。看来很清楚,所预计的对小型计算机的进一步需求将促进许多新的公司进入这个迅速发展着的领域。在考虑使用小型计算机求解科学和工程数值问题时,应当记住下面四个特征:

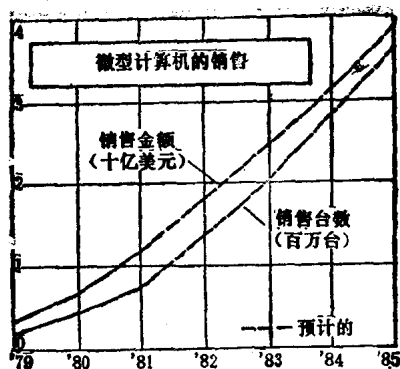


图 1-1 小型计算机的预计增长速率

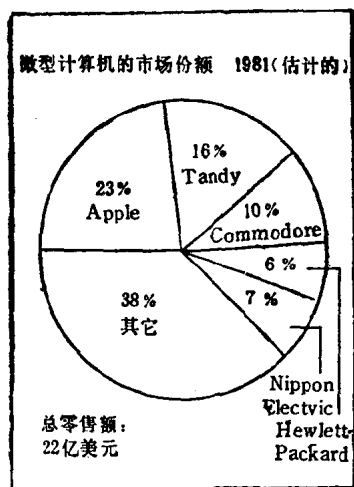


图 1-2 小型计算机设备的主要供应者

运行时间

因为小型计算机的运行速度比大型计算机慢一个数量

级，所以应当只限于把小型计算机用到那些在合理的时间内就能完成的应用问题中去。

空间

因为小型计算机只有有限的存贮空间和字长，所以应当用它们求解那些不需要大量存贮空间的问题。

精确度

因为多数小型计算机采用 8 位字进行运算，所以那些需要比使用这种计算长度所能达到的精确度更高的精确度的应用应当使用大型计算机。

输入-输出量

因为小型计算机的输入-输出速度相对比较慢，所以应把小型计算机用于只需输入输出少量信息量的问题。

1.2 微型计算机的结构

虽然严格详尽地论述微型计算机是怎样进行操作的已超出了本书的范围，但是这些内容对于读者了解其特点是有用处的，这些特点决定着这种特殊装置的运行特征。因此下面介绍一些这方面的内容。想更加深入了解这方面内容的读者可在本章末尾找到有关的参考文献，附录中的词汇也会有所助益。

图 1-3 给出微处理机的中央处理机，也称为 CPU，的基本功能结构图。这个图中每个部件的作用将在下面的段落中加以讨论。

时钟

时钟是能产生均匀间隔的脉冲系列的脉冲发生器。因为把微型计算机中的所有功能事件精确地同步对于它的正确运行是极端重要的，所以时钟起着关键的作用。这些脉冲用于协调和同步微型计算机中所有部件的动作。时钟的速度将决定微型计算机运行的总体速度，至多达到系统部件的性能极限。

运算器

运算器 (ALU) 是微型计算机中执行所有算术运算和逻辑运算的部件。在执行这些任务时，ALU 要使用几个工作寄存器，对于数据运算，这些寄存器起着草稿纸的作用。

控制器

控制器是整个微处理机的控制中心。它的工作是从计算机存储器中把指令取出来，解释这些指令，控制指令的执行，并把结果放到适当的位置上。控制器自己有个小存储器，其中存有微处理机所使用的指令系统。在执行任务的同时，控制器还要处理内务工作，例如，保存将要取出的下一条指令在主存储器中的位置的地址，以及设置标记当前 CPU 动作状态的标志和条件编码。处理一条指令需要几个时钟脉冲。这是因为先要从存储器中读出指令，然后进行译码，最后才执行。读出，译码和执行等操作中的每一操作都需要一个或多个时间脉冲，称之为机器工作周期 (machine cycle)，而整个的操作系列称为指令周期 (instruction cycle)。

总线

在微处理机中，功能部件之间的信息联系称为总线。内