

以源代码及注释阐明算法

模糊数学 基础及实用算法

大量精彩算例
可以举一反三

李鸿吉 编著

- ▶ 入门学者的自学通
- ▶ 专业人士的备忘录
- ▶ 科技人员的进阶梯

 科学出版社
www.sciencepress.com

模糊数学基础及实用算法

李鸿吉 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书开发了模糊数学常用的计算机程序,并以大量的算例系统地介绍了模糊数学的实用算法。本书可以作为模糊数学的应用程序包,在详细解释源代码的同时,对应用程序开发所用到的 Visual Basic 6.0 方法做了系统介绍,其目的是为读者做进一步的自主开发提供便利。本书所提供的源程序可以作为读者自主开发的素材。本书配有光盘,分章节提供程序源代码。

本书可以作为大专院校、培训班的教学参考书。对需要使用模糊数学方法的工矿企业,水利、气象、地质、地震等观测、预报单位和科研部门,社会科学调查机构等,本书可作为常用工具书。对承担研究项目的科研人员、教学人员以及研究生,在将科研成果软件化时本书是很有实用价值的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

模糊数学基础及实用算法/李鸿吉编著.—北京:科学出版社,2005

ISBN 7-03-014560-7

I. 模… II. 李… III. 模糊数学-高等学校-教学参考资料 IV. O159

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第113785号

责任编辑:赵卫江/责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉/封面设计:王浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年2月第一版 开本: B5 (720×1000)
2005年2月第一次印刷 印张: 34 3/4
印数: 1—4 000 字数: 670 000

定价: 55.00元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

模糊数学是 1965 年由美国加利福尼亚大学控制论专家扎德教授所开创的，此后的近 40 年里发展非常迅速，已经应用到许多科学技术领域。在农业、林业、气象、管理科学、系统工程、经济学、社会学、生态学、未来学、语言学、军事学、地震学、地质学等领域都有举世瞩目的建树。模糊数学已经显示出强大的生命力和渗透力，发展前景广阔。

模糊数学在 1976 年传入我国，1980 年成立了中国模糊数学与模糊系统学会，1981 年创办了《模糊数学》杂志，1987 年创办了《模糊系统与数学》杂志。我国已经成为全球四大模糊数学研究中心之一（美国、西欧、日本、中国）。

本书的宗旨

对非模糊数学专业的学者来说，最关心的问题并不是模糊数学的理论问题，而是在对模糊数学有一定了解的基础上如何将模糊数学方法运用到自己的工作中。

有一句俗语是“捞干的”，模糊数学中的“干货”就是算法。非模糊数学专业的学者只要掌握了模糊数学算法就如虎添翼。

本书向非模糊专业的学者提供模糊数学算法。

本书的主要内容

本书共 10 章，分成四部分：

- 第 1 章到第 3 章介绍模糊数学的基本知识，其中也包括一部分模糊数学的基础算法。这部分对初学者是很有必要的。

- 第 4 章的“数据文件”和第 9 章的“数据库”讲述如何为模糊数学算法提供数据源。要想解决实际问题，有了算法还不够，还需要有从实际工作中提炼出来的与算法配套的数据。对用户来说，选择算法和提炼数据决定计算效果，在提炼数据上应该花大力气。这两章还包括对常用 Visual Basic 6.0 控件和方法的简要介绍。

- 从第 5 章起一直到第 8 章是模糊数学的应用程序部分，其中包括模糊聚类分析、模糊模型识别、模糊综合评判、模糊物元分析，是模糊数学最常用的算法，也是本书的主干。

• 为了将多种算法和数据有机地联系在一起,在第 10 章建立了一个“总界面”,通过“总界面”用户可以很方便地实现不同应用程序之间的切换。这一章也有一些对 Visual Basic 6.0 用法的解释。

本书的特点

- 应用程序开发时,使用的操作系统是 Windows 2000 和 Windows XP,使用的语言是 Visual Basic 6.0。
- 本书不仅把应用程序介绍给读者,而且还向读者交代开发过程。对开发过程中所涉及的 Visual Basic 6.0 对象,集中放到第 4 章、第 9 章和第 10 章。这些内容对读者加深理解,并进行自主开发都是必要的。
- 通俗易懂、循序渐进是本书坚持的原则之一。在介绍程序源代码时大量添加注释,这样可以提高代码的可读性。
- 在介绍算法时尽量避免繁琐的推导。如果读者对推导感兴趣,可以参阅本书所列的参考文献。
- 算例贯穿本书的始终。算例可以带给读者感性认识,同时算例也是对应用程序的使用方法的直观说明。

本书的读者对象

本书对读者的 Visual Basic 水平没有确切要求。Visual Basic 水平较高的读者,可以跨过有关 Visual Basic 用法的介绍,跳跃式阅读。

本书面向广大的想使用模糊数学算法的读者:

- 对那些只想尽快得到模糊数学计算结果的读者,本书是“模糊数学应用程序包”。只要建立了相关的数据文件(或数据库),点点鼠标就可以取得立杆见影的计算结果。特别是第 10 章所提供的“总界面”,使操作变得异常简单。
- 对那些想进一步用 Visual Basic 6.0 对模糊数学算法及其他算法进行开发的读者,本书是“自学通”。从建立数据文件、形成数据库应用程序到开发模糊数学应用程序,读者都可以从本书找到对应的有参考价值的内容。

此外,本书提供一个通用数据库管理程序,对打算利用 Visual Basic 6.0 建立数据库应用程序的读者有参考意义。

如何使用本书

- 如果读者只想尽快得到模糊计算的结果,建议先粗读第 4 章,从中可以了解如何建立数据文件。之后再找到需要的算法章节,特别是通过算例看一看该算法对数据文件格式有没有特殊要求,然后再整理数据、建立数据文件。以下的事情就很简单了,只是按照算例的步骤点点鼠标就可以了。在对目标算法有了一些

了解之后，使用第 10 章的“总界面”会更方便。

- 如果读者已经有了自己的输入、输出过程，对本书所提供的输入、输出过程不感兴趣，只是想了解方法，建议这些读者特别重视程序的 BAS 模块，BAS 模块是用过程构筑的方法模块，本书对 BAS 模块的每个过程的调用格式都有详细说明。除了 BAS 模块，也有少量程序将计算语句放到窗体。

- 如果读者想进行自主开发，又对 Visual Basic 不太熟悉，那么从头开始仔细阅读还是有必要的，在读的时候可以一步一步考虑所读的内容如何纳入自己的体系。如果感觉本书对 Visual Basic 的介绍不够详细，可以参阅笔者近年写的三本书《Visual Basic 6.0 编程方法详解》（以下简称《详解》）、《Visual Basic 高级编程技术》（以下简称《技术》）以及《Visual Basic 6.0 数理统计实用算法》（以下简称《统计》），都是由科学出版社出版的。

如何使用光盘

建议读者特别重视光盘的作用。

本书的光盘分章节提供源程序，都与书的文字部分相对应。

可以将光盘程序复制到硬盘，也可以直接运行光盘。光盘中也包括本书算例所使用的数据，如果能够按书中算例的步骤重复算法，可以取得事半功倍的效果（直接运行光盘时，如果需要保存计算结果，要注意路径设置）。

尽管笔者勤勤恳恳，尽了最大的努力，但因水平和能力以及接触面等方面的局限性，书中的疏漏和错误在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 普通集合和模糊集合	1
1.1 普通集合	1
1.1.1 普通集合表示法	2
1.1.2 普通集合运算	2
1.1.3 关系	3
1.1.4 映射和特征函数	5
1.2 模糊集合	6
1.2.1 模糊集合隶属函数	6
1.2.2 模糊集合表示法	7
1.2.3 模糊集合运算	8
1.2.4 λ 水平截集	9
1.2.5 分解定理和扩张原理	11
1.3 小结	14
第 2 章 隶属函数	15
2.1 模糊统计法	15
2.1.1 概率与隶属度	16
2.1.2 用概率统计确定隶属函数	16
2.1.3 概率统计隶属度算法	19
2.2 二元对比排序法	47
2.2.1 相对比较法	47
2.2.2 择优比较法	48
2.2.3 对比平均法	49
2.2.4 优先关系排序法	50
2.2.5 由模糊优先关系矩阵求隶属函数	56
2.2.6 将定性顺序变换成隶属函数	57
2.2.7 隶属函数算法	58
2.3 模糊分布	82
2.3.1 常见模糊分布	83
2.3.2 模糊分布的应用	88

2.3.3	“指派”模糊分布算法	89
2.3.4	“拟合”模糊分布算法	105
2.4	小结	138
第 3 章	模糊关系	139
3.1	从普通关系到模糊关系	139
3.1.1	普通关系	139
3.1.2	模糊关系	139
3.2	模糊关系运算	141
3.2.1	模糊关系运算性质	141
3.2.2	模糊矩阵	141
3.2.3	λ 截矩阵	142
3.3	模糊关系合成	144
3.3.1	从普通关系合成到模糊关系合成	144
3.3.2	模糊乘积	146
3.4	小结	148
第 4 章	数据文件	149
4.1	数据文件的“新建”程序	150
4.1.1	“新建”程序的窗体模块	150
4.1.2	“新建”程序的 BAS 模块	163
4.1.3	“新建”程序的运行	163
4.2	数据文件的“编辑”程序	164
4.2.1	“编辑”程序的窗体模块	164
4.2.2	“编辑”程序的 BAS 模块	177
4.2.3	“编辑”程序的运行	177
4.3	窗体和控件	180
4.3.1	窗体	180
4.3.2	控件	184
4.4	命令按钮和单选钮	186
4.4.1	命令按钮	186
4.4.2	单选钮	187
4.5	文本框和标签	187
4.5.1	文本框	188
4.5.2	标签	189
4.6	控件数组	189
4.7	网格	190

4.8	MsgBox 函数和语句	193
4.9	顺序文件	196
4.10	文件控件和公共对话框	198
4.10.1	文件控件	198
4.10.2	公共对话框	200
4.11	小结	207
第 5 章	模糊聚类分析	208
5.1	等价关系	208
5.1.1	普通等价关系	208
5.1.2	模糊等价关系	209
5.2	模糊聚类分析步骤	210
5.2.1	数据标准化	210
5.2.2	建立模糊相似矩阵	211
5.2.3	聚类	213
5.2.4	分类的 F 检验	219
5.3	模糊聚类分析算法	221
5.3.1	数据文件的建立和编辑	221
5.3.2	模糊聚类分析程序功能	222
5.3.3	模糊聚类分析程序组成	223
5.3.4	模糊聚类分析程序代码	225
5.3.5	模糊聚类分析算法应用	259
5.4	小结	271
第 6 章	模糊模型识别	273
6.1	模糊度及其度量	273
6.1.1	模糊度	273
6.1.2	闵可夫斯基距离	274
6.1.3	贴近度	276
6.2	模糊模型识别原则	279
6.2.1	最大隶属原则	279
6.2.2	择近原则	282
6.3	模糊模型识别算法	285
6.3.1	模糊识别数据表	285
6.3.2	模糊模型识别程序功能	288
6.3.3	模糊模型识别程序组成	289
6.3.4	模糊模型识别程序代码	290

6.3.5	模糊模型识别算法应用	303
6.4	小结	307
第7章	模糊综合评判	309
7.1	模糊变换	309
7.2	模糊综合评判的运算模型	310
7.2.1	单层模糊综合评判	310
7.2.2	多层模糊综合评判	311
7.2.3	模糊综合评判的应用	312
7.3	权重的确定方法	319
7.3.1	统计法	319
7.3.2	试探法	320
7.4	模糊综合评判算法	321
7.4.1	模糊综合评判数据文件	321
7.4.2	模糊综合评判程序功能	324
7.4.3	模糊综合评判程序组成	324
7.4.4	模糊综合评判程序代码	326
7.4.5	模糊综合评判算法应用	344
7.5	小结	351
第8章	模糊物元分析	352
8.1	物元分析基础	352
8.1.1	物元分析的基本概念	352
8.1.2	物元分析的基本变换	355
8.1.3	物元分析的应用简介	355
8.2	模糊物元分析基础	355
8.2.1	模糊物元	355
8.2.2	关联变换	359
8.2.3	模糊物元分析步骤	359
8.3	模糊物元分析算法	364
8.3.1	模糊物元分析数据文件	364
8.3.2	模糊物元分析程序功能	366
8.3.3	模糊物元分析程序组成	367
8.3.4	模糊物元分析程序代码	368
8.3.5	模糊物元分析算法应用	379
8.4	小结	386

第 9 章 数据库	387
9.1 通用数据库管理程序	388
9.1.1 通用数据库管理程序的窗体模块	389
9.1.2 通用数据库程序的 BAS 模块	447
9.1.3 通用数据库程序的运行	448
9.2 模糊计算数据库数据表的建立和编辑	461
9.2.1 模糊聚类分析数据库	461
9.2.2 模糊模型识别数据库	467
9.2.3 模糊综合评判数据库	467
9.2.4 模糊物元分析数据库	469
9.3 模糊计算数据库与数据文件的相互转换	469
9.3.1 由数据库转换为数据文件	469
9.3.2 由数据文件转换为数据库	471
9.4 列表框	471
9.4.1 列表框属性	471
9.4.2 列表框方法	474
9.4.3 列表框事件	475
9.5 菜单	475
9.5.1 菜单编辑器	475
9.5.2 下拉式菜单	478
9.5.3 弹出式菜单	485
9.5.4 菜单项规划表	488
9.5.5 菜单数组	489
9.5.6 近期文件菜单	495
9.6 数据库编程方法	504
9.6.1 数据库结构	504
9.6.2 数据控件	505
9.6.3 绑定控件	510
9.6.4 数据库结构设计	511
9.6.5 结构化查询语言	514
9.6.6 DAO 对象编程	521
9.7 小结	535
第 10 章 程序集成	536
10.1 总界面的开发步骤	536
10.2 总界面算法	538

10.3 Shell 和 App	541
10.4 小结	543
参考文献	544

第 1 章 普通集合和模糊集合

集合是现代数学的基础概念。

模糊集合是集合的发展，是模糊数学的理论基础。

为了明确区分集合和模糊集合，以后在提到集合时都称为“普通集合”。

本章的主要内容是：

- 引入集合中的一些基本概念；
- 对普通集合和模糊集合进行比较；
- 对普通集合与模糊集合相互转换做简单介绍。

1.1 普通集合

普通集合是具有特定属性的确定对象的全体，通常用大写字母 A 、 B 、 C 、 D 等表示。普通集合中的对象称为普通集合的元素，通常用小写字母 a 、 b 、 c 、 d 等表示。普通集合的内涵指有别于其他普通集合的本质特性，外延是指属于普通集合的元素全体。

不包括任何元素的普通集合称为空集，用 \emptyset 表示。

含有有限个元素的普通集合称为有限集，有限集所含元素的个数称为基数。包含无限个元素的普通集合称为无限集。

以普通集合作为元素再组成的普通集合称为集合族。

大千世界错综复杂，在考虑具体问题时需要把议题限制在一定范围内，称为论域。论域也是普通集合。

如果元素 a 属于普通集合 A ，则表示为 $a \in A$ 。

如果元素 a 不属于普通集合 A ，则表示为 $a \notin A$ 。

任意一个元素 a 和任意一个普通集合 A 之间要么 $a \in A$ ，要么 $a \notin A$ ，两者必居其一，且仅居其一。

1.1.1 普通集合表示法

1. 枚举法

枚举法适用于元素个数有限的普通集合。

例如, A 是交通工具普通集合, 有

$$A = \{\text{飞机, 火车, 汽车, 轮船}\}$$

又如, B 是 20 以内的质数普通集合, 有

$$B = \{2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19\}$$

2. 描述法

使 $P(x)$ 成立的一切 x 组成的普通集合可以表示为 $\{x|p(x)\}$ 。例如,

$$A = \{x|x \text{ 是男}\}$$

$$B = \{x|1 < x < 20\}$$

1.1.2 普通集合运算

给定一个论域 U , U 中某一部分元素的全体称为 U 中的一个普通集合。

例如, $U = \{A, B, C, E, F, G, H, I, J\}$, $A = \{A, C, F, H\}$, $B = \{C, H\}$, 则 A, B 都是 U 中的普通集合。

1. 包含

设 A, B 是论域 U 的两个普通集合, 如果对任意的 $u \in U$, 由 $u \in A$ 有 $u \in B$, 即 $u \in A \Rightarrow u \in B$, 则称 B 包含 A , 记作 $B \supseteq A$, 见图 1-1 (a)。

在 $A = \{A, C, F, H\}$ 和 $B = \{C, H\}$ 的情况下, 则有 $A \supseteq B$ 。

如果 $B \supseteq A$ 与 $A \supseteq B$ 同时成立, 则称 A, B 两个普通集合相等, 记作 $A = B$ 。

2. 交集

设 A, B 为论域 U 的两个普通集合, 则 A, B 的交集为 $A \cap B = \{u|u \in A \text{ 且 } u \in B\}$, 见图 1-1 (b), 其阴影部分即为交集。

在 $A = \{A, C, F, H\}$ 和 $B = \{C, H\}$ 的情况下, 则有 $A \cap B = \{C, H\}$ 。

3. 并集

设 A, B 为论域 U 的两个普通集合, 则 A, B 的并集为 $A \cup B = \{u|u \in A \text{ 或 } u \in B\}$, 见图 1-1 (c), 其阴影部分即为并集。

在 $A = \{A, C, F, H\}$ 和 $B = \{C, H\}$ 的情况下, 则有 $A \cup B = \{A, F\}$ 。

4. 余集

设 A 为论域 U 的普通集合, A 的余集为 $A' = \{u | u \in U \text{ 但 } u \notin A\}$, 见图 1-1 (d), 其阴影部分即为余集。

在 $U = \{A, B, C, E, F, G, H, I, J\}$, $A = \{A, C, F, H\}$ 的情况下, $A' = \{B, E, G, I, J\}$ 。

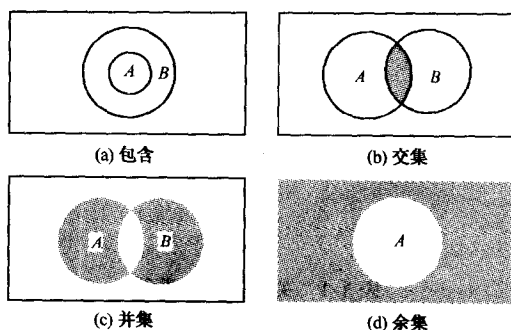


图 1-1 普通集合的运算

5. 直积

直积即笛卡儿乘积。

设 U, V 是两个论域, 记 $U \times V = \{(u, v) | u \in U, v \in V\}$, 则 $U \times V$ 即为 U 与 V 的直积。

假如在 U 中取一个元素 u , V 中取一个元素 v , 形成序偶 (u, v) 。所有这样的序偶全体构成的普通集合就是直积。

设 $U = \{1, 2\}$, $V = \{3, 4\}$, 则 $U \times V = \{(1, 3), (1, 4), (2, 3), (2, 4)\}$ 。这时 $V \times U = \{(3, 1), (3, 2), (4, 1), (4, 2)\}$ 。

1.1.3 关系

“关系”是经常使用的术语, 例如“兄弟关系”、“函数关系”等。普通集合中也存在关系。

1. 定义

从 U 到 V 的关系 R 是指论域为直积 $U \times V$ 的一个子集, 即 $R \subseteq U \times V$, 称为从 U 到 V 的二元关系。特别地, 当 $U = V$ 时, 称之为 U 上的二元关系。二元关系简称为关系。

对于 $U \times V$ 中的元素 (u, v) , 若 $(u, v) \in R$, 则 u 与 v 有关系 R 。如果 $(u, v) \notin R$, 则 u 与 v 没有关系 R 。

2. 示例

设 $U = \{\text{星期一, 星期二, 星期三, 星期四, 星期五, 星期六, 星期日}\}$ 和 $V = \{\text{晴, 阴, 雨}\}$ 。

某一周的天气情况是：星期一阴，星期二雨，星期三晴，星期四晴，星期五雨，星期六雨，星期日雨，则形成关系。这时有 $R = \{(\text{星期一, 阴}), (\text{星期二, 雨}), (\text{星期三, 晴}), (\text{星期四, 晴}), (\text{星期五, 雨}), (\text{星期六, 雨}), (\text{星期日, 雨})\}$ ， R 是 $U \times V$ 的一个子集。

3. 表示法

(1) 表格

见表 1-1。

表 1-1 关系的表格表示

R	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	星期日
晴	0	0	1	1	0	0	0
阴	1	0	0	0	0	0	0
雨	0	1	0	0	1	1	1

(2) 图形

见图 1-2。如果 $(u, v) \in R$ 则连一条直线，否则不连。

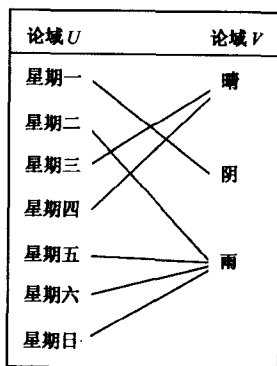


图 1-2 用连线图表示关系

(3) 矩阵

见图 1-3。

对一般情况，设论域为有限，关系 R 可以表示为 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ ， $i = 1, 2, \dots, m$ ； $j = 1, 2, \dots, n$ ， $r_{ij} \in \{0, 1\}$ 。

$$R = \begin{pmatrix} \text{星期一} & \text{星期二} & \text{星期三} & \text{星期四} & \text{星期五} & \text{星期六} & \text{星期日} \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{晴} \\ \text{阴} \\ \text{雨} \end{matrix}$$

图 1-3 关系的矩阵表示

1.1.4 映射和特征函数

1. 映射

设 U 和 V 是两个非空普通集合, 如果存在一个对应规则 f , 使得任何一个元素 $u \in U$, 有唯一的元素 $v \in V$ 与之对应, 则称 f 是 U 到 V 的映射, 记为

$$f: U \rightarrow V$$

$$u \mapsto f(u) = v \in V$$

v 称为 u 在映射 f 下的像, u 称为原像。

2. 特征函数

设 A 是论域 U 上的普通集合, $u \in U$, 则下述映射 f_A 为 A 的特征函数

$$f_A: U \rightarrow \{0, 1\}$$

$$u \mapsto f_A(u) = 1, u \in A \text{ 或 } u \mapsto f_A(u) = 0, u \notin A$$

A 的特征函数在 u 处的值 $f_A(u)$ 称为 u 对 A 的隶属程度。就 U 的某一个元素而言, 只能有 u 属于 A ($f_A(u)=1$) 或者 u 不属于 A ($f_A(u)=0$), 两者必居其一。特征函数可以用图形表示, 见图 1-4。当 $u \in A$, 隶属程度是 $100\%=1$, 这时 u 绝对属于 A 。当 $u \notin A$, 隶属程度是 0 , 表示 u 绝对不属于 A 。

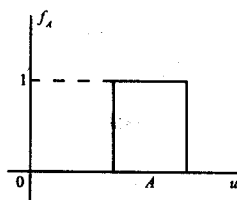


图 1-4 集合的特征函数

任意一个特征函数都能唯一确定一个子普通集合

$$A = \{u | f_A(u) = 1\}$$

同时任意一个普通集合 A 都有唯一确定的特征函数与之对应, 即普通集合 A 与特征函数是等价的, 记作 $A \leftrightarrow f_A$ 。

特征函数具有如下运算性质:

- $f_{A \cup B}(u) = \max\{f_A(u), f_B(u)\}$
- $f_{A \cap B}(u) = \min\{f_A(u), f_B(u)\}$
- $f_{A^c}(u) = 1 - f_A(u)$