计算机模糊信息处理技术
上海科
版社

# 计算机模糊信息处理技术

姚　敏　著

上海科学技术文献出版社

# 计算机模糊信息处理技术

姚 敏 著

上海科学技术文献出版社

# 内容简介

这是一部关于计算机模糊信息处理技术的论著，介绍了作者近几年来在致力于模糊信息处理研究与探索过程中的部分研究成果与心得体会。全书共分七章，内容包括模糊决策分析，模糊信息检索，模糊知识工程，人工神经网络的模糊学习方法，模糊模式识别，模糊自动控制等。

本书坚持理论与实际相结合的原则，理论分析深入浅出，方法介绍详细具体，实例演示清晰明了，同时还给出了部分关键算法的C语言实现程序。这些正是本书的一个重要特色。

本书适合于从事计算机应用、计算机软件、智能信息处理、自动控制、系统工程、管理工程、软科学等研究领域的广大科技人员阅读，也可作为高等院校同类专业高年级大学生和研究生的教材和参考书。

计算机模糊信息处理技术
姚 敏 著

上海科学技术文献出版社出版发行
（上海市武康路2号 邮政编码 200031）
全国新华书店经销
上海科技文献出版社昆山联营厂印刷
*
开本 850×1168 1/32 印张 6.75 字数 187 000
1999年4月第1版 1999年4月第1次印刷
印数：1—2 100
ISBN 7-5439-1347-X/T·550
定价：16.50元
《科技新书目》492-237

# 前　言

世界著名科学家爱因斯坦曾经指出:“So far as the laws of mathematics refer to reality, they are not certain. And so far as they are ceitain, they do not refer to reality.”(关于现实的数学定理是不确定的,而确定的数学定理并不能描述现实)。我们生活在极其复杂和千变万化的世界之中,那种“亦此亦彼”处于差异中介过渡状态的模糊现象广泛而大量地存在着。由这种“亦此亦彼”所造成的识别和判决过程中的不确定性就是模糊性。模糊性是人类思维和客观事物普遍具有的属性之一。正是针对自然环境和人类认知过程中存在的模糊性现象,美国控制论专家、加利福利亚大学教授 L. A. Zadeh 于 1965 年在《Information and Control》上发表了开创性论文“Fuzzy Sets”,第一次提出了模糊集的概念,这标志着数学的应用范围从精确现象扩大到模糊现象的领域,从而建立了模糊信息处理的新课题。

三十多年来,基于客观需要而诞生的模糊信息处理技术飞速发展。目前,这门新技术已经在自动控制、信号处理、天气预报、地震预报、人工智能、专家系统、信息系统、图像分析、语音识别、医疗诊断、机器人、预测、决策以及经济学、心理学、社会学、生态学、语言学、软科学、行为科学、管理科学、历史学、法学和哲学等多种领域中都得

到了有效的应用。各种模糊技术成果和模糊产品也逐渐由实验室走向社会，有些已经产生了巨大的社会效益和经济效益。越来越多的应用范例说明模糊信息处理技术具有强有力的生命力和十分令人鼓舞的应用前景。我们深信，模糊信息处理技术正在成为信息科学进一步发展的动力，成为智能信息处理的重要分支，成为指导工程实践的有普遍意义的强有力工具。

作者1985年开始涉足模糊信息处理的研究，第一篇论文“模糊数学方法在手写汉字识别中的应用”于当年在贵阳召开的全国第二届模糊数学及其应用成果学术交流会上宣读。此后，作者一直从事模糊信息处理的研究与开发工作，并先后参与了国家自然科学基金资助项目“面向智能计算系统的记忆与思维的研究”，主持了浙江省自然科学基金资助项目“广义计算理论研究”、南京大学计算机软件新技术国家重点实验室基金资助项目“广义计算模型研究”、武汉大学软件工程国家重点实验室基金资助项目“基于知识的多媒体数据压缩与特征抽取方法研究”和浙江省教育委员会科研项目“图像压缩编码新技术及其应用”以及其它一些科研项目的研究工作，在国内外学术期刊、国内国际性学术会议上发表了一系列的研究论文。本书正是作者近几年来在开展模糊信息处理研究与探索过程中的部分研究成果的总结。全书共分七章，其主要内容为：模糊集合论基础，模糊决策分析，模糊信息检索原理与实现方法，模糊知识工程（包括模糊知识表示、模糊知识获取以及模糊知识处理等技术），前向网络与自组织特征映射网络的模糊学习方法，模糊模式识别原理

及其应用，以及模糊控制等。

由于时间仓促，作者水平有限，书中不当之处，敬请读者批评指正。

作　者

1998年春于杭州

# 目 录

# 第一章　模糊集合论基础

## 1.1　模糊集合及其表示方法

### 1.1.1　模糊集合的定义

**定义 1.1.1**　设论域 $U$ 上的具有某种属性的元素的全体叫作集合，或简称为集。集合的内涵是指其有别于其它集合的本质特性，集合的外延是指属于此集合的元素的全体。集合里每一个成员叫做这个集合的元素，或简称为元。

**定义 1.1.2**　设 $A'$ 是论域 $U$ 上的普通集合，$u \in U$，称下述映射 $X_{A'}$ 为 $A'$ 的特征函数

$$X_{A'}: U \to \{0,1\}$$

$$u \mapsto X_{A'}(u) = \begin{cases} 1 & u \in A' \\ 0 & u \notin A' \end{cases}$$

$A'$ 的特征函数在 $u$ 处的值 $X_{A'}(u)$ 叫做 $u$ 对 $A'$ 的隶属程度。显然，就 $U$ 的某一个元素 $u$ 而言，只能有 $u$ 属于 $A'$（$X_{A'}(u) = 1$）或者 $u$ 不属于 $A'$（$X_{A'}(u) = 0$），二者必居其一。因此，给定了一个特征函数，就等于给定了一个普通集合。

然而，在现实世界中大量存在着内涵和外延都不分明的模糊现象或模糊概念，例如“多云”、“小雨”、“胖”、“瘦”、“高”、“低”等等。这些模糊现象或模糊概念不能用普通集合来刻画，而需要 L. A. Zadeh 创立的模糊集合来描述。

**定义 1.1.3**　设在论域 $U$ 上，若给定了从 $U$ 到 $[0,1]$ 的一个映射：

$$\mu_A: U \to [0,1]$$

$$u \mapsto \mu_A(u)$$

则说确定了 $U$ 上的一个模糊集，并称 $\mu_A(u)$ 为 $u$ 对 $A$ 的隶属度，

$\mu_A(u)$ 为 $A$ 的隶属函数。

正如普通集合完全由特征函数所刻画一样，模糊集合也完全由隶属函数所刻画。$\mu_A(u)$ 的值越接近于 1，$u$ 就越属于 $A$；反之，$\mu_A(u)$ 的值越接近于 0，$u$ 就越不属于 $A$。当 $\mu_A(u)$ 的值域变为 $\{0,1\}$ 时，$\mu_A(u)$ 就演化为特征函数 $X_A(u)$，于是，模糊集合就演化为普通集合。因此，可以说，普通集合是模糊集合的特例，模糊集合是普通集合的扩展。

**例 1.1.1** 如图 1.1.1 所示，$U = \{a,b,c,d,e\}$，设 $A$ 表示“圆块块”这一模糊子集。根据圆的程度对每一个 $U$ 中的元素规定一个隶属度：

$\mu_A(a) = 1$ $\quad$ $\mu_A(b) = 0.9$

$\mu_A(c) = 0.4$ $\quad$ $\mu_A(d) = 0.2$

$\mu_A(e) = 0$

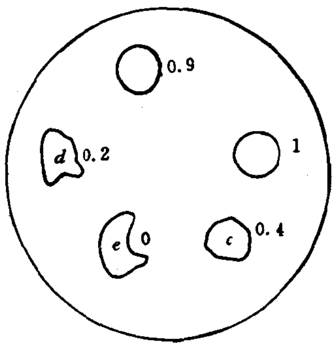


图 1.1.1 $U$ 上的“圆块块”模糊子集

$U$ 上所有模糊集合作成的集合类用 $F(U)$ 表示，即

$$F(U) = \{A | A \text{ 为 } U \text{ 上的模糊集}\}$$

### 1.1.2 模糊集合的表示

模糊集合有各种各样的表示方法，常用的表示方法有序偶法、Zadeh 法和向量法。

1. 序偶法

$$A = \{(u, \mu_A(u)), u \in U\}$$

这种方法明确地显示了 $U$ 中每个元素 $u$ 对 $A$ 的隶属度。

2. Zadeh 法

由 L. A. Zadeh 提出的一种更加方便的表示方法如下：

(1) 当 $U = \{u_1, u_2, \cdots, u_n\}$ 为有限集时，则 $U$ 上的模糊集 $A$ 可表示为

$$A = \mu_A(u_1)/u_1 + \mu_A(u_1)/u_1 + \cdots + \mu_A(u_n)/u_n$$
$$= \sum_{i=1}^{n} \frac{\mu_A(u_i)}{u_i}$$

式中加号“+”并不表示普通的加法求和，横线也不是分数的意义，其中的分母表示元素，分子表示相应的隶属度，$\sum$ 表示对于这 n 个带有隶属度的元素的一个总概括。

(2) 当 $U$ 为无限集时，$A$ 可记为

$$A = \int_U \mu_A(u)/u$$

这里的“$\int$”已没有积分的意义，而是表示论域 $U$ 上的各元素 $u$ 与其对应的隶属度 $\mu_A(u)$ 的总体。

3. 向量法

对于有限论域 $U = \{u_1, u_2, \cdots, u_n\}$，当不特别强调论域 $U$ 的元素时，$A$ 也可表示为一个 n 维向量，即

$$A = (\mu_A(u_1), \mu_A(u_2), \cdots, \mu_A(u_n))$$

**例 1.1.2** 设 $U = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$，$A$ 表示“靠近 5 的自然数”，并且已确认 $U$ 中各元素对 $A$ 的隶属度如表 1.1.1 所示。

**表 1.1.1 例 1.1.2 的隶属度**

| 元　素 $u_i$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 隶属度 $\mu_A(u_i)$ | 0 | 0.1 | 0.45 | 0.85 | 1 | 0.85 | 0.45 | 0.1 | 0 |

则 $A$ 可表示为：

(1) 序偶法：

$A = \{(1,0), (2,0.1), (3,0.45), (4,0.85), (5,1), (6,0.85), (7,0.45), (8,0.1), (9,0)\}$

(2) Zadeh 法：

$$A = 0/1 + 0.1/2 + 0.45/3 + 0.85/4 + 1/5 + 0.85/6 + 0.45/7 + 0.1/8 + 0/9$$

(3) 向量法：

$$A = (0,0.1,0.45,0.85,1,0.85,0.45,0.1,0)$$

**例 1.1.3** 取年龄作为论域 $U=[0,100]$，以模糊集 $Y$ 和 $O$ 分别表示“年轻”和“年老”这两个模糊概念。L. A. Zadeh 给出它们的隶属函数（如图 1.1.2 所示）如下：

$$\mu_Y(u) = \begin{cases} 1 & 0 \leq u \leq 25 \\ \left[1+\left(\dfrac{u-25}{5}\right)^2\right]^{-1} & 25 < u \leq 100 \end{cases}$$

$$\mu_O(u) = \begin{cases} 0 & 0 \leq u < 50 \\ \left[1+\left(\dfrac{u-50}{5}\right)^{-2}\right]^{-1} & 50 \leq u \leq 100 \end{cases}$$

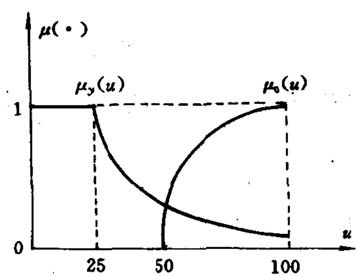


图 1.1.2 “年轻”和“年老”的隶属函数

## 1.2 模糊集合的运算

### 1.2.1 模糊集合的基本运算

**定义 1.2.1** 设 $A,B \in F(U)$，若对 $\forall u \in U$，均有

(1) $\mu_A(u) = \mu_B(u)$ 则称 $A$ 和 $B$ 相等，记为 $A=B$，即

$$A = B \Leftrightarrow \mu_A(u) = \mu_B(u)$$

(2) $\mu_A(u) \leq \mu_B(u)$ 则称 $B$ 包含 $A$，或称 $A$ 是 $B$ 的子集，记为 $A \subseteq B$，即

$$A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(u) \leq \mu_B(u)$$

**定义 1.2.2** 设 $A,B \in F(U)$，则 $A$ 与 $B$ 的并集 $A \cup B$ 和交集 $A \cap B$ 的隶属函数分别为：

$$\mu_{A\cup B}(u) = \mu_A(u) \vee \mu_B(u) = \max(\mu_A(u), \mu_B(u))$$

$$\mu_{A\cap B}(u) = \mu_A(u) \wedge \mu_B(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u))$$

**定义 1.2.3** 设 $A \in F(U)$，则 $A$ 的余集 $A^C$ 的隶属函数为：

$$\mu_{A^C}(u) = 1 - \mu_A(u), \forall u \in U$$

模糊集的运算在隶属函数的曲线上有清楚的反映（见图 1.2.1）。

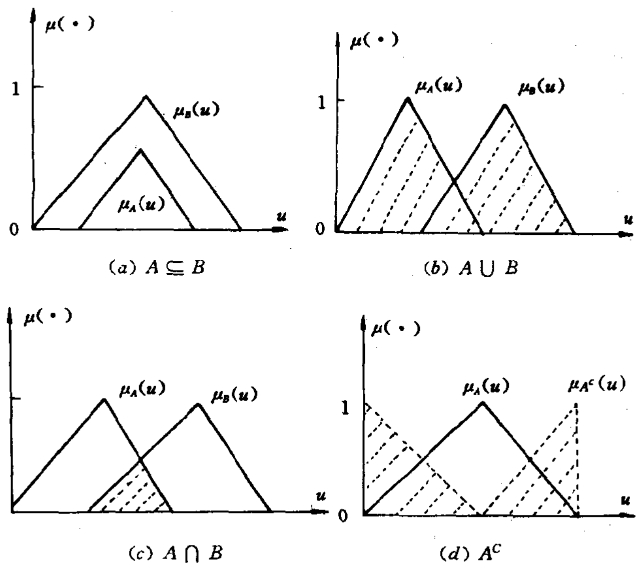


图 1.2.1 模糊集合及其运算示意图

**例 1.2.1** 由例 1.1.2 中的"年轻" $Y$ 和"年老" $O$，通过并、交、余运算可以得到模糊集合"年轻或年老" $Y \cup O$，"既年轻又年老" $Y \cap O$ 和"不年轻" $Y^C$ 的隶属函数分别为：

$$\mu_{Y\cup O}(u) = \begin{cases} 1 & 0 \le u \le 25 \\ \left[1 + \left(\dfrac{u-25}{5}\right)^2\right]^{-1} & 25 < u \le 51 \\ \left[1 + \left(\dfrac{u-50}{5}\right)^{-2}\right]^{-1} & 51 < u \le 100 \end{cases}$$

$$\mu_{Y\cap O}(u)=\begin{cases}0 & 0\le u\le 50\\ \left[1+\left(\dfrac{u-50}{5}\right)^{-2}\right]^{-1} & 50<u\le 51\\ \left[1+\left(\dfrac{u-25}{5}\right)^{2}\right]^{-1} & 51<u\le 100\end{cases}$$

$$\mu_{Y^C}(u)=\begin{cases}0 & 0\le u\le 25\\ 1-\left[1+\left(\dfrac{u-25}{5}\right)^{2}\right]^{-1} & 25<u\le 100\end{cases}$$

模糊集合的并、交、余运算具有下列性质：

(1) 幂等律

$$A\cup A=A \qquad A\cap A=A$$

(2) 交换律

$$A\cup B=B\cup A \qquad A\cap B=B\cap A$$

(3) 结合律

$$(A\cup B)\cup C=A\cup(B\cup C)$$

$$(A\cap B)\cap C=A\cap(B\cap C)$$

(4) 吸收律

$$(A\cap B)\cup B=B \qquad (A\cup B)\cap B=B$$

(5) 分配律

$$A\cap(B\cup C)=(A\cap B)\cup(A\cap C)$$

$$A\cup(B\cap C)=(A\cup B)\cap(A\cup C)$$

(6) 两极律(同一律)

$$A\cup U=U \qquad A\cap U=A$$

$$A\cup\varnothing=A \qquad A\cap\varnothing=\varnothing$$

其中 $U$ 为全集，$\varnothing$ 为空集。

(7) 复原律

$$(A^C)^C=A$$

(8) 对偶律(摩根律)

$$(A\cup B)^C=A^C\cap B^C$$

$$(A\cap B)^C=A^C\cup B^C$$

但是，模糊集的运算不满足普通集运算中的补余律