数学思维与人工智能

第六章：不确定性推理方法

中国矿业大学数学学院

祁永强

15862179376

qiyongqiang3@163.com

MATLAB

6.1 不确定性推理中的基本问题

在专家系统中知识的不确定性一般是由领域专家给出的，通常是一个数值——知识的静态强度

1. 不确定性的表示与量度

(1)知识不确定性的表示

(2)证据不确定性的表示——证据的动态强度

- 用户在求解问题时提供的初始证据。
- 在推理中用前面推出的结论作为当前推理的证据。

(3)不确定性的量度

① 能充分表达相应知识及证据不确定性的程度。

② 度量范围的指定便于领域专家及用户对不确定性的估计。

③ 便于对不确定性的传递进行计算，而且对结论算出的不确定性量度不能超出量度规定的范围。

④ 度量的确定应当是直观的，同时应有相应的理论依据。

MATLAB

6.1 不确定性推理中的基本问题

2. 不确定性匹配算法及阈值的选择

- **不确定性匹配算法**：用来计算匹配双方相似程度的算法。
- **阈值**：用来指出相似的“限度”。

3. 组合证据不确定性的算法:

- 最大最小方法、Hamacher方法、概率方法、有界方法、Einstein方法等。

4. 不确定性的传递算法

(1)在每一步推理中，如何把证据及知识的不确定性 传递给结论。

(2)在多步推理中，如何把初始证据的不确定性传递给最终结论。

5. 结论不确定性的合成

MATLAB

6.2 可信度方法

- 1975年肖特里菲(E. H. Shortliffe)等人在确定性理论(theory of confirmation)的基础上，结合概率论等提出的一种不确定性推理方法。
- 优点：直观、简单，且效果好。
- 可信度：根据经验对一个事物或现象为真的相信程度。
- 可信度带有较大的主观性和经验性，其准确性难以把握。
- C－F模型：基于可信度表示的不确定性推理的基本方法。

MATLAB

6.2 可信度方法

1. 知识不确定性的表示

- 产生式规则表示：IF E THEN H $(CF(H,E))$

$CF(H,E)$：可信度因子(certainty factor)，反映前提条件与结论的联系强度。

IF 头痛 AND 流涕 THEN 感冒 (0.7)

- CF(H,E)的取值范围: [-1,1]。
- 若由于相应证据的出现增加结论 H 为真的可信度，则 CF(H,E)> 0，证据的出现越是支持 H 为真，就使CF(H,E)的值越大。
- 反之，CF(H,E)< 0，证据的出现越是支持 H 为假，CF(H,E)的值就越小。
- 若证据的出现与否与 H 无关，则 CF(H,E)= 0。

MATLAB

6.2 可信度方法

2. 证据不确定性的表示

$CF(E)=0.6$： E的可信度为0.6

- 证据E的可信度取值范围：[-1，1]。
- 对于初始证据，若所有观察S能肯定它为真，则 $CF(E)= 1$。
- 若肯定它为假，则 $CF(E) = -1$。
- 若以某种程度为真，则 $0 < CF(E) < 1$。
- 若以某种程度为假，则 $-1 < CF(E) < 0$ 。
- 若未获得任何相关的观察，则 $CF(E) = 0$。

MATLAB

6.2 可信度方法

2. 证据不确定性的表示

- **静态强度** $CF(H,E)$：知识的强度，即当 E 所对应的证据为真时对 H 的影响程度。
- **动态强度** $CF(E)$：证据 E 当前的不确定性程度。

3. 组合证据不确定性的算法

- 组合证据：多个单一证据的合取

$$E=E_1 \quad \text{AND} \quad E_2 \quad \text{AND} \quad \cdots \quad \text{AND} \quad E_n$$

则 $CF(E)=\min\{CF(E_1),CF(E_2),\ldots,CF(E_n)\}$

- 组合证据：多个单一证据的析取

$$E=E_1 \quad \text{OR} \quad E_2 \quad \text{OR} \quad \cdots \quad \text{OR} \quad E_n$$

MATLAB 则 $CF(E)=\max\{CF(E_1),CF(E_2),\cdots,CF(E_n)\}$

6.2 可信度方法

4. 不确定性的传递算法

▪ C—F模型中的不确定性推理：从不确定的初始证据出发，通过运用相关的不确定性知识，最终推出结论并求出结论的可信度值。结论 H 的可信度由下式计算：

$$CF(H) = CF(H,E) \times \max\{0, CF(E)\}$$

当 $CF(E) < 0$ 时，则 $CF(H) = 0$

当 $CF(E) = 1$ 时，则 $CF(H) = CF(H,E)$

MATLAB

6.2 可信度方法

5. 结论不确定性的合成算法

- 设知识：

$$\text{IF} \quad E_1 \quad \text{THEN} \quad H \qquad (CF(H, E_1))$$

$$\text{IF} \quad E_2 \quad \text{THEN} \quad H \qquad (CF(H, E_2))$$

(1)分别对每一条知识求出*CF*(*H*)：

$$CF_1(H) = CF(H, E_1) \times \max\{0, CF(E_1)\}$$

$$CF_2(H) = CF(H, E_2) \times \max\{0, CF(E_2)\}$$

MATLAB

5. 结论不确定性的合成算法

(2)求出E_1与E_2对*H*的综合影响所形成的可信度 $CF_{1,2}(H)$：

$$CF_{1,2}(H)=\begin{cases} CF_1(H)+CF_2(H)-CF_1(H)CF_2(H) & 若CF_1(H)\geq 0,\quad CF_2(H)\geq 0 \\ CF_1(H)+CF_2(H)+CF_1(H)CF_2(H) & 若CF_1(H)<0,\quad CF_2(H)<0 \\ \dfrac{CF_1(H)+CF_2(H)}{1-\min\{|CF_1(H)|,|CF_2(H)|\}} & 若CF_1(H)与\quad CF_2(H)异号 \end{cases}$$

MATLAB

6.2 可信度方法

- **例1、设有如下一组知识：**

$r_1:\quad IF \quad E_1 \quad THEN \quad H \quad (0.8)$

$r_2:\quad IF \quad E_2 \quad THEN \quad H \quad (0.6)$

$r_3:\quad IF \quad E_3 \quad THEN \quad H \quad (-0.5)$

$r_4:\quad IF \quad E_4 \quad AND \quad (E_5 \quad OR \quad E_6) \quad THEN \quad E_1 \quad (0.7)$

$r_5:\quad IF \quad E_7 \quad AND \quad E_8 \quad THEN \quad E_3 \quad (0.9)$

已知：$CF(E_2)=0.8,\ CF(E_4)=0.5,\ CF(E_5)=0.6,\ CF(E_6)=0.7,$

$CF(E_7)=0.6,\ CF(E_8)=0.9.$

求：$CF(H)$

MATLAB

6.2 可信度方法

解：第一步：对每一条规则求出CF(H)。

r_4 :

$$CF(E_1) = 0.7 \times \max\{0, CF[E_4 \quad AND \quad (E_5 \quad OR \quad E_6)]\}$$

$$= 0.7 \times \max\{0, \min\{CF(E_4), CF(E_5 \quad OR \quad E_6)\}\}$$

$$= 0.7 \times \max\{0, \min\{CF(E_4), \max\{CF(E_5), CF(E_6)\}\}\}$$

$$= 0.7 \times \max\{0, \min\{0.5, \max\{0.6, 0.7\}\}\}$$

$$= 0.7 \times \max\{0, 0.5\}$$

$$= 0.35$$

MATLAB

6.2 可信度方法

r_5：

$$
\begin{aligned}
CF(E_3) &= 0.9 \times \max\{0, CF(E_7 \quad AND \quad E_8)\} \\
&= 0.9 \times \max\{0, \min\{CF(E_7), CF(E_8)\}\} \\
&= 0.9 \times \max\{0, \min\{0.6, 0.9\}\} \\
&= 0.9 \times \max\{0, 0.6\} \\
&= 0.54
\end{aligned}
$$

r_1：

$$
\begin{aligned}
CF_1(H) &= 0.8 \times \max\{0, CF(E_1)\} \\
&= 0.8 \times \max\{0, 0.35\} \\
&= 0.28
\end{aligned}
$$

MATLAB

6.2 可信度方法

r_2：
$$CF_2(H) = 0.6 \times \max\{0, CF(E_2)\}$$
$$= 0.6 \times \max\{0, 0.8\}$$
$$= 0.48$$

r_3：
$$CF_3(H) = -0.5 \times \max\{0, CF(E_3)\}$$
$$= -0.5 \times \max\{0, 0.54\}$$
$$= -0.27$$

MATLAB

6.2 可信度方法

第二步：根据结论不确定性的合成算法得到：

$$CF_{1,2}(H) = CF_1(H) + CF_2(H) - CF_1(H) \times CF_2(H)$$

$$= 0.28 + 0.48 - 0.28 \times 0.48 \quad = 0.63$$

$$CF_{1,2,3}(H) = \frac{CF_{1,2}(H) + CF_3(H)}{1 - \min\{|CF_{1,2}(H)|, |CF_3(H)|\}}$$

$$= \frac{0.63 - 0.27}{1 - \min\{0.63, 0.27\}} \quad = \frac{0.36}{0.73} \quad = 0.49$$

综合可信度：$CF(H) = 0.49$

MATLAB

6.3 证据理论

- 证据理论(theory of evidence)：又称D－S理论，是德普斯特(A. P. Dempster)首先提出，沙佛(G. Shafer)进一步发展起来的一种处理不确定性的理论。
- 1981年巴纳特(J. A. Barnett)把该理论引入专家系统中，同年卡威(J. Garvey)等人用它实现了不确定性推理。
- 目前，在证据理论的基础上已经发展了多种不确定性推理模型。

MATLAB

6.3.1 概率分配函数

•设 *D* 是变量 *x* 所有可能取值的集合，且 *D* 中的元素是互斥的，在任一时刻 *x* 都取且只能取 *D* 中的某一个元素为值，则称 *D* 为 *x* 的样本空间。

• 在证据理论中，*D* 的任何一个子集 *A* 都对应于一个关于 *x* 的命题，称该命题为“ *x* 的值是在 *A* 中”。

• 设 *x*：所看到的颜色，*D*={红，黄，蓝}，

则 *A*={红}：“ *x* 是红色”；

A={红，蓝}：“*x* 或者是红色，或者是蓝色”。

MATLAB

6.3.1 概率分配函数

- 设D为样本空间，领域内的命题都用D的子集表示，则概率分配函数(basic probability assignment function)定义如下：

定义1：设函数 M：$2^D \to [0,1]$,(对任何一个属于D的子集A，命它对应一个数$M \in [0, 1]$) 且满足

$$M(\Phi) = 0 \qquad \sum_{A \subseteq D} M(A) = 1$$

则 M: 2^D上的基本概率分配函数，$M(A)$: A的基本概率数。

MATLAB

6.3.1 概率分配函数

几点说明：

(1)设样本空间D中有n个元素，则D中子集的个数为 2^n 个。

2^D：D的所有子集。

(2)概率分配函数：把D的任意一个子集A都映射为[0，1]上的一个数$M(A)$。

A □ D，$A \neq D$时，$M(A)$：对相应命题A的精确信任度。

- 设 D={红，黄，蓝}

则其子集个数 2^3＝8，具体为：

A={红}， A={黄}，A ={蓝}，A ={红，黄}，

A ={红，蓝}，A ={黄，蓝}，A ={红，黄，蓝}，A ={ Φ }

MATLAB

6.3.1 概率分配函数

MATLAB

(3)概率分配函数与概率不同。

- 例如，设 A={红},
  $M(A)$=0.3：命题“x是红色”的信任度是0.3。

- 设 D={红，黄，蓝}

M({红})=0.3，M({黄})=0，M({蓝})=0.1,
M({红，黄})=0.2，M({红，蓝})=0.2,
M({黄，蓝})=0.1，M({红，黄，蓝})=0.1，$M(\Phi)$=0
但：M({红})+ M({黄})+ M({蓝})=0.4

6.3.2 信任函数

定义2： 命题的信任函数(belief function) Bel：$2^D \to [0,1]$

且 $Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} M(B) \quad \forall A \subseteq D$

$Bel(A)$：对命题A为真的总的信任程度。

- 设 D ={红，黄，蓝}

M({红})=0.3，M({黄})=0，M({红，黄})=0.2，

$$Bel(\{红,黄\}) = M(\{红\}) + M(\{黄\}) + M(\{红,黄\})$$

$$= 0.3 + 0.2 = 0.5$$

- 由信任函数及概率分配函数的定义推出：

$$Bel(\Phi) = M(\Phi) = 0 \qquad Bel(D) = \sum_{B \subseteq D} M(B) = 1$$

MATLAB

6.3.3 似然函数

似然函数(plansibility function)：不可驳斥函数或上限函数。

定义3： 似然函数 $Pl: 2^D \rightarrow [0,1]$ 且 $Pl(A) = 1 - Bel(\neg A)$

对所有的 A □ D

- **设 *D* ={红，黄，蓝}**

***M*({红})=0.3，*M*({黄})=0，*M*({红，黄})=0.2，**

$$Bel(\{红,黄\}) = M(\{红\}) + M(\{黄\}) + M(\{红,黄\})$$
$$= 0.3 + 0.2 = 0.5$$

$$Pl(\{蓝\}) = 1 - Bel(\neg\{蓝\}) = 1 - Bel(\{红，黄\}) = 1 - 0.5 = 0.5$$

MATLAB

6.3.4 概率分配函数的正交和

定义4： 设M_1和M_2是两个概率分配函数；则其正交和：

$$M = M_1 \oplus M_2 \qquad\qquad M(\Phi) = 0$$

其中：$M(A) = K^{-1} \sum_{x \cap y = A} M_1(x) M_2(y)$

$$K = 1 - \sum_{x \cap y = \Phi} M_1(x) M_2(y) = \sum_{x \cap y \neq \Phi} M_1(x) M_2(y)$$

如果$K \neq 0$，则正交和M也是一个概率分配函数；
如果$K = 0$，则不存在正交和M，即没有可能存在概率函数，称M_1与M_2矛盾。

MATLAB

6.3.4 概率分配函数的正交和

- 例2、 设 D ={黑， 白}，且设

$$M_1(\{黑\},\{白\},\{黑,白\},\Phi)=(0.3,0.5,0.2,0)$$

$$M_2(\{黑\},\{白\},\{黑,白\},\Phi)=(0.6,0.3,0.1,0)$$

则：
$$K=1-\sum_{x\cap y=\Phi}M_1(x)M_2(y)$$

$$=1-[M_1(\{黑\})M_2(\{白\})+M_1(\{白\})M_2(\{黑\})]$$

$$=1-[0.3\times0.3+0.5\times0.6]\quad=0.61$$

$$M(\{黑\})=K^{-1}\sum_{x\cap y=\{黑\}}M_1(x)M_2(y)$$

$$=\frac{1}{0.61}[M_1(\{黑\})M_2(\{黑\})+M_1(\{黑\})M_2(\{黑,白\})+$$

$$M_1(\{黑,白\})M(\{黑\})]$$

MATLAB

$$=\frac{1}{0.61}[0.3\times0.6+0.3\times0.1+0.2\times0.6]\;=0.54$$

6.3.4 概率分配函数的正交和

- 同理可得: $M(\{白\}) = 0.43 \quad M(\{黑,白\}) = 0.03$
- 组合后得到的概率分配函数:

$$M(\{黑\}),\{白\},\{黑,白\},\Phi) = (0.54,0.43,0.03,0)$$

□ 基于证据理论的不确定性推理的步骤:

(1)建立问题的样本空间D。

(2)由经验给出，或者由随机性规则和事实的信度度量算基本概率分配函数。

(3)计算所关心的子集的信任函数值、似然函数值。

(4)由信任函数值、似然函数值得出结论。

MATLAB

6.3.5 基于证据理论的不确定性推理

例3、 设有规则：

(1)如果 流鼻涕 则 感冒但非过敏性鼻炎(0.9)

或 过敏性鼻炎但非感冒(0.1)。

(2)如果 眼发炎 则 感冒但非过敏性鼻炎(0.8)

或 过敏性鼻炎但非感冒(0.05)。

有事实：

(1)小王流鼻涕(0.9)。

(2)小王发眼炎(0.4)。

问：小王患的什么病？

MATLAB

6.3.5 基于证据理论的不确定性推理

取样本空间：$D=\{h_1,h_2,h_3\}$

h_1表示“感冒但非过敏性鼻炎”，

h_2表示“过敏性鼻炎但非感冒”，

h_3表示“同时得了两种病”。

取下面的基本概率分配函数：

$$M_1(\{h_1\})=0.9\times 0.9=0.81$$

$$M_1(\{h_2\})=0.9\times 0.1=0.09$$

$$M_1(\{h_1,h_2,h_3\})=1-M_1(\{h_1\})-M_1(\{h_2\})=1-0.81-0.09=0.1$$

$$M_2(\{h_1\})=0.4\times 0.8=0.32$$

$$M_2(\{h_2\})=0.4\times 0.05=0.02$$

$$M_2(\{h_1,h_2,h_3\})=1-M_2(\{h_1\})-M_2(\{h_2\})=1-0.32-0.02=0.66$$

MATLAB

6.3.5 基于证据理论的不确定性推理

将两个概率分配函数组合：

$$K = 1/\{1-[M_1(\{h_1\})M_2(\{h_2\})+M_1(\{h_2\})M_2(\{h_1\})]\}$$
$$=1/\{1-[0.81\times 0.02+0.09\times 0.32]\}$$
$$=1/\{1-0.045\}=1/0.955=1.05$$

$$M(\{h_1\})=K[M_1(\{h_1\})M_2(\{h_1\})+M_1(\{h_1\})M_2(\{h_1,h_2,h_3\}$$
$$+M_1(\{h_1,h_2,h_3\})M_2(\{h_1\})]=1.05\times 0.8258=0.87$$

$$M(\{h_2\})=K[M_1(\{h_2\})M_2(\{h_2\})+M_1(\{h_2\})M_2(\{h_1,h_2,h_3\}$$
$$+M_1(\{h_1,h_2,h_3\})M_2(\{h_2\})]=1.05\times 0.0632=0.066$$

$$M(\{h_1,h_2,h_3\})=1-M(\{h_1\})-M(\{h_2\})=1-0.87-0.066=0.064$$

MATLAB

6.3.5 基于证据理论的不确定性推理

信任函数：

$$Bel(\{h_1\}) = M(\{h_1\}) = 0.87 \qquad Bel(\{h_2\}) = M(\{h_2\}) = 0.066$$

似然函数：

$$Pl(\{h_1\}) = 1 - Bel(\neg\{h_1\}) = 1 - Bel(\{h_2, h_3\})$$

$$= 1 - [M(\{h_2\} + M(\{h_3\}) = 1 - [0.066 + 0] = 0.934$$

$$Pl(\{h_2\}) = 1 - Bel(\neg\{h_2\}) = 1 - Bel(\{h_1, h_3\})$$

$$= 1 - [M(\{h_1\} + M(\{h_3\}) = 1 - [0.87 + 0] = 0.13$$

结论：小王可能是感冒了。

MATLAB

6.4 模糊推理

1. 模糊知识表示

- 人类思维判断的基本形式:

  如果 (条件) → 则 (结论)

- 例如：如果 压力较高且温度在慢慢上升则阀门略开

- 模糊规则：从条件论域到结论论域的模糊关系矩阵 *R*。通过条件模糊向量与模糊关系 *R* 的合成进行模糊推理，得到结论的模糊向量，然后采用“清晰化”方法将模糊结论转换为精确量。

MATLAB

6.4 模糊推理

2. 对 IF *A* THEN *B* 类型的模糊规则的推理

- 若已知输入为 *A*，则输出为 *B*；若现在已知输入为A'，则输出B'用合成规则求取 $B' = A' \circ R$

其中模糊关系***R***: $\mu_R(x,y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)]$

- 控制规则库的N条规则有N个模糊关系：$R_1, R_2, \cdots, R_n$

对于整个系统的全部控制规则所对应的模糊关系***R***:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \cdots \cup R_n = \bigcup_{i=1}^{n} R_i$$

MATLAB

6.4 模糊推理

2. 对 IF *A* THEN *B* 类型的模糊规则的推理

- 例4、 已知输入的模糊集合*A*和输出的模糊集合*B*:

$$A = 1.0/a_1 + 0.8/a_2 + 0.5/a_3 + 0.2/a_4 + 0.0/a_5$$

$$B = 0.7/b_1 + 1.0/b_2 + 0.6/b_3 + 0.0/b_4$$

- 前面已经求得模糊关系为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.7 & 1.0 & 0.6 & 0.0 \\ 0.7 & 0.8 & 0.6 & 0.0 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

MATLAB

6.4 模糊推理

2. 对 IF *A* THEN *B* 类型的模糊规则的推理

- 当输入： $A' = 0.4/a_1 + 0.7/a_2 + 1.0/a_3 + 0.6/a_4 + 0.0/a_5$

$$B' = A' \circ R = \begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.7 \\ 1.0 \\ 0.6 \\ 0.0 \end{bmatrix}^T \circ \begin{bmatrix} 0.7 & 1.0 & 0.6 & 0.0 \\ 0.7 & 0.8 & 0.6 & 0.0 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} = (0.7, 0.7, 0.6, 0.0)$$

则： $B' = 0.7/b_1 + 0.7/b_2 + 0.6/b_3 + 0.0/b_4$

MATLAB

6.6 模糊决策

- “模糊决策”(“模糊判决”、“解模糊”或“清晰化”)：

由模糊推理得到的结论或者操作是一个模糊向量，转化为确定值的过程。

1. 最大隶属度法

- 例5、得到模糊向量：

$$U' = 0.1/2 + 0.4/3 + 0.7/4 + 1.0/5 + 0.7/6 + 0.3/7$$

取结论： **U＝5**。

- 例6、得到模糊向量：

$$U' = 0.5/-3 + 0.5/-2 + 0.5/-1 + 0.0/0 + 0.0/1 + 0.0/2 + 0.0/3$$

取结论：

$$U = \frac{-3-2-1}{3} = -2$$

MATLAB

6.6 模糊决策

2. 加权平均判决法 $U = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} \mu(u_i) u_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu(u_i)}$

例7、 $U' = 0.1/2 + 0.6/3 + 0.5/4 + 0.4/5 + 0.2/6$

则 $U' = \dfrac{0.1\times 2 + 0.6\times 3 + 0.5\times 4 + 0.4\times 5 + 0.2\times 6}{0.1 + 0.6 + 0.5 + 0.4 + 0.2} = 4$

3. 中位数法

- 例8、$U' = 0.1/-4 + 0.5/-3 + 0.1/-2 + 0.0/-1 + 0.1/0 + 0.2/1 + 0.4/2$
  $+0.5/3 + 0.1/4$

$u^* = u_6$时， $\sum_{u_1}^{u_6} \mu(u_i) = \sum_{u_7}^{u_9} \mu(u_i) = 1$

MATLAB 所以中位数$u^* = u_6$，则$U = 1$

6.7 模糊推理的应用

例9、 设有模糊控制规则：

“如果温度低，则将风门开大”。设温度和风门开度的论域为{1，2，3，4，5}。

“温度低”和“风门大”的模糊量：

“温度低”=1/1+0.6/2+0.3/3+0.0/4+0/5

“风门大”=0/1+0.0/2+0.3/3+0.6/4+1/5

已知事实“温度较低”，可以表示为

“温度较低”=0.8/1+1/2+0.6/3+0.3/4+0/5

试用模糊推理确定风门开度。

MATLAB

3. 中位数法

- 例如

$$U' = 0.1/-4 + 0.5/-3 + 0.3/-2 + 0.1/-1 + 0.1/0 + 0.4/1 + 0.5/2 + 0.1/3 + 0.2/4$$

用线性插值处理，即 $\Delta u = 1.2/(1.1 + 1.2) = 0.522$

所以 $u^* = u_5 + \Delta u = 0.522$

MATLAB

6.7 模糊推理的应用

解：(1)确定模糊关系 *R*

$$R = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 0.6 \\ 0.3 \\ 0.0 \\ 0.0 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.6 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.6 & 1.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.6 & 0.6 \\ 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

MATLAB

6.7 模糊推理的应用

(2) 模糊推理

$$B' = A' \circ R = \begin{bmatrix} 0.8 \\ 1.0 \\ 0.6 \\ 0.3 \\ 0.0 \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} \circ \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.6 & 1.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.6 & 0.6 \\ 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$=(0.0，0.0，0.3，0.6，0.8)$$

(3) 模糊决策

用最大隶属度法进行决策得风门开度为5。用加权平均判决法和中位数法进行决策得风门开度为4。

MATLAB