考虑两种不确定性的模糊决策方法

张化光 陈来九
（东南大学三系，南京 210018）

摘 要

本文提出了一种新的考虑两种不确定性的模糊决策方法．该方法采用贴近测度 SM 和阈值 λ 以决定是否启用某条规则，并用修正函数 MF 修正推出的结论；然后，再利用专家对规则的置信度 SC 再一次校正修正后的结论．这种决策方法将为专家系统提供有效的推理工具．本文最后，提出了算法及例子．

关键词： 模糊决策，贴近测度，不确定性，置信度

客观世界中的大量知识是不精确的或者说是模糊的．从一系列模糊的前提和事实中推导出不精确的然而却是有用的结论，这种问题称之为模糊决策问题．近几年来，模糊决策和推理的研究工作正在蓬勃展开[1—3]．

本文采用模糊产生式规则表示知识，它利用了普通产生式规则[2—4]的概念，但在规则的前提和结论部分含有模糊量词（如：好，较好，强，很强等），这种表示方法基于对事物本质的认识和专家的经验，而不是纯数学的抽象描述．

模糊产生式规则的一般形式是

$$R_i\text{: IF } D_i \text{ THEN } d_i \ (SC_i = S_i), \tag{1}$$

这里 D_i 代表第 i 条规则 R_i 的前提部分，含有模糊量词；d_i 代表结论部分，也含有模糊量词；S_i 是置信度 SC_i 的取值，$S_i \in [0,1]$．SC_i 表示对第 i 条规则的相信程度，其值越大，该规则越可信．

由方程(1)表示的产生式规则中含有两种模糊性：其一是对前提条件的描述，其二是对规则的置信度，显然这两种模糊性在产生式规则中的意义和作用有严格的区别．

一些文献[3,5,6]探讨了第一种模糊性存在时的模糊决策问题，也有一些文献[2,4]研究了第二种模糊性存在时的模糊决策问题．能否同时考虑两种模糊性推出一种更实用的模糊决策方法，这是本文研究的中心内容．

这里提出一种考虑两种不确定性的模糊近似决策方法（THFDP）．这种多维模糊决策方法可表示为

规则 R_i: IF D_i THEN d_i $(SC_i = S_i)$

观察：M

结论：$d'_i = ?$ (2)

1990年10月25日收到修改稿．

上式的含意是：当规则 R_i 和观察(即观察到的事实)M 为已知时，将推得什么结论 d_i'?

对于普通的产生式规则，只有当规则的前提 D_i 与观察M完全匹配时，才能启用该规则．而对于模糊产生式规则，可以认为只要 D_i 和M的贴近测度大于某个阈值 λ_0，就可启用该规则．

一、基本概念的定义和计算方法

1. 贴近测度

文献 [7] 对近年来所提出的模糊集的贴近测度进行了比较分析，提出了一些有参考价值的建议．本文中的贴近测度 SM 定义为

$$SM = 1 - DM, \tag{3}$$

其中 DM 是距离测度，常采用 Euclid 距离测度：

$$DM(A, B) = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} [\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)]^2}{n}\right]^{1/2}, \tag{4}$$

这里 $X = \{x_1, \cdots, x_n\}$ 是由 n 个元素组成的有限论域．A, B 是论域X上的模糊子集，表示为

$$A = \mu_A(x_1)/x_1 + \cdots + \mu_A(x_n)/x_n = \sum_{i=1}^{n} \mu_A(x_i)/x_i,$$

$$B = \mu_B(x_1)/x_1 + \cdots + \mu_B(x_n)/x_n = \sum_{i=1}^{n} \mu_B(x_i)/x_i,$$

其中 $\mu_A(x_i)/x_i$ 表示 x_i 对于A的隶属度．$\mu_B(x_i)/x_i$ 为 x_i 对于 B的隶属度．

简记为 $A = [\mu_A(x_1), \cdots, \mu_A(x_n)]$，$B = [\mu_B(x_1), \cdots, \mu_B(x_n)]$．

两个模糊子集的贴近测度的计算公式为

$$SM(A,B) = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} [\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)]^2}{n}\right]^{1/2}. \tag{5}$$

显然，若A和B是相同的模糊量词，则 $SM(A,B) = 1$．

两个模糊子集向量的贴近测度定义如下（参见文献 [2]）：

$$SM(K,L) = \operatorname*{avg}_{i} SM(k_i, l_i) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left\{1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} [\mu_{k_i}(x_i) - \mu_{l_i}(x_i)]^2}{n}\right]^{1/2}\right\}, \tag{6}$$

这里K和L分别表示两个模糊子集向量，$K = [k_1, \cdots, k_m]$，$L = [l_1, \cdots, l_m]$，其中 k_i 和 l_i 均是模糊子集；avg 是取平均运算．

2. 知识表示和模式匹配

举一个实例说明 THFDP 将要涉及的问题：

问题 1.　诊断规则：IF (m_1，很重)且 (m_2，较重)且 (m_3，很重)

THEN (V_1，很重)　　($SC = 1$)

观察的事实：某人患有很严重的症状 m_1（如 m_1 代表呕吐），严重的症状 m_2（如发烧），患有较重的 m_3（如腹泻）.

现在的问题是如何由患者的症状对病情作出恰当的诊断.

本文采用正态分布表示模糊量词的隶属函数[6]. 8 种不同的模糊量词，均是 [0,1] 论域上的模糊子集，见表 1.

表 1

模糊量词	数值区间	对应的隶属函数
ES 特别严重	[1.00, 1.00]	$\mu_{特别严重}(x)=\begin{cases}1 & 当\ x=1\ 时\\ 0 & 其它\end{cases}$
VS 很严重	[0.95, 0.99]	$\mu_{很严重}(x)=1-e^{-\{0.125/\|0.97-x\|\}^{2.5}},\ x\in(0,1)$
SE 严　重	[0,80, 0.94]	$\mu_{严重}(x)=1-e^{-\{0.125/\|0.87-x\|\}^{2.5}},\ x\in(0,1)$
RS 比较严重	[0.61, 0.79]	$\mu_{比较严重}(x)=1-e^{-\{0.125/\|0.70-x\|\}^{2.5}},\ x\in(0,1)$
US 一　般	[0.31, 0.60]	$\mu_{一般}(x)=1-e^{-\{0.125/\|0.46-x\|\}^{2.5}},\ x\in(0,1)$
SL 有　点	[0.11, 0.30]	$\mu_{有点}(x)=1-e^{-\{0.125/\|0.20-x\|\}^{2.5}},\ x\in(0,1)$
VL 轻　微	[0.01, 0.10]	$\mu_{轻微}(x)=1-e^{-\{0.125/\|0.06-x\|\}^{2.5}},\ x(\in 0,1)$
NE 无	[0.00, 0.00]	$\mu_{无}(x)=\begin{cases}1 & 当\ x=0\ 时\\ 0 & 其它\end{cases}$

表 1 列出了 8 种模糊量词、与其对应的数值区间以及隶属函数. 选择隶属函数时，需要考虑两个因素. 首先是便于表示各种不同的不确定性或模糊性，其次是易于区分各种不同的模糊量词. 表中使每个隶属函数的隶属度等于 1 的元素 x_i 都位于相应的数值区间的中点. 例如模糊量词"严重"的最大隶属度（等于 1）发生在 $x=0.87$，位于区间 [0.80,0.94] 的中点. 这里，每个模糊量词可以用模糊数（本文中也称为模糊强度）和隶属函数表示. 例如，模糊量词"比较严重"是模糊数"大约 0.7"，其相应的隶属函数可以由表 1 的第三列求得. 另外，表中类型之间的转换是平滑过渡的，某个给定的模糊强度（如大约 0.9）仅属于相应的数值区间所对应的模糊子集（如 *SE*）. 为了简化计算，这里将区间 [0, 1] 划分为 6 个相等间隔的离散点：0,0.2,0.4,0.6,0.8,1；于是可把诸模糊量词表示成：

"特别严重" $=[0,0,0,0,0,1]^T$　　"很严重" $=[0,0,0,0.07,0.37,1]^T$

"严重" $=[0,0,0.04,0.136,0.99,0.98]^T$　　"比较严重" $=[0,0.03,0.11,0.83,0.83,0.11]^T$

"一般" $=[0,0.15,1,0.53,0.08,0]^T$　　"有点" $=[0.27,1,0.27,0.05,0.01,0]^T$

"轻微" $=[1,0.53,0.08,0,0,0]^T$　　"无" $=[1,0,0,0,0,0]^T$

在这些表达式中的"T"表示转置.

这种对模糊量词的表达式中省略了模糊论域的元素，仅列出了相应元素的隶属度，如"一般"的完整表达式为

$$\text{“一般”} = 0/0 + 0.15/0.2 + 1/0.4 + 0.53/0.6 + 0.08/0.8 + 0/1.0$$

在 THFDP 中，模糊子集由其隶属度组成的向量表示，某个模糊子集向量由相应的隶属度组成的矩阵表示。

下面约定：F 代表症状的名称集，D_i 代表规则 R_i 的前提部分，M 代表观察集（或事实集），d_i 代表规则 R_i 的结论部分，$F = \{m_1, \cdots, m_p\}$，$M = \{(m_j, r_j), 1 \leqslant j \leqslant p\}$，$D_i = \{(m_j, t_j), 1 \leqslant j \leqslant p\}$，$d_i = (V_i, \bar{d}_i)$。 r_j 是观察集 M 中对应于症状 m_j 的模糊量词；t_j 是前提 D_i 中对应于症状 m_j 的模糊量词；V_i 是结论 d_i 中的疾病名称；$\bar{d}_i$ 是对应于 V_i 的模糊量词。假定阈值取为 $\lambda = \lambda_0$，且知识库中已有有关的模糊产生式规则。利用前述的矩阵表示方法，模糊子集向量 M 和 D_i 可由各自的模糊量词的隶属度组成的矩阵 $\bar{M}$ 和 $\bar{D}_i$ 来表示；$\bar{M} = [r_1, r_2, \cdots, r_p]$，$\bar{D}_i = [t_1, t_2, \cdots, t_p]$；$d_i$ 可由模糊量词 $\bar{d}_i$ 表示。

首先由(6)式计算 $\bar{M}$ 和 $\bar{D}_i$ 的贴近测度 $SM(\bar{M}, \bar{D}_i)$，如果 $SM(\bar{M}, \bar{D}_i) > \lambda_0$，就可启用规则 R_i，否则就不能执行规则 R_i。

现在，问题 1 可以表示如下：

$$D_1 = \{(m_1, t_1), (m_2, t_2), (m_3, t_3)\}, \quad M = \{(m_1, r_1), (m_2, r_2), (m_3, r_3)\}, \quad F = \{m_1, m_2, m_3\}$$

则：$\bar{D}_1 = [t_1, t_2, t_3] = [VS, RS, VS] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.03 & 0 \\ 0 & 0.11 & 0 \\ 0.07 & 0.83 & 0.07 \\ 0.37 & 0.83 & 0.37 \\ 1 & 0.11 & 1 \end{bmatrix}$，$\bar{M} = [r_1, r_2, r_3] = [VS, SE, RS] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.03 \\ 0 & 0.04 & 0.11 \\ 0.07 & 0.136 & 0.83 \\ 0.37 & 0.99 & 0.83 \\ 1 & 0.98 & 0.11 \end{bmatrix}$，$d_1 = (V_1, VS)$，$\bar{d}_1 = VS$，$V_1$ 指某种疾病，如急性肠炎。由贴近测度计算公式(6)，得

$$SM(\bar{M}, \bar{D}_1) = \frac{SM(r_1, t_1) + SM(r_2, t_2) + SM(r_3, t_3)}{3}$$
$$= (1 + 0.4845 + 0.5399)/3 \doteq 0.6748.$$

若取阈值 $\lambda_0 = 0.65$，则本条诊断规则被启用。

3. 修正函数 MF

在 THFDP 中，当根据 SM 值启用规则 R_i: IF D_i THEN d_i 后，还要应用 MF 来修正规则的结论部分 d_i。MF 是 SM 的函数，其构成可以根据实际情况人为调整。必要时，系统可以依靠专家的经验、过去的数据、所论问题之间的联系等，对 MF 的形式予以调整，使系统的决策符合实际情况。有多种形式的修正函数可供选用，这里列出本文中所要使用的两种。

1）模糊强度降低形式

类似 Zadeh 的推理合成方法[5],这里令

$$\tilde{d}_i' = \tilde{d}_i \odot \widetilde{SM_i}, \tag{7}$$

式中⊙代表模糊集上的广义模糊乘操作，$\widetilde{SM_i}$ 代表普通数 SM_i 模糊化后的模糊数，也可看成是实数域上的可能性分布.

当规则 R_i 的前提 D_i 与 M 完全匹配时，$SM_i = 1$，则推理结果为 $d_i' = d_i$.

2) 模糊强度增加形式[5]

公式 (8) 给出了这种修正函数的形式及作用.

$$\tilde{d}_i' = \min\{1, \tilde{d}_i \odot \widetilde{SM_i}\}, \tag{8}$$

式中⊙表示模糊集上的模糊除操作.

可见，SM_i 的值越小，强度值 $\tilde{d}_i'$ 越大. 如果 M 和 D_i 完全匹配，则 $\tilde{d}_i' = d_i$.

二、置信度 SC 的作用和整体决策方法

置信度是指对所建立的某条规则的相信程度. 如果 $SC = 1$，则认为该条规则完全可信；如果 $SC = 0$，则认为该条规则毫不可信. 也就是随着 SC 值增大，对该规格的相信程度也增强. 设置 SC 的明显好处是专家 (或操作人员) 可根据经验和具体情况调整诸条规则在决策过程中所起的相对作用. 例如在 n 条规则组成的规则基中，第二条规则经实践反复证明诊断效果极好，则可令 $SC_2 = 1.0$；而第三条规则尚未临床应用，则可取 $SC_3 = 0.4$.

由事实集和规则集，推出一个最合理的结论，是 THFDP 的主要任务. 下面引进一个例子研究 SC 值对系统决策过程的影响.

规则 IF $\{m_1$, 特别严重$\}$ THEN $\{V_1$, 较严重$\}$ $(SC = 1.0)$

观察 $\{m_1$, 较严重$\}$

结论：$d_i' = ?$ (9)

这里 m_1 代表某一症状，V_1 代表疾病名.

直观上分析，可得到以下几点结论：

(i) 观察与规则前提的贴近程度 SM 越大，则 d_i' 越应该接近规则的结论 d_i.

(ii) 病人只具有比较严重的 m_1，而不是特别严重的 m_1，所以规则结论可能是患有一般的 V_1. 这是在 $SC = 1$，即毛规则是完全可信的条件下推得的.

(iii) 如果上例中规则的可信度 $SC \neq 1$，即认为该规则不十分可信时，那么前面推出的结论也会出现相应的偏差. SC 越小，偏差就会越大. 偏差的趋向具有两种可能性：或者使病情的诊断淡化，或者使病情的诊断深化.

为了减小偏差，推出合理的结论，这里依据 SC 值选取了两个修正因子 $MO1$ 和 $MO2$，对系统的结论部分加以修正.

Zadeh 曾经指出[8]："在问题求解系统中，知识库中信息的不确定性会引起结论中也带有某些不确定性".

当规则和观察集中都含有不确定性时，推得的结论的模糊强度将表示为模糊区间或模糊数，而非实数. 参见第二节和文献[8]，选取 $MO1(SC) = SC$，$MO2(SC) = 1 \odot SC$. 因此，最

后推得的结论为一个范围：$[\bar{d}_i' \odot MO1(SC),\ \bar{d}_i' \odot MO2(SC)]$。

现在，假定有 n 个规则 $R_i, i=1,2,\cdots,n$，和 m 个观察的事实 $M_j, j=1,\cdots,m$，则整体决策方法由以下 6 个步骤组成。

第一步、选择贴近测度和修正函数

1）选择一种适当的贴近测度 SM，

2）选择一种合适的修正函数 MF，

3）给定接近测度 SM 的阈值 λ_0。

4）令 $i=1, j=1$。

第二步：模式匹配

将 M_j 和第 i 条规则的前提 D_i 相匹配，计算 $\lambda_{ij}=SM(\bar{M}_j,\bar{D}_i)$。

第三步：启用某条规则

1）如果 $\lambda_{ij}\geqslant\lambda_0$，则启用规则 R_i，并且进行第四步。

2）如果不能启用规则 R_i，且 $i\neq n$，则令 $i=i+1$ 转第二步。否则，当 $j=m$，$i=n$，转第五步。其它情况令 $j=j+1$，$i=1$ 转第二步。

第四步：推导结论

1）由 MF 和 d_i 推导初始结论 d_i'：

$$\bar{d}_i' = MF(\bar{d}_i), \tag{10}$$

这里 $\bar{d}_i$ 和 $\bar{d}_i'$ 分别是 d_i 和 d_i' 的模糊强度。

2）由 $MO1$，$MO2$ 和 d_i，求得最终的结论 d_i''。

$$\overline{d_i''} = \{MO1 \odot \bar{d}_i', MO2 \odot \bar{d}_i'\} \tag{11}$$

或者

$$MO1 \odot \bar{d}_i' \leqslant \bar{d}_i'' \leqslant MO2 \odot \bar{d}_i', \tag{12}$$

这里 $\overline{d_i''}$ 也是 d_i'' 的模糊强度。

3）将推出的结论送至结论数据库中。

4）如果 $i=n$ 且 $j=m$ 转第五步。如果 $i\neq n$ 时，令 $i=i+1$ 转第二步。否则，令 $i=1$，$j=j+1$ 转第二步。

第五步：结论综合

如果在结论数据库中存在多于一个 d_i'' 时，说明不只一个规则被启用，则根据模糊集的并运算规则，使用最大操作运算对结论进行合并。

第六步：结论不满意时，返回第一步。否则，打印显示最后的结论。

三、合成规则的模糊决策

前面讨论了简单规则 R_i: IF D_i THEN d_i $(SC_i=S_i)$ 的推理方法，下面讨论将此方法扩展应用到“或”和“与”合成规则[3]的推理。

1.“或”合成

“或”合成规则的一般形式是

$$\text{IF } D_{i1} \text{ 或 } D_{i2} \text{ 或} \cdots \text{或 } D_{ik} \text{ THEN } d_i\ (SC_i = S_i), \tag{13}$$

(13) 式可以分解为 k 个简单规则：

IF D_{i1} THEN d_i ($SC_i = S_i$) 或

IF D_{i2} THEN d_i ($SC_i = S_i$) 或

⋮

IF D_{ik} THEN d_i ($SC_i = S_i$)

然后利用前述的简单规则决策方法分别处理.

2. "与"合成

"与"合成规则的一般形式是

$$\text{IF } D_{i1} \text{ 且 } D_{i2} \text{ 且} \cdots \text{且 } D_{ik} \text{ THEN } d_i \ (SC_i = S_i), \tag{14}$$

上式的总体贴近测度取为

$$SM = \lambda_{ij} = \operatorname*{avg}_{s}\{SM_s(\bar{D}_{is}, \bar{M}_{js})\}, \ s = 1, 2, \cdots, k. \tag{15}$$

这里假定观察具有同样形式: M_{j1} 且 M_{j2} $\cdots$ 且 M_{jk}. 这样就可利用分解算法来处理.

因此, THFDP 可以应用于广泛范围内的决策问题.

四、示 例

在这一节中,通过两个示例说明 THFDP 的决策过程.

例 1. 在第一节中曾提出了一个问题, 并计算了贴近测度 $SM = 0.6748$. 现在按照第二节中给出的算法,求取决策的结论.

$$\bar{d_1} = [0, 0, 0, 0.07, 0.37, 1] \odot \widetilde{0.6748} \odot \tilde{1} = \widetilde{0.65} = \text{大约}0.65,$$

这里"大约 N" 代表"模糊数 N". 有关模糊数的代数运算方法参阅文献 [3,6].

由表 1 得到诊断结论: 按照 Euclid 测度,该人患有比较重的疾病 V_1.

例 2. 假定症状集 $F = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6\}$, 观察集 $M = \{(m_1$, 严重), (m_2, 无), (m_3, 0.64), (m_4, 无), (m_5, 一般), (m_6, 有点), $\lambda_0 = 0.65$ 并已知以下规则集:

规则 1. IF {(m_1, 严重), (m_2, 有点), (m_3, 无), (m_4, 一般), (m_5, 无), (m_6, 一般)} THEN (V_1, 较重) ($SC_1 = 0.60$).

规则 2. IF {(m_1, 轻微), (m_2, 无), (m_3, 很严重), (m_4, 无), (m_5, 较重), (m_6, 有点)} THEN (V_2, 很严重) ($SC_2 = 0.99$).

规则 3. IF {(m_1, 无), (m_2, 特别严重), (m_3, 无), (m_4, 一般), (m_5, 无), (m_6, 轻微)} THEN (V_3, 很严重), ($SC_3 = 0.90$).

规则 4. IF {(m_1, 轻微), (m_2, 无), (m_3, 无), (m_4, 特别严重), (m_5, 无), (m_6, 有点)} THEN (V_4, 特别严重), ($SC_4 = 0.79$).

规则 5. IF {(m_1, 无), (m_2, 无), (m_3, 无), (m_4, 严重), (m_5, 有点), (m_6, 有点)} THEN (V_5, 较重) ($SC_5 = 0.94$).

规则 6. IF {(m_1, 轻微), (m_2, 无), (m_3, 较重), (m_4, 无), (m_5, 一般), (m_6, 严重) THEN (V_6, 特别严重) ($SC_6 = 0.97$).

用模糊集的矩阵表达方法,得到

$$\overline{M}=\begin{bmatrix}0&1&0&1&0&0.27\\0&0&0.04&0&0.15&1\\0.04&0&0.15&0&1&0.27\\0.136&0&0.87&0&0.53&0.05\\0.99&0&0.79&0&0.08&0.01\\0.98&0&0.04&0&0&0\end{bmatrix},\quad \overline{D}_1=\begin{bmatrix}0&0.27&1&0&1&0\\0&1&0&0.15&0&0.15\\0.04&0.27&0&1&0&1\\0.136&0.05&0&0.53&0&0.53\\0.99&0.01&0&0.08&0&0.08\\0.98&0&0&0&0&0\end{bmatrix},$$

$$\overline{D}_2=\begin{bmatrix}0&0&0&0.27&1&1\\0&0&0&1&0&0\\0.04&0&0.04&0.27&0&0\\0.136&0.07&0.136&0.05&0&0\\0.99&0.37&0.99&0.01&0&0\\0.98&1&0.98&0&0&0\end{bmatrix},\quad \overline{D}_3=\begin{bmatrix}1&0&1&0&1&1\\0&0&0&0.15&0&0.53\\0&0&0&1&0&0.08\\0&0&0&0.53&0&0\\0&0&0&0.08&0&0\\0&1&0&0&0&0\end{bmatrix},$$

$$\overline{D}_4=\begin{bmatrix}1&1&1&0&1&0.27\\0.53&0&0&0&0&1\\0.08&0&0&0&0&0.27\\0&0&0&0&0&0.05\\0&0&0&0&0&0.01\\0&0&0&1&0&0\end{bmatrix},\quad \overline{D}_5=\begin{bmatrix}1&1&1&0&0.27&0.27\\0&0&0&0&1&1\\0&0&0&0.04&0.27&0.27\\0&0&0&0.136&0.05&0.05\\0&0&0&0.98&0.01&0.01\\0&0&0&0.98&0&0\end{bmatrix},$$

$$\overline{D}_6=\begin{bmatrix}1&1&0&1&0&0\\0.53&0&0.53&0&0.15&0\\0.08&0&0.11&0&1&0.04\\0&0&0.83&0&0.53&0.136\\0&0&0.83&0&0.08&0.99\\0&0&0.11&0&0&0.98\end{bmatrix}.$$

可以求得：

$$SM(\overline{M},\overline{D}_1)=0.5028,\quad SM(\overline{M},\overline{D}_2)=0.5482,\quad SM(\overline{M},\overline{D}_3)=0.412$$

$$SM(\overline{M},\overline{D}_4)=0.5725,\quad SM(\overline{M},\overline{D}_5)=0.571,\quad SM(\overline{M},\overline{D}_6)=0.76$$

这里 $SM(\overline{M},\overline{D}_6)>\lambda_0$，可以算得 $\overline{d''_6}=[\inf 1,\sup 1]$，

其中 $\inf 1=[0,0,0,0,0,1]\odot\widetilde{0.76}\odot\widetilde{0.97}=$ 大约 0.74，

$\sup 1=[0,0,0,0,0,1]\odot\widetilde{0.76}\odot\widetilde{0.97}=$ 大约 0.78。

由表 1 可得结论：病人患有比较严重的疾病 V_6。

五、结 束 语

本文讨论了能同时考虑前提条件描述和规则置信度两种不确定性的模糊决策方法，并举例说明这种方法的应用过程。所举的例子是医疗诊断方面的，但本文提出的方法也可以应用于其它领域专家系统的决策推理。

参考文献

[1] Marin, B., *Fuzzy Sets and Systems*, 21(1987), 1—17

[2] Shyi, M. Chen, *IEEE Trans on SMC*, 18(1988), 12:1012—1017

[3] 邹开其、徐 扬，模糊系统与专家系统，西南交通大学出版社，1989，6，266—339.

[4] Buchanan B. G. & Shortliffe, E. H., *Rule-Based Expert System, The MYCIN Experiments of The Standford Heuristic Programing Project*, *Reading M.1*, Addison-Wesley, 1984.

[5] Zadeh, L. A., *IEEE Trans on SMC*, 3(1973), 28—44.

[6] Zimmermann, H. J., *Fuzzy Set Theory and Its Application* Kluwer Nijhoff Publishing, 1955, 270—291.

[7] Zwick, R. et al., *Int. J. Approximate Reasoning*, 1(1989), 221—242.

[8] Zadeh, L. A., *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1983), 199—227

[9] Zhang Huaguang, Xu Weivong, *Modern Control Theory Applied to 200MW Boiler-Turbine Unit Control*, IFAC Symposium on Power Systems & Power Plant Control, Aug. 1986, 330—336.