

具有两级不确定性的推理模型

刘大有 钟少春 高雅卿

(吉林大学计算机科学系, 长春 130023)

A REASONING MODEL FOR INTEGRATION TWO LEVELS OF UNCERTAINTY

Liu Dayou, Zhong Shaochun and Gao Yaqing

(Department of Computer Science, Jilin University, Changchun 130023)

Abstract In this paper, we describe the deviation of confidence factor about an assertion, the rule intensity deviation, the assertion reliability (the reliable degree about an assertion), the rule reliability (the reliable degree of a rule), and the level two uncertainty. Based on these concepts we present an inference method that can deal with the deviation of confidence factor about assertions and the rule intensity deviations, a new reasoning model which integrates the two levels of uncertainty (the confidence factor and the reliable degree). A discussion about the evaluation of conclusions given by the cooperative ESs is also in progress in this paper.

摘要 本文描述了断言信度偏差, 规则强度偏差, 断言可靠度, 规则可靠度, 二级不确定性等概念. 给出了处理信度偏差与规则强度偏差的推理方法和具有两级不确定性(可信度, 可靠度)的推理模型. 本文还对参与协作的诸 ES 所输出的结论的评价方法进行了讨论.

§ 1. 引言

迄今为止, 在所见到的知识表示和不确定性推理模型中还未见到有关知识片的可靠性描述. 当然就更未见到对不可靠性所带来的影响的分析及其解决方法的研究.

那么是不是说, 在领域专家和知识工程师一起总结、精炼领域知识, 并把它们表成产生式规则(本文选择产生式规则这种知识表示来展开知识片可靠性及处理方法的讨论, 不失一般性)之后, 这些产生式规则(也简称规则)就都是完全可靠和准确无误呢? 回答是否定的.

我们都知道领域专家的权威性是相对的, 他(或她)很难把握一个复杂领域的所有方方面面. 如医学专家们对疑难病患者, 常常采用许多专家一起会诊的方法来弥补单个专家经验的不足(自然这也是相对而言的); 另外, 建造一个 ES 在时间、成本等方面是有严格限制的; 还有要确保大量的规则间的完全一致性和 KB 的完备性是非常困难的, 甚至是不可能的等等.

事实上, 领域专家清楚地知道, 在其给出的规则中, 有一些是很可靠的, 有一些是不太可靠的, 还有一些是居中的.

规则的可靠性研究, 对于提高不确定性推理的准确性, 改善 ES 的性能, 处理多 ES 协作系统中的结论冲突都是很重要的.

本文 1990 年 3 月 9 日收到, 1991 年 4 月 22 日定稿. 本研究得到国家“七五”重点科技攻关项目 75-68-5-3 和国家自然科学基金项目 B6874002 资助. 作者刘大有, 教授, 主要研究领域为知识工程, 专家系统, 分布式人工智能. 钟少春, 讲师, 1989 年硕士毕业于吉林大学, 主要研究领域为专家系统, 知识工程, 应用软件. 高雅卿, 助工, 1990 年毕业于吉林大学, 主要研究领域为知识工程, 应用软件.

§ 2. 知识的不确定性、不可靠性及其表示

2.1 规则强度

规则后件中的一个结论往往会有大量的与之相关的前提证据. 如果与一个结论相关的前提证据集是完备的、严格的, 那么该结论和其前提的关系通常就是完全确定的. 但这常常是不现实的. 一方面, 追求与结论相关的前提证据的完备集会使规则复杂化, 进而导致推理代价剧增; 另一方面, 有些前提证据难以得到, 有些前提证据是近似的, 有些前提证据间的关系是复杂的只能近似表达. 为了初步解决这一问题, 文[1]使用了启发式规则, 引入了规则强度. 规则强度刻画了规则前件与后件之间的不确定性关系, 规则强度是规则的重要部分. 但规则强度并不是规则可靠性的度量.

2.2 规则可靠性

一些原因使规则完全可靠是很困难的. 例如:

- a. 在一些情况下, 一个结论与很多前提证据有关, 从中选出与结论最相关的一定数量的证据是很困难的;
- b. 在一些情况下, 前件中诸证据间的关系很复杂, 不易确定和准确表达;
- c. 前件中诸证据间的相对重要性不易区分;
- d. 规则强度很难给准;
- e. KB 中, 确保规则间的完全一致性是非常困难的; 等等.

可见规则的不可靠性是存在的, 而且在一定程度上是不可避免的. 因此, 研究规则的不可靠性的表达与处理都是很有意义的.

我们说, 证据信度, 规则强度, 都描述了一级不确定性, 而规则的可靠度却描述了二级不确定性.

本文规定:

a. 断言(包括证据, 假设, 结论, 事实等)可信度的取值区间为 $[0, 1]$, 其中 0 表示断言为假, 1 表示断言为真, $c_c (0 < c_c < 1)$ 表示对断言的真假程度一无所知.

b. 规则强度的取值区间为 $[0, 1]$. 其中 0 表示当前件为真时, 后件为假; 1 表示当前件为真时, 后件亦真; $I_c (0 < I_c < 1)$ 表示规则前件与后件无关.

定义 1: 二级不确定性是关于一级不确定性的不确定性.

从理论上讲, 不确定性可以有级.

定义 2: $n+1$ 级不确定性是关于 n 级不确定性的不确定性.

2.3 知识表示

在基于规则 ES 中, 主要有两种不同粒度的知识片: 事实与规则.

定义 3: 一个事实知识片可表成一个三元组 $(A, C(A), r)$, 其中 A 表示一断言, $C(A)$ 表示对断言 A 的可信度, r 是 $(A, C(A))$ 的可靠度. r 的取值区间为 $[0, 1]$. $r=0$, 表示 $(A, C(A))$ 是完全不可靠的; $r=1$ 时, 表示 $(A, C(A))$ 是绝对可靠的.

定义 4: 一个事实知识片也可表成一个四元组 $(A, C(A), D_1, D_2)$. 其中 A 是一个断言; $C(A)$ 是 A 存在(或为真)的最可能的信度值; D_1 和 D_2 分别是 A 的信度值朝着小于 $C(A)$ 和大于 $C(A)$ 的两个方向所可能产生的最大偏差, 就是说 A 的信度值可取区间 $[C(A) - D_1, C(A) + D_2]$ 中的任何一个值. D_1 和 D_2 都描述了二级不确定性.

定义 5: 一个带有可靠性描述的规则可表示为:

IF <前件> THEN <后件> (I, R) 或

$$\langle \text{前件} \rangle \frac{I}{R} \rightarrow \langle \text{后件} \rangle$$

其中 I 是规则强度, R 是规则的可靠性程度, 简称可靠度.

定义 6: 一个带有规则强度偏差的规则有如下形式:

IF $\langle \text{前件} \rangle$ THEN $\langle \text{后件} \rangle$ (I, D). 其中 I 为最可能的规则强度, D 表示规则强度所可能产生的最大偏差, 就是说规则强度可取区间 $[I-D, I+D]$ 中的任何一个值. 这里 D 描述了二级不确定性.

§ 3. 关于偏差的两级不确定性推理模型

以 § 2 中定义 4 和定义 6 给出的知识表示为背景, 来研究信度与偏差的传播方法.

3.1 前件中只包含一个证据

假设有规则 IF E THEN H (I, D), 与 E 对应的四元组是 $(E, C(E), D_1, D_2)$, 与 H 对应的四元组是 $(H, C(H), D'_1, D'_2)$.

当 $I \geq I_c$ 且 $C(E) \geq C_c$ 时, 有

$$C(H) = C_c + (C(E) - C_c) * (I - I_c) / (1 - I_c) \quad (1)$$

当 $I \geq I_c$ 且 $C(E) < C_c$ 时, 有

$$C(H) = C_c + (C(E) - C_c) * (I - I_c) * (1 - I_c)^{-1} \quad (2)$$

当 $I \leq I_c$ 且 $C(E) \geq C_c$ 时, 有

$$C(H) = C_c + (C(E) - C_c) * (1 - C_c^{-1}) * C_c * (I - I_c) * I_c^{-1} \quad (3)$$

当 $I \leq I_c$ 且 $C(E) < C_c$ 时, 有

$$C(H) = C_c + (C(E) - C_c) * (1 - C_c) * C_c^{-1} * (I - I_c) * I_c^{-1} \quad (4)$$

对应第一种情况的 D'_1 和 D'_2 是:

$$D'_1 = C(H) - (C(E) - D_1) * (I - D) \quad (5)$$

$$D'_2 = (C(E) + D_2) * (I + D) - C(H) \quad (6)$$

3.2 前件由多个证据的逻辑与组成

假定有规则 IF $E_1 \wedge E_2 \wedge \dots \wedge E_k$ THEN H (I, D), 分别与 E_1, E_2, \dots, E_k 对应的四元组 $(E_1, C_1, D_1^1, D_2^1), (E_2, C_2, D_1^2, D_2^2), \dots, (E_k, C_k, D_1^k, D_2^k)$, 并假定与 H 对应的四元组是 $(H, C(H), D'_1, D'_2)$.

假定集合 $\{C_i * (D_1^i + D_2^i)^\alpha \mid i = 1, 2, \dots, k\}$ (注意: 这里 i 只用来作下标和上标) 共有 h ($h \geq 1$) 个最小元素: $\{C_{m_j} * (D_{1j}^{m_j} + D_{2j}^{m_j})^\alpha \mid j = 1, 2, \dots, h\}$, 指数 α 是一待定常数, 用来调整信度偏差在合取运算中对可信度传播的影响程度. 并假定 $C_{m_l} = \min\{C_{m_j} \mid j = 1, 2, \dots, h\}$, 用 C_{m_l} 代替式(1), 或式(2), 或式(3)或式(4)中的 $C(E)$ 便可算出 $C(H)$. 对应式(1)的 D'_1 和 D'_2 是:

$$D'_1 = C(H) - \min\{C_1 - D_1^1, C_2 - D_1^2, \dots, C_k - D_1^k\} * (I - D)$$

$$D'_2 = \max\{C_1 + D_2^1, C_2 + D_2^2, \dots, C_k + D_2^k\} * (I + D) - C(H)$$

3.3 具有相同结论的多条规则的综合

假定有 k 条规则, IF $\langle \text{前件 } 1 \rangle$ THEN H (I_1, D_1), IF $\langle \text{前件 } 2 \rangle$ THEN H (I_2, D_2), \dots , IF $\langle \text{前件 } k \rangle$ THEN H (I_k, D_k), 由它们分别得出的与 H 对应的四元组是

$$(H, C'_1, D'_{11}, D'_{21}), (H, C'_2, D'_{12}, D'_{22}), \dots, (H, C'_k, D'_{1k}, D'_{2k}) \quad (7)$$

并假定由(7)综合得到的四元组 (H, C', D'_1, D'_2) .

$$\begin{aligned}
C' &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k C'_i \\
\bar{D}_1 &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k D'_{1i} & \bar{D}_2 &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k D'_{2i} \\
d_1 &= \frac{1}{2k} \sum_{i=1}^k |D_1 - D'_{1i}| & d_2 &= \frac{1}{2k} \sum_{i=1}^k |\bar{D}_2 - D'_{2i}| \\
D'_1 &= \bar{D}_1 + d_1 & D'_2 &= \bar{D}_2 + d_2
\end{aligned}$$

H 的综合信度值可能取区间 $[C' - D'_1, C' + D'_2]$ 中的任何一个值.

§ 4. 关于可靠度的两级不确定性推理模型

我们以 § 2 的定义 3 和定义 5 给出的知识表示为背景, 研究可信度与可靠度的传播方法.

4.1 规则的前件只包含一个证据

假定有规则 IF E THEN H (I, R), 证据 E 对应的三元组是 $(E, C(E), r)$, 结论 H 对应的三元组是 $(H, C(H), r')$, 那么我们有:

$C(H)$ (可按 § 3 的公式 (1) 或 (2) 或 (3) 或 (4) 求得)

$$r' = R * r$$

4.2 规则的前件由多个证据的逻辑与组成

假定有规则:

IF $E_1 \wedge E_2 \wedge \dots \wedge E_k$ THEN H (I, R), 分别与 E_1, E_2, \dots, E_k 对应的三元组是 $(E_1, C_1, r_1), (E_2, C_2, r_2), \dots, (E_k, C_k, r_k)$, 与 H 对应的三元组是 (H, C_H, r_H) . 假定集合 $\{C_i/r_i^\alpha \mid i=1, 2, \dots, k\}$ 共有 $h \geq 1$ 个最小元素: $\{C_{mj}/r_{mj}^\alpha \mid j=1, 2, \dots, h\}$. α 是一个待定常数, 用来调整可靠度在合取运算中对可信度和可靠度传播的影响程度. 并假定 $C_{m\alpha} = \min\{C_{mj} \mid j=1, 2, \dots, h\}$

以 $C_{m\alpha}$ 代替 § 3 (1)~(4) 式中某一式中的 $C(E)$ 即可求得 $C(H)$ (即 § 3 (1) 至 (4) 式中的 $C(H)$);

$$r_H = R * r_{m\alpha}$$

4.3 具有相同结论的多条规则的综合

假定有相同结论 H 的多条规则都被匹配成功:

IF <前件 1> THEN H (I_1, R_1)

IF <前件 2> THEN H (I_2, R_2)

·

IF <前件 k> THEN H (I_k, R_k)

由这 k 条规则分别得出的与 H 对应的三元组是

$$(H, C_{H1}, r_{H1}), (H, C_{H2}, r_{H2}), \dots, (H, C_{Hk}, r_{Hk}) \tag{8}$$

综合式 (8) 中的诸三元组可得到三元组 (H, C_H, r_H) , 我们还假定知识库中后件为 H 的规则总共有 n 条. 它们的可靠度分别是 $R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in}$, 且 $k \leq n$.

按不减次序排列 (8) 中的 $C_{Hi}, 1 \leq i \leq k$:

$$C_{Hi1}, C_{Hi2}, \dots, C_{Hik} \text{ (有 } C_{Hi1} \leq C_{Hi2} \leq \dots \leq C_{Hik} \text{)} \tag{9}$$

令与 $C_{Hij} (1 \leq j \leq k)$ 对应的可靠度为 $r_{Hij} (1 \leq j \leq k)$ 并假定 $C_{Hi\alpha} \leq C_e, C_e \leq C'_{Hi}$ (或者 $C_{Hi\alpha}$ 和 C'_{Hi} 是 (9) 中的同一个元素, 或者 C'_{Hi} 是 (9) 中紧邻 $C_{Hi\alpha}$ 且又在它的后面的元素).

把 (9) 中的 $C_{Hij} (1 \leq j \leq k)$ 分成两组进行综合:

$$C_1 = \sum_{j=1}^l \frac{(C_e - C_{Hij}) * r_{Hij}}{C_e}$$

$$C_2 = \sum_{j=l+1}^k \frac{(C_{Hij} - C_e) * r_{Hij}}{1 - C_e}$$

$$\begin{cases} C_H = C_e - \frac{(C_1 - C_2) * C_e}{\sum_{j=1,2,\dots,k} r_{Hij}} & \text{当 } C_1 \geq C_2 \text{ 时} \\ C_H = C_e + \frac{(C_2 - C_1) * (1 - C_e)}{\sum_{j=1}^k r_{Hij}} & \text{当 } C_1 < C_2 \text{ 时} \end{cases} \quad (10)$$

在给出 r_H 计算公式以前,我们先分析一下 r_H 都与哪些因素有关:

1. r_H 与诸 $C_{H_i}(i=1,2,\dots,k)$ 的一致性程度有关.

令 x_1 表示诸 $C_{H_i}(1 \leq i \leq k)$ 的一致性程度,

当 $C_e \leq C_H \leq 1$ 时,

$$x'_1 = \frac{\sum_{j=l+1}^k r_{Hij} * |C_H - C_{Hij}| + \sum_{j=1}^l r_{Hij} * |C_H - (C_e - C_{Hij}) * \frac{1 - C_e}{C_e}|}{\sum_{j=1}^k r_{Hij}} \quad (11)$$

当 $0 \leq C_H < C_e$ 时,

$$x'_1 = \frac{\sum_{j=1}^l r_{Hij} * |C_H - C_{Hij}| + \sum_{j=l+1}^k |C_H - (C_{Hij} - C_e) * \frac{C_e}{1 - C_e}| * r_{Hij}}{\sum_{j=1}^k r_{Hij}} \quad (12)$$

$$x_1 = (1 - \frac{x'_1}{C_H})^{k_0} \quad (13)$$

当诸 $C_{H_j}(j=1,2,\dots,k)$ 的一致性越好时, x_1 的值越大;当诸 $C_{H_j}(j=1,2,\dots,k)$ 完全一致时, $x'_1=0$, $x_1=1$. 显然, x_1 越大, r_H 也应越大. $k_0 > 0$ 是一个待定常数, 可用来调整 x_1 对 r_H 的影响程度. k_0 通常由领域专家凭经验给出.

2. 结论为 H 的 n 条规则中有多少条并且有哪些条规则被触发与 r_H 有关.

我们用 x'_2 表示结论为 H 的 n 条规则中有多少条并且是哪些条被触发这样一个事件.

按不减次序排列 k 条规则的规则强度

$I_{i_1}, I_{i_2}, \dots, I_{i_k}$ (有 $I_{i_1} \leq I_{i_2} \leq \dots \leq I_{i_k}$)

按不减次序排列 n 条规则的规则强度

$I_{j_1}, I_{j_2}, \dots, I_{j_n}$ (有 $I_{j_1} \leq I_{j_2} \leq \dots \leq I_{j_n}$)

假定 $I_{jt} \leq I_e, I_{it+1} > I_c$; 并假定 $I_{is} \leq I_e, I_{is+1} > I_e$:

$$\text{当 } \sum_{t=1}^s R_{it} \geq \sum_{t=s+1}^k R_{it} \text{ 时, } \quad x'_2 = \frac{\sum_{t=1}^s R_{it} - \sum_{t=s+1}^k R_{it}}{\sum_{h=1}^l R_{jh}}$$

$$\text{当 } \sum_{t=1}^s R_{it} < \sum_{t=s+1}^k R_{it} \text{ 时, } \quad x'_2 = \frac{\sum_{t=s+1}^k R_{it} - \sum_{t=1}^s R_{it}}{\sum_{h=l+1}^n R_{jh}}$$

$$x_2 = (x'_2)^{l_0} \tag{14}$$

$l_0 > 0$ 是一待定常数, 用来调整 x_2 对 r_H 影响程度. 在实际应用中, l_0 由领域专家凭经验确定. 当一条规则的规则强度 $< I_e$ 时, 则该规则反对 H; 当某规则的规则强度 $> I_e$ 时, 则这个规则支持 H. 假定 $C_{H1} \leq C_{H2} \leq \dots \leq C_{Hk}, C_{Hj}$ 与 r_{Hj} 对应, $C_{H1} \leq C_e, C_e \leq C'_{H1}$ (约定同式(9)).

3. 由 k 条被触发的规则分别得到的关于 H 的可靠度 $r_{H1}, r_{H2}, \dots, r_{Hk}$ 与 r_H 的关系.

$$\text{当 } \sum_{j=1}^l (C_e - C_{Hij}) * \frac{1 - C_e}{C_e} \geq \sum_{j=l+1}^k (C_{Hij} - C_e) \text{ 时, 有}$$

$$x'_3 = \frac{\sum_{j=1}^l r_{Hij}}{\sum_{j=1}^k r_{Hij}} * \frac{\sum_{j=1}^k r_{Hij}}{k}$$

否则, 有

$$x'_3 = ((\sum_{j=l+1}^k r_{Hij}) / \sum_{j=1}^k r_{Hij}) * \frac{\sum_{j=1}^k r_{Hij}}{k}$$

$$x_3 = (x'_3)^{m_0} \tag{15}$$

$m_0 > 0$ 是一待定常数, m_0 可用来改变 x_3 对 r_H 的影响程度. m_0 的选择方法与 l_c 相同.

综合上述可得

$$r_H = a * x_1 * x_2 * x_3 \tag{16}$$

$a > 0$ 为待定常数, 它在实际应用中确定.

§ 5. 信度偏差在传播中的增宽问题

在带有信度偏差的推理模型(§ 3)中, 随着问题求解的进行. 信度偏差不断传播, 那么在这一过程中信度偏差会不会变得过大(宽)?

我们先定义基于规则的 ES 推理链长度.

假定从一个 ES 的推理树的根节点到某叶节点 i 的路径长为 L_i , 那么这个 ES 的推理链长度可定义为:

$$\max\{L_i | i \text{ 遍取这个 ES 的推理树的所有叶节点}\}$$

与图 1 对应的 ES 的推理链长度为 3.

在大多数实用 ES 中, 完成领域问题求解所形成的推理链长度, 一般都不超过一个一位数字.

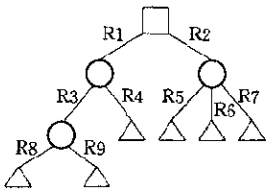


图1 一个专家系统的推理树, 图中方框节点表示最终结论, 圆圈节点表示中间结果, 三角节点表示初始证据, R1—R9表示产生式规则。

特别是在地质勘探,石油勘探,地震预测等等领域推理链长度大都在1和5之间。

此外,还应注意:实际应用中信度偏差和规则强度偏差都是比较小的,初始信度的相对偏差(即信度偏差除以相应的信度值)一般不超过20%,规则强度的相对偏差(即 D/I ,规则强度偏差除以相应的规则强度)一般不超过10%。

第三,正象我们熟知的许多ES,如MYCIN^[1]所生成的推理链上的所有规则强度的连乘积,一般都不会很小那样,具有信度偏差推理模型的ES所产生的推理链上的所有规则强度相对偏

差之和都不会很大。

综上所述,在实际应用中,面对一个有意义的领域问题,具有信度偏差推理模型的ES一般不会产生;信度偏差由于不断传播而变得过宽,当信度偏差随着传播而变得过宽,甚至达到信度的边界值时,确切说应该是信度的相对偏差过大时(比如说信度的相对偏差达到了80%),则我们说该信度(即可信度)是太不可靠了。

具有信度偏差推理模型的ES与通常的ES(如MYCIN,PROSPECTOR等)不同,MYCIN在选择推理结果时,只考虑可信度一个因素,选择可信度最高的结论作为输出,而具有信度偏差推理模型的ES在选择推理结果时,却考虑可信度和信度偏差这两个因素,粗略地说,先选出可信度较高的结论集合,然后再以该集合为基础在可信度高和信度偏差小两者间进行恰当的权衡,以便确定ES的合理输出。

作为本节的结尾,我们对偏差推理模型和区间推理模型之间的区别做些粗略的说明,这两个推理模型有一定的相似之处,也有本质上的不同,偏差推理模型是一个具有两级不确定性的推理模型,它不仅描述和处理了信度偏差,而且描述和处理了规则强度偏差,区间推理是由证据理论演变来的,其信度传播采用纯区间形式,在偏差推理模型中,其信度传播则采用最可能信度值和其偏差来进行的。

§ 6. 结 语

6.1 协作ES输出结论的评价

在由多个领域相关的ES组成的协作知识系统中,冲突消解(包括一致性处理,多个结论的综合,多个ES之间的辩论等)是有待深入研究的课题,但是,若想有效解决冲突消解中的问题就必须解决协作ES的结论的评价问题,为此,人们开展了这方面的研究并相继给出了一些评价ES的结论的方法:

a. 对参与协作的ES赋予一个权值

该方法(下称a.方法)假定协作ES输出的结论为二元组(\langle 断言 $\rangle \langle$ 断言信度 \rangle)所示的形式,并假定不论在任何输入环境下,也不管输出的是什么结论,都用赋予协作ES的权值(一个固定的数)作为其可靠性(或称权威性)的度量,因为a.方法既不区分协作ES的不同输入环境,也不区分协作ES的所有输出结论,所以它是一个比较粗糙的方法。

b. 文[2]的方法

该方法(下称b.方法)寻找协作ES的所有输入证据 $e = \{E_1, E_2, \dots, E_k\}$ 和它的所有输出假说 $\{H_1, H_2, \dots, H_n\}$ 之间的概率统计关系: $\omega(H_1, e), \omega(H_2, e), \dots, \omega(H_n, e)$,其中 $\omega(H_i, e)$ ($i = 1, 2, \dots, n$)表示在所有输入证据 e 下,假说 H_i 为真(或出现)的观察数,b.方法未能区分在所有不同的输入情况下,同一个假说为真的观察数的差异,另一方面,给出所有初始输入证据(实际上,应该是与某

假说 H, 相关所有初始输入证据, 文[2]也未予以区分)和任一输出假说之间的关系, 是非常困难的, 也是难给准的.

c. 采用两级不确定性推理模型的方法

该方法(下称 c. 方法)对协作 ES 的每一个输入证据, 对协作 ES 的知识库中的每条启发式规则都赋予一个可靠度. 在 c. 方法中, 协作 ES 的每一个输出假说都表成三元组(\langle 断言 \rangle \langle 信度 \rangle \langle 可靠度 \rangle), 其中 \langle 信度 \rangle 和 \langle 可靠度 \rangle 都是使用两级不确定性推理模型一步步推出来的. c. 方法中的可靠度较好地刻划了在任一输入情况下, 协作 ES 的某一输出假说的可靠性, 或者说权威性. 领域专家给出一条规则的可靠性远比给出最低层证据(初始输入证据)与最高层假说(协作 ES 输出的最终结论)之间的数量关系来得容易和准确.

6.2 使不确定性推理更准确的研究

两级不确定性推理是一项使不确定性推理更准确的研究. 这项研究的实质是: 找出那些对 ES 的不确定性推理的准确性有影响, 然而却被忽略或因某种原因未被考虑的因素, 分析它们对推理准确性所产生的影响的性质与程度, 进而给出减小, 乃至消除它们的影响的方法.

参考文献

- [1] Shortliffe, E. H. , Computer-Based Medical Consultations, MYCIN, Elsevier, New York, 1976.
- [2] Keung-Chi Ng and Bruce Abramson, A Model for Using Multiple Knowledge Based in an Expert System, Proc. of the Ninth International Workshop EXPERT SYSTEMS & THEIR APPLICATIONS, 269-280, 1989.
- [3] Naseem, A. K. and Ramesh, J. , Uncertainty Management in a Distributed Knowledge Based System, Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, 318-320, 1987.
- [4] D. Liu, F. Zheng, Z. Ma, Q. Shi, Conflict Resolution in Multi-ES Cooperation System, SPIE Proc. Vol. 1468 OE/Aerospace Sensing'91 on Applications of Artificial Intelligence IX, Orlando, Florida, USA, 1991.
- [5] Ru-qian, L. , Expert Union: United Service of Distributed Expert Systems, Technical Report 85-3, Institute of Mathematics Chinese Academy of Science, Beijing, China, June 1985.