

# 在多个 ES 协作系统中 不一致性问题的处理

刘大有 钟少春 高雅卿

(吉林大学计算机科学系)

## THE PROCESSING OF INCONSISTENCY PROBLEM IN MULTIPLE ESs COOPERATIVE SYSTEMS

Liu Dayou, Zhong Shaochun and Gao Yaqing

(Department of Computer Science, Jilin University)

### ABSTRACT

In the cooperative systems composed of multiple domain related ESs, ESs which can solve the same one problem A independently, are often organized as a cooperative group. Sometimes, each ES in the group all gives the same assertion to problem A, whereas the CF (Confidence Value) for the assertion is different. In this paper, in order to process this kind of inconsistency problem, we improve the strategies of approaching to the highest CF and adjacent influence, propose the strategies of approaching to the highest authority and interactive influence. Moreover, we also propose three computational methods about the maximum deviation of the united CF of the cooperative group which are the method based on fuzzy entropy, the method based on norm and the method based on mean deviation value. These computational methods are based on the measure about the degree of inconsistency of all CFs in the group.

### 摘 要

在由多个领域相关的 ES 组成的协作系统中, 通常把能独立求解同一个领域难题 A 的所有 ES 组成一个协作组。有时组中诸 ES 对 A 都给出了相同的断言, 但是它们却给出了不同的断言信度值。本文为处理这种不一致性问题, 改进了文[1]中的向最高信度值看齐策略和相邻影响策略, 提出了向最高权威看齐策略和相互影响策略, 并给出了基于模糊

1989 年 10 月 19 日收到, 1990 年 1 月 7 日定稿。

填、范数和均差值的协作组统一信度值最大偏差的三种计算方法。这些计算方法都是以组中诸信度值不一致性程度的度量为基础的。

## §1. 引言

在多个专家系统(ES)联合协作的知识系统中,对于同一个问题,不同的ES常常给出互不相同的看法(本文中的看法由<断言>和<断言信度值>组成)。有时,不同的ES对同一个问题的看法彼此接近,有时,不同的ES对同一个问题的看法又相差甚远。为了刻划协作组(本文中的协作组由能独立求解同一个领域问题的所有ES组成)中诸ES关于同一个问题的看法彼此接近或远离的程度,文中使用了一致性程度(有时文中也使用不一致性程度)一词。把协作组中诸ES对同一个问题的各种看法综合成一个代表全组统一看法的方法,是多ES协作系统、分布式知识库系统和DAI(分布式人工智能)等研究的一个十分关键的课题。为了说清综合一词的含义,下面给出一个例子:

假设有一个疑难病患者,单独一个医生不能给出可靠的诊断。在这种情况下,许多医生(可能包括主任医生,主治医生等)组成一个小组(有时组中还由一名权威医生做组长),大家共同讨论,最终形成一个代表全组意见的诊断。这样一个过程,医学界称之为会诊。我们说会诊一词与综合一词相当。

应补充说明的一点是:参与协作的ES既不是完美无缺的(意指绝对权威),也不是无足轻重的。一般说来,协作组中的ES的权威性不尽相同。

人类专家综合他(和/或她)们的各种看法为一个统一意见的过程的计算机实现是一个难度很大的课题,也是一个有很大意义的课题。采用人工智能方法并使用计算机进行综合的过程,通常包括下述一些步骤:

1. 对协作组中每个ES的看法用领域知识进行评价(注意:评价的是ES得出的看法。如果通过评价发现某ES得出的看法(或结论)有问题,则将导致该ES重新进行推理,并且在这新的推理中将部分地使用新数据和/或新知识);
2. (对协作组中诸ES关于同一个问题的看法的一致性程度进行判断)若诸ES的看法相差不是太远,则转步骤4;
3. (至此,诸ES的看法彼此相差甚远(包括部分看法相差很大的情况))组织组中的诸ES进行辩论,尔后依据辩论过程中所获得的信息对相应ES的知识库提出求精建议或实施求精操作;如果是由某ES的问题求解方法不当所引起的,那么将指出该ES的问题求解方法的问题所在;若诸ES的看法相差还是甚远,则转步骤5;
4. 对诸看法(彼此相差不远的看法)进行一致性处理(进行一致性处理和对不一致性进行处理,其含义是相同的),后终止算法;
5. (本文对本步骤所涉及的内容不予讨论)。

## §2. 一致性处理

正如§1所指出的那样,在进行一致性处理之前,必须首先判明诸ES关于同一个问题的看法是否满足进行一致性处理的条件。

定义1 如果对同一个问题A,协作组中诸ES都给出了相同的断言,并且组中任意两

个ES关于其断言的信度值之差的绝对值均小于 $\alpha$  ( $0 < \alpha < p_0$  且诸ES关于其断言的信度值皆属于区间 $[0, p_0]$ , 或者 $0 < \alpha < 1 - p_0$  且诸ES关于其断言的信度值皆属于区间 $[p_0, 1]$ , 其中 $0 < p_0 < 1$ ). 当关于某断言的信度值分别为 $0, p_0$  和 $1$  时, 则分别表明该断言为假, 对该断言一无所知和该断言为真, 则我们说协作组中诸ES关于A的看法满足一致性处理条件(事实上, 我们对定义1已作了信度取值区间为 $[0, 1]$  的假设)。

### 2.1 协作组中诸看法间的影响

因为协作组中诸ES协作求解复杂问题, 所以一个ES的看法可能影响组中其它ES的看法, 同样这个ES也可能接受组中其它ES的看法的影响。由于协作组中诸ES的看法满足一致性处理条件, 所以不同看法间的影响仅仅限于各ES关于断言的信度值。下表给出了与协作有关的协作组的一些属性的描述:

属性 \ 成员	$ES_1$	$ES_2$	$ES_3$	...	$ES_n$
对于同一个问题所做的断言	AS	AS	AS	...	AS
断言信度值	$CF_1$	$CF_2$	$CF_3$	...	$CF_n$
成员的权威性值[注]	$A_1$	$A_2$	$A_3$	...	$A_n$

表中的AS说明组中诸ES对同一个问题都给出了相同的断言。下面我们给出几种影响策略。

#### (1) 向最高信度值看齐策略

在文[1]中已给出了向最高信度值看齐的策略, 本文的工作在于对其进行了改进, 把诸ES的权威性引入了该策略。此外, 本文还给出了该策略的具体应用领域, 从而说明了该策略在一些情况下是有应用价值的。

假定协作组中的诸ES的权威性(指对同一问题的权威性, 下同)彼此比较接近。

##### ① 协作组中只有一个 $ES_j$ 的断言的信度值最高

在这种情况下, 组中( $ES_j$ 除外)其它成员均向 $ES_j$ 靠拢, 就是说, 要调整它们关于其断言的信度值, 使之更接近 $ES_j$ 关于其断言(组中诸ES的断言皆相同)的信度值。

算法EA(求组中成员 $ES_i$  ( $i \neq j$ ) 关于其断言的修正信度值)

设协作组中共有 $k$ 个成员。

EA1. [初始化] 置 $i \leftarrow 1$ 。

EA2. [求修正量] 若 $i \neq j$  且 $i \leq k$ , 则置

$\Delta \leftarrow a * (CF_j - CF_i) * \frac{A_j}{A_j + A_i}$  ( $A_i, A_j$  分别是 $ES_i$  和 $ES_j$  的权威性。a 是一个待定常数, 用来调整修正量。其中 $A_j / (A_j + A_i)$  也可用 $A_j^l / (A_j^l + A_i^l)$  来代替,  $l$  可用来调整权威性在整个修正量中所占的比重。); 否则

Begin 若 $i < k$ , 则置 $i \leftarrow i + 1$  并重复本步骤; 否则终止本算法; End。

EA3. [求 $CF_i$ 的修正值] 置 $CF_i \leftarrow CF_i + \Delta$ 。

EA4. [ $i < k$ ?] 若 $i < k$ , 则置 $i \leftarrow i + 1$  并返回步骤EA2; 否则终止本算法。

[注] 权威性值的取值区间为 $[0, 1]$ 。当权威性值为 $1$  时, 表示相应的ES具有绝对权威, 从而它无需和其它ES协作。当某ES的权威性值 $< a_0$  时,  $0 < a_0 < 1$ , 该ES因权威性太低而不满足协作组成员资格。

当  $0 < \alpha < 1 - p_0$  且诸ES关于其断言的信度值皆属于区间  $[p_0, 1]$  时, 向最高信度值看齐的策略体现了对协作组的断言(即组中任一个ES对同一个问题的断言)很可能存在的较为乐观的观点。在一些领域, 如石油天然气勘探领域, 有较广的应用。在某些情况下, 为了不致漏掉可能的油气田, 油气勘探专家们往往对油气存在持较为乐观的态度, 因此尽管只有少数专家, 哪怕有时仅有一个专家坚持某地区有油气, 那么也要进行钻探。

②协作组中有几个ES关于其断言的信度值都较高

在这种情况下, 我们构造一个伪成员  $ES_d$ 。  $ES_d$  关于断言的信度值

$$CF_d = (1/s) * (CF_{i_1} * A_{i_1} + CF_{i_2} * A_{i_2} + \dots + CF_{i_t} * A_{i_t})$$

其中  $CF_{i_1}, CF_{i_2}, \dots, CF_{i_t}$  是协作组中  $t$  个较高的信度值,  $A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_t}$  分别是  $ES_{i_1}, ES_{i_2}, \dots, ES_{i_t}$  的权威性值,  $S = A_{i_1} + A_{i_2} + \dots + A_{i_t}$ 。  $ES_d$  的权威性值  $A_d = \max\{A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_t}\}$ 。为使算法EA适合这种情况, 我们修改步骤EA2如下:

EA2. [求修正量] 若  $i \leq k$  且  $CF_i < CF_d$ , 则置

$$\Delta \leftarrow \alpha * (CF_d - CF_i) * A_d / (A_d + A_i); \text{ 否则}$$

Begin {这部分与原算法同}End。

(2) 向最高权威看齐策略

①协作组中只有一个  $ES_j$  的权威性最高

在这种情况下, 除  $ES_j$  外, 其它协作组成员关于其断言的信度值都朝着  $ES_j$  的断言的信度值做出调整。用  $CF'_i (i \neq j)$  表示  $CF_i$  的调整结果, 我们有

$$CF'_i = \underbrace{CF_i}_{\text{第1项}} + \underbrace{\alpha_0}_{\text{第2项}} * \underbrace{\left(\frac{1}{2} - \frac{A_i^{k_0}}{A_j^{k_0} + A_i^{k_0}}\right)}_{\text{第3项}} * \underbrace{(1 - p_0 - |CF_j - CF_i|)^{k_1}}_{\text{第4项}} * \underbrace{(CF_j - CF_i)}_{\text{第5项}} \quad (2.1)$$

式(2.1)中共有5项: 第1项  $CF_i$  是  $ES_i$  的断言的原信度值。第2项  $\alpha_0$  是待定常数, 用来调节  $ES_j$  对  $ES_i$  的总影响程度。第3项表示当  $A_i$  愈接近  $A_j$  时,  $ES_i$  受  $ES_j$  的影响应越小; 当  $A_i$  趋近  $A_j$  时,  $ES_j$  对  $ES_i$  的影响应变为零; 反之, 当  $A_i$  比  $A_j$  越小,  $ES_j$  对  $ES_i$  的影响越大;  $k_0$  是一待定常数, 它可以调整相对权威性在总影响中所占的比重。第4项和第5项可合起来说明, 第4项表示当  $CF_j$  与  $CF_i$  的距离(即  $|CF_j - CF_i|$ ) 越大,  $ES_j$  对  $ES_i$  的影响将越小, 第5项表示当  $CF_j$  与  $CF_i$  的距离越大,  $ES_j$  对  $ES_i$  的影响将越大(当  $CF_j > CF_i$  时,  $ES_j$  对  $ES_i$  产生正影响, 使  $CF'_i > CF_i$ ; 当  $CF_j < CF_i$  时,  $ES_j$  对  $ES_i$  产生负影响, 使  $CF'_i < CF_i$ )。为简便计, 取  $k_1 = 1, p_0 = 0.5$ , 且假定  $CF_j > CF_i$ , 于是第4、5两项的联合作用由下面图1示出。令  $x = CF_j - CF_i, y = (1 - p_0 - x) * x = -x^2 + 0.5x$ 。若  $k_1 > 1$ , 则使第4项的影响变小; 若  $k_1 < 1$ , 则使第4项的影响变大。

例: 假定协作组有4个成员, 协作求解一个问题。协作求解所得的部分结果由表1给出(设  $k_0 = k_1 = 1, p_0 = 0.5, \alpha_0 = 10$ )。

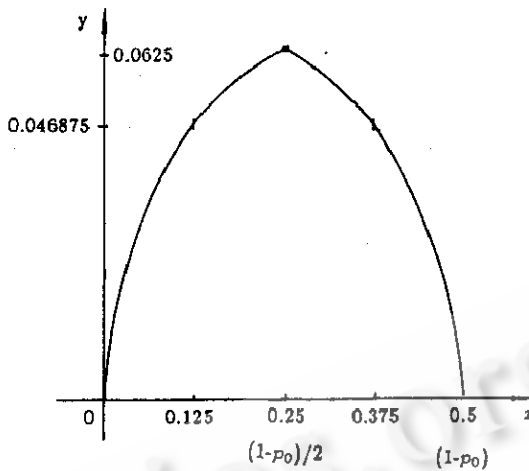


图1 第4、5两项的联合作用,  $x = CF_j - CF_i$ ,  $x$  的取值区间为  $[0, 1 - p_0]$

表1

成员 \ 值 / 属性	断言	权威性值	信度值	修改后信度值
$ES_1$	AS	0.9	0.8	0.8
$ES_2$	AS	0.5	0.6	0.686
$ES_3$	AS	0.6	0.9	0.86
$ES_4$	AS	0.7	0.5	0.538

### ② 伪权威

有时协作组中有几个成员, 比如说  $ES_{i_1}, ES_{i_2}, \dots, ES_{i_l}$ , 它们的权威性值都较高且它们的权威性又较接近。在这种情况下, 可构造一个伪权威(即伪最高权威)  $ES_a$ 。令  $ES_a$  的断言信度值为  $\left(\sum_{j=1}^l A_{i_j} * CF_{i_j}\right) / \sum_{j=1}^l A_{i_j}$ ,  $A_a = \max\{A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_l}\}$ 。构造了伪权威  $ES_a$  之后, 再把  $ES_a$  作为  $ES_j$  就可使用(2)-①中的方法。(2)-②的关键思想是以(2)-①为基础去解决一些不满足(2)-①条件的问题。

显然, 我们提出的向最高权威看齐策略比向最高信度值看齐策略要好得多, 因为没有任何理由会使人确信信度值高的看法就是更正确的看法。

### (3) 相邻影响策略

文[1]中已给出了相邻影响策略, 本文工作在于对其进行了改进, 把诸ES的权威性引入了该策略。应着重强调的一点是: 诸ES的权威性是多ES协作组的重要属性之一。

考虑到协作组中诸ES的权威性值一般不会相差太远(否则有的ES会因其权威性值太小而失去了协作组的成员资格), 而人类专家又容易接受相近观点的影响, 我们给出了相邻(诸信度值排序后的相邻)加权影响策略。假定协作组中诸ES的信度值已按从小到

大的次序排序

$$CF_{i_1}, CF_{i_2}, \dots, CF_{i_n}$$

$$A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_n}$$

注意 $CF_{i_1}$  只受右邻(即 $CF_{i_2}$ ) 的影响, 正影响。 $CF_{i_n}$  只受左邻(即 $CF_{i_{n-1}}$ ) 的影响, 负影响。当 $t \neq 1, n$  时,  $CF_{i_t}$  既受左邻( $CF_{i_{t-1}}$ ) 影响, 又受右舍( $CF_{i_{t+1}}$ ) 影响, 来自左邻的是负影响, 来自右舍的是正影响。

a. 当 $t \neq 1, n$  时有

$$CF'_{i_t} = CF_{i_t} + \tilde{\alpha} * (CF_{i_{t-1}} - CF_{i_t}) * \frac{A_{i_{t-1}}^{\tilde{k}}}{(A_{i_{t-1}}^{\tilde{k}} + A_{i_t}^{\tilde{k}})} + \tilde{\alpha} * (CF_{i_{t+1}} - CF_{i_t}) * \frac{A_{i_{t+1}}^{\tilde{k}}}{(A_{i_{t+1}}^{\tilde{k}} + A_{i_t}^{\tilde{k}})}$$

$$CF'_{i_1} = CF_{i_1} + \tilde{\alpha} * (CF_{i_2} - CF_{i_1}) * \frac{A_{i_2}^{\tilde{k}}}{(A_{i_2}^{\tilde{k}} + A_{i_1}^{\tilde{k}})}$$

$$CF'_{i_n} = CF_{i_n} + \tilde{\alpha} * (CF_{i_{n-1}} - CF_{i_n}) * \frac{A_{i_{n-1}}^{\tilde{k}}}{(A_{i_{n-1}}^{\tilde{k}} + A_{i_n}^{\tilde{k}})}$$

以表1 所示的协作组为例, 选取 $\tilde{\alpha} = 1.5, \tilde{k} = 1$  我们有

值 \ 成员	$ES_{i_1}$	$ES_{i_2}$	$ES_{i_3}$	$ES_{i_4}$
权威性	0.7	0.5	0.9	0.6
原信度值	0.5	0.6	0.8	0.9
新信度值	0.563	0.705	0.753	0.81

式(2.2) 中各项的含义可参考式(2.1)。

(4) 相互影响策略

人类专家易于接受相近观点的影响, 但这绝不意味着相差较大的观点之间就不相互影响。实际上, 组中的每个成员都应该对组中的其他成员施加影响, 同时也会接受来自组中其他成员的影响。再者, 正象式(2.1) 中的第3 项和式(2.2) 中的下画直线的项所表明的那样, 权威性大的ES 接受比权威性小的ES 的影响往往困难一些, 而且所受到的影响也常常会小一些; 反之, 权威性小的ES 接受比权威性大的ES 的影响往往会容易些, 而且所受到的影响也经常会大一些。正是基于这些考虑, 在相邻影响策略的基础上, 我们提出了相互影响策略。

总之, 相互影响策略与上述三种影响策略大不相同, 该策略特别强调相互影响, 强调每个协作伙伴的作用。我们有

$$CF'_i = CF_i + \alpha' * \sum_{j=1,2,\dots,i-1,i+1,\dots,n} \frac{A_j^{k_0}}{A_j^{k_0} + A_i^{k_0}} * (1 - p_0 - |CF_j - CF_i|)^{k_1} * (CF_j - CF_i) \quad (2.3)$$

式中各项的含义与式(2.1) 相同。以表1 所示的协作组为例, 取 $\alpha' = 4, k_0 = k_1 = 1$ , 我们有

值 \ 成员	$ES_1$	$ES_2$	$ES_3$	$ES_4$
权威性	0.9	0.5	0.6	0.7
原信度值	0.8	0.6	0.9	0.5
新信度值	0.67	0.79	0.61	0.78

## 2.2 决策

满足一致性处理条件的协作组诸  $ES$  关于其断言的信度值, 在经过向最高信度值看齐策略或向最高权威看齐策略或相邻影响策略或相互影响策略的处理之后, 诸信度值都朝着代表协作组的某种统一看法发生了一定的变化。在此基础上, 再把发生了一定变化的(即被上述四种策略之一所修改了的) 诸信度值适当组合成一个代表整个协作组看法的统一信度值, 并给出这个统一信度值所可能产生的最大偏差。本文称这一过程为决策。

本文采用加权平均方法组合被修改了的诸信度值。下面主要讨论刻划诸信度值的一致性程度和计算统一信度值最大偏差的方法。

(1) 用熵(entropy) 刻划协作组中诸(被修改了的) 信度值的一致性程度

文[1] 用模糊熵来刻划协作组中诸被修改了的信度值  $CF'_1, CF'_2, \dots, CF'_n$  的一致性程度, 规定模糊熵为

$$H(p_1, p_2, \dots, p_n) = \sum_{i=1}^n p_i * \ln p_i \quad (2.4)$$

其中  $p_i = CF'_i / \sum_{i=1}^n CF'_i$ 。由式(2.4) 可知: 当诸  $CF'$ , 即  $CF'_1, CF'_2, \dots, CF'_n$  的一致性最好时,  $H$  的绝对值最大, 随着诸  $CF'$  的一致性变差  $H$  的绝对值变小。文[1] 还给出了代表协作组最终统一观点的信度值

$$FCF = a * MEAN + \overbrace{b * \langle \text{一致性程度} \rangle}^{\text{第 2 项}} \quad (2.5)$$

式中  $a, b$  为待定常数,  $MEAN$  是  $CF'_1, CF'_2, \dots, CF'_n$  的平均值。式(2.5) 存在下述问题:

a. 式(2.5) 中第 2 项是说  $FCF$  的值应该以  $a * MEAN$  为基础值, 然后再根据  $\langle \text{一致性程度} \rangle$  做些调整, 但是没有任何理由仅仅朝着一个方向做调整;

b. 通过用  $\langle \text{一致性程度} \rangle$  对  $a * MEAN$  做修正而得到一个偏差为零的  $FCF$  值通常是不可能的。我们认为应该用(2.6) 式表达  $FCF$

$$\left. \begin{aligned} &FCF \text{ 最可能值是 } a * MEAN; \\ &\text{当 } FCF \text{ 取值 } a * MEAN \text{ 时, 所产生的最大偏差是:} \\ &b * MEAN * (H_{\max} - H) / H_{\max} = \Delta; \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

式(2.6) 中的  $H_{\max}$  表示当诸  $CF'$  的一致性最好时的模糊熵值。事实上,  $FCF$  可能取区间  $[a * MEAN - \Delta, a * MEAN + \Delta]$  中的任一个值,  $\Delta \geq 0$ 。文[1] 用熵刻划一致性程度不够直观, 且文[1] 也未考虑权威性与一致性程度的关系。

(2) 用范数刻划协作组中诸  $CF'$  的一致性程度

用式(2.7) 度量诸  $CF'$  的一致性程度

$$C' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (A_i * CF'_i - A_j * CF'_j) / \sum_{k=1}^n A_k \quad (2.7)$$

对应(2.6)式, 我们有式(2.8)

$$\left. \begin{array}{l} FCF\text{的最可能值 } a' * MEAN; \\ \text{当 } FCF\text{取值 } a' * MEAN\text{时, 所产生的最大偏差是:} \\ b' * C(a' * b' > 0, a', b'\text{是待定系数}); \end{array} \right\} \quad (2.8)$$

(3) 用均差值刻划协作组中诸CF'的一致性程度

$$MEAN = \frac{\sum_{i=1}^n CF'_i * A_i^{k_0}}{\sum_{j=1}^n A_j^{k_0}} \quad (2.9)$$

关于MEAN的均差计算公式为:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n |CF'_i - MEAN| * A_i^{k_0}}{\sum_{j=1}^n A_j^{k_0}} \quad (2.10)$$

对应于式(2.6)、式(2.8), 有式(2.11)

$$\left. \begin{array}{l} FCF\text{的最可能值 } \bar{a} * MEAN; \\ \text{当 } FCF\text{取值 } \bar{a} * MEAN\text{时, } FCF\text{可能发生的} \\ \text{最大偏差是: } \bar{b} * D(\bar{a} * \bar{b} > 0, \bar{a}, \bar{b}\text{为待定系数}); \end{array} \right\} \quad (2.11)$$

D更直观、更好地给出了FCF取值 $\bar{a} * MEAN$ (MEAN是加权平均值)时, 所可能发生的最大偏差。

### §3. 讨 论

在§2中, 我们改进了文[1]中的关于协作组中诸看法间的两种影响策略, 提出了两种新的影响策略, 修正了文[1]的决策方法, 提出了两种新的决策方法。在这些方面, 我们认为有许多进一步的研究工作要做:

①对这些影响策略和决策方法进行深入地分析比较, 指出它们的适用范围, 对它们进行改进或修正, 并面对各种应用领域给出针对性更强的影响策略与决策方法;

②研究为诸影响策略、决策方法中的公式选择合适系数的方法。这些系数与具体的应用领域密切相关, 目前主要由领域专家给定, 尔后再做些调整。应从一些有代表性的应用领域总结、抽取选择这些系数的原则和知识;

③总结、抽取恰当选择影响策略、决策方法的知识。

### 参考文献

Khan, N. A. and Jain, R., "Uncertainty Management in a Distributed Knowledge Based System", IJCAI-85, pp. 318-320, 1985.