

专家群体思维收敛的研究

王丹力¹, 戴汝为²

(1. 中国科学院软件研究所, 北京 100080; 2. 中国科学院自动化研究所, 北京 100080)

摘要: 讨论一个复杂的决策问题, 专家群体决策是解决这类问题的一种有效方法。当专家群体研讨形成了一些定性的方案之后, 用群体一致性算法, 使专家群体的思维逐渐趋于收敛, 最终达到群体意见一致。在上述过程中主持人的作用非常重要, 他引导专家群体达成一致, 提高了群体决策的效率。专家群体思维收敛的整个过程体现了人机结合的思想, 充分发挥了人和计算机各自的优点, 共同来解决复杂的问题。

关键词: 层次分析法(AHP); 群体一致性; 人机结合

中图分类号: N 94

文献标识码: A

文章编号: 1007-9807(2002)02-0001-05

0 引言

1990年钱学森教授等提出开放的复杂巨系统的概念, 以及处理这类系统的方法论——从定性到定量的综合集成法^[1]。1992年3月钱学森教授进一步提出了“从定性到定量综合集成研讨厅”体系的思想^[2,3]。其构思是把专家们和知识库信息系统、各种人工智能系统、快速巨型计算机, 组织起来成为巨型人一机结合的系统; 把逻辑、理性与非逻辑、非理性智能结合起来(专家们高明的经验判断代表了以实践为基础的非逻辑、非理性智能); 把今天世界上千百万人的聪明才智和已经不在世的古人的智慧都综合起来; 强调发挥这个体系的整体效应和综合效应。研讨厅体系把人的思维、思维的成果、人的经验、知识、智慧以及各种情报、资料、信息系统集成起来, 从多方面的定性认识上升到定量认识。

在研讨厅体系中专家群体是一个重要的组成部分, 他们对解决问题的设想的提出、研讨、建模及最终得到决策都起着重要作用^[4]。面对一个复杂问题, 专家群体在开始时的看法各不相同, 每个成员的观点分散在整个问题空间上, 这就是分散

化思维的表现。对于所有涉及到复杂性的群体活动中都存在分散化思维这种弊病^[5]。这是由于群体中的每个成员对于该复杂问题有各种不同信念(看法), 以及群体中的成员对包含在复杂问题中各种因素的重要性的感知不同。研讨厅中的专家群体也会产生这种分散化思维。如何克服这种弊病, 使参加研讨的专家群体的思维最终基本达成一致是一个非常重要的问题。这个问题与专家群体决策有着比较密切的联系。本文对一种群体决策的一致性计算方法进行了研讨, 为帮助解决研讨厅体系中关于专家群体定性认识的收敛问题提供一些启发与参考。

专家群体思维收敛的研究, 曾经有一些工作^[6-9], 文[6, 7]给出用一种求群体一致性的方法, 而这种方法并未给出专家的判断矩阵, 只提到用特征根方法求排序向量。但是在有些情况下求得的排序向量可能与专家的判断矩阵不一致, 此时排序向量就不能反映专家对方案的判断, 下面的求群体一致性的工作就毫无意义。另外, 判断矩阵比例标度的选取对计算一致性也是非常关键的。本文针对上述方法的不足, 给出一种较合适的标度, 采用几何平均法求排序向量, 并对判断矩阵

本身的一致性进行检验,之后用群体一致性算法进行决策.这种方法推广后,已用于支持宏观经济的综合集成研讨厅体系中^[10].

1 群体一致性算法

1.1 求每个专家的排序向量

每个专家的排序向量用层次分析法求得.层次分析法(the analytic hierarchy process, AHP)是 Saaty 教授于 70 年代提出的,它是一种定量与定性相结合,将人的主观判断用数量形式表达和处理的方法^[11, 12].下面给出求排序向量的步骤

1) 构造判断矩阵

假设由 m 个决策者组成的决策群体 T 对 n 个备选方案进行评价.判断矩阵的构造方法是对于某一层面上的各准则(或目标)进行两两判断,按照给定的比例标度确定其相对重要程度,即可得到相应的判断矩阵.对于群体决策,当专家对商定的方法分别进行判断,由此给出的判断矩阵可表示为

$$A_k = \{a_{ij}\}_{n \times n}$$

其中 A_k ——表示第 k 个专家给出的判断矩阵, $k = 1, \dots, m, A_k$ 为反对称矩阵,满足条件:

$$a_{ij} > 0, a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ii} = 1$$

2) 排序向量

由判断矩阵 A 可以求出排序向量 w .给出几何平均法求各方案排序的方法:

$$w = \left[\left(\prod_{j=1}^n a_{1j} \right)^{1/n}, \dots, \left(\prod_{j=1}^n a_{nj} \right)^{1/n} \right]$$

将得到的向量归一化即得专家的排序向量.几何平均法可以得到与原始的判断矩阵一致的排序结果

3) 一致性检验

当判断矩阵 A 满足如下条件:

$$a_{ij} = a_{ik}a_{kj}$$

称其为完全一致的.实际上判断矩阵通常不是完全一致的.这是由于判断矩阵的构造是通过专家咨询得到,因此判断矩阵的一致性必然受到专家知识结构、判断水平和个人偏好等众多主观因素以及事物本身的模糊性和不确定性等客观因素的

影响.然而判断矩阵的一致性是一个重要问题,它直接影响到由此判断矩阵得到的排序向量是否能真实地反映各比较方案之间的客观排序.因此,在求排序向量之前首先应当检验判断矩阵的一致性. Saaty 给出一种一致性检验的方法:

计算一致性指标 C. I (consistency index)

$$C. I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

根据给定的平均随机一致性指针 R. I (random index) 表,查出相应阶数下的 R. I 值

计算一致性比例 C. R. (consistency ratio)

$$C. R. = \frac{C. I}{R. I}$$

当 $C. R. < 0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性是可以接受的

当 $C. R. > 0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性是不可接受的,需对判断矩阵进行修正

1.2 群体一致性算法^[5]

在给出群体决策的一致性算法之前,先定义几个概念:

群体强一致指标 GA I——群体中成员一致水平的计算值,

群体强不一致指标 GD I——群体中成员不一致水平的计算值,

个体强一致指标 IA I——第 t 个个体与群体中其他成员间的一致水平,

个体强不一致指标 ID I——第 t 个个体与群体中其他成员间的不一致水平

用向量之间的夹角表示两个专家的排序向量之间的接近程度.定义两向量之间夹角的余弦:

$$A G_{t,r} = (w_t \cdot w_r) / (|w_t| \times |w_r|)$$

如果 $A G_{t,r} \geq \alpha$,则认为群体成员“ t ”和“ r ”之间具有强一致性,当 $A G_{t,r} < \beta$ 则认为群体成员“ t ”和“ r ”之间具有强不一致性. α 和 β 是两个阈值,可根据实际情况设定.由此可定义如下群体一致性指标计算方法:

$$GA I = \frac{2\eta(t,r)}{(m(m-1))}$$

如果 $A G_{t,r} \geq \alpha$ 则 $\eta(t,r) = 1$, 而 $A G_{t,r} < \alpha$ 则 $\eta(t,r) = 0$.同理可得群体强不一致指标:

$$GD I = \frac{2\gamma(t,r)}{(m(m-1))}$$

如果 $A G_{t,r} < \beta$ 则 $\gamma(t,r) = 1$, 而 $A G_{t,r} > \beta$ 则 $\gamma(t,r) = 0$

同样可定义个体一致性指标如下:

$$A I = \frac{\eta(t, r)}{(r - 1)}$$

$$D I = \frac{\gamma(t, r)}{(r - 1)}$$

其中 $\eta(t, r)$ 及 $\gamma(t, r)$ 的定义同上

2 专家群体思维收敛的实现

专家群体思维收敛的过程总体上分 3 阶段: 准备阶段、专家研讨阶段、整理输出数据阶段。在这一过程中包含 3 类人员: 主持人(主持研讨过程, 引导群体专家思维趋于一致, 主持人也有可能参与研讨)、专家群体(提出方案、分析方案、进行研讨)、系统管理维护人员(管理及维护研讨系统的工作人员)。下面给出专家群体思维收敛过程的描述

第 1 阶段由主持人确定研讨的议题, 由此组织专家进行讨论, 并确定针对这一问题的备选方案以及相关的初始值的设定。在这一过程中专家也可调用相应的模型来实现或验证自己提出的观点, 以使自己的想法更具有说服力

第 2 阶段是专家群体在主持人的指导下进行研讨。分为如下几步:

在确定了备选方案集之后, 群体专家开始对这些方案进行研讨, 对每个方案的相对重要性进行评判, 每个专家对这些方案评估结果以判断矩阵的形式给出

对判断矩阵本身进行一致性分析, 将不满足一致性要求的判断矩阵, 反馈给相应的专家, 让其修改自己对方案的评价

当每个专家的判断矩阵都符合要求之后, 即可计算群体一致性指标、个体一致性指标以及去掉某个方案的群体一致性指标

主持人和专家讨论分析判断这些计算结果, 并指导专家研讨

如果群体强一致指标超过某一阈值(通常可选为 0.667), 此时即可认为专家群体的意见是一致的。即可转到第 3 步

如果群体强一致指标低于某一阈值, 则表明群体的意见还未收敛到一起, 因此需要继续讨论, 修改某些专家的意见

主持人根据个体一致性指标以及去掉某

一方案时的群体一致性指标, 指导专家的研讨。对于个体一致性指标最大者, 表明其一致性最好, 主持人可指导专家群体在下面讨论时以他的观点为依据。对于个体一致性指标最小者, 主持人可提醒其修改自己的观点。如果他在后面的讨论中仍然固持己见, 可令其退出研讨或者在群体一致性计算时不考虑其意见

专家讨论之后重新给出判断矩阵, 转到第 2 步, 再进行一致性计算, 直到群体的强一致指标满足要求为止

分析计算结果, 找出最佳方案, 判断此方案专家群体是否满意。如不满意, 专家再进行讨论重复上述过程, 直到结果令人满意为止

第 3 阶段是在群体得到满意的结果后, 可以进行数据整理、打印及生成文件。专家群体研讨过程就此结束

上述专家思维收敛的过程体现了人机结合的思想。例如在专家群体思维收敛过程的第 1 阶段是一个人机结合的过程。专家对自己提出的意见用计算机进行建模, 并对结果反复修改, 直到得到一个专家满意的结果。这样专家不仅可以得到一个更确切的观点, 而且增强了自己观点的说服力。第 2 个阶段同样是人机结合的阶段。首先, 对专家给出的判断矩阵的检验、一致性的计算等都需要用计算机来完成, 但是对于计算结果需要人来判断, 并且修改相应的数据。另外, 在讨论过程中专家有可能产生新的观点, 对这些新的认识用计算机建模方式检验、修改、完善, 之后可以作为一种新方案加入备选方案集中。总之, 专家思维收敛过程体现了一个人机结合的过程, 充分发挥了人和计算机各自的优势, 共同来解决决策问题

3 应用举例

在研讨厅体系中, 专家研讨已经形成了一些定性的备选方案后, 这时用群体一致性算法。在主持人的指导下, 专家群体对备选方案寻求群体思维的一致性, 最终形成一个统一的认识。本例假设在研讨厅中有 10 个专家参与研讨, 并对讨论出的 4 个方案进行群体研讨决策。在确定了初始的阈值之后, 对上述 4 个方案进行研讨, 根据讨论结果, 选取合适的比例标度, 专家各自对这些方案评

估, 得到相应的判断矩阵如下:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/1.4 & 2.8 & 1.4 \\ 1.4 & 1 & 3.5 & 2.8 \\ 1/2.8 & 1/3.5 & 1 & 1/1.4 \\ 1/1.4 & 1/2.8 & 1.4 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2.1 & 1/1.4 & 1.4 \\ 2.1 & 1 & 1.4 & 2.8 \\ 1.4 & 1/1.4 & 1 & 2.1 \\ 1/1.4 & 1/2.8 & 1/2.1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3.5 & 2.8 & 1.4 \\ 1/3.5 & 1 & 1/1.4 & 1/2.1 \\ 1/2.8 & 1.4 & 1 & 1/1.4 \\ 1/1.4 & 2.1 & 1.4 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1.4 & 2.8 & 2.1 \\ 1/1.4 & 1 & 2.1 & 1.4 \\ 1/2.8 & 1/2.1 & 1 & 1/1.4 \\ 1/2.1 & 1/1.4 & 1.4 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} 1 & 1/1.4 & 1.4 & 2.1 \\ 1.4 & 1 & 2.1 & 2.8 \\ 1/1.4 & 1/2.1 & 1 & 1.4 \\ 1/2.1 & 1/2.8 & 1/1.4 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_6 = \begin{bmatrix} 1 & 2.1 & 2.8 & 1.4 \\ 1/2.1 & 1 & 1.4 & 1/1.4 \\ 1/2.8 & 1/1.4 & 1 & 1/2.1 \\ 1/1.4 & 1/1.4 & 2.1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_7 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2.1 & 1.4 & 1/1.4 \\ 2.1 & 1 & 2.8 & 1.4 \\ 1/1.4 & 1/2.8 & 1 & 1/2.1 \\ 1.4 & 1/1.4 & 2.1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_8 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2.8 & 1/1.4 & 1/2.1 \\ 2.8 & 1 & 2.1 & 1.4 \\ 1.4 & 1/2.1 & 1 & 1/1.4 \\ 2.1 & 1/1.4 & 1.4 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_9 = \begin{bmatrix} 1 & 3.5 & 2.8 & 1.4 \\ 1/3.5 & 1 & 1/1.4 & 1/2.1 \\ 1/2.8 & 1.4 & 1 & 1/1.4 \\ 1/1.4 & 2.1 & 1.4 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{10} = \begin{bmatrix} 1 & 1/1.4 & 1.4 & 1/2.1 \\ 1.4 & 1 & 2.1 & 1/1.4 \\ 1/1.4 & 1/2.1 & 1 & 1/2.8 \\ 2.1 & 1.4 & 2.8 & 1 \end{bmatrix}$$

根据专家给出的判断矩阵, 先求判断矩阵本身的一致性, 本例求出的一致性均满足 C. R. < 0.1 的要求, 之后求每个专家的排序向量, 排序结

果见表 1. 下面就可求群体强一致和强不一致指标, 得到的结果为 GA I= 0.755, GD I= 0.0889. 通常认为群体成员中有 2/3 以上的人达到一致意见即可认为整个群体已经达到意见一致. 接下来求个体一致性的各个指标, 如表 2 所示.

表 1 判断矩阵的一致性 & 排序向量

专家	C. R.	排序向量
1	0.0066	(0.2872, 0.4260, 0.1150, 0.1718)
2	0.0003	(0.1924, 0.3922, 0.2788, 0.1367)
3	0.0003	(0.3922, 0.2788, 0.1924, 0.1367)
4	0.0003	(0.3922, 0.2788, 0.1367, 0.1924)
5	0.0003	(0.2788, 0.3922, 0.1924, 0.1367)
6	0.0003	(0.3922, 0.1924, 0.1367, 0.2788)
7	0.0003	(0.1924, 0.3922, 0.1367, 0.2788)
8	0.0003	(0.1367, 0.3922, 0.1924, 0.2788)
9	0.0003	(0.3922, 0.2788, 0.1924, 0.1367)
10	0.0003	(0.1924, 0.2788, 0.1367, 0.3922)

由表 2 可见专家 1 的个体一致指标为 1, 表明其余专家与该专家的观点最为接近, 该专家的观点最好. 因此专家讨论时可以按专家 1 的排序方案为参考进行, 这一工作在主持人指导下进行.

表 2 个体一致性指标

专 家	IA I	DI
1	1.0000	0
2	0.7778	0.1111
3	0.7778	0.1111
4	0.7778	0
5	0.8889	0
6	0.6667	0.2222
7	0.8889	0
8	0.5556	0.1111
9	0.7778	0.1111
10	0.4444	0.2222

可以通过求去掉一个备选方案后群体一致性指标来判断方案的情况, 如表 3.

分析表 3 的结果可见, 当去掉备选方案 2 时群体的强一致指标大大减小, 由此可知群体成员对方案 2 的评价意见基本一致. 而当去掉方案 4 时群体一致指标大大增加, 则说明群体成员对此方案的评价意见相差很大. 主持人根据这些信息

可以指导专家的研讨, 促使专家群体意见达成一致

表 3 去掉某方案后的群体一致性指标

	GA I	GD I
去掉方案 1	0.822 2	0.022 2
去掉方案 2	0.600 0	0.177 8
去掉方案 3	0.644 4	0.133 3
去掉方案 4	0.844 4	0.066 7

从上述表格和分析可见, 由于群体的强一致指标 GA I 为 0.755 6, 即可认为群体意见已经达到一致。专家研讨的结果是选择方案 2 作为最好方案, 各方案的排序为专家 1 所给出的排序向量所显示的顺序。至于最终的决策结果可以由主持人根据专家讨论的结果来选择。

4 结论

本文讨论了在群体专家进行决策的过程中, 当专家研讨形成了一些定性的方案时, 用群体一致性的算法, 求出群体成员对定性方案的一致性程度以及相应的个体一致性指标, 在主持人指导下反复讨论, 使专家群体思维不断趋于收敛, 并最终达成一致意见。在群体讨论决策过程中主持人的作用非常重要, 他可以引导专家的讨论朝着意见一致的方向进行讨论, 从而提高决策的效率。整个研讨过程体现了人机结合综合集成的思想, 充分发挥了人和计算机各自的优势, 共同来解决复杂问题。

参考文献

- [1] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学的新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志, 1990, 13(1): 3-10
- [2] 戴汝为. 21 世纪组织管理途径的探讨[J]. 管理科学学报, 1998, 1(3): 1-6
- [3] 戴汝为. 组织管理的途径与复杂性探讨[J]. 科学, 1998, 50(6): 8-12
- [4] 王丹力, 戴汝为. 综合集成研讨厅体系中专家群体行为的规范[J]. 管理科学学报, 2001, 2(5): 1-8
- [5] Warfield J N. Spreadthink: explaining ineffective groups[J]. Systems Research, 1995, 12(1): 5-14
- [6] Ngwenyama O K, Bryson N, Mobolurin A. Supporting facilitation in group support systems: techniques for analyzing consensus relevant data[J]. Decision Support System, 1996, 16: 155-168
- [7] Bryson N. Group decision-making and the analytic hierarchy process: exploring the consensus-relevant information content[J]. Computers Ops Res, 1996, 23(1): 27-35
- [8] Chen S M. Aggregating fuzzy opinions in the group decision-making environment[J]. Cybernetics and Systems, 1998, 29: 363-376
- [9] Hsu H M, Chen C T. Aggregation of fuzzy opinions under group decision making[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 79: 279-285
- [10] 王丹力, 戴汝为. 群体一致性及其在研讨厅中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 7(23): 33-37
- [11] Saaty T L. A scaling method for priorities in hierarchical structures[J]. Journal of Mathematical Psychology, 1977, 15: 234-281
- [12] Saaty T L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process[J]. Management Science, 1986, 32(7): 841-855

Research on convergence of expert group thought

WANG Dan-li¹, DAIRU Wei²

1. Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;

2. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

Abstract A complex decision problem is discussed in this paper. Expert group decision is a one of the effective method to resolve this problem. After some qualitative plans achieved by expert group discussion, the consistency of expert group thought can be achieved gradually by group consistency algorithms. During the above procedure, roles of the chairperson is important, who conduct the expert group to obtain consistency, and enhances efficiency of group decision. The strategy of man-computer combination are reflect in whole procedure of convergence, during which the advantages of both man and computer are fully utilized to solve complex problem.

Key words AHP; group consistency; human-computer integration