

面向综合集成研讨厅的方案生成和评估系统

柴艳艳^{1,2}, 樊磊¹, 吴龙庭², 赵明昌²

CHAI Yan-yan^{1,2}, FAN Lei¹, WU Long-ting², ZHAO Ming-chang²

1.首都师范大学 教育技术系, 北京 100037

2.中国科学院 自动化所 复杂系统与智能科学实验室, 北京 100080

1.Department of Educational Technology, Capital Normal University, Beijing 100037, China

2.Key Lab of Complex Systems & Intelligence Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

E-mail: chaiyy_2006@yahoo.com.cn

CHAI Yan-yan, FAN Lei, WU Long-ting, et al. Scheme creation and evaluation system for Hall for Workshop of Meta-synthetic Engineering. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(20): 216-219.

Abstract: A system of scheme creation and evaluation for Hall for Workshop of Meta-synthetic Engineering is proposed. The experts' schemes are automatically analyzed and gathered through electronic questionnaire distribution and collection tools of this system. An efficient method to evaluate the schemes is also proposed, in which the qualitative evaluation results can be quantized by the consensus algorithm. Then, the evaluation results are conveniently visualized by the Isomap algorithm. A final scheme is obtained during the repeated discussion. The experience and knowledge of experts can be combined with the high performance of computer to accomplish the scheme evaluation tasks in the system. Experimental results show that this system is a powerful tool helping experts handle the complex problems in the environment of Hall for Workshop of Meta-synthetic Engineering.

Key words: Hall for Workshop of Meta-synthetic Engineering (HWME); scheme creation; scheme evaluation

摘要: 针对综合集成研讨厅体系, 设计并实现了方案生成及评估系统。该系统采用电子问卷的形式供专家撰写和提交方案, 自动分析汇总专家群体的方案; 并提供了一种评估研讨方案的有效方法, 通过专家一致性算法将群体专家的定性评估进行量化, 然后实现评估结果的可视化; 经过反复研讨评估, 得到最终的研讨方案。面向综合集成研讨厅的方案生成和评估系统, 采用定性、定量相结合的方法, 将与专家的经验知识和计算机高速的信息处理能力结合起来, 为与会专家在综合集成研讨环境中解决复杂问题提供了强有力的工具, 实验结果证明了该系统的可行性和可操作性。

关键词: 综合集成研讨厅; 方案生成; 方案评估

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.20.063 文章编号: 1002-8331(2009)20-0216-04 文献标识码: A 中图分类号: TP391

1 引言

由我国著名科学家钱学森等提出的综合集成研讨厅体系, 其实质在于利用现代信息技术, 把不同领域专家掌握的专业知识、实际经验、各种直感式的体会、统计数据资料和信息综合集成起来, 充分发挥人和计算机在信息处理方面的各自优势, 把人的“性智”、“量智”与计算机的“高性能”信息处理能力相结合, 实现定性的(不精确的)与定量的(精确的)处理互相补充, 从而获得关于开放的复杂巨系统的整体定量认识^[1-3]。随着信息技术和网络的发展, 综合集成研讨厅框架的实现成为一项重要的任务和研究方向。

在综合集成研讨厅系统中, 多个专家作为一个群体协同开展工作, 存在着一定的时间压力; 针对研讨的具体问题, 经常需要与会专家们提出各自的解决方案(以下简称方案), 并对方案进行评估, 这一过程可以根据需要循环往复进行。针对某一复杂问题, 专家们提出的方案往往瑕瑜互现, 一般的方案评价系统通常只能给出一个总体的优劣分数, 容易全盘舍弃那些总体一般但某个方面包括真知灼见的方案, 甚至也会排除那些个别方面很差, 但是总体尚可的方案。因此, 在短时间内, 如何利用现代信息技术全面、准确地汇总方案和评价意见成为亟待解决的问题。针对这一问题, 设计并实现了面向综合集成研讨厅的

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)(the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.2007CB311007); 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60602032); 北京市教委科技发展计划项目(the Science and Technology Development Plan Project of Beijing Municipal Commission of Education under Grant No.KM200610028019, No.KM200610028016)。

作者简介: 柴艳艳(1979-), 女, 硕士生, 主要研究领域为智能系统, 人工智能等; 樊磊(1963-), 男, 教授, 主要研究领域为人工智能, 论域理论与指称语义学, 计算的拓扑与逻辑等; 吴龙庭(1982-), 男, 博士, 主要研究领域为模式识别、智能系统、复杂性科学等; 赵明昌(1977-), 男, 博士后, 主要研究领域为智能系统, 模式识别, 信息处理等。

收稿日期: 2008-04-15 **修回日期:** 2008-07-18

方案生成和评估系统(以下简称系统),综合利用人的智能和机器的高性能,可提高专家群体对于复杂问题的处理效率,对于推动综合集成研讨厅这一中国科学家原创方法论的具体实现和实际应用具有一定的价值。

2 系统的功能与结构

面向综合集成研讨厅的方案生成和评估系统的总体功能包括:针对当前研讨的具体问题,为与会专家提供方案的在线撰写、提交和评估工具。系统自动统计和汇总方案的评估结果,对评估结果中的多维数据进行降维,将降维后的结果在低维数据空间中进行可视化;通过低维可视化图观察专家对各个方案所持意见的聚类情况,展现专家意见是否一致。这个过程反复进行,最终得出最优的结论或策略。

系统由方案生成子系统和方案评估子系统两部分组成。

2.1 方案生成子系统

方案生成子系统的主要功能包括方案模板设计和方案撰写。

针对所研讨的复杂问题,各个专家提交方案时,首先需要确定方案的组成要素,例如:目标、步骤、人员和设备等。由研讨主持人将这些要素填入方案模板之中,系统按这些要素自动形成结构化的方案模板,并通过网络发送给各位专家的研讨终端。专家接收到模板之后,可直接在相应的要素下填写具体内容,形成结构化的方案,然后通过网络提交给服务器端。服务器端程序记录方案的简要信息,并存入方案库,供以后的讨论和评估使用。

此外,方案生成子系统还提供方案模板管理功能。对于主持人编辑好的模板,可以存入模板库,如果以后需要专家撰写类似结构的方案,主持人可直接将已有的模板发送给各位专家,或者简单修改后即可使用。

2.2 方案评估子系统

专家撰写的方案提交后,可根据需要对这些方案进行评估,方案评估子系统用于完成这一任务。

主持人首先将需要评估的若干方案添加到待评估方案集中,生成评估问卷模板,然后将问卷发送给各个专家的研讨终端。研讨终端以列表的形式显示各个方案。通过方案列表的下拉框,专家可查看每个方案的内容,并依次进行评估。选定某个方案后,系统自动解析方案的结构,读取各个要素下面的内容。如果专家认为某个要素下面的内容不合理,可以在相应的内容前面打上删除标记,如果认为在该方面存在有待补充的内容,则可以直接添加要补充的内容。

除了对方案中各个要素的内容逐一进行删除或添加外,专家还可以评估方案的整体情况,例如利用单选按钮评定该方案是优选方案、次优方案或一般方案。对于每个方案及其要素,还应设置相应的利弊指数,对方案整体及其每个要素的利弊情况进行评价。利弊指数被量化为 11 个等级,数值从-5~+5,数值越小,表明该方案弊端越多,反之,则说明其优势越大。

专家完成上述全部评估过程后,将自己的评价通过网络发送给服务器,服务器自动汇总专家的评价,实现结果的可视化,主要步骤如下:

- (1) 汇总每个方案中各个要素下被添加和删除的内容;
- (2) 加权计算各个方案的平均利弊指数及其方差;
- (3) 加权计算各个方案所属的类别(优选方案、次优方案或

一般方案);

(4) 根据方案类别和平均利弊指数及其方差,对方案进行排序和判断专家意见是否一致(具体算法见 3.1 节);

(5) 对专家群体的评估结果进行可视化(具体算法见 3.2 节)。

2.3 系统的结构与流程

根据上述功能要求,构建系统的总体结构(如图 1)用结果库中,其中包括 4 个库、5 个工具和 1 个机制。工具①、②用来完成方案生成子系统的功能,③④⑤共同完成方案评估子系统的功能;前 4 个工具产生的结果分别存储在相应的库中。面向综合集成研讨厅的方案生成和评估系统的研讨过程为:

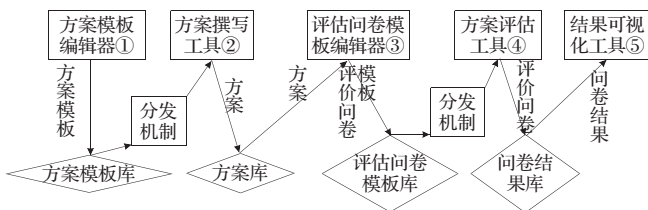


图 1 系统结构图

步骤 1 主持人首先使用①根据当前研讨的具体问题,编辑方案模板,设置方案的各个组成要素,然后将该模板存入方案模板库中。通过分发机制发送给参加研讨的各位专家;

步骤 2 专家收到模板后,使用②在各个要素下添加具体内容,撰写自己的方案,撰写完毕后提交到方案库中;

步骤 3 主持人使用③设置待评估方案集,生成评估模板,并将其存入评估问卷编辑库中,然后通过分发机制分发给各位专家;

步骤 4 专家接收到待评估方案集和评估模板后,利用④对各个方案进行评估,并将结果提交给问卷结果库。服务器对评估意见进行汇总和计算,对各个方案进行排序;

步骤 5 系统将汇总和计算结果使用工具⑤以文字描述和图形化方式显示。如果该轮方案生成和评估结论得到与会专家的认可,那么方案生成和评估过程结束,如果还需要进一步讨论,那么可以重复上述 1~5 步,直到专家群体认可为止。

本系统作为综合集成研讨环境的一个子系统,采用 C/S 结构,主要程序采用 C# 编写,可在局域网和 Internet 环境下运行。其中的方案模板、方案和方案评估模板采用 XML 技术实现。以方案模板为例,其中的每一个要素均为 XML 的一个节点,在专家撰写方案(填充方案模板)时,某个要素下每一项内容都作为该要素节点的一个子节点进行组织、存储和传送。

3 关键算法实现

在方案评估过程中,专家意见统计及一致性算法和评估结果降维算法是本系统的核心。通过这些算法,可有效衡量专家群体对每个方案的总体评价优劣和利弊大小及其专家意见一致性,并采用图形方式表示专家对总体利弊和每个因素利弊的意见聚簇情况。

假设有 N 个专家填写并提交评估问卷,包含 M 个方案;总体评估分为三档:一般、次优、优选,相应得分依次为 2、4、6;利弊指数取-5~5 的整数,-5~0 表示弊大于利,数值越小不利的程度越大,反之,0~5 表示利大于弊,数值越大则有利的程度越大。

3.1 专家意见统计及一致性算法

(1) 计算加权平均优劣档次及其方差: N 个专家选择的优

劣档次构成一个 N 维向量 (V_1, V_2, \dots, V_N) , V_i 取值范围 $\{2, 4, 6\}$,

每个专家的权威度为 w_i , 则该方案的平均评价价值 \bar{V} :

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (w_i * V_i) \quad (1)$$

若 $\bar{V} < 3, 3 \leq \bar{V} < 5, \bar{V} \geq 5$, 则依次为一般方案、次优方案、优选方案; 优劣档次的方差 S_v^2 :

$$S_v^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2 \quad (2)$$

当 S_v^2 大于某个定值时, 说明专家对优劣档次的意见不太一致。

(2) 计算加权平均利弊指数及其方差: N 个专家选择的利弊指数构成一个 N 维向量 (W_1, W_2, \dots, W_N) , 每个专家的权威度为 w_i , 则最终利弊指数 \bar{W} :

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (w_i * W_i) \quad (3)$$

利弊指数的方差 S_w^2 :

$$S_w^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (W_i - \bar{W})^2 \quad (4)$$

当 S_w^2 大于某个定值时, 说明专家对利弊指数的意见不太一致。

3.2 评估结果的降维算法

每个专家对各个方案的利弊指数形成一个利弊指数向量, 多个专家的利弊指数向量组成一个多维数据组, 专家人数越多数据组的维数越多, 往往难于处理, 因此有必要采用降维算法。本系统采用 Isomap 降维算法, 将降维后的结果在低维数据空间中用直观图形表示, 从而显示专家群体思维的聚类情况; 将专家对各个方案的每个因素的利弊指数作同样处理, 可得到针对每个因素的专家思维聚类情况。

设有 N 个专家、 M 个方案, 则输入的是 N 个 M 维的数据点集, 采用 Isomap 算法实现降维的步骤如下:

步骤 1 确定近邻方式。近邻方式主要包括两种方式, 一种是选择 k 个最近点作为近邻点, 另一种是选择距离小于半径 r 的点作为最近邻点;

步骤 2 对 N 个数据点进行近邻标记, 构建近邻图, 得到距离矩阵 D_c 。对于输入数据点集中的点 i, j , 其欧氏距离为 $d_x(i, j)$ 。将一个点与所有的点进行比较, 当 i 是 j 的 k -邻域 (或两点之间的距离小于固定的半径 ε) 就认为它们是相邻的, 将其连接起来, 边长为 $d_x(i, j)$, 得到有权图 G 。通过计算最短路径 $d_c(i, j)$ 的方法, 估计两点间的测量距离。图上任意两点间的最短路径利用经典的 Floyd 迭代算法求得。初始时当 i, j 之间有一条边, 则 $d_c(i, j) = d_x(i, j)$; 否则 $d_c(i, j) = \infty$ 。接下来依次更新 $d_c(i, j)$ 的数值: 对所有的 $k=1, 2, \dots, N, d_c(i, j) = \min\{d_c(i, j), d_c(i, k) + d_c(k, j)\}$, 这样距离矩阵 $D_c = \{d_c(i, j)\}$, 它是由图 G 中所有点对的最短路径组成的;

步骤 3 对矩阵 D_c 应用传统的 MDS 算法, 构造 d 维欧氏空间 Y 。令平方距离矩阵 $S: S_{ij} = D_{ij}^2$, 中心化矩阵 $H: H_{ij} = \delta_{ij} - 1/N$, 矩阵 $\tau(D_c) = -HS/2, \lambda_p$ 是 $\tau(D_c)$ 的第 p 个特征值 (特征值已按降序排列), V_p^i 是第 p 个特征向量的第 i 个分量, 则 d 维空间中标记点 y_i 的第 p 个分量 $y_i^p = \sqrt{\lambda_p} V_p^i$, 从而得到 d 维空间的可视化结果图。

4 实验及实验结果

以某次宏观经济问题研讨实验为例, 共有 10 位经济专家参加研讨, 现拟提出相关的解决方案并对方案进行评估。

步骤 1 解决方案生成。研讨主持人设计方案模板, 其要素由目标选择、时机选择、人员配备和实施方式 4 部分组成, 由主持人分发给 10 位经济专家填写, 获得方案 1、方案 2 等 10 个方案;

步骤 2 解决方案评估。研讨主持人将 10 个方案添加到待评估方案集中, 形成评估问卷模板发给与会专家。评估指标包括: (1) 优劣档次的选择, 包括优选、次优、一般; (2) 总体利弊指数, 其范围为 $-5 \sim 5$; (3) 解决方案的组成要素, 包括目标选择、时机选择、人员配备和实施方式 4 大类, 每类又包含利弊指数、专家从各个方案中选择的优选项和专家需要补充的增加项; (4) 有利因素和不利因素。专家们的问卷填写情况如表 1 所示;

表 1 解决方案的评估问卷

专家	方案 1															
	优劣档次	利弊指数	目标选择			时机选择			人员配备			实施方式			有利因素	不利因素
			利弊指数	优选项	增加项	利弊指数	优选项	增加项	利弊指数	优选项	增加项	利弊指数	优选项	增加项		
1	优选	3	4	2,3		5	2		2	2,3		-1	2	1.非行政参与	1.时机成熟 2.目标准确	1.实施方式单一
2	一般	0	5	1,3		5	3		5	1,3		5	2		1.时机恰当	
3	一般	0	-2	3		3	3		-1	3		1	2			1.目标选择不当
4	次优	2	-1	1		0	1		2	2,3		1	1			
.....																
方案 2																
1	优选	5	3	1,2		-2	3		0	1,4		1	1	1.非行政参与		1.时机不成熟
2	次优	2	-3	2		-2	3		0	1,3		1	2			1.目标单一
3	优选	4	3	1,3		2	3		1	3		-5	2	1.非行政参与		1.实施方式单一
4	优选	5	3	1,3		5	2		5	2,3		5	2		1.时机恰当	
.....																

表2 结果统计汇总表

方案	优劣档次	利弊指数	方差	目标选择				时机选择				人员配备				实施方式				
				利弊指数	方差	优选项	百分比	利弊指数	方差	优选项	百分比	利弊指数	方差	优选项	百分比	利弊指数	方差	优选项	百分比	增加项
1	次优	0.60	2.24	0.80	3.40	1	50%	2.80	2.48	1	25%	1.10	5.96	1	25%	-1.23	2.56	1	25%	非行政参与
						2	25%			2	25%			2	50%					
						3	75%			3	50%			3	100%					
2	优选	2.30	3.61	3.10	2.36	1	75%	2.46	3.46	1	0%	0.21	5.81	1	50%	-1.89	3.89	1	25%	
						2	50%			2	25%			2	25%					
						3	50%			3	75%			3	75%					
										4	25%									
3	优选	2.50	3.45	1.89	6.82	...	...	3.15	3.12	...	...	-1.45	3.89	...	...	2.76	1.96	...	...	...
4	次优	1.20	4.76	-2.50	2.14	...	...	2.14	1.78	...	...	2.74	5.14	...	...	0.10	7.66	...	...	...

步骤3 评估结果的统计及可视化。评估结果的统计指标包括:(1)优劣档次;(2)总体平均利弊指数及其方差;(3)解决方案组成要素(包括:目标选择、时机选择、人员配备和实施方式)的利弊指数及其方差、优选项及其选择人数所占百分比和专家补充的增加项;(4)有利因素、不利因素汇总。如表2所示。因此结果能直观地显示方案的总体评价、利弊大小、每个方案优势和劣势等方面。例如:根据利弊指数的方差,可以判断专家对各个方案利弊的意见一致性,方差越小表明专家的意见趋于一致。表2表明:专家对方案1的评价比较一致,对方案4分歧较大,对其他评价指标也可以做同样处理。

任选其中的某一项评估指标(如总体利弊指数),由于有10位经济专家和10个解决方案,因此获得 10×10 维的总体利弊指数矩阵。采用 Isomap 算法,对总体利弊指数矩阵进行降维,获得二维空间的可视化结果(如图2所示),可以看出专家6、9、10的评价结果相近,专家1、3、5的评价结果相近,其他专家的评价比较散乱。

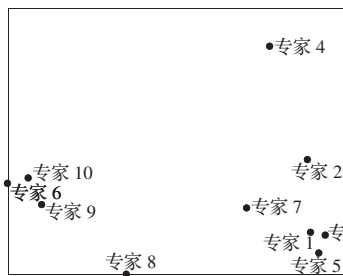


图2 利弊指数在二维空间中的可视化结果

实验结果证明 Isomap 算法对专家评估结果这类动态数据可较好地数据进行数据降维,使得从表面上看来杂乱无章的数据中找到隐藏的规律,可使专家群体从可视化结果中观测到专家们对方案所持意见的相异情况等信息,为辅助专家决策提供强有力的工具^[4]。

5 结论与今后的工作

提出了综合集成研讨环境中一种新的方案生成及方案评估方法,详细介绍了系统的功能和结构,设计并实现了系统的关键算法,给出了具体的应用案例。与其他评估系统不同,本系

统支持方案生成与汇总、方案评估与可视化的全过程;利用方案的框架进行评估,既能给出整体评价,又能避免忽视整体一般但局部较好的方案等问题;可视化显示形象直观,更容易被专家所掌握,适合解决复杂问题时使用。从相关的反馈来看,本系统具有较好的可操作性,取得了较好的效果,为多个专家研究复杂问题提供了一个可行的工具。

针对本系统尚未解决的一些问题,有两个方面需要做进一步的探讨:在评估问卷时,设定了评估所要考虑的因素。但这些因素往往占有不同的地位,有的因素评估时需要主要考虑,有的是次要的;另一方面,对专家的意见进行汇总,但这些意见可能重复或近似,需要进行文本近似处理。因此,结合复杂问题的研究实践不断进行总结,采取适当的方法为每个因素增加所占的权重以及汇总结果进行文本近似处理。

参考文献:

- [1] 戴汝为.系统科学及系统复杂性研究[J].系统仿真学报,2002,14(11):1411-1416.
- [2] 戴汝为,王珏,田捷.智能系统的综合集成[M].杭州:浙江科学技术出版社,1995.
- [3] 戴汝为,李耀东.基于综合集成的研讨厅体系与系统复杂性[J].复杂系统与复杂性科学,2004,1(4):1-24.
- [4] 刘春梅,戴汝为.综合集成研讨厅专家群体评估结果的可视化[J].模式识别与人工智能,2005,18(1):6-11.
- [5] 钱学森,于景元,戴汝为.一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J].自然杂志,1990,13(1):3-10.
- [6] 李耀东,崔霞,戴汝为.综合集成研讨厅的理论框架、设计与实现[J].复杂系统与复杂性科学,2004,1(1):27-32.
- [7] 戴汝为.从定性到定量的综合集成技术[J].模式识别与人工智能,1991,4(1):5-10.
- [8] 崔霞,戴汝为,李耀东.群体智慧在综合集成研讨厅体系中的涌现[J].系统仿真学报,2003,15(1):146-152.
- [9] 王寿云,于景元,戴汝为,等.开放的复杂巨系统[M].杭州:浙江科学技术出版社,1996:278-279.
- [10] Tennenbaum J B, de Silva V, Langford J C. A global geometric frame-work for nonlinear dimensionality reduction [J]. Science, 2000, 290(5500): 2319-2323.
- [11] Roweis S, Saul L. Nonlinear dimensionality reduction by locally linear embedding [J]. Science, 2000, 290(5500): 2323-2326.