

# 基于模糊软集合理论的 Agent 联盟评价

桂海霞<sup>1\*</sup>, 周华平<sup>2</sup>

(1. 安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232001; 2. 安徽理工大学 计算机科学与工程学院, 安徽 淮南 232001)

(\* 通信作者电子邮箱 guihaxia18@sohu.com)

**摘要:**针对多 Agent 系统中影响联盟功效的因素存在很强的模糊性和不确定性的问题,提出采用模糊软集合理论对 Agent 联盟进行综合评价。首先,待评价联盟给出自己属性,每位专家根据自己的知识和经验给出评价指标集及对应的评价矩阵;然后,利用模糊软集合理论实现评价矩阵的融合,得到最终评价结果。最后通过实例说明该方法能有效、合理地处理信息的模糊性和不确定性,评价过程符合人的思维判断。

**关键词:**Agent 联盟;复杂控制与决策;模糊软集合;信息融合;综合评价

**中图分类号:** TP18 **文献标志码:** A

## Evaluation of Agent coalition based on fuzzy soft set theory

GUI Haixia<sup>1\*</sup>, ZHOU Huaping<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui 232001, China;

2. School of Computer Science and Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui 232001, China)

**Abstract:** To solve the problem that the factors, which affect the coalition efficacy in Multi-Agent Systems (MAS), have strong ambiguity and uncertainty, fuzzy soft set theory was adopted to make a comprehensive evaluation on Agent coalition. First, the coalition to be evaluated gave its own property, each expert gave evaluation set of indexes and corresponding evaluation matrix according to his knowledge and experience. Then, fuzzy soft set theory was used to fuse the evaluation matrix and obtain the results of final evaluation. Finally, a practical example was given to prove that the method can deal with ambiguity and uncertainty of information effectively and reasonably, and the process of evaluation accords with human thinking and judgment.

**Key words:** Agent coalition; complex control and decision making; fuzzy soft set; information fusion; comprehensive evaluation

## 0 引言

基于多智能体系统(Multi-Agent System, MAS)的复杂系统仿真技术<sup>[1]</sup>正在迅速发展起来,Agent 联盟是 MAS 中多 Agent 之间合作的一个非常重要方式,实现各 Agent 间的协调合作是其关键问题。联盟问题已在联盟结构生成<sup>[2-3]</sup>、联盟值计算<sup>[4-5]</sup>、效用划分<sup>[6-7]</sup>等方面取得了丰硕的研究成果,但是,形成的联盟能否顺利高效完成各自的任务,即对形成的联盟进行实时评价是联盟机制不可缺少的关键环节。及时有效的评价能够有助于联盟顺利完成各自分配的任务,并高效指导后续任务的执行。联盟评价因素难以用定量的数值表示,通常与每个 Agent 的能力强弱、协调配合的性能、通信开销、Agent 之间的熟悉度等因素密切相关,而这些因素,只能用一些模糊性、概略性以及不确定性的自然语言值表示,这就增加了评价的困难<sup>[8]</sup>,采用常见的评判方法(如简单加权、层次分析法等)难以得到合理的结果。苏兆品等<sup>[9]</sup>提出基于 D-S 证据理论的联盟评价方法,是建立在纯粹的概率模型之上,权重大的评价专家对最终的评价结果影响较大,这样会引起不公

平和偏向性,导致合作联盟的不稳定。另外,评价专家一般来自不同的部门和领域,具有不同知识和经验,每位评价专家可能只关注自己熟悉和感兴趣的若干指标,如果要求评价专家对所有指标进行评价,很容易引起误判,导致产生较大差异的评价结果,这样不利于决策者的最后判断,而模糊软集合理论则能很好地处理上述情况。

针对上述问题,本文将设计一种基于模糊软集合理论的 Agent 联盟评价方法,评价专家根据自己的知识和经验给出个人评价指标集及对应的评价矩阵,然后利用模糊软集合理论对评价专家的评价矩阵进行信息融合,从而找到最优联盟。

## 1 Agent 联盟评价问题的描述

Agent 联盟评价问题可以描述如下:

设  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  为待评价的 Agent 联盟集合,  $c_i (i = 1, 2, \dots, n)$  表示第  $i$  个待评价的联盟;  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$  表示联盟  $c_i$  的  $m$  个属性,即评价指标集;设存在评价专家集合  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_t\}$ , 每位专家  $p_q (q = 1, 2, \dots, t)$  由于知识和经验的不同,具有不同的评价指标集  $D_q = \{d_1^q, d_2^q, \dots, d_{l_q}^q\}$ , 其

收稿日期: 2014-05-26; 修回日期: 2014-07-03。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51174257); 安徽理工大学青年教师科学研究基金资助项目(2012QNY34)。

作者简介: 桂海霞(1978-), 女, 安徽桐城人, 副教授, 博士研究生, 主要研究方向: 分布式智能控制、多 Agent 系统; 周华平(1979-), 女, 河南唐河人, 副教授, 博士, 主要研究方向: 信息融合。

中:  $d_k^q \in D (k = 1, 2, \dots, l_q), D_q \subseteq D, l_q \leq m$ 。

参照个人评价指标集  $D_q$ , 评价专家  $p_q$  对每个待评价的联盟集  $C$  给出对应评价矩阵  $V_q = (v_{ik}^q)_{n \times l_q}$ , 见式(1):

$$V_q = \begin{bmatrix} d_1^q & d_2^q & \cdots & d_{l_q}^q \\ v_{11}^q & v_{12}^q & \cdots & v_{1l_q}^q \\ v_{21}^q & v_{22}^q & \cdots & v_{2l_q}^q \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{n1}^q & v_{n2}^q & \cdots & v_{nl_q}^q \end{bmatrix} \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ \\ c_n \end{matrix} \quad (1)$$

其中  $v_{ik}^q$  表示专家  $p_q$  根据评价指标  $d_k^q$  对联盟  $c_i$  的评价值。

那么, Agent 联盟评价的关键就是利用模糊软集合理论对每位专家的评价矩阵进行信息融合, 得到每个待评价联盟  $c_i$  的评价分  $Score(c_i)$ , 从而找到最优联盟。

## 2 模糊软集合

早在 1999 年 Molodtsov<sup>[10]</sup> 就介绍了软集合一些基本概念及理论应用。随后 Maji 等<sup>[11]</sup> 给出了软集合的相关性质, 并将软集合理论应用到决策问题中<sup>[12]</sup>。Maji 提出对于论域中的一个对象, 用绝对语言描述不太合理, 应该用模糊语言描述。这样, “模糊软集合”的概念由此诞生。

**定义 1** 模糊软集合。假设  $U$  是给定的论域,  $\xi(U)$  表示定义在  $U$  上的模糊集,  $E$  是一个参数集,  $A \subseteq E$ , 当且仅当  $F$  是  $A$  到  $\xi(U)$  的一个映射, 则称  $(F, A)$  是论域  $U$  上的一个模糊软集合<sup>[13]</sup>。

**例 1** 设软集合  $(F, A)$  描述了某小姐打算购买的车子的特点。 $U$  是考虑的车子的集合, 有 6 种车, 表示为  $U = \{h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6\}$ 。 $A$  是参数集, 用于描述车子的特点, 比如,  $a_1$  为“昂贵的”,  $a_2$  为“漂亮的”,  $a_3$  为“省油的”, 表示为  $A = \{a_1, a_2, a_3\}$ 。用模糊软集合描述每个车子对于中参数的符合程度:

$$F(a_1) = \{h_1/0.3, h_2/0.7, h_3/1, h_4/0.2, h_5/0.4, h_6/0.6\}$$

$$F(a_2) = \{h_1/0.8, h_2/0.6, h_3/0.4, h_4/1, h_5/0.7, h_6/0.3\}$$

$$F(a_3) = \{h_1/0.2, h_2/0.3, h_3/0.7, h_4/0.8, h_5/1, h_6/0.5\}$$

这样, 模糊软集合  $(F, A)$  可以表示为:

$$(F, A) = \{F(a_1) = \{h_1/0.3, h_2/0.7, h_3/1, h_4/0.2, h_5/0.4, h_6/0.6\}, \\ F(a_2) = \{h_1/0.8, h_2/0.6, h_3/0.4, h_4/1, h_5/0.7, h_6/0.3\}, \\ F(a_3) = \{h_1/0.2, h_2/0.3, h_3/0.7, h_4/0.8, h_5/1, h_6/0.5\}\} \quad (2)$$

另外, 模糊软集合  $(F, A)$  也可以用表格表示, 如表 1 所示。

表 1 模糊软集合  $(F, A)$  的表格形式

$U$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$h_1$	0.3	0.8	0.2
$h_2$	0.7	0.6	0.3
$h_3$	1.0	0.4	0.7
$h_4$	0.2	1.0	0.8
$h_5$	0.4	0.7	1.0
$h_6$	0.6	0.3	0.5

**定义 2** “AND” 运算。设  $(F, A)$  和  $(G, B)$  是  $U$  上的两个模糊软集合, 若对  $\forall (\alpha, \beta) \in A \times B, I(\alpha, \beta) = F(\alpha) \cap G(\beta)$ , 则称  $(F, A) \wedge (G, B) = (I, A \times B)$  为模糊软集合  $(F, A)$  和  $(G, B)$  的“AND”运算<sup>[14]</sup>。显然,  $(I, A \times B)$  也是模糊软集合。若  $(F, A)$  的定义如例 1,  $(G, B)$  中的参数  $B = \{\text{black, red, blue, yellow, white}\}$  描述车子的颜色, 那么“蓝色的漂亮车子”则是由  $A$  中的  $a_2$  和  $B$  中的  $a_3$  合成得到的。

## 3 Agent 联盟评价方法

### 3.1 Agent 联盟评价指标的表示

Agent 联盟评价指标有的很难定量表示, 可以用“非常好”“一般”“差”等模糊词或者一定的评价等级来描述<sup>[15]</sup>。比如评价专家对 Agent 联盟的评价值可以采用如下等级描述:

$$V = \{0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1\} \quad (3)$$

这些数值并不是定量表示, 只是表示一定的等级。值越大, 表示此联盟更加符合某项评价指标。

### 3.2 Agent 联盟评价过程

Agent 联盟评价过程如下: 首先必须提供待评价的联盟集  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  和评价指标集  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ ; 然后每位评价专家根据自己的知识和经验给出个人评价指标集  $D_q = \{d_1^q, d_2^q, \dots, d_{l_q}^q\}$  及对应的评价矩阵  $V_q = (v_{ik}^q)_{n \times l_q}$ ; 再利用模糊软集合理论对评价矩阵进行信息融合, 从而找到最优联盟。

#### 3.2.1 评价矩阵表示成模糊软集合

如何将评价矩阵表示成模糊软集合, 具体的方法就是根据待评价的联盟属性, 每位评价专家  $p_q$  给出个人评价指标集  $D_q$  和对应评价矩阵  $V_q$ , 表示成模糊软集合  $(F_q, D_q)$ , 如式(4)所示:

$$(F_q, D_q) = \{d_1^q = \{c_1/v_{11}^q, c_2/v_{21}^q, \dots, c_n/v_{n1}^q\}, \\ d_2^q = \{c_1/v_{12}^q, c_2/v_{22}^q, \dots, c_n/v_{n2}^q\}, \\ \vdots \\ d_{l_q}^q = \{c_1/v_{1l_q}^q, c_2/v_{2l_q}^q, \dots, c_n/v_{nl_q}^q\} \} \quad (4)$$

#### 3.2.2 信息融合

信息融合就是指对模糊软集合  $(F_1, D_1), (F_2, D_2), \dots, (F_t, D_t)$  依次进行“AND”运算, 运算结果用  $(H, A)$  表示, 则

$$(H, A) = (H, D_1 \times D_2 \times \dots \times D_t) = \\ (F_1, D_1) \wedge (F_2, D_2) \wedge \dots \wedge (F_t, D_t) \quad (5)$$

显然,  $(H, A)$  也是一个模糊软集合, 它可表示为:

$$(H, A) = \{a_1 = \{c_1/\lambda_{11}, c_2/\lambda_{21}, \dots, c_n/\lambda_{n1}\}, \\ a_2 = \{c_1/\lambda_{12}, c_2/\lambda_{22}, \dots, c_n/\lambda_{n2}\}, \\ \vdots \\ a_t = \{c_1/\lambda_{1t}, c_2/\lambda_{2t}, \dots, c_n/\lambda_{nt}\} \} \quad (6)$$

其中的参数由  $t$  个评价专家的评价指标集  $D_1, D_2, \dots, D_t$  合成得到。这里,  $\lambda_{ij}$  表示待评价的联盟  $c_i$  对于合成后的参数  $a_j$

( $j = 1, 2, \dots, L$ ) 所描述特点的符合程度,  $\lambda_{ij}$  的取值一般有两种情况:

1) 若  $D_1 \cap D_2 \cap \dots \cap D_t = \emptyset$ , 即评价专家的个人评价指标集不存在交叉情况, 这时  $L = l_1 \cdot l_2 \cdot \dots \cdot l_t$ , 则  $\lambda_{ij}$  的取值如式(7)所示:

$$\lambda_{ij} = \min_{q \in \{1, 2, \dots, t\}} \{v_{ik}^q\} \quad (7)$$

即合成指标  $a_j$  的评价值取各评价指标值的最小值。

2) 若  $D_1 \cap D_2 \cap \dots \cap D_t \neq \emptyset$ , 即评价专家的个人评价指标集存在交叉情况, 这时  $L < l_1 \cdot l_2 \cdot \dots \cdot l_t$ , 设  $D_{q_1}, D_{q_2}, \dots, D_{q_t}$  中存在共同的评价指标  $d_r$  ( $d_r \in D$ ), 则  $\lambda_{ij}$  的取值如式(8)所示:

$$\lambda_{ij} = \min \left\{ \min_{q \in \{1, 2, \dots, t\}} \{v_{ik}^q\}, \mu_i \right\} \quad (8)$$

$$\mu_i = \text{average}_{q \in \{q_1, q_2, \dots, q_t\}} \{v_{ir}^q\} \quad (9)$$

先通过式(9)求得相同评价指标值的平均值, 再利用式(8)求取相同评价指标值的平均值和其他不同评价指标值的最小值, 得到合成指标  $a_j$  的评价值。本文中实例考虑了参数集存在交叉时的情况。

### 3.2.3 比较表

首先将  $(H, A)$  转为表格形式(如表1所示), 然后计算比较表  $CT = (ct_{xy})_{s \times s}$  其中  $ct_{xy}$  指的是联盟  $c_x$  的综合评价高于联盟  $c_y$  的综合评价值的个数:

$$ct_{xy} = \sum_j \gamma_{xy}^j \quad (10)$$

$$\gamma_{xy}^j = \begin{cases} 1, & \lambda_{xy} \geq \lambda_{yx} \\ 0, & \lambda_{xy} < \lambda_{yx} \end{cases} \quad (11)$$

### 3.2.4 评价分

根据  $CT$  求得每个待评价联盟的评价分  $\text{Score}(c_i)$ 。

$$\text{Score}(c_i) = s_x - w_y \quad (12)$$

其中  $s_x$  与  $w_y$  分别指的是比较表中第  $x$  行与第  $y$  列的和:

$$s_x = \sum_{y=1}^s ct_{xy} \quad (13)$$

$$w_y = \sum_{x=1}^s ct_{xy} \quad (14)$$

因此, 通过  $\text{Score}(c_i)$  可判断  $c_i$  在  $C$  的优劣程度, 值最大的  $c_i$  就是最优联盟。

## 4 实例分析

本实例通过软件VC++ 编程计算模糊软集合  $(H, A)$  值、比较表及评价分。具体过程如下:

设有待评价联盟  $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}$ ,  $D = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6\}$  表示每个联盟具有的6个属性, 即评价指标; 设存在3位评价专家  $P = \{p_1, p_2, p_3\}$ 。

1) 每位专家根据自身的知识和经验, 给出个人评价指标集  $D_1 = \{d_1, d_2, d_4\}$ ,  $D_2 = \{d_1, d_3, d_4\}$ ,  $D_3 = \{d_1, d_5, d_6\}$  及对应的评价矩阵  $V_1, V_2, V_3$ 。

$$V_1 = \begin{bmatrix} d_1 & d_2 & d_4 \\ 0.7 & 0.7 & 0.7 \\ 0.7 & 0.8 & 0.5 \\ 0.7 & 0.7 & 0.7 \\ 0.8 & 0.7 & 0.6 \end{bmatrix} \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{matrix}$$

$$V_2 = \begin{bmatrix} d_1 & d_3 & d_4 \\ 0.7 & 0.5 & 0.5 \\ 0.7 & 0.6 & 0.8 \\ 0.7 & 0.7 & 0.5 \\ 0.9 & 0.8 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{matrix}$$

$$V_3 = \begin{bmatrix} d_1 & d_5 & d_6 \\ 0.7 & 0.7 & 0.7 \\ 0.8 & 0.4 & 0.6 \\ 0.7 & 0.7 & 0.5 \\ 0.7 & 0.6 & 1.0 \end{bmatrix} \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{matrix}$$

2) 将  $V_1, V_2, V_3$  表示成模糊软集合  $(F_1, D_1), (F_2, D_2)$  和  $(F_3, D_3)$ 。

$$(F_1, D_1) = \{d_1 = \{c_1/0.7, c_2/0.7, c_3/0.7, c_4/0.8\},$$

$$d_2 = \{c_1/0.7, c_2/0.8, c_3/0.7, c_4/0.7\},$$

$$d_4 = \{c_1/0.7, c_2/0.5, c_3/0.7, c_4/0.6\}\}$$

$$(F_2, D_2) = \{d_1 = \{c_1/0.7, c_2/0.7, c_3/0.7, c_4/0.9\},$$

$$d_3 = \{c_1/0.5, c_2/0.6, c_3/0.7, c_4/0.8\},$$

$$d_4 = \{c_1/0.5, c_2/0.8, c_3/0.5, c_4/0.5\}\}$$

$$(F_3, D_3) = \{d_1 = \{c_1/0.7, c_2/0.8, c_3/0.7, c_4/0.7\},$$

$$d_5 = \{c_1/0.7, c_2/0.4, c_3/0.7, c_4/0.6\},$$

$$d_6 = \{c_1/0.7, c_2/0.6, c_3/0.5, c_4/1\}\}$$

3) 利用模糊软集合理论对  $V_1, V_2, V_3$  进行信息融合, 即对模糊软集合  $(F_1, D_1), (F_2, D_2)$  和  $(F_3, D_3)$  进行“AND”运算, 得到

$$(H, A) = (H, D_1 \times D_2 \times D_3) =$$

$$(F_1, D_1) \wedge (F_2, D_2) \wedge (F_3, D_3)$$

由于  $D_1 \cap D_2 \cap D_3 \neq \emptyset$ , 因此参数集  $A$  中参数数目  $L < 3 \times 3 \times 3 = 27$ 。

假设  $\hat{A} = \{\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_{27}\}$  是由  $D_1, D_2, D_3$  各提供一个参数得到的, 如表2所示。

表2  $\hat{A} = \{\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_{27}\}$  中的参数

$\hat{a}_j$	原始参数	$\hat{a}_j$	原始参数	$\hat{a}_j$	原始参数
$\hat{a}_1$	$d_1$	$\hat{a}_{10}$	$d_1 d_2$	$\hat{a}_{19}$	$d_1 d_4$
$\hat{a}_2$	$d_1 d_5$	$\hat{a}_{11}$	$d_1 d_2 d_5$	$\hat{a}_{20}$	$d_1 d_4 d_5$
$\hat{a}_3$	$d_1 d_6$	$\hat{a}_{12}$	$d_1 d_2 d_6$	$\hat{a}_{21}$	$d_1 d_4 d_6$
$\hat{a}_4$	$d_1 d_3$	$\hat{a}_{13}$	$d_1 d_2 d_3$	$\hat{a}_{22}$	$d_1 d_3 d_4$
$\hat{a}_5$	$d_1 d_3 d_5$	$\hat{a}_{14}$	$d_2 d_3 d_5$	$\hat{a}_{23}$	$d_3 d_4 d_5$
$\hat{a}_6$	$d_1 d_3 d_6$	$\hat{a}_{15}$	$d_2 d_3 d_6$	$\hat{a}_{24}$	$d_3 d_4 d_6$
$\hat{a}_7$	$d_1 d_4$	$\hat{a}_{16}$	$d_1 d_2 d_4$	$\hat{a}_{25}$	$d_1 d_4$
$\hat{a}_8$	$d_1 d_4 d_5$	$\hat{a}_{17}$	$d_2 d_4 d_5$	$\hat{a}_{26}$	$d_4 d_5$
$\hat{a}_9$	$d_1 d_4 d_6$	$\hat{a}_{18}$	$d_2 d_4 d_6$	$\hat{a}_{27}$	$d_4 d_6$

由表2,  $\hat{a}_7 = \hat{a}_{19} = \hat{a}_{25} = \{d_1 d_4\}$ ,  $\hat{a}_8 = \hat{a}_{20} = \{d_1 d_4 d_5\}$ ,  $\hat{a}_9 = \hat{a}_{21} = \{d_1 d_4 d_6\}$ , 因此,  $A$  中参数数目  $L = 23$ , 设  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{23}\}$ , 则  $A$  的参数如表3所示。

表 3  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{23}\}$  中的参数

$a_j$	原始参数	$a_j$	原始参数	$a_j$	原始参数
$a_1$	$d_1$	$a_9$	$d_1 d_4 d_6$	$a_{17}$	$d_2 d_4 d_5$
$a_2$	$d_1 d_5$	$a_{10}$	$d_1 d_2$	$a_{18}$	$d_2 d_4 d_6$
$a_3$	$d_1 d_6$	$a_{11}$	$d_1 d_2 d_5$	$a_{19}$	$d_1 d_3 d_4$
$a_4$	$d_1 d_3$	$a_{12}$	$d_1 d_2 d_6$	$a_{20}$	$d_3 d_4 d_5$
$a_5$	$d_1 d_3 d_5$	$a_{13}$	$d_1 d_2 d_3$	$a_{21}$	$d_3 d_4 d_6$
$a_6$	$d_1 d_3 d_6$	$a_{14}$	$d_2 d_3 d_5$	$a_{22}$	$d_4 d_5$
$a_7$	$d_1 d_4$	$a_{15}$	$d_2 d_3 d_6$	$a_{23}$	$d_4 d_6$
$a_8$	$d_1 d_4 d_5$	$a_{16}$	$d_1 d_2 d_4$		

根据式(7) ~ (9), 计算模糊软集合  $(H, A)$ 。这里以  $\lambda_{15}$  和  $\lambda_{12}$  为例来说明  $(H, A)$  的计算过程。

$$\lambda_{15} = \min\{v_{11}^1, v_{13}^2, v_{15}^3\} = \{0.7, 0.5, 0.7\} = 0.5$$

$$\lambda_{12} = \min\left\{\frac{v_{11}^1 + v_{11}^2}{2}, v_{15}^3\right\} = \min\left\{\frac{0.7 + 0.7}{2}, 0.7\right\} = 0.7$$

同理, 可以计算其他值, 计算结果如表 4 所示。

表 4 模糊软集合  $(H, A)$  的表格形式

$\lambda_{ij}$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$\lambda_{ij}$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$
$a_1$	0.70	0.73	0.70	0.80	$a_{13}$	0.50	0.60	0.70	0.70
$a_2$	0.70	0.40	0.70	0.60	$a_{14}$	0.50	0.40	0.70	0.60
$a_3$	0.70	0.60	0.50	0.85	$a_{15}$	0.50	0.60	0.50	0.70
$a_4$	0.50	0.60	0.70	0.75	$a_{16}$	0.50	0.80	0.50	0.50
$a_5$	0.50	0.40	0.70	0.60	$a_{17}$	0.50	0.40	0.50	0.50
$a_6$	0.50	0.60	0.50	0.80	$a_{18}$	0.50	0.60	0.50	0.50
$a_7$	0.50	0.50	0.50	0.50	$a_{19}$	0.50	0.50	0.70	0.60
$a_8$	0.50	0.40	0.50	0.50	$a_{20}$	0.50	0.40	0.70	0.60
$a_9$	0.50	0.50	0.50	0.50	$a_{21}$	0.50	0.50	0.50	0.60
$a_{10}$	0.70	0.75	0.70	0.70	$a_{22}$	0.60	0.40	0.60	0.55
$a_{11}$	0.70	0.40	0.70	0.60	$a_{23}$	0.60	0.60	0.50	0.55
$a_{12}$	0.70	0.60	0.50	0.70					

4) 根据式(10) ~ (11) 计算比较表  $CT = (ct_{xy})_{4 \times 4}$ , 如表 5 所示。

表 5 比较表  $CT$ 

$ct_{xy}$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$
$c_1$	23	15	17	12
$c_2$	13	23	12	6
$c_3$	20	14	23	15
$c_4$	19	19	16	23

5) 根据式(12) ~ (14), 计算评价分  $Score(c_i)$ , 如表 6 所示。

表 6 评价分  $Score(c_i)$ 

联盟	$s_x$	$w_y$	$Score(c_i)$
$c_1$	67	75	-8
$c_2$	54	71	-17
$c_3$	72	68	4
$c_4$	77	56	21

由表 6 可知,  $Score(c_4) > Score(c_3) > Score(c_1) > Score(c_2)$ 。因此,  $c_4$  是最优联盟, 其次是  $c_3$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 。

## 5 结语

本文提出一种新的 Agent 联盟的评价方法, 在具体研究

方法中首先待评价联盟给出各自属性, 即评价指标集; 然后各评价专家根据自己的知识和经验给出个人评价指标集及对应的评价矩阵; 最后利用模糊软集合理论对评价矩阵进行信息融合, 找到最优联盟。并通过实例分析此方法的有效性和合理性。该方法对联盟的评价过程符合客观实际, 并能解决联盟评价中的模糊性和不确定性难题。随着控制与决策系统的复杂化, 重叠联盟的形成及效用分配已取得了很大的研究成果, 但对于重叠联盟的综合评价有待进一步研究和探索。

### 参考文献:

- [1] SHIMA J P, WARKENTINA M, COURTNEY J F, *et al.* Past, present, and future of decision support technology[J]. *Decision Support Systems*, 2002, 33(2): 111 - 126.
- [2] SERVICE T C, ADAMS J A. Constant factor approximation algorithms for coalition structure generation[J]. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 2011, 23(1): 1 - 17.
- [3] SERVICE T C, ADAMS J A. Randomized coalition structure generation[J]. *Artificial Intelligence*, 2011, 175(16/17): 2061 - 2074.
- [4] RAHWAN T, MICHALAK T, WOOLDRIDGE M, *et al.* Anytime coalition structure generation in multi-Agent systems with positive or negative externalities[J]. *Artificial Intelligence*, 2012, 186(7): 95 - 122.
- [5] ZHANG G F, JIANG J G, LU C H, *et al.* A revision algorithm for invalid encodings in concurrent formation of overlapping coalitions[J]. *Applied Soft Computing*, 2011, 11(2): 2164 - 2172.
- [6] XIA N, JIANG J, YU C, *et al.* A coalition formation strategy based on benefit equilibrium[J]. *Control and Decision*, 2005, 20(12): 1426 - 1428, 1433. (夏娜, 蒋建国, 于春华, 等. 一种基于利益均衡的联盟形成策略[J]. *控制与决策*, 2005, 20(12): 1426 - 1428, 1433.)
- [7] JIANG J G, ZHANG G F, SU Z P, *et al.* Strategy of coalition formation based on distribution according to work and non-reducing utility[J]. *Journal of Electronics (China)*, 2007, 16(4): 573 - 577.
- [8] ZHAO H V, LIN W S, LIU K J R. Cooperation and coalition in multimedia fingerprinting colluder social networks[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2012, 14(3): 717 - 733.
- [9] SU Z, JIANG J, XIA N, *et al.* An evaluation method for Agent coalition based on D-S evidence theory[J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2007, 20(5): 624 - 629. (苏兆品, 蒋建国, 夏娜, 等. 一种基于 D-S 证据理论的 Agent 联盟评价方法[J]. *模式识别与人工智能*, 2007, 20(5): 624 - 629.)
- [10] MOLODTSOV D. Soft set theory — first results[J]. *Computers and Mathematics with Applications*, 1999, 379(4/5): 19 - 31.
- [11] MAJI P K, BISWAS R, ROY A R. Fuzzy soft sets[J]. *Journal of Fuzzy Mathematics*, 2001, 9(3): 589 - 602.
- [12] MAJI P K, ROY A R. An application of soft sets in a decision making problem[J]. *Computers and Mathematics with Applications*, 2002, 44(8): 1077 - 1083.
- [13] KOVKOV D V, KOLBANOV V M, MOLODTSOV D A. Soft sets theory-based optimization[J]. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2007, 46(6): 872 - 880.
- [14] XIAO Z, GONG K, ZOU Y. A combined forecasting approach based on fuzzy soft sets[J]. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2009, 228(1): 326 - 333.
- [15] ROY A R, MAJI P K. A fuzzy soft set theoretic approach to decision making problems[J]. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2007, 203(2): 412 - 418.