

# 基于直觉模糊推理的多属性群决策方法研究\*

李晓冰<sup>1</sup>, 徐扬<sup>2</sup>

(1. 东北财经大学管理科学与工程学院, 辽宁大连 116025; 2. 西南交通大学智能控制开发中心, 成都 610031)

**摘要:** 针对属性取值以直觉模糊数形式给出的多属性决策问题, 提出了基于直觉模糊推理的多属性群决策方法。首先针对专家的评价信息构建直觉决策推理规则, 然后根据规则之间的关系给出了决策推理模型, 进而给出了基于直觉模糊推理的决策方法; 最后通过购房实例验证了该方法的正确性和有效性。

**关键词:** 决策推理规则; 决策模型; 直觉模糊数; 群决策; 模糊推理

中图分类号: C934, N945.25 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2012)02-0533-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.02.035

## Method of multiple attribute group decision making based on intuitionistic reasoning

LI Xiao-bing<sup>1</sup>, XU Yang<sup>2</sup>

(1. School of Management Science & Engineering, Dongbei University of Finance & Economics, Dalian Liaoning 116025, China; 2. Intelligent Control Development Center, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** With respect to the problem of multiple attribute group decision making in which the attribute values are given in terms of intuitionistic fuzzy numbers, this paper presented a method based on intuitionistic fuzzy reasoning. Firstly, constructed intuitionistic decision-making reasoning rules for expert preference information. Then, according to the relations among the constructed rules, gave decision-making reasoning models and an approach based on intuitionistic fuzzy reasoning. Finally, this paper gave an illustrative example of purchasing a house to demonstrate the practicality and effectiveness of the proposed method.

**Key words:** decision making reasoning rule; decision making model; intuitionistic fuzzy number; group decision making; fuzzy reasoning

### 0 引言

人类对决策和决策行为的研究经历了很长时期, 在决策理论和决策方法论方面取得了丰硕成果。在对决策、决策方法和决策模式的研究中, 形成了很多分支, 如不确定性决策、模糊决策以及运筹学学科领域内的各种决策方法等<sup>[1]</sup>。基于对决策人的假定不同, 管理决策可以划分为理性决策和行为决策<sup>[2]</sup>。理性决策重视逻辑分析、数据事实以及决策模型, 而行为决策带有直觉性、模糊性和突发性。直觉决策是理性决策之外的一种决策模式<sup>[1]</sup>。

决策结果的好坏并不完全取决于理性决策方法的优劣, 决策主体的非完全理性(直觉)也影响着决策的结果。近年来, 对直觉(数据)模糊集的研究与日俱增<sup>[1,3,4]</sup>, 其原因是直觉模糊集的特点是同时考虑非空集元素隶属度与非隶属度两方面的信息, 这使得直觉模糊集在处理不确定性信息时比传统的模糊集有更强的表达能力, 更具灵活性, 比模糊集更适合用来处理现实中的实际问题<sup>[5]</sup>。直觉模糊集越来越多地应用于近似推理、模式识别、神经网络和决策分析<sup>[5,9]</sup>等领域。

另一方面, 在复杂且不确定环境作决策时, 人们首先在头脑里对事物进行评价, 然后根据评价结果进行推敲, 最后进行决策。这个过程中人们自觉或不自觉地反复进行着推理判断。

因此, 在决策过程中应用推理是合理的、可行的。

住房问题是牵涉到千家万户的大问题, 大多数人在购房时都搞得筋疲力尽, 看了很多房源后仍然不能够决定。究其原因, 主要是购房时要考虑的因素很多, 购房者在各房源之间很难进行比较。主要考虑的因素有房价、面积、交通、楼层、内部结构、小区环境、周围配套设施等因素<sup>[10]</sup>。在这些因素中, 除房价和面积之外, 在各因素的重要性方面, 不同年龄、收入的人对各因素的重视程度有所不同, 如年轻人主要考虑交通和小区环境, 而中老年人主要考虑楼层和配套设施。因此, 针对购房问题建立决策方法时, 需要将购房者的直觉决策和理性决策相结合, 选择满意的购房方案。

鉴于实际应用的需要, 本文在直觉意义下讨论居民的购房决策问题, 将理性决策和直觉决策相结合, 建立基于直觉模糊推理的购房决策方法。本文提出的方法表达式简单, 便于理解与计算。

### 1 问题描述

在多个候选方案中, 通过一组专家的评价, 如何选择一个同时满足一组属性方案的问题, 是多属性群决策问题。

设有一个有限备选方案集  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_p\}$  ( $p \geq 1$ ), 其中  $A_i$  表示第  $i$  个方案; 有限属性集为  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_q\}$  ( $q \geq$

收稿日期: 2011-05-07; 修回日期: 2011-07-05 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60875034)

作者简介: 李晓冰(1979-), 女, 辽宁鞍山人, 讲师, 博士, 主要研究方向为不确定性决策、智能信息处理等(xiaobing0306@126.com); 徐扬(1956-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为智能信息处理、不确定性推理等。

1), 其中  $C_j$  表示第  $j$  个属性,  $w_j$  表示第  $j$  个属性的权重,  $w_j \in [0, 1]$ , 且  $\sum_{j=1}^q w_j = 1$ ; 专家集合为  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\} (m \geq 2)$ , 其中  $e_k$  表示第  $k$  个专家,  $\omega_k$  表示第  $k$  个专家的权重,  $\omega_k \in [0, 1]$  且  $\sum_{k=1}^m \omega_k = 1$ 。本文中的专家不是最终的决策者, 而是提供专业意见的专业人士; 备选方案  $A_i$  的第  $j$  个属性的评价用直觉模糊集  $a_{ij} = (u_{ij}, \gamma_{ij})$  来表示, 这样不仅能描述方案  $A_i$  满足属性  $C_j$  的程度, 同时也可以描述方案  $A_i$  不满足属性  $C_j$  的程度。

## 2 研究方法

### 2.1 直觉模糊集相关定义

1965 年, Zadeh<sup>[11]</sup> 教授提出的模糊集理论对经典集合进行了有效扩充, 可以描述外延不明的亦此亦彼的模糊概念。1986 年, Atanassov 提出的直觉模糊集是对 Zadeh 模糊集理论最有影响的一种扩充和发展。直觉模糊集增加了一个新的属性参数——非隶属度函数, 进而还可以描述非此非彼的模糊概念, 更加细腻地刻画客观世界的模糊性本质。Atanassov 给出的直觉模糊集定义如下:

**定义 1**<sup>[12]</sup> 设  $X$  是一个给定论域, 则  $X$  上的一个直觉模糊集  $A$  为

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \}$$

其中:  $\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1], \nu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$  分别代表  $A$  的隶属函数  $\mu_A(x)$  和非隶属函数  $\nu_A(x)$ , 且对于  $A$  行的所有  $x \in X, 0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$  成立。

当  $X$  为连续空间时,  $A = \int \langle \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle / x, x \in X$ ;

当  $X$  为离散空间时,  $A = \sum_{i=1}^n \langle \mu_A(x_i), \nu_A(x_i) \rangle / x_i, x_i \in X, i = 1, 2, \dots, n$ 。

对于  $X$  中的每个直觉模糊子集, 称  $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$  为  $A$  中  $x$  的直觉指数, 它是  $x$  对  $A$  的犹豫程度的一种测度, 表示  $x$  隶属于  $A$  的不确定性程度。显然, 对于每一个  $x \in X, 0 \leq \pi_A(x) \leq 1$ ; 对于  $X$  中的每一个一般模糊子集对应于下列直觉模糊子集:  $A = \{ \langle x, \mu_A(x), 1 - \mu_A(x) \rangle \mid x \in X \}$ 。

由  $\pi_A(x)$  的定义可知,  $\pi_A(x)$  越大, 表明知道的确信程度越高, 评价结果的可靠性程度越高;  $\pi_A(x)$  越小, 表明知道的确信程度越低, 评价结果的可靠性程度越低。因此, 用  $\pi_A(x)$  来表述评价结果的可靠性程度是合理的。

**定义 2**<sup>[12,14]</sup> 直觉模糊逻辑运算。设  $\bar{\alpha}_1 = (\mu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_1})$  和  $\bar{\alpha}_2 = (\mu_{\alpha_2}, \nu_{\alpha_2})$  为任意两直觉模糊数, 则

a) 合取 (逻辑“与”),  $P \wedge Q, x$  属于  $A$  与  $B, \bar{\alpha}_1 \wedge \bar{\alpha}_2 = (\min(\mu_{\alpha_1}, \mu_{\alpha_2}), \max(\nu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_2}))$ ;

b) 析取 (逻辑“或”),  $P \vee Q, x$  属于  $A$  或  $B, \bar{\alpha}_1 \vee \bar{\alpha}_2 = (\max(\mu_{\alpha_1}, \mu_{\alpha_2}), \min(\nu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_2}))$ ;

c) 否定 (逻辑“非”),  $\neg \bar{\alpha}_1 = (\nu_{\alpha_1}, \mu_{\alpha_1})$ ;

d) 蕴涵,  $P \rightarrow Q$ , 如果  $x$  属于  $A$ , 则  $y$  属于  $B, P \rightarrow Q = \neg P \vee Q$ 。

**定义 3**<sup>[4]</sup> 设  $\bar{\alpha}_1 = (\mu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_1})$  和  $\bar{\alpha}_2 = (\mu_{\alpha_2}, \nu_{\alpha_2})$  为任意两直觉模糊数, 则

a)  $\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2 = (\mu_{\alpha_1} + \mu_{\alpha_2} - \mu_{\alpha_1} \cdot \mu_{\alpha_2}, \nu_{\alpha_1} \cdot \nu_{\alpha_2})$ ;

b)  $\bar{\alpha}_1 \cdot \bar{\alpha}_2 = (\mu_{\alpha_1} \cdot \mu_{\alpha_2}, \nu_{\alpha_1} + \nu_{\alpha_2} - \nu_{\alpha_1} \cdot \nu_{\alpha_2})$ ;

c)  $\lambda \bar{\alpha}_1 = (1 - (1 - \mu_{\alpha_1})^\lambda, \nu_{\alpha_1}^\lambda), \lambda > 0$ ;

d)  $(\bar{\alpha}_1)^\lambda = (\mu_{\alpha_1}^\lambda, 1 - (1 - \nu_{\alpha_1})^\lambda), \lambda > 0$ 。

**命题 1** 设  $\bar{\alpha}_1 = (\mu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_1})$  任意一直觉模糊数, 则  $\bar{\alpha}_1 \geq \lambda \bar{\alpha}_1, \lambda \in (0, 1]$

**证明** 当  $\lambda = 1$  时,  $\lambda \bar{\alpha}_1 = (1 - (1 - \mu_{\alpha_1})^\lambda, \nu_{\alpha_1}^\lambda) = (\mu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_1}) = \bar{\alpha}_1$ ;

当  $\lambda \in (0, 1)$  时,

$$1 - (1 - \mu_{\alpha_1})^\lambda - \mu_{\alpha_1} = (1 - \mu_{\alpha_1})(1 - \mu_{\alpha_1})^{\lambda-1} = (1 - \mu_{\alpha_1})(1 - \frac{1}{(1 - \mu_{\alpha_1})^{1-\lambda}})$$

而  $1 - \mu_{\alpha_1} \geq 0$ , 所以  $\bar{\alpha}_1 \geq \lambda \bar{\alpha}_1$ 。

### 2.2 利用 AHP 确定各属性权重

按照层次分析法的一般步骤即明确问题、建立分层结构、构造判断矩阵、同层次求单权重、一致性检验, 得到各属性权重。

### 2.3 决策推理规则及决策推理模型的建立

1) 决策推理规则的建立及相应的推理模型

针对专家评价结果建立基于专家评价的规则库。

**规则 1** 如果  $(C_1, t_1, \tau_1)$ , 考虑属性  $C_1$  的权重  $w_1$  后, 则  $(C_1, w_1 \cdot t_1, \tau_1')$

**规则 2** 如果  $(C_2, t_2, \tau_2)$ , 考虑属性  $C_2$  的权重  $w_2$  后, 则  $(C_2, w_2 \cdot t_2, \tau_2')$

.....

**规则  $q$**  如果  $(C_q, t_q, \tau_q)$ , 考虑属性  $C_q$  的权重  $w_q$  后, 则  $(C_q, w_q \cdot t_q, \tau_q')$

**事实:** 对  $A$  的各个属性  $\{C_1, C_2, \dots, C_q\}$  的新的评价结果  $\{(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_q, b_q)\}$ 。

**结论:** 针对各个属性得到  $A$  的各个分量  $r = (r_1, r_2, \dots, r_q)$ , 这里  $r_i = (a_i, b_i) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)$ 。这里  $\otimes, \rightarrow$  是 IFS( $X$ ) 上的运算,  $\otimes$  运算满足如下性质: 交换性、递增性、结合律;  $t_i = (\mu_i, \gamma_i)$  是专家针对方案  $A$  在属性  $C_i$  下所给出的评价;  $\tau_i$  是  $t_i = (\mu_i, \gamma_i)$  的可靠性程度,  $\tau_i = 1 - \mu_i - \gamma_i, w_i \in [0, 1]$ ;  $(a_i, b_i) (i = 1, 2, \dots, q)$  是直觉模糊数。

若想得到关于  $A$  的最终评价结果, 需要对各分量进行综合。在对这  $q$  个分量进行综合时, 需要考虑实际问题中这  $q$  个规则之间的逻辑关系。一般情况下, 规则之间有三种关系:

a) 析取关系。经决策规则推理后, 取每个属性的最大推理结果作为最终的评价结果。

b) 合取关系。经决策规则推理后, 取每个属性的最小推理结果作为最终的评价结果。

c) 合取关系和析取关系的组合。经决策规则推理后, 取每个属性的最大、最小推理结果的组合作为最终评价结果。

针对上面给出的三种规则之间的关系, 本文给出如下相应的推理模型:

**模型 1** 如果  $q$  条规则之间的逻辑关系是析取, 可将  $r$  综合为  $r = \bigvee_{i=1}^q r_i$ 。

**模型 2** 如果  $q$  条规则之间的逻辑关系是合取, 可将  $r$  综合为  $r = \bigwedge_{i=1}^q r_i$ 。

**模型 3** 如果  $q$  条规则之间的逻辑关系是合取和析取的组合, 按照“ $\wedge$ ”和“ $\vee$ ”运算的组合进行综合。

2) 基于直觉模糊推理的多属性决策方法的性质

**性质 1** MP 规则成立, 即对于规则  $R_i$ , 如果方案  $A$  是

$(C_i, t_i)$ , 则考虑属性  $C_i$  的权重  $w_i$  后,  $A$  是  $(C_i, w_i \cdot t_i), i = 1, 2, \dots, q$ , 若对属性  $\{C_1, C_2, \dots, C_q\}$  的新的评价分别为  $(C_i, t_i)$ , 则对

事实上,  $t_i \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i) = t_i \wedge w_i \cdot t_i$ , 由命题 1 可知,  $t_i \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i) = w_i \cdot t_i$ 。

**性质 2**

a) 如果对各个属性  $\{C_1, C_2, \dots, C_q\}$  的新的评价结果是  $\{(1, 0), (1, 0), \dots, (1, 0)\}$ , 则  $r_i = t_i \rightarrow w_i \cdot t_i, i = 1, 2, \dots, q$ 。

b) 如果对各个属性  $\{C_1, C_2, \dots, C_q\}$  的新的评价结果是  $\{(0, 1), (0, 1), \dots, (0, 1)\}$ , 则  $r_i = (0, 1), i = 1, 2, \dots, q$ 。

**性质 3** 如果对各个属性  $\{C_1, C_2, \dots, C_q\}$  的新的评价结果为  $\{(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_q, b_q)\}$ , 则对于  $i = 1, \dots, m$ , 有

a)  $((a_i, b_i) \vee (a_j, b_j)) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i) = ((a_i, b_i) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)) \vee ((a_j, b_j) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i));$

b)  $((a_i, b_i) \wedge (a_j, b_j)) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i) = ((a_i, b_i) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)) \wedge ((a_j, b_j) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i))$ 。

**证明** 先证必要性。由于  $(a_i, b_i) \vee (a_j, b_j) \geq (a_i, b_i)$ ,  $(a_i, b_i) \vee (a_j, b_j) \geq (a_j, b_j)$ , 则  $((a_i, b_i) \vee (a_j, b_j)) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i) \geq (a_i, b_i) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)$ ,  $((a_i, b_i) \vee (a_j, b_j)) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i) \geq (a_j, b_j) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)$ , 即  $((a_i, b_i) \vee (a_j, b_j)) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i) \geq ((a_i, b_i) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)) \vee ((a_j, b_j) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i))$ 。

反过来, 证明充分性。由于  $((a_i, b_i) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)) \vee ((a_j, b_j) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)) \geq (a_i, b_i) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)$ ,  $((a_i, b_i) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)) \vee ((a_j, b_j) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)) \geq (a_j, b_j) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)$ 。

又由于  $\otimes$  运算是递增的, 可知

$((a_i, b_i) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)) \vee ((a_j, b_j) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)) \geq ((a_i, b_i) \vee (a_j, b_j)) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)$ 。

故  $((a_i, b_i) \vee (a_j, b_j)) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i) = ((a_i, b_i) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i)) \vee ((a_j, b_j) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i))$ 。

类似地, 可证 b)。

注由 a) 或 b) 知单调增加性成立, 即  $(a_i, b_i) \leq (a_j, b_j)$ , 则  $(a_i, b_i) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i) \leq ((a_j, b_j) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i))$ 。这与实际是相符合的, 评价价值越高, 最后得到的综合评价也会越好。

**性质 4** 如果对各个属性  $\{C_1, C_2, \dots, C_q\}$  的新的评价结果为  $\{(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_q, b_q)\}$ , 则对于  $i = 1, \dots, m, ((a_i, b_i) \otimes (a_j, b_j)) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i) = (a_i, b_i) \otimes ((a_j, b_j) \otimes (t_i \rightarrow w_i \cdot t_i))$ 。

**2.4 基于直觉模糊推理的多属性决策方法**

下面给出基于直觉模糊推理的决策途径, 具体步骤如下:

a) 在系统的层次结构基础上, 通过将层内各要素进行两两比较, 确定它们的相对重要性, 用数字 1、3、5、7、9 分别表示不同的重要程度, 用数字 2、4、6、8 表示判断的中间状态, 从而获得判断矩阵  $A$ , 求  $A$  的最大特征根及其相应的特征向量  $\omega$ ,  $\omega$  即为  $q$  个属性的权重向量, 并进行一致性检验<sup>[15]</sup>。

b) 决策者  $d_k \in D$  依据属性  $C_i \in C$  对方案  $A_j \in A$  给出的评价价值  $\tilde{a}_{ij}^{(k)}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, l$ , 得到决策矩阵  $\tilde{R}^{(k)} = (\tilde{a}_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ ; 最终决策者 (可以是消费者) 对备选方案进行评价, 得到方案在其属性下的隶属程度。

c) 根据不同专家的评价结果分别建立专家规则库, 并根据问题本身的要求来确定规则之间的关系, 进而选择相应的推理模型进行综合, 得到  $r^j$ 。这里  $r^j$  表示方案  $i$  在专家  $e_j$  下的综合评价结果。

d) 利用  $r^i = \omega_1 \cdot r^{i1} \vee \omega_2 \cdot r^{i2} \vee \dots \vee \omega_m \cdot r^{im}$  得到方案  $i$  的

最终评价结果, 这里  $\omega_i (i = 1, 2, \dots, m)$  是专家  $e_i$  的权重。

e) 选择最优方案。根据得到的综合结果的大小来选择最优方案, 若综合结果相同的或者是不可比较的, 选择结果可靠性大的为最优方案。

**3 实例分析**

本研究考虑三个待选择的房源  $\{A_1, A_2, A_3\}$  和五个属性指标  $\{\text{房价}(C_1), \text{交通}(C_2), \text{内部结构}(C_3), \text{小区环境}(C_4), \text{周边配套}(C_5)\}$ 。三个专家根据自己的经验对三个房源评价如下:

$$R_1 = (r_{st}^{1j}) = \begin{pmatrix} (0.3, 0.2) & (0.3, 0.1) & (0.5, 0.4) & (0.7, 0.1) & (0.8, 0.1) \\ (0.6, 0.1) & (0.4, 0.3) & (0.6, 0.2) & (0.3, 0.4) & (0.3, 0.2) \\ (0.5, 0.3) & (0.6, 0.1) & (0.9, 0.02) & (0.4, 0.5) & (0.3, 0.6) \end{pmatrix}$$

$$R_2 = (r_{st}^{2j}) = \begin{pmatrix} (0.2, 0.5) & (0.2, 0.2) & (0.3, 0.5) & (0.4, 0.5) & (0.5, 0.3) \\ (0.7, 0.1) & (0.8, 0.1) & (0.6, 0.2) & (0.7, 0.3) & (0.7, 0.2) \\ (0.6, 0.3) & (0.7, 0.2) & (0.4, 0.4) & (0.4, 0.1) & (0.7, 0.2) \end{pmatrix}$$

$$R_3 = (r_{st}^{3j}) = \begin{pmatrix} (0.6, 0.3) & (0.7, 0.2) & (0.5, 0.5) & (0.5, 0.4) & (0.7, 0.2) \\ (0.3, 0.4) & (0.3, 0.2) & (0.4, 0.1) & (0.8, 0.1) & (0.4, 0.5) \\ (0.7, 0.1) & (0.6, 0.2) & (0.5, 0.4) & (0.9, 0) & (0.8, 0.1) \end{pmatrix}$$

这里  $s = \{1, 2, 3\}, t = \{1, 2, 3, 4, 5\}, j = \{1, 2, 3\}$  分别表示方案  $A_s$ 、属性  $C_t$  和专家  $e_j$ 。

某购房者给出了方案两两比较矩阵, 确定了的属性权重分别为  $(0.4, 0.15, 0.3, 0.05, 0.1)$ 。不妨假设三个专家的权重分别为  $(0.4, 0.3, 0.2)$ 。购房者对三个房源的评价如下:  $\{(0.4, 0.5), (0.3, 0.4) (0.6, 0.2) (0.7, 0.1) (0.5, 0.4)\}, \{(0.6, 0.2), (0.7, 0.2) (0.8, 0) (0.9, 0) (0.5, 0.4)\}, \{(0.7, 0.1), (0.5, 0.3) (0.9, 0) (0.8, 0.1) (0.7, 0.2)\}$ 。

根据 2.2 节给出的推理决策模型, 利用  $r_t^{ij} = (a_t^{(i)}, b_t^{(i)}) \otimes (r_{st}^{ij} \rightarrow w_t \cdot r_{st}^{ij})$  可以得到方案  $A_1$  在购房者和专家的评价下的各属性的综合结果  $r_s^j$ , 这里  $w_t$  是属性  $C_t$  的权重,  $(a_t^{(i)}, b_t^{(i)})$  表示购房者针对方案  $A_i$  的属性  $C_t$  给出的评价价值,  $\otimes$  运算取 “ $\wedge$ ” 运算。

对于方案  $A_1$ , 有

$$r_1^{11} = (0.4, 0.5) \otimes ((0.3, 0.2) \rightarrow (1 - (1 - 0.3)^{0.4}, 0.2^{0.4})) = (0.4, 0.5)$$

$$r_2^{11} = (0.3, 0.4) \otimes ((0.3, 0.1) \rightarrow (1 - (1 - 0.3)^{0.15}, 0.1^{0.15})) = (0.3, 0.4)$$

$$r_3^{11} = (0.6, 0.2) \otimes ((0.5, 0.4) \rightarrow (1 - (1 - 0.5)^{0.3}, 0.4^{0.3})) = (0.6, 0.2)$$

$$r_4^{11} = (0.7, 0.1) \otimes ((0.7, 0.1) \rightarrow (1 - (1 - 0.7)^{0.05}, 0.1^{0.05})) = (0.7, 0.1)$$

$$r_5^{11} = (0.5, 0.4) \otimes ((0.8, 0.1) \rightarrow (1 - (1 - 0.8)^{0.1}, 0.1^{0.1})) = (0.5, 0.4)$$

$$r_1^{12} = (0.4, 0.5) \otimes ((0.2, 0.5) \rightarrow (1 - (1 - 0.2)^{0.4}, 0.5^{0.4})) = (0.4, 0.5)$$

$$r_2^{12} = (0.3, 0.4) \otimes ((0.2, 0.2) \rightarrow (1 - (1 - 0.2)^{0.15}, 0.2^{0.15})) = (0.3, 0.4)$$

$$r_3^{12} = (0.6, 0.2) \otimes ((0.3, 0.5) \rightarrow (1 - (1 - 0.3)^{0.3}, 0.5^{0.3})) = (0.6, 0.2)$$

$$r_4^{12} = (0.7, 0.1) \otimes ((0.4, 0.5) \rightarrow (1 - (1 - 0.4)^{0.05}, 0.5^{0.05})) = (0.7, 0.1)$$

$$r_5^{12} = (0.5, 0.4) \otimes ((0.5, 0.3) \rightarrow (1 - (1 - 0.5)^{0.1}, 0.3^{0.1})) = (0.4, 0.5)$$

$$r_1^{13} = (0.4, 0.5) \otimes ((0.6, 0.3) \rightarrow (1 - (1 - 0.6)^{0.4}, 0.3^{0.4})) = (0.4, 0.5)$$

$$r_2^{13} = (0.3, 0.4) \otimes ((0.7, 0.2) \rightarrow (1 - (1 - 0.7)^{0.15}, 0.2^{0.15})) = (0.3, 0.4)$$

$$r_3^{13} = (0.6, 0.2) \otimes ((0.5, 0.5) \rightarrow (1 - (1 - 0.5)^{0.3}, 0.5^{0.3})) = (0.6, 0.2)$$

$$r_4^{13} = (0.7, 0.1) \otimes ((0.5, 0.4) \rightarrow (1 - (1 - 0.5)^{0.05}, 0.4^{0.05})) = (0.7, 0.1)$$

$$r_5^{13} = (0.5, 0.4) \otimes ((0.7, 0.2) \rightarrow (1 - (1 - 0.7)^{0.1}, 0.2^{0.1})) = (0.5, 0.4)$$

根据该问题, 需取模型 1。因此, 可得  $r^{11} = r_1^{11} \wedge r_2^{11} \wedge r_3^{11} \wedge r_4^{11} \wedge r_5^{11} = (0.53, 0.19)$ 。

的表达能力要强于以相同 DL 为基础的时态或动态描述逻辑扩展。

有些形式系统也许比  $DLTL_{DL}$  具有更强的表达能力,例如,情景演算<sup>[13]</sup>和一些基于一阶逻辑扩展的时序逻辑<sup>[14]</sup>或动态逻辑<sup>[8]</sup>,遗憾的是,它们表达能力虽强,其基本推理问题却一般不是可判定的。这也是近年来,包括本文在内的不少动态知识表示系统研究基于描述逻辑的一大动机,主要目的就是利用描述逻辑的良好可计算性和表达能力,对其扩展有很大可能既保持其基本推理问题可判定,又保证具有良好的表达能力。

笔者打算将  $DLTL_{DL}$  应用于语义 Web 服务的组合研究。语义 Web 服务的标准语言 OWL-S<sup>[15]</sup> 基于描述逻辑 SHOIQ ( $D$ ),而本文研究的  $DLTL_{DL}$  基于基本描述逻辑 ALC,在域描述方面还有所不足,实际应用中必然还有不少限制。因此,在后续研究中,笔者重点将研究基于表达能力更强的描述逻辑的,具有良好可应用性的  $DLTL_{DL}$ 。

#### 参考文献:

- [1] BAADER F, CALVANSES D, McGUINNESS D, *et al.* The description logic handbook: theory, implementation, and applications[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [2] WOLTER F, ZAKHARYASCHEV M. Temporalizing description logics[M]//GABBAY D, De RIJKE M. Frontiers of Combining Systems 2. [S. l.]: Studies Press/Wiley, 1999:379-402.
- [3] ARTALE A, FRANCONI E. Temporal description logics[M]//GABBAY D, FISHER M, VILA L. Handbook of Time and Temporal Reasoning in Artificial Intelligence. [S. l.]: Elsevier, 2005: 375-388.
- [4] WOLTER F, ZAKHARYASCHEV M. Dynamic description logics [C]//ZAKHARYASCHEV M, SEGERBERG K, RIJKE M, *et al.* Advances in Modal Logic. Stanford: CSLI Publications, 2000: 449-463.
- [5] 常亮,史忠植,陈立民,等.一类扩展的动态描述逻辑[J].软件学报,2010,21(1):1-13.
- [6] STURM H, WOLTER F. A tableau calculus for temporal description logic: the expanding domain case[J]. Journal of Logic and Computation, 2002, 12(5): 809-838.
- [7] HENRIKSEN J G, THIGARAJAN P S. Dynamic linear time temporal logic[J]. Annals of Pure and Applied logic, 1999, 96(1-3):187-207.
- [8] HAREL D, KOZEN D, TIURYN J. Dynamic logic[M]. Cambridge: MIT Press, 2000.
- [9] HOPCROFT J E, MOTWANI R, ULLMAN J D. Introduction to automata theory, languages and computation[M]. MA: Addison Wesley Reading, 1979.
- [10] WOLPER P. The tableau method for temporal logic: an overview[J]. Logique et Analyse, 1985, 28(110-111): 119-136.
- [11] BAADER F, SATTler U. Tableau algorithms for description logics [J]. Studia Logica, 2001, 69(1):5-40.
- [12] BYLANDER T. The computational complexity of propositional STRIPS planning[J]. Artificial Intelligence, 1994, 69(1-2):165-204.
- [13] REITER R. Knowledge in action: logical foundations for specifying and implementing dynamical systems [M]. Cambridge: MIT Press, 2001.
- [14] KRÖGER F, MERZ S. Temporal logic and state systems[M]. New York: Springer-Verlag, 2008.
- [15] The W3C Consortium. OWL-S: semantic markup for Web services [EB/OL]. (2004-11-22) [2011-08-01]. <http://www.w3.org/Submission/OWL-S/>.

(上接第 535 页)

类似地,可求

$$r^{12} = r_1^{12} \wedge r_2^{12} \wedge r_3^{12} \wedge r_4^{12} \wedge r_5^{12} = (0.4, 0.5)$$

$$r^{13} = r_1^{13} \wedge r_2^{13} \wedge r_3^{13} \wedge r_4^{13} \wedge r_5^{13} = (0.3, 0.5)$$

这里  $r^{ij}$  表示方案  $A_i$  综合购买者和专家  $e_j$  评价得到的评价结果。利用  $r^i = \omega_1 \cdot r^{i1} \vee \omega_2 \cdot r^{i2} \vee \omega_3 \cdot r^{i3} = (0.87, 0.07)$  得到方案  $A_i$  的最后评价结果。

类似地,可求  $r^2 = (0.83, 0.13)$ ,  $r^3 = (0.82, 0.10)$ 。

由于三个方案的最终评价结果均不相同,因此不需要计算其可靠性程度。

因此,方案  $A_1$  是最佳方案。

## 4 结束语

针对方案有偏好的直觉模糊数多属性群决策问题,通过建立推理决策模型,从而综合考虑了专家和决策者的偏好,进而给出了一种新的决策方法。与 AHP 方法相比,AHP 方法只考虑了决策者(专家)的意见,而本文所提出的决策方法不仅考虑了专家的专业意见,同时也参考了决策者的意愿,即同时考虑了主观意愿和客观评价,使得决策者可以获得更合理、更有帮助的决策结果。此方法可以推广到对方案有偏好的区间模糊多属性群决策问题。

#### 参考文献:

- [1] 田志刚,卢兴华,宋一中.关于直觉决策几个问题的研究[C]//决策科学理论与方法——中国系统工程学会决策科学专业委员会第四届学术年会论文集. 2001:245-251.
- [2] 黄孟藩,王凤彬.决策行为和决策心理[M].北京:机械工业出版社,1995.
- [3] 王毅,雷英杰.一种直觉模糊熵的构造方法[J].控制与决策,2007,22(12):1390-1394.
- [4] 徐泽水.直觉模糊信息集成理论与应用[M].北京:科学出版社,2008.
- [5] BISWAS B. On fuzzy sets and intuitionistic fuzzy sets[J]. N IFS, 1997, 3: 3-11.
- [6] 雷英杰,王宝树,路艳丽.基于直觉模糊逻辑的近似推理方法[J].控制与决策,2006,21(3):305-309.
- [7] 王毅,雷英杰,路艳丽.基于直觉模糊集的多属性模糊决策方法[J].系统工程与电子技术,2007,29(12):2060-2063.
- [8] 林琳.直觉模糊集在近似推理与决策中的应用[D].大连:大连理工大学,2006.
- [9] 施丽娟,黄天民.基于投影法的直觉模糊多属性决策两阶段优化模型[C]//第十一届中国管理科学技术年会论文集.2009:147-150.
- [10] 莫生红,吕宏芳,李明伟.层次分析法在市民购房决策中的应用[J].经济论坛,2007(19):49-51.
- [11] ZADEH L A. Fuzzy sets[J]. Information and Control, 1965, 8(3):338-353.
- [12] ATANASSOVE K. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1):87-96.
- [13] ATANASSOVE K. More on intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 33(1): 37-46.
- [14] ATANASSOVE K. New operations defined over the intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 61(2):137-142.
- [15] 胡于进,凌玲.决策支持系统的开发与应用[M].北京:机械工业出版社,2006.