第45卷第12期 中国科学技术大学学报 Vol. 45, No. 12
2015年12月 JOURNAL OF UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA Dec. 2015

文章编号:0253-2778(2015)12-1036-05

一种对方案有偏好的区间直觉模糊多属性算法

段传庆[1,2]

(1.合肥工业大学管理学院,安徽合肥 230009;2.合肥工业大学数学学院,安徽合肥 230009)

摘要:研究了属性权重未知且决策者对属性偏好及属性值均为区间直觉模糊数的决策问题.首先提出直觉模糊熵的概念,基于决策者对属性的偏好与属性的差异及熵两个方面构建一个新模型求出属性权重,然后提出考虑属性权重的新改进型关联系数公式,通过关联系数对选项排序.最后通过对算例的分析比较说明了该方法简单及有效性.

关键词:区间直觉模糊数;偏好;熵;关联系数

中图分类号:C934 **文献标识码**:A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2015.12.012

引用格式:Duan Chuanqing. Approach to interval-valued intuitionistic fuzzy multiple attribute decision making with preference information[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2015, 45(12):1036-1040.
段传庆.一种对方案有偏好的区间直觉模糊多属性算法[J].中国科学技术大学学报,2015,45(12):1036-1040.

Approach to interval-valued intuitionistic fuzzy multiple attribute decision making with preference information

DUAN Chuanqing[1,2]

(1. *School of Business Administration, Hefei University of Technology, Hefei* 230009, *China*;
2. *School of Mathematics, Hefei University of Technology, Hefei* 230009, *China*)

Abstract: With respect to interval-valued intuitionistic fuzzy multiple attribute decision making problems with preference information on alternatives and unknown weight information, some functions and a new entropy were proposed. To gain the weights of the attributes, a new method was proposed based on the entropy and the deviation between values of the preference and values of the attributes. Next, a formula of interval-valued intuitionistic fuzzy numbers correlation coefficient with attribute weights was defined and then a method for ranking the alternatives was proposed. Finally, the method was used as an example to verify its simplicity and effectiveness.

Key words: interval-valued intuitionistic fuzzy number; preference; entropy; correlation coefficient

0 引言

1965 年,Zadeh 创立模糊集理论[1],此后 Atanassov 于 1986 年提出直觉模糊集的概念.直觉模糊集在模糊集基础上增加一个新参数——非隶属度.在此基础上 Atanassov 和 Gargo 对直觉模糊集进行拓展,给出了区间直觉模糊集的概念[2],由于受客观环境的复杂性、决策者的知识结构和专业水平

收稿日期:2014-10-12;**修回日期**:2015-06-13
基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(J2014HGXJ0080)资助.
作者简介:段传庆,男,1978 年生,博士/讲师.研究方向:决策分析. E-mail:dcqhn@126.com

等因素影响,决策者往往不能提供对决策方案的精确偏好信息,此时区间直觉模糊集能更为有效地刻划不确定信息.现阶段对区间直觉模糊数的研究多集中在区间直觉模糊集的运算法则[3]、距离测度[4-5]、关联度[6-7]、拓扑结构[8]等基础理论方面.

在决策问题中,属性的权重往往起着至关重要的作用,但在实际决策中,属性权重往往因为决策者缺少数据或对该数据不了解而具有不确定性.熵权法[9-11]是一种客观的赋权法,它能依据各属性所包含的信息量的大小确定指标权重,国内外学者也做过不少关于区间直觉模糊熵的研究[12-14].但是该方法只注重信息本身的重要性,而文献[15]只考虑了决策信息间的关系而忽略了信息本身的重要性.基于以上分析,本文首先提出模糊熵的概念,结合决策者给出的决策信息间的关系对文献[15]所涉及的权重问题给出新的模型,同时对文献[16]提出的关联系数提出了一个改进形式.通过选项与理想解的关联系数进行排序,最后进行实例的比较分析.

1 基本理论

直觉模糊集由 Atanassov 提出,是传统模糊集的一种扩充和发展,直觉模糊集增加了一个新的属性参数:非隶属度,它能更细腻地描述客观世界的模糊本质.

定义 1[2] 设 X 是一个非空集合,

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

为直觉模糊集,其中,$\mu_A(x)$ 和 $\nu_A(x)$ 分别表示 X 中的元素 x 属于 X 隶属度和非隶属度. $\mu_A: X\to[0,1]$, $\nu_A: X\to[0,1]$,且满足 $0\leqslant\mu_A(x)+\nu_A(x)\leqslant 1,\ \forall x\in X$. 此外,$\pi_A(x)=1-\mu_A(x)-\nu_A(x)$ 表示 X 中的元素 x 属于 X 的犹豫度.

定义 2[17] 设 X 是一个给定的论域,则 X 上的一个区间直觉模糊集 A 定义为

$$A=\{\langle x,\tilde{\mu}_A(x),\tilde{\nu}_A(x)\rangle \mid x\in X\}.$$

其中,$\tilde{\mu}_A: X\to[0,1]$ 和 $\tilde{\nu}_A: X\to[0,1]$,且对于 A 上所有 $x\in X$,满足 $0\leqslant\sup(\tilde{\mu}_A(x))+\sup(\tilde{\nu}_A(x))\leqslant 1$. 为方便,将区间直觉模糊集 A 记为

$$A=\{\langle x,[\mu_A^l(x),\mu_A^u(x)],[\nu_A^l(x),\nu_A^u(x)]\rangle \mid x\in X\}.$$

定义 3[18] 称 $e(\tilde{a})$ 为区间直觉模糊数集 $\tilde{a}=\langle[\mu^l,\mu^u],[\nu^l,\nu^u]\rangle$ 的模糊熵,当其满足:

① $e(\tilde{a})=0$,当且仅当 $\tilde{a}=\langle[1,1],[0,0]\rangle$ 或 $\tilde{a}=\langle[0,0],[1,1]\rangle$;

② $e(\tilde{a})=1$,当且仅当 $[\mu_A^l(x),\mu_A^u(x)]=[\nu_A^l(x),\nu_A^u(x)]$;

③ $e(\tilde{a})=e(\tilde{a}^c)$,其中 $\tilde{a}^c$ 为 $\tilde{a}$ 的补集;

④ 区间直觉模糊集的熵随着 $|\mu^l(x)-\nu^l(x)|+|\mu^u(x)-\nu^u(x)|$ 增大而减小.

根据定义 3,结合文献[12]提出的区间直觉模糊熵,提出一个模糊熵的公式.

定义 4[16] $A=([\mu^l\mu^u],[\nu^l\nu^u])$ 为一个区间直觉模糊数,则定义其熵为

$$e(\tilde{a})=1-h(\tilde{a}).$$

其中,

$$h(\tilde{a})=\left|\frac{\mu^l(x)-\nu^l(x)}{2}\right|+\left|\frac{\mu^u(x)-\nu^u(x)}{2}\right| \tag{1}$$

显然定义 4 中的熵符合定义 3 中的限制条件.

定义 5[16] 设 $X=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$ 为一个有限集,则称 $\rho(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2)$ 为区间直觉模糊集的关联系数,且

$$\rho(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2)=\frac{c(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2)}{(c(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_1)\cdot c(\widetilde{A}_2,\widetilde{A}_2))^{\frac{1}{2}}}.$$

其中,

$$c(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2)=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}(\mu_{A_1}^l(x_i)\mu_{A_2}^l(x_i)+\mu_{A_1}^u(x_i)\mu_{A_2}^u(x_i)+\nu_{A_1}^l(x_i)\nu_{A_2}^l(x_i)+\nu_{A_1}^u(x_i)\nu_{A_2}^u(x_i)) \tag{2}$$

$\rho(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2)$ 满足

① $0\leqslant\rho(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2)\leqslant 1$,

② $\widetilde{A}_1=\widetilde{A}_2\Rightarrow\rho(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2)=1$,

③ $\rho(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2)=\rho(\widetilde{A}_2,\widetilde{A}_1)$.

定义 5 中的关联系数适用于相同权重的属性且未考虑豫度对结果的影响.考虑到实际决策中属性权重的不同,本文给出了一个修改后的关联系数公式,既考虑了属性权重又兼顾到犹豫度对决策的影响:

定义 6 记 $\omega=\{\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_n\}$, $w_i\geqslant 0$, 且 $\sum_{i=1}^{n}\omega_i=1$ 为权重,记

$$\rho^*(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2)=\frac{c(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2)}{(c(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_1)\cdot c(\widetilde{A}_2,\widetilde{A}_2))^{\frac{1}{2}}}$$

为模糊集 $\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2$ 的关联系数,其中,

$$c(\widetilde{A}_1,\widetilde{A}_2)=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\omega_i(\mu_{A_1}^l(x_i)\mu_{A_2}^l(x_i)+$$

$$\mu_{A_1}^u(x_i)\mu_{A_2}^u(x_i)+\nu_{A_1}^l(x_i)\nu_{A_2}^l(x_i)+$$
$$\nu_{A_1}^u(x_i)\nu_{A_2}^u(x_i)+\pi_{A_1}^l(x_i)\pi_{A_2}^l(x_i)+$$
$$\pi_{A_1}^u(x_i)\pi_{A_2}^u(x_i)) \tag{3}$$

其中，π 称为犹豫度且 $\pi^l=1-\mu^u-\nu^u$，$\pi^u=1-\mu^l-\nu^l$，则 ρ^* 仍满足定义 5 中条件①、②、③.

定义 7[15] 设

$$\widetilde{A}=([\mu_A^l,\mu_A^u],[\nu_A^l\nu_A^u]),$$
$$\widetilde{B}=([\mu_B^l,\mu_B^u],[\nu_B^l\nu_B^u])$$

为两个区间直觉数，那么它们之间的规范化海明距离为

$$d(\widetilde{A},\widetilde{B})=\frac{1}{4}(|\mu_A^l-\mu_B^l|+|\mu_A^u-\mu_B^u|+$$
$$|\nu_A^l-\nu_B^l|+|\nu_A^u-\nu_B^u|) \tag{4}$$

例 1 设

$$A_1=([1,1],[0,0]),$$
$$A_2=([0.2,0.3],[0.3,0.4]),$$
$$A_3=([0.2,0.3],[0.0,0.5]).$$

则由定义 5 公式可得

$$\rho(A_1,A_2)=0.57,$$
$$\rho(A_1,A_3)=0.57.$$

而 A_2，A_3 的模糊性显然不同，但它们与 A_1 的相关系数相同有违常理，现用式(3)重新计算

$$\rho(A_1,A_2)=0.42,$$
$$\rho(A_1,A_3)=0.34.$$

因此考虑犹豫度对决策的影响是有必要的，所以本文给出关联系数公式更具说服力.

2 决策方法

对于区间直觉模糊多属性决策问题，设 $A=\{A_1,A_2,\cdots,A_m\}$ 为方案集，$G=\{G_1,G_2,\cdots,G_n\}$ 为属性集，$\omega=\{\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_n\}^T$ 表示评价属性的权重向量，ω_j 表示 G_j 的权重，满足 $\sum_{j=1}^{n}\omega_j=1$，$\omega_j\geqslant 0$，$j=1,2,\cdots,n$. 决策者对于方案 $A_i\in A$ 关于属性 $G_j\in G$ 进行测度，属性值为区间直觉模糊数 $([\mu_{ij}^l,\mu_{ij}^u],[\nu_{ij}^l\nu_{ij}^u])$，$i=1,2,\cdots,m$；$j=1,2,\cdots,n$，且

$$[\mu_{ij}^l,\mu_{ij}^u]\subset[0,1],[\nu_{ij}^l\nu_{ij}^u]\subset[0,1],$$
$$0\leqslant\mu_{ij}^u+\nu_{ij}^u\leqslant 1,$$

从而构成区间直觉模糊数决策矩阵

$$\widetilde{R}=(\tilde{r}_{ij})_{nm}=([\mu_{ij}^l,\mu_{ij}^u],[\nu_{ij}^l,\nu_{ij}^u]).$$

假设决策者对方案 A_i 有一定偏好

$$\theta_i=([\alpha_i^l,\alpha_i^u],[\beta_i^l,\beta_i^u]),i=1,2,\cdots,m.$$

方案一：如果仅考虑决策信息本身重要性，即从信息熵角度出发，对于属性 G_j，其信息熵为

$$E_j=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}e_{ij}.$$

其中，e_{ij} 为决策矩阵 $\tilde{r}_{ij}$ 的熵，可由式(1)得到，由于熵是用来表示事物的不确定性，信息量越大，不确定性越小，熵也越小，反之亦然. 因此，可以确定属性权重向量

$$\omega_j=\frac{1-E_j}{\sum_{j=1}^{n}(1-E_j)} \tag{5}$$

方案二：现在换个角度，如果只考虑决策者对方案的偏好与对相应方案属性偏好的差异，则需要比较决策信息差异的大小，它们之间的差异越小越好，决策者对方案的偏好与对相应方案属性偏好的差异可以用公式 $\sum_{i=1}^{m}d(\tilde{r}_{ij},\tilde{\theta}_i)$ 来衡量，其中 $d(\tilde{r}_{ij},\tilde{\theta}_i)$ 表示 $\tilde{r}_{ij}$ 与 $\tilde{\theta}_i$ 的规范化海明距离，则 $\sum_{i=1}^{m}d(\tilde{r}_{ij},\tilde{\theta}_i)$ 表示决策者对属性 G_j 的偏好与其所对应方案偏好差异总和，值越小，表示其差异越小，则对 G_j 应赋予越大的权重. 因此可以确定属性权重向量

$$\omega_j=\frac{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}[1-d(\tilde{r}_{ij},\tilde{\theta}_i)]}{\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}[1-d(\tilde{r}_{ij},\tilde{\theta}_i)]} \tag{6}$$

方案一与方案二一个只考虑信息本身重要性，一个只考虑信息之间的关系的重要性. 本文综合以上两种观点提出一种新的模型.

方案三：将方案一与方案二综合考虑，得到属性 G_j 的权重

$$\omega_j=\frac{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}[1-d(\tilde{r}_{ij},\tilde{\theta}_i)]+\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}[1-E(\tilde{r}_{ij})]}{\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}[1-d(\tilde{r}_{ij},\tilde{\theta}_i)]+\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}[1-E(\tilde{r}_{ij})]} \tag{7}$$

由于方案一与方案二的重要程度一致，因此需要对上述公式中的数据适当修改，使之规范化：

令

$$k=\frac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{m}[1-d(\tilde{r}_{ij},\tilde{\theta}_i)]}{\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{m}[1-E(\tilde{r}_{ij})]},$$

k 称为平衡因子，则上述公式可改为

$$\omega_j = \frac{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}[1-d(\tilde{r}_{ij},\tilde{\theta}_i)] + k\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}[1-E(\tilde{r}_{ij})]}{\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}[1-d(\tilde{r}_{ij},\tilde{\theta}_i)] + k\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}[1-E(\tilde{r}_{ij})]} \tag{8}$$

综上所述，给出如下算法

步骤一：建立区间直觉模糊决策矩阵.

$$\tilde{R} = (\tilde{r}_{ij})_{m\times n} = ([\mu_{ij}^l, \mu_{ij}^u], [\nu_{ij}^l, \nu_{ij}^u])_{m\times n},$$

决策者对方案 A_i 的偏好值为

$$\tilde{\theta}_i = ([\alpha_i^l, \alpha_i^u], [\beta_i^l, \beta_i^u])$$

步骤二：利用式(1)、(4)、(8)求出属性的权重 ω_j.

步骤三：记 $A^* = (\tilde{r}_1, \tilde{r}_2, \tilde{r}_3, \cdots, \tilde{r}_n)$ 为理想解，其中，

$$\tilde{r}_j = ([\max_i \mu_{ij}^l, \max_i \mu_{ij}^u], [\min_i \nu_{ij}^l, \min_i \nu_{ij}^u]).$$

步骤四：利用式(3)分别计算选项 A_i 与 A^* 的关联系数，记

$$S_1 = \rho(A_1, A^*),$$
$$S_2 = \rho(A_2, A^*),$$
$$S_3 = \rho(A_3, A^*),$$
$$S_4 = \rho(A_4, A^*),$$
$$S_5 = \rho(A_5, A^*).$$

对 S_i 进行排序，S_i 越大，说明 A_i 越优.

3　算例分析

步骤一：由文献[15]，得到区间直觉模糊数评估矩阵：

$$\tilde{R} = \begin{pmatrix}
([0.3,0.4],[0.4,0.5]) & ([0.5,0.6],[0.1,0.3]) & ([0.4,0.5],[0.3,0.4]) & ([0.4,0.6],[0.2,0.4]) \\
([0.5,0.6],[0.3,0.4]) & ([0.4,0.7],[0.1,0.2]) & ([0.5,0.6],[0.2,0.3]) & ([0.6,0.7],[0.2,0.3]) \\
([0.2,0.5],[0.4,0.5]) & ([0.2,0.3],[0.4,0.6]) & ([0.3,0.5],[0.3,0.4]) & ([0.1,0.3],[0.5,0.6]) \\
([0.4,0.5],[0.3,0.5]) & ([0.5,0.8],[0.1,0.2]) & ([0.2,0.5],[0.3,0.4]) & ([0.4,0.7],[0.1,0.2]) \\
([0.5,0.6],[0.2,0.4]) & ([0.6,0.7],[0.1,0.2]) & ([0.3,0.4],[0.1,0.3]) & ([0.7,0.8],[0.1,0.2])
\end{pmatrix}$$

决策者对方案 A_i 偏好为

$$\tilde{\theta}_1 = ([0.3,0.4],[0.3,0.5]),$$
$$\tilde{\theta}_2 = ([0.5,0.6],[0.1,0.3]),$$
$$\tilde{\theta}_3 = ([0.4,0.5],[0.2,0.4]),$$
$$\tilde{\theta}_4 = ([0.7,0.8],[0.1,0.2]),$$
$$\tilde{\theta}_5 = ([0.3,0.4],[0.5,0.6]).$$

步骤二：利用式(1)、(4)、(8)求出属性权重

$$\omega = (0.175, 0.260, 0.178, 0.387)^T.$$

步骤三：记理想解

$$A^* = (([0.5,0.6],[0.2,0.4]),$$
$$([0.6,0.8],[0.1,0.2]),$$
$$([0.5,0.6],[0.1,0.3]),$$
$$([0.7,0.8],[0.1,0.2])),$$

利用式(3)计算得到

$$c(A_1, A^*) = 0.379,$$
$$c(A_1, A_1) = 0.419,$$
$$c(A^*, A^*) = 0.550,$$
$$\rho(A_1, A^*) = 0.791 = s_1,$$
$$c(A_2, A^*) = 0.479,$$
$$c(A_2, A_2) = 0.477,$$
$$\rho(A_2, A^*) = 0.9370 = s_2,$$
$$c(A_3, A^*) = 0.319,$$
$$c(A_3, A_3) = 0.419,$$
$$\rho(A_3, A^*) = 0.6648 = s_3,$$
$$c(A_4, A^*) = 0.483,$$
$$c(A_4, A_4) = 0.477,$$
$$\rho(A_4, A^*) = 0.9427 = s_4,$$
$$c(A_5, A^*) = 0.524,$$
$$c(A_5, A_5) = 0.516,$$
$$\rho(A_5, A^*) = 0.9835 = s_5,$$

最终排序为 $A_5 > A_4 > A_2 > A_1 > A_3$.

本文的排序与文献[15]给出的排序 $A_5 > A_2 > A_4 > A_1 > A_3$ 略有不同，原因在于文献[15]只注重决策者偏好值与属性值的差异而忽略了决策数据本身的重要性，本文将两者结合起来考虑，因而具有一定的合理性. 此外，由于决策者偏好值与属性值差异不明显，造成文献[15]计算的权重差别很小，而本文很好地解决了这一问题，计算的权重较文献[15]有较好的区分度，方便于后面的决策. 若文中方案一和方案二重要程度不同，可适当调节平衡因子 k 的大

小使之满足决策者的要求.本文最后用关联系数法对选项进行最终排序,避免了用合成算子对数据合成过程中数据的丢失,从数据本身出发进行排序更具合理性.

4 结论

本文研究了属性权重完全未知且决策者对属性偏好及属性值均为区间直觉模糊数的情形,丰富和发展了区间直觉模糊多属性决策的理论和方法.分析说明了单一熵权法确定属性权重的不合理性.给出一种关联系数改进公式,结合熵及属性值与决策者偏好值的差异,给出一种新的求属性的新方法,通过算例分析说明了该方法的简单及可行性.该方法也适用于直觉模糊数及梯形直觉模糊数的情形,具有一定的现实及推广意义.

参考文献(References)

[1] Zadeh L A. Fuzzy set[J]. Information and Control, 1965, 8(3):338-356.

[2] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems,1986,20(1):87-96.

[3] Atanassov K. Operators over interval-valued intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994,64(2):159-174.

[4] Zhang H Y, Zhang W X. Europy of interval-valued fuzzy sets based on distance and its relationship with similarity measure [J]. Knowledge-Based Systems, 2009,22(6):449-454.

[5] Xu Z S. On similarity measures of interval-valued intuitionistic fuzzy sets and their application to pattern recognition [J]. Journal of Southeast University (English Edition),2007,23(1): 139-143.

[6] Bustince H, Burillo P. Correlation of interval-valued intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1995,74(2):237-244.

[7] Hong D H. A note on correlation of interval-valued intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1998,95(1):113-117.

[8] Mondal T K, Samanta S K. Topology of interval-valued intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems,2001, 119(3):483-494.

[9] Mostaghimi M. Bayesian estimation of a decision using information theory[J]. IEEE Trans on Systems,Man, and Cybernetics: Part A: Systems and Humans,1997, 27(4):506-517.

[10] Shuiabi E. Entropy as a measure of operational flexibility [J]. European Journal of Operational Research, 2005,165(3):696-707.

[11] Wu J Z. Multicriteria decision making method based on intuitionistic fuzzy weighted entropy [J]. Expert Systems with Applications,2011,38(1):916-922.

[12] 戚晓雯,梁昌勇,张恩桥,等. 基于熵最大化的区间直觉模糊多属性群决策方法[J].系统工程理论与实践, 2011,31(10):1940-1948.

[13] 张英俊,马培军,苏小红,等. 属性权重不确定条件下的区间直觉模糊多属性决策[J]. 自动化学报,2012, 38(2):220-227.

[14] Zhang Q S, Liu F C, et al. Information entropy, similarity measure and inclusion measure of intuitionistic fuzzy sets[J]. Information Computing and Applications,2012,37(5):392-398.

[15] 卫贵武. 对方案有偏好的区间直觉模糊多属性方法[J].系统工程与电子技术,2009,31(1):116-120.

[16] 陈晓红,戴子敬,刘翔,等. 基于熵和关联系数的区间直觉模糊决策方法[J]. 系统工程与电子技术,2013, 35(4):791-794.

[17] Atanassov K, Gargov G. Interval-valued intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems,1989,31(3): 343-349.

[18] 郭效芝. 模糊不确定性度量的讨论及扩展[D].西安:西北大学,2004.