文章编号:1001 - 9081(2009)05 - 1273 - 03

基于直觉模糊集改进算子的多目标决策方法

刘於勋
(河南工业大学 信息科学与工程学院,郑州 450001)
(lyx6250@126.com)

摘 要:定义了三角和区间直觉模糊集的一些运算法则,给出了直觉模糊集两个改进算子,即三角模糊数加权算术平均算子(FIFWAA) 和区间直觉模糊数加权几何平均算子(FIFWGA)。在此基础上, 提出用精确函数解决记分函数无法决策的问题,以保证记分函数的严密性与合理性。给出了一种属性权重不完全确定且属性值以三角和区间直觉模糊数给出的多目标决策方法,通过实例分析结果证明了运用直觉模糊集改进算子进行多目标决策方法的有效性和正确性。

关键词:直觉模糊集;多目标决策;改进算子
中图分类号: TN945.25 **文献标志码**:A

Multi-criteria decision-making based on intuitionistic fuzzy sets geometric operators

LIU Yu-xun
(*College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou Henan* 450001, *China*)

Abstract: Some operation laws of triangular and interval-valued fuzzy sets were defined. Two amelioration operators were developed, such as the triangular intuitionistic fuzzy numbers weighted arithmetic average (FIFWAA) operator, and the f interval-valued intuitionistic fuzzy numbers weighted geometric average (FIFWGA) operator. On this basis, the problem that score function can not give decision-making was solved by accuracy function in order to ensure the security and rationality of score function. An approach for solving uncertain multiple attribute decision-making problem was given, in which the attribute weights were not completely certain and the attribute values were triangular and interval-valued fuzzy numbers. An illustrative example proves the effectiveness and correctness of multiple-criteria decision-making with intuitionistic fuzzy sets.

Key words: intuitionistic fuzzy set; multi-criteria decision-making; amelioration operator

0 引言

直觉模糊集是对传统模糊集的一种扩充和发展。直觉模糊集增加了非隶属度函数,能更加细腻地描述和刻画客观世界的模糊性本质[1],其特点是同时考虑了隶属度和非隶属度,能表示和处理 Fuzzy 集无法表示和处理的不确定性,更具灵活性和实用性[2]。文献[3 - 4]对直觉模糊信息的集成方法及其应用进行了研究,并提出一些集成直觉模糊信息的算术集成算子和几何集成算子。Atanassov 和 Gargov 对直觉模糊集进行了扩拓,用区间数表示隶属度和非隶属度,提出了区间值直觉模糊集的概念。文献[5 - 6]对区间直觉模糊信息的集成方法及其应用也进行了研究,并提出一些区间直觉模糊信息的集成算子。文献[7]将直觉模糊集作了进一步的拓展,用三角模糊数表示隶属度和非隶属度,提出了模糊数直觉模糊集的概念。文献[2]对模糊数直觉模糊信息的集成方法进行研究,给出了模糊数直觉模糊数两个记分函数 $S(E(\tilde{\beta}_i))$ 和 $L(E(\tilde{\beta}_i))$。由于研究三角和区间模糊数的加权记分函数 $S(E(\tilde{\beta}_i))$ 和加权精确 $H(E(\tilde{\beta}_i))$ 函数的文献较少,而这类问题又有重要的理论意义和实际应用价值,因而有必要对其进行探讨。

本文在文献[2,5]的基础上定义了直觉模糊集两个改进算子,即三角模糊数加权算术平均算子(FIFWAA) 和区间直觉模糊数加权几何平均算子(FIFWGA)。在此基础上, 提出用精确函数解决记分函数无法决策的问题,以保证记分函数的严密性与合理性。最后给出里一种属性权重不完全确定且属性值以三角和区间直觉模糊数给出的多目标决策方法,通过实例分析结果证明了运用直觉模糊集改进算子进行多目标决策方法的有效性和正确性。

1 直觉模糊集

直觉模糊集可扩展为三角直觉模糊集和区间直觉模糊集。

1.1 三角直觉模糊集

1.1.1 预备知识

定义 1 设论域 U 是一个非空有限集合, 称 $V = \{(u, \langle t_v(u), f_v(u)\rangle) u \in U\}$ 为直觉模糊集。其中:$t_v(u)$ 和 $f_v(u)$ 分别表示 U 中元素 $u \in U$ 的隶属度和非隶属度, 即 $t_v(u) \to [0, 1]$, $f_v(u) \to [0, 1]$, 而且 $0 \leqslant t_v(u) + f_v(x) \leqslant 1$, $\forall u \in U$。

在模糊准则决策中,隶属度和非隶属度不能用精确的实数值表达,用区间数形式来表示存在失真和偏离的缺陷[2]。隶属度和非隶属度若采用三角模糊数来表达,则能突出取值可能性最大的中心点, 弥补区间数缺少重心的缺陷的优势[2]。

收稿日期:2008 - 11 - 14;**修回日期**:2009 - 02 - 17。 **基金项目**:国家自然科学基金资助项目(70701013)。
作者简介:刘於勋(1963 -),女,河南郑州人,副教授,博士研究生,主要研究方向:最优方法、模糊决策。

定义2 若$\beta=(l,p,q)\in F(D)$，$D\to[0,1]$，则称β为D上的一个三角模糊数，其隶属函数$\mu_\beta(x):R\to[0,1]$可表示为：

$$\mu_\beta(x)=\begin{cases}(x-l)/(p-l), & l\leqslant x<p\\(x-q)/(p-q), & p\leqslant x\leqslant q\\0, & \text{其他}\end{cases}\tag{1}$$

其中：$x\in R$，$0\leqslant l\leqslant p\leqslant q\leqslant 1$，$l$和$q$分别称为模糊数$\beta$的下限和上限，$p$表示在此区间中取值可能性最大的数，称为模糊数$\beta$的重心，若$l=p=q$，则$\beta$为实数。

1.1.2 评价函数

三角模糊集的期望值$E(\beta)$表示为：

$$E(\beta)=((1-\theta)l+p+\theta q)/2\tag{2}$$

其中$\theta\in[0,1]$，当$\theta>0.5$时，表示决策者是风险追求的；当$\theta<0.5$时，表示决策者是风险厌恶的；$\theta=0.5$，表示决策者是风险中立的。式(2)简化为：

$$E(\beta)=(l+2p+q)/4\tag{3}$$

1.1.3 运算法则

定义3 设论域U是一个非空有限集合，称$G=\{(u,\langle\tilde{t}_g(u),\tilde{f}_g(u)\rangle)u\in U\}$为模糊数糊集。其中：$\tilde{t}_g(u)=(\tilde{t}_g^1(u)+\tilde{t}_g^2(u)+\tilde{t}_g^3(u))\in F(D)$和$\tilde{f}_g(u)=(\tilde{f}_g^1(u)+\tilde{f}_g^2(u)+\tilde{f}_g^3(u))\in F(D)$均是$D\to[0,1]$上的三角模糊数，分别表示$U$中元素$u\in U$的隶属度和非隶属度，并且满足$0\leqslant\tilde{t}_g^3(u)+\tilde{f}_g^3(u)\leqslant 1,\forall u\in U$。

参照区间直觉模糊集的定义，称$\langle\tilde{t}_g(u),\tilde{f}_g(u)\rangle$为三角模糊数，简记为$\langle(a,b,c),(l,p,q)\rangle$。其中：$(a,b,c)\in F(D)$，$(l,p,q)\in F(D)$，且$c+q\leqslant 1,\forall u\in U$。记$\Omega$为全体三角直觉模糊集的集合。

定义4 设$\tilde{\beta}_1=[a_1,b_1,c_1],[l_1,p_1,q_1]$和$\tilde{\beta}_2=[a_2,b_2,c_2],[l_2,p_2,q_2]$是任意的两个三角模糊数，其运算法则如下：

$$\tilde{\beta}_1+\tilde{\beta}_2=[a_1+a_2-a_1\times a_2,b_1+b_2-b_1\times b_2,c_1+c_2-c_1\times c_2],[l_1\times l_2,p_1\times p_2,q_1\times q_2]\tag{4}$$

$$\tilde{\beta}_1\times\tilde{\beta}_2=[a_1\times a_2,b_1\times b_2,c_1\times c_2],[l_1+l_2-l_1\times l_2,p_1+p_2-p_1\times p_2,q_1+q_2-q_1\times q_2]\tag{5}$$

$$\lambda\tilde{\beta}=[1-(1-a)^\lambda,1-(1-b)^\lambda,1-(1-c)^\lambda],[l^\lambda,p^\lambda,q^\lambda];\lambda\geqslant 0\tag{6}$$

易知定义4中的所有结果仍为三角模糊数。

1.2 **区间直觉模糊集**

1.2.1 基本概念

设X是一个非空集合，$A=\{\langle x,\mu_A(x),v_A(x)\rangle|x\in X\}$为直觉模糊集[1]，其中$\mu_A(x)$和$v_A(x)$分别为$x$元素($x\in X$)的隶属度$\mu_A\to[0,1]$和非隶属度$v_A\to[0,1]$，且满足条件$0\leqslant\mu_A(x)+v_A(x)\leqslant 1,\forall x\in X$。此外$1-\mu_A(x)-v_A(x)$表示$X$中元素$x\in X$的忧郁度。文献[6]对直觉模糊集进行了扩充，称$\bar{A}=\{\langle x,\tilde{\mu}_{\bar{A}}(x),\tilde{v}_{\bar{A}}(x)\rangle x\in X\}$为区间模糊集，其中$\tilde{\mu}_{\bar{A}}(x)\to[0,1]$，$\tilde{v}_{\bar{A}}(x)\to[0,1]$，且满足条件$sup\tilde{\mu}_{\bar{A}}(x)+sup\tilde{v}_{\bar{A}}(x)\leqslant 1,\forall x\in X$。

1.2.2 运算法则

若区间模糊数用$\tilde{\beta}=([a,b],[c,d])$表示，其中$[a,b]\subset[0,1]$，$[c,d]\subset[0,1]$，$b+d\leqslant 1$，设任意两个区间模糊数为$\hat{\beta}_1=([a_1,b_1],[c_1,d_1])$和$\tilde{\beta}_2=([a_2,b_2],[c_2,d_2])$，则基本运算法则：

$$\tilde{\beta}_1\times\tilde{\beta}_2=[a_1\times a_2,b_1\times b_2][c_1+c_2-c_2\times c_2,d_1+d_2-d_1\times d_2]\tag{7}$$

$$\lambda\tilde{\beta}=[(1-(1-a)^\lambda,1-(1-b)^\lambda)][c^\lambda,d^\lambda];\ \lambda\geqslant 0\tag{8}$$

2 直觉模糊数函数

2.1 三角模糊数函数

2.1.1 记分函数$S(E(\tilde{\beta}_i))$

定义5 设$\tilde{\beta}_i=[a_i,b_i,c_i],[l_i,p_i,q_i]$为一个三角模糊数，则$E(\tilde{\beta}_i)$的记分函数定义为：

$$S(E(\tilde{\beta}_i))=\left(\frac{a_i+2b_i+c_i}{4}-\frac{l_i+2p_i+q_i}{4}\right)\tag{9}$$

其中：$S(E(\tilde{\beta}_i))\to[-1,1]$。显然，$S(E(\tilde{\beta}_i))$的值越大，$E(\tilde{\beta}_i)$越大。若$S(E(\tilde{\beta}_i))=1$，则$\tilde{\beta}_i$取最大值$[1,1,1]$，$[0,0,0]$；$S(E(\tilde{\beta}_i))=-1$，则$\tilde{\beta}_i$取最小值$[0,0,0]$，$[1,1,1]$。然而，若取$\tilde{\beta}_1=[0.4,0.5,0.3]$，$[0.4,0.5,0.3]$，$\tilde{\beta}_2=[0.2,0.3,0.4]$，$[0.2,0.3,0.4]$，则$S(E(\tilde{\beta}_1))=S(E(\tilde{\beta}_2))=0$，即记分函数不能对$\tilde{\beta}_1$和$\tilde{\beta}_2$进行比较，存在着局限性。为解决这类特殊情况，可以用精确函数弥补。

2.1.2 精确函数$H(E(\tilde{\beta}_i))$

当$S(E(\tilde{\beta}_i))$的值有相等情况出现时，定义三角模糊数的精确函数$H(E(\tilde{\beta}_i))$为：

$$H(E(\tilde{\beta}_i))=\frac{a_i+2b_i+c_i}{4}+\frac{l_i+2p_i+q_i}{4}\tag{10}$$

其中$H(E(\tilde{\beta}_i))\to[0,1]$，$H(E(\tilde{\beta}_i))$的值越大，则$E(\tilde{\beta}_i)$越大。对于上述的$\tilde{\beta}_1=[0.4,0.5,0.3]$，$[0.4,0.5,0.3]$和$\tilde{\beta}_2=[0.2,0.3,0.4]$，$[0.2,0.3,0.4]$，利用式(5)可得$H(E(\tilde{\beta}_1))=0.85$，$H(E(\tilde{\beta}_2))=0.6$。记分函数$S(E(\tilde{\beta}_i))$和精确函数$H(E(\tilde{\beta}_i))$类似于统计学中的均值与方差[7]。因此认为，在三角模糊数的记分函数$S(E(\tilde{\beta}_i))$值相等的情况下，精确函数$H(E(\tilde{\beta}_i))$值越大，则相应的三角模糊数越大，从而$\tilde{\beta}_1>\tilde{\beta}_2$。

2.2 区间模糊数函数

2.2.1 记分函数$S'''(E(\tilde{\beta}_i))$

定义6 设$\tilde{\beta}_i=[a_i,b_i],[c_i,d_i]$为一个区间模糊数，则区间模糊数的记分函数为：

$$S'''(E(\tilde{\beta}_i))=(a_i-c_i+b_i-d_i)/2\tag{11}$$

其中：$S'''(E(\tilde{\beta}_i))\in[-1,1]$。显然，$S'''(E(\tilde{\beta}_i))$的值越大，$\tilde{\beta}$越大。若$S'''(E(\tilde{\beta}_i))=1$时，则$\tilde{\beta}_i$取最大值$[1,1]$，$[0,0]$；$S'''(E(\tilde{\beta}_i))=-1$时，则$\tilde{\beta}_i$最小值$[0,0]$，$[1,1]$。但当$\tilde{\beta}_1=[0.4,0.5]$，$[0.4,0.5]$，$\tilde{\beta}_2=[0.2,0.3]$，$[0.2,0.3]$，$S'''(E(\tilde{\beta}_1))=S'''(E(\tilde{\beta}_2))=0$，即记分函数不能对$\tilde{\beta}_1$和$\tilde{\beta}_2$进行比较，存在着局限性。为解决这类特殊情况，用精确函数来弥补。

定义7 设$\tilde{\beta}_i=[a_i,b_i],[c_i,d_i]$为一个区间模糊数，则区间直觉模糊数的精确函数为：

$$H'''(E(\tilde{\beta}_i))=(a_i+c_i+b_i+d_i)/2\tag{12}$$

其中：$H'''(E(\tilde{\beta}_i))\in[-1,1]$。显然，$H'''(E(\tilde{\beta}_i))$的值越大，$E(\tilde{\beta}_i)$也越大。若$H'''(E(\tilde{\beta}_i))=1$时，则$\tilde{\beta}_i$取最大值$[1,1]$，$[0,0]$；$H'''(E(\tilde{\beta}_i))=-1$时，则$\tilde{\beta}_i$取最小值$[0,0]$，$[1,1]$。但当$\tilde{\beta}_1=[0.4,0.5]$，$[0.4,0.5]$，$\tilde{\beta}_2=[0.2,0.3]$，$[0.2, 0.3],$H'''(E(\tilde{\beta}_1)) > H'''(E(\tilde{\beta}_2))$,即$\tilde{\beta}_1 > \tilde{\beta}_2$,精确函数弥补了记分函数的不足。

3 基于直觉模糊数的多目标决策方法

设$A = \{A_1, A_2, \cdots, A_m\}$为决策目标集,$C = \{c_1, c_2, \cdots, c_n\}$为约束属性条件[8],属性权重$\omega_j$不能完全确定,但却知$\omega_j \in [c_j, d_j]$,其中$0 \leqslant c_j \leqslant d_j \leqslant 1$,$\omega_1 + \omega_2 + \cdots + \omega_m = 1$。设决策目标$A_i$在约束条件C下的属性值用三角模糊数表示为:

$$A_i = (r_{i1}, r_{i2}, \cdots, r_{in}) = \{(c_{i1}[a_{i1}, b_{i1}, c_{i1}], [l_{i1}, p_{i1}, q_{i1}]), \cdots, (c_{ij}[a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}], [l_{ij}, p_{ij}, q_{ij}]), \cdots, (c_{in}[a_{in}, b_{in}, c_{in}], [l_{in}, p_{in}, q_{in}])\}$$

用区间模糊数表示为:

$$A_i = (r_{i1}, r_{i2}, \cdots, r_{in}) = \{(c_{i1}[a_{i1}, b_{i1}], [c_{i1}, d_{i1}]), \cdots, (c_{ij}[a_{ij}, b_{ij}], [c_{ij}, d_{ij}]), \cdots, (c_{in}[a_{in}, b_{in}], [c_{in}, d_{in}])\}$$

决策者要在决策集S中选择一个目标同时满足约束条件$c_1, c_2, \cdots, c_n$。

3.1 定量化处理属性权重

首先在属性权重取值区间集合$B = \{[c_1, d_1], [c_2, d_2], \cdots, [c_m, d_m]\}$上建立属性区间集合B相对于总目标的重要程度,隶属度$B[c_j, d_j]$表示第i个属性指标相对于总目标的相对重要的隶属程度。$B[c_j, d_j]$的计算公式为:

$$B[c_j, d_j] = (1-\alpha) \times \frac{c_j - c_{\min}}{c_{\max} - c_{mix}} + \alpha \times \frac{d_j - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \tag{13}$$

其中,$c_{\min} = \min\limits_{1 \leqslant j \leqslant m} c_j$,$c_{\max} = \max\limits_{1 \leqslant j \leqslant m} c_j$,$d_{\min} = \min\limits_{1 \leqslant j \leqslant m} d_j$,$d_{\max} = \max\limits_{1 \leqslant j \leqslant m} d_j$。$\alpha$为乐观系数,$0 \leqslant \alpha \leqslant 1$:$\alpha = 1$表示决策者是乐观决策者;$\alpha = 0$表示决策者是悲观决策者;$\alpha = 0.5$表示决策者既不乐观,也不悲观[9]。

然后对属性的相对重要的隶属度$B[c_j, d_j](j = 1, 2, \cdots, m)$作归一化处理[10],确定属性的定量化权重值$\omega_j$,计算公式为:

$$\omega_j = \frac{B[c_j, d_j]}{\sum_{j=1}^{m} B[c_j, d_j]} \tag{14}$$

属性权重定量化处理之后,再按照3.2~3.3节介绍的三角模糊数和区间模糊数的多目标决策方法进行决策。

3.2 三角模糊数的多目标决策方法

三角模糊数的多目标决策步骤为如下所示。

步骤1　利用1.1.3节三角模糊集的运算规则对决策矩阵$\boldsymbol{R} = \sum_{i=1}^{m} A_i \left(\sum_{j=1}^{n} r_{ij} \right)$第$i$行的属性进行加权求和集结(简称FIFWAA算子),得到新的决策矩阵$\vec{\boldsymbol{R}} = \sum_{i=1}^{m} \vec{A}_i$,其属性仍为三角模糊数,即$[\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i], [\bar{l}_i, \bar{p}_i, \bar{q}_i](i = 1, 2, \cdots, m)$。其中

$$\vec{A}_i = \sum_{j=1}^{n} r_{ij} = \left[\sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{\omega_j} - \prod_{j=1}^{n} a_{ij}^{\omega_j}, \sum_{j=1}^{n} b_{ij}^{\omega_j} - \prod_{j=1}^{n} b_{ij}^{\omega_j}, \sum_{j=1}^{n} c_{ij}^{\omega_j} - \prod_{j=1}^{n} c_{ij}^{\omega_j} \right] \left[\prod_{j=1}^{n} l_{ij}^{\omega_j}, \prod_{j=1}^{n} p_{ij}^{\omega_j}, \prod_{j=1}^{n} q_{ij}^{\omega_j}) \right] \tag{15}$$

其中:ω_j为属性c_j的权重,$\omega_j \in [0,1]$且$\sum_{j=1}^{n} \omega_j = 1$。

步骤2　计算新决策矩阵$\vec{\boldsymbol{R}} = \sum_{i=1}^{m} \vec{A}_i$中每个决策目标$\vec{A}_i$所对应的记分函数和精确函数值,并进行排序,其方法为:

1)按式(9)计算记分函数$S(E(\vec{A}_i))$的值,并对$S(E(\vec{A}_i))$值进行大小排序,最大值对应的方案就是最佳目标。

2)若出现$S(E(\vec{A}_i)) = S(E(\vec{A}_k))$,则按式(10)计算精确函数$H(E(\vec{A}_i))$值,最大值对应的方案为最佳方案。

步骤3　根据$S(E(\vec{A}_i))$、$H(E(\vec{A}_i))$函数值排序,确定最佳方案。

3.3 区间模糊数的多目标决策的方法

区间模糊数的多目标决策步骤为:

步骤1　按照1.1.4节中区间模糊集的运算规则对决策矩阵$\boldsymbol{R} = \sum_{i=1}^{m} A_i \left(\sum_{j=1}^{n} r_{ij} \right)$第$i$行的属性进行加权几何集结(简称FIFWGA算子),得到新的决策矩阵$\vec{\boldsymbol{R}} = \sum_{i=1}^{m} \vec{A}_i$,其属性为区间模糊数,即$[\bar{a}_i, \bar{b}_i], [\bar{c}_i, \bar{d}_i](i = 1, 2, \cdots, m)$。其中:

$$\vec{A}_i = \prod_{j=1}^{n} r_{ij} = \left[\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^{\omega_j}, \prod_{j=1}^{n} b_{ij}^{\omega_j} \right] \left[\sum_{j=1}^{n} c_{ij}^{\omega_j} - \prod_{j=1}^{n} c_{ij}^{\omega_j}, \sum_{j=1}^{n} d_{ij}^{\omega_j} - \prod_{j=1}^{n} d_{ij}^{\omega_j} \right] \tag{16}$$

其中:ω_j为属性c_j的权重,$\omega_j \to [0,1]$且$\sum_{j=1}^{n} \omega_j = 1$。

步骤2　按式(11)求新决策矩阵$\vec{\boldsymbol{R}} = \sum_{i=1}^{m} \vec{A}_i$中每个决策目标$\vec{A}_i$所对应的记分函数$S'''(E(\vec{A}_i))(i = 1, 2, \cdots, m)$的值,然后对$S'''(E(\vec{A}_i))$值进行排序,最大值对应的方案就是最佳目标。若出现$S'''(E(\vec{A}_i)) = S'''(E(\vec{A}_k))$,再按照式(12)计算$A_i$目标的精确函数$H'''(E(\vec{A}_i))(i = 1, 2, \cdots, m)$的值,然后排序,最大值对应的方案就是最佳目标。

步骤3　按照$S'''(E(\vec{A}_i))$和$H'''(E(\vec{A}_i))$函数排序,确定最佳目标。

4 实例分析

下面举例说明用三角和区间直觉模糊集改进算子进行多目标决策方法的有效性。供应商选择问题是一个典型的多准则、多目标决策问题[11],产品价格、运输成本和订购成本是选择供应商最重要的准则,通过科学的决策方法选择合适的供应商是供应链领域的研究热点[12]。本文用产品价格(C_1)、运输成本(C_2)、订购成本(C_3)共3项成本指标来反映供应商的竞争实力。各指标权重取值范围为$0.34 \leqslant \omega_1 \leqslant 0.45$,$0.28 \leqslant \omega_2 \leqslant 0.4$,$0.16 \leqslant \omega_3 \leqslant 0.30$,现有3个供应商($A_1$, A_2, A_3),每个供应商指标信息用三角或用区间模糊数表示,如表1、2所示。试确定选择哪个供应商。

表1　用三角模糊数描述供应商指标

供应商	成本指标		
	C_1	C_2	C_3
A_1	(0.5,0.6,0.7)	(0.6,0.7,0.8)	(0.3,0.4,0.4)
	(0.1,0.2,0.3)	(0.1,0.1,0.2)	(0.2,0.3,0.4)
A_2	(0.4,0.5,0.6)	(0.5,0.6,0.6)	(0.5,0.6,0.7)
	(0.1,0.2,0.3)	(0.1,0.2,0.3)	(0.1,0.2,0.3)
A_3	(0.7,0.7,0.8)	(0.5,0.6,0.7)	(0.5,0.5,0.6)
	(0.1,0.1,0.2)	(0.1,0.1,0.2)	(0.2,0.3,0.3)

(下转第1352页)

参考文献:

[1] CHAN C K, CHENG L M. Hiding data in images by simple LSB substitution[J]. Pattern Recognition, 2004,37(3):469-474.

[2] LIU Q Z, SUNG A H, CHEN Z X, *et al.* Feature mining and pattern classification for steganalysis of LSB matching steganography in grayscale images [J]. Pattern Recognition, 2008,41(1):56-66.

[3] 邹娟,贾世杰.基于LSB图像隐藏系统的设计与实现[J].计算机技术与发展,2007,17(5):114-116.

[4] WANG R-Z, LIN C-F, LIN J-C. Image hiding by optimal LSB substitution and genetic algorithm [J]. Pattern Recognition, 2001, 34(3):671-683.

[5] 张涛,平西建,徐长勇.基于图像平滑度的空域LSB嵌入的检测算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2006,18(10):1607-1612.

[6] 王国新,平西建,许漫坤,等.一种利用相邻像素相关的隐写分析算法[J].信息工程大学学报,2007,8(1):56-58.

[7] 李晓霞,王建军.一种抗RS攻击的隐写算法[J].系统工程与电子技术,2007,29(8):1358-1361.

[8] 罗向阳,高山青,刘镔,等.一种可抵御RS统计分析的图像信息隐藏方案[J].控制与决策,2007,22(4):424-435.

[9] 秦姣华,孙星明,程小艳.基于相邻像素统计特性的LSB隐写分析技术[J].系统仿真学报,2007,19(24):5856-5860.

[10] 张雅琴,杜新辉,刘宏凯.基于图像相邻像素差值的隐写分析[J].微计算机信息,2008,24(3):74-76.

[11] 朱刚,王道顺,陈光喜.基于位平面游程变化的LSB隐秘分析[J].计算机应用研究,2007,24(11):150-152.

[12] 严迪群,王让定.基于MSE下限的LSB隐藏算法的分析与性能评价[J].宁波大学学报:理工版, 2007,20(4):421-424.

[13] 祝玉新,孙星明,杨恒伏.基于Harr小波的彩色图像可逆水印算法[J].计算机应用研究,2007,24(6):165-169.

(上接第1275页)

表2 用区间模糊数描述供应商指标

供应商	成本指标		
	C_1	C_2	C_3
A_1	(0.5,0,6) (1.0,0.4)	(0.6,0.4) (0.5,0.6)	(0.3,0.7) (0.2,06)
A_2	(0.4,0.5) (0.7,0.6)	(0.5,0.6) (0.4,0.6)	(0.5,0.4) (0.1,0.5)
A_3	(0.7,0.4) (0.3,0.2)	(0.5,0.8) (0.7,0.8)	(0.6,0.5) (0.5,0.4)

首先,按式(13)、(14)对3个供应商成本属性权重取值区间进行定量化处理,确定当$\alpha = 0.5$时,每种成本属性权值,计算结果为:$\omega_1 = 0.25, \omega_2 = 0.35, \omega_3 = 0.4$。

然后,按照3.2节介绍的基于三角模糊数的多目标决策方法进行计算,步骤如下:

步骤1 按式(15)对原始决策矩阵$\boldsymbol{R} = \left(\sum_{i=1}^{3} A_i \left(\sum_{j=1}^{3} r_{ij} \right) \right)$进行计算,形成新的决策矩阵$\vec{\boldsymbol{R}} = \sum_{i=1}^{3} \vec{A}_i$:

$$\boldsymbol{R} = \begin{bmatrix} (0.503, 0.577, 0.632) & (0.132, 0.202, 0.286) \\ (0.527, 0.721, 0.597) & (0.224, 0.246, 0.349) \\ (0.597, 0.640, 0.716) & (0.175, 0.176, 0.224) \end{bmatrix}$$

步骤2 按式(9)计算各供应商的记分函数$S(E(\vec{A}_i))$即:

$S(E(\vec{A}_1)) = 0.3668$

$S(E(\vec{A}_2)) = 0.4605$

$S(E(\vec{A}_3)) = 0.4605$

当出现$S(E(\vec{A}_2)) = S(E(\vec{A}_3))$时,再按式(10)计算精确函数$H(E(\vec{A}_2))$、$H(E(\vec{A}_3))$值:

$H(E(\vec{A}_2)) = 0.4330$

$H(E(\vec{A}_3)) = 0.4605$

步骤3 按照多目标决策步骤,对供应商$A_i(i = 1, 2, 3)$进行排序,因$A_3 > A_2 > A_1$,故确定A_3为最佳供应商。

最后,按3.3节介绍的基于区间模糊数的多目标决策方法进行计算,由于篇幅有限,计算过程省略,排序结果与采用基于三角模糊数的多目标决策方法得出的决策结果相吻合。

4 结语

本文定义了直觉模糊集两个改进算子:三角模糊数加权算术平均算子(FIFWAA)和区间直觉模糊数加权几何平均算子(FIFWGA)。在此基础上,提出用精确函数解决记分函数无法决策的问题,以保证记分函数的严密性与合理性。给出了一种属性权重不完全确定且属性值以三角和区间直觉模糊数给出的多目标决策方法,通过实例分析结果证明了运用直觉模糊集改进算子进行多目标决策方法的有效性和正确性。有关直觉模糊集数据缺少的MCDM问题有待今后进一步深入研究。

参考文献:

[1] 王坚强.模糊多准则决策方法研究综述[J]. 控制与决策,2008,23(6):601-606.

[2] 汪新凡.模糊数直觉模糊几何集成算子及其在决策中的应用[J].控制与决策,2008,23(6):609-6612.

[3] XU Z S. Intuitionistic fuzzy aggregation operators [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2007, 15 (6) : 1-10.

[4] XU Z S, YAGER R R. Some geometric aggregationoperations based on intuitionistic fuzzy sets[J]. International Journal of General Systems, 2006, 35 (4) : 417-433.

[5] 徐泽水. 区间直觉模糊信息的集成方法及其在决策中的应用[J]. 控制与决策, 2007, 22 (2): 215-219.

[6] 徐泽水, 陈剑. 一种基于区间直觉判断矩阵的群决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27 (4): 126-133.

[7] 刘锋, 袁学海. 模糊数直觉模糊集[J]. 模糊系统与数学, 2007, 21 (1) : 88-91.

[8] 刘华文.多目标模糊决策的Vague集方法[J].系统工程理论与实践.2004.24(5):103-106.

[9] 李荣钧. 模糊多属性决策理论与应用[M].北京: 科学出版社, 2002.

[10] 刘宝碇, 赵瑞清, 王纲. 不确定规划及应用[M].北京: 清华大学出版社,2003.

[11] 王刚,郭晓玲.物流服务供应商的选择和评估——基于层次分析法[J].金融经济.2008.28(16): 113-115.

[12] 徐海滨.我国大豆进口影响因素程度分析[J].粮油食品科技.2008 16(4): 65-68.