文章编号: 1001-0920 (2012) 02-0182-05

基于信息还原算子的多指标区间灰数关联决策模型

杨保华, 方志耕, 周 伟, 刘 健
(南京航空航天大学 经济与管理学院，南京 210016)

摘 要: 针对区间灰数加减逆运算结果存在偏差这一问题, 通过对加减逆运算等式两边区间灰数模之间关系的分析, 设计了区间灰数加减逆运算的信息还原算子, 并证明了该算子的正确性; 在此基础上, 根据灰色关联度的理论, 提出了基于信息还原算子的区间灰数序列关联度的计算方法, 研究了具有区间灰数的多指标决策问题, 建立了多指标区间灰数关联决策模型; 最后, 通过实例验证了该模型的有效性与实用性.

关键词: 区间灰数；信息还原算子；理想点；关联度
中图分类号: C934 **文献标识码:** A

Incidence decision model of multi-attribute interval grey number based on information reduction operator

YANG Bao-hua, FANG Zhi-geng, ZHOU Wei, LIU Jian
(College of Economics and Management，Nanjing University of Aeronautics and Astronautics，Nanjing 210016, China．Correspondent：YANG Bao-hua，E-mail：mathyang@126.com)

Abstract: For the morbidity of addition and subtraction inverse operation for the interval grey number, the relationship of modulus on both sides of the operation equation is analyzed. A kind of optimize operator is introduced, and it's accuracy and precision are proved. Based on the grey incidence degree theories, the computing method for the degree of interval grey number incidence is developed by use of the optimize operator. Meanwhile, incidence decision problems of multi-attribute interval grey number are studied, and the incidence decision making model of multi-attribute interval grey number is set up. Finally, examples illustrate the effectiveness and practicability of proposed model.

Key words: interval grey number；information reduction operator；ideal point；relational degree

1 引 言

决策贯穿于几乎所有人类活动的领域与过程. 而由于决策环境的复杂性和不确定性, 决策者往往无法给出效果测度的具体数值, 使得决策信息经常表现为区间灰数[1-4]. 但是, 由于区间灰数基本运算的不可逆性, 即求逆中会产生较大的信息失真现象, 导致许多基于区间灰数决策问题的研究工作无法进一步深入展开. 因此, 本文对基于信息还原算子的区间灰数关联决策模型的研究具有一定的理论价值和实际意义.

灰色关联决策问题已成为现代决策科学中的一个研究热点[5-8]. 文献 [2] 引进极大灰区间数向量范数和极小灰区间数向量范数, 通过构建出灰区间数的正理想区间方案和负理想区间方案进行决策; [3] 通过构造区间型最优理想方案, 将区间数作为一个整体寻求最优决策方案, 并给出了基于灰区间数的灰色关联决策方法和模型. [9] 针对复杂产品方案设计中属性信息的不完全性和不确定性, 构建了综合考虑灰色信息的正负理想区间方案, 从整体性的角度获得最优决策方案. [10] 将区间型决策矩阵转化为带心态指标的决策矩阵, 客观地确定了属性的权重, 并给出了各方案的排序结果. [11] 分别从相似性和接近性两个不同视角测度序列之间的相互关系, 构造了一类新的灰色关联分析模型.

事实上, 在利用灰色关联分析模型进行决策分析时, 都不可避免地进行数据的加减处理. 但对于区间灰数, 按照经典运算法则进行运算时存在信息失真的现象, 进而可能导致错误的决策结果. 因此, 本文通过对区间灰数加减求逆运算进行分析, 找出造成运算结

收稿日期: 2010-09-18；**修回日期:** 2010-12-20.
基金项目: 国家自然科学基金项目(90924022, 70971064, 70901041).
作者简介: 杨保华(1979−), 男, 博士生, 从事决策方法、应急管理的研究；方志耕(1962−), 男, 教授, 博士生导师, 从事灰色系统、博弈论等研究.

果失真的原因, 并在此基础上设计了区间灰数加减逆运算信息还原算子. 同时, 结合灰色关联分析模型研究的最新进展, 研究了基于相似性和接近性视角的区间灰数序列的灰色决策模型. 最后, 通过实例验证了该方法的有效性和实用性.

2 区间灰数加减逆运算信息还原算子的构造

考虑 3 个区间灰数 $A\in[2,4]$, $B\in[3,6]$, $C\in[5,10]$, 按照经典的区间灰数加运算法则[5,10]有 $A+B=C$. 考察等式 $A+X=C$, 如果求逆运算不产生信息失真, 则求解出的结果应为 $X=B$. 而事实上按照经典的区间灰数的减法运算, 结果为 $X\in([5,10]-[2,4])=[1,8]\neq B(\supset B)$. 同样对等式 $X-B=A$, 按照传统区间灰数加减法运算法则求解结果为 $X\in[8,7]\neq C$, 且为虚区间灰数 (左端点大于右端点). 从这一算例可以看出,按传统定义的区间灰数加减运算法则进行求逆运算, 会出现信息失真或者产生虚区间灰数, 必须对传统的逆运算结果进行修正, 才能获得结果的真实信息.

2.1 区间灰数的基本运算[12]

定义 1　记 $\otimes\in[a^L,a^U],a^U>a^L$, 称 $\otimes$ 为一个区间灰数, 若 $a^U=a^L$, 则 $\otimes$ 退化为一个实数. 可见任意一个实数都是一个区间灰数.

设 $\otimes_1\in[a^L,a^U]$, $\otimes_2\in[b^L,b^U]$, 则:

法则 1　$\otimes_1=\otimes_2$, 当且仅当 $a^L=b^L,a^U=b^U$.

法则 2　$\otimes_1+\otimes_2=[a^L+b^L,a^U+b^U]$.

法则 3　$\otimes_1-\otimes_2=[a^L-b^U,a^U-b^L]$.

法则 4　$\otimes_1-\otimes_1=0$.

定义 2　对任意一个区间灰数 $\otimes\in[a^L,a^U]$, $a^U>a^L$, 则称 $|\otimes|=|a^U-a^L|$ 为区间灰数 $\otimes$ 的模, 简记为 $|\otimes|$, 区间灰数的模也称为区间灰数的区间长度.

设区间灰数 $\otimes_1\in[a^L,a^U]$, $\otimes_2\in[b^L,b^U]$, 则用 $d(\otimes_1,\otimes_2)=\sqrt{((a^L-b^L)^2+(a^U-b^U)^2)/2}$ 表示区间灰数 $\otimes_1$ 和 $\otimes_2$ 的区间距离. 显然 $d(\otimes_1,\otimes_2)$ 越大, $\otimes_1$ 和 $\otimes_2$ 的区间距离程度就越大, 当 $d(\otimes_1,\otimes_2)=0$ 时, 有 $a^L=b^L$, $a^U=b^U$, 即 $\otimes_1=\otimes_2$.

定义 3　在含有区间灰数 $\otimes\in[a^L,a^U],a^U>a^L$ 的等式中, 等式左边 (或右边) 既含有区间灰数又含有未知数, 需要通过相反的运算求出该未知数, 并保持等式成立, 这种相反的运算称为区间灰数的逆运算.

由定义 3 可知, 区间灰数的加减逆运算存在以下 3 种基本形式:

$$\otimes_1+x_1=\otimes_2,\ \otimes_3-x_2=\otimes_4,\ x_3-\otimes_5=\otimes_6.$$

2.2 区间灰数加减逆运算信息还原算子的构造

定理 1　任给 $k(k\geqslant 2)$ 个区间灰数 $\otimes_i\in[a_i,b_i]$, $b_i\geqslant a_i$, $i=1,2,\cdots,k$, 定义它们之间的加减运算按法则 2 和法则 3 进行, 则有等式两边区间灰数的区间长度之和相等, 即 $\sum|\otimes_i|_L=\sum|\otimes_j|_R$, 其中 $|\otimes_i|_L$ 表示等式左端第 i 个区间灰数的长度.

证明　对 k 个区间灰数 $\otimes_i\in[a_i,b_i],a_i\leqslant b_i,1\leqslant i\leqslant k$, 根据一般区间灰数的运算法则有

$$[a_1,b_1]+\cdots+[a_k,b_k]=$$
$$[a_1+\cdots+a_k,b_1+\cdots+b_k],\tag{1}$$
$$[a_1,b_1]-\cdots-[a_k,b_k]=$$
$$[a_1-b_2-\cdots-b_k,b_1-a_2\cdots-a_k].\tag{2}$$

由式 (1) 和 (2) 可知, 两等式左边区间灰数的区间长度之和为 $\sum(b_k-a_k)$; 两等式右边区间灰数的区间长度之和为 $\sum(b_k-a_k)$. 因此, 对两等式均有 $\sum|\otimes_i|_L=\sum|\otimes_j|_R$ 成立.

同理可以证明, 对于含有加减混合运算的代数式, 上述结论仍成立, 即区间灰数加减运算定有两边区间灰数的长度一致. 由此定理得证. □

由定理 1 可知, 区间灰数之间通过加减运算后, 所得结果的模大于各因子的模, 即结果的不确定性增大.

推论 1　在区间灰数加减求逆运算中, 加法等式中和的模一定不小于等式左端已知因子的模 (或减法等式中差的模一定不小于等式左端已知因子的模), 否则所得解为虚区间灰数, 即所得区间灰数解的左端点大于右端点.

证明　假设 3 个区间灰数 $A\in[a,b],b\geqslant a$; $X,C\in[e,f],f\geqslant e$. 记 C 为 $A+X$ 的和, 即 $A+X=C$; 令 $X\in[x,y]$, 有 $|X|=y-x$. 根据定理 1 可知, A,X 和 C 之间的模应满足 $|A|+|X|=|C|$, 即有 $|X|=|C|-|A|$. 若 $|C|<|A|$, 则 $|X|=y-x=|C|-|A|<0$, 即 $y<x$, X 为虚区间灰数. 利用类似的方法, 对于减法等式的求逆运算, 可得到相同的结论.

推论 2　在区间灰数加减逆运算中, 若不产生信息失真和虚区间灰数, 则和的模 (或差的模) 一定不小于等式左端已知因子的模.

定义 4　若区间灰数逆运算的结果同时满足: 1) 使得定理1所述的模运算关系成立; 2) 将其代入原运算等式中, 按照区间灰数加减运算法则 2 和法则 3 进行运算, 使得原运算等式成立, 则称区间灰数逆运算结果是正确的.

引理 1　在区间灰数加/减法的求逆运算中, 若按一般加/减法运算法则 (法则 2 和法则 3) 进行求解,

则求得的结果与精确值相比会出现信息虚增, 且虚增信息长度为 $2w$, 其中 w 表示等式左端已知因子的模.

证明 在区间灰数加法求逆运算中

$$[a,b]+[x,y]=[c,d], \tag{3}$$

其中 $a<b$ (因为 $a=b$ 时, 属于白数与区间灰数的简单加法逆运算, 不属于本文研究范围), 求 $[x,y]$.

由一般的区间灰数求逆方法可得 $[x,y]=[c,d]-[a,b]=[c-b,d-a]$, 将求逆结果代入式 (3) 可知, 式 (3) 不成立且该结果也不满足定理 1.

事实上, $[x,y]$ 的精确值应为 $[x,y]=[c-a,d-b]$, 通过比较两者可知, 其区间灰数加法一般逆运算结果与所需精确还原值相比, 区间灰数的右端点被放大了 $(b-a)$ 的距离, 区间灰数的左端点被缩小了 $(b-a)$ 的距离, 即出现信息虚增, 且虚增信息长度为 $2(b-a)$.

同理可证, 对于 $[x,y]-[a,b]=[c,d]$, $[a,b]-[x,y]=[c,d]$ 的求逆运算, 按照运算法则 2 和法则 3 进行求解, 其结果与精确值相比也会出现信息虚增长度 $2w$, 即 $2(b-a)$. □

定理 2 在区间灰数加减逆运算求解中, 先按照一般区间灰数加减运算法则进行求解, 在最后所得的区间灰数中, 将左端点加上 w, 右端点减去 w, 即可得到真实解, 其中 w 为等式左端已知因子的模, 也称信息还原算子.

证明 由引理 1 可知, 运用信息还原算子所得的求逆结果满足原运算等式, 并且满足定理 1, 即信息还原算子同时满足定义 4 的两个条件. 因此, 该信息还原算子是正确的.

由定理 2 可知, 对于区间灰数的加减求逆运算, 可先利用经典运算法则进行运算, 然后加入信息还原算子对一般逆运算结果进行修正, 即可获得真实解.

3 基于区间灰数加减逆运算信息还原算子的灰色关联决策模型

3.1 区间灰数关联度模型构建

定义 5 对于任一多属性区间灰数决策矩阵 $A(\otimes)=(a_{ij}(\otimes))_{m\times n}$, 如果: 1) 当 $x_j^*\in[a_j^{*L},a_j^{*U}]=[\max(a_{ij}^L),\max(a_{ij}^U)]$, $i=1,2,\cdots,m$ 时, 称 x_j^* 为正理想点; 2) 当 $x_j^*\in[a_j^{*L},a_j^{*U}]=[\min(a_{ij}^L),\min(a_{ij}^U)]$, $i=1,2,\cdots,m$ 时, 称 x_j^* 为负理想点. 则称由理想点 x_j^* 构成的序列为理想特征序列, 即 $x(\otimes)^*=(x_1^*,x_2^*,\cdots,x_m^*)$.

设 $x_0(\otimes)=(x_0(1),x_0(2),\cdots,x_0(n))(x_0(i)\in[x_{0i}^L,x_{0i}^U])$ 为由区间灰数构成的系统行为特征序列 (参考序列), 比较序列如下所示:

$$x_1=(x_1(1),x_1(2),\cdots,x_1(n)),$$
$$\vdots$$
$$x_m=(x_m(1),x_m(2),\cdots,x_m(n)).$$

其中

$$x_i(k)\in[x_{ik}^L,x_{ik}^U],\ i=0,1,\cdots,m,k=1,2,\cdots,n.$$

定义 6 设系统行为序列 $X_i=(x_i(1),x_i(2),\cdots,x_i(n))$, D 为序列算子, 且

$$X_iD=(x_i(1)d,x_i(2)d,\cdots,x_i(n)d),$$

其中 $x_i(k)d=x_i(k)-x_i(1),k=1,2,\cdots,n$. 则称 D 为初始点零化算子, X_iD 为 X_i 的始点零化像, 记为 $X_iD=X_i^0=(x_i^0(1),x_i^0(2),\cdots,x_i^0(n))$, 其中 $x_i^0(j)$ 满足 $x_i^0(j)+x_i(1)=x_i(j),j=1,2,\cdots,n$.

设 X_i 与 $X_j\,(i\neq j)$ 的长度相同, 且皆为 1-时距区间灰数行为序列, $X_i^0=(x_i^0(1),\cdots,x_i^0(n))$ 和 $X_j^0=(x_j^0(1),\cdots,x_j^0(n))$ 分别为 X_i 与 X_j 的始点零化像, 令

$$\alpha=\sum_{k=2}^{n-1}(x_i^0(k)-x_j^0(k))+\frac{1}{2}(x_i^0(n)-x_j^0(n)),$$

$$\beta=\sum_{k=2}^{n-1}(x_i(k)-x_j(k))+\frac{1}{2}(x_i(n)-x_j(n)),$$

则有

$$|d_i-d_j|=d((x_i^0(1)-x_i^0(1)),\alpha), \tag{4}$$

$$|D_i-D_j|=d((x_i(1)-x_i(1)),\beta). \tag{5}$$

定义 7 设 X_i 与 $X_j\,(i\neq j)$ 的长度相同, 且皆为 1-时距区间灰数行为序列, 则称 $\varepsilon_{ij}=1/(1+|d_i-d_j|)$ 为基于相似性视角的区间灰数关联度, 简称为区间相似关联度, 其中 $|d_i-d_j|$ 如式 (4) 所示; 称 $\rho_{ij}=1/(1+|D_i-D_j|)$ 为基于相近性视角的区间灰数关联度, 简称为区间相近关联度, 其中 $|D_i-D_j|$ 如式 (5) 所示.

定理 3 区间灰数序列的相似关联度 $\varepsilon_{ij}\,(\varepsilon_{ij}=1/(1+|d_i-d_j|))$ 和区间灰数序列的相近关联度 $\rho_{ij}\,(\rho_{ij}=1/(1+|D_i-D_j|))$ 满足关联四公理——规范性、整体性、偶对称性和接近性.

定理 4 设 X_i 与 $X_j\,(i\neq j)$ 的长度相同, 且皆为 1-时距区间灰数行为序列, 当 $x_j(k)=x_j(k)^L=x_j(k)^U$, $x_i(k)=x_i(k)^L=x_i(k)^U$ 时, 区间灰数序列的区间相似关联度 ε_{ij} 和区间相近关联度 ρ_{ij} 转化为一般实数序列的相似关联度和相近关联度.

由定理 4 可知, 一般实数序列的灰色相似关联度和相近关联度[11] 是区间灰色序列的区间相似关联度和区间相近关联度的特殊情形.

3.2 区间灰数序列关联度决策模型步骤

Step 1: 将区间灰数决策矩阵 $A(\otimes)_{n\times m}$ 转化为无量纲规范化矩阵 $R(\otimes)=(r_{ij}(\otimes))_{n\times m}$, 其中 $r_{ij}(\otimes)=[r_{ij}^L,r_{ij}^U]$.

对于效益型

$$\begin{cases} r_{ij}^L=\dfrac{a_{ij}^L}{\max a_{ij}^U},\ i=1,2,\cdots,n,\ j=1,2,\cdots,m; \\ r_{ij}^U=\dfrac{a_{ij}^U}{\max a_{ij}^U},\ i=1,2,\cdots,n,\ j=1,2,\cdots,m. \end{cases} \tag{6a}$$

对于成本型

$$\begin{cases} r_{ij}^L=\dfrac{\min a_{ij}^L}{a_{ij}^U},\ i=1,2,\cdots,n,\ j=1,2,\cdots,m; \\ r_{ij}^U=\dfrac{\min a_{ij}^L}{a_{ij}^L},\ i=1,2,\cdots,n,\ j=1,2,\cdots,m. \end{cases} \tag{6b}$$

Step 2: 对各方案 $x_i(i=1,2,\cdots,n)$ 的属性值进行集结, 求其综合属性值 $z_i(\otimes), i=1,2,\cdots,n$. $\omega_j(j=1,2,\cdots,m)$ 为属性 j 在决策中的重要度, 满足 $\sum\omega_j=1$. 其中 $z_i(\otimes)=\omega_j\cdot r_{ij}, i=1,2,\cdots,n, j=1,2,\cdots,m$.

Step 3: 利用定义 5 确定区间灰数的正理想特征序列 (理想方案) x^*.

Step 4: 利用区间灰数逆运算的信息还原算子, 结合定义 6, 求各序列的始点零化像.

Step 5: 根据式 (4) 和 (5), 求出理想序列 x^* 与行为序列 x_i 对应的 $|d_{x_i}-d_{x^*}|$ 和 $|D_{x_i}-D_{x^*}|$.

Step 6: 计算基于区间灰数逆运算信息还原算子的区间相似关联度 $\varepsilon(x^*,x_i)$ 和相近关联度 $\rho(x^*,x_i)$.

Step 7: 根据 $\varepsilon(x^*,x_i)$ 或 $\rho(x^*,x_i)$ 的值, 对待决策方案 $U=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$ 进行排序和择优.

4 应用案例

某购房者决策 (房屋购买) 问题: 现有 6 类住宅区 (对象) 可供选择, 分别用 $U=\{x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6\}$ 表示, 购房者主要考虑的指标集为 $C=\{c_1,c_2,c_3,c_4\}$, 即该地址距学校、工作单位、超市、银行、医院等地点加权总距离 c_1(km), 该楼盘均价 c_2 (单位面积价格:万元/m^2), 综合环境及配置采光等形成对房屋的标准指数 c_3 (水平), 房屋面积 c_4 (m^2). 在这里, 加权总距离 c_1 与楼盘均价 c_2 是成本型指标, 房屋标准指数 c_3 与房屋面积 c_4 为效益型指标. 购房者对各住宅区的直观测数量化指标如表 1 所示, 试确定可购买对象.

Step 1 由式 (6) 对上述决策矩阵 $A(\otimes)_{6\times4}$ 进行规范化处理, 得到规范化后矩阵 $R=(r_{ij})_{6\times4}$.

已知购房者对房屋 4 个参考因素的权重为 $\omega_1=0.35,\omega_2=0.25,\omega_3=0.18,\omega_4=0.22,\sum\limits_{i=1}^{4}\omega_i$.

表 1 直观测数量化指标

U	c_1	c_2	c_3	c_4
x_1	[15,18]	[0.6,0.7]	[6,8]	[60,90]
x_2	[18,21]	[0.6,0.8]	[7,8]	[90,120]
x_3	[3,3]	[1,1.2]	[7,8]	[75,90]
x_4	[24,30]	[0.4,0.6]	[4,5]	[120,150]
x_5	[15,21]	[0.6,0.7]	[5,7]	[120,135]
x_6	[18,21]	[0.6,0.9]	[8,10]	[75,105]

Step 2 对规范矩阵进行权重集结, 其综合属性值所得的加权规范化矩阵如表 2 所示.

表 2 加权规范化决策矩阵

U	c_1	c_2	c_3	c_4
x_1	[0.06,0.07]	[0.143,0.167]	[0.108,0.144]	[0.088,0.132]
x_2	[0.050,0.058]	[0.125,0.167]	[0.126,0.144]	[0.132,0.176]
x_3	[0.35,0.35]	[0.083,0.1]	[0.126,0.144]	[0.11,0.132]
x_4	[0.035,0.044]	[0.167,0.25]	[0.072,0.09]	[0.176,0.22]
x_5	[0.05,0.07]	[0.143,0.167]	[0.09,0.126]	[0.176,0.198]
x_6	[0.044,0.05]	[0.111,0.167]	[0.144,0.18]	[0.11,0.154]

Step 3 在加权规范化决策矩阵中, 分析提取理想特征序列

$$\begin{aligned} x^* &= ([0.35,0.35],[0.167,0.25], \\ &\quad [0.144,0.18],[0.176,0.22]). \end{aligned} \tag{7}$$

Step 4 利用区间灰数信息还原算子求各序列的始点零化像, 如表 3 所示.

表 3 各对象的始点零化像矩阵

U	c_1	c_2	c_3	c_4
x_0^*	0	[−0.183,−0.1]	[−0.206,−0.17]	[−0.174,−0.13]
x_1^0	0	[0.083,0.097]	[0.048,0.074]	[0.028,0.062]
x_2^0	0	[0.075,0.109]	[0.076,0.086]	[0.082,0.118]
x_3^0	0	[−0.259,−0.25]	[−0.224,−0.206]	[−0.24,−0.218]
x_4^0	0	[0.132,0.206]	[0.037,0.046]	[0.141,0.176]
x_5^0	0	[0.093,0.097]	[0.04,0.056]	[0.126,0.128]
x_6^0	0	[0.067,0.117]	[0.1,0.13]	[0.066,0.104]

Step 5 运用式 (4), 计算 $|d(x_i)-d(x^*)|$ $(i=1,2,\cdots,6)$, 可得如下结果:

$$d|x_0^*-x_1^0|=0.439,\ d|x_0^*-x_2^0|=0.472,$$

$$d|x_0^*-x_3^0|=0.09,\ d|x_0^*-x_4^0|=0.506,$$

$$d|x_0^*-x_5^0|=0.475,\ d|x_0^*-x_6^0|=0.478.$$

Step 6 计算基于区间距离的各对象与理想序列的相似关联度

$$\varepsilon_{*1}=0.695,\ \varepsilon_{*2}=0.679,\ \varepsilon_{*3}=0.917,$$

$$\varepsilon_{*4}=0.66,\ \varepsilon_{*5}=0.678,\ \varepsilon_{*6}=0.67.$$

Step 7 根据所得相对关联度结果进行排序, 得

$$\varepsilon_{*3}>\varepsilon_{*1}>\varepsilon_{*2}>\varepsilon_{*5}>\varepsilon_{*6}>\varepsilon_{*4}.$$

同理, 可以计算出基于区间距离的各对象与理想序列相近关联度 $\rho_{*1}=0.704,\ \rho_{*2}=0.71,\ \rho_{*3}=$

$0.838, \rho_{*4} = 0.717,\ \rho_{*5} = 0.712,\ \rho_{*6} = 0.711$. 根据所得相近关联度结果进行排序: $\rho_{*3} > \rho_{*4} > \rho_{*5} > \rho_{*6} > \rho_{*2} > \rho_{*1}$.

显然, 无论从相似性视角还是从相近性视角看, 第3类住宅区与理想方案最接近, 因此可以认为, 第3类住宅区的房屋为决策者的最优选择.

5 结 论

本文通过对区间灰数加减逆运算等式两边因子模的关系进行研究, 发现区间灰数加减逆运算等式两边区间灰数之间模关系的破坏是造成其运算结果失真的根本原因; 通过加入信息还原算子, 有效地解决了一般区间灰数加减逆运算中存在的信息失真问题. 在此基础上, 结合灰色系统关联度的有关知识, 提出了基于信息补偿算子的区间灰数相似关联度计算方法, 建立了多指标区间灰数关联决策模型, 取得了较好的效果. 本文方法为解决具有区间灰数多指标决策问题提供了一种科学、实用的决策方法及新的途径.

参考文献(References)

[1] Guo-dong Lia, Daisuke Yamaguchia, Masatake Nagaib. A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2007, 46(3/4): 573-581.

[2] 党耀国, 刘思峰, 刘斌. 多指标区间数关联决策模型的研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2004, 36(3): 403-406.
(Dang Y G, Liu S F, Liu B, et al. Study on incidence decision making model of multi-attribute interval number[J]. J of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2004, 36(3): 403-406.)

[3] 张吉军. 区间数多指标决策问题的灰色关联分析法[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(6): 1030-1033.
(Zhang J J. The method of grey related analysis to multiple attribute decision making problems with interval numbers[J]. Systems Engineering and Electronic, 2005, 27(6): 1030-1033.)

[4] Wang Ri Xin. Random process[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1993.

[5] 刘璐, 梅国栋. 基干灰色关联分析的煤自然发火气体预报指标研究[J]. 中国煤炭, 2007, 33(11): 69-73.
(Liu L, Mei G D. A study of coal spontaneous combustion gases prediction indices based on grey incidence analysis[J]. China Coal, 2007, 33(11): 69- 73.)

[6] 刘以安, 陈松灿, 杨华明. 灰色优势分析在多雷达低空小目标跟踪中的应用[J]. 南京航空航天大学学报, 2002, 34(4): 354-358.
(Liu Y A, Chen S C, Yang H M. Grey superior analysis of multi-radar low-altitude 1ittle target tracking systern[J]. J of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2002, 34(4): 354-358.)

[7] 史向峰, 申卯兴. 基于灰色关联的地空导弹武器系统的使用保障能力研究[J]. 弹箭与制导学报, 2007, 27(3): 83-85.
(Shi X F, Shen M X. Researches on the ensuring operations ability of ground to air missile weapon system based on grey incidence analysis[J]. J of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2007, 27(3): 83-85.)

[8] 苗晓鹏, 夏新涛. 基于灰色系统理论的圆锥滚子轴承振动控制方法的研究[J]. 机床与液压, 2006, (7): 236-237.
(Miao X P, Xia X T. Study on vibration control method of tapered roller bearings based on grey system theory[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2006, (7): 236-237.)

[9] 钟诗胜, 王体春, 丁刚. 基于多指标灰区间数关联决策模型的产品方案设计[J]. 控制与决策, 2008, 23(12): 1378-1382.
(Zhong S S, Wang T C, Ding G. Mechanism scheme design based on multi-attribute gray interval relevant optimized decision-making model[J]. Control and Decision, 2008, 23(12): 1378-1382.)

[10] 万树平. 区间型多属性决策的心态指标法[J]. 控制与决策, 2009, 24(1): 35-38.
(Wan S P. Method of attitude index for interval multi-attribute decision-making[J]. Control and Decision, 2009, 24(1): 35-38.)

[11] 刘思峰, 谢乃明, Forrest J. 基于相似性和接近性视角的新型灰色关联分析模型[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(5): 881-887.
(Liu S F, Xie N M, Forrest J. On new models of grey incidence analysis based on visual angle of similarity and nearness[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2010, 30(5): 881-887.)

[12] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
(Liu S F, Dang Y G, Fang Z G, et al. Grey system theory and its application[M]. Beijing: Science Press, 2010.)