文章编号: 1001-0920(2017)11-2034-05 **DOI:** 10.13195/j.kzyjc.2016.1186

基于决策粗糙集的多属性灰色关联聚类方法

刘 勇†, 王冬冬, 周 婷

(江南大学 商学院，江苏 无锡 214122)

摘 要: 针对多属性灰色关联聚类的阈值确定问题,利用决策粗糙集方法,通过引入两个阈值参数定义决策对象间的可能关系和集合;将其代替基于灰色关联聚类的非此即彼关系,构建基于决策粗糙集的多属性灰色关联聚类方法,并采用贝叶斯推理探讨多属性灰色关联聚类的阈值计算机理;最后以案例验证所提方法的有效性和合理性. 结果表明,所提出的方法是经典灰色关联聚类的拓展和泛化,能够客观、科学地确定多属性灰色关联聚类阈值.

关键词: 灰色关联聚类；阈值；决策粗糙集；贝叶斯推理

中图分类号: N94 **文献标志码:** A

Decision-theoretic rough set based multi-attribute grey incidence clustering method

LIU Yong†, *WANG Dong-dong*, *ZHOU Ting*

(School of Business，Jiangnan University，Wuxi 214122，China)

Abstract: With respect to the determination problems of threshold value on multi-attribute grey incidence clustering, based on the method of decision-theoretic rough set, by introducing two threshold parameters, the concepts of possible relationships and the classes set among objects are defined, which are exploited to substitute the one or the other relationship of grey incidence clustering method, and then a multi-attribute grey incidence clustering model based on decision-theoretic rough set is constrated. Further, Bayesian reasoning is utilized to study the computing mechanism of threshold value based on multi-attribute grey incidence clustering. Finally, an example is used to illustrate its feasibility and effectiveness. The results show that the proposed model is the expansion and generalization of the classic grey incidence clustering method, and can objectively and scientifically determine the threshold value of multi-attribute grey incidence clustering method.

Keywords: grey incidence clustering；threshold value；decision-theoretic rough set；Bayesian reasoning

0 引 言

多属性聚类决策存在于人们生活的各个方面,而现实世界是一个不确定性的世界,如何在不确定性决策环境下快速决策,已成为研究者和决策者需要解决的问题. 作为一种处理“小样本,贫信息”聚类问题的有效方法,灰色关联聚类是根据研究对象之间关联度的大小,通过设定阈值将对象聚为若干个可定义类别. 自灰色关联聚类提出以来,依其处理“小样本,贫信息”聚类问题的独特优势[1-2],便成为灰色系统研究的热点问题之一.

灰色关联聚类方法由邓聚龙教授首先提出,其利用灰色关联方法,通过给定灰色关联度的临界值检查对象是否属于事先设定的不同类别来确定对象所属类别[2]. 由于灰色关联模型是灰关联聚类的基础[3],大多数学者基于聚类的视角,考虑决策信息的不同类型来构建适用不同情形的灰色关联聚类方法. 具体而言,主要有两类灰色关联聚类方法; 1) 针对决策属性值呈现不同类型、决策不一致、属性权重确定等的多属性决策问题,设计适合该问题的灰色聚类模型. Luo[4] 利用灰色关联方法将经典灰色聚类的数据矩阵进行拓展,构建了为区间数的灰色区间聚类决策模型[4];王翯华等[5] 对群体规模较大的决策问题,为

收稿日期: 2016-09-18；**修回日期:** 2017-01-19.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71503103)；江苏省自然科学基金项目 (BK20150157)；江苏省社会科学基金项目 (14GLC008)；江苏省高校哲学社科重点项目 (2017ZDIXM017)；无锡市社科联招标课题成果 (17-A-05)；中央高校基本科研业务费专项基金项目 (2017JDZD06).

作者简介: 刘勇 (1985−), 男, 副教授, 博士, 从事冲突分析、软计算等研究；王冬冬 (1990−), 男, 硕士生, 从事冲突分析、供应链管理的研究.

†通讯作者. E-mail: clly1985528@163.com

了解决大规模群体的协调困难,构建了基于灰色关联聚类的方法;宋捷等[6]针对灰聚类指标权重的设定问题,基于决策者间差异度最小的思想,构建了多目标优化模型求解指标权重,进而给出了基于灰色关联度聚类方法. 2) 对于决策信息呈现时空特性的决策问题,基于面板数据的思想构建灰色关联聚类方法. 张可等[7]针对面板数据的多维特性,根据指标的几何特征相似性,构建了基于矩阵的扩展灰色关联分析模型,并利用其研究面板数据的聚类问题;吴利丰等[8]利用海塞矩阵定义凸度,用数据的凸性表征样本之间的相似程度,提出了三维灰色凸关联度;钱吴永等[9]将表征面板数据时空特征的“水平”距离、“增量”距离、“变异”距离引入灰色关联度分析模型,构建了基于时空特征的灰色矩阵关联分析模型,并探讨了模型性质;李雪梅等[10-11]构造所有指标不同对象下时间序列的累加生成序列,用生成序列的平均生成速率表征原序列的动态变化趋势,单个指标所有对象的平均生成速率构成该指标的平均生成速率序列,从而综合偏离、差离和分离的三重差异信息,构建指标关联分析模型,并提出了面板数据下Mean-AGRA灰色指标关联聚类算法.

纵观灰色关联聚类的相关文献,大多是基于关联度的大小,通过主观给定聚类阈值大小来确定对象类别. 但是,这种阈值的确定缺乏理论依据,以至于基于此类方法得到的聚类结果难以真正反映对象所属类别. 鉴于此,本文借鉴决策粗糙集模型的思想和方法[12-13],以两个参数描述和刻画聚类对象间的关系和集合,将其引入灰色关联聚类模型,提出构建基于决策粗糙集的多属性灰色聚类方法,并通过案例验证了所提出模型的有效性和合理性.

1　基于决策粗糙集的多属性灰色关联聚类方法

1.1　问题描述

设有一多属性决策信息系统$S=\{U,A,V\}$. 其中:$U=\{1,2,\cdots,i,\cdots,n\}$为决策方案或对象集合,且$n\geqslant 2$;$A=\{a_1,a_2,\cdots,a_j,\cdots,a_m\}$为属性集合,且$m\geqslant 2$;$\forall i\in U,\forall a_j\in A$,$v_{ij}$表示决策对象$i$关于属性$a_j$的观测值.

决策中,指标集中的各指标具有不同的量纲和属性,需要将原始效果样本矩阵进行初始化处理. 设x_i^j为v_{ij}的无量纲化值,可得无量纲化决策对象行为特征序列.

对于任意两个决策对象$i,k\in U$, $\forall a_j\in A$,设$\rho\in(0,1)$,则决策对象i,k关于属性a_j和属性集A的灰色关联系数和关联度分别为

$$\varepsilon_{ik}^j=\frac{\min\limits_i\min\limits_j|x_k^j-x_i^j|+\rho\max\limits_i\max\limits_j|x_k^j-x_i^j|}{|x_k^j-x_i^j|+\rho\max\limits_i\max\limits_j|x_k^j-x_i^j|}, \tag{1}$$

$$\varepsilon_{ik}^A=\frac{1}{m}\sum_{j=1}^m\varepsilon_{ik}^j. \tag{2}$$

由决策对象间的关联度,可得对象间的关联聚类.

定义1　设ε_{ik}^A表示决策对象i,k关于属性集合A的关联度,$\forall i,k\in U,A$,如果满足$\varepsilon_{ik}^A=\varepsilon_{ki}^A$,则称矩阵

$$\varepsilon=\begin{bmatrix}\varepsilon_{11}^A&\varepsilon_{12}^A&\cdots&\varepsilon_{1k}^A&\cdots&\varepsilon_{1n}^A\\ \varepsilon_{21}^A&\varepsilon_{22}^A&\cdots&\varepsilon_{2k}^A&\cdots&\varepsilon_{2n}^A\\ \vdots&\vdots&\ddots&\vdots&\ddots&\vdots\\ \varepsilon_{i1}^A&\varepsilon_{i2}^A&\cdots&\varepsilon_{ik}^A&\cdots&\varepsilon_{in}^A\\ \vdots&\vdots&\ddots&\vdots&\ddots&\vdots\\ \varepsilon_{n1}^A&\varepsilon_{n2}^A&\cdots&\varepsilon_{nk}^A&\cdots&\varepsilon_{nn}^A\end{bmatrix}$$

为对象间的灰色关联矩阵.

定义2　设ε为多属性特征对象关联矩阵,对$\forall i,k\in U,A,\alpha\in[0,1]$,如果$\varepsilon_{ik}^A\geqslant\alpha$,则称$i,k$为同一类,相应地,称多属性特征对象在临界值$\alpha$下的分类为多属性特征对象的$\alpha$灰色关联聚类.

α可以根据实际问题的需要确定,α越接近于1,分类越细,每一组分中的对象相对地越少;α越小,分类越粗,这时每一组分中的变量相对地越多. 一般$\alpha=0.5$.

由定义2可知,基于灰色关联分析的聚类方法,通过设定阈值α来确定存在肯定属于某个集合(类别)和一定不属于集合(类别)两种情况. 而实际上,对象不仅存在上述两种情况,还存在处于属于与不属于之间的情形,并且阈值α都是基于决策者主观给出的,缺乏理论依据. 为了更科学合理地反映对象所属类别和探讨阈值的计算机理,本文借鉴决策粗糙集的思想和方法,将两个参数α,β引入灰色关联聚类模型.

1.2　模型构建

定义3　设有一多属性决策信息系统$S=\{U,A,V\}$,$\forall i,k\in U,\forall a_j\in A,0\leqslant\beta\leqslant\alpha\leqslant 1$,则决策对象存在以下3种可能的关系:

1) 如果$\varepsilon_{ik}^j\geqslant\alpha,\varepsilon_{ik}^A\geqslant\alpha$,则决策对象$i,k$为同类关系;

2) 如果$\beta<\varepsilon_{ik}^j<\alpha$,$\beta<\varepsilon_{ik}^A<\alpha$,则决策对象$i,k$为不确定关系;

3) 如果$\varepsilon_{ik}^{j} \leqslant \beta, \varepsilon_{ik}^{A} \leqslant \beta$,则决策对象$i,k$为非同类关系.

相应地,可定义对象i的可能关系集合.

定义4 $\forall i \in U, A, 0 \leqslant \beta \leqslant \alpha \leqslant 1$,如果任意对象$k$与对象$i$关于属性集$A$的灰色关联度为$\varepsilon_{ik}^{A}$,则对象$i$关于属性集$A$的同类、可能同类、非同类可分别定义为

$$\mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}(i) = \{k \in U | \varepsilon_{ik}^{A} \geqslant \alpha\}, \tag{3}$$

$$\mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}(i) = \{k \in U | \beta < \varepsilon_{ik}^{A} < \alpha\}, \tag{4}$$

$$\mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}(i) = \{k \in U | \varepsilon_{ik}^{A} \leqslant \beta\}. \tag{5}$$

显然,当$\alpha = \beta$时,$\mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}(i) = 0$,灰色关联聚类方法退化为经典灰色关联聚类方法. 可见,经典灰色关联聚类方法是所构建模型的特例,而本文所构建的模型是经典灰色关联聚类的拓展和泛化.

对于任意对象i和对象集合U,随着参数值α,β的变化,对象i关于属性集A的同类、可能同类、非同类也会发生相应变化.

定理1 $0 \leqslant \beta_1 < \beta_2 < \alpha_2 < \alpha_1 \leqslant 1$,对于属性集$A, \forall i,k \in U$,有:

1) $\mathrm{SC}_A^{(\alpha_1,\beta_1)}(i) \subseteq \mathrm{SC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)}(i)$;

2) $\mathrm{UC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)}(i) \subseteq \mathrm{UC}_A^{(\alpha_1\beta_1)}(i)$;

3) $\mathrm{NC}_A^{(\alpha_1,\beta_1)}(i) \subseteq \mathrm{NC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)}(i)$.

证明 1) 由式(3),对于A,可得$\mathrm{SC}_A^{(\alpha_1,\beta_1)}(i) = \{k \in U | \varepsilon_{ik}^{A} \geqslant \alpha_1\}$和$\mathrm{SC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)} = \{k \in U | \varepsilon_{ik}^{A} \geqslant \alpha_2\}$. 对于任意对象$k \in \mathrm{SC}_A^{(\alpha_1,\beta_1)}(i)$,有$\varepsilon_{ik}^{A} \geqslant \alpha_1$. 因为$\alpha_2 < \alpha_1$,可知$\varepsilon_{ik}^{A} \geqslant \alpha_1 > \alpha_2$,相应地,可得$k \in \mathrm{SC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)}(i)$,则有$\mathrm{SC}_A^{(\alpha_1,\beta_1)}(i) \subseteq \mathrm{SC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)}(i)$.

2) 由式(4),对于A,可得$\mathrm{UC}_A^{(\alpha_1,\beta_1)} = \{k \in U | \beta_1 < \varepsilon_{ik}^{A} < \alpha_1\}$和$\mathrm{UC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)}(i) = \{k \in U | \beta_2 < \varepsilon_{ik}^{A} < \alpha_2\}$. 对于任意对象$k \in \mathrm{UC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)}(i)$,有$\beta_2 < \varepsilon_{ik}^{A} < \alpha_2$. 因为$\beta_1 < \beta_2 < \alpha_2 < \alpha_1$,可得$\beta_1 < \beta_2 < \varepsilon_{ik}^{A} < \alpha_2 < \alpha_1$,则有$\mathrm{UC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)}(i) \subseteq \mathrm{UC}_A^{(\alpha_1,\beta_1)}(i)$.

3) 由式(5),对于A,可得$\mathrm{NC}_A^{(\alpha_1,\beta_1)}(i) = \{k \in U | \varepsilon_{ik}^{A} \leqslant \beta_1\}$和$\mathrm{NC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)}(i) = \{k \in U | \varepsilon_{ik}^{A} \leqslant \beta_2\}$. 对于任意对象$k \in \mathrm{NC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)}(i)$,可得$\varepsilon_{ik}^{A} \leqslant \beta_2$. 因为$\beta_1 < \beta_2$,则有$\varepsilon_{ik}^{A} \leqslant \beta_1$,可得$k \in \mathrm{NC}_A^{(\alpha_1,\beta_1)}(i)$,所以有$\mathrm{NC}_A^{(\alpha_1,\beta_1)}(i) \subseteq \mathrm{NC}_A^{(\alpha_2,\beta_2)}(i)$.

1.3 聚类阈值确定机理

为确定灰色关联聚类阈值α和β,根据决策粗糙集方法,本文尝试利用贝叶斯决策推理加以探讨. 对于任意对象$i,k \in U$,都有两种状态和3种关系(行动方案),并在两种状态、3种关系下产生相应损失函数. 对于$\forall i,k \in U$,两种状态分别是i和k属于一类、不属于一类,此外其有3种关系或者行动方案. 设对象i,k的3种行动方案为$O = \{o_{\mathrm{S}}, o_{\mathrm{U}}, o_{\mathrm{N}}\}$,$o_{\mathrm{S}}$、$o_{\mathrm{U}}$、$o_{\mathrm{N}}$分别表示对象$i,k$肯定属于同一类别$\mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$、可能属于同一类别$\mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$、肯定不属于同一类别$\mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$;设$\lambda_{\mathrm{SS}}$、$\lambda_{\mathrm{US}}$和$\lambda_{\mathrm{NS}}$分别表示决策者采取$o_{\mathrm{S}}$、$o_{\mathrm{U}}$、$o_{\mathrm{N}}$情况下属于同一类$\mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$的损失函数;$\lambda_{\mathrm{SN}}$、$\lambda_{\mathrm{UN}}$和$\lambda_{\mathrm{NN}}$分别表示采取$o_{\mathrm{S}}$、$o_{\mathrm{U}}$、$o_{\mathrm{N}}$情况下不属于同一类$\mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$的损失函数.

表1 关于$i,k \in U$状态和行动方案的损失函数

方案	与i同类	与i不同类
o_{S}	λ_{SS}	λ_{SN}
o_{U}	λ_{US}	λ_{UN}
o_{N}	λ_{NS}	λ_{NN}

定理2 对于$0 \leqslant \lambda_{\mathrm{SS}} \leqslant \lambda_{\mathrm{US}} \leqslant \lambda_{\mathrm{NS}}, 0 \leqslant \lambda_{\mathrm{NN}} \leqslant \lambda_{\mathrm{UN}} \leqslant \lambda_{\mathrm{SN}}, A, i, k \in U$,有:

1) 如果$\varepsilon_{ik}^{A} \geqslant \alpha$,则$k \in \mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$;

2) 如果$\beta < \varepsilon_{ik}^{A} < \alpha$,则$k \in \mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$;

3) 如果$\varepsilon_{ik}^{A} \leqslant \beta$,则$k \in \mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$,其中

$$\alpha = \frac{(\lambda_{\mathrm{SN}} - \lambda_{\mathrm{UN}})}{(\lambda_{\mathrm{SN}} - \lambda_{\mathrm{UN}}) + (\lambda_{\mathrm{US}} - \lambda_{\mathrm{NS}})}, \tag{6}$$

$$\beta = \frac{(\lambda_{\mathrm{UN}} - \lambda_{\mathrm{NN}})}{(\lambda_{\mathrm{UN}} - \lambda_{\mathrm{NN}}) + (\lambda_{\mathrm{NS}} - \lambda_{\mathrm{SS}})}, \tag{7}$$

$$\gamma = \frac{(\lambda_{\mathrm{SN}} - \lambda_{\mathrm{NN}})}{(\lambda_{\mathrm{SN}} - \lambda_{\mathrm{NN}}) + (\lambda_{\mathrm{NS}} - \lambda_{\mathrm{SS}})}. \tag{8}$$

证明 根据灰色关联聚类,ε_{ik}^{A}为决策对象i,k关于属性集合A的关联度,可以表示决策对象k属于$\mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$的可能程度. 设$R(o_{\mathrm{S}}|k)$、$R(o_{\mathrm{U}}|k)$和$R(o_{\mathrm{N}}|k)$分别表示对象$k$属于$\mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$、$\mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$和$\mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$的期望损失函数,根据决策对象的损失函数,可得对象$k$属于$\mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$、$\mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$和$\mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$的期望损失函数,如下所示:

$$R(o_{\mathrm{S}}|k) = \lambda_{\mathrm{SS}}\varepsilon_{ik}^{A} + \lambda_{\mathrm{SN}}(1 - \varepsilon_{ik}^{A}), \tag{9}$$

$$R(o_{\mathrm{U}}|k) = \lambda_{\mathrm{US}}\varepsilon_{ik}^{A} + \lambda_{\mathrm{UN}}(1 - \varepsilon_{ik}^{A}), \tag{10}$$

$$R(o_{\mathrm{N}}|k) = \lambda_{\mathrm{NS}}\varepsilon_{ik}^{A} + \lambda_{\mathrm{NN}}(1 - \varepsilon_{ik}^{A}). \tag{11}$$

根据贝叶斯决策准则,需要选择期望损失最小的行动集作为最佳行动方案,于是可得到如下3条决策规则.

$\mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}$决策规则:如果$R(o_{\mathrm{S}}|k) \leqslant R(o_{\mathrm{U}}|k)$和$R(o_{\mathrm{S}}|k) \leqslant R(o_{\mathrm{N}}|k)$同时成立,则$k \in \mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$;

$\mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}$决策规则:如果$R(o_{\mathrm{S}}|k) \geqslant R(o_{\mathrm{U}}|k)$和$R(o_{\mathrm{N}}|k) \geqslant R(o_{\mathrm{U}}|k)$同时成立,则$k \in \mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$;

$\mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}$决策规则:如果$R(o_{\mathrm{N}}|k) \leqslant R(o_{\mathrm{S}}|k)$和$R(o_{\mathrm{N}}|k) \leqslant R(o_{\mathrm{U}}|k)$同时成立,则$k \in \mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$.

根据贝叶斯推理,设$0 \leqslant \lambda_{\mathrm{SS}} \leqslant \lambda_{\mathrm{US}} \leqslant \lambda_{\mathrm{NS}}, 0 \leqslant$

$\lambda_{\rm NN}\leqslant\lambda_{\rm UN}\leqslant\lambda_{\rm SN}$,可简化 $\mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)},\mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}$ 和 $\mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}$ 的决策规则得

$\mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}$: 如果 $\varepsilon_{ik}^A\geqslant\alpha$ 和 $\varepsilon_{ik}^A\geqslant\gamma$, 则有 $k\in\mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$;

$\mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}$: 如果 $\varepsilon_{ik}^A<\alpha$ 和 $\varepsilon_{ik}^A>\beta$, 则有 $k\in\mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$;

$\mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}$: 如果 $\varepsilon_{ik}^A\leqslant\beta$ 和 $\varepsilon_{ik}^A<\gamma$, 则有 $k\in\mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$, 其中

$$\alpha=\frac{(\lambda_{\rm SN}-\lambda_{\rm UN})}{(\lambda_{\rm SN}-\lambda_{\rm UN})+(\lambda_{\rm US}-\lambda_{\rm NS})},$$
$$\beta=\frac{(\lambda_{\rm UN}-\lambda_{\rm NN})}{(\lambda_{\rm UN}-\lambda_{\rm NN})+(\lambda_{\rm NS}-\lambda_{\rm SS})},$$
$$\gamma=\frac{(\lambda_{\rm SN}-\lambda_{\rm NN})}{(\lambda_{\rm SN}-\lambda_{\rm NN})+(\lambda_{\rm NS}-\lambda_{\rm SS})}.$$

定理得证. □

根据定理2,可计算确定聚类阈值,并可根据决策对象关于属性集的关系集合将决策对象分为若干类别.

2 数值案例

在日益激烈的市场竞争环境下,企业与供应商之间的关系越来越密切. 制造商对供应商的依赖程度会随着供应产品的数量、价值、质量及重要程度等方面的不同而有着较大的差别,这些差异很大程度上决定了制造商能否降低成本,提高产品质量和获得市场竞争力的关键. 因此,研究供应商分类管理具有重要的理论和实际意义. 然而,现有的供应商分类方法多采用定性主观分析确定,缺乏客观性和科学性. 某制造商是复杂装备件生产厂商,为了有效降低采购成本,提高采购质量,产品获得更大的市场份额,需要对有差异性的供应商进行分类合作和管理. 设该制造商有12家供应商,并将其分别记为$1,2,\cdots,12$,为了把握12家供应商的情况,整体和有区分地对待供应商,需要对其进行聚类评价,而聚类评价供应商一般从"质量、平均价格、准时到货率、订单完成率、订货柔性"等5个方面展开,并分别记为a_1,a_2,a_3,a_4,a_5. 通过收集和整理,可获得各对象关于属性的测度值,如表2所示.

表 2 供应商评价测度值数

供应商	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
1	0.655	0.67	0.995	0.94	0.685
2	0.855	0.615	0.94	0.925	0.815
3	0.625	0.727	0.935	0.90	0.7
4	0.66	0.571	0.90	0.93	0.665
5	0.61	0.553	0.94	0.935	0.85
6	0.44	0.727	0.84	0.95	0.715
7	0.82	0.615	0.935	0.895	0.775
8	0.84	0.615	0.95	0.91	0.795
9	0.675	0.571	0.88	0.92	0.685
10	0.655	0.727	0.845	0.985	0.625
11	0.675	0.67	0.89	0.955	0.705
12	0.655	0.533	0.87	0.90	0.72

利用灰色关联分析方法,可计算供应商间关于属性集的灰色关联度,得到对象间的灰色关联矩阵,如表3所示.

表 3 供应商间灰色关联度矩阵

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0.568	0.935	0.812	0.959	0.595	0.591	0.581	0.767	0.928	0.870	0.779
2	0.568	1	0.547	0.654	0.555	0.410	0.937	0.964	0.687	0.595	0.621	0.678
3	0.935	0.547	1	0.769	0.974	0.621	0.568	0.558	0.728	0.872	0.820	0.739
4	0.812	0.654	0.769	1	0.785	0.523	0.685	0.671	0.932	0.867	0.925	0.950
5	0.959	0.555	0.974	0.785	1	0.611	0.576	0.566	0.742	0.892	0.838	0.753
6	0.595	0.410	0.621	0.523	0.611	1	0.422	0.416	0.504	0.569	0.547	0.509
7	0.591	0.937	0.568	0.685	0.576	0.422	1	0.971	0.720	0.619	0.648	0.710
8	0.581	0.964	0.558	0.671	0.566	0.416	0.971	1	0.705	0.608	0.636	0.695
9	0.767	0.687	0.728	0.932	0.742	0.504	0.720	0.705	1	0.816	0.867	0.981
10	0.928	0.595	0.872	0.867	0.892	0.569	0.619	0.608	0.816	1	0.933	0.829
11	0.870	0.621	0.820	0.925	0.838	0.547	0.648	0.636	0.867	0.933	1	0.881
12	0.779	0.678	0.739	0.950	0.753	0.509	0.710	0.695	0.981	0.829	0.881	1

基于与供应商以往的合作,考虑到企业领导层和供应商管理部门在对供应商进行评估时面临的损失情况,统计分析可得供应商聚类决策状态和行动方案的损失函数,分别为$\lambda_{\rm CC}=0.14,\lambda_{\rm CA}=0.78,\lambda_{\rm NC}=0.30,\lambda_{\rm NA}=0.54,\lambda_{\rm AC}=0.80,\lambda_{\rm AA}=0.15$. 根据对供应商聚类决策状态和行动方案的损失函数,基于1.3节的决策粗糙集和贝叶斯推理,利用式(6)和(7)可得灰色关联聚类阈值为

$$\alpha=\frac{\lambda_{\rm CA}-\lambda_{\rm NA}}{\lambda_{\rm CA}-\lambda_{\rm NA}+\lambda_{\rm NC}-\lambda_{\rm CC}}=0.600,$$
$$\beta=\frac{\lambda_{\rm NA}-\lambda_{\rm AA}}{\lambda_{\rm NA}-\lambda_{\rm AA}+\lambda_{\rm AC}-\lambda_{\rm NC}}=0.438.$$

根据灰色关联聚类阈值,可确定各供应商的同

类、不确定类和肯定不同类集合,如表4所示.

表4 供应商同类、不确定类和肯定不同类集合

U	$\mathrm{SC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$	$\mathrm{UC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$	$\mathrm{NC}_A^{(\alpha,\beta)}(i)$
1	{1,3,4,5,9,10,11,12}	{2,6,7,8}	∅
2	{2,4,7,8,9,11,12}	{1,3,5,10}	{6}
3	{1,3,4,5,6,9,10,11,12}	{2,7,8}	∅
4	{1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12}	{6}	∅
5	{1,3,4,5,6, 9,10,11,12}	{2,7,8}	∅
6	{3,5,6}	{1,4,9,10,11,12}	{2,7,8}
7	{2,4,7,8,9,10,11,12}	{1,3,5}	{6}
8	{2,4,7,8,9,10,11,12}	{1,3,5}	{6}
9	{1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12}	{6}	∅
10	{1,3,4,5,7,8,9,10,11,12}	{2,6}	∅
11	{1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12}	{6}	∅
12	{1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12}	{6}	∅

根据表4所示供应商关于属性集关系集合,可确定供应商的分类为$\{1,3,4,5\}$、$\{2\}$、$\{6\}$、$\{7,8,9,10,11,12\}$,且$\{2\}$为最好供应商类,$\{7,8,9,10,11,12\}$为较好类别,$\{1,3,4,5\}$为一般类别,而$\{6\}$为最差类别. 根据聚类结果,主制造商可采取对应措施对供应商进行分类管理,即供应商2可作为战略供应商,供应商7 $\sim$ 供应商12可作为核心供应商,而供应商1和供应商3 $\sim$ 供应商5作为一般供应商加以管理. 当聚类阈值主观设定为0.6时,采用经典灰色关联分析聚类方法得到的聚类结果和上述结果一致,但是不能确定哪些供应商属于对象的可能类别. 由案例分析可知,与经典灰色关联聚类方法相比,本文所构建的模型能够有理论依据地确定灰色关联聚类的阈值,实现对对象的分类.

3 结 论

为了解决灰色关联聚类的阈值确定问题,本文探讨了决策对象间的可能关系和集合,并构建了基于决策粗糙集的多属性灰色关联聚类方法. 与经典灰色关联聚类方法相比,本文所提出的方法能够客观、科学地确定多属性灰色关联聚类阈值,是经典灰色关联聚类的拓展和泛化. 但是,模型也存在一些不足,对于具有动态变化信息的决策问题尚有待研究.

参考文献(References)

[1] Liu S F, Yang Y J, Lin Y. Grey system theory and application[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2016: 189-190.

[2] Deng J L. Efficacy of grey assessment[J]. The J of Grey System, 1997, 9(3): 244-246.

[3] 郭昆, 张岐山. 基于灰关联分析的谱聚类[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(7): 1260-1265.
(Guo K, Zhang Q S. Spectral clustering based on grey relational analysis[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2010, 30(7): 1260-1265.)

[4] Luo D. The method for grey interval clustering decision[J]. J of Zhengzhou University: Nature Science Edition, 2007, 39(1) :119-125.

[5] 王翯华, 朱建军, 方志耕. 基于灰色聚类的大规模群体语言评价信息集结研究[J]. 控制与决策, 2012, 27(2): 271-280.
(Wang Y H, Zhu J J, Fang Z G. Group aggregation method on large-scale linguistic evaluation information based on grey cluster[J]. Control and Decision, 2012, 27(2): 271-280.)

[6] 宋捷, 党耀国, 花增木. 基于灰色聚类的群决策方法研究[J]. 控制与决策, 2010, 25(10): 1593-1598.
(Song J, Dang Y G, Hua Z M. Study on group decision making method based on Grey Clustering[J]. Control and Decision, 2010, 25(10): 1593-1598.)

[7] 张可, 刘思峰. 灰色关联聚类在面板数据中的扩展及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(7): 1253-1259.
(Zhang K, Liu S F. Extended clusters of grey incidences for panel data and its application[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2010, 30(7): 1253-1259.)

[8] 吴利丰, 刘思峰. 基于灰色凸关联度的面板数据聚类方法及应用[J]. 控制与决策, 2013, 28(7): 1033-1037.
(Wu L F, Liu S F. Panel data clustering method based on grey convex relation and its application[J]. Control and Decision, 2013, 28(7): 1033-1037.)

[9] 钱吴永, 王育红, 党耀国. 基于多指标面板数据的灰色矩阵关联模型及其应用[J]. 系统工程, 2013, 31(10): 70-74.
(Qian W Y, Wang Y H, Dang Y G. Grey matrix relational modeling and its application based on multivariate panel data[J]. Systems Engineering, 2013, 31(10): 70-74.)

[10] 李雪梅, 党耀国, 王俊杰. 面板数据下的灰色指标关联聚类模型与应用[J]. 控制与决策, 2015, 30(8): 1447-1452.
（Li X M, Dang Y G, Wang J J. Grey relational clustering model for panel data clustering on indicators and its application[J]. Control and Decision, 2015, 30(8): 1447-1452.）

[11] Li X M, Hipel K W, Dang Y G. An improved grey relational analysis approach for panel data clustering[J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(23): 9105-9116.

[12] Yao Y Y. Three-way decisions with probabilistic rough sets[J]. Information Sciences, 2010, 180(3): 341-353.

[13] Zhang H R, Min F. Three-way recommender systems based on random forests[J]. Knowledge-Based Systems, 2016, 91: 275-286.

（责任编辑：齐 霁）