

# 基于优势-直觉模糊粗糙模型的 IT 项目绩效 审计评价规则获取

黄 兵<sup>1</sup> 李华雄<sup>2</sup>

(南京审计学院信息科学学院 南京 211815)<sup>1</sup> (南京大学工程管理学院 南京 210093)<sup>2</sup>

**摘 要** 针对我国政府审计机关对政府投资的 IT 项目进行绩效审计评价规则知识获取的困难,考虑了条件属性取值为优势精确值、分类结果为直觉模糊值的决策系统规则获取问题。首先比较条件属性值的大小,构建对象的优势邻域,再由对象邻域的直觉模糊值确定对象的上下近似;根据对象的上下近似和不同对象的直觉模糊值确定对象间的区分关系,利用分辨矩阵给出知识约简和规则提取算法;最后将直觉模糊粗糙模型应用于政府 IT 项目绩效审计评价规则的获取,得到了较为合理的 IT 项目绩效评价规则。

**关键词** 优势-直觉模糊决策系统,粗糙集,约简,IT 项目绩效审计

**中图法分类号** TP18 **文献标识码** A

## Evaluation Rules Acquisition of Performance Audit for IT Projects in China Based on Dominance Intuitionistic Fuzzy Rough Set Model

HUANG Bing<sup>1</sup> LI Hua-xiong<sup>2</sup>

(School of Information Sciences, Nanjing Audit University, Nanjing 211815, China)<sup>1</sup>

(School of Management and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Rules acquisition was studied in a type of decision systems where its values of condition attributes took dominance crisp values and those of decision attribute were intuitionistic fuzzy numbers. Firstly, the dominating and dominated classes of objects in the universe of discourse were constructed by the dominance crisp values of condition attributes. Secondly, the lower/upper approximation set of an object were ascertained by comparing the intuitionistic fuzzy numbers of decision attributes among objects. Thirdly, using discernibility matrix, the lower approximation reduction and rules extraction algorithm based on discernibility relations among objects were devised. Finally, the presented model and algorithm were applied to performance audit for IT project, and some logical rules of performance audit for IT projects were obtained.

**Keywords** Dominance-intuitionistic fuzzy decision systems, Rough sets, Reduction, Performance audit for IT project

### 1 引言

IT 项目具有占用资金多、建设周期长、与公众关系密切、高达 60% 的失败率等特点,被各国最高审计机关广泛关注,进而成为绩效审计的重要对象。在我国,达到一定规模的政府投资 IT 项目,必须经过作为审批机关的政府发展改革委员会批准,并依法对该项目以“后评估”的方式进行绩效评价。国家审计机关主要对政府投资的 IT 项目的经济性、效率性和效果性进行评价,其依据主要行业标准和投资预期承诺<sup>[1]</sup>。

目前对 IT 项目绩效评价的研究主要集中在评价指标的设计、综合考虑财务、客户满意度、内部流程以及成长和学习的平衡计分卡方法、层次分析法、模糊综合评价法等方面。这些方法主要根据评价对象的具体情况,通过调整模型参数得到评价结果。但现有方法的明显缺陷之一是考虑的因素众

多<sup>[2]</sup>,判别方法复杂,计算繁复,一旦参数有误,会造成评价结果的明显偏误。其次,无法利用已有同类 IT 项目绩效评价经验知识指导新的 IT 项目绩效评价。

我国国家审计机关的 8 万审计人员中,涉及 IT 方面的审计人才仅千人左右,以目前国家审计机关的人力、物力、财力,乃至技术力量,要想在短时间内对被审计单位的 IT 投资绩效进行深入细致的评价显然不够现实。因此,如何构建一个 IT 绩效审计专家系统以辅助审计评价,就显得非常必要。

粗糙集理论<sup>[3]</sup>的研究对象是一个二维决策系统,通过粗糙集理论中的知识约简,可导出分类或决策规则。最初提出的粗糙集理论视决策系统中的取值为不具有实际含义的符号,此时称决策系统为符号决策系统。为克服符号决策系统不能清晰表达语义的缺陷,针对语义系统的决策问题,提出了多种语义粗糙集模型。其中,优势粗糙集模型<sup>[4-7]</sup>和模糊粗糙

到稿日期:2010-11-29 返修日期:2011-02-23 本文受国家自然科学基金(61170105)和江苏高校优势学科建设工程项目(审计科学与技术)资助。

黄 兵(1972-),男,博士,副教授,主要研究方向为模糊粗糙集理论及应用,E-mail:hbhuangbing@126.com;李华雄(1977-),男,博士,讲师,主要研究方向为粗糙集理论。

集模型<sup>[8-10]</sup>是处理语义决策系统最具影响力的两种扩展形式。

Atanassov 提出的直觉模糊集<sup>[11]</sup>是对 Zadeh 模糊集理论的一种拓展,由于它同时考虑了对象属于集合的肯定程度、否定程度和犹豫程度,因而它较传统模糊集有更强的信息表达能力。国内外已有学者对直觉模糊集和粗糙集的融合进行了研究<sup>[12,13]</sup>,但这些研究大多集中在基本概念及性质方面,对直觉模糊信息系统的知识约简及规则获取还不多见。近年来,我国空军工程大学的雷英杰教授领导的研究团队对直觉模糊粗糙集进行了较为深入的研究,借鉴模糊粗糙模型知识约简方法初步探讨了直觉模糊信息系统的约简算法<sup>[14,15]</sup>。

在将优势模糊粗糙集理论应用于审计风险评估规则获取取得初步成效<sup>[16,17]</sup>的基础上,针对 IT 项目绩效审计评价规则获取问题,考虑条件属性取值精确、决策属性取直觉模糊数的一类决策问题,通过构建对象邻域,建立一种优势-直觉模糊粗糙模型,并研究该模型的知识约简理论和方法。最后尝试将理论结果应用于 IT 项目绩效审计评价规则的获取,为 IT 项目绩效审计评价提供一种知识获取的直觉模糊粗糙方法。

## 2 预备知识

**定义 1** 称  $A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \}$  为直觉模糊集,其中  $X$  是一非空有限集,  $\mu_A(x)$ 、 $\nu_A(x)$  分别为  $X$  中元素  $x$  属于  $A$  的隶属度  $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$  和非隶属度  $\nu_A: X \rightarrow [0,1]$ ,且满足  $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1, \forall x \in X$ 。同时,称  $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$  为  $X$  中元素  $x$  属于  $A$  的犹豫度。

为便于叙述,称  $\alpha = \langle u, v \rangle, 0 \leq u, v \leq 1, u + v \leq 1$  为直觉模糊数。

**定义 2** 设  $\alpha_1 = \langle u_1, v_1 \rangle$  和  $\alpha_2 = \langle u_2, v_2 \rangle$  是两直觉模糊数,则:

- (1)  $\alpha_1 = \alpha_2 \Leftrightarrow u_1 = u_2 \wedge v_1 = v_2$ ;
- (2)  $\alpha_1 \leq \alpha_2 \Leftrightarrow u_1 \leq u_2 \wedge v_1 \geq v_2$ ;
- (3)  $\alpha_1 < \alpha_2 \Leftrightarrow \alpha_1 \leq \alpha_2 \wedge \alpha_1 \neq \alpha_2$ 。

**定义 3** 设  $\alpha_i = \langle u_i, v_i \rangle (1 \leq i \leq m)$  是直觉模糊数,则:

$$\bigcap_{1 \leq i \leq m} \alpha_i = \langle \min_{1 \leq i \leq m} u_i, \max_{1 \leq i \leq m} v_i \rangle, \bigcup_{1 \leq i \leq m} \alpha_i = \langle \max_{1 \leq i \leq m} u_i, \min_{1 \leq i \leq m} v_i \rangle$$

**定义 4** 设  $DIFDS = (U, C, D)$ , 其中  $U$  是有限论域,  $C$  和  $D = \{d\}$  分别是条件集合和决策属性,且  $C \cap D = \emptyset, \forall x \in U, c \in C, f(x, c)$  表示对象  $x$  在条件属性  $c$  上的取值,  $f(x, d)$  表示对象  $x$  在决策属性  $d$  上的取值,  $f(x, c)$  为符号值且取值具有优劣关系,  $f(x, d)$  为直觉模糊数,称  $DIFDS = (U, C, D)$  为优势-直觉模糊决策系统 (Dominance Intuitionistic Fuzzy Decision Systmes)。

## 3 优势-直觉模糊粗糙模型

在  $DIFDS$ s 中,由条件属性集确定的对象优势类可由对象间条件属性子集上的取值大小来确定,由每个对象的优势类及直觉模糊分类结果的关系来构建优势-直觉模糊粗糙模型。

**定义 5** 设  $DIFDS = (U, C, \{d\}), B \subseteq C, x \in U$  的  $B$  优势类为  $[x]_{\geq}^B = \{y \in U \mid f(y, b) \geq f(x, b), \forall b \in B\}$ , 被优势类为  $[x]_{\leq}^B = \{y \in U \mid f(y, b) \leq f(x, b), \forall b \in B\}$ , 其中,  $f(x, b) \leq f$

$(y, b)$  表示对象  $x$  在属性  $b$  上的取值不优于对象  $y$ , 则  $x$  关于  $B \subseteq C$  的直觉模糊下近似  $\underline{B}(x)$  和上近似  $\overline{B}(x)$  分别定义为:

$$\underline{B}(x) = \bigcap_{y \in [x]_{\geq}^B} f(y, d)$$

$$\overline{B}(x) = \bigcup_{y \in [x]_{\leq}^B} f(y, d)$$

对象  $x$  的下近似描述了给定条件属性子集下  $x$  属于决策类最保守的肯定程度,对象  $x$  的上近似则表示给定条件属性子集下的  $x$  属于决策类最乐观的肯定程度,这与经典粗糙集理论中上下近似的意义一致。称定义 5 为  $DIFDS$ s 的优势-直觉模糊粗糙模型。

**性质 1** 设  $DIFDS = (U, C, \{d\}), B_1 \subseteq B_2 \subseteq C, x \in U$ , 有:

- (1)  $\underline{B}_1(x) \leq \underline{B}_2(x)$ ;
- (2)  $\overline{B}_1(x) \leq \overline{B}_2(x), \overline{B}_2(x) \leq \overline{B}_1(x)$ 。

由性质 1 可知,当属性减少时,  $x$  的上近似单调增加,下近似单调减少,这与经典粗糙模型一致。因此,性质 1 是优势-直觉模糊粗糙模型的重要特性之一。

**定义 6** 设  $DIFDS = (U, C, \{d\}), B \subseteq C$ , 若:

(1)  $\forall x \in U, \underline{B}(x) = \underline{C}(x)$ , 则称  $B$  为  $DIFDS$  的优势-直觉模糊下近似协调集;若  $B$  为优势-直觉模糊下近似协调集且其任意真子集都不是优势-直觉模糊下近似协调集,则称  $B$  为  $DIFDS$  的一个优势-直觉模糊下近似约简;

(2)  $\forall x \in U, \overline{B}(x) = \overline{C}(x)$ , 则称  $B$  为  $DIFDS$  的优势-直觉模糊上近似协调集;若  $B$  为优势-直觉模糊上近似协调集且其任意真子集都不是优势-直觉模糊上近似协调集,则称  $B$  为  $DIFDS$  的一个优势-直觉模糊上近似约简。

优势-直觉模糊下近似协调集  $\underline{B}$  和优势-直觉模糊上近似协调集  $\overline{B}$  分别保持  $DIFDS = (U, C, \{d\})$  中对对象  $x \in U$  下面两种形式规则不变:

- (a)  $D_{\geq}$  规则:  
If  $\forall b \in \underline{B}, f(y, b) \geq f(x, b)$ , Then  $f(y, d) \geq \underline{C}(x)$
- (b)  $D_{\leq}$  规则:  
If  $\forall b \in \overline{B}, f(y, b) \leq f(x, b)$ , Then  $f(y, d) \leq \overline{C}(x)$

$D_{\geq}$  规则和  $D_{\leq}$  规则分别描述了对对象的优势类确定规则的下限和被优势类确定规则的上限。然而在现实问题决策过程中,决策者有时可能会同时关心每个对象所确定规则的上限和下限(广义决策函数),研究者在相关文献中已有讨论,在此不再赘述。

## 4 优势-直觉模糊粗糙模型的知识约简方法

下面讨论优势-直觉模糊粗糙模型的知识约简方法。

**定理 1** 设  $DIFDS = (U, C, \{d\}), B \subseteq C$ , 则

(1)  $B$  是优势-直觉模糊下近似协调集的充要条件是  $\forall x \in U$ , 当  $f(y, d) \geq \underline{C}(x)$  不成立时, 则  $y \notin [x]_{\geq}^B$ ;

(2)  $B$  是优势-直觉模糊上近似协调集的充要条件是  $\forall x \in U$ , 当  $f(y, d) \leq \overline{C}(x)$  不成立时, 则  $y \notin [x]_{\leq}^B$ 。

证明:(1)“ $\Rightarrow$ ”:若  $B$  是优势-直觉模糊下近似协调集,且  $\exists x, y \in U, f(y, d) \geq \underline{C}(x)$  不成立而  $y \in [x]_{\geq}^B$ , 则  $\underline{B}(x) < \underline{C}(x)$ ,  $B$  不是优势-直觉模糊下近似协调集,这与前提矛盾;

“ $\Leftarrow$ ”:  $\forall x \in U$ , 当  $f(y, d) \geq \underline{C}(x)$  不成立时, 必有  $y \notin [x]_{\geq}^B$ , 即对  $\forall t \in [x]_{\geq}^B$ , 有  $f(t, d) \geq \underline{C}(x)$ , 因而有  $\underline{B}(x) \geq \underline{C}(x)$

(x), 而  $\underline{B}(x) \leq \underline{C}(x)$  恒成立, 故  $\forall x \in U$ , 均有  $\underline{B}(x) = \underline{C}(x)$ , 由定义 6 知,  $B$  是优势-直觉模糊下近似协调集。

(2) 仿(1)可得证。

定理 1 给出了优势-直觉模糊粗糙模型上、下近似协调集的判别方法, 据此可构造相应的分辨矩阵。

定义 7 设  $DIFDS = (U, C, \{d\})$ ,  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,  $\bar{D} = (\bar{d}_{ij})_{n \times n}$  和  $\underline{D} = (\underline{d}_{ij})_{n \times n}$  分别是  $DIFDS$  的优势-直觉模糊上、下近似分辨矩阵, 其中

$$\bar{d}_{ij} = \begin{cases} \{c \in C | f(x_i, c) < f(x_j, c)\}, & f(x_j, d) \leq \bar{C}(x_i) \text{ 不成立} \\ \phi, & \text{else} \end{cases}$$

$$\underline{d}_{ij} = \begin{cases} \{c \in C | f(x_i, c) > f(x_j, c)\}, & f(x_j, d) \geq \underline{C}(x_i) \text{ 不成立} \\ \phi, & \text{else} \end{cases}$$

由定义 7 可得:

定理 2 设  $DIFDS = (U, C, \{d\})$ ,  $|U| = n$ , 则

(1)  $B \subseteq C$  是优势-直觉模糊上、近似协调集  $\Leftrightarrow \forall \bar{d}_{ij} \neq \phi$ ,  $\bar{d}_{ij} \cap B \neq \phi (1 \leq i, j \leq n)$ ;

(2)  $B \subseteq C$  是优势-直觉模糊下近似协调集  $\Leftrightarrow \forall \underline{d}_{ij} \neq \phi$ ,  $\underline{d}_{ij} \cap B \neq \phi (1 \leq i, j \leq n)$ ;

有了优势-直觉模糊上、下近似分辨矩阵, 即可设计求优势-直觉模糊决策系统两类约简的约简算法。为简化起见, 下面仅给出优势-直觉模糊下近似约简算法。

算法 1 优势-直觉模糊下近似约简算法

输入:  $DIFDS = (U, C, \{d\})$

输出: 所有下近似约简

Step 1 计算每个对象  $x$  的  $C$  优势类, 并记录下每个不在  $x$  的  $C$  优势类中的对象在哪些条件属性上小于  $x$  在该属性上的取值;

Step 2 计算所有  $\underline{C}(x)$ ;

Step 3 将每个  $x$  的  $\underline{C}(x)$  与所有不在  $x$  的  $C$  优势类中的对象的决策值进行比较, 按照定义 7 的方法构造优势-直觉模糊下近似分辨矩阵;

Step 4 用吸收律消去优势-直觉模糊下近似分辨矩阵中的非空项; 将每个余下的非空项表示成一个析取式, 再将所有析取式表示成一个合取式, 得到分辨函数; 将合取式转化为一个析取范式, 则吸取范式中的每个极小项中的所有元构成一个优势-直觉模糊下近似约简, 由所有极小项得到所有优势-直觉模糊下近似约简。

Step 5 输出所有约简结果。

类似算法 1 可给出优势-直觉模糊决策系统上近似知识约简算法。

为获得  $DIFDS$ s 所有优势-直觉模糊  $D \supseteq$  规则, 在算法 1 求出的分辨矩阵基础上给出提取所有优势-直觉模糊  $D \supseteq$  规则的算法 2。

算法 2 优势-直觉模糊  $D \supseteq$  规则获取算法

输入:  $DIFDS = (U, C, \{d\})$  的优势-直觉模糊下近似分辨矩阵和一个约简集。

输出: 给定约简集确定的所有优势-直觉模糊  $D \supseteq$  规则。

Step 1 对优势-直觉模糊下近似分辨矩阵的每一行, 用吸收律消去所有超集, 并与给定约简集求交运算;

Step 2 将每个余下的非空项表示成析取式, 再将每个析取式作为合取式中的项, 所得合取式为矩阵行对应对象的优势-直觉模糊下近似分辨函数;

Step 3 将对象的优势-直觉模糊下近似分辨函数转化为一个析取范式, 则吸取范式中的每个简单合取项中的所有元构成对象的一个

优势-直觉模糊下近似约简;

Step 4 对象在其对应的每个优势-直觉模糊下近似约简属性上的取值作为规则前件, 对象关于条件属性集  $C$  的下近似值作为规则后件构成一条  $D \supseteq$  规则;

Step 5 输出所有给定约简集确定的优势-直觉模糊  $D \supseteq$  规则。

## 5 IT 项目绩效审计评价规则获取

政府 IT 项目是运用计算机、网络和通信等现代信息技术手段, 实现政府组织结构和 workflows 的优化重组, 超越时间、空间和部门分隔的限制, 建成一个精简、高校、廉洁、公平的政府运作模式, 以便全方位地向社会提供优质、规范、透明、符合国际水准的管理与服务的建设工程。政府 IT 项目的目标是利用信息化技术来倡导政府公共管理与服务的全面革新。政府 IT 项目绩效审计的基本目标就是要在建立起的绩效评估制度机制上, 运用一定的考核方法、量化指标及评估标准, 对政府 IT 项目的建设、运行、管理和应用全过程进行综合性考核与评估, 对其经济性、效率性和效果性做出评价, 以促进政府 IT 项目管理水平和应用绩效的提高。

2009 年 9 月, 审计署发出通知, 面向全国审计人员征集与绩效审计相关的 IT 项目绩效评价指标及计算方法, 截止当年年底, 共征集到 392 个指标。这些指标大致可分为 5 类<sup>[1]</sup>: 组织能力、管理能力、设备设施利用、项目产品和投资回报。下面利用本文提出的优势-直觉模糊粗糙集方法来提取 IT 项目绩效审计评价规则。

表 1 给出一个 IT 项目绩效审计评价决策系统(优势-直觉模糊决策系统), 其中对象集有 10 个已完成的 IT 项目绩效审计案例  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_{10}\}$ , 条件属性集  $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$  表示影响 IT 项目绩效的 5 个方面, 其中  $c_1$  表示“组织能力”,  $c_2$  表示“管理能力”,  $c_3$  表示“设备设施利用”,  $c_4$  表示“项目产品”,  $c_5$  表示“投资回报”, 各条件属性的取值由专家根据 IT 项目绩效审计调查结果并结合自身职业素养给出评价等级, 其中 1-4 表示 4 个等级, 1 表示“差”, 2 表示“较差”, 3 表示“较好”, 4 表示“好”; 决策属性  $d$  表示“IT 项目绩效审计评价结果”, 即总体评价结果。如  $f(x_1, d) = \langle 0.1, 0.8 \rangle$  表示好的程度是 0.1, 不好的程度是 0.8, 不确定程度是 0.1。

表 1 信息系统安全审计风险判断优势-直觉模糊决策系统

Object	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$d$
$x_1$	1	2	1	1	1	$\langle 0.1, 0.8 \rangle$
$x_2$	1	2	2	2	1	$\langle 0.2, 0.7 \rangle$
$x_3$	2	1	2	2	3	$\langle 0.3, 0.6 \rangle$
$x_4$	2	1	1	2	3	$\langle 0.3, 0.7 \rangle$
$x_5$	2	2	1	3	3	$\langle 0.4, 0.6 \rangle$
$x_6$	3	3	1	1	2	$\langle 0.5, 0.5 \rangle$
$x_7$	2	2	1	4	2	$\langle 0.6, 0.4 \rangle$
$x_8$	3	4	3	4	3	$\langle 0.7, 0.3 \rangle$
$x_9$	3	4	3	3	4	$\langle 0.8, 0.2 \rangle$
$x_{10}$	4	3	3	4	4	$\langle 0.9, 0.1 \rangle$

下面利用算法 1 求表 1 在优势-直觉模糊决策系统的下近似约简, 进而提取 IT 绩效审计评价规则。

Step 1  $[x_1]_{\bar{C}} = \{x_1, x_2, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}\}$ ,  $[x_2]_{\bar{C}} = \{x_2, x_3, x_9, x_{10}\}$ ,  $[x_3]_{\bar{C}} = \{x_3, x_8, x_9, x_{10}\}$ ,  $[x_4]_{\bar{C}} = \{x_3, x_4, x_7, x_8, x_9, x_{10}\}$ ,  $[x_5]_{\bar{C}} = \{x_5, x_8, x_9, x_{10}\}$ ,  $[x_6]_{\bar{C}} = \{x_6, x_8, x_9, x_{10}\}$ ,  $[x_7]_{\bar{C}} = \{x_7, x_8\}$ ,  $[x_8]_{\bar{C}} = \{x_8\}$ ,  $[x_9]_{\bar{C}} = \{x_9\}$ ,

$$[x_{10}]_{\geq} = \{x_{10}\}.$$

$$\text{Step 2 } \underline{C}(x_1) = \langle 0.1, 0.8 \rangle, \underline{C}(x_2) = \langle 0.2, 0.7 \rangle, \underline{C}(x_3) = \langle 0.3, 0.6 \rangle, \underline{C}(x_4) = \langle 0.3, 0.7 \rangle, \underline{C}(x_5) = \langle 0.4, 0.6 \rangle, \underline{C}(x_6) =$$

$$D = \begin{bmatrix} \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ c_3 c_4 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ c_3 c_4 c_5 & c_1 c_5 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ c_4 c_5 & c_1 c_5 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ c_1 c_5 & c_1 c_5 & c_2 c_4 & c_2 c_4 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ c_1 c_2 c_5 & c_1 c_2 c_5 & c_1 c_2 & c_1 c_2 & c_1 c_2 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ c_1 c_4 c_5 & c_1 c_4 c_5 & c_2 c_4 & c_2 c_4 & c_4 & c_4 & \phi & \phi & \phi & \phi \\ C & C & c_1 c_2 c_3 c_4 & c_1 c_2 c_3 c_4 & C & c_2 c_3 c_4 c_5 & c_1 c_2 c_3 c_5 & \phi & \phi & \phi \\ C & C & C & C & c_1 c_2 c_3 c_5 & c_2 c_3 c_4 c_5 & c_2 c_3 c_4 c_5 & c_5 & \phi & \phi \\ C & C & C & C & c_1 c_2 c_3 c_5 & c_1 c_3 c_4 c_5 & c_1 c_2 c_3 c_5 & c_1 c_5 & c_1 c_4 & \phi \end{bmatrix}$$

$$\langle 0.5, 0.5 \rangle, \underline{C}(x_7) = \langle 0.6, 0.4 \rangle, \underline{C}(x_8) = \langle 0.7, 0.3 \rangle, \underline{C}(x_9) = \langle 0.8, 0.2 \rangle, \underline{C}(x_{10}) = \langle 0.9, 0.1 \rangle.$$

Step 3 构造优势-直觉模糊下近似分辨矩阵

Step 4 利用吸收律消去超项后只剩下 3 个非空项  $c_1 c_2$ 、 $c_4$  和  $c_5$ ，将分辨函数转化为析取范式后的形式为  $f(D) = (c_1 \wedge c_4 \wedge c_5) \vee (c_2 \wedge c_4 \wedge c_5)$ ；

Step 5 输出该优势-直觉模糊决策系统的下近似约简  $\{c_1, c_4, c_5\}$  和  $\{c_2, c_4, c_5\}$ 。

对下近似约简  $\{c_1, c_4, c_5\}$ ，利用算法 2，我们首先可求得每个对象的约简集如下。

$$\begin{aligned} f(x_2) &= c_4 \\ f(x_3) &= (c_4 \vee c_5) \wedge (c_1 \vee c_5) = (c_1 \wedge c_4) \vee c_5 \\ f(x_4) &= (c_4 \vee c_5) \wedge (c_1 \vee c_5) = (c_1 \wedge c_4) \vee c_5 \\ f(x_5) &= (c_1 \vee c_5) \wedge c_4 = ((c_1 \wedge c_4) \vee (c_4 \wedge c_5)) \\ f(x_6) &= c_1 \\ f(x_7) &= c_4 \\ f(x_8) &= (c_1 \wedge c_4) \vee (c_1 \wedge c_5) \vee (c_4 \wedge c_5) \\ f(x_9) &= c_5 \\ f(x_{10}) &= (c_1 \vee c_4) \wedge (c_1 \vee c_5) = c_1 \vee (c_4 \wedge c_5) \end{aligned}$$

$\{c_1, c_4, c_5\}$  确定的所有非平凡  $D_{\geq}$  规则如表 2 所列。

表 2  $\{c_1, c_4, c_5\}$  确定的  $D_{\geq}$  规则

规则	规则前件	规则后件	支持对象
$r_1$	$f(x, c_4) \geq 2$	$f(x, d) \geq \langle 0.2, 0.7 \rangle$	$x_2$
$r_2$	$f(x, c_1) \geq 2 \wedge f(x, c_4) \geq 2$	$f(x, d) \geq \langle 0.3, 0.6 \rangle$	$x_3$
$r_3$	$f(x, c_5) \geq 2$	$f(x, d) \geq \langle 0.3, 0.6 \rangle$	$x_3$
$r_4$	$f(x, c_1) \geq 2 \wedge f(x, c_4) \geq 2$	$f(x, d) \geq \langle 0.3, 0.7 \rangle$	$x_4$
$r_5$	$f(x, c_5) \geq 2$	$f(x, d) \geq \langle 0.3, 0.7 \rangle$	$x_4$
$r_6$	$f(x, c_1) \geq 2 \wedge f(x, c_4) \geq 3$	$f(x, d) \geq \langle 0.4, 0.6 \rangle$	$x_5$
$r_7$	$f(x, c_4) \geq 3 \wedge f(x, c_5) \geq 3$	$f(x, d) \geq \langle 0.4, 0.6 \rangle$	$x_5$
$r_8$	$f(x, c_1) \geq 3$	$f(x, d) \geq \langle 0.5, 0.5 \rangle$	$x_6$
$r_9$	$f(x, c_4) \geq 4$	$f(x, d) \geq \langle 0.6, 0.4 \rangle$	$x_7$
$r_{10}$	$f(x, c_1) \geq 3 \wedge f(x, c_4) \geq 4$	$f(x, d) \geq \langle 0.7, 0.3 \rangle$	$x_8$
$r_{11}$	$f(x, c_1) \geq 3 \wedge f(x, c_5) \geq 3$	$f(x, d) \geq \langle 0.7, 0.3 \rangle$	$x_8$
$r_{12}$	$f(x, c_4) \geq 4 \wedge f(x, c_5) \geq 3$	$f(x, d) \geq \langle 0.7, 0.3 \rangle$	$x_8$
$r_{13}$	$f(x, c_5) \geq 4$	$f(x, d) \geq \langle 0.8, 0.2 \rangle$	$x_9$
$r_{14}$	$f(x, c_1) \geq 4$	$f(x, d) \geq \langle 0.9, 0.1 \rangle$	$x_{10}$
$r_{15}$	$f(x, c_4) \geq 4 \wedge f(x, c_5) \geq 4$	$f(x, d) \geq \langle 0.9, 0.1 \rangle$	$x_{10}$

类似地，可由优势-直觉模糊上近似分辨矩阵和给定约简集获取  $D_{\leq}$  规则。

**结束语** 针对 IT 项目绩效审计规则知识获取的困难，考虑了条件属性取值具有精确优势关系、决策属性取值为直觉模糊数的优势-直觉模糊决策系统，建立了优势-直觉模糊粗糙集模型，讨论了该模型的性质，提出了知识约简定义，利用分辨矩阵设计了知识约简和规则提取算法。最后将优势-直觉模糊粗糙集模型应用于 IT 项目绩效审计规则的获取，得到

规则描述的最小属性子集和 IT 项目绩效审计规则。本文的结果可自然推广到区间直觉模糊情形。

本文只讨论了优势-直觉模糊决策系统保  $D_{\geq}$  规则不变的下近似约简和保  $D_{\leq}$  规则不变的上近似约简。在优势决策系统中，还有另外两种规则，即  $D_{\leq}$  规则和  $D_{\geq}$  规则。只要将定义 5 中的优势类和被优势类交换，即可获得另外一种优势-直觉模糊粗糙模型，在这种新模型意义下的约简即保持  $D_{\leq}$  规则和  $D_{\geq}$  规则不变。另外，从表 2 中可以看到， $r_2$  和  $r_4$  的条件相同，结论却稍有差异。其实， $r_4$  可由  $r_2$  导出，换言之， $r_4$  是冗余的。由于本文仅着眼于提取给定约简集确定的所有优势-直觉模糊规则，因此，在这些规则集作为知识库用作推理时，还需对获取的规则进行评价。

## 参 考 文 献

- [1] 王智玉, 杨莉. 中国的 IT 项目绩效评价指标 [C] // IT 项目绩效评价论文集. 时代经济出版社, 2010: 183-193
- [2] 谢岳山, 彭作富, 易影. 服务型政府电子政务项目绩效评价指标体系研究 [C] // IT 项目绩效评价论文集. 时代经济出版社, 2010: 1-24
- [3] Pawlak Z. Rough sets [J]. International Journal of Information and Computer Sciences, 1982, 11(5): 341-356
- [4] Greco S, Matarazzo B, Slowinski R. Rough sets methodology for sorting problems in presence of multiple attributes and criteria [J]. European Journal of Operational Research, 2002, 138(2): 247-259
- [5] Greco S, Inuiguchi M, Slowinski R. Fuzzy rough sets and multiple-premise gradual decision rules [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2006, 41(2): 179-211
- [6] Dembczynski K, Greco S, Slowinski R. Rough set approach to multiple criteria classification with imprecise evaluations and assignments [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 198(2): 626-636
- [7] Kotlowski W, Dembczynski K, Greco S, et al. Stochastic dominance-based rough set model for ordinal classification [J]. Information Sciences, 2008, 178(21): 4019-4037
- [8] Dubois D, Prade H. Rough fuzzy sets and fuzzy rough sets [J]. International Journal of General System, 1990, 17(2/3): 191-209
- [9] Shen Q, Jensen R. Selecting informative features with fuzzy-rough sets and its application for complex systems monitoring [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(7): 1351-1363
- [10] Hong T P, Liou Y L, Wang S L. Fuzzy rough sets with hierar-

chical quantitative attributes[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(3): 6790-6799

- [11] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96
- [12] Zhou Lei, Wu Wei-zhi. On generalized intuitionistic fuzzy rough approximation operators [J]. Information Sciences, 2008, 178(11): 2448-2465
- [13] Zhou Lei, Wu Wei-zhi. On characterization of intuitionistic fuzzy rough sets based on intuitionistic fuzzy implicators [J]. Informa-

tion Sciences, 2009, 179(7): 883- 898

- [14] 徐小来, 雷英杰, 谭巧英. 基于直觉模糊三角模的直觉模糊粗糙集[J]. 控制与决策, 2009, 23(8): 900-904
- [15] 樊雷, 雷英杰. 基于直觉模糊粗糙集的属性约简研究[J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(7): 79-81
- [16] 黄兵, 胡作进, 周献中. 优势模糊粗糙模型及其在审计风险评估中的应用[J]. 控制与决策, 2009, 24(6): 899- 902
- [17] 黄兵, 周献中, 史迎春. 优势-模糊目标 VPRSM 及应用[J]. 计算机科学, 2010, 37(3): 227-229, 241

(上接第 210 页)

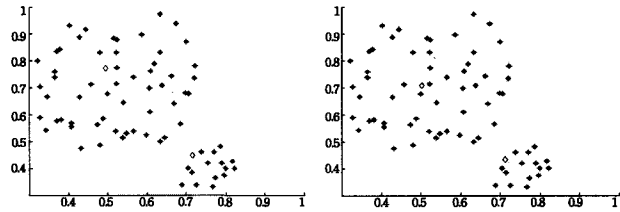


图 4 RCM

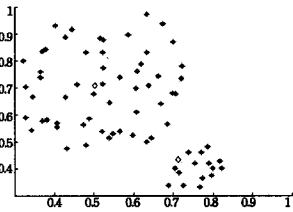


图 5 RFCM

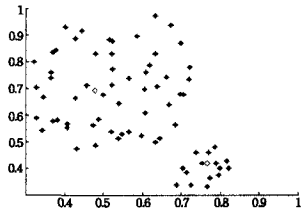


图 6 SRFCM

从图 3—图 6 中的聚类中心可以直观地得到各种算法的聚类效果, 很明显基于阴影集的粗糙模糊 C 均值算法的聚类中心最真实, 所以聚类效果最好。模糊 C 均值算法的聚类中心偏离得较厉害。

评价指标的计算如表 1 所列, 3 种评价指标都显示基于阴影集的粗糙模糊 C 均值算法的聚类效果最好, 这与从图 3—图 6 分析得到的结论一致。

表 1 评价指标

算法	PBM	DB	XB
FCM	3.485372	0.910035	0.183324
RCM	3.570061	0.894452	0.169025
RFCM	3.846634	0.748903	0.157743
SRFCM	4.370158	0.696433	0.139605

#### 4.2 UCI 数据集

本文采用 UCI<sup>[9]</sup> 中的 Wine, Balance 和 Ionosphere 3 个数据集来进行对比实验, 实验结果如表 2—表 4 所列。

表 2 Wine(C=3)

算法	PBM	DB	XB
FCM	1.980322	3.076901	7.094532
RCM	2.531437	2.795603	2.906314
RFCM	3.811251	1.475322	1.657411
SRFCM	4.217045	1.036742	1.225482

表 3 Balance(C=3)

算法	PBM	DB	XB
FCM	0.001333	41.648942	110.648942
RCM	1.037491	1.961526	0.506262
RFCM	1.112036	1.658627	0.357915
SRFCM	1.200132	1.319002	0.245924

表 4 Ionosphere(C=2)

算法	PBM	DB	XB
FCM	0.424221	2.468362	1.031237
RCM	0.723741	1.521138	0.613359
RFCM	0.932734	1.473451	0.513922
SRFCM	1.013672	1.420057	0.392257

从表 2—表 4 可以得出, 基于阴影集的粗糙模糊 C 均值算法的聚类结果得到了最大的 PBM 值、最小的 DB 值和 XB 值, 3 种评价指标都显示基于阴影集的粗糙模糊 C 均值算法具有最好的聚类效果, 体现出了本文基于阴影集动态确定划分聚类阈值的优点。

**结束语** 本文针对粗糙聚类算法中划分近似区域的阈值参数确定进行了探讨, 提出了基于阴影集理论动态确定阈值的粗糙模糊聚类算法。采用 UCI 数据与人造数据进行实验分析, 通过 PBM、DB 和 XB 等评价指标的对比, 说明了本文所提算法的有效性。所提算法的理论分析将是未来主要研究工作之一。

#### 参 考 文 献

- [1] Pawlak Z. Rough sets[J]. International Journal of Information Computer Sciences, 1982, 11: 145-172
- [2] Lingras P, West C. Interval set clustering of web users with rough  $k$ -means[J]. Journal of Intelligent Information Systems, 2004, 23(1): 5-16
- [3] Mitra S, Banka H, Pedrycz W. Rough-Fuzzy collaborative clustering[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 2006, 36(4): 795-805
- [4] Bezdek J C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms[M]. New York: Plenum, 1981
- [5] Pedrycz W. Shadowed sets: representing and processing fuzzy sets[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 1998, 28(1): 103-109
- [6] Pakhira M K, Bandyopadhyay S, Maulik U. Validity index for crisp and fuzzy clusters[J]. Pattern Recognition, 2004, 37: 487-501
- [7] Davies D L, Bouldin D W. A cluster separation measure[J]. IEEE Trans, Pattern Anal. Mach. Intell., 1979, 1: 224-227
- [8] Xie X L, Beni G. A validity measure for fuzzy clustering[J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 1991, 13(8): 841-846
- [9] Blake C L, Merz C J. UCI repository of learning databases[OL]. <http://www.ics.uci.edu/~mllearn/MLRepository.html>