

动态知识智能发现与属性逻辑动态关系

徐凤生¹ 于秀清¹ 史开泉²

(德州学院数学科学学院 德州 253023)¹ (山东大学数学与系统科学学院 济南 250100)²

摘要 单向S-粗集(one direction singular rough sets)与单向S-粗集对偶(dual of one direction singular rough sets)是S-粗集(singular rough sets)的两种动态结构;在一定条件下,单向S-粗集与单向S-粗集对偶被还原成Z. Pawlak粗集。单向S-粗集与单向S-粗集对偶分别是S-粗集的基本形式之一。利用单向S-粗集与单向S-粗集对偶,给出动态知识的属性合取范式与属性合取范式萎缩-扩张特征,给出知识推理结构与推理模型。利用单向S-粗集,单向S-粗集对偶,属性合取范式与知识推理交叉、融合、渗透,给出具有属性合取范式萎缩-扩张特征的动态知识生成与生成定理;给出在知识推理条件下的动态知识智能发现与它的属性逻辑关系;给出动态知识的智能筛选、筛选准则、筛选定理与应用。

关键词 S-粗集,属性合取,知识推理,知识智能发现,智能筛选,应用

中图分类号 O144 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.4.032

Intelligent Discovery of Dynamic Knowledges and Logic Dynamic Relation between their Attributes

XU Feng-sheng¹ YU Xiu-qing¹ SHI Kai-quan²

(College of Mathematical Sciences, Dezhou University, Dezhou 253023, China)¹

(School of Mathematics and System Sciences, Shandong University, Jinan 250100, China)²

Abstract One direction singular rough sets and dual of one direction singular rough sets are two dynamic structures of S-rough sets. Under certain conditions, one direction singular rough sets and dual of one direction singular rough sets can be reverted to Z. Pawlak rough sets, and they are also thought as one fundamental form of S-rough sets. Using one direction singular rough sets and dual of one direction singular rough sets, attribute conjunction normal form of dynamic knowledge and its shrinking-expansion characteristics were provided. Furthermore, there are the knowledge reasoning structure and reasoning modal. By the above knowledge intersection and fusion, dynamic knowledge generation with characteristics of attribute conjunction normal form shrinking-expansion and generation theorem. And the logic relation between intelligent discovery and attributes of dynamic knowledge were obtained when they satisfy knowledge reasoning condition. Finally intelligent filter, filter criterion, filter theorem and applications were presented.

Keywords Singular rough sets, Attribute conjunction, Knowledge reasoning, Knowledge intelligent discovery, Intelligent filter, Application

1 引言

数理逻辑中,元素(或命题) $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的“合取”关系是: $x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_n = \bigwedge_{i=1}^n x_i$,如果把概念引申,得到:给定集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\}$ 是 X 的属性集合, $\forall x_i \in X$, x_i 同时具有属性 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$,则 x_i 的属性 α_i 满足属性合取关系,或者 $\alpha_i = \alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_k = \bigwedge_{i=1}^k \alpha_i$ 。这个概念存在于诸多的知识系统中,没有引起人们太多的注意;这个概念引申中的诸多新应用,还没被人们认识与开发。这个概念引申存在的直接证据是: $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ 是5个苹果构成的苹果集合; $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\}$ 是 X 的属性集合, $\alpha_1 =$ 红

色, $\alpha_2 =$ 甜味, $\alpha_3 =$ 重量100克。显然, $\forall x_i \in X$ 同时具有 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, i=1, 2, 3, 4, 5$,或者 $\forall x_i \in X$ 的属性 α_i 满足属性合取范式: $\alpha_i = \alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \alpha_3 = \bigwedge_{i=1}^3 \alpha_i$ 。I.若在 α 内删除属性 α_3 , α 变成 $\alpha^f = \alpha - \{\alpha_3\} = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\} - \{\alpha_3\} = \{\alpha_1, \alpha_2\}$,则 X 变成 $X^f = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\} \supseteq X$,显然, $\forall x_i \in X^f$ 同时具有属性 $\alpha_1, \alpha_2, i=1, 2, 3, 4, 5, 6$,或者 $\forall x_i \in X^f$ 的属性 $\alpha_i = \alpha_1 \wedge \alpha_2 = \bigwedge_{i=1}^2 \alpha_i$ 。II.若在 α 内补充属性 $\alpha_4 =$ 苹果产自中国, α 变成 $\alpha^f = \alpha \cup \{\alpha_4\} = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4\}$,则 X 变成 $X^f = \{x_1, x_2, x_5\} \subseteq X$,显然, $\forall x_i \in X^f$ 同时具有属性 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, i=1, 2, 5$,或者 $\forall x_i \in X^f$ 的属性 $\alpha_i = \alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \alpha_3 \wedge \alpha_4 = \bigwedge_{i=1}^4 \alpha_i$ 。这个简单的证据能被

到稿日期:2014-04-20 返修日期:2014-07-28 本文受山东省自然科学基金(ZR2010AL019),山东省高校科技计划(J12LN92),山东省科技发展计划(2011GGA14074)资助。

徐凤生(1965—),男,硕士,教授,主要研究方向为信息系统理论与应用,E-mail: sxxxf@126.com;于秀清(1968—),女,硕士,教授,主要研究方向为粗系统理论与应用,E-mail: sddzyxq@163.com;史开泉(1945—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为粗系统理论与应用,E-mail: shikq@sdu.edu.cn(通信作者)。

所有人确认。I、II指出:若属性集合 α 变化(α 内删除属性或补充属性),则集合 X 发生变化(X 内补充元素或删除元素),集合 X 具有了动态特征。若把 X 定义成知识 $[x]$,或者 $X=[x]$,把 α 定义成知识 $[x]$ 的属性集合,则知识 $[x]$ 具有动态特征。在II中, $[x]^f$ 在 $[x]$ 内被发现, $[x]^f \subseteq [x]$;在I中, $[x]^f$ 在 $[x]$ 外被发现, $[x] \subseteq [x]^f$ 。这个事实是本文给出研究的事实依据。在这个事实中,I的动态特征与单向S-粗集的动态特征相同,II的动态特征与单向S-粗集对偶的动态特征相同。单向S-粗集与单向S-粗集对偶是S-粗集的两个具有不同的动态特征且相互独立的模型,S-粗集是把动态特征引入到Z. Pawlak粗集中,对Z. Pawlak粗集进行改进而提出的。

本文利用单向S-粗集、单向S-粗集对偶的动态结构,给出具有属性合取萎缩-扩张特征的动态知识生成;给出知识推理与推理结构,给出满足知识推理的知识智能发现与它的智能关系定理;给出满足知识的智能发现与它的智能筛选;给出应用。

2 单向S-粗集与单向S-粗集对偶

文献[1-5]给出:

称 X° 是 $X \subset U$ 的一个单向S-集合(one direction singular set),如果

$$X^\circ = X \cup \{u | u \in U, u \notin X, f(u) = x \in X\} \quad (1)$$

称 X^f 是 $X \subset U$ 的 f -扩张,如果

$$X^f = \{u | u \in U, u \notin X, f(u) = x \in X\} \quad (2)$$

给定单向S-集合 $X^\circ \subset U$,称 $(R, F)。(X^\circ), (R, F)^\circ(X^\circ)$ 分别是 $X^\circ \subset U$ 的下近似、上近似,而且

$$(R, F)。(X^\circ) = \bigcup [x] = \{x | x \in U, [x] \subseteq X^\circ\} \quad (3)$$

$$(R, F)^\circ(X^\circ) = \bigcup [x] = \{x | x \in U, [x] \cap X^\circ \neq \emptyset\} \quad (4)$$

由 $(R, F)。(X^\circ), (R, F)^\circ(X^\circ)$ 构成的集合对是 $X^\circ \subset U$ 的单向S-粗集,而且

$$((R, F)。(X^\circ), (R, F)^\circ(X^\circ)) \quad (5)$$

称 $Bn_R(X^\circ)$ 是 $X^\circ \subset U$ 的 R -边界,如果

$$Bn_R(X^\circ) = (R, F)^\circ(X^\circ) - (R, F)。(X^\circ) \quad (6)$$

称 $X' \subset U$ 是单向S-集合 X° 的对偶,而且

$$X' = X - \{x | x \in X, \bar{f}(x) = u \notin X\} \quad (7)$$

称 $X^{\bar{f}}$ 是 $X \subset U$ 的 $\bar{f}$ -萎缩,而且

$$X^{\bar{f}} = \{x | x \in X, \bar{f}(x) = u \notin X\} \quad (8)$$

给定单向S-集合对偶 $X' \subset U$,称 $(R, \bar{F})。(X'), (R, \bar{F})^\circ(X')$ 分别是 $X' \subset U$ 的下近似、上近似。

$$(R, \bar{F})。(X') = \bigcup [x] = \{x | x \in U, [x] \subseteq X'\} \quad (9)$$

$$(R, \bar{F})^\circ(X') = \bigcup [x] = \{x | x \in U, [x] \cap X' \neq \emptyset\} \quad (10)$$

由 $(R, \bar{F})。(X'), (R, \bar{F})^\circ(X')$ 构成的集合对是 $X' \subset U$ 的单向S-粗集对偶,而且

$$((R, \bar{F})。(X'), (R, \bar{F})^\circ(X')) \quad (11)$$

$Bn_R(X')$ 是 $X' \subset U$ 的 R -边界,而且

$$Bn_R(X') = (R, \bar{F})^\circ(X') - (R, \bar{F})。(X') \quad (12)$$

应当指出:1. 式(1)、式(2)、式(7)、式(8)中的 $X \subset U$ 是Z. Pawlak粗集 $(R_-(X), R_+(X))$ 中的有限普通集合 X 。2. 式(3)一式(6)、式(9)一式(12)中的 R 是等价关系;3. 式(3)、式(4)、式(9)、式(10)中的 $[x]$ 是等价类。4. 式(1)、式(2)、式(5)、式(6)中的 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ 是元素迁移族, $f \in F$ 是元素迁移, $f \in F$ 的特征是: $u \in U, u \notin X, f$ 把 u 变成 $f(u) = x \in X$ 。式(7)、式(8)、式(11)、式(12)中的 $\bar{F} = \{\bar{f}_1, \bar{f}_2, \dots,$

$\bar{f}_n\}$ 是元素迁移族, $\bar{f} \in \bar{F}$ 是元素迁移, $\bar{f} \in \bar{F}$ 的特征是: $x \in X, \bar{f} \in \bar{F}$ 把 x 变成 $\bar{f}(x) = u \notin X$ 。5. 式(7)中, $X' \neq \emptyset$ 。6. 单向S-粗集,单向S-粗集对偶,双向S-粗集与S-粗集的函数形式,函数S-粗集的更多概念、特征、应用见文献[2-17, 25, 26]。

由单向S-粗集结构式(1)一式(6)、单向S-粗集对偶结构式(7)一式(12)分别得到两个重要结论A与B,A与B在3-6节的讨论中被应用。给定有限普通集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\}$ 是 X 的属性集合, $\forall x_i \in X$ 的属性 α_i 满足 $\alpha_i = \alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_k = \bigwedge_{i=1}^k \alpha_i$ 。

A. 式(1)一式(6)中, X 内被补充元素, X 变成 $X^\circ, X \subseteq X^\circ$,等价于 X 的属性集合 α 内被删除属性, α 变成 $\alpha^f, \alpha^f \subseteq \alpha$;或者, $[x]$ 内被补充元素, $[x]$ 变成 $[x]^f, [x] \subseteq [x]^f$,等价于 $[x]$ 的属性集合 α 内被删除属性, α 变成 $\alpha^f, \alpha^f \subseteq \alpha$ 。

B. 式(7)一式(12)中, X 内被删除元素, X 变成 $X', X' \subseteq X$,等价于 X 的属性集合 α 内被补充属性, α 变成 $\alpha^f, \alpha \subseteq \alpha^f$;或者, $[x]$ 内被删除元素, $[x]$ 变成 $[x]^f, [x]^f \subseteq [x]$,等价于 $[x]$ 的属性集合 α 内被补充属性, α 变成 $\alpha^f, \alpha \subseteq \alpha^f$ 。

由式(1)一式(6)构成的单向S-粗集、式(7)一式(12)构成的单向S-粗集对偶与Z. Pawlak粗集得到:

命题 1 在 $F = \emptyset$ 的条件下,单向S-粗集被还原成Z. Pawlak粗集,或者

$$((R, F)。(X^\circ), (R, F)^\circ(X^\circ))_{F=\emptyset} = (R_-(X), R_+(X)) \quad (13)$$

证明:若 $F = \emptyset$,则式(2)变成

$$X^f = \{u | u \in U, u \notin X, f(u) = x \in X\} = \emptyset$$

式(1)变成

$$X^\circ = X \cup \{u | u \in U, u \notin X, f(u) = x \in X\} = X$$

式(3)变成

$$\begin{aligned} (R, F)。(X^\circ) &= \bigcup [x] = \{x | x \in U, [x] \subseteq X^\circ\} \\ &= \{x | x \in U, [x] \subseteq X\} = R_-(X) \end{aligned}$$

式(4)变成

$$\begin{aligned} (R, F)^\circ(X^\circ) &= \bigcup [x] = \{x | x \in U, [x] \cap X^\circ \neq \emptyset\} \\ &= \{x | x \in U, [x] \cap X \neq \emptyset\} = R_+(X) \end{aligned}$$

得到式(13)。

命题 2 在 $\bar{F} = \emptyset$ 的条件下,单向S-粗集对偶被还原成Z. Pawlak粗集,或者

$$((R, \bar{F})。(X'), (R, \bar{F})^\circ(X'))_{\bar{F}=\emptyset} = (R_-(X), R_+(X)) \quad (14)$$

命题2的证明与命题1类似,略。

这里,式(13)、式(14)中 $(R_-(X), R_+(X))$ 是Z. Pawlak粗集。

命题 3 单向S-粗集是Z. Pawlak粗集中 $[x]$ 内被补充元素的生成。

命题 4 单向S-粗集对偶是Z. Pawlak粗集中 $[x]$ 内被删除元素的生成。

特别指出:单向S-粗集的动态特性与累加器 $T = T + 1$ 的动态特性相同;单向S-粗集对偶的动态特性与累减器 $T = T - 1$ 的动态特性相同。

利用第2节中的概念,单向S-粗集与单向S-粗集对偶的结构将在3节中给出。

3 属性合取萎缩-扩张与动态知识生成

约定 在第3-6节的讨论中,第2节中的 X, X°, X' 分

别记作 $[x]$ 、 $[x]^f$ 、 $[x]^j$,或者, $X=[x]$, $X^o=[x]^f$, $X'=[x]^j$, $[x]$, $[x]^f$, $[x]^j$ 称作知识,为不引起混乱与误解。

定义 1 给定知识 $[x]=\{x_1, x_2, \dots, x_q\}$, $\alpha=\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\}$ 是 $[x]$ 的属性集合,称 $[x]$ 是一个具有属性合取特征的知识,如果知识元 $x_i \in [x]$ 的属性 α_i 满足属性合取范式

$$\alpha_i = \alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_k = \bigwedge_{i=1}^k \alpha_i \quad (15)$$

定义 2 称 $[x]^j$ 是 $[x]$ 生成的内-动态知识, $[x]^j \subseteq [x]$,如果知识元 $x_i \in [x]^j$ 的属性 α_i 满足属性合取范式

$$\alpha_i = \bigwedge_{i=1}^{\lambda} \alpha_i \quad (16)$$

称 $[x]^f$ 是 $[x]$ 生成的外-动态知识, $[x] \subseteq [x]^f$,如果知识元 $x_i \in [x]^f$ 的属性 α_i 满足属性合取范式

$$\alpha_i = \bigwedge_{i=1}^m \alpha_i \quad (17)$$

这里,式(15)~式(17)中, k, λ, m 满足 $m < k < \lambda$; $m, k, \lambda \in \mathbb{N}^+$ 。

定义 3 由 $[x]^j$ 、 $[x]^f$ 构成的知识对,称作是 $[x]$ 生成的内-外动态知识,而且

$$([x]^j, [x]^f) \quad (18)$$

由定义 1~3 得到:

定理 1 内-动态知识 $[x]^j$ 存在的充分必要条件是知识元 $x_j \in [x]^j$ 的属性 α_j 是知识元 $x_i \in [x]$ 的属性 α_i 的合取范式扩张,或者

$$\alpha_j = (\bigwedge_{i=1}^k \alpha_i) \bigwedge_{i=k+1}^n \alpha_i \quad (19)$$

这里, $\alpha=\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\}$ 是 $[x]$ 的属性集合, $\alpha^f=\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k, \alpha_{k+1}, \dots, \alpha_n\}$ 是 $[x]^f$ 的属性集合, $\alpha_i = \bigwedge_{i=1}^k \alpha_i$ 是知识元 $x_j \in [x]^j$ 的属性合取范式。

证明:给定知识 $[x]=\{x_1, x_2, \dots, x_q\}$, $\alpha=\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\}$ 是 $[x]$ 的属性集合, $\forall x_i \in [x]$ 的属性 $\alpha_i = \bigwedge_{i=1}^k \alpha_i$; $\alpha^f=\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k, \alpha_{k+1}, \dots, \alpha_n\}$ 是 $[x]^f$ 的属性集合。A. 由定义 1、2 与引言中直接证据中的 II 得到: $\forall x_j \in [x]^j$ 的属性 $\alpha_j = \alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_k \wedge \alpha_{k+1} \wedge \dots \wedge \alpha_n = \bigwedge_{i=1}^n \alpha_i = (\bigwedge_{i=1}^k \alpha_i) \bigwedge_{i=k+1}^n \alpha_i$, 得到式(19)。B. 若 $\forall x_j \in [x]^j$ 的属性 α_j 与 $\forall x_i \in [x]$ 的属性 α_i 满足式(19): $\alpha_j = (\bigwedge_{i=1}^k \alpha_i) \bigwedge_{i=k+1}^n \alpha_i$, 由定义 2 得到: $[x]^j$ 是 $[x]$ 生成的内-动态知识。由 A、B 得到定理 1。

定理 2 外-动态知识 $[x]^f$ 存在的充分必要条件是知识元 $x_j \in [x]^f$ 的属性 α_j 是知识元 $x_i \in [x]$ 的属性 α_i 的合取范式萎缩,或者

$$\alpha_j = (\bigwedge_{i=1}^k \alpha_i) - \bigwedge_{i=m+1}^k \alpha_i \quad (20)$$

这里, $\alpha=\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m, \alpha_{m+1}, \dots, \alpha_k\}$ 是 $[x]$ 属性集合, $\alpha^f=\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\}$ 是 $[x]^f$ 的属性集合。

定理 2 的证明与定理 1 类似,略。

由定理 1、2 直接得到:

定理 3 内-外动态知识 $([x]^j, [x]^f)$ 存在的充分必要条件是知识元 $x_i \in [x]^j$ 的属性 α_i 和知识元 $x_j \in [x]^f$ 的属性 α_j 满足

$$(\alpha_i, \alpha_j) = ((\bigwedge_{i=1}^k \alpha_i) \bigwedge_{i=k+1}^n \alpha_i, (\bigwedge_{i=1}^k \alpha_i) - \bigwedge_{i=m+1}^k \alpha_i) \quad (21)$$

这里,式(21)表示 $\alpha_i = (\bigwedge_{i=1}^k \alpha_i) \bigwedge_{i=k+1}^n \alpha_i$, $\alpha_j = (\bigwedge_{i=1}^k \alpha_i) - \bigwedge_{i=m+1}^k \alpha_i$ 。

推论 1 若 $[x]^j$ 是 $[x]$ 生成的内-动态知识,则 $[x]$ 内被删除 $\nabla[x] \neq \emptyset$ 满足

$$[x]^j = [x] - \nabla[x] \quad (22)$$

推论 2 若 $[x]^f$ 是 $[x]$ 生成的外-动态知识,则 $[x]$ 内被补充 $\Delta[x] \neq \emptyset$ 满足

$$[x]^f = [x] \cup \Delta[x] \quad (23)$$

推论 3 若 $([x]^j, [x]^f)$ 是 $[x]$ 生成的内-外动态知识,则 $[x]$ 内被删除 $\nabla[x] \neq \emptyset$,同时被补充 $\Delta[x] \neq \emptyset$ 满足

$$([x]^j, [x]^f) = ([x] - \nabla[x], [x] \cup \Delta[x]) \quad (24)$$

这里,式(24)表示 $[x]^j = [x] - \nabla[x]$, $[x]^f = [x] \cup \Delta[x]$ 。

命题 5 $[x]$ 生成有限个内-动态知识 $[x]^j_i$, $[x]^j_i$ 构成 $[x]$ 的内-动态知识族 $\{[x]^j_i | i=1, 2, \dots, n\}$ 。

命题 6 $[x]$ 生成有限个外-动态知识 $[x]^f_j$, $[x]^f_j$ 构成 $[x]$ 的外-动态知识族 $\{[x]^f_j | j=1, 2, \dots, n\}$ 。

命题 7 $[x]$ 生成有限个内-外动态知识 $([x]^j_i, [x]^f_j)$, $([x]^j_i, [x]^f_j)$ 构成 $[x]$ 的内-外动态知识族 $\{([x]^j_i, [x]^f_j) | i, j=1, 2, \dots, n\}$ 。

命题 5~7 指出:在属性集合 α 变化的条件下(α 内补充属性, α 内删除属性),未知的内-动态知识 $[x]^j_i$ 、外-动态知识 $[x]^f_j$ 分别在 $[x]$ 内、 $[x]$ 外依次被发现,这些依次被发现的内-动态知识 $[x]^j_i$ 、外-动态知识 $[x]^f_j$ 具有不同的属性集合;知识发现中具有动态特征。

对第 3 节中的结果再讨论,第 4 节将给出知识推理与知识智能发现-智能关系定理。

4 知识推理与知识智能发现-智能关系定理

定义 4 给定内-动态知识 $[x]_{k+1}^j, [x]_k^j$; $\alpha_{k+1}^f, \alpha_k^f$ 分别是 $[x]_{k+1}^j, [x]_k^j$ 的属性集合,若 α_{k+1}^f 与 α_k^f , $[x]_{k+1}^j$ 与 $[x]_k^j$ 满足

$$\text{if } \alpha_k^f \Rightarrow \alpha_{k+1}^f, \text{ then } [x]_{k+1}^j \Rightarrow [x]_k^j \quad (25)$$

式(25)称作内-动态知识生成的内-动态知识推理,简称内-知识推理; $\alpha_k^f \Rightarrow \alpha_{k+1}^f$ 称作内-知识推理条件; $[x]_{k+1}^j \Rightarrow [x]_k^j$ 称作内-知识推理结论。

这里,式(25)中“ $\Rightarrow$ ”与“ $\subseteq$ ”等价。

定义 5 给定外-动态知识 $[x]_k^f, [x]_{k+1}^f$; $\alpha_k^f, \alpha_{k+1}^f$ 分别是 $[x]_k^f, [x]_{k+1}^f$ 的属性集合,若 α_k^f 与 α_{k+1}^f , $[x]_k^f$ 与 $[x]_{k+1}^f$ 满足

$$\text{if } \alpha_{k+1}^f \Rightarrow \alpha_k^f, \text{ then } [x]_k^f \Rightarrow [x]_{k+1}^f \quad (26)$$

式(26)称作外-动态知识生成的外-动态知识推理,简称外-知识推理; $\alpha_{k+1}^f \Rightarrow \alpha_k^f$ 称作外-知识推理条件; $[x]_k^f \Rightarrow [x]_{k+1}^f$ 称作外-知识推理结论。

定义 6 给定内-外动态知识 $([x]_{k+1}^j, [x]_k^f)$, $([x]_k^f, [x]_{k+1}^j)$; $(\alpha_{k+1}^f, \alpha_k^f)$, $(\alpha_k^f, \alpha_{k+1}^f)$ 分别是 $([x]_{k+1}^j, [x]_k^f)$, $([x]_k^f, [x]_{k+1}^j)$ 的属性集合, $(\alpha_{k+1}^f, \alpha_k^f)$ 与 $(\alpha_k^f, \alpha_{k+1}^f)$, $([x]_{k+1}^j, [x]_k^f)$ 与 $([x]_k^f, [x]_{k+1}^j)$ 满足

$$\text{if } (\alpha_k^f, \alpha_{k+1}^f) \Rightarrow (\alpha_{k+1}^f, \alpha_k^f), \text{ then } ([x]_{k+1}^j, [x]_k^f) \Rightarrow ([x]_k^f, [x]_{k+1}^j) \quad (27)$$

式(27)称作内-外动态知识生成的内-外动态知识推理,简称内-外知识推理; $(\alpha_k^f, \alpha_{k+1}^f) \Rightarrow (\alpha_{k+1}^f, \alpha_k^f)$ 称作内-外知识推理条件; $([x]_{k+1}^j, [x]_k^f) \Rightarrow ([x]_k^f, [x]_{k+1}^j)$ 称作内-外知识推理结论。

这里, $(\alpha_k^f, \alpha_{k+1}^f) \Rightarrow (\alpha_{k+1}^f, \alpha_k^f)$ 表示 $\alpha_k^f \Rightarrow \alpha_{k+1}^f$ 与 $\alpha_{k+1}^f \Rightarrow \alpha_k^f$ 同时成立; $([x]_{k+1}^j, [x]_k^f) \Rightarrow ([x]_k^f, [x]_{k+1}^j)$ 表示 $[x]_{k+1}^j \Rightarrow [x]_k^f$ 与 $[x]_k^f \Rightarrow [x]_{k+1}^j$ 同时成立。

由定义 4~6 得到:

命题 8 如果 $[x]_k^f, [x]$ 分别具有属性集合 α_k^f, α ,则满足

内-知识推理条件 $\alpha \Rightarrow \alpha_k^f$ 的内-动态知识 $[x]_k^f$ 在 $[x]$ 内被发现, $[x]_k^f \subseteq [x]$ 。

命题 9 如果 $[x]_k^f, [x]$ 分别具有属性集合 α_k^f, α , 则满足外-知识推理条件 $\alpha_k^f \Rightarrow \alpha$ 的外-动态知识 $[x]_k^f$ 在 $[x]$ 外被发现, $[x] \subseteq [x]_k^f$ 。

命题 10 如果 $[x]_k^f, [x]_k^f, [x]$ 分别具有属性集合 $(\alpha_k^f, \alpha_k^f), \alpha$, 则满足内-外知识推理条件 $(\alpha_k^f, \alpha) \Rightarrow (\alpha, \alpha_k^f)$ 的内-外动态知识 $([x]_k^f, [x]_k^f)$ 在 $[x]$ 内-外被发现, $[x]_k^f \subseteq [x] \subseteq [x]_k^f$ 。

由定义 4-6、命题 8-10 得到:

定理 4 (内-动态知识发现的智能关系定理) $[x]^f$ 是在 $[x]$ 内被智能发现的内-动态知识的充分必要条件是存在 $\nabla[x] \neq \emptyset, \Delta\alpha \neq \emptyset, ([x] - \nabla[x])$ 与 $[x], ([x] - \nabla[x])$ 的属性集合 $(\alpha \cup \Delta\alpha)$ 与 $[x]$ 属性集合 α 满足内-知识推理

$$\text{if } \alpha \Rightarrow (\alpha \cup \Delta\alpha), \text{ then } ([x] - \nabla[x]) \Rightarrow [x] \quad (28)$$

知识元 $x_j \in ([x] - \nabla[x])$ 的属性 α_j 与知识元 $x_i \in [x]$ 的属性 α_i 满足

$$\alpha_j = (\bigwedge_{t=1}^k \alpha_t) - \bigwedge_{t=k+1}^n \alpha_t \quad (29)$$

这里, 式(28)中 $([x] - \nabla[x]) = [x]^f, (\alpha \cup \Delta\alpha) = \alpha^f$; 式(29)

中, $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\}$ 是 $[x]$ 的属性集合, $\alpha_i = \bigwedge_{t=1}^k \alpha_t$; $\alpha^f = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k, \alpha_{k+1}, \dots, \alpha_n\}$ 是 $[x]^f$ 的属性集合。

证明: A. 若 $\nabla[x] \neq \emptyset, \Delta\alpha \neq \emptyset, [x]^f = ([x] - \nabla[x]), \alpha^f = (\alpha \cup \Delta\alpha)$, 则由定义 4 得到 $[x]^f = ([x] - \nabla[x])$ 与 $[x]$ 满足 $[x]^f \subseteq [x]$; 或者 $[x]^f \Rightarrow [x], [x]^f$ 的属性集合 $\alpha^f = (\alpha \cup \Delta\alpha)$ 与 $[x]$ 的属性集合 α 满足 $\alpha \subseteq \alpha^f$; 或者 $\alpha \Rightarrow \alpha^f$; 故有: 若 $\alpha \Rightarrow \alpha^f$, 则 $[x]^f \Rightarrow [x]$, 得到式(28)。B. 若 $[x]^f = ([x] - \nabla[x])$ 与 $[x]$, $\alpha^f = (\alpha \cup \Delta\alpha)$ 与 α 满足式(28), 则有 $[x]^f = ([x] - \nabla[x]) \subseteq [x], \alpha \subseteq (\alpha \cup \Delta\alpha) = \alpha^f$; 由定义 2 得到 $[x]^f$ 是 $[x]$ 的内-动态知识, $[x]^f \subseteq [x]$, 由命题 8 知, $[x]^f$ 是在 $[x]$ 内被智能发现的。C. 式(29)的证明见定理 1, 由 A、B、C 得到定理 4。

推论 4 若 $[x]^f$ 是满足内-知识推理条件 $\alpha \Rightarrow \alpha^f$, 在 $[x]$ 内被智能发现的内-动态知识, 则

$$\text{card}([x]^f) - \text{card}([x]) \leq 0 \quad (30)$$

定理 5 (外-动态知识发现的智能关系定理) $[x]^f$ 是在 $[x]$ 外被智能发现的外-动态知识的充分必要条件是存在 $\Delta[x] \neq \emptyset, \nabla\alpha \neq \emptyset, ([x] \cup \Delta[x])$ 与 $[x], ([x] \cup \Delta[x])$ 的属性集合 $(\alpha - \nabla\alpha)$ 与 $[x]$ 属性集合 α 满足外-知识推理

$$\text{if } (\alpha - \nabla\alpha) \Rightarrow \alpha, \text{ then } [x] \Rightarrow ([x] \cup \Delta[x]) \quad (31)$$

知识元 $x_j \in ([x] \cup \Delta[x])$ 的属性 α_j 与知识元 $x_i \in [x]$ 的属性 α_i 满足

$$\alpha_j = (\bigwedge_{t=1}^k \alpha_t) - \bigwedge_{t=m+1}^n \alpha_t \quad (32)$$

这里, 式(31)中 $(\alpha - \nabla\alpha) = \alpha^f, ([x] \cup \Delta[x]) = [x]^f$; 式(32)

中, $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\}$ 是 $[x]$ 的属性集合, $\alpha_i = \bigwedge_{t=1}^k \alpha_t$; $\alpha^f = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\}$ 是 $[x]^f$ 的属性集合。

证明与定理 4 类似, 略。

推论 5 若 $[x]^f$ 是满足外-知识推理条件 $\alpha^f \Rightarrow \alpha$, 在 $[x]$ 外被智能发现的外-动态知识, 则

$$\text{card}([x]^f) - \text{card}([x]) \geq 0 \quad (33)$$

由定理 4 和定理 5, 推论 4 和推论 5, 直接得到定理 6。

定理 6 (内-外动态知识发现的智能关系定理) $([x]^f, [x]^f)$ 是在 $[x]$ 内-外被智能发现的内-外动态知识的充分必要条件是存在 $(\nabla[x], \Delta[x]) \neq \emptyset, (\Delta\alpha, \nabla\alpha) \neq \emptyset, (([x] -$

$\nabla[x]), ([x] \cup \Delta[x]))$ 与 $[x], (([x] - \nabla[x]), ([x] \cup \Delta[x]))$ 的属性集合 $((\alpha \cup \Delta\alpha), (\alpha - \nabla\alpha))$ 与 $[x]$ 属性集合 α 满足内-外知识推理

$$\begin{aligned} \text{if } (\alpha, (\alpha - \nabla\alpha)) \Rightarrow ((\alpha \cup \Delta\alpha), \alpha), \text{ then } (([x] - \nabla[x]), \\ [x]) \\ \Rightarrow ([x], ([x] \cup \Delta[x])) \end{aligned} \quad (34)$$

知识元 $x_i \in ([x] - \nabla[x])$ 的属性 α_i 与知识元 $x_j \in [x]$ 的属性 α_j , 知识元 $x_j \in ([x] \cup \Delta[x])$ 的属性 α_j 与知识元 $x_j \in [x]$ 的属性 α_j 满足

$$(\alpha_i, \alpha_j) = ((\bigwedge_{t=1}^k \alpha_t), \bigwedge_{t=k+1}^n \alpha_t, (\bigwedge_{t=1}^k \alpha_t) - \bigwedge_{t=m+1}^n \alpha_t) \quad (35)$$

推论 6 若 $([x]^f, [x]^f)$ 是满足内-外知识推理条件 $((\alpha - \nabla\alpha), \alpha) \Rightarrow (\alpha, (\alpha \cup \Delta\alpha))$, 在 $[x]$ 内-外被智能发现的内-外动态知识, 则

$$\text{card}([x]^f) \leq \text{card}([x]) \leq \text{card}([x]^f) \quad (36)$$

这里, 式(30)、式(33)、式(36)中, $\text{card} = \text{cardinal number}$ 。

5 知识智能发现的知识与它的智能筛选

定义 7 称 $\text{GRD}([x]^f)$ 是内-动态知识 $[x]^f$ 的颗粒度, 如果

$$\text{GRD}([x]^f) = \text{card}([x]^f) / \text{card}([x]) \quad (37)$$

称 $\text{GRD}([x]^f)$ 是外-动态知识 $[x]^f$ 的颗粒度, 如果

$$\text{GRD}([x]^f) = \text{card}([x]^f) / \text{card}([x]) \quad (38)$$

定义 8 称 $\text{GRD}([x]^f, [x]^f)$ 是内-外动态知识 $([x]^f, [x]^f)$ 的颗粒度, 如果 $\text{GRD}([x]^f, [x]^f)$ 是由 $\text{GRD}([x]^f)$ 与 $\text{GRD}([x]^f)$ 构成的颗粒对, 而且

$$\text{GRD}([x]^f, [x]^f) = (\text{GRD}([x]^f), \text{GRD}([x]^f)) \quad (39)$$

这里, 式(37) - 式(39)中, $\text{GRD} = \text{granulation degree}$ 。

定义 9 称 μ^f, μ^f 分别是内-动态知识 $[x]^f$ 、外-动态知识 $[x]^f$ 的筛选系数, 如果

$$\mu^f = \text{card}(\alpha^f) / \text{card}(\alpha) \quad (40)$$

$$\mu^f = \text{card}(\alpha^f) / \text{card}(\alpha) \quad (41)$$

称系数对

$$(\mu^f, \mu^f) \quad (42)$$

是内-外动态知识 $([x]^f, [x]^f)$ 的筛选系数。

这里, 式(40)、式(41)中 α^f, α^f 分别是 $[x]^f, [x]^f$ 的属性集合, α 是 $[x]$ 的属性集合。

显然, 给定知识 $[x], [x]$ 的颗粒度 $\mu = \text{card}(\alpha) / \text{card}(\alpha) = 1$ 。

由定义 7-9 得到:

定理 7 (内-动态知识智能筛选定理) 若内-动态知识 $[x]_i^f$ 与 $[x]_j^f, [x]_i^f$ 的属性集合 $\alpha_i^f, [x]_j^f$ 的属性集合 $\alpha_j^f (i < j)$ 满足内-知识推理

$$\text{if } \alpha_i^f \Rightarrow \alpha_j^f, \text{ then } [x]_i^f \Rightarrow [x]_j^f \quad (43)$$

则内-知识推理智能生成的内-动态知识族 $\{[x]_i^f | i \in I\}$ 内存在 $[x]_k^f, [x]_k^f$ 具有

$$\text{GRD}([x]_k^f) = \min_{i \in I} (\text{GRD}([x]_i^f)) \quad (44)$$

$[x]_k^f$ 依据

$$\mu_k^f = \max_{i \in I} (\mu_i^f) \quad (45)$$

被筛选-发现。

证明: 利用式(43)得到内-知识推理的迭代形式: $\text{if } \alpha_i^f \Rightarrow \alpha_{i+1}^f, \text{ then } [x]_{i+1}^f \Rightarrow [x]_i^f$, 由迭代形式得到内-动态知识 $[x]_i^f$ 满足 $[x]_n^f \subseteq [x]_{n-1}^f \subseteq \dots \subseteq [x]_2^f \subseteq [x]_1^f$, 内-动态知识 $[x]_i^f$ 的属

性集合满足 $\alpha_1^f \subseteq \alpha_2^f \subseteq \dots \subseteq \alpha_n^f$; 得到被迭代形式生成的内-动态知识族 $\{[x]_i^f | i=1, 2, \dots, n\}$ 。存在 $[x]_n^f \in \{[x]_i^f | i=1, 2, \dots, n\}$, 由式 (37), $[x]_n^f$ 的颗粒度 $\text{GRD}([x]_n^f) = \min_{i=1}^n (\text{GRD}([x]_i^f))$ 。由式 (40) 得到: $[x]_n^f$ 的筛选系数 $\mu_n^f = \max_{i=1}^n (\mu_i^f)$, 在 $\mu_n^f = \max_{i=1}^n (\mu_i^f)$ 的条件下, 具有 μ_n^f 的内-动态知识 $[x]_n^f$ 具有最小颗粒度, $[x]_n^f$ 从 $\{[x]_i^f | i=1, 2, \dots, n\}$ 中被筛选-发现。

推论 7 满足内-知识推理 $\text{if } \alpha_i^f \Rightarrow \alpha_j^f, \text{ then } [x]_i^f \Rightarrow [x]_j^f$ 的内-动态知识依据筛选系数 $\mu_n^f \geq \mu_{n-1}^f \geq \dots \geq \mu_1^f$, $[x]_k^f$ 由大到小依次被智能筛选-发现。

推论 8 被智能筛选-发现的内-动态知识 $[x]_i^f$ 与 $[x]_j^f$ ($i < j$) 满足 $[x]_i^f \cap [x]_j^f \neq \emptyset, ([x]_i^f - [x]_j^f) \cap [x]_j^f = \emptyset$ 。

命题 11 具有最大筛选系数的内-动态知识 $[x]_n^f$ 具有最小的颗粒度。

定理 8 (外-动态知识智能筛选定理) 若外-动态知识 $[x]_i^f$ 与 $[x]_j^f$, $[x]_i^f$ 的属性集合 α_i^f , $[x]_j^f$ 的属性集合 α_j^f ($i < j$) 满足外-知识推理

$$\text{if } \alpha_j^f \Rightarrow \alpha_i^f, \text{ then } [x]_i^f \Rightarrow [x]_j^f \quad (46)$$

则外-知识推理智能生成的外-动态知识族 $\{[x]_j^f | j \in J\}$ 内存在 $[x]_k^f$, $[x]_k^f$ 具有

$$\text{GRD}([x]_k^f) = \max_{j \in J} (\text{GRD}([x]_j^f)) \quad (47)$$

$[x]_k^f$ 依据

$$\mu_k^f = \min_{j \in J} (\mu_j^f) \quad (48)$$

被筛选-发现。

定理 8 的证明与定理 7 类似, 略。

推论 9 满足外-知识推理 $\text{if } \alpha_j^f \Rightarrow \alpha_i^f, \text{ then } [x]_i^f \Rightarrow [x]_j^f$ 的外-动态知识依据筛选系数 $\mu_1^f \leq \mu_2^f \leq \dots \leq \mu_n^f$, $[x]_k^f$ 由小到依次被智能筛选-发现。

推论 10 被智能筛选-发现的外-动态知识 $[x]_i^f$ 与 $[x]_j^f$ ($i < j$) 满足 $[x]_i^f \cap [x]_j^f \neq \emptyset, ([x]_i^f - [x]_j^f) \cap [x]_j^f = \emptyset$ 。

命题 12 具有最小筛选系数的外-动态知识 $[x]_n^f$ 具有最大的颗粒度。

由定理 7、8 直接得到:

定理 9 (内-外动态知识智能筛选定理) 若内-外动态知识 $([x]_i^f, [x]_j^f)$ 与 $([x]_k^f, [x]_l^f)$; $([x]_i^f, [x]_j^f)$ 的属性集合 (α_i^f, α_j^f) , $([x]_k^f, [x]_l^f)$ 的属性集合 (α_k^f, α_l^f) ($i < k, j < l$) 满足内-外知识推理

$$\text{if } (\alpha_i^f, \alpha_j^f) \Rightarrow (\alpha_k^f, \alpha_l^f), \text{ then } ([x]_k^f, [x]_l^f) \Rightarrow ([x]_i^f, [x]_j^f) \quad (49)$$

则内-外知识推理智能生成的内-外动态知识族 $\{([x]_i^f, [x]_j^f) | i \in I, j \in J\}$ 内存在 $([x]_p^f, [x]_q^f)$, $([x]_p^f, [x]_q^f)$ 具有

$$\text{GRD}([x]_p^f, [x]_q^f) = (\min_{i \in I} (\text{GRD}([x]_i^f)), \max_{j \in J} (\text{GRD}([x]_j^f))) \quad (50)$$

$([x]_p^f, [x]_q^f)$ 依据

$$(\mu_p^f, \mu_q^f) = (\max_{i \in I} (\mu_i^f), \min_{j \in J} (\mu_j^f)) \quad (51)$$

被筛选-发现。

这里, 式 (50) 表示: $\text{GRD}([x]_p^f) = \min_{i \in I} (\text{GRD}([x]_i^f))$, $\text{GRD}([x]_q^f) = \max_{j \in J} (\text{GRD}([x]_j^f))$; 式 (51) 表示 $\mu_p^f = \max_{i \in I} (\mu_i^f)$, $\mu_q^f = \min_{j \in J} (\mu_j^f)$ 。

由定义 7-9、定理 7-9、推论 7-10 与命题 11、12 得到

动态知识智能筛选准则:

内-外动态知识 $([x]_k^f, [x]_l^f)$ 是被内-外知识推理生成, 知识 $[x]$ 的内-外智能筛选; $[x]$ 单依赖于 $[x]_k^f: [x]_k^f \Rightarrow [x]$, $[x]_l^f$ 单依赖于 $[x]: [x] \Rightarrow [x]_l^f$; $[x]_k^f$ 的筛选系数 $\mu_k^f \notin (0, 1)$, $[x]_l^f$ 的筛选系数 $\mu_l^f \in (0, 1)$ 。

利用第 2-5 节的讨论与结果, 第 6 节给出知识智能发现应用。

6 知识智能发现应用

本节的例子取自机器人视觉-目标真伪辨识系统, 系统工作的简化过程是: 正常情况下, 被辨识的目标定义成知识 $[x]$, 如果 $[x]$ 不发生变化, 机器人的运动依设定的轨道指令行进, 推理模块 (软件) 被关闭。如果 $[x]$ 发生变化, $[x]$ 内增加目标 x_j , $[x]$ 变成 $[x]^f$; 系统中推理软件被启动, $[x]$ 与 $[x]^f$ 进行比对, 并进行智能辨识 (推理辨识)。机器人发出警告, 开启智能指令与变轨程序, 绕过 $[x]^f$; 恢复正常设定程序, 执行正常运动。为了简单又不引起误解, 例子已作了必要的简化, 删掉了系统的方框图与算法框图; 略去属性名称与属性值 (属性具有数值), 只给出最后结果。

目标定义成知识 $[x]$, $\forall x_i \in [x]$ 是 $[x]$ 的知识元, α 是 $[x]$ 属性集合

$$[x] = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\} \quad (52)$$

$$\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\} \quad (53)$$

$\forall x_i \in [x]$ 的属性 α_i 满足属性合取范式 $\alpha_i = \bigwedge_{t=1}^3 \alpha_t$; 根据第 2 节中的式 (7)、式 (8), 在 $[x]$ 内删除 x_2, x_5, x_6, x_7 , $[x]$ 变成

$$[x]^f = \{x_1, x_3, x_4\} \quad (54)$$

由引言中直接证据中的 II 得到: $[x]$ 的属性集合 α 内被补充属性, α 变成 α^f

$$\alpha^f = \alpha \cup \{\alpha_4, \alpha_5\} = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5\} \quad (55)$$

$\forall x_i \in [x]^f$ 的属性 α_i 满足第 3 节中的式 (16) 与定理 1 中的式 (19); 属性合取范式扩张, $\alpha_i = (\bigwedge_{t=1}^3 \alpha_t) \wedge \alpha_4 \wedge \alpha_5 = \bigwedge_{t=1}^5 \alpha_t$; 式 (54) 中 $[x]^f$ 是 $[x]$ 的内-动态知识, 它由内-知识推理式 (25) 智能生成得到, 满足第 4 节中定理 4 的式 (29), $[x]^f$ 被智能发现。

根据第 2 节中式 (1)、式 (2), 在 $[x]$ 内补充 x_8, x_9 , $[x]$ 变成

$$[x]^f = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9\} \quad (56)$$

由引言中直接证据中的 I 得到: $[x]$ 的属性集合 α 内被删除属性, α 变成 α^f

$$\alpha^f = \alpha - \{\alpha_3\} = \{\alpha_1, \alpha_2\} \quad (57)$$

$\forall x_i \in [x]^f$ 的属性 α_i 满足第 3 节中的式 (17) 与定理 2 中的式 (20); 属性合取范式萎缩, $\alpha_i = (\bigwedge_{t=1}^3 \alpha_t) - \alpha_3 = \bigwedge_{t=1}^2 \alpha_t$; 式 (56) 中 $[x]^f$ 是 $[x]$ 的外-动态知识, 它由外-知识推理式 (26) 智能生成得到, 满足第 4 节中定理 5 的式 (32), $[x]^f$ 被智能发现; $[x], [x]^f, [x]^f$ 满足

$$\text{IDE}([x], [x]^f) \quad (58)$$

$$\text{IDE}([x], [x]^f) \quad (59)$$

这里, 式 (58)、式 (59) 中, IDE = identification。

$[x]^f, [x]^f$ 分别依据 $[x]$ 在 $[x]$ 内、在 $[x]$ 外被筛选-发现; 分别满足定理 7、定理 8。

实验结果与认证如下。

实验的目的:给定知识 $[x]$ (目标集合 X),确定机器人的运动轨道,推理软件处在“常态”; $[x]^f, [x]^r$ 是实验设定的知识,在 $t_i \in T, t_j \in T$ 时刻, $t_i < t_j$,用 $[x]^f, [x]^r$ 分别代替 $[x]$,考核机器人运动状况:A.变轨实时性;B.变轨的准确性;C.变轨的可靠性。式(52)~式(59)的结果实现了实验目的A-C;系统的工作状态在应用中得到认证。

结束语

1) Z. pawlak 粗集为知识发现的应用研究给出基本的数学理论,数学方法与数学模型的支持,知识发现已成为 Z. pawlak 粗集应用于知识系统的一个重要分支,多个优秀的研究成果问世^[18-22]。知识发现具有双重意义:未知的知识(还未被人们事先知道的知识) $[x]^f$ 或者 $[x]^r$ 是在已知的知识 $[x]$ 内被发现,还是在 $[x]$ 外被发现?这是人们经常发问的一个简单问题;犹如找一个同学,被找的同学是在教室内还是在教室外能找到?在知识系统、故障知识(故障信息)、伪目标识别的多个重要研究领域,人们随时都会遇到这个简单问题。如果把 Z. pawlak 粗集简单地套用到这个简单问题中,研究中会出现使用的工具(Z. pawlak 粗集)与问题的特征不匹配,所得到的结果与实际不符;或者,所得到的结果与实际要求产生距离。

2) 单向 S-粗集,单向 S-粗集对偶的核心学术思想是让 Z. pawlak 粗集定义式中的等价类 $[x]$ 动起来;或者, $[x]$ 外的元素进入等价类 $[x]$ 内, $[x]$ 内的元素离开 $[x]$;或者,Z. pawlak 粗集中的有限普通集合 X 动起来, X 外的元素进入 X 内, X 内的元素离开 X ;使得 Z. pawlak 粗集动起来,得到单向 S-粗集,单向 S-粗集对偶。显然, $[x]$ 外的元素进入 $[x]$ 内, $[x]$ 生成新的等价类 $[x]^f, [x] \subseteq [x]^f; [x]^f$ 在 $[x]$ 外被筛选-发现; $[x]$ 内的一些元素离开 $[x]$, $[x]$ 生成新的等价类 $[x]^r, [x]^r \subseteq [x]$ 在 $[x]$ 内被筛选-发现;把 $[x], [x]^f, [x]^r$ 定义成知识,则 $[x]^f$ 是单向 S-粗集生成的知识发现, $[x]^r$ 是单向 S-粗集对偶生成的知识发现。单向 S-粗集、单向 S-粗集对偶共同构成的知识(内-动态知识、外-动态知识与内-外动态知识)是发现研究的基本理论基础与基本的数学模型。

3) 知识 $[x]$ 与它的属性集合 α 共存;在实际的知识系统中,没有抽象的知识,也没有抽象的属性;知识与它的属性集合 α 是实实在在地存在。知识 $[x]$ 伴随着它的属性集合 α 而存在,属性集合 α 伴随着知识 $[x]$ 而表现。知识发现中一定存在属性之间的逻辑关系的变化;知识发现中,知识的属性逻辑变化关系没有引起人们的太多注意;属性逻辑变化关系是:属性合取范式的变化与属性析取范式的变化。在知识发现研究中,两个变化是二者必居其一。

4) 智能依赖推理,推理表现智能;单向 S-粗集,单向 S-粗集对偶的动态特性中潜藏着知识推理:内-知识推理。外-知识推理与内-外知识推理。推理使得知识发现具有了智能特性,使得知识发现中获取的知识,对这些知识筛选具有了智能特征。

本文以单向 S-粗集、单向 S-粗集对偶作为基本理论工具,把属性合取范式概念、推理概念二者融合到知识发现研究中,给出多个理论结果和应用。

参考文献

- [1] Shi Kai-quan. S-rough sets and its applications in diagnosis-recognition for disease [J]. IEEE Proceedings of the First International Conference on Machine Learning and Cybernetics, IEEE 02EX583; 2002, 1(4): 50-54
- [2] 史开泉,崔玉泉. S-粗集和它的生成结构[J]. 山东大学学报:理学版, 2002, 37(6): 471-474
- [3] Shi Kai-quan, Cui Yu-quan. F-decomposition and $\bar{F}$ -reduction of S-rough sets [J]. An International Journal Advance in Systems Science and Applications, 2004, 4(4): 487-499
- [4] Shi Kai-quan, Chang Ting-cheng. One direction S-rough sets [J]. International Journal of Fuzzy Mathematics, 2005, 13(2): 319-334
- [5] Shi Kai-quan. Two direction S-rough sets [J]. International Journal of Fuzzy Mathematics, 2005, 13(2): 335-349
- [6] 史开泉,崔玉泉. S-粗集与它的分解-还原[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(4): 644-651
- [7] 史开泉. S-粗集与新材料发现-识别[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(3): 383-388
- [8] Shi Kai-quan. Function S-rough sets and function transfer [J]. An International Journal Advances in Systems Sciences and Applications, 2005, 5(1): 1-8
- [9] 史开泉. 函数 S-粗集 [J]. 山东大学学报:理学版, 2005, 40(1): 1-10
- [10] Zhang Ling, Shi Kai-quan. Security transmission and recognition of F-knowledge [J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2009, 20(4): 877-882
- [11] Qiu Jin-ming, Shi Kai-quan. F-rough law and the discovery of rough law [J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2009, 20(1): 81-89
- [12] 史开泉,姚炳学. 函数 S-粗集与规律辨识[J]. 中国科学: E 信息科学, 2008, 38(4): 553-564
- [13] 史开泉,赵建立. 函数 S-粗集与隐藏规律安全-认证[J]. 中国科学: E 信息科学, 2008, 38(8): 1234-1243
- [14] Shi Kai-quan, Yao Bing-xue. Function S-rough sets and law identification [J]. Science in China F: Information Sciences, 2008, 51(5): 499-510
- [15] Shi Kai-quan, Zhao Jian-li. Function S-rough sets and security authentication of hiding law [J]. Science in China F: Information Sciences, 2008, 51(7): 924-935
- [16] 史开泉. 函数 S-粗集, 函数粗集与信息系统规律拆分-合成[J]. 计算机科学, 2010, 37(10): 1-10
- [17] 史开泉. S-粗集与数据挖掘单位圆特征[J]. 计算机科学, 2010, 37(5): 1-8
- [18] Fleret F. Fast binary feature selection with condition mutual information [J]. Journal of Machine Learning Research, 2004, 28(5): 1531-1555
- [19] Mao Ye, Xue Li, Orlowska M E. Projected outlier detection in high-dimensional mixed-attributes data set [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(3): 7104-7113
- [20] Tayani H T. Information privacy data mining and the internet [J]. Ethics and Information Technology, 1999, 1(2): 137-145
- [21] Lindall Y, Pinkas B. Privacy preserving data mining [J]. Journal of Cryptology, 2002, 15(3): 177-206
- [22] Kantarcioglu M, Clifton C. Privacy-preserving distributed mining of association rules on horizontally partitioned data [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(9): 1026-1037
- [23] Pawlak Z. Rough sets [J]. International Journal of Computer and Information Sciences, 1982, 66(11): 341-356
- [24] Pawlak Z. Rough approach to knowledge-based decision support [J]. European Journal of Operation Research, 1997, 87(99): 48-57
- [25] 史开泉,崔玉泉. S-粗集与粗决策[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 155-165
- [26] 史开泉,姚炳学. 函数 S-粗集与系统规律挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 10-34