维普资讯 http://www.cqvip.com

Rough集 人工智能 超图 图论 不分明关系 相似关系

35-39

计算机科学 1999Vol. 26№. 9

基于不分明与相似关系的 Rough 集的超图描述

A Hypergraph Description of Indiscernibility and Similarity Relation Based Rough Set

马志锋 邢汉承 郑晓妹 樊恂毅 TP18 O157.5
(东南大学计算机科学与工程系 南京 210096)

Abstract This paper analyses the relation between the indiscernibility and similarity relation based rough set We present a new method, which we call hypergraph description approach, to describe the approximations of rough set It can be used to analyze the indiscernibility and similarity relation based rough set in a more direct and convenient way. The proposed method is proved to be an efficient way to combine the rough set theory and the graph theory together.

Keywords Rough set, Indiscernibility relation, Similarity relation, Hypergraph description, Decision table

近些年来，尤其是进入九十年代，国内外众多学者对 Rough 集理论及其应用进行了深入而广泛的研究，并取得了许多重大进展[1,2,3]。在波兰，作为 Rough 集理论的发源地，在 Z. Pawlak 教授的带领下，许多计算机和其他领域的专家、学者们先后开发出了 Rough 集函数库、RoughDas/RoughClass、RSES 等软件支撑系统，并在医学数据分析和工业控制等领域取得了成功的应用。在美国，NASA Johnson 宇航空间中心已在实际应用中使用了 Rough 集，并收到了良好的效果；Kansas 大学也研制成功了基于 Rough 集的事例学习系统 LERS。在加拿大，Regina 大学开发了用于知识发现的 KDD-R 系统；商业软件技术公司 REDUCT & Lobbe 也开发了基于 Rough 集理论的 DATALOGIC 系统，并将其运用于知识获取及决策分析。在挪威，挪威理工大学根据 Rough 集基本算法开发了一个可用于决策分类以及对信息表中数据间相互依赖性进行分析的软件包 ROSETTA。该软件包具有良好的用户交互界面，并含有丰富的表格预处理及属性约简等功能。在国内方面，Rough 集理论也逐步开始受到众多学者们的重视，现已开发并研制出了 Lisp 语言环境下的基于 Rough 集的表示语言。目前国际上关于 Rough 集理论及其应用的研究已经成功地举办过六届国际学术会议，成立了关于 Rough 集的国际学术团体，并在 Internet 上定期发布电子公告，这也促进了该领域的进一步交流与发展[7]。

然而目前对于 Rough 集大多只局限在公式化的描述中，它不够直观，也不易于被人们接受和理解。本文的目的就是要为 Rough 集建立一种新型高效的直观模型。另外，需要指出的是，上面所提到的系统基本上是基于传统 Rough 集描述所采用的不分明关系的。当然这其中也有个别系统试图采用了与传统 Rough 集不同的某种变型，例如可变精度 Rough 集等，但是它们总的来说并未超出传统不分明关系的基本框架。我们在利用这些系统进行数据约简和规则获取时，发现采用传统 Rough 集的上近似集和下近似集描述数据存在诸多缺陷，它过于精确，也过于保守。这在实际应用中往往会使得问题过于复杂化。这是由于对知识的过分细划，会造成知识的"颗粒"太小，从而对某些问题作出不符合实际的判断。

本文旨在通过对普通 Rough 集进行深入分析和探讨的基础上，将普通 Rough 集推广到基于相似关系的 Rough 集。文章试图以此为依据，探讨关于相似关系的度量方案，并通过对 Rough 集描述中超图的定义，为 Rough 集提供一个全新的以图论为基础的表达形式，从而使得 Rough 集更为直观也更易于理解，为在 Rough 集的研究中引入图论方法提供了可能。特别地，当我们对 Rough 集建立了超图模型之后，就可以按照不同的相似程度，为对不相容决策的分析提供了方便。

一、基于相似关系的 Rough 集

在讨论基于相似关系的 Rough 集之前，首先来回顾一下传统的基于不分明关系的 Rough 集的一些基本概念[1,2]。

1.1 不分明关系 Rough 集

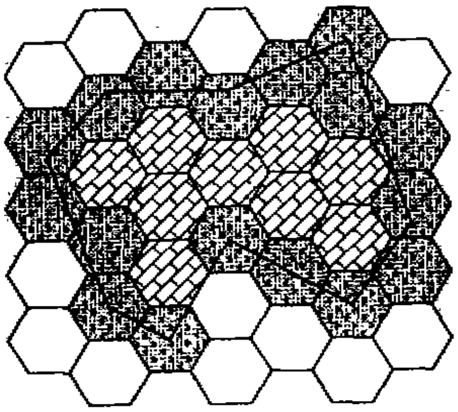
设 U≠Φ 是所讨论个体的论域，论域中的任何一个子集构成了 U 中的一个概念。

定义 1 如果论域 U 上的二元关系 θ 满足：□自反性：对于所有 $x\in U$，有 $x\theta x$ 成立；□对称性：对于所有 $x,y\in U$，若 $x\theta y$ 则有 $y\theta x$ 成立；□传递性：对于所有 $x,y,z\in U$，如果 $x\theta y$ 且 $y\theta z$ 那么必有 $x\theta z$ 成立，则称 θ 是 U 上的不分明关系。

设 $\mathscr{P}_\theta=\{X_1,X_2,\cdots,X_n\}$ 是不分明关系 θ 在 U 上的一个划分，则称 (U,θ) 是 U 中关于 θ 的近似空间。对于任意 $Y\subseteq U$ 有：

定义 2 $\theta_-Y=\cup\{\theta_x|\theta_x\subseteq Y\}$ 称为关于 Y 的 θ-下近似；$\theta^+Y=\cup\{\theta_x|y\in Y\}$ 称为关于 Y 的 θ-上近似；$BN_\theta Y=\theta^+Y-\theta_-Y$ 称为关于 Y 的 θ-边界区域。

定义 3 二元组 (θ_-Y,θ^+Y) 称为 U 上的基于 θ 的 Rough 集，如图 1 所示。



—— 集合 Y
集合Y的下近似集
集合Y的上、下近似集之差

图 1 基于不分明关系 Rough 近似集示意图

定义 4 称三元组 $DT=(U,A\cup\{d\},\theta)$ 为不分明决策表，其中，$A\neq\Phi$ 为条件属性，且对于 $\forall a\in A$，定义有决策函数 $a:U\rightarrow V_a$，V_a 为属性 a 的值域，$d\notin A$ 为决策属性。

设 $[d]^\theta$ 为由决策属性 d 所确定的不分明决策类，则 $\forall x\in\theta_-\{[d]^\theta\}$ 为不分明决策表中的确定规则；$\forall x\in\theta^+\{[d]^\theta\}$ 为不分明决策表中的可能规则；$\forall x\in(\theta^+\{[d]^\theta\}-\theta_-\{[d]^\theta\})$ 为不分明决策表中的边界规则。

1.2 相似关系 Rough 集

传统 Rough 集所基于的是不分明关系。然而通常决策表中的某些属性，特别是某些采用数值来描述的属性，经常会由于对属性取值没有明确的定义而带来不确定性和随机波动性。如果对这种属性的取值仍采用传统 Rough 集的不分明关系进行"严格"、"精确"的描述，显然不尽合理。为此国外许多学者提出了不同的变通解决方案[4~6]。方案之一可以将"定量"属性转化成用"定性"术语来描述，例如"大"、"一般"、"小"等。这样一来，属性的值域便可被离散化为若干个对应于不同术语的区间取值。然而这一解决方案也会带来一些问题，譬如，如何将属性的取值用离散化术语来描述，这本身就带有一定的主观性和不确定性。当然这种不确定性可以通过引入模糊集合的概念来进一步阐述。不过这样的话，无疑又增添了问题的复杂性。另外，两个相邻术语之间的"边界交叠"效应也并非我们所期望看到的。另一种我们认为比较好的解决方案是从根本上修改 Rough 集定义中的不分明关系，也就是说放松集合关系中的约束条件，去除不分明关系中的传递（或传递与对称）特性，我们称之为相似关系。

设在 U×U 空间上，定义任意两个对象之间的相似关系 $\mathscr{R}_a\in V_a\times V_a$，其中 $a\in A$，$\mathscr{R}_a$ 满足：

□自反性：对于所有 $v\in V_a$，均有 $\mathscr{R}_a(v,v)$ 成立。

□对称性：对于所有 $v,v'\in V_a$，如果 $\mathscr{R}_a(v,v')$，那么 $\mathscr{R}_a(v',v)$ 也同时成立。

定义 5 称二个对象 x，y 在属性 $a\in A$ 相似 $\Leftrightarrow$ $\mathscr{R}_a(a(x),a(y))$ 成立。

对于两个数值之间的相似关系 $\mathscr{R}_a(\cdot,\cdot)$ 需要有一定的度量函数 $\lambda_a:U\times U\rightarrow[0,1]$ 进行度量，以确定两个数值之间的相似程度。这里有一点需要指出的是，对于各个不同的 $a\in A$，λ_a 可以根据属性的各自特征给出不同的定义，以更好地符合实际情况。这里给出几种关于 λ_a 的度量方法：

（1）对于 $a\in A$ 为连续数值属性：

$$\lambda_a(v_i,v_j)=1-\frac{|v_i-v_j|}{|max(a)-min(a)|};$$

（2）对于 $a\in A$ 为离散的、有序的、有限个数的数值属性，若 $v_1\leqslant v_2\leqslant\cdots\leqslant v_t$，其中 $t=card(V_a)$，则：

$$\lambda_a(v_i,v_j)=1-\frac{|i-j|}{(t-1)};$$

(3)对于 $a\in A$ 为非数值符号属性：

$$\lambda_a(v_i,v_j)=1-\sum_k \frac{|P(a=v_i\wedge d=k)-P(a=v_j\wedge d=k)|}{P(d=k)}$$

其中 $P(\cdot)$ 表示为某条件下的概率取值。

定义 6 称任意二个对象 x，y 相似 $\mathscr{R}_A(x,y)\Leftrightarrow f(A,\lambda_a(a(x),a(y)))$ 满足给定的约束条件。

其中 $f(\cdot,\cdot)$ 为考虑 x 与 y 的相似性，各个属性 $a\in A$ 所应满足的条件，我们称之为对象相似的整体约束函数。对于 $f(\cdot,\cdot)$ 函数的定义应视实际情况而定，这里我们给出几条原则：

1) $\forall a\in A,\lambda_a(a(x),a(y))\geqslant\delta(a)$，其中 $\delta(a)\in[0,1]$ 为属性 a 的取值被认定为相似时所设定的最低阈值；

2) $\Sigma_{a\in A}(\lambda_a)\geqslant\Delta(A)$，其中 $\Delta(A)\geqslant\Sigma_{a\in A}\lambda_a(\cdot,\cdot)$ 为关于属性集 A 的总阈值的下限。

3) $card(a\in A|\lambda_a(\cdot,\cdot)\geqslant\epsilon_u(a))\geqslant\eta_u * card(A)$，其中 $\epsilon_u(a)\geqslant\delta(a)$ 为属性 a 的上界阈值，$\eta_u\in[0,1]$ 为两对象相似时属性个数占属性集 A 总个数的比例下限，该关系式是为确保两对象相似时属性个数足够多。

4) $card(a\in A|\lambda_a(\cdot,\cdot)\leqslant\epsilon_d(a))\leqslant\eta_d * card(A)$，其中 $\epsilon_u(a)\geqslant\epsilon_d(a)\geqslant\delta(a)$ 为属性 a 的下界阈值，$\eta_d\in[0,1]$ 为两对象相似时，不太相似的属性个数占全体属性集 A 的比例上限，该关系式是为确保两对象不够相似的属性个数不太多。

定义 7 三元组 $DT'=(U,A\cup\{d\},\mathscr{R}_A)$ 称为相似决策表。表中 $[x]_{\mathscr{R}}=\{y|\mathscr{R}_A(x,y)\wedge y\in U\}$ 定义为关于对象 x 的相似类。

定义 8 $\mathscr{R}\_X=\bigcup_{x\in U}\{[x]_{\mathscr{R}}|[x]_{\mathscr{R}}\subseteq X\}$ 称为集合 X 的基于相似关系 $\mathscr{R}_A$ 的下近似集；

$\mathscr{R}^+X=\bigcup_{x\in U}\{[x]_{\mathscr{R}}|[x]_{\mathscr{R}}\cap X\neq\Phi\}$ 称为集合 X 的基于相似关系 $\mathscr{R}_A$ 的上近似集；

$BN_{\mathscr{R}}X=\mathscr{R}^+X-\mathscr{R}\_X$ 称为集合 X 的基于相似关系 $\mathscr{R}_A$ 的边界区域；

$POS_{\mathscr{R}}(\mathscr{R}_A,\{d\})=\bigcup_{x\in U}\{[x]_{\mathscr{R}}|[x]_{\mathscr{R}}\subseteq D_i\}$，称为基于相似关系 $\mathscr{R}_A$ 的确定决策集，其中 $D_i=\{x\in U|d(x)=i\}$。

定义 9 设集合 $B\subseteq A$，如果满足：① $POS_{\mathscr{R}}(\mathscr{R}_A,\{d\})=POS_{\mathscr{R}}(\mathscr{R}_B,\{d\})$；②不存在 $B'\subset B$ 使得①成立，则称集合 B 为属性集合 A 的基于相似关系 $\mathscr{R}_A$ 的约简。

定理 1 设集合 $X\subseteq U$，如果定义在论域 U 上的相似关系 $\mathscr{R}$ 为不分明关系 θ 的扩展，即满足：• $\forall u\in U,\theta_u\subseteq[u]_{\mathscr{R}}$；• $\forall u\in U$，若 $\forall v\in[u]_{\mathscr{R}}$，则 $\theta_v\subseteq[u]_{\mathscr{R}}$，那么，下列各式同时成立：

① $\mathscr{R}\_X\subseteq\theta\_X$

② $\mathscr{R}^+X\supseteq\theta^+X$

③ $BN_\theta X\subseteq BN_{\mathscr{R}}X$。

证明：①对于 $u\in\mathscr{R}\_X$，根据定义 8 有 $[u]_{\mathscr{R}}\subseteq X$ 成立，由于相似关系 $\mathscr{R}$ 为不分明关系 θ 的扩展，因此，$\theta_u\subseteq[u]_{\mathscr{R}}\subseteq X$，由定义 2 可知，$u\in\theta\_X$，故关系式 $\mathscr{R}\_X\subseteq\theta\_X$ 成立。②对于 $u\in\theta^+X$，由定义 2 有 $\theta^+X=\bigcup\{\theta_u|u\in X\}$，即 $\theta_u\cap X\neq\Phi$。由 $\mathscr{R}$ 为 θ 的扩展知 $\theta_u\subseteq[u]_{\mathscr{R}}$，因而 $[u]_{\mathscr{R}}\cap X\neq\Phi$ 亦成立。根据定义 8 不难看出 $u\in\mathscr{R}^+X$。因此 $\mathscr{R}^+X\supseteq\theta^+X$ 成立。③根据定义 2 和定义 8，由①与②不难得到 $BN_\theta X\subseteq BN_{\mathscr{R}}X$。

基于不分明关系及相似关系的 Rough 集如图 2 所示。

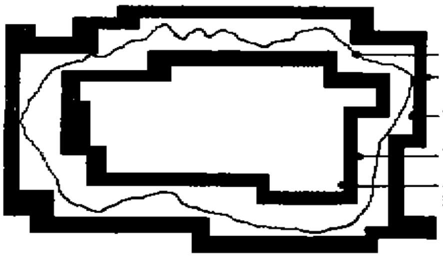


图 2 基于不分明关系与相似关系的 Rough 集对比

二、Rough 集的超图描述

在关系数据库理论中，人们在对数据依赖及关系规范化进行研究时发现，一个数据库模式可以用一个超图来表示，而且该数据库模式的许多特性可以很方便地用对应的超图的某些特征来刻画。Rough 集作为对数据进行分析的一种有效手段，将超图概念作某种形式的推广应用于 Rough 集的描述之中，将是一种有益的尝试。

2.1 Rough 超图的定义

定义 10 Rough 超图是指一个三元组 $H=(V,E,\Omega)$，其中 V 是一个有限集，V 中的元素称为 H 的结点，$E=E^{in}\cup E^{ex}=\{E_1,\cdots,E_i,\cdots,E_m\}$ 是一个超边的集合，超边 E 分成两大类：内超边 E^{in} 及外超边 E^{ex}。E 中每一条超边 $E_i=\{e_{i1},\cdots,e_{ij},\cdots,e_{in}\}$ 都是一个非空的由 V 中任意两个结点所构成的二元序偶集，每一个二元序偶 $e_{ij}=(e_{ij}^{(1)},e_{ij}^{(2)})$ 称为超边中的一条边，对于 $\forall e_{ij}\in E_i$，必定存在 $e'_{ij}\in E_i$ 且 $e_{ij}\cap e'_{ij}\neq\Phi$。$\Omega$ 是生成 E 中二元序偶集，并保证 V 中每个结点至

少属于 E 中的一条超边的一个二元关系。

事实上，对于基于不分明关系的 Rough 集而言，Rough 超图模型已经退化成普通超图模型，因为在每一条超边内，所有的结点均是两两互连，它们满足自反、对称、传递等特性，因而可以省略对超边内部各结点序偶关系的表示，而直接表示为一组结点的集合。当每条超边内的结点数为 2 时，超边即退化为普通边，超图便成为普通图，从而普通图作为超图的一种特例。

根据上面给出的定义，对于一个决策表而言，V 对应于论域 U，Ω 对应于不分明关系 θ 或相似关系 $\mathscr{R}$。超图中的每个结点均可用决策表中的若干属性 $A\cup\{d\}$ 来描述。我们把具有相同决策属性 d 取值的超边称作内超边，而由两个不同 d 取值的则称为外超边。

定理 2 所有组成内超边的结点中去除与外超边的交点的集合构成了 Rough 集的下近似集，所有组成外超边的结点集合构成了 Rough 集的边界区域。

定义 11 设 $H=\langle V,E,\Omega\rangle$，$H'=\langle V',E',\Omega\rangle$ 都是 Rough 超图，如果 $V'\subseteq V$，$E'\subseteq E$，则称 H' 为 H 的一个 Rough 子超图。

结论 1 一个 Rough 子超图对应了其 Rough 超图所表达的决策表的一张决策子表。

定义 12 设 $H=\langle V,E,\Omega\rangle$ 是一个 Rough 超图，如果超边集 E 中不存在任何一条超边是另一条超边的真子集，则称 H 是一个最简 Rough 超图。

定义 13 设 $H=\langle V,E,\Omega\rangle$ 是一个 Rough 超图，$v_1,v_2\in V$ 是 V 中的结点，则 H 中从 v_1 到 v_2 的一条通路是一个超边的序列 $E_1,E_2,\cdots,E_k(k\geqslant 1)$，且该序列满足如下条件：• $v_1\in E_1$，$v_2\in E_k$；• $\forall\ 1\leqslant i\leqslant k$，$E_i\cap E_{i+1}\neq\Phi$。

结论 2 一个 Rough 上近似集在 Rough 超图中，其通路长度不超过 2。

定义 14 设 $H_1=\langle V_1,E_1,\Omega_1\rangle$，$H_2=\langle V_2,E_2,\Omega_2\rangle$ 是两个 Rough 超图，则：

• $H_1\cap H_2=\langle V_1\cap V_2,E_1\cap E_2,\Omega_1\cap\Omega_2\rangle$ 称为两个 Rough 超图的交图，对应于两个决策表中的公共决策子表。

• $H_1\cup H_2=\langle V_1\cup V_2,E_1\cup E_2,\Omega_1\cup\Omega_2\rangle$ 称为两个 Rough 超图的并图，对应于两个决策表的合成决策表。

2.2 Rough 超图的应用举例

下面举例说明 Rough 超图在决策分析中的具体应用。假设有一决策表 $DT=(U,A\cup\{d\},\mathscr{R}_A)$ 如表 1 所示。其中 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_{13}\}$，$A=\{a,b,c\}$，$V_a=[0,20]$，$V_b=[0,60]$，$V_c=[0,25]$，$V_d=\{1,2,3,4\}$。

表 1 相似决策表举例

U	a	b	c	d	U	a	b	c	d
u_1	12	22	13	1	u_8	2	10	4	2
u_2	14	22	14	1	u_9	3	10	4	2
u_3	15	22	13	1	u_{10}	5	10	4	3
u_4	15	20	16	1	u_{11}	6	10	4	3
u_5	18	28	18	1	u_{12}	16	22	20	4
u_6	18	25	18	1	u_{13}	16	22	24	4
u_7	2	10	4	2					

根据定义 6，任意两个对象相似应满足一定的约束条件。在这里，我们假定三个条件属性均为连续属性，并采用定义 5 中(1)的关于 λ_a 的相似度量方法进行计算。假设 $\delta(a)=0.9$，$\delta(b)=0.85$，$\delta(c)=0.8$，$\Delta(A)=2.75$，$\varepsilon_u(a)=0.95$，$\varepsilon_d(a)=0.90$，$\varepsilon_u(b)=0.90$，$\varepsilon_d(b)=0.85$，$\varepsilon_u(c)=0.85$，$\varepsilon_d(c)=0.8$，$\eta_u=1/3$，$\eta_d=1/3$。为讨论方便起见，对于每一个 $a\in A$，可以分别计算两对象之间的相似程度，从而构成关于属性 a 的 $card(U)\times card(U)$ 的相似矩阵 $\Lambda_a=(\lambda_a(a(u_i),a(u_j)))_{n}$。该相似矩阵在定义 5 下是对称的。由定义 6 中所给出的约束函数 $f(\cdot,\cdot)$，我们可以导出属性 a 的相似截矩阵如下：

$$\Lambda_{a,\delta}(i,j)=\begin{cases}1 & \lambda_a(a(u_i),a(u_j))\geqslant\delta(a)\\ 0 & \lambda_a(a(u_i),a(u_j))<\delta(a)\end{cases}$$

对于相似截矩阵，我们可以利用定义 6 中 $f(\cdot,\cdot)$ 的其它约束原则进行修改，如："总阈值条件"、"相似属性个数足够多"以及"不够相似属性不太多"等条件，通过计算最后可以得到上例决策表中各对象之间的相似关系，如图 3 所示。图中构成了 $\mathscr{R}_A$ 的下近似集 $\mathscr{R}_-X=\{u_1,u_2,u_3,u_5,u_7,u_8,u_{11},u_{13}\}$ 和 $\mathscr{R}_A$ 的上近似集 $\mathscr{R}^+X=\{u_1,u_2,u_3,u_4,u_5,u_6,u_7,u_8,u_9,u_{10},u_{11},u_{12},u_{13}\}$。Rough 超图的内超边 $E^{in}=\{E_1=\{\langle u_1,u_2\rangle,\langle u_2,u_3\rangle,\langle u_2,u_4\rangle,\langle u_3,u_4\rangle\},E_2=\{\langle u_5,u_5\rangle\},E_3=\{\langle u_7,u_8\rangle,\langle u_7,u_9\rangle,\langle u_8,u_9\rangle\},E_4=\{\langle u_{10},u_{11}\rangle\},E_5=\{\langle u_{12},u_{13}\rangle\}\}$，Rough 超图的外超边 $E^{ex}=\{E_6=\{\langle u_4,u_{12}\rangle,\langle u_6,u_{12}\rangle\},E_7=\{\langle u_9,u_{10}\rangle\}\}$。

显然，从本例可以导出相似决策表的确定规则：①$((a=12\sim15)\wedge(b=22)\wedge(c=13\sim14))\Rightarrow(d=1)$；②$((a=18)\wedge(b=28)\wedge(c=18))\Rightarrow(d=1)$；③$((a=2)\wedge(b=10)\wedge(c=4))\Rightarrow(d=2)$；④$((a=6)\wedge(b=10)\wedge(c=4))\Rightarrow(d=3)$；⑤$((a=16)\wedge(b=$

22)∧(c=24))⇒(d=4)。这可以通过图3的Rough图直接得到。然而如果采用基于不分明关系的Rough集，那么决策表将被"过细"划分，共可导出12条确定规则(除u_7和u_8合并外，其它均单独构成一条规则)。

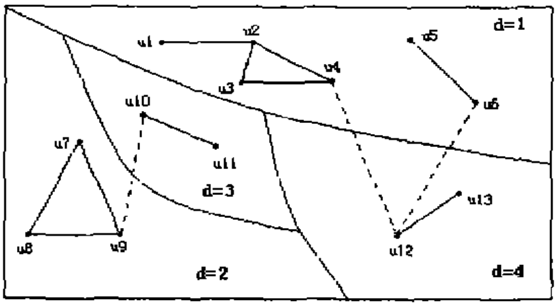


图3 基于相似关系的Rough图

结束语 Rough超图以图论的形式对Rough集重新进行定义，可有效地提高决策效率，方法简洁、直观明了。该方法为把图论知识引入Rough集的研究作了有益的尝试。文章还对比了不分明关系和相似关系对于Rough近似集的影响。我们认为进一步对Rough超图进行研究很有意义，例如将相似关系中的对称特性不予保留，那么超图就可以采用有向图模型来描述。另外，对其相似度量方法也有待进一步研究。

参考文献

1 Pawlak Z. Rough sets—Theoretical aspects of reasoning about data. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1991

2 Pawlak Z. Rough sets. Intl J. of Information and Computer Science, 1982, 11(5), 341~356

3 Electronic bulletin of the rough set community Available at http://www.cs.uregina.ca/~roughset/, Department of Computer Science, Regina University, Canada

4 Slowinski R. Vanderpooten D A generalized definition of rough approximations. [ICS Research Reports 05/96]. Institute of Computer Science, Warsaw University of Technology, Warsaw, 1996

5 Kretowski M, Stepaniuk J. Selection of objects and attributes—A tolerance rough set approach. [ICS Research Reports 54/95] Institute of Computer Science, Warsaw University of Technology, Warsaw, 1995

6 Krawiec K, et al. Construction of rough classifiers based on application of a similarity relation. In: Proc of the fourth intl workshop on rough sets, fuzzy sets, and machine discovery (RSFD' 96). Tokyo, Japan, 1996

(上接第24页)

求解的需要而产生的，也只有在解决实际问题的不断实践中，才能逐步地丰富，发展和完善多Agent理论和技术，同时多Agent理论和技术也需要在实践中得到检验。

主要参考文献

1 Sycara K P. Multiagent Systems. AAAI. 1998(Summer): 79~92

2 Cohen P R, Levesque H J. Intention is choice with commitment AI. 1990, 42(2): 213~261

3 Wooldridge M. Time, Knowledge, and Choice (Preliminary Report) In, Wooldridge M, et al., eds. Intelligence Agents Ⅱ: Agent Theories, Architectures, and Languages. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Germany, 1996. 79~96

4 Lander S E. Issues in Multiagent Design Systems. IEEE Expert, 1997(March-April): 18~26

5 Genesereth M R, Ketchpel S P. Software Agents. CACM, 1994, 37(7): 48~57

6 Gu P, Maddox A B. A Framework for Distributed Reinforcement Learning. In: Weiß G, Sen S. eds. Adaption and Learning in Multi-Agent Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Germany, 1996. 97~112

7 Available at: http://dir.yahoo.com/Science/Computer-Science/Artificial-Intelligence/Machine-Learning/

8 Zeng D. Sycara K. Benefits of Learning in Negotiation. In: Proc. Of the National Conf. on Artificial Intelligence (AAAI-97). Menlo Park, Calif: AAAI, 1997. 36~41

9 Van Den Akker J, Siebes A. Enriching Active Databases with Agent Technology. In, Kandzia P, Klusch M, eds Cooperative Information Agents. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany. 1997. 116~125

10 Available at. http://www2.ncsu.edu/eos/info/dblab/www/mpsingh/research/