# 基于真值支持度的直觉模糊推理方法

徐本强[1] 谭雪微[1] 邹 丽[1,2]
(辽宁师范大学计算机与信息技术学院 大连 116081)[1]
(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)[2]

**摘 要** 为了降低直觉模糊集在推理过程中需要同时考虑隶属度和非隶属度两方面运算的复杂性,提出了一种基于真值支持度的直觉模糊推理方法,研究了强真度、真值支持度及其相关性质,并将强真度和真值支持度引入到推理中,给出真值支持度的直觉模糊推理算法及计算步骤,并以具体算例验证了该方法的正确性和有效性。

**关键词** 直觉模糊集,强真度,真值支持度,直觉模糊推理

**中图法分类号** TP181 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.3.013

## Intuitionistic Fuzzy Reasoning Based on Truth-valued Support Degrees

XU Ben-qiang[1] TAN Xue-wei[1] ZOU Li[1,2]
(School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116081, China)[1]
(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)[2]

**Abstract** In order to reduce the complexity of the operation of the intuitionistic fuzzy set, membership degree and the non-membership degree were considered at the same time in the process of reasoning. In this paper, intuitionistic fuzzy reasoning method based on the truth-valued support degrees was proposed. Strong-truth degrees, truth-valued support degrees were studied and their related properties were get. The method of intuitionistic fuzzy reasoning based on the truth-valued support degrees and detailed steps for reasoning computation were given. A concrete example was given to de-monstrate the correctness and validity of the method.

**Keywords** Intuitionistic fuzzy set, Strong-truth degrees, Truth-valued support degrees, Intuitionistic fuzzy reasoning

## 1 引言

1965年,L. A. Zadeh教授提出模糊集理论,在随后的几十年中,该理论已在现代社会的各个领域得到了广泛的应用[1]。Atanassov对模糊集理论进行了拓展,提出了直觉模糊集理论[2,3]。由于直觉模糊集同时考虑了隶属度、非隶属度和犹豫度三方面信息,因此,它在处理模糊性和不确定性等方面比传统的模糊集更具灵活性和实用性。

近年来,不确定性推理技术引起了人们的重视。许多学者在不确定推理方面做出了巨大的贡献。在模糊推理方面,李友雨[4]等人通过揭示模糊推理的一种CRI算法的逻辑原理,提出了一种模糊推理的新算法,并对单规则的CRI算法(或三I算法)的重心(或最大隶属度)去模糊法的有效性进行了研究;王超[5]在王国俊教授的全蕴涵三I算法的基础上,利用模糊集合相似度对每条规则赋予权重,使三I算法在一般模糊推理情形下也满足还原性;陈图云[6]等人在模糊推理的Mamdani算法和Baldwin J F的真值限定推理方法的基础上,提出了模糊集相似度限定推理方法。在直觉模糊逻辑方面,雷英杰[7-9]等人针对直觉模糊逻辑推理及命题演算,提出了利用真值限定的直觉模糊推理方法、利用隶属度与非隶属度计算直觉模糊逻辑的插值推理方法和利用隶属度和犹豫度计算直觉模糊逻辑命题真值的近似推理方法;王毅[10]等人针对现有直觉模糊相似度量大都基于距离测度的现状,提出一种基于包含度的直觉模糊相似度量推理方法;杨会成[11]等人在基于扩展二值逻辑的直觉模糊蕴涵式运算方法的基础上,提出一种新的直觉模糊近似推理方法;吕大江[12]等人将模糊集中定义的Mamdani模糊关系进行直觉化扩展,提出基于Mamdani蕴含关系的直觉模糊推理仿真;邹丽[13]等人将直觉模糊集扩展到语言真值格上,提出语言真值直觉模糊逻辑的知识推理方法。

综上,学者对模糊推理和直觉模糊推理均进行了深入的研究。基于上述研究工作,本文提出一种基于真值支持度的直觉模糊逻辑推理方法。

## 2 预备知识

在直觉模糊集中,Atanassov采用隶属度和非隶属度表示对象隶属于某一集合的程度。形式地,直觉模糊集定义如下。

**定义1**[2] 设$X$是一个给定论域,则$X$上的一个直觉模

到稿日期:2015-03-15 返修日期:2015-06-17 本文受国家自然科学基金(61105059,61175055,61173100),辽宁省自然科学基金项目计划(2015020059)资助。

**徐本强**(1978—),男,硕士,讲师,主要研究领域为自动推理;**谭雪微**(1990—),女,硕士生,主要研究领域为多值逻辑与不确定性推理;**邹 丽**(1971—),女,博士,副教授,主要研究领域为多值逻辑与不确定性推理,E-mail:zoulicn@163.com。

糊集 $A$ 为 $A=\{\langle x,u(x),v(x)\rangle \mid x\in X\}$，其中 $u(x):X\rightarrow[0,1]$和 $v(x):X\rightarrow[0,1]$分别代表 $A$ 的隶属函数 $u(x)$和非隶属函数 $v(x)$，且对于 $A$ 上的所有 $x\in X,0\leqslant u(x)+v(x)\leqslant 1$ 成立。

在直觉模糊集 $A$ 中，$\pi_A(x)=1-u_A(x)-v_A(x)(\forall x\in U)$称为 $x$ 隶属于 $A$ 的犹豫度。在 Zadeh 的模糊集中，若 $u_A(x)$是 $x$ 隶属于 $A$ 的隶属度，则 $1-u_A(x)$是非隶属度，即 $u_A(x)+(1-u_A(x))=1$。从这个角度来看，直觉模糊集是模糊集的推广。

**定义 2**[2] 设 $A$ 和 $B$ 是给定论域 X 上的直觉模糊子集，即 $A=\{(x,u_A(x),v_A(x))\mid x\in U\}$，$B=\{(x,u_B(x),v_B(x))\mid x\in U\}$，则有

(1)$A\cap B=\{\langle x,u_A(x)\wedge u_B(x),v_A(x)\wedge v_B(x)\rangle \mid x\in X\}$；

(2)$A\cup B=\{\langle x,u_A(x)\vee u_B(x),v_A(x)\vee v_B(x)\rangle \mid x\in X\}$；

(3)$A'=\{(x,u_A(x),v_A(x))\mid \forall x\in U\}$。

论域 $U$ 上的所有直觉模糊集的全体记为 $IFS(U)$，且直觉模糊集之间有如下序关系：$\forall A,B\in IFS(U)$，$A\leqslant B$ 当且仅当 $\forall x\in U,u_A(x)\leqslant u_B(x)$ 且 $v_A(x)\geqslant v_B(x)$，自然地，$A=B$ 当且仅当 $A\leqslant B$ 且 $A\geqslant B$。

## 3 基于真值支持度的直觉模糊推理方法

### 3.1 强真度与真值支持度

**定义 3** 设 $X$ 是一个非空有限论域，$A\in IFS(X)$，若映射 $\phi:IFS(X)\rightarrow[0,1]$满足 $\phi(A)=1-v(x)$，则称 $\phi(A)$为 $A$ 的强真度，称映射 $\phi$ 为 $IFS(X)$上的强真函数，且函数 $\phi$ 是一个单调递减函数。

**定义 4** 设 $X$ 是一个非空有限论域，$A\in IFS(X)$，若映射 $TD:IFS(X)\rightarrow[0,1]$满足条件：

1)$TD(A)=\dfrac{u(x)}{\phi(A)}$；

2)$TD((0,1))=TD((1,0))=1$。

则称 $TD(A)$为 $A$ 的真值支持度，称映射 $TD$ 为 $IFS(X)$上的真值支持函数。

在模糊集 $A$ 中，真值支持度 $TD(A)=1$。由于 $TD(A)=\dfrac{u(x)}{\phi(A)}=\dfrac{u(x)}{1-v(x)}$，在模糊集中 $u(x)+v(x)=1$，即 $u(x)=1-v(x)$，因此 $TD(A)=1$。

**定义 4′** 设 $X$ 是一个非空有限论域，$A\in IFS(X)$，则真值支持度 $TD(A)=\dfrac{u(x)}{u(x)+\pi(x)}$。

**性质 1** 设 $X$ 是一个非空有限论域，$A\in IFS(X)$，则真值支持度 $TD(A)$具有以下性质：

1)当 $\phi(A)$一定时，$TD(A)$随 $u(x)$的增大而增大；

2)当 $u(x)$一定时，$TD(A)$随 $\phi(A)$的增大而减小；

3)当 $u(x)$一定时，$TD(A)$随 $\pi(x)$的增大而减小。

证明：在直觉模糊集 $A$ 中，由定义 4 的公式 $TD(A)=\dfrac{u(x)}{\phi(A)}$可知，$u(x)$与 $TD(A)$成正比，$\phi(A)$与 $TD(A)$成反比；由定义 4′可知，$\pi(x)$与 $TD(A)$成反比。综上，性质 1 得证。

**定理 1** 设 $X$ 是一个非空有限论域，$A\in IFS(X)$，且$A=\{\langle x,u(x),v(x)\rangle \mid x\in X\}$，则其中 $u(x)=\phi(A)\times TD_A$，$v(x)=1-\phi(A)$。

证明：由强真度定义知 $\phi(A)=1-v(x)$，则 $v(x)=1-\phi(A)$；由真值支持度的定义知 $TD(A)=\dfrac{u(x)}{\phi(A)}$，则 $u(x)=\phi(A)\times TD_A$。综上，定理 1 得证。

### 3.2 基于真值支持度的直觉模糊推理算法

基于模糊取式推理模型，将讨论基于真值支持度的直觉模糊推理问题的求解方法。问题描述形式简化如下：

| | | |
|---|---|---|
| 已知 | $A\rightarrow B$ | (大前提) |
| 且给定 | $A^*$ | (小前提) |
| 求 | $B^*$ | (结论) |

基于模糊推理的 CRI 方法，其基于真值支持度的直觉模糊推理方法求解步骤如下：

1)直觉模糊化，分别选取论域 $X$ 和 $Y$ 上的直觉模糊集 $A(x)$、$A^*(x)$与 $B(y)$、$B^*(y)$来表示命题 $A$、$A^*$ 与 $B$、$B^*$；

2)模糊化，分别计算命题 $A$、$A^*$ 与 $B$ 的强真度即 $\phi(A)$、$\phi(A^*)$、$\phi(B)$和真值支持度即 $TD(A)$、$TD(A^*)$与 $TD(B)$；

3)模糊推理，选取 Mamdani 蕴涵算子：$x\rightarrow y=x\wedge y$，分别计算大前提 $A\rightarrow B$ 中的强真关系 $R_\phi:\phi(A)\rightarrow\phi(B)$和真值支持关系 $R_{TD}:TD(A)\rightarrow TD(B)$；而后将 $\phi(A^*)$与强真关系 $R_\phi$ 进行复合即得 $\phi(B^*)=\phi(A^*)\circ(\phi(A)\rightarrow\phi(B))$，通常“$\circ$”选为“取大取小”复合运算，即 $\phi(B^*)=\vee[\phi(A^*)\wedge(\phi(A)\wedge\phi(B))]$，将 $TD(A^*)$与真值支持关系 $R_{TD}$ 进行复合即得 $TD(B^*)=TD(A^*)\circ(TD(A)\rightarrow TD(B))=\vee[TD(A^*)\wedge(TD(A)\wedge TD(B))]$；

4)还原直觉模糊集，分别计算 $u_{B^*}(y)=\phi(B^*)\times TD_{B^*}$，$v_{B^*}(y)=1-\phi(B^*)$，并将 $u_{B^*}(y)$与 $v_{B^*}(y)$重新组合即得到 $B^*(y)$。

基于真值支持度的直觉模糊推理算法的推理过程如图 1 所示。

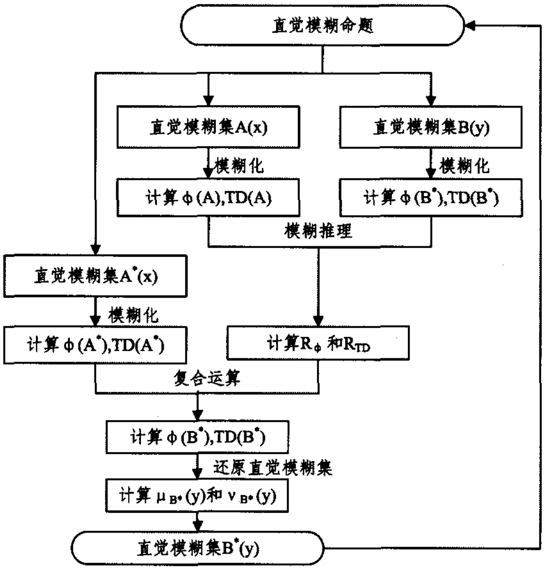


图 1 基于真值支持度的直觉模糊推理流程

### 3.3 直觉模糊推理方法与基于真值支持度的直觉模糊推理方法对比分析

通过以下简单的例子将直觉模糊推理方法与基于真值支持度的直觉模糊推理方法进行对比分析。

例 1 设 $U=V=\{1,2,3\}$，$F$ 和 $G$ 分别是 $U$ 和 $V$ 上的两

个直觉模糊集，并设

“很小”$=F=(1,0)/1+(0.6,0.3)/2+(0.1,0.8)/3$

“很大”$=G=(0.1,0.8)/1+(0.6,0.3)/2+(1,0)/3$

如果 $x$ 是 $F$，则 $y$ 是 $G$，现在 $x$ 是“较小”，并设“较小”的直觉模糊集为：

“较小”$=F'=(1,0)/1+(0.7,0.1)/2+(0.2,0.7)/3$

求在此已知事实下的直觉模糊结论 $G'$。

求解对比过程如表 1 所列。

表 1　求解对比过程

| 基于直觉模糊推理的方法 | 基于真值支持度的直觉模糊推理方法 |
| --- | --- |
| (1)将 F,G,F′用向量表示<br>$F=[(1,0)\ (0.6,0.3)\ (0.1,0.8)]$<br>$G=[(0.1,0.8)\ (0.6,0.3)\ (1,0)]$<br>$F'=[(1,0)\ (0.7,0.1)\ (0.2,0.7)]$ | (1)直觉模糊化，将命题用直觉模糊集表示出来<br>$F=[(1,0)\ (0.6,0.3)\ (0.1,0.8)]$<br>$G=[(0.1,0.8)\ (0.6,0.3)\ (1,0)]$<br>$F'=[(1,0)\ (0.7,0.1)\ (0.2,0.7)]$ |
| (2)求直觉模糊关系 $R_z$<br>$R_z=\int_{U\times V}((u_F(u)\wedge u_G(u)),v_F(u)\vee v_G(u))/(u,v)$<br>$=F'\wedge G$<br>$=\begin{bmatrix}(1,0)\\(0.6,0.3)\\(0.1,0.8)\end{bmatrix}\wedge[(0.1,0.8)(0.6,0.3)\ (1,0)]$<br>$=\begin{bmatrix}(0.1,0.8)&(0.6,0.3)&(1,0)\\(0.1,0.8)&(0.6,0.3)&(0.6,0.3)\\(0.1,0.8)&(0.1,0.8)&(0.1,0.8)\end{bmatrix}$ | (2)模糊化，分别计算命题 F,G,F′的强真度和真值支持度<br>$\phi(F)=[1\ \ 0.7\ \ 0.2]$<br>$TD(F)=[1\ \ 0.9\ \ 0.5]$<br>$\phi(G)=[0.2\ \ 0.7\ \ 1]$<br>$TD(G)=[0.5\ \ 0.9\ \ 1]$<br>$\phi(F')=[1\ \ 0.9\ \ 0.3]$<br>$TD(F')=[1\ \ 0.8\ \ 0.7]$ |
| (3)求 $G'$<br>$G'=F'\circ_1 R_z$<br>$=[(1,0)\ (0.7,0.1)\ (0.2,0.7)]\circ_1\begin{bmatrix}(0.1,0.8)&(0.6,0.3)&(1,0)\\(0.1,0.8)&(0.6,0.3)&(0.6,0.3)\\(0.1,0.8)&(0.1,0.8)&(0.1,0.8)\end{bmatrix}$<br>$=[(0.1,0.8)\ (0.6,0.3)\ (1,0)]$ | (3)模糊推理，求出 $\phi(G')$ 和 $TD(G')$<br>$R_\phi=\phi(F)\rightarrow\phi(G)=\begin{bmatrix}0.2&0.7&1\\0.2&0.7&0.7\\0.2&0.2&0.2\end{bmatrix}$<br>$\phi(G')=\phi(F')\circ R_\phi=[0.2\ \ 0.7\ \ 1]$<br>$R_{TD}=TD(F)\rightarrow TD(G)=\begin{bmatrix}0.5&0.9&1\\0.5&0.9&0.9\\0.5&0.5&0.5\end{bmatrix}$<br>$TD(G')=TD(F')\circ R_{TD}=[0.5\ \ 0.9\ \ 1]$ |
| (4)将直觉模糊集用命题表示出来<br>$G'=(0.1,0.8)/1+(0.6,0.3)/2+(1,0)/3$ | (4)还原直觉模糊集<br>$u_{G'}(y)=[0.1\ \ 0.6\ \ 1]$<br>$v_{G'}(y)=[0.8\ \ 0.3\ \ 0]$<br>$G'(y)=[(0.1,0.8)\ (0.6,0.3)\ (1,0)]$<br>$G'=(0.1,0.8)/1+(0.6,0.3)/2+(1,0)/3$ |

上述两种推理方法的求解过程和结果对比表明，基于真值支持度的直觉模糊推理方法是一种正确、有效的推理方法。

例 2　在室温控制问题中对温度的控制有如下描述：如果室温低，则全力加热，试问室温较低时，室温应该怎样调节？

解：设有论域 $X=\{x_1,x_2,x_3,x_4,x_5\}$ 和 $Y=\{y_1,y_2,y_3,y_4,y_5\}$ 分别表示室温和加热的 5 个等级。

论域 $X$ 上的直觉模糊子集为：

$A=$“低”$=(1,0)/x_1+(0.8,0.1)/x_2+(0.3,0.5)/x_3+(0.1,0.8)/x_4+(0,1)/x_5$

论域 $Y$ 上的直觉模糊子集为：

$B=$“高”$=(0,1)/y_1+(0.1,0.7)/y_2+(0.2,0.7)/y_3+(0.6,0.3)/y_4+(1,0)/y_5$

推理规则为“若 $x$ 低，则 $y$ 高”。给定已知条件“$x$ 为较低”，且假定直觉模糊集合“较低”为：

$A^*=(1,0)/x_1+(0.7,0.1)/x_2+(0.2,0.7)/x_3+(0,1)/x_4+(0,1)/x_5$

下面通过基于真值支持度的直觉模糊推理方法来求解结论，即求出直觉模糊集合 $B^*$。

(1)直觉模糊化，将命题用直觉模糊集表示出来。

$A=[(1,0)\ (0.8,0.1)\ (0.3,0.5)\ (0.1,0.8)\ (0,1)]$

$B=[(0,1)\ (0.1,0.7)\ (0.2,0.7)\ (0.6,0.3)\ (1,0)]$

$A^*=[(1,0)\ (0.7,0.1)\ (0.2,0.7)\ (0,1)\ (0,1)]$

(2)模糊化，分别计算命题 $A$、$A^*$ 与 $B$ 的强真度即 $\phi(A)$、$\phi(A^*)$、$\phi(B)$ 和真值支持度即 $TD(A)$、$TD(A^*)$ 与 $TD(B)$。

$\phi(A)=[1\ \ 0.9\ \ 0.5\ \ 0.2\ \ 0]$

$TD(A)=[1\ \ 0.9\ \ 0.6\ \ 0.5\ \ 1]$

$\phi(B)=[0\ \ 0.3\ \ 0.3\ \ 0.7\ \ 1]$

$TD(B)=[1\ \ 0.3\ \ 0.7\ \ 0.9\ \ 1]$

$\phi(A^*)=[1\ \ 0.9\ \ 0.3\ \ 0\ \ 0]$

$TD(A^*)=[1\ \ 0.8\ \ 0.7\ \ 1\ \ 1]$

(3)模糊推理，求出 $\phi(B^*)$ 和 $TD(B^*)$。

$$R_\phi=\phi(A)\rightarrow\phi(B)=\begin{bmatrix}0&0.3&0.3&0.7&1\\0&0.3&0.3&0.7&0.9\\0&0.3&0.3&0.5&0.5\\0&0.2&0.2&0.2&0.2\\0&0&0&0&0\end{bmatrix}$$

$$\phi(B^*)=\phi(A^*)\circ(\phi(A)\rightarrow\phi(B))=[1\ \ 0.9\ \ 0.3\ \ 0\ \ 0]\circ\begin{bmatrix}0&0.3&0.3&0.7&1\\0&0.3&0.3&0.7&0.9\\0&0.3&0.3&0.5&0.5\\0&0.2&0.2&0.2&0.2\\0&0&0&0&0\end{bmatrix}=[0\ \ 0.3\ \ 0.3\ \ 0.7\ \ 1]$$

$$R_{TD}=TD(A)\rightarrow TD(B)=\begin{bmatrix}1&0.3&0.7&0.9&1\\0.9&0.3&0.7&0.9&0.9\\0.6&0.3&0.6&0.6&0.6\\0.5&0.3&0.5&0.5&0.5\\1&0.3&0.7&0.9&1\end{bmatrix}$$

$$TD(B^*)=TD(A^*)\circ(TD(A)\rightarrow TD(B))=[1\ \ 0.8\ \ 0.7\ \ 1\ \ 1]\circ\begin{bmatrix}1&0.3&0.7&0.9&1\\0.9&0.3&0.7&0.9&0.9\\0.6&0.3&0.6&0.6&0.6\\0.5&0.3&0.5&0.5&0.5\\1&0.3&0.7&0.9&1\end{bmatrix}=[1\ \ 0.3\ \ 0.7\ \ 0.9\ \ 1]$$

(4)还原直觉模糊集，分别计算 $u_{B^*}(y)=\phi(B^*)\times TD_{B^*}$，$v_{B^*}(y)=1-\phi(B^*)$，并将 $u_{B^*}(y)$ 与 $v_{B^*}(y)$ 重新组合即得到 $B^*(y)$。

$u_{B^*}(y)=[0\ \ 0.1\ \ 0.2\ \ 0.6\ \ 1]$

$v_{B^*}(y)=[1\ \ 0.7\ \ 0.7\ \ 0.3\ \ 0]$

$B^*(y)=[(0,1)\ (0.1,0.7)\ (0.2,0.7)\ (0.6,0.3)\ (1,0)]$

因此 $B^*=(0,1)/y_1+(0.1,0.7)/y_2+(0.2,0.7)/y_3+(0.6,0.3)/y_4+(1,0)/y_5$。

与 $B$="高"进行语义匹配[14,15]比较可知,$B^*$ 为"较高",此时应该适当加热,使室温变得较高。

**结束语** 针对直觉模糊推理问题,通过求出直觉模糊对的强真度和真值支持度,将其分别用模糊推理方法进行推理,进而给出了一种新的推理方法。模糊推理方法在推理过程中只考虑了隶属度,而本文所提出的方法不仅考虑了隶属度,同时也考虑了非隶属度,因而推理过程更加准确;直觉模糊推理方法在推理过程中需要同时对隶属度和非隶属度进行运算,而本文所提出的方法在推理过程中引入强真度和真值支持度,使复杂的直觉模糊推理转换为简单的模糊推理,因而推理过程更加简便。该方法为直觉模糊推理问题提供了一种有效、简便的解决方法,因此,它是对直觉模糊推理有效扩展的新尝试,且取得了良好的效果。

## 参考文献


[1] Zadeh L A. Fuzzy sets[J]. Information and Control,1965,8(3):338-353

[2] Atanassov K. Intuionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems,1986,20(1):87-96

[3] Atanassov K. More on intuionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems,1989,33(1):37-45

[4] Li You-yu,Zhang Xing-fang. Research on fuzzy CRI method and fuzzy reasoning[J]. Fuzzy Systems and Mathematics,2013,27(4):42-47(in Chinese)
李友雨,张兴芳. 模糊 CRI 算法及模糊推理的有效性研究[J]. 模糊系统与数学,2013,27(4):42-47

[5] Wang Chao. Triple I method with the reductive property of general fuzzy inference[J]. Joumal of Chongqing Normal University(Natural Science),2013,30(3):103-106(in Chinese)
王超. 一般模糊推理具有还原性的全蕴涵三 I 算法[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2013,30(3):103-106

[6] Chen Tu-yun,Meng Yan-ping. The reasoning method by fuzzy set similarity degree[J]. Journal of Engineering Mathematics,2005,22(2):346-348(in Chinese)
陈图云,孟艳平. 模糊集相似度限定推理方法[J]. 工程数学学报,2005,22(2):346-348

[7] Lei Ying-jie,Wang Bao-shu,Lu Yan-li. Approximate reasoning method based on intuitionistic fuzzy logic[J]. Control and Decision,2006,21(3):305-310(in Chinese)
雷英杰,王宝树,路艳丽. 基于直觉模糊逻辑的近似推理方法[J]. 控制与决策,2006,21(3):305-310

[8] Lei Ying-jie, Wang Jing-yu, Ji Bo, et al. Technique for intuitionistic fuzzy reasoning with truth qualifications[J]. Systems Engineering and Electronics,2006,28(2):234-236 (in Chinese)
雷英杰,汪竞宇,吉波,等. 真值限定的直觉模糊推理[J]. 系统工程与电子技术,2006,28(2):234-236

[9] Wang Yi, Lei Ying-jie. Techniques for interpolation reasoning based on intuitional fuzzy logic[J]. Systems Engineering and Electronics,2008,30(10):1944-1948(in Chinese)
王毅,雷英杰. 基于直觉模糊逻辑的插值推理方法[J]. 系统工程与电子技术,2008,30(10):1944-1948

[10] Wang Yi,Liu San-yang,Zhang Wen,et al. Intuitionistic fuzzy similarity measures reasoning method based on inclusion degrees[J]. Systems Engineering and Electronics,2014,36(3):494-500 (in Chinese)
王毅,刘三阳,张文,等. 基于包含度的直觉模糊相似度量推理方法[J]. 系统工程与电子技术,2014,36(3):494-500

[11] Yang Hui-cheng, Chen Hao. Intuitionistic fuzzy approximate reasoning based on intuitionistic fuzzy operation[J]. Application Research of Computer,2011,28(1):102-104(in Chinese)
杨会成,陈昊. 基于直觉模糊蕴涵式运算直觉模糊近似推理方法[J]. 计算机应用研究,2011,28(1):102-104

[12] Lv Da-jiang, Shi Zhi-han, Lei Ying-jie, et al. Intuitionistic fuzzy inference emulator based on Mamdani implication relation[J]. Computer Engineering and Design,2010,31(11):2539-2542(in Chinese)
吕大江,石志寒,雷英杰,等. 基于 Mamdani 蕴含关系的直觉模糊推理仿真[J]. 计算机工程与设计,2010,31(11):2539-2542

[13] Zou Li, Tan Xue-wei, Zhang Yun-xia. Knowledge reasoning based on linguistic truth-valued intuitionistic fuzzy logic[J]. Computer Science,2014,40(1):134-137(in Chinese)
邹丽,谭雪微,张云霞. 语言真值直觉模糊逻辑的知识推理[J]. 计算机科学,2014,40(1):134-137

[14] Lei Ying-jie,Zhao Ye,Wang Tao. On the measurement of similarity on semantic match for intuitionistic fuzzy[J]. Journal of Air Force Engineering University(Natural Science),2005,6(2):70-73(in Chinese)
雷英杰,赵晔,王涛. 直觉模糊语义匹配的相似性度量[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2005,6(2):70-73

[15] Lei Ying-jie,Wang Tao,Zhao Ye. On the semantic distance and near compactness for intuitionistic fuzzy match[J]. Journal of Air Force Engineering University(Natural Science),2005,6(1):69-72(in Chinese)
雷英杰,王涛,赵晔. 直觉模糊匹配的语义距离与贴近度[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2005,6(1):69-72


(上接第 37 页)


[15] Pan L,Dai C,Wang C J,et al. Overlapping Community Detection via Leader-Based Local Expansion in Social Networs[C]//IEEE 24th International Conference on Tools with Artificial Intelligence. Athens,Greece,2012:397-404

[16] Zachary W W. An information flow model for conflict and fission in small groups[J]. Journal of Anthropological Research,1977,33(4):452-473

[17] Nooy W D,Mrvar A,Batagelj V. Informal communication within a sawmill strike[OL]. [2015-06-15]. http://vlado. fmf. uni-lj. si/pub/networks/data/esna/strike. htm

[18] Zhang Z H,Miao D Q,Qian J. Detecting Overlapping Communities with Heuristic Expansion Method Based on Rough Neighborhood[J]. Chinese Journal of Computers,2013,36(10):2078-2086(in Chinese)
张泽华,苗夺谦,钱进. 邻域粗糙化的启发式重叠社区扩张方法[J]. 计算机学报,2013,36(10):2078-2086

[19] Newman M E J, Girvan M. Finding and evaluating community structure in networks[J]. Physical Review E,2004,69(2):026113