

# 基于直觉模糊 S-粗集副集的目标合群算法

胡军红, 雷英杰

(空军工程大学导弹学院, 三原 713800)

**摘要:** 阐述直觉模糊 S-粗集和直觉模糊 S-粗集副集的数学结构与特性。针对空间群的动态性, 用一个双向直觉模糊 S-集合表示一个空间群, 群中的动态目标构成直觉模糊 S-粗集的副集。给出基于直觉模糊 S-粗集副集的目标合群算法, 对空间群中发现新目标、目标合群等动态操作过程进行分析。通过实例证明该方法的正确性和有效性, 计算结果表明该方法能较灵活地处理目标编群中的动态问题。

**关键词:** 直觉模糊 S-集合; 直觉模糊 S-粗集; 副集; 目标合群

## Target Gregariousness Algorithm Based on Assistant Set of Intuitionistic Fuzzy S-rough-set

HU Jun-hong, LEI Ying-jie

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800)

**【Abstract】** This paper expatiates the mathematics structures and characteristics of intuitionistic fuzzy S-rough-set and the assistant set of intuitionistic fuzzy S-rough-set. Aiming at the dynamic nature of space group, a space group is described with a bidirectional intuitionistic fuzzy S-set, and its dynamic targets compose of the assistant set of intuitionistic fuzzy S-rough-set. Target gregariousness algorithm based on assistant set of intuitionistic fuzzy S-rough-set is proposed, and the dynamic operation process about new target detecting and target gregariousness is analyzed. The correctness and validity of this method are verified by example. Calculation results show that the method can dispose the dynamic problems of target grouping flexible.

**【Key words】** intuitionistic fuzzy S-set; intuitionistic fuzzy S-rough-set; assistant set; target gregariousness

### 1 概述

目标编群是态势觉察需要实现的一个重要功能。在参战对象多、协同关系复杂、机动频繁、态势变化快的真实战场环境下, 战场目标编群是整个态势评估的基础, 是一级融合与高级融合阶段的切合点<sup>[1-2]</sup>。

直觉模糊 S-粗集是直觉模糊集理论<sup>[3]</sup>和 S-粗集<sup>[4]</sup>理论的有机结合, 是依据知识(等价类)的动态变化提出的。直觉模糊 S-粗集具有粗集的优势, 而其最大的优点是能对动态系统中的不确定信息进行处理。由于态势评估涉及的信息具有较大模糊性、不完整性和不精确性, 且态势评估是一个动态的、按时序处理的过程, 因此利用直觉模糊 S-粗集的“模糊性”和“动态性”解决态势觉察中的目标编群问题是可行的。

### 2 直觉模糊 S-粗集的副集

在元素迁移中存在一种特殊情况:  $u \in U, u \in X, f(u) = x$  且  $x$  的 1/3 进入  $X$ 、 $x$  的 2/3 留在  $X$  之外, 或  $x \in X, \bar{f}(x) = u$  且  $u$  的 1/5 留在  $X$  内、 $u$  的 4/5 留在  $X$  之外。因此, 产生了直觉模糊 S-粗集副集, 即没有完全迁入或没有完全迁出  $X$  的元素所构成的集合。

**定义 1**(双向直觉模糊 S-集合) 设  $U$  是非空有限论域,  $F, \bar{F}$  是定义在  $U$  上的元素迁移族,  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ ,  $\bar{F} = \{\bar{f}_1, \bar{f}_2, \dots, \bar{f}_n\}$ , 称  $A^* \subset U$  是  $U$  上的一个双向直觉模糊 S-集合, 即

$$A^* = A' \cup \{u | u \in U, u \in A, f(u) = x \in A\} \quad (1)$$

$$A' = A - \{x | x \in A, \bar{f}(x) = u \in A\} \quad (2)$$

**定义 2**(双向直觉模糊 S-粗集) 设  $A^*$  是  $U$  上的双向直觉模糊 S-集合, 即  $A^* \subset U$ , 则  $A^*$  的下近似  $\underline{A}_{(R,F)}^*(x)$  和上近似  $\bar{A}_{(R,F)}^*(x)$  定义为  $U$  上的一对直觉模糊集合, 其隶属函数分别定义为

$$\underline{A}_{(R,F)}^*(x) = \{x, \inf\{\mu_y | y \in [x]_R\}, \sup\{\gamma_y | y \in [x]_R\} > |x \in U\} \quad (3)$$

$$\bar{A}_{(R,F)}^*(x) = \{x, \sup\{\mu_y | y \in [x]_R\}, \inf\{\gamma_y | y \in [x]_R\} > |x \in U\} \quad (4)$$

若  $\underline{A}_{(R,F)}^*(x) = \bar{A}_{(R,F)}^*(x)$ , 则称  $A^*$  是可定义的。否则, 称  $(\underline{A}_{(R,F)}^*(x), \bar{A}_{(R,F)}^*(x))$  是  $A^* \subset U$  的双向直觉模糊 S-粗集。

在定义 1 和定义 2 中, 元素  $u \in U, u \in A$ , 元素  $u$  被  $f \in F$  完整地迁移到直觉模糊集  $A$  内, 元素  $x \in A$  被  $\bar{f} \in \bar{F}$  完整地迁移到直觉模糊集  $A$  之外。

**定义 3**(直觉模糊 S-粗集副集) 称  $I_S(A^*)$  是  $(\underline{A}_{(R,F)}^*(x), \bar{A}_{(R,F)}^*(x))$

生成的副集合, 如果  $I_S(A^*)$  由如下元素构成:  $u \in U, u \in A$ , 在  $f \in F$  作用下, 元素  $u$  不能完整地迁移到模糊集  $A$  之内, 且  $x \in A$ , 在  $\bar{f} \in \bar{F}$  作用下元素  $x$  不能完整地迁移到模糊集  $A$

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60773209); 陕西省自然科学基金资助项目(2006F18)

**作者简介:** 胡军红(1978—), 女, 博士研究生, 主研方向: 智能信息处理, 智能决策; 雷英杰, 教授、博士生导师

**收稿日期:** 2009-06-12 **E-mail:** hujunhong0610@163.com

之外, 即

$$I_S(A^*) = \{x | u \in U, u \in A, f(u) = x \in A\} \quad (5)$$

and  $x \in A, \bar{f}(x) = u \in A$

则元素迁移  $f \in F, \bar{f} \in \bar{F}$  将导致  $I_S(A^*)$  的存在。  $I_S(A^*)$  由  $\{u | u \in U, u \in A, f(u) = x \in A\}$  和  $\{x | x \in A, \bar{f}(x) = u \in A\}$  共同组成, 其中,  $\in$  表示元素  $u \in U$  在  $f \in F$  作用下,  $f(u)$  不能完全地进入直觉模糊集  $A$  内;  $\in$  表示元素  $x \in A$  在  $\bar{f} \in \bar{F}$  作用下,  $\bar{f}(x) = u$  不完全离开直觉模糊集  $A$ 。

直觉模糊 S-粗集副集的特征函数值为

$$0 < \lambda_A^{f(u)} < 1, -1 < \lambda_A^{\bar{f}(x)} < 0$$

为了便于目标编群问题的研究, 本文将直觉模糊 S-粗集副集  $I_S(A^*)$  表示为 2 个集合的并, 即

$$I_{in}(A^*) = \{x | u \in U, u \in A, f(u) = x \in A\}$$

$$I_{out}(A^*) = \{x | x \in A, \bar{f}(x) \in A\}$$

$$I_S(A^*) = A_{in}(A^*) \cup A_{out}(A^*)$$

其中,  $I_{in}(A^*)$  表示在元素迁移族  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$  的作用下, 论域  $U$  中部分进入且没有完全进入集合  $A$  的元素构成的集合;  $I_{out}(A^*)$  表示在元素迁移族  $\bar{F} = \{\bar{f}_1, \bar{f}_2, \dots, \bar{f}_m\}$  的作用下, 集合  $A$  中部分迁出且没有完全迁出的元素构成的集合。

### 3 基于直觉模糊 S-粗集副集的目标合群算法

按直觉模糊 S-粗集理论的思想, 监视范围内的所有目标构成论域  $U$ , 一个空间群用一个双向直觉模糊 S-集合来表示, 对于已有的  $m$  个相同敌我属性、类型的空间群, 可以表示为  $G_1, G_2, \dots, G_m$ 。若第  $i$  个空间群  $G_i$  中有  $n_i$  个目标  $u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in_i}$ , 则  $G_i = u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in_i}, i = 1, 2, \dots, m$ , 其中, 每个目标由一组参数表示, 设目标  $u_{ij}$  有  $k$  个参数, 则  $u_{ij} = (x_{ij}^1, x_{ij}^2, \dots, x_{ij}^k), j = 1, 2, \dots, n_i$ 。

$F^* = F \cup \bar{F}$  是  $U$  上的元素迁移族, 根据目标编群的动态性, 可定义 4 种迁移函数:  $f_1$  为发现新目标,  $f_2$  为目标合群,  $\bar{f}_3$  为目标分群,  $\bar{f}_4$  为目标消失。迁入族  $F = \{f_1, f_2\}$  将由于迁入族作用而可能进入空间群  $G_i$  的目标存放在空间群的副集  $I_{in}(G_i)$  中, 迁出族  $\bar{F} = \{\bar{f}_3, \bar{f}_4\}$  将由于迁出族作用而可能迁出空间群  $G_i$  的目标存放在空间群的副集  $I_{out}(G_i)$  中。

本文分别讨论由迁移函数  $f_1, f_2$  引起的目标发现、目标合群的动态操作。

#### 3.1 目标发现

发现新目标  $u$  时, 由特征函数  $in_{G_i}^{f(u)}$  判断  $u$  在迁移函数  $f_1$  的作用下是否迁入到已有空间群  $G_1, G_2, \dots, G_m$  中的某个群  $G_i (i = 1, 2, \dots, m)$  中。由于本文研究空间群的划分, 因此  $in_{G_i}^{f(u)}$  的取值主要考虑距离因素的影响。

令新目标  $u = u_{i0}$ , 则  $u$  和  $G_i$  构成集合  $\{u_{i0}, u_{i1}, \dots, u_{in_i}\}$ , 将目标  $u_{ij}, j = 0, 1, \dots, n_i$  的第 1 个~第 3 个参数设为距离参数。

$u$  与群  $G_i$  的距离定义为

$$d_i = d(u, G_i) = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} |u_{i0}, u_{ij}| =$$

$$\frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \sqrt{(x_{i0}^1 - x_{ij}^1)^2 + (x_{i0}^2 - x_{ij}^2)^2 + (x_{i0}^3 - x_{ij}^3)^2} \quad (7)$$

空间群  $G_i$  的范围半径定义为

$$rad_i = \frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{j_1, j_2=1}^{n_i} |u_{ij_1}, u_{ij_2}| \quad (8)$$

通过比较  $d_i$  和  $rad_i$ , 可得新目标  $u$  迁入到群  $G_i$  的特征函数  $in_{G_i}^{f(u)}$  的距离分量为

$$\begin{cases} in_{d(u, G_i)} = 1, & d_i \leq \alpha \cdot rad_i \\ in_{d(u, G_i)} = \frac{(1 + \alpha)rad_i - d_i}{rad_i}, & \alpha \cdot rad_i < d_i < (1 + \alpha)rad_i \\ in_{d(u, G_i)} = 0, & d_i \geq (1 + \alpha)rad_i \end{cases} \quad (9)$$

其中,  $0.5 \leq \alpha \leq 1; 0 \leq in_{d(u, G_i)} \leq 1$ 。

在划分空间群的衡量标准中, 除了考虑位置关系外还要针对不同目标对象尽可能多地考虑其他特征参数间的相似性, 例如, 考虑新目标  $u$  迁入到群  $G_i$  的特征函数  $in_{G_i}^{f(u)}$  的速度分量。

设目标  $u_{ij}, j = 0, 1, \dots, n_i$  的第 4 个~第 6 个参数为速度参数, 若第  $k (k = 4, 5, 6)$  个参数的最大值和最小值分别为  $x_{\max}^k, x_{\min}^k$ , 则目标  $u_{ij}$  的第  $k$  个参数可以标准化为

$$y_{ij}^k = \frac{x_{ij}^k - x_{\min}^k}{x_{\max}^k - x_{\min}^k} \quad (10)$$

目标的前 3 个参数为位置参数, 不参与标准化处理, 经过标准化处理后, 目标  $u_{ij}$  为

$$u_{ij}' = (x_{ij}^1, x_{ij}^2, x_{ij}^3, y_{ij}^4, y_{ij}^5, y_{ij}^6, y_{ij}^7, \dots) \quad (11)$$

对 2 个目标  $u_{i_1 j_1}, u_{i_2 j_2}$  定义

$$v_{i_1 j_1}^{\text{mod}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \sqrt{(y_{i_1 j_1}^4)^2 + (y_{i_1 j_1}^5)^2 + (y_{i_1 j_1}^6)^2}$$

$$v_{i_2 j_2}^{\text{mod}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \sqrt{(y_{i_2 j_2}^4)^2 + (y_{i_2 j_2}^5)^2 + (y_{i_2 j_2}^6)^2} \quad (12)$$

则 2 个目标  $u_{i_1 j_1}, u_{i_2 j_2}$  间的速度相似度为

$$s_{-} v(u_{i_1 j_1}, u_{i_2 j_2}) = 1 - |v_{i_1 j_1}^{\text{mod}} - v_{i_2 j_2}^{\text{mod}}| \quad (13)$$

根据式(13)可得新目标  $u$  迁入到群  $G_i$  的特征函数  $in_{G_i}^{f(u)}$  的速度分量为

$$in_{v(u, G_i)} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} s_{-} v(u_{i0}, u_{ij}) \quad (14)$$

根据式(9)和式(14)可得目标  $u$  迁入群  $G_i$  的特征函数为

$$in_{G_i}^{f(u)} = w_1 in_{d(u, G_i)} + w_2 in_{v(u, G_i)} \quad (15)$$

其中,  $w_i (i = 1, 2)$  表示参与计算的参数对应的权重, 且  $w_1 + w_2 = 1$ 。

#### 3.2 目标合群

对于 2 个已知的空间群  $G_i, G_j$ , 若它们的中心间距逐渐缩小, 并小于某个门限时, 则认为它们有合并趋势。下文从直觉模糊 S-粗集副集的特征函数出发, 考虑目标合群问题。

对于空间群  $G_i$  中的每个目标  $u_{ip}, p = 1, 2, \dots, n_i$ , 计算其迁

入群  $G_j$  的特征函数  $in_{G_j}^{f(u_{ip})}$ , 若  $\frac{Card(\{u_{ip} \in G_i : in_{G_j}^{f(u_{ip})} \geq t_{in}\})}{Card(G_i)} \geq$

$T_{in}$ , 则认为群  $G_i$  并入群  $G_j$  中构成一个新群, 重新调整群参数, 其中,  $T_{in} \in [0, 1]$  为群  $G_i$  并入群  $G_j$  的阈值。否则, 计算群  $G_j$  中每个目标  $u_{jp}, p = 1, 2, \dots, n_j$  迁入群  $G_i$  的特征函数

$in_{G_i}^{f(u_{jp})}$ 。当  $\frac{Card(\{u_{jp} \in G_j : in_{G_i}^{f(u_{jp})} \geq t_{in}\})}{Card(G_j)} \geq T_{in}$  时, 认为群  $G_j$  并入群  $G_i$  中构成一个新群, 重新调整群参数。

反复进行合并尝试，直至最终产生的群之间无法合并，即形成新的空间群结构。

#### 4 实例分析

设目标集为  $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\}$ ，每个目标包含 6 个参数，分别表示位置坐标  $x, y, z$  和 3 个方向上的速度分量，即  $u_i = \langle x, y, z, v_x, v_y, v_z \rangle, (i=1, 2, \dots, 6)$ 。表 1 给出了  $U$  中的目标参数。

表 1  $U$  中的目标参数

参数	x/m	y/m	z/m	$v_x/\text{Ma}$	$v_y/\text{Ma}$	$v_z/\text{Ma}$
$u_1$	2 110	1 370	1 005	1.105	1.780	0.075
$u_2$	425	637	1 201	0.961	1.752	0.101
$u_3$	2 208	1 601	1 068	1.002	1.733	0.050
$u_4$	3 310	1 580	1 010	1.104	1.728	0.069
$u_5$	2 213	1 687	990	1.021	1.761	0.124
$u_6$	509	782	1 197	1.169	1.622	0.068

根据文献[5]，目标集  $U$  可以划分为 3 个空间群：

$$G_1 = \{u_1, u_3, u_5\}, G_2 = \{u_2, u_6\}, G_3 = \{u_4\}$$

当新目标  $u = \langle 2\ 159, 1\ 568, 1\ 026, 1.054, 1.779, 0.098 \rangle$  时，计算  $u$  属于哪个空间群：

**Step1** 根据式(7)计算目标  $u$  与群  $G_i, i=1, 2, 3$  的距离为  $\langle 137.7, 1\ 905.8, 1\ 512 \rangle$ 。根据式(8)计算群  $G_i$  的范围半径为  $\langle 236.2, 167.6, 167.6 \rangle$ ，由于  $G_3$  群内只有一个目标，因此取最小范围半径为其范围半径。令式(9)中  $\alpha = 0.7$ ，求得目标  $u$  迁入群  $G_i$  的特征函数的距离分量为  $\langle 1, 0, 0 \rangle$ 。目标  $u$  只有和群  $G_1$  在距离上符合约束条件，因此，将目标  $u$  添加到副集  $A_m(G_1)$  中。

**Step2** 按式(10)~式(13)将目标  $u$  与群  $G_1$  中的目标进行标准化处理，得到新的目标参数，如表 2 所示。求得新目标  $u$

迁入到群  $G_1$  的特征函数的速度分量为 0.596 3。

表 2 目标  $u$  与群  $G_1$  的目标参数标准化

参数	x/m	y/m	z/m	$v_x/\text{Ma}$	$v_y/\text{Ma}$	$v_z/\text{Ma}$
$u_1$	2 110	1 370	1 005	1.000 0	1.000 0	0.337 8
$u_3$	2 208	1 601	1 068	0.000 0	0.000 0	0.000 0
$u_5$	2 213	1 687	990	0.184 5	0.595 7	1.000 0
$u$	2 159	1 568	1 026	0.504 9	0.978 7	0.648 6

**Step3** 令式(15)中的  $w_1 = 0.6, w_2 = 0.4$ ，令  $t_{in} = 0.6$ ，则目标  $u$  迁入群  $G_1$  的特征函数为  $in_{G_1}^{f(u)} = 0.838\ 5 > t_{in}$ ，因此，目标  $u$  迁入群  $G_1$  中，并记为  $u_7$ ，将副集  $A_m(G_1)$  中的  $u$  删除。

此时空间群的划分为

$$G_1 = \{u_1, u_3, u_5, u_7\}, G_2 = \{u_2, u_6\}, G_3 = \{u_4\}$$

#### 5 结束语

关于目标编群的动态性问题，多数现有文献停留在理论阶段，有关目标的分群与合群操作的具体算法较少。本文方法为研究动态系统的不确定性问题提供了新思路。

#### 参考文献

- [1] 马云, 王宝树, 李伟生. 数据融合中的态势觉察技术[J]. 计算机工程, 2004, 30(1): 85-87.
- [2] 张明远, 王宝树. 态势觉察中目标分群技术的实现[J]. 电光与控制, 2004, 11(2): 40-43.
- [3] Atanassov K. Intuitionistic Fuzzy Sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96.
- [4] 史开泉, 崔玉泉. S-粗集和它的一般结构[J]. 山东大学学报: 理学版, 2002, 37(6): 471-474.
- [5] Azarewicz J, Fala G, Heitchecher C. Template-based Multi-Agent Plan Recognition for Tactical Situation Assessment[C]//Proceedings of the 5th Conference on Artificial Intelligence Applications. [S. l.]: IEEE Computer Society Press, 1989: 247-254.

编辑 陈 晖

(上接第 17 页)

- [3] 栾 杰, 庄洪兴, 归 来, 等. 三维重构和快速成形技术制备个性化人工整形植入物的研究[J]. 中华整形外科杂志, 2002, (S1): 8-10.
- [4] 朱森良, 姚 远, 蒋云良. 增强现实综述[J]. 中国图象图形学报: A 辑, 2004, 9(7): 767-774.
- [5] Azuma R T. A Survey of Augmented Reality[J]. Teleoperators and Virtual Environments, 1997, 6(4): 355-385.
- [6] Hornecker E, Psik T. Using ARToolkit Markers to Build Tangible Prototypes and Simulate Other Technologies[C]//Proc. of Human Computer Interaction. Rome, Italy: [s. n.], 2005.
- [7] Fiala M. Comparing ARTag and ARToolkit Plus Fiducial Marker Systems[C]//Proc. of Haptic Audio Visual Environments and Their Applications. Ottawa, Canada: [s. n.], 2005.
- [8] Metaio. Unifeye Software Platform[Z]. (2008-01-01). <http://www.metaio.com>.
- [9] Nee A Y C. Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing[M]. [S. l.]: Springer-Verlag, 2004.
- [10] Shin D H, Dunston P S. Identification of Application Areas for Augmented Reality in Industrial Construction Based on Technology Suitability[J]. Automation in Construction, 2008, 17(7): 882-894.
- [11] Magee D, Zhu Y, Ratnalingam R, et al. An Augmented Reality Simulator for Ultrasound Guided Needle Placement Training[J]. Medical & Biological Engineering & Computing, 2007, 45(10): 957-967.
- [12] Krempien R, Hoppe H, Kahrs L, et al. Projector-based Augmented Reality for Intuitive Intraoperative Guidance in Image-guided 3D Interstitial Brachytherapy[J]. International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics, 2008, 70(3): 944-952.
- [13] Lovo E E, Quintana J C, Puebla M C, et al. A Novel, Inexpensive Method of Image Coregistration for Applications in Image-guided Surgery Using Augmented Reality[J]. Neurosurgery, 2007, 60(4): 366-372.
- [14] 柯常志. 基于增强现实的设备维护系统设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2006.
- [15] Yildirim E. Program for Computer Aided Tissue Engineering[Z]. (2008-01-01). <http://www.mem.drexel.edu/cate/index.htm>.
- [16] Fjeld M, Voegtli B. Augmented Chemistry: An Interactive Educational Workbench[C]//Proc. of International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Darmstadt, Germany: [s. n.], 2002.

编辑 顾姣健