

基于直觉模糊聚类的目标识别

贺正洪, 雷英杰, 王 刚

(空军工程大学导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:空中目标的正确识别对防空作战具有重要的意义。针对目标识别的特点,提出了基于直觉模糊聚类的识别方法。首先,给出了直觉模糊相似度和相异度的度量方法,并利用目标特征信息计算直觉模糊相似度和相异度。然后,在分析了现有的几种直觉模糊相似矩阵构造方法的基础上,提出了一种新的直觉模糊相似矩阵的构造方法,并给出了直觉模糊相似矩阵转化为直觉模糊等价矩阵的途径;此外,定义了直觉模糊等价矩阵的 (α, β) 截矩阵,进而实现直觉模糊集的聚类。最后,运用该方法对给定特征的空中目标进行了聚类分析,实验结果表明,提出的方法是可行、有效的。

关键词:目标识别;直觉模糊集;直觉模糊聚类;直觉模糊相似矩阵

中图分类号:TP 182; TP 391

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.1001-506X.2011.06.17

Target recognition based on intuitionistic fuzzy clustering

HE Zheng-hong, LEI Ying-jie, WANG Gang

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

Abstract: The validity of air target recognition is very important for air defense combat. Concerned with the characteristics of air target recognition, intuitionistic fuzzy clustering is presented. Some valid measures of similarity and dissimilarity are given; and with target characteristics, intuitionistic fuzzy similarity and dissimilarity are obtained. Several existing construction methods of the intuitionistic fuzzy similarity matrix are analyzed, a new construction method of intuitionistic fuzzy similarity matrix is put forward. An approach to transforming the intuitionistic fuzzy similarity matrices into the intuitionistic fuzzy equivalence matrices is given. Moreover, the (α, β) cutting matrix of intuitionistic fuzzy equivalence matrix is given, and a method of clustering intuitionistic fuzzy sets is proposed. Finally, based on this method, the clustering analyses of the air targets with specific characteristics are carried out. The result of experiment shows that this method is feasible and effective.

Keywords: target recognition; intuitionistic fuzzy set; intuitionistic fuzzy clustering; intuitionistic fuzzy similarity matrix

0 引言

目标识别是对目标的类型和属性进行判别和分类,识别的基础是探测设备获取的空中目标飞行参数和特性参数。由于探测手段的多样性,特别是空中电磁环境日趋复杂,导致获取信息不确定、不精确、不完整,传统的确定性信息处理方法已不再适用。为解决目标识别中的模糊性问题,引入模糊集理论和方法已成为必然,特别是模糊聚类能综合各种特征实现目标分类^[1-2]。但是,传统的模糊集对模糊性的描述不够细腻,只能描述“亦此亦彼”的“模糊概念”;将其用于目标识别时,不能充分利用各种模糊测量信息参与分类。

直觉模糊集^[3]作为模糊集的重要拓展,通过增加新的属性参数——非隶属度,进而可以描述“非此非彼”的“模糊概念”,能更加细腻地刻画客观世界的模糊本质。因此,有关IFS的研究目前已成为热点,其中直觉模糊相异度^[4]、相似度^[5-9]、直觉模糊关系^[10]、基于直觉模糊等价矩阵的聚类^[11-15]等是直觉模糊研究领域的重要组成部分。基于直觉模糊等价矩阵的聚类以建立直觉模糊相似矩阵为基础,因不需要事先确定分类数,是一种灵活的分类方法。但现有的直觉模糊相似矩阵构造方法的计算比较复杂,难以适应实时性要求较高的场合。

本文在提出一种新的直觉模糊相似矩阵构造方法的基础上,将直觉模糊聚类方法引入目标识别领域,首先对获得

的各种目标特征进行直觉模糊化,然后建立待分类目标之间的直觉模糊关系矩阵,最后利用直觉模糊关系矩阵进行聚类分析,实现了目标的分类。

1 直觉模糊集与直觉模糊关系

定义 1 直觉模糊集^[3]:设 X 是一个给定论域,则 X 上的一个直觉模糊集 A 为

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \gamma_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (1)$$

式中, $\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$ 和 $\gamma_A(x): X \rightarrow [0, 1]$ 分别代表 A 的隶属函数 $\mu_A(x)$ 和非隶属函数 $\gamma_A(x)$,且对于 A 上的所有 $x \in X, 0 \leq \mu_A(x) + \gamma_A(x) \leq 1$ 成立。

对于 X 中的每个直觉模糊子集,称 $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \gamma_A(x)$ 为 A 中 x 的直觉指数,它是 x 对 A 的犹豫程度的一种测度。显然,对于每一个 $x \in X, 0 \leq \pi_A(x) \leq 1$ 。

定义 2 直觉模糊关系^[15]:设 X 和 Y 是普通、有限、非空集合或论域。定义在直积空间 $X \times Y$ 上的直觉模糊子集称为从 X 到 Y 之间的二元直觉模糊关系。记为

$$R = \{ \langle (x, y), \mu_R(x, y), \gamma_R(x, y) \rangle \mid x \in X, y \in Y \} \quad (2)$$

式中, $\mu_R: X \times Y \rightarrow [0, 1]$ 和 $\gamma_R: X \times Y \rightarrow [0, 1]$ 满足条件 $0 \leq \mu_R(x, y) + \gamma_R(x, y) \leq 1, \forall (x, y) \in X \times Y$ 。

用 $IFR(X \times Y)$ 来表示 $X \times Y$ 上的直觉模糊子集的全体。若 X 和 Y 为有限集时,即 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}, Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$,则从 X 到 Y 之间的二元直觉模糊关系 R 可以用矩阵表示,记为 $R = (\mu_{ij}, \gamma_{ij})_{m \times n}$ 。

定义 3 直觉模糊相似矩阵^[12]:若直觉模糊关系矩阵 $R = (\mu_{ij}, \gamma_{ij})_{m \times n}$ 满足下列条件:

- (1) 自反性, $\langle \mu_{ii}, \gamma_{ii} \rangle = \langle 1, 0 \rangle, i = 1, 2, \dots, n;$
- (2) 对称性, $\langle \mu_{ij}, \gamma_{ij} \rangle = \langle \mu_{ji}, \gamma_{ji} \rangle, i, j = 1, 2, \dots, n.$

则称 R 为直觉模糊相似矩阵。

定义 4 直觉模糊关系的合成^[15]:设 $P = (\mu_{pij}, \gamma_{pij})_{n \times n}$ 和 $Q = (\mu_{qij}, \gamma_{qij})_{n \times n}$ 是直觉模糊矩阵,若 $R = P \circ Q = (\mu_{ij}, \gamma_{ij})_{n \times n}$,则称 R 是 P 和 Q 的合成矩阵,其中 $\mu_{ij} = \bigvee_{k=1}^n (\mu_{pik} \wedge \mu_{qkj}), \gamma_{ij} = \bigwedge_{k=1}^n (\gamma_{pik} \vee \gamma_{qkj})$ 。

2 直觉模糊聚类分析

模糊聚类分析有基于模糊等价矩阵的聚类分析和基于目标函数的聚类分析等多种方法,后者也可称为模糊 C 均值聚类(fuzzy C -means clustering, FCM)算法,直觉模糊聚类分析也有对应的方法。其中基于直觉模糊等价矩阵的聚类分析,首先要建立直觉模糊相似矩阵,然后改造相似矩阵为等价矩阵,最后通过设置置信水平求取截矩阵而实现聚类。

可见,直觉模糊相似矩阵的建立是直觉模糊聚类分析的基础,文献[10,12]等对直觉模糊相似矩阵构造方法进行了初步探讨,但仔细分析这些方法,存在的一个主要问题是计算比较复杂,对空中目标识别这种实时性要求比较强的领域难以适应。本文借助直觉模糊相似度^[5]和相异度^[4],提出了一种简便的直觉模糊相似矩阵构造方法。

设论域包括 n 个待分类对象 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$,每个对象包括 m 个属性 $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$,对象的属性数据均使用直觉模糊集表示,记其隶属度为 $\mu_{A_i}(x_k)$,非隶属度为 $\gamma_{A_i}(x_k)$,直觉指数为 $\pi_{A_i}(x_k) = 1 - \mu_{A_i}(x_k) - \gamma_{A_i}(x_k)$,其中 $i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m$ 。

A_i 与 A_j 之间的相似度用式(3)表示,相异度用式(4)表示。

$$S(A_i, A_j) = 1 - \sqrt[p]{\frac{1}{2m} \sum_{k=1}^m [|\mu_{A_i}(x_k) - \mu_{A_j}(x_k)|^p + |\gamma_{A_i}(x_k) - \gamma_{A_j}(x_k)|^p + |\pi_{A_i}(x_k) - \pi_{A_j}(x_k)|^p]} \quad (3)$$

$$D(A_i, A_j) = \sqrt[p]{\frac{1}{2m} \sum_{k=1}^m [|\mu_{A_i}(x_k) - \mu_{A_j}(x_k)|^p + |\gamma_{A_i}(x_k) - \gamma_{A_j}(x_k)|^p]} \quad (4)$$

式中, $1 \leq p < +\infty$ 。

设 $\mu_{ij} = S(A_i, A_j), \gamma_{ij} = D(A_i, A_j)$,则 $R = (\mu_{ij}, \gamma_{ij})_{n \times n}$ 为满足定义 3 的关于 n 个对象 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 的直觉模糊相似矩阵。

定义 5 直觉模糊等价矩阵:若直觉模糊矩阵 $R = (\mu_{ij}, \gamma_{ij})_{n \times n}$ 满足下列条件:

- (1) 自反性同定义 3;
- (2) 对称性同定义 3;
- (3) 传递性, $R^2 = R \circ R \subseteq R$,即 $\bigvee_{k=1}^n (\mu_{ik} \wedge \mu_{kj}) \leq \mu_{ij}, \bigwedge_{k=1}^n (\gamma_{ki} \vee \gamma_{jk}) \geq \gamma_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n.$

则称 R 为直觉模糊等价矩阵。

定理 1 假定 $R = (\mu_{ij}, \gamma_{ij})_{n \times n}$ 是直觉模糊相似矩阵,则通过直觉模糊关系合成运算得到 $I \subseteq R \subseteq R^2 \subseteq \dots \subseteq R^n = R^{n+1} = \dots$,其中 $I = (0, 1)_{n \times n}$ 。则 R^n 称为直觉模糊关系 R 的传递闭包, R^n 是直觉模糊等价关系;如果 n 不能取有限值,那么 $\lim_{n \rightarrow \infty} R^n = R^\infty$ 是直觉模糊等价关系。

定理 1 的证明见文献[11]。

定义 6 直觉模糊集的截集:设 $A = \{ \langle x, \mu_A(x), \gamma_A(x) \rangle \mid x \in X \}$ 为有限论域 X 上的一个直觉模糊集,对 $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$,且 $\alpha + \beta \leq 1$,称集合 $A_{(\alpha, \beta)} = \{ x \mid \mu_A(x) \geq \alpha, \gamma_A(x) \leq \beta, x \in X \}$ 为直觉模糊集 A 的 (α, β) 截集, (α, β) 称为置信水平或置信度。

设 $R = (\mu_{ij}, \gamma_{ij})_{n \times n}$ 为直觉模糊等价矩阵,定义其 (α, β) 截矩阵为 $R_{\alpha, \beta} = (r_{(\alpha, \beta)ij})_{n \times n}$,其中

$$r_{(\alpha, \beta)ij} = \begin{cases} 1, & \mu_{ij} \geq \alpha, \gamma_{ij} \leq \beta \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

显然,截矩阵 $R_{\alpha, \beta}$ 是布尔矩阵,用和模糊聚类相同的方法,可由截矩阵 $R_{\alpha, \beta}$ 实现待分类对象 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 的分类。

3 直觉模糊聚类在目标识别中的应用

根据使用场合的不同,空中目标可分为不同的类型,一般将目标分为:战术弹道导弹、大型机、小型机、武装直升机等。通常用来进行目标识别的主要特征有:发现距离、目标速度、目标高度、航迹特征、雷达反射截面、电磁辐射等^[1-2]。其中,发现距离和目标速度可以是比

较准确的具体数据,而目标高度、航迹特征和雷达反射截面等可能是模糊数据,如因测高设备的精度问题而得出的高度可能是用高空、中空、低空等模糊语言描述的,雷达反射截面也可能是用大、中、小等来描述的。利用这些特征进行直觉模糊聚类,首先要将已获得数据进行直觉模糊化,为了消除不同特征的物理量纲差异带来的影响,在直觉模糊化过程中要对数据进行规格化。

为了既说明问题又描述方便,本文选取 3 类 9 个目标,每个目标用 4 个特征描述,即待分类对象为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_9\}$,每个对象属性特征为 $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i4})$,对目标特征数据进行规格化和直觉模糊化后的信息如表 1 所示。

表 1 直觉模糊化的目标特征信息

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
x_1	$\langle 0.56, 0.34 \rangle$	$\langle 0.41, 0.40 \rangle$	$\langle 0.70, 0.20 \rangle$	$\langle 0.38, 0.52 \rangle$	$\langle 0.31, 0.60 \rangle$	$\langle 0.31, 0.61 \rangle$	$\langle 0.44, 0.45 \rangle$	$\langle 0.58, 0.30 \rangle$	$\langle 0.43, 0.45 \rangle$
x_2	$\langle 0.40, 0.50 \rangle$	$\langle 0.08, 0.80 \rangle$	$\langle 0.48, 0.42 \rangle$	$\langle 0.90, 0.10 \rangle$	$\langle 0.40, 0.50 \rangle$	$\langle 0.74, 0.22 \rangle$	$\langle 0.11, 0.80 \rangle$	$\langle 0.37, 0.52 \rangle$	$\langle 0.14, 0.72 \rangle$
x_3	$\langle 0.30, 0.40 \rangle$	$\langle 0.05, 0.75 \rangle$	$\langle 0.32, 0.50 \rangle$	$\langle 0.80, 0.10 \rangle$	$\langle 0.30, 0.50 \rangle$	$\langle 0.70, 0.25 \rangle$	$\langle 0.06, 0.80 \rangle$	$\langle 0.30, 0.50 \rangle$	$\langle 0.07, 0.70 \rangle$
x_4	$\langle 0.71, 0.10 \rangle$	$\langle 0.20, 0.50 \rangle$	$\langle 0.90, 0.10 \rangle$	$\langle 0.01, 0.80 \rangle$	$\langle 0.63, 0.15 \rangle$	$\langle 0.00, 0.90 \rangle$	$\langle 0.31, 0.52 \rangle$	$\langle 0.45, 0.35 \rangle$	$\langle 0.25, 0.55 \rangle$

步骤 1 计算相似矩阵:根据表 1 中的特征信息,用式(3)计算两个对象之间的相似度作为直觉模糊相似矩阵

R 的隶属度 μ_{ij} ,用式(4)计算两个对象之间的相异度作为其非隶属度 γ_{ij} ,为简化计算取 $p=1$,相似矩阵 R 为

$R =$

$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.67, 0.29 \rangle$	$\langle 0.87, 0.09 \rangle$	$\langle 0.53, 0.43 \rangle$	$\langle 0.89, 0.09 \rangle$	$\langle 0.54, 0.41 \rangle$	$\langle 0.69, 0.28 \rangle$	$\langle 0.89, 0.09 \rangle$	$\langle 0.71, 0.27 \rangle$
$\langle 0.67, 0.29 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.59, 0.36 \rangle$	$\langle 0.50, 0.44 \rangle$	$\langle 0.70, 0.28 \rangle$	$\langle 0.51, 0.42 \rangle$	$\langle 0.93, 0.04 \rangle$	$\langle 0.76, 0.22 \rangle$	$\langle 0.93, 0.05 \rangle$
$\langle 0.87, 0.09 \rangle$	$\langle 0.59, 0.36 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.47, 0.48 \rangle$	$\langle 0.81, 0.16 \rangle$	$\langle 0.50, 0.45 \rangle$	$\langle 0.62, 0.35 \rangle$	$\langle 0.83, 0.14 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$
$\langle 0.53, 0.43 \rangle$	$\langle 0.50, 0.44 \rangle$	$\langle 0.47, 0.48 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.57, 0.40 \rangle$	$\langle 0.88, 0.09 \rangle$	$\langle 0.52, 0.45 \rangle$	$\langle 0.57, 0.40 \rangle$	$\langle 0.55, 0.41 \rangle$
$\langle 0.89, 0.09 \rangle$	$\langle 0.70, 0.28 \rangle$	$\langle 0.81, 0.16 \rangle$	$\langle 0.57, 0.40 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.72, 0.26 \rangle$	$\langle 0.87, 0.13 \rangle$	$\langle 0.74, 0.25 \rangle$
$\langle 0.54, 0.41 \rangle$	$\langle 0.51, 0.42 \rangle$	$\langle 0.50, 0.45 \rangle$	$\langle 0.88, 0.09 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.54, 0.43 \rangle$	$\langle 0.58, 0.37 \rangle$	$\langle 0.56, 0.39 \rangle$
$\langle 0.69, 0.28 \rangle$	$\langle 0.93, 0.04 \rangle$	$\langle 0.62, 0.35 \rangle$	$\langle 0.52, 0.45 \rangle$	$\langle 0.72, 0.26 \rangle$	$\langle 0.54, 0.43 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.77, 0.21 \rangle$	$\langle 0.94, 0.04 \rangle$
$\langle 0.89, 0.09 \rangle$	$\langle 0.76, 0.22 \rangle$	$\langle 0.83, 0.14 \rangle$	$\langle 0.57, 0.40 \rangle$	$\langle 0.87, 0.13 \rangle$	$\langle 0.58, 0.37 \rangle$	$\langle 0.77, 0.21 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$
$\langle 0.71, 0.27 \rangle$	$\langle 0.93, 0.05 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.55, 0.41 \rangle$	$\langle 0.74, 0.25 \rangle$	$\langle 0.56, 0.39 \rangle$	$\langle 0.94, 0.04 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$

步骤 2 计算等价矩阵:根据定理 1,通过合成运算,由相似矩阵 R 求取直觉模糊等价矩阵。为简化计算,直接进行平方,即分别计算 $R^2, R^4, R^8 \dots$,直到求出等价矩阵。

为此,先计算 R^2 ,发现 $R^2 \neq R$;继续计算 R^4 ,但仍然有 $R^4 \neq R^2$;进一步计算可知 $R^8 = R^4 \cdot R^4 = R^4$,故 R^4 为直觉模糊等价矩阵,即

$R^4 =$

$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.87, 0.09 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.89, 0.09 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.89, 0.09 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$
$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.93, 0.04 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.93, 0.04 \rangle$
$\langle 0.87, 0.09 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.87, 0.09 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.87, 0.09 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$
$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.88, 0.09 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$
$\langle 0.89, 0.09 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.87, 0.09 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.89, 0.09 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$
$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.88, 0.09 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$
$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.93, 0.04 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.94, 0.04 \rangle$
$\langle 0.89, 0.09 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.87, 0.09 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.89, 0.09 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$
$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.93, 0.04 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 0.62, 0.34 \rangle$	$\langle 0.94, 0.04 \rangle$	$\langle 0.80, 0.19 \rangle$	$\langle 1, 0 \rangle$

步骤 3 计算截矩阵:根据定义 6,设定置信水平 $(\alpha, \beta) = (0.87, 0.09)$,求取直觉模糊等价矩阵 R^1 的截矩阵 $R_{\alpha, \beta}$ 为

$$R_{0.87, 0.09} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

步骤 4 进行聚类:根据每行、每列对应元素是否为 1,分析步骤 3 得出的截矩阵 $R_{\alpha, \beta}$,可得出分类结果,9 个目标 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_9\}$ 可分为 3 类,即 $\{A_1, A_3, A_5, A_8\}, \{A_2, A_7, A_9\}, \{A_4, A_6\}$ 。

所得的聚类结果与最初的设定是一致的。

4 结束语

本文通过对空中目标特征指标的规格化和直觉模糊化,运用直觉模糊聚类分析方法,实现了对空中目标的识别。针对现有直觉模糊相似矩阵构造方法存在的不足,利用直觉模糊相似度和相异度构造了直觉模糊相似矩阵,该方法概念清晰、计算简单;利用构造的相似矩阵计算等价矩阵;设定合适的置信水平获得截矩阵,从而实现目标的分类。通过实例分析,该方法分类结果正确。虽然实例中只考虑了目标的 4 个特征,但也可以使用更多特征,且计算量增加不大;在计算相似度和相异度时还可根据实际情况对不同的特征进行加权,从而增加灵活性,使目标分类更准确。

参考文献:

[1] 赵炜, 阎世强, 余岚, 等. 基于模糊聚类分析的无源雷达目标识别方法[J]. 航天电子对抗, 2009, 25(2): 32 - 34. (Zhao W, Yan S Q, Yu L, et al. Passive radar target recognition based on fuzzy clustering analysis[J]. *Aerospace Electronic Warfare*, 2009, 25(2): 32 - 34.)

[2] 李峰, 刘顺利, 熊平, 等. 基于改进 C-均值聚类算法的空中目标分类[J]. 现代防御技术, 2004, 32(6): 10 - 13. (Li F, Liu S L, Xiong P, et al. Air targets classification based on a meliorative

C-means clustering algorithm[J]. *Modern Defence Technology*, 2004, 32(6): 10 - 13.)

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

[4] Li D F. Some measures of dissimilarity in intuitionistic fuzzy structures[J]. *Journal of Computer and System Sciences*, 2004, 68(1): 115 - 122.

[5] Liu H W. New similarity measures between intuitionistic fuzzy sets and between elements[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2005, 42(1 - 2): 61 - 70.

[6] Zhang C Y, Fu H Y. Similarity measures on three kinds of fuzzy sets[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2006, 27(12): 1307 - 1317.

[7] Li Y H, Olson D L, Qin Z. Similarity measures between intuitionistic fuzzy (vague) sets: a comparative analysis[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2007, 28(2): 278 - 285.

[8] Xu Z S. Some similarity measures of intuitionistic fuzzy sets and their applications to multiple attribute decision making[J]. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2007, 6(2): 109 - 121.

[9] Chaira T, Ray A K. A new measure using intuitionistic fuzzy set theory and its application to edge detection[J]. *Applied Soft Computing*, 2008, 8(2): 919 - 927.

[10] 路艳丽, 雷英杰, 李兆渊. 直觉模糊相似关系的构造方法[J]. 计算机应用, 2008, 28(2): 311 - 314. (Lu Y L, Lei Y J, Li Z Y. Construction of intuitionistic fuzzy similarity relation[J]. *Computer Applications*, 2008, 28(2): 311 - 314.)

[11] Zhao F X, Ma Z M, Yan L. Fuzzy clustering based on vague relations[C] // *Proc. of the Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 2006: 79 - 88.

[12] 张洪美, 徐泽水, 陈琦. 直觉模糊集的聚类方法研究[J]. 控制与决策, 2007, 22(8): 882 - 888. (Zhang H M, Xu Z S, Chen Q. On clustering approach to intuitionistic fuzzy sets[J]. *Control and Decision*, 2007, 22(8): 882 - 888.)

[13] Iakovidis D K, Pelekis N, Kotsifakos E, et al. Intuitionistic fuzzy clustering with applications in computer vision[J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2008, 5259(1): 764 - 774.

[14] Xu Z H, Chen J, Wu J J. Clustering algorithm for intuitionistic fuzzy sets[J]. *Information Sciences*, 2008, 178(19): 3775 - 3790.

[15] 蔡茹, 雷英杰, 申晓勇, 等. 基于直觉模糊等价相异矩阵的聚类方法[J]. 计算机应用, 2009, 29(1): 123 - 126. (Cai R, Lei Y J, Shen X Y, et al. Clustering method based on intuitionistic fuzzy equivalent dissimilarity matrix[J]. *Journal of Computer Applications*, 2009, 29(1): 123 - 126.)