

# 不确定空情信息条件下的意图识别方法

张肃<sup>1</sup>, 程启月<sup>2</sup>, 解瑶<sup>3</sup>, 于刚<sup>3</sup>

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 国防大学, 北京 100091; 3. 空军指挥学院, 北京 100097)

**摘要:**态势理解是根据态势觉察生成的态势特征向量,结合领域专家的军事知识对当前态势进行解释,对敌方意图和作战计划进行识别的过程。现代防空作战的战场环境变得越来越复杂,获得的空情信息是不确定的,因此对敌空袭意图的有效识别是C<sup>4</sup>ISR系统中的一个关键问题。用区间数来表示不确定的空情信息,给出了区间数与实数的距离公式;通过方位角、距离、水平速度、航向角、高度来描述目标的作战意图,建立了基于区间数灰色关联分析的不确定空情信息条件下的意图识别模型;将待识别意图的目标作为比较序列,已知作战意图的基准特征值向量作为参考序列;通过模糊聚类分析计算意图识别中基准特征值。实例表明了方法的有效性,可为防空作战指挥决策提供依据。

**关键词:**意图识别;不确定性;区间数灰色关联分析;模糊聚类分析

**中图分类号:** O159 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)03-0050-04

态势理解是根据态势觉察生成的态势特征向量,结合领域专家的军事知识对当前态势进行解释,对敌方意图和作战计划进行识别。设态势空间框架  $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_r\}$  (例如侦察、监视、攻击、突防等),态势特征集合为  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_r\}$ ,则意图识别问题可以描述为映射关系<sup>[1-6]</sup>  $f: Q \rightarrow \Theta$ 。

现代防空作战环境变得越来越复杂,空袭可能来自不同的空域,而且目标类型多样,同时伴随假目标、诱饵和干扰等。在这种多批次、多方向、多层次、连续饱和式攻击的情况下,获取的空情信息是不确定的,所以不确定条件下的空袭意图识别是防空C<sup>4</sup>ISR系统中的一个关键问题。

## 1 基于区间数灰色关联分析的意图识别方法

### 1.1 区间数的概念

**定义1** 记  $\bar{a} = [a_L, a_U] = \{x | a_L \leq x \leq a_U, a_L, a_U \in \mathbf{R}\}$ ,称  $\bar{a}$  为一个区间数。特别地,若  $L = U$ ,则  $\bar{a}$  退化为一个实数<sup>[7-8]</sup>。

**定义2** 设  $\bar{a} = [a_L, a_U]$  是一个区间数,  $b$  是实数,则区间数与实数的距离  $d(\bar{a}, b)$  定义为

$$d(\bar{a}, b) = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(a_L - b)^2 + (a_U - b)^2} \quad (1)$$

### 1.2 基于区间数灰色关联分析不确定空情信息条件下的意图识别

设在不确定的空情信息条件下有  $p$  个目标  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$  需要识别其意图,用区间数来表示不确定的空情信息。每个目标用5种特征:方位角  $\beta_i$  (mil)、距离  $d_i$  (km)、水平速度  $v_i$  ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )、航向角  $\theta_i$  ( $^\circ$ )、高度  $H_i$  (km) 描述。将待识别意图的目标  $y_j$  作为区间数型比较序列,即

$$y_j = ([y_{j1L}, y_{j1U}], [y_{j2L}, y_{j2U}], \dots, [y_{j5L}, y_{j5U}]), j = 1, 2, \dots, p$$

$m$  种作战意图的基准特征值向量作为白化数型参考序列  $s_1, s_2, \dots, s_m$ , 即

$$s_i = (s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{i5}), i = 1, 2, \dots, m$$

收稿日期:2007-04-30

基金项目:国防预研基金资助项目(9140A0604306JB0503)

作者简介:张肃(1980-),男,甘肃天水人,博士生,主要从事决策分析、效能评估与智能信息处理研究;

E-mail: zsltyg@yahoo.com.cn

程启月(1958-),女,河南郑州人,教授,博士生导师,主要从事作战指挥决策理论、指挥信息系统研究。

根据区间数型灰色关联度公式计算  $y_j$  与  $s_i$  之间的关联度如下<sup>[9-11]</sup>:

$$r([y_{jL}, y_{jU}], s_{ik}) = \frac{\min_i \min_k D_{ji}(k) + \rho \max_i \max_k D_{ji}(k)}{D_{ji}(k) + \rho \max_i \max_k D_{ji}(k)} \quad (2) \quad r(y_j, s_i) = \frac{1}{5} \sum_{k=1}^5 r([y_{jL}, y_{jU}], s_{ik}) \quad (3)$$

式中,  $D_{ji}(k) = D([y_{jL}, y_{jU}], s_{ik}) = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(y_{jL} - s_{ik})^2 + (y_{jU} - s_{ik})^2}$ , 取  $\rho = 0.5$ , 若  $\max_i r(y_j, s_i) = r(y_j, s_h)$ , 则认为目标  $j$  为第  $h$  种作战意图。

## 2 意图识别中基准特征值计算的模糊聚类分析方法

### 2.1 数据标准化

若已知攻击意图的目标为  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , 用  $x_{ij}$  表示第  $i$  个目标的第  $j$  个特性值。由于指标特征的量纲和数量级各不相同, 采用公式  $x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}$  进行标准化, 其中平均值  $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$ , 标准差  $\sigma_j =$

$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}$ 。从而使得每一个指标值统一于共同的数值特性范围。

### 2.2 建立模糊相似矩阵

建立模糊相似矩阵  $R = (r_{ij})_{n \times n}$  的过程叫标定。 $r_{ij}$  表示目标  $x_i$  与  $x_j$  按 5 个特征相似的程度:

$$r_{ij} = 1 - c \sum_{k=1}^5 |x'_{ik} - x'_{jk}| \quad (4)$$

式中:  $x'_{ik}, x'_{jk}$  为标准化后的目标特征值;  $c$  为适当选取的常数, 要使  $r_{ij}$  在  $[0, 1]$  中且分散开。

### 2.3 聚类

建立起的模糊矩阵  $R$  一般只是模糊相似矩阵,  $R$  只满足对称性和自反性, 不满足传递性<sup>[12]</sup>, 还需求出  $R$  的传递闭包  $t(R)$ 。采用平方法, 按扎德算子  $(\wedge, \vee)$  求  $t(R): R \rightarrow R^2 \rightarrow R^4 \rightarrow R^6 \rightarrow \dots \rightarrow R^{2^k} \rightarrow \dots$ 。经过有限次运算后, 一定有自然数  $k (2^k \leq n)$ , 使  $R^{2^k} = R^{2^{k+1}}$ , 于是  $t(R) = R^{2^k}$ 。再取适当的置信水平  $\lambda \in [0, 1]$ , 由截矩阵得出所需分类, 进而可做出动态聚类图。

### 2.4 意图识别中基准特征值的计算

目标经聚类后, 可划分成  $m$  种攻击意图的作战群体, 其中每个群体由  $n_i$  批目标组成, 此时目标可描述为:  $G = \{G_1, G_2, \dots, G_m\}$ ,  $G_i = \{x_{ip}, p = 1, 2, \dots, n_i\}$ , 则由此可以得到  $m$  种攻击意图的基准特征值矩阵  $B = (s_{ij})_{m \times 5}$ , 其中第  $i$  种作战意图的特征值计算公式为

$$(s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, s_{i4}, s_{i5}) = \left( \sum_{p=1}^{n_i} \beta_{ip}/n_i, \sum_{p=1}^{n_i} d_{ip}/n_i, \sum_{p=1}^{n_i} \theta_{ip}/n_i, \sum_{p=1}^{n_i} v_{ip}/n_i, \sum_{p=1}^{n_i} H_{ip}/n_i \right) \quad (5)$$

## 3 实例仿真

已知攻击意图的 10 批目标特征值如表 1 所示。

表 1 目标特征值及攻击意图

Tab. 1 Target character number and attack intention

目标	$\beta_i/\text{mil}$	$d_i/\text{km}$	$v_i/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\theta_i/(\circ)$	$H_i/\text{km}$	意图
$x_1$	820	280	250	200	6.0	侦察
$x_2$	2 300	210	300	320	4.0	攻击
$x_3$	828	281	245	201	6.5	侦察
$x_4$	2 350	215	320	322	4.2	攻击
$x_5$	830	282	255	200	6.3	侦察
$x_6$	825	283	250	204	6.1	侦察
$x_7$	2 200	150	300	156	5.0	攻击
$x_8$	4 000	110	300	50	3.5	突防
$x_9$	2 800	260	220	260	8.0	监视
$x_{10}$	4 050	120	280	51	3.6	突防

有 3 批目标需要识别其作战意图, 在不确定的空情信息条件下其属性值如表 2 所示。

表2 待识别目标特征值

Tab. 2 Target character number to be inferred

待识别目标	$\beta_i/\text{mil}$	$d_i/\text{km}$	$v_i/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\theta_i/(\text{°})$	$H_i/\text{km}$
$y_1$	[1 000, 1 200]	[200, 210]	[300, 320]	[45, 51]	[3, 4]
$y_2$	[2 500, 2 600]	[100, 110]	[200, 220]	[250, 260]	[8, 9]
$y_3$	[4 000, 4 010]	[90, 100]	[240, 250]	[300, 310]	[2, 3]

标定时取  $c=0.1$ , 模糊乘 3 次后得到  $R^4 = R^6$ , 所以取传递闭包  $t(R) = R^4$ :

$$t(R) = \begin{bmatrix} 1 & 0.436 & 0.952 & 0.436 & 0.965 & 0.984 & 0.436 & 0.436 & 0.573 & 0.436 \\ 0.436 & 1 & 0.436 & 0.911 & 0.436 & 0.436 & 0.664 & 0.587 & 0.436 & 0.587 \\ 0.952 & 0.436 & 1 & 0.436 & 0.952 & 0.952 & 0.436 & 0.436 & 0.573 & 0.436 \\ 0.436 & 0.911 & 0.436 & 1 & 0.436 & 0.436 & 0.644 & 0.587 & 0.436 & 0.587 \\ 0.965 & 0.436 & 0.952 & 0.436 & 1 & 0.965 & 0.436 & 0.436 & 0.573 & 0.436 \\ 0.984 & 0.436 & 0.952 & 0.436 & 0.952 & 1 & 0.436 & 0.436 & 0.573 & 0.436 \\ 0.436 & 0.664 & 0.436 & 0.664 & 0.436 & 0.436 & 1 & 0.587 & 0.436 & 0.587 \\ 0.436 & 0.587 & 0.436 & 0.587 & 0.436 & 0.436 & 0.587 & 1 & 0.436 & 0.912 \\ 0.573 & 0.436 & 0.573 & 0.436 & 0.573 & 0.573 & 0.436 & 0.436 & 1 & 0.436 \\ 0.436 & 0.587 & 0.436 & 0.587 & 0.436 & 0.436 & 0.587 & 0.912 & 0.436 & 1 \end{bmatrix}$$

当  $\lambda = 0.664$  时, 划分成 4 种攻击意图的作战群体如下:

$$\{x_1, x_3, x_5, x_6\}, \{x_2, x_4, x_7\}, \{x_8, x_{10}\}, \{x_9\}$$

根据式(5)可得基准特征值如表 3 所示。

表3 意图识别的基准特征值

Tab. 3 Normal character number of inferring

作战意图	目标群体	指标平均值				
		$\beta_i/\text{mil}$	$d_i/\text{km}$	$v_i/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\theta_i/(\text{°})$	$H_i/\text{km}$
$s_1$ (侦察)	$x_1, x_3, x_5, x_6$	825	281.5	250	201.25	6.23
$s_2$ (监视)	$x_9$	2 800	260	220	260	8.0
$s_3$ (攻击)	$x_2, x_4, x_7$	2 283.33	191.67	306.67	266	4.4
$s_4$ (突防)	$x_8, x_{10}$	4 025	115	290	50.5	3.55

对于待识别目标  $y_1$ , 根据区间数灰色关联计算式(2-3), 可得:  $r(y_1, s_1) = 0.9297$ ,  $r(y_1, s_2) = 0.8479$ ,  $r(y_1, s_3) = 0.8813$ ,  $r(y_1, s_4) = 0.8518$ ,  $\max_i r(y_1, s_i) = r(y_1, s_1)$ , 目标  $y_1$  的作战意图是侦察。

对于待识别目标  $y_2$ , 同样可得:  $r(y_2, s_1) = 0.8119$ ,  $r(y_2, s_2) = 0.9197$ ,  $r(y_2, s_3) = 0.9107$ ,  $r(y_2, s_4) = 0.8153$ ,  $\max_i r(y_2, s_i) = r(y_2, s_2)$ , 目标  $y_2$  的作战意图是监视。

对于待识别目标  $y_3$ , 同样可得:  $r(y_3, s_1) = 0.8336$ ,  $r(y_3, s_2) = 0.8872$ ,  $r(y_3, s_3) = 0.8735$ ,  $r(y_3, s_4) = 0.9627$ ,  $\max_i r(y_3, s_i) = r(y_3, s_4)$ , 目标  $y_3$  的作战意图是突防。

## 4 结束语

在复杂多变的空情信息条件下, 对作战意图进行识别, 可为防空指挥决策提供重要的依据。目前对于意图识别问题的研究多限于理论体系上的探讨, 对于实现方法的研究较少。文中给出的意图识别方法已在工程实践中得到应用, 并且对于其它作战样式中的意图识别问题也有一定的参考意义。

### 参考文献:

- [1] 宋元, 章新华. 战场态势估计的理论体系研究[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2004, 26(1): 43-47.  
SONG Yuan, ZHANG Xinhua. Research on Theoretical System of Battlefield Situation Assessment [J]. Information Command Control System & Simulation Technology, 2004, 26(1): 43-47. (in Chinese)

- [ 2 ] Kirillov V P. Constructive Stochastic Temporal Reasoning in Situation Assessment [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1994, 21(7): 1099 - 1113.
- [ 3 ] Miao A X, Zacharias G L, Kao S P. A Computational Situation Assessment Model for Nuclear Power Plant Operations [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1997, 27(6): 728 - 742.
- [ 4 ] Hall D L, Llinas J. An Introduction to Multisensor Data Fusion [J]. Proceedings of IEEE, 1997, 85(1): 6 - 23.
- [ 5 ] 李 瑛, 刘卫东. 一种新的证据表示模型及其在敌作战意图识别中的应用[J]. 指挥控制与仿真, 2006, 28(6): 9 - 13.  
LI Ying, LIU Weidong. A New Evidence Model and its Application for Discriminating Enemy's Attacking Intention [J]. Command Control & Simulation, 2006, 28(6): 9 - 13. (in Chinese)
- [ 6 ] 李伟生, 王宝树. 基于模糊逻辑和 D - S 证据推理的一种态势估计方法[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(10): 1278 - 1280.  
LI Weisheng, WANG Baoshu. A Synthetic Method for Situation Assessment Based on Fuzzy Logic and D - S Evidential Theory [J]. Systems Engineering and Electronics, 2003, 25(10): 1278 - 1280. (in Chinese)
- [ 7 ] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.  
XU Zeshui. Uncertain Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. (in Chinese)
- [ 8 ] Sengupta A, Pal T K. On Comparing Interval Numbers [J]. European Journal of Operational Research, 2000, 127(1): 28 - 43.
- [ 9 ] 肖新平, 宋中民, 李 峰. 灰技术基础及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.  
XIAO Xinping, SONG Zhongmin, LI Feng. Grey Technology Base and Its Application [M]. Beijing: Science Press, 2005. (in Chinese)
- [ 10 ] 卫贵武. 区间数多指标决策问题的新灰色关联分析法[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(9): 1358 - 1359.  
WEI Guiwu. New Method of Grey Relational Analysis to Multiple Attribute Decision Making with Intervals [J]. Systems Engineering and Electronics, 2006, 28(9): 1358 - 1359. (in Chinese)
- [ 11 ] Xiao Xinping, LiXiaoqiang. Grey Relational Interval Analysis and its Application [J]. The Journal of Grey System, 1997, 9(4): 357 - 364.
- [ 12 ] 李洪兴, 汪培庄. 模糊数学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.  
LI Hongxing, WANG Peizhuang. Fuzzy Mathematics [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1993. (in Chinese)

(编辑: 田新华)

## A method of Inference Intention with Uncertain Aerial Information

ZHANG Su<sup>1</sup>, CHENG Qi - yue<sup>2</sup>, XIE Yao<sup>3</sup>, YU Gang<sup>3</sup>

(1. Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. National Defense University, Beijing 100091, China; 3. Air Force Command College, Beijing 100097, China)

**Abstract:** The purpose of situation understanding is to identify the intention and warfare plan of enemy, which explains the current situation based on the expert knowledge and situation character vector. The battlefield circumstances in the modern aerial defence warfare become more and more intricate, and the aerial intelligence obtained is uncertain, so the effective inference of intention of the air attack is an important problem in the C4ISR system. In this paper, the uncertain aerial intelligence is expressed by the interval number. The distance formula between interval number and real number is presented. The target intention is described by the characters of position angle, distance, horizontal speed, course angle and height. Then the inference of intention model based on interval number grey relationship analysis with uncertain aerial intelligence is built. Taking the target intention to be inferred as the comparative sequence, and the known normal character vector as the reference sequence, the normal character number can be calculated by the method of fuzzy cluster analysis. The validity of this method is demonstrated by an example, which can provide scientific basis for the command decision making in the aerial defence warfare.

**Key words:** inference of intention; uncertainty; interval number grey relationship analysis; fuzzy cluster analysis