

改进TOPSIS的多时刻融合直觉模糊威胁评估

张浩为¹, 谢军伟¹, 葛佳昂¹, 杨春晓², 刘冰镇³

(1. 空军工程大学 防空反导学院, 西安 710051; 2. 93567部队, 河北 保定 074100;
3. 陆军步兵学院, 南昌 330000)

摘要: 针对防空作战中的目标威胁评估问题, 提出一种新的多时刻融合直觉模糊数排序模型. 首先, 根据目标威胁属性的主、客观权重得到综合权重; 然后, 通过逼近理想解排序法衡量直觉模糊数信息量的大小, 利用直觉模糊熵表征直觉模糊数信息的可靠性, 并结合决策者的风险偏好构建基于信息量和不确定性的直觉模糊数排序模型, 得出单时刻的目标威胁排序; 最后, 利用泊松分布逆形式构建时间序列权重, 从而融合多个时刻的决策信息, 得出最终的目标威胁排序. 仿真结果表明, 所提出的算法综合了多时刻的决策信息, 并可根据决策者的风险偏好进行调整, 灵活性强、可靠性高.

关键词: 威胁评估; 多时刻融合; 直觉模糊数; 综合权重; 逼近理想解排序; 直觉模糊熵

中图分类号: TP301.6

文献标志码: A

Intuitionistic fuzzy set threat assessment based on improved TOPSIS and multiple times fusion

ZHANG Hao-wei¹, XIE Jun-wei¹, GE Jia-ang¹, YANG Chun-xiao², LIU Bing-zhen³

(1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2. Troop 93567, Baoding 074100, China; 3. The Army Infantry Academy of PLA, Nanchang 330000, China)

Abstract: A novel ranking method of intuitionistic fuzzy value (IFV) which fuses the information of targets in multiple times is proposed aiming at the threat assessment problem in the air defense operation. Firstly, the subjective attribute weight and the objective attribute weight are integrated to structure the comprehensive attribute weight. Then, the technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) is utilized to characterize the amount of information of IFVs, and the intuitionistic fuzzy entropy is calculated to measure the reliability of information. The amount and the reliability of information are integrated considering the decision makers' risk attitude, and a novel ranking measure for IFVs is developed and used for the threat ranking of targets in single time. Finally, the decision information in multiple times is fused by the structured time sequence weights, whose form is Poisson reverse distribution, to get the final ranking. The simulation results show that the proposed method possesses properties of reliability and flexibility by synthesizing the decision information in multiple times and is able to be adjusted according to the decision makers' risk attitude.

Keywords: threat assessment; information fusion in multiple times; intuitionistic fuzzy value; comprehensive weight; TOPSIS; intuitionistic fuzzy entropy

0 引言

现代防空作战中, 我方常面临多方向、多批次的饱和式攻击. 作为防空方, 需要对不同目标作出正确的威胁评判, 这对于火力分配、辅助决策具有十分重要的意义.

威胁评估的方法众多, 主要包括神经网络、粗糙集理论、证据推理、雷达图等. 所获取的目标数据

往往因战场环境的复杂性和传感器的局限性等因素呈现不确定性. 同时, 决策者由于自身知识缺乏, 决策过程中通常包含犹豫性. 而直觉模糊集^[1]在Zadeh模糊集^[2]的基础上进行了拓展, 增加了犹豫度信息, 更能够精确地描述威胁评估过程中的模糊性本质. 基于此, 文献[3-5]研究了目标属性权重未知且决策者具有偏好信息的威胁评估方法; 文献[6-7]运用逼近

收稿日期: 2017-10-08; 修回日期: 2018-01-23.

基金项目: 国家青年科学基金项目(61503408).

责任编委: 易建强.

作者简介: 张浩为(1992-), 男, 博士生, 从事相控阵雷达资源管理、威胁评估的研究; 谢军伟(1970-), 男, 教授, 博士生导师, 从事新体制雷达、干扰与抗干扰等研究.

†通讯作者. E-mail: zhw_xhzhf@163.com.

理想解排序 (TOPSIS) 衡量直觉模糊集的相似性, 得出最终的目标威胁排序; 文献 [8-9] 提出了基于直觉模糊熵 (IFE) 的动态目标威胁评估模型; 文献 [10-12] 构造了不同形式的 IFE, 并将其用于多属性决策; 文献 [13-17] 从信息角度出发, 提出了基于直觉模糊集关联信息量与信息可靠性的排序方法. 虽然上述文献中方法多样, 但尚存在如下不足: 一是部分文献 [3-4, 13-17] 利用距离信息对直觉模糊数进行排序, 但仅考虑了与正理想点间的距离, 忽略了与负理想点间的距离; 二是对于给定的直觉模糊数和它的补数, 仅利用文献 [6-12, 16] 所给出的 IFE 难以进行区分; 三是大部分文献 [3-7, 10-17] 在评估过程中只关注了当前时刻, 忽略了之前多个时刻的决策信息. 因此, 本文提出一种结合 TOPSIS 与 IFE 的多时刻融合直觉模糊目标威胁评估模型. 首先, 依据目标威胁属性的主、客观权重得到综合权重; 其次, 利用 TOPSIS 中的相对贴近度表现直觉模糊数信息量的大小, 通过 IFE 表征信息的可靠性, 结合决策者的风险偏好, 构建基于信息量和信息可靠性的单时刻直觉模糊数排序模型; 然后, 将 d-s-p 模型与多个决策者的决策信息集结, 以避免信息的丢失; 最后, 通过赋予时间序列权重, 将多个时刻的决策信息融合, 得出最终的目标威胁排序, 并通过仿真算例验证本文算法的合理性和可靠性.

1 预备知识

定义 1 [1] 设 X 为一个给定的论域, 则称 $A = \{\langle x_i, \mu_A(x_i), \nu_A(x_i) \mid x_i \in X \rangle\}$ 为 X 上的一个直觉模糊集. 其中: $\mu_A(x_i) \in [0, 1]$ 为 A 的隶属度函数, $\nu_A(x_i) \in [0, 1]$ 为 A 的非隶属度函数, 且满足 $0 \leq \mu_A(x_i) + \nu_A(x_i) \leq 1$. 进一步, 称 $\Pi_A(x_i) = 1 - \mu_A(x_i) - \nu_A(x_i)$ 为 A 的犹豫度. 若以区间 $[t_A(x_i), 1 - f_A(x_i)]$ 描述 $\mu_A(x_i)$ 的下界, 则称该区间为直觉模糊数. 其中: $t_A(x)$ 为隶属函数, $f_A(x)$ 为非隶属函数 [18]. 此时, A 可以写为 $A = \{\langle x_i, [t_A(x_i), 1 - f_A(x_i)] \mid x_i \in X \rangle\}$.

定义 2 [18-19] 设 $A_i = \langle \mu_i, \nu_i \rangle (i = 1, 2)$ 为两个直觉模糊数, $k > 0$ 为实数, 则两者的运算关系满足:

- 1) $A_1 + A_2 = \langle \mu_1 + \mu_2 - \mu_1\mu_2, \nu_1\nu_2 \rangle$;
- 2) $kA_1 = \langle 1 - (1 - \mu_1)^k, \nu_1^k \rangle$;
- 3) A_1 的余集 $A_1^c = \langle \nu_1, \mu_1 \rangle$;
- 4) $A_1 \subseteq A_2$, 当且仅当 $\mu_1 \leq \mu_2$ 且 $\nu_1 \geq \nu_2$.

定义 3 [18] 设 $A_i = \langle \mu_i, \nu_i \rangle (i = 1, 2, \dots, n)$ 为 n 个直觉模糊数, $\omega_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为权重序列, 则直觉模糊加权平均算子 (IFWA) 可表示为

$$\sum_{i=1}^n \omega_i A_i = \left\langle 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)^{\omega_i}, \prod_{i=1}^n (\nu_i)^{\omega_i} \right\rangle. \quad (1)$$

2 综合权重模型

影响目标威胁程度的因素众多, 现主要考虑以下几点: 目标类型、目标干扰能力、目标与雷达的径向距离、目标速度、目标航向角度和目标高度.

在实际威胁评估中, 往往有多名决策者参与决策. 由于不同决策者主观经验、知识水平不同, 对目标威胁属性的评估结果往往具有差异. 在此, 设第 q 名决策者赋予第 j 个目标属性的主观权重为 $\omega_j^{q,(1)}$, 并认为不同时刻决策者对于该属性的主观赋权值保持不变.

熵值法能较客观地反映数据本身的有序性. 在直觉模糊威胁评估体系中, 某一指标的熵越小, 其不确定性越大, 应赋予的权值越大. 文献 [11] 构造了一种结合犹豫度的 IFE, 旨在克服以往的 IFE 中仅考虑不确定程度而忽略未知程度而导致的不足. 如果设 t_k 时刻的原始直觉模糊评估矩阵为 $\mathbf{R}(t_k) = (r_{ij}(t_k))_{m \times n}$, $r_{ij}(t_k) = \langle \mu_{ij}(t_k), \nu_{ij}(t_k) \rangle$, 则 t_k 时刻 m 个目标中第 j 个属性的 IFE 可计算为 [11]

$$E_j(t_k) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \cos \frac{\mu_{ij}^2(t_k) - \nu_{ij}^2(t_k)}{2} \pi. \quad (2)$$

其中: $i = 1, 2, \dots, m$ 为目标集, $j = 1, 2, \dots, n$ 为属性集. 此时, 目标属性对应的熵权重为

$$\omega_j^{(2)}(t_k) = \frac{1 - E_j(t_k)}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j(t_k))}. \quad (3)$$

在得到目标属性的主客观权重后, 需对权重进行综合. 在此, 采用乘积法求取综合权重, 则 t_k 时刻第 q 名决策者对于目标第 j 个威胁属性的最终权重可表示为

$$\omega_j^q(t_k) = \frac{\omega_j^{q,(1)}(t_k) \omega_j^{(2)}(t_k)}{\sum_{j=1}^n \omega_j^{q,(1)}(t_k) \omega_j^{(2)}(t_k)}. \quad (4)$$

3 多时刻排序模型

就信息的角度而言, 直觉模糊集所表现的信息包含两方面内容: 信息量的大小和信息的可靠性程度 [13]. 基于此, 文献 [13-15, 17] 利用与正理想点的距离代表信息量的大小, 用犹豫度表征信息可靠性, 但其均忽略了与负理想点之间的距离, 并且犹豫度难以完全表现信息的可靠性. 目前, TOPSIS 被广泛运用于直觉模糊集的相似性测度中. 在 TOPSIS 中, 若任意点距离正理想点越近的同时距离负理想点越远, 则该点越佳. 因此, 利用 TOPSIS 方法来衡量信息量的大小是合理的 [20]. 同时, IFE 能较为精确地刻画直觉模糊集的模糊程度, 因此, 本文将 TOPSIS 与 IFE 相结

合,并考虑决策者的风险偏好,提出一种新的直觉模糊集排序模型.

3.1 基于TOPSIS与IFE的排序函数

在 $R(t_k)$ 中,将每个威胁属性取所有目标中最具威胁解,即为正理想解序列,负理想解为威胁值最小的解.对于效益型指标,正理想解取指标最大值;对于成本型指标,正理想解取指标最小值.反之可得出负理想解.若用 $\langle \mu_j^+(t_k), \nu_j^+(t_k) \rangle$ 代表正理想解, $\langle \mu_j^-(t_k), \nu_j^-(t_k) \rangle$ 代表负理想解,则第 i 个目标的第 j 个属性到正、负理想解的欧氏距离可表示为

$$D_{ij}^+(t_k) = \left\{ \frac{1}{2} [(\mu_{ij}(t_k) - \mu_j^+(t_k))^2 + (\nu_{ij}(t_k) - \nu_j^+(t_k))^2 + (\pi_{ij}(t_k) - \pi_j^+(t_k))^2] \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

$$D_{ij}^-(t_k) = \left\{ \frac{1}{2} [(\mu_{ij}(t_k) - \mu_j^-(t_k))^2 + (\nu_{ij}(t_k) - \nu_j^-(t_k))^2 + (\pi_{ij}(t_k) - \pi_j^-(t_k))^2] \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

t_k 时刻该属性与正理想解的相对贴近度为

$$D_{ij}(t_k) = \frac{D_{ij}^-(t_k)}{D_{ij}^+(t_k) + D_{ij}^-(t_k)}, \quad (7)$$

此时,其IFE可表示为

$$E_{ij}(t_k) = \cos \frac{\mu_{ij}^2(t_k) - \nu_{ij}^2(t_k)}{2} \pi. \quad (8)$$

由于TOPSIS解出的目标与正理想解的相对贴近度体现了直觉模糊集信息中的确定性,而IFE反映了直接模糊集信息的未知性,借鉴决策者的风险偏好模型^[15]构造一种新的直觉模糊数排序函数,即

$$P_{ij}(t_k) = \frac{t}{1+t} D_{ij}(t_k) + \frac{1}{1+t} (1 - E_{ij}(t_k)). \quad (9)$$

其中: P_{ij} 值越大,该属性越具威胁. t 为风险系数,当 $0 < t < 1$ 时,相比于接近度 D_{ij} ,决策者更看重 E_{ij} 可能带来的威胁;当 $t > 1$ 时,相比于不确定性 E_{ij} ,决策者更看重确定性的 D_{ij} 带来的威胁;当 $t = 1$ 时,决策者认为接近度与不确定性同等重要.

3.2 基于d-s-p模型的多源信息集结

在多名决策者参与决策的过程中,需要对不同决策者的决策信息进行集结^[21].文献[22]研究了在信息集结过程中不同模型丢失信息量的大小,指出d-s-p模型和d-p-s模型丢失的信息量更少,排序结果更加准确:设在原始直觉模糊评估矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 的基础上,获得的加权直觉模糊评估矩阵为 $F = (f_{ij})_{m \times n}$,共有 g 名决策者参与决策,第 q 名决策者的威望值为 λ_q ,该名决策者对于目标的第 j 个威胁属性

的综合权重为 ω_j^q ,则 t_k 时刻信息集结过程可表示为(在此省略 t_k 的标识)图1.

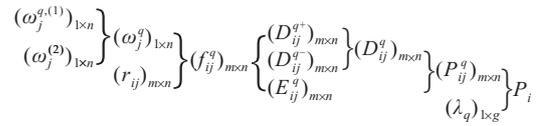


图1 信息集结

若 $r_{ij} = \langle \mu_{ij}, \nu_{ij} \rangle, f_{ij} = \langle \alpha_{ij}, \beta_{ij} \rangle$,则两者间满足下式:

$$f_{ij} = \langle 1 - (1 - \mu_{ij}) \omega_j^q, \nu_{ij} \omega_j^q \rangle. \quad (10)$$

3.3 时间序列权重

现代防空作战中,目标威胁程度会随时间动态改变.要准确判断目标意图,以对防空态势作出全面、客观的评价,必须对时间序列赋予权重.所赋予的权重序列应满足以下条件:1) 权重序列为离散序列,且可以根据时间序列的多少进行调整;2) 越临近当前时刻,目标信息对于威胁评估越重要,对应的时间权重值越大;3) 权重和为1.对此,文献[9]运用正态分布的累计分布函数得出了时间序列权重,计算稍显复杂;文献[23]直接运用主观方法取得了权重,随意性较强,且缺乏通用性.在此,选取当前(p 时刻)及之前 $p - 1$ 个观测时刻对目标的采样数据进行综合评估,采用泊松分布逆形式对时间序列赋予权重,则 t_k 时刻的权重值为

$$\eta_k = \frac{k! / \phi^k}{\sum_{k=1}^p (k! / \phi^k)}. \quad (11)$$

其中: $\eta_k \geq 0$,且满足 $\sum_{k=1}^p \eta_k = 1; 0 < \phi < 2$.

4 仿真算例及分析

4.1 威胁评估实例

假定在某次防空演习中,有5批目标对我方进行空袭,在获得连续3个时刻目标的区间值形式的数据后,将其转化为直接模糊数形式(关于区间数和直觉模糊数间的相互转换,可参照文献[3-4]),如表1所示.由此可以得到不同时刻目标属性的熵权重为 $\omega^{(2)}(t_1), \omega^{(2)}(t_2), \omega^{(2)}(t_3)$.若有4名决策者参与决策,则其权威性分别为 $\lambda = [0.2471, 0.2324, 0.2500, 0.2706]$;决策者给出的目标属性的主观权重分别为

$$\omega^1 = [0.28, 0.23, 0.12, 0.10, 0.17, 0.10];$$

$$\omega^2 = [0.40, 0.25, 0.10, 0.05, 0.15, 0.05];$$

$$\omega^3 = [0.20, 0.28, 0.12, 0.15, 0.17, 0.08];$$

$$\omega^4 = [0.20, 0.30, 0.15, 0.10, 0.15, 0.10].$$

表1 $t_1 \sim t_3$ 时刻的目标信息

时刻	目标编号	类型	距离	高度
t_1	1	$\langle 0.3, 0.4 \rangle$	$\langle 0.76, 0.10 \rangle$	$\langle 0.68, 0.15 \rangle$
	2	$\langle 0.7, 0.2 \rangle$	$\langle 0.80, 0.15 \rangle$	$\langle 0.70, 0.15 \rangle$
	3	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$	$\langle 0.78, 0.15 \rangle$	$\langle 0.72, 0.13 \rangle$
	4	$\langle 0.6, 0.2 \rangle$	$\langle 0.65, 0.28 \rangle$	$\langle 0.80, 0.20 \rangle$
	5	$\langle 0.4, 0.4 \rangle$	$\langle 0.68, 0.21 \rangle$	$\langle 0.75, 0.18 \rangle$
t_2	1	$\langle 0.4, 0.5 \rangle$	$\langle 0.78, 0.10 \rangle$	$\langle 0.65, 0.20 \rangle$
	2	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$	$\langle 0.83, 0.10 \rangle$	$\langle 0.65, 0.20 \rangle$
	3	$\langle 0.6, 0.4 \rangle$	$\langle 0.75, 0.20 \rangle$	$\langle 0.80, 0.15 \rangle$
	4	$\langle 0.5, 0.1 \rangle$	$\langle 0.70, 0.20 \rangle$	$\langle 0.64, 0.21 \rangle$
	5	$\langle 0.5, 0.4 \rangle$	$\langle 0.68, 0.05 \rangle$	$\langle 0.70, 0.12 \rangle$
t_3	1	$\langle 0.5, 0.4 \rangle$	$\langle 0.76, 0.13 \rangle$	$\langle 0.68, 0.15 \rangle$
	2	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$	$\langle 0.85, 0.10 \rangle$	$\langle 0.75, 0.15 \rangle$
	3	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$	$\langle 0.75, 0.20 \rangle$	$\langle 0.70, 0.18 \rangle$
	4	$\langle 0.6, 0.2 \rangle$	$\langle 0.75, 0.15 \rangle$	$\langle 0.68, 0.20 \rangle$
	5	$\langle 0.5, 0.3 \rangle$	$\langle 0.65, 0.05 \rangle$	$\langle 0.70, 0.25 \rangle$
时刻	目标编号	航向	速度	干扰能力
t_1	1	$\langle 0.75, 0.15 \rangle$	$\langle 0.80, 0.15 \rangle$	$\langle 0.5, 0.4 \rangle$
	2	$\langle 0.60, 0.20 \rangle$	$\langle 0.90, 0.10 \rangle$	$\langle 0.7, 0.3 \rangle$
	3	$\langle 0.65, 0.15 \rangle$	$\langle 0.75, 0.15 \rangle$	$\langle 0.5, 0.2 \rangle$
	4	$\langle 0.55, 0.30 \rangle$	$\langle 0.80, 0.11 \rangle$	$\langle 0.7, 0.2 \rangle$
	5	$\langle 0.69, 0.20 \rangle$	$\langle 0.68, 0.10 \rangle$	$\langle 0.2, 0.4 \rangle$
t_2	1	$\langle 0.70, 0.20 \rangle$	$\langle 0.80, 0.11 \rangle$	$\langle 0.4, 0.3 \rangle$
	2	$\langle 0.70, 0.15 \rangle$	$\langle 0.85, 0.10 \rangle$	$\langle 0.6, 0.2 \rangle$
	3	$\langle 0.72, 0.18 \rangle$	$\langle 0.73, 0.09 \rangle$	$\langle 0.6, 0.3 \rangle$
	4	$\langle 0.76, 0.15 \rangle$	$\langle 0.75, 0.15 \rangle$	$\langle 0.6, 0.1 \rangle$
	5	$\langle 0.68, 0.10 \rangle$	$\langle 0.78, 0.20 \rangle$	$\langle 0.3, 0.4 \rangle$
t_3	1	$\langle 0.60, 0.25 \rangle$	$\langle 0.75, 0.18 \rangle$	$\langle 0.5, 0.2 \rangle$
	2	$\langle 0.75, 0.10 \rangle$	$\langle 0.85, 0.05 \rangle$	$\langle 0.7, 0.2 \rangle$
	3	$\langle 0.80, 0.15 \rangle$	$\langle 0.78, 0.20 \rangle$	$\langle 0.6, 0.4 \rangle$
	4	$\langle 0.70, 0.18 \rangle$	$\langle 0.60, 0.20 \rangle$	$\langle 0.6, 0.2 \rangle$
	5	$\langle 0.65, 0.05 \rangle$	$\langle 0.80, 0.15 \rangle$	$\langle 0.4, 0.4 \rangle$

根据综合权重模型可以得到4位决策者对于目标属性在 $t_1 \sim t_3$ 时刻的综合权重分别为: $\omega^1(t_1), \omega^2(t_1), \omega^3(t_1), \omega^4(t_1), \omega^1(t_2), \omega^2(t_2), \omega^3(t_2), \omega^4(t_2), \omega^1(t_3), \omega^2(t_3), \omega^3(t_3), \omega^4(t_3)$. 若4位决策者的风险系数均为2, 则根据 TOPSIS 和 IFE 求得4名决策者对目标属性的排序函数值后, 融合4名决策者的决策信息, 得出 $t_1 \sim t_3$ 时刻的目标威胁分别为 $P(t_1), P(t_2), P(t_3)$. 时间序列权重中, 取 $\phi = 1.5$, 则 $\eta_k = [0.2000, 0.2667, 0.5333]$. 构造加权多时刻融合决策矩阵 H , 利用 TOPSIS 法求得目标最终威胁为 $P = [1.0000, 0.8160, 0.4882, 0.6330, 0.1115]^T$, 则目标最终威胁排序为 $1 > 2 > 4 > 3 > 5$. 若单纯利用 t_3 时刻的目标信息, 则得出的威胁排序为 $1 > 2 > 3 > 4 > 5$. 从单时刻目标威胁的排序结果可以看出, t_1 和 t_2 时刻目标4的威胁度均高于目标3, 而 t_3 时刻目标4的威胁度稍低于目标3, 因此融合多时刻的评估结果更加合理.

4.2 对比分析

文献[8]最终的威胁评估结果为 $P = [1.0000, 0.9260, 0.4863, 0.6419, 0.0672]^T$, 目标最终威胁排序

为 $1 > 2 > 4 > 3 > 5$, 与本文方法一致, 验证了本文方法的正确性. 但本文方法中, 不同决策者可以根据自己的风险偏好选择风险系数: 若改变4名决策者的风险系数 t (为简单起见, 在此认为4位决策者风险系数相同), 则最终目标威胁排序如表2所示.

表2 决策者的风险系数与排序结果

t	目标1	目标2	目标3	目标4	目标5	排序
$t = 0$	1.0000	0.1439	0.8020	0.7009	0.5656	13452
$t = 1$	1.0000	0.7195	0.4995	0.6116	0.1373	12435
$t = 2$	1.0000	0.8160	0.4882	0.6330	0.1115	12435
$t = +\infty$	1.0000	0.9264	0.4749	0.6571	0.0802	12435

由表2可以看出, 当 $t = +\infty$ 时, 5批目标的威胁计算结果与文献[8]的结果相差很小. 这是由于当 $t > 1$ 时, 决策者更加看重直觉模糊数所表现的信息量的多少, 即由 TOPSIS 计算的相对贴近度. 当 $t = +\infty$, 本文方法退化为以 TOPSIS 为主的方法, 与文献[8]方法相似. 而当 $t < 1$ 时, 决策者更加看重直觉模糊数所表现的信息的可靠性, 即 IFE 的计算结果. 故此时本文方法的威胁排序结果与文献[8]方法有较大出入. 但相比于文献[8]方法, 本文方法具有以下优势: 一是考虑了多名决策者对目标属性权重的主观意图, 将主、客观权重合成得到综合权重. 文献[8]算法仅利用直觉模糊熵得到客观权重, 忽略了多名决策者的主观意图. 二是构建了新的直觉模糊数排序模型. 根据 TOPSIS 中的相对贴近度来表征直觉模糊数信息量的大小, 利用直觉模糊熵来衡量直觉模糊数信息的可靠性, 通过决策者的风险偏好模型, 定义了新的排序函数. 而文献[8]仅利用 TOPSIS 中的相对贴近度, 忽略了信息的可靠性. 三是本文算法可以根据决策者的风险系数进行调整, 更具灵活性. 而文献[8]没有考虑决策者的风险态度, 得出评估结果较为单一.

5 结论

针对目标威胁排序问题, 提出一种多时刻融合的直觉模糊数排序方法: 1) 考虑了多名决策者的主观意图, 将主、客观权重合成作为目标威胁属性的综合权重; 2) 以 TOPSIS 计算得到的相对贴近度代表信息量的大小, 以 IFE 代表信息的可靠性程度, 构建了基于决策者风险偏好的单时刻直觉模糊数排序模型; 3) 采用泊松分布逆序列获取时间权重, 并对多个时刻的决策信息进行融合, 得到目标的最终威胁排序; 4) 仿真分析表明, 所提出的算法可以根据决策者的风险系数进行调整, 灵活性强, 可产生稳定的评估结果, 可靠性高.

参考文献(References)

- [1] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1986, 20(1): 87-96.
- [2] Zadeh L A. Fuzzy sets[J]. *Information and Control*, 1965, 8(3): 338-353.
- [3] 王小艺, 刘载文, 侯朝桢, 等. 基于模糊多属性决策的目标威胁估计方法[J]. *控制与决策*, 2007, 22(8): 859-863.
(Wang X Y, Liu Z W, Hou C Z, et al. Method of object threat assessment based on fuzzy MADM[J]. *Control and Decision*, 2007, 22(8): 859-863.)
- [4] 王毅, 刘三阳, 张文, 等. 属性权重不确定的直觉模糊多属性决策的威胁评估方法[J]. *电子学报*, 2014, 42(12): 2509-2514.
(Wang Y, Liu S Y, Zhang W, et al. Threat assessment method with uncertain attribute weight based on intuitionistic fuzzy multi-attribute decision[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2014, 42(12): 2509-2514.)
- [5] 万树平. 目标威胁评估的区间数方法[J]. *计算机工程与应用*, 2009, 45(6): 32-34.
(Wan S P. Interval number method for object threat assessment[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(6): 32-34.)
- [6] 童俊, 单甘霖. 基于Vague集的TOPSIS法求解目标优先级[J]. *火力与指挥控制*, 2012, 37(5): 140-143.
(Tong J, Shan G L. Research on TOPSIS-Based vague sets used to solve targets priority levels[J]. *Fire Control and Command Control*, 2012, 37(5): 140-143.)
- [7] 张才坤, 冯琦, 张堃. 基于IFE的改进TOPSIS法空战多目标威胁评估[J]. *飞行力学*, 2014, 32(3): 281-284.
(Zhang C K, Feng Q, Zhang K. Application of improved TOPSIS based on IFE in evaluating sequence of air multi-target threat[J]. *Flight Dynamics*, 2014, 32(3): 281-284.)
- [8] 张堃, 王雪, 张才坤, 等. 基于IFE动态直觉模糊法的空战目标威胁评估[J]. *系统工程与电子技术*, 2014, 36(4): 697-701.
(Zhang K, Wang X, Zhang C K, et al. Evaluating and sequencing of air target threat based on IFE and dynamic intuitionistic fuzzy sets[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2014, 36(4): 697-701.)
- [9] 张媛媛, 冯琦, 周德云, 等. 基于直觉模糊集的空战动态多属性威胁评估[J]. *电光与控制*, 2015, 22(2): 17-21.
(Zhang Y Y, Feng Q, Zhou D Y, et al. Multi-attribute dynamic threat assessment in air combat based on intuitionistic fuzzy sets[J]. *Electronics Optics and Control*, 2015, 22(2): 17-21.)
- [10] Farhadinia B. A theoretical development on the entropy of interval-valued fuzzy sets based on the intuitionistic distance and its relationship with similarity measure[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2013, 39(2): 79-84.
- [11] 刘满凤, 任海平. 基于一类新的直觉模糊熵的多属性决策方法研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(11): 2909-2916.
(Liu M F, Ren H P. A study of multi-attribute decision making based on a new intuitionistic fuzzy entropy measure[J]. *Systems Engineering—Theory and Practice*, 2015, 35(11): 2909-2916.)
- [12] Meng F Y, Chen X H. Entropy and similarity measure of Atanassov's intuitionistic fuzzy sets and their application to pattern recognition based on fuzzy measures[J]. *Pattern Analysis and Applications*, 2016, 19(1): 11-20.
- [13] Szmidi E, Kacprzyk J. Amount of information and its reliability in the ranking of Atanassov's intuitionistic fuzzy alternatives[M]. *Recent Advances in Decision Making*. Berlin: Springer, 2009: 7-19.
- [14] Guo K, Li W. An attitudinal-based method for constructing intuitionistic fuzzy information in hybrid MADM under uncertainty[J]. *Information Science*, 2012, 208(15): 28-38.
- [15] Guo K H. Amount of information and attitudinal-based method for ranking Atanassov's intuitionistic fuzzy values[J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 2014, 22(1): 177-188.
- [16] Szmidi E, Kacprzyk J, Bujnowski P. How to measure the amount of knowledge conveyed by Atanassov's intuitionistic fuzzy sets[J]. *Information Science*, 2014, 257(2): 276-285.
- [17] Ouyang Y, Pedrycz W. A new model for intuitionistic fuzzy multi-attributes decision making[J]. *European J of Operational Research*, 2016, 249(2): 677-682.
- [18] Xu Z S, Yager R R. Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets[J]. *Int J General Systems*, 2006, 35(4): 417-433.
- [19] Xu Z S. Intuitionistic fuzzy aggregation operators[J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 2007, 1(5): 1179-1187.
- [20] Wan S P, Wang F, Dong G Y. A novel risk attitudinal ranking method for intuitionistic fuzzy values and application to MADM[J]. *Applied Soft Computing*, 2016, 40(3): 98-112.
- [21] Chen K, Li W, Liu S F. An OWA-TOPSIS method for multiple criteria decision analysis[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(5): 5205-5211.
- [22] Wang T R, Liu J, Li J Z, et al. An integrating OWA-TOPSIS framework in intuitionistic fuzzy settings for multiple attribute decision making[J]. *Computers and Industrial Engineering*, 2016, 98(8): 185-194.
- [23] 刘勇, Jeffrey F, 刘思峰, 等. 基于区间直觉模糊的动态多属性灰色关联决策方法[J]. *控制与决策*, 2013, 28(9): 1303-1308.
(Liu Y, Jeffrey F, Liu S F, et al. Dynamic multiple attribute grey incidence decision making method based on interval valued intuitionistic fuzzy number[J]. *Control and Decision*, 2013, 28(9): 1303-1308.)

(责任编辑: 闫妍)