

doi: 10.7690/bgzdh.2020.12.005

一种基于犹豫模糊决策的战术目标分析方法

孙宝琛, 刘郭辉, 侯彦彪, 王振雷

(中国人民解放军 31690 部队 69 分队, 吉林 蛟河 132500)

摘要: 针对作战中如何利用模糊信息进行指挥决策的问题, 提出一种基于犹豫模糊决策的战术目标分析方法。根据目标信息和人工分析特点, 利用多个分析人员的知识经验进行判断, 将犹豫模糊决策的相关方法引入目标分析中, 采用模糊多属性决策的相关算法分析确定战术目标的性质类型, 得出最佳分析结果。计算结果表明: 该方法可为战场态势分析决策提供依据, 同时也为目标决策辅助系统的开发提供良好的算法支撑。

关键词: 目标分析; 模糊判断; 多属性决策

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

A Method of Tactical Target Analysis Based on Hesitant Fuzzy Decision Making

Sun Baochen, Liu Guohui, Hou Yanbiao, Wang Zhenlei

(No. 69 Team, No. 31690 Unit of PLA, Jiaohe 132500, China)

Abstract: Aiming at the decision making by fuzzy information in battle, put forward the tactical target analysis based on hesitant fuzzy decision making method. According to target information and artificial analysis feature, use knowledge and experience of multi analysis operator to judge, introduce the hesitant fuzzy decision making method into target analysis, use fuzzy multi attribute decision making method to analyze and decide the property and type of tactic type, and acquire optimum analysis results. The calculation results show that the method can provide battlefield structure analysis and decision making with reference, and support the research and development of target decision making assistant system.

Keywords: target analysis; fuzzy judgment; multiple attribute decision making

0 引言

陆上战术目标机动性强, 目标轨迹交叉分岔较多, 战术目标分布密集, 目标所处环境通常地形复杂, 遮蔽物较多, 地物丰富^[1]。这些特点对战术目标信息的融合判断影响很大。另外, 战术目标情报受获取手段和陆上目标特性的影响, 很难应用精确定量分析。同时, 陆上战术目标情报来源众多, 目标特征丰富, 也为分析人员提供了更多的判断信息。这些信息数据的格式、精确化程度不一致, 利用精确的决策判断方法十分困难。相比较空海战术目标信息精确连续, 陆上战术目标信息周期性和精度则较差, 可以在计算系统中应用的分析预测算法很少, 面对属性不确定、随机性较大的战术目标, 通常需要依赖人工经验进行分析判断。人工经验有时仅能给出模糊不确定性的判断, 需要对模糊的判断信息进行处理, 利用多种目标特征综合多个分析人员的判断确定目标的性质。笔者依据战术目标的多种特征信息, 利用多个分析人员的模糊判断经验, 采用模糊多属性决策的相关方法, 对战时战术目标分析判断进行研究。

1 战术目标特征分析

陆上战术目标分析主要是依据战术目标情报, 判明作战空间的兵力部署、阵地编成、火力配系、工事构筑、障碍设置等内容。对战术目标的发现, 可以采用雷达、光电、技侦、无人机以及人力等侦察手段^[2], 信源丰富, 目标特征也呈现多维特性, 一方面为准确识别、分析目标提供了重要依据, 另一方面也容易对目标分析造成干扰; 因此, 分析获取的目标特征, 选择合适的特征项, 成为战术目标分析的关键一环。根据战术目标分析的基本原则和实践经验, 笔者采用以下特征进行战术目标分析:

1) 位置与通联特征。陆上战术目标侦察手段一般都可提供目标的位置特征, 包括目标的具体坐标和其他目标的位置关系, 依据坐标位置结合地形特征, 综合考虑与其他目标位置关系, 可以推断出目标的层次级别, 作为目标性质分析的依据之一; 通过对目标的用频信息进行分析, 也可对目标的性质进行推断。

2) 组成与形状特征。光学侦察手段和人力观察, 可以得到目标的外形特征和周围组成的细节,

收稿日期: 2020-08-11; 修回日期: 2020-09-26

作者简介: 孙宝琛(1980—), 男, 辽宁人, 博士, 工程师, 从事数据分析、辅助决策、流程仿真研究。E-mail: 991620207@qq.com。

通过外形特征可以判断目标的形状大小, 确定目标级别; 通过周围组成的细节判断出目标结构以及附属设施等特征, 进而依据这些特征可以推断出目标等级和性质。

3) 数量与类型特征。通过侦察手段, 通常可以得到战术目标以及目标内部单位的数量, 通过目标和目标内部单位的数量规模可以判断目标的种类性质; 通过光学和人力侦察, 还可得到组成目标的单位类型, 通过组成单位类型结合数量特征, 可以推断目标的性质和等级。

4) 活动与状态特征。通过侦察还可得到目标的活动特征, 以此判断目标的级别性质; 通过电子、人力侦察, 获取目标通信信号的往来、目标的物理状态以及工作运行状态, 从而进行目标性质类型的推断^[3]。

2 基于犹豫模糊决策的战术目标分析

2.1 分析方法选择

目前针对不同性质的包含大量经验知识的不确定信息采取不同的处理方法, 比如对性质属性不明确的, 通常采取模糊理论相关方法, 对于时间不确定的信息, 一般采用随机过程方法等等。战时战术目标分析主要依靠分析人员经验得到, 分析中包含大量经验知识, 得到的结果也是不确定的判断, 这种不确定性是典型的性质属性的不确定, 采取模糊分析的方法可以很好地利用决策人员的经验, 同时面对复杂的战场环境, 分析人员采取传统的模糊判断方法直接给出隶属度时, 很难作出准确判断, 感到隶属度应该在 $[0,1]$ 的区间内取值更符合真实判断, 其实质是决策人员对判断的一种犹豫。这使分析人员能够更好地表达对不同目标偏好的犹豫度, 同时也能包含更多的经验信息; 因此, 考虑将犹豫模糊决策的相关方法引入目标分析之中。

2.2 犹豫模糊决策基本原理

1) 犹豫模糊集定义。

定义 设 X 为一给定的集合, 犹豫模糊集是从 X 到 $[0,1]$ 的一个子集 A 的映射函数, 可以用下式表示:

$$H^* = \{ \langle x, h_A(x) \rangle \mid x \in X \}。$$

其中, $h_A(x)$ 为 $[0,1]$ 中的几个可能数的集合, $x \in X$ 表示属于 X 的子集 A 的可能程度。

2) 犹豫模糊集的信息集成。

犹豫模糊集的信息集成依靠相应的集成算子,

通过集成算子能将多维复杂模糊决策信息融合为单一的总体值, 决策者可以根据这些合成的总体值对备选方案进行排序, 从而作出符合要求的最优决策。常用的犹豫模糊决策信息的混合加权集成算子, 如 HFHWA 算子、QHFWA 算子等。这些算法不仅能够处理多属性单人决策问题, 而且可以处理多属性群体决策问题。

3) 犹豫模糊数的对比法则。

根据犹豫模糊集合, 经过加权集成形成犹豫模糊数, 通过定义多种模糊数比较规则, 可以确定模糊数的大小, 从而确定对应犹豫模糊集合为最终决策结果。常用的对比法有得分函数法则、方差法则、离差法则等。

2.3 基于犹豫模糊决策的战术目标分析过程

根据陆上战术目标特点, 实际进行目标分析时, 通常需要几名人员分别进行判断, 然后再进行综合判断。每名分析人员依据获得的目标相关信息, 首先可以凭借经验判断目标的大体类别和属性。这种判断并不是唯一确定的, 同时分析人员间的判断也可能不一致, 带有很强的不确定性。为了充分利用分析人员的经验判断, 可将所有人员的各种初步判断汇总, 形成初步判断集合。该集合汇集了最大经验判断信息^[4]。

分析人员根据初步判断集合中的各种判断, 分别从位置与通联、组成与形状、数量与类型、活动与状态 4 个特征方面, 对目标进行模糊判断, 隶属度的确定可能是 $[0,1]$ 之间的多个可能取值, 使分析人员更好地表达依据某一特征, 判断目标类型和属性的偏好和犹豫程度。

目标的特征属性是分析者判断的重要依据, 但考虑并不是所有的目标特征都是同等重要。每个分析者对目标重要程度的认识也不同, 需要对属性的重要程度进行分析量化排序; 同时, 由于各个决策者掌握目标分析知识和经验的不同, 导致个人判断目标时, 对各特征属性的应用依赖程度有所不同, 最终影响到整体目标分析决策, 应该设定分析者对目标特征应用依赖程度的权重向量; 最后, 分析者的能力、经验和知识水平不一定一致, 作出判断的重要性也不相同; 因此, 还应对分析者在决策中的重要程度设定一组权重。

3 基于犹豫模糊决策的战术目标分析算法

考虑一个目标分析群体决策问题, 设 $A = \{A_1,$

A_2, \dots, A_m 为目标初步判断集合, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 为目标的特征属性, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_p\}$ 为一组目标分析者。假定决策者 e_k 依据特征属性 C_j 对判断结果 A_i 的评估值用犹豫模糊数 $h_{ij}^{(k)}$ 表示, 可以构造犹豫模糊决策矩阵 $H_k = (h_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ 。同时, 综合各分析者 e_k 给出的属性重要程度, 得到整体特征属性重要权重 $\lambda_j (j=1, 2, \dots, n)$; 考虑到不同目标特征的侧重点和优势, 分析者也给出了一组有序权重 $\omega_j^{(k)} (j=1, 2, \dots, n)$ 。不同分析者在群体中的重要性用 $\sigma = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_p\}$ 表示。

算法步骤:

1) 利用犹豫模糊加权平均 (hesitant fuzzy weighted averaging, HFWA) 算子^[5], 将所有分析人员个体犹豫模糊决策矩阵 $H_k = (h_{ij}^{(k)})_{m \times n} (k=1, 2, \dots, p)$ 合成为群体犹豫模糊决策矩阵 $H = (h_{ij})_{m \times n}$, 其中

$$h_{ij} = \bigcup_{\gamma_{ij}^{(k)} \in h_{ij}^{(k)}, k=1, 2, \dots, p} \left\{ 1 - \prod_{k=1}^p (1 - \gamma_{ij}^{(k)})^{\sigma_k} \right\},$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n。$$

2) 利用拟犹豫模糊混合加权平均 (quasi hesitant fuzzy hybrid weighted averaging, QHFHWA) 集成算子^[3]合成群体犹豫模糊决策矩阵中每一行不同的属性值, 得到方案 $A_i (i=1, 2, \dots, m)$ 的总体值 $h_i (i=1, 2, \dots, m)$ 。

$$h_i = \bigcup_{\gamma_{ij} \in h_{ij}, j=1, 2, \dots, n} \left\{ 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \gamma_{ij})^{\frac{\lambda_j \omega_{\varepsilon(j)}}{\sum_{j=1}^n \lambda_j \omega_{\varepsilon(j)}}} \right\}, i = 1, 2, \dots, m。$$

其中, $\varepsilon: \{1, 2, \dots, n\} \rightarrow \{1, 2, \dots, n\}$ 为一排列, 使得 h_j 为犹豫模糊数列 $h_j (j=1, 2, \dots, n)$ 中第 $\varepsilon(j)$ 大的元素。

3) 计算 $h_i (i=1, 2, \dots, m)$ 的得分函数^[3]值 $s(h_i) (i=1, 2, \dots, m)$, 通过比较 $s(h_i)$ 的大小, 得到方案 $A_i (i=1, 2, \dots, m)$ 的排序。

4 分析方法算例

假设现有 3 位分析人员 e_1, e_2, e_3 , 权重向量

$$H = \begin{bmatrix} \{0.474, 0.517\} & \{0.501, 0.524, 0.549, 0.57\} & \{0.469, 0.506\} & \left\{ \begin{matrix} 0.369, 0.482, 0.435, 0.465, \\ 0.472, 0.5, 0.506, 0.532 \end{matrix} \right\} \\ \{0.702, 0.774, 0.786, 0.838\} & \{0.674, 0.829\} & \{0.619, 0.644, 0.65, 0.673\} & \left\{ \begin{matrix} 0.432, 0.469, 0.462, 0.497, \\ 0.517, 0.548, 0.543, 0.572 \end{matrix} \right\} \\ \{0.372, 0.4, 0.442, 0.416\} & \{0.332, 0.367, 0.435, 0.465\} & \{0.653, 0.702\} & \{0.532, 0.599\} \end{bmatrix}。$$

2) 利用改进犹豫模糊混合加权平均集成算子

为 $\sigma = \{0.4, 0.3, 0.3\}$ 来评估判断目标性质和级别, 目标初步判断可能为 A_1 (旅战术指挥所), A_2 营指挥所和 A_3 营指挥组 3 类, 由于目标特征无法具体度量, 分析人员难以用传统模糊数反映对初步推断的偏好, 考虑用犹豫模糊决策矩阵 $H_k = (h_{ij}^{(k)})_{3 \times 4} (k=1, 2, 3)$, 更准确反映分析人员依据目标特征所作判断的决策信息如表 1—3。考虑到分析人员对目标特征熟悉程度对其判断的影响, 确定分析人员对不同目标特征的应用权重向量 $\omega^{(1)} = (0.3, 0.3, 0.2, 0.2)$, $\omega^{(2)} = (0.4, 0.2, 0.2, 0.2)$, $\omega^{(3)} = (0.2, 0.3, 0.3, 0.2)$ 。同时考虑 4 类目标特征的重要程度, 确立目标特征的权重向量为 $\lambda = (0.4, 0.2, 0.1, 0.3)$ 。

表 1 第 1 位分析人员给出的目标初步判断犹豫模糊矩阵

目标判断	位置与通联	组成与形状	数量与类型	活动与状态
旅战术指挥所	{0.6}	{0.7}	{0.4, 0.5}	{0.3, 0.5}
营指挥所	{0.6, 0.8}	{0.5, 0.9}	{0.7}	{0.4, 0.6}
营指挥组	{0.4, 0.5}	{0.3}	{0.6}	{0.5}

表 2 第 2 位分析人员给出的目标初步判断犹豫模糊矩阵

目标判断	位置与通联	组成与形状	数量与类型	活动与状态
旅战术指挥所	{0.2, 0.4}	{0.3, 0.5}	{0.4}	{0.5, 0.6}
营指挥所	{0.8}	{0.7}	{0.6, 0.7}	{0.4, 0.5}
营指挥组	{0.4}	{0.3, 0.6}	{0.5, 0.7}	{0.6}

表 3 第 3 位分析人员给出的目标初步判断犹豫模糊矩阵

目标判断	位置与通联	组成与形状	数量与类型	活动与状态
旅战术指挥所	{0.5}	{0.3, 0.4}	{0.6}	{0.4, 0.5}
营指挥所	{0.7, 0.9}	{0.8}	{0.5, 0.6}	{0.5, 0.6}
营指挥组	{0.3, 0.4}	{0.4, 0.5}	{0.8}	{0.5, 0.7}

1) 利用集成算子将分析人员的判断矩阵 $H_k = (h_{ij}^{(k)})_{3 \times 4} (k=1, 2, 3)$ 合成为群体判断矩阵 $H = (h_{ij})_{3 \times 4} (k=1, 2, 3)$, 其中:

$$h_{ij} = \bigcup_{\gamma_{ij}^{(k)} \in h_{ij}^{(k)}, k=1, 2, 3} \left\{ 1 - \prod_{k=1}^3 (1 - \gamma_{ij}^{(k)})^{\sigma_k} \right\} (i=1, 2, 3; j=1, 2, 3, 4)。$$

以 h_{23} 的计算为例, 有 $h_{23} = \bigcup_{\gamma_{23}^{(k)} \in h_{23}^{(k)}, k=1, 2, 3} \left\{ 1 - \prod_{k=1}^3 (1 - \gamma_{23}^{(k)})^{\sigma_k} \right\} = \{0.619, 0.644, 0.65, 0.673\}$, 同理可得到其他

合成值, 进而得到群体犹豫模糊决策矩阵如下:

$$H = \begin{bmatrix} \{0.474, 0.517\} & \{0.501, 0.524, 0.549, 0.57\} & \{0.469, 0.506\} & \left\{ \begin{matrix} 0.369, 0.482, 0.435, 0.465, \\ 0.472, 0.5, 0.506, 0.532 \end{matrix} \right\} \\ \{0.702, 0.774, 0.786, 0.838\} & \{0.674, 0.829\} & \{0.619, 0.644, 0.65, 0.673\} & \left\{ \begin{matrix} 0.432, 0.469, 0.462, 0.497, \\ 0.517, 0.548, 0.543, 0.572 \end{matrix} \right\} \\ \{0.372, 0.4, 0.442, 0.416\} & \{0.332, 0.367, 0.435, 0.465\} & \{0.653, 0.702\} & \{0.532, 0.599\} \end{bmatrix}。$$

导出每一判断 $A_i (i=1, 2, 3)$ 的模糊犹豫数值

$h_i(i=1,2,3)$ ，以 h_1 的计算过程为例：

$$\text{由 } s(h_{11}) = (0.474 + 0.517)/2 = 0.4955,$$

$$s(h_{12}) = (0.501 + 0.524 + 0.549 + 0.57)/4 = 0.536,$$

$$s(h_{13}) = (0.469 + 0.506)/2 = 0.4875,$$

$$s(h_{14}) = (0.369 + 0.482 + 0.435 + 0.465 + 0.472 + 0.5 + 0.506 + 0.532)/8 = 0.47.$$

由此可得 $h_{12} > h_{11} > h_{13} > h_{14}$ ，于是 $\varepsilon(11) = 2$ ，

$$\varepsilon(12) = 1, \varepsilon(13) = 3, \varepsilon(14) = 4, \text{ 且 } \lambda_1 \omega_{\varepsilon(11)}^{(1)} / \sum_{j=1}^4 \lambda_j \omega_{\varepsilon(1j)} =$$

$$h_1 = \left\{ \begin{array}{l} 0.458, 0.464, 0.471, 0.476, 0.479, 0.485, 0.491, 0.497, 0.461, 0.467, 0.473, 0.479, 0.482, \\ 0.487, 0.494, 0.499, 0.482, 0.488, 0.494, 0.500, 0.502, 0.508, 0.514, 0.519, 0.485, 0.491, 0.497, \\ 0.502, 0.505, 0.510, 0.516, 0.522, 0.472, 0.477, 0.484, 0.490, 0.492, 0.498, 0.504, 0.509, 0.475, \\ 0.480, 0.487, 0.492, 0.495, 0.500, 0.507, 0.512, 0.478, 0.484, 0.490, 0.496, 0.498, 0.504, 0.510, 0.515, \\ 0.481, 0.487, 0.493, 0.499, 0.501, 0.507, 0.513, 0.518, 0.480, 0.486, 0.492, 0.497, 0.5, 0.505, 0.512, \\ 0.517, 0.483, 0.488, 0.495, 0.500, 0.503, 0.508, 0.514, 0.520, 0.486, 0.492, 0.498, 0.504, 0.506, \\ 0.512, 0.518, 0.523, 0.489, 0.495, 0.501, 0.506, 0.509, 0.514, 0.52, 0.526, 0.488, 0.493, 0.5, 0.505, \\ 0.508, 0.513, 0.519, 0.524, 0.491, 0.496, 0.502, 0.508, 0.510, 0.516, 0.522, 0.527, 0.494, 0.500, \\ 0.506, 0.511, 0.514, 0.519, 0.525, 0.530, 0.497, 0.502, 0.509, 0.514, 0.516, 0.522, 0.528, 0.533 \end{array} \right\}.$$

3) 计算 $h_i(i=1,2,3)$ 的得分函数 $s(h_i)(i=1,2,3)$ ，可得 $s(h_1) = 0.4999$ ， $s(h_2) = 0.838$ ， $s(h_3) = 0.5113$ 。由此 $s(h_2) > s(h_3) > s(h_1)$ ，即 $h_2 > h_3 > h_1$ ，所以经计算 A_2 目标为营指挥所最终判断结果。

通过上述算例演示，基于犹豫模糊决策的目标分析方法充分利用了分析人员的主观判断信息，给分析人员模糊判断留出足够的犹豫空间。根据所给出的分析人员原始犹豫模糊集信息，计算前初步估计营指挥所的可能性较大，经计算所得结论与预判一致，说明方法有效可行^[6]。同时，计算过程也较为简单，可借助计算机快速实现。

5 结束语

笔者采用犹豫模糊集的方式描述分析人员对目标的判断，用 HFWA 算子将多人犹豫模糊决策信息集成，利用 QHFHWA 算子得出各分析人员判断犹豫模糊数值，最后应用模糊数值比较得出最佳分析结果。犹豫模糊决策中的算子众多，算法流程都相

$$0.462, \lambda_2 \omega_{\varepsilon(12)}^{(1)} / \sum_{j=1}^4 \lambda_j \omega_{\varepsilon(1j)} = 0.231, \lambda_3 \omega_{\varepsilon(13)}^{(1)} / \sum_{j=1}^4 \lambda_j \omega_{\varepsilon(1j)} = 0.077, \frac{\lambda_4 \omega_{\varepsilon(14)}^{(1)}}{\sum_{j=1}^4 \lambda_j \omega_{\varepsilon(1j)}} = 0.231.$$

从而可得：

$$h_1 = \bigcup_{\gamma_{11} \in h_1, \gamma_{12} \in h_2, \gamma_{13} \in h_3} \left\{ 1 - (1 - \gamma_{11})^{0.462} (1 - \gamma_{12})^{0.231} \times (1 - \gamma_{13})^{0.077} (1 - \gamma_{14})^{0.231} \right\}.$$

依次计算得到：

对简单，实际应用中可依据情况灵活选用。该方法可为战术目标人工分析提供有效决策手段，同时也为目标决策辅助系统的开发提供良好的算法支撑。

参考文献：

- [1] 左学胜. 陆军合成营战场态势融合问题探讨[J]. 装甲兵学术, 2018(4): 33-34.
- [2] 刘战勇. 陆军作战侦察情报研究[M]. 北京: 海潮出版社, 2007: 51-55.
- [3] 陈晓山, 张勇明, 毛超. 一种改进 T-S 模糊神经网络及其在装备保障力量动态部署中的应用[J]. 兵工自动化, 2019, 38(7): 56-59.
- [4] 施云红, 王亚平. 战术握把握持舒适性试验研究[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(1): 83-87.
- [3] 廖虎昌. 复杂模糊多属性决策理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 44-45, 55-56.
- [6] 麻诗雪, 丁勇, 李世豪. 基于区间直觉模糊决策的无人机任务分配方法[J]. 兵工自动化, 2019, 38(7): 60-66.