

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.04.008

基于直觉模糊和证据理论的预测敌空降地域的方法

赵磊, 王付明

(解放军信息工程大学 电子技术学院, 郑州 450004)

摘要: 针对信息化条件下难以判断敌空降地域的问题, 在深入分析敌空降作战特点的基础上, 归纳总结出影响预测敌空降地域的指标体系, 运用直觉模糊与证据理论相结合的方法对决策群体的具有模糊性的评价和冲突性的推断进行推理、融合, 判定出敌人最可能空降地域, 并以实例进行计算。结果表明, 该方法能更有效地对模糊性信息加以表达, 推理结果更符合客观事实。

关键词: 空降兵; 着陆地域; 预测; 直觉模糊; 证据理论

中图分类号: O159; N945.12 **文献标志码:** A

Method for Predicting Enemy's Airborne Area Based on Intuition Fuzzy Reasoning and Evidence Theory

Zhao Lei, Wang Fuming

(Institute of Electronic Technology, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: Aiming at the problem that it's difficult to determine the enemy's airborne area under information condition, after analyzing the airborne battle characteristic deeply, concluding the index system that contains the elements which have an influence on predicting the enemy's airborne area. Then apply the intuition fuzzy reasoning and evidence theory to fuse the fuzzy and conflict group decision and make sure the most possible airborne area of the enemy. The result shows that the method can represent the fuzzy information more effectively and make the reasoning result more objective.

Keywords: airborne troops; landing area; predicting; intuition fuzzy reasoning; evidence theory

0 引言

信息化条件下的空降作战, 速度快、突然性强, 对敌空降地域进行预判的难度大, 致使我机步旅指挥决策时间极其短促。在敌实施空降之前, 我判断其可能的空降地域, 除了已获取的准确情报外, 通过其它条件所作的判断一般都不很确定。军事指挥员(专家)在不确定信息基础上给出的评价和结论也往往具有模糊性和冲突性, 如何将这些决策信息依据某种准则进行融合, 以获得对敌空降地域的一致性判定, 是急需解决的问题。

直觉模糊和证据理论在处理模糊和冲突信息时都有各自的优势和缺陷, 将二者有机结合可以较好地解决这些问题。首先利用直觉模糊理论对模糊知识的有力的表示和推理能力, 得出战场上 T_0 时刻某一决策者对敌可能空降地域的推断, 再利用证据理论在处理证据冲突方面的优势, 对不同决策者的推断进行融合, 从而得出 T_0 时刻对敌方意图的判断; 然后运用同样方法求出 T_1 时刻对敌方意图的判断, 并对 T_0 、 T_1 时刻的意图判断结果进行融合, 如果得到的结论对某一意图的支持度超过了预定的阈值, 就认为该意图会发生, 否则继续对 T_2 时刻的判

断进行融合, 直到得出符合要求的推断。

1 预测敌空降地域的影响因素分析

1.1 敌空降作战的特点分析

空降作战的目的包括一般目的和特殊目的。空降作战作为构成作战的基本单位, 其一般目的是“保存自己, 消灭敌人”, 其具体目的是为了夺取扼守目标, 抢占要点, 掩护和配合其它军兵种作战。在未来的信息条件下, 空降作战呈现出以下基本特点:

1) 作战目的更加坚决、积极

信息化条件下空降作战, 敌人在选择作战目的时, 将借助更加积极的手段, 着眼于高基点和高价值, 直逼我方的要害与关节, 选则必坚, 坚则积极主动, 全力贯彻。目的一旦确定后, 就会立即投入作战, 使用最佳手段和最优力量去坚决地实现目的, 进而使作战更为紧张激烈, 更加速战速决, 打得快, 撤得快, 不与对方纠缠, 以免增大己方作战损失。

2) 欺骗行动贯穿作战全过程

敌空降施骗离不开起飞—航行—空降—着陆等 4 个环节, 其欺骗行动也围绕这 4 个环节进行。一是起飞前骗, 即以散布假情报、假信息等手段, 与假侦察, 假转场、假集结、假演习等军事佯动相结

收稿日期: 2010-11-29; 修回日期: 2011-01-29

作者简介: 赵磊(1981—), 男, 河南人, 硕士研究生, 副连, 从事作战指挥理论与研究。

合,通过示假隐真,蒙骗对方,掩盖其真实企图;二是在航行中骗,主要是在飞向预定空降地域前,不断改变航线,或先飞向其它地域,忽然折回预定地域,或同时起飞多批飞机,沿多条航线飞行,其中一批飞向预定地域,其它飞向非预定地域;三是在空降时骗,即利用无人驾驶飞机、飞机模型或木偶人、橡皮人等模拟器材进行假机降或假伞降,诱骗对方暴露企图,或吸引对方反空降预备队;四是在空降地域上骗,即以假侦察、假火力袭击、进行小规模假空降等方法,诱骗对方在假空降地域集中兵力兵器设防,而实际却在其它空降地域空降。

3) 空降作战保障地位更加突出

空降作战的高速机动和快速突然对保障提出了更高要求,而保障技术和手段的现代化又极大地促进着空降作战优势的发挥。空降作战保障不再只是一个配属,它已成为决策者赋予空降作战任务、确定空降作战目的、选择空降作战方式的基础和依据。

1.2 影响预测敌空降地域的因素分析

从空降作战特点的分析中,笔者将影响预测敌空降地域的因素归纳为着陆地域内目标的战术价值、着陆地域的地形、着陆地域的气象状况以及敌方因素4个方面。

1) 着陆地域内目标的价值

目标的战术价值是指目标对达成战术目的的重要性程度。空降作战的奇效性决定了在组织实施时必须精心和慎重地选择所突击的目标。择取要害、点其穴位、打断关节,才能致敌被动、致敌混乱、致敌瘫痪,才能充分发挥空降作战的专长,获得空降作战的最佳效益。

衡量空降地域内目标的价值,一般基于以下因素:一是对形成全局有利态势、加快作战进程的影响;二是是否能与地面部队保持密切协同;三是其它部队完成打击的困难性;四是易毁性,即目标易被摧毁或被摧毁后较难恢复;五是是否易于奏效和便于得手。

2) 着陆地域的地形

地形对空降作战有直接影响,选择和利用战区地形,仍是空降作战组织非常重要的组成部分。在历次的空降作战中,各国军队历来重视地形条件,选择有利的地形作空降场。在实际空降行动中,地形的起伏程度、着陆地域的道路状况和地面障碍物密度对空降行动有很大影响。

3) 着陆地域的气象状况

恶劣的气象条件对空降作战的影响很大,它对空降兵作战的不同阶段的影响程度不同,且对空降行动的影响最大,但特殊情况下可以利用复杂的气象隐蔽行动企图,达成空降作战的突然性。在空降阶段,空中的风速、能见度会对空降人员和物资的安全造成影响,同时还会影响到空降后的集合情况。

4) 敌方因素

敌方因素包括敌兵力规模、敌制空电磁力量的使用情况、敌火力支援和保障力量使用情况以及敌指挥员为倾向。

① 敌兵力规模。敌人在某个地域实施空降,必定是为了达成一定的作战企图,那么就必须要具有与达成作战企图相匹配的作战实力。作战实力的衡量因素很多,但在敌空降着陆之前,我方仅仅只能观测到敌空中运输机的数量,并据此推测出敌人可能的兵力规模,因此在敌着陆之前的空运阶段,我们就用敌兵力规模表示敌作战实力,作为推测敌可能着陆地域的因素之一。

② 敌制空、制电磁力量的使用情况。制空是在制电磁的基础上的制空,因此二者是相辅相成、互为一体的。未来空降与反空降作战中,参战双方将使用大量先进的战机、武器系统、电子装备以及完善的侦察、通信手段,在空域、电磁域展开殊死的较量。对于空降之敌而言,为保证其空降力量的安全、顺利着陆,必将对其空运航路、空降地域投入优势力量,确保在局部地域、局部时段内取得制空与制电磁优势。因此,掌握了敌制空、制电磁力量的使用情况,可以在一定程度上推测出敌空降着陆地域。

③ 敌火力支援与保障力量的使用情况。敌在空降前通常对空降作战地域及其周围我重要目标实施充分的预先火力准备和直接火力准备。预先火力准备主要摧毁和压制我防空系统及有生力量,破坏我交通运输、通信联络联络和指挥系统,削弱我反空降力量,以保障空降兵空降着陆。直接火力准备通常在空降突击梯队着陆前开始。主要突击空降地域和敌运输线附近我防空阵地及防御工事。有时为达成空降突然性,会在非空降地域实施假火力准备,以迷惑我方。

④ 敌指挥员行为倾向。指挥员的行为倾向是决定其指挥决策的内在属性,每一名指挥员都有其各自的作战指挥经历,在学习、训练、演习、战斗中,对硝烟和血腥,对胜利或失败的亲身体会等,逐渐

形成了其独特的行为倾向，充分了解对手，站在对方指挥员的角度上去考虑其可能决策，比如他是个“冒险主义者”还是个“保守主义者”，在某种程度上可以作为我们推断其意图的一个有力根据。

根据分析，构建出预测敌空降地域的指标体系如图 1。

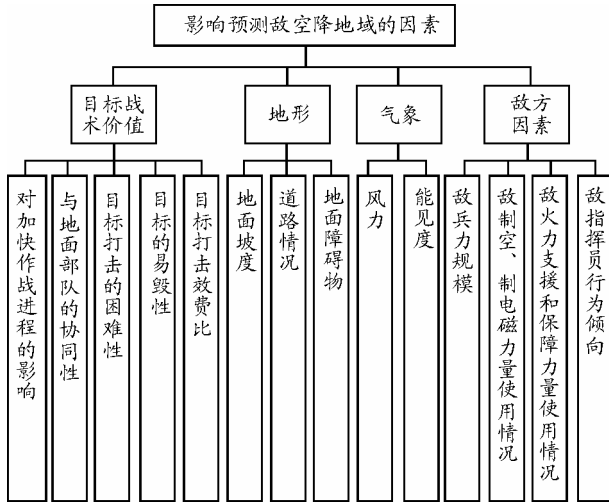


图 1 影响预测敌空降意图的因素

2 预测敌空降地域的模型的构建

2.1 证据理论^[1]

在一个 D-S 推理系统中，识别框架 FOD (frame of discernment) 是所有完备的且又互斥的事实 (事件) 集合，可记为 $\Theta = \{\theta_i | 0 \leq i \leq N\}$ ，它由所有信息源能提供证据的假设组成。一个假设 H 是 Θ 的一个子集，每一个假设被观察者用信度函数 BPA (basic probability assignment) 赋予一个值 m ， m 定义如下。

定义 1: 设 Θ 为一识别框架， $\Omega = 2^\Theta$ 为 Θ 的幂集，若函数 $m: \Omega \rightarrow [0,1]$ ，满足下列条件：

- 1) $m(\phi) = 0$;
- 2) $\sum_{A \in \Omega} m(A) = 1$;
- 3) $m(A) \geq 0, \forall A \in \Omega$ 且 $A \neq \phi$ 。

则称 m 为 Ω 上的基本概率赋值; $\forall A \in \Omega, m(A)$ 为基本概率赋值函数，若 $m(A) \neq 0$ ，则称 A 为一个焦点。

定义 2: 设 Θ 为识别框架，函数 $m: \Omega \rightarrow [0,1]$ 为框架 Θ 上的基本可信度分配，则称由

$$Bel(A) = \sum_{B \subset A} m(B) \quad (\forall A \subset \Theta) \quad (1)$$

所定义的函数 $Bel: 2^\Theta \rightarrow [0,1]$ 为 Θ 上的信度函数。

定义 3: 证据理论方法有合理的信息合成规则，简称 D-S 规则。设 $Bel_1、Bel_2$ 是同一识别框架上的 2 个信度函数， $m_1、m_2$ 分别为其对应的基本可信度分配，焦点分别为 A_1, \dots, A_k 和 B_1, \dots, B_l ，设 $\sum_{A_i \cap B_j = \phi} m_1(A_i)m_2(B_j) < 1$ ，那么，由下式定义的函数是基本可信度分配

$$m(A) = \begin{cases} 0 & A = \phi \\ m(A) = k \sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i)m_2(B_j) & A \neq \phi \end{cases} \quad (2)$$

式中: $k^{-1} = 1 - \sum_{A_i \cap B_j = \phi} m_1(A_i)m_2(B_j)$

2.2 直觉模糊集的基本概念

传统的经典集合 Cantor 只能描述“非此即彼”的属性，Zadeh 提出的模糊集能描述“亦此亦彼”的属性，Atanassov 对 Zadeh 的模糊集进行拓展得到的直觉模糊增加了“非此非彼”的属性^[2]，大大拓展了 Zadeh 模糊集的模糊表示能力。

定义 4^[2]: (直觉模糊集) 设 X 是一个给定的论域，则 X 上的一个直觉模糊集 A 定义为: $A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle | x \in X \}$ ，其中， $\mu_A(x)$ 和 $\nu_A(x)$ 分别代表 A 的隶属函数和非隶属函数，且 $\forall x \in X, 0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$ 。

对于论域 X 上的每一个直觉模糊子集 A ，称 $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$ 为 A 中 x 的直觉指数 (Intuitionistic Index)，它是对 A 的犹豫程度 (Hesitancy Degree) 的一种测度。

定义 5^[3]: 设 $\alpha_1 = (\mu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_1})$ ， $\alpha_2 = (\mu_{\alpha_2}, \nu_{\alpha_2})$ 为直觉模糊数，则称 $s(\alpha_1) = \mu_{\alpha_1} - \nu_{\alpha_1}$ ， $s(\alpha_2) = \mu_{\alpha_2} - \nu_{\alpha_2}$ 分别为 $\alpha_1、\alpha_2$ 的得分函数。

文献[4]提出了一种新的得分函数。给出决策目标方案集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 满足属性 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 的基于直觉模糊数的正理想解 g^+ 和负理想解 g^- 分别为:

$$g^+ = \{ \langle C_i, u_i, v_i \rangle | 1 \leq i \leq n \} = \{ \langle C_1, 1, 0 \rangle, \langle C_2, 1, 0 \rangle, \dots, \langle C_n, 1, 0 \rangle \}$$

$$g^- = \{ \langle C_i, u_i, v_i \rangle | 1 \leq i \leq n \} = \{ \langle C_1, 0, 1 \rangle, \langle C_2, 0, 1 \rangle, \dots, \langle C_n, 0, 1 \rangle \}$$

直觉模糊值 A_{ij} 与最优解距离为 $D(A_{ij}, g^+)$ ，与负解距离为 $D(A_{ij}, g^-)$ ，于是其得分函数表示为:

$$L(A_{ij}) = \frac{D(A_{ij}, g^-)}{D(A_{ij}, g^-) + D(A_{ij}, g^+)} = \frac{1 - \nu_{ij}}{2 - u_{ij} - \nu_{ij}} \quad (3)$$

其中 (u_{ij}, v_{ij}) 为决策方案, A_i 满足属性 C_j 的直觉模糊数。

定义 6^[3]: 设 $\alpha = (\mu_\alpha, \nu_\alpha)$, $\alpha_1 = (\mu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_1})$ 和 $\alpha_2 = (\mu_{\alpha_2}, \nu_{\alpha_2})$ 为直觉模糊数, 则直觉模糊运算法则如下:

- 1) $\alpha_1 + \alpha_2 = \langle \mu_{\alpha_1} + \mu_{\alpha_2} - \mu_{\alpha_1}\mu_{\alpha_2}, \nu_{\alpha_1}\nu_{\alpha_2} \rangle$;
- 2) $\lambda\alpha = \langle 1 - (1 - \mu_\alpha)^\lambda, \nu_\alpha^\lambda \rangle$ 。

定义 7: 设 $\alpha = (\mu_\alpha, \nu_\alpha)$ 为一直觉模糊数, α 的模糊熵定义^[5]为:

$$E(\alpha) = \frac{1 - |\mu_\alpha - \nu_\alpha| + \pi_\alpha}{1 + |\mu_\alpha - \nu_\alpha| + \pi_\alpha} \quad (4)$$

2.3 指标值的直觉模糊化处理

2.3.1 定性指标值的直觉模糊化

由专家(军事指挥员)根据获取的战场信息, 结合军事理论知识及个人经验, 对预测体系中最底层的属性指标进行评定, 这种评定往往是模糊的, 比如“很好”、“很适宜”等。对于这种模糊评定, 一般是根据问题的定义选择一个合适的语言评语集(语言变量)来表示。评语集常选为奇数, 这样可以使中间值“近似为 0.5”, 而使余下的成对称分布。评语集中各评语可用直觉模糊值表示, 即令 $\alpha_i = (\mu_{\alpha_i}, \nu_{\alpha_i})$, $i=1, 2, \dots, n$, 且该模糊值遵循以下原则^[6]:

- 1) 评语集对应的弃权部分 $1 - \mu_{\alpha_i} - \nu_{\alpha_i}$ 由两端向中间逐渐增加, 但在中间为 0;
- 2) 令 $\alpha_j = (\mu_{\alpha_j}, \nu_{\alpha_j})$, 如果 $\mu_{\alpha_j} > \mu_{\alpha_i}$, 则 $\alpha_j > \alpha_i$ 。

笔者采用直觉模糊值表示的 7 级评语, 如表 1。

表 1 用直觉模糊值表示的 7 级评语变量

等级	IFS 值	等级	IFS 值
非常好	[0.9, 0.05]	较差	[0.4, 0.4]
很好	[0.8, 0.1]	很差	[0.2, 0.7]
较好	[0.6, 0.2]	非常差	[0.1, 0.85]
一般	[0.5, 0.5]		

语言评语中除了“好”、“差”的表述之外, 还有“强”、“弱”、“大”、“小”等各种表述, 不论哪种表述, 都根据程度强弱对应表中的 7 级评语变量。

2.3.2 定量指标值的直觉模糊化

定量指标如“风力”、“能见度”等, 笔者利用模糊函数确定其直觉模糊值。以“风力”为例, 根据风力对空降作战的影响, 选定其模糊函数为:

$$\mu_A(v) = \begin{cases} (v_m^2 - v^2)/v_m^2 & 0 \leq v \leq v_m \\ 0 & v > v_m \end{cases}$$

$$\gamma_A(v) = \begin{cases} v^2/v_m^2 & 0 \leq v \leq v_m \\ 1 & v > v_m \end{cases} \quad (5)$$

其中 v_m 为空降时的最低气象条件, 根据空降兵战术规定取 $v_m=12$ m/s。同时为简化起见, 令 $\pi_A(v) = 0$ ^[7]。

2.4 综合直觉模糊与证据理论的预测过程

2.4.1 问题描述

在某次反空降作战中, l 个机步指挥员(专家)根据战场态势对 n 个敌可能空降的地域进行分析预测。敌空降可能地域组成的集合为 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 。对于构建的三层预测指标体系, 设 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_t\}$ 为中间层属性集, 且设属性权重向量为 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_t\}^T$, $\omega_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^t \omega_i = 1$; 同理设 $u_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in}\}$ 为最底层属性集, 且设属性权重向量为 $\omega_{ik} = \{\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{in}\}^T$, $\omega_{ik} \geq 0$, $\sum_{k=1}^n \omega_{ik} = 1$ 。决策群体集为 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_l\}$, 其中 D_s 表示第 s 个指挥员(专家)。指挥员 $D_s \in D$ 给出可能空降地域 $p_j \in P$ 在属性 $u_{ik} \in u_i$ 下直觉模糊满意度评定, 通过 2.3 节的方法对评定结果进行处理, 最终得到评定矩阵 $M_i^s = \{\alpha_{ijk}^{(s)}\}_{m \times n}$ ($i=1, 2, \dots, t; s=1, 2, \dots, l$)。

2.4.2 确定评定矩阵各属性的权重

意图推断需要将收集到的各种目标属性信息进行融合、判断, 也就是对直觉模糊信息进行综合, 这时必须考虑目标各个属性信息对于意图推断的重要程度, 而在实际的推断过程中, 目标各个属性所对应的直觉模糊集信息表现出高度的不确定性, 而这种不确定性越小, 对于意图推断的价值就越大, 权重作为各属性价值的表现, 可以通过直觉模糊信息中不确定性的度量来得到。而直觉模糊熵作为直觉模糊信息不确定性的度量方式, 经过一定转换可以得出各属性的权重。具体过程为:

对直觉模糊数 α_{ijk} , 通过式 (4) 可计算其直觉模糊熵, 记为 e_{ijk} , 于是对属性 u_{ik} , 其信息熵^[8]为:

$$E_{ik} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m e_{ijk} \quad (i=1,2,\dots,t; j=1,2,\dots,m) \quad (6)$$

由文献[9], 第 ik 个属性的权重可由下式计算:

$$\omega_{ik} = (1 - E_{ik}) / \sum_{K=1}^n (1 - E_K) \quad (7)$$

2.4.3 两级直觉模糊推理

利用加权平均算子^[3]对决策矩阵 M_i 中的每行元素 α_{ijk} 进行集结, 得到各方案在属性 u_j 下的直觉模糊数:

$$\alpha_{ij} = \sum_{k=1}^n \omega_{ik} \alpha_{ijk} = \sum_{k=1}^n (1 - \prod_{k=1}^n (1 - (1 - \mu_{\alpha(ijk)})^{\omega_{ik}}), \prod_{k=1}^n \nu_{\alpha(ijk)}^{\omega_{ik}}) \quad (8)$$

同理对决策矩阵 $M = \{\alpha_{ij}\}_{t \times m}^T$ 进行直觉模糊推理, 最终得到指挥员 D_s 对于敌空降地域的推理结果, 记为 $M_s = \{\alpha_{sj}\} \quad (s=1,2,\dots,l; j=1,2,\dots,m)$ 。

2.4.4 指挥员推断结果的合成

1) 指挥员 (专家) 相对可靠度的确定

由指挥员的知识水平和权威性, 给出 l 个指挥员的权重为 $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l)^T, \lambda_s \geq 0, \sum_{s=1}^l \lambda_s = 1$ 。

一般在指挥群体中, 权重最高的指挥员其决策结果的可靠性最高, 其余指挥员的决策不可靠的相对程度除了与其自身经验、偏好有关外, 还与其同最高权威的知识的相对差异有关, 专家 D_s 的相对可靠度^[10] 为:

$$\beta_s = \theta [1 - (\lambda_{\max} - \lambda_s)], \quad s=1,2,\dots,l. \quad (9)$$

式中 $\lambda_{\max} = \max_{1 \leq k \leq l} \lambda_k$; θ 是反映指挥员经验、偏好的系数, 一般取 $0.9 \leq \theta \leq 1$ 。

2) 单个指挥员 (专家) 的 mass 函数的确定

对于直觉模糊推理得到的矩阵 $M = \{M_s\}, s=1,2,\dots,l$, 为得到指挥员 D_s 的推断结果 α_{sj}

的 mass 函数, 首先根据式 (3) 求出其得分函数 L_{sj} , 并对 L_{sj} 进行归一化处理, 使它的值满足基本概率分配的 3 个条件,

$$L_{sj}^* = L_{sj} / \sum_{j=1}^m L_{sj}, \quad s=1,2,\dots,l \quad (10)$$

考虑指挥员的相对可靠度, 则指挥员 D_s 推理结果对意图 $p_i \in P$ 的 mass 函数为:

$$\begin{cases} m_{D_s}(p_j) = \beta_s L_{sj}^* & s=1,2,\dots,l; j=1,2,\dots,m \\ m_{D_s}(\Theta) = 1 - \beta_s \end{cases} \quad (11)$$

3) 基于证据理论的 mass 合成

根据证据理论合成公式, 将 l 个专家的 mass 函数进行融合, 得到 T_i 时刻决策群体基于综合属性的意图推断 mass 函数为:

$$m_i = (m_i(p_1), m_i(p_2), \dots, m_i(p_l), m_i(\Theta))^T \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (12)$$

然后对前 n 个时刻的 mass 函数进行证据合成, 直到对某一意图 p_i 的支持程度超过预定的阈值 ξ , 则认为敌人的这一意图 p_i 会发生。

3 算例

在某一时段, 发现敌人对我纵深地域反复进行侦察, 并侦测到敌机群起飞的信息, 我根据战场搜获其它情报和对敌人企图的大致判断, 推测出敌人可能在 A、B、C 地域实施空降作战。A、B、C 地域分布的战术目标分别为交通要点、重要地形和我指挥所。

T_0 时刻, 情报显示在 O_1 处发现敌机机群, 经判明为歼击机 \times 架, 侦察干扰机 \times 架, 运输机 \times 架。目标运动参数已知。我指挥员 D_1 、 D_2 、 D_3 据此情报迅速作出判断。其判决情况经直觉模糊处理后如表 2。

表 2 T_0 时刻指挥员对战场态势的判决表

地域	指挥员	目标价值 u_1					地形 u_2		
		u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{15}	u_{21}	u_{22}	u_{23}
A	D_1	(0.9,0.05)	(0.6,0.2)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)	(0.4,0.4)	(0.6,0.2)	(0.6,0.2)	(0.6,0.2)
	D_2	(0.8,0.1)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.5,0.5)
	D_3	(0.8,0.1)	(0.9,0.05)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.6,0.2)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)
B	D_1	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.5,0.5)	(0.5,0.5)	(0.8,0.1)	(0.8,0.1)
	D_2	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.9,0.05)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)	(0.5,0.5)
	D_3	(0.8,0.1)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)	(0.5,0.5)	(0.5,0.5)	(0.6,0.2)	(0.5,0.5)
C	D_1	(0.6,0.2)	(0.5,0.5)	(0.8,0.1)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.4,0.4)	(0.5,0.5)	(0.5,0.5)
	D_2	(0.5,0.5)	(0.6,0.2)	(0.5,0.5)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)	(0.5,0.5)	(0.9,0.05)	(0.6,0.2)
	D_3	(0.6,0.2)	(0.6,0.2)	(0.5,0.5)	(0.6,0.2)	(0.5,0.5)	(0.4,0.4)	(0.8,0.1)	(0.5,0.5)

续表

地域	指挥员	气象 u_3		敌方因素 u_4			
		u_{31}	u_{32}	u_{41}	u_{42}	u_{43}	u_{44}
A	D ₁	(0.7,0.3)	(0.4,0.6)	(0.6,0.2)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)	(0.8,0.1)
	D ₂	(0.7,0.3)	(0.4,0.6)	(0.5,0.5)	(0.8,0.1)	(0.9,0.05)	(0.8,0.1)
	D ₃	(0.7,0.3)	(0.4,0.6)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)
B	D ₁	(0.8,0.2)	(0.7,0.3)	(0.8,0.1)	(0.8,0.1)	(0.9,0.05)	(0.6,0.2)
	D ₂	(0.8,0.2)	(0.7,0.3)	(0.6,0.2)	(0.6,0.2)	(0.5,0.5)	(0.6,0.2)
	D ₃	(0.8,0.2)	(0.7,0.3)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)
C	D ₁	(0.6,0.4)	(0.5,0.5)	(0.8,0.1)	(0.5,0.5)	(0.6,0.2)	(0.5,0.5)
	D ₂	(0.6,0.4)	(0.5,0.5)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)	(0.8,0.1)	(0.6,0.2)
	D ₃	(0.6,0.4)	(0.5,0.5)	(0.9,0.05)	(0.5,0.5)	(0.6,0.2)	(0.5,0.5)

首先生成评定矩阵 $M_i^{(s)} = \{\alpha_{ijk}^{(s)}\}_{m \times n}$ ($i=1,2,\dots,t$; $s=1,2,\dots,l$)。如 D₁ 指挥员对目标价值的评定矩阵为:

$$M_1^{(1)} = \begin{bmatrix} (0.9,0.05) & (0.6,0.2) & (0.6,0.2) & (0.8,0.1) & (0.4,0.4) \\ (0.8,0.1) & (0.8,0.1) & (0.6,0.2) & (0.8,0.1) & (0.6,0.2) \\ (0.8,0.1) & (0.9,0.05) & (0.8,0.1) & (0.6,0.2) & (0.6,0.2) \end{bmatrix}$$

根据式 (4) 求取其模糊熵矩阵为:

$$E_1 = \begin{bmatrix} 0.1053 & 0.5000 & 0.5000 & 0.2222 & 1.0000 \\ 0.2222 & 0.5000 & 0.2222 & 0.5000 & 1.0000 \\ 0.5000 & 1.0000 & 0.2222 & 0.2222 & 0.5000 \end{bmatrix}$$

利用 2.4.2 节的方法得出其信息熵分别为: $E_{11}=0.2758$, $E_{12}=0.6667$, $E_{13}=0.3148$, $E_{14}=0.3148$, $E_{15}=0.8333$; 权重分别为: $\omega_{11}=0.2791$, $\omega_{12}=0.1285$, $\omega_{13}=0.2641$, $\omega_{14}=0.2641$, $\omega_{15}=0.0642$ 。

根据加权求和算子对决策矩阵 $M_1^{(1)}$ 各行元素进行集结, 求得指挥员 D₁ 对各意图在属性 u_1 下的直觉模糊推理值分别为: $\alpha_{11}=(0.7678, 0.1183)$, $\alpha_{12}=(0.7215, 0.1456)$, $\alpha_{13}=(0.7146, 0.1560)$ 。

同理得出 α_{21} 、 α_{22} 、 α_{23} 、 α_{31} 、 α_{32} 、 α_{33} 、 α_{41} 、 α_{42} 、 α_{43} 。于是得到一级评定矩阵为:

$$M = \begin{bmatrix} (0.7618, 0.1183) & (0.6, 0.2) & (0.6167, 0.3833) & (0.7189, 0.1405) \\ (0.7215, 0.1456) & (0.7, 0.13) & (0.7692, 0.2308) & (0.8175, 0.0912) \\ (0.7146, 0.1560) & (0.4849, 0.4820) & (0.5672, 0.4328) & (0.6474, 0.2289) \end{bmatrix}$$

经计算得出指挥员 D₁ 的推断结果的直觉模糊表示为

$$M_1^* = [(0.7003, 0.1732) \quad (0.7613, 0.1356) \quad (0.6325, 0.2628)]^T$$

结合指挥员 D₂、D₃ 的推断结果 M_2^* 、 M_3^* , 得到矩阵:

$$M^* = \begin{bmatrix} (0.7003, 0.1732) & (0.7613, 0.1356) & (0.6325, 0.2628) \\ (0.7215, 0.1680) & (0.7116, 0.1759) & (0.6983, 0.1948) \\ (0.7338, 0.1514) & (0.7130, 0.1751) & (0.6626, 0.2257) \end{bmatrix}^T$$

给出 3 名指挥员的权重为 $\lambda=(0.21 \ 0.36 \ 0.43)^T$, $\theta=0.93$, 按照 2.4.4 节中的步骤求出指挥员 D_s 推理结果对意图 $p_i \in P$ 的 mass

函数分别为:

$$m_{D_1}(A, B, C, \Theta) = (0.2452, 0.2618, 0.2229, 0.17)$$

$$m_{D_2}(A, B, C, \Theta) = (0.2906, 0.2873, 0.2821, 0.14)$$

$$m_{D_3}(A, B, C, \Theta) = (0.3219, 0.3137, 0.2944, 0.07)$$

根据证据理论进行融合得到 T₁ 时刻决策群体基于综合属性的意图推断 mass 函数为:

$$m_1(A, B, C, \Theta) = (0.3446, 0.3455, 0.2991, 0.0108)$$

T₂ 时刻, 战场情报显示敌机由 1 个机群变换成 2 个机群, 我们便定为第一机群和第二机群, 其中第一机群有运输机 × 架、歼击机 × 架、侦察干扰机 × 架, 第二机群有运输机 × 架、歼击机 × 架、侦察干扰机 × 架。同时, 侦察到敌人对我纵深内某雷达站、防空阵地实施火力打击, 并对我以坐标 X₁、X₂、X₃ 为中心的区域实施不同强度的电子干扰, 具体干扰参数已知。我机步指挥员根据此情况, 迅速作出判断, 经过推理、融合处理后得到 T₂ 时刻意图推断的 mass 函数为:

$$m_2(A, B, C, \Theta) = (0.5146, 0.1825, 0.2825, 0.0204)$$

于是: $m_2' = m_1 \oplus m_2 = (0.5336, 0.2026, 0.2630, 0.0008)$

可以看出, 随着新证据的到来, 推断结果对敌空降 A 地域的支持程度不断增加, 如果假定 $\xi=0.52$, 则此时在很大程度上确定敌人会从 A 地域空降。

4 结束语

实例说明, 将直觉模糊集理论和证据理论相结合应用于对敌空降地域的预测具有一定价值, 存在的不足是指标体系的构建还不够完善, 下一步, 将通过资料查阅、专家咨询的方式进行改进。

参考文献:

- [1] 马少平, 朱小燕. 21 世纪大学本科计算机专业系列教材: 人工智能[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96.

[3] Xu Z S. Intuitionistic fuzzy aggregation operators[J]. IEEE Transaction on Fuzzy Systems, 2007(15): 1179-1187.
 [4] 黎华, 王周敬. 基于直觉模糊集的多属性决策问题[J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2008, 33(6): 109-112.
 [5] Chen S M, Tan J M. Handling multi-criteria fuzzy decision making problems based on vague set theory[J]. Fuzzy sets and Systems, 1994, 67(2): 163-172.
 [6] 周晓光, 张强, 胡望斌. 基于 Vague 集的 TOPSIS 方法及其应用[J]. 系统工程理论方法与应用, 2005, 14(6): 537-541.
 [7] 雷英杰, 王宝树. 基于直觉模糊推理的威胁评估方法[J].

电子与信息学报, 2010, 29(9): 2077-2081.
 [8] 李鹏, 魏翠萍. 直觉模多属性决策新方法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(1): 59-60.
 [9] 方亮, 席泽敏, 肖治平. 灰色模糊综合评判法在组网雷达作战效能评估中的应用[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(12): 130-133.
 [10] Hwang C L, Yoon K. Multiple attribute decision making and applications[M]. New York: Springer-verlag, 1981.
 [11] 杨萍, 刘卫东. 基于证据理论的群决策层次评价方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(2): 42-44.

(上接第 19 页)

$$\Delta\tau = \sum_{k=1}^r \Delta\tau_{ij}^k \quad (7)$$

$\Delta\tau_{ij}^k$ 表示第 k 条路径中边 e_{ij} 上的迹, r 为路径的总数。

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q & \text{武器 } i \text{ 和 } j \text{ 之间有边} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

Q 为调整系数。

2) 选择路径。任一蚂蚁 k 按式 (3) 计算状态转移概率。

3) 信息素局部更新。当每只蚂蚁都选择好目标节点之后, 运用式 (5) 更新边 e_{ij} 上的迹。

4) 局部循环。所有蚂蚁都选择好各自目标节点并局部更新信息迹之后, 设置蚂蚁的禁忌表 (若目标点已被分配的火力单元数达到最大, 可分配火力单元限制, 则将该节点置于蚂蚁的禁忌表)。蚂蚁随机移动至下一个未分配的火力单元节点, 转向第 2 步; 若所有火力单元节点都已遍历完, 则进入第 5 步。

5) 信息素全局更新。所有蚂蚁都遍历完所有火力节点后, 就建立了 M 个解, 将这 M 个解代入目标函数计算, 并将最优的一个解保留, 应用式 (5) 更新所有边上的迹。

文献[4]中给出了对 α 、 β 、 ρ 设置的研究结果, 在文中经过多次试验, 当 $\alpha=1$, $\beta=5$, $\rho=0.5$, $50 \leq Q \leq 500$ 时, 运算效果较好。

5 算例分析

假设敌纵深区域有 5 个目标 T1、T2、T3、T4、T5 需要打击, 打击武器分布于 5 个火力单元 A1、A2、A3、A4、A5, 每个火力单元最多可使用 1 个武器, 对每个目标最多可使用 1 个武器, 目标价值系数 v_j 如表 1, 各火力单元的毁伤概率 f_{ij} 如表 2。

分别利用匈牙利法和改进蚁群算法在 Matlab

中做算法仿真, 设置参数迹的初值 $\tau_0=60$, 迹的更新参数 $\rho=0.5$, 蚂蚁数目 $m=4$, 信息素强度 $Q=100$, 信息式启发因子 $\alpha=1$, 期望启发式因子 $\beta=5$, 迭代次数 $t_{\max}=100$, 都可得到相同最优解, 如表 3。

表 1 目标价值系数 v_j

目标编号	T1	T2	T3	T4	T5
v_j	0.37	0.39	0.93	0.91	0.58

表 2 火力单元的毁伤概率 f_{ij}

火力单元	目标编号				
	T1	T2	T3	T4	T5
A1	0.14	0.27	0.72	0.77	0.75
A2	0.17	0.31	0.76	0.74	0.78
A3	0.73	0.82	0.39	0.21	0.18
A4	0.23	0.35	0.79	0.61	0.74
A5	0.83	0.76	0.32	0.13	0.12

表 3 火力优化分配结果

目标编号	T1	T2	T3	T4	T5
火力单元	A5	A3	A4	A2	A1

由此说明此蚁群算法是合理的, 对于 $m=n$ 较小时, 用匈牙利法解比较方便, 当 $m=n$ 较大时用蚁群算法效率较高。

6 结束语

实验结果证明, 基于改进蚁群算法的炮兵火力优化分配模型具有较好的收敛性和全局搜索能力, 求解效率、求解质量较其它算法有明显提高, 具有一定的应用价值。

参考文献:

[1] 段海滨. 蚁群算法的原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
 [2] Chou-Yuan Lee, Shun-Feng Su. An immunity based ant colony optimization algorithm for solving weapon-target assignment problem[J]. Applied Soft Computing, 2002(2): 39-47.
 [3] 任富兴, 王雪琴. 现代炮兵计算理论与方法[M]. 北京: 解放军出版社, 2002.
 [4] 叶志伟, 郑肇葆. 蚁群算法中参数 α 、 β 、 ρ 设置的研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2004(7): 597-601.