

基于直觉模糊决策的战场态势评估方法

雷英杰^{1,2}, 王宝树¹, 王毅²

(1. 西安电子科技大学计算机学院, 陕西西安 710071; 2. 空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800)

摘 要: 针对战场态势评估问题, 提出一种基于直觉模糊决策的评估方法. 首先, 将战场态势评估归结为一综合评价问题, 建立了直觉模糊综合评判模型, 并证明了该模型是归一化的. 其次, 建立了战场态势评估指标体系, 讨论了评判指标的效用值计算等度量问题和指标值的规范化方法. 再次, 给出了利用德尔菲法与层次分析法相结合来确定和计算指标的权重向量的方法. 最后, 研究了联合防空作战过程的详细评估实例. 仿真结果表明此方法对当前战场态势可给出有效的综合评价和理解, 具有较高的可信性.

关键词: 信息融合; 态势评估; 直觉模糊决策; 综合评判

中图分类号: TP182; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 12-2175-05

Techniques for Battlefield Situation Assessment Based on Intuitionistic Fuzzy Decision

LEI Ying-jie^{1,2}, WANG Bao-shu¹, WANG Yi²

(1. School of Computer Science and Technology, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China;

2. Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: To the questions of battlefield situation assessment (BSA), a technique for BSA based on intuitionistic fuzzy decision is proposed. First, BSA is concluded to an issue of synthetic judgement, and an intuitionistic fuzzy model for synthetic judgement is derived with a proof of the model normalized. Then, a system of evaluating goals for BSA is constructed, and approaches to effectiveness measures for evaluating goals and normalization of their values are described. Subsequently, methods of Delphi integrated with analytic hierarchy process (AHP) are exposed to be used for finding weight vectors of goals. Finally, the evaluating instances detailed in the course of joint operations of air defense get into investigation. The simulated results show that the technique can make sense of efficient synthetic assessment and comprehension to current battlefield situation with a higher dependability.

Key words: information fusion; situation assessment; intuitionistic fuzzy decision; synthetic judgement

1 引言

按照 JDL 数据融合模型^[1], 态势评估接收一级融合的结果, 处理过程常采用贝叶斯网络、模糊推理、黑板模型、模板匹配、计划识别、D-S 证据理论、指数法、对策论、多属性决策理论、条件事件代数、统计时间推理、主动权指数、Lachester 方程、集对分析、案例推理、专家系统与机器学习等诸多方法^[2,3]. 这些方法分别适应不同的情形. 但其共同点是对当前战场态势的综合评价和理解不足或缺乏. 有鉴于此, 本文提出一种基于直觉模糊决策的方法来求解战场态势评估问题.

与其他方法一样, 本文方法对一级融合中影响战场态势发展变化的时间事件产生感知, 并及时变成对评估因素评判集的适时修正, 从而与整个信息融合系统融为一体, 得出实时的评估结果. 此外, 态势评估级还应接收来自 ISR 系统侦察监视、来自太空卫星和空中飞行器及地面设施的技术侦察监视、

部队侦察、间谍侦察、上级敌情通报、下级情况报告、友邻情报报知等各种对战场态势产生影响的情报^[4~6]. 对此, 本文方法有较好的适应性.

2 直觉模糊综合评判方法

直觉模糊集(Intuitionistic fuzzy sets)^[7~10]是对 Zadeh 模糊集的一种重要扩展, 直觉模糊决策是基于直觉模糊集理论的一个综合评判过程, 综合评判是综合决策的数学工具. 直觉模糊综合评判是 Zadeh 模糊综合评判的推广形式, 它必须经过建立评判对象的因素集 $F = \{f_1, \dots, f_n\}$, 建立合理的评语集 $C = \{c_1, \dots, c_m\}$, 用专家评定或其他方法生成评判矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times m} \in \text{IFR}(F \times C)$ 以及通过合适的直觉模糊算子进行综合评判等步骤. 对任意因素 $f_i \in \text{IFS}$, 则有对 f_i 的评价 $c_i = \{r_{i1}, \dots, r_{im}\} \in \text{IFS}(C)$, 由此可决定映射 $J: F \rightarrow \text{IFS}(C)$, $J(f_i) = \{r_{i1}, \dots, r_{im}\}$, 称此映射为直觉模糊评价映射.

定理 1 设 $R \in \text{IFR}(F \times C)$, 则存在唯一的直觉模糊评价映射:

$$J_R: F \rightarrow \text{IFS}(C)$$

使得 $\forall p \in F, J_R(p) = R(p, \cdot)$; 反之, 对任意的直觉模糊评价映射 $J: F \rightarrow \text{IFS}(C)$, 存在唯一的直觉模糊关系 $R_J \in \text{IFR}(F \times C)$ 满足:

$$\forall (p, c) \in F \times C, R(p, c) = J(p)(c) \quad (1)$$

证明从略.

这样, 若因素集 F 中的每个因素 f_i 有评价结果 $c_i \in \text{IFS}(C)$, 即已知 $J: F \rightarrow \text{IFS}(C)$, 则由定理 1 可知, 存在唯一的矩阵 $R \in \text{IFR}(F \times C)$, 称此矩阵 R 为直觉模糊评判矩阵或关系矩阵.

若评判结果可由评判矩阵直接求得, 则称此类评判为一级评判. 若评判结果需要经过多个一级评判的复合, 则称这类评判为多级评判.

态势评估反映对战场态势的综合评价结果, 因此可以归结为一个评价问题, 从而可用直觉模糊综合评判方法来求解. 该方法的基本步骤是: (1) 建立归一化的直觉模糊综合评判模型; (2) 建立战场态势评估指标体系; (3) 确定评估指标的权重向量; (4) 计算评估指标的效用值, 进行归一化处理及直觉模糊度量, 形成评估矩阵; (5) 进行评估计算, 得到评估结果.

3 直觉模糊综合评判模型

定义 1 设 n 个变量的函数 $f: [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$ 满足:

① $f(0, 0, \dots, 0) = 0, f(1, 1, \dots, 1) = 1$;

② 如果 $x_i \leq x'_i$, 则 $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq f(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$;

③ $\lim_{x_i \rightarrow x_{i0}} f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0})$;

④ $f(x_1 + x'_1, \dots, x_n + x'_n) = f(x_1, \dots, x_n) + g(x'_1, \dots, x'_n)$

则称为评判函数, 其中 $g: [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$.

定义中的 x_1, x_2, \dots, x_n 分别代表 n 个因素在某判数上的指标. 评判函数 f 满足的这 4 个条件的含义是, 条件 ① 说明当这些指标为 0 (或为 1) 时, 综合评判结果这一指标也为 0 (或为 1); 条件 ② 说明各判断指标增大, 综合评判结果也增大; 条件 ③ 说明这一增大不会突变; 条件 ④ 指出当各指标增加一个量, 最后结果也会增加一个量. 这些都与实际意义一致.

下面求评判函数 f 的表达式.

引理 1 设递增函数 $\varphi: [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$ 满足: $\varphi(x, y) = \varphi(x) + \varphi(y) (\forall x, y, x + y \in [0, 1])$, 则 $\varphi(x) = ax$, 其中: $a = \varphi(1)$.

定理 2 设 f 是评判函数, 则 (a) $f(x_1, x_2, \dots, x_n) =$

$$\sum_{i=1}^n ax_i; (b) \sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad a_i \geq 0.$$

证明

(a) 在定义 1 条件 ④ 中令 $x_1 = x_2 = \dots = x_n = 0$, 得

$$f(x'_1, \dots, x'_n) = f(0, \dots, 0) + g(x'_1, \dots, x'_n)$$

又由条件 ①, 得

$$f(x'_1, \dots, x'_n) = g(x'_1, \dots, x'_n)$$

所以由条件 ④, 得

$$f(x_1 + x'_1, \dots, x_n + x'_n) = g(x'_1, \dots, x'_n)$$

令 $f(x_i) = f(0, \dots, 0, x_i, 0, \dots, 0) (i \leq n)$, 由引理 1 可得

$$f_i(x_i) = ax_i, \quad a_i = f(0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$$

于是

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_1, 0, \dots, 0) + f(0, x_2, 0, \dots, 0) + \dots$$

$$+ f(0, 0, \dots, 0, x_n) = \sum_{i=1}^n f_i(x_i) = \sum_{i=1}^n ax_i$$

(b) 根据定义, 有

$$f(1, 1, \dots, 1) = f(1, 0, \dots, 0) + f(0, 1, 0, \dots, 0) + \dots + f(0, 0, \dots, 0, 1) = a_1 + a_2 + \dots + a_n = \sum_{i=1}^n a_i = 1$$

证毕.

定理 3 如果 $\sum_{i=1}^n a_i = 1, a_i \geq 0$, 则评判函数 $f \in [0, 1]$.

证明 $\forall x_i \in [0, 1]$, 有 $0 \leq \sum_{i=1}^n ax_i \leq \sum_{i=1}^n a_i = 1$, 即 $f \in [0, 1]$.

证毕.

这两个定理说明, 在进行综合评判时, 可采取实数的加乘运算来代替“ $\vee - \wedge$ ”运算, 得到的结果仍然是直觉模糊集. 称 $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为权系数. 这样, 一级直觉模糊综合评判模型为

$$A \circ R = B = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (2)$$

其中: $A = (a_1, \dots, a_n), \sum_{i=1}^n a_i = 1, a_i \geq 0, R = (r_{ij})_{n \times m}, r_{ij} \in [0,$

$$1], r_{ij} = \mu_{ij} + \frac{1}{2}\pi_{ij}, b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

这里 b_j 是 $r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{nj}$ 的函数, 称为评判函数, 且已经考虑了直觉指数对真值的贡献.

值得注意的是, 这个模型与 Zadeh 模糊综合评判模型在形式上相似, 但其内涵已经扩展为直觉模糊集, 也就是说, 对 r_{ij} 真值的求取必须通过相应的直觉模糊真值合成方法来实现.

定理 4 在一级综合评判模型中, 如果 $\sum_{i=1}^n a_i = 1, \sum_{j=1}^m r_{ij} =$

1, 则 $\sum_{j=1}^m b_j = 1$. 其中 $r_{ij} = \mu_{ij} + \frac{1}{2}\pi_{ij}, b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij}, j = 1, 2, \dots, m$.

$$\text{证明} \quad \sum_{j=1}^m b_j = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_i r_{ij} = \sum_{i=1}^n a_i \sum_{j=1}^m r_{ij} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot 1 = 1$$

证毕.

这个定理说明, 运用该模型, 直觉模糊综合评判的结果是归一化的.

由于战场环境的复杂性, 战场态势评估涉及的因素较多, 因此宜采用多级综合评判模型. 本文采用二级综合评判模型.

4 战场态势评估指标体系

战场作为一种动态复杂系统, 建立其态势评估指标体系

是一个困难的问题. 一般说来, 确定的指标应该能够涵盖所评估系统的主要因素, 以使最终评估结果能够反映真实的状况; 另一方面, 评估指标的范围越宽, 数量越多, 确定评估指标的重要顺序就越难, 处理和建模的过程就越复杂, 扭曲系统本质特性的可能性就越大. 因此, 建立科学的评估指标体系至关重要.

以联合防空作战为例, 建立的战场态势评估指标体系如表 2 所示. 指标体系共分为三层: (1) 最高层: 即“战场态势”, 是评估目标, 称为目标层. (2) 中间层: 包括 U_1 兵力数量质量、 U_2 兵器性能效能、 U_3 指挥控制效能、 U_4 指挥决策与对策、 U_5 战场环境、 U_6 后勤装备保障等 6 项指标, 是为实现目标所涉及的中间环节或所需要考虑的准则, 称为准则层. (3) 最底层: 包括参战兵力数量、气象条件等 25 项指标, 是为实现目标可供选择的决策方案或指标, 称为方案层或指标层.

评估指标体系中的每一个指标都应是可度量的, 即都可以通过某种方法来得到其效用值的数量表达. 从度量的角度, 评估指标可分为三类: 计算型指标、指数型指标、语言型指标. 所谓计算型指标, 是指可以通过计算模型来计算得到其效用值的指标, 如 U_{11} 、 U_{12} 、 U_{14} 、 U_{22} 、 U_{23} 、 U_{24} 、 U_{31} 、 U_{32} 、 U_{33} 、 U_{34} 、 U_{35} 、 U_{42} 、 U_{52} 、 U_{53} 、 U_{54} 、 U_{62} 、 U_{64} 等. 所谓指数型指标, 是指可用指数法进行度量的指标, 如 U_{21} 、 U_{61} 、 U_{63} 等. 所谓语言型指标, 是指以定性的语言描述为主或定量定性相结合的指标, 这类指标可以用直觉模糊语言来进行语义描述和度量, 如 U_{13} 、 U_{41} 、 U_{43} 、 U_{44} 、 U_{51} 等. 对于计算型和指数型指标, 从分析的角度, 其类型一般可再分为效益型、成本型、固定型、偏离型、区间型、偏离区间型等. 各个指标间一般可能存在某种程度的矛盾性和不可公度性. 因而, 对它们的效用值还应进行规范化处理和直觉模糊度量划分, 以适应评估模型的需要. 有效的规范化处理方法有多种, 本文采用极变差法.

所有指标的直觉模糊度量均划分为“很好 VG[0.9, 1]”、“较好 BR[0.75, 0.9)”、“好 GD[0.6, 0.75)”、“一般 MD[0.4, 0.6)”、“差 BD[0.25, 0.4)”、“较差 WR[0.1, 0.25)”、“极差 WT[0, 0.1)”共七个级别.

5 权重向量的确定

系统中权重向量的确定可以运用德尔菲(Delphi)法与层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)相结合进行实现. 以第 2 项中间层指标 U_2 支配的 4 个子指标 U_{21} 、 U_{22} 、 U_{23} 、 U_{24} 权重的计算方法为例, 步骤如下: (1) 采用德尔菲法建立判断矩阵, 综合专家意见(见表 1). (2) 按照特征根法计算得出判断矩阵的特征向量(即指标的相对权重)、最大特征根 λ_{\max} , 并对其进行一致性检验. (3) 运用 AHP 法自动分配和计算权重 w_{ij} , 结果如表 1 所示. 如此, 可依次求出所有权重向量 $A = [a_i]$ 及 $A_i = w_{ij}$ ($i = 1, 2, \dots, 6$).

表 1 U_2 指标权重计算

U_2	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{24}	w_{ij}
U_{21}	1	3	4	2	0.46
U_{22}	1/3	1	2	1/2	0.16
U_{23}	1/4	1/2	1	1/3	0.10
U_{24}	1/2	2	3	1	0.28
$\lambda_{\max} = 4.03 < 4.267$					

6 实例研究

对于联合防空战役作战的战场态势评估, 涉及敌我飞机作战性能、飞机在不同高度的作战覆盖地域、地面防空作战覆盖地域、雷达预警探测范围、指挥机构覆盖地域、预警机作用范围、太空卫星预警侦察监视范围, 以及电磁压制态势的对比分析等, 以便根据要求的作战地域对部署进行动态调整.

6.1 作战想定

红、兰双方进行空防对抗. 兰方(敌方)对红方(我方)某区域实施信息化高技术有限规模精确打击; 在该区的红方指挥中心统一组织联合防空作战.

作战双方投入兵力初始设置: 兰方空袭共投入各种作战飞机 450 架, 巡航导弹和 TBM 共 900 枚, 2 个航母编队, 各类卫星 35 颗, 并继续动态增补; 红方参加该地区联合防空作战的歼击机约 600 架, 防空导弹发射装置约 400 个、导弹 2800 枚, 高炮 4300 门, 常规地地导弹和各类对地攻击机、轰炸机 1000 单位, 海军作战舰艇 30 艘, 各类卫星 12 颗, 陆基雷达 160 单位, 各类武器继续得到动态增补.

初始基本模式为: 兰方在全面实施信息压制后(对应时间参数的前 2 个时间单位), 出动中等规模的兵力开始空袭. 红方防空力量在积极抗击来袭目标的同时, 适时反击(从第 5 个时间单位开始), 并假定红方各类被掩护对象的数量总数为 1500 单位, 空防对抗持续 30 个时间单位.

表 2 防空作战战场态势综合评估表

准则层 $U_i(a_i)$	指标层 U_{ij}	直觉模糊测度							权重 w_{ij}
		BT	BR	GD	MD	BD	WR	WT	
U_1 兵力数量质量(0.22)	U_{11} 参战兵力数量	Q 1	Q 3	Q 3	Q 2	Q 1	Q 0	Q 0	0.46
	U_{12} 战勤训练水平	Q 1	Q 4	Q 3	Q 2	Q 0	Q 0	Q 0	0.16
	U_{13} 临战天气状况	Q 2	Q 3	Q 3	Q 2	Q 0	Q 0	Q 0	0.10
	U_{14} 参战兵源种类	Q 1	Q 2	Q 3	Q 3	Q 1	Q 0	Q 0	0.28
U_2 兵器性能效能(0.25)	U_{21} 作战杀伤效能	Q 1	Q 1	Q 3	Q 3	Q 2	Q 0	Q 0	0.46
	U_{22} 防护生存能力	Q 1	Q 2	Q 2	Q 3	Q 2	Q 0	Q 0	0.28
	U_{23} 战备完好性	Q 1	Q 2	Q 2	Q 3	Q 2	Q 0	Q 0	0.10
	U_{24} 电子对抗能力	Q 1	Q 1	Q 2	Q 4	Q 2	Q 0	Q 0	0.16
U_3 指挥通信效能(0.15)	U_{31} 情报保障能力	Q 1	Q 1	Q 4	Q 3	Q 1	Q 0	Q 0	0.16
	U_{32} 辅助决策能力	Q 1	Q 1	Q 3	Q 3	Q 2	Q 0	Q 0	0.10
	U_{33} 命令准确率	Q 2	Q 2	Q 5	Q 1	Q 0	Q 0	Q 0	0.28
	U_{34} 通信效能	Q 1	Q 2	Q 3	Q 3	Q 1	Q 0	Q 0	0.25
U_4 指挥决策对策(0.18)	U_{41} 目标分配质量	Q 2	Q 3	Q 3	Q 1	Q 1	Q 0	Q 0	0.21
	U_{41} 预测敌方意图	Q 2	Q 3	Q 2	Q 2	Q 1	Q 0	Q 0	0.28
	U_{42} 兵力部署	Q 2	Q 3	Q 3	Q 2	Q 0	Q 0	Q 0	0.46
	U_{43} 指挥决心	Q 2	Q 3	Q 3	Q 2	Q 0	Q 0	Q 0	0.16
U_5 战场环境(0.08)	U_{44} 战术运用	Q 1	Q 3	Q 3	Q 2	Q 1	Q 0	Q 0	0.10
	U_{51} 气象条件	Q 1	Q 2	Q 3	Q 3	Q 1	Q 0	Q 0	0.16
	U_{52} 地形位置条件	Q 2	Q 2	Q 3	Q 2	Q 1	Q 0	Q 0	0.10
	U_{53} 伪装欺骗	Q 1	Q 2	Q 3	Q 3	Q 1	Q 0	Q 0	0.28
U_6 后勤装备保障(0.12)	U_{54} 电磁环境	Q 0	Q 2	Q 3	Q 3	Q 2	Q 0	Q 0	0.46
	U_{61} 耗弹补充能力	Q 3	Q 3	Q 2	Q 1	Q 1	Q 0	Q 0	0.46
	U_{62} 战勤生活保障	Q 2	Q 3	Q 3	Q 2	Q 0	Q 0	Q 0	0.16
	U_{63} 战勤救护能力	Q 3	Q 2	Q 2	Q 2	Q 1	Q 0	Q 0	0.10
U_{64} 战勤修复能力	U_{64} 战勤修复能力	Q 0	Q 2	Q 3	Q 3	Q 2	Q 0	Q 0	0.28

作战过程时间事件设定为:(1)事件 1: 前 2 个时间单位, 红方遭敌强电子干扰, 60% 的雷达等电子设备不能发挥正常效能, 经反干扰后仍有 30% 的雷达设备不能发挥正常效能。(2)事件 2: ISR 报告, 第 3 个时间单位, 红方发现敌发射巡航导弹和 TBM 共 200 枚。(3)事件 3: 雷达等传感器网报告, 第 8 个时间单位, 红方共击落敌巡航导弹和 TBM 共 160 枚, 未命中 40 枚。部队报告: 红方防空作战力量和保卫目标有一定损失。(4)事件 4: 雷达等传感器网报告, 第 12 个时间单位, 红方发现敌飞机 60 批 $\times \times \times$ 架, 且发射 ARM 及精确制导炸弹 500 枚以上, 红方出动战斗机升空拦截, 地面防空力量全面投入作战。

经处理后, 确定的初始战场态势指标综合评估表如表 2 所示。

表 3 强电子干扰对战场态势的影响

U_i	U_j	直觉模糊测度						
		BF	BR	GD	MD	BD	WR	WT
U_2	U_{21}	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.2	0.1
	U_{22}	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.0
	U_{23}	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.0
	U_{24}	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.0
U_3	U_{31}	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1
	U_{32}	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1
	U_{33}	0.0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.0
	U_{34}	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0
U_4	U_{41}	0.0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0
	U_{42}	0.0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0
	U_{43}	0.2	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0
	U_{44}	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1
U_5	U_{51}	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0
	U_{52}	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0
	U_{53}	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0
	U_{54}	0.0	0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	0.1

表 4 反电子干扰对战场态势的影响

U_i	U_j	直觉模糊测度						
		BF	BR	GD	MD	BD	WR	WT
U_2	U_{21}	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.0	0.0
	U_{22}	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0
	U_{23}	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.0	0.0
	U_{24}	0.0	0.1	0.2	0.4	0.3	0.0	0.0
U_3	U_{31}	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1	0.0
	U_{32}	0.0	0.1	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0
	U_{33}	0.0	0.1	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0
	U_{34}	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0
U_4	U_{41}	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
	U_{42}	0.0	0.1	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0
	U_{43}	0.2	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0
	U_{44}	0.0	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0
U_5	U_{51}	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0
	U_{52}	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0
	U_{53}	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0
	U_{54}	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1

6.2 初始战场态势评估

对红方而言, 设定评估目标为 $B = \{ \text{绝对优势, 较大优势, 优势, 均势, 劣势, 较大劣势, 绝对劣势} \}$, 根据初始状态的综合评估表, 可得到初始评估矩阵 $R_i = [u_{ij}]$, 权重向量 $A = [a_i]$, $A_i = [w_j]$, 由 $B_i = A_i \cdot R_i (i = 1, 2, \dots, 6)$ 得到评估目标为 $B = A \cdot R = [0.1350, 0.2289, 0.2860, 0.2410, 0.1107, 0, 0]$. 显然, 这个结果是归一化的。根据最大真值原则, 得到初始状态的评估结果为: (红方) 优势。

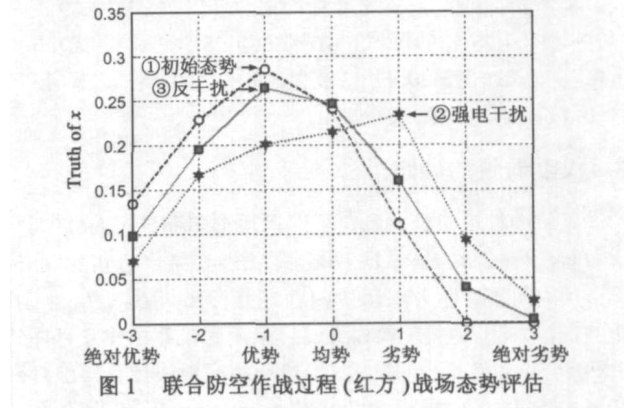
6.3 电子战对战场态势的影响

按照前面设定的作战想定, 出现事件 1. 这一事件属于典型的电子战过程。兰方强电子干扰对战场态势之评估指标 U_{21} 、 U_{22} 、 U_{23} 、 U_{24} 、 U_{31} 、 U_{32} 、 U_{33} 、 U_{41} 、 U_{42} 、 U_{44} 、 U_{54} 等会产生不利的影响, 进而对评估准则 U_2 、 U_3 、 U_4 、 U_5 等会产生不利的影响。本例对战场态势评估指标的影响情况, 如表 3 所示。红方组织反干扰作战, 对战场态势评估之上述指标会产生有利的影响, 对于本例, 影响情况如表 4 所示。

在遭敌强电子干扰后的评估矩阵(见表 3)为 $R_i = [u_{ij}]$, 由 $B_i = A_i \cdot R_i (i = 1, 2, \dots, 6)$ 得评估目标为 $B = A \cdot R = [0.0693, 0.1664, 0.2007, 0.2140, 0.2339, 0.0930, 0.0242]$. 根据最大真值原则, 评估结果为“(红方) 劣势”。可见, 兰方遂行电子战, 对红方突然实施强电子干扰, 可以在一定程度上取得战场优势, 使红方处于不利的战场态势。

红方实施反干扰作战后的评估矩阵(见表 4)为 $R_i = [u_{ij}]$, 由 $B_i = A_i \cdot R_i (i = 1, 2, \dots, 6)$ 得评估目标为 $B = A \cdot R = [0.0977, 0.1951, 0.2647, 0.2460, 0.1595, 0.0389, 0.0037]$. 根据最大真值原则, 评估结果为“(红方) 优势”。这个结果说明, 红方经过反干扰电子作战, 当前的战场态势已从遭敌强电子干扰所产生的不利的作战态势恢复为较为有利的作战态势。

上述评估结果如图 1 所示。后续其他时间事件报告对战场态势的影响及其处理方法与此类似, 恕不赘述。



7 结论与进一步工作

本文的主要贡献是将 IFS 理论引入信息融合领域, 用来进行战场态势评估研究。通过以上战场态势评估实例可以看出, 本文提出的基于直觉模糊决策的战场态势评估方法, 最大的优点是能适时给出对战场态势的综合评价和“直观理解”, 供军事指挥人员决策时参考, 可有效弥补现有方法在这方面

的不足. 其逆向研究可以用于分析谋取战场优势所需的对策和策略, 亦即我方如何行动才能谋夺战场的全局优势. 这也是现有方法所不具备的.

本文方法将基于一般模糊集理论的综合评判方法推广为基于直觉模糊集理论^[7-10]的综合评判方法, 合成真值时考虑了直觉指数或中立度对证据的支持, 有效克服了 Zadeh 模糊集单一隶属度的局限性, 使得评估结果的可信度更高^[11].

作为一种新的战场态势评估方法研究, 本文采用了静态权重信息的方法, 进一步的研究可以改变其为动态权重向量, 以反映不同的作战样式对战场态势评估指标重要性的影响.

另外, 战场态势评估的指标体系不是唯一的, 但只要其评价指标是可度量的, 本文方法就可以适用.

最后, 在评估过程中, 采用了“最大真值原则”来处理评判结果, 这一方法对于评判结果的感知较为灵敏. 除此之外, 对评判结果的处理也可采用直觉模糊分布法, 或加权平均法等进行处理^[12, 13].

参考文献:

- [1] Llinas J, Hall D L. An introduction to multi sensor data fusion [A]. Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems[C]. Monterey California USA: IEEE Press, 1998, 6: 537- 540.
- [2] 徐毅, 金德琨, 敬忠良. 数据融合研究的回顾与展望[J]. 信息与控制, 2002, 31(3): 250- 255.
Xu Yi, Jin De kun, Jing Zhong liang. Status and development of data fusion[J]. Information and Control, 2002, 31(3): 250- 255. (in Chinese)
- [3] 王三民. 模糊推理及态势估计研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2004.
Wang San min. Research on fuzzy reasoning and situation assessment[D]. Xi'an: Xidian University, 2004. (in Chinese)
- [4] Hinman M L. Some computational approaches for situation assessment and impact assessment[A]. Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion[C]. Annapolis Maryland USA: ISIF & IEEE Press, 2002, 1: 687- 693.
- [5] Looney C G. Exploring fusion architecture for a common operational picture[J]. Information Fusion, 2001, 2(4): 251- 260.
- [6] Looney C G, Liang L R. Cognitive situation and threat assessments of ground battlespaces [J]. Information Fusion, 2003, 4(4): 297- 308.
- [7] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87- 96.
- [8] Atanassov K. More on intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 33(1): 37- 46.

- [9] Atanassov K, Kacprzyk J, Szmidt E, et al. On Separability of Intuitionistic Fuzzy Sets[J]. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2003, 2715: 285- 292.
- [10] Abbas S E. On intuitionistic fuzzy compactness[J]. Information Sciences, 2005, 173(1- 3): 75- 91.
- [11] 雷英杰, 王宝树. 直觉模糊逻辑的语义算子研究[J]. 计算机科学, 2004, 31(11): 4- 6.
Lei Ying jie, Wang Bao shu. On the semantic operators for intuitionistic fuzzy logic[J]. Computer Science, 2004, 31(11): 4- 6. (in Chinese)
- [12] 雷英杰, 王宝树. 直觉模糊关系及其合成运算 [J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(2): 113- 118.
Lei Ying jie, Wang Bao shu. On the intuitionistic fuzzy relations with compositional operations[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2005, 25(2): 113- 118. (in Chinese)
- [13] 雷英杰, 王宝树, 路艳丽. 基于直觉模糊逻辑的近似推理方法. 控制与决策, 2006, 21(3): 305- 310.
Lei Ying jie, Wang Bao shu, Lu Yar li. Techniques for approximate reasoning based on intuitionistic fuzzy logic [J]. Control and Decision, 2006, 21(3): 305- 310. (in Chinese)

作者简介:



雷英杰 男, 1956 年出生于陕西华阴, 博士, 现为空军工程大学导弹学院教授、博士生导师, 主要研究方向为智能信息处理与智能决策等.
E-mail: lei@ieee.org



王宝树 男, 1941 年出生于河南郑州, 西安电子科技大学计算机学院教授、博士生导师, 主要研究方向为智能信息处理与模式识别等.
E-mail: bshwang@xidian.edu.cn



王毅 男, 1979 年出生于陕西西安, 空军工程大学导弹学院博士研究生, 主要研究方向为智能信息处理与信息融合.