

信息化作战目标价值评估的随机区间方法

刁联旺

(中国电子科技集团公司第二十八研究所, 信息系统工程重点实验室, 江苏南京, 210007)

摘要: 目标价值评估是指挥决策人员确定目标打击顺序与强度的前提和基础, 是火力运用的基本依据。针对目标价值评估指标评估值的不确定性, 采用随机区间表示目标价值各评估指标评分估计值的不确定性, 定义了基于随机变量比较的新可能度, 提出了一种目标价值评估和排序的随机区间方法, 该方法充分利用了目标价值评分信息的不确定性, 具有简洁、直观和易于计算的特点。最后通常对目标价值评估各指标值服从均匀分布的实例, 说明了该方法的实用性和有效性。

关键词: 目标价值; 随机区间; 可能度; Monte Carlo法; 评估方法

中图分类号: E94

0 引言

信息化条件下, 战场空间的急剧扩大, 需要打击的目标种类增多, 性质分类复杂、动态性强火力打击的任务十分繁重, 因此, 在有限的火力条件下, 科学评估目标价值, 正确地选择打击目标, 确定目标打击顺序, 从而合理地分配战场资源就成为指挥员指挥决策中的一项重要工作^[1]。所谓目标价值, 是指目标对己方作战能力及活动的效用和意义, 是对完成作战行动重要程度的量度, 反映了目标在作战体系中的功能、地位和作用。因此, 以往主要依据经验进行主观、定性的决策方法需要改变, 这已经成为目标选择和打击研究的热点和难点^[1]。文[2]通过把原始数据转化为Vague数据, 然后利用Vague集之间的相似度量公式进行目标价值排序, 该方法比模糊综合评判方法简捷; 文[3]针对目标价值评估指标信息的复杂性及不确定性, 通过区间数表示指标信息, 采用基于可能度的决策方法评估战场目标价值; 文[4]利用主成分分析法确定目标价值评估中各因素的权重, 能够较客观地反映样本间的现实关系, 在权重的确定上较好地克服了主观因素; 文[5]将层次分析法与灰色聚类方法相结合, 构造评价函数, 综合决策目标价值排序; 文[6]通过主义模糊语言形式的评估标度及其运算, 采用语言型EWAA算子对模糊语言偏好信息进行了集结, 从而对目标战场价值进行评估, 符合战场环境的复杂性和人的思维的模糊性; 文[7]从价值分析角度出发, 建立了基于模糊综合评判的战场目标价值评估模型, 用模糊计算的方法代替了经验推理, 某种程度上克服了经验判断目标价值的主观片面性; 文[8]通过引入指数(0, 2)标度, 建立了满足一致性要求的判断矩阵, 改进了AHP方法, 并将之应用于目标价值排序; 文[9]运用模糊决策理论提出了偏好不确定的战场目标价值计算模型, 考虑了指挥员的偏好信息; 文[10]中根据效用函数理论和方法, 对目标价值进行了量化处理, 较好地反映了决策者对目标价值决策的信息。由于目标价值评估涉及多项指标, 而各指标受主客观条件的限制其取值具有不确定性, 但无论是模糊算子的模糊运算, 还是区间数的可能度计算利用的仅仅是不确定性区间的端点信息, 许多有用的信息都未被利用, 这是目前研究方法存在的主要缺陷。本文拟在分析信息化战场目标价值影响因素的基础上, 从其特殊性出发, 充分考虑指挥决策人员针对复杂性问题决策的不确定性, 采用随机区间表述评估指标估计值, 这完全符合人的决策思维的模糊性或不确定性^[3]。在此基础上, 本文提出一种基于随机区间比较的目标价值评估方法, 该方法运用Monte Carlo方法计算目标价值评估随机区间数比较的可能度, 基于可能度比较矩阵给出目标价值的排序算法。

1 信息化作战目标价值定量评估指标体系

信息化战争中作战目标打击在打击目标、打击力量和打击效果和打击手段等方面都呈现出一些与以往战争不同的新变化。

(1) 选择打击目标更明确。信息化战争将不再主要表现为攻城掠地, 而是为了实现某种控制, 寻求利益

平衡点, 战争所需打击的目标也将随之向最有利于达成战争目的方向发展。因此, 符合总体作战意图, 最有利于达成作战目的是信息化战场目标选择首要考虑的因素。

(2) 分配打击力量更合理。随着信息系统武器化和武器系统信息化程度的不断提高, 信息化战争中各军兵种联合, 发挥各自专长, 灵活赋予相应的任务, 合理地使用打击力量, 从而达到打击效果最佳化。因此, 高价值目标是目标选择所要考虑的重要因素之一。

(3) 达到打击效果更快速。信息化战争中, 由于作战力量运用的一体化程度较高, 对战场态势共同感知能力的不断增强, 精确有效的目标信息和指挥控制信息的传输和共享无论在空间范围上还是在时间上都为部队根据打击目标的特性, 综合运用各种力量, 灵活运用多种手段, 力求快速有效地以最小的损耗换取最佳打击效果提供了强有力的支持, 特别是那些对己方部队造成危害因而要立即做出反应的目标, 以及那些非常有价值、瞬息即逝的临时目标。因此, 时间的紧迫性也是目标选择所要考虑的重要因素之一。

(4) 采取打击手段更多样。随着信息技术在军事领域的广泛应用, 信息化武器装备的精确化、智能化水平不断提高, 为快速有效地达到打击效果提供了物质基础。但是, 信息化战争作战环境十分复杂, 作战双方都在采用相应的伪装、隐蔽、欺骗和干扰等手段和技术, 这使得选择打击目标的手段更依赖于可靠的侦察资料(如目标位置、时效、透视性等), 才能有效控制打击效果, 减少战争附带伤, 因此目标信息的可靠性也是目标选择所要考虑的重要因素之一。

根据以上分析, 信息化战场目标价值的影响因素主要为作战任务的一致性、目标重要性、打击紧迫性、情报信息可靠性等。

- 任务一致性: 是衡量各个目标是否属于本级火力打击范围的一个指标, 反映的是与本级作战任务和战斗时节任务的一致程度;
- 目标重要性: 是用来衡量各个目标在敌我双方攻防布置中地位的高低和作用大小的指标, 反映的是指不同性质的目标在战役(战斗)中所起的重要作用和对战役(战斗)的影响程度;
- 打击紧迫性: 是用来衡量各个目标对我特定作战行动的妨碍程度和各个目标所需火力反应时间长短的指标, 反应的是上级指示、所支援对象的呼叫以及友邻的请求等;
- 情报信息可靠性: 是用来衡量目标情报资料的全面性、准确性和时效性的一种指标, 反映的是目标位置、幅员和数量等信息的可靠程度。

2 基于随机区间比较的目标价值评估与排序

假定有 n 个目标(记为 T_i) 需要进行目标价值评估与排序, 各个目标对应的作战任务一致性、重要性、时间紧迫性和情报信息可靠性分别记为 $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}$, $i=1, 2, \dots, n$ 。

2.1 确定目标价值评估指标的评分

目标价值评估是通过多项评估指标进行综合评估的, 每一个评估指标对应一个评分函数, 常用的评分函数有线性、凹性和凸性三类, 而评分函数的取值范围一般有 $[0, 1]$, $[0, 10]$ 或者 $[0, 100]$ 。在同评估过程中, 各指标的评分函数可以不同, 但范围必须一样。

2.2 确定目标价值评估指标的权重

当确定目标价值评估指标体系之后, 指挥决策人员需要确定作战任务一致性、重要性、时间紧迫性和情报信息可靠性的权重(分别记为 w_1, w_2, w_3, w_4), 且满足 $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ 。

2.3 目标价值的综合评估

在确定了目标价值评估指标的权重, 并得到目标价值评估指标的评分之后, 采用下式得到每一个目标的综合评分

$$V_i = \sum_{j=1}^4 w_j \times v_{ij}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中, V_i 表示目标 i 的综合评分, v_{ij} 表第 i 个目标、第 j 项指标 x_{ij} 的评分, $v_{ij} = [v_{ij}^L, v_{ij}^U]$ 为随机区间数, 其概率密度函数为 $f_{v_{ij}}(x)$, 经常采用分布有均匀分布、三角形分布、梯形分布、三角正弦分布以及正态分布等。 w_j 第 j 项指标 x_{ij} 的权重, $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, 3, 4$ 。

2.4 目标价值的排序

假定某两个目标价值的综合评分 V_a 和 V_b 分别为两区间 $V_a = [V_a^L, V_a^U]$ 和 $V_b = [V_b^L, V_b^U]$ 上是独立的连续型随机变量, 记随机变量 V_a 和 V_b 的分布函数分别为

$$F_a(x) = \int_{-\infty}^x f_a(t)dt, \quad F_b(x) = \int_{-\infty}^x f_b(t)dt$$

其中, $f_a(t)$ 和 $f_b(t)$ 分别为 V_a 和 V_b 的概率密度函数。

定义1 事件 $(V_a > V_b)$ 发生的概率 $p(V_a > V_b)$, 称为区间数 V_a 优于 V_b (记为 $V_a \succ V_b$) 的可能度, 记为 $p_{V_a \succ V_b}$, 其计算公式为

$$p_{V_a \succ V_b} = \iint_{(V_a > V_b)} f_a(x)f_b(y)dxdy \quad (2)$$

对于具体的 $f_a(t)$ 和 $f_b(t)$, 如果 (2) 式可以直接求解, 则可能度计算问题得以解决。但实际上, 经由

(1) 得到的 $f_a(t)$ 和 $f_b(t)$ 的表达式通常比较复杂, 甚至无法求出具体的解析表达式, 但是我们感兴趣的是

(2) 式的概率值而不是其概率分布 (密度) 函数, 而利用独立随机变量的概率性质和 Monte Carlo 方法^[17] 即可巧妙地计算 (2) 式的概率值。

关于随机变量的比较问题, 文 [18, 19, 20] 研究的结果比较深刻, 其中文 [20] 还证明了对于正态随机变量的随机变量大小比较而言, (2) 具有所谓中度传递性。

利用 Monte Carlo 方法计算 (2) 式的概率值的具体步骤如下:

步骤1: 对于目标 T_i 和 T_j , 相应地有 $v_{ik} = [v_{ik}^L, v_{ik}^U]$ 的 $v_{jk} = [v_{jk}^L, v_{jk}^U]$, $1 \leq k \leq 4$, 从 v_{ik} 的概率分布 $f_{v_{ik}}(x)$ 产生独立同分布的样本 ξ_{ikl} , $l=1, 2, \dots, N$, 从 v_{jk} 的概率分布 $f_{v_{jk}}(x)$ 产生独立同分布的样本 ζ_{jkl} , $l=1, 2, \dots, N$ 。其中, N 为充分大的正整数。

步骤2: 计算 ξ_{il} 和 ζ_{jl} , $l=1, 2, \dots, N$, 其中,

$$\xi_{il} = \sum_{k=1}^4 w_k \xi_{ikl}, \quad \zeta_{jl} = \sum_{k=1}^4 w_k \zeta_{jkl}$$

步骤3: 求取频数 n , 其中

$$n = \{l : \xi_{il} > \zeta_{jl}, l = 1, 2, \dots, N\} \quad (3)$$

步骤4: 求取 $p_{V_i > V_j}$ 的估计值 $\hat{p}_{V_i > V_j}$, 其中

$$\hat{p}_{V_i > V_j} = n / N \quad (4)$$

依据概率论, 当 N 充分大时, $\hat{p}_{V_i > V_j}$ 收敛于 $p_{V_i > V_j}$ (频率以概率1收敛于概率)。

步骤5: 用 $\hat{p}_{V_i > V_j}$ 替代 $p_{V_i > V_j}$, 建立可能度矩阵^[9] $P = (p_{ij})_{n \times n}$, 即

$$P = \begin{bmatrix} - & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & - & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中, $p_{ij} = \hat{p}_{V_i > V_j}$, 主对角线“-”表示不计该元素。

步骤6: 利用可能度矩阵 P , 求取其排序向量 $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$, 并按其分量大小对方案进行排序^[9]。

其中

$$v_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n p_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

3 目标价值评估实例

本节通过一个实例说明基于随机区间比较的目标价值评估和排序方法实施的基本过程。

3.1 确定目标价值评估指标的权重和评分

设在某次进攻战斗前发现6个敌目标并侦察得到一些情报, 目标价值评估的作战任务一致性、重要性、紧迫性、信息可靠性的权重向量为: $\omega = (0.35, 0.25, 0.2, 0.2)$ 。设已根据 $[0, 10]$ 评分取值范围, 采用随机区间数的不确定表示形式给出了各目标价值要素的评分值, 建立决策矩阵 A (如表1所示), 其中的区间表示该项指标的评分服从在该区间上的均匀分布。

表1 决策矩阵 A

	重要性 $w_1 = 0.35$	任务一致性 $w_2 = 0.25$	时间紧迫性 $w_3 = 0.2$	信息可靠性 $w_4 = 0.2$
T_1	[6, 7]	[7, 8]	[5, 7]	[6, 8]
T_2	[3, 5]	[3, 5]	[6, 7]	[3, 5]
T_3	[8, 9]	[7, 8]	[5, 7]	[8, 9]
T_4	[8, 9]	[8, 9]	[6, 7]	[8, 9]
T_5	[5, 6]	[4, 6]	[7, 8]	[8, 9]
T_6	[7, 8]	[8, 9]	[5, 7]	[6, 7]

3.2 目标价值的综合评分

应用式(1)提供的目标价值综合评分计算公式。用Matlab7.0软件程序对本例进行了Monte Carlo仿真计算(仿真次数为 10^6), 可得表1中6个目标综合评分概率分布直方图及综合评分的均值和方差(如图1所示)。

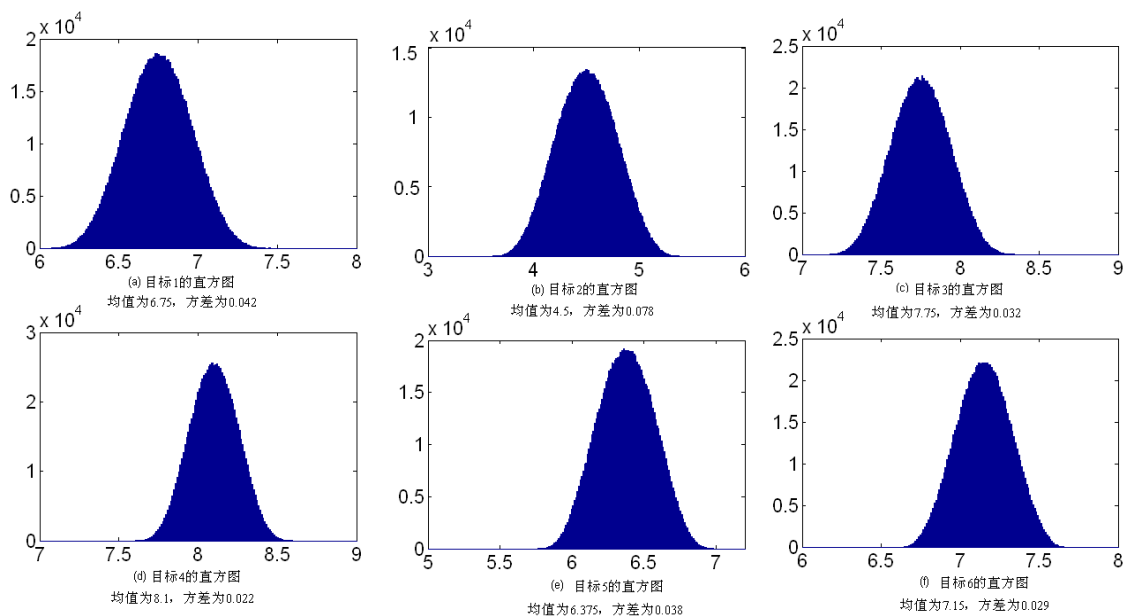


图1 6个目标的综合评分分布直方图及均值与方差

3.3 目标价值综合评分的排序

根据3.4小节提供的目标价值综合评分排序方法,本例Monte Carlo仿真计算得到的结果为:

$$v_1 = 1.9725, v_2 = 0.0, v_3 = 4.0614, v_4 = 4.9324, v_5 = 1.0953, v_6 = 2.9384$$

据此,可以得到此6个目标价值综合评分的排序结果为:

$$T_4 > T_3 > T_6 > T_1 > T_5 > T_2$$

4 结论

本文研究以目标价值评估指标的综合评价服从区间数连续随机型随机变量情形下的目标价值排序问题,基于随机变量比较的思想定义了区间数比较的新可能度,并且运用Monte Carlo方法解决了可能度计算问题,提出了根据目标价值综合评分两两比较的可能度矩阵排序目标价值的新算法。在工程应用实践中,我们应用该方法处理目标价值综合评估问题,取得了很好的效果。值得指出的是,本文对方案各属性取值服从区间内均匀分布的假定并非必要的。对于其它类型的属性取值区间型概率分布(如三角,梯形分布等),只要改造Monte Carlo算法的随机数产生部分,该算法完全适用,因此算法具有较好的分布适应性。

参考文献:

- [1] 于际训, 杨学军. 击溃战争意志—信息化作战的目标选择[M], 北京: 解放军出版社, 2009: 71-100.
- [2] 杨洁, 王鸿绪. Vague模式排序法进行目标价值排序[J]. 计算机工程与应用, 212, 48(2): 33-37.
- [3] 于娜, 陈国富. 基于可能度的信息化战争目标价值评估方法[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(10): 203-207.
- [4] 劳亚民, 刘登科. 基于主成分分析法的目标价值评估[J]. 舰船电子工程, 2008, 33(5): 101-105.
- [5] 刘琼, 艾云平. 多层次灰色聚类决策对目标价值排序的应用[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(5): 79-81.
- [6] 王瑜, 陈志军. 语言型EWAA算子的目标战场价值评估[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(7): 81-83.
- [7] 杨磊, 王雪琴, 徐鲲鹏. 改进的AHP法在目标价值排序中的应用[J], 指挥控制与仿真, 2007, 29(3): 74-78.
- [8] 郑华利, 郭汉英, 周献中. 战场目标价值偏好不确定分析模型[J]. 火力与控制控制, 2007, 32(12): 95-99.
- [9] 胡良明, 徐诚, 李峰. 基于模糊综合评判的战场目标价值研究[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(2): 55-57.
- [10] 夏勇其, 吴祈宗, 王运吉. 基于效用函数的打击目标选择方法[J]. 火力与指挥控制, 2005, 30(6): 39-43.