防空战斗中的态势评估模型

陈绍顺， 宁伟华， 张 琳
(空军工程大学 导弹学院，陕西 三原 713800)

摘 要:防空作战中态势评估是辅助决策的基础。针对态势评估问题,以集对分析的同异反联系度和关联分析为基础,构造了战场态势评估的模型,并进行了探讨。最后,通过实例表明了模型对于评估战场态势的可行性和有效性。

关键词:防空态势评估;集对分析;同异反联系度;关联分析
中图分类号:E211　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1009-3516(2004)04-0029-05

态势评估所涉及的对象多、范围广,且理论基础薄弱,所以想要构建一个性能优良的系统模型来评估它相当困难。通常防空战斗中态势评估应尽可能地描述两个问题:一是当前战场态势下,双方部队行动的部署和实际情况,二是对于我方作战目标来说,当前战场态势是有利还是不利。指挥人员拥有战场主动权的性质和程度,决定了战场态势的质与量。因此,战场态势有利与否的判断,就是指挥人员对战场主动权拥有状况的判断,当指挥人员将这种判断建立在对双方部队行动和部署的具体分析之上时,它就具体反映了当前战场态势是有利还是不利。

1 态势评估模型

1.1 指标值的规范化处理

假设现在有 n 种状况,记为 $P=\{P_1,P_2,\cdots,P_n\}$,评估的指标为 m 个,记为 $I=\{I_1,I_2,\cdots,I_m\}$,第 P_i种状况对第 j 个指标 I_j的评估值为 $v_{ij}(i=1,2,\cdots,n\ ,j=1,2,\cdots,m\ )$,则 n 种状况的 mn 个指标值构成矩阵 $[v_{ij}]_{n\times m}$。

指标类型一般可分为效益型指标、成本型指标、固定型指标、偏离型指标、区间型指标、偏离区间型指标。对战场态势的评估,其指标只有两种类型,即效益型指标(作战策略给出的是指挥员指挥的正确率,环境因素给出的是对我方有利的程度,这均为效益型指标)和成本型指标。所谓效益型指标是指评价值越大越好的指标,成本型指标是指评价值越小越好的指标。设 O_1、O_2分别为效益型指标和成本型指标的下标集,则 $O_1\cup O_2=\{1,2,\cdots,m\}$,且 $O_1\cup O_2=\emptyset$。

为了便于各指标间的比较,需要对原始指标值进行规范化处理,将其化为[0,1]区间内。

$$x_{ij}=(v_{ij}-\min_i v_{ij})/(\max_i v_{ij}-\min_i v_{ij}),\quad i=1,2,\cdots,n;\quad j\in O_1 \tag{1}$$

$$x_{ij}=(\min_i v_{ij}-v_{ij})/(\max_i v_{ij}-\min_i v_{ij}),\quad i=1,2,\cdots,n;\quad j\in O_2 \tag{2}$$

从而得到规范化矩阵 $\boldsymbol{X}=[x_{ij}]_{n\times m}$。

1.2 集对分析方法简介

集对分析SPA(Set Pair Analysis)是我国学者赵克勤[3-4]于1989年提出的一种关于确定不确定系统同异反定量分析的系统分析方法。所谓集对,是指具有一定联系的两个集合所组成的对子。从系统的角度看,集对既可以是系统内任两部分要素组成的对子,也可以是系统与环境组成的对子。集对分析的基本思路是:在具体的问题背景下,对集对的某一特性展开分析,对集对在该特性上的联系进行分类定量刻画。该理论认

收稿日期:2003-10-23
作者简介:陈绍顺(1977-),男,湖北武汉人,博士生,主要从事防空作战指挥运筹决策分析研究.

为,不确定性是事物的本质属性,并将不确定性与确定性作为一个系统进行综合考察。集对分析将确定性分为“同一”与“对立”两个方面,而将不确定性描述为“差异”,从“同一”、“差异”和“对立”(简称同异反)3 个方面分析,并研究其转化。引入联系度描述同异反 3 个分量,将其统一于一个数学表达式中。

假设根据问题 W,对集 A 和集 B 组成的集对 H 展开分析,共得到 N 个特性,其中有 S 个为集对中两个集合所共有,而集对在另外 P 个特性上对立,在其余 F 个特性上关系不确定,则在不计各特性权重情况下,称: S/N 为集 A 和集 B 在问题 W 下的同一度,简记为 a;F/N 为集 A 和集 B 在问题 W 下的差异度,简记为 b;P/N 为集 A 和集 B 在问题 W 下的对立度,简记为 c。

由于同一度、差异度、对立度是从不同侧面刻画两个集合的联系状况,故总的联系度 μ 为

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \tag{3}$$

即

$$\mu = a + bi + cj \tag{4}$$

式中 i 为差异度标记符号或相应系数,取值于$[-1,1]$;j 为对立度标记符号或相应系数,规定取值为 -1。按照定义,a、b、c 满足归一化条件 $a+b+c=1$。联系度 μ 一般仅是一种结构函数,只有在特殊情况下,才是一个数值。

集对分析有效地刻画了确定不确定系统的对立统一关系,符合自然辨证法和人类思维方式,具有方法论意义,因而自被提出以来得到了广泛的关注和应用。

1.3 态势评估中的关联处理

为了在同一范围内进行分析,确定最优状况 $P^+ = (1,1,\cdots,1)$ 和最劣状况 $P^- = (0,0,\cdots,0)$,然后进行关联分析。

关联分析是一种多因素统计分析方法,它是以各因素的样本数据为依据用关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序等。如果样本数据反映出两因素变化的态势(方向、大小、速度等)基本一致,则它们之间的关联度较大;反之,关联度较小。

从广义上讲,任何客观事物的发展过程都是时间的函数,其函数曲线就是在所有可能因素作用下事物发展的形象表征。函数曲线间的形象差异,在很大程度上反映了事物发展过程的差异。这一性质,即几何形状越接近,则发展趋势越接近,关联度越大,称为事物发展趋势的相似性。另外,虽然事物之间的函数曲线不尽相似,但每一时刻的差别不是很大,说明它们之间的关系较密切,反之则不密切,这一性质称为事物发展趋势的相近性。描述相近性的物理特征是位移差,描述相似性的物理特征是速度差和加速度差[5]。

定义 1[5] 当 $x(t)$,$y(t)$ 为自然数列函数时,$t=\{1,2,\cdots,N\}$,若 $d^{(0)}(t)$、$d^{(1)}(t)$ 和 $d^{(2)}(t)$ 都存在,则两数列的关联度为

$$r = \frac{1}{1 + \frac{1}{n}d^{(0)} + \frac{1}{n-1}d^{(1)} + \frac{1}{n-2}d^{(2)}} \tag{5}$$

其中:$d^{(0)} = \sum_{t=1}^{n} d^{(0)}(t) = \sum_{t=1}^{n} | x(t) - y(t) |$;$d^{(1)} = \sum_{t=1}^{n-1} d^{(1)}(t) = \sum_{t=1}^{n-1} | x(t+1) - y(t+1) - x(t) + y(t) |$;$d^{(2)} = \sum_{t=1}^{n-1} d^{(2)}(t) = \frac{1}{2}\sum_{t=2}^{n-1} | [x(t+1) - y(t+1)] - 2[x(t-1) + y(t-1)] |$。

那么对于第 P_i 种状况,它与最优状况 $P^+ = (1,1,\cdots,1)$ 的关联度为

$$r_i^{+} = \frac{1}{1 + \frac{1}{m}d_+^{(0)} + \frac{1}{m-1}d_+^{(1)} + \frac{1}{m-2}d_+^{(2)}} \tag{6}$$

其中:

$$d_+^{(0)} = \sum_{j=1}^{m}(1 - x_{ij});\ d_+^{(1)} = \sum_{j=1}^{m-1} | x_{i(j+1)} - x_{ij} |;\ d_+^{(2)} = \frac{1}{2}\sum_{j=2}^{m-1} | x_{i(j+1)} + x_{i(j-1)} - 2x_{ij} |,\ i = 1,2,\cdots,n。$$

第 P_i 种状况和最劣状况 $P^- = (0,0,\cdots,0)$ 的关联度为

$$r_i^{-} = \frac{1}{1 + \frac{1}{m}d_-^{(0)} + \frac{1}{m-1}d_-^{(1)} + \frac{1}{m-2}d_-^{(2)}} \tag{7}$$

其中:$d_-^{(0)} = \sum_{j=1}^{m} x_{ij}$;$d_-^{(1)} = \sum_{j=1}^{m-1} | x_{i(j+1)} - x_{ij} |$;$d_-^{(2)} = \frac{1}{2}\sum_{j=2}^{m-1} | x_{i(j+1)} + x_{i(j-1)} - 2x_{ij} |$,$i = 1,2,\cdots,n$ 。

从上可以看出 $d_+^{(1)} = d_-^{(1)}, d_+^{(2)} = d_-^{(2)}$,则

$$\frac{1}{r_i^+} - \frac{1}{r_i^-} = \frac{1}{m}(d_+^{(0)} - d_-^{(0)}) = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}(1 - 2x_{ij}) = Q$$

故
$$r_i^+ + r_i^- = \frac{1}{Q + \frac{1}{r_i^-}} + r_i^- = \frac{2r_i^- + (r_i^-)^2 Q}{Qr_i^- + 1},$$

则可令
$$F(r_i^-) = r_i^+ + r_i^- = \frac{2r_i^- + (r_i^-)^2 Q}{Qr_i^- + 1}$$

则
$$\frac{dF(r_i^-)}{dr_i^-} = \frac{2 + 2r_i^- Q}{Qr_i^- + 1} - \frac{2r_i^- Q + (r_i^- Q)^2}{(Qr_i^- + 1)^2} = \frac{(Qr_i^-)^2 + 2Qr_i^- + 2}{(Qr_i^- + 1)^2} = 1 + \frac{1}{(Qr_i^- + 1)^2} > 0$$

由此说明 $F(r_i^-)$ 在 $r_i^- \in [0,1]$ 为增函数,故 $F(r_i^-) \leqslant F(1) = 1 + \frac{1}{Q+1}$ 。

即
$$r_i^+ + r_i^- \leqslant 1 + \frac{1}{Q+1},$$

所以
$$\frac{Q+1}{Q+2}r_i^+ + \frac{Q+1}{Q+2}r_i^- \leqslant 1。$$

由于$\frac{Q+1}{Q+2}r_i^+$ 表示了第 P_i 种状况与最优状况 $P^+ = (1,1,\cdots,1)$ 的接近程度,而$\frac{Q+1}{Q+2}r_i^-$ 表示了第 P_i 种状况和最劣状况 $P^- = (0,0,\cdots,0)$ 的接近程度,故可以将它们定义集对$\{p^+, p^-\}$ 的同一度和对立度。即对第 p_i 种状况而言,可取 $a_i = \frac{Q+1}{Q+2}r_i^+$,$c_i = \frac{Q+1}{Q+2}r_i^-$,再由归一化条件 $a + b + c = 1$,可得

$$b_i = 1 - a_i - c_i = 1 - \frac{Q+1}{Q+2}r_i^+ - \frac{Q+1}{Q+2}r_i^-$$

1.4 态势评估

当联系度 $\mu = a + bi + cj$ 中的 $c \neq 0$ 时,同一度与对立度的比值 a/c 为所论集对在指定问题背景下的联系势或集对势,记为 $\mathrm{shi}(H) = a/c$ 。当 $a/c > 1$ 时,称为集对的同势,即集对 H 中 2 个集合在同异反联系中存在“同一”趋势;当 $a/c < 1$ 时,称为集对的反势,即集对 H 中 2 个集合在同异反联系中存在“对立”趋势;当 $a/c = 1$ 时,则表示集对 H 中 2 个集合 “同一”的趋势和“对立”的趋势呈现出“势均力敌”的状态[6-7]。

根据 a、b 、c 的大小信息,利用排列组合的原理,同异反联系数的态势可按表 1 进行排序。

表 1　三维态势表

序号	同势($a/c>1$)		均势 ($a/c=1$)		反势 ($a/c<1$)	
1 级	$a>c,a>b,b>c$	系统内同一的趋势很强	$a=c,a>b,b<c$	系统内同一与对立的均等趋势强	$a<c,a>b,b<c$	系统内对立的趋势为主,对立程度很强
2 级	$a>c,a>b,b=c$	系统内同一的趋势强	$a=c,a=b,b=c$	系统内同一、差异、对立的趋势恰好相等	$a<c,a=b,b<c$	系统内对立的趋势为主,对立程度强
3 级	$a>c,a>b,b<c$	系统内同一的趋势较强	$a=c,a<b,b>c$	系统内同一与对立均势的程度微弱	$a<c,a<b,b<c$	系统内对立的趋势为主,对立程度较强
4 级	$a>c,a=b,b>c$	系统内同一的趋势减弱			$a<c,a<b,b=c$	系统内对立的趋势为主,对立程度弱
5 级	$a>c,a<b,b>c$	系统内同一的趋势微弱			$a<c,a<b,b>c$	系统内对立的趋势为主,对立程度微弱

同势、均势和反势的分级也可以按势值 a/c 的大小来确定。集对分析中把 2 个集合的确定性联系与不确定性联系,作为一个确定不确定系统来处理。上述态势排序是在不计 i,j ,特别是 i 值情况下的一种排序,还需要对 i 取值进行分析,以说明同异反系统态势的既确定又不确定性。

2 实例分析

假设现在有 4 种状况,每种状况的数据如表 2 所示。

表 2 原始数据表

序号	我方因素							敌方因素				环境因素	
	兵力	武器	部署	策略	友邻部队			兵力	武器	部署	策略	地形	天气
					兵力	武器	部署						
P_1	500	0.7	0.8	0.6	250	0.5	0.6	35	0.7	0.6	0.5	0.7	0.5
P_2	400	0.9	0.6	0.7	150	0.8	0.7	42	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6
P_3	650	0.6	0.9	0.5	100	0.7	0.5	50	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7
P_4	350	0.8	0.7	0.8	200	0.9	0.8	40	0.8	0.7	0.6	0.9	0.4

首先,按照式(1)、(2),对原始数据进行规范化处理,得到规范化矩阵为

$$X=\begin{bmatrix} 0.5174 & 0.3333 & 0.6667 & 0.3333 & 1.0000 & 0.0000 & 0.3333 & 1.0000 & 0.6667 & 0.6667 & 1.0000 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.2857 & 1.0000 & 0.0000 & 0.6667 & 1.3333 & 0.7500 & 0.6667 & 1.5333 & 1.0000 & 1.0000 & 0.3333 & 0.0000 & 0.6667 \\ 1.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.5000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.6667 & 1.0000 \\ 0.0000 & 0.6667 & 0.3333 & 1.0000 & 0.6667 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 0.6667 & 0.3333 & 0.3333 & 0.6667 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

然后,由上述数据,算出每一种状况的 r_i^+、r_i^-,进而可以得到其 a_i, b_i, c_i, μ :

$r_1^+=0.3757, r_1^-=0.3604, a_1=0.1765, c_1=0.1692, b_1=0.6543, \mu_1=0.1765+0.6543i+0.1692j$;

$r_2^+=0.3722, r_2^-=0.3597, a_2=0.1749, c_2=0.1691, b_2=0.6560, \mu_2=0.1765+0.6560i+0.1691j$;

$r_3^+=0.3542, r_3^-=0.4058, a_3=0.0936, c_3=0.1072, b_3=0.7992, \mu_3=0.0936+0.7992i+0.1072j$;

$r_4^+=0.4106, r_4^-=0.3824, a_4=0.1851, c_4=0.1723, b_4=0.6426, \mu_4=0.1851+0.6426i+0.1723j$;

分析结果如表 3 所示。

表 3 态势分析表

序号	联系数	a,b,c 的大小关系	态势变化(势值)
P_1	$\mu_1=0.1765+0.6543i+0.1692j$	$a>c, a<b, b>c$	同势 5 级(1.043 1)
P_2	$\mu_2=0.1749+0.6560i+0.1691j$	$a>c, a<b, b>c$	同势 5 级(1.034 3)
P_3	$\mu_3=0.0936+0.7992i+0.1072j$	$a<c, a<b, b>c$	反势 5 级(0.873 1)
P_4	$\mu_4=0.1851+0.6426i+0.1723j$	$a>c, a<b, b>c$	同势 5 级(1.074 3)

很明显,在本问题中,“同势”对应于我方处于优势,“反势”对应于我方处于劣势,“均势”表示我方与敌方呈现出“势均力敌”的状态。

从表 3 可以看出,p_1、p_2、p_4 3 种状况均处于同势 5 级,说明在这 3 种状况中我方处于有利的主动地位,而 p_3 处于反势 5 级,说明在此状况中我方处于不利的被动地位。再看势值 $\text{shi}(H)=a/c$,状况 p_4 的势值 1.074 3 最大,因而它所处于的状况是最好的。

另一方面,虽然 p_1、p_2、p_4 3 种状况处于同势,但它们均处于最弱的一种同势,如果在实际中,稍有放松,就有可能进入“均势”甚至是“劣势”的状态,这一点应引起注意。因此,从大体上说,这 3 种状态虽处于优势,但优势并不明显。

对于最好状况 p_4,我们对 i 取不同值时的态势变化进行分析,如表 4 所示。

表 4 i 值变化引起状况 P_4 的态势变化表

原来的联系数	i 值	新的联系数	a,b,c 的大小关系	态势变化(势值 a/c)
$0.1851+0.6426u+0.1723j$	−1	$0.1851+0.8149j$	$a<c, a>b, b<c$	反势 1 级(0.227 1)
$0.1851+0.6426u+0.1723j$	−0.5	$0.1851+0.3213i+0.8149j$	$a<c, a<b, b<c$	反势 3 级(0.375 0)
$0.1851+0.6426u+0.1723j$	0	$0.1851+0.6426i+0.1723j$	$a>c, a<b, b>c$	同势 5 级(1.073 7)
$0.1851+0.6426u+0.1723j$	0.5	$0.5064+0.3213i+0.1723j$	$a>c, a>b, b>c$	同势 1 级(2.928 6)
$0.1851+0.6426u+0.1723j$	1	$0.8277+0.1723j$	$a>c, a>b, b>c$	同势 1 级(4.803 8)

由表 4 可见,随着 $i:1\to-1$,势值 a/c 逐渐变小,状况 p_4 由同势逐渐变为反势,这说明不能小看不确定

因素的影响,它有非常重要的作用,有时会影响态势的变化,由优势因素变为劣势因素,因而应充分考虑各种可能因素的影响。

再看最差状况 p_3,它处于反势 5 级,是最弱的一种反势状态,如果从主观上讲,在此种状态中,稍微增加一些兵力或提高一下武器装备的性能或调整一下部署,就会进入一种“均势”状态,呈现出“势均力敌”的态势。

3　结束语

本文利用集对分析中的同异反联系度和关联分析,构造了态势评估的模型,从一个新的角度揭示出蕴含在数据中有关战场态势的信息,其研究方法简明,对从总体上把握战场的局势具有一定的借鉴意义,值得进一步研究。

参考文献:

[1]　王凤山,申卯兴. 防空战略作战的势战律建模研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2000,1(4):80-82.
[2]　申卯兴,李为民,陈永革. 防空战略作战的势战模型研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2001,2(4):16-18.
[3]　赵克勤. 集对分析与同异反决策[J]. 决策探索,1992,13(2):14-15.
[4]　赵克勤. 集对分析中的不确定性理论[J]. 大自然探索,1995,14(54):87-88.
[5]　陈绍顺,王　君,李　云. 基于灰色关联度的导弹战术技术性能分析模型[J]. 战术导弹技术,2002,23(4):13-16.
[6]　张清河,张云波. 不计评价指标权重值时的综合评价[J]. 华侨大学学报,2002,23(4):378-381.
[7]　蒋云良. 基于同异反态势排序的学生成绩分析[J]. 数理统计与管理,2001,20(1):26-29.

(编辑:田新华)

The Model of Situation Assessment in Anti-air Fight

CHEN Shao-shun,　NING Wei-hua,　ZHANG Lin
(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: Situation assessment is the basis of subsidiary decision-making in anti-air fight. In view of the problem in situation assessment, this paper establishes a model based on IDC of SPA and correlative analysis, and then makes an approach to the problem. The practical calculation and analysis show that the model is feasible and effective in the assessment of battlefield situation.

Key words: situation assessment; set pair analysis (SPA); identical discrepancy contrary (IDC); correlative analysis