

基于动态威力场的协同空战态势评估方法研究

李战武^{1,2}, 常一哲¹, 杨海燕³, 寇英信¹, 徐安¹

(1. 空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038; 2. 西北工业大学电子信息学院, 西安 710072;
3. 空军工程大学空管领航学院, 西安 710051)

摘要: 针对非参量法模型将动态优势与静态优势孤立, 表现形式无法直观、连续地体现具体编队的超视距协同空战态势的问题, 提出动态威力场的概念将其应用于超视距协同空战态势评估。根据超视距协同空战特点, 从战斗机攻击能力、通信能力、探测能力、生存能力、电子干扰能力、协同能力和全向告警能力等方面构建威力场模型。仿真结果表明: 此方法能够克服非参量法模型的缺点, 能够全面、形象、连续地对超视距协同空战的态势进行评估, 且可以有效提高战场决策者的效率和决策的质量。

关键词: 动态威力场; 协同空战; 态势评估; 超视距

中图分类号: V271.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 07-1584-08

DOI:10.16182/j.cnki.joss.2015.07.024

Situation Assessment Method for Cooperative Air Combat Based on Dynamic Combat Power Field

Li Zhanwu^{1,2}, Chang Yizhe¹, Yang Haiyan³, Kou Yingxin¹, Xu An¹

(1. Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. College of Electronic Communication, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

3. ATC navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: Considering on the remaining problem in current situation assessment of Beyond-Visual-Range cooperative air combat, such as isolation of static/dynamic state superiority, the concept of combat power field was applied in situation assessment of Beyond-Visual-Range cooperative air combat. Coupled with characteristics of cooperative air combat, the model of combat power field was constructed by aspects of attack, communication, detection, maneuverability, electronic countermeasure and cooperation and alert. The method was verified by the simulation. The result shows the method has advantages of integrity, visualization and continuity compared with former situation assessment methods, and is also able to improve the quality and the efficiency of the decision.

Keywords: dynamic combat power field; cooperative air combat; situation assessment; beyond-visual-range

引言

态势评估是指对特定战场环境中各种战斗力要素当前状态描述和发展趋势的预测, 评估结果的

合理性和准确性将直接影响决策者对战场态势的把握以及决策的实施^[1]。现阶段大多数态势评估方法是利用改进的非参量法建立优势函数模型^[2-8]。但是在超视距协同空战中, 基于非参量法模型的评估方法会将战斗机乃至作战编队的动态优势和静态优势相孤立、相隔离, 且不能直观、形象的体现出当前协同编队的具体空战态势。鉴于以上原因, 将威力场^[9-10]的概念应用到超视距协同空战的态



收稿日期: 2014-09-26 修回日期: 2015-01-19;
基金项目: 国家自然科学基金(61472441);
作者简介: 李战武(1978-), 男, 陕西西安, 博士, 副教授, 研究方向为先进航空火力控制原理与技术; 常一哲(1991-), 男, 北京, 硕士, 研究方向为先进航空火力控制原理与技术; 杨海燕(1972-), 女, 陕西西安, 博士, 讲师, 研究方向为空天作战指挥。

势评估中具有十分重要的意义,不仅可以作战单元的动态优势和静态优势相结合以进行态势分析,更可以利用威力场的分布形象的表现出当前编队的协同空战态势,从而帮助决策者以更少的时间做出更加准确的判断。因此本文提出了基于动态威力场的超视距协同空战态势评估方法。

1 动态威力场的概念及其在态势评估中的应用

1.1 动态威力场的概念

根据文献[9],威力场描述为:在空战场中,战斗机自身及其携带的武器装备均存在一定的作用范围,必然会对周围的空域产生影响,这种影响即可看作战斗机对战场空域产生的威力。但是现代空战是一个实时的过程,静态的方法不能满足战场的需求。因此本文提出了动态威力场的思想,即将各项指标动态化以满足空战环境的动态性需求。

1.2 动态威力场在态势评估中的应用

由于以贝叶斯法为代表的参量法模型^[11]运算量大,不能够满足空战的实时性要求。因此目前关于态势评估的文献大多利用非参量法或其改进构建数学模型,用数值表示相应的优势。这种方式只能根据模型计算出载机和目标的自身优势,无法描述其对战场所产生的影响。然而空战中不仅仅作战单元会受到对方的作用,战场中的任一区域都会受到双方对抗的影响,因此利用非参量法模型的评估方法是孤立的,不全面的。为此,本文提出基于动态威力场的超视距协同空战态势评估方法不仅可以综合作战单元的动态优势和静态优势进行分析,更可以动态、全面、形象的表现出任意时刻编队的协同空战态势以及对抗双方对战场中每一点的影响。文献[9]已经提出利用威力场进行空战的分析,但是其提出的威力场只是对抗双方威力场的简单叠加,不能体现出编队中各个作战单元之间的协同能力,也不能体现出对抗双方之间威力场的相互作用,更不能将双方在对抗中的威力变化形象的表现

出来且是静态的、非连续的,无法满足空战连续性需要。针对以上问题,本文构建了动态威力场模型并将其应用于超视距协同空战的态势评估。

2 超视距协同空战威力场模型

空战中,每一个作战单元都会在围绕其周围一定范围内的环境产生影响,即具有威力。根据红蓝双方的不同性质分为正场和负场。这里定义我方作战单元产生的威力场为正场,势为正。目标作战单元产生的威力场为负场,势为负^[9]。

2.1 威力势模型

针对超视距协同空战以及战斗机的特点,构建 t 时刻战斗机威力势模型如下:

$$E(t) = E(x, y, z, x_T, y_T, z_T, t) = K_{co} E_D(t) (\omega_1 E_W(t) + \omega_2 E_E(t) + \omega_3 E_S + \omega_4 E_C(t) + \omega_5 E_A(t)) \quad (1)$$

式中: $E_A(t)$ 为全向告警能力; $E_D(t)$ 为探测能力; $E_W(t)$ 为攻击能力; $E_E(t)$ 为电子干扰能力; E_S 为生存能力; $E_C(t)$ 为通信能力; K_{co} 为协同能力; $\omega_i(t)$ 表示 t 时刻第 i 项指标的权重,且满足 $\sum_{i=1}^5 \omega_i(t) = 1$, $\forall \omega_i(t) \geq 0$, 其确定方法详见下文。

2.1.1 攻击能力

超视距协同空战的主要武器为中空空空导弹。据此建立攻击能力模型如下:

$$E_W(t) = \ln(1 + A_M(t)) \quad (2)$$

式中, A_M 为攻击能力因子,其模型构建如下^[12]:

$$A_M(t) = \begin{cases} N \times r_{\max} \times P_K \times \frac{\varphi}{2\pi} \times \frac{\frac{n_{\max}}{35} \times \frac{\omega_{\max}}{20} \times \frac{\psi}{40} \times K_D}{r(t)}, & r_{\min} \leq r(t) \leq r_{\max}, \theta(t) \leq \psi \\ 0, & r(t) > r_{\max} \text{ 或 } r(t) < r_{\min} \text{ 或 } \theta(t) > \psi \end{cases} \quad (3)$$

式中: N 为导弹的数量; P_K 为单发导弹杀伤概率; φ 为导弹攻击范围角; n_{\max} 为导弹的最大可用过载; ω_{\max} 为导弹的最大跟踪角速度; ψ 为导弹的

离轴发射角； K_D 为制导方式的修正系数，指令修正惯导+半主动雷达末制导 $K_D = 1$ ，指令修正惯导+主动雷达末制导 $K_D = 1.5$ ； $\theta(t)$ 为 t 时刻载机相对计算点的提前角； $r(t)$ 为 t 时刻载机与计算点的距离； r_{\max} 为导弹最大发射距离； r_{\min} 为导弹最小发射距离。

2.1.2 探测能力

在超视距协同空战中，对敌机探测的主要设备为雷达和红外搜索跟踪装置^[13]。因此战斗机探测能力模型可以建立如下：

$$E_D(t) = \ln(1 + A_{DR}(t) + A_{DIR}(t)) \quad (4)$$

式中： A_{DR} 为雷达探测能力因子； A_{DIR} 为红外探测能力因子。

雷达探测能力因子可以由下式计算得出：

$$A_{DR}(t) = \begin{cases} \frac{S_{TR}^2}{4} \times \frac{\theta_R}{2\pi} \times P_{TR} \times K_2 \times (m_{R1} \times m_{R2})^{0.05} & r < S_{TR} \text{ 且 } \theta(t) < \theta_R \\ 0 & 0 < r(t) < S_{TR} \text{ 或 } \theta(t) > \theta_R \\ 0 & r(t) > S_{TR} \text{ 或 } \theta(t) > \theta_R \end{cases} \quad (5)$$

式中： S_{TR} 为雷达最大发现目标距离； θ_R 为雷达搜索总方位角； P_{TR} 为发现目标概率； K_2 为雷达体制衡量系数，圆锥扫描雷达 $K_2 = 0.6$ ，单脉冲雷达 $K_2 = 0.8$ ，脉冲多普勒雷达 $K_2 = 1$ ； m_{R1} 为同时跟踪目标数量； m_{R2} 为同时允许攻击目标数量。

红外探测能力因子可以根据下式得到：

$$A_{DIR} = \begin{cases} \frac{S_{TIR}^2}{4} \times \frac{\theta_{IR}}{2\pi} \times P_{TIR} \times K_2' \times (m_{IR1} \times m_{IR2})^{0.05} & r < S_{TIR} \text{ 且 } \theta(t) < \theta_{IR} \\ 0 & 0 < r(t) < S_{TIR} \text{ 或 } \theta(t) > \theta_{IR} \\ 0 & r(t) > S_{TIR} \text{ 或 } \theta(t) > \theta_{IR} \end{cases} \quad (6)$$

式(6)与式(5)中的参数意义基本一致，其中 K_2' 为红外体制衡量系数，多元固定式探测装置 $K_2' = 0.6$ ，搜索跟踪装置 $K_2' = 1$ 。

2.1.3 电子干扰能力

设雷达压制区的轴线与飞机轴线同方向，构造

电子干扰能力参数如下：

$$E_E(t) = \ln(1 + A_{DISA}(t) + A_{DISPB}(t) + A_{DISPIR}(t)) \quad (7)$$

式中： A_{DISA} 为有源干扰能力因子； A_{DISPB} 为箔条干扰弹干扰能力因子； A_{DISPIR} 为红外干扰弹干扰能力因子。

有源干扰能力因子模型：

$$A_{DISA}(t) = \begin{cases} \frac{P_j \times G_j \times \theta' \times \Omega \times n \times P_f \times K}{\Delta t_j \times (\Delta f + \Delta \theta) \times r(t)} & \theta(t) < \theta' \\ 0 & \theta(t) > \theta' \end{cases} \quad (8)$$

式中： P_j 为干扰机的发射功率； G_j 为干扰天线增益； θ' 为天线的波束宽度； Ω 为天线波束在空间的最大指向范围； n 为多个雷达的干扰能力，即雷达干扰系统同时进行有效干扰不同雷达的数量； P_f 为干扰机的频率范围对被干扰雷达的频率范围覆盖率； Δt_j 为引导时间，即干扰机从接收到威胁雷达信号到发射射频干扰信号的时间； Δf 为频率引导误差， $\Delta \theta$ 为方位引导误差，二者之和为引导误差； K 为增益系数。

箔条干扰弹干扰能力因子模型：

$$A_{DISPB} = \frac{N_b \times P_b \times \sigma_b}{t_b} \quad (9)$$

式中： N_b 为载机携带的箔条干扰弹的数量； P_b 为箔条干扰弹成功发射的概率； σ_b 为单枚箔条干扰弹的有效反射面积； t_b 为箔条干扰弹的散开时间。

红外干扰弹干扰能力因子模型：

$$A_{DISPIR} = \frac{N_{IR} \times P_{IR} \times \sigma_{IR}}{t_{IR}} \quad (10)$$

式中： N_{IR} 为载机携带的红外干扰弹的数量； P_{IR} 为红外干扰弹成功发射的概率； σ_{IR} 为单枚红外干扰弹的有效反射面积； t_{IR} 为红外干扰弹的散开时间。

2.1.4 生存能力

飞机生存力是指飞机躲避或承受人为敌对环境的能力^[14]，因此其对编队的协同作战能力具有

重要作用。构建生存能力模型为:

$$E_S = \ln(1 + A_S) \quad (11)$$

式中: A_S 为生存能力因子。

生存能力因子模型:

$$A_S = \left(\frac{10}{W} \times \frac{15}{L} \times \frac{5}{RCS} \right) \times \left(1 - \frac{A_{vi}}{A_v} \right) \quad (12)$$

式中: W 为飞机的翼展; L 为飞机的全长; RCS 为飞机的雷达有效反射面积; A_{vi} 为飞机表面易损性部件面积; A_v 为飞机的表面积。

2.1.5 通信能力

构建通信能力模型为:

$$E_C(t) = \ln(1 + P_{C1} \times (C_1(t))^{0.3} + P_{C2} \times (C_2(t))^{0.3}) \quad (13)$$

式中: P_{C1} , P_{C2} 分别为无线电台和数据链的可靠性;

$$C_1(t) = \sum_{i=1}^m \frac{R_{C1}}{r_i(t)}, r_i(t) \neq 0, C_2(t) = \sum_{i=1}^m \frac{d_{\max}}{r_i(t)}, r_i(t) \neq 0;$$

$r_i(t)$ 为 t 时刻载机与第 i 架友机的距离; R_{C1} , d_{\max} 分别为无线电台和数据链的最大作用距离。

2.1.6 全向告警能力

根据相关文献[15], 构建全向告警能力模型如下:

$$E_A(t) = \ln(1 + A_I(t) + A_U(t) + A_R(t)) \quad (14)$$

式中: $A_I(t)$ 为红外告警能力因子; $A_U(t)$ 为紫外告警能力因子; $A_R(t)$ 为雷达告警能力因子。

红外告警能力因子模型^[15]:

$$A_I(t) = \begin{cases} \frac{D_{ai} \times P_{dri}}{P_{fai} \times \phi_i \times d_i}, & r(t) \leq D_{ai} \\ 0, & r(t) > D_{ai} \end{cases} \quad (15)$$

式中: D_{ai} 为最大告警距离; P_{dri} 为探测概率; P_{fai} 为虚警率; ϕ_i 为覆盖空域; d_i 为角分辨率。

紫外告警能力因子模型^[16-17]:

$$A_U(t) = \begin{cases} \frac{D_{au} \times P_{dru}}{P_{fau} \times \phi_u \times d_u}, & r(t) \leq D_{au} \\ 0, & r(t) > D_{au} \end{cases} \quad (16)$$

式中: D_{au} 为最大告警距离; P_{dru} 为探测概率; P_{fau} 为虚警率; ϕ_u 为覆盖空域; d_u 为角分辨率。

雷达告警能力因子模型^[18]:

$$A_R(t) = \begin{cases} \frac{D_{ar} \times P_{drr} \times (f_{\max} - f_{\min})}{P_{far} \times \mu_u \times t_r}, & r(t) \leq D_{ar} \\ 0, & r(t) > D_{ar} \end{cases} \quad (17)$$

式中: D_{ar} 为最大告警距离; P_{drr} 为雷达灵敏度; P_{far} 为虚警率; μ_u 为测向精度; t_r 为雷达告警器反应时间; f_{\max} 为频率测量范围的上限; f_{\min} 为频率测量范围的上限。

2.1.7 协同能力

在超视距协同空战中, 协同能力对空战的结果具有至关重要的影响。大多数文献中协同能力主要考虑各作战单元协同的可靠性和可信性^[19]或通过协同系数表示^[20]以及单机作战能力的简单叠加^[21], 本文主要考虑编队队形对协同能力的影响。不同的编队产生的威力分布不同, 对空战态势的影响也不尽相同, 因此在这里定义编队的协同空战能力:

$$K_{co} = \begin{cases} a, & T = 1 \\ b, & T = 2 \\ c, & T = 3 \end{cases} \quad (18)$$

式中: T 表示编队的队形编号; $T = 1$ 表示飞机编队为楔形编队; $T = 2$ 表示飞机编队为垂直编队; $T = 3$ 表示飞机编队为翼形编队。每种编队具有不同的协同能力 a , b , c , 且 $a \neq b \neq c$, $a > 1$, $b > 1$, $c > 1$ 。图 1~3 分别表示了楔形编队、垂直编队和翼形编队产生的威力场。

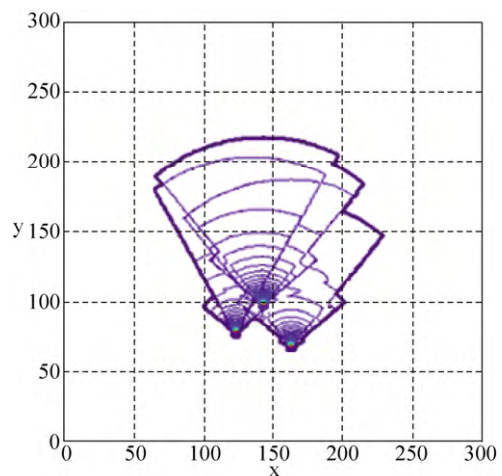


图 1 楔形编队威力分布

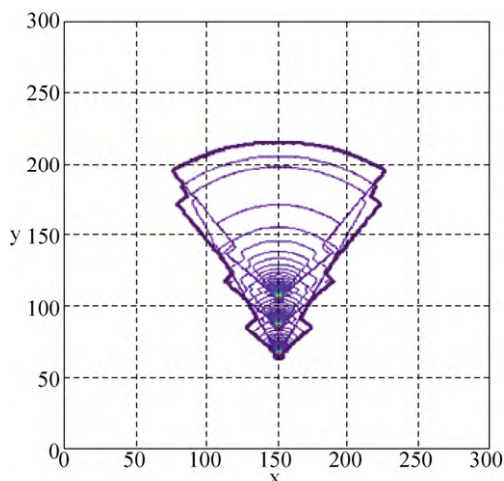


图 2 垂直编队威力分布

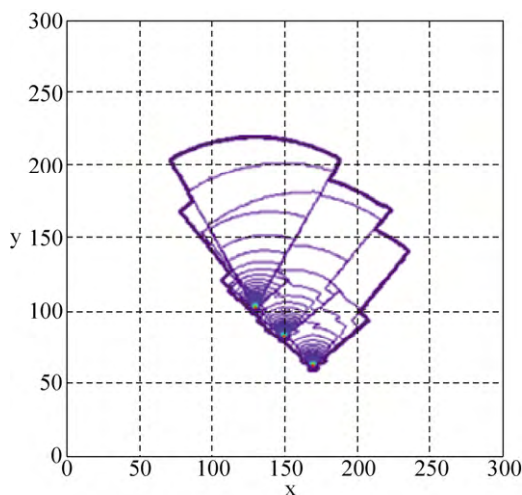


图 3 翼形编队威力分布

2.1.8 权重的确定

记 $A = \{1, 2, \dots, a\}$, $B = \{1, 2, \dots, b\}$ 。为了保证评估结果的客观性,权重的确定采用信息熵法确定,其步骤如下^[22-23]:

Step 1: 根据式(2)~(17)的结果,构建 t 时刻的载机目标能力矩阵 $Z(t) = [z_{ij}(t)]_{a \times b}$, 其中 $z_{ij}(t)$ 表示 t 时刻第 i 型飞机的第 j 项能力, $i \in A, j \in B$ 。对 $Z(t) = [z_{ij}(t)]_{a \times b}$ 进行列归一化,得到 $\tilde{R}(t) = [\tilde{r}_{ij}(t)]_{a \times b}$ 。其中:

$$\tilde{r}_{ij}(t) = \frac{z_{ij}(t)}{\sum_{i=1}^a z_{ij}(t)}, i \in A, j \in B_1 \subseteq B \quad (19)$$

Step 2: 计算能力 $u_j(t)$ ($j \in B_1$) 的输出熵:

$$o_j(t) = \begin{cases} -\frac{1}{\ln(a)} \sum_{i=1}^a \tilde{r}_{ij}(t) \ln \tilde{r}_{ij}(t), \tilde{r}_{ij}(t) \neq 0 \\ 0, \tilde{r}_{ij}(t) = 0 \end{cases}, j \in B_1 \subseteq B \quad (20)$$

Step 3: 计算能力权重:

$$\omega_j(t) = \frac{1 - o_j(t)}{\sum_{k=1}^{b_1} (1 - o_k(t))}, j \in B_1 \subseteq B \quad (21)$$

由式 (21) 可以得到各项能力的权重 $\omega(t) = \{\omega_1(t), \omega_2(t), \dots, \omega_{b_1}(t)\}$ 。

2.2 超视距协同空战中编队的威力场势

设载机编队有 n 个作战单元,则编队威力势可由式(22)得到,其值取为正:

$$E_+(t) = + \sum_{i=1}^n E_i(t) \quad (22)$$

同理,目标编队的威力势可由式(23)得到,值取为负:

$$E_-(t) = - \sum_{j=1}^m E_j(t) \quad (23)$$

3 基于威力场的超视距空战态势评估方法

基于以上模型,给出基于动态威力场的超视距空战态势评估方法:

Step 1: 根据载机和目标的装备及队形信息,由式(2)~(17)得到载机和目标在 t 时刻的各项能力值。

Step 2: 根据载机和目标的各项能力值,构建 t 时刻载机目标能力矩阵 $Z(t) = [z_{ij}(t)]_{a \times b}$, 并按照式(19)~(21)得到 t 时刻的能力权重 $\omega(t) = \{\omega_1(t), \omega_2(t), \dots, \omega_{b_1}(t)\}$ 。

Step 3: 将由以上结果代入式(1)得到的单机威力势,再将结果代入式(22), (23), 得到 t 时刻载机与目标编队的威力势 $E_+(t)$, $E_-(t)$ 。

Step 4: 选取任意 $t + \Delta t$ 时刻,重复步骤 1-3, 得到 $t + \Delta t$ 时刻的空战态势。

4 仿真分析

设红蓝双方各有 3 架飞机进行超视距空战, $t = 0$ 时位置信息如表 1 所示。

表 1 红蓝双初始方位位置信息

X/km	Y/km	Z/km	K_{co}
红方战机			
1	40	60	8
2	40	40	8
3	40	20	8
蓝方战机			
1	110	120	8
2	110	110	8
3	120	110	8

算例中双方战机装备参数参照文献[9,12]。以 $t=0$ 时刻的态势值为例, 进行评估。

Step 1: 根据信息参数, 计算得到载机和目标在 $t=0$ 时刻的各项能力值

Step 2: 根据式(2)~(17)得到的结果, 构建 $t=0$ 时刻载机目标能力矩阵 $Z=[z_{ij}]_{a \times b}$ 。

$$Z = \begin{bmatrix} 18.6575 & 18.5115 & 16.2726 & 6.8618 & 4.0426 & 0 \\ 17.5683 & 18.0256 & 17.3564 & 6.2004 & 5.2331 & 0 \\ 17.3452 & 18.6599 & 16.9648 & 6.4588 & 4.9818 & 0 \\ 17.9637 & 17.6653 & 17.3359 & 6.3321 & 5.4319 & 0 \end{bmatrix}$$

对矩阵 Z 进行列归一化, 得到:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 0.2608 & 0.2541 & 0.2396 & 0.2654 & 0.2053 & 0 \\ 0.2456 & 0.2474 & 0.2555 & 0.2398 & 0.2658 & 0 \\ 0.2425 & 0.2561 & 0.2497 & 0.2498 & 0.2530 & 0 \\ 0.2511 & 0.2424 & 0.2552 & 0.2449 & 0.2759 & 0 \end{bmatrix}$$

由 \tilde{R} 得到输出熵向量:

$$O = \{0.9997, 0.9998, 0.9998, 0.9994, 0.9956, 0\}$$

进而由式(19)~(21)计算得到权重向量:

$$\omega = \{0.0526, 0.0351, 0.0351, 0.1053, 0.7719, 0\}$$

Step 3: 根据得到的结果代入式(1), 得到 $t=0$ 时刻载机和目标的威力势, 将其代入式(22),(23)可以得到 $t=0$ 时刻载机和目标编队的威力势:

$$E_+(0) = + \sum_{i=1}^n E_i(0) = 19.7620$$

$$E_-(0) = - \sum_{j=1}^m E_j(0) = -19.7545$$

图 4~5 分别描绘出红蓝编队在逐渐接近的过程中的态势信息。红方编队采取的是翼形编队, 蓝方采取的是楔形编队。可以看到, 随着双方编队的不断接近, 各自的威力场也在不断发生着变化。

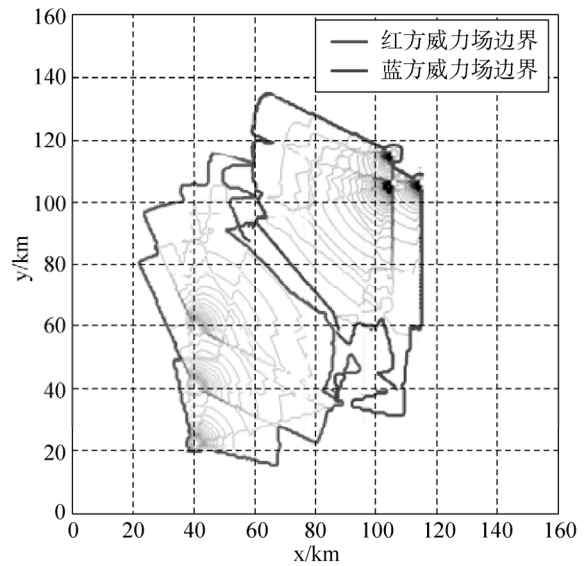


图 4 $t=0$ 时刻编队距离 $R=86.4$ km 时的空战态势

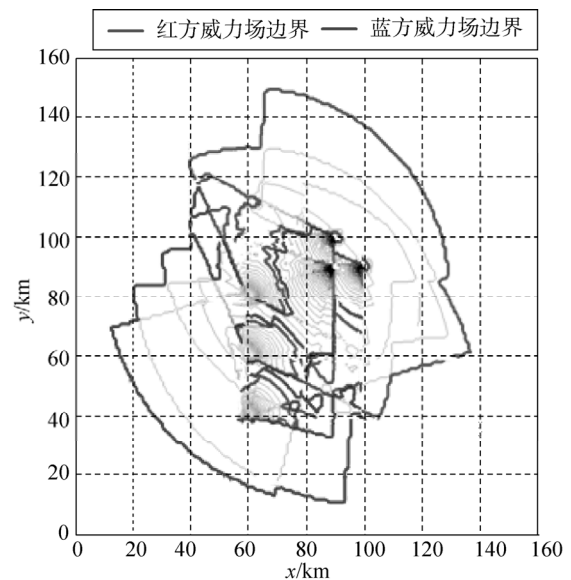


图 5 $t=5$ 时刻编队距离 $R=40.5$ km 时的空战态势

由于空战中对抗双方编队之间有一架飞机探测到对方编队中的任意一架飞机即意味着整个编队对对方编队产生了威力, 因此在文中定义编队之间的距离为两个编队中相距最近的飞机之间的距离。从图 4 可以看到, $t=0$ 时刻编队距离 $R=86.4$ km 时, 编队的队形在红蓝双方的威力分布中起着非常大的影响。图 5 描述了 $t=5$ 时刻编队距离 $R=40.5$ km 时, 由于红蓝双方都进入了对方雷达、导弹的威力区域, 且除载机自带告警设备以外, 自身后方并不存在产生威力的设备, 因此双方

的威力已经可以延伸到对方编队的后方空域,且威力分布相对对方的前方更为广阔。从图 5 和图 6 可以看到,红方编队在蓝方编队侧翼的优势较为明显,特别是红方 1 号机产生的威力已经覆盖蓝方编队后方的大部分空域。

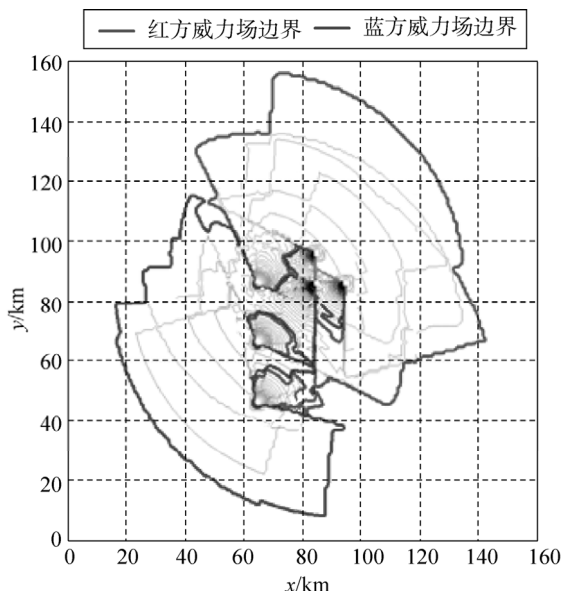


图 6 $t=10$ 时刻编队距离 $R=22.2$ km 时的空战态势

在另一侧,红方 3 号机产生的威力虽然受到蓝方编队威力的作用,影响空域有限,但是其威力分布已经接近与 1 号机产生的威力区域相联。因此红方的 1、3 号机可以将蓝方编队的两翼作为空战占位的机动方向。而红方 2 号机由于处于蓝方编队的正前方,威力场受到的削减较为明显,因此在态势上对其极为不利。而蓝方的威力场在受到红方威力场的作用后,在编队的正前方的威力场被削减的程度较强,但是由于编队队形的作用,在其编队前方的方向上,红方 2 号机已经完全被蓝方的威力场包围,总体来看蓝方在此方向上仍然具有较为明显的优势,因此该方向可以作为蓝方的重点机动方向。

5 结论

为解决超视距协同空战态势评估中非参量法模型简单以及无法直观、形象、连续的体现编队的具体空战态势的问题,本文提出动态威力场的概念

并将其应用于超视距协同空战的态势评估。构建了动态威力势模型,体现出对抗双方威力的相互作用,从而连续的表现出双方对抗下的空战态势变化。最后利用仿真算例进行了验证,结果表明文中所提出的威力场模型能够直观、全面以及连续地体现出当前双方编队的空战态势,不仅可以提高战场决策者决策的效率和质量,还可以利用威力场的分布为编队的目标分配和单机的机动决策做铺垫。

参考文献:

- [1] 李闯,端木京顺,雷英杰,等. 基于认知图和直觉模糊推理的态势评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(10): 2064-2068.
- [2] 吴文海,周思羽,高丽,等. 基于导弹攻击区的超视距空战态势评估改进法[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(12): 2679-2685.
- [3] 肖亮,黄俊,徐钟书. 基于空域划分的超视距空战态势威胁评估[J]. 北京航空航天大学学报, 2013, 39(10): 1309-1313.
- [4] 高永,向锦武. 一种新的超视距空战威胁估计非参量法模型[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(9): 2570-2572, 2592.
- [5] 肖冰松,方洋旺,胡诗国,等. 一种新的超视距空战威胁评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(9): 2163-2166.
- [6] 孙永芹,马响玲,叶文,等. 超视距多机协同多目标攻击系统研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(8): 2161-2164, 2199.
- [7] Duong Nguyen, David C Fisher, Ryan L Stephens. A Graph-Based Approach to Situation Assessment [J]. Aiaa Journal, 10.2514/6.2010-3316.
- [8] Rick L Pavlik, Mark J Gerken, Carl H Houghton, et al. Situation Assessment Using Uncertain Data [J]. Aiaa Journal, 20-22, 2010-3317.
- [9] 周焘,任波,于雷. 基于威力场的空战分析建模[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(2): 738-745.
- [10] 周焘,任波,于雷. 战斗机指挥引导中的威力场模型[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(9): 84-91.
- [11] 史建国,高晓光,李相民. 基于离散模糊动态贝叶斯网络的空战态势评估及仿真[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(5): 1093-1100.
- [12] 傅裕松,黄长强,韩统,等. 飞机空战能力评估综合指数模型[J]. 光电与控制, 2009, 16(9): 24-28.
- [13] 金镭,张曙光,孙金标. 现代战斗机空战能力评估及敏感性分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2009, 35(1): 82-86.

(下转第 1600 页)

作战能力的途径,虽然本质上使感知能力得到提高,但却并不能解决红方作战能力比蓝方下降速率快的问题。

4 结论

通过构建体系对抗下指挥信息流程 SD 模型及感知环节仿真分析可知,感知节点数量与信息速率都是制约作战能力提升的关键因素,同时,对抗双方作战力量之间存在一定的线性反比关系,因此,作战力量的合理分配是作战能力最大发挥的关键。指挥信息流程是能否实现将信息优势经由感知优势和决策优势转化为行动优势的决定因素^[8],感知是整个流程中的首要环节,运用 SD 对体系对抗下的指挥信息流程感知环节进行研究,有利于贴近实战下找准指挥信息流程中的各环节之间、各要素之间的因果关系,为作战指挥流程要素分析、优化设计与整合及作战体系对抗具有较好的参考价值。但是,本文的实验内容仅仅是对感知环节进行仿真分析,作为指挥信息流程的另一个重要环节——决策控制,是整个流程的核心部分,因此,下一步将针对指挥信息流程决策环节中各因素对作战能力的

影响进行深入研究。

参考文献:

- [1] Jeffery R Cares. An Information Age Combat Model [C]// International Command and Control Research and Technology Symposium. Virginia: Alidade incorporated press, 2004: 325-348.
- [2] Sean Deller, Ghaith Rabadi, Andreas Tolk, *et al.* Organizing for Improved Effectiveness in Networked Operations [J]. Military Operations Research (S1082-5983), 2012, 17(1): 5-16.
- [3] 李小全, 蓝鹏飞, 程懿. 基于 SD 的网络中心作战炮兵营对抗建模与仿真 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(7): 1496-1500.
- [4] 黄建明, 高大鹏. 基于 OODA 环的作战对抗系统动力学模型 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(3): 561-564.
- [5] 商长安. 空防对抗仿真的系统动力学模型研究 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21(19): 5994-5997.
- [6] 黄仁全, 李为民. 空防体系网电对抗系统动力学分析 [J]. 军事运筹与系统工程, 2012, 26(4): 44-48.
- [7] 董连山. 基于信息系统的体系作战研究 [M]. 北京: 国防大学出版社, 2012.
- [8] Walter Perry, David Signor, John Boon. Exploring Information Superiority: A Methodology for Measuring the Quality of Information and Its Impact on Shared Awareness [R]. USA: RAND, 2004.
- [9] 夏庆军, 张安, 张耀中. 战斗机编队协同作战效能评估研究[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(9): 2182-2189.
- [10] 黄俊, 滕鹏, 于雷, 等. C4ISR 多传感器跟踪资源协同分配方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21(3): 851-867.
- [11] 黄国庆, 王明绪. 基于 ADC 模型的多机协同作战效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(10): 126-129.
- [12] 汪泽焱, 钱祖平. 基于最劣方案的指标赋权法及其应用[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(11): 5-7.
- [13] 郭辉, 徐浩军, 刘凌. 基于区间数的预警机作战效能评估[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(5): 1007-1010.
- [14] 杨哲, 李曙林, 周莉, 等. 飞机作战生存力设计参数灵敏度分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2013, 39(8): 1096-1101.
- [15] 张爱珍, 王延新. 机载红外告警技术分析[J]. 航天电子对抗, 2013, 29(6): 5-7.
- [16] 胡绍华, 杨丽娜. 导弹紫外告警技术综述[J]. 飞航导弹, 2005, 35(3): 33-36.
- [17] 胡绍华, 冷锋, 卢峰. 紫外告警技术综述[J]. 舰船电子对抗, 2005, 28(1): 12-15.
- [18] 周帆, 陈兴凯, 韩壮志, 等. 机载雷达告警接收机的现状及技术发展趋势[J]. 飞航导弹, 2014, 44(2): 41-46.

(上接第 1590 页)