

引用格式:孙庆鹏,李战武,徐安.基于九宫格与威力场的态势显示与辅助决策方法[J].电光与控制,2018,25(11):93-97. SUN Q P, LI Z W, XU A. Situation display and assistant decision-making method based on Sudoku and combat power field[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(11): 93-97.

## 基于九宫格与威力场的态势显示与辅助决策方法

孙庆鹏, 李战武, 徐安  
(空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038)

**摘要:** 针对现有空战态势显示结果不直观、不便于飞行员使用的问题,基于三维威力场,提出一种基于九宫格的态势显示与辅助决策方法。该方法使用威力势公式计算态势平面上的威力势分布,使用改进下采样法对态势平面求均值,使用TOPSIS法与可拓K近邻算法计算相对威胁等级,并给出建议飞行方向。仿真算例验证了方法的有效性。研究结果表明使用九宫格进行态势显示与辅助决策对作战决策能够满足作战需要。

**关键词:** 空战态势; 态势评估; 九宫格; 威力场; 态势显示; 辅助决策

中图分类号: V271.4 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2018.11.018

## Situation Display and Assistant Decision-Making Method Based on Sudoku and Combat Power Field

SUN Qing-peng, LI Zhan-wu, XU An

(Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

**Abstract:** In view of the problem that the display result of air combat situation is not intuitional and not convenient for use, a method for situation display and assistant decision-making based on Sudoku and the three-dimensional combat power field is given. This method uses combat power formula to calculate the power distribution on the situation plane, the improved down-sampling to calculate the average of the situation plane, and the TOPSIS and K nearest neighbor algorithm to calculate the relative threat level. Then, the recommended flight direction is given. Simulation result proved the validity of the method. The result of research shows that using Sudoku is helpful for situation display and assistant decision-making.

**Key words:** combat situation; situation assessment; Sudoku; combat power field; situation display; assistant decision-making

### 0 引言

态势评估<sup>[1-2]</sup>属于信息融合中二级融合处理范畴,是对战场上敌、我及战场环境的综合情况和事件的定量或定性描述,以及对未来战场情况或事件的预测。态势估计的结果是形成态势分析报告、情况判断结论和战场综合态势图,为指挥员作战指挥提供辅助决策信息。态势评估受到国内外学者广泛关注,但对于态势显示<sup>[3-5]</sup>,特别是如何给飞行员显示的研究却寥寥无几。

现有方法不论是评价相对态势<sup>[6-8]</sup>还是绝对态

势<sup>[9-12]</sup>,其评估结果通常是数值形式,如果仅用于指挥系统进行评估与决策,是能够满足需要的。但对于飞行员来说,数值形式的结果很不直观,需要耗费时间逐个分析,这在激烈的空战中是不能被接受的。基于人机工效学<sup>[13]</sup>考虑,使用图像来代替数值进行显示更直观,同时使用色彩表示数值大小能增大区分度,能够减少判断分析的时间,便于飞行员快速了解态势,进行决策。

本文立足于战斗机飞行员作战需要,针对现有态势显示方法的缺陷,使用威力场评估目标动态威胁,提出一种基于九宫格的态势显示与辅助决策方法。

### 1 问题分析

当前的态势评估,即使其在计算时考虑了高度因素,但仍是二维平面图的形式显示其结果,如文献<sup>[14]</sup>。

即便是美军飞行员用来获得空中态势感知的圆心

收稿日期:2017-12-11 修回日期:2018-01-04

基金项目:国家自然科学基金(51779263)

作者简介:孙庆鹏(1994—),男,江苏连云港人,硕士生,研究方向为先进航空综合火力控制原理。

卡,如图 1 所示,也不能反映高度因素。

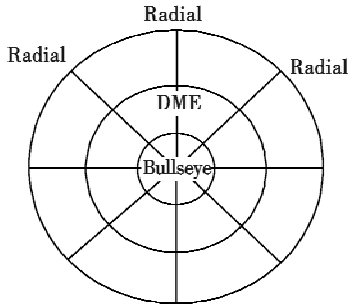


图 1 圆心卡  
Fig. 1 Bullseye card

根据上述分析可知,现有的二维平面态势图缺乏预测性且不能体现空战场的高度因素,之所以缺乏预测性,是因为其不能体现双方态势的变化趋势。基于上述原因,本文使用威力场理论<sup>[15-16]</sup>进行态势评估,由于威力场是描述作战单元对空间的态势影响能力,因此其能够体现高度因素对态势的影响,且具有一定的预测性。

但直接应用三维威力场来显示态势信息仍存在一定缺陷:对于一些特定角度需要飞行员手动操作进行变更才能显示;如图 2 所示,同时随着空域内飞机增多,图像也会变得愈加复杂。

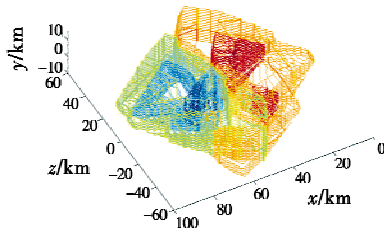


图 2 3 对 3 空战态势  
Fig. 2 The air combat situation of 3 vs 3

实际上,飞行员最需要的是快速了解不同飞行方向上的相对态势关系,全局态势反而并不重要。因此借鉴平视显示器的显示方法,本文提出通过截取三维威力场以获得态势平面,提取主要内容进行处理并显示。

态势平面:设与载机距离最近的目标距离为  $R$ ,在瞄准线(飞行员通过火控系统显示器显示的瞄准标志进行观察所形成的视线)上距离载机的  $x$  处构建一个与瞄准线相垂直且不包含瞄准线的平面。用该平面截取目标机威力场,可得到该平面上的目标威力势分布。显示距离  $x$  的计算方法如下

$$x = \begin{cases} 2R/3 & x \geq L_1 \\ 0.618R & L_1 > x \geq L_2 \\ 2/R & L_2 > x \geq L_3 \\ 4/R & x < L_3 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $L_1$  为目标探测距离; $L_2$  为目标导弹最大发射距

离; $L_3$  为目标导弹最小发射距离。

之所以如此设置  $x$ ,一方面是因为目标在不同的相对距离时,载机的主要应对策略也不同,将  $x$  的变化与攻击距离相关联,能够更好地体现态势紧迫程度的变化;另一方面,通过相对距离的变化调节威胁显示距离,能够使系统同时具备前瞻性与实时性。

设目标机速度为 300 m/s,与载机处于同一高度,双方姿态角均为  $0^\circ$ ,携带 2 枚近距红外导弹与 2 枚远距雷达弹,在以载机为原点的飞机坐标系内,相距 20 km 的迎头目标机群威力势分布的等值线阴影如图 3 ~ 图 5 所示。

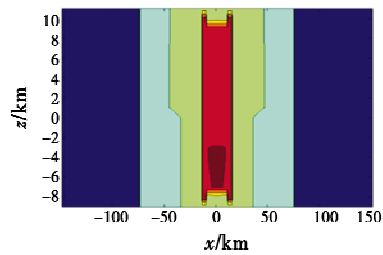


图 3 单机威力势分布图

Fig. 3 Single aircraft's combat power distribution

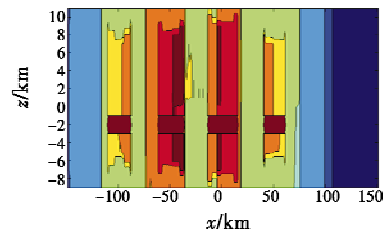


图 4 4 机威力势分布图

Fig. 4 Four aircraft's combat power distribution

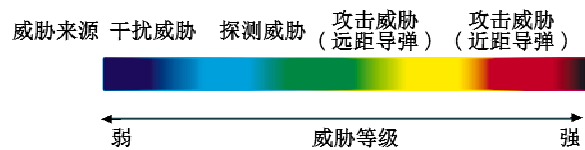


图 5 威胁等级对应色谱

Fig. 5 The chromatography of the threat level

观察图 3 可知,在一对一空战对抗中,直接使用等值线阴影图可以较为直观地显示威力势分布状况,能够满足作战需要。而一旦目标数增加,就需要用更多颜色来区分威力势间的差距,这会给飞行员的判断造成困难,如图 4 所示,就很难快速地从图上分辨出何处威胁更大,影响了决策的速度与准确性。因此对态势平面进行处理是很有必要的。

## 2 基于九宫格的态势显示方法

### 2.1 建立方法

态势九宫格建立的方法是:以十字标线为中心用“三分法则”将态势平面分割成一个九宫格,将威力势

分布进行概括并通过该九宫格直观地显示各个方向上的威胁大小,给载机飞行员提供决策参考。

为了避免飞行员视觉疲劳,也为了显示的连续性,九宫格的大小应固定不变,但其代表的实际距离应是变化的。设九宫格横轴对应水平距离,纵轴对应垂直高度。由于相对距离与威力势变化强弱相关,为了实现在较远处显示更全面的态势,同时在较近处将威力势分布细化,九宫格代表的实际距离应与相对距离正相关。综合考虑飞机的运动能力和空战需求,本文设每一小格横轴的对应距离为  $R$ ,而由于飞机在俯仰方向上的变化较慢,因此九宫格纵轴代表的距离应相对较短,本文设每一小格纵轴的对应距离为  $R/30$ 。

## 2.2 九宫格的优点

使用九宫格来显示威力势分布有以下优点。

1) 能够很好地契合飞机的机动方向。无论多复杂的机动动作,都可以分解为 11 种基础动作。通过九宫格,可以很好地体现这些方向上的目标威力势分布,做到显示的态势与可选择的飞行方向相契合。

2) 九宫格源自著名的黄金分割,研究表明,在九宫格的 4 条线交汇的 4 个点是人视觉最敏感的地方,在摄影理论中又称这 4 个点为“趣味中心”。这种构图格式符合人们的视觉习惯,具有突出主体,并使画面趋向均衡的特点。

3) 便于归纳威力势分布,避免了在多目标态势下等值线阴影图的杂乱无序。同时能够充分利用计算机对图像进行概括总结,简化显示内容,有助于飞行员快速获得各方向上的态势信息。

## 2.3 概括方法

确定建立方法后,为了下一步的显示,需要对每一格中的威力势分布进行概括。为了确保精度,威力场的计算与构建通常是由预警机或地面指挥平台完成,其步长约为 100 ~ 500 m,计算量很大。而显示则要依靠机载计算机完成,如果直接对每一方格内的所有威力势值求平均,由于机载计算机性能有限,必然会造成实时性降低,影响作战使用。

因此,考虑使用下采样方法来减少运算量。但通过观察图 3 发现,有时重点区域占一格内的比重很小,如果采用随机下采样方法进行处理,很容易造成重要信息损失,影响最终结果。为减少数据信息损失,本文使用基于  $K$  均值聚类的下采样方法<sup>[17]</sup>。

该算法首先对多数类样本进行聚类,划分为  $K$  个簇,其中  $K$  与少数类样本数目相当。然后对每一个聚类簇,计算它们的样本中心,并用这些样本中心替代原来的多数类样本,实现下采样。该算法不对多数类样本进行简单的随机采样,避免了重要样本的丢失。通

过对多数类样本集进行聚类,求样本中心的方法,既保留了原始样本的分布信息,又降低了多数类样本的数目,降低了类之间的不平衡度,因此算法可以有效提高不平衡分类问题上的分类器性能。使用该算法既能减少计算量,又能够保留原始态势分布信息,满足机载计算机的限制与实际使用的精度要求。

## 2.4 显示与优化

使用下采样计算威力势均值后,还存在如何对结果进行显示的问题。一幅图像反映客观场景或目标的真实性和准确性将影响人的观察和理解的效果。但另一方面,如果图像过于强调还原真实情况,就会使显示图像变得极为复杂,不便于机载显示器显示。同时,复杂的图像也让飞行员很难快速地从图中找到自己需要的信息。

根据图 3 的条件仿真发现,如果直接使用每一小格的威力势均值来进行显示,对于威力势差距较小的方格不能很好地进行分辨,且没能将高威力势区域之间的差距表现出来,即主要信息有缺失。

基于上述分析,态势显示应尽量保留原图像的内容,突出不同方格代表的威力势差距,但同时要使显示颜色尽量少。

为了满足上述要求,在文献[18-19]中确定威胁等级方法的基础上,使用 TOPSIS 法<sup>[20]</sup>与可拓  $K$  近邻算法<sup>[21]</sup>联合确定相对威胁等级。为了减少最终图像的色彩数量,对威胁等级的数量进行限制,基于人机工效与显示需要,本文设定最多有 4 级。

对于来袭导弹,直接将其来袭方位所在的九宫格威胁等级设为 1 级并闪烁。对于相对威胁等级相同的方格,再用颜色的深浅表示它们之间的差距。对于显示颜色的选择,应根据机载显示平台的特点、国军标的颜色设置以及人机工效最优化确定。但为了增强仿真结果的区分度,本文中的结果按照图 5 威胁等级对应色谱进行显示。

通过划分相对威胁等级,可以有效地处理图像,其结果如图 6 所示。

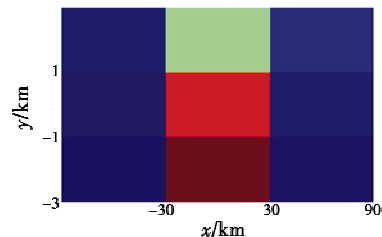


图 6 按相对威胁等级显示

Fig. 6 Display according to relative threat level

由图 6 可以看出,通过划分威胁等级后按照九宫格进行显示,能在提升高威胁区域区分度的同时保留低威

胁区域的原有特性,最大限度保留了原图像的内容。

### 2.5 辅助决策

辅助决策的方法有很多,包括航路规划<sup>[22]</sup>、机动决策<sup>[23]</sup>和战术决策<sup>[24]</sup>等多种。本文利用九宫格显示图像的特点,给出一种控制较为自由的方法,即建议飞行方向,这种方法的好处是能够充分发挥飞行员的作用。

建议飞行方向是通过计算载机与目标的相对态势及其变化趋势得出。相对态势计算方法如下。

设载机飞行至态势平面后位于点A,目标机位于点B,目标机威力势为U,载机威力势为K,则目标机对载机威力势为U<sub>A</sub>,载机对目标机威力势为K<sub>B</sub>,则相对态势T为

$$T = K_B - U_A \quad (2)$$

若 T > 0,则我方处于优势;若 T < 0,则我方处于劣势;若 T = 0,则双方均势。

由于每个小格内相对态势的优劣可能不同,对于每点载机的到达概率也不同,因此通过给每点设权值的方法,对每小格计算加权后的相对态势均值。具体算式为

$$T = \sum_{i=1}^n (T_i \times w(r_i, h_i)) / n \quad (3)$$

式中:T<sub>i</sub>为i点处的相对态势值;w(r<sub>i</sub>)为i点对应的权值;r<sub>i</sub>为i点相距中心的距离;h<sub>i</sub>为i点与中心的高度差。

但仅仅比较当前时刻的相对态势还不够,还应该比较双方的变化趋势。

利用梯度函数可以判断威力势的变化率。考虑一对空战情况,目标机威力势在A点处的变化率用梯度表示为

$$\text{grad}(U_A) = \partial U_A / \partial x + \partial U_A / \partial y + \partial U_A / \partial z \quad (4)$$

在标量场中某一点上的梯度指向标量场增长最快的方向,其相反的方向则为减小最快的方向。由于目标机威力势为负,因此向目标机威力势增大的方向运动,可以降低目标对载机的威胁。

当载机在某一方向能保持优势或进入优势时,将该方向设为建议飞行方向,给对应小格加白色圆形标记,如图7所示。

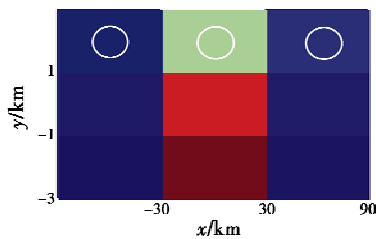


图7 建议飞行方向显示图

Fig.7 The display image of suggested flight direction

### 2.6 工作过程

综上所述,通过九宫格法进行态势显示的工作流

程如图8所示。

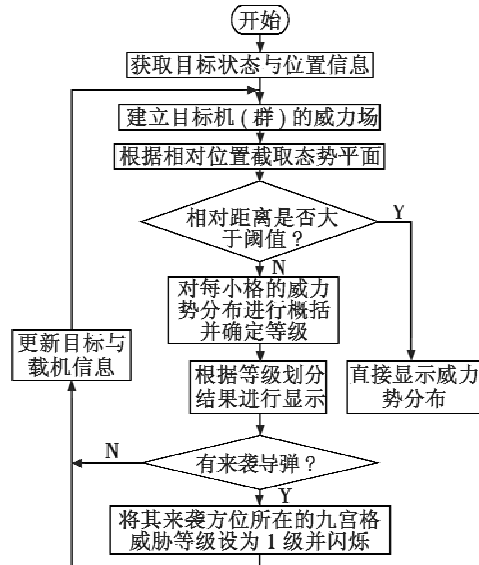


图8 态势显示图像建立流程图

Fig.8 The flow chart for establishing situation display image

### 3 仿真验证

为进一步验证九宫格法的有效性,同时使用九宫格、圆心卡以及三维地形系统根据第1章中的条件进行仿真,得到结果如图9所示。

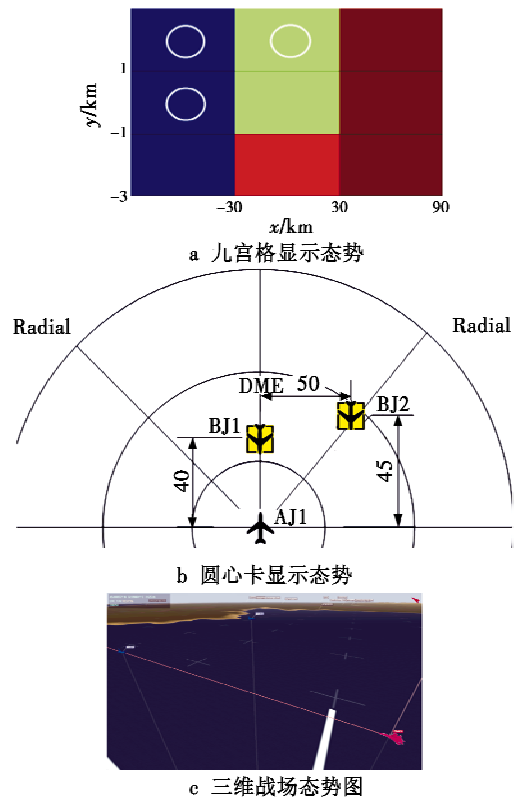


图9 仿真结果

Fig.9 Simulation results

可以看到,图9a比图9b、图9c更简化,更直观地



显示出态势评估的结果。这说明利用九宫格法进行态势显示,能够简化显示图像,便于飞行员了解各方向上的态势差异,在单纯的空战中作用显著。但是其在整体态势及任务目标的显示方面有所欠缺,因此在作战时还应该与圆心卡等方式配合使用。

#### 4 结束语

本文从作战需要出发,基于三维威力场理论,提出了一种基于九宫格的态势显示与辅助决策方法。仿真结果证明该方法的显示结果直观明了,既保留了原图像特征,又增强了各方向间的对比度,为态势显示提供了一种新思路。

但本文方法没有考虑载机担负任务的影响,辅助决策也没有考虑飞机气动性能限制,给出的方向可能不易到达。因此,在实际运用中需要将其与任务规划系统、飞控系统相结合,才能更好地进行辅助决策。

#### 参考文献

- [1] WANG Y. A novel situation assessment model based on connection potential[C]//International Conference on Communications, 2016:126-143.
- [2] DURSO F T, HACKWORTH C A, TRUITT T R, et al. Situation awareness as a predictor of performance for en route air traffic controllers [J]. Air Traffic Control Quarterly, 2016, 6(1):1-20.
- [3] ERLANDSSON T, MOLANDER S, ALFREDSON J, et al. Challenges in tactical support functions for fighter aircraft [C]//Proceedings of the 3rd Skövde Workshop on Information Fusion Topics, Skövde; Högskolan I Skövde, 2009: 39-43.
- [4] DEREFELDT G, SKINNARS O, ALFREDSON J, et al. Improvement of tactical situation awareness with colour-coded horizontal-situation displays in combat aircraft [J]. Displays, 1999, 20(4):171-184.
- [5] DAI H Y, NIN L I, CUI J L, et al. Analysis and simulation of air defense weapon system complicated electromagnetic environment effect[J]. Journal of China Academy of Electronics & Information Technology, 2013, 8(1):64-69.
- [6] 杨荣,李长军,龚华军.一种适用于四代机的多目标威胁评估算法[J].电光与控制,2014,21(10):5-9,46.
- [7] 蒙小飞,杜海文,封普文.基于高斯云贝叶斯网络的空战态势评估[J].计算机工程与应用,2016,52(15):249-253.
- [8] 胡云安,刘振,史建国.态势评估的变结构区间概率动态贝叶斯网络方法[J].系统工程与电子技术,2013,35(9):1891-1897.
- [9] GROSS G, NAGI R, SAMBHOOS K. A fuzzy graph matching approach in intelligence analysis and maintenance of continuous situational awareness [J]. Information Fusion, 2014, 18(1):43-61.
- [10] BONISSONE P P. Using T-norm based uncertainty calculi in a naval situation assessment application [J]. Computer Science, 2013(2):328-329.
- [11] MA S, YANG G, ZHANG H, et al. Target threat level assessment technology based on cloud model and Bayesian revision in air combat simulation [J]. Aerospace Science & Technology, 2017, 67(8):49-53.
- [12] XUAN Y B, HUANG C Q, LI W X. Air combat situation assessment by gray fuzzy Bayesian network [J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 69(6):114-119.
- [13] LI W, YU C, BRAITHWAITE G, et al. Pilots' attention distributions between chasing a moving target and a stationary target [J]. Aerospace Medicine and Human Performance, 2016, 87(12):989-995.
- [14] 周思羽,吴文海,曲志刚,等.基于非参量法的空战态势评估分析 [J]. 航空计算技术, 2011, 41(4):13-16, 20.
- [15] 李战武,常一哲,杨海燕,等.基于动态威力场的协同空战态势评估方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2015, 27(7):1584-1590, 1600.
- [16] 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(3):738-740.
- [17] 晁学鹏.一种基于 K 均值聚类的下采样算法 [J]. 科技通报, 2013, 29(8):73-75.
- [18] 汤志荔,张安.战场威胁估计理论与方法研究 [J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(9):1-4.
- [19] 彭方明,邢清华,王三涛.基于 Vague 集 TOPSIS 法的空中目标威胁评估 [J]. 电光与控制, 2010, 17(10):23-27.
- [20] 张堃,周德云.基于熵的 TOPSIS 法空战多目标威胁评估 [J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(9):1493-1495.
- [21] 杨仪,向长城,魏代俊.可拓 K 近邻算法在数据聚类分析中的应用 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(21):156-159.
- [22] FAHLSTROM P G, GLEASON T J. 无人机系统导论 [M]. 吴汉平,译.北京:电子工业出版社,2014.
- [23] 顾佼佼,赵建军,刘卫华.基于博弈论及 Memetic 算法求解的空战机动决策框架 [J]. 电光与控制, 2015, 22(1):20-23.
- [24] 张立鹏,魏瑞轩,李霞.无人作战飞机空战自主战术决策方法研究 [J]. 电光与控制, 2012, 19(2):92-96.