

基于动态聚类分析的空袭编队判断模型

曹泽阳¹, 王颖龙¹, 任宝祥²

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 空军工程大学 科研部, 陕西 西安 710051)

摘要:空袭编队是由担负不同作战任务的飞机组成的战术机群,其分布是防空作战指挥员分析空袭企图和定下作战决心的重要依据。空袭编队具有数量多、分布范围大,空情分析要求实时性强的特点,依据空中目标的数据特征,首先建立了基于动态聚类法对空中目标群进行分类的方法和步骤,该算法具有较好地收敛性,能够满足防空指控系统的高实时性要求。在此基础上提出了目标群内和目标群间作战参数的计算方法,并依据空袭编队数量分布及航路捷径给出了主要来袭方向和攻击企图分析模型。最后给出了一个具体算例,其运行结果与指挥员的判断基本吻合。工程实际应用表明,该模型能对空中目标进行快速聚类,可为区域防空指挥员准确掌握空情和快速决策提供量化依据。

关键词:动态聚类分析;空袭编队;态势分析;模型

中图分类号: N945.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)04-0006-04

防空作战中看似纷繁、杂乱的空中目标其实都是有其分布规律性的,航空兵为突破对方防空体系,增大突击效果和保障自身安全,一般都是由担负不同任务的飞机编队组成战术机群,其空中目标群分布是分析其空袭企图的重要依据。空袭编队是指担负一定空袭作战任务的航空兵作战单元,空袭编队判断分析就是基于对空中态势元素的综合分析来判断空中战场态势,掌握空袭的样式,推断空袭企图,并对作战态势变化进行预测,为科学决策提供支持。只有对空情做出正确的分析判断,才能在防空作战中始终处于主动地位。

通常,防空作战指挥员主要凭借防空战斗经验和专业知识的积累对空中目标进行人工判别与分类,而聚类分析作为一种量化方法,可从数据分析的角度,通过建立相似性度量,给出一个更准确、细致分类的工具。空袭编队的动态聚类分析,就是根据空袭编队的数据特征将空中分散的目标进行聚合,分清空袭编队的分布情况,找出其活动规律,从而为区域防空指挥员准确掌握空情和科学决策提供参考。

1 空袭编队动态聚类分析基本模型

聚类分析中可将空中 n 批目标视为 n 个样本,对它们进行分类,使得每一类内的元素都是聚合的,并且类与类之间还能很好地区别开来。由于空中目标数量多、分布范围大,空情分析要求实时性强,动态聚类的聚类计算速度比通常的系统聚类法快许多,其算法具有收敛性,能够满足防空指控系统对算法的高实时性要求^[1]。动态聚类分析的基本思想是运用计算方法中的迭代法,先给一个粗糙的初始分类,然后用某种原则进行修改,直至分类比较合理为止。

设待聚类的空中目标群由 n 个样本组成样本集^[2]:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1)$$

对于每一批空中目标 x_i ,可以从方位角 β_i 、距离 d_i 、水平速度 v_i 、航向角 θ_i 、高度 H_i 等 5 个聚类特性指标进行分类描述,具体可表述为

收稿日期:2007-10-36

基金项目:国家高等学校骨干教师计划资助项目(GG-1105-90039-1004)

作者简介:曹泽阳(1967-),男,辽宁盘锦人,教授,博士生导师,主要从事防空作战理论与决策分析研究;

E-mail:czyer08@163.com

王颖龙(1945-),男,陕西富平人,教授,博士生导师,主要从事防空作战指挥运筹分析研究。

$$x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}, x_{i5}\} = \{\beta_i, d_i, v_i, \theta_i, H_i\} \quad (2)$$

空袭编队动态聚类的基本步骤是:

1) 计算相似程度指标。对于一群待分类的样本点有 p 个指标, 每个样本点可以看成是空间 R^p 中的一个点。因此, 可以用“距离”来度量样本间的相似程度。通常采用的是欧氏距离, 优点是当坐标轴进行正交旋转时, 欧氏距离保持不变, 其计算公式如下:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (3)$$

称 d_{ij} 为样本 x_i 和 x_j 之间的距离。

2) 选择聚点。聚点是一批有代表的点, 是形成类的中心。其选择的方法主要有: 经验选点法、随机选点法、极大极小法、界值确定法和密度法。根据空中目标的数据特征, 本文选用界值确定法: 对于确定的正数 d , 把所有样品的重心作为第一聚点, 然后把每一样本输入, 如果输入样本与已确定的聚点的距离大于 d , 则该样本作为一个新聚点, 否则不计入聚点集。如此直到所有样本输完为止。

3) 初始分类。对于取定的聚点, 视每个聚点为一类, 将剩余样本依次归入最近聚点, 并计算新类的重心, 以此重心代替原聚点而成为新聚点, 再进入下一样本, 并按同样方法处理。第 j 个新类的重心 \bar{x}_{jk} 计算式为

$$\bar{x}_{jk} = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} x_{ik} \quad (4)$$

式中: m_j 为第 j 个新类内目标的数量; x_{ik} 为第 i 个目标的第 k 个指标。

4) 修改分类。对确定的聚点, 根据已定义的样本之间的相似度, 对各样本按距离最近原则进行聚点归类, 即得到初始分类。分别算出上述各类的重心, 再以这些类重心作为新的聚点, 再重复, 直至所有的聚点都与前一次的聚点重合, 聚类过程结束。

2 空袭编队参数的计算

2.1 空袭编队间参数的计算

空中目标经聚类后, 可划分成 k 个空袭编队, 每个编队由 n_i 批目标组成, 此时空中飞机可描述为^[3-4]

$$G = \{G_1, G_2, \dots, G_k\}, \quad G_i = \{x_{ip}, p = 1, 2, \dots, n_i\} \quad (5)$$

$$\text{第 } i \text{ 个空袭编队相对雷达站方位角: } \bar{\beta}_i = \beta_{i\min} + \beta_{i\max} - \beta_{i\min}/2 \quad (6)$$

$$\text{第 } i \text{ 个空袭编队相对雷达站距离: } \bar{d}_i = \min\{d_{ip}, p = 1, 2, \dots, n_i\} \quad (7)$$

$$\text{第 } i \text{ 个空袭编队航向角: } \bar{\theta}_i = \sum_{p=1}^{n_i} \theta_{ip}/n_i \quad (8)$$

$$\text{第 } i \text{ 个空袭编队速度: } \bar{V}_i = \sum_{p=1}^{n_i} V_{ip}/n_i \quad (9)$$

$$\text{第 } i \text{ 个空袭编队与第 } j \text{ 个编队间批次间隔: } \bar{\Delta t}_{ij} = (d_i - d_s)/v_i - (d_j - d_s)/v_j \quad (10)$$

式中: $\beta_{i\min}, \beta_{i\max}$ 分别为第 i 个空袭编队内目标的最小和最大方位角; d_{ip} 为编队内第 i 批目标距雷达站的距离; d_s 为火力单元杀伤区远界水平距离; v_i, v_j 分别为第 i, j 个空袭编队速度。

2.2 空袭编队内参数的计算

$$\text{第 } i \text{ 个空袭编队内第 } p \text{ 批与第 } q \text{ 批目标批次间隔: } \bar{\Delta t}_{pq} = (d_{ip} - d_s)/v_{ip} - (d_{iq} - d_s)/v_{iq}$$

$$\text{第 } i \text{ 个空袭编队纵深: } h_i = d_{i\max} - d_{i\min} \quad (11)$$

第 i 个空袭编队在不同高度层(高空、中空、低空)的目标数量统计:

$$\begin{aligned} n_{iH} &= \left\{ \sum_{p=1}^{n_i} k \mid H_{ip} \geq 8000, p = 1, 2, \dots, n_i \right\} \\ n_{iM} &= \left\{ \sum_{p=1}^{n_i} k \mid 1000 \leq H_{ip} < 8000, p = 1, 2, \dots, n_i \right\} \\ n_{iL} &= \left\{ \sum_{p=1}^{n_i} k \mid 0 \leq H_{ip} < 1000, p = 1, 2, \dots, n_i \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

式中: $d_{i\min}, d_{i\max}$ 分别为第 i 个空袭编队内目标的最小和最大距离; H_{ip} 为第 i 个空袭编队内第 p 批目标的高度; v_{ip}, v_{jp} 分别为第 i 个空袭编队内第 p, q 批目标的速度。

3 主要战术企图分析模型

3.1 主要来袭方向判断

首先计算 k 个空袭编队中聚类目标数最多的第 r 个编队^[5-6]:

$$n_r = \max \{ n_i, i = 1, 2, \dots, k \} \quad (13)$$

那么,第 r 个编队的方位角 β_r 为主要来袭方向。编队内目标数量次之的另一空袭编队来袭方向为次要来袭方向。

3.2 攻击企图分析模型

首先分别计算 k 个空袭编队相对第 j 个保卫要地的航路捷径,计算式如下:

$$\bar{P}_{ij} = \bar{d}_{ij} \sin q_{ij} \quad (14)$$

式中, q_{ij} 为第 i 个空袭编队相对第 j 个保卫要地的航路角,其计算式为^[7-8]

$$q_{ij} = \begin{cases} \bar{\theta}_{ij} - \bar{\beta}_{ij} & \bar{\theta}_{ij} \leq 180^\circ \\ \bar{\theta}_{ij} - \bar{\beta}_{ij} - 180^\circ & \bar{\theta}_{ij} > 180^\circ \end{cases} \quad (15)$$

其次,选出对第 j 个保卫要地航路捷径最小的空袭编队,计算式如下:

$$\bar{P}_j = \min \{ \bar{P}_{ij}, i = 1, 2, \dots, k \} \quad (16)$$

由于航路捷径越小,受攻击的可能性越大。由此,可初步判定第 s 个空袭编队攻击第 j 个保卫要地的可能性较大^[9-10]。

4 算例分析

现对某一时刻来袭的 10 批空中目标进行聚类分析。目标聚类特征指标和聚类结果如表 1 所示。由表中可以看出,根据当前 10 批目标的 5 类飞行诸元参数,采用动态聚类进行自动分析,分为 4 个编队,其运行结果与指挥员的判断基本吻合。

表 1 空中目标聚类指标和聚类结果

Tab. 1 Air target group clustering and outcome

目标	β_i/mil	d_i/km	$v_i/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\theta_i/(\text{^\circ})$	H_i/km	类别
X_1	820	280	250	200	6.0	1
X_2	2 300	210	300	320	4.0	2
X_3	828	281	245	201	6.5	1
X_4	2 350	215	320	322	4.2	2
X_5	830	282	255	200	6.3	1
X_6	825	283	250	204	6.1	1
X_7	2 200	150	300	156	5.0	2
X_8	4 000	110	300	50	3.5	3
X_9	2 800	260	220	260	8.0	4
X_{10}	4 050	120	280	51	3.6	3

空中目标编队聚类分布,如图 1 所示。

5 结束语

空袭编队的自动判断是防空武器指挥员重要的辅助指挥手段,对提高指挥员分析判断空情质量和防空指挥效能具有重要意义。针对不同的指挥层次,可选择不同的反映聚类尺度的正数 d ,该值越大,则动态聚类的约束条件就越宽松,否则,判为同一编队的约束条件就越严格。通常,指挥层次越高,该值应越大,也应允许指挥员根据空中具体情况实时确定。

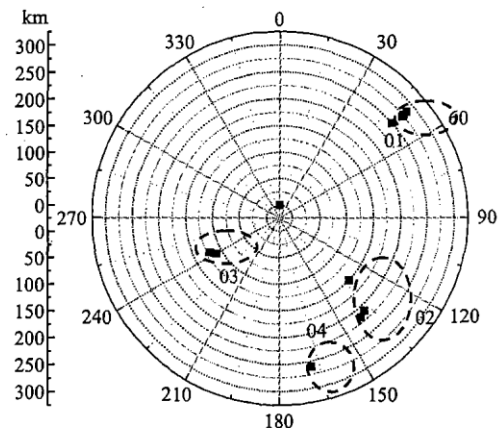


图 1 空中目标编队聚类分布图

Fig. 1 Air target group clustering distributing

参考文献:

- [1] 李洪生,江培庄. 模糊数学[M]. 北京:国防工业出版社,1994.
LI Hongsheng,JIANG Peizhuang. Fuzzy Mathematics[M]. Beijing: National Defence Industry Press,1994. (in Chinese)
- [2] 任若恩,王惠文. 多元统计数据分析[M]. 北京:国防工业出版社,1999.
REN Ruoen,WANG Huiwen. Analysis on Multi - element Statistical Data[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999. (in Chinese)
- [3] 周 林. 基于MADA的威胁评估排序模型[J]. 系统工程与电子技术,2001,23(1):18-19.
ZHOU Lin. Threat Evaluation Model Based on MADA[J]. Systems Engineering and Electronics, 2001,23(1):18-19. (in Chinese)
- [4] 王 君,娄寿春,陈绍顺. 空袭目标综合识别模型的研究[J]. 系统工程与电子技术,2002,24(5):51-53.
WANG Jun, LOU Shouchun, CHEN Shaoshun. Study on the Model of Air Strike Target Synthetic Identification[J]. Systems Engineering and Electronics, 2002,24(5):51-53. (in Chinese)
- [5] 王 君,陆小平,娄寿春. 防空作战运筹中的敌情、我情分析模型[J]. 现代防御技术, 2002,16(3):23-25.
WANG Jun,LU Xiaoping, LOU Shouchun. Enemy and our Situations Models in Operation's Research of Air Defence Combat [J]. Modern Defence Technology, 2002,16(3):23-25. (in Chinese)
- [6] 陈绍顺,宁伟华,张 琳. 防空战斗中的态势评估模型[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2004,5(4):30-33.
CHEN Shaoshun, NING Weihua, ZHANG Lin. The Model of Situation Assessment in Anti - air Fight[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition,2004,5(4):30-33. (in Chinese)
- [7] Liu Jiaxue. The Discussion of Analytic process for Quantitative Type Multiple Attribute Decision[J]. System Science and Engineering,1998,7(2):129-133.
- [8] Robert C A, Dessonky Y M. An Overview of Object - oriented Simulation[J]. Simulation,1998,20(3):45-47.
- [9] Kastella Keith. Discrimination Gain to Optimize Detection and Classification[J]. IEEE Transaction on SMC,1997,27(1):112-116.
- [10] Major John R Surdu, Pooch U W. Simulations During Operations[J]. Military Review, 2001,18(2):78-80.

(编辑:田新华)

Model of Air Attack Formation Estimation Based on Dynamic Clustering Analysis

CAO Ze - yang¹, WANG Ying - long¹, REN Bao - xiang²

(1. Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. Department of Scientific Research, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: Air attack formation is a tactical group formed by the airplanes in different combat missions, the distribution of it is an important basis for the air defense commander to analyze the purpose of the enemy air attack and make the campaign decision. The air attack formation possesses the following characteristics: large in airplane quantity, great in distribution range and needs a rapid analysis of enemy's situation. According to the air target's data characteristic, a method and steps for classifying the air target group based on dynamic clustering technique are established. This algorithm has a better astringency and can meet rapid analysis demand for command and control system. Based on this, an algorithm for calculating the campaign parameters inside the target group and among the groups are put forward and an analysis model of the enemies' primary air attack direction and attack purpose is presented according to the attack formation quantity distribution and fairway shortcut. Finally, a material example is put forward, and the result is identical with the commander's judgment on the whole. In engineering practical application the air target can be fast clustered by using this model, which can provide a quantitative foundation to the region air defense commander in control of the air situation accurately and making decision quickly.

Key words: dynamic clustering analysis; air attack formation; posture analysis; model