

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2021.05.016

利用改进 DBSCAN 算法的管制雷达目标标定方法

靳慧斌¹, 刘海波², 胡占尧², 霍百明³

(1. 中国民航大学 通用航空学院, 天津 300300; 2. 中国民航大学 飞行技术学院, 天津 300300;
3. 中国民航大学 中欧航空工程学院, 天津 300300)

摘要:为探究基于眼动数据的管制雷达目标标定方法,利用雷达管制模拟机、眼动仪等搭建实验平台,召集 8 名管制学员参加模拟航空管制实验并收集眼动数据。使用具有噪声的基于密度的聚类算法(DBSCAN, density-based spatial clustering of applications with noise)处理注视点数据过程中,主观输入的参数会导致无法很好完成聚类,笔者提出基于 K-最邻近算法和变密度阈值设定法,从自适应选取邻域值和变密度阈值设计两方面对 DBSCAN 算法进行改进,并实现了算法的自适应运行。对改进过程中采用拟合分布密度函数极值点结合放大系数确定邻域值的方法进行验证,发现对不同雷达目标误差仅为 8.6% 和 10%,表明改进方法具有一定的适用性。通过比对不同航空器目标兴趣区的提取结果,发现提出的管制雷达目标标定方法具有一定的准确性和普适性。

关键词:目标标定;聚类算法;管制;眼动

中图分类号:X949

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2021)05-146-09

Control radar target calibration method using improved density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) algorithm

JIN Huibin¹, LIU Haibo², HU Zhanyao², HUO Baiming³

(1. The General Aviation College, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, P. R. China; 2. The Flight Technology College, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, P. R. China; 3. Sino-European institute of Aviation Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, P. R. China)

Abstract: In order to explore the target calibration method of air traffic control radar based on eye movement data, the radar control simulator and eye tracker and other devices were used to build an experimental platform. Eight controller students were recruited to participate in the simulation control experiment and eye movement data were collected. Based on the collected eye movement data, the radar target calibration was performed by using the DBSCAN algorithm. However, it is found that the subjective input parameters will lead to the inability to complete the clustering well. Therefore, we propose to improve the DBSCAN algorithm from the two aspects of adaptive selection of neighborhood values and variable density threshold design based on the K-nearest neighbor algorithm and the variable density threshold setting method. And the adaptive operation of the algorithm is realized. The method of

收稿日期:2019-07-01

基金项目:中国民航局安全能力专项资金项目(TMSA2017-246-1/2);中央高校基本科研业务费专项资金项目(3122014B007).

Supported by CAAC Safety Capacity Funds (TMSA2017-246-1/2) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (3122014B007).

作者简介:靳慧斌(1976—),男,副研究员,主要从事航空安全和人为因素方向研究,(E-mail)airhf207@163.com。

determining the neighborhood value by using the fitting distribution density function extreme point and the amplification factor in the improvement process was verified. And the error of other radar targets is only 8.6% and 10%, indicating that the improved processing method has certain applicability. By comparing the extraction results of different aircraft target areas of interest, it is found that the proposed method of calibrating radar targets has certain accuracy and universality.

Keywords: target calibration; clustering algorithms; air traffic control; eye movement

民航历年发生的空中交通管理不安全事件中,管制员人因差错导致的不安全事件数至少占总数的 80%^[1]。可见,对管制过程开展人因研究对于提升民航运行安全水平具有重要意义。

人机交互分析是人因研究的重要方法。人的感觉器官(如眼睛和耳朵)接受信息,传到大脑进行处理、判断和决策,然后大脑发出的指令传递到口、手、脚等部分并执行^[2],管制指挥的关键在于准确及时地获取空域内运行航空器的信息。而管制员主要通过眼睛获取航空器的信息^[3],因此注视时间和扫视路径等眼动指标能在一定程度上反映被试选择信息的倾向性,目前眼动追踪技术已经能准确记录眼球运动数据。在航空领域,视觉搜索策略^[4-6]、工作负荷^[7-10]与管制员人因差错^[11-14]3个方面是国内外相关研究的主要方面。此外,眼动追踪技术正成为新兴管制技术的重要安全评估手段,如远程塔台界面评估^[15]等。综上可知,利用眼动追踪技术捕捉眼球运动信息已经成为国内外研究人员分析管制人机交互的重要手段,通过处理眼动数据,可以提取有意义的眼球运动指标,这些量化指标往往能准确反映管制员的信息搜索和信息获取过程。

雷达界面中航空器目标往往是管制员重点关注对象,这些注视点集中的区域也经常被划分为兴趣区来研究,因此兴趣区提取可以作为一种雷达目标标定的方法。目前兴趣区划分方法主要利用热图法手动划分,该方法虽然快捷简单,但是手动划分一方面缺乏切割兴趣区的理论依据与数据支撑,二是这种粗略的划分方法缺乏一定的精确性。而聚类算法因具有理论数据支撑和一定的准确度而进入人们的视野。但在使用传统的具有噪声的基于密度的聚类算法(DBSCAN, density-based spatial clustering of applications with noise)处理眼动数据时,输入参数不合理会导致聚类效果不理想^[16]。因此有必要改进传统 DBSCAN 算法以避免在处理眼动数据时的问题。

为了提高管制人机交互的效率与安全水平,有必要提出一种能客观准确提取管制雷达界面航空器的目标方法,本研究从眼动数据处理入手进行雷达界面航空器目标标定。利用雷达管制模拟机、眼动仪等搭建模拟管制实验平台,招募8名民航管制学员为实验被试,记录被试在实验过程中的眼动数据,从原始眼动数据中提取注视点信息,对传统 DBSCAN 算法进行自适应获取参数改进,最后对相关改进进行验证。

1 模拟管制实验

1.1 实验被试

总计8名航空管制学员参加本实验,年龄范围为20~25岁。所有被试在实验前均参与过相关管制培训课程,具备独立完成实验任务的能力。所有管制学员视力正常 2.0 ± 0.3 。

1.2 实验平台

实验平台硬件部分包括:

- 1) Tobii X2-60 眼动仪:采样率 60 Hz,精度 0.34° ;
- 2) 雷达管制模拟机;
- 3) 14 英寸笔记本电脑:分辨率为 $1\ 366 \times 768$ 。

1.3 实验程序

具体实验程序如下:

- 1) 连接好所有设备的电源,并将眼动仪与外界设备相连,待连接完成后开启眼动仪,让被试处于设备屏幕前方约 0.6 m 位置;
- 2) 待眼动仪开启后,先校准眼动仪,保证仪器能准确记录眼睛观察的位置;

3) 启动雷达管制模拟机, 设定初始航空器数目为 7;

4) 截取模拟实验过程中某一时刻的管制界面, 让被试观察此时的雷达界面, 并读取界面中的航空器信息, 然后口头报告给主试, 直到读取完所有航空器目标的数据, 要求被试不能改变标牌的位置或形状, 记录每名被试实验过程中的眼动数据, 最后换下一被试看同样的雷达界面;

5) 关闭并整理所有实验器材。

1.4 实验数据预处理

眼动仪无法记录被试眨眼或看向实验屏幕外时眼睛运动的数据, 此时收集到的原始数据是空白数据, 数据预处理时需将其删除。

一般认为当人的眼睛停留在某一位置的时间超过 100 ms 时会形成一次注视^[17]。实验使用眼动仪的采样率为 60 Hz, 即 1 s 内记录 60 次数据。因此当眼动仪记录的数据点连续 6 次未改变位置时, 表明眼睛至少在这一位置停留了 100 ms, 可以认为发生了一次注视过程, 此过程眼睛对准的位置称为注视点。这是一种从眼动数据中提取注视点的方法。

2 基于 DBSCAN 算法的雷达目标标定

2.1 DBSCAN 算法简介

管制员在进行空中交通指挥时通过阅读飞机的标牌来获得相关的飞行参数, 所以管制员的注视行为能直观反映出其关注的目标。雷达中的航空器目标往往受到相对频繁地关注, 因此眼动数据能被用来对雷达界面中航空器目标进行标定。

图 1 左图显示, 雷达界面中有航班号分别为 CCA1610、CCA1402 和 CCA937 的 3 个航空器目标。图 1 右图为所有被试在雷达界面上的眼动数据热点图, 对照 2 图可以发现航空器附近的颜色较亮, 说明注视点在航空器目标附近集中, 根据热点图手动画出 3 个矩形框, 得到 3 个航空器在雷达界面上的大概位置, 显然这种划分的精确性较低, 因此需要一种具有较高精确性的方法来标定航空器目标。



图 1 模拟雷达界面与注视点热图

Fig. 1 Radar simulation interface and gaze point heat map

热点图表明在航空器周围分布的注视点密度大, 而其他区域注视点密度小, 因此可用基于密度的聚类算法进行处理, 眼动数据中不可避免地会有一些由于头部运动等行为导致的噪声数据, 因此在选择数据处理方法时需要考虑密度和噪声干扰, 而 DBSCAN 算法能根据密度把数据划分为不同的簇, 同时能在具有噪声的数据集中进行聚类^[18], 因此引入 DBSCAN 算法处理眼动数据。

DBSCAN 算法有 2 个重要的参数, ϵ 邻域值和密度阈值 (Minpts)。对于给定的数据点 Q , 到 Q 的距离不大于 ϵ 值的区域称为该点的 ϵ 邻域, 单位是像素。密度阈值一般是一个固定值。DBSCAN 算法中, 首先统计所有数据点在给定 ϵ 值范围内其他数据点的个数, 如果其他数据点个数大于给定的密度阈值, 即满足建立数据簇的条件, 然后遍历所有的数据簇, 将密度可达数据簇合并, 当搜索不到新的可达数据簇时, 结束迭代并建立类别^[19]。

DBSCAN 算法取不同参数的计算结果对比如图 2, 图中以不同形状区分不同类别的数据点, 其中的黑空

心圆点为噪声点。图 2 表明,设定的 ϵ 邻域数值或者密度阈值都不能合理划分航空器目标和飞机标牌。原因可能是上述 2 个参数对 DBSCAN 算法的聚类结果影响较大,如果输入过大的 ϵ 邻域值,无法有效过滤噪声点,更容易建立数据簇,从而降低算法的精确性;输入过小的 ϵ 邻域值,很多有效数据点被错误地分类为噪声点,降低算法准确性,导致目标区域标定过小;而密度阈值的选取也为全局参数,但不同注视点数据簇的分布密度差异较大,设定单一的密度阈值处理眼动数据并没有取得理想的效果。

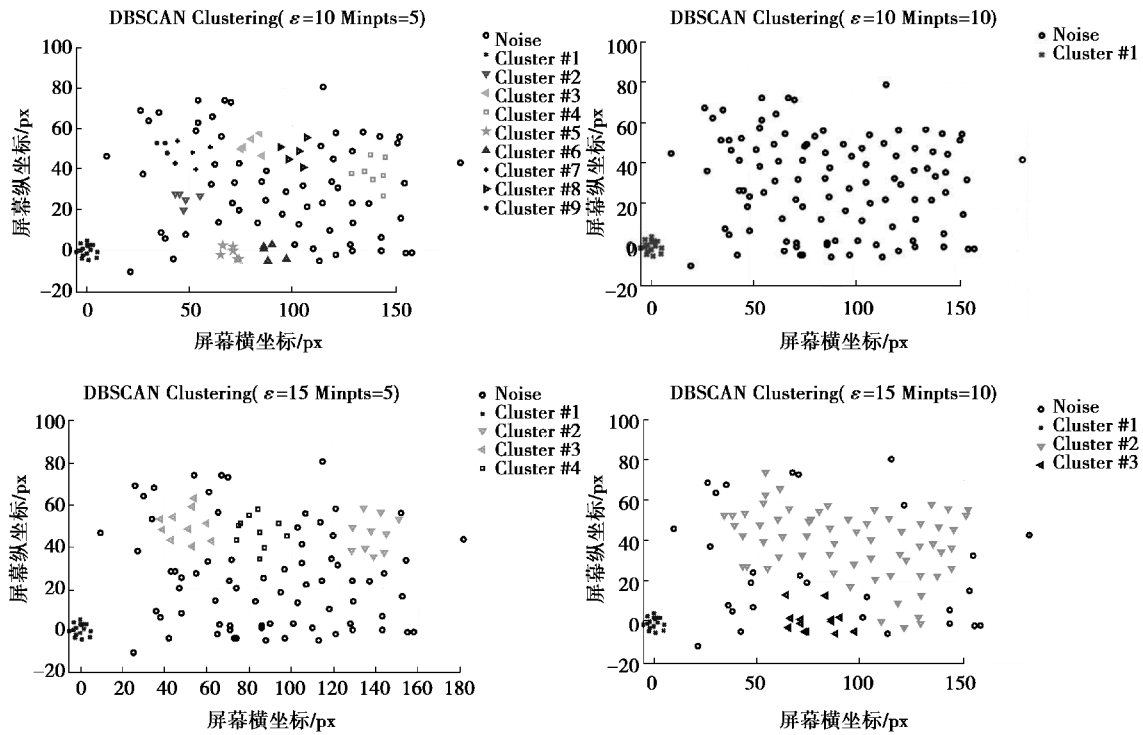


图 2 用取不同参数的 DBSCAN 算法处理 CCA1610 目标附近眼动数据的结果
 Fig. 2 The results of using DBSCAN algorithm with different parameters to process the eye movement data near the target of CCA1610

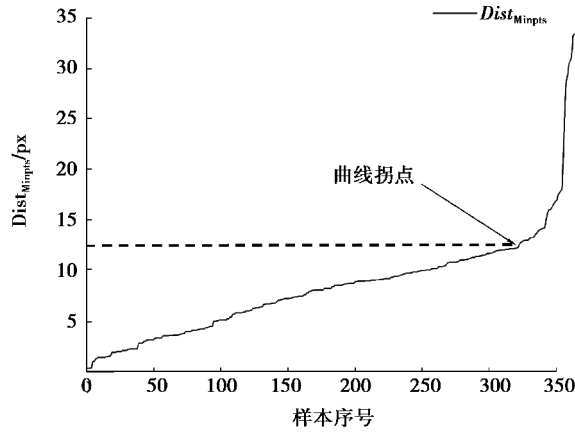
因此,为了避免不合理设定参数导致错误的结果,提高 DBSCAN 算法的准确性与精确性,将从自适应获取 ϵ 邻域值和变密度阈值设定等方面对传统 DBSCAN 算法进行改进。

2.2 DBSCAN 算法改进

2.2.1 自适应获取 ϵ 邻域值

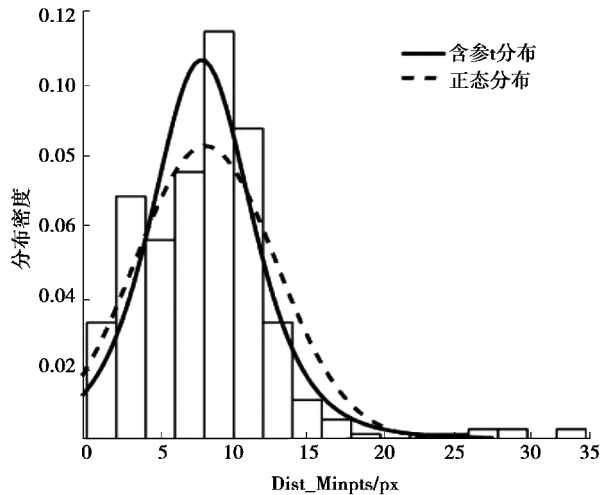
传统 DBSCAN 算法需要用户合理设定参数,图 2 聚类效果对比图表明参数值的变化对聚类效果的影响很大,如果用户随机输入参数很可能使不符合预期结果。因此,研究将 K -最临近距离分布图与统计分析相结合来自适应获取 ϵ 邻域值。

在选取 DBSCAN 算法推荐的邻域值时,Ester M^[20] 曲线拐点通过设定密度阈值为 4 来对比选取 ϵ 值。因此为了得到推荐邻域值,设定 K -最临近距离分布法中的 $K=4$,即对眼动数据集的一个数据点 Q ,找出距离 Q 第 4 近的数据点 P ,计算 Q 点与 P 点之间的距离,访问所有数据点计算出距离,将距离值放入集合 $Dist_{Minpts}$ 中,然后按距离值大小将数据点升序排序。最后画出 $Dist_{Minpts}$ 排序图,如图 3,数据点序号作为横轴,序号对应的距离值为纵轴。一般将排序图中曲线拐点的纵坐标设定为推荐的 ϵ 值^[21]。图 3 箭头对准的位置是曲线的拐点,其纵坐标值约为 12.5 px,所以推荐 ϵ 值为 12.5 px。

图 3 $Dist_{Minpts}$ 排序图Fig. 3 Sorting chart of $Dist_{Minpts}$

$Dist_{Minpts}$ 排序图推荐值是为达到给定密度阈值, 大多数的数据点需要满足的最小 ϵ 值。应用概率论中分布概率密度函数的特点, 如果能拟合出 $Dist_{Minpts}$ 距离分布的概率密度函数, 计算出概率密度函数的极值点, 并令 ϵ 等于极值点能够达到同样的效果^[22]。

利用不同随机分布的概率密度函数对 $Dist_{Minpts}$ 分布进行拟合, 结果如图 4。图中虚线曲线、实线曲线分别为正态分布的概率密度曲线以及含有尺度参数和位置参数的 t 分布(下文简称为含参 t 分布)概率密度曲线。图 4 表明, 含参 t 分布的曲线与 $Dist_{Minpts}$ 的分布情况最接近。同时含参 t 分布的概率密度函数存在唯一的极值点, 结合眼动数据, 采用最大似然法对参数求解, 算得极值点为 7.8, 因此对 $Dist_{Minpts}$ 分布进行拟合确定的邻域值为 7.8。

图 4 $Dist_{Minpts}$ 分布的概率密度函数与拟合曲线Fig. 4 Probability density function and fitting curves of $Dist_{Minpts}$ distribution

此数值小于 $Dist_{Minpts}$ 排序图法的推荐值, 如果直接利用拟合法获得的邻域值会导致大量的数据点被误删, 为保证后续聚类过程的效果, 需要将拟合法求出的极值进行放大, 放大系数 m 应取 1.6, 为作图法推荐值与拟合函数极值点的比值。

2.2.2 设定变密度阈值

人在观察图片时对不同对象的观察深度是不同的, 其根源是不同对象所拥有的信息量和信息重要度迥异, 因此不同对象周围的注视点密度可能相差很大。由于 DBSCAN 算法使用了固定的全局参数^[16], 此算法对密度差别较大的数据集(如眼动数据集)聚类效果较差, 图 2 聚类结果表明, 设定全局的密度阈值来处理眼动数据可能会产生不理想的分类效果。因此为了提高该算法处理眼动数据的可靠性与精确性, 改进算法还

应能自适应地改变密度阈值。

首先,根据前文描述的方法获取邻域值后,统计眼动数据集 D 中所有数据点的 ϵ 邻域内存在的其他数据点个数 N 。将数据点按照对应的 N 值大小进行降序排序。显然,这时该数据集中序号越靠前的数据点所在数据簇中注视点密度越大。

然后计算各数据点对应 N 值的均值 \bar{N} ,将对应的 N 值不小于 \bar{N} 的数据点都放入数据集 D_1 ,以 \bar{N} 作为密度阈值进行聚类。剩余的数据点放入数据集 D_2 ,重新计算 D_2 中数据点 N 值的平均值 \bar{N}_1 ,重复上述过程。由于确定 ϵ 邻域值时令 $K=4$,聚类过程结束条件设定为:如果第 i 次重新计算后的数据点的均值 \bar{N}_i 小于 4,结束聚类过程。最终输出聚类结果。

2.2.3 改进算法整体流程

为了提高 DBSCAN 算法处理眼动数据的可靠性和准确性,对 DBSCAN 算法进行了改进,即根据数据集自适应获取 ϵ 邻域值和变密度阈值设计。对于眼动数据集 D ,使用改进算法进行处理,最终输出是带有类别标签的聚类分析结果,改进算法整体流程如图 5。

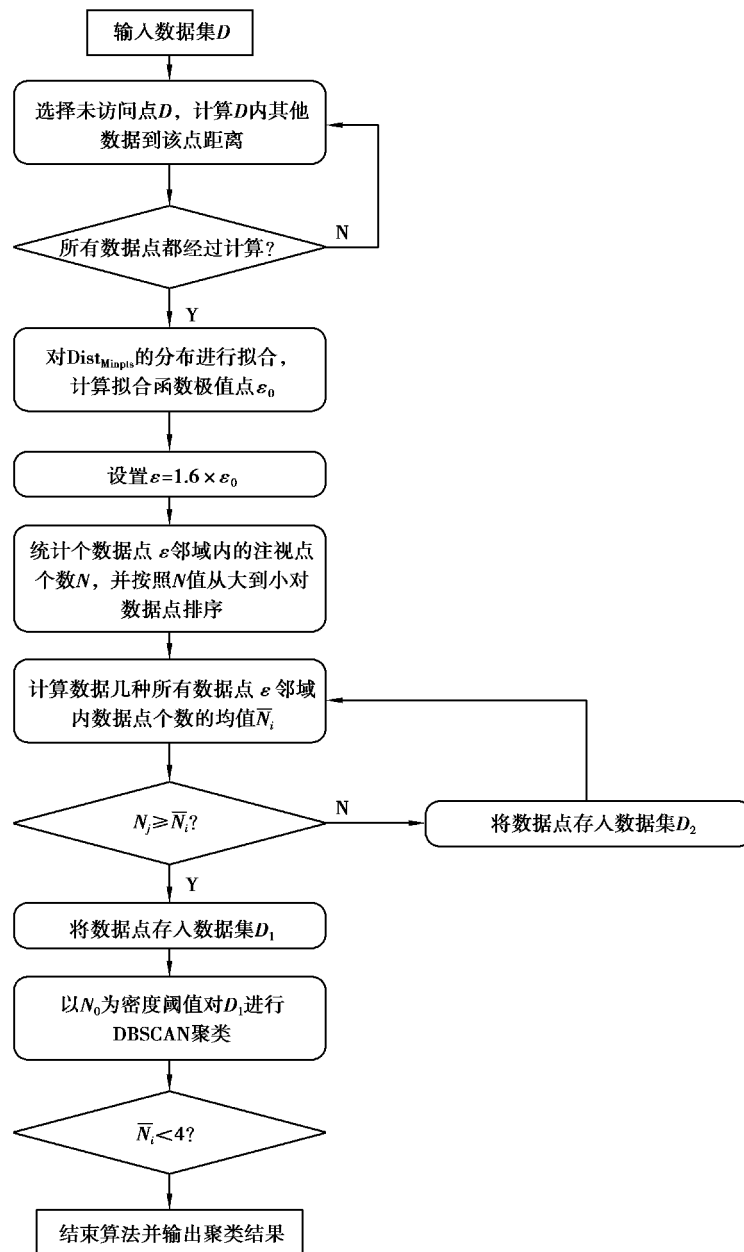


图 5 改进 DBSCAN 算法流程图

Fig. 5 Flow chart for the improved DBSCAN algorithm

2.3 改进算法适用性验证

首先是对自适应获取 ϵ 邻域方法的适用性验证。在改进的 DBSCAN 算法中,由于拟合分布概率函数极值 ϵ_0 与作图法推荐的 ϵ 邻域值存在较大的差异,于是设定了一个放大系数,当对其他航空器目标采用一样的放大处理时,需要对这种放大处理和放大系数的适用性进行检验。

利用 8 名被试的全部眼动数据做出热点图,在热图中注视点密度较大区域对未标定的另外 2 架航空器进行粗标。截取出粗标后的眼动数据,处理得到注视点,先利用作图法求出推荐邻域值,再进行分布拟合求出分布函数极值,计算结果对比图如图 6。

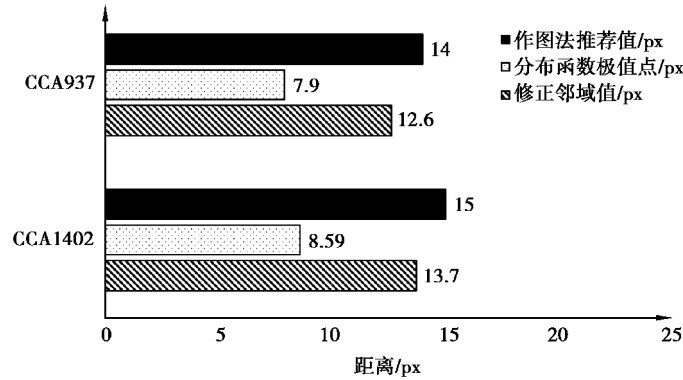
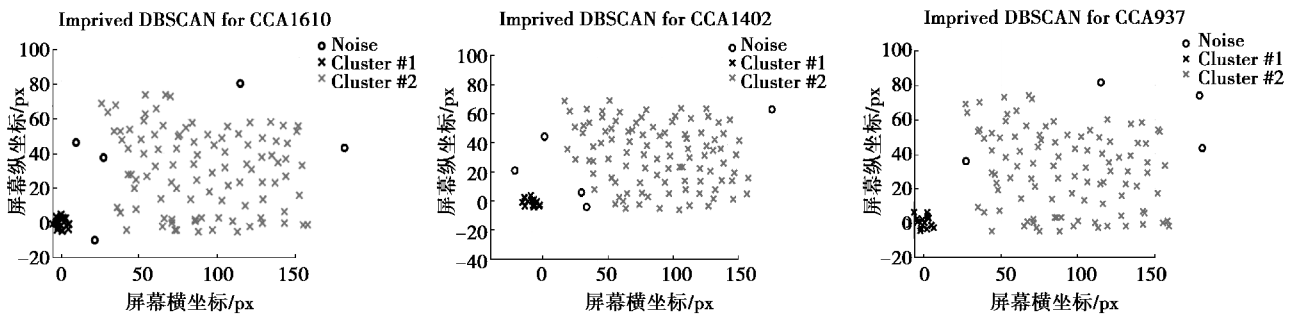


图 6 改进方法的 ϵ 邻域估计值

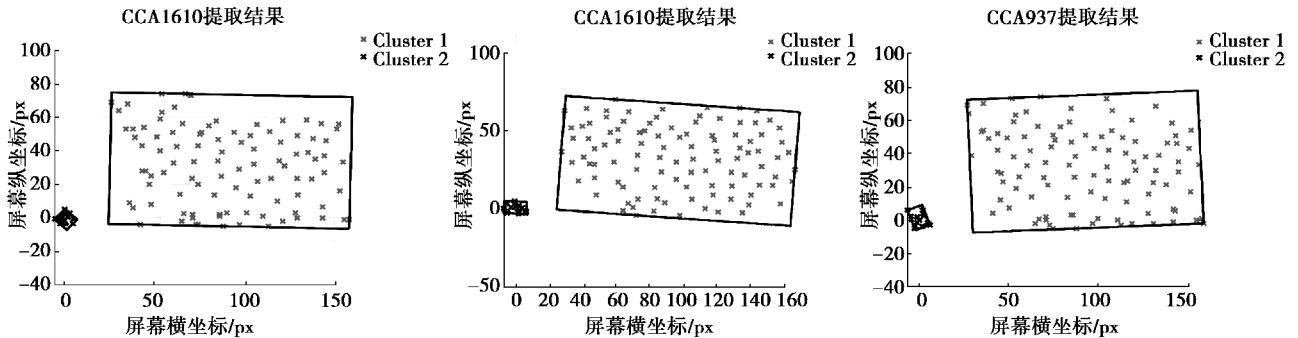
Fig. 6 Estimated ϵ value of the improved method

图 6 中的修正邻域值是将分布函数极值放大 1.6 倍后的结果,即是另外 2 个航空器目标采用自适应法得到的 ϵ 邻域值,与作图法推荐值相差分别为 8.6% 和 10%,差异较小,表明对于其他位置的航空器目标,放大系数是合理的。

最后是对改进聚类算法的标定结果进行检验,改进算法应能够准确划分航空器目标和航空器标牌。在上面检验中确定的 ϵ 值的基础上,基于 MATLAB 工具使用改进算法对目标区域的眼动数据进行聚类,聚类结果如图 7(a) 所示。



(a) 使用改进算法处理眼动数据的结果



(b) 利用最小保络矩形法提取目标

图 7 眼动数据聚类结果和目标区域提取结果

Fig. 7 Eye movement data clustering results and target region extraction results

图 7(a)表明改进后的算法能准确划分航空器目标和航空器标牌,并且对雷达界面上其他区域的航空器目标依然能很好地完成聚类。

在 3 架航空器目标聚类结果的基础上,删除掉噪声点,并使用最小包络矩形法提取出航空器的目标区域,实现对不同航空器目标的标定。提取效果如图 7(b),图中左边方框中是航空器区域,右边方框是标牌区域。显然,提出的目标区域标定方法较热图法更为精确,且对于雷达界面中不同的航空器目标都具有良好的适用性。

3 结 论

眼动数据的热点图直观反映出航空器目标附近的注视点密度较大,表明航空器目标是雷达界面中管制员重点关注的目标,在热点图上能粗略标定航空器目标,但仍需进一步处理眼动数据以提高目标提取精度。

研究引入 DBSCAN 算法并进行改进,提出了一种基于眼动数据的雷达目标标定方法。改进算法能自动处理眼动数据。通过对模拟雷达管制界面中其他目标使用改进算法处理,发现对于不同的航空器,自适应算法获取的 ϵ 值与推荐的 ϵ 值相差仅为 8.6% 和 10%,证明采用拟合分布函数极值点结合放大系数确定 ϵ 值的改进措施是合理的。聚类 and 提取结果表明,研究提出的雷达目标标定方法,对雷达管制界面中不同航空器目标具有一定的准确性和普适性。

参考文献:

- [1] 王永刚,董保健. 管制员人为差错影响因素及指标权重分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(2): 28-33.
Wang Y G, Dong B J. Analysis of human error influence factors and evaluation indexes weights determination for air traffic controller[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2011, 7(2): 28-33. (in Chinese)
- [2] 刘亚威. 管制疲劳的眼动指标研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2018.
Liu Y W. The research of eye movement index for detecting air traffic controllers' fatigue[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2018. (in Chinese)
- [3] 李斌. 随机场景人眼检测实时追踪及其应用技术研究[D]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院西安光学精密机械研究所), 2018.
Li B. Researches on real time eye tracking in random scenes and application technology[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2018. (in Chinese)
- [4] McClung S N, Kang Z. Characterization of visual scanning patterns in air traffic control[J]. Comput Intell Neurosci, 2016, 2016: 8343842.
- [5] Gal Z. Gaze behavior and visual attention: a review of eye tracking studies in aviation[J]. The International Journal of Aviation Psychology, 2016, 26(3/4): 75-104.
- [6] Manske P G, Schier S L. Visual scanning in an air traffic control tower-A simulation study[J]. Procedia Manufacturing, 2015, 3: 3274-3279.
- [7] Peißl S, Wickens C D, Baruah R. Eye-tracking measures in aviation: a selective literature review[J]. The International Journal of Aerospace Psychology, 2018, 28(3/4): 98-112.
- [8] 靳慧斌,洪远,蔡亚敏. 基于交互指标的空中交通管制员工作负荷实时测量方法研究[J]. 安全与环境工程, 2015, 22(3): 147-150,157.
Jin H B, Hong Y, Cai Y M. Research on real-time measuring method of ATC workload based on interaction indexes[J]. Safety and Environmental Engineering, 2015, 22(3): 147-150,157. (in Chinese)
- [9] Rodríguez S, Sánchez L, López P, et al. Pupillometry to assess air traffic controller workload through the mental workload model[C] // Proceedings of the 5th International Conference on Application and Theory of Automation in Command and Control Systems -ATACCS'15. September 30-October 2, 2015. Toulouse, France. New York: ACM Press, 2015: 95-104.
- [10] 杨新涅,王茜. 眼动指标、管制负荷及航空器动态特征之间的相关性分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(15): 333-340.
Yang X S, Wang Q. The correlation analysis of eye movement indicators, controller's workload and aircraft dynamics [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(15): 333-340. (in Chinese)

- [11] Edwards T, Homola J, Mercer J, et al. Multifactor interactions and the air traffic controller: The interaction of situation awareness and workload in association with automation[J]. IFAC-Papers OnLine, 2016, 49(19): 597-602.
- [12] Giraudet L, Imbert J P, Tremblay S, et al. High rate of inattention deafness in simulated air traffic control tasks[J]. Procedia Manufacturing, 2015, 3: 5169-5175.
- [13] di Stasi L L, McCamy M B, Catena A, et al. Microsaccade and drift dynamics reflect mental fatigue[J]. European Journal of Neuroscience, 2013, 38(3): 2389-2398.
- [14] Friedrich M, Biermann M, Gontar P, et al. The influence of task load on situation awareness and control strategy in the ATC tower environment[J]. Cognition, Technology & Work, 2018, 20(2): 205-217.
- [15] Li W C, Kearney P, Braithwaite G, et al. How much is too much on monitoring tasks? Visual scan patterns of single air traffic controller performing multiple remote tower operations[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2018, 67: 135-144.
- [16] 冯振华, 钱雪忠, 赵娜娜. Greedy DBSCAN: 一种针对多密度聚类的 DBSCAN 改进算法[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(9): 2693-2696, 2700.
Feng Z H, Qian X Z, Zhao N N. Greedy DBSCAN: an improved DBSCAN algorithm on multi-density clustering[J]. Application Research of Computers, 2016, 33(9): 2693-2696, 2700. (in Chinese)
- [17] 马勇. 基于眼动分析的汽车驾驶员视觉搜索模式研究[D]. 西安: 长安大学, 2006.
Ma Y. Study on driver' visual search pattern based on analysis of eye movements [D]. Xi'an: Changan University, 2006. (in Chinese)
- [18] Wang L M, Li M Y, Han X M, et al. An improved density-based spatial clustering of application with noise[J]. International Journal of Computers and Applications, 2018, 40(3): 1-7.
- [19] Mahesh Kumar K, Rama Mohan Reddy A. A fast DBSCAN clustering algorithm by accelerating neighbor searching using Groups method[J]. Pattern Recognition, 2016, 58: 39-48.
- [20] Ester M, Kriegel H P, Sander J, et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise[C]// Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. USA: AAAI Press, 1996: 226-231.
- [21] 夏鲁宁, 荆继武. SA-DBSCAN: 一种自适应基于密度聚类算法[J]. 中国科学院研究生院学报, 2009, 26(4): 530-538.
Xia L N, Jing J W. SA-DBSCAN: a self-adaptive density-based clustering algorithm[J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2009, 26(4): 530-538. (in Chinese)
- [22] 霍百明. 基于眼动追踪的雷达动态目标标定方法研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2019.
Huo B M. Research of radar dynamic target calibration method based on eye tracking [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2019. (in Chinese)