

引用格式:郑海林,胡勤友,杨春,等.上海外高桥港区停泊船聚类分析与异常检测[J].地球信息科学学报,2018,20(5):640-646. [Zheng H L, Hu Q Y, Yang C, et al. Clustering analysis and anomaly detection of berthing ships at Waigaoqiao harbour district[J]. Journal of Geo-information Science, 2018,20(5):640-646.] DOI:10.12082/dqxxkx.2018.180053

上海外高桥港区停泊船聚类分析与异常检测

郑海林^{1,2}, 胡勤友^{1*}, 杨 春¹, 陈金海^{3,4}, 梅 强^{3,4}

1. 上海海事大学 商船学院, 上海 201306; 2. 浙江海洋大学 港航与交通运输工程学院, 舟山 316022; 3. 集美大学 航海学院, 厦门 361021; 4. 船舶辅助导航技术国家地方联合工程研究中心, 厦门 361021

Clustering Analysis and Anomaly Detection of Berthing Ships at Waigaoqiao Harbour District of Shanghai

ZHENG Hailin^{1,2}, HU Qinyou^{*}, YANG Chun¹, CHEN Jinhai^{3,4}, MEI Qiang^{3,4}

1. Merchant Marine College, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; 2. School of Port and Transportation Engineering, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 3. Navigation College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 4. National-local Joint Engineering Research Center for Marine Navigation Aids Services, Xiamen 36102, China

Abstract: Mining of the spatial distribution of berthing ships is of great significance in the maritime supervision, port management and fleet management of a shipping company. However, almost all of the existing studies focused on the spatial clustering of ship berthing points to identify berths and anchorages, and only few articles focused on the analysis of berthing ships' features in ports and the detection of the anomalous berthing ships outside the berths and anchorages. Therefore, it is necessary to use the massive automatic identification system (AIS) data to acquire the ship berthing features, which is also feasible due to general equipment of AIS on ships. By setting the threshold value of berthing speed and Variation of the berthing position according to the sea conditions, the model for determining the berthing ships could be established. Filtering by port area and ship type, we could obtain the container ship berthing records at Waigaoqiao Harbour District from January to November 2016. With the purpose of obtaining density distribution of ship berthing points at Waigaoqiao Harbour District, density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) algorithm is adopted. The neighborhood radius (ϵ) and density (MinPts) could be set according to the cluster center density and quantity of clusters. Density clustering is carried out on all berthing ships, and the clustering result is presented in figure with clusters and noises. Compared with the distribution diagram of berths and anchorages at Waigaoqiao Harbour District, a list of suspicious berthing ships is generated. By analyzing historical trajectories of ships in the list, we could make ships' real berthing records clear, and identify anomalous berthing ships at Waigaoqiao Harbour District. The study has found that the abnormal berthing ships at Waigaoqiao Harbour District were located at the Nangang Channel between Yuanyuansha Anchorage and Wusongkou Anchorage or Nangang Channel near Jiangya Nansha

收稿日期 2018-01-05; 修回日期: 2018-03-22.

基金项目 :上海市科学技术委员会项目(15590501600); 国家自然科学基金项目(41501490); 中国科学院重点部署项目(ZDRW-ZS-2016-6-3); 福建省教育厅基金项目(B16095)。 [**Foundation items:** Project of Shanghai Municipal Science and Technology Commission, No.15590501600; National Natural Science Foundation of China, No.41501490; Key Project of the Chinese Academy of Sciences, No.ZDRW-ZS-2016-6-3; Fujian Provincial Educational Department Foundation, No.B16095.]

作者简介 郑海林(1987-), 男, 博士生, 讲师, 主要从事海事信息处理研究。E-mail: hlzhzjou@126.com

通讯作者 胡勤友(1974-), 男, 教授, 主要从事海事信息处理研究。E-mail: qyhu@shmtu.edu.cn

Anchorage. What's more, the changes of ships' position before and after berthing position small, while ships' speed before and after berthing position reduced sharply. Therefore, we could speculate that it was ship emergency failure that leads to ships' anomalous berthing. According to the ship maritime mobile service identity (MMSI), maritime safety administration (MSA) can quickly locate the shipping company related to the ship so as to strengthen the onshore ship safety management. Anomalous ships' berthing time and position help to record the failure duration and location, which can supply the important evidence for fleet management of shipping company.

Key words: maritime silk road; AIS; berthing ships; DBSCAN; anomaly detection

***Corresponding author:** HU Qinyou, E-mail: qyhu@shmtu.edu.cn

摘要: 停泊船空间分布规律挖掘,在海事监管、港口管理和航运公司船队管理方面有着重要意义。现有研究主要针对船舶停泊点进行空间聚类以识别码头和锚地,缺乏对码头、锚地内船舶停泊特征分析,及码头和锚地外的异常停船的检测。因此,利用海量船舶自动识别系统(AIS)数据探索船舶停泊规律显得很有必要,且具备可行性。根据海况设定停泊速度阈值和停泊位置变化量阈值,建立停船判定模型。按港区、船型筛选,获取2016年1至11月外高桥港区集装箱船停泊记录。根据类中心点密度和聚类数量,设定邻域半径(ϵ)和邻域密度(MinPts),采用密度聚类(DBSCAN)算法对船舶停泊点进行密度聚类,并将聚类结果与外高桥港区码头、锚地分布图进行比较,生成可疑停船列表。对比船舶历史轨迹,明确可疑停船列表中船舶真实停泊记录,筛选出异常停船。研究发现,2016年1至11月外高桥港区船舶异常停泊点位于圆圆沙锚地至吴淞口锚地间的南港水道和江亚南沙锚地附近的南港水道航段。船舶停泊前、后位置变化幅度小,而速度变化幅度大,推测船舶突发故障是其异常停泊的原因。海事主管部门(MSA)可根据船舶水上移动通信业务识别码(MMSI)快速锁定航运公司,加强岸上船舶安全管理。船舶停泊位置和时间能够记录船舶发生故障地点及其持续时间,为船队管理提供重要依据。

关键词: 海上丝绸之路;船舶自动识别系统;停泊船;密度聚类;异常检测

1 引言

随着船载AIS设备的普及、AIS基站的全覆盖以及数据管理技术的成熟,船舶AIS数据已经进入了大数据时代^[1]。海上丝绸之路^[2]正在大力建设,其连接着大量港口,船舶在港口或航路的行为直接反映了海上交通特征,可以通过AIS数据分析^[3]海上丝绸之路沿线船舶行为。船舶AIS数据富含船舶行为信息,如船舶位置、速度。在船舶航行行为研究方面,高曙等^[4]从船舶密度、船舶速度、船舶轨迹及船舶间距4个方面描述船舶总体行为特征。周世波^[5-7]根据船位、速度、航向和轨迹等船舶属性阐述其异常行为,并介绍了船舶异常行为检测方法,包括聚类、支撑向量机、神经网络和数据可视化等。甄荣等^[8-11]利用轨迹聚类、贝叶斯分类器等方法开展了船舶轨迹异常行为识别的研究。叶仁道等^[12]利用DBSCAN算法对全球六大港口水域船舶停泊点进行聚类,并通过历史AIS数据可视化验证了聚类效果。丁兆颖等^[13]利用改进的DBSCAN算法从大量的船舶位置数据中挖掘出了码头信息。

现有研究主要关注船舶轨迹异常识别,而在船舶异常停泊行为检测方面的研究尚未有效开展。叶仁道等^[12]仅对正常停泊的船舶行为进行了聚类,

丁兆颖等^[13]对船舶停泊点聚类的最终目的是识别码头岸线。而船舶停泊异常行为的研究,是能够直观反映海上交通特征,为海事监管部门提供重点关注停泊船,为船队管理提供重要依据的有效途径。

由于船舶停泊异常行为具有空间特性,因此在对AIS数据进行异常检测时,须将船舶停泊位置信息与其正常行为进行比较,检测出空间特性异常的船舶。本文基于AIS数据对船舶停泊信息进行挖掘,首先识别出正常停泊船舶的空间分布特征,然后检测出异于该特征的异常停泊船。

2 研究方法

2.1 停船判定

本文数据来源于船载AIS设备,通过甚高频、卫星或网络传输获得。其中,AIS数据包含船舶静态、动态、航次及安全信息。而与船舶停泊密切相关的是船舶动态信息,包括船舶速度和船舶位置。为了准确描述停泊船,定义停泊记录如下:

$$s_i = (m_i, c_i, d_i, v_i, p_i, t_{s(i)}, t_{e(i)}) \quad (1)$$

式中: m_i 是船舶MMSI; c_i 是船舶类型; d_i 是总载重吨; v_i 是船舶速度; p_i 是船位; $t_{s(i)}$ 是停泊起始时刻; $t_{e(i)}$ 是停泊累计时间。

考虑到船舶停泊区域的实际海况,文章提出了停船判定方法^[14-16]。

(1) 停泊速度阈值

通常而言,当船舶主机停止时,速度为零。但 AIS 中船舶速度信息来源于计程仪或 GPS,绝对计程仪和 GPS 显示的船速均为零,受海上风浪、海流影响,相对计程仪显示的船速可能不为零。所以,为了准确采集停船信息,设定船舶速度阈值 v_{th} 。

(2) 停泊位置变化量阈值

另外,船舶停泊时,其位置通常保持不变。受海上风浪、海流影响,停泊船会产生摇摆或偏荡,所以,停泊船位置变化量也可能不为零,故设定船舶停泊位置变化量阈值 p_{th} 。

t_1 时刻采样,根据 v_{th} 获得船舶停泊记录如下:

$$s_{t1} = \{(m_i, c_i, d_i, v_i, p_i, t_{s(i)}) | 0 \leq v_i \leq v_{th}\} \quad (2)$$

t_2 时刻采样,根据 v_{th} 和 p_{th} , 获得船舶停泊记录如下:

$$s_{t2} = \{(m_i, c_i, d_i, v_i, p_i, t_{s(i)}, t_{c(i)}) | 0 \leq v_i \leq v_{th} \wedge 0 \leq p_i \leq p_{th}\} \quad (3)$$

符合 v_{th} 要求的船舶在采样时刻 t_1 被判定为停泊船,在下一相邻采样时刻 t_2 ,若该船同时符合 v_{th} 和 p_{th} 要求,则船舶停泊时间累加。

2.2 密度聚类

船舶停泊点记录包括船舶位置信息,利用 DBSCAN 算法可以对船舶停泊点进行密度聚类。

2.2.1 基于 DBSCAN 的停泊船异常检测算法

输入:① 港区船舶停泊点集合 $D=(p_1, p_2, p_3, \dots,$

$p_n)$, p 为船舶位置,即经度和纬度;② DBSCAN 参数 ε , 用于计算某一停泊点邻域(以 p_i 为圆心, ε 为半径);③ DBSCAN 另一参数 MinPts, 用于判断停泊点是否为核心点(邻域内停泊点数量是否大于 MinPts)。

输出: D 中所有停泊点均被标记为类或噪声。

① 标记所有点为未分类点;

② 随机选择某一未分类的停泊点 p_i , 计算其邻域;

③ 如果 p_i 是核心点, 将其邻域内点标记为类 C_k ;

④ 选择 C_k 内其它任意停泊点 p_j , 计算其邻域, 如果为核心点, 将 p_j 邻域内点标记为类 C_k ;

⑤ 如果 p_j 不是核心点, 重复步骤④, 直至 C_k 内所有点判定完毕;

⑥ 如果 p_i 不是核心点, 将其标记为噪声, 重复步骤②、③(将新的核心点邻域内点标记为 C_{k+1})、④(同上)、⑤(同上), 直至 D 中所有点均已标记。

2.2.2 DBSCAN 参数确定方法

DBSCAN 聚类效果依赖其 2 个重要参数 ε 、MinPts, 文章采用类中心密度和聚类数量作为聚类效果的评价指标, 进而确定参数。

(1) 船舶停泊点的密度主要表现为点间的距离, 计算某一停泊点与其他任意点间距离, 即可得到该停泊点的 k 距离值。根据停泊点的空间分布特征, 选取类中心点并计算其 k 距离值, 绘制成散点图。根据散点图拐点分布, 确定 ε 。

(2) 确定 ε 后, 选取不同的 MinPts 进行迭代, 最终根据聚类数量确定 MinPts。



图1 外高桥港区码头、锚地分布图

Fig.1 Distribution diagram of berths and anchorages at Waigaoqiao Harbour District

3 实验结果及分析

3.1 实验区概况

本文实验在上海港外高桥港区及邻近码头和锚地开展,包括外高桥港务码头和外高桥4、5、6期码头,其它码头和锚地还包括中海长兴岛修船基地码头、吴淞口锚地、横沙西锚地、横沙东锚地、圆圆沙锚地和江亚南沙锚地,如图1所示^[17]。

查询2017版《中国港口指南》^[18],得知长江上海段为顺时针方向回转流,最大涨潮流流速约3.8 kn,最大落潮流流速约4.8 kn,故设定 $v_{th}=4$ kn。船位中经度和纬度均以度表示,设定 $p_{th}=0.0002^\circ$,约为21.6 m。

3.2 数据处理

依据停船判定方法得到的停泊船包括货船、工程船和公务船等。船型不同,其停泊点空间分布也不一致。而且,港区呈现专用化趋势,如外高桥是上海港的主要集装箱运输港区,所以有必要按船型分类统计船舶停泊记录。文章主要统计了货船停泊记录,详见表1。

表1 2016-01-01至2016-11-09全球主要货船停泊艘次列表

Tab. 1 List of berthing times of global principle cargo ships

序号	船舶类型	停泊艘次
1	集装箱船	402 046
2	散货船	373 815
3	油轮	1 363 813
4	杂货船	426 393
5	滚装船	121 415

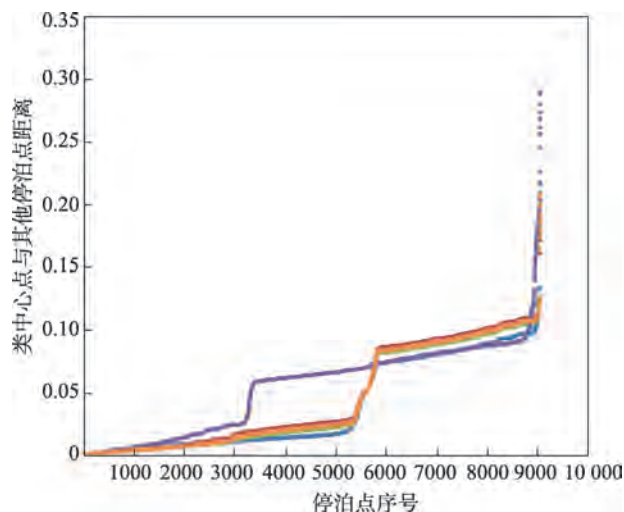


图2 上海外高桥港区停泊船类中心点 k 距离散点图

Fig. 2 Scatter diagram of cluster-centers of ships' berthing points at Waigaoqiao Harbour District

3.3 聚类结果

利用停船判定方法,获得2016年1-11月的上海港外高桥港区集装箱船停泊点数量9003。图2是根据类中心点的 k 距离值绘制而成的散点图。

图2中,横坐标代表停泊点序号,纵坐标代表停泊点间距离,单位为60 n mile。参照散点图中纵坐标值发生大幅度变化的拐点,选择可供参考的 ε ,通过迭代,观察聚类数量的变化趋势,如图3所示。根据外高桥港区码头、锚地分布图,聚类数量参考值设为7。此时 ε 为0.008,MinPts为4。

对外高桥港区船舶停泊点进行密度聚类,结果

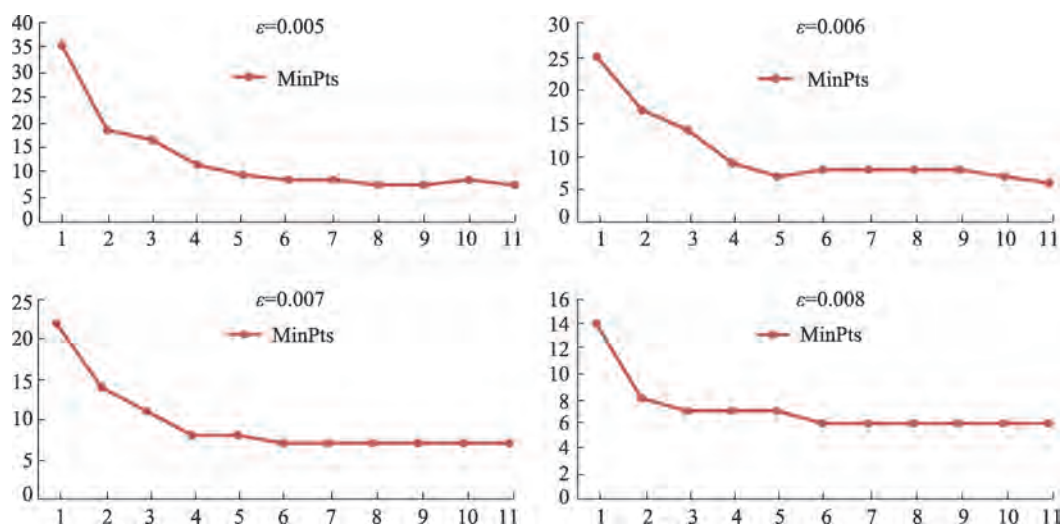


图3 聚类数量与邻域密度的关联图

Fig. 3 Relationships between the quantity of clusters and MinPts

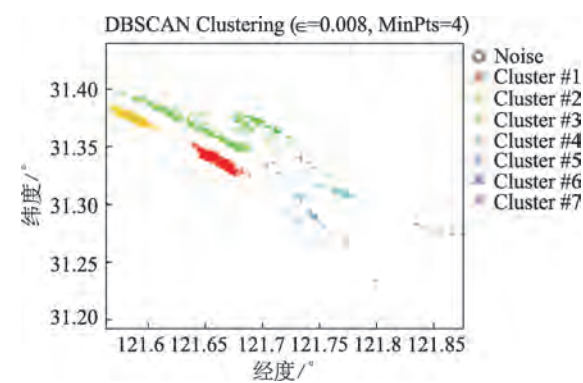


图4 上海外高桥港区船舶停泊点聚类结果
Fig. 4 Spatial cluster of ships' berthing points at Waigaoqiao Harbour District

如图4所示。图4显示船舶停泊点被聚成7类,分别以不同颜色标识。对比实验区概况,可知图中7个船舶停泊聚集点(自北向南,自西向东)分别对应图1中的外高桥港务码头,外高桥4、5、6期码头,圆圆沙锚地和江亚南沙锚地,吴淞口锚地,中海长兴岛修船基地码头,横沙西锚地,横沙东锚地。另外,图4中的未作颜色标记的点为噪声,这些点远离码头和锚地,属于可疑停船,其详细信息如表2所示。

3.4 异常停船分析

结合船舶历史轨迹,查看船舶在停泊时刻前后船位、速度变化。其中,船舶 COSCO FUKUYAMA

表2 上海外高桥港区可疑停船列表

Tab. 2 List of the suspicious berthing ships at Waigaoqiao Harbour District

MMSI	船名	总载重吨/t	船位	停泊起始时刻	停泊时间/min
218073000	ITAL CONTESSA	101 007	POINT(121.715 31.3271)	2016/05/26 13:59	140
255805855	MSC CHLOE	110 442	POINT(121.734 31.3408)	2016/03/07 16:49	939
305060000	MARCONNECTICUT	12 774	POINT(121.614 31.3939)	2016/10/27 7:59	13 110
352871000	MSC CANDICE	116 932	POINT(121.731 31.2872)	2016/08/09 15:37	129
353051000	MSC GAIA	162 867	POINT(121.734 31.3394)	2016/03/12 10:18	269
357101000	COSCO FUKUYAMA	50 622	POINT(121.745 31.3319)	2016/03/05 7:47	171
413364020	TAI CANG HE	6819	POINT(121.774 31.2664)	2016/03/05 22:49	937
414205000	YUE HE	69 285	POINT(121.705 31.3322)	2016/05/26 12:29	237
477144800	CSCL SAN JOSE	33 726	POINT(121.71 31.3355)	2016/04/01 6:13	357
477400900	JI RUN	8732	POINT(121.8 31.2352)	2016/03/05 22:29	1049
538003478	INDIA RICKMERS	50 574	POINT(121.741 31.3361)	2016/04/16 18:02	1001

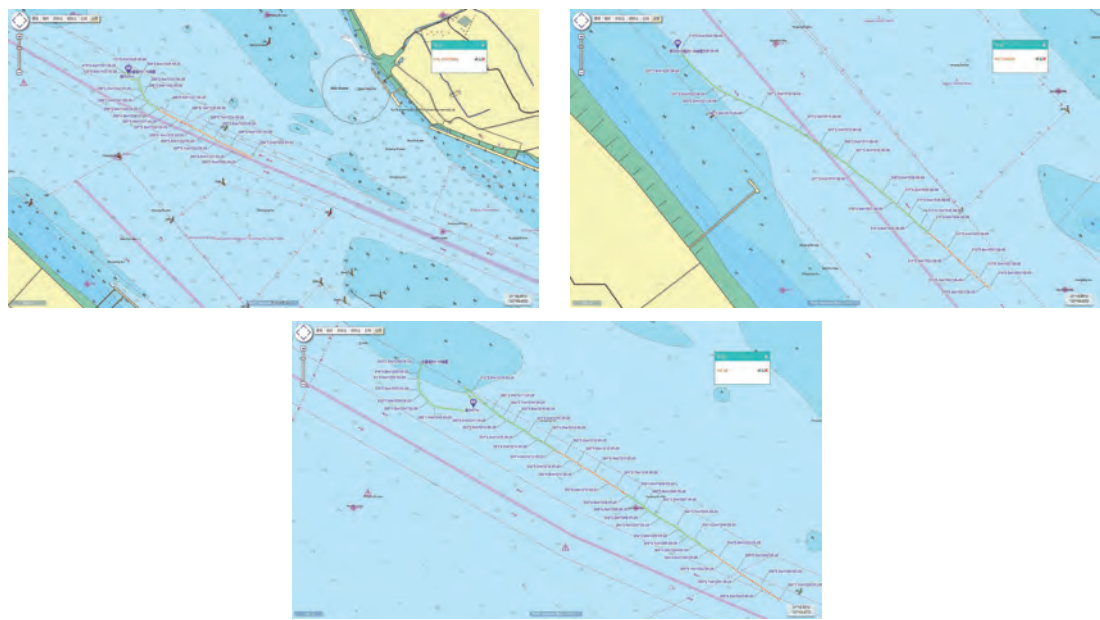


图5 异常停船历史轨迹
Fig. 5 Anomalous berthing ships' trajectories

未查询到其历史轨迹; 6艘船舶(MSC CHLOE、MSC GAIA、TAI CANG HE、CSCL SAN JOSE、JI RUN和INDIA RICKMERS)轨迹显示其实际并未停泊, 仅仅因为船速小于 v_{th} , 而被判定为停船; 船舶MARCONNECTICUT虽然有真实停泊记录, 但停泊位置在吴淞口锚地范围内, 不属于异常停船。

另外3艘船舶(ITAL CONTESSA、MSC CANDICE和YUE HE)如图5所示, 其历史轨迹中停泊起始时刻、停泊位置、停泊时间等信息与可疑停船列表一致。船舶停泊前在南港水道正常行驶, 临近停泊时大幅度改变航向, 却未能驶入相应指定停泊位置, 而是停泊在航道边缘。推测船舶在航道行驶时可能突发故障, 船舶失控, 导致船舶异常停泊。

表2中的船舶停泊时间和总载重吨有助于海事监管部门确定重点监测对象, 如总载重吨大或停泊时间长的异常停船。另外, 根据船舶MMSI和船舶名称, MSA可快速锁定航运公司, 有利于加强船舶岸上安全管理。最后, 异常停船记录中船位及停泊时间等, 可以记录船舶发生故障地点及其持续时间, 为船队管理提供重要依据。

4 结论

通过对外高桥港区船舶停泊点进行空间聚类, 并结合船舶历史轨迹分析, 发现大部分停泊船分布在外高桥港区码头岸线附近或锚地边界内, 即正常停泊船; 同时, 也有极少数停泊船远离码头岸线, 或不在锚地边界范围内, 而是停泊在航道附近, 即异常停泊船。异常停船点位于圆圆沙锚地至吴淞口锚地间的南港水道和江亚南沙锚地附近的南港水道航段。船舶停泊前、后位置变化幅度小, 而速度变化幅度大, 推测船舶突发故障是其异常停泊的原因。

下一步将围绕船舶异常停泊原因展开研究, 将异常停船记录按国籍、船公司等分类统计, 结合实船调研, 明确表2数据所反映的规律。

参考文献(References):

- [1] 陈龙彪, 张大庆, 李石坚, 等. 基于海事大数据的港口感知计算[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(11): 1485-1493. [Chen L B, Zhang D Q, Li S J, et al. Port sensing computation based on maritime big data[J]. Journal of Geo-information Science, 2016, 18(11): 1485-1493.]
- [2] 施婷婷, 徐涵秋, 王帅, 等. 海上丝绸之路起点——泉州港

岸线变化的遥感动态研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(3): 407-416. [Shi T T, Xu H Q, Wang S, et al. Remote sensing study of coastline dynamics of Quanzhou port: starting point of the ancient Maritime Silk Road[J]. Journal of Geo-information Science, 2017, 19(3): 407-416.]

- [3] 潘家财. 船舶AIS数据挖掘关键技术研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2015. [Pan J C. Research on the key technologies of ship AIS data mining[D]. Xiamen: Xiamen University, 2015.]
- [4] 高曙, 刘甜甜, 初秀民, 等. 船舶异常行为研究进展及发展趋势[J]. 中国航海, 2017, 40(2): 38-43. [Gao S, Liu T T, Chu X M, et al. Status and research trends on abnormal ship behavior[J]. Navigation of China, 2017, 40(2): 38-43.]
- [5] 周世波, 徐维祥. 船舶轨迹异常检测方法研究进展[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(3): 329-337. [Zhou S B, Xu W X. Research progress on anomaly detection in vessel tracking[J]. Journal of Electronic Measurement And Instrumentation, 2017, 31(3): 329-337.]
- [6] 朱飞祥, 张英俊, 高宗江. 基于数据挖掘的船舶行为研究[J]. 中国航海, 2012, 35(2): 50-54. [Zhu F X, Zhang Y J, Gao Z J. Research on ship behaviors based on data mining[J]. Navigation of China, 2012, 35(2): 50-54.]
- [7] 朱姣, 刘敬贤, 陈笑, 等. 基于轨迹的内河船舶行为模式挖掘[J]. 交通信息与安全, 2017, 35(3): 107-116. [Zhu J, Liu J X, Chen X, et al. Behavior pattern mining of inland vessels based on trajectories[J]. Traffic Information Security, 2017, 35(3): 107-116.]
- [8] 甄荣. 基于AIS信息的港口水域船舶异常行为识别研究[D]. 福州: 集美大学, 2015. [Zhen R. Research on ship anomaly behavior identification within harbour waters based on AIS data[D]. Fuzhou: Jimei University, 2015.]
- [9] 吴笛, 杜云艳, 易嘉伟, 等. 基于密度的轨迹时空聚类分析[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(10): 1162-1171. [Wu D, Du Y Y, Yi J W, et al. Spatial-temporal clustering analysis of track based on density[J]. Journal of Geo-information Science, 2015, 17(10): 1162-1171.]
- [10] 赵竹珺, 吉根林. 时空轨迹分类研究进展[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(3): 289-297. [Zhao Z J, Ji G L. Research progress of spatial-temporal trajectory classification[J]. Journal of Geo-information Science, 2017, 19(3): 289-297.]
- [11] 宁建强, 黄涛, 刁博宇, 等. 一种基于海量船舶轨迹数据的细粒度网格海上交通密度计算方法[J]. 计算机工程与科学, 2015, 37(12): 2242-2249. [Ning J Q, Huang T, Diao B Y, et al. A fine grained grid-based maritime traffic density algorithm for mass ship trajectory data[J]. Computer Engineering & Science, 2015, 37(12): 2242-2249.]
- [12] 叶仁道, 黄靓莹. 基于网络化密度聚类的船舶停泊点数据挖掘[J]. 水运管理, 2017, 39(8): 20-23. [Ye R D, Huang L Y. Data mining of ship's berthing points based on DB-

- SCAN[J]. Shipping Management, 2017,39(8):20-23.]
- [13] 丁兆颖,姚迪,吴琳,等.一种基于改进的DBSCAN的面向海量船舶位置数据码头挖掘算法[J].计算机工程与科学,2015,37(11):2061-2067. [Ding Z Y, Yao D, Wu L, et al. A dock mining algorithm for massive vessel location data based on improved DBSCAN[J]. Computer Engineering & Science, 2015,37(11):2061-2067.]
- [14] 向哲,施朝健,胡勤友,等.利用AIS数据计算港口间竞争度的方法[J].上海海事大学学报,2016,37(1):60-64. [Xiang Z, Shi C J, Hu Q Y, et al. An approach for calculating competitive degree among ports using AIS data[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2016,37(1):60-64.]
- [15] 郑海林,向哲,胡勤友.基于AIS数据的区域性搁置船舶统计[J].中国航海,2012,35(4):8-12. [Zheng H L, Xiang Z, Hu Q Y. Statistics and analysis of regional shelved ships based on AIS data[J]. Navigation of China, 2012,35(4):8-12.]
- [16] 周晓怡,胡勤友,向哲.利用AIS数据连续观测港口泊位服务水平的方法[J].中国水运月刊,2015,15(3):61-64. [Zhou X Y, Hu Q Y, Xiang Z. Methods for continuously observing service level of berths using AIS data[J]. China Water Transport, 2015,15(3):61-64.]
- [17] 中国人民解放军海军海道测量局.中国港口指南,东海海区[M].天津:中国航海图书出版社,2017. [China Navy Hydrographic Office. Guide To China ports, EAST China sea[M]. Tianjin: China Nautical Publishing House, 2017.]
- [18] 中国人民解放军海军司令部航海保证部.中国沿海港口图集[M].天津:中国航海图书出版社,2014. [The Navigation Guarantee Department of The Chinese Navy Headquarters. China Coastal Port Atlas[M]. Tianjin: China Nautical Publishing House, 2014.]