

DOI:10.13203/j.whugis20170090



文章编号:1671-8860(2019)02-0166-06

# 基于 GPS 数据的破冰船锚泊状态识别与特征分析

桂大伟<sup>1,2</sup> 庞小平<sup>1,2</sup> 艾松涛<sup>1,2</sup>

1 武汉大学中国南极测绘研究中心,湖北 武汉,430079

2 武汉大学极地测绘科学国家测绘地理信息局重点实验室,湖北 武汉,430079

**摘要:**锚泊安全对于穿梭于南北两极、出入冰区等恶劣航行条件的“雪龙”号破冰船至关重要。从“雪龙”号第 27 次南极考察航迹数据入手,分析其锚泊过程中的 GPS 轨迹特征,基于决策树原理设计并实现了锚泊状态识别算法。利用最小二乘原理对锚泊轨迹点进行拟合,得到破冰船锚泊偏荡周期中的逐个锚位,分析发现了 2011-02-14“雪龙”号停靠中山站锚地期间发生的走锚现象,结合气象数据进一步分析了走锚现象的成因,验证了利用拟合锚位监控锚泊状态的可行性。

**关键词:**“雪龙”号; 锚泊状态; 特征分析

**中图分类号:**P228

**文献标志码:**A

“雪龙”号破冰船作为我国目前唯一的极地考察破冰船,不仅是运送补给与科考人员的重要载体,也是开展包含海洋生物学、物理海洋学、大气科学、气象科学、海冰与遥感等诸多学科数据采集与实验研究的重要移动平台。在奔赴南、北两极执行远洋科考任务的过程中,“雪龙”号跨越南北半球,航迹覆盖了热带、亚热带、温带、寒带等所有气候带,其航行状态也随着洋流、气旋以及海冰等外界环境的变化而随时进行调整。其航行的关键状态可归纳为以下几类:正常航行、锚泊、靠港、浮冰中停船、大洋中停船和破冰<sup>[1]</sup>。其中锚泊状态是“雪龙”号航行过程中的一个重要组成部分,在避风、等候泊位以及极区装卸货期间,“雪龙”号都需要在锚地抛锚,一旦走锚,就有可能发生船舶搁浅、触礁甚至碰撞事故,对生命财产安全造成极大的威胁。

国内外学者针对锚泊状态在船舶运动模型、偏荡状态与风、流等外界干涉力的作用关系以及锚泊警戒范围在安全锚泊中的应用等领域做了大量研究。通过构建船舶运动模型,利用计算机仿真风、流等外界干涉力对船舶锚泊状态的影响,加深了对锚泊状态本质的认识<sup>[2-6]</sup>。随着定位精度的提高,相关学者也论证了将 GPS 应用于船舶锚位监测的可靠性<sup>[7]</sup>,为走锚预报研究提供了条件

和理论基础,为船舶的安全航行提供保障<sup>[8-13]</sup>。上述针对锚泊船偏荡状态的仿真研究大多是基于实验船相关参数进行数值计算得到的结果,鲜有以船舶实际航行轨迹作为研究对象进行分析和算法验证的。

目前,利用合适的算法分析和挖掘轨迹数据是研究个体时空信息的主要方法和趋势<sup>[14]</sup>。本文在分析了“雪龙”号实际考察航次中锚泊状态的轨迹数据特征后,设计并实现了基于 GPS 数据的锚泊状态识别算法,利用最小二乘原理对发生锚泊偏荡现象的轨迹进行拟合,得到“雪龙”号锚泊偏荡时的拟合锚位,并结合船载与站基气象数据对“雪龙”号走锚现象进行分析。

## 1 基于 GPS 的锚泊状态识别

### 1.1 锚泊偏荡状态

锚泊偏荡是指单锚泊船由风、流等外力作用而产生的一种低频偏荡运动,该运动是由首摇、纵荡和横荡复合而成的周期性运动。产生的原因是由于船舶所受到的风力、水动力和锚链张力的变化呈现较强的周期性。在描述船舶的偏荡激烈程度时,通常采用横荡幅度来表征,另外采用偏荡周期来衡量偏荡的快慢程度,这一概念是指偏荡船

收稿日期:2017-12-08

项目资助:国家自然科学基金(41531069, 41576188, 41476162)。

第一作者:桂大伟,博士生,主要从事极地空间数据挖掘研究。guidawei@chinare.cn

通讯作者:艾松涛,博士,副教授。ast@whu.edu.cn

舶自左向右,再从右到左地完成一次偏荡运动所经历的时间。船舶抛锚后,当受到的风、流作用较小时,锚泊船船位变化很小甚至不发生变化;当风、流作用较大时,锚泊船船位变化呈现出规律性,基本呈横八字型“∞”。当风、流等外力的作用持续增大并超过锚和锚链所产生的抓力,锚在海底发生移动,相应的船舶位置也发生移动,就是所谓的走锚<sup>[15]</sup>。

## 1.2 偏荡识别模型的建立

本文所采用的实验数据来源于“雪龙”号第 27 次南极科考 2010-11-2011-04 的历史航迹数据<sup>[16]</sup>,数据内容包括时间、经度、纬度、航向、速度,时间分辨率为 1 min。在研究锚泊状态时,首先需要根据锚泊运动特征设计正确的算法进行识别。

文献[1]对 27 次南极科考整个航次 GPS 数据进行统计分析,通过人工判断的方式得到“雪龙”号在不同速度和航向阈值条件下对应的航行状态。其中锚泊状态与“雪龙”号的靠港、浮冰中停船、大洋中临时停船以及破冰时由于冰情严重发生的“冰卡”状态同属于低航速航行状态,反映在 GPS 数据上具有一定的相似性。这几类状态各自特征如下。

1) 靠港时船舶可近似为静止状态,航行速度一般为 0,由于港口处受风、流作用较小,考虑到 GPS 的定位误差,此状态下船舶位移反映在数据上不会很大;

2) 浮冰中停船状态通常发生在冰区航行途中,破冰船在破冰时冲上平整的浮冰,使左右两侧船舷卡在浮冰中并随浮冰缓慢运动,这种航行状态一般是由于无法找到合适地点抛锚临时停船,或是为了进行冰站上考察作业,其一般特征为航速 1 节以下,但是由于跟随浮冰漂移而运动,所以不会有较大的航向变化;

3) 大洋中临时停船通常发生在执行大洋考察任务阶段,在特定海区由于布设浮标等任务的需要而临时停船,利用航向变化较易区分;

4) “冰卡”是由于在破冰过程中气候突变导致破冰船周围浮冰短时间内快速聚集凝结,使破冰船无法动弹,从航速上看,此阶段的平均航速为 1 节以下,但发生“冰卡”时,船舶驾驶人员都会尝试采取相应措施脱困,如冲击式破冰等,冲击式破冰作业时,船舶航向变化频繁,同时破冰所导致的船舶位移也能作为判别的重要条件。

在文献[1]的状态识别阈值基础上,本文根据这几类低航速状态各自特点设置判断条件,基于决策树原理设计了锚泊状态识别算法(见图 1),

实现了锚泊状态的识别。

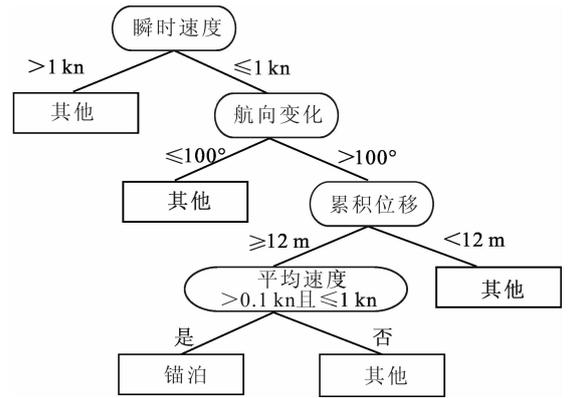


图 1 锚泊状态决策树识别模型

Fig. 1 Decision Tree for Recognition Model of the Anchoring Status

## 2 锚泊偏荡特征分析

### 2.1 锚泊偏荡过程模型

利用上述算法对第 27 次南极科考 GPS 轨迹数据进行识别,发现“雪龙”号在 2011-02-14 停靠中山站锚地期间 GPS 轨迹有明显的偏荡特征,轨迹点分布呈现分层现象(见图 2),据此推测可能发生了走锚。图 2 中“三角形”点状符号表示偏荡半周期拟合锚位。

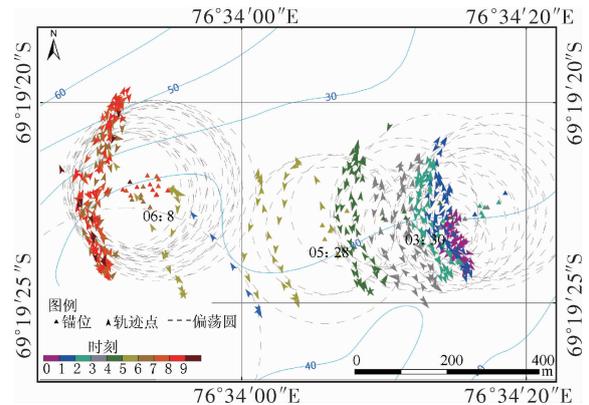


图 2 中山站锚地“雪龙”船轨迹图

(2011-02-14 T 00:00-09:00)

Fig. 2 Trajectories of Xuelong in the Zhongshan Station Anchorage(2011-02-14 T 00:00-09:00)

根据前文针对锚泊偏荡特征的描述可知,风、流等外力与锚链拉力相互作用使锚泊船运动轨迹呈现横八字形。本文将形成这一特殊轨迹的力学过程近似为锚链的“弹性伸缩”,并假设偏荡轨迹是基于同一初始锚位形成的多个同心圆上的点,根据上述假设条件绘制锚泊船偏荡轨迹和偏荡圆关系如图 3 所示。图 3 中,红色曲线表示锚泊船实际的偏荡轨迹,偏荡圆  $O_1$  表示锚链长度为  $R_1$

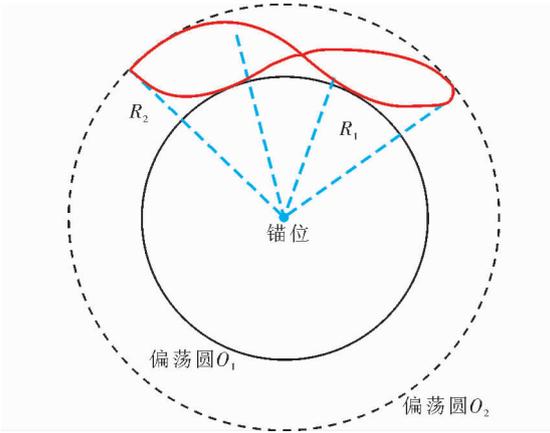


图3 偏荡轨迹与偏荡圆示意图

Fig. 3 Schematic Diagram of the Anchoring Trajectories and Anchoring Circle

时的圆,偏荡圆  $O_2$  表示锚链长度为  $R_2$  时的圆。因此,寻找一段偏荡轨迹所对应的锚位就简化为寻找偏荡圆圆心。通过对一个偏荡周期内所有轨迹点进行外接圆拟合,就可以得到偏荡圆的圆心坐标,视为该偏荡周期的锚位。

## 2.2 基于最小二乘原理的锚泊圆心拟合

本文将寻找偏荡过程中锚位的问题抽象为求偏荡轨迹的圆心,基于最小二乘原理拟合出偏荡轨迹点对应的圆心,并以此作为该轨迹点群所对应的锚位。

田社平等<sup>[17]</sup>给出了一种求任意位置平面圆圆心及半径的算法,并通过大量计算机仿真计算对算法进行了验证,得出了该算法精度能够满足求取任意平面圆心和半径的需要。该算法中拟合圆圆心与半径估计式为:

$$(x_i - \hat{u}_1)^2 + (y_i - \hat{u}_2)^2 = R^2 \quad (i = 1, 2 \dots m) \quad (1)$$

式中,  $(x_i, y_i) (i = 1, 2 \dots m)$  为轨迹点;  $(\hat{u}_1, \hat{u}_2)$  为拟合圆圆心。

式(1)为非线性方程,直接求解较为困难。由于本文对偏荡轨迹圆心的求解是基于轨迹点都是锚泊船在同一锚位上产生的假设,也就是发生偏荡时没有走锚,因此可以认为同一段偏荡轨迹中对应的拟合圆相同,相应的拟合圆半径也相同,于是有:

$$(x_i - \hat{u}_1)^2 + (y_i - \hat{u}_2)^2 = (x_{i+1} - \hat{u}_1)^2 + (y_{i+1} - \hat{u}_2)^2, (i = 1, 2 \dots m-1) \quad (2)$$

式(2)可采用代数式的方法求解。由式(2)有:

$$2(x_{i+1} - x_i)\hat{u}_1 + 2(y_{i+1} - y_i)\hat{u}_2 = x_{i+1}^2 + y_{i+1}^2 - x_i^2 - y_i^2, (i = 1, 2 \dots m-1) \quad (3)$$

令

$$\begin{cases} 2(x_{i+1} - x_i) = a_i \\ 2(y_{i+1} - y_i) = b_i \\ x_{i+1}^2 + y_{i+1}^2 - x_i^2 - y_i^2 = c_i \\ i = 1, 2 \dots m-1 \end{cases} \quad (4)$$

则有:

$$a_i \hat{u}_1 + b_i \hat{u}_2 = c_i, (i = 1, 2 \dots m-1) \quad (5)$$

此时,  $\hat{u}_1, \hat{u}_2$  的最小二乘估计值应使误差函数

$$\sum_{i=1}^{m-1} e_i^2 = \sum_{i=1}^{m-1} (a_i \hat{u}_1 + b_i \hat{u}_2 - c_i)^2 \quad (6)$$

达到最小。

$$\text{令 } \frac{\partial \sum_{i=1}^{m-1} e_i^2}{\partial \hat{u}_1} = 0 \text{ 和 } \frac{\partial \sum_{i=1}^{m-1} e_i^2}{\partial \hat{u}_2} = 0, \text{ 则有:}$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m-1} (a_i \hat{u}_1 + b_i \hat{u}_2 - c_i) a_i = 0 \\ \sum_{i=1}^{m-1} (a_i \hat{u}_1 + b_i \hat{u}_2 - c_i) b_i = 0 \end{cases} \quad (7)$$

整理得:

$$\begin{cases} \hat{u}_1 \sum_{i=1}^{m-1} a_i^2 + \hat{u}_2 \sum_{i=1}^{m-1} a_i b_i = \sum_{i=1}^{m-1} a_i c_i \\ \hat{u}_1 \sum_{i=1}^{m-1} a_i b_i + \hat{u}_2 \sum_{i=1}^{m-1} b_i^2 = \sum_{i=1}^{m-1} b_i c_i \end{cases} \quad (8)$$

求解式(8)得到拟合圆圆心坐标  $(\hat{u}_1, \hat{u}_2)$

$$\begin{cases} \hat{u}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} b_i^2 \cdot \sum_{i=1}^{m-1} a_i c_i - \sum_{i=1}^{m-1} b_i c_i \cdot \sum_{i=1}^{m-1} a_i b_i}{\sum_{i=1}^{m-1} a_i^2 \cdot \sum_{i=1}^{m-1} b_i^2 - (\sum_{i=1}^{m-1} a_i b_i)^2} \\ \hat{u}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} a_i^2 \cdot \sum_{i=1}^{m-1} b_i c_i - \sum_{i=1}^{m-1} a_i c_i \cdot \sum_{i=1}^{m-1} a_i b_i}{\sum_{i=1}^{m-1} a_i^2 \cdot \sum_{i=1}^{m-1} b_i^2 - (\sum_{i=1}^{m-1} a_i b_i)^2} \end{cases} \quad (9)$$

相应的拟合圆半径为:

$$\hat{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sqrt{(x_i - \hat{u}_1)^2 + (y_i - \hat{u}_2)^2} \quad (i = 1, 2 \dots m) \quad (10)$$

根据前文对偏荡周期的定义,一个偏荡周期中锚泊船经历一次往复运动。但实际中锚泊船发生偏荡运动可能经历半个周期后就停止偏荡运动,且在走锚过程中两次偏荡之间锚位发生较大位移。因此本文将识别出的偏荡周期进行拆分,分别对半个周期内所有轨迹点进行拟合,并研究走锚过程中拟合锚位的分布情况。基于上述最小二乘原理,本文设计算法思路如下:①根据决策树模型找到处于偏荡状态的轨迹点;②利用锚泊偏荡的特征从轨迹点中提取半个偏荡周期(一次从

左向右或从右向左)的轨迹点;③根据最小二乘法对提取的轨迹点进行圆拟合,计算拟合圆圆心( $\hat{u}_1, \hat{u}_2$ ),并将圆心作为该偏荡过程中锚泊船的锚位,将圆心到各轨迹点( $x_i, y_i$ )距离的平均值 $\bar{R}$ 作为偏荡半径。

### 3 结果与成因分析

#### 3.1 结果分析

本文分析的中山站锚地偏荡数据中,共计 51 个半周期,其时长为 6~12 min,锚位拟合统计结果如表 1 所示。偏荡幅度和平均拟合半径离散程度较大,说明该时段偏荡状态具有较大不稳定性。

表 1 拟合结果统计

Tab. 1 Statistics of Fitting Results

项目	偏荡半周期/min	偏荡幅度/m	平均拟合半径/m
均值	9.080 0	101.469 0	145.403 4
标准差	1.275 2	20.657 5	42.994 3
最大值	12.000 0	134.993 1	294.781 8
最小值	6.000 0	43.574 0	47.110 5

根据锚泊偏荡识别算法提取各个偏荡半周期的拟合锚位,并计算拟合锚位到各 GPS 点的距离,绘制箱线图如图 4 所示。图 4 中 2011-02-14 T 06:08(红色虚线)之前每组数据分布差异较大,06:08以后每组数据的分布特征较之前相对一致,数据离散程度相近。根据前文对于锚泊偏荡产生机理的解释可知,假设锚位在偏荡过程中没有变化,由于锚链的“弹性伸缩”会导致锚泊半径不断变化。随着锚链的张弛,船和锚位间距时大时小,反映在数据上同 06:08 以后的数据分布相似,说明 06:08 之后船舶进入相对稳定的偏荡状态,而之前各组数据分布差异明显,存在走锚的可能。

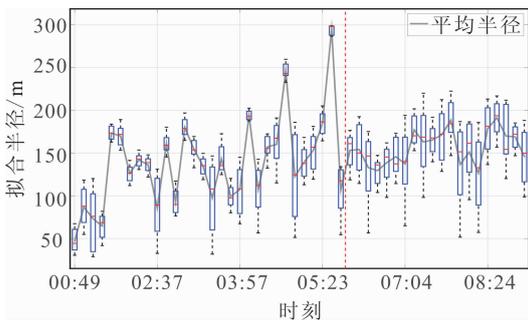


图 4 拟合结果箱线图

Fig. 4 Box Plot of the Fitting Results

图 5 进一步从时间-空间角度描述了 00:00—09:00 期间锚位分布情况:锚位点整体分布为两端聚集、中间分散,随着时间推移,锚位呈现向西偏移的趋势,推测该时段可能出现速度较大的持续性东风。03:30 之前,锚位点相对聚集,随后开

始向西移动;03:30—05:23 期间,锚位间距逐渐增大,锚位整体分布稀疏;05:31 锚位偏离点群距离最远,该“离群点”是由于此时段轨迹的偏折方向与之前相反(图 2 中蓝色箭头),分析原因可能是此时风速达到最大,风和流等整体外力作用大于锚链的拉力,锚钩挣脱海底发生走锚;06:08 之后,锚位分布相对集中,对应的偏荡轨迹较为密集,锚泊状态恢复稳定,可以推测此时风力有所下降或是海底底质相比之前更为坚硬,使锚位更加牢固。

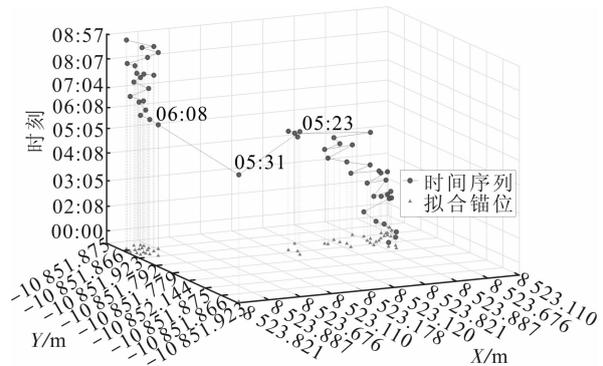


图 5 拟合锚位时间序列

Fig. 5 Time Series of Fitting Berths

#### 3.2 成因分析

船舶走锚通常是由风、流或者两因素共同引起的。前文数据分析表明“雪龙”号可能存在走锚现象,本文引入气象数据来甄别走锚成因。气象数据来源于“雪龙”号船载气象传感器和中山站气象监测站,数据内容主要包括获取时间、经纬度、风向、风速等。

图 6 包含中山站和“雪龙”船两处的风速、风向数据,其基本趋势一致,但中山站气象数据分辨率为 5 min,高于“雪龙”船 30 min 一次的采样频率。气象数据表明,2011-02-14 T 03:34—05:04 风速由 12.3 m/s 持续增大至 15.4 m/s,此阶段对应图 2 中 03:30 之后锚位开始向西移动。由于中山站锚地位于普里兹湾区域的小海湾内,洋流作用极其微弱,风的作用在影响船舶偏荡中占主导;05:04 风速维持在 15 m/s 以上,并一直持续至 06:34,此外图 6 中红色柱状图所示 00:00—09:00 风向为持续东风,风作为主要的驱动力,证实了本文对“雪龙”号在中山站锚地走锚过程的分析 and 成因推测。

### 4 结语

本文通过分析“雪龙”号考察航次(第 27 次南

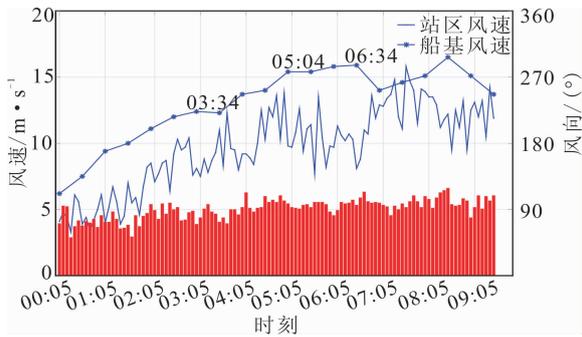


图6 风速、风向图(红色柱状图表示风向)

Fig. 6 Wind Speed and Wind Direction (Red Bars Denote the Wind Direction)

极考察)的GPS数据,设计并实现了基于决策树的锚泊偏荡状态识别算法。利用该算法识别出2011-02-14“雪龙”号停靠中山站锚地,并发现期间偏荡轨迹分布异常。通过构建偏荡轨迹与锚位关系模型,利用最小二乘原理对偏荡过程中的锚位进行拟合。在对拟合锚位的时间序列分析中发现,拟合锚位对偏荡轨迹的迁移十分敏感,当“雪龙”号处于稳定偏荡状态时,拟合锚位能够反映船舶的实际锚位;一旦发生走锚现象,拟合锚位位置变化显著,能够作为走锚现象的识别指标监测锚泊状态的稳定性。结合气象数据对比分析,发现在拟合锚位分布异常阶段风速偏大,印证了2011-02-14“雪龙”号停靠中山站锚地期间发生走锚的推断,且风是造成该时段走锚的主要原因。

本文仅从GPS数据入手对破冰船的偏荡运动特征进行分析,采用最小二乘法对锚泊船的偏荡轨迹数据拟合得到锚位,是研究破冰船锚泊偏荡和走锚过程方法上的探索。利用GPS数据识别锚泊偏荡半周期,将船舶的偏荡过程抽象为相对独立的运动过程,可实时计算每个半周期内的拟合锚位,比较拟合锚位的变化即可推测船舶是否发生走锚,对于普通船舶的锚泊状态监控和锚泊安全预警也有借鉴意义。后续可以考虑引入锚泊船出链长度信息以及锚地水深信息,利用更高时间分辨率的锚位数据进一步研究海底底质以及风、流等外界环境对锚泊船偏荡运动的影响,以期对破冰船的锚泊安全提供有益的支撑。

## 参 考 文 献

[1] Ai S, Zhang J, E Dongchen. Design and Realization of Interactive Management System for M/V XUE-LONG[C]. International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce, ZhengZhou, China, 2011

[2] Wang Xue, Lu Jing. Study on Mathematical Modeling of Ship Motion Control and Mooring Process[J]. *Ship Science and Technology*, 2016 (6):13-15 (王雪,陆晶. 船舶操控及锚泊过程的运动数学建模研究[J]. *舰船科学技术*, 2016 (6): 13-15)

[3] Xiao Yue, Wang Yanying. Computational Analysis of Moored Floating-body[J]. *Journal of Dalian University of Technology*, 2005, 45(5):682-686 (肖越,王言英. 浮体锚泊系统计算分析[J]. *大连理工大学学报*, 2005, 45(5): 682-686)

[4] Zhang Yuxi, Hong Biguang, Yang Linjia, et al. Yawing of an Anchored Ship in Wind and Current[J]. *Journal of Dalian Maritime University*, 2009,35(4):25-29(张玉喜,洪碧光,杨林家,等. 锚泊船在风流中的偏荡运动研究[J]. *大连海事大学学报*, 2009, 35(4): 25-29)

[5] Wei Yunyu, Hong Biguang, Yu Yang. A Further Study on Mathematical Model for Ship Motion at Anchor[J]. *Journal of Dalian Maritime University*, 2004,30(3):21-23(魏云雨,洪碧光,于洋. 锚泊运动数学模型[J]. *大连海事大学学报*, 2004, 30(3): 21-23)

[6] Hou Jianjun, Dong Fang, Shi Aiguo, et al. Calculation Method of Chain Force on Ship at Anchor[J]. *Journal of Dalian Maritime University*, 2005, 31(4):10-14(侯建军,东昉,石爱国,等. 锚泊状态下锚链作用力的计算方法[J]. *大连海事大学学报*, 2005, 31(4): 10-14)

[7] Dong Fang, Yang Yansheng. Study on the Method for Watching Anchor Position by Use of GPS[J]. *Journal of Dalian Maritime University*, 1994, 20(2):11-16(东昉,杨盐生. 利用GPS接收机进行锚位监视方法的研究[J]. *大连海事大学学报*, 1994, 20(2): 11-16)

[8] Yang Linjia, Yang Zuochang, Yu Yang. Vessel Anchor Dragging Early Warning System[J]. *Journal of Dalian Maritime University*, 2005, 31(1):29-32(杨林家,杨佐昌,于洋. 船舶走锚预警系统[J]. *大连海事大学学报*, 2005, 31(1): 29-32)

[9] Duan Bingbing, Wang Jiexian, Wang Cheng. High-precision Prediction of Ships Including Speed and Orientation[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(3): 422-426(段兵兵,王解先,王成. 融合速度和方向信息的船舶位置高精度预报[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2015, 40(3): 422-426)

[10] Wang Fei. Dynamic Prediction and Analysis on Mooring Maneuver of Ship[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2012, 46(8): 1 210-1 217(王飞. 船舶锚泊操纵运动预报与分析[J]. *上海交通大学学报*, 2012, 46(8): 1 210-1 217)

- [11] Hong Biguang, Wang Fengchen, Hu Yuqi, et al. Analysis of Low-Frequency Yawing Motion of a Ship at Anchor in Wind and Current and Prediction of Dragging Anchor[J]. *Journal of Dalian Marine College*, 1989, 15(2): 1-9(洪碧光, 王逢辰, 胡玉琦, 等. 风流作用下锚泊船低频振荡分析及走锚预报[J]. 大连海运学院学报, 1989, 15(2): 1-9)
- [12] Li Wei, Yu Yang, Liu Xianpeng. Assessment of Anchoring Safety Based on the Watching Condition of Anchor Chain[J]. *Journal of Dalian Maritime University*, 2004, 30(1): 55-57(李伟, 于洋, 刘贤朋. 基于锚链状态监测的锚泊安全评估[J]. 大连海事大学学报, 2004, 30(1): 55-57)
- [13] Wu Weibing, Yin Jianchuan. A Method to Find Dragging Anchor[J]. *Navigation of China*, 2012, 35(4): 124-127(吴卫兵, 尹建川. 准确判断船舶走锚方法[J]. 中国航海, 2012, 35(4): 124-127)
- [14] Wang Donggen, Sun Bingxia, Song Jinglu. Methods for Detecting Activity-Trace Behavior Information from Passive GPS Data: State-of-the-Art[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6): 671-681(王冬根, 孙冰夏, 宋璟璐. 利用被动式 GPS 数据的交通行为信息提取方法: 发展现状及趋势[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(6): 671-681)
- [15] Gu Wenxian. Slewing Motion of a Single Point Mooring Ship(2)[J]. *World Shipping*, 1996(5): 52-55(古文贤. 单锚泊船的偏荡运动(二)[J]. 世界海运, 1996(5): 52-55)
- [16] Ai Songtao, E Dongchen, Zhu Jiangang, et al. Development and Discussion on Information Platform XUELONG Online[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2011, 23(1): 56-61(艾松涛, 鄂栋臣, 朱建钢, 等. 雪龙在线网络信息平台的研发与展望[J]. 极地研究, 2011, 23(1): 56-61)
- [17] Tian Sheping, Zhang Shouyu, Li Dingxue, et al. Least Squares Fitting of Plane Circle and Radius [J]. *Practical Measurement Technology*, 1995(5): 23-25(田社平, 张守愚, 李定学, 等. 平面圆圆心及半径的最小二乘拟合[J]. 实用测试技术, 1995(5): 23-25)

## Recognition and Feature Analysis of Anchoring Status from Icebreaker Based on GPS Data

GUI Dawei<sup>1,2</sup> PANG Xiaoping<sup>1,2</sup> AI Songtao<sup>1,2</sup>

1 Chinese Antarctic Center of Surveying and Mapping, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Key Laboratory of Polar Surveying and Mapping, NASG, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** Anchoring security is very important to the icebreaker Xuelong during the voyages of polar expeditions. To analyze the feature of anchoring status, we built a decision tree model to recognize the anchoring pattern from the historical trajectory data from the 27th Chinese National Antarctic Research Expedition. On the basis of the recognition model, we retrieve the anchor position during the yawing period using the least squares principle. The fitting anchor position illustrates that the drag-anchor phenomenon occurred when Xuelong was in Antarctic Zhongshan anchorage on February 14, 2011. Combining with the meteorological data, we discuss the cause of drag-anchor and verify the feasibility of near-real-time anchor monitoring by using the fitting anchor position method.

**Key words:** Xuelong icebreaker; anchoring status; feature analysis

**First author:** GUI Dawei, PhD candidate, specializes in spatial data mining in polar region. E-mail: guidawei@chinare.cn

**Corresponding author:** AI Songtao, PhD, associate professor. E-mail: ast@whu.edu.cn

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41531069, 41576188, 41476162.