# 引言

本章首先介绍了船舶轨迹数据的研究背景；其次，概述了基于VMS数据的国内外研究现状,以及轨迹数据研究成果；之后，总结了本文的研究内容、贡献和难点；最后，对全文的组织架构进行了简要说明。

## 研究背景与意义

我国位于亚洲东部，太平洋西岸，大陆海岸线1.8万公里，海洋国土面积约300万平方公里，南北纬横跨近40度。这样的海域环境蕴含了丰富的渔业资源，不仅丰富了食物的来源，更增加了劳动收入。但是近年来，我国近海渔业资源日趋枯竭，并且渔民收入下降难以维持收支平衡，这对矛盾越来越突出。主要原因是：一方面，在利益驱使下“竭泽而渔”，严重破坏了海洋生态平衡；另一方面，渔民的捕捞行为往往依靠口口相传的经验，容易造成局部区域的过度捕捞，缺乏系统科学的指导。为了规范渔业捕捞，实现海洋资源的可持续性利用，中国农业部出台了一系列举措。单以伏季休渔为例，在2013年延长各海域不同类型渔船禁渔期为2至3个月之后，2017年初，再次调整禁渔期，且在原有基础上又普遍延长一个月[[1]](#endnote-1)。此外，2017年初规定，在“十三五”期间控制渔船船数和功率数，淘汰老旧木制渔船和过度捕捞船型，如船底拖网、三角虎网等，并为每个省份制订了指标和进度计划[[2]](#endnote-2)。

在这样的形势下，船舶监控系统(Vessel Monitoring System，VMS)越来越受到重视。它起源于葡萄牙，最初是为了保障船舶航行安全[[3]](#endnote-3)。如今已经发展为集全球卫星定位系统、地理信息系统、电子海图、计算机网络通讯和数据库技术于一体的综合应用系统。主要由船载终端与地面基站两部分构成，通过卫星进行通信[[4]](#endnote-4)。船载终端负责对船舶进行定位，并利用传感器采集船舶运行状态的一系列数据。地面基站负责收集、存储数据，并向船舶反馈实时信息，如警示与其他船只存在碰撞危险等。

虽然VMS在不同地区的部署略有不同，但采集的数据基本都包含了时间、经纬度、瞬时速度、船艏向等字段。相比于国外VMS数据采集间隔长达两小时[[5]](#endnote-5)，我国基于北斗卫星导航的VMS能够达到平均三分钟一条记录的采样频率，且传输可靠性高。这为科学研究提供了便利，不仅能够统计不同海域的捕捞强度，更能够揭示渔业资源的时空变化，分析渔民的捕捞策略。

通过定位系统对人或车辆进行跟踪，来分析人的轨迹和行为，进一步对地理区块之间的关系进行分析，一直是受到研究者们关注的热点问题。它可以揭示个体行为的潜在规律，以及地理区块关系的时空变化。但是，海洋上没有统一的道路约束，船舶航行相对自由，如何分析区域之间的时空变化有待进一步研究。

综上所述，借助于VMS数据对渔业资源时空变化进行定量化分析，对于我国渔业管理有着重要的意义。另一方面，基于渔业轨迹数据的分析研究已经具备一定基础，且可以借鉴人和车辆的轨迹研究成果，进行知识迁移。所以，渔业船舶轨迹数据具备进一步挖掘的潜力，本文将以此为基础，对海洋捕捞规律进行研究。

## 研究现状

VMS轨迹数据的研究主要集中于渔船状态判断和渔船轨迹重构两个方面[[6]](#endnote-6)。

渔船行为判断主要是利用VMS数据的不同字段作为特征进行分析。比如，传统研究多以速度作为渔船状态的判断标准3，[[7]](#endnote-7)：（1）荷兰人Rijnsdorp[[8]](#endnote-8)根据捕捞作业轨迹求取速度平均值，并以2节误差作为阈值区分捕捞和航行行为；（2）通过对样例数据中捕捞和航行两种行为的分析，确定固定的速度区间作为渔船行为的判断标准[[9]](#endnote-9)，[[10]](#endnote-10)，[[11]](#endnote-11)，[[12]](#endnote-12)；（3）对于不同渔船船型设定不同的速度阈值进行判断，比如德国人Fock将拖网渔船的捕捞状态阈值设为<8kn，刺网渔船的捕捞状态阈值设为<5kn[[13]](#endnote-13)。

这种通过设定速度阈值进行渔船状态划分的方法处理速度较快，但是Bertrand指出，这种方法容易使渔船的捕捞状态的数据点数量被高估[[14]](#endnote-14)。Lee通过统计不同研究中的速度阈值，发现没有一个统一的速度阈值范围能够准确区分同一作业方式渔船的状态，且不同作业方式渔船的速度船艏向等字段差异明显，因此该方法的实用性较差[[15]](#endnote-15)。

另一种区分渔船状态的方法是对渔船轨迹进行数学建模。Walker等人在研究金枪鱼围网渔船的轨迹数据时使用状态空间模型（state-space model）将渔船状态分为寻找、捕捞、停泊、航行四个状态，并通过船艏向和航速作为参数建立隐马尔可夫模型（Hidden Markov Model, HMM）。结果表明，该方法的识别准确率较高且具备一定的推广性[[16]](#endnote-16)。Joo等人通过人工神经网络进行模型训练，提高了渔船行为判断的判断准确率[[17]](#endnote-17)。针对国内基于北斗卫星导航系统的渔船轨迹数据，张茂盛等人提出利用统计学模型分析航速和船艏向，进而判断捕捞状态的方法[[18]](#endnote-18)。

但是，这种方法需要大量的数据进行模型训练，最终结果的准确性很大程度依赖于数据集的质量。而训练过程一方面耗时较大，另一方面需要已经标记状态的轨迹数据作为训练数据，这个工作往往需要大量的人力成本，通常采用航海日志对比的方法，或者单独组织专业人员进行标记。

渔船轨迹重构的主要原因是VMS数据本身是离散的，且不同通讯系统、同一系统在不同通讯环境下的数据采集频率不同[[19]](#endnote-19)。渔船轨迹重构的目的就是还原渔船的真实轨迹。许多学者直接使用原始轨迹数据分析渔业活动[[20]](#endnote-20)，[[21]](#endnote-21)，[[22]](#endnote-22)，但是这些原始数据与真实轨迹相差较大。普遍采用的方法是对轨迹数据进行插值[[23]](#endnote-23)。最简单的是进行线性插值（straight linear interpolation）[[24]](#endnote-24)，虽然简洁快速，但是与真实轨迹区别较大。Skaar等人就指出当数据采样间隔在2h时，线性插值重构的的轨迹误差在3km以上[[25]](#endnote-25)。比较有代表性的是Hintzen等人提出的使用三次赫尔米特样条插值（cubic hermite spline）对渔船轨迹进行重构，重构结果误差较小[[26]](#endnote-26)。

在轨迹数据挖掘方面，根据Yu Zheng等人总结的人体、车辆轨迹研究[[27]](#endnote-27)，轨迹处理包括噪声处理[[28]](#endnote-28)、停止点检测[[29]](#endnote-29)、轨迹压缩[[30]](#endnote-30)、轨迹分段[[31]](#endnote-31)等内容。噪声处理是对原始数据中的错误记录或者误差较大的记录进行删除或纠正；停止点检测是分析对象在某个区域内徘徊行为，从而反馈出该区域更多的信息；轨迹压缩主要是为了减轻数据存储与通信的负担；数据分段是对于路径上不同行为模式进行分类。

## 研究内容和贡献

本课题以浙江省温州市单拖渔船为例，深入挖掘VMS数据信息，分析渔业资源的时空演变规律。主要研究内容如下：

设计了渔船行为识别系统（FAR）。针对国内缺少航海日志的情况，首先通过对原始数据进行预处理、港口识别、航次划分等操作获得航次数据。然后，利用形态学方法对捕捞区进行识别，实现快速准确的判断渔船行为，进而并且捕捞区的分布及变化情况。

设计了投票分类算法（VCA）。利用渔船在捕捞区之间的航行轨迹信息，对FAR中得到的捕捞区统计热度图进行分类。在此基础上，分析捕捞区域间的联系，抽象出它们之间的路网信息，统计分析捕捞区和路径的变化规律，量化分析渔业资源的时空变化规律。

设计并实现了渔业轨迹数据分析系统。利用MATLAB的GUI编程，将渔船行为识别系统（FAR）封装在用户界面中，便于观察分析渔船轨迹、航次和对应捕捞区、捕捞区统计热度图。为了减小系统的时间开销，同时考虑到数据质量问题，针对FAR进行了一系列的优化。

本文的主要贡献如下：

（1）利用形态学方法对捕捞区进行识别，并完成了渔船航行、捕捞行为的划分。这是已知的第一次使用图像处理的方法对捕捞区进行识别。

（2）提出了投票分类算法，对捕捞区统计热度图进行了合理分类，并根据拓扑关系构建了路网，使得陆上的行人、车辆轨迹分析研究方法可以迁移到海上。

## 论文组织结构

本文共分为六个章节，各章内容安排如下：

第一章 引言。介绍了船舶轨迹数据的研究背景；概述了基于VMS数据的国内外研究现状,以及轨迹数据研究成果；总结了本文的研究内容、贡献和难点。

第二章 渔船行为识别系统。按照数据预处理、港口定位与航次划分、捕捞区识别与统计的顺序，介绍了渔船行为识别系统的各个模块。并根据得到的结果分析了渔业资源的变化趋势。

第三章 投票分类算法。按照算法的设计流程对投票分类算法进行了详细的介绍。并根据结果对捕捞区域的变化以及渔民的捕捞行为进行了分析。

第四章 船舶轨迹数据分析系统。按照系统设计的三个层次——数据管理层、业务层、展示层的顺序，介绍了船舶轨迹数据分析系统。着重介绍了其中对渔船行为识别系统的改进。

第五章 总结与展望。对全文内容进行了总结，分析了未来的研究方向。

1. 中华人民共和国农业部渔业局.农业部办公厅关于做好2017年海洋伏季休渔工作的通知[Z].2017-2-20 [↑](#endnote-ref-1)
2. 中华人民共和国农业部渔业局.农业部关于进一步加强国内渔船管控 实施海洋渔业资源总量管理的通知[Z].2017-1-16 [↑](#endnote-ref-2)
3. Witt M J, Godley B J. A Step Towards Seascape Scale Conservation: Using Vessel Monitoring Systems (VMS) to Map Fishing Activity[J]. Plos One, 2007, 2(10):e1111. [↑](#endnote-ref-3)
4. 陈曦浩, 毛雄斌, 雷科,等. 基于渔捞日志的舟山渔场单拖网渔获量时空特征分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2013, 32(3):202-207. [↑](#endnote-ref-4)
5. Mills C M, Townsend S E, Jennings S, et al. Estimating high resolution trawl fishing effort from satellite-based vessel monitoring system data[J]. Ices Journal of Marine Science, 2007, 64(2):248-255. [↑](#endnote-ref-5)
6. 郭刚刚, 樊伟, 张胜茂,等. 船位监控系统数据挖掘与应用研究进展[J]. 海洋渔业, 2016, 38(2):217-224. [↑](#endnote-ref-6)
7. Jonsen I, Myers R, James M. Identifying leatherback turtle foraging behaviour from satellite telemetry using a switching state-space model[J]. Marine Ecology Progress, 2007, 337(12):255-264. [↑](#endnote-ref-7)
8. Rijnsdorp A D, Buys A M, Storbeck F, et al. Micro-scale distribution of beam trawl effort in the southern North Sea between 1993 and 1996 in relation to the trawling frequency of the sea bed and the impact on benthic organisms[J]. Ices Journal of Marine Science, 1996, 55(3):403-419. [↑](#endnote-ref-8)
9. Dinmore T A, Duplisea D E, Rackham B D, et al. Impact of a large-scale area closure on patterns of fishing disturbance and the consequences for benthic communities[J]. Ices Journal of Marine Science, 2003, 60(2):371-380. [↑](#endnote-ref-9)
10. Deng R, Dichmont C, Milton D, et al. Can vessel monitoring system data also be used to study trawling intensity and population depletion? The example of Australia's northern prawn fishery[J]. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 2005, 62(2):611-622. [↑](#endnote-ref-10)
11. Murawski S A, Wigley S E, Fogarty M J, et al. Effort distribution and catch patterns adjacent to temperate MPAs[J]. Ices Journal of Marine Science, 2005, 62(6):1150-1167. [↑](#endnote-ref-11)
12. Walter J F, Hoenig J M, Gedamke T. Correcting for effective area fished in fishery-dependent depletion estimates of abundance and capture efficiency[J]. Ices Journal of Marine Science, 2007, 64(9):1760-1771. [↑](#endnote-ref-12)
13. Fock H O. Fisheries in the context of marine spatial planning: Defining principal areas for fisheries in the German EEZ[J]. Marine Policy, 2008, 32(4):728-739. [↑](#endnote-ref-13)
14. Bertrand S, Burgos J M, Gerlotto F, et al. Lévy trajectories of Peruvian purse-seiners as an indicator of the spatial distribution of anchovy ( Engraulis ringens )[J]. Ices Journal of Marine Science, 2005, 62(3):477-482. [↑](#endnote-ref-14)
15. Lee J, South A B, Jennings S. Developing reliable, repeatable, and accessible methods to provide high-resolution estimates of fishing-effort distributions from vessel monitoring system (VMS) data.[J]. Ices Journal of Marine Science, 2010, 67(6):1260-1271. [↑](#endnote-ref-15)
16. Walker E, Bez N. A pioneer validation of a state-space model of vessel trajectories (VMS) with observers’ data[J]. Ecological Modelling, 2010, 221(17):2008-2017. [↑](#endnote-ref-16)
17. Joo R, Bertrand S, Chaigneau A, et al. Optimization of an artificial neural network for identifying fishing set positions from VMS data: An example from the Peruvian anchovy purse seine fishery[J]. Ecological Modelling, 2011, 222(4):1048-1059. [↑](#endnote-ref-17)
18. 张胜茂, 杨胜龙, 戴阳,等. 北斗船位数据提取拖网捕捞努力量算法研究[J]. 水产学报, 2014, 38(8):1190-1199. [↑](#endnote-ref-18)
19. Chang S K. Application of a vessel monitoring system to advance sustainable fisheries management—Benefits received in Taiwan[J]. Marine Policy, 2011, 35(2):116-121. [↑](#endnote-ref-19)
20. Rijnsdorp A D, Buys A M, Storbeck F, et al. Micro-scale distribution of beam trawl effort in the southern North Sea between 1993 and 1996 in relation to the trawling frequency of the sea bed and the impact on benthic organisms[J]. Ices Journal of Marine Science, 1996, 55(3):403-419. [↑](#endnote-ref-20)
21. Dinmore T A, Duplisea D E, Rackham B D, et al. Impact of a large-scale area closure on patterns of fishing disturbance and the consequences for benthic communities[J]. Ices Journal of Marine Science, 2003, 60(2):371-380. [↑](#endnote-ref-21)
22. Hiddink J G, Jennings S, Kaiser M J. Indicators of the Ecological Impact of Bottom-Trawl Disturbance on Seabed Communities[J]. Ecosystems, 2006, 9(7):1190-1199. [↑](#endnote-ref-22)
23. Yang W, Wang Y, Ji Z. Analyses of Trawling Track and Fishing Activity Based on the Data of Vessel Monitoring System(VMS): A Case Study of the Single Otter Trawl Vessels in the Zhoushan Fishing Ground[J]. Journal of Ocean University of China, 2015, 14(1):89-96. [↑](#endnote-ref-23)
24. Eastwood P D, Mills C M, Aldridge J N, et al. Human activities in UK offshore waters: an assessment of direct, physical pressure on the seabed[J]. Ices Journal of Marine Science, 2007, 64(3):453-463. [↑](#endnote-ref-24)
25. Skaar K L, Jørgensen T, Ulvestad B K H, et al. Accuracy of VMS data from Norwegian demersal stern trawlers for estimating trawled areas in the Barents Sea[J]. Ices Journal of Marine Science, 2011, 68(8):1615-1620. [↑](#endnote-ref-25)
26. Hintzen N T, Piet G J, Brunel T P A. Improved estimation of trawling tracks using cubic Hermite spline interpolation of position registration data[J]. Fisheries Research, 2010, 101(1):108-115. [↑](#endnote-ref-26)
27. Zheng Y. Trajectory Data Mining: An Overview[M]. ACM, 2015. [↑](#endnote-ref-27)
28. W.-C. Lee, J. Krumm. 2011. Trajectory Preprocessing. Computing with Spatial Trajectories, Y. Zheng and X. Zhou eds., pp.1-31, Springer. [↑](#endnote-ref-28)
29. Zheng Y, Xie X. Learning travel recommendations from user-generated GPS traces[M]. ACM, 2011. [↑](#endnote-ref-29)
30. Douglas D H, Peucker T K. Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or Its Caricature[J]. Cartographica the International Journal for Geographic Information & Geovisualization, 1973, 10(2):112-122. [↑](#endnote-ref-30)
31. Yuan J, Zheng Y, Xie X, et al. T-Drive: Enhancing Driving Directions with Taxi Drivers[J]. IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering, 2012, 25(1):220-232. [↑](#endnote-ref-31)