

文章编号: 1004-2490(2016)02-0217-09

· 综述 ·

船位监控系统数据挖掘与应用研究进展

郭刚刚^{1,2}, 樊伟², 张胜茂², 郑巧玲^{1,2}, 王晓璇²

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090)

摘要: 船位监控系统(vessel monitoring system, VMS)作为一种渔船监控手段,同时也为渔业科学研究提供了一种新的数据来源。VMS数据记录了渔船实时的船位、航速、航向等动态信息,已被广泛应用于海洋渔业的诸多领域。本文结合国内外研究现状,对VMS数据分析挖掘方法进行了归纳和总结,对采用VMS数据进行捕捞努力量估算、渔民行为特点和渔场分析、捕捞活动对海洋生态环境影响等方面的研究进展进行了综述,并在此基础上分析了VMS数据在海洋渔业上的应用前景及其存在的问题,对今后我国采用VMS数据进行相关研究提出了建议。

关键词: VMS数据; 捕捞努力量; 渔场; 生态环境影响评估

中图分类号: S 972.9 **文献标识码:** A

渔业数据是进行渔业科学研究的基础,数据的精度直接影响到研究结果的准确性。目前,原始的渔业数据主要来自于渔船作业时记录的渔捞日志,但渔捞日志往往只记录渔船处于捕捞状态时的情况,渔船的实时位置、航速、航向、航行轨迹等信息则无从得知,且随着渔捞日志数据的层层上报,错报、误报的情况也时有发生,数据的完整性和准确性均有待提高^[1]。船位监控系统(vessel monitoring system, VMS)是一种集全球卫星定位、电子地图、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^[2]。其主要功能是实时获取并存储船舶的船位和运行状态信息,并将这些信息通过网络通讯传送给岸上监控中心,实现船舶与岸上监控中心之间信息的交互^[3]。VMS可以实时获取渔船的船位、航速、航向等渔船动态信息,从而弥补了渔捞日志数据在这些信息方面的不足。VMS的技术核心在于卫星定位和网络通讯,卫星定位广泛采用美国的全

球定位系统(global position system, GPS);在网络通讯方面,远洋渔船主要使用Inmarsat-C和ARGOS系统,近海和内陆渔船主要使用船舶自动识别系统(automatic identification system, AIS);我国自主研发的北斗卫星船位监控系统集卫星定位与网络通讯功能于一体,目前也已投入使用。

VMS设计之初是为了对船舶位置进行实时监测,以确保当船舶出现意外状况时可以提供及时的救助。20世纪末期,由于世界主要传统经济渔业资源的衰退,国际社会要求加强渔业资源养护与管理的呼声越来越高,各海洋国家对其所辖海域内渔业资源的管理也不断加强。传统的渔船监控和管理主要依靠海上巡逻和登临检查,在管理上有一定的局限性。1988年,葡萄牙开发了世界上首个渔船监控系统MONICAP,该系统可以将渔船的实时船位、航向、航速等数据自动传送到岸上监控中心,从而使监控中心能实时掌握和

收稿日期: 2015-07-02

基金项目: 上海市科学技术委员会长三角科技联合攻关领域项目(15595811000);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(东海水产研究所 2014T13)

作者简介: 郭刚刚(1991-),男,硕士研究生。E-mail: gzguogang@126.com

通讯作者: 王晓璇(1983-),女,助理研究员。Tel: 021-65682395, E-mail: wx1012@163.com

监督渔船的作业动态,大大提高了渔船监控的效率和力度,随后美国、澳大利亚、新西兰等渔业国家也都相继研发了本国的 VMS 对渔船进行监管^[4]。1996 年,欧盟要求欧洲所有长度大于 24 m 的渔船强制安装 VMS,到 2012 年,VMS 的强制安装范围扩大到了所有长度大于 12 m 的渔船^[5]。截至目前,基本上世界上所有的渔业国家均采用 VMS 作为监控手段来管理和养护所辖海域的渔业资源。

随着安装有 VMS 的渔船数量以及 VMS 数据积累时间的不断增长,VMS 数据在海洋渔业上的应用领域也不断拓展。我国于本世纪初引进 VMS。2006 年,随着我国自主研发的北斗卫星船位监控系统在南沙正式投入使用,我国渔船监控系统的建设进入快速发展时期^[6]。本文根据相关国内外文献资料,概述了 VMS 数据的分析挖掘方法,以及其在海洋渔业相关领域应用的研究进展,分析了 VMS 数据的应用前景和存在的问题,并提出了相应的建议,以期能为我国船位监控系统数据的挖掘和应用提供参考。

1 VMS 数据挖掘研究进展

VMS 数据包含有渔船船位、发报时间、航向、航速等渔船动态信息,数据的定位精度多为 10 m,但不同通讯系统的 VMS 数据间回报频率有很大差异。远洋船位监控系统 Inmarsat-C 和 ARGOS 的数据回报频率较低,每隔约 4 h 发送一次;AIS 数据回报频率与航速呈正比,航行时回报频率在 12 s 以内;我国北斗卫星船位监控系统数据回报频率为 3 min。VMS 数据虽然包含了丰富的渔船动态信息,但这些信息未能直接体现渔船的状态,即渔船是否处于捕捞状态。且 VMS 的两个点数据之间有一定的时间间隔,单纯的点数据分析并不能反映出渔船的真实航行轨迹。因此,目前对于 VMS 数据的分析和挖掘研究主要集中在两个方面:一是渔船状态判别,二是渔船轨迹重构。

1.1 渔船状态判别

由于 VMS 并没有传递具体的渔船状态信息,因此对于渔船状态的识别和划分成为 VMS 数据挖掘中不可避免的一个步骤,且识别的准确度直接关系到 VMS 数据的后续应用。目前,国内外研究中采用 VMS 数据分析渔船状态的方法可以概

括为 2 种:(1)通过分析渔船船速的变化判断渔船状态;(2)通过分析船速、航向等特征数据组成向量判断渔船状态。

以往的研究多是通过渔船速度设定阈值来实现对渔船状态的划分,这种方法在拖网渔船状态的判别中应用较为广泛^[7-10]。但 BERTRAND 等^[11]分析指出,简单的通过速度阈值来判断渔船状态会使处于捕捞状态的船位点数量被高估。LEE 等^[12]对不同研究中捕捞状态的速度识别阈值进行了统计,发现没有任何一种速度阈值适用于所有的渔船状态识别。且不同作业方式的渔船在速度、航向等特征数据的表现方式上也有着明显的差异,从而导致这种方法很难适用于所有类型的渔船,不具备很好的可推广性。

综合考虑船速和航向特征数据与渔船状态间的非线性关系,通过构建各类分析模型来识别渔船的状态是当前渔船状态判别研究的重点。其中,应用较为广泛的是状态空间模型(state-space model),状态空间模型在处理离散的数据方面有独特的优势,多被用于描述动物种群的动态变化以及在特定环境中重新估算标记动物在不同状态下的真实活动轨迹^[13-17]。WALKER 等^[18]首先将状态空间模型引入金枪鱼围网渔船的状态判别研究中,渔船的状态(找鱼,捕捞,停泊,航行)由以航向和航速为参数的随机多项式来表示,并通过隐马尔可夫转移概率矩阵进行判别,最后采用贝叶斯框架对模型进行简化,验证结果表明状态空间模型对渔船状态的识别有较高的准确性和可推广性。此外,JOO 等^[19]利用人工神经网络的方法来降低对于捕捞位置判断的错误率,并通过敏感性试验对参数和训练函数进行优化,使得对于捕捞位置的判断达到了较高的正确率。对于高时空分辨率的北斗数据,张胜茂等^[20]提出了用统计学的方法来分析拖网渔船状态,通过对较长时间的航速和航向数据进行统计分析,了解渔船航速和航向差数据的分布特征,进而获取捕捞状态下渔船航速和航向差的阈值来提取处于捕捞状态的船位点,最后采用过滤窗修正提高判定的准确率。

1.2 渔船轨迹重构

VMS 数据是一系列离散的点数据,且不同通讯系统的 VMS 数据回报频率不一^[21]。许多学者

尝试用这些离散的点数据来分析渔业活动^[22-26],但单纯的点数据分析很难反映渔船的真实航行轨迹。如何通过这些离散的点数据来准确的重构渔船活动轨迹是 VMS 数据在海洋渔业上应用的关键。渔船轨迹重构的方法主要是插值,通过插值的方法能够较好的还原渔船的真实活动轨迹^[27]。在陆地动物行为学研究领域,多采用插值的方法研究动物的活动轨迹^[28-31],目前对于渔船轨迹的研究也大多是借鉴了这些插值方法。

最简单的插值算法是线性插值 (straight linear interpolation)^[32-33],这种方法的优点是简单快速,而且对于连续和不连续的数据都可以处理,但线性插值的结果可能与渔船的实际轨迹存在较大偏差,特别是对于低回报频率的 VMS 数据,很可能导致渔船实际活动轨迹的长度被低估,而且线性插值没有考虑渔船的航向和速度对其轨迹的影响,所以轨迹重构的效能较低。SKAAR 等^[34]研究发现,当数据回报频率为 2 h 时,采用线性插值方法重构的渔船轨迹误差在 3 km 以上。

为了得到更为准确的渔船航行轨迹,许多复杂的插值方法逐渐被引入,其中最具代表性的是样条插值(spline interpolation)。样条插值是利用最小表面曲率的数学表达式来模拟生成能通过所有输入点的光滑曲线。样条插值兼顾了计算方法的快捷性和数据结构的复杂性,而且综合考虑了航向和航速对渔船轨迹的影响,实现了渔船轨迹与 VMS 数据最大程度的结合。样条函数种类繁多,每种样条函数有各自的优缺点和适用范围,寻找适合 VMS 数据的样条函数插值方法是渔船轨迹重构的关键。HINTZEN 等^[35]首次使用三次赫尔米特样条插值(cubic hermite spline)的方法来对渔船轨迹进行重构,三次赫尔米特样条函数使用时间、位置和切向量来构建多项式计算插值点,整个过程分为两个步骤:(1)计算控制点的切向;(2)计算插值点的位置,其中不同切向量的计算方式会产生不同的轨迹曲线。HINTZEN 等^[35]分别用两个多项式来描述经度和纬度两个方向的插值,两个多项式的切向量通过航向和速度计算得到。这种插值方法重构的渔船轨迹误差较小,且对不同类型的渔船轨迹均有较好的拟合效果。RUSSO 等^[36]引入了 Catmull - Rom 插值

来重构渔船轨迹,并在 Catmull - Rom 方法的基础上对切向量的计算公式进行了改进,其切向量通过相邻两个点的平均变化率计算得到。

2 VMS 数据应用研究进展

2.1 捕捞努力量估算

捕捞努力量是指在单位时间内某种捕捞方式投入捕捞生产的作业单位数量,它是渔业资源学研究中的一个重要参数^[37]。通过对 VMS 数据的分析挖掘,根据处于捕捞状态的渔船点位数据,结合渔船的数量、吨位、发动机功率、作业方式等信息,可以宏观、实时的把握水域内捕捞努力量的时空分布状况。目前,国内外学者采用 VMS 数据进行捕捞努力量估算的方法主要是运用空间分析技术中的点密度分析方法来估算捕捞努力量的时空分布。

点密度分析是指将渔船的作业时间分配给各个处于捕捞状态的船位点,然后通过密度分析,计算一定分辨率大小的地理网格内船位点的数量来表示捕捞努力量。如张胜茂等^[38]根据北斗卫星船位数据,计算了 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 经纬网格内累计的捕捞时间,结合拖网渔船的功率,估算出象山港拖网船捕捞努力量的分布情况。CORO 等^[39]计算了 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 分辨率下加拿大近海的月捕捞努力量的分布情况,并探讨了基于 VMS 数据的捕捞努力量估算业务化应用的可行性。MILLS 等^[40]探讨了在 $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ 的高空间分辨率下,采用 VMS 数据分析在北海作业的英国拖网渔船捕捞努力量分布的可行性。HINZ 等^[41]通过邻域分析,计算了以 1 km^2 大小的网格为中心、以 3 km 为搜索半径的区域内所有处于捕捞状态船位点的均值,作为该 1 km^2 网格内的捕捞努力量。点密度分析可以很好地反映大时空尺度下捕捞努力量的变化趋势,但分辨率的大小对评估结果影响很大。分辨率过大容易导致网格内捕捞努力量被高估,从而影响评估结果的精度,因此,选择合适的空间分辨率是采用点密度分析方法来估算捕捞努力量的关键所在^[42]。

2.2 渔民行为特点及渔场分析

为获取最大的经济收益,渔民往往寻求目标鱼类集群的、适宜于捕捞的海域进行捕捞作业,这些捕捞努力量密集分布的海域可以定义为渔场^[43]。因此,捕捞努力量的时空分布可以反映渔

民的行为特点、渔场位置及其动态变迁。

分析渔民的行为特点是目前 VMS 应用研究的热点之一。如 BERTRAND 等^[44]采用 VMS 数据重构了秘鲁鳀 (*Engraulis ringens*) 围网渔船的作业轨迹,结合相关声学调查所获取的鱼群空间分布情况,分析了渔民行为特点与鱼群空间分布的关系。FONSECA 等^[45]将葡萄牙近海拖网渔船的 VMS 数据与上岸渔获数据相匹配,并引入了计量经济学中的离散选择模型 (discrete choice model) 来模拟渔船船位动态变化与渔场变迁间的关系。JOO 等^[46]采用 VMS 数据重构了秘鲁鳀围网渔船的轨迹,通过聚类分析将渔船状态划分为找鱼、捕捞以及航行 3 种,并分析了不同状态下渔民捕捞策略的选择以及变化情况。

在渔场分析方面,JENNINGS 等^[47]将 VMS 数据与渔船上岸渔获数据相结合,综合考虑渔船的船型、渔具、主捕鱼种等因素,将英国西南部海域内的渔场定义为:整个捕捞海域内,捕捞努力量超过总量的 10% 且所占海域不超过总捕捞海域面积 50% 的区域。RUSSO 等^[48]采用格里菲斯时空自相关指数 (Griffith's spatio-temporal index, GSTI) 模型分析了基于 VMS 数据的地中海沿岸意大利拖网渔船捕捞努力量时空分布状况,研究发现,当 $GSTI > 0$ 时渔船处于渔场捕捞状态,此时渔船所处水域即定义为地中海沿岸意大利拖网渔船的作业渔场。邹建伟等^[49]根据南海海外广西灯光罩网渔船的北斗船位监控数据,计算了各渔区内船位点数量占同期南海海外海总船位点数量的比例,并按各渔区内渔船生产集中程度将作业区域划分为作业高密集区、密集区、低密集区和生产外围区 4 类,高密集区和密集区的捕捞努力量占总量的 2/3 以上,为广西灯光罩网渔船在南海海外海的主要渔场。

2.3 捕捞活动对生态环境影响分析

渔业活动对生态环境的影响主要表现在两个方面:对海洋环境的影响以及对海洋生物资源的影响^[50]。评估渔业活动对海洋环境影响的一个重要指标是捕捞强度,采用 VMS 数据计算单位时间、单位面积水域内投入作业的捕捞努力量,可以得到高时空分辨率的捕捞强度分布状况。目前,采用 VMS 数据评估渔业活动对海洋环境影响的研究多集中于对海洋底栖环境影响较大的拖网渔业上,如 LAMBERT 等^[51]估算了英国马恩

岛欧洲扇贝 (*Pecten maximus*) 底拖网渔船捕捞强度的分布状况,量化分析了拖网捕捞对海洋底栖环境的影响。GERRITSEN 等^[51]网格化计算了爱尔兰凯尔特海底拖网渔船的捕捞强度,探讨了高时空分辨下底拖网捕捞对海洋环境的影响。HINZ 等^[41]计算了爱尔兰坎布利亚海域挪威龙虾 (*Nephrops norvegicus*) 拖网渔船的拖网次数和拖拽范围,并与实地海底采样相结合,分析了拖网作业对海洋底栖环境、资源丰度以及生物多样性的影响。

VMS 数据与渔捞日志数据、港口上岸渔获数据以及 GPS 数据等相结合,还可用于分析捕捞活动对海洋生物资源的影响。DENG 等^[52]将 VMS 数据与渔捞日志数据相结合,分析了拖网捕捞对澳大利亚北部对虾资源种群损耗的影响。VOTIER 等^[53]重构了英格兰西南部海域渔船的航行轨迹,并将其与安装有 GPS 装置的塘鹅 (*Morus bassanus*) 群飞行轨迹进行时空匹配来研究渔船丢弃的渔获物与塘鹅觅食行为之间的关系,轨迹匹配以及塘鹅胃含物的稳定同位素分析均表明,渔船丢弃的渔获物是塘鹅食物的重要来源。SANTOS 等^[54]将在印度洋作业的葡萄牙延绳钓渔船 VMS 数据、观察员记录的渔获物采样数据以及上岸渔获物采样数据相结合,分析了不同捕捞强度下,其主要兼捕种类大青鲨 (*Prionace glauca*) 和尖吻鲭鲨 (*Isurus oxyrinchus*) 的钓获率以及个体大小的时空分布情况。

3 分析及展望

VMS 数据以其独有的实时性、准确性、宏观性等优势,在渔捞日志验证、渔业资源评估以及水产品溯源等方面也有着良好的应用前景。根据对 VMS 数据进行分析挖掘所获取的渔船状态及轨迹信息,可以验证渔捞日志中记录的捕捞作业位置、卸货港口信息的准确性^[55];VMS 数据加入渔业资源评估模型中,可以更好地反映渔业资源的时空分布特征,使评估结果更具真实性^[56];VMS 数据与渔捞日志数据、渔获物销售数据相结合,可将从捕捞到销售的整个水产品产业链连接起来,实现对水产品的溯源^[57]。另外,根据北斗导航系统建设总体规划,2020 年左右,将建成覆盖全球的北斗卫星导航系统。北斗数据具有极高的时空精度,北斗大数据的分析和挖掘将在渔

业安全、应急救援、环境监测、信息化服务等方面极大地推动我国海洋事业的发展。然而,VMS 从上世纪末出现到如今只有短短二三十年的时间,对 VMS 数据进行挖掘和拓展应用的时间则更短,诸多方面有待提高。

(1)VMS 数据应用的基础是通过对渔船船位、航速、航向等信息进行挖掘来获取渔船的捕捞状态及航行轨迹,然而由于渔船大小、作业方式、作业时间、主捕鱼种等因素的不同,甚至海洋环境、水深、天气情况等方面的差异也都会导致渔船船位、航速以及航向的变化,因此,设计更为合适的 VMS 数据挖掘方法与模型仍是今后研究的重点。

(2)船载 VMS 的通讯系统有 Inmarsat-C、ARGOS、AIS、北斗导航系统等,不同系统的 VMS 数据回报频率标准不一,数据间难以实现匹配和兼容,已经成为限制 VMS 数据应用的一个重要问题,加强国际间在 VMS 研发方面的交流与合作,制定统一的 VMS 国际标准十分有必要。

(3)目前,VMS 数据在海洋渔业上的应用还处在试验性的数据挖掘阶段,今后可以更多的考虑将其与渔捞日志自动采集技术、无线射频识别、电子代码、物联网等信息技术相结合,在渔业信息动态采集、渔海况自动分析、水产品自动溯源等方面进行拓展研究和应用。

参考文献:

- [1] WATSON R, PAULY D. Systematic distortions in world fisheries catch trends [J]. *Nature*, 2001 (414):534-536.
- [2] 季民,靳奉祥,李云岭,等. 远洋渔船动态监控系统研究[J]. *测绘科学*, 2005, 30(5):92-94.
JI M, JIN F X, LI Y L, *et al.* The study of dynamic monitor system of deep sea fishing vessels [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2005, 30(5):92-94.
- [3] 张寿桂,彭国均. 海监船舶 导航与监控管理信息系统[J]. *上海海事大学学报*, 2006, 27(3):31-35.
ZHANG S G, PENG G J. Information system of navigation and management of monitor and control for sea supervision ships [J]. *Journal of Shanghai Maritime University*, 2006, 27(3):31-35.
- [4] 曹世娟,黄硕琳,郭文路. 我国渔业管理运用渔船监控系统的探讨[J]. *上海海洋大学学报*, 2002, 11(1):89-93.
- CAO S J, HUANG S L, GUO W L. Discussion on adopting the vessel monitoring system in Chinese fishery management [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2002, 11(1):89-93.
- [5] LAMBERT G I, JENNINGS S, HIDDINK J G, *et al.* Implications of using alternative methods of vessel monitoring system (VMS) data analysis to describe fishing activities and impacts [J]. *Ices Journal of Marine Science*, 2012, 69(4):682-693.
- [6] 居礼. 北斗卫星导航系统在海洋渔业的应用[J]. *卫星与网络*, 2013(3):14-22.
JU L. The application of Beidou satellite navigation system in marine fisheries [J]. *Satellite & Network*, 2013 (3):14-22.
- [7] 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.
- [8] JONSEN I D, MYERS R A, JAMES M C. Identifying leatherback turtle foraging behavior from satellite telemetry using a switching state-space model [J]. *Marine Ecology Progress*, 2007, 337(12):255-264.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] LEE J, SOUTH A B, JENNINGS S, *et al.* 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.
- [13] OVASKAINEN O, HANSKI I. Spatially structured metapopulation models: Global and local assessment of metapopulation capacity [J]. *Theoretical Population Biology*, 2001, 60(4):281-302.
- [14] PATTERSON T A, THOMAS L, WILCOX C, *et al.* State-space models of individual animal movement [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2008, 23(2):

- 87–94.
- [15] ROYER F, FROMENTIN J M, GASPAR P. A state-space model to derive bluefin tuna movement and habitat from archival tags [J]. *Oikos*, 2005, 109 (3):473–484.
- [16] JONSEN I D, FLEMMING J M. Meta-analysis of animal movement using state-space models [J]. *Ecology*, 2003, 84(11):3055–3063.
- [17] VERMARD Y, RIVOT E, MAHEVAS S, *et al.* Identifying fishing trip behavior and estimating fishing effort from VMS data using bayesian hidden markov models [J]. *Ecological Modelling*, 2010, 221(17):1757–1769.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- ZHANG S M, YANG S L, DAI Y, *et al.* Algorithm of fishing effort extraction in trawling based on Beidou vessel monitoring system data [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(8):1190–1199.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] HIDDINK J, JENNINGS S, KAISER M J. Indicators of the ecological impact of bottom-trawl disturbance on seabed communities [J]. *Ecosystems*, 2006, 9 (7):1190–1199.
- [25] HIDDINK J, JENNINGS S, KAISER M J, *et al.* Cumulative impacts of seabed trawl disturbance on benthic biomass, production, and species richness in different habitats [J]. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 2006, 63(4):721–736.
- [26] PIET G J, QUIRIJNS F J, ROBINSON L, *et al.* Potential pressure indicators for fishing, and their data requirements [J]. *Ices Journal of Marine Science*, 2007, 64(1):110–121.
- [27] WANG Y, WANG Y B, ZHENG J. 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.
- [28] FLEMMING J M, MYERS R A, JONSEN I D. Robust state-space modeling of animal movement data [J]. *Ecology*, 2005, 86(11):2874–2885.
- [29] RYAN P G, PETERSAN S L, PETERS G, *et al.* GPS tracking a marine predator: the effects of precision, resolution and sampling rate on foraging tracks of African Penguins [J]. *Marine Biology*, 2004, 145(2):215–223.
- [30] TREMBLAY Y, SHAFFER S A, FOWLER S L, *et al.* Interpolation of animal tracking data in a fluid environment [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2006, 209(1):128–140.
- [31] HEDGER R D, MARTIN F, DODSON J J, *et al.* The optimized interpolation of fish positions and speeds in an array of fixed acoustic receivers [J]. *Ices Journal of Marine Science*, 2008, 65(7):1248–1259.
- [32] 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.
- [33] STELZENMULLER V, ROGERS S I, MILLS C M. Spatio-temporal patterns of fishing pressure on UK marine landscapes, and their implications for spatial planning and management [J]. *Ices Journal of Marine Science*, 2008, 65(6):1081–1091.
- [34] SKAAR K L, JORGENSEN 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.

- [35] HINTZEN N T, PIET G J, BRUNEL T. Improved estimation of trawling tracks using cubic hermite spline interpolation of position registration data [J]. Fisheries Research, 2010, 101(1):108–115.
- [36] RUSSO T, PARISI A, CATAUDELLA S. New insights in interpolating fishing tracks from VMS data for different métiers [J]. Fisheries Research, 2011, 108(1):184–194.
- [37] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京:海洋出版社, 2004.
- CHEN X J. Fisheries biology and fishing ground [M]. Beijing: Ocean Press, 2004.
- [38] 张胜茂, 崔雪森, 伍玉梅, 等. 基于北斗卫星船位数据分析象山拖网捕捞时空特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7):151–156.
- ZHANG S M, CUI X S, WU Y M, *et al.* Analyzing space-time characteristics of Xiangshan trawling based on Beidou Vessel Monitoring System data [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(7):151–156.
- [39] CORO G, FORTUNATI L, PAGANO P. Deriving fishing monthly effort and caught species from vessel trajectories [C]//OCEANS. The challenges of the Northern Dimension. Bergen: MTS/IEEE, 2013:1–5.
- [40] 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.
- [41] HINZ H, PRIETO V, KAISER M J. Trawl disturbance on benthic communities: Chronic effects and experimental predictions [J]. Ecological Applications a Publication of the Ecological Society of America, 2009, 19(3):761–773.
- [42] CHANG S K, YUAN T L. Deriving high-resolution spatiotemporal fishing effort of large-scale longline fishery from vessel monitoring system (VMS) data and validated by observer data [J]. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 2014, 71(9):1363–1370.
- [43] MARCHAL P, BO A, CAILLART B, *et al.* Impact of technological creep on fishing effort and fishing mortality, for a selection of European fleets[J]. Ices Journal of Marine Science, 2007, 64(1):192–209.
- [44] BERTRAND S, DIAZ E, LENGAINNE M. Patterns in the spatial distribution of Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) revealed by spatially explicit fishing data [J]. Progress in Oceanography, 2008, 79(2):379–389.
- [45] FONSECA T, CAMPOS A, AFONSO-DIAS M, *et al.* Trawling for cephalopods off the Portuguese coast fleet dynamics and landings composition [J]. Fisheries Research, 2008, 92(2):180–188.
- [46] JOO R, SALCEDO O, GUTIERREZ M, *et al.* Defining fishing spatial strategies from VMS data: Insights from the world's largest monospecific fishery [J]. Fisheries Research, 2015, 164(4):223–230.
- [47] JENNINGS S, LEE J. Defining fishing grounds with vessel monitoring system data [J]. Ices Journal of Marine Science, 2012, 69(1):51–63.
- [48] RUSSO T, PARISI A, CATAUDELLA S. Spatial indicators of fishing pressure: Preliminary analyses and possible developments [J]. Ecological Indicators, 2013, 26(1):141–153.
- [49] 邹建伟, 陈立峰, 林蒋进, 等. 南海外海灯光罩网主要渔场分布及变动研究—基于广西渔船的生产监测统计[J]. 南方水产科学, 2014, 10(4):78–84.
- ZOU J W, CHEN L F, LIN J J, *et al.* Analysis on variation & distribution of center fishing ground for light falling-net in offshore of the South China Sea: Based on statistics of fishery surveillance to Guangxi fishing vessels [J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(4):78–84.
- [50] WATSON R A, CHEUNG W L, ANTICAMARA J A, *et al.* Global marine yield halved as fishing intensity redoubles[J]. Fish & Fisheries, 2013, 14(4):493–503.
- [51] GERRITSEN H D, MINTO C, LORDAN C. How much of the seabed is impacted by mobile fishing gear? Absolute estimates from vessel monitoring system (VMS) point data [J]. Ices Journal of Marine Science, 2013, 70(3):523–531.
- [52] 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(12):611–622.
- [53] VOTIER S C, BEARHOP S, WITT M J, *et al.* Individual responses of seabirds to commercial fisheries revealed using GPS tracking, stable isotopes and vessel monitoring systems [J]. Journal of Applied Ecology, 2010, 47(2):487–497.
- [54] SANTOS M N, LINO P G, FERNANDZE C J, *et al.* Preliminary observations on the by-catch of elasmobranchs caught by the Portuguese longline fishery in the Indian Ocean: Biology, ecology and fishery [C]//IOTC. The 7th Session of the IOTC

- Working Party on Ecosystem and Bycatch. Lankanfinolhu: Republic of Maldives, 2011:1–14.
- [55] PALMER M C, WIGLEY S E. Using positional data from vessel monitoring systems to validate the logbook-reported area fished and the stock allocation of commercial fisheries Landings [J]. North American Journal of Fisheries Management, 2009, 29(4):928–942.
- [56] MULLOWNEY D R, DAWE E G. Development of performance indices for the Newfoundland and Labrador snow crab (*Chionoecetes opilio*) fishery using data from a vessel monitoring system [J]. Fisheries Research, 2009, 100(3):248–254.
- [57] 张胜茂, 唐峰华, 张 衡, 等. 基于北斗船位数据的拖网捕捞追溯方法研究[J]. 南方水产科学, 2014, 10(3):15–23.
- ZHANG S M, TANG F H, ZHANG H, *et al.* Research on trawling tracing based on Beidou vessel monitoring system data [J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(3):15–23.

Advances in mining and application of vessel monitoring system data

GUO Gang-gang^{1,2}, FAN Wei², ZHANG Sheng-mao², ZHENG Qiao-ling^{1,2}, WANG Xiao-xuan²

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Lab of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: Vessel monitoring system, as a fishing vessel monitoring means, provides a new data source for fisheries scientific research. VMS data records the dynamic information of real-time position, speed and heading of fishing vessels, making up for the deficiency of log book data in these aspects, and it has been widely used in marine fisheries. To further understand its advances in analyzing and mining of VMS data, we summarized the methods and models of fishing vessels states recognition and fishing vessels trajectory reconstruction, based on related literatures by researchers at home and abroad. On this basis, according to VMS data in fishing states, combining with the tonnage, engine power, fishing gear, such as information of fishing vessels, it could be used to estimate the spatial-temporal distribution of fishing effort; the spatial-temporal distribution of fishing effort could be used to analyze the behavior characteristics of fishermen, the location of fishing ground and dynamic changes of fishing ground; the fishing intensity was calculated by fishing effort in unit time and unit area, the spatial-temporal distribution of fishing intensity could be used to analyze the impact of fishing activity on the marine environment and marine biological resources. The research of the applications of VMS data in fishing effort estimation, the analysis of fishermen behavior characteristics and fishing grounds, and the impact of fishing activities on marine eco-environment have made great progresses. The technology of analyzing and mining of VMS data has been relatively mature. What's more, the application prospect of VMS data in marine fisheries is also very wide, but there still has many challenges in mining and application of VMS data, the research emphasis of mining and application of VMS data in the future will include: (1) the methods and models in analyzing and mining of VMS data need to be further perfected; (2) strengthening the international exchanges and cooperation to implement the unity of the recording frequency of VMS data between different communication systems; (3) combining the VMS data with the information technology just like the logbook automatic acquisition technology, radio frequency identification technology, electronic product code technology and internet of things technology, to explore the application of VMS data in the automatic acquisition of fisheries information, the automatic analysis of fisheries information and marine environment and the automatic tracing of aquatic products.

Key words: VMS data; fishing effort; fishing ground; eco-environmental impact assessment