



浙江省帆张网捕捞强度分布的提取方法

裴凯洋^{1,2}, 张胜茂^{1*}, 樊伟¹, 侯娟^{1,2}, 汤先峰^{1,2}, 朱文斌³

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所,
农业农村部东海渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;

2. 上海海洋大学信息学院, 上海 201306;

3. 浙江省海洋水产研究所,

浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江 舟山 316021)

摘要: 捕捞强度是渔业资源管理和评估领域的重要参数之一。传统的计算方法无法满足实时、大范围、快速统计时空分布的需要。本实验提出根据 VMS 数据对渔船生产活动划分作业阶段; 结合帆张网渔船的作业特点, 采用阈值划分和密度聚类算法提取网位, 计算各航次的捕捞时长; 划分地理格网并累加其范围内的捕捞时长, 以各格网平均每平方公里累计捕捞时长 (h/km^2) 作为帆张网捕捞强度的量化依据, 并可视化捕捞强度空间分布。本实验以 2017 年浙江省所属帆张网渔船的北斗 VMS 船位数据为研究对象, 共提取有效作业航次 733 个, 网位 6021 个, 累计捕捞时长 736 761.78 h。在 $121.6^\circ\sim 126.5^\circ\text{E}$ 、 $27.6^\circ\sim 33.9^\circ\text{N}$ 范围内划分 $0.1^\circ\times 0.1^\circ$ 地理格网, 2017 年上半年帆张网捕捞相对分散, 各格网平均捕捞强度 $11.26 \text{ h}/\text{km}^2$; 下半年相对集中, 平均捕捞强度 $12.83 \text{ h}/\text{km}^2$; 全年平均 $14.76 \text{ h}/\text{km}^2$ 。其中, 在 $125.4^\circ\sim 126.1^\circ\text{E}$ 、 $31.2^\circ\sim 32.1^\circ\text{N}$ 范围内捕捞强度最大, 平均 $28.51 \text{ h}/\text{km}^2$ 。本实验设计的网位提取、捕捞时长、捕捞强度空间分布, 为分析帆张网渔船作业状态和捕捞强度量化提供新的研究思路。

关键词: 渔船船舶监控系统 (VMS); 帆张网渔船; 捕捞强度; 阈值划分; 密度聚类; 捕捞强度空间分布; 浙江省

中图分类号: S 972

文献标志码: A

捕捞强度是指单位时间内渔船对某一单位面积水域所投入的捕捞生产能力。帆张网的捕捞强度主要取决于渔船在单位面积水域内进行捕捞活动的累计时间和网具的网口迎流面积^[1]。

渔船船舶监控系统 (vessel monitoring system, VMS) 通过监控渔船作业时间、时长和作业海域的合法性, 加强海洋渔业资源保护^[2]。VMS 数据主要包括渔船位置、航速、航向和时间等信息, 通过对帆张网渔船 VMS 船位数据进行挖掘, 可

以获取渔船的作业行为, 量化捕捞强度^[3]。传统捕捞强度量化的方法主要依靠人工记录各生产航次的捕捞网次数、各顶网具的捕捞时长、投入生产的渔船数量、总吨位、主机功率以及作业人数技术与工艺状况等折算获得^[4], 主观因素影响较大, 每次统计具有较长的时间延迟, 无法实时记录每个航次作业的位置, 难以满足大范围、实时统计的需要^[5]。已有学者通过船位数据获取捕捞强度^[6-8]。

收稿日期: 2019-07-19 修回日期: 2020-04-02

资助项目: 国家自然科学基金 (31772899); 上海市自然科学基金 (17ZR1439800); 中国水产科学研究院基本科研业务费 (2019CY0402)

通信作者: 张胜茂, E-mail: ryshengmao@126.com

浙江省所属的帆张网渔船通常 300~600 t^[9], 每艘渔船携带网具 5~10 顶, 网具由铁锚、网身、网囊组成^[10]。帆张网捕捞时铁锚沉于水底用于固定网具, 网身过滤并引导渔获进入网囊, 渔船定期打捞网囊中的渔获物完成捕捞。帆张网的捕捞原理是利用海水潮流推动力迫使渔获进入网囊, 受海水潮流影响较大^[11]。渔船通常在农历每月初一和十五的大潮汐来临前抵达目标渔场并布放网具, 每月初五和二十的小潮汐来临后回收网具, 结束捕捞活动并返航。每自然月通常进行 2 次捕捞活动, 以每次捕捞生产作为一个航次, 每个航次通常作业 7~15 d, 航次中布放并参与捕捞的网具作为一个网次^[12]。

帆张网渔船进行生产活动的流程性强, 不同作业状态下船位特征差异明显^[11]。渔船抵达作业海域后布放携带的所有网具, 遇恶劣海况推迟布网, 通常在抵达渔场 24 h 内完成网具布放工作, 受风浪和海况影响, 每顶网具布放耗时 20~60 min, 通常南北向排布为 1~2 列^[12]。网具布放完成后, 渔船每 12 h 对所有网具打捞一次渔获, 循环往复直至大潮汐结束。小潮汐来临后, 渔船分批次回收网具, 受风浪和海况影响, 每副网具回收耗时 40~120 min, 通常 2~3 d 将所有网具回收完毕并返航^[12]。帆张网渔船生产活动中, 近一半的时间在等待渔获入网, 这期间渔船停车抛锚, 随风或随浪缓慢漂摇。

帆张网渔船因生产成本和技术要求较低, 在我国近海捕捞渔船中分布广泛^[13]。帆张网捕获物的种类繁多, 对鱼、虾类幼体的选择性较差, 对生态环境破坏严重, 过度生产会严重损害海洋生态环境, 不利于资源可持续发展^[14]。本研究通过分析帆张网渔船作业规律, 根据所设置的阈值划分作业阶段, 采用密度聚类算法提取各项网具的网位和捕捞时长。在 WGS1984 坐标系下划分 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 地理格网, 计算各格网内平均每平方公里的累计捕捞时长, 作为该海域的捕捞强度。这种计算方法具有覆盖范围广、快速自动和近乎实时统计的特点, 可广泛应用于我国渔业资源管理领域^[15-16]。

1 材料与方法

1.1 数据来源和数据处理

本研究中使用的北斗 VMS 数据源自北斗民

<https://www.china-fishery.cn>

用分理服务商, 数据信息主要包括渔船的北斗 ID、经纬度、航速、航向、发报时间等。北斗 VMS 数据的时间分辨率 3 min, 空间分辨率 10 m, 航速分辨率 0.1 m/s, 航向分辨率 2° , 相比其他海事卫星具有更高的时空分辨率。本研究以 2017 年有北斗 VMS 记录的 379 艘浙江籍帆张网渔船的船位数据为研究对象。2017 年北斗 VMS 船载设备处于推广阶段, 在我国近海渔船中尚未全面普及, 浙江省安装北斗 VMS 终端的帆张网渔船比例, 近似于全国范围内安装北斗 VMS 船载终端的帆张网渔船比例, 因此本研究使用的船位数据可基本代表浙江省帆张网渔船作业的情况^[17-18]。

船载终端受人为、船载电力系统或天气等因素的影响, 导致 VMS 接收数据存在缺失, 经过航次数据完整性分析, 以作业航次完整且日均发报数为 480 条以上的作业航次为有效航次。最终共筛选 230 艘船 733 个航次约 154 万条 VMS 船位记录数据作为研究对象, 作业范围为 $121.6^\circ \sim 126.5^\circ \text{E}$ 、 $27.6^\circ \sim 33.9^\circ \text{N}$ 。

对北斗 VMS 船位数据进行处理, 挖掘船位点的其他特征, 以判断各船位点所处的作业阶段和作业状态。 N_{i-1} 、 N_i 、 N_{i+1} 为北斗 VMS 数据时间序列上的 3 个连续船位点 (图 1)。以 N_i 点为例, 根据船位点的经纬度数据, 通过式 (1) 分别计算 N_i 与 N_{i-1} 、 N_{i+1} 之间的距离 $L_{N_i N_{i-1}}$ 和 $L_{N_{i+1} N_i}$, 通过式 (2) 计算两船位点间渔船平均每分钟移动距离 $K_{N_i N_{i-1}}$ 和 $K_{N_{i+1} N_i}$, 通过式 (3) 计算 $\vec{N}_{i-1} \vec{N}_i$ 与 $\vec{N}_i \vec{N}_{i+1}$ 形成的向量偏转角 θ 。

$$L_{nm} = 2R \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{y_n - y_m}{2} \right) + \cos(y_n) \cdot \cos(y_m) \cdot \sin^2 \left(\frac{x_n - x_m}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

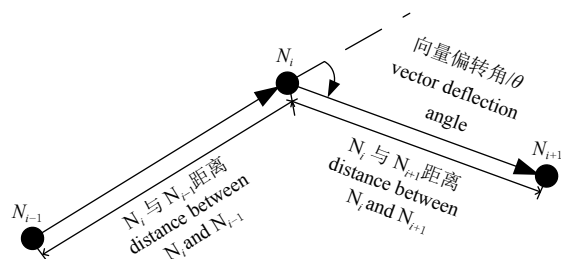


图 1 部分数据预处理示意图

Fig. 1 Partial data preprocessing diagram

式中, (x_n, y_n) 与 (x_m, y_m) 分别为时间序列上相邻两船位点 N_n 和 N_m 的经纬度坐标, x 为经度, y 为纬度, R 代表地球半径 (以 6371 km 代入), L_{nm} 距离单位为 m。

$$K_{nm} = \frac{L_{nm}}{|T_m - T_n|} \quad (2)$$

式中, T_m 和 T_n 分别为船位点 N_n 和 N_m 的发报时间, $|T_m - T_n|$ 为船位点 N_m 和 N_n 的发报时间差, 可用于计算出渔船单位时间内的平均移动距离。

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\overrightarrow{N_{n-1}N_n} \cdot \overrightarrow{N_nN_{n+1}}}{|\overrightarrow{N_{n-1}N_n}| \times |\overrightarrow{N_nN_{n+1}}|} \quad (3)$$

无论 $\overrightarrow{N_nN_{n+1}}$ 相对 $\overrightarrow{N_{n-1}N_n}$ 偏转方向是顺时针或逆时针, 统计向量偏转角度均为正值, 大小为 $[0^\circ, 180^\circ]$ 。

1.2 帆张网渔船作业阶段划分

渔船一次完整的捕捞活动作为一个作业航次^[19]。每个航次可划分为“渔港出发—捕捞作业—返回渔港”3个阶段。受渔情和海况影响, 渔船有时会进行“转场捕捞”, 即从当前作业海域行驶至其他海域进行捕捞活动^[14, 20]。“渔场出发”和“返回渔港”阶段, 是渔船往返于渔港和渔场间的行驶过程, 航速大于 2.5 m/s, 向量偏转角小于 30° 。“捕捞作业”阶段中, 分为布网、收网具、收渔获、航行和抛锚等 5 种作业状态^[12]。布网状态只出现在“捕捞作业”阶段的首段, 船位点船速小于 2 m/s, 时间序列相邻船位点的平均每分钟移动距离小于 150 m; 收网具状态只出现在“捕捞作业”尾段, 船速小于 1.5 m/s, 向量偏转角度小于 30° , 时间序列相邻船位点的平均每分钟移动距离小于 50 m^[12]。“捕捞作业”阶段的中间过程由航行、收渔获和抛锚状态交替进行, 巡航于各项网具间的行为是航行状态, 船速大于 2.5 m/s; 打捞每顶网具渔获的行为是收渔获状态; 等待渔获入网的停车静止行为是抛锚状态, 船速为 0 m/s。渔船在“捕捞作业”阶段会布放所有携带的网具, 其中可正常捕捞的网具数量称为网次数, 每个正常捕捞的网次都可被多次打捞渔获^[12]。

1.3 密度聚类提取抛锚状态和布网状态

DBSCAN 密度聚类算法属非监督分类, 从样本密度角度考察样本之间的可连接性, 不断扩展以获得最终的聚类结果, 通过邻域 (Eps) 和

邻域密度阈值 (MinPts) 两个参数刻画样本分布的紧密程度^[21-22]。其中, Eps 表示样本集中与 N_i 点的距离不大于 Eps 的所有样本; MinPts 表示满足 Eps 条件的样本最小数量^[23]。满足 Eps 条件的样本有 3 种情况 (图 2), 设置 MinPts=3, 虚线表示 Eps, 以 X_1 为核心对象, X_2 由 X_1 密度直达, X_3 由 X_1 密度可达, X_3 与 X_4 密度相连, 将核心对象和邻域内及邻域边界上的点作为一个簇; 不满足 Eps 条件的点作为噪声, 不归为任何簇。对阈值划分后的船位数据使用 2 次密度聚类算法, 分别设置抛锚状态和布网状态的聚类参数, 满足不同聚类条件的船位点对应分类为 2 种状态, 相同状态的簇间分别对应不同时间段的抛锚状态船位点或不同网次的布网状态船位点^[24]。

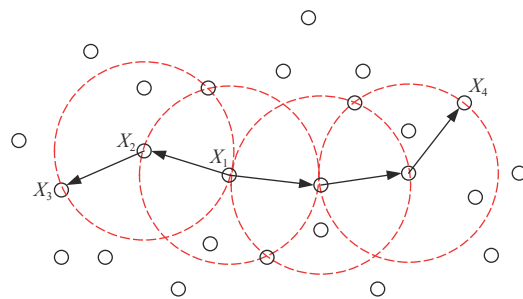


图 2 密度聚类示意图

Fig. 2 Schematic diagram of density clustering

帆张网渔船抵达目标渔场后进入“捕捞作业”阶段, 通常 24 h 内完成布网布放, 这期间渔船行为主要有行驶、布网、抛锚状态。本研究中, 通过式 (1) 计算船位点之间的实际距离, 对该时段的船位数据设置船速小于 2 m/s 的阈值, 可有效过滤行驶状态船位点。在这期间, 当渔船停车抛锚时, 船体随风或浪缓慢漂摇, 持续时间通常 1 h 以上。处于抛锚状态的船位点相邻距离小于 50 m, 数量大于 20, 设置 Eps=50 m, MinPts=20 参数, 对非行驶状态的船位点进行第一次密度聚类, 本次聚类过程将抛锚状态的船位点筛选出来, 剩余船位点作为布网状态和噪声, 进入下一轮迭代。布网活动受海况和潮流影响较大, 每顶网具布放耗时 20~60 min, 各网具相距约 1 n mile。同一网次布网状态船位数大于 5, 船位间距小于 300 m。设置 Eps=300 m, MinPts=5 参数, 进行第二次密度聚类, 将同一网次的布网状态船位点聚为一个簇, 不同网次的布网状态

船位点聚为不同簇，划分出不同网次的作业位置^[21]。

1.4 收网具状态阈值划分

渔船收网具状态出现时间不确定，主要取决于渔船的捕捞进度与安排，多数开始于“捕捞作业”阶段最后 48~72 h，将所有网具分批次收回，每日收回 2~4 顶，其余未回收的网具仍然正常捕捞作业^[14]。渔船处于收网具工作时，船速较低，时间顺序上的前后 2 个船位点距离较近，平均每分钟移动距离较短，且每个船位点的向量偏转角较小，这些特征使得收网具状态的船位点在平面上呈近似线性分布^[12]。

对“捕捞作业”阶段最后 72 h 内的所有船位点设置船速大于 0 m/s 小于 1.5 m/s，每分钟平均移动距离大于 20 m 小于 50 m，向量偏转角小于 30°的阈值，选择连续 15~40 个满足所设阈值条件的一系列船位点，即为提取的各收网具状态船位点^[12]。

1.5 确定网位并计算捕捞时长

帆张网渔船每个航次携带多顶网具，在不同位置参与捕捞的网具作为不同的网次。布网作业开始时，先将用于固定网具的铁锚沉入水中，铁锚自重大，沉于海底后位置几乎不发生变化；收网具作业时，同样先打捞铁锚^[25-26]。提取各网次的第一个布网状态船位点位置，作为各网次的布放网具位置，并以该船位点的发报时间作为该网次的捕捞开始时间；以各网次的第一个收网具状态船位点位置，作为该网次的回收网具位置，并以该船位点的发报时间作为该网次的捕捞结束时间。

铁锚在水下的位置固定，同一网次沉水和绞收铁锚的位置接近，选择距离最近的一组布放和回收位置作为同一顶网具的捕捞起止位置。各网次的捕捞时长计算方法如式(4)所示。

$$T_k = E_k - B_k \quad (4)$$

式中， E_k 、 B_k 分别为第 k 网次的放网截止时间和放网开始时间， T_k 为第 k 网次的放网时长，单位为h。

本研究从浙江省 2017 年的帆张网渔船船位数据中选择航迹有代表性的 3 个作业航次 A、B、C 作为验证对象，每个航次携带网具数量均为 10 顶左右。分别可视化各阶段的船位、布网和收网具状态船位，提取网位和捕捞时长，并与人工判断的结果作对照。

1.6 量化捕捞强度

通过分析浙江省 2017 年帆张网渔船的有效作业航次数据，记录到 WGS1984 坐标系下划分的 63 行 49 列 0.1°×0.1°的地理格网中。以从左到右、从上到下的顺序依次表示各格网，统计各格网内的累计捕捞时长如式(5)所示，量化捕捞强度如式(6)所示。

$$H_{ij} = \sum_1^n T_m \quad (5)$$

式中， n 为在第 i 行第 j 列的格网中记录的作业网次数， T_m 为该格网内某网次的捕捞时长， H_{ij} 为该格网内所有网次的累计捕捞时长。

$$I_{ij} = \frac{H_{ij}}{S_{ij}} \quad (6)$$

式中， H_{ij} 同式(5)， S_{ij} 表示第 i 行第 j 列格网的实际地理面积， I_{ij} 表示第 i 行第 j 列格网的捕捞强度，单位为h/km²。

2 结果

航次 A 共持续 9 d，其中“捕捞作业”阶段约 7 d，航迹如图 3 所示。渔船在“捕捞作业”阶段开头 24 h 内完成布网作业，船位分布如图 4-a 所示。设置速度和平均移动距离阈值并进行密度聚类，以各簇中首个船位点位置作为各网次的网位，发报时间作为捕捞开始时刻。将密度聚类确定的网位与人工判断的布网状态船位对比，如图 4-b 所示。该渔船在“捕捞作业”阶段最后 72 h 内分批次回收网具，未被回收的网具继续捕捞工作，该时段的所有船位点分布如图 4-c 所示。设置船速、向量偏转角、平均移动距离阈值，

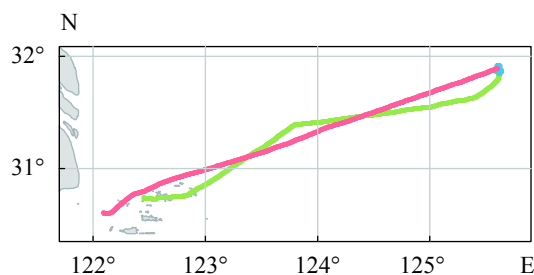


图 3 航次 A 渔船航迹

绿.驶向渔场，蓝.渔场作业，红.返回渔港，图 5 和图 7 同

Fig. 3 Fishing boat track of trip A

Green. steaming to fishing ground, blue. fishing operation, red. return to port, the same as Fig. 5 and Fig. 7

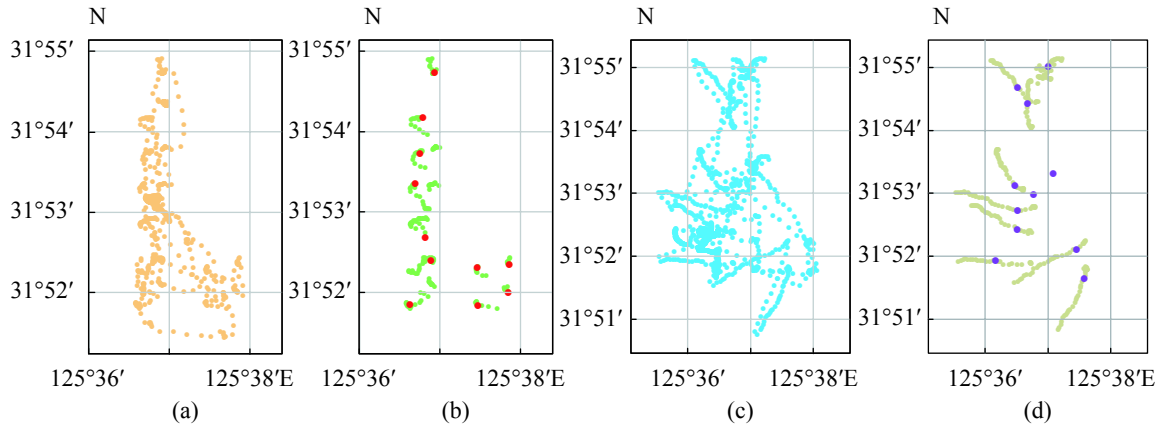


图 4 航次 A 中布网、收网具状态的船位和已提取的网具布放、回收位置

黄.渔场作业前 24 h 所有船位, 绿.各网次布网状态船位, 红.各网次布放位置, 蓝.渔场作业阶段后 72 h 所有船位, 棕.各网次收网具状态船位, 紫.各网次回收位置, 图 6 和图 8 同

Fig. 4 Ship positions of arranging nets and retrieving net status, and the extracted net positions of arranging and retrieving in trip A

Yellow. all positions in the first 24 h of the fishing operation, green. position of arranged net status, red. arrange net position, blue. all positions in the last 72 h of the fishing operation, brown. position of retrieved net status, purple. retrieved net position, the same as Fig. 6 and Fig. 8

筛选出所有收网具状态的船位点, 以各网次第一个收网具状态船位点位置作为回收网具的开始位置, 发报时间作为捕捞结束时刻。将阈值划分的收网具位置与人工判断的收网具状态船位相对照, 其分布如图 4-d 所示。

航次 B 共持续 7 d, 其渔船航迹如图 5 所示, 该航次第一天作业中, 渔船在某海域停留 8 h 左右进行试作业 (图 5)。试作业进行时间短投入捕捞的网具少, 不计入捕捞时长统计。试作业结束后, 渔船转场至最终作业海域, 直至捕捞工作结束。抵达最终作业海域后 24 h 内, 渔船完成布网工作, 图 6-a 和 6-b 分别为“捕捞作业”阶段开头 24 h 内的渔船船位分布, 和使用密度聚类算法确定的网位与人工判断处于布网状态的船位分布对照。图 6-c 和 6-d 分别为“捕捞作业”阶段最后 72 h 内的渔船船位分布, 和使用阈值划分方法确定收网具位置与人工判断处于收网具状态的船位分布对照。

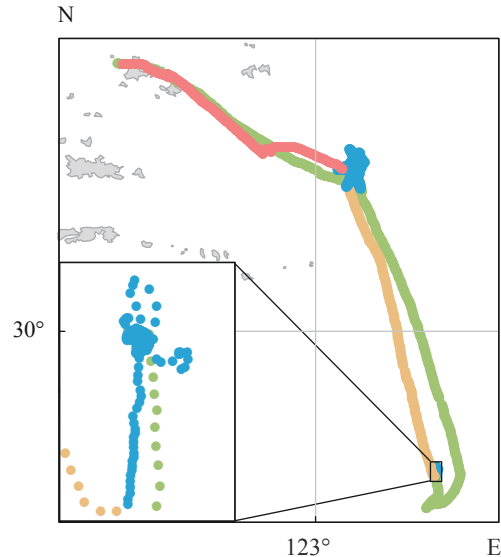


图 5 航次 B 渔船航迹

黄.转场, 图 7 同

Fig. 5 Fishing boat track of trip B

Yellow. transfer fishing ground, the same as Fig. 7

航次 C 共持续 9 d, 其渔船航迹如图 7 所示, 该航次先后在两个渔场作业, 在第 1 渔场作业 4 d 后, 转场至第 2 渔场作业 5 d 返回渔港。渔船在第 1 渔场作业期间, “捕捞作业”阶段开头 24 h 内的渔船船位分布, 使用密度聚类确定的网位与人工判断处于布网状态的船位分布的对照, 和“捕捞作业”阶段最后 72 h 内渔船分布与使用阈值划分, 确定的网位与人工判断处于收网具

状态的船位分布的对照 (图 8-a, 8-b, 8-c, 8-d)。渔船在第 2 渔场作业期间, “捕捞作业”阶段开头 24 h 内的渔船船位分布, 使用密度聚类算法确定的网位与人工判断处于布网状态的船位分布的对照, 和“捕捞作业”阶段最后 72 h 内渔船分布与使用阈值划分, 确定的网位与人工判断处于收网具状态的船位分布的对照 (图 8-e, 8-f,

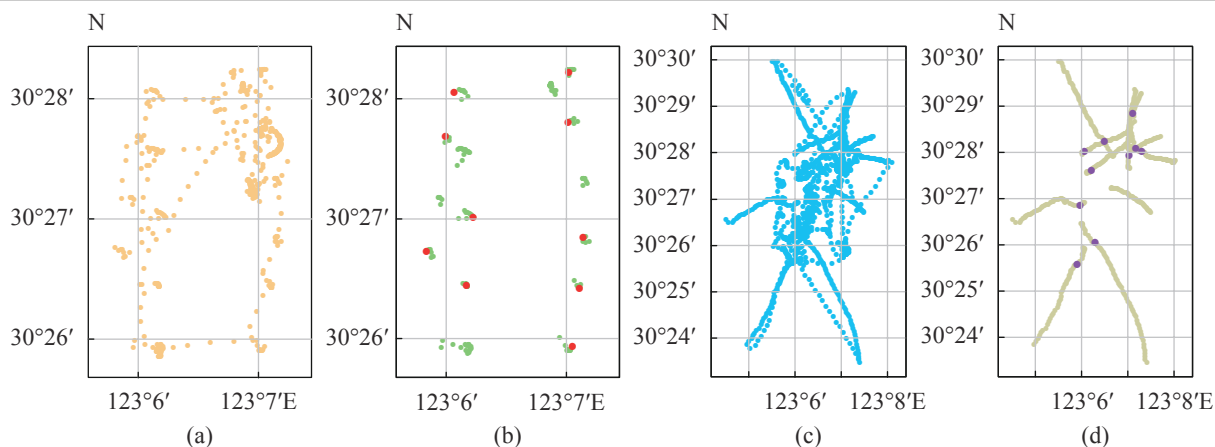


图 6 航次 B 中布网、收网具状态的船位和已提取的网具布放、回收位置

Fig. 6 Ship positions of arranging nets and retrieving net status, and the extracted net positions of arranging and retrieving in trip B

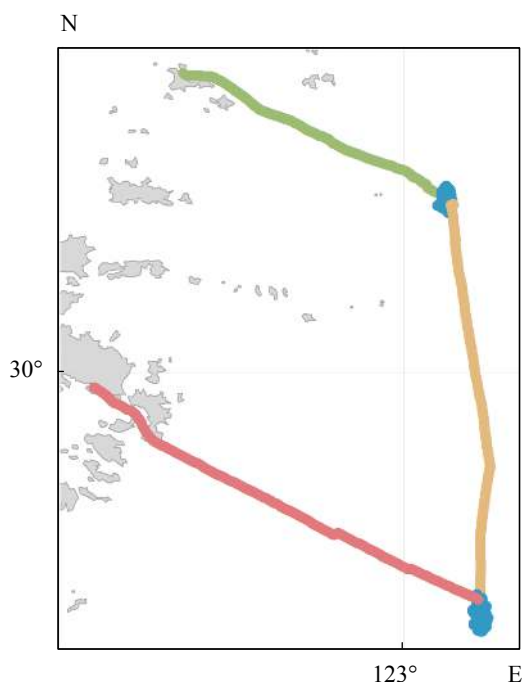


图 7 航次 C 渔船航迹

Fig. 7 Fishing boat track of trip C

8-g, 8-h)。

使用本研究提出的阈值划分和密度聚类方法提取航次 A、B、C 各网次的网位、捕捞时长等，并与人工经验判断的结果作对比，本实验提出的方法效果具体如表 1 所示。

人工判断航次 A 投入捕捞的网次数为 9，累计捕捞时长 1223 h；航次 B 网次数为 11，累计捕捞时长应为 982.33 h；航次 C 网次数为 18，累计捕捞时长应为 1106.75 h。本研究提取航次 A

网次数为 11，累计捕捞时长 1410.96 h，2 个网次提取错误；提取航次 B 网次数为 10，累计捕捞时长 922.39 h，缺少 1 个网次；提取航次 C 网次数为 17，累计捕捞时长 1081.97 h，缺少 1 个网次。

2017 年浙江省帆张网类型休渔期为 5 月 1 日 12 时—9 月 16 日 12 时，渔船总体活动范围为 121.6°~126.5°E，27.6°~33.9°N，在 WGS1984 坐标系下以 0.1°×0.1°为步长，划分 63×49 规模的经纬度格网。根据休渔期，帆张网作业时期分为上下两个半年，图 9-a 和图 9-b 分别表示上半年 (1—4 月) 和下半年 (9 月中旬—12 月) 的捕捞强度分布。

对 2017 年帆张网渔船的船位数据使用本研究提出的方法，计算各季度的捕捞强度空间分布 (图 10)。

3 讨论

3.1 模型提取结果

帆张网渔船依照作业航迹，大致可分为 3 类情况：直接抵达作业海域，捕捞活动结束后直接返回；抵达预先目的海域进行试作业，若海况不符合作业要求，转场至最终目的海域，结束捕捞活动并返回；直接抵达目的海域进行捕捞活动，根据渔情海况转场，并在新作业海域进行捕捞活动结束后返回^[10]。本研究随机选取浙江省 2017 年帆张网渔船 3 个有效作业航次 A、B、C 作为验证对象，分别对应以上 3 类情况。

本研究将以上 3 个航次提取的结果对比人

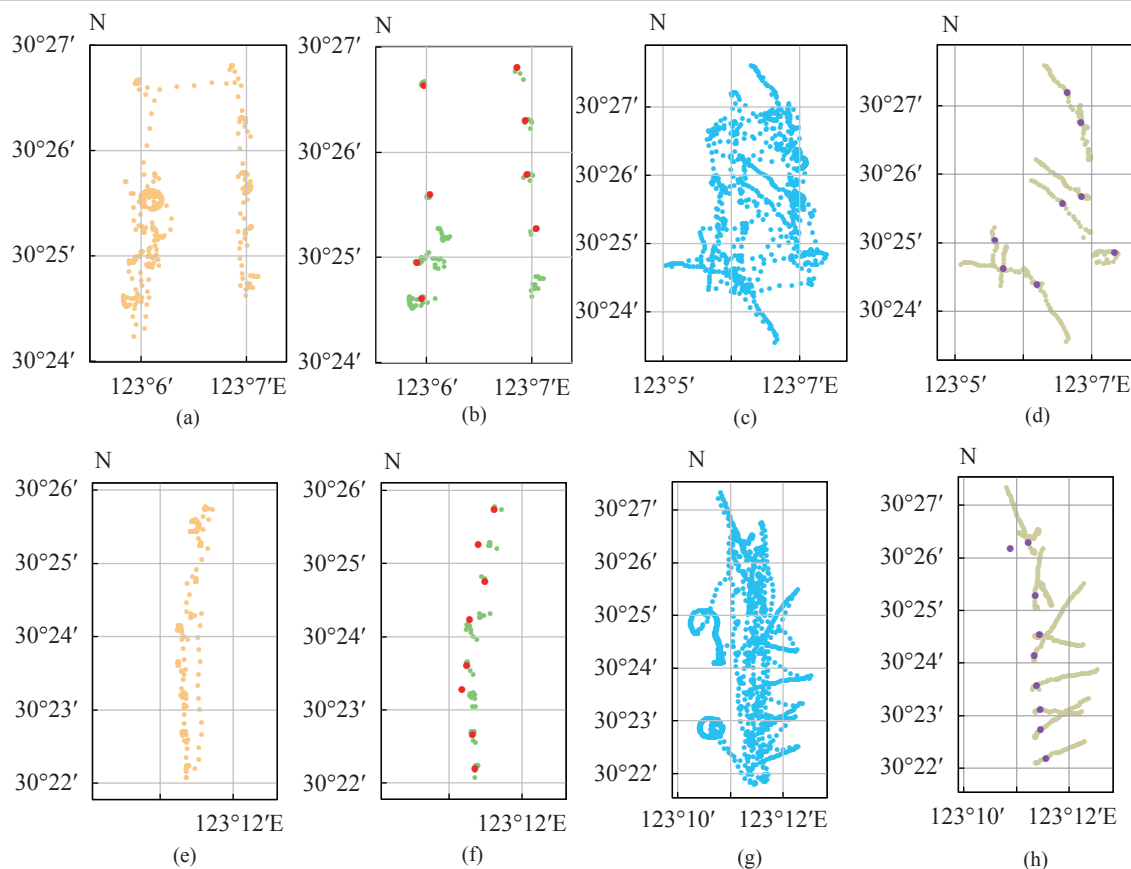


图 8 航次 C 中布网、收网具状态的船位和已提取的网具布放、回收位置

Fig. 8 Ship positions of arranging nets and retrieving net status, and the extracted net positions of arranging and retrieving in trip C

工经验判断的结果, 各所提取的网位与人工判断布网位置相距小于 100 m 的网次占比 86.84%, 小于 300 m 占比 92.11%; 提取的各网次平均捕捞时长与人工判断的各网次平均捕捞时长相差 2.72 h。由对比结果看, 使用本研究提出的方法与人工判断结果接近, 可较好地提取帆张网捕捞位置和累计捕捞时间。

3.2 帆张网渔船捕捞强度差异

浙江省所属的帆张网网具规模没有统一标准。根据社会调查和相关资料显示, 单船携带网具大多 5~10 顶, 携带网具数量由船宽决定^[9, 27]。另外, 帆张网渔船携带网具规格不一, 以全省帆张网网具平均值计算, 网口宽为 64~76 m, 高 45 m, 网具间规格变化不大。帆张网捕捞时, 网口迎流张开为不规则圆形, 迎流面积约 4000 m²^[10]。不同规格网具的捕捞能力存在一定差异, 但从宏观来看, 对 0.1°×0.1°的海域范围内量化捕捞强度的影响有限, 且渔船选择的作业海域具有较

大随机性, 不同规格的网具可以在不同时期出现在同一水域开展捕捞活动。因此以浙江省帆张网平均迎流面积作为网具标准值, 以格网内累计捕捞时长作为量化捕捞强度的依据。

3.3 提取网位和捕捞起止时间

密度聚类属无监督分类方式, 样本间联系的紧密性仅依赖于样本间的距离和以任意样本点为中心的一定半径范围内的样本点数量。密度聚类可过滤离散度较高的噪声数据, 仅专注于分类联系较为紧密的样本, 对于离散分布的船位数据有较好的分类效果^[21]。

在“捕捞作业”阶段开始 24 h 内, 设置速度阈值和一次高参数要求的密度聚类, 可筛选出多数非布网状态船位点, 这部分噪声多为全部网次布网结束后等待渔获入网的抛锚状态船位点。对剩余船位再进行一次低参数要求的密度聚类, 船位点形成不同簇表示不同网次的布网状态。以簇内时间序列上的首个船位坐标和发

表 1 航次 A、B、C 网位和捕捞时长提取结果

Tab. 1 Extraction results of voyage A, B, and C net position and fishing duration

航次 trip	模型提取网位 model extraction position	提取捕捞时长/h extraction fishing duration	人工判断网位 manual judgment position	人工计算时长/h manual calculated duration
A	(125.610 544,31.864 172)	98.25	(125.612 666,31.866 538)	149.07
	(125.624 588,31.864 002)	103.36	(125.628 577,31.863 441)	144.95
	(125.624 466,31.871 813)	122.85	(125.626 255,31.870 058)	145.78
	(125.611 600,31.889 208)	123.71	(125.613 155,31.885 644)	148.57
	(125.612 600,31.895 372)	124.42	(125.613 7,31.892 641)	124.38
	(125.613 166,31.902 994)	125.26	(125.613 277,31.899 766)	122.73
	(125.613 666,31.878 111)	142.12	(125.613 644,31.879 097)	124.18
	(125.614 811,31.873 311)	143.3	(125.614 533,31.873 963)	143.50
	(125.615 588,31.912 291)	142.56	(125.614 6,31.913 677)	119.83
	(125.630 855,31.866 730)	142.13	null	null
(125.631 066,31.872 452)	143	null	null	
B	(123.116 977,30.470 413)	74.93	(123.117 411,30.470 833)	88.87
	(123.101 088,30.467 674)	75.23	(123.102 066,30.466 669)	75.37
	(123.103 744,30.450 219)	75.67	(123.099 188,30.452 033)	112.87
	(123.102 766,30.440 738)	86.47	(123.102 633,30.441 058)	115.38
	(123.117 466,30.432 252)	90.74	(123.115 711,30.433 502)	59.78
	(123.118 455,30.440 419)	92.55	(123.117 755,30.441 422)	92.65
	(123.118 988,30.447 447)	94.36	(123.119 777,30.446 858)	89.87
	(123.116 877,30.463 447)	108.61	(123.117 677,30.463 25)	71.48
	(123.099 833,30.461 497)	111.32	(123.101 577,30.459 711)	99.60
	(123.097 222,30.445 588)	112.51	(123.097 866,30.444 644)	107.42
null	null	(123.119 533,30.45 488)	69.05	
C	(123.098 555,30.415 905)	32.34	(123.101 377,30.415 502)	29.42
	(123.099 244,30.410 158)	34.42	(123.101 411,30.410 147)	48.93
	(123.100 577,30.426 691)	35.24	(123.100 466,30.426 244)	47.45
	(123.099 644,30.443 883)	46.44	(123.099 444,30.443 849)	49.12
	(123.114 333,30.446 800)	48.19	(123.115 411,30.444 741)	49.17
	(123.115 666,30.438 352)	48.8	(123.116 455,30.437 055)	49.83
	(123.115 888,30.429 730)	49.56	(123.116 388,30.428 8)	33.43
	(123.117 399,30.421 213)	50.56	(123.116 577,30.420 213)	46.52
	(123.187 355,29.393 463)	22.05	(123.188 933,29.391 397)	24.98
	(123.188 666,29.377 705)	85.01	(123.189 388,29.375 941)	91.20
	(123.189 222,29.370 058)	85.94	(123.189 266,29.368 008)	89.27
	(123.191 522,29.412 486)	86.45	(123.190 733,29.413 719)	85.17
	(123.193 644,29.428 819)	87.94	(123.195 233,29.428 802)	83.23
	(123.191 200,29.437 583)	84.27	(123.188 655,29.439 38)	87.27
	(123.190 122,29.420 933)	93.85	(123.194 266,29.419 997)	92.35
	(123.188 000,29.403 847)	94.83	(123.189 711,29.399 427)	89.43
(123.186 344,29.387 852)	96.08	(123.188 411,29.386 166)	91.62	
null	null	(123.116 633,30.410 505)	18.37	

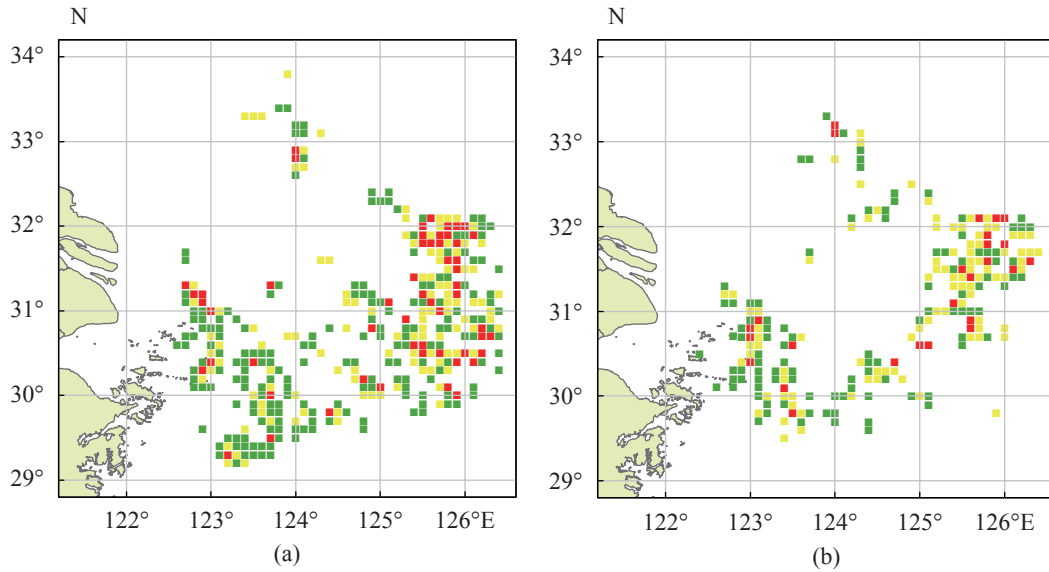


图 9 2017 年上半年和下半年捕捞强度分布

绿. < 10 h/km², 黄. 10~20 h/km², 红. > 20 h/km²

Fig. 9 Distribution of fishing intensity in the first half and second half of 2017

Green. < 10 h/km², yellow. 10~20 h/km², red. > 20 h/km²

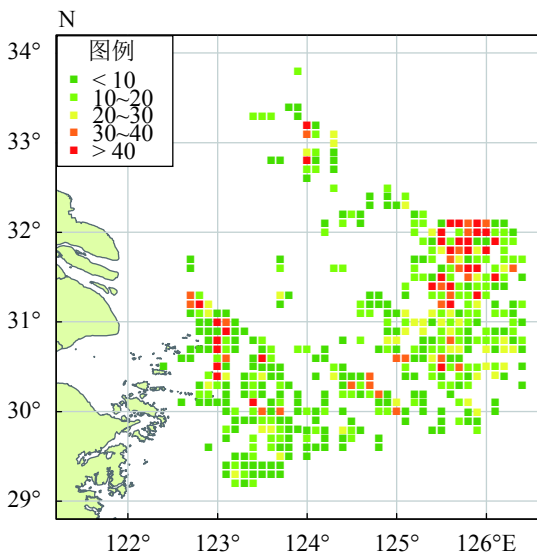


图 10 2017 年浙江省帆张网捕捞强度空间分布 (单位: h/km²)

Fig. 10 Spatial distribution of fishing intensity of stow net, Zhejiang Province of 2017 (unit: h/km²)

报时间作为该网次网具的布放位置和捕捞开始时间。“捕捞作业”阶段开始 24 h 后进行布网作业的航次较少, 对本研究的最终结果影响有限, 本研究不做讨论。

收网具状态出现在“捕捞作业”阶段的末期, 依次绞收铁锚、网囊、网身和网口完成网具回

收。回收过程中船速较低, 渔船移动缓慢, 通常持续 40~120 min, 船位点近似呈线性分布, 特征明显。在确定的时间范围内, 设置船速、向量偏转角和时间顺序上连续船位点每分钟平均移动距离阈值, 可筛选出的不同网次的收网具状态船位点, 并以时间序列上首个船位点坐标和发报时间作为该网次的收网位置和捕捞结束时间。

3.4 捕捞时长和捕捞强度计算

因为铁锚被水底泥沙固定, 从网具被布放到被回收期间不绞收铁锚, 由此捕捞过程中网具基本不发生位移^[14]。帆张网网具规模较大, 网长一般 300~500 m^[28]。为保证不同网具间相互捕捞不受影响, 渔船布网时会控制网具间的距离, 通常网具布置间距 1 n mile 左右。因此同一网次的布网起始位置与收网起始位置距离较近, 不同网次间距离较远。

帆张网依赖海水潮流的推动力舒展网身, 少数情况下由于潮流推动力不足导致网身缠绕, 网具不能完全伸展, 失去捕捞功能。渔民通常会及时发现这种情况, 回收网具并重新布放。网具回收和布放会消耗大量人力, 所以在网具正常捕捞状态下, 通常不会短时间内回收网具。本研究统计时会自动删除捕捞时长不足 12 h 的网次。

在 WGS1984 坐标系下划分 0.1°×0.1°的经纬

度格网,统计每个经纬度格网内的累计捕捞时长。由于不同纬度的格网在地球表面的投影面积不同,靠近赤道的格网实际地理面积比远离赤道的格网地理面积大。因此,计算单位面积内的平均捕捞时长可以很好地描述帆张网在该海域的捕捞强度。

3.5 效果与改进

渔场捕捞强度关乎渔业资源的可持续发展,是渔业资源管理和评估领域的重要参数之一^[19]。依靠北斗 VMS 数据高精度、低延时特性的支撑,通过分析渔船每航次的船位点数据,可以实时统计各海域帆张网渔船的捕捞强度,实现我国近海渔船捕捞强度的实时监控,科学合理地利用和开发海洋渔业资源^[29-30]。

本研究针对帆张网渔船的作业规律和不同作业状态的船位特征,采用阈值划分和密度聚类的方法,较为准确地提取各网次的位置和捕捞时长,并通过细化的格网划分方式,计算单位面积下的平均捕捞时长,获得帆张网作业捕捞强度空间分布。

捕捞强度提取结果中,上半年和下半年分布情况存在一定差异。一方面,上半年与下半年的渔场资源不同,下半年资源相对丰富,捕捞相对集中;另一方面,本研究使用的数据有限,模型准确率有待进一步提高。渔船虽均采用帆张网作业方式,但不同渔船的作业规模、吨位、携带网具数量不尽相同,作业习惯也存在差别,而且海上气候多变,导致每个作业航次的船位数据均有不同程度的差异,这使得通用方法在实践上有一定的局限性,部分航次中可能出现提取精度下降的情况。针对这种情况,今后的改进方向在于扩大数据集并深入挖掘不同状态下的船位数据特征,寻找较为稳定的变量,以取得更好的判断结果。

4 结论

2017年浙江省规定帆张网类型渔船休渔4.5个月,全年分为上半年和下半年2个生产期。1—4月为上半年生产期,有捕捞记录的格网为360个,所有格网捕捞强度平均值为11.26 h/km²;9月中旬—12月为下半年生产期,有记录的格网为229个,所有格网捕捞强度平均值为12.83 h/km²;全年有捕捞记录的格网共472个,所有

格网捕捞强度平均值为14.76 h/km²。上半年渔船捕捞分布较分散,下半年较集中,具体表现如下:上半年捕捞强度低于10 h/km²的格网占53.76%,10~20 h/km²的占比30.92%,高于20 h/km²的占15.32%;下半年捕捞强度占比分别为47.80%、32.46%和19.74%。下半年高强度捕捞的格网数量占比更大,说明同一格网的累计捕捞时长更多,渔船捕捞更集中。究其原因,可能是渔场经过休渔期休整,资源相较上半年丰富,鱼群相对集中,因此帆张网捕捞也更集中。2017年,125.4°~126.1°E、31.2°~32.1°N捕捞强度最大,各格网捕捞强度平均值为28.51 h/km²,高于30 h/km²的格网占比为45.59%。这片海域帆张网捕捞最集中,渔业资源可能相对丰富。

随着我国建设海洋强国战略的不断推进、渔权即海权的思想意识不断强化,越来越多大吨位、大功率的渔船投入海洋渔业生产中^[31]。大力发展渔业虽为我国经济发展的重要分支,但若投入超出海洋生态恢复范围的作业活动,会影响到我国海洋生态环境,不合理的作业方式对我国海洋渔业资源保护、渔业安全和海洋环境造成不可逆转的影响,长此以往势必导致我国渔业资源短缺匮乏,海洋生态退化^[32]。本研究利用北斗 VMS 数据分析帆张网渔船捕捞强度的空间分布,从而量化监督管理渔船捕捞强度^[31,33]。本研究提出的方法为量化帆张网捕捞强度提供一种思路,在后续的研究中可以进一步提高精度,以便更好地服务于我国海洋渔业资源管理和海洋生态保护。

参考文献 (References):

- [1] 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(in Chinese).
- [2] 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.

- [3] Aanes S, Nedreaas K, Ulvatn S. Estimation of total retained catch based on frequency of fishing trips, inspections at sea, transshipment, and VMS data[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, 68(8): 1598-1605.
- [4] 张胜茂, 程田飞, 王晓璇, 等. 基于北斗卫星船位数据提取拖网航次方法研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(1): 135-141.
- Zhang S M, Cheng T F, Wang X X, *et al.* Research on the method of voyage extraction based on Beidou vessel monitoring system data[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(1): 135-141(in Chinese).
- [5] 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.
- Guo G G, Fan W, Zhang S M, *et al.* Advances in mining and application of vessel monitoring system data[J]. *Marine Fisheries*, 2016, 38(2): 217-224(in Chinese).
- [6] 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.
- [7] 胡刚, 马昕, 范秋燕. 北斗卫星导航系统在海洋渔业上的应用[J]. *渔业现代化*, 2010, 37(1): 60-62.
- Hu G, Ma X, Fan Q Y. The applications of COMPASS Navigation Satellite System to marine fishing industry[J]. *Fishery Modernization*, 2010, 37(1): 60-62(in Chinese).
- [8] 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): 16-22.
- Ju L. Beidou satellite navigation system application in marine fisheries[J]. *Fudan International Studies Review*, 2013(3): 16-22(in Chinese).
- [9] 王淼, 洪波, 张玉平, 孙振中. 上海奉贤区定置张网渔船产值变动分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2014, 23(2): 313-319.
- Wang M, Hong B, Zhang Y P, *et al.* Analysis of variation of yield value by set net fishing boat in Shanghai Fengxian District[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2014, 23(2): 313-319(in Chinese).
- [10] 孙婉. 浙江省帆张网渔业现状分析与管理对策研究 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019.
- Sun W. Analysis on current situation and management countermeasures of stow net fisheries in Zhejiang Province[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019 (in Chinese).
- [11] 郑巧玲, 樊伟, 张胜茂, 等. 基于神经网络和VMS的渔船捕捞类型辨别[J]. *南方水产科学*, 2016, 12(2): 81-87.
- Zheng Q L, Fan W, Zhang S M, *et al.* Identification of fishing type from VMS data based on artificial neural network[J]. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(2): 81-87(in Chinese).
- [12] 裴凯洋, 张胜茂, 樊伟, 等. 基于 VMS 的张网渔船捕捞努力量与网位坐标提取方法 [J/OL]. *上海海洋大学学报*, 2019. (2019-09-02). <https://www.cnki.net/KCMS/detail/31.2024.S.20190830.1620.010.html>.
- Pei K Y, Zhang S M, Fan W, *et al.* Research on extraction method of fishing effort and net position in stow net vessels based on vessel monitoring system data[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019. (2019-09-02). <https://www.cnki.net/KCMS/detail/31.2024.S.20190830.1620.010.html> (in Chinese).
- [13] 郑巧玲. 基于北斗卫星渔船监测系统的浙江省近海渔船捕捞方式和作业渔场分析 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- Zheng Q L. Analysis of fishing methods and fishing ground of Zhejiang Province fishing boats based on the Beidou satellite vessel monitoring system[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016 (in Chinese).
- [14] 张敏. 黄渤海区张网渔具调查及张网渔具作业性能评价 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- Zhang M. The investigation of stow net in Yellow and Bohai sea and the stow net operation performance evaluation[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014 (in Chinese).
- [15] 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(in Chinese).
- [16] 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(in Chinese).
- [17] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- Fishery and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Areas. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018.
- [18] 薛嘉伦. 基于北斗船位数据的浙江省近海渔船航次分析与渔船编队调度方案研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- Xue J L. Analysis of voyage analysis and fleet scheduling scheme of Zhejiang Province fishing boats based on the Beidou ship's position data[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018 (in Chinese).
- [19] 张胜茂, 樊伟, 张衡, 等. 基于北斗船位数据的海南省渔船航次动态监测与分析[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(5): 1-10.
- Zhang S M, Fan W, Zhang H, *et al.* Dynamic monitoring and analysis of number of fishing vessel voyages in Hainan Province based on Beidou position data[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(5): 1-10(in Chinese).
- [20] 陈阿毛, 张庆生, 洋国良. 浙江沿海张网作业状况及其调整管理对策[J]. *浙江水产学院学报*, 1994, 13(3): 218-221.
- Chen A, Zhang Q, Pan G L. The stow-net fishing situation and management in Zhejiang coastal area[J]. *Journal of Zhejiang College of Fisheries*, 1994, 13(3): 218-221(in Chinese).
- [21] 原作辉, 张胜茂, 樊伟. 基于DBSCAN的VMS数据定置刺网渔船网次提取方法[J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 29(1): 121-127.
- Yuan Z H, Zhang S M, Fan W. Method of set gillnet hauls extraction based on DBSCAN and VMS data[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 29(1): 121-127(in Chinese).
- [22] 伍育红. 聚类算法综述[J]. *计算机科学*, 2015, 42(S1): 491-499, 524.
- Wu Y H. General overview on clustering algorithms[J]. *Computer Science*, 2015, 42(S1): 491-499, 524(in Chinese).
- [23] 罗丹, 毛先成, 邓浩. 一种基于密度峰值的半监督聚类算法[J]. *地理与地理信息科学*, 2017, 33(2): 69-74.
- Luo D, Mao X C, Deng H. A semi-supervised density peak clustering algorithm[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2017, 33(2): 69-74(in Chinese).
- [24] 谢斌, 陈莉明. 密度聚类方法在船舶航迹图谱挖掘中的应用研究[J]. *舰船科学技术*, 2016, 38(14): 100-102.
- Xie B, Chen L M. Research on the density clustering method in ship track pattern mining[J]. *Ship Science and Technology*, 2016, 38(14): 100-102(in Chinese).
- [25] Andrew N L, Jones T, Terry C, *et al.* By-catch of an Australian stow net fishery for school prawns (*Metapenaeus macleayi*)[J]. *Fisheries Research*, 1995, 22(1-2): 119-136.
- [26] Macbeth W G, Broadhurst M K, Millar R B. Improving selectivity in an Australian Penaeid stow-net fishery[J]. *Bulletin of Marine Science*, 2005, 76(3): 647-660.
- [27] 张福祥, 葛海祥, 赵卫忠. 张网渔船稳性的计算分析[J]. *海洋渔业*, 2004, 26(3): 220-224.
- Zhang F X, Ge H X, Zhao W Z. Calculation analysis of stability of stow net fishing vessel[J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(3): 220-224(in Chinese).
- [28] Cho S W, Park C D, Kim H O, *et al.* Catches comparison according to the codend mesh size of stow net on anchor in the West Sea of Korea[J]. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 2010, 46(1): 1-9.
- [29] Hinz H, Prieto V, Kaiser M J. Trawl disturbance on benthic communities: chronic effects and experimental predictions[J]. *Ecological Applications*, 2009, 19(3): 761-773.
- [30] Schmidt C C. Economic drivers of illegal, unreported and unregulated (IUU) fishing[J]. *The International Journal of Marine and Coastal Law*, 2005, 20(3): 479-507.
- [31] 张胜茂, 张衡, 唐峰华, 等. 基于船位监控系统的拖网捕捞努力量提取方法研究[J]. *海洋科学*, 2016, 40(3): 146-153.
- Zhang S M, Zhang H, Tang F H, *et al.* Method of extracting trawling effort based on vessel monitoring system[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(3): 146-153(in Chinese).
- [32] 周甦芳, 樊伟, 崔雪森, 等. 环境因子对东海区帆式张网主要渔获物渔获量影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(9): 1637-1640.
- Zhou S F, Fan W, Cui X S, *et al.* Effects of environ-

- mental factors on catch variation of main species of stow net fisheries in East China Sea[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(9): 1637-1640(in Chinese).
- [33] 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.

Extraction method of stow net fishing intensity distribution in Zhejiang Province

PEI Kaiyang^{1,2}, ZHANG Shengmao^{1*}, FAN Wei¹, HOU Juan^{1,2}, TANG Xianfeng^{1,2}, ZHU Wenbin³

(1. Key Laboratory of East China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. College of Information, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306, China;

3. Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fishery Resource of Zhejiang Province, Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang, Zhoushan 316021, China)

Abstract: Fishing intensity is one of the important parameters in the field of fishery resources management and assessment. The traditional calculation method cannot satisfy the needs of real-time, large-scale, fast statistical spatial-temporal distribution. This paper proposes to divide the operation stages of fishing vessel production trip based on VMS data; combined with the operating characteristics of stow net fishing vessels, to use the threshold division and density clustering algorithm to extract the net position, and to calculate the fishing duration of each trip; the geographical grid is divided and accumulated within its range. The average fishing duration per square kilometer (h/km^2) of each grid was used as the quantitative basis for the fishing intensity of the stow net, and the spatial distribution of fishing intensity was visualized. In this research, the Beidou VMS position data of the stow net fishing vessels belonging to Zhejiang Province in 2017 were taken as the research object. A total of 733 effective operating trips and 6 021 net positions were extracted, and the total fishing time was 736 761.78 h. Geographic grids of $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ are divided in the range of 121.6° - 126.5°E and 27.6° - 33.9°N . The stow nets in the first half of 2017 were relatively scattered, and the average fishing intensity of each grid was $11.26 \text{ h}/\text{km}^2$; relatively concentrated in the second half of the year, with an average fishing intensity of $12.83 \text{ h}/\text{km}^2$; with the annual average of $14.76 \text{ h}/\text{km}^2$. Among them, in the range of 125.4° - 126.1°E and 31.2° - 32.1°N there exists the highest fishing intensity, with an average of $28.51 \text{ h}/\text{km}^2$. The net position extraction, fishing duration and spatial distribution of fishing intensity designed in this paper may provide new research ideas for analyzing the operation status of fishing stow nets and the quantification of fishing intensity.

Key words: vessel monitoring system(VMS); stow net fishing vessels; fishing intensity; threshold division; density clustering; spatial distribution of fishing intensity; Zhejiang Province

Corresponding author: ZHANG Shengmao. E-mail: ryshengmao@126.com

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31772899); Shanghai Natural Science Foundation Project (17ZR1439800); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS(2019CY0402)