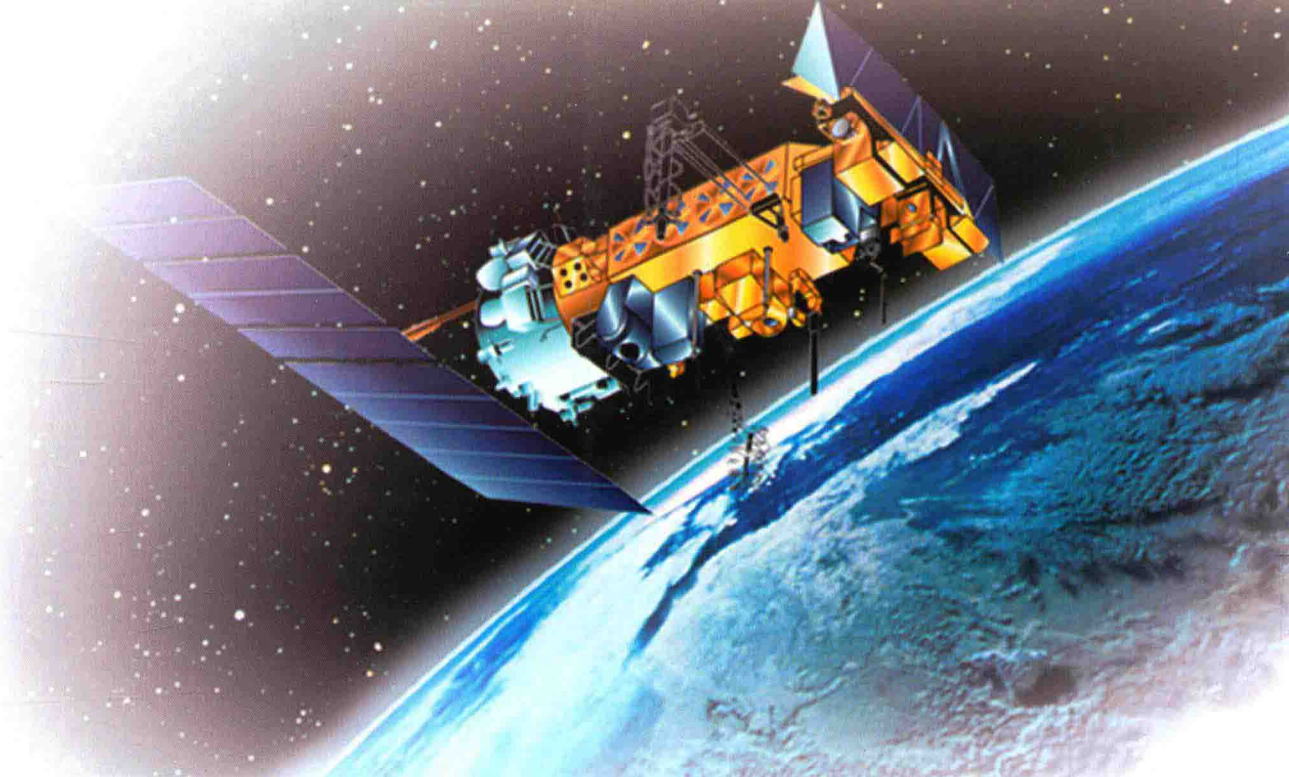




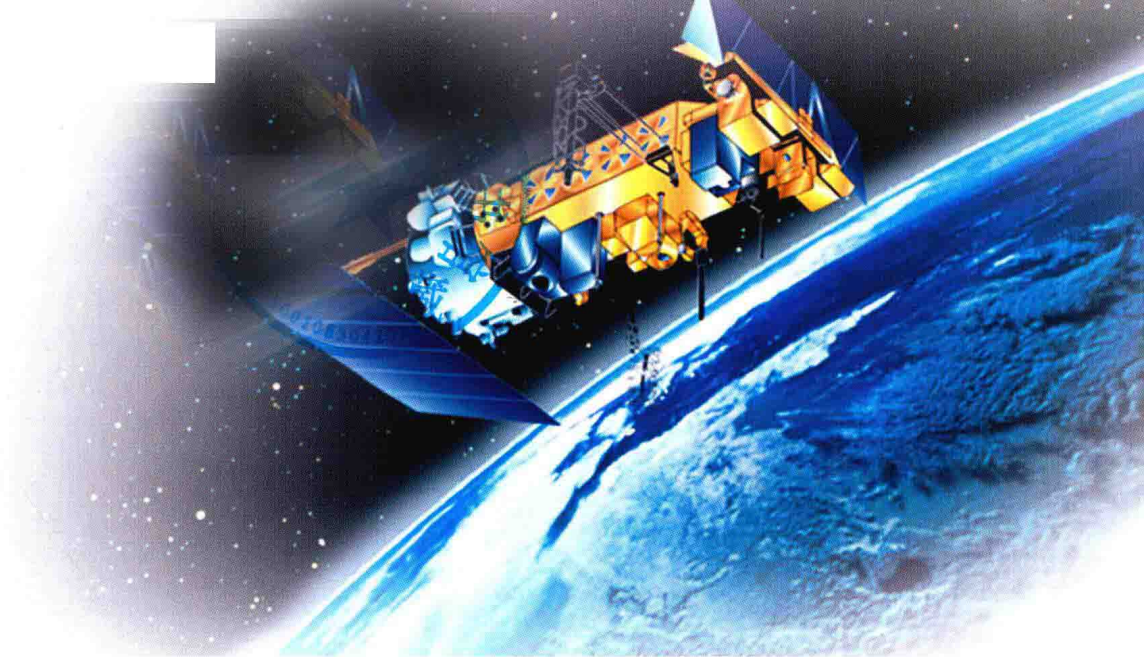
北斗船位数据挖掘与 信息增值服务

张胜茂 樊伟 杨胜龙 等◎编著

BEIDOU CHUANWEI SHUJU WAJUE YU
XINXI ZENGZHI FUWU



海军出版社



北斗船位数据挖掘与 信息增值服务

张胜茂 樊伟 杨胜龙 等◎编著

BEIDOU CHUANWEI SHUJU WAJUE YU
XINXI ZENGZHI FUWU

海洋出版社

2016年·北京

图书在版编目(CIP)数据

北斗船位数据挖掘与信息增值服务 / 张胜茂等编著.
—北京: 海洋出版社, 2016.11
ISBN 978-7-5027-9611-2

I. ①北… II. ①张… III. ①渔船—船舶定位—航海
导航—导航系统 IV. ①U666.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第269064号

责任编辑: 赵 武 钱晓彬
责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2016年11月第1版 2016年11月第1次印刷

开本: 889mm × 1194mm 1 / 16 印张: 11.25

字数: 300千字 定价: 68.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

渔船的捕捞行为特点与规律是渔业资源养护、渔船管理的重要参考信息之一，而捕捞行为受多种因素影响。如：船长经验、捕捞技术、渔船特点、渔场变动以及中国与相关国家的渔业协定区，我国沿海从北到南的休渔期制度，近岸机轮拖网禁渔区线等。我国截至2014年底近海机动捕捞渔船安装的5万余台北斗渔船终端，为渔船捕捞行为研究提供了新的技术手段。渔船出海捕捞作业过程中，各种状态、捕捞行为、捕捞习惯等通过时间、位置、航速、航向、转向率等特征记录下来。北斗卫星导航系统以空间精度10 m，时间采样间隔3 min，记录渔船的动态特征数据。渔船捕捞状态一般持续几个小时，按照奈奎斯特采样定理（一般实际应用中保证采样频率为信号最高频率的5~10倍）可以满足渔船状态提取的需要。

通过渔船位置变化分析提取渔船航次的起止时间和进出的港口，根据渔船动态特征数据，结合典型渔船统计特征曲线，计算捕捞状态相似度，智能判断渔船捕捞类型。通过渔船动态特征数据判断渔船的状态，区分出渔船处于捕捞的时间段，计算在某个区域累计捕捞时间，然后拖网结合渔船功率、刺网结合网长、张网结合网数量，计算不同类型的高时空精度的捕捞努力量。

分析海区、渔场、渔区格网内的渔船来源于哪些行政区划，渔具类型数量，分析格网内渔船网次、捕捞时间；追溯渔船到过哪些渔场，在各渔场累计捕捞时间等信息；获得某个渔港水产品来源于哪些渔场，根据累计捕捞时间推断渔获量；渔场的渔船追溯可以获得某段时间渔场中渔船的来源以及其累计捕捞时间。对时空动态分布，统计结果可以制作专题图、统计表，按照年、季度、月、周、天等自动生成报告。

北斗系统获取渔船船位，基于船位提供海表温度、叶绿素、海流、气象等信息服务，依据台风、寒潮等气象预报信息，对预警范围内的渔船发布预警，根据出海、作业、航行过程中渔船关系，划分渔船互助救援组保障渔船安全。

本书完成得益于“十二五”国家科技支撑计划项目（2013BAD13B01）“远洋捕捞技术与渔业新资源开发”，上海市科学技术委员会长三角科技联合攻关领域项目（15595811000）“北斗渔船大数据挖掘与信息增值服务平台开发及示范应用”，上海市科学技术委员会资助项目（12511501200）“北斗海洋智能信息服务支撑技术和典型应用示范研究”子课题“基于北斗的LBS数据挖掘服务”，公益性行业（农业）科研专项（201203018）“渔场捕捞技术与渔具研究展示”，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）“基于北斗的敏感海域渔船可视化监控”，地理信息科学教育部重点实验室开放研究基金资助项目（KLGIS2015A06）“基于北斗导航数据的东黄海拖网渔船对海底环境的影响研究”。

本书围绕着北斗卫星导航系统基础知识、北斗船位数据挖掘、渔业信息增值服务等展开，各章节的具体内容与撰写分工如下：第1章介绍渔船监控系统及北斗导航服务运营商等，由郭刚刚、王晓璇、于双、程磊、化成君执笔；第2章介绍北斗卫星导航系统的基础知识，由戎恺、黄华文、徐林浩、范秀梅执笔；第3章介绍北斗渔船船位、渔业协定区、海域与行政区划等，由张胜茂、周为峰执笔；第4章介绍基于神经网络与北斗数据的渔船捕捞类型辨别，由郑巧玲执笔；第5章介绍航次提取方法，由张胜茂、程田飞执笔；第6章介绍拖网、耙刺、刺网网次提取方法，由张胜茂、张衡、戴阳执笔；第7章介绍捕捞努力量计算方法，由张胜茂、杨胜龙执笔；第8章以象山港渔船为例介绍捕捞习惯，由张胜茂、崔雪森、伍玉梅执笔；第9章介绍捕捞追溯方法，由张胜茂、唐峰华执笔；第10章介绍北斗船位数据在渔业安全中的应用，由郑巧玲、胡杨阳执笔；第11章介绍北斗渔船信息服务系统的设计开发与实现，由张伟锋、陆腾、吴啸执笔；第12章介绍通过北斗船位数据分析渔船气体及颗粒物排放的方法以及海洋渔业捕捞动态管理等，由樊伟、岳冬冬执笔。最后全书由张胜茂、樊伟、杨胜龙负责定稿。

本书中的多数成果已在国内外刊物上发表，撰写过程中参考了国内外众多的优秀图书、研究论文及网站资料，在此我们表示衷心感谢。虽然作者试图在参考文献中全部列出并在文中标明出处，但难免有疏漏之处，我们诚恳地希望诸位同仁专家谅解。由于编者才学疏浅，书中难免存在错漏与不足之处，殷切希望同行专家和读者给予批评指正。

本书的出版得到了农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室、中国水产科学研究院渔业资源遥感信息技术重点开放实验室、上海普适导航科技股份有限公司、北斗星通信息服务有限公司、上海地听信息科技有限公司、上海恺擎软件开发有限公司的大力支持，宁波市海洋与渔业局李蔚然、冯辉强、李永剑、张强以及象山县海洋与渔业局的老师提供相关业务咨询，东海水产研究所陈雪忠、王鲁民、程家骅所长，黄洪亮、严利平、石建高研究员，张寒野、刘勇、冯春雷副研究员等为本书撰写提出了积极建议，也对海洋出版社为该书的出版所付出的辛勤劳动表示衷心感谢。

谨此致谢！

编 者

2015年8月于上海

CONTENTS 目 次

第 1 章 绪 论	1
1.1 VMS现状	1
1.1.1 渔船监控系统的发展	1
1.1.2 渔船监控系统的应用	2
1.1.3 渔船监控船位数据分析挖掘方法	4
1.1.4 北斗导航系统及海洋渔业应用现状	5
1.2 我国海洋渔业发展面临的问题	6
1.2.1 近海资源衰退严重	6
1.2.2 远洋渔业竞争力有待提高	6
1.2.3 渔船安全形势十分严峻	7
1.3 国内北斗运营商介绍	8
第 2 章 北斗卫星导航系统介绍	16
2.1 北斗卫星导航系统	16
2.1.1 系统简介	16
2.1.2 北斗一号	17
2.1.3 北斗二号	18
2.1.4 船载北斗卫星系统	19
2.2 北斗运营服务系统平台组成	19
2.2.1 北斗SDH服务器	19
2.2.2 北斗协议服务器群	20
2.2.3 北斗指挥机服务器	20
2.2.4 实时数据服务器	21

2.2.5	数据库和数据中间件	22
2.3	北斗卫星设备	24
2.3.1	北斗卫星船载终端	24
2.3.2	北斗指挥机	25
2.3.3	北斗AIS一体化终端	26
2.3.4	北斗手机子系统	27
2.3.5	北斗伴侣	27
2.3.6	北斗示位标	28
2.3.7	北斗位置服务终端	29
2.3.8	浮离式船载终端	29
2.3.9	北斗身份识别终端	30
2.3.10	北斗无线传输终端	30
2.3.11	北斗近海终端	30
2.4	北斗服务系统平台	31

第3章 数据介绍

35

3.1	北斗数据	35
3.2	海域格网划分	36
3.2.1	海区划分	36
3.2.2	渔场与渔区划分	37
3.3	渔业协定区域数据	37
3.3.1	中韩协定区	37
3.3.2	中日协定区	38
3.3.3	中越协定区	39
3.4	行政区划	40
3.5	渔船信息	41

第4章 渔船捕捞类型辨别

42

4.1	判别方法介绍	42
-----	--------------	----

4.2	判别过程	43
4.2.1	作业方式和数据特征	43
4.2.2	数据预处理	46
4.2.3	神经网络模型	46
4.2.4	神经网络训练	47
4.3	结果分析	48
第5章 捕捞航次提取		50
5.1	航次提取方法	50
5.2	渔船轨迹分析	51
5.3	航次判断	52
5.3.1	经纬度判断航次	52
5.3.2	船位点离岸的距离判断航次	53
5.4	航次提取	54
5.5	航次验证	55
第6章 渔船捕捞网次提取		57
6.1	拖网网次提取	57
6.1.1	数据与方法	57
6.1.2	结果与讨论	57
6.1.3	结论	62
6.2	耙刺网次提取	62
6.2.1	数据与方法	63
6.2.2	阈值计算	66
6.2.3	状态自动提取	67
6.2.4	状态验证	68
6.3	刺网网次提取方法	69
6.3.1	数据与方法	69
6.3.2	结果与讨论	70

第7章 捕捞努力量计算..... 74

7.1 拖网捕捞特点分析.....	74
7.1.1 拖网渔船状态分析.....	74
7.1.2 拖网渔船航速统计.....	77
7.2 拖网捕捞努力量计算.....	78
7.2.1 拖网渔船航速统计确定阈值.....	78
7.2.2 拖网渔船状态修正.....	81
7.2.3 捕捞强度计算.....	83
7.2.4 拖网累计捕捞状况计算.....	83

第8章 捕捞习惯与捕捞行为..... 86

8.1 数据与方法.....	86
8.1.1 速度阈值计算.....	87
8.1.2 捕捞努力量计算.....	87
8.2 捕捞努力量全年整体变化.....	87
8.3 捕捞努力量的空间分布规律.....	88
8.4 不同月份捕捞努力量的空间变化.....	89
8.5 基于捕捞努力量的渔场分析.....	92
8.6 数据验证.....	94

第9章 捕捞追溯..... 96

9.1 材料与方法.....	96
9.1.1 计算方法.....	97
9.1.2 追溯方法.....	97
9.2 渔船追溯.....	98
9.3 渔港的渔船追溯.....	100
9.4 渔场渔区的渔船追溯.....	101
9.5 讨论.....	103

第10章 渔业安全	104
10.1 台风对渔船作业的影响	104
10.1.1 台风数量分析	104
10.1.2 典型台风渔场	105
10.1.3 确定作业渔场及其台风情况	107
10.1.4 台风过程中的渔船作业特点	108
10.1.5 台风引起的渔船险情分析	110
10.2 渔船互助组	112
10.2.1 互助组救援有效性	112
10.2.2 渔船时空轨迹模型的建立	114
10.2.3 渔船互助组互助有效性检验方法	116
10.2.4 结果和分析	118
第11章 北斗渔船信息服务系统	120
11.1 系统设计	120
11.1.1 业务流程	120
11.1.2 框架设计	121
11.2 开发技术	124
11.2.1 关键技术	124
11.2.2 技术路线	125
11.3 系统实现	126
11.3.1 船舶信息显示	127
11.3.2 海况气象数据处理	129
11.3.3 渔场捕捞强度计算	135
11.3.4 行政区划统计	136
11.3.5 海域统计分析	138
第12章 北斗船位数据挖掘应用展望	141
12.1 气体和颗粒物排放	141

12.1.1	渔船排放估算方法	141
12.1.2	渔船排放估算步骤	142
12.1.3	排放估算	142
12.2	捕捞作业对海水与海底的影响	143
12.2.1	海底影响量化计算	143
12.2.2	海水影响量化计算	144
12.3	北斗卫星渔船监控系统辅助油价补贴	144
12.3.1	渔船油价补贴政策	144
12.3.2	北斗卫星渔船监控辅助油价补贴	145
12.4	构建海洋渔业捕捞动态管理平台	146
12.4.1	目的意义	146
12.4.2	海洋捕捞动态管理系统建设内容	147
参考文献		150
附录1	渔业船舶船名规定	154
附录2	渔业船舶所在地区规范化简称	156
附录3	海洋渔业捕捞许可核准作业内容	161
附录4	传统渔场概况	164

第 1 章 绪 论

渔船监测系统 (Vessel Monitoring System, VMS) 是一种集渔船定位、网络通讯、地理信息、数据管理、电子信息显示等技术于一体的渔船综合应用系统。绝大多数渔业国家都相继建立了 VMS 来管理渔船, 打击非法捕捞, 对渔业资源保护起到了积极作用。中国以自主知识产权的北斗卫星导航系统为基础, 构建了一个具有 VMS 功能的北斗渔船监控管理系统, 为海洋渔业主管部门提供有效的管理手段, 促进了渔业现代化、信息化、规范化发展, 推动了“平安渔业”建设。

1.1 VMS 现状

1.1.1 渔船监控系统的发展

渔船监控系统最早为葡萄牙 1988 年监测渔业活动而初步形成, 20 世纪 90 年代后, 随着国际渔业管理的加强, 渔业活动监测和管制已成为保护海洋渔业资源的必要组成部分。国际社会要求加强渔业资源养护与管理, 各沿海国对其所辖海域内渔业资源的管理也逐渐加强。美国、澳大利亚、新西兰等渔业国家都相继研发了本国的 VMS 来实现对渔船的监管 (曹世娟等, 2002)。1996 年, 欧盟要求欧洲所有长度大于 24 m 的渔船强制安装 VMS, 2012 年强制安装范围扩大到长度大于 12 m 的所有渔船 (EC, 2009)。到目前为止, 美国、欧洲、日本等海洋渔业大国与地区多数已经建立了比较完善的渔船监控系统, 并运用于实际的管理和操作中。许多发展中国家与地区也建立了海洋渔船船位监测系统, 收集船舶作业和渔获信息, 用于海洋渔业和船舶的有效管理。目前基本上所有的船旗国和沿海渔业国家都采用 VMS 作为监管手段来管理和养护所辖海域的渔业资源, VMS 进入了全球化飞速发展时期 (Joo et al, 2011)。

渔船监控系统一般是基于卫星通信系统、卫星定位系统和地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 的综合应用, 将卫星通信、卫星定位、地理信息系统及数据库等多方面的技术结合在一起, 实现全球范围内无缝隙的船舶定位通信和监控管理。VMS 系统主要由两大部分组成, 即渔船终端和地基接收终端, 此两部分主要由卫星进行衔接, 其最核心的功能实现主要依赖于卫星定位和通信技术。目前世界四大卫星导航系统是美国的全球定位系统 (Global Positioning System, GPS)、俄罗斯的全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GLONASS)、欧洲航天局的伽利略卫星定位系统、中国的北斗导航卫星定位系统。国际上, 渔船监测管理技术以 GPS 实时监测应用为主, 辅以 SAR 遥感和光学遥感影像的渔船分布监测, 并结合具体应用, 构建了许多实用的渔船监控系统。在卫星通信方面, 《联合国海洋法公约》要求船旗国发展与采用卫星通信的渔船监控系统。大部分国家和地区的 VMS 采用 Inmarsat-C 系统, 部分国家使用 ARGOS 系统, 我国自主研发的北斗卫星导航系统也已开始

投入使用。北斗导航系统集导航与通信功能于一体，中国海洋渔业已成为北斗导航系统最大的应用行业。国外渔船监控系统通常每 30 min 或者 1 h 记录一次船的位置、速度、方向信息，并发送至渔业监测中心，我国的北斗卫星船位监控系统数据回报频率达到 3 min。目前全国 5 万余艘近海渔船已安装北斗终端，可传回近实时的数据，主要包括渔船的时间、位置、航速、航向等信息。

利用全球定位系统实现渔船定位监测具有较强的实时性和准确性，但其监测效果依赖于船载 GPS 接收终端及通信设备。如果船载设备出现故障或由于渔船各自的商业利益，许多渔船不报告本船的真实作业区域或者不打开船载设备，则渔船将处于无法监测状态，这对打击渔船非法作业或非法渔船非常不利，也会对渔业资源管理和资源保护造成不利的影响。基于高分辨率资源卫星遥感技术的渔船监测能够较准确地获取渔船时空分布、渔船类型等信息，虽然无法像全球卫星导航系统那样进行渔船实时监测，但对于进行事后的渔业捕捞生产管理评估、渔船作业分布、渔业资源保护与管理、渔船生产效果评价等具有一定的科学价值和积极意义。因此，利用遥感技术进行渔船作业位置的主动监测同样受到关注。

1.1.2 渔船监控系统的应用

VMS 可以监控渔船的位置 (Russo et al, 2011)，收集捕捞信息 (Vermard et al, 2010) 辅助于渔船管理与渔船安全保障。除此之外，张胜茂等 (2014a, 2014b) 也分析了 VMS 在渔业安全、应急救援、环境监测、信息化服务等方面的应用。目前，国际上已有研究针对 VMS 数据为渔业管理提供服务的实例 (郭刚刚等, 2016)。

1) 估算捕捞努力量

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，是渔业资源学研究中的一个重要参数 (FAO, 1997)。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、作业方式等数据可以宏观、实时地把握某个海域内捕捞努力量的时空分布状况。目前，国内外学者采用 VMS 数据来分析捕捞努力量的方法主要运用地理信息系统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捕捞状态船位点，然后通过密度分析，计算一定分辨率大小地理网格内船位点的数量来表示捕捞努力量。如张胜茂等 (2015) 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 (2013) 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 (2007) 探讨了在 $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ 的高分辨率下，采用 VMS 数据分析在北海作业的英国拖网渔船捕捞努力量的可行性。Hinz 等 (2009) 通过邻域分析，计算了以 1 km^2 大小的网格为中心， 3 km 搜索半径的区域内所有处于捕捞状态船位点的均值，作为该网格内捕捞努力量的值。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，但分辨率大小的选择对评估结果影响很大。分辨率过大，容易导致格网内捕捞努力量被高估，从而影响评估结果的精度，因此，选择合适大小的格网范围是采用格网分析捕捞努力量的关键所在 (Chang et al, 2014)。

2) 捕捞行为及渔场分析

为了获取最大的经济收益,渔民往往寻求目标鱼类集群和捕捞环境适宜的作业海域,由此而出现的捕捞努力量密集分布的海域可以定义为渔场(Marchal et al, 2007)。因此,捕捞努力量的时空分布可以反映捕捞行为、渔场位置以及动态变迁。

分析捕捞行为是目前VMS应用研究的热点之一。如Bertrand等(2008)采用VMS数据重构了秘鲁鳀鱼围网渔船的作业轨迹,结合相关声学调查获取的鳀鱼群空间分布情况,分析了捕捞行为与鱼群空间分布的关系。Mendes等(2009)将葡萄牙近岸拖网渔船的VMS数据与上岸渔获数据相匹配,采用计量经济学离散选择模型(Econometric Discrete Choice Model, EDCM)模拟了渔船船位的动态变化与渔场变迁的关系。Joo等(2015)采用VMS数据重构秘鲁鳀鱼围网渔船的轨迹,通过聚类分析将渔船状态划分为捕捞、找鱼以及航行三种,并分析了不同状态下渔民对捕捞策略的选择以及变化情况。

在渔场分析方面,Jennings等(2012)将VMS数据与渔船的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(2013)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数据的意大利地中海沿岸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意大利地中海沿岸拖网渔船作业渔场。邹建伟等(2014)采用广西灯光罩网渔船在南海海外海生产时记录的北斗船位数据计算了各渔区捕捞努力量占同期南海海外海总捕捞努力量的比例,并按捕捞努力量的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四类,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。

3) 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(Watson et al, 2013)。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(2012)通过对VMS数据进行挖掘,估算了英国马恩岛扇贝底拖网船捕捞强度的分布状况,量化分析拖网捕捞对海洋底栖环境的影响。Gerritsen等(2013)网格化计算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(2009)计算了爱尔兰坎布里亚海岸挪威龙虾拖网渔船的拖网次数和拖曳范围,并与实地海底采样相结合,分析了底拖网对海洋底栖环境、资源丰度以及生物多样性的深刻影响。

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(2005)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(2010)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装置的塘鹅群飞行轨迹进行时空匹配来研究渔船的丢弃行为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一个重要来源。Santos等(2011)将在印度洋作业的葡萄牙延绳钓渔船VMS数据、渔船观察员记录的渔

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和尖吻鲭鲨的钓获率以及个体大小的时空分布情况。

1.1.3 渔船监控船位数据分析挖掘方法

VMS 数据中包含渔船信息发报时间、船位、航向、航速等信息,但是 VMS 数据未能直接体现渔船的状态信息,即是否在捕捞状态,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 数据的分析和挖掘主要集中在两个方面:一个是对渔船状态的判定,另外一个是对渔船轨迹的重构。

1) 渔船状态分析

由于 VMS 并没有传递渔船的状态信息,因此对于渔船各个阶段的识别和划分成为 VMS 数据挖掘不可避免的一个步骤,且识别的准确度关系到 VMS 后续的各类应用。国外用 VMS 数据分析渔船作业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。大多数采用 VMS 数据进行渔船状态识别是通过单一的速度阈值来划分渔船行为(Fonseca et al, 2008; Murawski et al, 2005; Fock, 2008)。Lee 等(2010)统计了不同的研究中对捕捞状态的速度识别阈值,发现没有任何一种速度阈值适合所有的渔船状态识别。Bertrand 等(2005)通过分析指出,简单地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。

目前,相关研究普遍认为渔船状态可以通过航速和航向来区分,通过建立各种模型分析航速和航向两种因素与渔船状态的非线性关系。应用较为广泛的是空间状态模型(State-Space Model),空间状态模型在处理离散的、有误差的、不完整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(Walker et al, 2010; Ovaskainen et al, 2001; Patterson et al, 2008; Royer et al, 2005; Jonsen et al, 2003)。首次用于渔船状态研究时采用了贝叶斯层次模型,并引入隐藏马尔可夫链算法对渔船不同状态(捕捞,航行,停泊)之间的转换进行建模,运动过程的参数(速度和航向)根据不同的状态来定义(Vermard et al, 2010);此外,Joo 等(2011)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(2014b)提出了用统计学的方法来确定渔船的行为,通过统计较长时间的渔船船位数据,找到各种类型的特征来判断渔船的捕捞状态,根据较长时间的航速统计可以获取拖网船捕捞状态的航速阈值,再结合航向差提取拖网船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。

2) 渔船轨迹分析

VMS 数据是一系列离散的点数据,且不同通信系统的 VMS 数据回报频率不一,除了我国的北斗卫星船位监控系统数据回报频率达到 3 min 以外,大部分 VMS 数据每隔 2 h 发送一次,高频的 VMS 数据能达到 20 min 发送一次(EC, 2003)。许多学者尝试用这些离散的点数据来分析渔业活动(Rijnsdorp et al, 1996; Dinmore et al, 2003; Hiddink et al, 2006a, 2006b; Piet et al, 2007),粗时空分辨率的数据源导致了分析过程的粗粒度和分析结果的低准确率,从而限制了 VMS 数据的应用范围。比如精确估

算拖网的捕捞努力量,准确地确定网具对海洋底栖环境的影响程度,还有对渔船的精细化监管和预警等,这些都需要精细时空分辨率的数据,所以如何通过离散的点数据来准确地重构渔船的活动轨迹是开展 VMS 数据应用研究的关键,而重构渔船轨迹比较关键的步骤就是插值,通过插值的方法来提高渔业活动分析的时空分辨率是一个比较可行的解决方法(Wang et al, 2015)。在陆地动物行为研究领域,多采用插值的方法研究动物的活动轨迹(Flemming et al, 2005; Ryan et al, 2004; Tremblay et al, 2006; Hedger et al, 2008),目前对于渔业活动轨迹的研究也大多是借鉴了这些模型和方法。

最简单的插值算法是线性插值(Straight Linear Interpolation)(Eastwood et al, 2007; Stelzenmüller et al, 2008)。这种方法的优点是简单快速,而且对于连续和不连续的位置点数据都可以处理,但插值结果可能与渔船的实际轨迹存在较大偏差,特别对于低回报率 VMS 数据,很有可能低估轨迹的长度和活动范围,而且线性插值没有考虑渔船航向和速度对于两点之间轨迹的影响,所以轨迹重构的效能较低。Skaar 等(2011)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。为了得到准确的渔船轨迹,许多复杂的插值方法逐渐被引入,最有代表性的方法是样条插值(Spline Interpolation)。样条插值利用最小表面曲率的数学表达式来模拟生成通过一系列样点的光滑曲面。样条插值兼顾了计算方法的快捷性和数据结构的复杂性,同时考虑渔船的航向、航速等数据,实现了与 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(2010)首次使用三次样条插值(Cubic Hermite Spline)的方法来对渔船轨迹进行重建,三次样条函数使用时间、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。这种插值方法用于重构拖网渔船的轨迹误差率较小,因为大多数拖网渔船的速度和航向较为稳定,但是对于其他捕捞方式,尤其是对于延绳钓、刺网等被动捕捞方式,一些人为因素或者自然因素的干扰会对插值结果的稳定性产生影响,因此这种插值方法显然不太适用。Russo 等(2011)引入了 Catmull-Rom 插值来重构渔船轨迹,这种方法的切向量通过相邻两个点的平均变化率计算得到,之后又在 Catmull-Rom 方法的基础上对切向量的计算公式进行了改进,大大提高了曲线拟合的精度。

1.1.4 北斗导航系统及海洋渔业应用现状

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。可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度的定位、导航、授时服务,并兼具短报文通信能力。北斗卫星导航系统的建设应用,将推动我国海洋事业的发展,对维护我国国家安全、推动经济、文化、科技发展提供重要保障。

早在 2006 年,北斗一代导航系统就在我国南海海洋渔业管理和渔船安全救助中开始得到应用。到目前为止,海洋渔业已成为我国自主北斗导航系统的最大应用行业,北斗海洋渔业综合信息服务的海上用户量已达 1.4 万户,我国已经有约 5 万艘渔船安装了北斗导航系统终端,开通北斗终端与手机短消息互通服务的手机用户已超过 40 万部。2007—2012 年,通过北斗系统发送的海上渔船紧急报警

500 多起, 渔船越界报警数百起。北斗系统在东沙群岛渔船搁浅事件、2008 年“米娜”“海贝思”台风事件、2009 年多次台风和强热带风暴(“天鹅”“莫拉克”“巨爵”“芭玛”)袭击事件以及多次渔船被外国非法抓扣维权救援事件中, 均发挥了重要作用, 极大地提升了渔政管理保障能力和渔船安全作业救助能力, 提高了渔民收入, 减少了外事争端, 维护了我国海洋权益。截至 2009 年, 北斗卫星导航定位系统开通应用 5 年来, 在国民经济、社会发展和国防建设中成功推广应用, 入网用户突破 4 万户, 累计提供定位服务 2.5 亿次, 通信服务 1.2 亿次, 授时服务 2 500 万次, 系统运行可靠性达到 99.98%, 取得了显著的社会经济效益。

1.2 我国海洋渔业发展面临的问题

1.2.1 近海资源衰退严重

近海具有极其重要的生态服务功能, 是众多渔业生物的关键栖息地和优良渔场, 支撑着近海渔业资源的补充和可持续生产。在我国, 近海渔业提供 90% 以上的海洋捕捞产量, 是我国优质蛋白的重要来源。我国沿海具有丰富的渔业资源(金显仕等, 2015), 渤海、黄海、东海和南海北部是我国传统的作业渔场, 20 世纪 80 年代中期开始, 传统渔业对象近乎绝迹, 中小型中上层鱼类占总捕捞产量的 60% 以上, 渔业资源结构发生了较大变化, 近海捕捞渔业资源衰退特征已非常明显。主要原因之一是过度捕捞直接造成的资源量骤减。现代技术的发展加剧了人们对海洋资源和海洋空间的开发, 目前, 我国近海海洋捕捞船只近 20 万艘, 总功率 1327×10^4 kW。虽然近海捕捞产量增长趋势得到一定程度遏制, 但渔业资源状况仍处于下降趋势, 严重影响了渔业资源的可持续利用。尤其中日、中韩、中越渔业协定的生效, 渔船生产作业区域受到压缩, 使得我国近海捕捞能力严重过剩的局面更加突出, 另外, 近海是众多渔业生物的优良产卵场、索饵场和渔场, 支撑着渔业种群的持续补充和繁衍, 由于管理不善, 有的渔具、渔法伤及幼体和产卵亲体, 如底拖网、小目网, 对资源的破坏很大, 导致了种群持续补充和繁衍量的锐减。还有一个重要的原因是近海生态环境恶化造成的关键栖息地退化。近海是人类活动密集、开发强度高的区域, 伴随着大规模围填海工程、污染物入海、海水养殖等高强度人类活动的加剧, 我国近海富营养化, 赤潮和水母暴发等生态灾害日趋严重, 产生了许多渔业环境和资源问题。如栖息地减少、碎片化或消失, 湿地功能退化, 仔鱼分散输运动力学基础剧烈变动, 饵料基础失衡, 产卵场和育幼场环境污染严重与质量退化, 生物多样性降低, 食物网结构简单化、敌害生物种群暴发等。环境变化导致近海生态系统服务功能的衰退已成为制约我国海洋渔业可持续发展的主要瓶颈, 为实现基于生态系统的渔业管理造成了巨大障碍(金显仕等, 2015)。

1.2.2 远洋渔业竞争力有待提高

作为海洋经济的重要组成部分, 远洋渔业不仅具有重要的经济利益和资源意义, 还关系到海洋权益、食品供应安全、外交战略及国际合作等。2001 年 10 月, 国务院批准实施远洋渔业资源探捕。十几年来, 探捕项目的成功实施, 激发了远洋渔业企业发展大洋性渔业的积极性, 促进了产业结构调整, 有效提升了产业的整体实力。2011 年 10 月农业部公布的《全国渔业发展第十二个五年规划(2011—