



BIM+GIS 船机实时监测技术 在远海港区建设中的应用

陶伟, 李文俊, 闫晓敏

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 远海大型港区建设过程中施工现场情况复杂、工程船舶数量众多, 施工船只大范围实时监管困难。基于建筑信息模型(BIM)+地理信息系统(GIS)技术融合船舶自动识别系统(AIS)的船舶实时定位数据, 实现工程地理信息三维可视化实时展示以及船舶动态跟踪与安全预警, 依托某大型远海港口工程进行二/三维数据展示与空间分析、船舶实时监控预警等业务探索和验证。结果表明, BIM+GIS 多源数据融合在船机监测方面的应用可提高施工现场船机实时监管能力, 并为项目管理提供决策依据。

关键词: BIM; GIS; 船舶实时监测; 港口工程

中图分类号: U655.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)02-0211-07

Application of BIM+GIS ship real-time monitoring technology in construction of open sea port areas

TAO Wei, LI Wenjun, YAN Xiaomin

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: During the construction of large open sea ports, complex site conditions and numerous engineering vessels make it challenging to monitor the ships in real-time across a large area. We integrate building information modeling (BIM) + geographic information system (GIS) technology with ship positioning data of automatic identification system (AIS) to enable real-time 3D visualization of geographic information, dynamic ship tracking, and safety warnings. On the basis of a large-scale open sea port engineering, we carry out exploration and verification of two-dimensional, three-dimensional data display and spatial analysis, real-time monitoring and early warning of ships. The results show that BIM+GIS data fusion application in the ship monitoring significantly improves real-time monitoring capabilities of ships and provides valuable decision-making support for project management.

Keywords: BIM; GIS; real-time monitoring of ship; port engineering

大型港口工程施工建设期, 尤其是远海港口建设, 大面积的填海造陆、开山造地, 以及数百艘施工船舶的同时作业, 带来了重大的安全风险, 如船舶碰撞、漏油、火灾等。现场的安全与调度管理工作也面临严重挑战。

针对船机管控, 国内众多学者及施工单位已

开展了多方面的探索研究, 如沈思曦等^[1]在船舶自动识别系统(automatic identification system, AIS)编码技术的基础上, 基于 MapWinGIS 开发了海上风电场船舶监控系统软件; 王洪伟^[2]采用模块化开发方法, 以 S-57 电子海图为基础, 将 AIS 技术与电子海图技术结合, 实现了一般电子海图系统

收稿日期: 2024-04-18

作者简介: 陶伟 (1991—), 男, 硕士, 工程师, 从事工程数字化建设研究。

的 AIS 信息图形化显示；于钱等^[3]利用地理信息系统(geographic information system, GIS)的空间分析性能和可视化特点，提出一种基于 GIS 的船舶信息管理系统设计方法。在 BIM 与 GIS 等多元数据融合方面，牛作鹏等^[4]基于 SuperMap 构建 3D GIS 基础平台，并融合 BIM 数据、北斗/全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)定位数据和业务数据，提升了航道勘察项目的管控预警能力；陈哲红^[5]基于建筑信息模型(building information modeling, BIM)技术建立一个集数据采集、数据接入、数据清洗与数据融合的一体化框架，形成了解决工程多源多模数据的动态加载技术；赵杏英等^[6]以主流的 Bentley BIM 设计平台和 SuperMap 及 Skyline 三维 GIS 平台为研究对象，通过开发数据转换插件实现了 BIM 与 GIS 的无缝融合。

目前研究方向大多集中于基于二维卫星图或电子海图的内部船只调度系统，单一图层的调度系统多用于内部船只监控，其系统轻便、操作简单，但是由于无法集成 BIM，倾斜摄影、正射影像等多方直观数据无法进行直观的地理空间分析与全方位的工程进展把控。为此，本文创新性地利用 BIM+GIS 技术融合 AIS 数据、项目管理数据等多元数据，依托某大型远海港口工程建设项目开展船舶实时监测预警、地理空间三维可视化展示与分析等方面的研究与应用。

1 关键技术

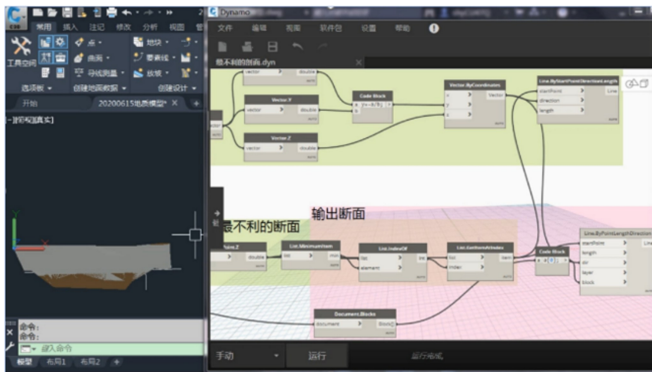
1.1 基于 GIS 的地理数据获取与处理

通过地理数据应用或网站，如国内的水经微图、天地图、高德地图等，获取遥感影像数据(.jpg)和地形数据(.tif)，使用 SuperMap iDesktop 软件打开或者新建一个 .udb 数据源，将地形数据 dem.tif 作为栅格数据集导入到数据源中。下载的地形影像往往是多幅.tif 数据^[7]，所以还需要对导入后的数据进行拼接处理，而采用栅格镶嵌操作拼接多幅边界相邻的栅格数据集，如果影像有重叠，要选择重叠区域的取值。

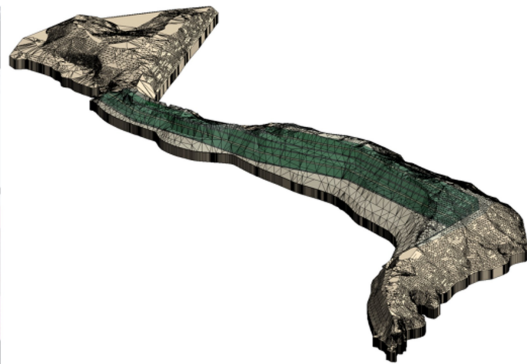
获取的地理数据可能存在缺失值、异常值、重复值等问题，需要进行清理和预处理，确保数据的质量和完整性。对清理和预处理后的地理数据重新采样影像，进行分辨率简化，创建多个图层储存不同分辨率的影像，利用这些影像图层的集合创建影像金字塔，从而提高缩放浏览影像时的显示速度，达到优化地理数据的效果。

1.2 基于 BIM 三维地形参数化建模

针对项目中需要开山处理的地形实体，通过 Dynamo 软件进行二次开发，读取原始地形曲面与设计边坡曲面后，首先将原始地形曲面向下拉伸为地形实体，接着用设计边坡曲面对地形实体进行裁剪，最终得出开挖山体和开挖山体后实体模型，见图 1。



a) 创建界面



b) 实体模型

图 1 基于 Dynamo 参数化建模的 BIM 三维地形创建

Fig. 1 BIM 3D terrain creation based on Dynamo parametric modeling

1.3 BIM 模型优化与 GIS 集成

由于 BIM 模型涵盖设计各阶段详细信息, 数据量过大, 为了在 GIS 平台上实现 BIM 模型的实时可视化和分析功能, 保证其准确性和可视化效率, 有必要对模型进行优化, 减少数据量。BIM 模型轻量化处理方式如下。

1) 几何简化。通过减少细分面、合并相邻面、去除冗余数据等几何简化方式减少模型中的细节和复杂性, 从而降低模型的大小和复杂度。

2) 属性优化。对 BIM 模型中的属性信息进行优化和精简, 去除不必要的属性或合并相同的属性值。这可以减少模型的存储空间和处理负担, 同时保留必要的属性信息以支持模型的特定应用场景。

3) 材质和纹理压缩。通过采用压缩算法、降低分辨率或使用压缩纹理格式等方式对 BIM 中使用的材质和纹理进行压缩, 以减小模型的文件大小, 达到保持可视化效果的合理性同时减少资源消耗。

4) BIM 本地缓存。在 GIS 平台中, 通过八叉树原理对 BIM 模型投影的坐标范围进行划分, 八

叉树结构见图 2。八叉树原理是以空间中的一个点为基础将空间分成 8 个区域^[8], 形成 8 个子树, 每个分割区域中的数据根据一定的瓦片边长存储为不同分辨率的切片三维缓存文件, 而缓存有助于提高浏览性能和大规模数据的真实效果。

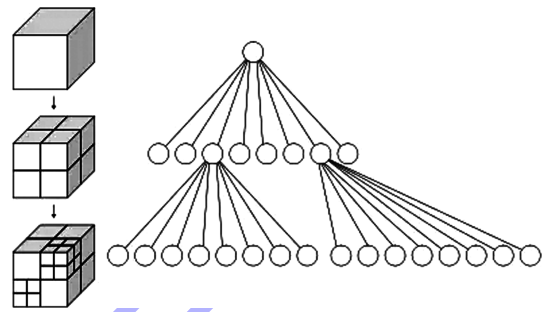


图 2 八叉树结构
Fig. 2 Octree structure

对于经过优化的 BIM 模型, 可以通过插件转换格式和导出 IFC 格式的方式集成于 GIS 平台, 其技术流程见图 3, 模型在导出时注意项目基点, 模型在导入 GIS 平台后, 通过设置插入点的坐标值(球面或平面坐标系)确定其在 GIS 三维场景中的位置。

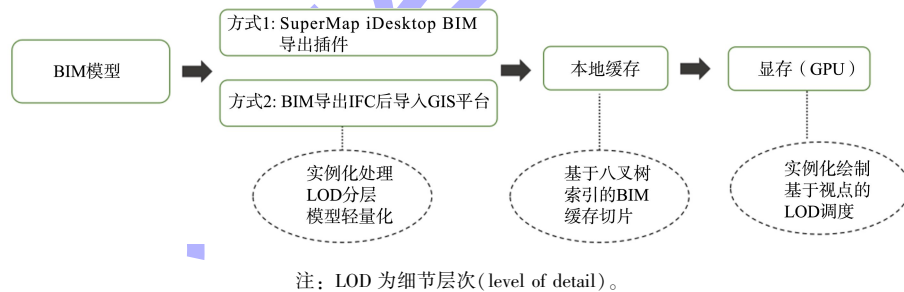


图 3 BIM 数据与 GIS 平台集成技术流程

Fig. 3 Integration technology flowchart based on BIM data and GIS platform

1.4 AIS 船舶数据与三维 GIS 场景融合

AIS 是一种用于船舶自动识别和通信的系统, 广泛应用于海上交通管理、船舶监控和航行安全等领域。它通过无线电通信和卫星定位技术, 实时获取和传输船舶的位置、速度、航向、船名等相关信息。AIS 的船舶数据与三维 GIS 场景融合关键技术如下。

1) 数据集成与融合策略。常见的数据集成方式包括数据格式转换、数据关联和数据匹配等。在转换数据格式时, 需要将 AIS 船舶数据和三维 GIS 场景数据进行统一的数据模型转换, 以便在后

续的处理中进行有效的融合^[9]。数据关联是通过船舶的唯一标识符——水上移动通信业务标识码 (maritime mobile service identify, MMSI) 将二者数据进行关联, 以确保它们在空间和时间上的一致性。数据匹配是通过比较船舶的位置、速度、航向等属性, 将二者数据进行匹配, 使其在融合后能够准确地反映船舶的位置和状态。

2) 数据关联与匹配算法。常用的算法包括基于距离的匹配算法和基于属性的匹配算法。基于距离的匹配算法通过计算 AIS 船舶数据和三维 GIS

场景数据之间的距离，选取最近邻的场景对象与船舶进行匹配^[10]。基于属性的匹配算法则根据船舶的属性信息(如船舶类型、长度等)进行匹配，将具有相似属性的场景对象与船舶进行关联，从而实现数据的时空匹配。

3) 实时数据处理与更新。由于 AIS 船舶数据是实时获取的，因此需要实时处理和更新融合后的数据。实时数据处理包括船舶数据的过滤、去重和校正等步骤，以确保数据的准确性和完整性。

4) 船舶模型创建与可视化。为了将 AIS 船舶数据与三维 GIS 场景进行可视化展示，需要创建船舶模型，并将其与场景进行融合。船舶模型可以基于 AIS 船舶数据中的属性信息进行创建，包括船舶的尺寸、形状、船舶类型等。根据这些属性信息，可以使用计算机图形学技术创建 3D 船舶模型，并将其与三维 GIS 场景进行融合，效果见图 4。融合时需要考虑船舶模型的位置、姿态和比例等因素，以确保模型与场景的一致性和真实感。

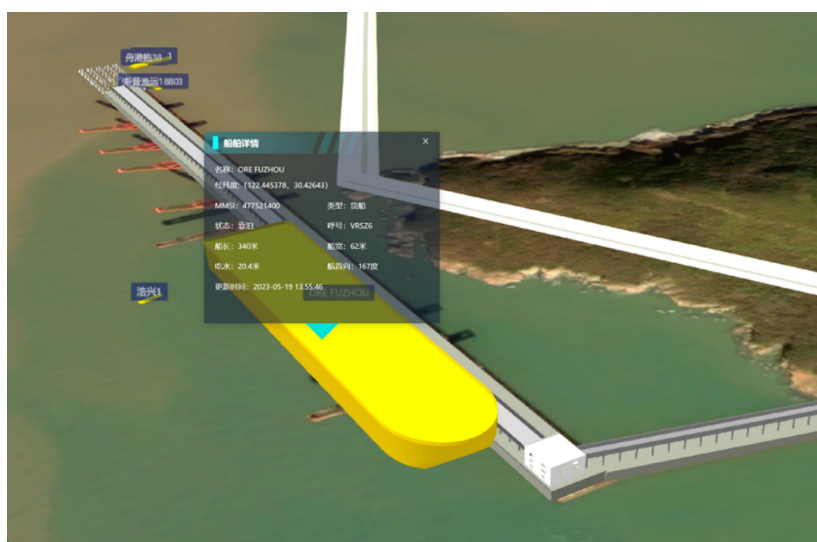


图 4 AIS 船舶数据三维可视化实时展示
Fig. 4 Real-time 3D visualization of AIS ship data

2 港区建设中的应用

2.1 基于 BIM+GIS 多图层的三维场景管理与对比

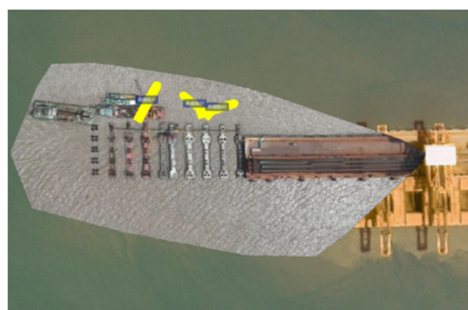
基于前文关键技术，在三维 GIS 平台中集成 BIM 数据、航道锚地、倾斜摄影、正射影像、海底管线坐标等静态数据图层，见图 5，从而实现船舶、设备和周边环境的空间数据集成。在建设过程中，通过对比定期更新的影像图层变化情况，无需远赴施工现场即可对工程施工现状与进展有个整体把握。



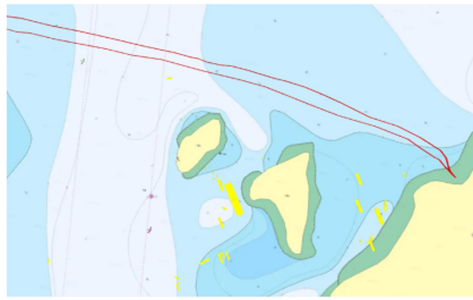
b) BIM模型属性信息



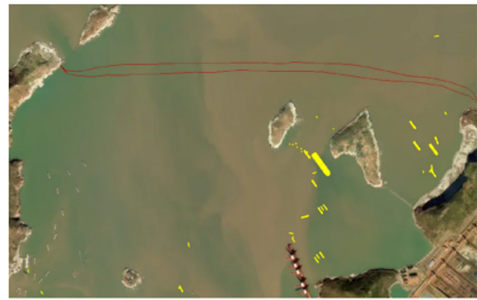
a) 三维BIM模型



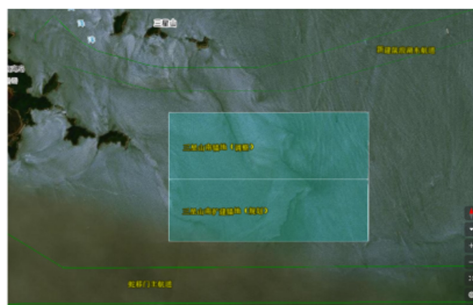
c) 正射影像图层



d) 电子海图图层



f) 海底管线图层



e) 航道锚地图层

图 5 多图层融合与工程现状展示
Fig. 5 Multi-layer fusion and engineering status display

2.2 船舶实时监测与越界报警

通过将 AIS 船舶数据中采集到的船舶位置、航向、航速等数据实时加载至 GIS 平台, 并将获取的船舶尺寸数据与 BIM 模型融合, 可以在 GIS 平台中实时显示船舶的位置信息以及三维尺度、航向等, 见图 6。通过回溯数据库中船只的 AIS 位置信息, 可以实现对船舶航行轨迹的追溯与展示。

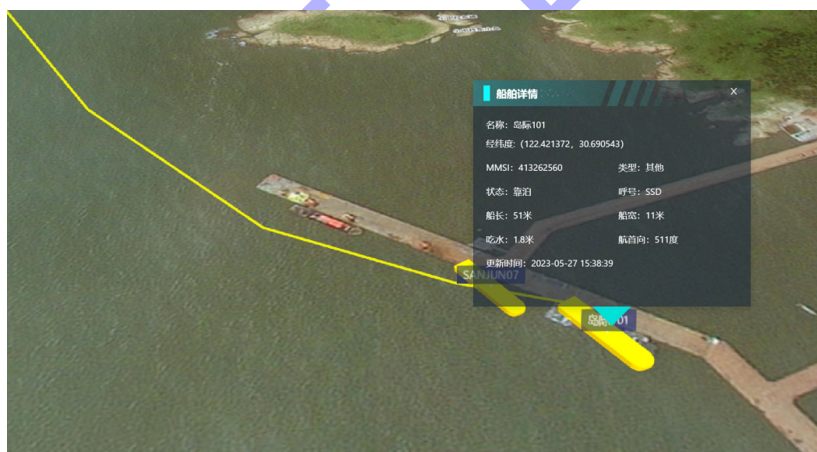


图 6 船舶实时位置监测与航行轨迹
Fig. 6 Real-time vessel position monitoring and navigation track

根据海上施工作业的需求并结合工程周边环境, 可在系统中绘制电子围栏区域, 并制定相应的出入规则。系统将根据这些规则自动监测是否有外部船舶擅自进入指定的危险施工区域, 以及船舶是否偏离了物料转运航线。若未注册的船只进入电子围栏区域, 系统将自动向区域安全负责人发送短信通知, 以便及时排查潜在的安全隐患。

电子围栏的应用场景与规则为: 首先, 针对

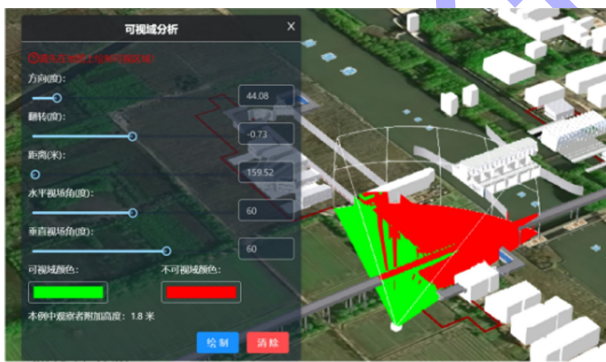
海上危险施工区域绘制电子围栏并提交监理确认, 可选择多个责任人。设置电子围栏的存在时间, 一旦超过设定时间, 电子围栏便会过期。电子围栏可限制外界船只进入, 也可设置关联分组内船只和人员为“不允许出”状态。其次, 针对海上物料转运范围绘制电子围栏并提交监理确认, 电子围栏可控制所关联分组内船只和人员的出入, 若有跨越则触发报警。外部非关联分组内船只则可自由出入。电子围栏绘制与船舶预警见图 7。



图 7 电子围栏绘制与船舶预警
Fig. 7 Electronic fence drawing and vessel warning

2.3 基于 BIM+GIS 的三维空间分析

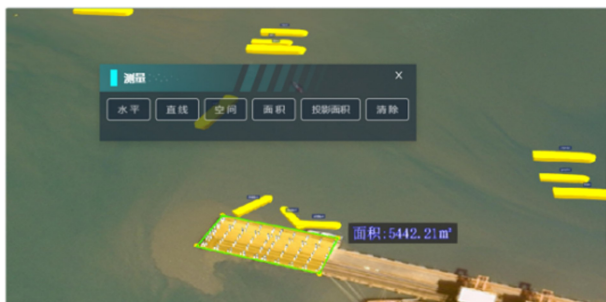
基于三维 GIS 平台具备的空间分析与查询能力，配合集成的具有详细几何模型和属性信息的 BIM 模型，可以对施工区域进行空间分析，如等高线分析、可视域分析以及二/三维测量分析、经纬度查询测量等(图 8)，为大型远海港口工程项目管控决策提供可靠依据。



a) 可视域分析



c) 等高线分析



b) 二/三维测量分析

图 8 基于 BIM+GIS 的三维空间分析

Fig. 8 3D spatial analysis based on BIM+GIS

3 结语

1) 本文对 BIM 模型数据、AIS 船舶数据等多种数据与 GIS 地理场景数据高效集成和协同应用进行研究，通过数据获取与优化处理、空间几何关联、属性数据对齐、以及可视化和交互性等关键技术的应用实现多种数据的无缝融合，为基于 BIM+GIS 船舶实时监测预警提供技术支撑。

2) 充分利用三维 GIS 平台强大的空间分析能力集成多种直观静态数据图层和动态船舶数据, 创建可自定义策略的电子围栏系统, 为远海港区建设施工区域建立有效的船舶越界预警、预控管理机制; 通过内容翔实、更新及时的静动态数据三维展示, 为项目管理者提供直观的智能决策支持。

参考文献:

- [1] 沈思曦, 陈元林, 安博文, 等. 基于 AIS 和 GIS 的海上风电场船舶监控系统软件设计[J]. 现代计算机(专业版), 2018(20): 91-95, 100.
SHEN S X, CHEN Y L, AN B W, et al. Design of the ship monitoring system for offshore wind farms based on AIS and GIS [J]. Modern computer (Professional edition), 2018(20): 91-95, 100.
- [2] 王洪伟. 基于 AIS 和 GIS 的南京水上警务信息系统研究[J]. 中国水运(下半月), 2019, 19(12): 54-55.
WANG H W. Research on Nanjing water police information system based on AIS and GIS [J]. China water transport (Second half of the month), 2019, 19(12): 54-55.
- [3] 于钱, 井浩宇, 赫美琳. 基于 GIS 的船舶信息管理系统设计[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(4): 10-13.
YU Q, JING H Y, HE M L. Design of ship information management system based on GIS [J]. Ship electronic engineering, 2019, 39(4): 10-13.
- [4] 牛作鹏, 刘明, 邹艳春, 等. BIM+GIS 及融合北斗定位数据在勘察管控中的应用[J]. 水运工程, 2022(3): 134-138, 170.
NIU Z P, LIU M, ZOU Y C, et al. Application of BIM + GIS and fusion Beidou positioning data in survey management and control [J]. Port & waterway engineering, 2022(3): 134-138, 170.
- [5] 陈哲红. 基于 BIM 的多源多模数据动态加载技术[J]. 现代管理, 2024, 14(3): 442-450.
CHEN Z H. Dynamic loading technology of multi-source and multi-modal data based on BIM [J]. Modern management, 2024, 14(3): 442-450.
- [6] 赵杏英, 陈沉, 杨礼国. BIM 与 GIS 数据融合关键技术研究[J]. 大坝与安全, 2019(2): 7-10.
ZHAO X Y, CHEN C, YANG L G. Research on key technologies of BIM and GIS data fusion [J]. Dam and safety, 2019(2): 7-10.
- [7] 张欣欣. BIM 建筑模型与 GIS 三维信息系统的数据融合研究[D]. 广州: 广州大学, 2022.
ZHANG X X. Study on data fusion of BIM building model and GIS 3D information system [D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2022.
- [8] 陈玉龙. 多分辨率层次模型支持下的 BIM-GIS 集成可视化[J]. 测绘通报, 2018(12): 69-73.
CHEN Y L. BIM-GIS integrated visualization method based on multi-resolution hierarchical model [J]. Bulletin of surveying and mapping, 2018(12): 69-73.
- [9] 吴勇, 初秀民, 刘兴龙, 等. 船舶 AIS 与视频图像信息融合方法研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2023, 47(3): 575-581.
WU Y, CHU X M, LIU X L, et al. Research on ship AIS and video image information fusion method [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation science and engineering edition), 2023, 47(3): 575-581.
- [10] 陈仁丽, 王宜强, 刘柏静, 等. 基于 GIS 和 AIS 的渤海海上船舶活动时空特征分析[J]. 地理科学进展, 2020, 39(7): 1172-1181.
CHEN R L, WANG Y Q, LIU B J, et al. Spatio-temporal characteristics of ship activities in the Bohai Sea based on GIS and AIS [J]. Progress in geography, 2020, 39(7): 1172-1181.

(本文编辑 王璁)