

基于多源信息融合的航道通航安全实时风险评估与预警

江世杰

江苏路港应急装备科技有限公司, 中国·江苏 南京 211100

摘要: 基于多源信息融合的航道通航安全实时风险评估与预警系统, 旨在应对复杂水域通航环境下的安全管理挑战。该系统通过整合气象、水文、航道地形等通航环境信息, 以及 AIS、视频监控、雷达等船舶动态信息, 构建了全面的数据感知网络。通过时空配准与分层融合策略, 解决了异构信息的统一性问题, 为风险评估提供了精准的数据基础。在此基础上, 构建了涵盖环境、船舶、操作三个维度的实时风险评估指标体系, 并运用规则引擎与智能算法对风险因素进行动态识别与量化分析, 最终通过加权求和法计算综合风险等级, 实现风险的实时判定。依据风险等级, 系统设定了四级预警阈值, 并通过多渠道发布预警信息, 联动不同部门采取差异化的响应与应急处置措施。这一整套闭环管理体系, 显著提升了航道通航安全管理的主动性、精准性和时效性, 为保障水上交通安全提供了有力的技术支持。

关键词: 多源信息融合; 航道通航安全; 实时风险评估; 预警机制

Real-time Risk Assessment and Early Warning of Navigation Safety Based on Multi-source Information Fusion

Jiang Shijie

Jiangsu Road and Port Emergency Equipment Technology Co., Ltd., China Jiangsu Nanjing 211100

Abstract: The real-time risk assessment and early warning system for navigation safety based on multi-source information fusion aims to address the challenges of safety management in complex waterway navigation environments. The system integrates navigation environment information such as meteorology, hydrology, and waterway topography with dynamic vessel information from AIS, video surveillance, and radar to construct a comprehensive data sensing network. Through spatiotemporal registration and hierarchical fusion strategies, it solves the problem of heterogeneity among information sources, providing an accurate data foundation for risk assessment. Based on this, a real-time risk assessment indicator system covering environmental, vessel, and operational dimensions is established. Risk factors are dynamically identified and quantitatively analyzed using rule engines and intelligent algorithms, and the comprehensive risk level is calculated through the weighted summation method to achieve real-time risk determination. According to the risk level, the system sets four-level early warning thresholds and issues warnings through multiple channels, enabling different departments to carry out differentiated responses and emergency measures. This closed-loop management system significantly enhances the proactivity, accuracy, and timeliness of navigation safety management, providing strong technical support for ensuring waterborne traffic safety.

Keywords: Multi-source information fusion; Navigation safety; Real-time risk assessment; Early warning mechanism

0 引言

随着水路运输的日益繁忙和通航环境的日趋复杂, 传统的航道通航安全管理模式面临着信息来源单一、风险识别滞后、应急响应被动等严峻挑战。安全事故的发生往往是多种风险因素交织作用的结果, 而孤立的信息源难以全面反映通航安全的真实状态。在此背景下, 利用多源信息

融合技术, 构建一个能够实时感知、动态评估、智能预警的航道通航安全管理体系, 成为提升水上交通安全保障能力的迫切需求。该体系通过对海量异构数据的综合分析, 能够从被动应对事故转向主动预防风险, 对于保障人民生命财产安全、维护航道畅通、促进航运经济健康发展具有重大的理论价值和深远的现实意义。

1 航道通航安全的多源信息获取与融合

1.1 通航环境信息的感知与采集

通航环境信息是风险评估的基础,需覆盖气象、水文、航道地形三类核心数据。气象信息通过布设沿线自动气象站与遥感监测设备获取,重点采集风速、能见度、降水、雾情等参数,其中能见度监测精度需控制在10米以内,风速监测分辨率不低于0.1m/s,确保及时捕捉强风、浓雾等危险气象。水文信息依赖水文站与水下传感器网络,实时采集水位、流速、流向、水温等数据,针对浅滩、急弯等关键区段,加密传感器布设密度(间距不超过1公里),动态掌握水流变化对船舶操控的影响。航道地形信息通过定期水下测绘与实时扫测设备获取,精准识别暗礁、浅点、沉船等障碍物,形成高精度航道电子地形图,为船舶航线规划提供依据。

1.2 船舶动态信息的获取与处理

船舶动态信息通过船舶自动识别系统(AIS)、视频监控、雷达监测构建“三位一体”获取网络。AIS系统实时接收船舶位置、航向、航速、船舶尺度、载货状态等基础信息,数据更新频率不低于1次/30秒,确保追踪船舶实时航行轨迹;重点航道区段布设高清视频监控设备,通过图像识别技术辅助判断船舶通航状态,如是否偏离航道、是否违规会船;雷达系统覆盖AIS信号盲区,捕捉无AIS信号的小型船舶或非机动船舶动态,避免信息遗漏。对获取的船舶动态信息进行预处理,剔除异常数据(如信号漂移导致的位置偏差),通过坐标转换统一数据格式,建立船舶动态数据库,为后续风险分析提供精准的船舶运行数据支撑^[1]。

1.3 异构信息的时空配准与融合处理

多源信息存在时间不同步、空间坐标系差异的问题,需通过时空配准实现数据统一。时间配准采用时间戳同步技术,以系统标准时间为基准,对气象、水文、船舶动态信息的采集时间进行校准,时间误差控制在1秒以内,确保数据在时间维度上的一致性。空间配准将所有信息转换为统一的地理坐标系(如WGS-84坐标系),通过坐标映射消除不同设备(如AIS、雷达、视频监控)的空间偏差,使船舶位置、航道障碍物、气象影响范围等信息精准叠加至电子航道图。信息融合采用分层融合策略:数据层融合对原始感知数据去重、降噪,保留有效信息;特征层融合提取各信息源的关键特征(如船舶航向变化率、能见度阈值);决策层融合通过加权融合算法,将多源特征信息整合为统一的风险分析数据集,为后续风险评估提供完整、

准确的数据基础^[2]。

2 航道通航安全的实时风险评估方法

2.1 实时风险评估指标体系的构建

基于多源融合信息,构建包含三个维度、12项核心指标的实时风险评估体系。环境维度涵盖能见度(低于500米为高风险)、风速(超过10m/s为高风险)、水流流速(超过3m/s为高风险)、航道障碍物密度(每平方公里超过2处为高风险)4项指标,反映通航环境对安全的影响。船舶维度包括船舶航速偏差(超出航道限速20%为高风险)、航向稳定性(航向波动超过5°为高风险)、船舶会遇次数(1小时内同一区段超过5次会遇为高风险)、船舶适航状态(设备故障、超载为高风险)4项指标,体现船舶自身运行状态的风险水平。操作维度包含船员瞭望强度(监控显示瞭望频次低于1次/分钟为高风险)、航线偏离程度(偏离规划航线超过100米为高风险)、通信协作效率(VHF通话响应延迟超过30秒为高风险)、应急设备完好率(低于90%为高风险)4项指标,评估人为操作与管理层面的风险因素^[3]。

2.2 风险因素的动态识别与量化分析

依托多源融合数据平台,通过规则引擎与智能算法实现风险因素动态识别。规则引擎预设风险触发条件,如当气象站监测到能见度低于200米、同时AIS显示该区段有5艘以上船舶航行时,自动识别为“环境-船舶叠加风险”;智能算法(如决策树算法)对船舶动态数据进行分析,当船舶航速在10分钟内波动超过5m/s且航向频繁调整时,判定为“船舶操控异常风险”。风险因素量化采用百分制评分,根据指标影响程度赋予权重(环境维度权重40%、船舶维度35%、操作维度25%),每个指标按风险等级对应不同分值(低风险0-30分、中风险31-60分、高风险61-100分)。例如,能见度200米对应环境维度80分,船舶航速偏差30%对应船舶维度75分,船员瞭望频次不足对应操作维度65分,通过加权计算得出单一风险因素的量化分值。

2.3 综合风险等级的实时计算与判定

综合风险等级通过加权求和法计算,将各维度量化分值按权重累加,得出综合风险得分(满分100分),并对应四级风险等级:得分0-30分为低风险(安全状态),31-50分为中风险(关注状态),51-80分为高风险(预警状态),81-100分为极高风险(紧急状态)。计算过程依托实时数据处理平台,每5分钟更新一次多源信息,同步更新风险因素量化分值与综合风险得分,确保

风险等级判定的实时性。例如,某航道区段在浓雾天气下,环境维度得分85分,船舶维度因5艘船舶集中航行得分60分,操作维度因船员瞭望加强得分30分,综合得分 $(85 \times 40\% + 60 \times 35\% + 30 \times 25\%) = 64.5$ 分,判定为高风险,触发相应预警流程^[4]。

3 航道通航安全的分级预警机制

3.1 预警阈值的设定与分级标准

预警阈值设定以“综合风险评估模型”为核心,模型涵盖气象(能见度、风力、降水)、水文(水位、流速、流向)、通航环境(船舶密度、船舶类型、航道宽度)、设备状态(导航设施、监控设备运行情况)四大类12项指标,各项指标按风险权重赋值后,通过加权计算得出0-100分的综合风险得分,据此设定四级预警阈值及对应差异化管控标准。

其中,低风险(0-30分)表明航道环境稳定、无显著隐患,不触发预警,航道智慧监控系统自动记录通航数据(如过往船舶数量、轨迹、航速等)并实时存入管理数据库,作为后续分析依据;中风险(31-50分)触发蓝色预警,此时航道环境有轻微异常(如能见度800-1000米、船舶密度增30%),管理平台向辖区部门推送提示,监测人员加强监控巡查(从每30分钟1次调为15分钟1次),同时用VHF向船舶播报安全提示;高风险(51-80分)触发黄色预警,对应航道中度风险(如能见度200-500米、风力6-7级、少量船舶违规追越),执行管控措施:船舶降速至限速70%,强制开启雷达等设备(指定16频道),执法部门巡逻频次翻倍(从每日2次调为4次),重点巡逻风险区段上下游各5公里;极高风险(81-100分)触发红色预警,意味着航道面临严重威胁(如能见度低于200米、风力8级以上、有浅滩或障碍物),立即启动最高管控:通过AIS广播等禁止船舶进入风险区段,引导区内船舶至就近锚地避险,锚泊时关闭主机、开启照明警示灯,安排船员24小时值班瞭望。为适配不同航道运营特性,预警阈值支持动态调整机制,调整需经航道管理部门集体评估并备案:通航密集的核心航道(如长江干线、京杭大运河主航道),因船舶流量大、货物运输繁忙,中风险阈值可下调至25分,提前5-8小时启动预警响应;偏远航道(如部分内河支流航道),因船舶数量少、航行需求低,可适当放宽阈值(如中风险调为36-55分、高风险调为56-85分),避免过度预警影响通航效率与物流运输时效。

3.2 预警信息的生成与发布策略

预警信息生成采用“系统自动触发+人工审核确认”

双轨模式,平衡信息精准性与时效性。当综合风险得分达预警阈值,航道智慧管理系统自动提取风险数据,生成含风险等级、影响范围、风险原因、建议措施、预警启动时间、预计持续时长六大核心要素的预警信息初稿。信息生成后,系统自动推送至航道管理部门预警审核终端,审核人员5分钟内完成核验,重点确认风险原因与实际监测数据是否一致、建议措施是否符合预警等级要求,若有偏差联系现场监测人员复核修正,无误后通过“多渠道同步发布”机制推送。发布渠道分三类:针对船舶,通过AIS广播系统和VHF甚高频16频道推送播报;针对航道管理部门,通过内部管理系统发送预警指令明确岗位职责与监测重点;针对协同单位,通过跨部门联动平台通报预警情况并共享风险数据,为协同处置提供支撑。信息发布需遵循“简洁明确、要素齐全”原则,避免冗余表述。例如黄色预警信息统一格式为:“【航道XX区段黄色预警】当前风险原因:能见度200米+船舶密集(密度12艘/平方公里);船舶要求:限速5节,开启雷达与AIS,保持VHF16频道守听,会船前提前3分钟通播;管理部门要求:执法船每1小时巡逻1次,监控中心每10分钟更新1次数据;预警启动时间:2025年11月5日14:00,预计持续4小时。”^[5]

3.3 预警响应与应急处置联动

为确保预警措施见效,不同预警等级设差异化响应流程,形成“预警启动-措施执行-效果反馈-闭环优化”管理链条,强化跨部门协同,提升应急处置效率。蓝色预警响应阶段,航道监控中心将视频监控与数据采集频率提至每10分钟1次,关注船舶违规行为并实时上传数据,发现异常立即用VHF甚高频警示;航道执法船增加巡逻频次,排查船舶导航设备与船员在岗瞭望情况,对轻微违规责令现场整改并记录。黄色预警响应阶段,船舶严格执行管控要求,降低航速,会船前提前5分钟用VHF甚高频通播信息,禁在风险区段追越或掉头;航道监控中心安排2人24小时值守,实时跟踪船舶动态,发现异常联系船长提醒调整;气象部门每30分钟更新气象预报,同步结果给航道管理部门用于风险判断。红色预警响应阶段,启动最高级别应急联动。航道管理部门用电子围栏系统关闭风险区段通航入口,安排执法船值守,引导船舶绕行或锚泊;应急救援部门1小时内待命,打捞公司备好设备,医疗急救机构在就近码头待命;海事部门与周边港口沟通,协调调整船舶靠离泊计划,做好分流预案。

预警解除需满足“风险指标回归安全范围”条件,由

系统自动监测并生成解除建议,经管理部门审核后,通过原发布渠道发布预警解除通知,明确解除时间与恢复通航要求。预警解除后 3 个工作日内,航道管理部门需组织复盘会议,分析预警期间的响应效率、措施执行效果与存在问题(如某区域船舶接收信息延迟),结合复盘结果优化预警阈值、信息发布流程与响应措施,提升分级预警机制的适用性。

4 结语

基于多源信息融合的航道通航安全实时风险评估与预警,标志着航道安全管理正从依赖经验判断的传统模式,向数据驱动的智能化、精准化模式深刻转型。其核心价值在于构建了一个能够“看得清、算得准、防得住”的主动安全防护体系。通过将分散的信息点汇聚成完整的风险图景,管理者能够从宏观上把握航道安全态势,从微观上精准定位风险源,从而实现资源的优化配置和措施的精准投放。这种预警与响应的闭环机制,不仅极大地提升了事故预防的能力,也增强了应急处置的效率。随着物联网、大

数据和人工智能技术的进一步发展,该系统将不断进化,预测能力将更加精准,响应速度将更加迅速,最终将为构建更加安全、高效、智能的现代化水上交通系统奠定坚实的基础。

参考文献:

- [1] 黄耀惊,许拴梅,姜苗苗等.基于博弈论组合赋权的航道水域通航安全评价[J].安全与环境学报,2021(006):021.
- [2] 代克飞.内河航道桥梁通航安全风险分析及隐患治理实施体系[J].港口科技,2023(11):33-40.
- [3] 黄荣超.白居寺长江大桥施工期通航安全维护管理探讨[J].2021.
- [4] 徐云,赵眈崑,关明芳.某桥梁通航安全风险及抗撞性能评估[J].中国水运,2023(2):15-16.
- [5] 朱丽丽.航道整治工程施工水域通航安全风险识别与防控研究[J].中国地名,2023(8):0025-0027.