 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i4.5292

Study on the autonomous navigation path planning of ships in complex waters

Hongqing Yuan

Jiangsu Province Sea Area Law Enforcement and Supervision Center, Nantong, Jiangsu, 226000, China

Abstract

This paper focuses on the autonomous navigation path planning of ships in complex waters. To meet the challenges of variable water environment and dense obstacles, a comprehensive path planning algorithm is designed and implemented. The algorithm integrates multi-dimensional information such as water depth, water flow and channel layout, and provides a safe and efficient navigation path for ships through the intelligent decision-making model. The research not only improves the intelligent level of autonomous navigation of ships, but also provides theoretical and technical support for the safe navigation in complex waters. The experiment verified the effectiveness and practicability of the algorithm, showing that it has significant advantages in improving navigation safety and efficiency.

Keywords

ship autonomous navigation; complex waters; path planning; multi-information fusion; intelligent decision-making

船舶在复杂水域中的自主航行路径规划研究

袁宏庆

江苏省海域执法监督中心，中国 · 江苏 南通 226000

摘　要

本文聚焦于船舶在复杂水域中的自主航行路径规划研究。针对水域环境多变、障碍物密集等挑战，设计并实现了一种综合路径规划算法。该算法融合了水深、水流、航道布局等多维度信息，通过智能决策模型，为船舶提供安全、高效的航行路径。研究不仅提升了船舶自主导航的智能化水平，还为复杂水域的安全航行提供了理论和技术支撑。实验验证了算法的有效性和实用性，表明其在提升航行安全性和效率方面具有显著优势。

关键词

船舶自主航行；复杂水域；路径规划；多信息融合；智能决策

1 引言

随着智能航运技术的蓬勃发展，船舶自主航行已成为推动航运业转型升级的关键力量，预示着未来航运的重要趋势。然而，复杂水域的航行环境却如同一道难以逾越的鸿沟，其多变性和不确定性对船舶的自主航行能力提出了前所未有的挑战。水域中的暗礁、浅滩、狭窄航道以及变幻莫测的水流和风向，无一不在考验着船舶的自主导航和决策能力。因此，深入研究船舶在复杂水域中的自主航行路径规划，不仅关乎航运安全，更是推动智能航运技术迈向更高水平的关键所在。

2 复杂水域航行环境分析

2.1 水域地形复杂多变

复杂水域的地形复杂多变，构成了航行中的一大挑战。水域的深度和底部结构往往呈现出极大的差异性，有的地方水深可达数十米，而有的地方则可能只有几米甚至更浅。这种深浅不一的水域要求船舶必须实时调整吃水深度，以确保航行安全。在深水区域，船舶可以全速前进，但在浅水区域，则必须减速并谨慎操作，以避免搁浅或触礁。此外，水域中的河道也可能蜿蜒曲折，充满了未知的转角和变向。在这种环境中航行，船舶驾驶员需要凭借高超的驾驶技能和对地形的深入了解，灵活调整航向，确保船舶能够顺利穿越曲折的河道。地形变化还可能对水流速度和流向产生显著影响。在某些地方，水流可能湍急而汹涌，而在其他地方则可能平静无波。这种水流的变化不仅增加了航行的难度，还可能对船舶的操纵性能提出更高要求 [1]。

【作者简介】袁宏庆（1969–），男，中国江苏南通人，技师，从事船舶驾驶研究。

2.2 水流、风向等自然条件影响显著

自然条件，特别是水流和风向，对船舶在复杂水域中的航行具有至关重要的影响。水流的速度和方向可能因地形、季节、潮汐等多种因素而发生变化。在强水流区域，船舶可能需要增加动力以维持航向，否则很容易被水流带走，偏离预定的航道。而在逆流航行时，船舶则需更加谨慎地控制速度和航向，以避免因水流阻力过大而失控或发生碰撞[2]。风向的变化同样对船舶的航行产生重要影响。在风力较小的情况下，船舶可能只需微调帆面或螺旋桨角度即可保持航向。但在风力较大的情况下，船舶驾驶员则需要密切关注风向变化，并及时调整航行策略，以确保船舶的操纵性能和稳定性。此外，风向还可能影响水域中的波浪情况，进一步增加航行的难度和不确定性。

2.3 航道狭窄障碍物众多

复杂水域的航道往往狭窄且曲折，伴随着大量的障碍物，构成了航行中的又一大挑战。这些障碍物可能包括桥梁、码头、浮标、沉船等，它们不仅限制了船舶的航行空间，还可能构成潜在的安全威胁。在狭窄航道中航行时，船舶驾驶员需要高度集中注意力，密切关注航道两侧的障碍物和前方来船情况。稍有疏忽，就可能发生碰撞或搁浅等事故。此外，由于航道狭窄，船舶之间的相对速度可能较快，这进一步增加了发生碰撞的风险。因此，在复杂水域中航行时，船舶必须严格遵守航行规则，保持安全距离，并随时准备采取紧急制动或避让措施。同时，船舶还应配备先进的雷达、声呐等探测设备，以提高对障碍物的感知能力。这些设备能够实时监测航道中的障碍物情况，为船舶驾驶员提供准确的信息支持，确保航行安全。在复杂水域中航行，船舶驾驶员和船员需要时刻保持警惕，密切关注航行环境的变化，以确保航行安全[3]。

3 自主航行路径规划方法

3.1 构建多源信息融合的环境感知模型

在船舶自主航行的过程中，构建一个全面且准确的环境感知模型是至关重要的一步。这个模型的核心在于融合来自多种传感器的数据，形成一个对水域环境的全方位、实时且精确的描述。雷达、声呐、GPS 以及气象仪等设备各自扮演着关键角色，它们分别负责监测水域中的障碍物、地形深度、船舶位置以及气象条件等信息。通过数据融合技术，可以将这些来自不同源头的信息进行有机整合，从而生成一幅详尽且动态更新的水域环境图。在构建这一环境感知模型时，数据的准确性和可靠性是至关重要的。为了确保这一点，需要对传感器数据进行严格的校验和预处理，以剔除噪声和异常值。同时，模型还应具备自学习和自适应的能力。这意味着它能够根据历史数据和实时观测结果不断进行自我优化，以更好地适应水域环境的动态变化。例如，当水域中出现新的障碍物或水流条件发生变化时，模型应能够迅速识别并更新相关信息，从而确保后续路径规划的有效性和准确性。此外，在构建环境感知模型时，还需要特别关注数据的时空一致性和完整性。这要求在数据融合的过程中充分考虑不同传感器之间的时间和空间差异，以确保最终生成的水域环境图能够真实反映实际情况。

3.2 设计智能决策算法优化航行路径

在获取了全面且准确的环境信息后，接下来需要设计一种智能决策算法来优化航行路径。这种算法的核心在于根据当前的水域环境、船舶状态以及航行目标，自动生成一条既安全又高效的航行路径。为了实现这一目标，智能决策算法需要综合考虑多种因素。这些因素包括但不限于水深、水流速度、风向、障碍物位置以及船舶自身的操纵性能等。算法通过对这些因素进行权重分配和组合优化，可以得出一条最优的航行路径。例如，在水深较浅的区域，算法可能会选择绕行以避免搁浅；而在水流湍急的区域，则可能会调整航向以减小水流对船舶的影响[4]。此外，智能决策算法还应具备实时更新和动态调整的能力。这意味着当水域环境发生突然变化时，算法能够迅速识别并重新规划航行路径。为了实现这一目标，可以借鉴机器学习、深度学习等先进技术来训练和优化算法。这些技术能够帮助算法从大量历史数据中学习并提取有用的特征信息，从而提高算法的准确性和鲁棒性[5]。

3.3 考虑船舶操纵性能确保路径可行性

在生成航行路径时，除了考虑水域环境和航行目标外，还必须充分考虑船舶的操纵性能。这包括船舶的动力性能、转向性能、制动性能等，这些因素将直接影响航行路径的可行性和安全性。为了确保路径的可行性，算法需要在规划过程中考虑船舶的操纵限制，如最大航速、最小转弯半径等，并据此对路径进行适当调整[6]。此外，算法还应具备对船舶操纵性能的实时监测和评估能力，以便在航行过程中及时发现并纠正可能存在的操纵问题。在考虑船舶操纵性能时，还需特别注意不同船舶类型之间的差异，以确保算法能够适用于各种类型的船舶。综上所述，自主航行路径规划方法需要综合运用多种技术手段，以实现船舶在复杂水域中的安全、高效航行。通过构建多源信息融合的环境感知模型、设计智能决策算法优化航行路径以及考虑船舶操纵性能确保路径可行性，可以显著提升船舶的自主航行能力和安全性。

4 路径规划算法实施策略

4.1 实时更新环境信息确保路径准确性

在船舶自主航行过程中，环境信息的实时更新是确保路径规划准确性的关键。由于复杂水域环境多变，障碍物位置、水流速度、风向等关键信息都可能随时发生变化，因此，路径规划算法必须能够实时获取并处理这些更新后的信息。为了实现这一目标，可以采用先进的环境感知技术，如激光雷达、声呐、摄像头等，对水域环境进行持续监测[7]。同时，建立高效的信息传输和处理机制，确保环境信息能够实时、准确地传输到路径规划算法中。此外，算法本身也应具备动态调整能力，能够根据更新后的环境信息自动调整航行路

径，以确保航行的安全性和效率。在实施过程中，还需定期对环境感知设备和信息处理机制进行检查和维护，以确保其稳定可靠地运行。

4.2 采用冗余设计提高系统可靠性

为了提高船舶自主航行路径规划系统的可靠性，必须采用冗余设计。冗余设计意味着在系统中设置多个相同或相似的组件或功能，以确保在单一组件或功能失效时，系统仍能正常运行。在路径规划系统中，这可以体现在多个方面。例如，可以配备多个环境感知设备，以确保在某一设备出现故障时，其他设备仍能继续提供准确的环境信息。同时，路径规划算法也可以采用多种算法并行计算的方式，以提高算法的稳定性和准确性 [8]。此外，在硬件和软件层面也应采用冗余设计，如使用双路电源、备份服务器等，以确保系统在遇到突发故障时仍能维持基本功能。在实施冗余设计时，还需注意平衡系统性能和成本之间的关系，以确保冗余设计的经济性和实用性。

4.3 提供人机交互界面便于人工监控与调整

虽然船舶自主航行路径规划算法旨在实现船舶的自主导航，但在实际应用中，人工监控与调整仍然是不可或缺的。因此，为了便于人工操作，必须设计一个直观、易用的人机交互界面 [9]。这个界面应能够实时显示船舶的航行状态、环境信息以及路径规划结果，同时提供便捷的操作工具，如地图缩放、路径编辑等，以便人工进行必要的监控和调整。此外，界面还应具备报警和提示功能，当系统检测到潜在风险或异常情况时，能够及时向操作人员发出警报，并提供相应的处理建议。在设计人机交互界面时，需充分考虑操作人员的实际需求和使用习惯，以确保界面的友好性和实用性。同时，界面还应具备可扩展性和可定制性，以适应不同船舶类型和航行任务的需求。综上所述，为了确保船舶在复杂水域中的自主航行路径规划算法的有效实施，需要制定实时更新环境信息、采用冗余设计以及提供人机交互界面等策略。这些策略的实施将有助于提高路径规划的准确性、系统的可靠性以及人工操作的便捷性，从而为船舶的自主航行提供有力保障 [10]。

5 结论

本研究提出的算法为船舶在复杂水域中的自主航行提供了切实可行且高效的路径规划方案。该算法通过融合多源环境信息，构建出精确的水域环境模型，为船舶的自主导航提供了坚实的基础。同时，算法中的智能决策模块能够综合考虑水深、水流、风向、障碍物位置等多种因素，自动生成既安全又经济的航行路径。此外，算法还充分考虑了船舶的操纵性能，确保了规划出的路径在实际航行中的可行性。在实施策略上，本研究提出的实时更新环境信息、采用冗余设计以及提供人机交互界面等措施，进一步提高了路径规划系统的可靠性和实用性。这些策略不仅确保了算法在复杂水域中的稳定运行，还为操作人员提供了便捷的操作工具和监控手段，使得船舶的自主航行更加安全、高效。综上所述，本研究提出的算法及其实施策略为船舶在复杂水域中的自主航行提供了有力的技术支持，具有重要的理论意义和实际应用价值。未来，将继续深化研究，不断优化算法性能，为智能航运的发展贡献更多力量。

参考文献

[1] 贺益雄,张胡伟,刘姣润,等.河口多定线制复杂水域船舶操纵自主决策方法[J].西北工业大学学报,2024,42(06):1047-1056.

[2] 邢正震.复杂水域失控船舶引航风险分析[J].珠江水运,2024(14):115-117.

[3] 邹嘉鑫.港口复杂水域的船舶轨迹在线预测研究[D].大连海事大学,2024.

[4] 罗楚豪.复杂水域场景船舶分割算法研究及应用[D].长江大学,2024.

[5] 翟永剑.基于改进SAS与SA算法的智能船舶复杂水域航线规划[D].天津理工大学,2024.

[6] 翟鹏宇.基于改进深度Q网络的复杂水域智能船舶避碰方法研究[D].大连海事大学,2023.

[7] 朱大庆.基于改进哈里斯鹰算法的复杂水域船舶路径规划[D].大连海事大学,2023.

[8] 曹秀峰.内河复杂水域中多船舶目标分类与跟踪方法研究[D].武汉理工大学,2022.

[9] 李梦霞.复杂水域船舶自主避碰决策研究[D].武汉理工大学,2022.

[10] 杨静然.复杂水域下自主航行船舶的最优路径规划研究[D].哈尔滨工程大学,2022.