

# 船舶交通管理系统关键技术研究综述

刘嘎<sup>1</sup>, 尹先明<sup>2\*</sup>, 黄加顺<sup>2</sup>, 吴昊<sup>2</sup>

(1. 交通运输部北海航海保障中心大连航标处, 辽宁 大连 116000; 2. 天津海事局, 天津 300456)

**摘要:** 船舶交通管理系统(VTS)是现代水上交通安全管理的核心基础设施, 其技术水平直接影响航运业的运行效率和安全保障能力。基于 2010—2025 年间的学术文献与行业实践的研究表明: 多传感信息融合、智能信息处理、通信与网络技术是 VTS 系统研究的关键领域, 我国在 VTS 国产化装备研制方面取得突破, 特别是在雷达传感器技术和多源信息融合算法方面表现突出, 但也存在技术瓶颈, 据此提出了建立智能感知、数字孪生、智能评估体系的 VTS 系统发展方向, 并对未来技术发展趋势进行了展望, 为 VTS 系统的研究和技术升级提供理论参考。

**关键词:** 船舶交通管理系统; 多传感器信息融合; 智能信息处理; 通信网络

中图分类号: U6; U618 文献标志码: A 文章编号: 2095-7874(2026)02-0027-05

doi: 10.7640/zggwjs202602005

## Research review on key technologies of Vessel Traffic Services

LIU Ga<sup>1</sup>, YIN Xian-ming<sup>2\*</sup>, HUANG Jia-shun<sup>2</sup>, WU Hao<sup>2</sup>

(1. Dalian AtoN Station, Northern Navigation Service Center, Dalian, Liaoning 116000, China;

2. Tianjin Maritime Safety Administration, Tianjin 300456, China)

**Abstract:** The Vessel Traffic Services(VTS) serves as critical infrastructure for modern waterway traffic safety management, with its technical level directly determining the operational efficiency and safety assurance capabilities of the shipping industry. Based on academic literature and industrial practices from 2010 to 2025, multi-sensor information fusion, intelligent information processing, and communication network technologies are identified as key research areas in VTS systems. Significant progress has been achieved in the development of domestic VTS equipment in China, particularly in radar sensor technology and multi-source information fusion algorithms, though certain technical bottlenecks persist. Accordingly, the development directions for VTS systems are proposed, including the establishment of intelligent perception, digital twin, and intelligent evaluation systems, along with a systematic outlook on future technology trends, providing theoretical references for VTS research and technical enhancement.

**Key words:** VTS; multi-sensor information fusion; intelligent information processing; communication network

## 0 引言

船舶交通管理系统(Vessel Traffic Services, 以下简称 VTS)是通过集成雷达、自动识别系统(AIS)、闭路电视监控系统(CCTV)、甚高频通信(VHF)以及计算机网络等技术构建的水上交通管理平台<sup>[1]</sup>。VTS 技术并非一蹴而就, 经历了从人工信号指挥、雷达监控到智能化管理的演进历程。我国已建成全球规模最大的 VTS 网络, 实现了重点水

域全覆盖, 并在国产化装备、多源信息融合和智能辅助决策等方面取得显著进展。VTS 系统仍面临信息孤岛现象突出、传统监控模式效率有限、智能算法在复杂场景下适应性不足, 以及法规标准滞后于技术发展等问题。随着全球航运业的快速发展, 船舶大型化、高速化和智能化趋势日益明显, 港口运营、码头经营、岸基服务等对智能化、自动化、便利化的要求越来越高, 这对传统

收稿日期: 2025-09-05 修回日期: 2025-11-18

作者简介: 刘嘎(1985—), 男, 河南安阳人, 工程师, 船长, 航海技术专业, 研究方向为海上设施安全保障维护。

\*通讯作者: 尹先明, E-mail: yinsamuel@163.com

VTS系统的发展定位、技术架构和服务性能提出新要求。根据国际海事组织(IMO)相关指南,现代VTS系统不仅要具备传统水上交通监控功能,更要发展成为集交通组织、信息服务、应急决策、港航服务等支持于一体的智能化管理服务中枢<sup>[2]</sup>。

近年来,大数据、人工智能等新一代信息技术的快速发展推动VTS系统经历重要转型<sup>[3]</sup>。在我国加快交通建设和海洋建设的背景下,VTS系统的技术自主可控和智能化升级显得尤为重要。通过梳理近年来VTS系统关键技术的发展脉络,深入分析当前面临的技术挑战,并基于技术发展趋势提出具有前瞻性的发展路径。

## 1 数据来源及研究方法

构建系统的文献数据采集体系,主要数据来源包括学术文献数据库、行业标准与规范、技术报告与案例资料,检索中国知网(CNKI)等数据库,主题设置为“VTS”和“船舶交通管理”,时间跨度为2010—2025年,共筛选文献51篇,同时收集国际海事组织(IMO)、国际航标协会(IALA)等机构发布的技术标准及我国交通运输部颁布的技术规范和重要案例资料。采用归纳分析和比较研究的方法,选取有代表性的VTS系统建设项目进行案例分析,并对未来VTS技术发展方向进行了预测分析,确保了研究的科学性和系统性。根据研究内容将文献归纳为3个主题:多传感信息融合技术、智能信息处理技术、通信与网络技术。

## 2 研究现状

### 2.1 多传感信息融合技术

多传感信息融合是VTS系统的核心技术基础,它通过整合来自雷达、AIS、CCTV、VHF等多种传感器的数据,形成全面、准确的水上交通态势感知能力。近年来,该领域技术研发取得了显著进展。

长期以来,我国VTS系统的关键技术设备几乎全是国外产品,耗费大量外汇,更新维护不便,在技术话语权、业务安全性上处处受到掣肘。雷达是VTS系统中最主要、最可靠的传感器之一,在雷达技术国产化方面,我国取得了实质性突破。为打破国外技术垄断,我国在“十四五”交通领域科技创新规划中将VTS岸基雷达国产化研发列为“交通运输装备关键核心技术攻坚工程”的一个主要攻坚方向。2023年4月,交通运输部在南京组织召开VTS岸基雷达研制项目第四阶段“里程

碑”考核会议,通过考核的XFR3000系列岸基雷达采用全固态发射和数字波束形成技术,其中11项关键性能指标超越国际主流产品水平<sup>[4]</sup>。

多源信息融合算法研究取得显著进展,杨套红<sup>[5]</sup>提出的最近邻卡尔曼滤波(NNKF)算法通过改进数据关联机制和状态估计方法,在复杂水域多目标跟踪场景下提升了航迹连续性。新加坡港口PORTNET系统、日本东京湾VTS中心同样注重多传感器信息融合,在异常行为预测和自适应学习方面具有一定领先性。中国珠江口实现国产VTS系统在港口流量密集、交通复杂繁忙水域的应用,使用国产化雷达信息处理技术和多传感器多目标全域连续融合跟踪,突破了复杂场景下稳定跟踪的应用难题,实践验证了智能算法在实景应用中的有效性<sup>[6]</sup>。

AIS已成为VTS系统中不可或缺的重要组成部分,AIS技术的应用不断深化,从简单的船舶识别到航线监控、行为分析、数据挖掘等功能的扩展。在天津、上海、深圳等多个国内VTS系统中,大部分监控系统都实现了AIS与水文气象、船舶数据、环境数据等的数据关联共享,提高了VTS数据的准确性和完整性。邵建勋等<sup>[7]</sup>指出,现代AIS数据处理技术能够实现船舶航行模式、行为特征和风险等级的智能识别。长三角一体化智慧海事监管系统通过构建AIS数据与雷达观测数据的时空关联模型,实现了船舶动态位置的协同校准<sup>[8]</sup>。

VHF通信智能化转型已取得重要进展,VHF通信是VTS系统中船岸沟通的主要方式,传统的VHF通信依赖人工操作,效率较低且容易出错,目前有些机构在研究数字化报告替代语音报告或智能化语音辅助传统人工语音。唐山海事局研究VHF智能语音自动播发提醒功能;天津海事局联合北京执远公司研发智能语音识别功能;南京海事局联合中船鹏力公司研发“闻声识船”等创新应用,采用深度神经网络架构,在复杂电磁环境下保持较高的船舶呼号识别准确率,实现了船舶通信信息与交通监控数据的实时联动<sup>[9]</sup>。

以语音识别功能为例,通过研究科大讯飞、阿里、百度等语音识别技术,实现VHF语音与文字之间转换,提取船舶名称等关键字与VTS系统进行集成联动,解决VHF语音通信与VTS监控系统自动联动问题,减轻了值班人员的工作负担。

CCTV 在 VTS 中通常提供视觉辅助验证功能,是对雷达和 AIS 的重要补充,目前国内 VTS 系统探索应用增强现实(AR)实景鹰眼闭路电视监控系统,如各地“智能卡口”系统的建设,这些技术结合大数据分析功能应用,将船名、航向、航速等静态信息与实时视频融合,提高了监控人员态势感知和系统的自动监控能力。

## 2.2 智能信息处理技术

人工智能技术在 VTS 中的应用主要包括机器学习、深度学习和自然语言处理等方面,人工智能技术应用从单点尝试向系统化解决方案发展。赵一帆<sup>[9]</sup>基于元胞自动机理论构建的厦门港主航道交通流预测模型,通过考虑船舶间的跟驰效应、航道约束等多重因素,实现了对未来交通态势的准确预测。在南京 VTS 系统的“闻声识船”功能中,自然语言处理技术被用于识别 VHF 语音中的关键动态信息,该功能为从语音信息中提取出船名等信息,对相应船舶在监控系统中进行高亮显示,以便于寻找查看对应船舶。新加坡海事及港务管理局(MPA)正在开发新一代船舶交通管理系统,将人工智能嵌入港口监管,借助数据分析和机器学习来维持港口的安全和效率<sup>[10]</sup>。

大数据分析技术应用日益深入,大数据分析在 VTS 系统中处理海量的船舶轨迹数据、水文气象数据和事故数据等,能够挖掘其中有价值的信息。智能化数据平台可提供丰富的数据可视化功能,针对不同的数据与使用目的,设计直观的图表呈现方式。国内多个 VTS 中心已建立船舶轨迹、港口作业、气象水文等多维数据库,能够提供港口靠泊时间分析,显示港口靠泊艘数及进港靠泊码头的平均时间,直观预期船舶在港可能花费的时间,支持拥堵分析、靠泊效率统计和排放估算等功能,形成完整的水上交通数据生态系统。

数字孪生技术通过构建虚拟与现实映射的数字孪生水域,VTS 系统能够进行交通模拟、评估和风险预测,为水上交通管理提供科学、精准的决策支持。韩国、新加坡等已将数字孪生技术纳入其智慧港口计划,并配套推进法规与标准制定。国内有些 VTS 系统开发了自己的数字孪生雏形,用于 3D 形象呈现、港口关键数据虚实呈现等,数字孪生技术在 VTS 中的应用处于概念验证、摸索求真阶段,但其潜力巨大,预计未来会成为 VTS 系统的重要特征。数字孪生技术在航道通过

能力评估、应急预案验证、海上交通监控、应急事故响应等船舶交通管理方面展现出潜力<sup>[12]</sup>。

## 2.3 通信与网络技术

现代 VTS 系统依赖于高效可靠的通信网络实现数据传输和船岸通信,目前 VTS 关键通信技术主要包括 VHF 数据交换系统(VDES)、5G 通信与卫星通信技术等,伴随着通信技术的发展,全球网络安全技术也越来越受关注。

VDES 技术发展是 VTS 通信技术的重要发展方向。结合 4G/5G 和卫星互联网,VDES 突破了传统 VHF 语音覆盖范围的限制,在传统 AIS 基础上,通过引入特殊应用报文和集成卫星通信组件,提升系统数据传输能力和覆盖范围,使 VTS 中心能够与自主和常规船舶进行可靠的高速通信,实现全球范围内的信息传递。该技术也为未来海上自主水面船舶(MASS)的运营提供了通信基础。欧盟基于 VDES 构建了新一代船岸通信体系,在协议统一与跨境协同方面推进较快,值得参考。

5G 技术凭借其高带宽、低延迟和大连接的特点,为 VTS 系统提供了新的通信解决方案。5G 网络能够支持大量物联网设备的连接,实现船舶、岸基设备和监控中心之间的实时数据交换,具有明显优势。此外,卫星互联网技术也为远海船舶与 VTS 中心之间的通信提供了可靠途径,弥补了传统通信方法的覆盖不足。

随着 VTS 系统网络化程度提高和航运数字化转型,船舶面临的网络风险和漏洞日益增多,网络安全防护成为航运关键技术。MSC-FAL.1/Circ.3《海上网络风险管理指南》推动海上船舶网络安全工作,对于 VTS 系统来说网络安全技术同样重要,需要建立多层防护体系,防止黑客攻击和数据泄露,确保水上交通安全。现代 VTS 系统普遍采用纵深防御策略,通过构建网络边界防护、入侵检测、安全审计、数据加密等多层次安全保障体系<sup>[13]</sup>,网络安全体系构建日益完善。

## 3 趋势分析与展望

### 3.1 技术发展挑战

VTS 核心技术自主化程度仍需进一步提升,虽然在 VTS 系统整机装备和部分核心传感器方面国产化程度取得一定突破,但在基础元器件和底层软件领域仍存在短板,特别是在复杂环境下的目标识别与跟踪精度、系统可靠性等方面需要进一步提升<sup>[14]</sup>。高性能信号处理芯片、实时操作系

统、专业算法库等基础领域对国外技术和产品的依赖度较高,存在供应链风险。

VTS智能算法的落地实用性有待进一步加强,刘勇<sup>[5]</sup>指出,现有智能算法在实际应用中面临挑战,杨套红<sup>[9]</sup>也指出相关算法在试验基础上有待进一步完善。对于VTS监控工作来说,复杂气象条件下的目标识别、密集水域多目标跟踪等场景对算法鲁棒性和适应性的现实要求更高。

VTS系统协同能力亟需进一步完善,现代水上交通管理涉及数据收集系统、数据处理系统、数据传输系统等多个子系统,系统间协同配合影响整体管理效能。系统异构、协议差异、数据壁垒等问题制约水上交通管理协同效应发挥。

VTS高质量人才队伍建设和专业化的法规标准滞后。VTS系统技术含量高,需要专业人才进行操作和维护。目前既熟悉海事业务又掌握信息技术的复合型人才严重不足,成为制约系统效能发挥的重要因素,需要加强人才培养和培训,建立完善的培训认证体系。同时技术发展速度快于法规标准制定,导致许多新技术应用缺乏法规依据和标准规范。特别是在自主船舶、无人机监管等领域,需要及时制定和修订相关法规标准,为新技术应用提供制度保障。

### 3.2 技术发展方向

VTS系统的技术发展包括智能感知系统、数字化孪生架构和智能评估体系等方向架构,也会涉及边缘计算、数据端处理、智能体仿真、智能化评估等技术发展要求。

智能感知系统架构需要创新。建议构建“天-空-岸-船”一体化的立体感知网络架构,通过整合多类传感器形成全方位、多层次的水上交通感知体系。引入智能边缘计算技术,在传感器端实现数据初步处理和特征提取,减轻中心系统计算压力,提升系统响应速度。这种分布式智能感知架构能有效解决传统集中式处理模式的缺陷。

数字孪生系统框架有待完善。基于数字孪生的VTS系统基本包括5层架构模型,包括物理层、数据层、模型层、功能层和应用层,该框架通过建立物理空间与虚拟空间的实时映射关系,实现水上交通系统全要素数字化。在模型层设计中,需要突破多智能体仿真、交通流预测、风险评估等核心算法,为系统提供分析决策能力。

为确保VTS系统的闭环管理,需要建立针对

船舶交通的智能评估体系,构建VTS系统效能的多维度评估指标体系,包括感知能力、处理能力、决策能力和服务能力等维度。采用层次分析法和熵权法相结合的方式确定指标权重,既考虑专家经验判断,又体现数据客观规律,通过这一评估体系,对VTS系统的技术水平和运行效能进行科学量化,确保闭环管理。

### 3.3 未来发展趋势

根据VTS技术发展规律和行业需求新变化,VTS系统将呈现技术融合化、服务个性化、决策智能化、运维主动化等发展趋势。

在VTS技术融合化发展方面,VTS系统将进一步加强与新兴技术的融合创新,特别是与人工智能、大数据、区块链等技术的深度融合,将催生新一代智能VTS系统。通过天基、空基、岸基、船基等多种感知方法结合,构建全域覆盖、全时监控的立体感知网络,实现对水上交通目标的精准识别和持续跟踪。

海上服务功能更加个性化和人员决策支持趋于智能化发展。VTS系统将从标准化服务向个性化服务转变,通过构建用户画像和服务需求模型,系统能够为不同类型用户提供定制化信息服务,将以用户需求为中心,提供个性化、定制化的信息服务、交通组织和导助航服务,如为航运公司提供船队管理服务,为代理公司提供手续办理服务等,提高服务满意度和依从性。在VTS交通决策支持方面,更多利用人工智能、大数据技术,发展智能情景预警、自动化交通组织、多目标协同优化等高级功能,为VTS操作人员和船舶提供更高的智能决策支持。

在VTS系统的设备系统运行和维护方面,将通过数字孪生、预测性维护等技术,实现系统的智能运维和健康管理,提高系统可靠性和可用性,降低运维成本。VTS系统通过引入预测性维护技术,将使系统运行维护模式从被动维修向主动预防转变,VTS系统将基于设备运行数据和故障模式建立健康管理模型,实现预测性维护。

## 4 结语

我国VTS技术在国产化装备研制等方面取得显著成就,特别是在雷达传感器、系统集成领域实现重要突破,为系统自主可控奠定了一定基础。但在核心算法、专用芯片等基础领域对外依赖性较大,仍需自我提升,持续加大研发投入。

新的智能信息处理技术的发展为 VTS 系统赋能升级提供新的技术发展路径,新技术应用推动 VTS 系统从传统监控预警向智能决策支持转变,提升系统技术水平和应用价值。通信与网络技术进步也为 VTS 系统构建更可靠高效的信息基础设施,如 VDES、5G 等新技术的引入不仅提升系统通信能力,更为未来智能航运发展提供技术支撑。

VTS 系统技术发展需要重点关注核心技术自主可控、智能算法实用化和系统架构标准化。本文提出的技术创新方向和发展趋势为 VTS 系统未来发展提供理论指导,立体感知架构、数字孪生框架和智能评估体系等创新理念对推动 VTS 系统技术革新具有重要参考价值。通过产学研用各方协同创新,VTS 系统必将为水上交通安全和航运效率提升作出更大贡献。

#### 参考文献:

- [1] 交通运输部,科学技术部.关于印发《交通领域科技创新中长期发展规划纲要(2021—2035年)》的通知[Z].2022.  
Ministry of Transport of the People's Republic of China, Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China. Notice on issuing the *Long-term Development Plan Outline for Scientific and Technological Innovation in the Transport Sector (2021—2035)* [Z]. 2022.
- [2] 涂铁昆.改进与提高 VTS 服务职能的研究[D].大连:大连海事大学,2013.  
TU Tie-kun. The study of the improvement and enhancement[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013.
- [3] 陈珺,常德化.船舶交通管理系统(VTS)概况及进展[J].中国水运,2019(18):37-38.  
CHEN Jun, CHANG De-hua. Overview and progress of vessel traffic services(VTS)[J]. *China Water Transport*, 2019(18): 37-38.
- [4] 江苏海事局.自主可控!船舶交通管理系统(VTS)岸基雷达研制又有新进展![EB/OL].中国水运网,2023-04-10. <https://www.zgsyb.com/news.html?aid=650085>.  
Jiangsu MSA. Independently controllable! New progress in the development of shore-based radar for the Vessel Traffic Service (VTS) system! [EB/OL]. *China Water Transport Network*, 2023-04-10. <https://www.zgsyb.com/news.html?aid=650085>.
- [5] 杨套红.VTS 多传感跟踪与信息处理技术的研究[D].大连:大连海事大学,2013.  
YANG Tao-hong. Research on VTS multisensor tracking and information processing technology[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013.
- [6] 交通运输部.珠江口船舶交管系统升级改造工程施工运行[EB/OL].中国交通新闻网,2023-08-21. [https://www.mot.gov.cn/jiaotong-yaowen/202308/t20230821\\_3895109.html](https://www.mot.gov.cn/jiaotong-yaowen/202308/t20230821_3895109.html).  
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Pearl River Estuary vessel traffic management system upgrade and renovation project completed and put into operation[EB/OL]. *China Communications News*, 2023-08-21. [https://www.mot.gov.cn/jiaotong-yaowen/202308/t20230821\\_3895109.html](https://www.mot.gov.cn/jiaotong-yaowen/202308/t20230821_3895109.html).
- [7] 邵建勋,倪俊杰.带你了解语音识别技术[J].中国信息技术教育,2021(21):75-79.  
SHAO Jian-xun, NI Jun-jie. Introduction to speech recognition technology[J]. *China Information Technology Education*, 2021(21): 75-79.
- [8] 齐思宇.新质生产力视域下数据要素赋能智慧海事建设趋势研究[J].中国海事,2024(8):21-24.  
QI Si-yu. Study on the trend of empowering intelligent maritime construction by data elements from the perspective of new quality productive forces[J]. *China Maritime Safety*, 2024(8): 21-24.
- [9] 江苏海事局.政企功研,国内首创!南京 VTS“闻声识船”功能上线[EB/OL].澎湃新闻,2025-07-05. [https://m.thepaper.cn/newsDetail\\_forward\\_31117902](https://m.thepaper.cn/newsDetail_forward_31117902).  
Jiangsu MSA. Government-enterprise co-development, domestic initiative! Nanjing VTS "ship recognition by voice" function launched [EB/OL]. *The Paper*, 2025-06-30. [https://m.thepaper.cn/newsDetail\\_forward\\_31117902](https://m.thepaper.cn/newsDetail_forward_31117902).
- [10] 赵一帆.厦门港主航道 VTS 决策支持关键技术研究[D].厦门:集美大学,2017.  
ZHAO Yi-fan. Key technologies research of main fairway VTS decision support of Xiamen Port[D]. Xiamen: Jimei University, 2017.
- [11] Singapore MPA. MPA to develop next-generation vessel traffic management system[EB/OL].(2022-0601)[2025-09-05]. <https://www.mpa.gov.sg/media-centre/news/mpa-to-develop-next-generation-vessel-traffic-management-system>.
- [12] 孙东东.数字孪生技术赋能船舶交通管理中心创新路径研究[J].珠江水运,2025(15):110-112.  
SUN Dong-dong. A study on the innovative path of digital twin technology empowering vessel traffic service centers[J]. *Pearl River Water Transport*, 2025(15): 110-112.
- [13] MSC-FAL.1/Circ.3/Rev.1:海上网络风险管理指南[Z].2017.  
MSC-FAL.1/Circ.3/Rev.1: Guidelines on maritime cyber risk management[Z]. 2017.
- [14] 董玉玟.复杂场景下小目标的识别与跟踪算法研究[D].南京:南京理工大学,2024.  
DONG Yu-wen. Research on recognition and tracking algorithms for small targets in complex scenes[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2024.
- [15] 刘勇.智能算法在港口航道水深优化配置中的应用探索[J].珠江水运,2025(21):114-116.  
LIU Yong. Application exploration of intelligent algorithms in optimal allocation of port channel water depth[J]. *Pearl River Water Transport*, 2025(21): 114-116.