

团 体 标 准

T/CI 868—2024

运输船舶的智能感知系统技术评估指南

Guidelines for the technical evaluation of intelligent sensing systems for
transport ships

2024-12-30 发布

2024-12-30 实施

中国国际科技促进会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 运输船舶智能感知技术	2
5.1 多源传感器数据融合技术评估	2
5.2 航行场景实时重构技术	3
5.3 航行状态监测与预警技术评估	3
5.4 船载设备安全监控技术评估	4
5.5 网络安全保障技术评估	4
5.6 软硬件系统集成技术评估	4
6 运输船舶智能感知系统评估	5
6.1 一般要求	5
6.2 系统组成	5
6.3 感知系统评估	6
6.4 数据采集模块评估	7
6.5 智能感知系统软硬件集成模块评估	7
6.6 智能感知系统外部条件评估	7
6.7 智能感知系统人机交互模块评估	8
6.8 智能感知系统总体评估	8
7 运输船舶智能感知系统水域试验评估	9
7.1 实船测试试验方案	9
7.2 设备测试	9
7.3 试验总体评价	13
7.4 试验结果总体评估	14
附件 A(资料性) 船舶的智能感知系统试验结果总体评估试验	16

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由武汉理工大学提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：武汉理工大学、上海船舶运输科学研究所有限公司、国能远海航运有限公司、国家能源集团航运有限公司、中电科(宁波)海洋电子研究院、交通运输部水运科学研究所、哈尔滨工业大学(威海)、济南大学。

本文件主要起草人：马勇、马枫、韩冰、李培正、邢承海、郭桦、李清、黄海滨、董胜利、吴富民、骆曹飞、耿雄飞、王炳德、朱宇、付则开、李志、曾致远、曹智远、胡祖硕、李奇峰、赵玉蛟、邵海燕、黄亚敏、王梓卓、朱鹏祥、董森。

引 言

本文件的发布机构提请注意,声明符合本文件时,可能涉及到(第 5 章)与一种面向运输船舶的智能航行眼系统(ZL201910447085.0)、(第 6 章)一种智能航行感知及增强现实可视化系统(ZL202010702462.3)、(第 6 章)一种面向海洋水文气象数据的可视化方法、装置及介质(CN202310889522.0)相关 3 件专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺,他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得:

专利持有人姓名:马勇、赵玉蛟。地址:湖北省武汉市武昌区和平大道 1178 号武汉理工大学航运学院,电子邮箱:myongdl@whut.edu.cn。

请注意除上述专利外,本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

运输船舶的智能感知系统技术评估指南

1 范围

本文件提供了运输船舶的智能感知系统技术相关的指导,涉及运输船舶的智能感知系统技术所包含的感知信息、数据处理、网络安全、软硬件集成、人机交互等方面的建议,还包括试验时涉及的试验方案、试验设备、试验条件以及试验评估等方面的建议。

本文件适用于运输船舶的智能感知系统的技术评估,以及相应系统在相应领域的应用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 18314 全球导航卫星系统(GNSS)测量规范
- GB/T 20068 船载自动识别系统(AIS)技术要求
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 32421 软件工程 软件评审与审核
- GB/T 36441 硬件产品与操作系统兼容性规范
- GB/T 38618 信息技术 系统间远程通信和信息交换高可靠低时延的无线网络通信协议规范
- GB/T 41479 信息安全技术 网络数据处理安全要求
- GB/T 42453 信息安全技术 网络安全态势感知通用技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

运输船舶 **transport ship**

专门设计和建造用于在水域(如海洋、河流和湖泊)中运输货物、乘客或车辆的船舶。

3.2

智能感知系统 **intelligent perception system**

集成了传感器、数据处理、通信和控制技术的复杂系统,能够自主地整合、感知、分析和理解其所处环境中的各种物理和状态信息。

3.3

传感器 **sensor**

用于检测从外部环境输入参数的设备,输入可以是温度、湿度、压力、位置、光、声波等,这些输入被传感器转换成电信号,然后被进一步处理转换成用户界面上的显示信息。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AIS:船舶自动识别系统(automatic identification system)

CPA:最近会遇点(closest point of approach)

DCPA:最近会遇距离(distance to closest point of approach)

FFT:快速傅里叶变换(fast fourier transform)

GPS:全球定位系统(global positioning system)

TCPA:抵达最近会遇点的时间(time to closest point of approach)

5 运输船舶智能感知技术

5.1 多源传感器数据融合技术评估

5.1.1 多源传感器数据包括下表 1 所列全部或部分满足船舶智能感知系统正常运行所需的信息。

表 1 多源传感器数据

感知信息类型	感知信息内容	
	必要信息	可选信息
自然环境信息	海流和潮流,水深,地形,波浪,海冰,能见度	潮汐、浪高、冰情等
通航环境信息	航行水域水深、宽度、航道曲率、导助航信息及碍航物信息等	—
他船信息	船名、航速、航向、方位、经纬度、声响、灯光等	历史航迹、航行计划、当前状态、航行信号等
本船信息	航向、船舶向、航速、船位、舵角、横摇信息等	电压、电流、油温、油压、侧推器(如配备)的推进方向和转速等

5.1.2 多源传感器数据融合通常分为三个逻辑层次,数据层融合、特征层融合、决策层融合。

- a) 数据层融合是最低层次的融合,涉及直接合并原始数据。
- b) 特征层融合是先从每种传感器提供的观测数据中提取有代表性的特征,然后将这些特征融合成单一的特征向量,用于进一步的处理。
- c) 决策层融合是最高层次的融合,涉及基于从不同传感器获得的信息做出最终的决策或评估。

5.1.3 多源传感器数据融合的顺序通常包括以下内容。

- a) 数据预处理:清洗数据,去除无效或错误的点,进行数据标准化或归一化处理,以消除量纲和量级上的差异,以确保数据质量。
- b) 数据配准:确保来自不同传感器的数据在时间和空间上是一致的。时间配准解决的是不同传感器数据在时间上的不一致问题,可采用的方法包括时间延迟补偿、插值等。空间配准则是解决数据在空间上的不一致问题,可采用的方法包括坐标变换、投影变换等。
- c) 数据层融合:在数据层面上直接合并同质或经过预处理的数据。
- d) 特征提取:从原始数据中提取关键特征,如航向,航速,船位等,用于特征层融合。
- e) 特征层融合:根据融合目标选择合适的融合算法。将不同传感器的特征向量进行合并,以形成综合的特征表示。
- f) 决策制定:基于融合后的数据或特征,分析融合结果的有效性和准确性,评估融合结果是否满

足预期的需求。进行最终的决策与使用。

5.1.4 多源传感器数据融合保证数据融合的准确性,如实现对同一目标的 AIS 与雷达等文本数据的关联,以及对同一目标的视频、AIS 与雷达数据等文本数据与图像数据的关联,将这些数据整合以获得更准确的目标状态,匹配的准确度保持在 95% 以上是十分必要的。

5.1.5 对异常数据或传感器故障的抵抗能力以及维持连续运行、弱化故障的能力是多源数据融合技术重要因素。

5.1.6 对目标状态数据进行实时多维度检测,扩大系统侦察检测的时间与空间的覆盖范围,提高检测概率。

5.1.7 合理利用多传感器数据关联与融合算法对传感器探测的来源于同一目标的多种量测进行有效融合处理,提高探测的有效性和精确度。

5.2 航行场景实时重构技术

5.2.1 航行场景实时重构技术主要利用深度学习、数字孪生等技术对收集的数据进行处理,实现航行场景的重构。利用物理模型、传感器数据、运行历史等,在虚拟空间中映射实体船舶的全生命周期过程。

5.2.2 航行场景实时重构技术能重构船舶当前位置 2 000 m 距离内、360° 视角范围内的来船、障碍物或其他水面危险物。

5.2.3 提供三维多视角的瞭望展示功能,全面地展示航行状态。

5.2.4 实现虚拟仿真环境与真实物理环境之间的实时通信和协同。

5.2.5 对船舶、障碍物等环境目标进行检测,识别船舶、障碍物的类型等供船舶决策的信息,准确度宜保持在 95% 以上。

5.2.6 对船舶、障碍物等环境目标进行跟踪,短暂遮挡出现后不影响继续跟踪,准确度宜保持在 95% 以上。

5.3 航行状态监测与预警技术评估

5.3.1 航行状态监测包含对本船状态、航路信息以及推进装置的监测,通常监测内容如表 2 所示。

表 2 状态监测信息

检测信息类型	检测信息内容
本船状态	船舶向、世界标准时间、经纬度、吃水、舵角、船舶运动[横倾(摇)、纵倾(摇)、垂荡等]等
航路信息	起点、终点、转向点、当前船位、航速、航向、预计到达时间、航行周边环境等
推进装置信息	主机转速、螺旋桨转速和旋转方向、调距桨的桨角(或螺距)、离合器、轴制动器的状态(如适用时)、主机起动空气压力或起动蓄电池组电压、其他必要的参数

5.3.2 由于运输船舶航行环境极大的不确定性和模糊性,对风险指标的划分宜考虑与运输船舶航行环境条件保持最好的相关性。

5.3.3 通过对潜在风险的评估,确定潜在风险的严重性和紧急性,形成对措施和预案,以减轻风险影响。

5.3.4 当监测异常情况时,最重要的是从听觉和视觉报警告知相关人员,故障发生位置、故障发生时间、故障影响、可能的解决手段。

5.3.5 未解除的故障不宜被新故障覆盖。

5.4 船载设备安全监控技术评估

5.4.1 船载设备通过 FFT 算法等方式,对机械振动信号进行频谱分析,以识别设备故障隐患,及时发出预警。

5.4.2 对关键工程变量的变化趋势进行检测,如温度和压力等,及时发出预警。

5.4.3 系统能监测船舶氮、硫和碳排放量,满足 IMO 和航行区域的相关要求。

5.4.4 具备数据存储功能,存储不少于 30 d 的 GPS 数据、雷达数据、气象数据和航行数据。系统及时更新存储数据,存储单元具备防水能力,在 20 m 深度范围内受水浸泡不会损坏存储数据。

5.5 网络安全保障技术评估

5.5.1 软件系统网络安全符合 GB/T 22239 中网络安全等级保护三级及以上要求。

5.5.2 识别软件系统中的所有资产,包括硬件、软件、数据等,并评估它们对于业务的重要性,确定保护的优先级。

5.5.3 数据得到保护免遭未授权的修改、删除、创建和复制,且提供这些未授权活动的指示。

5.5.4 通过隔离技术,保护关键的网络区域或系统,防止潜在的威胁扩散。

5.5.5 能被远程登录、配置网络系统被监控,当出现异常可自动告警。

5.5.6 在数据及通信链路上采用相密级的加密技术,以确保系统内传输数据符合相关安全保密要求。

5.5.7 数据处理中涉及的信息按照 GB/T 41479 的规定进行。

5.6 软硬件系统集成技术评估

5.6.1 系统相关的硬件设备包括但不限于表 3 所示的相关设备。GPS 接收模块测量精度满足 GB/T 18314 的 C 级以上测量精度,AIS 设备的主要性能指标满足 GB/T 20068 的规定,其他感知设备符合相关标准要求。

表 3 感知设备信息

船舶外部感知设备	船舶内部感知设备
视觉瞭望设备(包括可见光摄像机和红外摄像机)	燃油电子计量装置
GPS	电子倾斜仪
雷达	船舶吃水测量设备
电子海图	航速航程测量装置
电子定位仪	
电罗经	
测深仪	
风速风向仪	
能见度传感器	
AIS	

5.6.2 硬件设备数据发送端口发送的数据可直接采集,也可以通过虚拟串口服务器采集数据或由其他数据集成平台获取,其接口类型可以为串口(RS232、RS422、RS485)、TCP 等,其协议格式可以为 NMEA0183、MODBUS 或类似 NMEA0183 格式的厂家自定义格式。

5.6.3 系统设计直观、清晰的用户界面,能够在显眼位置清晰显示船舶航行所需的足够的信息支持。

5.6.4 在设计软硬件集成方案时,需要考虑能效,优化系统以减少能耗。

5.6.5 对于需要实时处理的系统,软硬件集成需要考虑实时性能,确保系统能够快速响应外部事件。

5.6.6 软硬件集成后的系统需要定期维护和升级,以适新的技术发展和需求变化。

6 运输船舶智能感知系统评估

6.1 一般要求

运输船舶智能感知系统主要功能包括:传感和数据获取、数据处理和特征提取、路径导航、航行水文气象资料分析、潮汐和港口资料显示、船舶运动状态及通航环境信息实时显示、人机系统界面等。

6.2 系统组成

6.2.1 运输船舶智能感知系统一般包括感知系统、数据系统、集成系统、外部系统和交互系统,参考图 1。

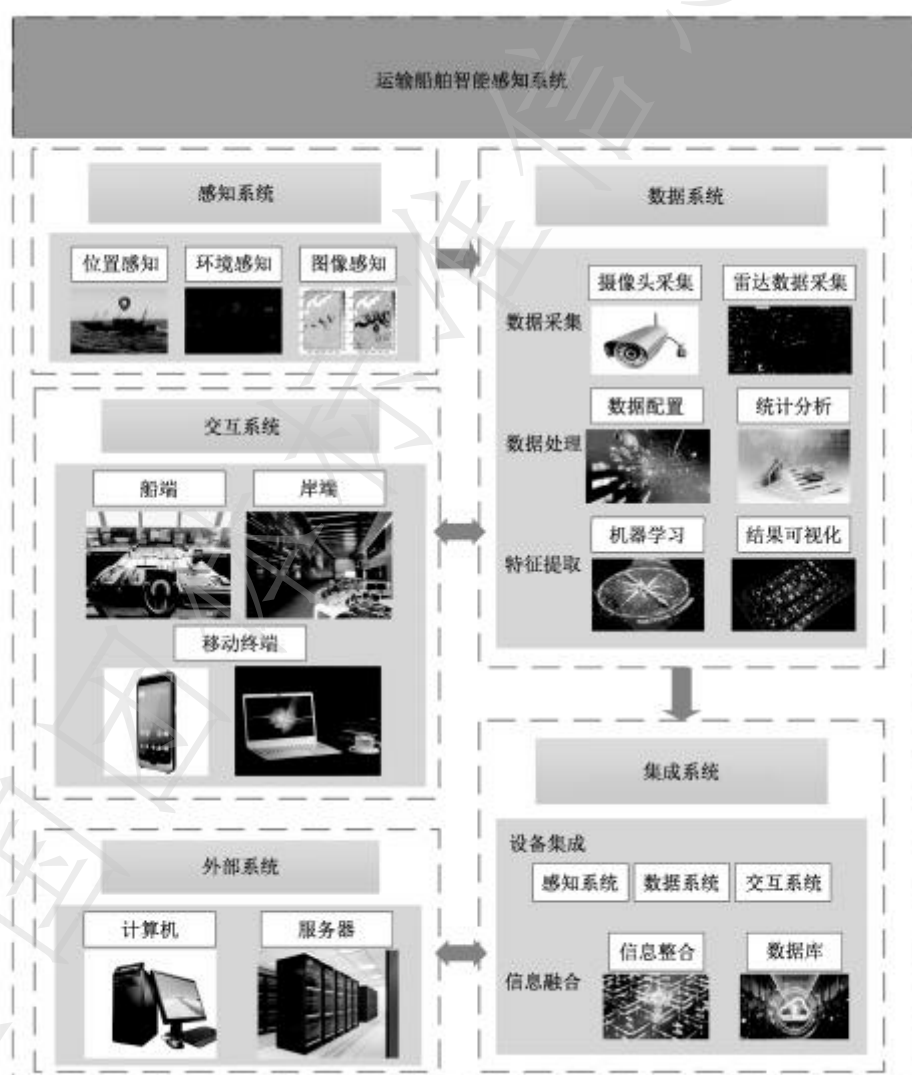


图 1 运输船舶智能感知系统框架图

6.2.2 感知系统可采用连续在线监测、离线测量和人工输入等方式实现状态信号的获取。

6.2.3 数据系统可包括数据采集模块、数据处理模块和特征提取模块。

a) 数据采集模块:将传感器输出转换为表示物理量和相关信息数字参数(例如时间、校准、数据

性质、所用数据采集器、检测器配置等)。

- b) 数据处理模块:执行信号分析,计算有意义的描述符,对原始测量数据进行统计分析、算法计算和机器学习等操作,其结果用于特征提取模块。
- c) 特征提取模块:主要完成感知系统和数据处理系统输出数据的特征提取以及与系统中限定值的比较功能。

6.2.4 集成系统包括设备集成模块和信息融合模块。

- a) 设备集成模块:将传感器输出转换为表示物理量和相关信息数字参数(例如时间、校准、数据性质、所用数据采集器、检测器配置等)。
- b) 信息融合模块:执行信号分析,计算有意义的描述符,对原始测量数据进行特征提取、算法计算等操作,并实现与外部系统的交互。

6.2.5 外部系统实现数据的存储、备份、查看与管理等功能。

6.2.6 交互系统实现对船端、岸端和移动终端系统(如有时)的显示和信息表达功能。交互系统与外部系统在物理上可能存在重合部分。

6.2.7 软件系统满足 GB/T 32421 的规定。

6.2.8 硬件与操作系统满足 GB/T 36441 的规定。

6.3 感知系统评估

6.3.1 硬件系统具有检测多个参变量的能力,而且要能够通过统计特性分析、主成分分析、滤波等信息融合技术最终实现减少噪声和干扰的目的。

6.3.2 测量设备/传感器组件具有耐用性、鲁棒性、高精度和适当的灵敏度,能对在实际动态范围内变化的被测参数/变量做出及时响。

6.3.3 传感器具有统一规则的标识,便于识别。

6.3.4 测量设备/传感器具备一定的防护等级和电磁干扰屏蔽能力,能在船上安装的处所或环境中正常工作。

6.3.5 测量设备/传感器考虑三个因素:可探测性、可识别性、可靠性。另外,为保证传感器的测量能力,传感器的不确定度也该加以考虑。

6.3.6 动态特性测量系统必须是无失真的,系统具有较高的频带宽度,具有高可靠性且容易操作。

6.3.7 无线传感器通讯网络需完成信息的传输,并达到预定的信息传输量和服务质量。

6.3.8 测量设备/传感器的故障/失效探测能力指的是传感器探测到特定故障/失效存在的能力。它取决于以下指标:传感器的信噪比、探测时间与失效时间比、故障探测灵敏度、征兆持续时间与失效时间比。

- a) 信噪比可以通过构造各种可能的噪声信号源的随机分布,并用不确定度的传递定律进行估计。
- b) 探测时间指的是故障开始形成到传感器检测到它时所持续的时间,而失效时间指的是故障开始形成到失效所持续的时间。
- c) 传感器的故障探测灵敏度定义为测量到的故障/失效变化量与传感器测量输出值变化量的比值。

6.3.9 运输船舶内部感知能力评估:内部感知能力主要关注系统内部组件如传感器、数据处理和特征提取模块的性能。评估指标包括:

- a) 精度和响速度:评估传感器和数据处理模块在实际航行环境中捕获和处理数据的精度和响应时间;
- b) 数据完整性:检验数据系统是否能完整无误地收集和存储船舶运行数据,特别是在极端环境

条件下；

- c) 算法效率:评估数据处理和特征提取算法的计算效率和准确性,确保能够实时生成可靠的输出用于决策支持。

6.3.10 运输船舶外部感知能力评估:外部感知能力涉及系统与外部环境的交互能力,特别是在复杂海洋环境中的适性和可靠性。评估指标包括:

- a) 环境适性:评估传感器和感知系统在不同水文气象条件下(如不同温度、盐度、湿度和压力条件)的稳定性和适性;
- b) 实时数据反馈效率:检验系统在接收到外部环境变化时的反馈速度和信息更新频率;
- c) 抗干扰能力:测量系统在面对外部电磁干扰和物理干扰时的抵抗能力和数据准确性保持情况。

6.4 数据采集模块评估

6.4.1 数据采集模块的功能是收集模拟数据、数字数据和人工数据,并将模拟数据转换成数字数据。

6.4.2 数据系统能适应多种通信方式或模拟量/开关量等信号的采集与处理。

6.4.3 数据采集模块本质上是一个经校准的数字化传感器数据记录的服务器。数据采集模块可以代表为系统提供对自动输入或人工输入的数字化数据的访问的软件模块,或者代表具有来自传统传感器(legacy sensor)的模拟输入的专门的数据采集模块,或者收集和合并来自数据总线的传感器信号。此外,数据采集模块可能表示智能传感器的软件接口。

6.4.4 数据采集模块的输出包括:数字化数据、时序数据/时间基准数据(通常参考 UTC 或地方时区)、数据质量指标(例如,好、差、未知、检查中等)。

6.4.5 数据处理模块的主要功能是执行信号处理(例如 FFT)、执行同步或非同步平均、执行算法计算、执行特征提取等。

6.4.6 特征提取模块的主要功能是从数据采集模块和/或数据处理模块输出的多维数据中提取出关键特征和模式,以便生成具有各自特征值和相关指标的枚举状态,用于进一步分析和决策支持。

6.5 智能感知系统软硬件集成模块评估

6.5.1 设备集成模块的主要功能是将各种硬件设备和软件系统进行有机结合,实现系统内外部设备的高效互联和协同工作。具体包括:

- a) 设备间的通信与数据交换:通过标准化接口和协议,实现多种感知设备的无缝对接;
- b) 设备状态监控与管理:实时获取并显示各感知设备的运行状态和参数;
- c) 故障检测与诊断:及时发现并处理感知设备故障,确保系统的稳定运行。

6.5.2 信息融合模块的主要功能是将设备集成模块和数据系统输出的多源数据进行综合分析,以实现信息的有效整合和有意义的决策支持。具体功能包括:

- a) 将来自不同传感器和感知设备的数据进行整合,提供全局视图;
- b) 利用先进算法分析融合后的数据,提高信息的准确性和可靠性。

6.6 智能感知系统外部条件评估

6.6.1 系统设置足够容量的服务器/数据库,实现数据的存储、备份与管理,能保存至少一个检验周期的数据(保存至少 5 年,建立数据备份机制)。

6.6.2 考虑到船东隐私问题,任何对数据的查看、获取、存储与使用事先得到船东的许可与授权。

6.6.3 历史运行数据可随时被信息融合等其他功能模块检索调用。

6.7 智能感知系统人机交互模块评估

6.7.1 交互系统满足具有用户友好的人机界面,操作方便。能够显示船舶总体感知画面及各个子系统/部件的详细画面。可以设定感知设备的多级报警值,并输出不同的统计信息,包括报警信息、测量数据、信号异常信息和健康评估结果等。

6.7.2 交互系统能把数据转换成能够清楚表达做出正确决定所必需信息的格式,例如文字描述形式、表示复制的数字形式、表示趋势的图表形式或者三种形式的组合。

6.7.3 显示提供需要识别、确认或理解异常状态的数据。

6.7.4 显示分为五个不同的区域,随后的多窗口可以显示更详细的附加数据。五个不同的区域为状态检测、健康评价、预测、推荐措施、识别。如情况特殊,可为具体用开发定制显示格式。

6.7.5 对不同需求的操作人员设定不同的权限,防止人员误操作,保证系统的安全性。

6.7.6 如需进行远程通信交互,符合 GB/T 38618 的规定。

6.8 智能感知系统总体评估

6.8.1 可靠性评估

系统的可靠性(Reliability, R)描述系统在指定条件和时间内实现既定功能的能力,包括系统故障率分析和冗余策略:

- a) 系统故障率分析:分析感知系统和其组件的潜在故障模式,评估其影响系统整体性能的频率和严重性;
- b) 冗余策略:评估系统设计中的冗余配置,如双重传感器和备份数据处理单元,以确保关键操作的连续性。

6.8.2 可用性评估

系统的可用性(Availability, A)描述系统在任何时段开始作业时的可操作或可用状态,包括系统正常运行时间和快速恢复功能:

- a) 系统正常运行时间:测量系统在规定时间内能够正常运行和执行任务的能力;
- b) 快速恢复功能:评估系统在发生故障时恢复到正常运行状态的速度和效率。

6.8.3 维护性评估

系统的可维护性(Maintainability, M)指在特定条件和时间内,按照既定程序和方法开展维修活动,恢复或保持系统预期正常状态的能力,包括维护方便性和维护周期和成本:

- a) 维护方便性:考虑系统的设计是否便于进行定期维护和故障排除;
- b) 维护周期和成本:评估定期维护所需的时间周期和相关成本,确保长期运营的经济性。

6.8.4 安全性评估

系统的安全性(Safety, S)为系统不发生事故的能力,包括安全防护措施和应急响应能力:

- a) 安全防护措施:评估系统设计中包含的安全特性,如数据加密、访问控制和物理安全措施;
- b) 应急响应能力:分析系统在面临安全威胁时的应急响应程序和效果。

6.8.5 可交互性评估

可交互性(Interactivity, I)是指系统与用户之间的互动能力,包括用户界面友好性和系统响应性:

- a) 界面友好性:提供直观的系统操作界面,使得操作人员能够轻松地与系统交互,理解系统的输出;
- b) 系统响应性:分析系统在面临安全威胁时的应急响应程序和效果。

6.8.6 性能基准测试

性能基准测试包括综合性能指标和基准对比:

- a) 综合性能指标:对系统的整体性能进行量化评估,包括响应时间、数据处理能力和准确性;
- b) 基准对比:将系统性能与行业标准或相似系统进行比较,确保系统的竞争力。

7 运输船舶智能感知系统水域试验评估

7.1 实船测试试验方案

7.1.1 试验准备

试验准备符合以下要求:

- a) 试验区域:选择一个包括固定障碍物和移动目标(如其他船舶)的水域,该水域中在 50 m~2 000 m 距离均布 10 个~20 个检测目标;
- b) 安装设备:在船舶上安装包括雷达、AIS、视频摄像头(全天候,包括红外摄像头)、GPS 和气象传感器(风速风向传感器等)在内的所有感知设备。

7.1.2 航行路线设计

航行路线设计符合以下要求。

- a) 起点:具有代表性的码头,码头周边水域无明显障碍物,确保船舶能够安全起航。
- b) 航线 1:从起点出发,驶向第一个固定障碍物(如浮标、灯塔等),确保船舶与障碍物之间的距离适中,既能测试智能感知系统的识别能力,又能保证航行安全。距离约 1 000 m。
- c) 航线 2:绕过固定障碍物后,继续行驶至第二个目标区域,该区域有多艘移动船只,确保船舶与目标区域之间的距离足够长,以便充分测试智能感知系统的远程识别和跟踪能力。距离约 2 000 m。
- d) 航线 3:在目标区域进行绕行,模拟各种复杂航行条件(如绕过移动船只、避开水面漂浮物等),确保绕行时间足够长,以便充分测试智能感知系统在复杂条件下的反应速度和决策能力。时间不少于 30 min。
- e) 航线 4:从目标区域返回起点,选择一条与来时不同的航线,测试系统对变化环境的适应能力。

7.2 设备测试

7.2.1 环境感知测试

环境感知测试符合以下要求,如表 4 所示。

- a) 测试内容:全方位环境感知要求能够 360°无死角地感知其周围环境,确保多种传感器能够协同工作,提供互补的感知信息,以消除单一传感器的感知盲区。
- b) 测试方式:在不同天气条件(晴天、雨天、雪天、雾天)下,记录各传感器的工作状态和感知数据。验证 2 000 m 距离、360°视角范围内的水面危险物的检测准确性。

表 4 环境感知测试表

测试类型	测试内容	序号	气象条件(需填入感知目标个数)			
			晴天	雨天	雪天	雾天
环境感知测试	全方位环境感知,无死角。 在船舶上安装包括雷达、 AIS、视频摄像头(全天候, 包括红外摄像头)、GPS和 气象传感器(风速风向传感器 等)在内的所有感知设备	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				

7.2.2 视觉感知模块测试

视觉感知模块测试符合以下要求,如表 5 所示。

- a) 测试内容:在恶劣天气条件下的视觉感知能力。
- b) 测试方式:模拟雨、雪、雾和强光等条件,检测视频摄像头的性能。验证视觉感知模块是否能提供有效的视觉感知。

表 5 视觉感知模块测试表

测试类型	测试内容	序号	气象条件(需填入视觉识别目标个数)			
			雨	雪	雾	强光
视觉感知模块测试	在恶劣天气条件下的视觉 感知能力。模拟雨、雪、雾 和强光等条件,检测视频摄 像头的性能。验证视觉感 知模块是否能提供有效的 视觉感知	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				

7.2.3 硬件设备适性测试

硬件设备适性测试符合以下要求,如表 6 所示:

- a) 测试内容:设备的环境适性和稳定性;
- b) 测试方式:长时间运行传感器,在各种环境条件下测试其稳定性和数据准确性。

表 6 硬件设备适性测试表

测试类型	测试内容	时间 h	气象条件(设备是否正常运行)			
			雨	雪	雾	强光
硬件设备适性测试	设备的环境适性和稳定性。 长时间运行传感器,在各种 环境条件下测试其稳定性 和数据准确性	2				
		4				
		6				
		8				
		10				
		12				
		24				
		30				
		48				

7.2.4 数据采集与处理测试

数据采集与处理测试符合以下要求,如表 7 所示。

- a) 测试内容:数据采集方式和接口类型兼容性。
- b) 测试方式:通过 RS232、RS422、RS485、TCP 等接口采集数据,验证数据协议格式的兼容性。
数据接口按 GB/T 42453 的规定进行。

表 7 数据采集与处理测试

测试类型	测试内容	序号	接口设备是否兼容			
			RS232	RS422	RS485	TCP
数据采集与处理 测试	数据采集方式和接口类型 兼容性。通过 RS232、 RS422、RS485、TCP 等接 口采集数据,验证数据协议 格式的兼容性(如 NMEA01、MODBUS)	RS232	是			
		RS422		是		
		RS485			是	
		TCP				是

7.2.5 目标检测与跟踪测试

目标检测与跟踪测试符合以下要求,如表 8 所示:

- a) 测试内容:环境目标的检测和跟踪能力;
- b) 测试方式:在目标区域(多艘移动船只),测试系统的目标检测和跟踪能力,确保准确度在 95% 以上。

表 8 目标检测与跟踪测试表

测试类型	测试内容	序号	检测和跟踪能力(准确度%)			
			5只	10只	15只	20只
目标检测与跟踪测试	环境目标的检测和跟踪能力。在目标区域(多艘移动船只),测试系统的目标检测和跟踪能力,确保准确度在95%以上	1				
		2				
		3				
		4				
		5				

7.2.6 数据存储与处理测试

数据存储与处理测试符合以下要求,如表 9 所示。

- a) 测试内容:数据存储和处理能力。
- b) 测试方式:测试数据存储模块的防水性能,确保存储数据在 20 m 深度范围内不受损坏。验证数据处理模块的响时间,确保小于 500 ms。

表 9 数据存储与处理测试表

测试类型	测试内容	序号	响时间是否达标			
			5 m	10 m	15 m	20 m
数据存储与处理测试	数据存储和处理能力。测试数据存储模块的防水性能,确保存储数据在 20 m 深度范围内不受损坏。验证数据处理模块的响时间,确保小于 500 ms	1				
		2				
		3				
		4				
		5				

7.2.7 多传感器数据融合测试

多传感器数据融合测试符合以下要求,如表 10 所示。

- a) 测试内容:AIS、雷达和视频图像等数据的融合能力。
- b) 测试方式:测试多传感器数据融合的准确度,确保在 95% 以上。验证系统的态势分析时间,确保达到秒级。

表 10 多传感器数据融合测试表

测试类型	测试内容	序号	多传感器数据融合的准确度
多传感器数据融合测试	AIS、雷达和视频图像等数据的融合能力。测试多传感器数据融合的准确度,确保在 95% 以上。验证系统的态势分析时间,确保达到秒级	1	
		2	
		3	
		4	
		5	

7.2.8 用户界面与信息显示测试

用户界面与信息显示测试符合以下要求,如表 11 所示。

- a) 测试内容:用户界面直观性和信息显示的清晰度。
- b) 测试方式:评估系统界面的设计,确保显示足够的航行信息(如风速、风向、浪高、航速、航向、船位等)。确认系统能及时醒目地提示用户可能出现的异常情况。

表 11 用户界面与信息显示测试表

测试类型	测试内容	序号	能否醒目提醒异常情况					
			风速	风向	浪高	航速	航向	船位
用户界面与信息 显示测试	用户界面直观性和信息显示的清晰度。评估系统界面的设计,显示充足的航行信息(如风力、风向、波浪、航速、航向、船位等)。能及时醒目地提示用户可能出现的异常情况	1						
		2						
		3						
		4						
		5						

7.2.9 水域试验小结

在试验过程中,详细记录每个环节的测试数据,包括:感知数据、目标检测与跟踪数据、数据融合效果、用户界面反馈、异常提示记录。通过对数据的分析,评估系统的各项功能是否符合预期要求,并进行必要的优化调整。安全保障。试验过程中确保所有操作符合安全规程,防止任何意外事故的发生。试验人员熟悉设备操作和应急处理措施。通过上述试验方案,可以全面评估和验证船舶感知系统在实际操作中的各项性能,确保其在多种复杂环境下的稳定性和可靠性。

7.3 试验总体评价

7.3.1 可靠性评价

可靠性评价符合以下要求:

- a) 硬件可靠性:在试验前对所有设备(包括传感器、通信设备、计算机硬件等)进行充分的测试和校准,确保其正常运行;
- b) 冗余设计:在关键设备上设计冗余系统,以防止单一设备故障影响试验进程;
- c) 数据采集:确保传感器能够连续、准确地采集数据,并检查数据采集系统的日志记录,确保无数据丢失或错误;
- d) 数据传输:验证数据传输链路的可靠性,确保数据在传输过程中不会丢失或损坏;
- e) 环境适性:在实际水域试验前进行模拟环境测试,评估设备在不同环境条件(如温度、湿度、风浪等)下的可靠性,并制定设备在极端环境条件下的应急处理预案。

7.3.2 可用性评价

可用性评价符合以下要求:

- a) 设备准备:确保所有设备和系统在试验开始前已完全准备就绪,并处于最佳运行状态;
- b) 电源保障:确认所有设备的电源供是否稳定可靠,并准备备用电源;
- c) 备份系统:准备备用的关键系统组件,如备用传感器和通信设备,确保在主系统故障时可以迅

速切换；

- d) 热备份:关键系统具备热备份能力,确保试验中断最小化；
- e) 操作培训:确保操作人员充分了解系统的操作流程,并经过全面培训；
- f) 应急培训:培训操作人员处理常见故障和突发情况的应急措施。

7.3.3 可维护性评价

可维护性评价符合以下要求：

- a) 维修记录:记录所有的维修和维护工作,确保有详细的历史记录可供参考；
- b) 模块化设计:采用模块化设计,便于快速更换和维修关键组件；
- c) 易访问性:确保设备的关键部件易于访问,以便快速检测和维修；
- d) 备件库存:准备充足的备件,尤其是易损件和关键组件,以便在需要时迅速更换；
- e) 供应链保障:确保备件的供渠道畅通,以防出现备件短缺影响试验进度。

7.3.4 安全性评价

安全性评价符合以下要求：

- a) 安全培训:所有参与人员须经过安全操作培训,了解试验设备的安全操作规范；
- b) 防护装备:配备必要的个人防护装备,如救生衣、手套和防护眼镜,确保人员安全；
- c) 电气安全:检查所有电气设备和连接的安全性,防止电击和火灾风险；
- d) 机械安全:确保机械设备的安全防护装置齐全,防止因机械故障造成伤害；
- e) 应急预案:制定详细的应急预案,包括火灾、设备故障、人员受伤等突发情况的处理措施；
- f) 应急演练:定期进行应急演练,提高人员对突发事件的能力。

7.3.5 可交互性评价

可交互性评价符合以下要求。

- a) 用户界面:确保系统或设备的用户界面直观易懂,界面布局合理,重要功能和信息易于查找和识别,操作人员能够迅速上手。
- b) 交互响应速度:在处理复杂任务时,系统保持稳定的响应速度,迅速响操作人员的指令,避免卡顿或延迟,减少等待时间。
- c) 兼容性与互操作性:系统与其他相关系统或设备具有良好的兼容性和互操作性。
- d) 扩展性与升级性:系统具备良好的扩展性和升级性,以适未来可能的变化和升级需求。
- e) 远程交互:如需远程操作,提供稳定可靠的远程交互功能。确保远程连接的安全性,防止数据泄露和非法访问。
- f) 故障提示与诊断:当系统出现故障时,能够迅速提供故障提示信息,帮助操作人员定位问题,提供故障诊断工具或方法,以便快速排除故障并恢复系统正常运行。
- g) 用户反馈机制:建立用户反馈机制,定期对用户反馈进行分析和处理,不断改进系统的交互性能。

7.4 试验结果总体评估

7.4.1 结果可靠性评估

结果可靠性评估符合以下要求：

- a) 数据采集一致性:检查各传感器在不同环境条件下的数据采集一致性,确保数据无丢失和异常；

- b) 数据传输准确性:验证数据传输过程中无丢包现象,数据接收端与发送端数据一致;
- c) 硬件稳定性:分析设备在试验全过程中的运行日志,评估硬件设备的故障率和稳定性;
- d) 故障排除记录:统计试验过程中所有出现的设备故障,并评估其对整体试验的影响。

7.4.2 结果可用性评估

结果可用性评估符合以下要求:

- a) 正常运行时间:记录系统在整个试验期间的正常运行时间与总试验时间的比值,计算系统可用率;
- b) 故障恢复时间:评估系统从故障发生到恢复正常运行的平均时间;
- c) 任务完成情况:目标检测率:统计在不同环境条件下,各传感器对固定障碍物和移动目标的检测率;
- d) 感知数据评估:统计各传感器在不同环境条件下的感知数据,评估其准确性和覆盖范围;
- e) 数据融合效果:分析多传感器数据融合的准确度和一致性,确保均在 95% 以上;
- f) 目标跟踪准确性:评估系统对移动目标的跟踪精度和连续性;
- g) 用户界面评价:通过试验参与人员对用户界面的直观性和信息显示的清晰度进行打分;
- h) 异常提示记录:评估系统对异常情况的提示频率和准确性,确保能够及时醒目地提醒用户。

7.4.3 结果可维护性评估

结果可维护性评估符合以下要求:

- a) 维护记录分析:检查试验期间的维护记录,统计各设备的维修频率和原因;
- b) 故障类型分析:分类汇总所有故障类型,找出高频故障点并分析其原因;
- c) 平均修复时间(MTTR):统计设备从故障发生到修复完成的平均时间;
- d) 维护便捷性:记录每次维护的操作步骤和时间,评估维护过程的便捷程度。

7.4.4 结果安全性评估

结果安全性评估符合以下要求:

- a) 安全事件记录:统计试验过程中发生的所有安全事件,分析原因并评估其严重程度;
- b) 安全培训效果:通过安全事件的频率和类型,评估前期安全培训的效果;
- c) 设备故障类型:分类分析设备故障类型,重点评估是否存在对人员安全有威胁的故障;
- d) 应急响应:评估试验过程中应急预案的启动情况和效果,确保在突发情况下能够及时有效地响应。

7.4.5 结果可交互性评估

结果可交互性评估符合以下要求:

- a) 安全事件记录:统计试验过程中发生的所有安全事件,分析原因并评估其严重程度;
- b) 安全培训效果:通过安全事件的频率和类型,评估前期安全培训的效果;
- c) 设备故障类型:分类分析设备故障类型,重点评估是否存在对人员安全有威胁的故障;
- d) 应急响应:评估试验过程中应急预案的启动情况和效果,确保在突发情况下能够及时有效地响应。

试验结果总体评估具体操作方法参考船舶的智能感知系统。试验结果总体评估试验见附录 A。

附 件 A

(资料性)

船舶的智能感知系统试验结果总体评估试验

A.1 试验目的

本试验旨在通过一系列测试和评估,验证面向运输船舶智能感知系统的 RAMSI 量化评估方法的有效性和准确性。通过对试验结果的全面分析,确保该评估方法能够在实际应用中为运输船舶的智能感知提供可靠的指导。

A.2 试验对象

试验对象为内河异构船舶编队,包括不同类型、不同尺寸的船舶,组成一个具有代表性的船舶编队。船舶编队将在模拟的内河航道环境中进行航行测试。

A.3 试验环境

试验环境模拟内河航道的复杂条件,包括狭窄的航道、多变的水流条件以及密集的船舶交通。同时,设置极端水文气象条件,如强风、大浪、急流等,以测试船舶智能感知系统在不同环境下的适应性和安全性。

A.4 试验设备

试验设备包括船舶编队中的各类船舶、传感器系统、数据采集与传输设备、硬件稳定性监测设备、故障排除记录设备、用户界面交互设备等。确保所有设备在试验前经过严格的检查和校准,以保证试验数据的准确性和可靠性。

A.5 试验步骤

A.5.1 数据采集

在试验过程中,通过传感器系统采集船舶编队的各项关键性能指标数据,包括任务成功率、平均无故障时间、航行中断时间、修复效率等。确保数据采集的一致性和完整性,避免数据丢失和异常。

A.5.2 数据传输

将采集到的数据通过数据传输设备实时传输到数据接收端,验证数据传输的准确性,确保无丢包现象,数据接收端与发送端数据一致。

A.5.3 硬件稳定性测试

在试验全过程中,监测硬件设备的运行日志,分析设备的故障率和稳定性。记录任何硬件故障,并评估其对试验的影响。

A.5.4 故障排除

在试验过程中,统计所有出现的设备故障,并及时进行排除。记录故障排除的过程和时间,评估故障对整体试验的影响。

A.5.5 系统运行时间记录

记录系统在整个试验期间的正常运行时间与总试验时间的比值,计算系统可用率。同时,评估系统从故障发生到恢复正常运行的平均时间。

A.5.6 任务完成情况统计

统计在不同环境条件下,各传感器对固定障碍物和移动目标的检测率。评估系统对移动目标的跟踪精度和连续性。

A.5.7 感知数据评估

统计各传感器在不同环境条件下的感知数据,评估其准确性和覆盖范围。分析多传感器数据融合的准确度和一致性,确保均在 95% 以上。

A.5.8 用户界面评价

通过试验参与人员对用户界面的直观性和信息显示的清晰度进行打分。评估系统对异常情况的提示频率和准确性,确保能够及时醒目地提醒用户。

A.5.9 维护记录分析

检查试验期间的维护记录,统计各设备的维修频率和原因。分类汇总所有故障类型,找出高频故障点并分析其原因。

A.5.10 安全事件记录

统计试验过程中发生的所有安全事件,分析原因并评估其严重程度。通过安全事件的频率和类型,评估前期安全培训的效果。

A.5.11 应急预案评估

评估试验过程中应急预案的启动情况和效果,确保在突发情况下能够及时有效地响应。

A.6 试验结果评估

A.6.1 结果可靠性评估

数据采集一致性:检查各传感器在不同环境条件下的数据采集一致性,确保数据无丢失和异常。

数据传输准确性:验证数据传输过程中无丢包现象,数据接收端与发送端数据一致。

硬件稳定性:分析设备在试验全过程中的运行日志,评估硬件设备的故障率和稳定性。

故障排除记录:统计试验过程中所有出现的设备故障,并评估其对整体试验的影响。

A.6.2 结果可用性评估

正常运行时间:记录系统在整个试验期间的正常运行时间与总试验时间的比值,计算系统可用率。

故障恢复时间:评估系统从故障发生到恢复正常运行的平均时间。

任务完成情况:统计在不同环境条件下,各传感器对固定障碍物和移动目标的检测率;评估系统对移动目标的跟踪精度和连续性。

感知数据评估:统计各传感器在不同环境条件下的感知数据,评估其准确性和覆盖范围。

数据融合效果:分析多传感器数据融合的准确度和一致性,确保均在 95% 以上。

用户界面评价:通过试验参与人员对用户界面的直观性和信息显示的清晰度进行打分。
 异常提示记录:评估系统对异常情况的提示频率和准确性,确保能够及时醒目地提醒用户。

A.6.3 结果可维护性评估

维护记录分析:检查试验期间的维护记录,统计各设备的维修频率和原因。
 故障类型分析:分类汇总所有故障类型,找出高频故障点并分析其原因。

A.6.4 结果安全性评估

安全事件记录:统计试验过程中发生的所有安全事件,分析原因并评估其严重程度。
 安全培训效果:通过安全事件的频率和类型,评估前期安全培训的效果。
 设备故障类型:分类分析设备故障类型,重点评估是否存在对人员安全有威胁的故障。
 应急预案评估:评估试验过程中应急预案的启动情况和效果,确保在突发情况下能够及时有效地响应。

A.6.5 结果可交互性评估

用户界面评价:通过试验参与人员对用户界面的直观性和信息显示的清晰度进行打分。
 异常提示记录:评估系统对异常情况的提示频率和准确性,确保能够及时醒目地提醒用户。
 交互反馈:评估系统对用户操作的反馈速度和准确性,确保用户能够及时获得操作结果。
 智能推荐:评估系统通过机器学习算法对内河船舶的参数优化提出的改进建议的合理性和有效性。

A.7 试验结果分析

通过对试验结果的全面分析,验证面向面向运输船舶智能感知系统的 RAMSI 量化评估方法的有效性和准确性。试验结果将为运输船舶的智能感知系统技术提供科学依据,提升船舶在复杂海况中的操控能力、结构耐久性、航行稳定性及通信可靠性。

智能感知系统可靠性计算平台示意图见图 A.1,RAMSI 评估权重矩阵计算界面示意图见图 A.2。



图 A.1 智能感知系统可靠性计算平台示意图

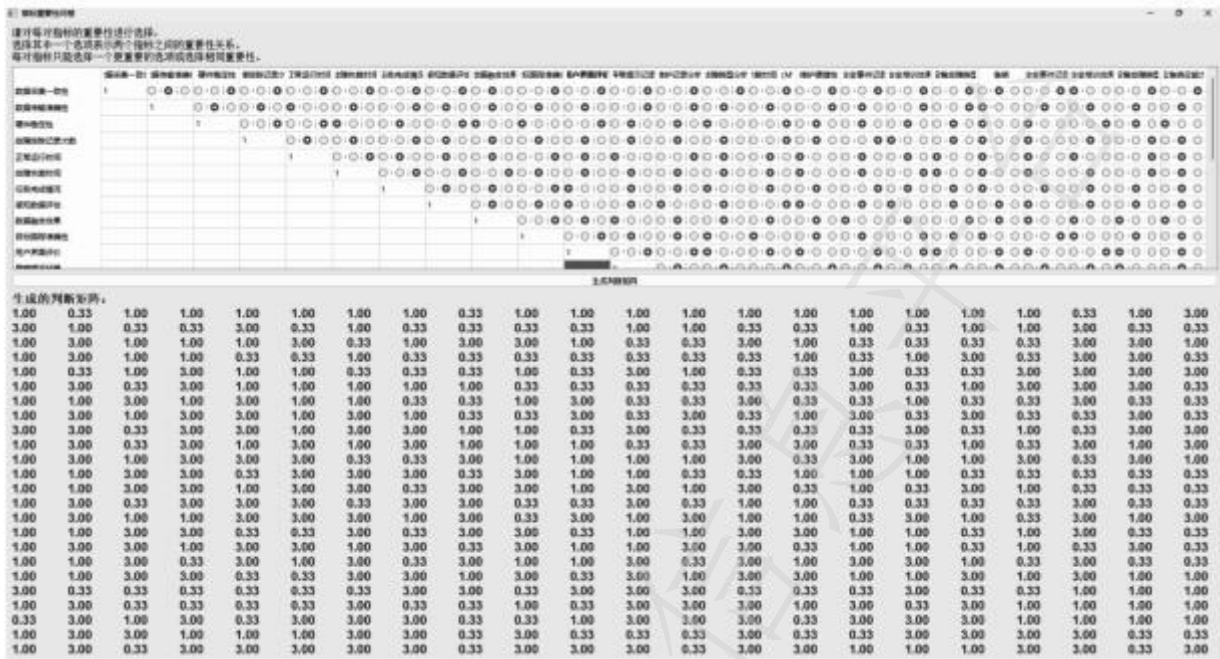


图 A.2 RAMSI 评估权重矩阵计算界面示意图

中国国际科技促进会
团体标准
运输船舶的智能感知系统技术评估指南
T/CI 868—2024

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 35 千字
2025年9月第1版 2025年9月第1次印刷

*

书号:155066·5-13643 定价 54.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/CI 868-2024