

ICS **
CCS **

团 体 标 准

T/ITS ****-2026

自主式交通系统 载运装备及运行环境状态 感知与态势评估技术要求

Technical Requirements for Status Perception and Situation Assessment of Transport
Equipment and Operating Environment in Autonomous Transportation System

20**-**-**发布

20**-**-**实施

中国智能交通产业联盟 发布

中国智能交通产业联盟

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 基本术语	2
4 缩略语	3
5 自主式交通系统载运装备及运行环境状态感知与态势评估技术体系	3
6 自主式交通系统载运装备状态感知与态势评估技术要求	4
7 自主式交通系统人机共驾状态感知与态势评估技术要求	9
8 自主式交通系统运行环境状态感知与态势评估技术要求	13

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国智能交通产业联盟（C-ITS）提出并归口。

本文件起草单位：交通运输部公路科学研究院、中南大学、吉林大学、武汉理工大学、东南大学、苏州智加科技有限公司。

本文件主要起草人：张卓敏、吴梦怡、彭勇、黄秋阳、刘文、李大韦、曹莹琦。

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

自主式交通系统 载运装备及运行环境状态感知与态势评估技术要求

1 范围

本文件规定了自主式交通系统在公路、轨道、水路三种交通方式下，实现载运装备及运行环境状态感知与态势评估所需的技术架构、功能要求、数据要求。

本文件适用于自主式交通系统中涉及载运装备及运行环境状态感知与态势评估的智能化系统设计、开发、测试与运营维护。

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 10125-2021 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 2423.16 环境试验 第2部分：试验方法 试验J：长霉

IEC 60721-4-8 船用设备环境条件和严酷程度 第4部分：固定在船舶甲板以上和甲板以下的设备 第8类严酷程度

GB/T 19329-2003 船舶电气设备振动和冲击试验

IEC 61373:2010 铁路应用 机车车辆设备 冲击和振动试验

TB/T 3058-2018 铁路机车车辆设备 振动冲击试验方法

GB/T 18655 保护车载接收机的无线电骚扰特性的限值和测量方法

GB/T 30293-2013 船舶电子设备电磁兼容性要求和测量方法

GB/T 19263 铁路应用 机车车辆设备 电磁兼容性

TB/T 3034-2019 铁路机车车辆 电磁兼容性试验方法和限值

GB/T 41797 驾驶员注意力监测系统性能要求及试验方法

GB/T 40856 车载信息交互系统信息安全技术要求及试验方法

ISO 26262 道路车辆功能安全

3 基本术语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自主式交通系统 autonomous transportation system

自主式交通系统是以自感知、自适应、自学习、自组织为特征的高度自治的交通系统。

3.2

载运装备状态感知与态势评估技术 transport equipment status perception and situation assessment technology

集成车载/船载传感器来感知载运装备运行状态的技术,以及包含通信单元和模型算法进行态势评估的技术。

3.3

人机共驾状态感知与态势评估技术 human-machine co-driving status perception and situation assessment technology

集成载具传感器与驾驶人监测设备来感知“人一机一环”交互状态的技术,以及包含信息融合与建模算法进行态势评估的技术。

3.4

人机共驾 human-machine co-driving

指人类驾驶员与自动驾驶系统协同操控载具的模式;系统则特指人机共驾环境下具备自动驾驶功能的智能驾驶系统。

3.5

驾驶员驾驶能力 driver's driving ability

指驾驶员在人机共驾过程中,生理或心理状态是否满足随时接管载具控制权的要求,以及在接管发生时的反应速度和操作准确性。

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)

API: 应用程序编程接口 (Application Programming Interface)

C-V2X: 车用无线通信技术 (Car to Vehicle to Everything)

DMIPS: 每秒执行百万次Dhrystone指令 (Dhrystone Million Instructions executed Per Second)

GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

HTTPS: 超文本传输安全协议 (Hypertext Transfer Protocol Secure)

JSON: JavaScript对象文本格式 (JavaScript Object Notation)

LSTM: 长短期记忆网络 (Long Short-Term Memory)

MQTT: 消息队列遥测传输 (Message Queuing Telemetry Transport)

PPS: 秒脉冲 (Pulse Per Second)

PTP: 图片传输协议 (Picture Transfer Protocol)

TCP/IP: 传输控制协议/网际协议 (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)

WGS84: 1984地心坐标系 (World Geodetic System 1984)

5G: 第五代移动通信技术 (5th Generation Mobile Communication System)

5 自主式交通系统载运装备及运行环境状态感知与态势评估技术体系

5.1 总体要求

自主式交通系统载运装备及运行环境状态感知与态势评估的对象应涵盖人、机、环三个方面，其技术体系分布如下图所示。

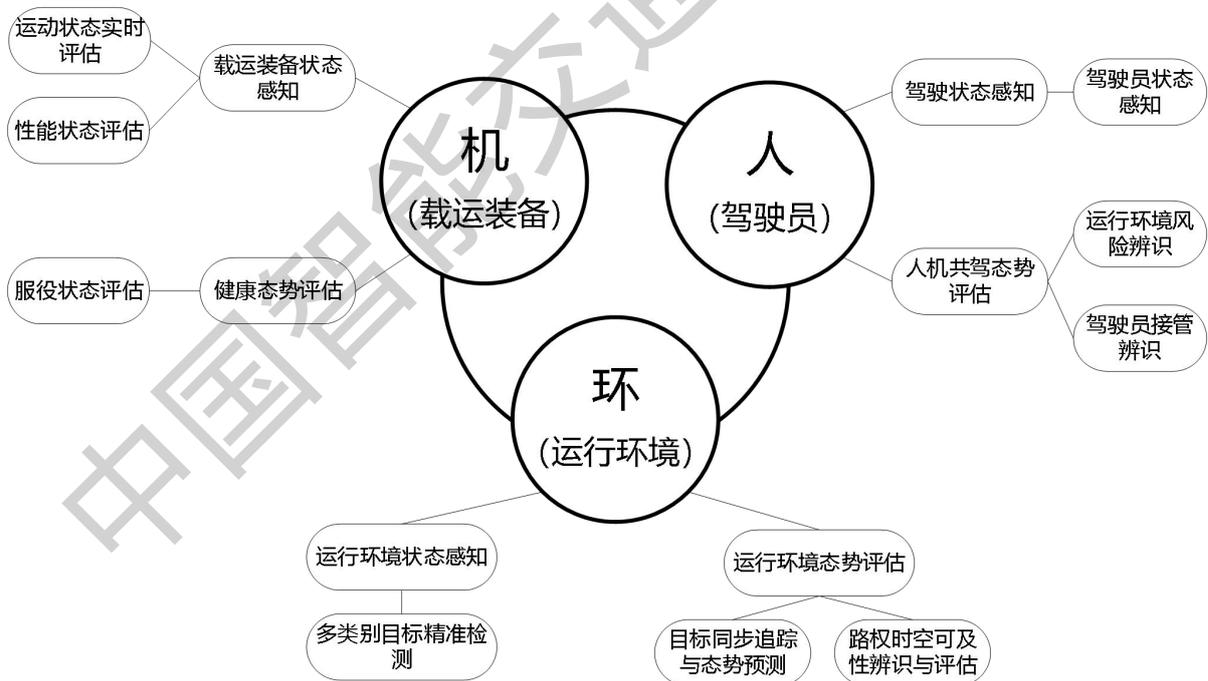


图 1 自主式交通系统载运装备及运行环境状态感知与态势评估技术体系分布图

自主式交通系统载运装备及运行环境状态感知与态势评估技术体系应涵盖以下内容：

- a) 机（载运装备）：应实现载运装备状态感知与健康态势评估。
- b) 人（驾驶员）：应实现驾驶状态感知与人机共驾态势评估。

- c) 环（运行环境）：应实现运行环境状态感知与态势评估。

5.2 任务边界与关联关系

- a) 自主式交通系统分别开展机、人、环各对象的状态感知时，应结合状态感知数据与预测模型对机、人、环各对象在自主式交通系统中的后续变化情况进行态势评估。
- b) 自主式交通系统开展人机共驾状态感知与态势评估时，应分别结合机（载运装备）与环（运行环境）状态感知与态势评估的结果进行。

6 自主式交通系统载运装备状态感知与态势评估技术要求

6.1 功能要求

载运装备状态感知与态势评估技术应采集装备自身状态与关联信息，经多源数据融合处理，实现装备运行状态监测、异常识别及未来态势预测，并实现以下功能：



图 2 载运装备状态感知与态势评估技术示意图

- a) 应通过传感器感知和采集载运装备的位置及姿态信息，包括但不限于定位信息、速度信息、倾角信息等。
- b) 应具备实时精准捕捉载运装备运行状态能力，包括但不限于温度、转速、振动等。
- c) 可用于自主式交通系统中的多方式载运装备，包括但不限于智能网联汽车、自动驾驶列车、自主配送车辆、无人客/货船及动力浮板等。
- d) 应覆盖装备从启动运行到停机休整的全周期感知与评估场景，不涵盖独立的外部环境感知（如气象、交通管制、道路/轨道/航道信息等）。
- e) 应具备及时识别故障隐患与性能衰减能力，宜具备对装备当前运行状态评估能力、未来能力变化态势分析及未来风险趋势预警能力，可为自主决策、维护调度及安全管控提供技术支撑。

6.2 感知与评估要求

6.2.1 载运装备状态感知对象

- a) 应采集载运装备位姿信息：包括装备位置、行驶速度、加速度、航向角及负载重量等动态运行数据。
- b) 应采集关键设备运行信息：包括动力系统（如电池电量、发动机转速）、底盘系统（如制动性能、转向角度）、电控系统（如算力负载、通信状态）及执行机构（如油门开度、灯光状态）等关键部件运行参数。

6.2.2 载运装备状态感知方式

- a) 宜采用多传感器融合方案，集成装备运动位姿，动力系统的温度、转速、扭矩，搭配装备内置的温度、压力、位移等专用传感器。
- b) 可通过卡尔曼滤波、粒子滤波等算法进行数据融合处理，结合深度学习技术实现部件状态特征提取与异常识别。
- c) 应支持主动采集与被动接收相结合的数据获取方式，保障感知连续性。

6.2.3 载运装备态势评估对象

- a) 应分析装备当前运行状态：包括关键设备健康度、系统协同匹配性、运行稳定性及安全冗余水平。
- b) 宜分析未来风险态势：包括潜在故障发展趋势、性能衰减速率及特定场景下的运行风险等级。

6.2.4 载运装备态势评估方式

应基于装备历史运行数据构建基准模型，通过实时数据与基准值的偏差分析实现当前态势评估。可采用时序预测算法（如 LSTM）及故障树分析方法，结合部件寿命模型开展未来态势预测。

6.3 数据与模型要求

6.3.1 数据类型

载运装备状态感知技术应包含传感器数据，算法分析数据，历史统计数据。

6.3.2 原始传感器数据

应对采集所得的数据进行时间戳对其预处理，宜对高频数据（>100条/秒）的数据进行进行降频处理。降频处理可使用小波变换、快速傅里叶变换等方法。

- a) 位姿传感器数据应包含速度、倾角、高度、定位等在内的位姿数据，宜包含方向、加速度、角加速度等在内的位姿数据，可包含地磁信息、四元数、欧拉角等在内的位姿数据。
- b) 关键设备运行状态数据应包含该关键设备的温度、压力、振动等原始参数，可包含其图像、点云等非结构化数据。

6.3.3 算法分析数据

应包含车载单元、船舶集控单元、算力单元、云端/岸端数据处理中心等输出的运行日志、故障码及通信状态数据等，宜包含关键设备实时健康度。

6.3.4 历史统计数据

应包含载运装备生命周期的维修记录、性能衰减曲线，可包含典型故障案例数据，宜包含载运装备健康度变化曲线，故障持续时间记录，载运装备性能衰减对比评估结果等。来源可包含其他同类型载运装备。

6.3.5 评估模型

评估模型应具备以下功能：

a) 数据分析功能：模型应采用通用化数据接口，可分析同种类参数的不同信号来源数据(如振动参数，可分析压电式振动信号数据，或位移振动信号数据，或压阻式振动信号等)，根据装备灵活适配调整模型参数。应形成对载运装备关键设备的状态评估和态势分析功能，宜实现对载运装备整体状态评估和态势分析功能。

b) 数据管理功能：模型应支持模型动态更新与管理，包含部件健康评估模型、故障诊断模型及风险预测模型等核心模块。模型需经过实测数据验证，准确率达标后方可部署。且应具备离线训练与在线推理双重能力。

c) 应具备功能安全机制，符合 ISO 26262 相关等级要求，当感知数据丢失率 $\geq 5\%$ 或评估结果偏差 $\geq 20\%$ 时，自动切换至冗余感知通道与降级评估模式。

6.3.6 输入输出数据项

a) 输入数据项：应包含原始传感器数据、典型故障案例数据、生命周期维修记录等，宜包含同类型载运装备生命周期的性能衰减曲线，维修记录等。应包含传感器 ID(字段名)、采集时间戳、温度/压力/转速物理量数值、坐标信息、数据质量标识等。

b) 输出数据项：应包含该载运装备及其关键设备全生命周期性能衰减曲线、运行日志、故障码等，可包含该载运装备非关键设备性能曲线。应包含装备状态参数报表、异常事件类型及位置、健康度评分、风险等级、预测故障类型及发生概率等。

6.3.7 数据格式

a) 结构化数据宜采用 JSON 或 Protocol Buffers 格式，应包含数据头（设备标识、时间戳）、数据体（参数名称、数值、单位）及校验位。

- b) 非结构化数据（图像、点云）宜采用行业通用格式存储，需关联时空标签（GNSS 坐标、采集时间），时空参照系可采用北斗 / WGS84 坐标系。

6.4 性能要求

6.4.1 载运装备状态感知性能要求

- a) 状态参数识别准确率：宜达到正常场景下 $\geq 95\%$ ，恶劣环境（振动、电磁干扰）下 $\geq 85\%$ 。
- b) 异常数据响应延迟：宜达到 ≤ 5 秒，故障信号识别延迟 ≤ 10 秒。
- c) 数据更新频率：应达到传感器直接感知数据 ≥ 1 次/秒，宜达到关键安全参数 ≥ 10 次/秒，可达到自感知算法分析数据 ≥ 5 次/分钟。

6.4.2 载运装备状态评估性能要求

- a) 健康度评估准确率宜达到 $\geq 95\%$ ，恶劣工况运行时段宜达到 $\geq 90\%$ 。
- b) 故障预测提前量可达到 ≥ 5 分钟，风险等级划分准确率可达到 $\geq 90\%$ 。
- c) 评估结果更新频率与感知数据采集频率匹配，应支持动态迭代优化。

6.5 设备与系统要求

6.5.1 采集设备

- a) 防尘防水等级：外部传感器单元，防护等级应 $\geq IP67$ ；集成防护机柜，防护等级应 $\geq IP65$ ；线缆接口，应采用 IP67 级防水接头。其中船舶用传感器及机柜额外需满足船舶恶劣海洋环境适配要求，盐雾防护等级应符合 GB/T 10125-2021 中 720 小时盐雾测试要求，防霉菌等级应符合 GB/T 2423.16-2021 规定的 2 级及以上要求。
- b) 抗震性能：公路车辆应符合 ISO 16750 标准；船舶应符合 IEC 60721-4-8（船用设备环境条件和严酷程度 第 4 部分：固定安装在船舶甲板以上和甲板以下的设备 第 8 类严酷程度）及 GB/T 19329-2003《船舶电气设备振动和冲击试验》要求；机车车辆应符合 IEC 61373:2010（铁路应用 机车车辆设备 冲击和振动试验）及 TB/T 3058-2018《铁路机车车辆设备 振动冲击试验方法》要求。
- c) 电磁兼容：公路车辆应符合 GB/T 18655 要求；船舶应符合 GB/T 18655 及 GB/T 30293-2013《船舶电子设备电磁兼容性要求和测量方法》要求；机车车辆应符合 GB/T 19263（铁路应用 机车车辆设备 电磁兼容性）及 TB/T 3034-2019《铁路机车车辆 电磁兼容性试验方法和限值》要求。

- d) 激光雷达：探测范围 ≥ 200 米，距离误差 $\leq \pm 5$ 厘米；其中船舶用激光雷达需适配雾、雨、浪涌等海洋气象条件，在能见度 ≥ 200 米的雾天环境下，探测范围衰减不应超过 20%；机车车辆用激光雷达需适配隧道、粉尘等铁路特殊环境，在隧道内粉尘浓度 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ 条件下，探测性能保持稳定。
- e) 毫米波雷达：侧向探测范围 ≥ 150 米，速度误差 $\leq \pm 2\text{km}/\text{h}$ ；其中船舶用毫米波雷达需具备抗海浪杂波干扰能力，海浪杂波抑制比 $\geq 35\text{dB}$ ，在 3 级海况下探测性能不受影响；机车车辆用毫米波雷达需适配轨道旁金属构件干扰环境，对轨道扣件、接触网支柱等固定障碍物的误识别率 $\leq 0.5\%$ 。
- f) 算力单元：宜满足对应交通场景自主式装备感知需求。公路车辆 L2 级及以上自主控制场景算力 $\geq 20\text{k DMIPS}$ ；船舶自主航行场景（对应 L2 级及以上自主控制水平，如自主避碰、自动航线保持）算力 $\geq 30\text{k DMIPS}$ ，需支持船舶自动识别系统（AIS）数据与传感器数据的融合处理；机车车辆自主运行场景（对应 L2 级及以上自主控制水平，如自动驾驶、自动防护）算力 $\geq 25\text{k DMIPS}$ ，需支持列车运行控制系统（CTCS）数据与传感器数据的协同运算。

6.5.2 数据接口

- a) 支持 C-V2X、5G 等通信接口，实现与车载系统及云端平台的数据交互，接口应满足安全性要求。
- b) 宜采用标准化通信协议，宜支持 PTP/1PPS+ToD 授时接口，时间同步精度可 $\leq \pm 1\text{ms}$ 。
- c) 接口应具备冗余设计，单一接口故障时可自动切换至备用通道，保障数据传输连续性。

6.5.3 结果可视化与系统展示

- a) 可支持装备状态参数、异常事件、健康度评分及风险预测结果的实时展示。
- b) 应提供数据查询、统计报表生成及分析报告导出功能，报告宜包含处置建议。
- c) 应采用分级告警机制，通过颜色标识（红、黄、蓝）区分风险等级。可支持平台弹窗、声光提示等告警方式。
- d) 系统界面应具备人机交互功能，可支持态势地图缩放、参数筛选及历史数据回溯查询。

7 自主式交通系统人机共驾状态感知与态势评估技术要求

7.1 功能要求

自主式交通系统人机共驾状态感知与态势评估技术应采集驾驶人状态、载具运行状况及交通环境要素，经多源数据综合分析处理，实现系统安全等级判断、未来风险量化评估及接管预警，并实现以下功能：

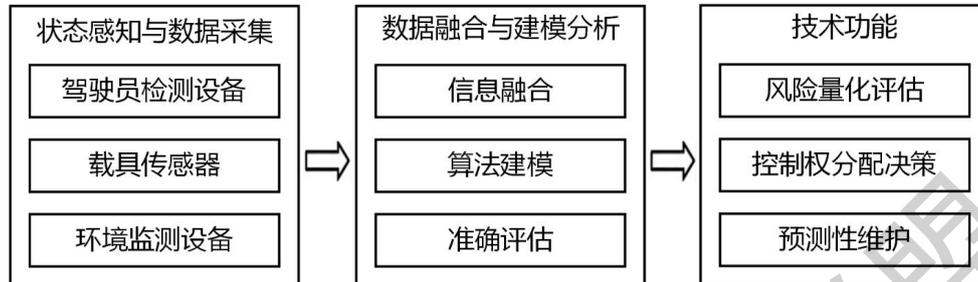


图3 自主式交通系统人机共驾状态感知与态势评估技术示意图

- a) 应通过多源传感器及监测算法采集“人-机-环”三要素的交互状态信息，包括但不限于驾驶人疲劳与分心状态、车辆动力学参数、道路环境数据及运行安全性量化指标等。
- b) 应覆盖功能安全保障与全生命周期预测性维护场景，包括但不限于故障下的降级运行策略、冗余保护触发、关键零部件剩余寿命预测及维护周期规划等。
- c) 应具备实时精准的交互评估与态势预测能力。
- d) 可为自助式交通系统的控制权分配和驾驶人接管干预策略提供决策依据。

7.2 感知与评估要求

7.2.1 人机共驾状态感知对象

- a) 采集驾驶员驾驶能力状态感知信息，包括驾驶员心率、皮肤电等外周生理指标；驾驶员中枢神经生理活动指标等脑电数据；驾驶员执行驾驶任务过程时的面部、注视点、眨眼、头部姿态等图像数据和参数变化等视觉特征数据；驾驶员执行驾驶任务过程时方向盘转角、踏板输入等操作行为数据；
- b) 采集载具状态感知信息。载运装备状态感知信息应符合第6章的规定。
- c) 运行环境状态感知信息。运行环境状态感知信息应符合第8章的规定。

7.2.2 人机共驾状态感知方式

- a) 对驾驶员状态的感知应采用非接触式方式，避免对驾驶员正常瞭望和操作产生干扰。
- b) 对载运装备运行环境和外部风险的感知，可综合采用装备端环境感知单元。
- c) 可利用载运装备的内部数据传输网络或底层通信接口读取实时运行数据。
- d) 对难以直接测量的状态，可利用机器学习等方法对历史运行数据进行分析。

7.2.3 人机共驾态势评估对象

态势评估技术应利用状态感知技术得到的相关信息，对驾驶员能力、环境状态、系统有效性进行综合评估：

- a) 驾驶员能力评估：可基于驾驶员面部及头部姿态特征、生理状态、操作行为等数据评估驾驶员是否处于正常驾驶状态及是否具备接管能力。
- b) 环境状态评估：可基于交通事件（障碍物类型与距离）、交通流状态、天气、光照条件等数据评估环境的威胁等级。
- c) 系统有效性评估：可基于系统控制模式（人工/自动）、设备故障状态、信号接收状态等数据，判断系统是否有效。

7.2.4 人机共驾态势评估方式

应基于人-机-环多维特征构建共驾状态基准模型实现当前系统安全态势等级评估。可采用物理模型（如卡尔曼滤波）或基于规则的专家系统，结合基于运行数据的机器学习算法开展未来运行风险演化及驾驶员接管态势预测。

7.2.5 人机共驾态势评估结果

- a) 态势分级：系统应输出安全态势等级（低、中、高），为自主式交通系统提供风险预警和决策依据。
- b) 接管支持：系统应支持控制权平稳过渡，降低因状态误判引发的接管风险。
- c) 决策依据：评估结果应作为自主式交通系统控制分配、驾驶人接管干预策略的依据。

7.3 人机共驾状态感知与态势评估数据与模型的相关要求

7.3.1 数据源

基于人机共驾的状态感知与态势评估系统的数据源应至少包括以下一项或多项：

- a) 可使用摄像头、温度感知设备等驾驶室内部感知设备。
- b) 可使用来自载运装备端控制系统的运行参数、设备状态及故障诊断数据等载具数据。
- c) 可使用来自环境感知单元的探测数据，如道路/线路/航路的环境特征、交通运行状态等。

7.3.2 输入输出数据项

- a) 数据接口应提供统一的时间戳，保证多源数据的同步性，时间偏差宜不超过 10ms。
- b) 数据传输应具备安全性措施，采用加密和访问控制，防止数据泄露和篡改。

7.3.3 评估模型要求

- a) 所有评估模型，特别是直接关联到制动控制的模型，其设计与验证应遵循相应的功能安全完整性等级要求。
- b) 模型在上线部署前，应通过仿真测试、半实物平台测试和线路试验进行验证，确保在典型故障及干扰场景下的可靠性。

7.3.4 基本性能要求

- a) 检测率：驾驶员异常状态检测准确率不应低于 90%；在规定的有效检测范围内，对于侵入异物的成功检测率不应低于 90%。
- b) 系统延迟：从感知到数据输出的系统延迟不应大于 300ms。

7.4 人机共驾状态感知与态势评估设备与系统相关技术要求

7.4.1 采集设备

- a) 载运装备状态感知设备应符合 6.5.1 的规定。
- b) 运行环境状态感知设备应符合 8.5.1 的规定。
- c) 驾驶人状态感知设备应符合 GB/T 41797 的规定。
- d) 感知设备的安装位置应符合人机工程学原则，不应侵入驾驶室限界，不应遮挡驾驶员视野或干扰正常驾驶操作。

7.4.2 系统通用功能要求

- a) 系统应具备全链路自诊断能力，当传感器信号丢失、计算单元故障或网络通信中断时，应能实时检测、记录并触发报警。
- b) 系统的数据传输应具备加密与防篡改措施，信息交互系统的安全要求应符合 GB/T 40856 的相关规定。
- c) 设备与系统之间的数据接口应支持标准化通信协议，并提供统一的时间戳，保证多源数据的同步性。
- d) 系统应具备事件数据记录功能，能够对故障发生前后的关键状态数据进行长时间存储，以支持事后溯源与分析。

7.4.3 人机交互与展示要求

- a) 系统应在操作端集成人机交互界面，宜综合展示“人-机-环”实时状态及态势评估结果。
- b) 显示信息设计应遵循按需显示原则，避免在正常监控状态下造成信息过载。
- c) 系统应以直观方式展示风险来源、风险类型及风险等级，并明确其对运行安全的影响程度。

- d) 风险预警和接管请求应通过视觉、听觉（蜂鸣或语音）或触觉（如操纵装置或操作位振动）等多种方式进行组合提示，确保操作人员能及时、准确接收。

8 自主式交通系统运行环境状态感知与态势评估技术要求

8.1 功能要求

自主式交通系统运行环境感知与态势评估技术应为自主决策、路径规划及协同调度提供连续、全面的有效输入，保障载运装备在复杂场景下行为的可预测性、可解释性与安全性，具体功能要求包括：

- a) 基础数据采集功能：应具备对运行依托载体（道路、轨道、航道）核心信息、周边动静态对象、障碍物及环境气象条件的基础采集能力。
- b) 数据预处理功能：应具备感知数据去噪、时空配准与同步处理能力，剔除无效数据，保障数据时效性与一致性的能力。
- c) 多源数据融合功能：应具备整合不同传感器、监测设备采集数据的能力，通过数据互补提升目标识别精度与状态感知稳定性。
- d) 异常数据处理功能：应具备感知数据异常（缺失、偏差过大）的识别能力，可触发备用感知策略或调用历史数据补全，保障感知功能连续不中断。
- e) 风险识别预警功能：应具备对运行过程中潜在风险（碰撞、冲突、通行能力不足等）的识别能力，可输出风险等级（高、中、低）及预警信息。
- f) 态势评估功能：应具备基于实时感知数据与历史数据的短期态势评估能力，为装备决策规划提供前瞻性支撑。

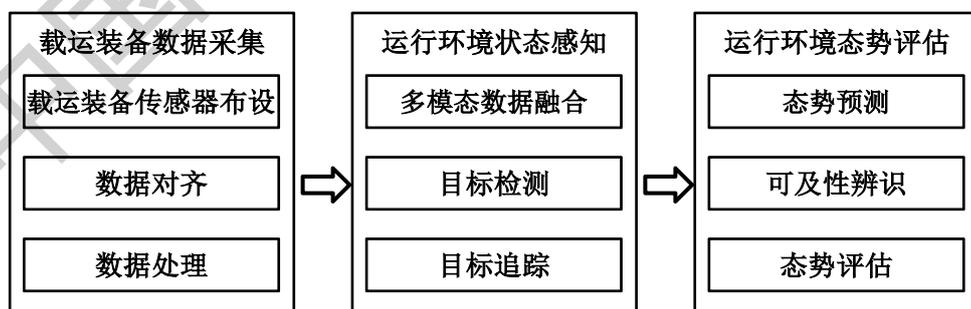


图 4 自主式交通系统运行环境感知与态势评估技术示意图

8.2 感知与评估要求

8.2.1 运行环境状态感知对象

8.2.1.1 公路

- a) 道路相关信息：需精准识别道路类型（城市主干道 / 次干道、高速公路）、车道数量及宽度、交通标志（禁令 / 指示 / 警告标志）、信号灯状态（红 / 黄 / 绿 / 闪烁）、隔离护栏与路缘石位置、路面标线（车道线、停止线、导向箭头）、路面状态（干燥 / 潮湿 / 积水 / 结冰）。
- b) 交通参与者与障碍物：需区分机动车、非机动车、行人的类型及运动状态；捕捉临时障碍物（道路抛洒物、故障停放车辆、施工围挡）。
- c) 环境与气象条件：需感知路面积水厚度、路面积雪覆盖范围、能见度。

8.2.1.2 铁路

- a) 轨道相关信息：需精准识别轨道类型、轨距、接触网高度及状态、道岔开合状态、信号机显示（红 / 黄 / 绿 / 白）、轨道平整度、轨道周边防护设施位置。
- b) 交通参与者与障碍物：需识别相邻列车的位置、速度、车次信息；捕捉轨道异物（尺寸 $\geq 0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$ ）、接触网悬挂异物、侵入限界的人员或设备。
- c) 环境与气象条件：需感知环境风速、轨道积水深度、轨道积雪厚度。

8.2.1.3 水路

- a) 航道相关信息：需精准识别航道等级（I-VII 级）、航标类型（侧面标 / 方位标 / 专用标）及位置、码头泊位位置及尺寸、航道水深、通航净空高度、水下地形。
- b) 交通参与者与障碍物：需识别周边船舶的类型、位置、速度、航向；捕捉水面漂浮物（尺寸 $\geq 1\text{m} \times 1\text{m}$ ）、水下障碍物（沉船、暗礁）、航道内施工设施。
- c) 环境与气象条件：需感知环境风速、大气能见度、潮汐水位变化、水流速度及流向。

8.2.2 运行环境状态感知方式

运行环境状态感知技术应支持多传感器融合技术，结合数据去噪、时空对齐、多源融合，提升感知的可靠性和精度。应采用基于深度学习的计算机视觉、点云处理等先进算法进行目标检测、识别与跟踪。可使用高精度地图与先验信息进行感知结果的匹配与增强。

8.2.3 运行环境态势评估对象

- a) 公路：道路交通流状态演化趋势、车辆碰撞风险、行人横穿风险。
- b) 铁路：轨道平顺性、接触网运行状态、列车运行冲突风险。
- c) 水路：航道水位变化趋势、船舶交通流密度演化趋势、船舶碰撞风险。

8.2.4 运行环境态势评估方式

- a) 评估模型选择：基础评估采用规则引擎，复杂评估采用机器学习模型，评估模型需支持在线迭代优化。
- b) 评估流程：采用“数据输入 - 特征提取 - 状态分类 - 风险评级 - 趋势预测 - 结果输出”六步流程，其中风险评级分为低风险（无干预需求）、中风险（需预警提示）、高风险（需紧急干预）三级。

8.3 数据与模型要求

8.3.1 数据源

- a) 公路：包括多源感知设备实时数据（包括激光雷达点云、毫米波雷达回波、摄像头图像、物联网传感器数据等）、路网数据等，可接入第三方数据，包括气象部门实时气象数据、交通管理部门事故数据等。
- b) 铁路：轨道检测雷达数据、接触网检测图像、沿线气象站数据、铁路地理信息系统数据库等。
- c) 水路：船用雷达数据、AIS 数据、水深测量数据、潮汐站数据、航道电子海图、港口调度数据等。

8.3.2 输入输出数据项

- a) 输入数据项：感知设备 ID、采集时间戳、静态对象参数（位置坐标、尺寸、类型）、动态对象参数（位置、速度、加速度、航向角）、气象参数（降雨量、能见度、温度）、路面参数（湿度、状态）；
- b) 输出数据项：态势评估时间戳、交通流状态（车道 ID、平均速度、饱和度、状态等级）、设施状态（设施 ID、运行状态、异常类型）、风险状态（风险 ID、风险类型、风险等级、影响范围、预警时间）、趋势预测结果（预测时间段、预测指标、置信度）；
- c) 数据项约束：所有数据项需包含字段名称、数据类型、单位、精度要求，关键数据项（如风险等级）需设置枚举值（如低 / 中 / 高）。

8.3.3 数据格式

- a) 实时感知数据：采用 Protocol Buffers 格式（轻量化，适合实时传输），单条数据大小 $\leq 10\text{KB}$ （点云数据除外，点云数据采用 PCD 格式，压缩后传输）；
- b) 评估结果数据：采用 JSON 格式，易解析，便于多系统对接，字段命名需符合驼峰式命名规则（如 trafficFlowState），日期时间格式采用 ISO 8601（如 202X-XX-XXTXX:XX:XX.XXXZ）。

8.3.4 模型要求

- a) 模型功能要求：状态感知模型需支持多方式、多场景适配，风险评估模型需覆盖典型风险场景，态势预测模型需支持短时、长时多个时间维度预测。
- b) 模型性能要求：模型推理速度 $\geq 30\text{fps}$ 。

8.4 性能要求

8.4.1 感知性能要求

- a) 公路：以自动驾驶车辆为中心，城市道路场景下覆盖半径 $\geq 200\text{m}$ ，高速公路场景下覆盖半径 $\geq 300\text{m}$ ，封闭园区场景下覆盖半径 $\geq 50\text{m}$ 。对象位置识别误差 $\leq 0.5\text{m}$ ，对象位置更新频率 $\geq 10\text{Hz}$ （高速场景）、 8Hz （城市场景），速度测量误差 $\leq 1\text{km/h}$ （低速 $\leq 30\text{km/h}$ 时）、 $\leq 2\text{km/h}$ （高速 $> 30\text{km/h}$ 时），目标感知准确率 $\geq 95\%$ 。
- b) 铁路：以列车为中心，正线区段覆盖半径 $\geq 400\text{m}$ ，车辆基地覆盖半径 $\geq 200\text{m}$ 。对象位置误差 $\leq 0.5\text{m}$ ，位置更新频率 $\geq 20\text{Hz}$ （高速铁路）、 15Hz （普速铁路）；目标感知准确率 $\geq 95\%$ 。
- c) 水路：以船舶为中心，航行区覆盖半径 $\geq 1\text{km}$ ，湖泊重点水域覆盖半径 $\geq 500\text{m}$ 。对象位置误差 $\leq 2\text{m}$ ，动态对象位置更新频率 $\geq 5\text{Hz}$ （沿海）、 8Hz （内河）；目标感知准确率 $\geq 95\%$ 。
- d) 抗干扰要求：在降雨（ $0\text{mm/h} \leq \text{降雨量} \leq 50\text{mm/h}$ ）、雾天（ $100\text{m} \leq \text{能见度} \leq 200\text{m}$ ）、强光（ $10 \text{万 lux} \leq \text{光照强度} \leq 20 \text{万 lux}$ ）、大风（ $0\text{m/s} \leq \text{风速} \leq 30\text{m/s}$ ）、降雪（ $0\text{m} \leq \text{雪深} \leq 0.3\text{m}$ ）、夜间（ $1\text{lux} \leq \text{光照} \leq 10\text{lux}$ ）环境下，保持目标感知准确率 $\geq 95\%$ ；
- e) 冗余要求：关键感知对象需支持多设备交叉验证，当单一设备故障时，冗余设备可在 50ms 内接管感知功能。

8.4.2 评估性能要求

- a) 准确性：状态趋势预测准确率 $\geq 95\%$ ，风险状态识别准确率 $\geq 90\%$ ；
- b) 时效性：态势评估结果需随感知数据更新同步输出，单次评估计算时间 $\leq 30\text{ms}$ ，支持连续动态评估（评估频率 $\geq 10\text{Hz}$ ）。

8.5 设备与系统要求

8.5.1 采集设备

8.5.1.1 公路关键设备要求

- a) 激光雷达需满足探测距离 $\geq 200\text{m}$ （ 10% 反射率）、水平视场角 $\geq 120^\circ$ 、垂直视场角 $\geq 30^\circ$ ；
- b) 毫米波雷达需满足探测距离 $\geq 200\text{m}$ 、测速范围 $0\text{-}250\text{km/h}$ 、角度分辨率 $\leq 1^\circ$ ；
- c) 高清摄像头需满足分辨率 $\geq 4\text{K}$ 、帧率 $\geq 30\text{fps}$ 、低照度性能 $\leq 0.001\text{lux}$ 。

8.5.1.2 铁路关键设备要求：

- a) 轨道检测雷达探测距离 0-5m，误差 $\leq 0.001\text{m}$ ；
- b) 接触网检测相机分辨率 $\geq 2\text{K}$ ，帧率 $\geq 50\text{fps}$ ；
- c) 激光雷达探测距离 $\geq 500\text{m}$ ，水平视场角 $\geq 90^\circ$ 。

8.5.1.3 水路关键设备要求：

- a) 船用雷达探测距离 $\geq 20\text{km}$ ，方位精度 $\leq 1^\circ$ ，分辨率 $\leq 0.5^\circ$ ；
- b) AIS 接收机接收灵敏度 $\leq -125\text{dBm}$ ；
- c) 水深测量仪测量范围 1-50m，误差 $\leq 0.2\text{m}$ 。

8.5.1.4 设备应具备必要的环境适应性

- a) 设备工作温度范围 $-40^\circ\text{C}\sim 70^\circ\text{C}$ ，防护等级 $\geq \text{IP67}$ （户外设备）、 IP65 （车载设备），抗振动性能 $\geq 50\text{Hz}$ （加速度 $\leq 20\text{m/s}^2$ ），抗电磁干扰性能符合 GB/T 17626.3 标准；
- b) 防水等级 $\geq \text{IEC 60529}$ 标准，抗盐雾性能 ≥ 96 小时（沿海设备）。

8.5.2 数据接口：

- a) 接口协议：系统内部各模块间应有清晰、低延迟的数据接口定义。应支持主流通信协议，并确保信息传输的安全性与可靠性。感知设备与数据处理单元之间采用以太网接口（1000Base-T，传输速率 $\geq 1\text{Gbps}$ ），支持 TCP/IP 协议；系统与外部平台之间采用 RESTful API 接口（支持 HTTP/HTTPS 协议），同时预留 MQTT 协议接口用于实时消息推送；
- b) 接口要求：以太网接口传输延迟 $\leq 10\text{ms}$ ，丢包率 $\leq 0.1\%$ （传输距离 $\leq 100\text{m}$ ）；API 接口响应时间 $\leq 500\text{ms}$ ，支持并发请求数 ≥ 1000 次 / 秒；所有外部接口需支持身份认证、数据加密，接口访问需记录日志，包含访问时间、访问 IP、操作内容，日志保留期限 ≥ 6 个月。

8.5.3 结果可视化与系统展示：

- a) 应具备将感知与评估结果以可视化的方式实时呈现给安全员或后台监控人员的能力。
- b) 可视化界面应清晰、直观，能分层级展示环境目标、预测轨迹、风险区域等信息。
- c) 系统应具备日志记录与回放功能，用于事后分析与优化。
- d) 系统运行状态（如传感器健康度、模块负载）应能被实时监控和告警。

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟
标准

自主式交通系统 载运装备及运行环境状态感知与态势评估技术要求
T/ITS ****-2026

北京市海淀区西土城路 8 号（100088）
中国智能交通产业联盟印刷
网址：<http://www.c-its.org.cn>

2026 年 X 月第一版 2025 年 X 月第一次印刷