

团 体 标 准

T/ZQB XXXX—XXXX

滑板底盘式运输类汽车 智能感知系统 设计指南

Intelligent perception system of skateboard chassis transport vehicles——
Design Guidelines

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2025 年 12 月）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国汽车保修设备行业协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
5 智能感知系统设计时需考虑的因素	2
6 港口码头场景下系统设计时需考虑的因素	7
7 物流园区场景下系统设计时需考虑的因素	8
8 城市环卫场景下系统设计时需考虑的因素	8
参考文献	10

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。

本文件的某些内容可能会涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国汽车保修设备行业协会运输装备专业委员会提出。

本文件由中国汽车保修设备行业协会归口。

本文件起草单位：中国汽车工程研究院股份有限公司、交通运输部公路科学研究院、襄阳达安汽车检测中心有限公司、东南大学、陕西重型汽车有限公司、中汽院（重庆）汽车检测有限公司、东风柳州汽车有限公司。

本文件主要起草人：胡玮明、晋杰、伍泽、陈金晶、王斌、刘璐、周金应、陈瑞峰、李朝斌、刘延、李斌、陈雄、黄超智、赵红全、董轩、任春晓、张禄、李瑞洁、杨佩佩、王晓友、刘锡祥、胡锦超、李旭、徐启敏、刘锦秋、汪云峰、汪晓旋。

滑板底盘式运输类汽车 智能感知系统 设计指南

1 范围

本文件提供了滑板底盘式运输类汽车智能感知系统设计的总体指导和建议，并针对港口码头、物流园区、城市环卫等典型运行场景，给出了设计中需考虑的要点信息。

本文件适用于具有GB/T 40429定义的3级及以上驾驶自动化水平的滑板底盘式运输类汽车的智能感知系统。

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 34660 道路车辆 电磁兼容性要求和试验方法

GB/T 44464 汽车数据通用要求

GB 44495 汽车整车信息安全技术要求

GB 44496 汽车软件升级通用技术要求

GB 44497 智能网联汽车 自动驾驶数据记录系

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

滑板底盘式运输类汽车 skateboard chassis transport vehicles

采用非承载式底盘结构，将转向、制动、悬架、动力电池等系统一体化集成，对上装与底盘进行了分离解耦，能够实现底盘与多种上装的快速互换、灵活适配的运输类汽车。

3.2

智能感知系统 intelligent perception system

通过集成多元传感器（如激光雷达、相机、毫米波雷达、惯性测量单元、卫星导航系统、路侧传感器单元等）、智能算法、计算单元等软硬件，实现对滑板底盘式运输类汽车自身状态、运行环境、交通参与者等关键信息的采集、全面感知与可靠理解，为车辆安全、稳定运行提供核心技术支撑的系统。

注：在不引起混淆的情况下，本文件中的“智能感知系统”简称为“系统”。

3.3

目标识别 object recognition

基于图像、视频、激光雷达点云等多模态数据，通过智能分析算法进行处理，实现特定目标的识别与其类别、空间位姿等属性信息的提取，为车辆环境感知提供基础数据的技术。

3.4

目标跟踪 object tracking

基于连续的图像、视频、激光雷达点云等多模态传感器数据，通过动态定位、状态预测与轨迹更新，实现对特定目标运动趋势的估计与稳定跟踪，为车辆决策与控制提供连续数据支撑的技术。

3.5

目标分割 object segmentation

基于图像或激光雷达点云数据，通过为每个像素或点分配类别或实例标签，实现对不同目标与背景的精确区分，并为环境感知提供精细化轮廓信息的技术。

3.6

交并比 intersection over union; IoU

指两个区域的交集与并集的比值，用于量化二者的重叠程度。

3.7

有效感知范围 effective detection range

指通过搭载的各类传感器，在预设环境条件下能够准确采集、识别并处理目标对象相关信息的空间范围与距离边界，且该范围内的感知结果满足预设精度、响应时效及可靠性要求。

4 总则

滑板底盘式运输类汽车智能感知系统的设计，宜兼顾通用设计原则与特定场景需求。通用层面，设计工作宜围绕安全性、准确性、实时性及可扩展性等核心原则展开。场景层面，面向港口、物流园区、城市环卫等典型运行环境，设计时需考虑场景特殊需求，重点考量全面精准的作业环境感知能力、持续稳定的系统运行效能，以及与关联系统及设备的高效协同交互能力。

5 智能感知系统设计时需考虑的因素

5.1 考虑具备的功能因素

5.1.1 安全性因素

5.1.1.1 系统宜在设计、开发、测试、部署、运行及维护的全生命周期中贯彻安全管理要求，以持续保障系统安全属性，并有效应对潜在安全威胁。

5.1.1.2 系统宜建立车辆信息安全防护机制，并符合 GB/T 44464 和 GB 44495 的要求。

5.1.1.3 系统应具备软件在线升级功能，并符合 GB 44496 的要求。

5.1.1.4 系统的有效感知范围宜覆盖车辆周围关键区域，包括前方、后方以及侧方等，为车辆安全行车与安全作业提供可信的数据支撑。

5.1.1.5 系统宜能精准识别火焰、烟雾等危险情况。

5.1.1.6 系统宜建立完备的安全文档体系，内容包括但不限于系统安全设计规范、安全操作指南及应急处置预案。

5.1.2 准确性因素

5.1.2.1 系统宜能对路缘、交通标志牌和车道标志线等静态环境要素以及车辆、行人等动态交通要素实现精确的感知与理解。

5.1.2.2 系统宜能实时、精确地划分可行驶区域与禁行区域，以确保车辆运行的空间合规性。

5.1.2.3 系统宜通过融合相机、激光雷达、毫米波雷达等车载传感器，并结合路侧单元感知数据，构建车路一体化的融合感知方案，提高感知精确性。

5.1.2.4 系统宜建立多元传感器的数据时空对齐机制，通过统一时间和空间基准，确保传感器感知数据融合的完整性、一致性与可信性。

5.1.2.5 系统宜能在极端天气、恶劣光照条件或复杂交通场景下，仍能维持感知功能的连续性和稳定性，确保目标识别、目标跟踪、目标分割等核心感知指标满足预设要求。

5.1.2.6 系统宜针对传感器制定并执行定期校准与维护制度，确保感知准确性不随时间推移而显著降低。校准周期不宜大于6个月。

5.1.3 实时性因素

5.1.3.1 系统宜能确保多元传感器数据全链路的实时性，能够高效完成数据的实时采集、快速处理、精准计算及稳定传输，保障数据在各流转环节无明显延迟。

5.1.3.2 系统宜采用枝剪、蒸馏等模型轻量化方法，结合硬件加速、数据预取缓存等技术，优化高频感知任务处理效率，缩短感知响应时间，保障高动态、高并发场景下的感知时效性与稳定性。

5.2 考虑具备的性能因素

5.2.1 安全性因素

系统的有效感知范围可参考如下：

- a) 系统宜具备对车辆前方 150 m 范围内目标的高精度感知能力；
- b) 系统宜具备对车辆后方 50 m 范围内目标的高精度感知能力；
- c) 系统宜具备对车辆两侧各 30 m 范围内目标的高精度感知能力。

5.2.2 准确性因素

5.2.2.1 系统宜具备对场景信息的准确感知与深度理解能力。根据感知任务差异，感知性能评价指标可参考如下：

- a) 精确率 (Precision)：目标识别性能指标，表示系统正确预测的目标数量与预测为正例的目标数量的比值。精确率计算见式 (1)：

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

TP ——真正例 (True Positives)，表示正确预测的正例样本数；

FP ——假正例 (False Positives)，表示错误预测为正例的负例样本数。

- b) 召回率 (Recall)：目标识别性能指标，表示系统正确预测的正例目标数量与实际为正例的目标数量的比值。召回率计算见式 (2)：

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

TP ——真正例 (True Positives)，表示正确预测的正例样本数；

FN ——假反例 (False Negative)，表示错误预测为负例的正例样本数。

- c) 二维交并比 (2D_IoU)：目标定位性能指标，如图 1 所示，表示目标预测框和目标真值框之间的交集面积与并集面积的比值。2D_IoU 计算见式 (3)：

$$2D_IoU = \frac{S(PnG)}{S(PUG)} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

P ——表示目标预测框；
 G ——表示目标真值框；
 S ——表示面积。

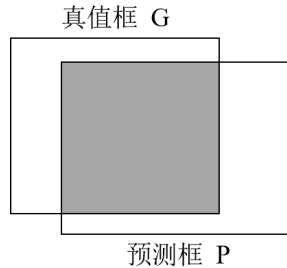


图1 2D_IoU 示意图

d) 三维交并比 (3D_IoU)：目标定位性能指标，如图 2 所示，表示目标预测框和目标真值框之间的交集体积与并集体积的比值。3D_IoU 计算见式 (4)，体积示意图见图 2：

$$3D_IoU = \frac{V(P \cap G)}{V(P \cup G)} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

P ——表示目标预测框；
 G ——表示目标真值框；
 V ——表示体积。

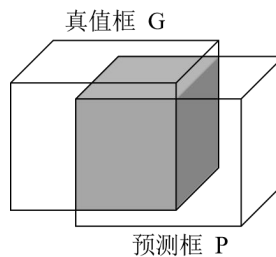


图2 3D_IoU 示意图

e) 平均精度均值 (mean Average Precision, mAP)：表示所有类别平均精度的均值，用于评估模型在不同精确率-召回率阈值下的综合检测性能。平均精度均值计算见式 (5) 和式 (6)：

$$AP = \int_0^1 P(r) dr \quad (5)$$

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i \times 100\% \quad (6)$$

式中：

AP ——表示平均精度；
 r ——表示当前召回率；
 $P(r)$ ——表示当前召回率所对应的精确率；
 N ——表示待测目标类别数。

f) 目标跟踪准确率 (Multiple Object Tracking Accuracy, MOTA)：目标跟踪性能指标，该指标综合评价跟踪过程中的定位准确性与分类准确性，其取值范围为 $(-\infty, 1]$ ，值越接近于 1，表明性能越高。目标跟踪准确率计算见式 (7)：

$$MOTA = \left(1 - \frac{FN+FP+ID_{SW}}{GT}\right) \times 100\% \quad (7)$$

式中：

- FN——假反例 (False Negative)，表示错误预测为负例的正例样本数；
 FP——假正例 (False Positives)，表示错误预测为正例的负例样本数；
 ID_{SW} ——表示跟踪过程中目标身份 ID 的错误切换次数；
 GT——表示实际存在的目标总数。

- g) 平均交并比 (mean Intersection over Union, mIoU)：目标分割性能指标，表示所有类别下，预测区域和真实区域之间的交集面积与并集面积的比值。平均交并比计算见式 (8)：

$$mIoU = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{TP_i}{TP_i+FP_i+FN_i} \times 100\% \quad (8)$$

式中：

- TP_i ——表示第*i*个正确预测的正例样本数；
 FP_i ——表示第*i*个错误预测为正例的负例样本数；
 FN_i ——表示第*i*个错误预测为负例的正例样本数；
 N——表示待测目标类别数。

5.2.2.2 系统的最大允许误差可参考如下：

- 目标识别的准确率宜不小于 95%，召回率宜不小于 95%；
- 2D 定位的平均精度均值宜不小于 95%，对于 3D 定位的平均精度均值可参考表 1；
- 目标跟踪准确率宜不小于 90%；
- 目标分割的平均交并比宜不小于 90%；
- 对目标运动速度感知的最大允许误差可参考表 2，对目标距离感知的最大允许误差可参考表 3。

表 1 3D 定位的最大允许误差

目标距离 (m)	平均精度均值 (mAP)
(0, 20]	≥90%
(20, 50]	≥88%
(50, 100]	≥85%
(100, 150]	≥80%

表 2 运动速度感知的最大允许误差

目标距离 (m)	横向速度误差 (m/s)	纵向速度误差 (m/s)
(0, 20]	0.1	0.3
(20, 50]	0.2	0.5
(50, 100]	0.3	1.0
(100, 150]	0.5	1.5

表 3 距离感知的最大允许误差

目标距离 (m)	横向距离误差 (m)	纵向距离误差 (m)
(0, 20]	0.1	0.3
(20, 50]	0.2	0.5
(50, 100]	0.3	1.0
(100, 150]	0.5	1.5

5.2.2.3 系统宜采用中国北斗卫星导航系统，或兼容格洛纳斯、伽利略等全球导航卫星系统的多模方案，为滑板底盘式运输类汽车构建高精定位基础。

5.2.2.4 在空旷无遮挡环境下，系统对滑板底盘式运输类汽车定位的最大允许误差宜不大于 5 cm。

5.2.2.5 在室内、隧道及高楼密集区域等卫星信号受遮挡场景下，系统对滑板底盘式运输类汽车定位的最大允许误差宜不大于 10 cm。

5.2.3 实时性因素

5.2.3.1 数据采集频率

系统的数据采集频率宜参考如下：

a) 视觉传感器的采集速率宜不低于 30 fps；

b) 毫米波雷达的采集频率宜不低于 20 Hz；

c) 激光雷达的采集频率宜不低于 15 Hz；

d) 惯性测量单元的采集频率宜不低于 100 Hz。

5.2.3.2 系统的数据处理频率宜不小于数据采集频率，避免因处理延迟导致感知信息失效。

5.2.3.3 数据在感知传感器与数据处理单元之间的编码、传输、解码过程中，传输时延宜不大于 50 ms。

5.3 考虑具备的其他因素

5.3.1 可扩展性因素

5.3.1.1 接口标准化

5.3.1.1.1 系统硬件接口宜遵循标准化设计原则，其物理结构、电气特性、通信协议等宜满足相关的行业规范或要求。

5.3.1.1.2 系统软件接口宜采用标准化的数据格式与规范化的数据传输机制，并对各项参数进行明确的定义。

5.3.1.2 系统模块化

5.3.1.2.1 系统宜采用模块化设计，依据功能属性与业务逻辑差异，将各功能单元封装为具备明确功能边界、标准化输入输出接口的独立模块，降低不同功能之间的耦合程度。

5.3.1.2.2 系统的配置参数宜支持通过独立的配置文件或可视化交互界面进行修改，支持用户根据实际应用场景的差异灵活配置参数，以保障系统在不同场景下的适配性与功能稳定性。

5.3.1.2.3 系统宜具有良好的集成能力，可便捷地与决策模块、底盘控制模块等车辆其他模块进行数据交互。

5.3.2 安全冗余设计原则

5.3.2.1 关键感知区域宜采用多种类型或多个数量传感器组合，以应对部分传感器失效或性能下降的情况，确保感知连续性。

5.3.2.2 系统宜采用互补通信链路对关键数据进行传输，通过有线通信与无线通信的协同配合，确保数据传输的完整性与可靠性。

5.3.2.3 系统宜配置备用存储单元，支持感知结果数据与运行日志的连续性存储。

5.3.3 环境适应性

5.3.3.1 系统宜能有效应对雨、雪、雾、强光及扬尘等复杂条件，确保其感知性能不受显著影响。

5.3.3.2 系统的电子电气部件宜具备良好的电磁兼容性，宜符合 GB 34660 的要求。

5.3.3.3 系统宜能有效识别路面积水、油污、结冰、凹坑等不良状况，并辅助调整车速、轮胎驱动力、制动强度等行驶参数，避免因车辆打滑、颠簸引发的货物损坏或行驶安全风险。

5.3.4 故障诊断与预警

5.3.4.1 系统宜能完整记录运行状态、数据处理过程及故障信息等关键数据，并符合 GB 44497 的要求。

5.3.4.2 当关键部件发生故障时，宜通过功能降级或安全停车等方式保障系统维持最低安全运行水平，并且整个过程持续发出报警信号。

5.3.4.3 系统的报警信号宜通过光学、声学等一种或多种显著方式及时发出，同时将故障车辆的 VIN 码、故障码、故障类别、发生时间等关键信息同步传输至数据管理平台。

5.3.5 数据管理平台

5.3.5.1 系统宜配置数据管理平台，对数据采集、存储、使用至销毁的全生命周期实施规范化管理。

5.3.5.2 数据管理平台宜具备高并发数据处理与访问的能力，从而确保系统在高负载时的稳定性。

6 港口码头场景下系统设计时需考虑的因素

6.1 概要

港口码头场景下的智能感知系统设计，宜充分适配该场景特有的环境特征与作业运行特点，以满足高可靠性、强稳定性及高效作业等核心需求，助力提升运输作业的灵活性与整体效率。本章旨在明确此类场景下的专项设计考量要点，为系统实现精准感知与稳定运行提供针对性指导。在实际应用中，本章内容宜与第 5 章所描述的功能因素、性能因素以及其他因素协同使用，共同构成完整的场景化设计依据。

6.2 考虑具备的特殊因素

6.2.1 作业环境感知

6.2.1.1 系统宜具备集装箱高精度识别能力，可精准提取集装箱编号、尺寸等关键信息。考虑到集装箱普遍采用标准化尺寸，系统设计时可引入尺寸先验作为约束条件，进而提升复杂场景下的识别精度与检测可靠性。

6.2.1.2 系统宜能够对集装箱的水平朝向角、横摆角、俯仰角等姿态参数实现精准识别，并在运输过程中持续监测其状态变化，保障集装箱运输过程中的稳定性与行车安全，避免因姿态异常引发侧翻、坠落等安全事故。

6.2.1.3 系统宜具备集装箱载重状态感知能力，判断并识别超载、偏载等异常情况，降低运输过程中车辆侧翻、制动距离过长等风险。

6.2.1.4 系统宜能有效感知港口码头场景中的多类型目标，包括集卡、堆高机等作业车辆，岸桥、龙门吊等专用作业设备，以及集装箱堆场、装卸平台等固定设施和作业人员。

6.2.2 系统可靠性

6.2.2.1 系统宜能耐受恶劣温/湿度、持续机械振动及盐雾腐蚀，以保障感知设备的长期稳定运行。

6.2.2.2 系统宜具备可靠的信号抗遮挡能力，能适配港口码头货物堆放、大型设备形成的遮挡场景，系统无功能中断或性能降级。

6.2.2.3 系统宜具备传感器健康状态的实时监测功能，能检测镜头污损、雷达安装偏移、传感器性能衰减等常见异常。

6.2.3 交互协同

6.2.3.1 系统宜支持与港口码头其他作业设备的双向数据通信，以共享环境感知结果。

6.2.3.2 系统宜具备与港口码头管理系统的协同能力，兼容生产、运维、安防等系统的接口规范，并实时传输车辆当前位置、异常预警等关键数据。

7 物流园区场景下系统设计时需考虑的因素

7.1 概要

物流园区场景下的智能感知系统设计，宜充分结合园区内复杂的物理环境与多样化的作业需求，以强化多维度感知能力为核心，支持运输流程的柔性化与作业效率的全面提升。本章旨在明确该场景下的专项设计考量要点，为系统实现可靠感知与高效协同提供针对性指导。在实际应用中，本章内容宜与第5章所描述的功能因素、性能因素及其他通用因素协同使用，共同构成完整的场景化设计依据。

7.2 考虑具备的特殊因素

7.2.1 作业环境感知

7.2.1.1 系统宜具备对托盘、集装箱等多类型货物目标的识别与状态感知能力，可提取其类型、编号、外观完整性等信息，为装卸与转运调度提供数据支持。

7.2.1.2 系统宜具备对货物装载状态的实时监测能力，识别货物突出、倾斜、移位等不规范情况，以防范运输过程中的安全风险。

7.2.1.3 系统宜能精准感知行人、叉车、搬运车等动态目标，为区域防撞与交通调度提供感知数据。

7.2.1.4 系统宜具备对装卸区位置与姿态的精确感知能力，引导运输类汽车与装卸区实现厘米级精准对接，提升货物装卸效率。

7.2.2 系统可靠性

7.2.2.1 系统宜具备在粉尘、雨水、油污等典型复杂环境下持续稳定工作的能力，避免感知性能显著衰减。

7.2.2.2 系统宜具备宽范围光照适应性，在逆光、眩光及低光照等条件下保持感知一致性，并能够快速响应室内外光照突变。

7.2.2.3 系统宜采用多传感器融合或超宽带等辅助定位技术，以应对因建筑遮挡导致的定位信号衰减或失效问题。

7.2.3 交互协同

7.2.3.1 系统宜支持与园区其他作业设备之间的数据交互，通过标准化接口实现感知信息与设备状态的共享，辅助协同作业与冲突避免。

7.2.3.2 系统宜具备与仓储管理、运输管理等系统的信息联动能力，上传道路状态、货物位置、障碍物信息等感知数据，支持园区运营决策与效率提升。

8 城市环卫场景下系统设计时需考虑的因素

8.1 概要

城市环卫场景下的智能感知系统设计，宜充分考量该场景在开放道路、人行区域及多种天气条件下运行的特点，重点满足作业安全、运行效率及精细化管理等核心需求。本章旨在明确此类场景下的专项设计考量要点，为系统实现安全、高效与可靠的环卫作业提供针对性指导。在实际应用中，本章内容宜与第5章所描述的功能因素、性能因素及其他通用因素协同使用，共同构成完整的场景化设计依据。

8.2 考虑具备的特殊因素

8.2.1 作业环境感知

8.2.1.1 系统宜具备对垃圾体积、重量等关键信息的实时感知能力，为负载管理、路径规划与作业调度提供数据支持，并辅助防范车辆超载。

8.2.1.2 系统宜能够检测垃圾装载过程的规范性，识别可能引起抛洒、滴漏等环境污染的潜在风险。

8.2.1.3 系统宜具备垃圾腐败特征气体的检测与溯源能力，防止异味扩散与环境污染。

8.2.2 系统可靠性

8.2.2.1 系统宜具备全天候稳定作业能力，适应强光、逆光、低光照等复杂光照场景，保障全天候感知性能及作业连续性。

8.2.2.2 系统宜采用抗污染设计，支持高频次自动清洁与快速维护。

8.2.2.3 系统传感器外壳宜采用特殊防腐蚀处理，以保障传感器长期稳定运行，延长使用寿命。

8.2.3 交互协同

8.2.3.1 系统宜具备与其他运输类汽车的交互通信能力，能够共享车辆状态、行驶意图等信息。

8.2.3.2 系统宜具备与城市环卫管理系统的交互通信能力，能够共享运输任务需求、车辆位置、作业进度等信息。

参 考 文 献

- [1] GB/T 39263 道路车辆 先进驾驶辅助系统（ADAS）术语及定义
 - [2] GB/T 40429 汽车驾驶自动化分级
-