

ICS

T/GXDSL

团 体 标 准

T/GXDSL 042—2025

自动驾驶系统边缘计算协同标准

Edge Computing Collaboration Standards for Autonomous Driving Systems

征求意见稿

2025 - - 发布

2025 - - 实施

广西电子商务企业联合会 发布

目 次

前 言 II

一、引言 1

二、范围 1

三、规范性引用文件 2

四、术语和定义 2

五、技术要求 5

六、测试方法 5

七、实施要求 5

八、附则 6

附录 A（规范性附录）：通信协议规范 6

附录 B（资料性附录）：典型应用场景 6

附录 C（规范性附录）：测试用例集 7

前 言

本文件依据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。

本文件由广西产学研科学研究院提出。

本文件由广西电子商务企业联合会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

自动驾驶系统边缘计算协同标准

一、引言

随着 5G 通信、人工智能和物联网技术的快速发展，自动驾驶技术正迎来革命性突破。边缘计算作为实现车路协同的关键使能技术，其重要性日益凸显。本标准基于广西独特的山地地形和东盟跨境交通特点，重点解决多源异构设备兼容性、低时延协同决策、数据安全共享等核心问题，为智能网联汽车产业发展提供技术规范。

本标准的制定参考了国际电信联盟（ITU）、国际标准化组织（ISO）的最新标准框架，同时紧密结合我国《智能网联汽车技术路线图 2.0》和《数字交通“十四五”发展规划》的具体要求。标准实施后将有效提升自动驾驶系统在复杂环境下的可靠性和安全性，预计可降低 30%以上的交通事故率。

二、范围

本标准规定了自动驾驶系统中边缘计算节点的技术要求、测试方法与实施规范，适用于 L3 级及以上自动驾驶车辆、智能路侧基础设施、云控管理平台及车联网通信设备的研发、部署与运营。其技术覆盖范围包括但不限于以下领域：

边缘计算节点的功能性能：涵盖实时数据处理能力（支持 8 路以上多模态传感器并行处理）、低延迟通信协议（5G-V2X uRLLC 时延 $\leq 10\text{ms}$ ）、动态资源调度（任务迁移成功率 $\geq 99\%$ ）以及环境适应性（工作温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim +85^{\circ}\text{C}$ ，防护等级 IP67）。

协同感知与决策系统：通过 V2X 技术实现车辆与路侧设备的数据交互，目标检测准确率 $\geq 99\%$ ，数据融合时间 $\leq 50\text{ms}$ ，支持对机动车、非机动车、行人、交通标志及道路障碍物等 5 类交通参与者的实时跟踪与预测。

安全与可靠性保障：符合 ISO 26262 ASIL-D 功能安全等级，采用国密 SM2/SM3/SM4 算法实现通信加密与身份认证，密钥更新周期 ≤ 24 小时，入侵检测准确率 $\geq 99.9\%$ ，单点故障恢复时间 $\leq 200\text{ms}$ 。

跨境与多场景适配：针对中国—东盟跨境物流通道，要求边缘节点支持多语言数据处理（含越南语、

泰语等东盟国家语言），并在广西自贸区完成数据本地化预处理，确保原始数据不出境；针对山区高速公路连续下坡路段，需实现坡度感知与车重数据的动态融合，预警响应时间 $\leq 80\text{ms}$ 。

典型应用场景包括：

山区高速公路：在连续下坡、急转弯及团雾路段部署边缘节点，实时计算车辆制动距离与坡度关系，动态调整限速建议，通信延迟 $\leq 30\text{ms}$ ，定位精度 $\leq 0.3\text{m}$ 。

跨境智能通关：于中越边境口岸集成车牌识别、货物清单核验与电子围栏功能，通关效率提升 40%，车牌识别准确率 $\geq 98\%$ 。

城市复杂路口：通过路侧边缘节点协调多向车流，预测冲突轨迹并提前 200ms 发出预警，降低 30% 以上碰撞风险。

特殊天气应急响应：在暴雨（降雨量 $\geq 50\text{mm/h}$ ）、沙尘（能见度 $\leq 30\text{m}$ ）条件下，启动冗余通信链路（5G+DSRC 双模），数据包丢失率 $\leq 0.5\%$ 。

本标准不适用于 L2 级以下辅助驾驶系统及非车规级工业边缘计算设备，且禁止在未经认证的开放道路进行技术部署。

三、规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 40429-2021 汽车驾驶自动化分级

GB/T 39263-2020 道路车辆 先进驾驶辅助系统（ADAS）术语和定义

YD/T 3751-2020 车联网边缘计算总体技术要求

ISO 21434:2021 道路车辆 网络安全工程

ITU-T Y.4476 车联网边缘计算架构

SAE J3016 自动驾驶分级标准

T/CSAE 158-2020 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准

四、术语和定义

（一）边缘计算节点（Edge Computing Node, ECN）

部署于路侧或车载终端，具备本地化实时计算与决策能力的硬件单元，其核心特征包括：

计算能力：浮点运算性能 ≥ 16 TOPS（Tera Operations Per Second），支持多线程并行处理至少 8 路传感器数据流（含激光雷达、毫米波雷达、摄像头等）；

通信协议：兼容 5G-V2X（频段 5905–5925MHz）与 DSRC（专用短程通信），支持 uRLLC（超可靠低延迟通信）模式，端到端通信延迟 $\leq 50\text{ms}$ ；

环境适应性：满足 GB/T 28046.3 标准中定义的抗震、防尘与防水要求，在 $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ 温度范围内可连续工作 ≥ 5000 小时；

功能扩展：支持动态任务卸载（Dynamic Task Offloading），可根据网络负载（RSSI $\geq -80\text{dBm}$ ）与计算资源利用率（ $\leq 70\%$ ）实时迁移任务至相邻节点。

（二）协同感知系统（Cooperative Perception System, CPS）

通过车路协同（V2X）技术整合多源传感器数据的环境感知体系，其技术要求包括：

数据融合精度：采用深度学习与卡尔曼滤波混合算法，目标检测准确率 $\geq 99\%$ ，横向定位误差 $\leq 0.15\text{m}$ ，纵向误差 $\leq 0.2\text{m}$ ；

实时性要求：从传感器数据采集到融合结果输出的全流程时间 $\leq 50\text{ms}$ ，支持对机动车、非机动车、行人、交通信号灯及静态障碍物的同步跟踪；

跨设备兼容性：可接入符合 SAE J2735 标准的 BSM（基本安全消息）与 MAP（地图数据）格式，支持与主流自动驾驶平台（如 Apollo、Autoware）的无缝对接。

（三）动态资源调度（Dynamic Resource Scheduling, DRS）

根据实时网络状态与计算负载动态分配任务的策略，其核心指标包括：

决策效率：资源分配算法周期 $\leq 10\text{ms}$ ，支持基于强化学习的自适应优化模型；

任务迁移成功率：在 5G 网络覆盖下 $\geq 99\%$ ，DSRC 网络下 $\geq 95\%$ ；

资源利用率：CPU 与 GPU 综合利用率 $\geq 80\%$ ，内存占用率 $\leq 70\%$ ；

容错机制：当单个节点故障时，系统可在 200ms 内将任务迁移至备用节点，且服务中断时间 $\leq 50\text{ms}$ 。

（四）安全通信机制（Secure Communication Mechanism）

保障车路协同数据安全传输的技术方案，具体要求为：

加密算法：采用国密 SM4 对称加密算法对通信数据加密，SM2 非对称算法用于数字证书认证，SM3 哈希算法保障数据完整性；

密钥管理：动态密钥更新周期 ≤ 24 小时，支持基于区块链的分布式密钥分发体系；

攻击防御：可识别并拦截重放攻击、中间人攻击及 DDoS 攻击，异常流量检测准确率 $\geq 99.9\%$ ；

隐私保护：对车辆轨迹、用户身份等敏感信息进行差分隐私处理，数据脱敏后不可逆解析率 $\leq 0.01\%$ 。

（五）时间敏感网络（Time-Sensitive Networking, TSN）

支持确定性低延迟通信的网络架构，其核心特性包括：

时钟同步：基于 IEEE 802.1AS 协议，节点间时间同步误差 $\leq 1\mu\text{s}$ ；

流量调度：支持抢占式传输（Preemption）与流量整形（Traffic Shaping），确保高优先级数据（如紧急制动指令）的传输延迟 $\leq 10\text{ms}$ ；

可靠性保障：通过冗余路径（Redundant Path）与快速环网保护（FRP）技术，网络可用性 $\geq 99.999\%$ 。

（六）功能安全降级（Functional Safety Degradation）

在系统部分失效时的应急处理机制，要求：

降级模式：当边缘节点失效时，车载系统可切换至本地计算模式，响应时间延长至 $\leq 300\text{ms}$ ；

人机交接：L3 级系统需在 5 秒内提示驾驶员接管，并提供简化环境模型（如仅保留前方 100m 道路信息）；

记录与追溯：故障事件需记录至黑匣子，数据包含故障代码、时间戳及降级前后的系统状态对比。

五、技术要求

自动驾驶边缘计算系统需构建分层分布式架构，感知层集成毫米波雷达（探测距离 $\geq 200\text{m}$ ）、激光雷达（角分辨率 $\leq 0.1^\circ$ ）、摄像头（分辨率 ≥ 800 万像素）等高精度传感器，通信层支持 5G-V2X（uRLLC 时延 $\leq 10\text{ms}$ ）与 DSRC（通信距离 $\geq 500\text{m}$ ）双模协议，确保城市道路端到端通信延迟 $\leq 50\text{ms}$ 、高速公路 $\leq 30\text{ms}$ 。计算层配备算力 $\geq 16\text{TOPS}$ 的 AI 加速芯片，支持 TensorRT 等推理框架，实现局部决策响应时间 $\leq 100\text{ms}$ 、数据更新频率车辆状态 $\geq 10\text{Hz}$ 、路侧信息 $\geq 5\text{Hz}$ 。应用层需涵盖紧急制动预警、交叉口冲突避免等核心功能，定位精度在开阔区域 $\leq 0.1\text{m}$ 、城市峡谷 $\leq 0.3\text{m}$ ，时间同步精度 $\leq 1\mu\text{s}$ ，速度估计误差 $\leq 0.1\text{m/s}$ 。安全要求方面，系统需符合 ISO 26262 ASIL-D 功能安全等级，硬件冗余设计确保关键模块备份 ≥ 2 套，故障自检覆盖率 $\geq 95\%$ ；信息安全采用国密 SM4 算法加密通信数据，数字证书双向认证，入侵检测准确率 $\geq 99.9\%$ ，并通过 CRC32+SHA256 双重校验保障数据完整性。动态资源调度需在 10ms 决策周期内实现 $\geq 80\%$ 资源利用率，任务迁移成功率 $\geq 99\%$ ，系统可用性 $\geq 99.99\%$ ，单点故障恢复时间 $\leq 200\text{ms}$ ，数据包丢失率 $\leq 0.1\%$ 。

六、测试方法

测试体系分为实验室仿真、封闭场地与开放道路三阶段。实验室测试中，硬件需通过 $-40^\circ\text{C}\sim+85^\circ\text{C}$ 温度循环试验与 5~500Hz 随机振动测试（持续 8 小时），防护等级达到 IP67；软件算法使用 KITTI 标准数据集验证目标检测准确率 $\geq 99\%$ ，压力测试模拟 1000 终端并发接入，兼容性测试覆盖主流自动驾驶平台。封闭场地测试在广西钦州自动驾驶测试场实施，累计验证里程 $\geq 1000\text{km}$ ，模拟暴雨（降雨量 $\geq 50\text{mm/h}$ ）、浓雾（能见度 $\leq 50\text{m}$ ）等极端场景，并注入通信中断、传感器失效等故障以验证系统鲁棒性。开放道路测试于南宁五象新区开展，要求连续无故障运行 ≥ 500 小时，覆盖 ≥ 100 个典型路口，实时采集通信延迟、定位精度等数据，端到端延迟达标率 $\geq 99\%$ ，定位偏差需满足开阔区域 $\leq 0.1\text{m}$ 、城市峡谷 $\leq 0.3\text{m}$ 。所有测试数据需同步至区块链存证平台，确保可追溯性。

七、实施要求

部署实施需严格遵循场景化规范：城市道路路侧设备按 $\leq 500\text{m}$ 间距布设，安装高度 5~6m；高速公

路间距 $\leq 1\text{km}$ ，高度 $6\sim 8\text{m}$ ；隧道、桥梁等特殊路段加密至 300m 内。车载设备安装需确保不影响车辆安全性能，支持 $12\text{V}/24\text{V}$ 双电压输入，散热设计维持工作温度 $\leq 85^{\circ}\text{C}$ 。运营维护要求每月 ≥ 1 次设备巡检，季度软件升级采用差分OTA技术（单节点耗时 ≤ 3 分钟），每日增量备份数据，原始感知数据保留7天，脱敏特征数据存档1年。故障响应机制规定城市区域 ≤ 2 小时、高速公路 ≤ 4 小时到场处置，关键设备修复时限 ≤ 8 小时。跨境物流场景需通过中越边境口岸实车测试，验证车牌识别准确率 $\geq 98\%$ 、货物清单核验效率提升40%。针对山区高速公路连续下坡路段，需部署坡度感知与车重监测融合系统，预警响应时间 $\leq 80\text{ms}$ ；城市复杂路口协同感知系统需支持 ≥ 5 类交通参与者实时跟踪，数据融合时间 $\leq 50\text{ms}$ 。

八、附则

本标准由广西电子商务企业联合会负责解释。本标准自2025年 月 日起实施。标准修订应每两年评估一次，重大修订需经技术委员会审议通过。

附录 A（规范性附录）：通信协议规范

A.1 消息格式

- 消息头：包含时间戳、消息ID、源地址等。
- 消息体：采用ASN.1编码。
- 校验码：CRC32校验。

A.2 消息类型

- BSM：基本安全消息，包含位置、速度等信息。
- MAP：地图数据，更新频率 $\geq 1\text{Hz}$ 。
- SPAT：信号灯信息，更新频率 $\geq 5\text{Hz}$ 。

附录 B（资料性附录）：典型应用场景

B.1 山区高速公路应用

- 连续下坡预警。
- 团雾路段协同感知。
- 长隧道定位增强。

B.2 城市交通应用

- 交叉口冲突避免。
- 特种车辆优先通行。
- 弱势交通参与者保护。

附录 C（规范性附录）：测试用例集

C.1 通信性能测试

- 多跳通信测试。
- 高密度场景测试。
- 抗干扰测试。

C.2 决策能力测试

- 紧急制动测试。
- 换道决策测试。
- 极端场景处理测试。