

ICS 35.240

CCS L77

# 团体标准

T/JSHLW 002-2026

## 车联网多智能体监控系统架构指南

Architectural guide for multi-agent monitoring system in internet of vehicles

2026-02-25 发布

2026-03-25 实施

江苏省互联网协会 发布

## 目 次

前 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 架构设计原则 .....	2
5.1 分层解耦与开放兼容 .....	2
5.2 协同与自治平衡 .....	3
5.3 安全与隐私保护 .....	3
5.4 高可靠与低延时 .....	3
6 系统参考架构 .....	3
7 核心智能体功能要求 .....	4
7.1 车端智能体 .....	4
7.1.1 本地环境感知要求 .....	4
7.1.2 车辆状态监控要求 .....	4
7.1.3 时间敏感型决策与响应 .....	4
7.1.4 协同交互 .....	4
7.2 路侧/边缘智能体 .....	4
7.2.1 区域态势感知与融合 .....	4
7.2.2 局部协同计算与决策 .....	5
7.2.3 高算力任务代理与分发 .....	5
7.2.4 低延时监控响应 .....	5
7.3 云端智能体 .....	5
7.3.1 全局态势感知与宏观分析 .....	5
7.3.2 复杂模型训练与知识库构建 .....	6
7.3.3 长期策略制定与模型下发 (OTA) .....	6
7.3.4 海量数据存储与离线分析 .....	6
8 协同监控 .....	6
8.1 协同感知 .....	6
8.1.1 多源数据融合机制 .....	6
8.1.2 目标协同追踪 .....	7
8.2 协同决策 .....	7
8.2.1 基于合约网 (Contract Net) 的任务分配 .....	7
8.2.2 分布式共识算法 .....	8
8.2.3 联合学习与推理 .....	8
8.3 协同响应与执行 .....	8
8.3.1 联动控制机制 .....	8
8.3.2 分级预警信息发布 .....	9
9 关键使能技术 .....	9
9.1 通信技术要求 .....	9

9.2 计算技术要求	10
9.2.1 边缘计算 (MEC)	10
9.2.2 部署要求	10
9.3 人工智能技术要求	11
9.3.1 深度学习用于感知	11
9.3.2 强化学习用于决策	11
10 安全与隐私保障	11
10.1 系统安全	11
10.1.1 智能体身份认证与授权	11
10.1.2 通信安全与消息完整性	12
10.2 数据隐私	12
10.2.1 匿名化处理	12
10.2.2 隐私计算技术应用	12
10.3 功能安全	13
10.3.1 智能体失效模式下的降级策略	13
10.3.2 监控功能的冗余设计	13
参考文献	15

## 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》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。

本文件由江苏省互联网协会提出并归口。

本文件起草单位：南京理工大学、江苏省互联网行业联合会、江苏悦达专用车有限公司、中国科学技术大学、华东交通大学、宜春市公路事业发展中心上高分中心、南京凌云科技发展有限公司、江苏省气象信息中心（江苏省气象档案馆）、苏交科集团股份有限公司、江苏智城慧宁交通科技有限公司、南京智慧交通信息股份有限公司。

本文件主要起草人：戚湧、郝冠亚、周竹萍、邵凤明、秦家虎、邓明君、陈思遥、陈璐、黄亮、马麒超、曾招坤、刘剑、高宁波、陈军、杨勇刚、谢文文、张兵、付维明、耿丹、赵小平、姚昌梁、刘金伟、吴晨、张涛。

# 车联网多智能体监控系统架构指南

## 1 范围

本文件规定了车联网多智能体监控系统的术语定义、系统目标与设计原则、参考架构、核心智能体功能要求、协同监控要求、关键使能技术、安全与隐私保障措施以及性能指标与评估方法。

本文件适用于车联网领域内多智能体监控系统的规划、设计、开发、测试及运维。

## 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 35273-2020 信息安全技术 个人信息安全规范

GB/T 44373-2024 智能网联汽车 术语和定义

## 3 术语和定义

GB/T 44373-2024 界定的以及以下术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**车联网** internet of vehicles, IoV

以行驶中的车辆为信息感知对象，依托新一代信息通信技术（包含5G、物联网、人工智能、大数据等），实现车与车、车与路、车与人、车与服务平台的全方位网络连接，构建智能化交通系统，实现数据交互与智能决策，提升车辆智能驾驶水平。

### 3.2

**智能体** agent

能够感知环境、进行决策并执行动作的软件或硬件实体，具有自主性、交互性和适应性。

### 3.3

**车联网多智能体监控系统** IoV Multi-Agent Monitoring System

应用多智能体技术，在车联网环境中实现分布式感知、协同决策与智能化监控的系统。

### 3.4

### 感知 perception

智能体通过传感器识别车辆周边行驶环境信息的技术。

注：周边行驶环境包括可通行区域、道路标志、道路标线、交通参与者、障碍物等。

[来源：GB/T44373-2024 4.1，有修改]

### 3.5

#### 决策 decision

智能体基于感知信息进行分析并做出行动选择的过程。

### 3.6

#### 协同 Collaboration

多个智能体之间通过通信与协商，共同完成任务的过程。

### 3.7

#### 联邦学习 federated learning

一种分布式机器学习方法，允许多个参与方在不共享原始数据的情况下共同训练模型。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

C-V2X：蜂窝车与万物通信（Cellular Vehicle to Everything）

DSRC：专用短程通信（Dedicated Short Range Communications）

IoV：车联网（Internet of Vehicles）

MAS：多智能体系统（Multi-Agent System）

MEC：多接入边缘计算（Multi-Access Edge Computing）

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

OTA：空中下载技术（Over-the-Air）

RSU：路侧单元（Road Side Unit）

URLLC：超高可靠超低时延通信（Ultra-Reliable and Low-Latency Communications）

V2X：车与万物通信（Vehicle to Everything）

## 5 架构设计原则

### 5.1 分层解耦与开放兼容

系统可按“智能体层 - 协同层 - 数据层 - 应用层”分层设计，各层功能边界清晰，层间应提供标准化交互接口，应支持不同厂商设备的接入与替换，同时兼容现有车联网通信协议与计算架构。

## 5.2 协同与自治平衡

智能体在保持“自治性”的同时，应通过协同机制实现全局优化，避免“过度协同”导致的响应延迟或“过度自治”导致的全局混乱。

## 5.3 安全与隐私保护

系统设计需覆盖“设备安全、通信安全、数据安全、功能安全”：通过身份认证防止设备伪造，通过加密传输保障通信安全，通过匿名化、联邦学习保护数据隐私，通过冗余设计确保监控功能不失效。

## 5.4 高可靠与低延时

系统需满足车联网实时性需求：紧急场景端到端响应延迟不超过 100ms；同时通过设备冗余、网络切片等技术，确保系统在设备故障或网络波动时仍能正常运行。

## 6 系统参考架构

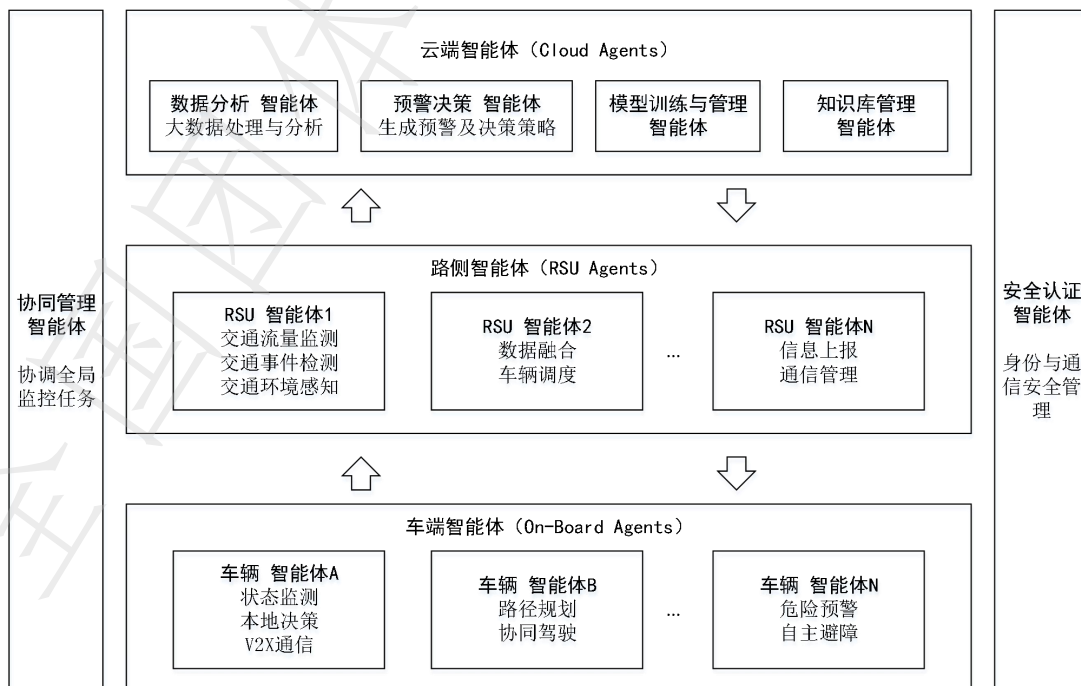


图 1 系统架构

## 7 核心智能体功能要求

### 7.1 车端智能体

#### 7.1.1 本地环境感知要求

可支持通过摄像头、毫米波雷达、激光雷达采集周边环境数据，具体技术要求如下：

- a) 周边车辆的位置精度 $\leq 1\text{m}$ 、速度精度 $\leq \pm 0.5\text{ m/s}$ 、航向角（精度 $\leq 1^\circ$ ）；
- b) 行人与非机动车的识别距离 $\geq 50\text{m}$ ，识别准确率 $\geq 95\%$ ；
- c) 对车道线位置、交通信号灯状态的检测识别准确率 $\geq 98\%$ ；
- d) 应支持采集车辆自身状态数据，包括：电池电量、制动系统状态、转向系统状态，数据采集频率 $\geq 10\text{ Hz}$ 。

#### 7.1.2 车辆状态监控要求

应实时监控车辆关键部件状态，当检测到异常时，及时生成本地预警信息；

应具备初步故障诊断能力，基于历史故障数据与实时数据，判断故障类型，诊断准确率 $\geq 90\%$ 。

#### 7.1.3 时间敏感型决策与响应：

对于紧急场景，应支持自主决策与执行，响应延迟应不大于  $100\text{ ms}$ ，具体包括：

- a) 紧急制动：当碰撞风险 $\geq 90\%$  时，触发车辆制动，制动距离符合 GB 7258-2017 要求；
- b) 车道偏离纠正：当车辆偏离车道且无转向信号时，触发转向辅助；

对于非紧急场景，需先与周边车端智能体、路侧智能体协同，确认安全后执行决策。

#### 7.1.4 协同交互

应支持向路侧/边缘智能体上传本地感知数据与车辆状态数据，非紧急场景数据上传频率 $\geq 1$  次/秒，紧急场景数据上传频率 $\geq 10$  次/秒；

应支持接收路侧/边缘/云端智能体下发的决策指令，并执行相应动作；

应支持与周边车端智能体进行 V2V 通信。

### 7.2 路侧/边缘智能体

#### 7.2.1 区域态势感知与融合

路侧智能体（RSU）应支持采集区域内交通数据，包括：

- a) 交通流量：统计车道级车流量（精度误差 $\leq 5\%$ ）、平均车速（精度误差 $\leq 5\%$ ），数据更新频率 $\geq 1$  Hz；
- b) 交通事件：识别闯红灯、逆行、车辆拥堵等事件，识别准确率 $\geq 95\%$ ，事件响应延迟 $\leq 1$  秒；

边缘智能体应支持多源数据融合，包括：

- a) 车端与路侧感知数据融合：将车端雷达数据与路侧摄像头数据融合，提升目标识别准确率（ $\geq 98\%$ ）；
- b) 多路侧设备数据融合：将同一区域内多个路侧智能体的感知数据融合，消除感知盲区（盲区面积 $\leq 5\%$ ）。

### 7.2.2 局部协同计算与决策

- a) 应支持局部路径规划：基于区域交通流数据，为进入区域的车辆规划最优路径；
- b) 应支持群体协同控制：对于车队、公交车等群体车辆，制定协同行驶策略；
- c) 决策准确率 $\geq 90\%$ ，决策延迟 $\leq 200$  ms。

### 7.2.3 高算力任务代理与分发

应支持接收车端智能体高算力任务请求，代理完成计算并返回结果；

应支持将大规模计算任务拆分为多个子任务，分发至多个边缘智能体或云端智能体协同完成。

### 7.2.4 低延时监控响应

对于区域内发生的交通事件，应支持快速生成响应方案，响应延迟 $\leq 1$  秒；

应支持向车端智能体、交通管理平台实时推送监控结果，信息推送成功率 $\geq 99.9\%$ 。

## 7.3 云端智能体

### 7.3.1 全局态势感知与宏观分析

应支持汇聚多区域边缘智能体上传的数据，构建全局交通态势图，包括：

- a) 全局交通流量分布：展示城市级或区域级交通流量热力图，数据更新频率 $\geq 5$  分钟/次；

- b) 全局交通事件统计：统计不同类型交通事件的发生频率、地点分布，生成周/月分析报告；

应具备宏观交通运行分析能力，综合评估交通系统运行效率，分析结果准确率应 $\geq 90\%$ 。

### 7.3.2 复杂模型训练与知识库构建

MAS 应支持训练复杂机器学习模型，包括：

- a) 基于历史交通数据训练交通事件预测模型，预测未来一定时间段内交通事件发生概率；
- b) 基于海量车辆状态数据训练车辆故障预测模型，预测车辆故障风险；
- c) 支持构建全局知识库，存储交通规则、设备参数、历史故障案例等信息，知识库更新频率 $\geq 1$ 周。

### 7.3.3 长期策略制定与模型下发（OTA）

应支持制定长期交通管理策略，包括：区域交通管控策略、智能体协同优化策略；

应支持通过 OTA 技术向边缘/车端智能体下发训练好的模型、策略参数，下发过程不应影响智能体正常运行。

### 7.3.4 海量数据存储与离线分析

应支持存储海量历史数据，包括：

- a) 感知数据：存储车端、路侧智能体上传的原始感知数据，存储时长应不少于 3 个月；
- b) 决策与执行数据：存储智能体的决策日志、执行结果，存储时长大于 1 年；

应支持离线数据分析，挖掘交通运行规律、智能体性能瓶颈，为系统优化提供依据，分析结果生成时间不超过 24 小时。

## 8 协同监控

### 8.1 协同感知

#### 8.1.1 多源数据融合机制

- a) 数据预处理

各智能体应对采集的原始数据进行清洗（去除噪声、异常值）、标准化（统一数据格式、坐标系），预处理后数据准确率应不小于 95%；

### b) 数据融合

数据层融合：应将车端、路侧智能体的原始感知数据直接融合，以提升数据密度；

特征层融合：应提取各智能体感知数据的特征，再进行融合，以减少数据传输量；

决策层融合：应融合各智能体的感知决策结果确定最终结果，以提升决策可靠性；

融合算法要求：可支持卡尔曼滤波、粒子滤波、深度学习等算法，融合后目标识别准确率应 $\geq 98\%$ ，定位精度 $\leq 0.5\text{m}$ 。

## 8.1.2 目标协同追踪

### a) 目标标识

应为每个监控目标分配唯一 ID，ID 在目标进入监控区域时生成，离开时注销，确保跨智能体追踪的一致性；

### b) 追踪协同

初始追踪：应由距离目标最近的智能体发起初始追踪，记录目标位置、速度等信息；

信息交接：当目标即将离开当前智能体的感知范围时，当前智能体将目标追踪数据（ID、位置、速度）发送至下一个覆盖该区域的智能体；

持续追踪：接收方智能体基于交接数据继续追踪目标，若感知到目标状态变化，实时更新追踪数据并同步至相关智能体；

追踪性能要求：目标追踪成功率 $\geq 90\%$ ，追踪延迟 $\leq 100\text{ms}$ 。

## 8.2 协同决策

协同决策是通过多智能体协商与计算，以实现“全局最优”决策的核心机制，应包括以下内容：

### 8.2.1 基于合约网（Contract Net）的任务分配

a) 发起方智能体发布监控任务，明确任务要求；

b) 具备任务执行能力的智能体根据自身资源（算力、感知范围）投标，说明可提供的执行方案、资源消耗；

c) 发起方智能体基于投标信息，从“执行能力、成本、可靠性”三个维度评估投标方，选择最优投标方；

d) 中标智能体执行任务，实时向发起方反馈执行进度；任务完成后，提交结果，发起

方验证结果是否符合要求；

### 8.2.2 分布式共识算法

当多个智能体对同一决策存在分歧时，应通过分布式共识算法达成一致决策。

对于实时性要求高的场景，采用简化版共识算法，共识达成延迟 $\leq 200$  ms；对于安全性要求高的场景，采用拜占庭容错算法，确保在部分智能体故障或恶意攻击时仍能达成正确共识，容错率 $\geq 1/3$ ；

共识达成成功率应 $\geq 99.9\%$ ，决策结果与全局最优解的偏差 $\leq 5\%$ 。

### 8.2.3 联合学习与推理

#### a) 联合学习流程

模型初始化：云端智能体生成初始模型，下发至边缘/车端智能体；

本地训练：各智能体使用本地数据训练模型，不上传原始数据，仅计算模型参数更新量；

参数聚合：各智能体将模型参数更新量上传至云端智能体，云端采用联邦平均等算法聚合参数，生成全局模型；

模型迭代：云端将聚合后的全局模型下发至各智能体，各智能体基于新模型继续本地训练，重复“本地训练 - 参数聚合”过程，直至模型精度满足要求；

#### b) 联合推理流程

任务分发：云端/边缘智能体将推理任务分发至多个车端/路侧智能体；

本地推理：各智能体使用本地训练好的模型进行推理，生成局部推理结果；

结果融合：云端/边缘智能体融合局部推理结果，生成最终推理结果；

性能要求：联合学习模型训练精度应不小于 90%，联合推理延迟在 300 ms 内，数据隐私保护应符合 GB/T 35273-2020 要求。

## 8.3 协同响应与执行

协同响应包括以下内容：

### 8.3.1 联动控制机制

联动控制机制保护以下流程及要求：

风险识别：车端及路侧智能体识别风险，实时将风险信息（车辆 ID、位置、速度、碰撞时间）上传至边缘智能体；

避障决策：边缘智能体基于风险信息，生成协同避障方案，并发送至相关车端智能体；

联动执行：车端智能体接收避障方案后，同步执行动作，执行过程中实时向边缘智能体反馈执行状态；

风险确认：边缘智能体监控车辆执行情况，确认风险解除后，通知相关智能体恢复正常行驶；

### 8.3.2 分级预警信息发布

表 1 预警等级

预警等级	紧急程度	适用场景	响应要求
一级（红色）	极高	车辆碰撞、道路坍塌	响应时间不超过 1 秒，触发紧急制动、救援调度
二级（橙色）	高	车辆故障、严重拥堵	应在 3 秒内快速响应，触发车道避让、交通疏导
三级（黄色）	中	路面结冰、低速行驶	应在 10 秒内及时响应，触发车速调整、预警提示
四级（蓝色）	低	道路施工、临时管制	在 30 秒内应触发路径引导、信息告知

如表 1 所示，应根据事件紧急程度预警等级划分（预警信息分为四级），预警发布流程如下：

- a) 智能体识别事件后，根据事件类型与紧急程度确定预警等级，生成预警信息（包含事件位置、类型、等级、处置建议）；
- b) 根据预警等级选择分发范围，采用广播或定向推送模式；
- c) 接收方智能体接收预警信息后，执行相应动作；

预警性能要求：预警信息发布成功率 $\geq 99.9\%$ ，预警信息接收延迟 $\leq 100\text{ ms}$ （一级预警）、 $\leq 300\text{ ms}$ （二级预警）、 $\leq 1000\text{ ms}$ （三/四级预警）。

## 9 关键使能技术

### 9.1 通信技术要求

- a) 在 C-V2X 场景中应支持 PC5 直连通信与 Uu 蜂窝通信两种模式，PC5 模式用于车端 - 车端、车端 - 路侧的低延时交互，Uu 模式用于车端/路侧 - 边缘/云端的广域交互；
- b) 系统需支持 C-V2X 与 DSRC 的协同工作，当 C-V2X 网络不可用时，自动切换至 DSRC，确保通信不中断；
- c) 支持为车联网多智能体监控系统划分专用网络切片，切片包含独立的网络资源（带宽、算力、存储），不受其他业务干扰；切片内带宽 $\geq 100$  Mbps（单区域），时延抖动 $\leq 20$  ms；支持动态调整切片资源，资源调整响应时间 $\leq 1$  分钟；
- d) 对于紧急场景建议采用 URLLC 技术，以满足“超高可靠、超低时延”需求。

## 9.2 计算技术要求

### 9.2.1 边缘计算（MEC）

- a) 边缘计算节点需靠近路侧智能体或 5G 基站部署，与路侧智能体的物理距离 $\leq 1$  里，以减少通信延迟；
- b) 单边缘节点算力 $\geq 50$  TOPS（支持 FP32/FP16 推理），可扩展至 1000 TOPS 以上（多节点集群）；
- c) 单边缘节点本地存储容量 $\geq 1$  TB（用于缓存高频感知数据），支持与云端存储的协同；
- d) 为车端/路侧智能体提供实时计算服务，计算延迟 $\leq 200$  ms；
- e) 应根据智能体的计算需求动态分配算力资源；
- f) 当某一边缘节点故障时，自动将计算任务迁移至相邻边缘节点，故障恢复时间 $\leq 1$  分钟。

### 9.2.2 部署要求

#### a) 容器化部署

建议采用等容器化技术部署智能体软件模块，支持模块的快速部署、升级与迁移；  
容器启动时间 $\leq 10$  秒，容器间通信延迟 $\leq 10$  ms；

支持容器资源限制，避免单个容器过度占用资源；

#### b) 微服务要求

宜将智能体功能拆分为微服务，各微服务独立部署、独立扩展；

微服务间通过标准化接口交互，支持跨语言、跨平台调用；

支持微服务治理，包括服务注册与发现、负载均衡、熔断降级（当某微服务故障时，自动切换至备用服务），服务可用性 $\geq 99.9\%$ 。

### 9.3 人工智能技术要求

#### 9.3.1 深度学习用于感知

- a) 支持主流深度学习模型，模型需经过车联网场景数据训练；
- b) 人工智能模型对车辆/行人识别准确率应不低于 96%，交通事件识别准确率不低于 95%，识别延迟车端设备小于 50 ms、路侧或边缘端设备识别延迟不大于 100 ms；
- c) 设备应支持模型优化与升级。

#### 9.3.2 强化学习用于决策

对车辆路径规划、车队协同行驶、交通信号灯控制、紧急避障决策等可采取强化学习算法，算法要求如下：

- a) 支持主流强化学习算法，算法需考虑交通场景的动态性与约束条件；
- b) 边缘/云端决策延迟应不大于 200 ms，车端紧急场景决策延迟应不大于 100 ms；
- c) 算法需在“探索新决策方案”与“利用已知最优方案”之间保持平衡，避免因过度探索导致决策失误。

## 10 安全与隐私保障

### 10.1 系统安全

#### 10.1.1 智能体身份认证与授权

##### a) 身份认证

采用基于公钥基础设施（PKI）的身份认证机制，为每个智能体（车端、路侧、边缘、云端）颁发唯一数字证书，证书包含智能体标识、公钥、有效期等信息；

智能体间通信前需进行双向身份认证，发起方发送带数字签名的认证请求，接收方验证签名有效性与证书合法性，认证通过后方可建立通信连接；

##### b) 授权管理

采用基于角色的访问控制（RBAC）模型，定义不同智能体的角色，并为每个角色分配

相应的操作权限；

当智能体的角色或功能变更时，可通过云端平台调整其权限，权限调整响应时间 $\leq 1$ 分钟；

### 10.1.2 通信安全与消息完整性

#### a) 通信加密

智能体间的所有数据传输（感知数据、决策指令、预警信息）需采用加密传输，加密算法符合国家密码管理局要求；

采用密钥分发中心（KDC）或区块链技术管理加密密钥，支持密钥生成、分发、更新、销毁，密钥更新周期应不大于 90 天，避免密钥泄露导致的安全风险。

#### b) 消息完整性与防篡改

每个消息需附加消息认证码（MAC）或数字签名，接收方通过验证 MAC 或签名，确认消息未被篡改；

应采用消息序号与时间戳机制，防止消息重放攻击，消息序号连续，时间戳偏差 $\leq 1$ 秒；

当接收方发现消息篡改、重放或验证失败时，立即丢弃该消息，并向发送方反馈验证失败信息，同时记录异常日志。

## 10.2 数据隐私

### 10.2.1 匿名化处理

- a) 个人信息应采用匿名化处理，去除或替换可识别个人身份的字段；
- b) 车辆状态数据采用位置模糊化处理，时间戳精度降低至分钟级（非紧急场景）；
- c) 敏感业务数据应脱敏处理，去除核心参数或替换为虚拟值；
- d) 匿名化处理后的数据需满足“不可识别具体个人或车辆”，且不影响数据的统计分析 与模型训练；
- e) 数据在采集后应在上传前完成匿名化处理，避免原始敏感数据传输。

### 10.2.2 隐私计算技术应用

#### a) 联邦学习应用要求

应通过联邦学习实现“数据不动模型动”，智能体仅上传模型参数更新量，不泄露原始数据；

宜采用秘密共享、同态加密等技术，确保云端智能体在聚合参数时无法反推单个智能体的原始数据；

训练好的全局模型仅下发至授权智能体，模型参数需加密传输，防止模型泄露；

#### b) 其他隐私计算技术要求

当多个智能体需要联合计算时，应通过 SMPC 技术在不共享原始数据的情况下完成计算，计算结果仅对授权方可见；

在发布统计数据时，应加入微小的随机噪声，确保攻击者无法通过统计数据反推个体数据，噪声强度符合 GB/T 35273-2020 要求。

### 10.3 功能安全

#### 10.3.1 智能体失效模式下的降级策略

智能体需实时监测自身状态，当检测到失效时，立即触发失效告警，告警信息发送至相关智能体，并采取降级策略：

- a) 感知失效降级：若车端感知失效，切换至路侧 / 边缘智能体的感知数据，确保车辆仍能获取环境信息；若路侧感知失效，增加周边路侧智能体的感知频率，弥补感知盲区；
- b) 通信失效降级：若车端与路侧通信失效，车端智能体切换至自主决策模式；若边缘与云端通信失效，边缘智能体基于本地缓存的策略与模型继续工作，待通信恢复后同步数据；
- c) 计算失效降级：若边缘计算失效，将计算任务迁移至相邻边缘节点或云端；若车端计算失效，仅保留紧急决策功能，非紧急决策（由路侧 / 边缘智能体代理）；
- d) 降级后性能要求：降级模式下，系统核心功能的可用性 $\geq 99\%$ ，响应延迟不超过正常模式的 150%。

#### 10.3.2 监控功能的冗余设计

##### a) 硬件冗余

关键设备采用冗余部署，冗余设备需独立供电、独立通信，避免因单一故障导致功能失效；当主设备故障时，备用设备自动切换，切换时间不大于 100 ms；

##### b) 软件冗余

核心软件模块应支持集群部署，通过协同工作满足高可用性、可扩展性；

c) 数据冗余

关键数据（包括：车辆故障日志、交通事件记录、决策指令）采用多副本存储；

定期对比不同存储节点的数据副本，若发现不一致，应及时修复数据。

全国团体标准信息平台

### 参考文献

- [1] GB/T 38661-2020 车载以太网通信一致性测试方法
- [2] GB 7258-2017 机动车运行安全技术条件
- [3] T/CSAE 155-2020 基于 LTE-V2X 的车路协同系统 总体技术要求
- [4] T/JSHLW 001-2023 边缘计算在智能交通中的应用指南

全国团体标准信息平台