

团体标准

T/ITS 0326-2025

车路云一体化 智能路侧设备开放道路测试 方法

Vehicle-Road-Cloud Integration –
Open road test methods for intelligent roadside equipment

（征求意见稿）

2026-**-**发布

2026-**-**实施

目 次

前言	3
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 缩略语	6
5 技术要求	7
5.1 环境适应性要求	7
5.2 毫米波雷达性能要求	7
5.3 摄像头性能要求	8
5.4 激光雷达性能要求	8
5.5 路侧通信设备性能要求	8
5.6 边缘计算设备性能要求	9
6 性能测试	9
6.1 测试环境条件	9
6.2 基准系统要求	9
6.3 毫米波雷达测试方法	10
6.4 摄像头测试方法	12
6.5 激光雷达测试方法	13
6.6 路侧通信设备测试方法	15
6.7 边缘计算设备测试方法	16

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

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。

本标准由中国智能交通产业联盟提出并归口。

本文件主要起草单位：中汽院车城融合(武汉)科技有限公司、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所、清华大学车辆与运载学院、北京工业大学信息科学技术学院、中国信息通信研究院。

本标准主要起草人：

车路云一体化 智能路侧设备开放道路测试方法

1 范围

本标准规定了在开放道路环境下,面向车路云一体化应用的智能路侧设备的技术要求及相应的测试方法。

本标准适用于毫米波雷达、摄像头、激光雷达、路侧通信设备、边缘计算设备的选型、验收测试,其他类型的路侧感知设备可参照使用。

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 44417-2024 车路协同系统智能路侧协同控制设备技术要求和测试方法

GB/T 45307-2025 光电测量 智能操控类激光雷达主要参数测试方法

YD/T 4770-2024 车路协同 路侧感知系统技术要求及测试方法

YD/T 3755-2024 基于LTE的车联网无线通信技术 支持直连通信的路侧设备技术要求

YD/T 3847-2021 基于LTE的车联网无线通信技术 支持直连通信的路侧设备测试方法

GY/T 412-2024 超高清视频图像质量客观评价方法

DB11/T 2328.1-2024 车路云一体化路侧基础设施 第1部分:建设指南

DB11/T 2328.3-2024 车路云一体化路侧基础设施 第3部分:摄像机应用技术要求

DB11/T 2328.4-2024 车路云一体化路侧基础设施 第4部分:毫米波雷达应用技术要求

DB11/T 2328.5-2024 车路云一体化路侧基础设施 第5部分:边缘计算设备应用技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

车路云一体化系统 vehicle-road-cloud integrated system

通过新一代信息与通信技术将人、车、路、云的物理空间、信息空间融合为一体,基于系统协同感知、决策与控制,实现智能网联汽车交通系统安全、节能、舒适及高效运行的信息物理系统。

[来源:DB11/T 2328.1-2024, 3.1]

3.2

智能路侧感知设备 intelligent roadside devices

部署于开放道路，用于支撑车路云一体化系统的路侧感知、通信与计算设备的统称。

注：包括摄像头、毫米波雷达、激光雷达、路侧通信单元、边缘计算设备等。

[来源:DB11/T 2328.1-2024, 3.2, 有修改]

3.3

开放道路 open road

供社会机动车辆正常通行的公共道路，包括城市快速路、主干路、次干路、支路及公路。

3.4

基准车 reference vehicle

在所要求的误差范围内输出车辆自身定位、速度、航向角等数据的测试车辆。

[来源:GB/T 44417-2024, 3.7]

3.5

召回率 recall

在以一定距离阈值为关联条件下系统正确识别到的目标数与实际正样本总数之比。

3.6

准确率 precision

在以一定距离阈值为关联条件下时系统正确识别到的目标数与识别到的正样本总数之比。

3.7

测速精度 detecting precision of velocity

在有效检测范围内，系统对基准车的标量速度检测值与真值的平均绝对误差。

3.8

测距精度 detecting precision of distance

在有效检测范围内，系统对基准车的距离检测值与真值的平均绝对误差。

3.9

目标成像区域 target imaging region

由基准车的轴对齐边界框所覆盖的像素区域。

注：该区域的大小通常以边界框内包含的像素数量进行度量。

3.10

目标可辨识度 target identifiability

依据目标数据质量和目标空间尺寸，综合反映数据中目标的可识别性。

3.11

有效数据范围 effective data range

在目标可辨识度满足要求的前提下，设备能够输出原始数据的连续空间区域。

3.12

有效检测范围 effective detection range

在规定的性能指标满足要求的前提下，设备能够稳定输出目标级数据的连续空间区域。

3.13

目标点云数量变化率 target point cloud quantity change rate

在有效检测范围内，激光雷达对同一运动目标在连续两帧之间的点云数量变化与目标移动距离的比。

3.14

丢帧率 frame loss rate

在一定时间范围内，系统实际采集到的数据帧数与理论应采集帧数的偏差比例。

3.15

有效通讯范围 effective communication range

设备与接收端之间能够建立稳定通讯链路，且通讯质量满足规定指标的连续空间区域。

3.16

满载工况 full load condition

边缘计算设备按照最大设计算力持续运行，CPU/GPU/NPU占用率不低于90%的连续工作状态。

3.17

降频幅度 frequency reduction amplitude

边缘计算设备的CPU/GPU/NPU等核心计算单元的主频相对于标称频率的下降幅度。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件

RSU: 路侧单元 (Road Side Unit)

V2X: 车与其他实体 (其他车辆、行人、路侧设施、云计算平台等) 互联 (Vehicle to Everything)

RSM: 路侧单元消息 (Road Side Message)

BSM: 基本安全消息 (Basic Safety Message)

MAP: 地图消息 (Map)

SPAT: 信号灯消息 (Signal Phase and Timing Message)

RSI: 路侧交通消息 (Road Side Information)

CPU: 中央处理器 (Central Processing Unit)

GPU: 图形处理器 (Graphics Processing Unit)

NPU: 神经网络处理器 (Neural Processing Unit)

UTM: 通用横墨卡托格网系统 (Universal Transverse Mercator Grid System)

5 技术要求

5.1 环境适应性要求

智能路侧设备环境规格应满足以下要求:

- a) 工作温度: 一般区域工作温度: $-20^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$; 寒区: $-35^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$;
- b) 在每小时温度变化 20°C 的环境下能正常工作;
- c) 工作湿度: $5\% \sim 95\%$, 无冷凝;
- d) 外壳防护符合GB/T 4208的要求, 直接外挂部分不低于IP65防尘和防水等级, 若安装在具有防尘防水设计的设备箱中, 则防护等级不低于IP40, 设备箱防尘和防水等级不低于IP55;
- e) 整机静电放电抗扰度符合GB/T 17626.2的相关要求;
- f) 整机电快速瞬变脉冲群抗扰度符合GB/T 17626.4-2018中规定的第3级要求;
- g) 整机浪涌(冲击)抗扰度应符合GB/T 17626.5—2019中规定的第1类要求;
- h) 整机电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度符合GB/T 17626.11—2023中规定的第2类要求;
- i) 符合GB/T 2423.10、GB/T 2423.5中对振动和冲击的要求;
- j) 符合GB/T 10125、GB/T 2423.18、GB/T6461中对盐雾的要求;
- k) MTBF不小于50000h;
- l) 支持 $7 \times 24\text{h}$ 不间断工作。

5.2 毫米波雷达性能要求

5.2.1 有效检测范围

按照6.3.1进行测试, 毫米波雷达横向有效检测范围不应小于40m或双向不低于8车道, 纵向最远有效检测距离不应低于350m。

5.2.2 测速精度

按照6.3.2进行测试，毫米波雷达测速精度不应大于0.025m/s。

5.2.3 测距精度

按照6.3.3进行测试，毫米波雷达测距精度不应大于0.8m。

5.3 摄像头性能要求

5.3.1 摄像头延时

按照6.4.1进行测试，摄像头延时不应高于100ms。

5.3.2 有效检测范围

对于能输出目标级数据的摄像头，按照6.4.2进行测试，摄像头横向有效检测范围不应小于10m或不小于3车道，纵向有效检测范围应覆盖10m~80m。

5.3.3 有效数据范围

对于仅输出原始数据的摄像头，按6.4.3进行测试，摄像头横向有效数据范围不应小于10m或不小于3车道，纵向有效数据范围应覆盖10m~80m。

5.4 激光雷达性能要求

5.4.1 有效数据范围

对于机械式激光雷达（360°视场），按6.5.1进行测试，激光雷达有效数据范围应覆盖10m~100m。

对于非机械式激光雷达，按6.5.1进行测试，激光雷达横向有效数据范围不应小于10m或不小于3车道，纵向有效数据范围应至少覆盖10m~100m。

5.4.2 丢帧率

按照6.5.2进行测试，激光雷达丢帧率不应超过5%。

5.4.3 目标点云数量变化率

按照6.5.3进行测试，有效数据范围内，目标点云数量变化率不应超过35%。

5.5 路侧通信设备性能要求

5.5.1 有效通信范围

按照6.6.1进行测试，路侧通信设备的有效通讯范围不应小于500m。

5.5.2 通信压力

按照6.6.2进行测试，路侧通信设备在高并发场景下，有效通信范围内消息发送和接收的丢包率均不应高于5%。

5.6 边缘计算设备性能要求

5.6.1 满载工况下的平均温度

按照6.7进行测试，边缘计算设备在满载工况下，连续运行4小时内，核心平均温度不应高于产品说明书规定的额定工作温度上限。

5.6.2 满载工况下的降频幅度

按照6.7进行测试，边缘计算设备在满载工况下，连续运行4小时内，CPU/GPU/NPU主频降频幅度不应超过标称值的5%，且不应发生过热关机或重启。

6 性能测试

6.1 测试环境条件

典型的开放道路测试环境应满足以下要求：

- 温度为 $-15^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ；
- 能见度大于1km；
- 风速小于10m/s；
- 道路干燥、一致，铺设完好的干沥青或混凝土；
- 路面规则平整，纵向和横向坡度不大于1%，标识清晰。

6.2 基准系统要求

6.2.1 基准车

测试应采用满足精度要求的基准系统来获取车辆的位置、速度、航向角等真值数据。基准车的定位精度应优于0.1m，测速精度应优于0.01m/s，航向角精度应优于 0.5° ，数据输出频率不低于被测设备。

6.2.2 时间同步

被测设备与基准车应进行精确的时间同步，同步误差不应大于20ms。

6.2.3 真值匹配

在满足时间同步要求下，宜采用Kuhn-Munkres算法对真值数据与被测设备的目标级数据进行匹配。

6.2.4 真值修正

对于基准车，以GNSS采集的位置坐标、速度和航向角为真值数据，若发现数据异常则通过前后相邻数据帧进行修正。对于其他目标，以真值系统传感器检测的目标物信息作为真值数据，每帧数据应经过人工校验，异常数据宜通过手动调整。

6.3 毫米波雷达测试方法

6.3.1 有效检测范围

测试有效检测范围按照以下步骤进行：

- 将毫米波雷达按产品安装规范固定于开放道路路侧的杆件上，设备安装高度不低于6m，宜优先选择安装在信号灯杆；
- 按产品说明书完成毫米波雷达的供电、通信连接和参数配置，使其处于正常工作模式；
- 完成被测雷达与基准系统的时间同步；
- 统一被测雷达输出数据与基准系统数据的空间坐标系；
- 基准车停靠在道路旁，对雷达视场内的目标进行探测，至少记录120s；
- 进行真值修正并将雷达输出目标与修正后的基准系统真值进行关联；
- 将检测区域按纵向距离区间和横向车道划分为若干子区域P。对每个子区域，统计被测雷达在该区域内的检测结果与真值目标的匹配情况，按公式（1）（2）计算召回率Recall和准确率Precision；

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$Precision = \frac{TP}{FP + TP} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中：

TP ——真阳类样本数量，即待测设备正确检出的样本数量；

FP ——假阳类样本数量，即待测设备错误检出的样本数量；

FN ——假阴类样本数量，即未被检出的真值目标样本数量。

- 按公式（3）计算有效数据范围R。对于有效数据范围R内任意子区域P，均满足Recall≥0.9且Precision≥0.85。

$$R = \{P \in [x_{min}, x_{max}] \times [y_{min}, y_{max}] | Recall(P) \geq 0.9 \wedge Precision(P) \geq 0.85\} \quad \dots\dots(3)$$

式中：

x ——纵向距离；

y ——横向距离；

Recall(P) ——在以(*x*, *y*)为中心的小网格单元内统计的召回率；

Precision(P) ——在以(*x*, *y*)为中心的小网格单元内统计的准确率。

6.3.2 测试测速精度

按照以下步骤进行：

- 将毫米波雷达按产品安装规范固定于开放道路路侧的杆件上，设备安装高度不低于6m，宜优先选择安装在信号灯杆；
- 按产品说明书完成毫米波雷达的供电、通信连接和参数配置，使其处于正常工作模式；

- c) 完成被测雷达与基准系统的时间同步；
- d) 统一被测雷达输出数据与基准系统数据的空间坐标系；
- e) 待毫米波雷达稳定工作后，基准车在毫米波雷达视场范围内由远及近匀速移动，并采集第 t 时刻的速度 v'_t ；
- f) 毫米波雷达同步记录第 t 时刻的检测到基准车的速度 v_t （采样总帧数不少于500帧）；
- g) 选取测试要求范围内的数据，并按公式（4）计算毫米波雷达的测速精度 v_e ；

$$v_e = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n |v'_t - v_t| \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

v'_t ——真值目标物第 t 时刻的速度值；
 v_t ——检测数据第 t 时刻的对应速度值。

- h) 重复步骤e)～g)，基准车按照5km/h、20km/h、40km/h、60km/h的速度匀速行驶，测量毫米波雷达测速精度。

6.3.3 测距精度

测试测距精度按照以下步骤进行：

- a) 将毫米波雷达按产品安装规范固定于开放道路路侧的杆件上，设备安装高度不低于6m，宜优先选择安装在信号灯杆；
- b) 按产品说明书完成毫米波雷达的供电、通信连接和参数配置，使其处于正常工作模式；
- c) 完成被测雷达与基准系统的时间同步；
- d) 统一被测雷达输出数据与基准系统数据的空间坐标系；
- e) 待毫米波雷达稳定工作后，基准车在毫米波雷达视场范围内，在毫米波雷达法线上由远及近匀速移动，并采集第 t 时刻的位置坐标 x_t ；
- f) 毫米波雷达同步记录第 t 时刻的探测到基准车的距离 d_t （采样总帧数不少于500帧）；
- g) 选取测试要求范围内的数据，并按公式（5）计算平均测距精度 d_e ；

$$d_e = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |(x_t - x_{t-1}) - (d_t - d_{t-1})| \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中：

x_t ——真值目标物当前时刻的UTM位置坐标向量；
 x_{t-1} ——真值目标物上一时刻的UTM位置坐标向量；
 d_t ——检测数据当前时刻的距离；
 d_{t-1} ——检测数据上一时刻的距离。

6.4 摄像头测试方法

6.4.1 延迟

测试延迟按照以下步骤进行：

- 将摄像头按产品安装规范固定于开放道路路侧的杆件上，设备安装高度不低于6m；
- 按产品说明书完成摄像头的供电、通信连接和参数配置，使其处于正常工作模式；
- 完成被测摄像头与基准系统的时间同步；
- 将与基准系统时间同步的高精度计时屏放置在摄像头视场范围内，确保计时屏显示清晰无遮挡；
- 同步录制测试系统显示的画面与计时屏读数，记录摄像头输出视频流中当前帧的系统接收时刻 t_k 和画面内计时屏显示时刻 t'_k 。
- 重复步骤e)，获取n次采样数据（采样总帧数不少于500帧），按照公式（6）计算延迟 t_e 。

$$t_e = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n t_k - t'_k \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中：

t_k ——第k帧系统接收时间戳；

t'_k ——摄像头画面内计时屏显示的时间戳。

6.4.2 有效检测范围

对于有目标级数据输出的摄像头，测试有效检测范围按照以下步骤进行：

- 将摄像头按产品安装规范固定于开放道路路侧的杆件上，设备安装高度不低于6m；
- 按产品说明书完成摄像头的供电、通信连接和参数配置，使其处于正常工作模式；
- 完成被测摄像头与基准系统的时间同步；
- 统一被测摄像头输出数据与基准系统数据的空间坐标系；
- 基准车停靠在道路旁，对摄像头视场内的目标进行探测，至少记录120s；
- 进行真值修正并将摄像头输出目标与修正后的基准系统真值进行关联；
- 将检测区域按纵向距离区间和横向车道划分为若干子区域。对每个子区域，统计被测雷达在该区域内的检测结果与真值目标的匹配情况，按公式（1）（2）计算召回率Recall和准确率Precision。
- 按公式（3）计算有效数据范围R。对于有效数据范围R内任意子区域P，均满足 $\text{Recall} \geq 0.9$ 且 $\text{Precision} \geq 0.85$ 。

6.4.3 有效数据范围

对于没有目标级数据输出的摄像头，测试有效数据范围按照以下步骤进行：

- 将摄像头按产品安装规范固定于开放道路路侧的杆件上，设备安装高度不低于6m；
- 按产品说明书完成摄像头的供电、通信连接和参数配置，使其处于正常工作模式；
- 基准系统接入被测摄像头，并完成时间同步；

- d) 统一被测摄像头输出数据与基准系统数据的空间坐标系；
- e) 基准车停靠在道路旁，对摄像头视场内的目标进行探测；
- f) 标记摄像头画面中每个目标的轴对齐边界框，边界框的面积记为S；
- g) 按轴对齐边界框截取目标图像，按GY/T 412—2024 7.2.2的规定计算目标图像的质量分数，记为Q；
- h) 进行真值修正，并将摄像头画面中的目标与修正后的基准系统真值目标进行关联；
- i) 将检测区域按纵向距离区间和横向车道划分为若干子区域P，计算每个目标的所处区域 P_i ；
- j) 对每个子区域，按公式（7）统计该区域的所有目标可辨识度ID(P)；

$$ID(P) = \frac{M_c}{M_p} \dots\dots\dots(7)$$

式中：

ID(P) ——区域P内所有车辆目标图像数据的目标可辨识度；

M_c ——区域P内同时满足 $S(P_i) \geq 64 \times 64$ 且 $Q(P_i) > 40$ 的车辆目标数量；

M_p ——区域P内所有车辆目标的总数；

$S(P_i)$ ——第i个车辆目标在P区域时，截取车辆目标图像的像素面积；

$Q(P_i)$ ——第i个车辆目标在P区域时，截取车辆目标图像的质量分数；

- k) 按公式（8）计算有效数据范围R。对于有效数据范围R内任意区域P，满足 $ID(P) \geq 0.9$ 。

$$R = \{P \in [x_{min}, x_{max}] \times [y_{min}, y_{max}] | ID(P) \geq 0.9\} \dots\dots\dots(8)$$

式中：

x ——纵向距离；

y ——横向距离；

6.5 激光雷达测试方法

6.5.1 目标有效检测范围测试

- a) 将激光雷达按产品安装规范固定于开放道路路侧的杆件上，设备安装高度不低于6m；
- b) 按产品说明书完成激光雷达的供电、通信连接和参数配置，使其处于正常工作模式；
- c) 基准系统接入被测激光雷达，并完成时间同步；
- d) 统一被测激光雷达输出数据与基准系统数据的空间坐标系；
- e) 基准车停靠在道路旁，对激光雷达视场内的目标进行探测；
- f) 标记激光雷达点云中每个目标的轴对齐3D边界框，计算点云数量N；
- g) 以0.2m的间距将轴对齐3D边界框划分为立体网格单元，每个单元为边长0.2m的小立方体，得到网格单元集合；对于每个网格单元，至少有一个点云位于其内部，则记录为非空网格单元；按公式（9）计算网格单元覆盖率V；

$$V = \frac{n_{occ}}{n} \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中:

n_{occ} ——非空网格单元的总数;

n ——所有网格单元的总数;

h) 按公式(10)计算变异系数

$$\begin{aligned} \mu_{occ} &= \frac{1}{n_{occ}} \sum_{j \in occ} c_j \\ \sigma_{occ} &= \sqrt{\frac{1}{n_{occ} - 1} \sum_{j \in occ} (c_j - \mu_{occ})^2} \\ c_v &= \frac{\sigma_{occ}}{\mu_{occ}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

n_{occ} ——非空网格单元的总数;

c_j ——第 j 个非空网格单元内点云的数量;

μ_{occ} ——所有非空网格单元内点云数量的算术平均值;

σ_{occ} ——非空网格单元内点云数量的样本标准差;

i) 对每个子区域,按公式(11)统计该区域的目标可辨识度ID(P);

$$ID(P) = \frac{M_l}{M_p} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

$ID(P)$ ——区域P内所有车辆目标点云数据的目标可辨识度;

M_l ——区域P内同时满足 $V(P_i) \geq 0.3$ 、 $c_v(P_i) \leq 0.5$ 且 $N(P_i) \geq 10$ 的车辆目标数量;

M_p ——区域P内所有车辆目标的总数;

$V(P_i)$ ——第 i 个车辆目标在P区域时,截取车辆目标点云的网格单元覆盖率;

$N(P_i)$ ——第 i 个车辆目标在P区域时,截取车辆目标的点云数量;

$c_v(P_i)$ ——第 i 个车辆目标在P区域时,截取车辆目标的点云数量在各网格单元中的变异系数;

j) 按公式(8)计算有效数据范围R。对于有效数据范围R内任意区域P,均满足 $ID(P) \geq 0.9$ 。

6.5.2 丢帧率测试

a) 确定激光雷达额定采样频率 f ;

b) 将激光雷达按产品安装规范固定于开放道路路侧的杆件上,设备安装高度不低于6m;

c) 按产品说明书完成激光雷达的供电、通信连接和参数配置,使其处于正常工作模式;

d) 接入激光雷达数据,持续运行激光雷达,并记录 t 时间内获得的所有点云帧数 F_t (采样总帧数不少于500帧);

e) 按照公式(12)计算丢帧率 P 。

$$P = 1 - \frac{F_t}{f \times t} \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

f ——采样频率;

t ——测试时长;

F_t —— t 时间内获得的所有帧数。

6.5.3 目标点云数量变化率测试

- 将激光雷达按产品安装规范固定于开放道路路侧的杆件上, 设备安装高度不低于6m;
- 按产品说明书完成激光雷达的供电、通信连接和参数配置, 使其处于正常工作模式;
- 基准系统接入被测激光雷达, 并完成时间同步;
- 统一被测激光雷达输出数据与基准系统数据的空间坐标系;
- 待激光雷达稳定运行后, 基准车以40km/h $\pm$ 2km/h从有效数据范围 R 外由远及近匀速行驶, 直至进入激光雷达盲区;
- 记录整个行程中每一帧基准车的点云数量 N_t ;
- 重复步骤e)~f), 至少完成5次数, 确保采集的总帧数不少于1000帧;
- 若当前帧或前一帧的目标点云数量小于10, 则该组相邻帧数据不参与变化率计算;
- 取有效帧序, 分别计算每一组相邻有效帧间的变化率, 按照公式(13)计算目标点云数量变化率 P_c 。

$$P_c = P_{95} \left(\left\{ \frac{|N_t - N_{t-1}|}{N_{t-1}} \times 100\% \mid X_t \in R \right\} \right) \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:

N_t ——当前时刻待测车辆的点云数量;

N_{t-1} ——上一时刻待测车辆的点云数量;

X_t ——第 t 帧基准车距离激光雷达的纵向真值距离, 单位为米;

R ——被测激光雷达的有效数据范围;

$P_{95}(\cdot)$ ——对集合内所有单步变化率按升序排列, 取第95%分位数。

6.6 路侧通信设备测试方法

6.6.1 通信范围测试

- 确保场地空旷, 空间距离大于600米, 且中间无建筑或其他遮挡物;
- 将RSU按产品安装规范固定于开放道路路侧的杆件上, 设备安装高度不低于6m;
- 按产品说明书完成RSU的供电、通信连接和参数配置, 使其处于正常工作模式;
- RSU按要求周期广播MAP、SPAT、RSI、RSM消息;

- e) 将RSU消息采集器置于待测RSU的5米范围内,持续采集RSU广播消息,采集时间不少于100个SPAT消息广播周期,统计采集时间段内各消息的消息帧数量 F_{th} ;
- f) 将RSU消息采集器置于与待测RSU距离500米处,并以同样的方式广播,统计相同采集时间段内各消息的消息帧数量 F_m ;
- g) 按照公式(14)计算丢包率 P_{RSU} 。

$$P_{RSU} = \frac{F_{th} - F_m}{F_{th}} \dots\dots\dots(14)$$

式中:

F_m ——实际的消息帧数量;

F_{th} ——理论消息帧数量。

6.6.2 压力测试

- a) 确保场地空旷,空间距离大于600米,且中间无建筑或其他遮挡物;
- b) 将RSU按产品安装规范固定于开放道路路侧的杆件上,设备安装高度不低于6m;
- c) 按产品说明书完成RSU的供电、通信连接和参数配置,使其处于正常工作模式;
- d) 确保RSU具有BSM接收存储日志程序;
- e) 确保场地空旷,并部署V2X消息模拟器和RSU消息接收器;
- f) RSU按照要求周期广播MAP、SPAT、RST、RSM消息;
- g) RSU消息接收器持续采集RSU广播消息,采集时间不少于100个SPAT消息广播周期,统计采集时间段内各消息的消息帧数量 F_{th1} ;
- h) RSU持续接收并存储BSM消息,统计采集时间段内消息的消息帧数量 F_{th2} ;
- i) 使用V2X消息模拟器模拟100车辆BSM消息;
- j) RSU消息接收器以相同的方式采集消息,统计相同采集时间段内各消息的消息帧数量 F_{m1} ;
- k) RSU以相同的方式接收BSM消息,统计相同采集时间段内接受的BSM消息帧数量 F_{m2} ;
- l) 按照公式(14)计算RSU广播消息的丢包率 P_{RSU1} ,以及RSU接收BSM消息的丢包率 P_{RSU2} 。

6.7 边缘计算设备测试方法

满载工况下的降频幅度和平均温度按照以下步骤进行:

- a) 按照产品安装规范,将边缘计算设备安装于落地机柜中,静置30min以上,使设备温度与环境温度平衡。
- b) 启动设备,运行操作系统及必要的监控程序,记录设备在空载状态下各核心的初始温度与主频值;
- c) 启动满载压力测试程序,同时监控CPU、GPU、NPU的占用率,调整测试程序负载,使三者占用率均稳定在90%以上,并保持连续运行4小时;
- d) 在满载运行期间,以不低于1Hz的采样频率,实时记录各核心的温度 T 和主频值 f ,记录总时长不少于4小时,总采样点数不少于14400个;

- e) 测试过程中, 每30分钟检查一次设备是否发生过热关机、自动重启、死机或任务异常退出, 并记录异常情况的发生时间与现象;
- f) 测试完成后结束监控程序, 再停止压力测试程序, 恢复至空载状态;
- g) 导出记录数据, 按公式 (15) 计算每个核心满载工况下的平均温度 T_{avg} :

$$T_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:

T_{avg} ——该核心在满载工况下的平均温度, 单位为摄氏度 (°C);

T_i ——第*i*次采样的核心温度, 单位为摄氏度 (°C);

n ——总采样次数。

- h) 按公式 (16) 计算每个核心满载运行期间的最大降频幅度 F_{max} :

$$F_{max} = \frac{f_{norm} - f_{min}}{f_{norm}} \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:

F_{max} ——该核心在满载工况下的降频幅度, 以百分比表示;

f_{norm} ——设备标称的核心主频, 单位为兆赫兹 (MHz);

f_{min} ——在满载运行期间, 该核心实测的最低主频值, 单位与 f_{norm} 相同。

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

标准

标准名称

T/ITS 0326-2025

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>

2017 年 X 月第一版 2017 年 X 月第一次印刷