

ICS xx. xxx

Txx

团体标准

T/CSAE xx—2024

智能网联汽车激光雷达感知系统与 点云质量测评方法

Evaluation methods for Lidar perception system and point cloud quality
of intelligent connected vehicles

(报批稿)

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。

2024-xx-xx 发布

2024-xx-xx 实施

中国汽车工程学会 发布

目 次

1	范围	1
2	规范性引用文件	1
3	术语和定义	1
4	一般要求	3
4.1	感知系统基本功能要求	3
4.2	场景要求	4
4.3	天气要求	4
4.4	道路要求	4
4.5	真值系统要求	5
5	感知系统与点云质量测试指标	6
5.1	感知系统测试指标	6
5.2	点云质量测试指标	8
6	感知系统与点云质量测试方法	11
6.1	感知系统测试方法	11
6.2	点云质量测试方法	16
附 录	A（规范性）试验工作模式	24
附 录	B（资料性）感知识别性能测试指标	25
附 录	C（资料性）感知测速、测距性能测试指标	26

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》给出的规则起草。

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。

本文件由中国智能网联汽车产业创新联盟提出。

本文件起草单位：xxx。

本文件主要起草人：xxx。

智能网联汽车激光雷达感知系统与点云质量测评方法

1 范围

本文件规定了智能网联汽车激光雷达感知系统和点云质量的测评要求,描述了智能网联汽车激光雷达感知系统和点云质量的测试指标和测试方法。

本文件适用于智能网联汽车领域激光雷达感知系统和点云成像质量的测试评价。

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 3730.1-2022 汽车、挂车及汽车列车的术语和定义 第1部分:类型

GB/T 14950-2009 摄影测量与遥感术语 第4部分:数据获取

GB/T 27957-2011 冰雹等级 第2部分:天气现象

GB/T 28046.1-2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第1部分:一般规定

GB/T 28046.2-2019 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第2部分:电气负荷

GB/T 28046.3-2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分:机械负荷

GB/T 28046.4-2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第4部分:气候负荷

GB/T 28046.5-2013 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第5部分:化学负荷

GB/T 35663-2017 天气预报基本术语 第2部分 术语和定义

GB/T 36100-2018 机载激光雷达点云数据质量评价指标 第5部分 机载激光雷达点云数据质量评价指标计算方法

QX/T 113-2010 霾的观测和预警等级 第2部分 术语和定义

QX/T 227-2014 雾的预警等级 第2部分 术语和定义

DIN 75220-1992 太阳模拟装置中汽车部件的老化试验

SAE J2527-2004 用受辐射氙弧装置加速照射汽车外部材料的性能标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

激光雷达 light detection and ranging, Lidar

发射激光束并接收回波以获取目标三维信息的系统。

[来源：GB/T 14950—2009, 4.150]

3.2

点云 point cloud

以离散、不规则方式分布在三维空间中的点的集合。

[来源：GB/T 36100—2018, 3.2]

3.3

目标物 object

智能网联汽车行驶环境中，会对智能网联汽车的决策规划造成影响的物体。

3.4

重叠度 intersection over union, IOU

检测框和真值框的交集比并集。IOU 衡量两者间的重叠程度。

3.5

正确的正样本 true positives, TP

正确识别的目标物。

3.6

错误的正样本 false positives, FP

非目标物被识别为目标物。

3.7

错误的负样本 false negatives, FN

未识别出来的目标物。

3.8

待测设备 device under test, DUT

被测试的设备或系统。

3.9

视场角 field of view, FOV

传感器检测范围的角度值。

3.10

实时动态载波相位差分技术 Real - time kinematic, RTK

实时处理两个测量站载波相位观测量的差分方法，将基准站采集的载波相位发给用户接收机，进行求差解算坐标。

3.11

激光雷达角度分辨率 angle resolution of lidar

扫描线间的最小间隔度数。

3.12

盲区 blind range

对于靠近激光雷达的目标可以输出的在精度要求以内的最小测距范围。

3.13

真值 ground truth, GT

在一定条件下，被测量客观存在的实际值。

3.14

真值系统 ground truth system

一套搭载不同传感器可以输出相应目标物真值的系统。

3.15

激光雷达感知系统 Lidar perception system

由车载激光雷达、激光雷达感知算法以及相关计算平台组成的系统。

4 一般要求

4.1 感知系统基本功能要求

激光雷达感知系统具备的基本功能应包括：

a) 目标检测，能够输出目标物类别、位置、方向、尺寸大小；

- b) 目标跟踪，能够输出目标物ID、速度。

4.2 场景要求

激光雷达感知系统的测试场景中目标物体应至少包含：

- a) 行人，
- b) 自行车，
- c) 摩托车，
- d) 三轮车，
- e) 乘用车，
- f) 客车，
- g) 载货汽车，
- h) 挂车。

其中，汽车和挂车类型的定义应参考GB/T 3730.1-2022。

激光雷达感知系统的测试场景中道路应至少包含：

- a) 城市道路主干道，
- b) 城市道路次干道，
- c) 高速公路，
- d) 非结构化道路。

4.3 天气要求

测试场景中天气情况应至少包含：

- a) 晴天，
- b) 雨天，
- c) 雪天，
- d) 雾天。

其中，天气情况的定义应参考GB/T 35663-2017、GB/T 27956-2011、GB/T 27957-2011、QX/T 227-2014、QX/T 113-2010等标准。

4.4 道路要求

4.4.1 开放道路测试要求

开放道路测试要求如下：

- a) 数据采集时应搭配若干数量的参考相机，为后期的测试验证提供参考图像数据。参考相机的FOV应覆盖待测激光雷达系统的FOV。参考相机和待测激光雷达感知系统应保证具有时间戳信息；

- b) 测试设备应能保证获得稳定的电源输入；
- c) 被测设备的数据应可以被完整记录下来；
- d) 采集路线满足测试场景需求；
- e) 应保证RTK定位设备的数据可靠性，比如安装位置及标定、卫星和基站质量等，同时RTK设备的安装不能影响待测系统的工作以及驾驶人员的正常驾驶。

4.4.2 封闭场地测试要求

封闭场地测试要求如下：

- a) 测试车辆应该配置RTK设备，作为GT真值；
- b) 测试设备要能保证获得稳定的电源输入；
- c) GT设备的安装不应该严重影响到驾驶员对于车辆的控制，也不影响待测系统工作；
- d) GT真值和被测对象的数据可以通过记录仪记录下来；
- e) 测试时需要保证GT工具真值的可靠性，比如安装位置及标定、卫星和基站质量等。

4.5 真值系统要求

对于待测系统的部分测试，宜使用真值系统。真值系统应包含：

- a) 真值系统的硬件配置：真值系统的硬件配置可以由实际待测系统的参数定义；
- b) 真值系统外参数：点云的感知范围达到200 m 以上；真值系统的探测距离，感知距离应于待测系统的探测距离和感知距离，真值系统的FOV应大于待测系统的FOV，使真值系统的FOV完全覆盖待测系统的FOV；真值系统的激光雷达或者多传感器组合的等效分辨率应高于待测激光雷达角度分辨率；
- c) 真值系统高精定位系统：真值系统需要配备高精定位系统，定位精度能力在有RTK的情况下，需要达到2cm，要求RTK高精定位系统在开放环境下绕圈测试可以形成闭环；
- d) 真值系统同步要求：真值系统应该可以和待测系统进行数据同步采集，保证采集到的数据具有时间戳信息，时间同步1ms以内；
- e) 车道线和路沿真值：真值系统需要可以输出车道线和路沿真值，通过数据后处理输出车道线真值；
- f) 真值系统目标定位精度要求，真值系统本身需要进行目标定位精度测试，在测试场或者外场进行数据采集，通过数据处理进行目标定位精度测试；

g) 真值系统数据处理方式宜采用数据后处理方式。采集到的数据上传到数据处理单元中，利用数据处理单元的数据处理软件对数据进行自动化处理，生成真值结果。数据处理软件应能允许人工校正，即处理完成的数据可以通过人工校正的方式进一步提高精度；

h) 真值系统与待测系统标定的精度要求2cm以内，角度误差小于1°。

5 感知系统与点云质量测试指标

5.1 感知系统测试指标

5.1.1 系统总体性能测试指标

5.1.1.1 处理延时

处理延时指感知系统处理一帧点云数据获得感知结果所花费的平均时间，不包括激光雷达进行扫描所需要的时间。

5.1.1.2 检测范围

感知系统可以感知检测的距离范围。如在不同方向上距离不同，需明确标出。如目标由远及近和由近及远两种情况下的检测范围不同则按以较低的数值为准。感知系统针对不同类型目标的检测范围一般不同，需要针对不同类别的目标分别进行说明。

5.1.1.3 检测数量

感知系统在一帧点云内可以识别的目标的最大数量。

5.1.1.4 系统稳定性

感知系统可连续运行不发生故障的时间。

5.1.1.5 系统帧频

平均1秒时间内，获得点云数据的次数。

5.1.2 感知性能测试指标

5.1.2.1 召回率

正确检测的样本占有所有真实目标物样本的比例。

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

5.1.2.2 准确率

正确检测的样本占有所有被识别为目标物样本的比例。

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

5.1.2.3 平均准确率

平均准确率 AP (*average precision*) :

$$AP = \frac{1}{101} \sum_{r \in \{0, 0.01, \dots, 1\}} p_{interp}(r) \dots\dots\dots (3)$$

根据置信度对检测结果进行排序, 绘制 PR 曲线, 通过插值计算 101 个不同召回率 (从 0% 到 100%, 100 等分) 的准确率, 求和后除以 101, 即为平均准确率 AP (*average precision*)。

5.1.2.4 平均准确率均值

平均准确率均值 mAP (*mean average precision*) :

$$mAP = \frac{1}{|C|} \sum_{c \in C} AP_c \dots\dots\dots (4)$$

其中 C 代表检测的不同目标物类型。

5.1.2.5 检测分数

检测分数 DS (*Detection Score*) :

$$mTP = \frac{1}{|C|} \sum_{c \in C} TP_c \dots\dots\dots (5)$$

$$DS = \frac{1}{10} [5mAP + \sum_{mTP \in TP} (1 - \min(1, mTP))] \dots\dots\dots (6)$$

遍历每个预测值, 匹配真值与预测值在 $x-y$ 平面上欧式距离在 2m 以内的最近物体, 作为正样本 (*True Positives*, TP)。对不同类型正样本的平均方向误差 (AOE)、平均速度误差 (AVE)、平均位置误差 (ATE)、平均大小误差 (ASE) 进行计算求和, 作为 mTP 值。其中:

平均方向误差 (*Average Orientation Error*, AOE) : 真值与预测值方向值在 $x-y$ 平面上的平均方向误差。

平均速度误差 (*Average Velocity Error*, AVE) : 真值与预测值速度值在 $x-y$ 平面上的平均欧式距离。

平均位置误差 (*Average Translation Error*, ATE) : 真值与预测值位置在 $x-y$ 平面上的平均欧式距离。

平均大小误差 (*Average Scale Error*, ASE) : 真值与预测值物体的平均 3D IOU。

5.1.2.6 多目标跟踪精度

多目标跟踪精度 (*Multiple Object Tracking Precision*, $MOTP$) :

$$MOTP = \frac{\sum_{i,t} d_{i,t}}{\sum_t c_t} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

c_t ——表示第 t 帧目标 o_j 和假设 h_j 的匹配个数；

$d_{i,t}$ ——表示第 t 帧目标 o_j 与其配对假设位置之间的距离，即匹配误差。

5.1.2.7 多目标跟踪准确度

多目标跟踪准确度 (*Multiple Object Tracking Accuracy, MOTA*)：

$$MOTA = 1 - \frac{\sum_t (m_t + fp_t + mme_t)}{\sum_t g_t} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

m_t ——即漏检数 (FN)，在第 t 帧中该目标 o_j 没有假设位置与其匹配；

fp_t ——即误检数 (FP)，在第 t 帧中给出的假设位置 h_j 没有跟踪目标与其匹配；

mme_t ——即误配数 (IDS_w)，在第 t 帧中跟踪目标发生 ID 切换的次数，多发生在遮挡情况下。

5.1.3 特定场景目标项

要求对于交通场景中出现的特定场景目标项的测试，包括轮胎、静止白车、静止黑车、桶锥、行人-黑衣、骑行者。这些测试项能保证激光雷达对于低矮物体、高反射性物体、低反射性物体、不同对比度、小型目标识别、多样化形态物体的识别能力。有助于发现和解决激光雷达在特定场景下的弱点，提高其在真实环境中的表现。

5.2 点云质量测试指标

5.2.1 盲区

激光雷达在近距离的时候由于测量噪声和光学设计等原因，一般会设定一个最小测距范围 R_{min} ，该范围以内的数据将不进行输出或不宜使用。按照6.1.1进行试验。

5.2.2 探测距离

激光雷达检测10%反射率目标的探测距离。

使用符合NIST标准的10%朗伯漫反射率板放在远处作为检测目标，通过对反射率板的点云检出率进行测试从而确定激光雷达测距能力。

5.2.3 测距准度和精度

测量10%、90%反射率下的目标在不同距离下的测距精度。所有测试指标全部叠加100帧连续数据后进行统计分析。按照6.2进行试验。

5.2.4 平面度精度

用于评价激光雷达点云数据的平面位置与其真实的平面位置之间误差分布的离散程度。

5.2.5 水平、垂直角度分辨率

用于表征激光雷达水平（竖直）方向可分辨的最小角度值。

5.2.6 反射强度质量

用于评估激光雷达对目标反射强度的检测能力。测试要求如下：

- a) 不同距离下，同一线束同一方位检测目标反射强度随时间的波动性（单点多帧绘制同一线束反射强度随时间的变化曲线）；
- b) 不同线不同方位角度的反射强度波动情况（统计单帧下，不同反射板对应点云反射强度的波动情况，筛选反射板对应点云的反射强度值，并计算其标准差作为评估反射强度波动的指标）；
- c) 不同反射率梯度渐变的标准反射板，反射强度值可以区分。

5.2.7 机械性能测试指标

5.2.7.1 机械振动

按照6.1.6.1进行试验，不应出现损坏。在工作模式B1下功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的A级，其他工作模式下功能状态达到GB/T 28046.1-2011定义的C级。具体工作模式定义见附录A。

5.2.7.2 机械冲击

按照6.1.6.2进行试验，功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的A级。

5.2.7.3 碎石冲击

按照6.1.6.3进行试验，安装在汽车厢体外部的激光雷达收发窗口要求完整，允许窗口表面镀膜层有不影响点云质量的轻微损伤，功能状态应不低于GB/T 28046.1-2011定义的B级。

5.2.7.4 线束拉脱力

按照6.1.6.4进行试验，产品线束不得有损伤、线束断裂、端子脱落等现象，功能状态应不低于GB/T 28046.1-2011定义的B级。

5.2.8 防尘防水性能

智能网联汽车激光雷达的防尘防水等级应达到IP6K7等级，按照6.1.7进行试验，试验后功能状态应达到A级。

5.2.9 环境耐候性

5.2.9.1 温湿度范围

激光雷达的工作环境温湿度范围应符合表1的规定。

表1 温湿度范围

工作环境温度 ($T_{min} \sim T_{max}$) °C	存储环境温度 ($T_{storage_min} \sim T_{storage_max}$) °C	工作环境相对湿度 (%)	大气压 (kPa)
-40~85	-40~85	5~95	50~106

5.2.9.2 低温运行

按照6.1.8.1进行试验，试验后功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的A级。

5.2.9.3 高温运行

按照6.1.8.2进行试验，试验后功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的A级。

5.2.9.4 高低温存储

按照6.1.8.3进行试验，试验后功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的C级。

5.2.9.5 温度梯度

按照6.1.8.4进行试验，试验后功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的A级。

5.2.10 湿热试验

5.2.10.1 湿热循环

按照6.1.8.5.1进行试验，试验后功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的A级。

5.2.10.2 温度/湿度组合循环

按照6.1.8.5.2进行试验，试验后功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的A级。

5.2.10.3 稳态湿热

按照6.1.8.5.3进行试验，试验后功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的A级。

5.2.11 冰水冲击

按照6.1.8.6进行试验，试验后功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的A级。

5.2.12 盐雾腐蚀

按照6.1.8.7进行试验，试验后功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的A级。

5.2.13 太阳光辐射

按照6.1.8.8进行试验，试验后功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的A级。

5.2.14 化学负荷

按照6.1.8.9进行试验，试验后表面不应有气泡、龟裂、脱落、锈蚀和机械损伤，功能状态应达到GB/T 28046.1-2011定义的C级。

6 感知系统与点云质量测试方法

6.1 感知系统测试方法

6.1.1 系统总体性能测试方法

6.1.1.1 处理延时

激光雷达将点云同时发送至感知系统内部的计算模块以及第三方测评模块，计算模块在得到感知结果后将结果发送至第三方模块。第三方模块在接收到点云后记录时间 T_0 ，收到感知结果后记录时间 T_1 ， $T_1 - T_0$ 即为处理延时。为保证结果准确，激光雷达感知系统和第三方测评模块应使用局域网连接，保证信息传输延时小于 1ms。测试时连续记录 2 分钟以上，求最大值、最小值、均值、标准差等统计项。测试时需考虑测试数据内目标数量大于 50。

6.1.1.2 检测范围

检测范围针对不同类型目标可以不同。选择一种被测目标物由近及远远离感知系统，第一次跟踪中断，则视为检测的最远距离。统计输出目标被有效检测的最大距离。再由远及近接近感知系统，重复试验。测试进行 5 次，至少有一次能连续五帧检测到目标且 IOU（定义为 YZ 平面的交并比）大于 0 视为有效检测。选择两组实验中较短的距离为最终的检测范围。检测范围的测试还应注意方向，激光雷达感知系统在不同方向的感知范围可能不同，可在不同方向上按照上述方法进行测试。

6.1.1.3 检测数量

在复杂的交通场景下使用待测系统进行环境感知，统计输出目标物数量。如果待测系统可输出的目标数较多，无法在实际场景中找到类似环境，可以采用仿真数据进行测试。

6.1.1.4 系统稳定性

选择 N 套待测系统，不间断连续运行，记录每套设备发生故障前的总运行时间，计算所有设备发生故障前的运行时间的算数平均数。N 宜大于或等于 5。在稳定性测试中可使用数据回灌的方式进行测试。

6.1.2 感知性能测试方法

6.1.2.1 目标尺寸精度

选择不同类型的测试目标，利用感知系统输出其尺寸，与目标实际尺寸进行比较。目标实际尺寸可

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/355043334322011313>