ICS 号
CCS 号

团 体 标 准

T/CHTS XXXXX-XXXX
代替的团体标准编号

车路协同智能路侧感知传感技术标准

Sensing Technology Standard of Intelligent Roadside Perception for Cooperative Vehicle Infrastructure Systems

（征求意见稿）

xxxx-xx-xx 发布　　xxxx-xx-xx 实施

中国公路学会 发布

作为国家标准委、中国科学技术协会团体标准双试点单位，中国公路学会积极贯彻国务院《深化标准化工作改革方案》（国发〔2015〕13号）的要求，立足交通运输行业公路交通领域，于2015年6月份正式启动团体标准工作。同时，中国公路学会标准工作得到了交通运输部的大力支持，并正式写入交通运输部《交通运输标准化“十三五”发展规划》。

中国公路学会严格按照学会标准管理办法及团体标准良好行为指南要求对标准化工作进行管理，遵循开放、公平、透明、协商一致的原则，突出团体标准贴近实际、注重实用的特点，充分发挥密切跟踪行业科技创新进程、及时了解市场技术发展需求的优势，为交通运输行业公路交通领域提供优质的标准，促进行业技术进步，并打造中国公路学会标准品牌。

获取更多学会标准资讯请关注“中国公路学会标准”微信公众号（微信号：CHTS-standard）。

中国公路学会地址：北京市朝阳区安华路 17 号
电话：010-64288712
网址：http://www.chts.cn/
电子信箱：CHTS-S@qq.com

团体标准

车路协同智能路侧感知传感技术标准

Sensing Technology Standard of Intelligent Roadside Perception for Cooperative Vehicle Infrastructure Systems

T/CHTS XXXXX-20XX

主编单位：北京科技大学

发布单位：中国公路学会

实施日期：××××年××月××日

××××××(出版单位)

中国公路学会关于发布《车路协同智能路侧感知传感技术标准》的公告

××××（文号）

现发布中国公路学会标准《车路协同智能路侧感知传感技术标准》（T/CHTS ×××××—××××），自××××年××月××日起实施。

《车路协同智能路侧感知传感技术标准》（T/CHTS ×××××—××××）的版权和解释权归中国公路学会所有，并委托主编单位北京科技大学负责日常解释和管理工作。

中国公路学会

××××年××月××日

前 言

本标准是在系统总结国内车路协同智能路侧感知传感技术研究成果和工程经验的基础上编制而成。

本标准按照《中国公路学会标准编写规则》（T/CHTS 10001）编写。总分为 6 章，主要内容包括：总则、术语、路侧感知的功能要求、传感器相关指标、传感器标定相关指标、感知技术相关指标等。

本标准由北京科技大学提出，受中国公路学会委托，负责具体解释工作。请有关单位将实施中发现的问题和建议反馈至北京科技大学（地址：北京市海淀区学院路 30 号北京科技大学，联系电话：15801259102，电子邮箱：wlyyyy@hotmail.com），供修订时参考。

主编单位：北京科技大学

参编单位：东南大学、北京交通大学、广西邕洲高速公路有限公司、南京美慧软件有限公司、北京怀柔仪器和传感器有限公司、北京万集科技股份有限公司、深圳市镭神智能系统有限公司、南京慧尔视智能科技有限公司、长沙智能驾驶研究院有限公司

主要起草人：蓝金辉、王陆旸、冉斌、芮一康、毕军、苏爱斌、杨彬彬、张红光、钟国庆、周浩、陈俊德、张长隆、李娟娟、谢鹏程、李敏、王秉旭、王萧涵、曾溢良

主要审查人：×××、×××、×××

目 次

1 总则

1.0.1 本标准服务于车路协同自动驾驶等，为规范路侧传感器的参数与性能指标、感知能力与感知精度、多传感器标定等传感技术方面的指标，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于车路协同智能路侧感知传感系统。

1.0.3 车路协同智能路侧感知传感系统除应符合本标准的规定外，尚应符合有关法律法规及国家、行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 传感器 transducer/sensor

能感受被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。

2.0.2 传感技术 sensing technology

使用传感器高精度、高效率、高可靠性的采集各种形式信息的技术。

2.0.3 路侧感知技术 roadside perception technology

路侧感知技术是利用视觉传感器、毫米波雷达和激光雷达等多种传感器，结合交通环境感知技术，实现对当前道路交通参与者和路况信息的实时获取的技术。

2.0.4 测量范围 measuring range

在允许误差限内由被测量的两个值确定的区间。

2.0.5 分辨率 resolution

传感器在规定测量范围内可能检测出的被测量的最小变化量。

2.0.6 标定 calibration

传感器的标定是指将标准器所体现的标准值，传递到传感器工作量程的分度上，对分度进行定度的过程。

2.0.7 交通事件 traffic incident

道路上发生的，影响车辆通行及交通安全的异常交通状况及行为，主要指停止事件、逆行事件、行人事件、抛洒物事件、拥堵事件、机动车驶离事件等典型事件种类。

2.0.8 检测率 true positive rate

系统在正常工作状态中，交通目标和交通事件检测时，系统输出正确目标或正确事件与应该被系统检测的目标或事件的百分比。

2.0.9 误检率 false positive rate

系统在正常工作状态中，交通目标和交通事件检测时，系统输出的目标或事件中，错误目标或事件所占的百分比。

2.0.10 航向角检测精度 detecting precision of heading angle

在感知范围内与特定时间内，路侧感知系统对所感知到的所有交通参与者的航向角（即为交通参与者运动方向与正北方向的顺时针夹角）检测值与真值的平均绝对误差，可根据下式进行估计：

$$E_{\mathrm{h}}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(|\theta_i-\breve{\theta}_i|)$$

式中，E_{h}表示航向角检测精度，θ_i为待测系统在第i个样本中的航向角；$\breve{\theta}_i$为第i个样本中的真实航向角；N为特定时间内，所有感知时刻中检测到的所有交通参与者的样本总量。

2.0.11　**有效检测范围** effective detection range

在观察范围内，对于某种事件类型和目标对象能够以一定的检测率进行检测的范围。

2.0.12　**联合标定** joint calibration

标定不同传感器之间的相对外参的操作。

2.0.13　**信噪比** signal noise ratio

信噪比为信号电压与噪声电压的比值。

3　路侧感知的功能要求

3.0.1　使用部署在高速公路、城市快速路、城市道路（城市主/次干道、连接路、公交专线）、隧道、封闭区域（试验场、园区、自动泊车停车场）、普通公路的路侧传感器采集交数据，实现对交通对象、交通事件进行检测识别和定位。

3.0.2　检测识别功能包括但不限于可检测识别交通对象的类型、尺寸、位置、速度等信息和交通事件的类型等信息。

4　传感器相关指标

4.1　路侧传感器相关指标

4.1.1 本标准的路侧传感器包括可见光图像传感器、红外图像传感器、激光雷达传感器、毫米波雷达传感器。

4.1.2 本标准给出路侧传感器的各项参数指标要求，包括但不限于路侧传感器参数指标、传感器授时与时间同步指标、数据格式、电磁兼容性能指标、外部通讯接口指标、环境适应性指标、外壳防护等级指标。

4.2　路侧传感器参数指标要求

4.2.1 可见光图像传感器、红外图像传感器相关指标主要包含分辨率、视场角、帧率、信噪比等指标。

1 分辨率表示传感器分辨影像细节能力的度量，路侧感知可见光图像传感器像素不得小于 200 万像素，路侧感知红外图像传感器像素不得小于 40 万像素。

2 视场角是传感器的视野范围，根据不同路段选用不同视场角的传感器，路侧感知可见光图像传感器、红外图像传感器的视场角宜为 5 度~90 度。重点路段可采用鱼眼相机补盲扩大视野。

3 路侧感知可见光图像传感器、红外图像传感器帧率不得低于 25 FPS。

4 路侧感知可见光图像传感器、红外图像传感器信噪比不得小于 50 dB。

条文说明：

本标准图像传感器的视场角指对角线视角。

可见光图像传感器、红外图像传感器指标测量方式与指标说明如表 1 所示：

表 1 可见光图像传感器、红外图像传感器相关指标测量方式与指标说明

指标	测量方式	指标说明
分辨率	根据采集到的图片查看其信	200 万像相当于 D5 标准：1920×1080；

	息。	100 万像素相当于 D4 标准：1280×720； 40 万像素相当于 D1 标准：720×480。
视场角	$\theta = 2arctan\,(C/2L)$，(C 为实际拍摄对角线长度，L 为相机垂直于平面的线段长度)。	广角镜头：视场角在 90 度以上，一般用于电梯轿箱内、大厅等小视距大视场角场所； 视场角在 60 度以上，用于 5 米左右场所； 视场角在 50 度以上，用于 8-10 米左右场所； 视场角在 40 度以上，用于 10-18 米左右场所； 视场角在 30 度以上，用于 20-30 米左右场所； 视场角在 20 度以上，用于 30-50 米左右场所； 长焦镜头：视场角在 20 度以内，焦距的范围从几十毫米到上百毫米，用于远距离监视。 若安装高度为 6m，视场角为 5 度，则有 68.58m 盲区，在每隔 100m 安装一个传感器，传感器需有 169m 的探测距离；若安装高度为 8m，视场角为 5 度，则有 91.44m 盲区，在每隔 100m 安装一个传感器，传感器需有 192m 的探测距离。 视场角为 90 度则可以探测单侧道路没有盲区。
帧率	录制视频后查看其视频帧率。	25 FPS 保证图像的连贯性，不对过往车辆进行漏检。
信噪比	$SNR = 20\lg\left(\frac{V_s}{V_n}\right)$，（$V_s$为信号电压的有效值，$V_n$为噪声电压有效值）。	信噪比是信号电压对于噪声电压的比值，信噪比的典型值为 45~55db，一般监控摄像机的图像信噪比是在 50db，若为 50db，则图像有少量噪声，但图像质量良好；若为 60db，则图像质量优良，不出现噪声。

4.2.2 激光雷达传感器主要包含激光的波长、帧率、视场角、角度分辨率、测距精度、最大探测距离、点频等指标。

1 路侧激光雷达传感器的波长宜为 905nm 或 1550nm。

2 帧率为激光雷达对同一个目标点探测的频率。路侧激光雷达帧率不得小于 10Hz。

3 视场角为激光雷达点云覆盖的区域相对坐标原点的最大张角，分为垂直视场角和水平视场角。

1）路侧激光雷达水平视场角：重点路段下路侧激光雷达水平视角不得小于 180 度，普通路段下路侧激光雷达水平视场角不得小于 90 度。

2）路侧激光雷达垂直视场角俯角不得小于 15 度。

4 角分辨率为激光雷达输出的点云相邻两个点之间的夹角。角度分辨率分为垂直分辨率与水平分辨率。水平分辨率不得大于 0.4 度，垂直分辨率不得大于 1 度。

5 测距精度是激光雷达对径向上相隔一定距离的两个目标进行分辨的能力，测距精度不得高于±3cm。

6 激光雷达的最大探测距离与目标的反射率相关。10%反射率情况下，路侧激光雷达最大探测距离不得小于 100m。

条文说明：

以上均为传感器指标指单个激光雷达的指标，视场角指标可通过多个激光雷达拼接满足上述要求。

激光雷达传感器指标测量方式与指标说明如表 2 所示：

表 2 激光雷达传感器相关指标测量方式与指标说明

指标	测量方式	指标说明
波长	激光雷达传感器出厂设定。	波长更长的近红外激光的穿透性更好，且更不容易受太阳光影响，因此更多的应用在了远距离的激光雷达中。目前主流的激光雷达发射的激光波长为 905nm 和 1550nm，不同波段激光雷达接收器材质不同，905nm 激光雷达接收器可以直接选用硅材质，1550nm 激光雷达需要用到铟镓砷材质。故宜选用波长 905nm 或 1550nm 的激光雷达。
帧率	一秒内采集的帧数。	由于激光雷达的采样率是一定的，因此帧率越高，角分辨率越低；帧率越低，角分辨率越高。高帧率更利于捕捉高速运动的物体，比如高速公路上行驶的车辆，10Hz 意味着激光雷达 0.1s 扫描一次，即使高速上车辆以 120km/h 速度行驶，0.1s 车辆行驶 3.3m（即不会超过车长）。不会产生漏检现象。
视场角（水平视场角、垂直视场角）	水平视场角即激光雷达旋转一周的角度，垂直视场角通过抓取采集点云数据垂直角度最值之差获取。	水平视场角：在复杂路段覆盖双侧道路，故视场角不得小于 180 度；在普通道路覆盖单侧道路，故视场角不得小于 90 度。 垂直视场角：若安装路侧设备杆高度为 6m，15 度俯角时有 22.39m 的视觉盲区。若按最大探测距离 100m，则需间隔 77m 布设一台激光雷达。
角度分辨率（垂直分辨率、水平分辨率）	分析采集的点云数据，两相邻点的水平夹角、垂直夹角即为对应的角度分辨率。	水平分辨率：在距离为 100m 时，若水平分辨率 0.4 度有宽度小于 0.698m 的物体被扫描不到。故水平分辨率不得小于 0.4 度。 垂直分辨率：在距离为 100m 时，若垂直分辨率 1 度有高度小于 1.76m 的物体被扫描不到。故垂直分辨率不得小于 1 度。
测距精度	采集的点云距离信息与激光测距仪测量的距离对比得出。	测距精度是激光雷达对径向上相隔一定距离的两个目标进行分辨的能力。路侧激光雷达测距精度范围不得高于±3cm。
最大探测距离	激光雷达探测目标的最远	目标反射率越高，雷达能够检测到的有效回

	距离，抓取采集数据中距离信息的最值，比较多次实验最值获得。	波就越多，所以能测量的距离越远。路侧激光雷达最大探测距离不得小于 100m。

4.2.3 毫米波传感器主要包含工作频段、信号带宽、测距范围、水平视场角、垂直视场角、测距精度、测速精度等指标。

1 毫米波传感器工作频段宜高于 79GHz。

2 信号带宽根据频段选择的不同，毫米波传感器扫描带宽不同。路侧毫米波雷达信号带宽宜大于 1GHz。

3 测距范围用毫米波传感器所能测量的最大范围，路侧毫米波传感器最远探测地面距离不得小于 200m。

4 水平视场角为毫米波雷达的波束扫描范围。路侧毫米波雷达水平方位角不得小于±45 度。

5 垂直视场角为毫米波雷达的椭圆状波束的垂直开角。路侧毫米波雷达垂直视场角不得小于±4.5 度@200m。

6 测距精度指用毫米波传感器所测距离的准确度，路侧毫米波传感器测距精度不得大于±0.5m。

7 测速精度指用毫米波传感器所测速度的准确度，路侧毫米波传感器测速精度不得大于±0.5m/s。

条文说明：

毫米波雷达传感器指标测量方式与指标说明如表 3 所示：

表 3 毫米波雷达传感器相关指标测量方式与指标说明

指标	测量方式	指标说明
工作频段	毫米波雷达出厂设定	毫米波传感器工作频段一般为 24 GHz、77GHz、79GHz 或 80GHz。目前我国已经把 76-79GHz 频段专门规划用于汽车雷达，并限制了其他地面雷达对该频段的使用。依据世界无线电通信大会、工业和信息化部的要求，随政策调整，路侧毫米波传感器工作频段宜高于 79GHz。
带宽	毫米波雷达出厂设定	信号带宽根据频段选择的不同，毫米波传感器扫描带宽不同。路侧毫米波雷达信号带宽宜大于 1GHz。
测距范围	根据实验测得目标最远距离与激光测距仪测得距离进行比对。	路侧毫米波传感器最远探测距离不得小于 200m。
水平视场角	毫米波水平视场角通过抓取采	道路测量单侧道路视角不得小于±45 度，确

	集点云数据水平角度最值之差获取。	保路侧毫米波雷达能完全测得单侧方向车辆。
垂直视场角	毫米波垂直视场角通过抓取采集点云数据垂直角度最值之差获取。	垂直视场角为±4.5 度则在安装高度为 6m 时有 37.88m 的盲区，若按最大探测距离 200m，则需间隔 162m 布设一台毫米波雷达；在安装高度为 8m 时有 50.51m 的盲区，若按最大探测距离 200m，则需间隔 149m 布设一台毫米波雷达。
测距精度	根据实验测得目标距离与激光测距仪数据进行对比。	测距精度指用毫米波传感器所测距离的准确度，路侧毫米波传感器测距精度不得大于±0.5m。
速度精度	根据毫米波检测目标速度与实际车载传感器速度进行对比。	路侧毫米波传感器测速精度不得大于±0.5m/s。

4.3 传感器授时与时间同步指标

4.3.1 路侧可见光图像传感器、红外图像传感器、激光雷达传感器与毫米波雷达传感器宜采用全球导航卫星系统（GNSS）高精度授时。

4.3.2 路侧可见光图像传感器、红外图像传感器、激光雷达传感器与毫米波雷达传感器软件同步宜采用时间戳进行不同传感器的匹配。

4.3.3 硬件同步宜使用网络时间协议 NTP、简单网络时间协议 SNTP、高精度时间同步协议 PTP 等协议进行各传感器设备时间同步。同步精度宜小于 1 毫秒。

4.4 数据格式

4.4.1 传感器输出的数据格式包括可见光图像传感器、红外图像传感器、激光雷达传感器和毫米波雷达传感器的数据格式。输出的数据宜满足通用性的要求，如表 4.4.1-1 所示。

表 4.4.1-1 传感器数据格式

传感器类型	保存数据内容	数据保存格式	数据编码格式
可见光图像传感器 红外图像传感器	图像	jpg，png	JPEG，Lz77
	视频	mp4，avi	H.264，H.265， MPEG，WMV
激光雷达传感器	点云	pcd，bin，txt，ply	ASCII 编码， 二进制编码
毫米波传感器	点云	bin	ASCII 编码， 二进制编码
	目标		
	目标轨迹		

4.5 电磁兼容性能指标

4.5.1 传感器对外干扰限值应满足《信息技术设备、多媒体设备和接收机电磁兼容 第1部分：发射要求》（GB/T 9254.1-2021）的有关规定。路侧传感器满足规定的A级要求。

4.5.2 传感器抗干扰应满足《信息技术设备、多媒体设备和接收机电磁兼容 第 2 部分：抗干扰要求》（GB/T 9254.1-2021）的有关规定。路侧传感器满足规定的A级要求。

4.6 外部通信接口指标

路侧传感器根据自身特点，应当具有数据通信接口。数据通信接口宜满足通用性的要求，如表4.6-1所示。

表4.6-1 传感器通信接口指标

传感器类型	数据通信接口指标
可见光图像传感器 红外图像传感器	以太网接口（支持 IPV6、IPV4） USB 光纤接口 RS485
激光雷达传感器	以太网接口（支持 IPV6、IPV4） RS232 I/O 接口
毫米波传感器	以太网接口（支持 IPV6、IPV4） CAN 接口

4.7 环境适应性指标

4.7.1 路侧传感器应满足《安全防范视频监控摄像机通用技术要求》（GA/T 1127-2013）第五章的有关规定、《违法占用公交车专用车道车载抓拍装备技术规范》（JT/T 1252-2019）第四章的有关规定，传感器正常工作的环境条件应满足表4.7.1-1的要求。

表4.7.1-1 智能路侧传感器正常工作环境条件

环境条件	要求
温度	-40℃~70℃
相对湿度	≤95%

4.7.2 在极端环境下，若环境温度超过路侧传感器正常工作环境条件，应采用温度补偿方式减小甚至消除温度对传感器的影响。

4.8 外壳防护等级指标

传感器外壳防护等级应符合《外壳防护等级（IP 代码）》（GB/T 4208-2017）的有关规定。可见光图像传感器、红外图像传感器、激光雷达传感器、毫米波雷达传感器不得低于IP67 级别。

5 传感器标定相关指标

5.1 传感器的安装标定

5.1.1 可见光图像传感器、红外图像传感器可采用棋盘格标定，标定精度应满足重投影误差小于 1 像素。

5.1.2 激光雷达传感器可采用激光水准仪标定，标定精度应满足平均旋转误差小于 0.1 度，平均平移误差小于 0.05m。

5.1.3 毫米波传感器可采用雷达角反射器标定，标定精度应满足平移误差小于 0.5m@50m。

5.2 传感器的联合标定

5.2.1 可见光图像传感器、红外图像传感器和激光雷达传感器的联合标定的精度应满足重投影误差小于 2 像素。

5.2.2 激光雷达传感器和毫米波雷达传感器的联合标定的精度应满足平移误差小于 0.5m。

5.2.3 可见光图像传感器、红外图像传感器、激光雷达和毫米波传感器的联合标定的精度应满足平移误差重投影误差小于 2 像素或小于 0.5m。

5.3 传感器安装后重新标定的时间

5.3.1 图像传感器、激光雷达和毫米波传感器应跟随我国每年对交通信号灯所有设备及配套设施进行的初检、巡查、维修、配时优化、更换设备等工作进行重新标定。

5.3.2 若地理环境改变或环境恶劣，应缩短标定时间或立即重新标定。

条文说明：

传感器的安装标定：

可见光图像传感器、红外图像传感器标定的相关指标是重投影误差。重投影误差是指在获得标定的内参和外参之后，将世界坐标作为输入，通过内参和外参计算所得像素坐标与实际坐标之间的误差值。

$$Z_C\begin{bmatrix}u\\v\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{1}{dx}&0&u_0\\0&\frac{1}{dy}&v_0\\0&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}f&0&0&0\\0&f&0&0\\0&0&1&0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}R&t\\0^T&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}X\\Y\\Z\\1\end{bmatrix} \tag{1}$$

$$\begin{cases}\Delta u=u-u_0\\\Delta v=v-v_0\end{cases} \tag{2}$$

其中：公式（1）是像素坐标系与世界坐标系(笛卡尔空间坐标系) 的转换关系；

公式（2）是重投影误差的计算公式；

X，Y，Z是已知世界坐标，u，v是计算所得像素坐标；

u_0，v_0是已知世界坐标对应的已知像素坐标，Δu，Δv是重投影误差。

激光雷达传感器标定的相关指标是平均平移误差和平均旋转误差。误差是指在获得激光雷达的外参之后，将激光雷达坐标（这里是指通过拟合等方式获得的与已知世界坐标的点相对应的激光雷达坐标）作为输入带入，通过外参计算所得世界坐标和实际坐标之间的距离和角度之差。

$$\begin{bmatrix}X_p\\Y_p\\Z_p\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}R_c^L&t_c^L\\0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}X_c\\Y_c\\Z_c\\1\end{bmatrix} \tag{3}$$

其中，
$$\begin{cases}R_c^L=R_{\varphi'}R_{\theta'}R_{\phi'}\\R_{\varphi'}=\begin{bmatrix}1&0&0\\0&\cos\varphi'&\sin\varphi'\\0&-\sin\varphi'&\cos\varphi'\end{bmatrix}\\R_{\theta'}=\begin{bmatrix}\cos\theta'&0&-\sin\theta'\\0&1&0\\\sin\theta'&0&\cos\theta'\end{bmatrix}\\R_{\phi'}=\begin{bmatrix}\cos\phi'&\sin\phi'&0\\-\sin\phi'&\cos\phi'&0\\0&0&1\end{bmatrix}\end{cases}$$

$$\begin{cases}\Delta t=\left\|\overrightarrow{CP}\right\|\\\Delta R=\dfrac{\left[\overrightarrow{OC},\overrightarrow{OP}\right]}{\left\|\overrightarrow{OC}\right\|\left\|\overrightarrow{OP}\right\|}\end{cases} \tag{4}$$

其中：公式（3）是世界坐标系与激光雷达坐标系的转换关系；

公式（4）是平移误差和旋转误差的计算公式；

X_p，Y_p，Z_p是世界坐标系坐标，X_c，Y_c，Z_c是激光雷达坐标系坐标；

Δt，ΔR是平移误差和旋转误差；

O 为世界坐标系原点，P 为已知世界坐标的一点；

C 为通过该点激光雷达坐标和激光雷达外参计算得出的世界坐标对应的点。

毫米波雷达传感器标定的相关指标是满足毫米波传感器坐标与地球坐标之间误差。误差是指在获得毫米波雷达的外参之后，将毫米波雷达坐标通过外参计算所得世界坐标和实际坐标之间的距离和角度之差。

传感器的联合标定

图像、激光雷达和毫米波雷达传感器联合标定的相关指标是重投影误差。重投影误差是指在获得图像和激光雷达传感器之间的外参之后，将激光雷达坐标（这里是指通过拟合等方式获得的与已知世界坐标的点相对应的激光雷达坐标）作为输入带入，通过外参计算所得像素坐标与实际坐标之间的误差值。

$$Z_C\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \frac{1}{dx} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{dy} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$\begin{cases} \Delta u = u - u_0 \\ \Delta v = v - v_0 \end{cases} \tag{6}$$

公式（5）是像素坐标系与世界坐标系(笛卡尔空间坐标系) 的转换关系；

公式（6）是重投影误差的计算公式；

X，Y，Z是已知世界坐标，u，v是计算所得像素坐标；

u_0，v_0是已知世界坐标对应的已知像素坐标，Δu，Δv是重投影误差。

6 感知技术相关指标

6.1 感知信息类型

6.1.1 感知信息主要包括识别对象、识别对象相关信息和识别事件。

6.1.2 识别对象包括但不限于机动车（轿车、卡车、面包车、大巴车、摩托车、紧急或特殊车辆等）、非机动车（自行车、三轮车等）、行人等。

6.1.3 识别对象相关信息包括但不限于检测率、误检率、航向角、位置信息、三维尺寸（长、宽、高）、运动速度（包括但不限于机动车、非机动车、行人速度）、对象感知时延。

6.1.4 识别事件包括事件类型、事件位置及其范围。

6.1.5 交通事件类型包括但不限于停止事件、逆行事件、行人事件、抛洒物事件、拥堵事件、机动车驶离事件等典型事件。

6.2 感知性能指标

感知性能指标分为 PL1 和 PL2 两级。PL1 为需求较低级别的感知，包括系统所需满足的较低识别性能指标。PL2 为需求较高级别的感知，包括系统所需满足的较高识别性能指标。感知性能指标要求如表 6.2-1 所示。

表 6.2-1 感知性能指标

性能指标			服务对象	
			PL1	PL2
识别对象	机动车	检测率	≥85%	≥95%
		误检率	≤5%	≤3%
		航向角检测精度	≤5°	≤2.5°
	非机动车	检测率	≥80%	≥90%
		误检率	≤10%	≤5%
		航向角检测精度	—	≤5°
	行人	检测率	≥80%	≥90%
		误检率	≤10%	≤5%
		航向角检测精度	—	—
识别对象相关信息	识别对象类别检测率		≥95%	≥99.9%
	位置检测误差		≤1.5m	≤1m
	三维尺寸检测误差		≤50cm	≤30cm

	对象感知时延		≤200ms	≤100ms
	速度误差	机动车、非机动车	≤5km/h	≤3km/h
		行人	≤5km/h	≤2km/h
识别事件	交通事件类型	检测率	≥85%	≥90%
		误检率	≤3%	≤2%
	事件位置及其范围绝对位置误差		≤1.5m	≤1m
注：“—”表示不做要求或不适用。				

条文说明：

对象感知时延说明：

某交通参与者出现在某一空间位置或某事件发生时刻的实际时间，与路侧感知系统感知到该目标或事件后发送该信息的实际时间之间的时间差。

感知技术指标制定说明：

本标准为制定感知相关指标，进行一系列试验和调研。感知信息主要包括识别对象、识别事件和时延要求。其中识别对象需要包括机动车、非机动车和行人，同时需要检测其位置、尺寸和速度信息。识别事件需要包括交通事故、拥堵事件、道路施工，同时需要检测其位置信息。对识别对象和识别事件进行感知的同时，也需要事件检测时延、对象感知时延、结果更新频率等相关信息。根据《智能网联道路系统分级定义与解读报告》中交通基础设施系统的分级，进一步将感知等级（Perception Level）分为两级：

PL1（Perception Level 1）：道路交通基础设施系统为 I0 级（无信息化/无智能化/无自动化）、I1 级（初步数字化/初步智能化/初步自动化）、I2 级（部分网联化/部分智能化/部分自动化）、I3 级（基于交通基础设施的有条件自动驾驶和高度网联化），需求较低级别的感知，包括系统所需满足的较低识别性能指标，该级别系统能实现对识别对象、事件较精准的识别。

PL2（Perception Level 2）：道路交通基础设施系统为 I4 级（基于交通基础设施的高度自动驾驶）、I5 级（基于交通基础设施的完全自动化驾驶），需求较高级别的感知，包括系统所需满足的较高识别性能指标，该级别系统能实现对识别对象、事件精准的识别。

根据试验结果，制定 PL1 级中识别对象及其相关信息的感知指标，根据文献调研结果，制定 PL2 级感知指标中识别对象和事件的感知指标。在实际道路环境中，系统的性能受到诸多因素的影响，如天气条件、光照、车辆密度等。在这些实际道路环境下，编制组对高速路、城市快速路、城市普通道路、园区等实验场景采集数据，并将采集到的数据进行处理，对采集的可见光图像、红外图像、三维点云样本进行验证，并通过目标检测算法验证机动车、非机动车、行人的检测率、漏检率、虚报率，并通过可见光图像数据、红外图像数据、三维点云数据、毫米波雷达数据确定位置误差、三维尺寸检测误差、速度误差等

PL2 级中的感知性能指标。满足 PL2 级感知性能指标可以为驾驶员和自动驾驶系统提供足够的信息，帮助它们做出正确的决策，从而提高道路安全和交通效率。满足 PL1 级感知性能指标能实现部分智能化、一定基础设施等条件下稍低等级的自动驾驶。

众多学者和研究机构在车路协同系统领域的研究涉及不同类型的传感器（如图像传感器、激光雷达、毫米波雷达等）以及各种数据融合和目标识别算法，国内近三年相关文献国内近三年文献中交通检测结果显示感知结果可以少数满足 PL2 级感知性能指标，多数可以满足 PL1 级感知性能指标。国内近 3 年各科研单位采用不同形式的数据进行事件检测的检测率来看，检测率多数都在 90%以上，虚报率在 2%以内，结果可以满足 PL2 级感知性能指标，可以满足对交通事件检测的要求。

附录 A 其他指标

1 传感器电气性能指标

在满足电气性能指标要求的情况下，传感器各项功能均应正常，不应出现任何异常现象。电气性能指标如表 A.0.1。

表 A.0.1 电气性能指标参数

标称电源电压（V/伏特）	电源电压范围（V/伏特）	电源类型
5	4.5~5.5	直流
12	8~18	直流
24	18~32	直流

2 传感器尺寸

路侧传感器的尺寸宜满足表 A.0.2。

表 A.0.2 传感器尺寸指标

传感器类型	尺寸指标
可见光图像传感器 红外图像传感器	≤ 150 mm ×100 mm ×100 mm
激光雷达传感器	≤ Φ200 mm ×170 mm
毫米波传感器	≤ 260 mm ×200 mm ×100 mm

用词说明

1 本标准（规范/规程/指南……）执行严格程度的用词，采用下列写法:

1）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

2）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

3）表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1）在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合《×××××》（×××）的有关规定”。

2）当引用标准中的其他规定时，应表述为“应符合本标准（规范/规程/指南……）第×章的有关规定”、“应符合本标准（规范/规程/指南……）第×.×节的有关规定”、“应按本标准（规范/规程/指南……）第×.×.×条的有关规定执行。”