

团体标准

T/ITS **-**

ADAS 感知系统目标识别可信性评价与测试方法

Evaluation And Testing Method of ADAS Perception System object recognition
Credibility

(征求意见稿)

(本草案完成时间: 20260423)

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。

20**-**-**发布

2020**-**-**实施

中国智能交通产业联盟 发布

中国智能交通产业联盟

目 次

前 言	2
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测试条件	2
5 评价方法	4
6 测试方法	8
附 录 A（资料性）基础场景与干扰元素	10

中国智能交通产业联盟

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》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。

本文件起草单位：交通运输部公路科学研究院、襄阳达安汽车检测中心有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、重庆大学、东软睿驰汽车技术（沈阳）有限公司、郑州宇通集团有限公司、重庆渝微电子技术研究院有限公司、惠州市德赛西威汽车电子股份有限公司、中科慧拓（北京）科技有限公司、苏州未来智能交通产业研究院

本文件主要起草人：

中国智能交通产业联盟

ADAS 感知系统目标识别可信性评价与测试方法

1 范围

本文件规定了ADAS感知系统目标识别可信性的测试条件、评价与测试方法。

本文件适用于安装有智能环境感知系统的M类、N类汽车，其他类型车辆参照执行。

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 5768.2 道路交通标志和标线 第2部分：道路交通标志
- GB 5768.3 道路交通标志和标线 第3部分：道路交通标线
- GB/T 26773—2011 智能运输系统 车道偏离报警系统 性能要求与检测方法
- GB/T 27694 雾的预报等级
- GB/T 28592 降水量等级
- GB/T 36987 汽车防抱制动系统(ABS)性能检测方法
- GB/T 39901—2021 乘用车自动紧急制动系统(AEBS)性能要求及试验方法
- GB/T 41796—2022 商用车辆车道保持辅助系统性能要求及试验方法
- JT/T 883—2014 营运车辆行驶危险预警系统技术要求和试验方法
- JT/T 1242—2019 营运车辆自动紧急制动系统性能要求和测试规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

可信性 *credibility*

指智能感知系统在预期运行环境中，提供持续、准确、可靠的环境感知信息的能力与程度。

3.2

感知系统 *perception system*

指通过毫米波雷达、车载摄像机和激光雷达等多源传感器采集环境信息，经数据处理与融合实现对场景的感知与理解，为智能决策与控制提供可靠环境认知能力的软硬件一体化系统。

3.3

测试场景 test scenario

指用于开展ADAS感知系统目标识别可信度评价与测试的场景，是车辆行驶过程中自然环境、道路条件、天气状况、交通参与者等各类场景要素的集合，具体包含基础场景与扩展场景两类。

3.4

基础场景 basic scenario

是指由典型交通场景构成的用于可信性测试的核心基准场景，主要包括标准测试场景和其他基础测试。

3.5

扩展场景 extended scenario

指以基础场景为基准，通过叠加各类静态或动态干扰元素，进而衍生形成多样化测试场景，用以验证感知系统在复杂交通条件下的鲁棒性与可信性。

3.6

正向指标 positive indicator

是指指标取值与评价对象的目标效能呈正相关关系的量化指标，即指标数值越大，代表评价对象可信性水平越好。

3.7

逆向指标 negative indicator

是指指标取值与评价对象的目标效能呈负相关关系的量化指标，即指标数值越大，代表评价对象可信性水平越低。

4 测试条件

4.1 测试环境要求

4.1.1 除雨、雾测试外，测试路面应为干燥路面，附着系数应大于或等于 0.8。

4.1.2 测试道路应配备车道标线，且保证车道标线清晰可见。

4.1.3 开展雨、雾干扰场景测试前，应确认测试场地具备模拟雨、雾等环境的能力。

4.1.4 测试过程中，测试道路两侧 3m 以内且静止目标车辆前方 30m 内无任何车辆、障碍物或其他影响试验的物体。

4.1.5 环境温度在-20℃~50℃之间。

4.1.6 环境风速不大于 5 m/s。

4.2 测试目标物要求

4.2.1 车辆目标应为常规批量生产的车辆，或选取特征参数能代表车辆目标且能被感知系统传感器有效探测的柔性目标。

4.2.2 两轮车目标应选取特征参数能代表两轮车及两轮车骑行者目标，且能被感知系统传感器有效探测的柔性目标。

4.2.3 行人目标应选取特征参数能代表成人或儿童目标，且能被感知系统传感器有效探测的柔性目标。

4.3 试验车辆要求

4.3.1 试验车辆质量以整车整备质量为基础，额外加上测试人员及测试设备的质量。测试人员与测试设备的总质量应控制在 200 ± 20 kg 范围内。

4.3.2 试验车辆轮胎应磨合至正常状态，轮胎气压应使用车辆制造商推荐的冷态气压。

4.4 数据记录要求

4.4.1 测试数据记录设备包括但不限于具备摄像、车辆状态信息记录、车辆感知结果信息记录、数据存储、数据导出与传输等功能的设备，另外还包括测试人员记录下来的信息文件。

4.4.2 记录数据包括但不限于：

- a) 测试过程的视频数据，包括人机交互信息、车辆内/外部环境、车辆发出的提示或预警信息等；
- b) 车辆状态信息，包括车辆速度、加速度、位置、油门踏板开度、制动踏板开度，方向盘转角、转向灯、喇叭等；
- c) 车辆感知结果信息，包括目标的分类识别、定位、跟踪、分割等解算结果。

4.4.3 测试数据记录设备的安装位置包括但不限于：

- a) 安装在试验车辆上的；
- b) 安装在目标车辆上的；
- c) 安装在测试场地内的。

4.4.4 对于车辆感知结果信息、试验车辆和目标车辆的状态信息等数据，每条数据均需同步记录其对应的精确时间戳。

4.4.5 若各类测试数据的记录频率存在差异，进行数据同步处理应遵循时间戳就近匹配原则，将前后时间戳最为接近的数据帧判定为同一时刻数据。

4.5 测试设备精度要求

测试设备的数据采集精度应满足以下要求：

- a) 纵向速度精度至少为： ± 0.1 km/h；
- b) 横向速度精度至少为： ± 0.05 m/s；
- c) 纵向和横向加速度精度至少为： ± 0.02 m/s²；
- d) 纵向和横向的位置精度至少为： ± 0.02 m；
- e) 视频采集设备分辨率不应低于 720×480 px，采样帧率不低于 25 fps。

5 评价方法

5.1 可信性评价指标

5.1.1 感知精确性指标

5.1.1.1 平均精确率均值 (mean Average Precision, mAP): 表示多类别目标检测任务中, 每个类别的平均精确率, 计算公式如下:

$$mAP = \frac{1}{C} \sum_{c=1}^C AP_i \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- mAP ——表示平均精确率均值;
- C ——表示类别数;
- AP_i ——表示第 i 类的平均精确率。

5.1.1.2 平均交并比 (mean Intersection over Union, mIoU): 衡量多类目标预测结果和真实结果的平均重叠率, 计算公式如下:

$$mIoU = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{TP_i}{TP_i + FP_i + FN_i} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $mIoU$ ——表示平均交并比;
- N ——表示类别数;
- TP_i ——表示真正例;
- FP_i ——表示假正例;
- FN_i ——表示假反例。

5.1.1.3 距离误差: 以车辆感知坐标系为基准, 计算目标在测试过程中的距离误差, 采用归一化平均绝对误差 (Normalized Mean Absolute Error, NMAE) 进行量化评估, 计算公式如下:

$$NMAE = \frac{1}{n(y_{\max} - y_{\min})} \sum_{i=1}^N |y_i - \tilde{y}_i| \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $NMAE$ ——表示归一化平均误差
- n ——表示测试数据的序列长度;
- y_{\max} ——表示预测值中的最大值;
- y_{\min} ——表示预测值中的最小值;
- y ——表示预测值;
- \tilde{y} ——表示真实值。

5.1.1.4 速度误差: 以车辆感知坐标系为基准, 计算目标在测试过程中的速度误差, 计算方式同式(3)。

5.1.2 感知实时性指标

感知时延：表示感知系统从数据采集到处理完成的端到端时间差，计算公式如下：

$$T_{\text{score}} = \begin{cases} 1, & T_d \leq 50 \\ -\frac{1}{50}T_d + 2, & 50 < T_d \leq 100 \\ 0, & T_d > 100 \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- T_{score} ——表示感知实时性得分；
 T_d ——表示感知耗时，单位为毫秒（ms）。

5.1.3 不确定性指标

用于评估模型自我认知的准确性，即模型对分类结果的信任程度是否与其实际分类能力相匹配。计算公式如下：

$$U = \sum_{d=1}^D |c_d - \text{acc}_d| \omega_d \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- U ——表示不确定性；
 D ——表示置信度分箱数，本文件将置信度划分为 10 个区间，分别为 [0,0.1],[0.1,0.2),..., [0.9,1]；
 c_d ——表示第 d 区间的平均置信度；
 acc_d ——表示第 d 区间内正确分类的样本数占该区间总样本数的比例；
 ω ——表示第 d 区间的样本数占所有测试样本总数的比例。

5.1.4 环境适应性指标

5.1.4.1 衰减率：用于评估扩展场景相对于基础场景，在 4 项感知精确性指标上的衰减程度，计算公式如下：

$$A_r = \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 \frac{|p_k^{\text{base}} - p_k^m|}{p_k^{\text{base}}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- A_r ——表示衰减率；
 p_k^{base} ——表示基础场景中第 k 项感知精确性指标；
 p_k^m ——表示第 m 个扩展场景中第 k 项感知精确性指标。

5.1.4.2 变异系数：用于量化评估感知系统在环境变异下的性能稳定性。数值越低，表明感知系统越稳定，计算公示如下：

$$C_v = \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 \frac{1}{1 + \sigma_k / p_k^{\text{base}}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\mu_k = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_k^m \dots\dots\dots (8)$$

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (P_k^m - \mu_k)^2} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- C_v —— 变异系数;
- μ_k —— 表示所有扩展场景中第 k 项感知精确性指标的平均值;
- σ_k —— 表示所有扩展场景中第 k 项感知精确性指标的标准差;
- M —— 表示扩展场景数量。

5.1.5 空间一致性指标

5.1.5.1 多传感器一致性误差: 用于衡量不同类型传感器及同类型不同个体传感器, 对同一目标感知距离的一致性程度, 计算公式如下:

$$C_s = \frac{\sum_{n=1}^N |L_n - \mu|}{N \mu} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- C_s —— 表示多传感器一致性误差;
- N —— 表示参与融合的传感器数量;
- L_n —— 表示第 n 个传感器对同一目标的感知距离;
- μ —— 表示所有感知距离结果的平均值。

5.1.5.2 单传感器稳定性误差: 用于衡量同一传感器, 在不同连续帧中对同一目标感知的波动程度, 计算公式如下:

$$C_k = \frac{1}{K-3} \sum_{k=4}^K (I(b_k, \bar{b}_{(k-3,k-1)}) \geq \tau) \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- C_k —— 表示单传感器稳定性误差;
- K —— 表示连续帧数量;
- b_k —— 表示第 k 帧目标预测框;
- $\bar{b}_{(k-3,k-1)}$ —— 表示第 $k-3$ 帧至第 $k-1$ 帧的连续 3 帧目标预测框的平均值;
- I —— 表示预测框之间交集与并集的比值;
- τ —— 取 0.7。

5.2 可信性评分

5.2.1 评分标准

5.2.1.1 对于正向评价指标, 直接以该项指标的结果值作为其最终得分。

5.2.1.2 对于逆向评价指标，需先对该项指标的结果值进行正向化转换，转换后得到的值即为其最终得分。正向化转换公式如下：

$$P_s = 1 - N_s \dots\dots\dots (12)$$

式中：

P_s ——表示正向得分；

N_s ——表示逆向得分。

5.2.1.3 正向指标和逆向指标分别如表1所示：

表1 评价指标类别划分

指标名称	指标类别
平均精确率均值	正向指标
平均交并比	正向指标
距离误差	逆向指标
速度误差	逆向指标
感知时延	正向指标
不确定性	逆向指标
衰减率	逆向指标
变异程度	逆向指标
多传感器一致性误差	逆向指标
单传感器稳定性误差	逆向指标

5.2.2 评价权重

评价指标的权重分配如表2所示：

表2 感知系统指标分级及权重分配

1级指标	权重	2级指标	权重
感知精确性	0.30	平均精确率均值	0.25
		平均交并比	0.25
		距离误差	0.25
		速度误差	0.25
感知实时性	0.20	感知时延	1
不确定性	0.10	不确定性	1
环境适应性	0.24	衰减率	0.5
		变异系数	0.5
空间一致性	0.16	多传感器一致性误差	0.5
		单传感器稳定性误差	0.5

5.3 感知系统可信性等级综合评价

5.3.1 感知系统的可信性分数由各评价指标的得分与其对应权重经线性加权求和运算得到。

5.3.2 感知系统的可信性等级根据表 3 进行评定：

表 3 感知系统可信性等级评价表

总得分	(0.0, 0.2]	(0.2, 0.4]	(0.4, 0.5]	(0.5, 0.6]	(0.6, 0.8]	(0.8, 0.9]	(0.9, 1.0]
可信性等级	不可信	中等不可信	较不可信	弱可信	中等可信	非常可信	极其可信

6 测试方法

6.1 测试框架

6.1.1 测试采用基础场景与扩展场景相结合的框架，通过基础场景下的性能基准值和扩展场景下的性能变化情况对感知系统可信性进行综合评价。基础测试场景库参考附录 A.1。

6.1.2 选取用于评价感知系统可信性测试的基础场景应不少于 8 种，基础场景应覆盖智能感知系统的典型工作环境和常规工作条件。

6.1.3 扩展场景生成方式参考如下：

- a) 在选定的基础场景基础上，通过添加干扰元素构建扩展场景；
- b) 干扰元素选择参考表 A.2 和表 A.3；
- c) 干扰元素应包含静态干扰元素和动态干扰元素。

6.1.4 扩展场景构建应遵循如下原则：

- a) 对于每一个基础场景，其衍生出的所有扩展场景，应累计覆盖全部静态干扰元素和动态干扰元素；
- b) 不同扩展场景之间可以有静态干扰元素或动态干扰元素重合；
- c) 扩展场景应合乎现实逻辑并具有可操作性。

6.1.5 每个基础场景需至少生成 4 个扩展场景。每个扩展场景应至少同时包含 1 项静态干扰元素和动态干扰元素。

6.2 测试要求

6.2.1 测试平台应满足以下要求：

- a) 硬件平台应能稳定运行被测感知系统，并记录完整的系统输入与输出数据；
- b) 软件环境应明确操作系统、依赖库及驱动版本，确保测试结果的可重复性；
- c) 每次测试前进行系统级校准，误差控制在±2%以内。

6.2.2 每个场景执行过程中，同步采集系统的原始感知数据、输出结果及环境状态数据，记录测试全过程日志，包括系统异常、资源使用情况等。

6.2.3 每个测试用例应重复执行不少于3次，确保每次测试各物体移动速度、预计碰撞点位置等关键参数保持一致，取3次测试平均值作为最终测试结果。若单次结果与平均值偏差超过10%，应增加测试次数并分析原因。

中国智能交通产业联盟

附录 A
(资料性)
基础场景与干扰元素

A.1 基础场景

A.1.1 标准测试场景

标准测试场景如表A.1所示：

表 A.1 标准测试场景

序号	场景名称	引用标准	参考条款	细分测试项
1	目标车辆静止测试	JT/T 1242-2019 营运 车辆自动紧急制动系统 性能要求和测试规程	7.4.3	测试车速：40 km/h
2				测试车速：80 km/h
3	目标车辆匀速移动测试		7.4.4	测试车速：80 km/h
4	行人测试		7.4.7	测试车速：60 km/h
5	弯道报警测试	GB/T 26773-2011 智能 运输系统 车道偏离报 警系统 性能要求与检 测方法	5.5.2.1.a)	I 类系统 左侧偏离 偏离速度范围：0 km/h~0.4 km/h
6				II 类系统 右侧偏离 偏离速度范围：0.4 km/h~0.8 km/h
7	可重复性测试		5.5.2.1.b)	I 类系统 右侧偏离 偏离速度范围：0.1 km/h~0.3 km/h
8				II 类系统 左侧偏离 偏离速度范围：0.6 km/h~0.8 km/h
9	直道车道保持试验	GB/T 41796-2022 商用 车辆车道保持辅助系统 性能要求及试验方法	6.6	左偏离 偏离速度范围：0.4 km/h~0.6 km/h
10	弯道车道保持试验		6.7	右侧弯道试验
11	前方车辆减速	JT/T 883-2014 营运车 辆行驶危险预警系统技 术要求和试验方法	8.2.3	测试车速：72 km/h

A.1.2 其他基础测试场景

A. 1. 2. 1 T型路口通行

如图A. 1所示，试验车辆以40km/h车速直行通过路口，移动车辆目标同样以40km/h车速左转汇入试验车辆行驶路径，两车若不改变行驶速度或行驶方向，将发生碰撞。

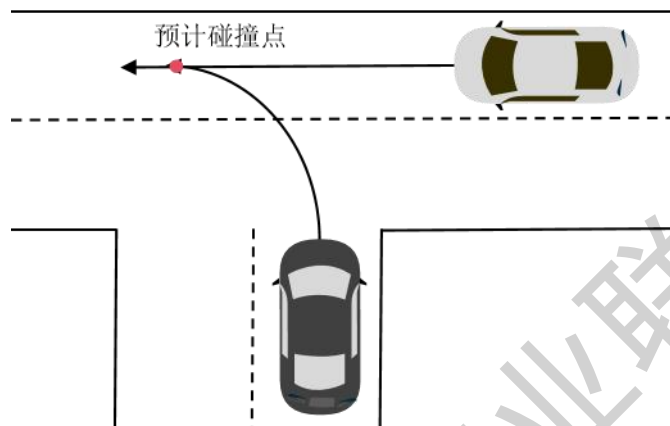


图 A. 1 T型路口通行

A. 1. 2. 2 自行车目标近端横穿

如图A. 2所示，试验车辆以50km/h车速向前行驶，其右侧有排列的静止车辆目标作为遮挡，近端有自行车目标以15km/h车速横穿，试验车辆和自行车若不改变行驶速度或行驶方向，将发生碰撞。

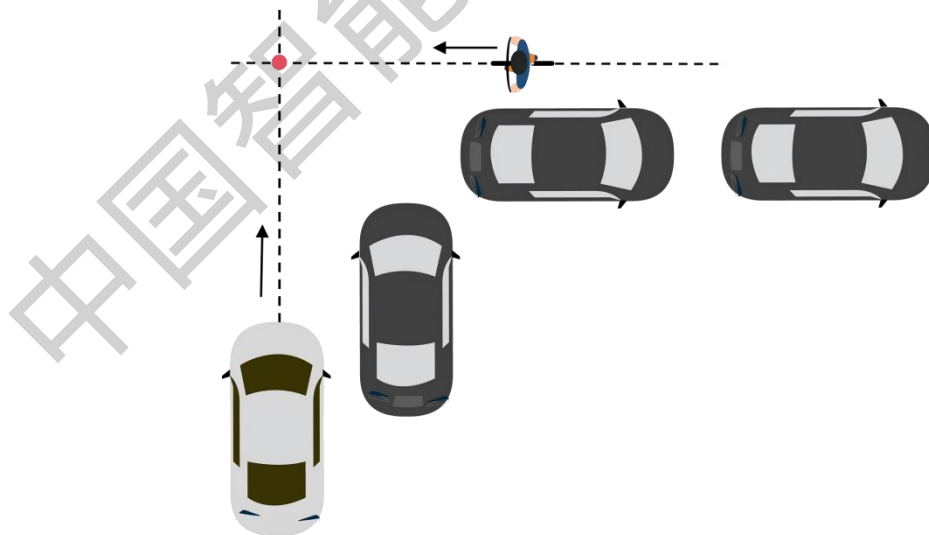


图 A. 2 自行车目标近端横穿

A. 1. 2. 3 环岛内变道

如图A.3所示，目标车辆以20km/h车速在环岛内外侧车道行驶。试验车辆以30km/h车速在环岛内内侧车道行驶，并发起变道。两车若不改变行驶速度，将发生碰撞。

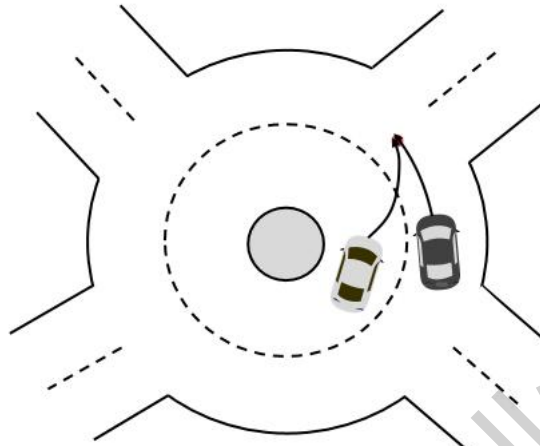


图 A.3 环岛内变道

A.1.2.4 地形变道

如图A.4所示，测试道路左侧设有一条逐渐终止的合流车道，试验车辆由此汇入相邻的连续车道。在试验车辆后方的右侧车道中，存在匀速行驶的移动车辆目标。

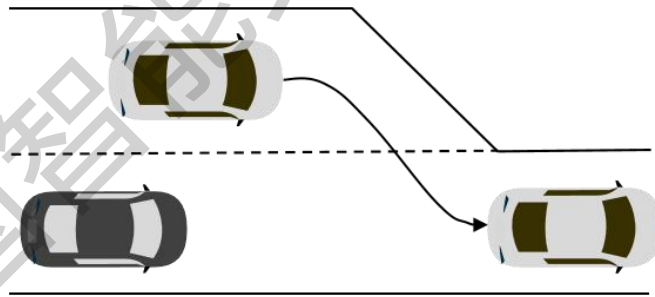


图 A.4 地形变道

A.1.2.5 相邻车道车辆切入

如图A.5所示，在长直道中，试验车辆在车道内保持匀速行驶。此时，相邻车道上一辆移动车辆目标突然开启转向灯并同时执行加速或匀速变道动作，其车头以较小间距切入试验车辆前方。

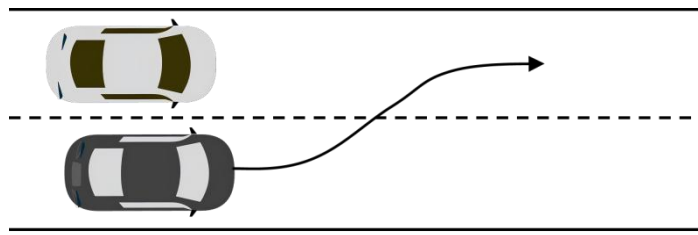


图 A.5 相邻车道车辆切入

A.1.2.6 被遮挡场景行人目标横穿

如图A.6所示，试验车辆在左侧车道中以40km/h车速匀速行驶。在右侧车道中存在联排的目标车辆。最前方目标车辆静止，其他目标车辆低速行驶。有行人目标从右侧以10km/h匀速横穿车道，若试验车辆不减速，预计在车道内发生碰撞。

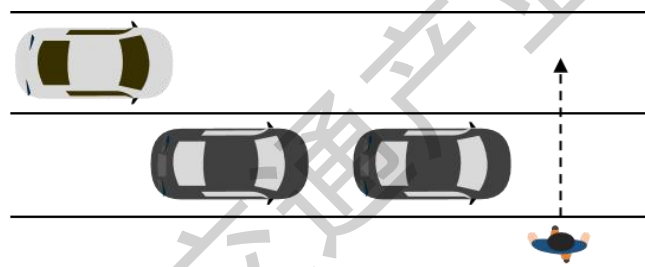


图 A.6 被遮挡场景行人目标横穿

A.1.2.7 自行车目标横穿

如图A.7所示，试验车辆在右侧车道以30km/h行驶，然后右转至交叉车道。交叉车道中有自行车目标以15km/h横穿。若试验车辆和自行车目标不改变行驶速度，可能将于预计碰撞点发生碰撞。

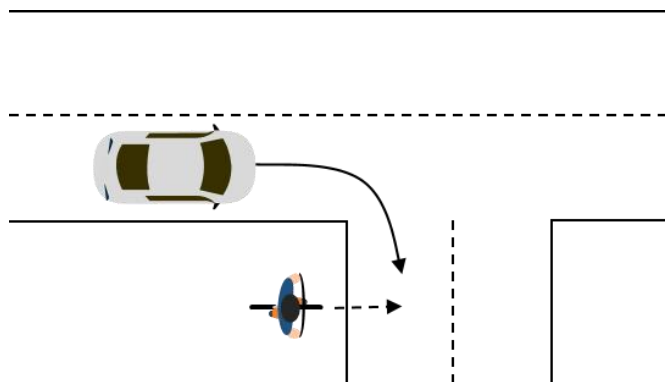


图 A.7 自行车目标横穿

A.2 干扰元素

表 A.2 静态干扰元素

I级要素	II级要素	III级要素
道路设施	特殊设施	减速带
		隧道
		限高设施
		限宽设施
		铁板
		路侧护栏
道路	道路类型	环岛
		T型路口
		坡道
	车道类型	机动车道
		机非混行车道
		没有车道线标记

表 A.3 动态干扰元素

I级要素	II级要素	III级要素
目标物	/	汽车
	/	摩托车
	/	自行车
	/	成人/儿童行人目标
气象条件	雨天	0 mm/h
		15 mm/h
		30 mm/h
		45 mm/h
		60 mm/h
	雾天	能见度大 > 500 m
		500 m ≥ 能见度 > 200 m
		200 m ≥ 能见度 > 100 m
光照条件	光照条件	正常光照 (光照强度 ≥ 2000 lux)
		弱光照 (光照强度 ≤ 50 lux)

T/ITS **-2**

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

标准

ADAS 感知系统目标识别可信性评价与测试方法

T/ITS **-**

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>

202X 年 X 月第一版 202X 年 X 月第一次印刷