

团 体 标 准

T/ITS 0185—2022

自动驾驶开放道路安全等级分级方法

Road safety classification for autonomous driving

2022-12-05 发布

2022-12-05 实施

中国智能交通产业联盟 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本要求 2

5 风险等级评估流程 3

6 评估要素 3

 6.1 静态要素 3

 6.2 动态要素 4

 6.3 道路智能设施要素 5

7 风险度计算流程 6

 7.1 评估模型 6

 7.2 重要特征评价 6

 7.3 风险综合判定 6

8 评估分级 6

附 录 A （资料性） Xgboost 方法 10

 A.1 方法概念 10

 A.2 方法原理 10

 A.3 方法应用 10

参考文献 11

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：北京航迹科技有限公司、同济大学、交通运输部公路科学研究院、信通院车联网创新中心、上海淞泓智能汽车科技有限公司、长沙智能驾驶研究院有限公司、中兴通讯股份有限公司、深圳元戎启行科技有限公司、湖南湘江智能科技创新中心有限公司、南京国通智能交通科技有限公司、高新兴科技集团股份有限公司、百度智行科技有限公司、北京万集科技有限责任公司、北京汽车研究总院有限公司、苏州未来智能交通产业研究院、许昌开普检测研究院股份有限公司、北京轻舟智航科技有限公司、北京四维图新科技股份有限公司

本文件主要起草人：赵兴华、焦伟赞、高金、涂辉招、李青、孙健康、陈晓、李文亮、张云、魏俊生、陆淼嘉、周炜、张晓超、杨静、高红、瞿仕波、刘智超、钱公斌、毕炜丽、曾少旭、程雪菲、贺春、李宏枫、季心怡、贾元辉、叶芬、王邓江、张长隆

自动驾驶开放道路安全等级分级方法

1 范围

本文件规定了自动驾驶开放道路安全分级的基本要求、风险等级评估流程、评估要素、风险度计算流程和评估分级。

本文件适用于自动驾驶开放道路安全分级，也可用于指导自动驾驶车辆开放区域划定及企业车辆自动驾驶功能测试道路选择。

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 14887-2016 道路交通信号灯

GB/T 20839-2007 智能运输系统 通用术语

GB/T 29108-2021 道路交通信息服务 术语

JTG B01-2014 公路工程技术标准

QX/T 111-2010 高速公路交通气象条件等级

DB31/T 997-2016 城市道路交通状态指数评价指标体系

3 术语和定义

GB/T 29108界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自动驾驶车辆

搭载有条件自动驾驶、高度自动驾驶及完全自动驾驶系统的车辆。

[来源：T/ITS 132-2020，3.1]

3.2

开放道路

开放给自动驾驶车辆进行功能测试、示范应用以及商业化运营的公共道路，包括公路（含高速公路）、城市道路、特定区域内等道路。

3.3

道路特征信息

描述道路设施类型、道路宽度和车道数（分方向）、路肩宽和侧向净空、坡度、曲率、材质、平整度、设计车速及几何线形等特征的信息。

[来源：GB/T 29108-2021，3.13]

3.4

道路路段

用于通行能力分析的一段道路，由两个道路编码参考点界定的具有方向性的，至少包括一个交叉口或出入口的道路区段。

[来源：GB/T 29108-2021，5.14]

3.5

安全风险度

根据安全等级评估模型，综合计算各类道路安全影响因素而得出的安全分值，或经模型计算后再综合专家意见得到的安全分值。

3.6

安全风险等级

基于评估的自动驾驶开放道路安全风险度，划分开放道路安全风险等级。

3.7

风险发生严重程度

用于评价潜在风险可能造成的损害程度。

3.8

道路交通事故信息

记录道路交通事故的地点、事故的类型、事故的原因、事故发生的时间、影响交通程度及相关人员情况等的信息。

[来源：GB/T 29108-2021，3.19]

3.9

智能公路系统

以公路系统智能化为基础，遵循道路基础设施与车载系统智能协调合作的理念，集成应用现代通信技术、自动控制技术、传感技术以及交通流理论等，实现驾驶员辅助驾驶以及特定条件下自动驾驶功能的系统，从而减少由于人工驾驶引起的交通问题，提高公路系统的安全性和运行效率。

[来源：GB/T 20839-2007，7.1]

3.10

道路交通状态参数

用交通流量、交通密度、空间占有率、时间占有率、车辆平均速度、交通流时间平均速度、交通流区间速度、排队长度、交通交叉口拥挤率等综合反映道路交通状况的定量指标。

[来源：GB/T 29108-2021，5.12]

4 基本要求

4.1 同一开放道路内各路段应相互连通，不应有孤立路段。

4.2 应保证采集数据的真实性和可靠性，数据调查优先采用自动化采集手段，如摄像头等传感器。在采集过程中，应跟进检查设备的数据精度，设置合理误差阈值，对于缺少或超出阈值的数据应及时现场调查；现场数据采集时，应由多名调查员同时开展或进行多次现场数据采集，取调查结果平均值。

注：一般不少于3名调查员或不少于3次现场数据采集

4.3 风险评估结论宜包括区域总体评估结论、道路评估和各路段评估结论。

4.4 区域总体道路安全风险评估结论应说明开放道路安全风险等级分级情况，道路评估结论应当包括每个路段的风险等级。

5 风险等级评估流程

一般选择预选道路，进行路段划分，基于路段的特征元素进行评估要素采集，包括静态要素、动态要素、道路智能设施要素等，将采集到的要素，输入给道路分级模型，根据模型计算结果，辅以专家意见，确定道路安全等级，如下图所示。

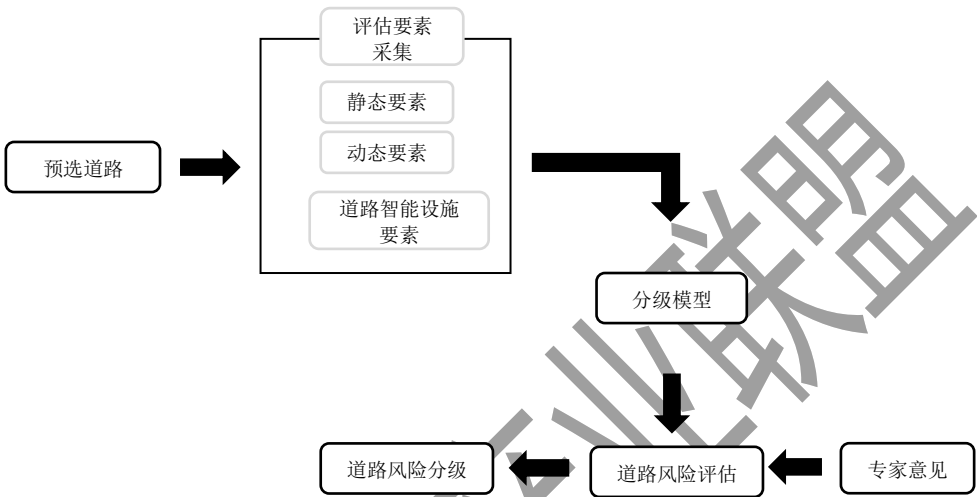


图1 风险等级评估流程

6 评估要素

6.1 静态要素

静态要素表征道路特征信息、环境地物以及交通参与者等的自身属性与状态。

表1 静态要素

序号	要素类别	要素内容	要素说明
1	道路等级		JTG B01—2014 中 3.1
2	道路线形	最大道路曲率半径	单位：米
		最大道路纵坡	单位：度数
		最大道路横坡	单位：度数
3	道路路面	路面等级	GB/T 920
		路面坑洞	坑洞最大深度：米
		井盖	有/无
		减速丘	有/无
4	车道	车道宽度	单位：米
5	桥涵隧道	桥梁	有/无
		隧道	有/无
6	平面交叉	有信号灯交叉路口	有/无
		无信号灯交叉路口	有/无
		有信号装置的环形路口	有/无

		无信号装置的环形路口	有/无
		匝道入口	有/无
		匝道汇入	有/无
7	立体交叉	互通式立体交叉	有/无
		分离式立体交叉	有/无
8	交通标志	交通标志状态	清晰/污损
9	交通标线	交通标线状态	清晰/污损
10	交通信号灯	/	有/无
11	护栏	金属护栏	有/无
		混凝土护栏	有/无
12	隔离防护设施	护栏、隔离栅、防风栅、防雪栅、隔音墙、侧分隔带、视线诱导设施、防炫设施等路侧设施	有/无
		限高杆	有/无
13	道路服务设施	人行横道	有/无
		路内停车位泊位区	有/无
		收费站	有/无
		公交车站点	有/无
		夜间照明情况	有/无
14	其他设施情况	机非分离	有/无
		专用道	有/无
15	通行限制情况	限高	单位：米
		限宽	单位：米
		限载重	单位：千克
		限普货、危货及其他车型	/
16	通信条件	GNSS 条件	信号强度：dB， 定位误差：米
		差分定位条件	有/无 精度（厘米级、车道级）
17	特殊区域	学校、医院等	有/无
18	事故经验数据	事故发生概率	百分比
		事故严重程度	严重级别
		事故形态	各种事故形态比例
19	交通经验数据	高峰	交通流量：通行车数量/秒， 拥堵指数：平均车速与设计车速差异所确定 拥堵等级
		平峰	交通流量、拥堵指数（经验）
		夜晚	交通流量、拥堵指数（经验）

6.2 动态要素

动态要素表征单位时间段内车辆速度、流量、方向等显著变化物理量。

表2 动态要素

序号	要素类别	要素内容	要素说明
1	交通流	道路车流组成	不同车辆类型的分布占比
2	交通要素	大型商用车	不同商用车的规格区分类型
		交通流量	通行车数量/秒
		平均车速	米/秒
		弱势交通参与者交通行为影响	主车的安全距离：米
		占道停车情况	临停的类型，车辆的前后左右边界
		交通拥堵状态	所跟随车辆车速、车距识别，加塞车辆识别
		交警参与交通指挥	不同类型指挥手势
3	气象要素	临时影响要素	落石、遗撒障碍物、事故、锥形桶、水马、临时施工区域
		能见度影响等级	QX/T111-2010 中3.1
		降雨强度影响等级	QX/T111-2010 中3.2
		风力影响等级	QX/T111-2010 中3.4
		降雪影响等级	QX/T111-2010 中3.5
		沙尘暴影响等级	QX/T111-2010 中3.7
		路面湿滑	是/否
		路面积水	是/否
		路面积雪	是/否
		路面结冰	是/否
		气温区间	摄氏度

6.3 道路智能设施要素

道路智能设施主要实现交通数据采集、交通事件检测、交通参与者检测、路面以及气象环境监测等功能，包括电子不停车收费服务系统、交通信息服务系统、交通气象环境监测系统、照明系统、基础设施数字化系统服务系统、高精度地图服务系统、高精度定位系统、路侧交通信息感知系统、路侧车路协同控制服务系统和智能信号控制系统。

表3 道路智能设施要素

序号	要素名称	要素说明
1	电子不停车收费服务系统	便捷收费系统，方便通行
2	交通信息服务系统	提供静态，动态和实时的交通信息，如拥堵、事故、施工等
3	交通气象环境监测系统	提供气象环境监测数据
4	照明系统	智慧照明
5	基础设施数字化系统服务系统	重要结构物的数字化信息和状态信息，如桥梁、隧道
6	高精度定位系统	提供高精度定位服务
7	路侧交通信息感知系统	路侧对交通参与者的速度、加速度、类别的感知
8	路侧车路协同控制服务系统	协同控制
9	智能信号控制系统	交通信号动态相位

7 风险度计算流程

7.1 评估模型

基于道路安全风险影响要素所采集特征数据的大数据特性，应采用机器学习的方式构建评估模型，模型算法可参考附录 A Xgboost 方法。

开放道路安全风险评估模型将道路安全风险进行拆解，从事事故发生概率（P）和事故发生严重程度（S）两方面对道路风险进行综合判别分析。其核心点为发生碰撞事故的路段（即有风险的路段），评估模型通过学习正负样本对应的特征，综合预测得到评估路段的路段风险分，结合专家意见，最终确定路段风险等级，进而确定道路风险等级。

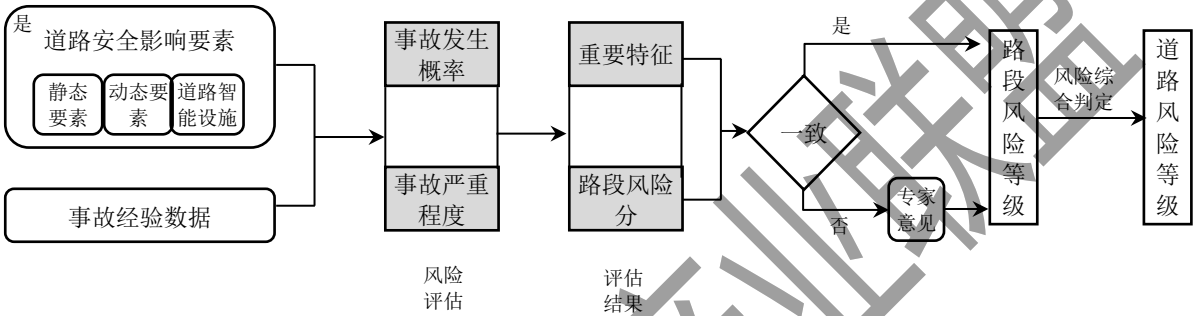


图2 道路安全风险评估模型

7.2 重要特征评价

在道路安全风险评估模型中，路段风险等级以机器学习模型给出的路段风险分为依据，结合重要特征进行综合定级。为了增加评估结果的可解释性，对于机器学习模型判定的路段风险等级，宜结合专家意见，进行进一步确认。

如果路段风险分和对应重要特征的阈值区间匹配，则机器学习模型给出的路段风险等级可信，即为最终的路段风险分，可以用于确定路段风险等级；否则，则由专家根据重要特征进行打分校核结果，并确定路段风险等级。

7.3 风险综合判定

单一开放道路往往包含一个或多个路段。路段的划分是基于环境特征的实际情况，自动地进行相似性聚类切分，因此可保证每一段路段的特征值都是相似的，从而可作为模型最小单元输入。

单一开放道路安全风险度按对应各路段风险分加权方式获得量化数值，具体计算方式如下：

$$Y = \sum (x_i \times l_i) / L$$

其中：
Y——道路安全风险度；
x——某个路段风险分；
l——某个路段对应长度；
L——道路总里程

8 评估分级

综合评估静态要素、动态要素、道路智能设施要素这三大类因素，以评估的道路安全风险度为基本依据，可以划分自动驾驶开放道路风险等级为四类：即 I 类（低风险）、II 类（一般风险）、III 类（较高风险）、IV（高风险）类，详见表 4-表 7。

表 4 自动驾驶开放道路风险等级-I 类

因素		I 类，低风险		
关键 分级因素	1. 道路等级与交通流量	道路等级	设计车速（km/h）	交通量（veh/h/lane）
		主干道	60 及以下	≤500
		次干道	50 及以下	≤450
	2. 安全风险度	[0，3.5)		
	3. 道路交通指数	[0，30)		
附加 条件	1. 标志标线	清晰		
	2. 道路平整度	好		
	3. 交通组成	大巴比例不超过 10%		
	4. 路侧车路协同控制服务系统	有		
<p>注 1：道路交通指数按照 DB31/T 997-2016 计算，是一种合理反映各等级道路车辆出行相对拥堵体验的标准化指标，以道路行程速度为核心计算参数，取值介于 0 到 100 之间的无量纲数据。其数字越小表示交通状态更加畅通，相反则越加拥堵。</p> <p>注 2：道路平整度指路面表面相对于理想平面的竖向偏差，可用国际平整指数 IRI 衡量。IRI 小于 2.0m/km 定义为路面状况好；</p> <p>注 3：交通量（veh/h/lane）为每车道日平均小时交通量。</p>				

表 5 自动驾驶开放道路风险等级-II 类

因素		II 类，一般风险		
关键分级因素	1. 道路等级与交通流量	道路等级	设计车速（km/h）	交通量（veh/h/lane）
		快速路	80 及以下	≤1100
		主干道	60 及以下	≤850
		次干道	50 及以下	≤800
		一级公路	80 及以下	≤1150
		二级公路	50 及以下	≤900
	2. 安全风险度	[3.5, 12.5)		
	3. 道路交通指数	[30, 50)		
附加条件	1. 标志标线	清晰		
	2. 道路平整度	---		
	3. 交通组成	大巴比例不超过 20%		
	4. 路侧车路协同控制服务系统	有		
注 1：道路交通指数按照 DB31/T 997-2016 计算，是一种合理反映各等级道路车辆出行相对拥堵体验的标准化指标，以道路行程速度为核心计算参数，取值介于 0 到 100 之间的无量纲数据。其数字越小表示交通状态更加畅通，相反则越加拥堵。				
注 2：道路平整度指路面表面相对于理想平面的竖向偏差，可用国际平整指数 IRI 衡量。IRI 小于 2.0m/km 定义为路面状况好；				
注 3：交通量（veh/h/lane）为每车道日平均小时交通量。				
注 4：“---”为不作要求。				

表 6 自动驾驶开放道路风险等级-Ⅲ类

因素		Ⅲ类，较高风险		
关键分级因素	1. 道路等级与交通流量	道路等级	设计车速（km/h）	交通量（veh/h/lane）
		快速路	80 及以下	>1100
		主干道	60 及以下	>850
		次干道	50 及以下	>800
		支路	40 及以下	>730
		高速公路	100 及以下	>1550
		一级公路	80 及以下	>1150
		二级公路	50 及以下	>900
		三级公路	40 及以下	>800
		四级公路	30 及以下	>750
	2. 安全风险度	[12.5, 22.5)		
	3. 道路交通指数	[50, 70)		
附加条件	1. 标志标线	---		
	2. 道路平整度	---		
	3. 交通组成	大巴比例不超过 50%		
	4. 路侧车路协同控制服务系统	---		
注 1：道路交通指数按照 DB31/T 997-2016 计算，是一种合理反映各等级道路车辆出行相对拥堵体验的标准化指标，以道路行程速度为核心计算参数，取值介于 0 到 100 之间的无量纲数据。其数字越小表示交通状态更加畅通，相反则越加拥堵。				
注 2：道路平整度指路面表面相对于理想平面的竖向偏差，可用国际平整指数 IRI 衡量。IRI 小于 2.0m/km 定义为路面状况好；				
注 3：交通量（veh/h/lane）为每车道日平均小时交通量。				
注 4：“---”为不作要求。				

表 7 自动驾驶开放道路风险等级-Ⅳ类

因素		Ⅳ类, 高风险		
关键分级因素	1. 道路等级与交通流量	道路等级	设计车速 (km/h)	交通量 (veh/h/lane)
		快速路	100	>1100
		主干道	60	>850
		次干道	50	>800
		支路	40	>730
		高速公路	100 及以上	>1550
		一级公路	100	>1150
		二级公路	60	>900
		三级公路	50	>800
		四级公路	40	>750
		乡村道路	40 及以下	>500

	2. 安全风险度	$[22.5, \infty)$
	3. 道路交通指数	$[70, 100]$
附加 条件	1. 标志标线	---
	2. 道路平整度	---
	3. 交通组成	---
	4. 路侧车路协同控制服务系统	---
<p>注 1：道路交通指数按照 DB31/T 997-2016 计算，是一种合理反映各等级道路车辆出行相对拥堵体验的标准化指标，以道路行程速度为核心计算参数，取值介于 0 到 100 之间的无量纲数据。其数字越小表示交通状态更加畅通，相反则越加拥堵。</p> <p>注 2：道路平整度指路面表面相对于理想平面的竖向偏差，可用国际平整指数 IRI 衡量。IRI 小于 2.0m/km 定义为路面状况好；</p> <p>注 3：交通量（veh/h/lane）为每车道日平均小时交通量。</p> <p>注 4：“---”为不作要求。</p>		

附录 A (资料性) Xgboost 方法

A.1 方法概念

eXtreme Gradient Boosting (简称XGBoost) 机器学习算法, 是大规模并行boosting tree的开源工具包, 实现了GBDT算法并进行了算法和工程上的改进。在工业界大规模数据方面, XGBoost的分布式版本有广泛的可移植性, 支持在Kubernetes、Hadoop、SGE、MPI、 Dask等各个分布式环境上运行, 可以很好地解决工业界大规模数据的问题。

A.2 方法原理

XGBoost方法模型的预测精度由模型的偏差和方差共同决定, 损失函数代表了模型的偏差, 想要方差小则需要在目标函数中添加正则项, 用于防止过拟合。所以目标函数由模型的损失函数 L 与抑制模型复杂度的正则项 Ω 组成, 目标函数的定义如下:

$$Obj = \sum_{i=1}^n l(y_i, \hat{y}_i) + \sum_{i=1}^t \Omega(f_i)$$

其中, $\sum_{i=1}^t \Omega(f_i)$ 是将全部 t 棵树的复杂度进行求和, 添加到目标函数中作为正则化项, 用于防止模型过度拟合。

由于模型遵从前向分步加法, 以第 t 步的模型为例, 模型对第 i 个样本 x_i 的预测值为:

$$\hat{y}_i^{(t)} = \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i)$$

$f_t(x_i)$ 是这次需要加入的新模型的预测值。

将 $f_t(x_i)$ 进行泰勒的二次展开, 将二次展开式代入到目标函数, 可以得到目标函数的近似值:

$$Obj^{(t)} \simeq \sum_{i=1}^n [l(y_i, \hat{y}_i^{t-1}) + g_i f_t(x_i) + \frac{1}{2} h_i f_t^2(x_i)] + \Omega(f_t) + constant$$

由于在第 t 步时, $\hat{y}_i^{(t-1)}$ 其实是已知的值, 所以 $l(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)})$ 是一个常数, 其对函数的优化不会产生影响。因此, 去掉全部常数项, 最终目标函数可以写成:

$$Obj^{(t)} \simeq \sum_{i=1}^n [g_i f_t(x_i) + \frac{1}{2} h_i f_t^2(x_i)] + \Omega(f_t)$$

所以, 只要求出每一步损失函数的一阶导和二阶导的值, 然后最优化目标函数, 就可以得到每一步的 $f(x)$, 最后根据加法模型得到一个整体模型, 得到模型预测值。

A.3 方法应用

在道路安全等级分级中, 采用XGBoost的基于决策树的目标函数模型。将预选道路分成一段段路段Link, 以Link为单位, 对各类道路安全影响要素进行融合匹配, 为每一条Link动态赋予各要素特征包括第5章各类特征要素——叶子节点, 以路段数据分析的最小单元Link来建立路段模型——目标函数, 获得路段风险分。

结合风险发生概率(P)和风险发生严重程度(S)两方面对路段风险进行综合判别分析, 结合专家意见, 最终确定路段安全风险度。

参考文献

- [1] GB 51286-2018 城市道路工程技术规范
 - [2] GB/T 33697-2017 公路交通气象监测设施技术要求
 - [3] GB/T 40429-2021 汽车驾驶自动化分级
-

中国智能交通产业联盟

T/ITS 0185-2022

中国智能交通产业联盟标准
自动驾驶开放道路安全等级分级方法

T/ITS 0185—2022

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>

2022 年 12 月第一版 2022 年 12 月第一次印刷