

涉及骑车人的典型交通危险场景

李霖, 朱西产, 刘颖, 马志雄

(同济大学汽车学院, 上海 201804)

摘要: 对上海地区真实交通中的自然行驶工况进行视频采集、筛选和分类, 得到 152 例涉及骑车人(自行车、摩托车、电动助力车)的危险工况。通过聚类分析和卡方检验得到了 7 类典型的危险场景。最后用 PreScan 软件对这 7 类危险场景进行虚拟建模, 得到了涉及骑车人的典型危险工况场景库。

关键词: 骑车人; 危险场景; 主动安全; 聚类分析; 卡方检验; PreScan

中图分类号: U461.91

文献标志码: A

Typical Traffic Risk Scenarios Related to Pedal Cyclists

LI Lin, ZHU Xichan, LIU Ying, MA Zhixiong

(College of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Naturalistic driving data under real traffic conditions in Shanghai were firstly collected by video drive recorders and these data were screened and classified and then 152 risk cases involving pedal cyclists, including bicyclists, motorcyclists and moped cyclists, were obtained. A cluster analysis was made of the risk cases and the results were tested by Chi-square test method and seven typical categories of risk scenarios involving pedal cyclists were obtained. These seven categories of risk scenarios were then modeled by PreScan and the risk scenario database involving pedal cyclists was finally established.

Key words: pedal cyclist; risk scenario; active safety; cluster analysis; Chi-square test; PreScan

近 10 年以先进驾驶辅助系统(Advanced Driver Assistance System, ADAS)为代表的汽车主动安全技术发展迅速, 已经逐渐取代被动安全成为汽车安全技术研究的重心。在评价方法方面, 随着各国纷纷颁布自己的新车评价程序(New Car Assessment

Program, NCAP), 被动安全的评价体系已日臻完善, 而对主动安全评价方法的研究才刚刚起步, 严重滞后于主动安全技术的发展。因此, 各国的研究人员都在加紧研究和开发主动安全系统场地测试方法以评价主动安全系统的安全效能^[1-3], 如欧盟新车认证程序(Euro-NCAP)在最近刚刚发布的关于自动紧急制动系统(Autonomous Emergency Braking System, AEB)的测试规范中, 对 AEB 城市系统(AEB City)和 AEB 城市间系统(AEB Inter-Urban)的场地测试方法进行了详细的规定, 该测试规范已于 2014 年开始执行^[4]。

测试场景、驾驶员模型和测试目标物是主动安全系统场地测试方法的三大要素^[5]。其中测试场景必须与真实交通环境中存在的危险相对应, 同时, 从试验成本和效率考虑, 测试场景的数量应当尽量少。因此, 必须采用真实交通中存在的典型危险场景用于场地测试。

目前世界上对主动安全系统测试场景的研究都集中在车与车冲突以及车与行人冲突^[6-7], 还没有对车与骑车人(包括自行车、摩托车以及电动助力车)冲突的研究。这是因为目前对测试场景的研究主要集中在欧美等汽车工业发达国家, 在这些国家由骑车人导致的交通事故很少, 因此没有引起研究人员的重视。但是在中国, 由骑车人导致的交通事故占交通事故总数的比例相当大, 2011 年由骑车人引起的事故数量占总交通事故的 27.09%^[8], 因此, 开发适用于中国的主动安全系统测试场景时, 必须考虑由骑车人导致的危险。

本文根据视频采集得到的自然行驶工况数据, 通过筛选和分类, 从中挑选出涉及到骑车人的危险工况, 然后通过聚类分析和卡方检验, 获得了涉及骑车人的典型危险场景, 最后利用 PreScan 软件建立了这些典型危险场景的虚拟模型用于主动安全系统

虚拟场地测试及算法的开发和优化。

1 涉及骑车人的危险工况获取

本文首先利用车辆行车记录仪 (Video Drive Recorder, VDR) 对上海市嘉定区的真实的交通工况进行了采集 (图 1)。VDR 内置一个摄像头, 以每秒 30 帧的速率记录车辆前方视野的道路交通影像, 其他一些信息比如本车速度、三向加速度等也同时记录。本文中所采用的 VDR 在纵向或侧向加速度绝对值大于 $0.4g$ 时触发, 只记录触发前 15 s 到触发后 5 s 的数据。



图 1 利用 VDR 采集真实交通工况

Fig.1 Real traffic scenarios collected by VDR

通过 VDR 总共采集了约 4000 例触发工况, 本文利用这些触发工况来提取涉及骑车人的危险工况。首先通过仔细查看触发工况的视频录像, 去掉没有任何碰撞危险的工况, 得到了 8 例事故工况和 1 200 例危险工况。然后再通过主观评价对这 1 200 例危险工况按照危险程度进行分级, 危险等级从低到高分 0~3 共 4 个等级, 本文选取危险度为 2 级和 3 级的危险工况作为分析目标, 共计 430 例。接着本文将这 430 例危险工况按照美国高速公路安全管理局 (National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) 提出的 37 类预碰撞 (Pre-Crash) 场景分类方法^[9]进行分类, 从分类结果 (图 2) 可以看出, 数量最多的 6 类危险工况中有 2 类与骑车人有关, 共计 152 例, 占到所有 430 例危险工况的 35%,

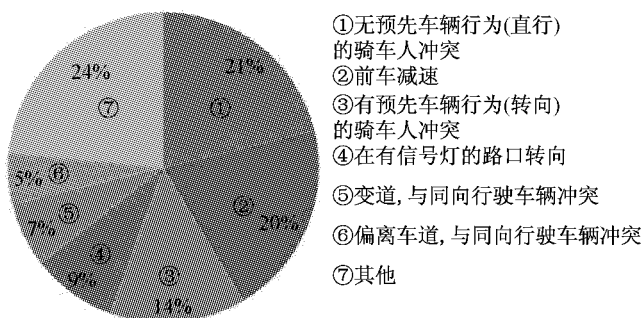


图 2 危险工况分类结果

Fig.2 Results of risk cases classification

本文采用这 152 例涉及到骑车人的危险工况来提取典型的危险场景。从图 2 中还可以看出, 在我国交通工况中, 由骑车人导致的危险工况非常多, 在设计 and 开发适合我国的主动安全系统时, 必须考虑骑车人的因素。

2 涉及骑车人的典型危险场景分析

2.1 分析参数选取

危险工况中包含的参数很多, 但由于本文的目的是通过对危险工况进行分析从而提取主动安全系统场地测试场景, 从试验成本和效率出发, 选取与主动安全系统在场地测试中的性能表现相关, 并且容易在场地测试中进行复现的参数。经过仔细分析, 本文最终选取 3 类 7 个参数作进一步的分析。

(1) 环境参数: 照明情况、道路特征。

(2) 本车参数: 危险起始点本车速度、本车的运动状态。

(3) 目标车参数: 目标车的类型、目标车的运动状态、目标车是否有遮挡。

为了后续进行聚类分析, 本文将这 7 个参数分为间隔尺度变量 (Scale) 以及名义尺度变量 (Nominal) 两类。其中间隔尺度变量指连续变量, 比如危险起始点本车车速; 而名义尺度变量指既无等级关系也无数量关系的离散变量, 比如目标车的类型、照明情况等。将每个变量都采用数值表示, 最终得到这 7 个变量的类型和取值如表 1 所示。

表 1 参数类型及取值

| Tab.1 Types and values of parameters | | | |
|---|---------|-------------|------|
| 参数名 | 参数类型 | 参数取值 | 数值表示 |
| 照明情况 | Nominal | 好 | 1 |
| | | 不好 | 2 |
| 本车运动状态 | Nominal | 直行 | 1 |
| | | 转向 | 2 |
| 目标车有无遮挡 | Nominal | 有 | 1 |
| | | 无 | 2 |
| 危险起始点本车速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) | Scale | 3.64(最小速度) | 0 |
| | | 69.09(最大速度) | 1 |
| 目标车类型 | Nominal | 电动助力车或摩托车 | 1 |
| | | 自行车 | 2 |
| | | 沿公路行驶 | 1 |
| 目标车运动状态 | Nominal | 从左侧过公路 | 2 |
| | | 从右侧过公路 | 3 |
| 道路特征 | Nominal | 路口 | 1 |
| | | 非路口 | 2 |

2.2 聚类分析

本文采用聚类分析方法来提取典型危险场景。聚类分析方法是一种多元统计学方法, 它将数据之

间的相似程度通过数学方法进行定义和量化,并将具有相似特征的数据集合到一起,最终得到具有特定相似特征的几个数据集合.采用聚类分析来提取典型的危险场景,可以大大降低分析人员主观意识对场景分类结果的影响,且具有很强的可重复性.另外,通过聚类分析得到的不同类型场景之间的差异显著性可以通过卡方检验结果清晰地定义.

本文采用的聚类分析方法为系统聚类法,分析开始时将 152 个工况样本各自单独作为一类,首先计算不同样本变量之间的距离,对于间隔尺度变量(Scale),变量之间的距离定义为差值的绝对值,同时,在分析时要进行量纲一化处理,即距离最大值为 1,最小值为 0(如表 1 中“危险起始点本车速度”).对于名义尺度变量(Nominal),变量取值相同时距离为 0,变量取值不同时距离为 1,比如目标车运动状态中,“沿公路行驶”和“从右侧过公路”之间虽然数值差异为 2,但距离为 1.

得到不同样本变量之间的距离后,则可以计算不同样本之间的距离.本文采用绝对值距离(City Block)对样本之间的距离进行量化,设 152 个工况样本为 X_1, X_2, \dots, X_{152} ,则第 i 个样本 X_i 和第 j 个样本 X_j 之间的距离定义为两个样本变量之间距离的和,即

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^7 |x_{ik} - x_{jk}| \quad (1)$$

然后,根据样本之间的距离可以计算类与类之间的距离,文中类与类之间的距离采用类平均法(Average Linkage Method)进行计算.类与类之间的平均距离定义为样本对之间平方距离的平均值,设类 G_K 有 n_K 个元素,类 G_L 有 n_L 个元素,则类 G_K 和 G_L 之间的平方距离定义为

$$D_{KL}^2 = \frac{1}{n_L n_K} \sum_{x_i \in G_K, x_j \in G_L} d_{ij} \quad (2)$$

根据计算得到的类与类之间的距离,将距离最近的两类合并为一个新类,得到 151 类,接着计算该新类与其他类之间的距离,重复进行两个距离最近类的合并,每次减少一类,直到得到最终所需的类的数量为止^[10].

采用 MATLAB 编程进行聚类分析计算,检验聚类分析的不一致系数发现,倒数第 9 次聚类对应的不一致系数相对于倒数第 10 次聚类对应的不一致系数有较大的提升,根据聚类分析的特性,说明第 10 次聚类的效果较好,因此,确定最终的类的个数为 10 类.聚类结果如表 2 所示.

对名义尺度变量的聚类结果进行卡方检验(取

置信度为 90%),将各个变量在每一类中所占比例与该变量在总体中所占的比例进行比较,得到每一类的典型特征,表 2 中粗体部分即为卡方检验得出的显著值.卡方检验得出的显著性结果可以帮助寻找每一类危险场景的典型特征,比如第 1 类工况中,目标车运动状态都是“从右侧过公路”,这个特征非常显著,属于第 1 类场景的典型特征.第 7 类工况中,虽然本车运动状态“直行”和“转向”都有,但“直行”具有显著的代表性,说明该特征在该类场景中非常典型.如果在某一类中,某一个特征虽然占的比例较小,但卡方检验发现仍然具有显著性,说明这个特征代表了一种趋势,比如在第 2 类工况中,目标车运动状态“沿公路行驶”的比例较小,但仍然具有显著的统计学特征,这说明在第 2 类工况中,“沿马路行驶”也倾向于导致危险.如果在某个类中某个参数的各个特征都不具有显著的统计学特性,则说明这个参数的各个特征在该类中分布差异性不明显,在设计场景时都需要考虑.

2.3 结果分析和典型场景提取

从涉及骑车人的危险工况聚类分析以及卡方检验结果可以看出(表 2),第 1,6,9 类工况中关键的本车运动状态特征以及目标车类型特征都不明显,因此无法提取典型危险场景,在此不对这 3 类工况做进一步的分析.

第 7,8 类工况是数量最多的两类危险工况,这两类工况分别代表了车辆两种最为基本的运动状态:在非路口直行以及在路口转向.除了第 7 类工况外,第 2,3,4,5 类工况中本车的运动状态也是直行,但与第 7 类工况不同,第 2,5 类工况都发生在路口,且第 5 类工况中照明条件不好.第 3,4 类工况虽然道路条件特征不明显,但却代表了一类典型的危险特征——目标车被遮挡.其中第 3 类工况中的危险都是由自行车导致,而第 4 类工况中的危险则都由摩托车或电动助力车导致.

除第 8 类工况外,在第 10 类工况中本车的运动状态也是转向,但占总危险工况的比例比第 8 类工况小很多,说明在转向时,危险主要是由摩托车或电动助力车导致,这是因为这类车辆相对于自行车速度更快,更容易导致危险.第 10 类工况虽然数量较少,但特征却非常显著,这类工况主要涉及到在照明条件不好的情况下,本车在路口转向,遇到从左侧过公路的自行车,自行车并未被遮挡.

根据以上分析,本文选取第 2,3,4,5,7,8,10 这 7 种类型的工况来提取涉及骑车人的典型危险场景,

表2 聚类分析结果
Tab.2 Results of cluster analysis

| 参数 | | | 类别 | | | | | | | | | | 总数 |
|---|-------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 照明情况 | 个数 | 好 | 14 | 21 | 5 | 7 | 0 | 2 | 17 | 23 | 0 | 1 | 90 |
| | | 不好 | 0 | 0 | 0 | 5 | 15 | 2 | 7 | 18 | 4 | 11 | 62 |
| | 占比/% | 好 | 15.56 | 23.33 | 5.56 | 7.78 | 0 | 2.22 | 18.89 | 25.56 | 0 | 1.11 | |
| | | 不好 | 0 | 0 | 0 | 8.06 | 24.19 | 3.23 | 11.29 | 29.03 | 6.45 | 17.74 | |
| | 卡方值 | | 9.64 | 14.47 | 3.44 | 0 | 21.77 | 0.14 | 1.34 | 0.16 | 5.81 | 12.86 | |
| 本车运动情况 | 个数 | 直行 | 8 | 21 | 5 | 12 | 14 | 4 | 22 | 0 | 4 | 4 | 94 |
| | | 转向 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 41 | 0 | 8 | 58 |
| | 占比/% | 直行 | 8.51 | 22.34 | 5.32 | 12.77 | 14.89 | 4.26 | 23.40 | 0 | 4.26 | 4.26 | |
| | | 转向 | 10.34 | 0 | 0 | 0 | 1.72 | 0 | 3.45 | 70.69 | 0 | 13.79 | |
| | 卡方值 | | 0.13 | 12.96 | 3.09 | 7.40 | 6.30 | 2.47 | 9.05 | 66.45 | 2.47 | 4.13 | |
| 目标车有无遮挡 | 个数 | 有 | 0 | 4 | 5 | 12 | 0 | 0 | 2 | 12 | 4 | 0 | 39 |
| | | 无 | 14 | 17 | 0 | 0 | 15 | 4 | 22 | 29 | 0 | 12 | 113 |
| | 占比/% | 有 | 0 | 10.26 | 12.82 | 30.77 | 0 | 0 | 5.13 | 30.77 | 10.26 | 0 | |
| | | 无 | 12.39 | 15.04 | 0 | 0 | 13.27 | 3.54 | 19.47 | 25.66 | 0 | 10.62 | |
| | 卡方值 | | 4.83 | 0.48 | 14.49 | 34.77 | 5.18 | 1.38 | 3.78 | 0.28 | 11.59 | 4.14 | |
| 危险起始点 本车速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) | 归一化速度 | | 0.24 | 0.48 | 0.48 | 0.46 | 0.44 | 0.62 | 0.35 | 0.22 | 0.45 | 0.29 | |
| | 真实速度 | | 16.32 | 33.34 | 32.99 | 31.68 | 30.62 | 42.63 | 24.46 | 15.10 | 30.96 | 20.31 | |
| 目标车类型 | 个数 | 电动助力车 或摩托车 | 10 | 18 | 0 | 12 | 15 | 2 | 18 | 38 | 3 | 0 | 116 |
| | | 自行车 | 4 | 3 | 5 | 0 | 0 | 2 | 6 | 3 | 1 | 12 | 36 |
| | 占比/% | 电动助力车 或摩托车 | 8.62 | 15.52 | 0 | 10.34 | 12.93 | 1.72 | 15.52 | 32.76 | 2.59 | 0 | 23 |
| | | 自行车 | 11.11 | 8.33 | 13.89 | 0 | 0 | 5.56 | 16.67 | 8.33 | 2.78 | 33.33 | |
| | 卡方值 | | 0.19 | 1.03 | 16.11 | 3.72 | 4.66 | 1.53 | 0.02 | 6.08 | 0 | 38.67 | |
| 目标车运动状态 | 个数 | 沿公路行驶 | 0 | 12 | 1 | 4 | 6 | 0 | 24 | 33 | 2 | 4 | 86 |
| | | 从左侧过公路 | 0 | 9 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 7 | 1 | 5 | 28 |
| | | 从右侧过公路 | 14 | 0 | 2 | 6 | 7 | 4 | 0 | 1 | 1 | 3 | 38 |
| | 占比/% | 沿公路行驶 | 0 | 13.95 | 1.16 | 4.65 | 6.98 | 0 | 27.91 | 38.37 | 2.33 | 4.65 | |
| | | 从左侧过公路 | 0 | 32.14 | 7.14 | 7.14 | 7.14 | 0 | 0 | 25.00 | 3.57 | 17.86 | |
| | | 从右侧过公路 | 36.84 | 0 | 5.26 | 15.79 | 18.42 | 10.53 | 0 | 2.63 | 2.63 | 7.89 | |
| | 卡方值 | | 42.00 | 12.06 | 2.90 | 4.17 | 3.76 | 12.00 | 18.42 | 12.53 | 0.12 | 4.67 | |
| 道路特征 | 个数 | 非路口 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 24 | 0 | 4 | 0 | 33 |
| | | 路口 | 14 | 21 | 5 | 11 | 15 | 0 | 0 | 41 | 0 | 12 | 119 |
| | 占比/% | 非路口 | 0 | 0 | 0 | 3.03 | 0 | 12.12 | 72.73 | 0 | 12.12 | 0 | |
| | | 路口 | 11.76 | 17.65 | 4.20 | 9.24 | 12.61 | 0 | 0 | 34.45 | 0 | 10.08 | |
| | 卡方值 | | 3.88 | 5.82 | 1.39 | 1.26 | 4.16 | 14.42 | 86.55 | 11.37 | 14.42 | 3.33 | |
| 每类个数及 占总体比例 | 个数 | | 14 | 21 | 5 | 12 | 15 | 4 | 24 | 41 | 4 | 12 | |
| | 占比/% | | 9.21 | 13.82 | 3.29 | 7.89 | 9.87 | 2.63 | 15.79 | 26.97 | 2.63 | 7.89 | |

注:在路口时,目标车驶过路口方向与本车转向前运动方向相同定义为“沿公路行驶”,与本车转向前运动方向垂直定义为“过公路”。

这7种危险工况总数占有危险工况的85.53%,代表了绝大部分的危险工况。这7种危险工况中危险起始点本车速度的分布如表3所示。

结合所取7种类型危险工况的典型特征、占总工况的比例以及本车的速度分布,最终得到以下7类典型的涉及骑车人的危险场景(表4)。其中,虽然根据聚类分析和卡方检验结果,最后2类场景中某些参数特征分布差异不显著,但因为这2类场景所占比例很小,因此只选取其中分布比例较大的特征

构建危险场景。

由于骑车人的运动状态非常复杂,目前从工况视频中还无法准确获得危险起始点目标车的速度,因此人为设定电动助力车/摩托车沿公路行驶时速度比本车低 $5 \sim 10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,上限 $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,自行车沿公路行驶时速度比本车低 $5 \sim 10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,上限 $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。电动助力车/摩托车横穿公路时车速为 $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,自行车横穿公路时车速为 $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

表 3 各类工况中危险起始点本车速度分布

Tab.3 Velocity distribution of host vehicles in different categories of risk scenarios at the start point of danger

| 工况类型 | 本车速度/(km·h ⁻¹) | | | | | |
|------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 平均值 | 10 百分位值 | 30 百分位值 | 50 百分位值 | 70 百分位值 | 90 百分位值 |
| 2 | 35.2 | 17.8 | 23.4 | 29.5 | 44.2 | 62.2 |
| 3 | 34.9 | 14.0 | 30.4 | 42.4 | 43.6 | 44.1 |
| 4 | 33.7 | 21.3 | 27.1 | 31.4 | 44.2 | 45.0 |
| 5 | 32.6 | 18.3 | 24.3 | 35.5 | 39.8 | 49.3 |
| 7 | 26.8 | 12.7 | 21.8 | 25.7 | 31.2 | 40.7 |
| 8 | 17.9 | 10.5 | 14.8 | 17.4 | 19.1 | 26.0 |
| 10 | 22.9 | 11.4 | 21.6 | 25.6 | 27.8 | 28.1 |

表 4 涉及骑车人的典型危险场景

Tab.4 Typical risk scenarios involving pedal cyclists

| 场景类型 | 照明条件 | 本车运动状态 | 目标车有无遮挡 | 本车速度/(km·h ⁻¹) | 目标车类型 | 目标车运动状态 | 道路条件 |
|------|------|--------|---------|----------------------------|------------------|----------------|------|
| 1 | 好不好 | 转向 | 有无 | 10+5n(n=0,1,2,3) | 电动助力车/摩托车 | 沿公路行驶 | 路口 |
| 2 | 好不好 | 直行 | 无 | 10+10n(n=0,1,2,3) | 自行车 电动助力车/摩托车 | 沿公路行驶 | 非路口 |
| 3 | 好 | 直行 | 有 | 20+10n(n=0,1,2,3,4) | 自行车 电动助力车/摩托车 | 沿公路行驶 左侧过公路 | 路口 |
| 4 | 不好 | 直行 | 无 | 10+10n(n=0,1,2) | 电动助力车/摩托车 | 右侧过公路 | 路口 |
| 5 | 不好 | 转向 | 无 | 10+10n(n=0,1,2) | 自行车 | 沿公路行驶 | 路口 |
| 6 | 不好 | 直行 | 有 | 25+10n(n=0,1,2) | 电动助力车/摩托车 | 右侧过公路 | 路口 |
| 7 | 好 | 直行 | 有 | 15+10n(n=0,1,2) | 自行车 | 左侧过公路 | 路口 |

注: n 为各类场景中本车速度的等级(参考表 3), 如场景类型 1 中本车速度为 $10+5n(n=0,1,2,3)$, 表示本车速度为 $10\sim 25\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, 以 $5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 递增, 最大速度等级为 3 级, 即 $25\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

本文利用 PreScan 建立了涉及骑车人的典型危险工况场景库, 如图 3~8 所示(篇幅所限, 文中仅列出场景类型 1 的 PreScan 模型示意图). 利用该虚拟场景库, 可以在仿真环境下对新开发的针对骑车人的主动安全系统进行虚拟场地测试以及算法的开发和优化.

场景类型 1 主要包含了 4 个 PreScan 模型, 图 3 为照明条件良好时本车在路口转向, 遇到沿公路行驶摩托车(也涵盖电动助力车), 且目标车无遮挡时的 PreScan 模型. 模型中本车速度为 $10\sim 25\text{ km}\cdot$

3 建立 PreScan 虚拟场景库

在主动安全系统开发的早期阶段, 通过虚拟仿真对算法进行测试和改进, 可以加快开发进程, 节约开发成本. 本文采用 PreScan 软件对分析得到的涉及骑车人的典型危险场景进行虚拟建模. PreScan 是荷兰 TNO 公司开发的一款专门用于先进驾驶辅助系统(ADAS)的软件, 利用该软件可以迅速建立虚拟交通场景, 同时通过 Simulink 可以添加传感器信息融合、动力学控制等策略, 辅助主动安全系统的开发^[11].

h^{-1} , 以 $5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 递增, 摩托车速度相应比本车速度低 $5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, 两车初始位置确保两车若保持运动状态不变在路口会发生碰撞(图 4).

保持场景中其他条件不变, 改变图 3 中模型的光照条件, 可以得到照明条件不好时的危险场景模型(图 5).

图 6 为照明条件良好时本车在路口转向, 遇到沿公路行驶摩托车(也涵盖电动助力车), 且摩托车被遮挡时的 PreScan 模型. 模型中本车速度依然为 $10\sim 25\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, 以 $5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 递增. 本车前方有一

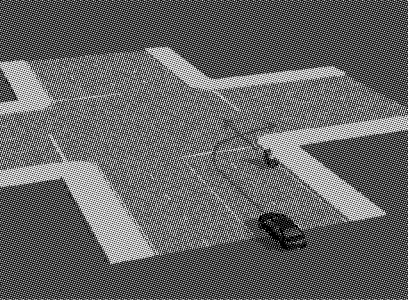


图 3 PreScan 危险场景模型 1

Fig.3 PreScan Model 1 of the risk scenario

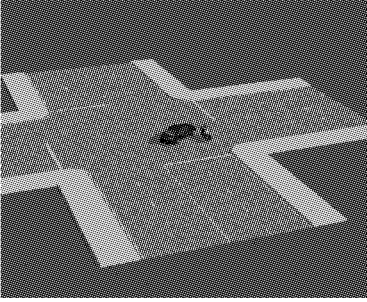


图 4 两车在路口即将碰撞

Fig.4 Two vehicles to collide at the intersection

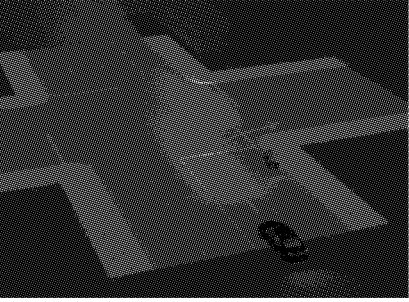


图 5 PreScan 危险场景模型 2

Fig.5 PreScan Model 2 of the risk scenario

车辆与本车同方向转向,速度与本车相同.摩托车速度比本车速度低 $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,各车初始位置确保前车转向时会遮挡本车的视线(图7),本车驾驶员无法观察到目标摩托车带来的危险,如果本车和摩托

车保持运动状态不变,本车将与摩托车发生碰撞.

改变图6中模型的光照条件,其他条件不变,得到光照条件不好时的危险场景模型(图8).

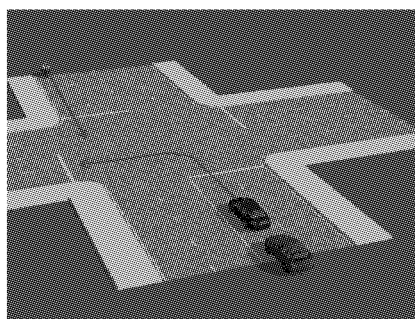


图6 PreScan 危险场景模型3

Fig.6 PreScan Model 3 of the risk scenario



图7 本车驾驶员视线被前车遮挡

Fig.7 Driver's view masked by leading vehicle

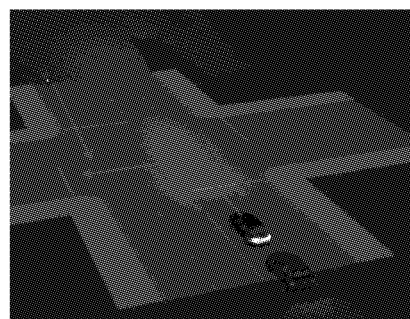


图8 PreScan 危险场景模型4

Fig.8 PreScan Model 4 of the risk scenario

4 结论

本文对上海市嘉定区真实的自然行驶工况进行采集、筛选和分类,得到了涉及骑车人的危险工况.通过对危险工况进行聚类分析,并对聚类分析结果进行卡方检验,提取了涉及骑车人的危险工况的典型特征.通过对这些典型特征进行分析,得到了7类涉及骑车人的典型危险场景,这7类危险场景涵盖了总工况的85.53%,具有很强的典型性和代表性.最后利用PreScan软件建立了这7类危险场景的虚拟模型.因为在我国由骑车人导致的交通危险和事故占的比例很高,因此本文研究的涉及骑车人的典型危险场景对于开发兼容我国特殊工况的主动安全系统场地测试方法具有重要的参考意义.另外,文中建立的PreScan虚拟场景模型库可以在主动安全系统开发的早期阶段对算法进行仿真测试和验证,帮助缩短开发周期,节约开发成本.

参考文献:

- [1] Lesemann M. Testing and evaluation methods for ICT-based safety systems [C]// 15th World Congress on Intelligent Transport Systems and ITS America's 2008 Annual Meeting. New York: ITS America, 2008: 5915-5920.
- [2] Lemmen P, Fagerlind H, Unselt T, *et al.* Assessment of integrated vehicle safety systems for improved vehicle safety [J]. *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, 2012, 48: 1632.
- [3] Jacobson J, Hérard J, Eriksson H, *et al.* Successful implementation of performance testing of active safety in road vehicles[C]// 8th European Congress on ITS. Lyon: Ertico—ITS Europe 2011:1-7.
- [4] Euro NCAP. Test protocol—AEB systems, Version 1.0 [S]. Brussels: Euro NCAP, 2013.
- [5] Meyer G. Advanced microsystems for automotive applications [M]. Berlin: Springer, 2012.
- [6] Aparicio A, Boltshauser S, Lesemann M, *et al.* Status of test methods for active safety system[C]//SAE. São Paulo: SAE, 2012: 2012-36-0214.
- [7] Lenard J, Danton R, Avery M, *et al.* Typical pedestrian accident scenarios for the testing of autonomous emergency braking systems[C]//The 22nd ESV Conference Proceedings. Washington D C: National Highway Traffic Safety Administration, 2011:1-9.
- [8] 中华人民共和国公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计年报(2011年度)[R]. 北京:公安部交通管理局, 2012.
Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security of the People's Republic of China. Annual report of road traffic accident statistics of the People's Republic of China (2011) [R]. Beijing: Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security, 2012.
- [9] Najm W G, Smith J D, Yanagisawa M. Pre-crash scenario typology for crash avoidance research[R]. Washington D C: National Highway Traffic Safety Administration, 2007.
- [10] 谢中华. Matlab 统计分析与应用: 40 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
XIE Zhonghua. Statistics analysis and application using Matlab: 40 cases analysis [M]. Beijing: Beihang University Press, 2010.
- [11] Hendriks F, Pelders R, Tideman M. Future testing of active safety systems[J]. *SAE International Journal of Passenger Cars—Electronic and Electrical Systems*, 2010, 3(2): 170.