

Typical Traffic Risk Scenarios with Steering Space Related to Vehicles' Conflicts in Same Direction

Lin MENG¹, Xichan ZHU¹, Lin LI¹, Zhixiong MA¹

¹ School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai, China

Email: tjmenglin@126.com

Abstract: The research collected naturalistic driving data in real traffic conditions in Shanghai which were captured by video drive recorders and 430 risk scenarios were obtained. The paper focused on 142 scenarios that vehicles going straight have conflicts with other vehicles. By analyzing video information, 77 scenarios where steering assist system can make a difference were selected. 5 typical scenarios were established based on cluster analysis and chi-square test and these scenarios were modeled in Prescan, which can help develop evasive steering support system.

Keywords: Active Safety, Risk Scenarios, Cluster Analysis, Chi-square Test, Prescan Model

本车直行与车辆冲突时转向避让辅助场景提取及建模

孟琳¹, 朱西产¹, 李霖¹, 马志雄¹

¹ 同济大学汽车学院, 上海, 中国, 201804

Email: tjmenglin@126.com

摘要: 本文通过对上海地区采集到的真实交通工况进行筛选和分类, 得到了 430 例危险工况。文中重点分析了本车直行与前车冲突的 142 例工况。通过分析视频, 选取具有转向空间, 可以进行转向避让的危险工况共计 77 例。通过聚类分析和卡方检验, 建立了 5 类典型的测试场景, 并利用 Prescan 软件进行建模, 得到了可进行转向避让辅助的危险场景库。为先进驾驶辅助系统的开发和测试提供依据。

关键词: 主动安全; 危险工况; 聚类分析; 卡方检验; Prescan 建模

1 引言

目前主动安全已成为汽车安全技术的研究重心。先进驾驶辅助系统(Advanced Driver Assistance Systems, ADASs)是现在汽车主动安全技术研究的热点。在评价方法方面, 世界主要汽车大国都发布了自己的新车评价体系(New Car Assessment Program, NCAP), 这些评价体系较为完备的评价了汽车的被动安全, 然而, 主动安全的评价目前才刚刚起步, 已经落后于主动安全技术产品的发展, 因此世界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及评价体系^[1], 同时这些方法的建立也会对主动安全产品算法的开发和优化有较大的促进作用。如欧盟新车评价体系(EuroNCAP)已经发布了城市间自动紧急刹车系统(Autonomous Emergency Braking Interurban)和车道辅助系统(Lane Support)的测试方法并开始执行。

此外, 现在 ADASs 的研究已经不限于纵向辅助系统, 出现了不少横向驾驶辅助系统, 如辅助驾驶员进行转向避让的系统, 典型的有 Continental 的紧急转向辅助(Emergency Steering Assist, ESA)系统^[2]、Bosch 的 Evasive Steering Support (ESS)系统^[3]等和 Toyota 的预碰撞系统^[4]。但是关于横向驾驶辅助系统的评价体系还少有研究。在 2015 年 3 月, EuroNCAP 发布的到 2020 年的发展路线中, 预计于 2017 形成对于先进横向测试系统(advanced lateral support systems)的测试草案, 2018 开始测试^[5]。

主动安全系统场地测试方法的主要要素有测试场景、驾驶员模型和测试目标物^[6]。通过提取真实交通中存在的典型危险场景用于场地测试是非常重要的方法, 一方面它使测试场景与真实交通环境中存在的危险相对应, 具有代表性和典型性; 另一方面, 使测试场景的数量减少, 减少试验成本并提高试验效率。

不同系统的研究需要不同的测试场景,典型测试场景的提取是智能汽车安全系统进行需求分析和测试评价的基础。这在国外以有些研究,比如美国高速公路安全管理局(NHTSA)基于2004年的GES(General Estimates System)事故数据库,提出了37类预碰撞(Pre-Crash)场景^[7]。Kusano等人也基于NHTSA的GES等交通事故数据库,分析提炼得到了单车事故和多车事故两大类19小类事故场景,然后将这些场景用来作为FCW等智能汽车安全系统开发用目标场景^[8]。然而,这些场景都是基于国外交通事故数据库或自然驾驶数据库提出的,不能代表中国的典型情况,而且也不是针对转向碰撞系统提取的场景。

本研究首先通过对中国上海地区真实交通工况的采集,然后通过适当的筛选和分类,重点关注本车直行与前车冲突场景,选取具有转向空间的场景,利用聚类分析和卡方检验,最终建立了典型的测试场景,并利用Prescan软件进行建模,得到了可进行转向碰撞辅助的危险场景库。

2 基于行车记录仪的数据采集

本研究利用配备行车记录仪(VDR)的出租车、私家车及警车采集了上海嘉定区的真实交通场景,VDR安装在内后视镜附近的风挡玻璃上,保证不干扰驾驶员的正常驾驶,同时为了清晰的录制车辆正前方的环境状况,需要将VDR的摄像头调整到适当的角度,并保持其在行车过程中不发生改变。除了采集道路交通的影像信息,VDR还利用相关传感器采集车辆速度、纵向加速度和侧向加速度等信息。本实验采用的VDR的触发条件为纵向或侧向加速度绝对值大于0.4g,只记录触发前15s和触发后5s的数据。其中速度采样频率为2Hz,加速度采样频率为30Hz,视频帧率为30帧。



Figure 1. Data collection by VDR
图 1. 利用 VDR 采集真实交通工况

实验总共得到了约4000例触发工况,本文利用这些触发工况来提取相关的危险工况,通过人工筛选视频录像,去掉没有碰撞危险的工况,最终得到了1200例危险工况和8例事故工况。接下来通过主观评价对这1200例危险工况按照危险程度进行分级,危险等级主要分为4级:0—危险预兆,1—轻微危险,2—一般危险,3—紧急危险^[9],从中选取危险度为2级和3级的危险工况作为分析目标,共计430例。选取的这些危险工况正是ADASs应发挥作用的时刻,因此对ADASs的开发有较大的指导意义。

在所筛选的430例工况中,参考美国高速公路安全管理局提出的37类预碰撞场景^[7],并适当的进行整合,对各工况的分布情况进行统计,结果如图2所示,本文选取最多的一类工况提取和建立测试场景。

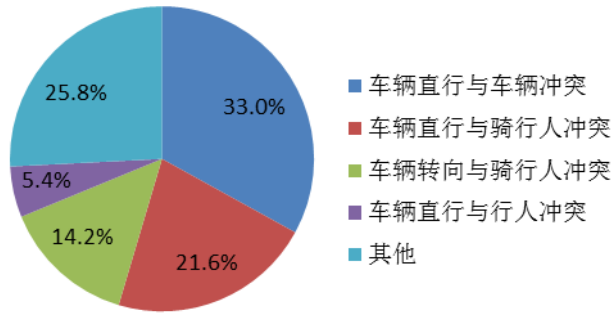


Figure 2. Types of risk scenarios
图 2. 危险工况分类结果

3 典型危险场景提取

3.1 基本信息统计描述

从 VDR 收集的工况中，共有 142 例本车直行与车辆冲突的危险工况，占全部危险工况的 33%，其中没有转向空间的有 65 例，有转向空间的危险工况为 77 例，用于进一步的分析。初选如下 4 类 10 个参数作进一步的分析。

- (1) 环境参数：照明情况、道路特征、路面湿滑情况、车流量。
- (2) 目标车参数：目标车类型、目标车的运动状态、状态目标车是否有遮挡。
- (3) 本车参数：本车车速。
- (4) 两车相对运动参数：制动开始时 TTC、重叠程度。

在分析过程中，由于没有办法确定危险发生时的准确时刻，因此选取开始制动时的 TTC 进行分析。具体参数取值及编码情况如表 1 所示。

Table 1. Variables and values in Cluster Analysis
表 1. 聚类分析初选参数类型及取值

参数名	参数类型	参数取值	数值表示
照明情况	Nominal	坏	0
		好	1
道路特征	Nominal	非路口	10
		十字路口	01
		丁字路口	00
路面湿滑	Nominal	是	0
		否	1
车流量	Ordinal	是	0
		否	1
目标车的运动状态	Nominal	直行减速	00
		两侧插入	01
		两侧侵入	10
目标车是否有遮挡	Nominal	有	0
		无	1
目标车类型	Nominal	乘用车	0
		商用车	1
本车车速	Ordinal	≤36km/h	0
		>36km/h	1
制动时 TTC	Ordinal	≤1.5s	0
		>1.5s	1
重叠程度	Ordinal	≤20%	100
		20%-50%	010
		50%-80%	001
		80%-100%	000

定序尺度（Ordinal）是对事物之间等级差的一种度量，名义尺度（Nominal）测度事物之间的类别差^[10]。文中照明情况好是指白天和晴天行车，照明情况差是指夜间和阴雨天行车，路口包括十字路口和丁字路口，重叠

程度定义为本车躲避前车所需的最小横向距离与本车车宽之比。车流量多少的分界标准是 VDR 触发记录前 10 秒内驾驶员视野中的运动车辆是否大于 10 辆。各个变量的统计分析分布如图 3 所示。商用车指在视频中出现的大货车和大客车，两侧插入是指目标车从本车前方左右两侧横向驶来，两侧侵入是指邻车道车变道或偏离本车道对本车造成干扰。其中道路特征和目标的运动状态是 2 自由度变量，重叠程度是 3 自由度变量。

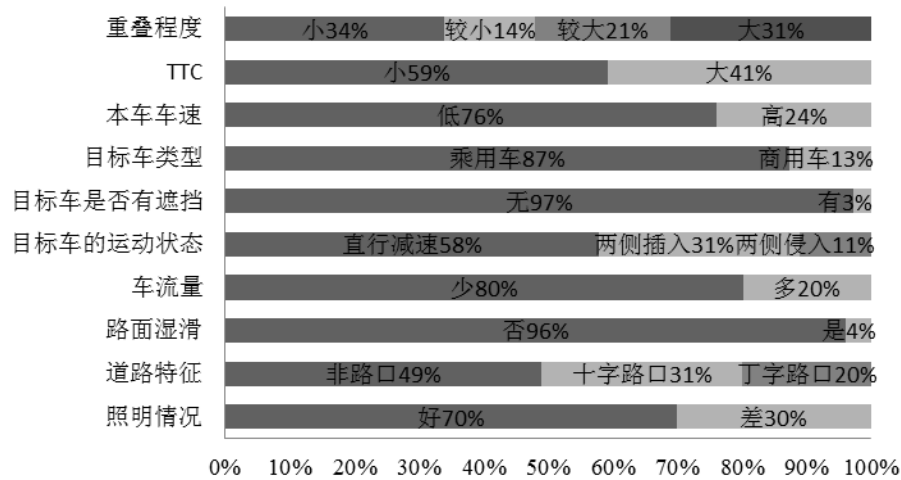


Figure 3. Distribution of selected Variables

图 3. 初选变量的分布情况

经初步分析，有些初选的变量并不适合用于聚类分析，目标物被遮挡的情况只占总数的 3%，道路湿滑的情景仅占 4%，不同变量值所占比例差异太大，此类变量在聚类分析中不容易成为类别的突出特点，可以认为典型情景就是发生在目标物没有被遮挡和路面情况良好的情况下，因此不选用这两个变量作为聚类分析采用的变量。

对于车流量的信息，虽然这一变量难以准确的统计并模拟在实验场景中，但一方面它可以用来测试车辆的环境感知能力，对控制算法有较高要求，另一方面对驾驶员的转向行为具有较大的影响，因此进行简单的处理，对于车流量少的情况采用 3 到 5 辆运动的车来模拟，对于车流量多的情况采取 8 到 10 辆运动的车来模拟。

3.2 聚类分析

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^[11]。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。

本研究采用 SPSS 软件进行聚类分析，采用分层聚类的方法进行分析，采用绝对值距离（City Block）对样本之间的距离进行量化，其公式为：

$$d_{xy} = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (1)$$

式中， x_i 是个体 x 的第 i 个变量的变量值； y_i 是个体 y 的第 i 个变量的变量值。

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：

$$D_{KL}^2 = \frac{1}{n_K n_L} \sum d_{xy} \quad (2)$$

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，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^[11]。

3.3 结果分析

接下来进行聚类分析，图 4 显示了后几次聚类的亲疏程度，即用不一致系数来衡量类间的距离。图 5 展示了聚类分析每一次类合并的结果。SPSS 自动将各类间的距离映射在 0-25 之间，并将聚类过程近似的表示在图上。

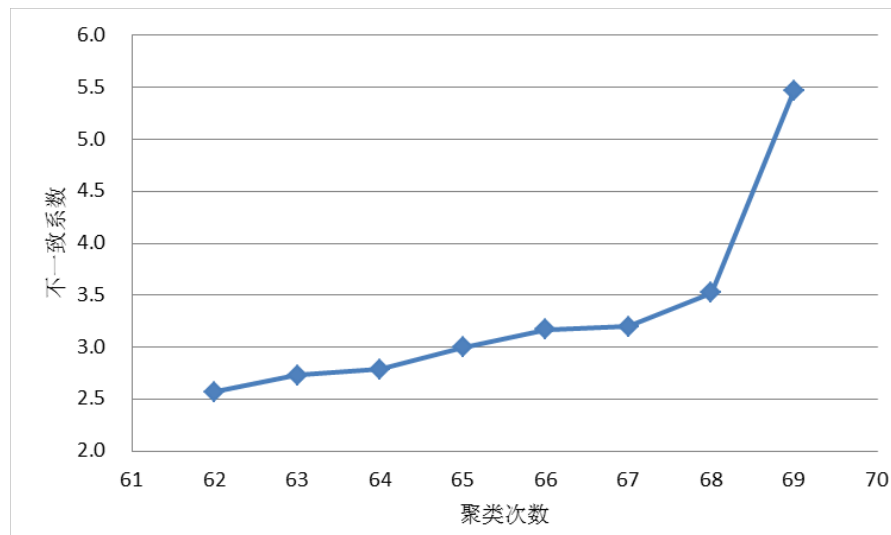


Figure 4. Difference coefficient of cluster analysis

图 4. 聚类分析不一致系数

从图 4 中可以看出，第 68 次聚类相对于第 67 次聚类不一致系数增长较多，同时考虑最终聚类的个数，可以认为第 67 次聚类结果较为理想，分成的类别数为 4 类。

接下来对聚类分析的结果进行卡方检验，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 中灰色背景部分即为卡方检验得出的显著值。其中 1 自由度的临界卡方值为 2.71，2 自由度的临界卡方值为 4.61。经过比较可以得到典型特征。

从聚类分析的结果可知，第一、二、四类结果占了总数的 97.2% 左右，第一类场景代表发生在丁字路口和十字路口的车流量较少的工况，目标车从前方侧面插入，重叠率多数小于 50%。第二类场景代表有目标车偏离其原来车道，向本车靠近的危险工况，重叠率全部小于 50%。第四类工况占比最多，发生在非路口和十字路口，发生危险时前车均是突然减速，重叠程度多数大于 50%。

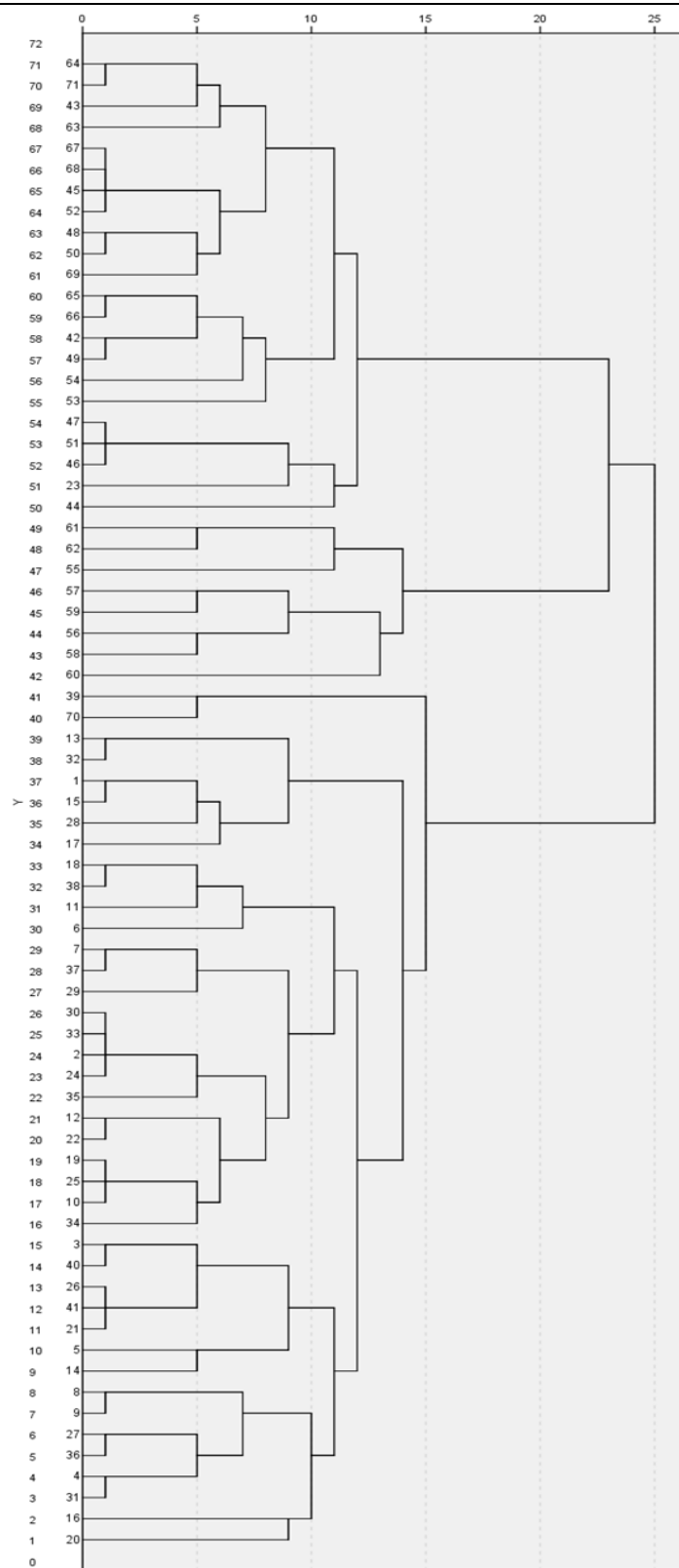


Figure 4. Tree diagram of cluster analysis
图 4. 聚类分析树形图

Table 2. Results of cluster analysis and Chi-square Test
表 2. 聚类分析及卡方检验结果

变量	变量值	第一类	第二类
----	-----	-----	-----

		个数	百分比	卡方值	个数	百分比	卡方值
照明情况	好	15	30.0%	0.04	5	10.0%	0.21
	坏	7	33.3%		3	14.3%	
道路特征	非路口	0	0.0%	23.07	8	21.1%	6.39
	十字路口	8	42.1%		0	0.0%	
	丁字路口	14	100.0%		0	0.0%	
车流量	少	22	38.6%	5.11	5	8.8%	1.35
	多	0	0.0%		3	21.4%	
目标车类型	乘用车	21	33.3%	0.87	7	11.1%	0.01
	商用车	1	12.5%		1	12.5%	
目标车运动状态	直行减速	1	2.4%	28.10	0	0.0%	35.05
	两侧插入	21	95.5%		0	0.0%	
	两侧侵入	0	0.0%		8	100.0%	
本车车速	≤36km/h	17	31.5%	0.01	5	9.3%	0.70
	>36km/h	5	29.4%		3	17.6%	
重叠程度	≤50%	20	58.8%	12.77	8	23.5%	7.84
	>50%	2	5.4%		0	0.0%	
TTC	≤1.5	12	28.6%	0.15	6	14.3%	0.76
	>1.5	10	34.5%		2	6.9%	
合计		22	31.0%		8	11.3%	

Continued Table 2. Results of cluster analysis and Chi-square Test
续表 2. 聚类分析及卡方检验结果

变量	变量值	第三类			第四类		
		个数	百分比	卡方值	个数	百分比	卡方值
照明情况	好	2	4.0%	0.83	28	56.0%	0.02
	坏	0	0.0%		11	52.4%	
道路特征	非路口	2	5.3%	3.95	28	73.7%	9.11
	十字路口	0	0.0%		11	57.9%	
	丁字路口	0	0.0%		0	0.0%	
车流量	少	2	3.5%	0.49	28	49.1%	1.03
	多	0	0.0%		11	78.6%	
目标车类型	乘用车	2	3.2%	0.25	33	52.4%	0.38
	商用车	0	0.0%		6	75.0%	
目标车运动状态	直行减速	1	2.4%	0.47	39	95.1%	22.66
	两侧插入	1	4.5%		0	0.0%	
	两侧侵入	0	0.0%		0	0.0%	
本车车速	≤36km/h	0	0.0%	5.84	32	59.3%	0.53
	>36km/h	2	11.8%		7	41.2%	

重叠程度	≤50%	0	0.0%		6	17.6%	
	>50%	2	5.4%	1.79	33	89.2%	11.49
TTC	≤1.5	0	0.0%		24	57.1%	
	>1.5	2	6.9%	2.79	15	51.7%	0.06
合计		2	2.8%		39	54.9%	

同时从图 3 中可以看出，在本车直行与前面四轮机动车冲突并具有转向空间的工况中，大部分危险工况发生在“目标物没有被遮挡”和“道路不湿滑”的条件下，发生的地点在路口和非路口大致各占一半。各类场景的速度分布和制动开始时的 TTC 分布如下表所示。

Table 3. Distribution of speed in different scenarios
表 3.各典型场景速度分布

统计量	速度分布(km/h)		
	第一类	第二类	第四类
均值	35.8	34.8	19.6
极小值	11.5	18.1	8.1
极大值	53.2	48.1	50.0
25百分位值	33.4	26.3	9.4
50百分位值	35.0	38.5	13.5
75百分位值	38.6	41.5	25.5

Table4. Distribution of TTC in different scenarios
表 4.各典型场景 TTC 分布

统计量	危险点TTC分布 (s)		
	第一类	第二类	第四类
均值	1.3	1.3	1.5
极小值	0.5	0.5	0.6
极大值	1.7	2.7	2.8
25百分位值	1.4	0.9	0.9
50百分位值	1.4	1.3	1.3
75百分位值	1.6	1.7	2.0

3.4 典型场景的建立

基于危险工况的真实场景并参考聚类分析的结果，设计了 5 个测试场景，场景参数如表 5 所示。测试环境均为“道路条件良好”，若危险发生时 $TTC \leq 1.5s$ ，可选择前车被遮挡这种情况进行配合，遮挡物选择小型车辆，放在车辆的左前方或右前方。由于目标车类型在聚类分析中都不显著，并且从工况视频中还无法准确获得危险起始点目标车的速度，选择时主要考虑汽车行驶速度比本车低 5-10km/h，汽车横穿公路时车速为 30km/h。同样的，照明情况特征不显著，其中两种场景采用夜间行车模拟。

本车的速度根据危险工况的车速分布经适当圆整提高得到，测试间隔梯度为 5km/h。危险点 TTC 根据危险点的 TTC 分布经适当圆整减小得到，测试间隔梯度为 0.5s。其他特征选取表 4.12 中百分比相对较大的情况。

Table 5. Variables in different scenarios
表 3.各典型场景速度分布

场景	照明情况	道路特征	车流量	目标车类型	目标车运动状态	本车车速 (km/h)	重叠程度	TTC
----	------	------	-----	-------	---------	-------------	------	-----

1	好	丁字路口	少	乘用车	前方插入	15-55	$\leq 50\%$	0.5-1.5
2	好	十字路口	少	乘用车	前方插入	15-55	$\leq 50\%$	0.5-1.5
3	差	非路口	多	商用车	两侧侵入	20-50	$\leq 50\%$	0.5-2.5
4	差	十字路口	少	乘用车	直行减速	10-50	$> 50\%$	0.5-2.5
5	好	非路口	少	乘用车	直行减速	10-50	$> 50\%$	0.5-2.5



Figure 6. Prescan model for scenario 1
图 6. Prescan 场景 1 示意图

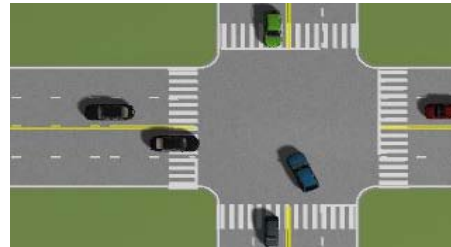


Figure 7. Prescan Model for scenario 2
图 7. Prescan 场景 2 示意图

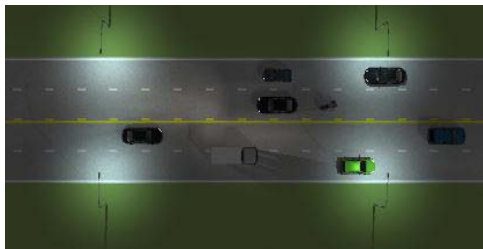


Figure 8. Prescan model for scenario 3
图 8. Prescan 场景 3 示意图

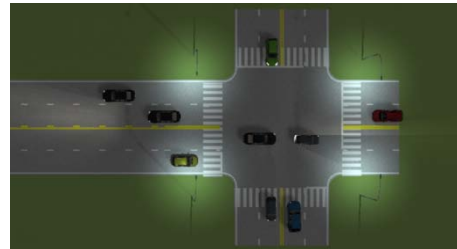


Figure 9. Prescan model for scenario 4
图 9. Prescan 场景 4 示意图



Figure 10. Prescan model for scenario 5
图 10. Prescan 场景 5 示意图

4 结论

本文通过对上海市嘉定区真实的自然行驶工况进行采集、归纳整理，得到了本车直行与行人冲突的危险工况，之后筛选出了可以进行转向避让的工况，通过聚类分析和卡方检验，得到了 3 类 5 个典型场景，这 3 类典型工况涵盖了危险工况的 97.2%，具有较强的代表性，对辅助转向避让的主动安全系统的测试有重要作用。同时，利用 Prescan 建立的虚拟场景为今后驾驶模拟器的仿真提供基础，对相关算法的早期仿真和测试提供帮助，节约开发成本，缩短开发周期。

参考文献

- [1] Lemmen P, Fagerind H, Unselt, et al. *Assessment of integrated vehicle safety systems for improved vehicle safety[J]*. Proedia-Social and Behavioural Sciences, 2012, 48: 1632
- [2] Eckert A, Hartmann B, Sevenich M, et al., editors. *Emergency steer & brake assist: a systematic approach for system integration of two complementary driver assistance systems*. Proc 22nd Int Technical Conf Enhanced Safety of Vehicles, Washington DC, USA, June 2011

-
- [3] Fausten M. *Accident avoidance by evasive maneuvers*. Proceedings of the 4th Tagung Sicherheit durch Fahrerassistenz (TVSD, Munich, April 15–16). 2010.
 - [4] Suzumura M, Fukatani K, Asada H. *Current State of and Prospects for the Vehicle Dynamics Integrated Management System (VDIM)*. Toyota Technical Review. 2007,55(222): 554-565.
 - [5] Euro NCAP. *Euro NCAP 2020 Roadmap Revision 1[S]*. Brussels. March 2015.
 - [6] MeyerG. *Advanced Microsystems for Automotive Applications[M]*. Berlin: Springer. 2012.
 - [7] Najm WG, Smith JD, Yanagisawa M. *Pre-crash scenario typology for crash avoidance research*. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2007 DOT HS 810 767.
 - [8] Kusano KD, Gabler HC, editors. *Pre-crash scenarios for determining target populations of active safety systems*. Proceedings of the 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV); 2013.
 - [9] LI Lin,ZHU Xichan,MA Zhixiong. *Brake reaction time of drivers under real traffic risk scenarios[J]*. Automotive Engineering. 2014, 36(10): 1225-1229
 - [10] LI yuguang, DU Hongwei,HUANG Yongsheng. *Introduction and improvement of statistical analysis[M]*. Tsinghua University press, 2014
 - [11] XIE Zhonghua. *MATLAB statistic analysis awith 40 application cases[M]*. Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press. 2010.