

驾驶经验对先进驾驶辅助系统的作用研究

吕能超, 段至诚, 吴超仲*

(武汉理工大学 智能交通系统研究中心, 武汉 430063)

摘要: 为了探究驾驶经验对先进驾驶辅助系统(ADAS)的影响, 招募32名被试开展现场运行测试(FOTs)。开发的试验车通过数据同步技术采集车辆运动学信息、道路环境信息和驾驶人操作信息, 对采集的数据进行预处理并提取城市快速路数据进行统计分析。试验结果表明: 跟车时, ADAS对熟练驾驶人和非熟练驾驶人均有积极影响且对非熟练驾驶人更为显著; 制动时, ADAS对非熟练驾驶人有积极影响但对熟练驾驶人有消极影响; 接受程度方面, 熟练驾驶人对ADAS的接受程度显著高于非熟练驾驶人。本文研究结论为避免ADAS在特定驾驶经验的人群中产生的不利影响提供了数据支撑。

关键词: 智能交通; 有效性和接受程度; 现场运行测试; 驾驶经验; 先进驾驶辅助系统

The Impact of Driving Experience on Advanced Driving Assistant Systems

LV Neng-chao, DUAN Zhi-cheng, WU Chao-zhong

(Intelligent Transportation Systems Research Center, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: The purpose of this paper is to investigate the effect of driving experience on the Advanced Driving Assistant Systems (ADAS). In this research, Field Operational Tests (FOTs) is designed, and thirty-two participants are recruited. Vehicle dynamic information, environmental information, and driving operational data are recorded by data synchronization technology. The collected data are pretreated and the urban expressway data are extracted for statistical analysis. The test results show that, in the following vehicle scenario, ADAS has a positive impact on skilled drivers and unskilled drivers, especially for unskilled drivers. In the braking scenario, ADAS has a positive impact on unskilled drivers but a negative impact on skilled drivers. In terms of acceptance, skilled drivers significantly accept ADAS more than unskilled drivers. The obtained results are helpful for future development of ADAS for avoiding unexpected negative effects.

Keywords: intelligent transportation; effectiveness and acceptance; field operational test; driving experience; advanced driving assistant systems

收稿日期: 2017-06-20

修回日期: 2017-08-24

录用日期: 2017-09-19

基金项目: 国家自然科学基金/National Natural Science Foundation of China(51678460, 51775396, U1664262); 湖北省自然科学基金/Natural Science Foundation of Hubei Province, China (ZRMS2017001571); 武汉市青年科技晨光计划/Wuhan Youth Science and Technology Plan (2017050304010268).

作者简介: 吕能超(1982-), 男, 湖北黄冈人, 副研究员。

*通信作者: wucz@whut.edu.cn

0 引言

2016年中国有超过5.9万人死于机动车碰撞事故^[1]。根据公安交管部门的事故报告,近90%的机动车碰撞事故可归因于违法违章和不当驾驶行为^[2]。

为了提高驾驶人的注意力和感知能力,纠正事故前人因错误,多种先进驾驶辅助系统(ADAS)被开发辅助驾驶人。ADAS旨在提高动态环境中驾驶人的感知、认知、行动选择和行动实现能力^[3-4]。

目前,一些消费级ADAS已经被投入实际应用。因此关于ADAS对驾驶行为产生的影响,国内外已展开不少研究。Adell等^[5]测试了ADAS在驾驶人保持安全距离和安全车速方面的影响,表明积极和消极影响均存在。Brookhuis等^[6]调查了ADAS在驾驶行为方面的影响,发现ADAS在驾驶行为方面存在消极影响,可能是由于依赖性导致的驾驶人反应延迟和错误警报。

虽然当前研究发现驾驶人特征可以显著地影响ADAS的有效性和接受程度,比如驾驶人性别和年龄^[7-9],但在这个方向上很少有研究涉及驾驶经验。尽管国内外研究已经表明驾驶经验会显著地影响驾驶行为^[10-12],但ADAS对熟练驾驶人和非熟练驾驶人驾驶行为影响的定量描述仍然缺乏。本文将通过现场运行测试(FOTs),从ADAS有效性和驾驶人接受程度两个方面定量分析ADAS对熟练驾驶人和非熟练驾驶人驾驶行为的定量影响。本文的结论将为ADAS在中国的政策制定提供帮助,并为开发针对驾驶人特性的可变报警阈值提供理论基础。

1 现场运行测试基本情况

1.1 试验设备

本次试验使用的ADAS型号为Mobileye ME630,包括前向碰撞预警(FCW)和侧向偏离预警(LDW)两大系统。如图1所示,Mobileye被放置在方向盘侧前方以提供视觉和听觉上的预警。只要ADAS侦测到前方有车辆,显示屏上会出现车辆图标,车速超过30 km/h时,显示屏上会出现数字车头时距。当时距低于设定阈值时,车辆图标会变红,

并发出蜂鸣警报声。国内外相关研究中,前向碰撞预警的车头时距报警阈值一般设置为1.0~1.5 s^[7-9]。因此,本次现场运行测试中ADAS的报警阈值设置为1.2 s。车速超过55 km/h时,LDW系统会被激活,此时如果车辆偏离行驶车道并且没有打转向灯,LDW会发出一串急促的蜂鸣警报。



图1 ADAS现场运行测试场景

Fig. 1 FOTs Scene of ADAS system

试验车的主要设备如图2所示。Mobileye用来收集车头时距和车道线位置信息并提供前向碰撞和侧向偏离预警;摄像头用来收集车辆周围环境的视频信息;INS系统用来收集车辆的三轴加速度和经纬度;激光雷达用来收集前方目标信息;CAN总线用来收集车辆的运动学信息,比如车速、油门踏板信息、制动踏板信息及方向盘转角。所有数据与主时间同步并从监控软件输出,输出间隔为0.1 s。

1.2 被试人员信息

本试验共招募了32名被试。基本信息如表1所示。需要注意的是,在中国,特别是大学生群体,许多人虽然拿到了驾照多年,但是并没有相应的驾驶经验,由于本研究招募了部分在校学生作为被试,所以用驾龄区分熟练驾驶人和非熟练驾驶人并不合适。故本研究采用驾驶里程数区分熟练驾驶人和非熟练驾驶人。一般家用车辆1年行驶约1万 km,结合已有文献,认为普通有车驾驶人4年^[13-14]可具有熟练的驾驶技巧,所以本研究定义驾驶里程在4万 km以上者为熟练驾驶人,按照此规则被试人员中有17名为熟练驾驶人,15名为非熟练驾驶人。



图2 试验车设备信息

Fig. 2 Equipment of instrumented vehicle

表1 被试者信息

Table 1 Participants' information

信息	人数	年龄/岁		驾龄/年		驾驶里程/km	
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
总共	32	32.2	8.2	6.9	4.6	110 000	13.4
男性	21	31.1	8.2	6.4	4.2	89 497	10.9
女性	11	35.0	7.6	8.1	5.2	161 900	17.2

1.3 试验路段

试验路段如图3所示.第1段为适应路段,是1条限速为70 km/h的城市快速路;第2段为高速公路;第3段为城市快速路;第4段为城市道路.高速公路由3~4条车道组成,全长约45 km;城市快速路由3~4条车道组成,全长约34 km;城市道路由2~3条车道组成,全长约12 km.

1.4 数据预处理

虽然所有的试验均严格在每天的特定时段进行,但交通环境的波动仍然无法完全避免.为了建立道路驾驶试验数据库及筛选本次研究所需的数据(城市快速路,非拥堵),对收集到的原始数据进行标定.本文采用对行车记录视频标记时间戳的方法分离所需的数据.如图4所示,3张小图代表拥堵、自由流和道路维修,他们的编码分别为2、1和4.

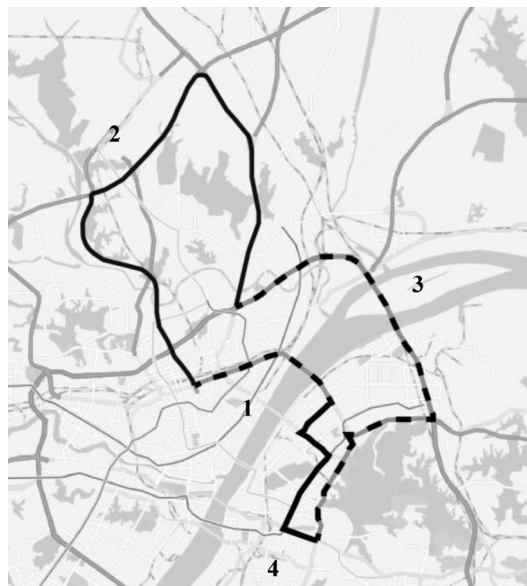


图3 试验道路图

Fig. 3 Selected test roads

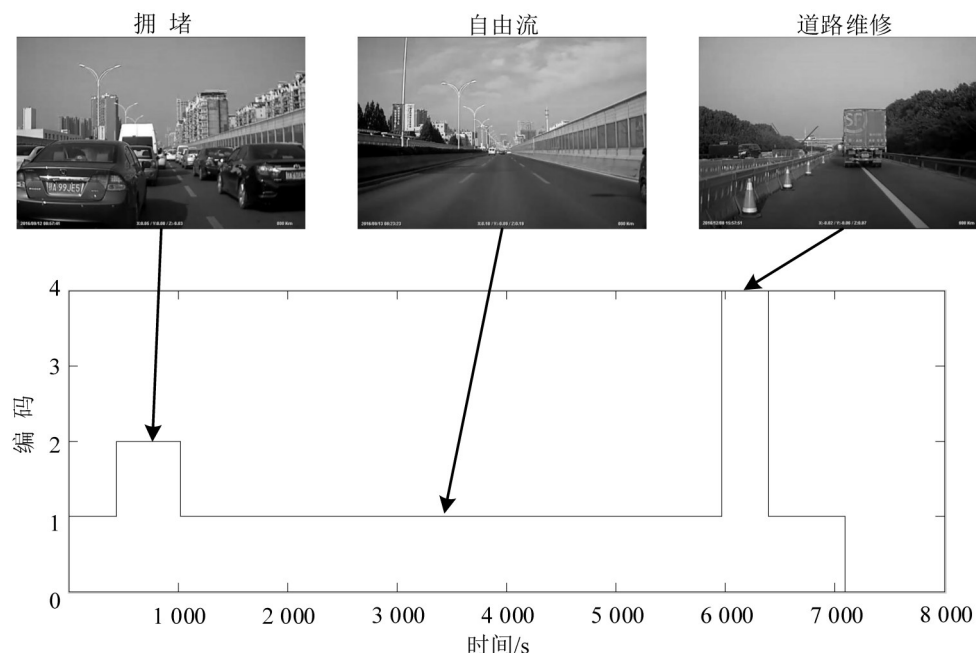


图4 试验过程标定

Fig. 4 Calibration of test procedure

2 统计分析

现场运行测试是以 2(ADAS)×2(驾驶经验)×3(道路类型)重复测量混合设计进行的.在本文的研究中,为了数据的质量及避免交通流的影响,仅选用城市快速路部分数据.组间变量为是否开启 ADAS 和驾驶经验,没有组内变量,故采用二维组间方差分析对数据进行分析.因变量包括车速 SP (km/h),纵向正加速度 LPA (m/s²),纵向负加速度 LNA (m/s²),车头时距 THW(s),制动时刻与前车相对速度 RS (km/h),制动能量 BE (Ns),车道偏移量 LD (m).以下假设检验分析基于 0.05 的显著水平.

2.1 跟车场景

本文中,跟车场景定义为 Mobileye 可以检测到前方同车道内的目标车辆,本车车速高于

30 km/h 并且制动踏板没有激活.熟练驾驶人和非熟练驾驶人的驾驶行为指标的基本描述性统计如表 2 所示.二维组间方差分析的结果如表 3 所示.结果显示驾驶经验可以显著地影响驾驶人的纵向驾驶行为(Sig. <0.05),平均车速、车头时距、纵向正加速度和纵向负加速度均存在显著的统计学差异;但对于驾驶人的横向驾驶行为即车道偏移量,不同驾驶经验的驾驶人之间并没有显著的统计学差异(Sig. >0.05).此外,试验组和对照组之间的平均车速、车头时距、纵向正加速度、纵向负加速度和车道偏移量均存在显著的统计学差异.是否使用 ADAS 和驾驶经验之间在平均车速、车头时距、纵向正加速度、纵向负加速度和车道偏移量上存在显著的交互效应(Sig. <0.05).

表 2 驾驶行为指标描述性统计结果

Table 2 Descriptive statistical results for longitudinal driving indicators

指标	试验组(开启 ADAS)					对照组(关闭 ADAS)					
	SP	THW	LPA	LNA	LD	SP	THW	LPA	LNA	LD	
熟练	均值	63.54	1.70	1.18	-1.51	0.35	61.66	1.69	1.19	-1.41	0.37
驾驶人	标准差	13.53	0.67	1.10	1.60	0.09	12.99	0.72	1.20	1.40	0.08
非熟练	均值	58.94	1.74	1.23	-1.40	0.30	59.18	1.71	1.49	-1.27	0.36
驾驶人	标准差	13.56	0.70	1.28	1.40	0.07	12.37	0.71	1.46	1.24	0.07

表3 驾驶行为指标二维组间方差分析结果

Table 3 Two way ANOVA between groups results for longitudinal driving indicators

组间因素	SP	THW	LPA	LNA	LD
ADAS	487.241***	125.992***	46.252***	85.695***	6.453*
驾驶经验	416.020***	272.540***	113.562***	160.854***	0.325
ADAS * 驾驶经验	160.786***	32.360***	24.455***	4.313*	36.485***

注:*** Sig. < .001, ** Sig. < .01, * Sig. < .05.

2.2 制动场景

本文中,制动场景定义为油门踏板释放后,制动踏板第1次激活的时刻.熟练驾驶人和非熟练驾驶人的制动行为指标的基本描述性统计如表4所示.二维组间方差分析的结果如表5所示.方差分析结果显示,驾驶经验会影响驾驶人的制动行为,其中平均车头时距有显著的统计学差异(Sig. < 0.05),

但相对速度和制动能量没有显著的统计学差异(Sig. > 0.05).另一方面,试验组和对照组的平均车头时距、相对速度和制动能量均没有显著的统计学差异(Sig. > 0.05).是否使用ADAS和驾驶经验之间在平均车头时距上有显著的交互效应(Sig. < 0.05),但在相对速度和制动能量上没有显著的交互效应(Sig. > 0.05).

表4 制动行为指标描述性统计结果

Table 4 Descriptive statistical results for braking indicators

指标	试验组(开启ADAS)			对照组(关闭ADAS)		
	RS	BE	THW	RS	BE	THW
熟练	均值	-1.459	2.607	1.509	-1.386	2.150
驾驶人	标准差	2.126	3.138	0.741	1.977	3.344
非熟	均值	-1.247	2.559	1.471	-1.325	2.567
练驾驶人	标准差	1.795	2.872	0.634	1.934	3.098

表5 制动行为指标二维组间方差分析结果

Table 5 Two way ANOVA between groups results for braking indicators

组间因素	RS	BE	THW
ADAS	0.001	2.321	0.627
驾驶经验	2.162	1.564	8.910**
ADAS * 驾驶经验	0.653	2.490	3.310*

注:*** Sig. < .001, ** Sig. < .01, * Sig. < .05.

3 讨论

3.1 ADAS在跟车场景的有效性

开启ADAS后,熟练驾驶人的跟车场景平均车头时距从1.686 s增加到1.697 s,非熟练驾驶人的这个指标从1.708 s增加到1.742 s,且均有显著的统计学差异.已有研究调查了ADAS条件下车头时距:Son等^[8]通过52人次现场运行测试得出的研究显示在FCW系统支持下,男性驾驶人的跟车场景平均车头时距从1.36 s增加到1.45 s,增幅为6.6%;Birrell等^[9]通过40人次现场运行测试得出的研究结论显示在有智能驾驶反馈系统的支持

下,驾驶人的跟车车头时距从2.05 s增加到2.33 s,增幅为13.7%.从跟车平均车头时距上来看,本文所得的结论与已有的研究一致.如图5所示,不论是熟练驾驶人还是非熟练驾驶人,在开启ADAS条件下车头时距小于1.2 s的百分比均有不同程度的下降,而小于1.2 s的车头时距对于行车安全有一定影响^[9].对于熟练驾驶人,对照组车头时距小于1.2 s的百分比为29.4%,而试验组的这个指标为25.6%,下降了3.8%;对于非熟练驾驶人,对照组车头时距小于1.2 s的百分比为29.3%,而试验组的这个指标为25.3%,下降了4.0%.

纵向加速度方面,不论是熟练驾驶人还是非熟练驾驶人,试验组的平均纵向负加速度绝对值比对照组均有不同程度的升高,其中,熟练驾驶人从1.41 m/s²升高到1.51 m/s²,非熟练驾驶人从1.27 m/s²升高到1.40 m/s².但是在纵向正加速度方面,有ADAS支持后,熟练驾驶人的平均纵向正加速度从1.193 m/s²下降到1.179 m/s²,非熟练驾驶人的平均纵向正加速度从1.485 m/s²下降到1.230 m/s².

导致这一结果的原因可能是 ADAS 会促进驾驶人更加频繁地调整车速从而导致了纵向负加速度的绝对值增加.在开启 ADAS 后,驾驶人会变得更为谨慎从而导致了平均纵向正加速的显著减小.对于熟练驾驶人,虽然试验组和对照组纵向正加速度

有显著的统计学差异,但均值变化要比非熟练驾驶人小得多,这与统计结论“是否使用 ADAS 和驾驶经验之间在纵向正加速度上存在显著的交互效应”一致.

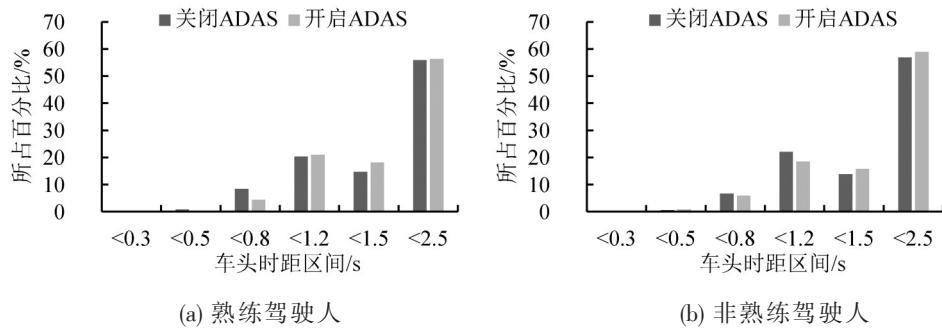


图5 跟车场景的车头时距分布百分比

Fig. 5 Distribution of THW in percent of journey in the following vehicle scenario

车道偏移量方面,对照组熟练驾驶人和非熟练驾驶人分别为 0.368 m 和 0.363 m,没有显著的统计学差异.开启 ADAS 后,熟练驾驶人车道偏移量均值下降到 0.353 m,非熟练驾驶人下降到 0.300 m,结论表明 ADAS 可显著降低跟车平均车道偏移量.统计结果表明,是否使用 ADAS 和驾驶经验在平均车道偏移量上有显著的交互效应,结合描述性统计结果,可以发现 ADAS 对非熟练驾驶人在车道保持方面的有效性比熟练驾驶人更为显著.

总之,在跟车场景中,不论是熟练驾驶人还是非熟练驾驶人,ADAS 均会影响驾驶行为使其更早且更加频繁地调整跟车车速并且提高其车道保持能力以保证跟车安全.具体表现为平均车头时距增加、纵向负加速度的绝对值增加、纵向正加速度减小和车道偏移量减小,上述结论均存在统计学差异.分析结论表明 ADAS 在跟车场景对非熟练驾驶人的有效性比对熟练驾驶人高.

3.2 ADAS 在制动场景的有效性

ADAS 对非熟练驾驶人的制动时刻车头时距有显著的影响,但是对熟练驾驶人影响并不显著,这就导致了试验组和对照组的制动时刻车头时距之间没有显著的统计学差异.但是否使用 ADAS 和驾驶经验之间具有显著的交互效应,这表明 ADAS 对非熟练驾驶人的制动时刻车头时距均值影响比熟练驾驶人更大.

如图 6 所示,ADAS 对制动时刻车头时距小于 0.8 s 的百分比有显著影响,对于熟练驾驶人来说,对照组车头时距小于 0.8 s 的百分比为 16.9%,而对照组的这个量为 12.6%,减少了 4.3%;对于非熟练驾驶人来说,对照组车头时距小于 0.8 s 的百分比为 20.4%,而对照组为 15.8%,减少了 4.6%.这表明 ADAS 能够使驾驶人在较大车头时距时就进行制动操作,减小了追尾风险.

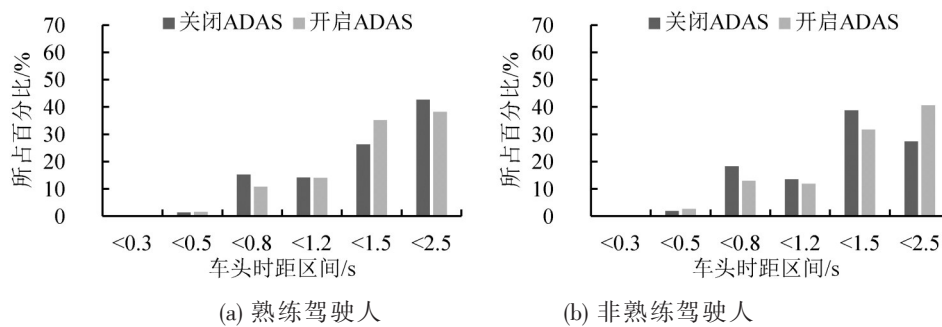


图6 制动时刻车头时距百分比分布

Fig. 6 Distribution of THW in percent of journey in the braking scenario

总的来说,ADAS可以改善驾驶人的制动行为并且可以弥补非熟练驾驶人在驾驶感知上的不足(修正到和熟练驾驶人差不多的水平),这表明ADAS对于非熟练驾驶人的有效性要高于熟练驾驶人。值得注意的是,对照组中熟练驾驶人的制动时刻车头时距均值为1.542 s,而试验组为1.509 s,仅仅下降了0.033 s;对比图6,可以发现车头时距小于1.5 s的比例显著增加。这表明熟练驾驶人可能对ADAS系统产生了依赖性,也就是说熟练驾驶人可能倾向于在ADAS报警后或者接近报警时刻才进行制动操作,这说明ADAS在制动场景对熟练驾驶人有效性很低,甚至产生了副作用。此结论与Brookhuis等^[6]的研究结论相似。

3.3 驾驶人对ADAS的接受程度

使用技术接受模型TAM^[15]分析熟练驾驶人和非熟练驾驶人对FCW和LDW两个典型ADAS系

统的接受程度。它通过感知有用性(U)和感知易用性(EOU)量化了计算机相关技术的接受行为(A)。

$$A = U + EOU \quad (1)$$

通过被试填写问卷中的“安全(S_{safe})”和“满意($S_{desirable}$)”值量化感知有用性(U)。

$$U = (S_{safe} + S_{desirable})/4 \quad (2)$$

通过被试填写问卷中的“愉悦($S_{pleasant}$)”和“舒适($S_{comfort}$)”值量化感知易用性(EOU)。

$$EOU = (S_{pleasant} + S_{comfort})/4 \quad (3)$$

图7(a)显示,熟练驾驶人对FCW系统的接受程度高于非熟练驾驶人,熟练驾驶人对FCW的接受分数全部在5分以上(满分7分),而非熟练驾驶人高于5分的仅有74%。驾驶人对LDW系统的接受程度分析如图7(b)所示,熟练驾驶人对LDW的接受程度分数在5分以上的占92%,而非熟练驾驶人5分以上仅占87.5%。

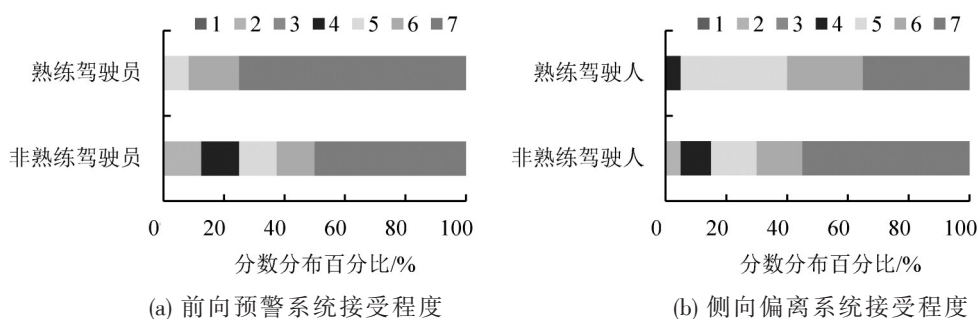


图7 驾驶人对ADAS的接受程度

Fig. 7 Driver acceptance of ADAS

Stevens^[16]使用Near-crash发生次数作为ADAS有效性指标,分析了ADAS对不同年龄组驾驶人的有效性和接受程度,结论显示ADAS有效性和接受程度呈负相关,也就是说,接受程度越高ADAS的有效性反而越低。与已有的研究类似,本文已经分析了ADAS对驾驶人跟车行为和制动行为的影响,从客观指标上来看,ADAS对非熟练驾驶人的有效性要高于熟练驾驶人;但从主观问卷分析结果来看,非熟练驾驶人对ADAS的接受程度低于熟练驾驶人。一种可能的解释是现有的ADAS报警模式会增加非熟练驾驶人的工作负荷,使其开车更为紧张,虽然可以提高行车安全性,但降低了驾驶舒适性。

4 结论

利用现场运行测试数据分析了ADAS对中国不同经验驾驶人的有效性和接受程度,其中ADAS的有效性具体从跟车场景和制动场景两方面进行分析。

(1) 在跟车场景中,ADAS对熟练驾驶人和非熟练驾驶人均有积极影响,且对非熟练驾驶人影响更为显著。

(2) 在制动场景中,ADAS可有效提高非熟练驾驶人的制动车头时距;但对于熟练驾驶人来说,ADAS降低了制动时刻的车头时距,反而增加了风险。

(3) 驾驶人对ADAS的接受程度分析结果显示,非熟练驾驶人对ADAS的接受程度显著低于

熟练驾驶人。

如何降低 ADAS 对驾驶人的干扰,设计针对驾驶人特征的自适应报警模式将会是未来的一个研究方向。

参考文献:

- [1] Ministry of Public Security, Traffic Management Bureau. Ministry of public security traffic management bureau. White paper on road traffic accidents in China 2015[R]. Beijing: MPS, 2016.
- [2] KNIPLING R R, WANG J S, YIN H M. Rear-end crashes: Problem size assessment and statistical description[R]. Washington DC: U.S. Department of Transportation, 1993.
- [3] SAITO Y, ITOH M, INAGAKI T. Driver assistance system with a dual control scheme: effectiveness of identifying driver drowsiness and preventing lane departure accidents[J]. IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 2016, 46(5): 1-12.
- [4] INAGAKI T. Smart collaborations between humans and machines with mutual understanding[J]. Annual Reviews in Control, 2008, 32(2): 253-261.
- [5] ADELL E, VÁRHELYI A, FONTANA M D. The effects of a driver assistance system for safe speed and safe distance: A real-life field study[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2011, 19(1): 145-155.
- [6] BROOKHUIS K A, WAARD D D, JANSSEN W H. Behavioral impacts of advanced driver assistance systems—An overview [J]. European Journal of Transport and Infrastructure Research 2001, 1(3): 245-253.
- [7] LI G, LI S E, CHENG B. Field operational test of advanced driver assistance systems in typical Chinese road conditions: the influence of driver gender, age and aggression[J]. International Journal of Automotive Technology, 2015, 16(5): 739-750.
- [8] SON J, PARK M, PARK B B. The effect of age, gender and roadway environment on the acceptance and effectiveness of advanced driver assistance systems[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior, 2015(31): 12-24.
- [9] BIRRELL S A, FOWKES M, JENNINGS P A. Effect of using an in-vehicle smart driving aid on real-world driver performance[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 15(4): 1801-1810.
- [10] ENGSTRÖME I, GREGERSEN N P, HERNETKOSKI K, et al. Jeunes conducteurs novices, éducation and formation du conducteur[R]. Turku: Etude Bibliographique, Rapport VTI 491A, Université de Turku, 2003.
- [11] UNDERWOOD G, CHAPMAN P, BROCKLEHURST N, et al. Visual attention while driving: sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers[J]. Ergonomics, 2003, 46(6): 629-646.
- [12] DI STASI L L, ÁLVAREZ-VALBUENA V, CAÑAS J J, et al. Risk behavior and mental workload: Multimodal assessment techniques applied to motorbike riding simulation[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior, 2009, 12(5): 361-370.
- [13] 郭应时, 马勇, 付锐, 等. 汽车驾驶人驾驶经验对注视行为特性的影响[J]. 交通运输工程学报, 2012, 12(5): 91-99. [GUO Y S, MA Y, FU R, et al. Influence of driving experience on gazing behavior characteristic for car driver[J]. Journal of Traffic & Transportation Engineering, 2012, 12(5): 91-99.]
- [14] 邓毅萍, 常宇, 高岩. 不同驾龄驾驶人交通事故特征分析[J]. 交通信息与安全, 2014, 32(5): 198-202. [DENG Y P, CHANG Y, GAO Y. Analyzing traffic accident characteristics for drivers of different driving experiences[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2014, 32(5): 198-202.]
- [15] DAVIS F D, BAGOZZI R P, WARSHAW P R. User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models[J]. Management Science, 1989, 35(8): 982-1003.
- [16] STEVENS S. The relationship between driver acceptance and system effectiveness in car-based collision warning systems: evidence of an overreliance effect in older drivers[J]. SAE International Journal of Passenger Cars—Electronic and Electrical Systems, 2012, 5(1): 114-124.