

基于Logistic模型的驾驶人换道意图识别方法

彭金栓¹, 付锐², 邵毅明¹, 徐磊¹

1. 重庆交通大学山地城市交通系统与安全重庆市重点实验室, 重庆 400074
2. 长安大学汽车运输安全保障技术交通行业重点实验室, 西安 710064

摘要 为有效降低车道变换行为诱发事故的风险性, 提出一种基于Logistic模型的驾驶人换道意图识别方法。利用faceLAB视觉追踪系统, 通过真实环境下的实车测试, 结合换道前驾驶人对后视镜的注视特性确定换道意图时窗, 分析车道保持与换道意图阶段的注视特性差异, 提取扫视次数、扫视幅度、水平方向视觉搜索广度、头部水平转动角度标准差等驾驶人换道意图特征指标, 构建了Logistic模型, 并经效度检验后应用于对驾驶人换道意图的识别。结果显示, 基于Logistic模型的驾驶人换道意图识别方法的识别成功率达到90.24%, 与基于转向灯信号的驾驶人换道意图识别方法相比, 具有明显的时序及成功率方面的优势。

关键词 车道变换; 意图识别; Logistic模型

中图分类号 U471.15

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.14.011

Lane Changing Intent Identification Based on Logistic Regression Model

PENG Jinshuan¹, FU Rui², SHAO Yiming¹, XU Lei¹

1. Chongqing Key Lab of Traffic System & Safety in Mountain Cities, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China
2. Key Laboratory of Automotive Transportation Safety Technology, Ministry of Transport; Chang'an University, Xi'an 710064, China

Abstract To reduce the risk of lane changes, a method for lane changing intent identification is proposed based on the logistic model. By using faceLAB visual tracking system, experiments were conducted under real road environment for the purpose of studying drivers' lane changing intent identification. On the basis of the drivers' fixation characteristics of the rearview mirrors before lane changing operation, the size of the time window for lane changing behavior is determined. Based on difference analysis of visual characteristics between lane keeping and lane changing intent stages, saccade numbers, visual search width in the horizontal direction, saccade amplitude, and standard deviation of head rotation angles in the horizontal direction are selected as the characteristic indice to identify drivers' lane changing intent. The logistic model is constructed based on the leaning samples' characteristics. The model is applied to the lane changing intent identification process after the validity test. The results show that the identification rate reached 90.24%. Compared with the lane changing intent identification based on turn signals, the logistic model has significant advantages in terms of time series and identification rate.

Keywords lane change; intent identification; Logistic model

车道变换是驾驶过程中经常发生的复杂驾驶行为, 受车辆技术状况、道路环境、驾驶人判断决策能力等因素的制约, 其过程具有复杂性、不确定性等特征属性。一旦以上要素耦

合失调, 极易触发追尾、擦挂及失控事故, 造成人员伤亡与财产损失^[1]。据统计, 车道变换导致的交通事故数量占总事故数的4%^[2]。尽管车道变换引发的人员伤亡在事故总数比例

收稿日期: 2014-01-13; 修回日期: 2014-03-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(51178053); 重庆市科委基础与前沿研究计划项目(cstc2013jcyjA30015); 重庆市教委科研项目(KJ130425)

作者简介: 彭金栓, 博士, 研究方向为车辆主动安全技术, 电子邮箱: pengjinshuan@163.com

引用格式: 彭金栓, 付锐, 邵毅明, 等. 基于Logistic模型的驾驶人换道意图识别方法[J]. 科技导报, 2014, 32(14): 69-73.

中并不大,但车道变换事故所引发的交通堵塞时间占到全部碰撞事故类型导致的交通延迟的10%,而因驾驶人判断决策失误引起的交通事故占换道相关事故总量的75%^[3]。国内外学者对驾驶人换道前的注视特性进行了大量研究。Salvucci等^[4]进行换道行为的仿真实验,结果显示驾驶人没有换道意图时,驾驶人对当前车道的关注程度约为目标车道的2倍,而当驾驶人有明显的换道意图后,对目标车道的关注程度会显著增加。彭金栓等^[5]基于二人有限零和灰色博弈模型,研究了换道车辆与目标车道后方车辆在换道过程中的博弈行为特性。Lethaus等^[6]则认为从时间序列角度讲,换道前驾驶人对后视镜的关注要显著早于对转向灯的关注。本文根据驾驶人换道前表现出的视觉行为特征确定换道意图特征指标,研究基于Logistic回归模型的驾驶人换道意图识别方法,以为未来换道辅助系统的构建提供技术支持。

1 换道意图特征指标提取

1.1 试验方法

1.1.1 样本选择

依托于道路交通安全行动计划示范工程,课题组在浙江省湖州市组织招募了51名职业驾驶人,并经过体检,确认视觉、听觉方面无障碍,且裸眼视力1.3以上,驾龄5年以上。经试验后期对视觉数据的比对,筛选出16名试验数据未出现失真现象的驾驶人作为被测试驾驶人。被测试驾驶人的基本信息如表1所示。

表1 被测试驾驶人的基本信息

Table 1 General information of the subjects

| 驾驶人编号 | 性别 | 年龄 | 驾龄/a | 驾驶里程/10 ⁴ km |
|-------|----|----|------|-------------------------|
| 001 | 男 | 41 | 23 | >100 |
| 002 | 男 | 41 | 20 | 45 |
| 003 | 男 | 50 | 24 | >100 |
| 004 | 男 | 46 | 16 | 80 |
| 005 | 男 | 36 | 18 | >100 |
| 006 | 男 | 45 | 20 | 50 |
| 007 | 男 | 39 | 13 | 20 |
| 008 | 男 | 42 | 17 | 80 |
| 009 | 男 | 48 | 30 | >100 |
| 010 | 男 | 39 | 18 | 40 |
| 011 | 男 | 38 | 15 | 50 |
| 012 | 男 | 46 | 26 | >100 |
| 013 | 男 | 46 | 27 | >100 |
| 014 | 男 | 28 | 2 | 0.5 |
| 015 | 女 | 41 | 4 | 1.5 |
| 016 | 男 | 32 | 2 | 1.5 |

1.1.2 试验道路

试验路线为G25长深高速长兴至湖州南区段,长约为25 km。双向四车道,中间绿化带分隔,限速110 km/h。试验前对该路段一天24 h的断面交通量进行了持续1周的观测,经对比监测数据后选择试验时间,尽量减弱交通量变化对试验数据的影响。

1.1.3 试验仪器

试验仪器为faceLAB 5非接触式多功能视觉追踪仪。该设备可以有效避免头戴式眼动仪给被测试驾驶人带来的紧张与不舒适感,从而保证高速环境下试验的安全性。相比其他眼动仪,faceLAB 5视觉追踪仪的另一个显著优势是,除了测量驾驶人的注视及扫视行为参数,还可以监控驾驶人头部运动信息,附加其他相关模块后,还可以用于识别驾驶人的疲劳驾驶状态等。图1为faceLAB 5视觉追踪仪的具体安装位置。



图1 faceLAB 5视觉追踪仪安装位置

Fig. 1 Installation site of faceLAB 5

1.2 换道意图时窗

国内外研究表明,驾驶人在换道前会体现特有的视觉搜索规律,且这一规律仅在某个特定时窗内体现。Lee等^[7]认为与车道保持行为相比,换道前3 s内驾驶人对后视镜等典型目标的搜索特性会呈现出特有的规律。郭应时等^[8]通过观察带有注视点的试验视频录像认为,驾驶人的换道决策时窗约为6 s,但这一结论存在较为浓重的主观成分。本文提出以换道前驾驶人对后视镜的注视特性确定换道意图时窗。假定车道变换前10 s内驾驶人对后视镜区域(包括左后视镜、右后视镜、内后视镜等)的注视次数为自然数 N ,将其中第一次关注后视镜的时刻距离换道起始时刻的时间差确定为该换道样本的换道意图时窗。统计16名被测试者所有换道样本的换道意图时窗分布规律,如图2所示。除了5号驾驶人,其他驾驶人换道意图时窗的75分位数均落在5 s时间的虚线以下,因此将5 s时间确定为最终的换道意图时窗。

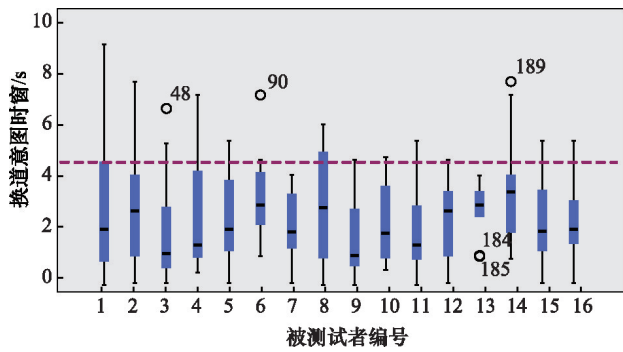


图2 不同被测试者换道意图时窗总体分布
Fig. 2 Lane changing intent time window for different subjects

为确定驾驶人换道意图特征指标,确定换道意图时窗后,需要对比时窗内车道保持样本与换道意图样本的特征差异。车道保持样本与换道意图样本均采用试验完成后的离线筛选,其中车道保持样本为跟车、自由行驶等驾驶人没有明显换道意图时,截取5 s时窗宽度后得到,而换道意图样本则为从换道起始时刻起向前截取5 s。按照以上方法,最终从所有被测试者的试验中筛选车道保持样本401次,换道意图样本406次,其中各200次作为学习样本,其余作为待识别样本。

1.3 换道意图特征指标

1.3.1 扫视次数

一般认为,当人的注视点从一个目标转移至另外一个目标时,需要通过扫视行为来完成这一过程。比较5 s时窗内车道保持与换道意图阶段扫视次数的分布规律,如图3所示。总体而言,换道意图阶段驾驶人的扫视次数显著多于车道保持阶段,主要原因是换道意图阶段驾驶人的关注目标增多,注视转移过程增加,导致扫视次数显著高于车道保持阶段。

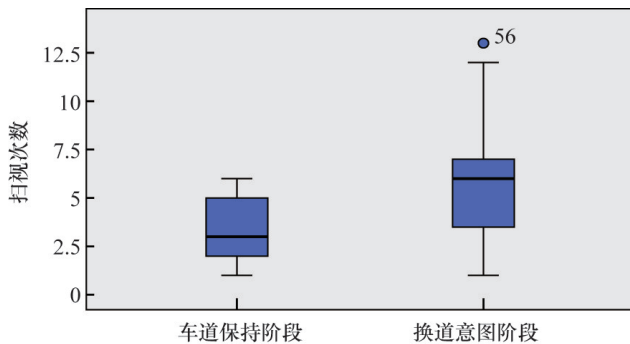


图3 不同行驶阶段扫视次数比较
Fig. 3 Comparison of the saccade numbers in different driving stages

1.3.2 水平方向视觉搜索广度

图4中, E 为驾驶人眼球所处位置, EF 为视线,则 α 为水平视角, β 为垂直视角。Underwood等^[9]提出以水平视角标准差来评价驾驶人水平方向视觉搜索广度,它反映了驾驶人对水平方向注视目标关注的宽泛程度,其值越大,表明驾驶人驾驶时从外界环境获取的信息量越大。统计车道保持阶段与换道意图阶段水平方向搜索广度的总体分布,如图5所示。换道意图阶段水平方向搜索广度四分位数均高于车道保持阶段,经独立样本 t 检验, $p < 0.05$,通过显著性差异检验。进一步统计得到车道保持阶段的水平搜索广度为 4.6° ,换道意图阶段则达到 12.6° ,表明车道保持阶段驾驶人主要集中于中间区域,而为了获取更大的信息量,换道意图阶段驾驶人会扩大水平方向的搜索范围。

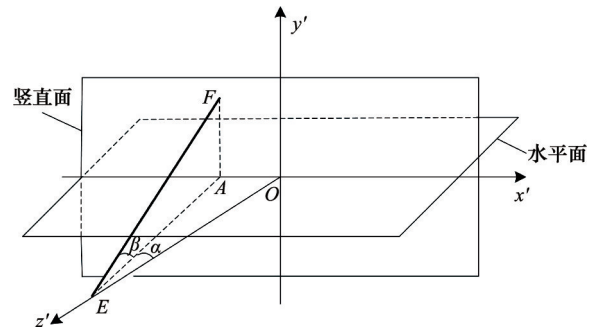


图4 注视角度
Fig. 4 Fixation angle

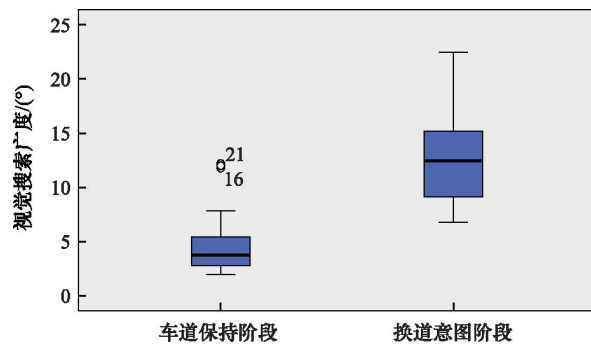


图5 水平方向视觉搜索广度
Fig. 5 Visual search width in the horizontal direction

1.3.3 扫视幅度

定义相邻两注视点间的夹角为扫视幅度,如图6所示。通常情况下,扫视幅度越大,表明相邻两注视点间距离越远。假定在5 s的换道意图时窗内有若干次扫视过程,则将该时窗内扫视幅度的平均值定义为平均扫视幅度。图7给出车道保持阶段与换道意图阶段的平均扫视幅度差异,发现车道保持阶段的平均扫视幅度显著低于换道意图阶段,进一步均值处理后,车道保持阶段约为 12.5° ,换道意图阶段则达到 25.6° ,表明换道意图阶段存在较多幅度较大的扫视路径,如

前方视野至后视镜区域,借助扫视过程在换道前对安全性进行确认。

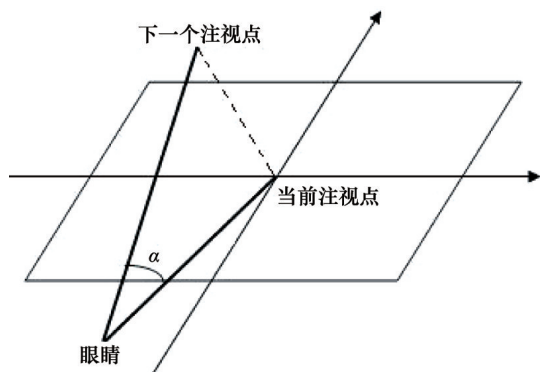


图6 扫视幅度

Fig. 6 Saccade amplitude

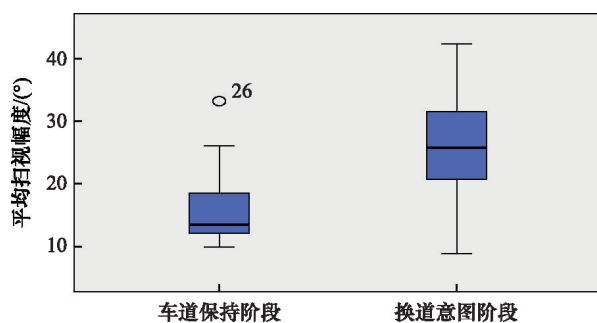


图7 扫视幅度比较

Fig. 7 Comparison of saccade amplitude

1.3.4 头部水平转动角度标准差

faceLAB除了可以监测驾驶人眼睛运动状态外,还可以追踪到其头部运动信息。在换道意图时窗内驾驶人头部水平方向转动角度标准差统计结果如图8所示,可以看出,换道前各四分位数明显高于车道保持阶段。进一步统计不同阶段头部水平转动角度标准差的均值,车道保持阶段约为1.5°,而换道意图阶段则达到8.8°,表明换道前驾驶人需要以头部运动补偿眼睛运动,以完成幅度较大扫视路径的转移过程。

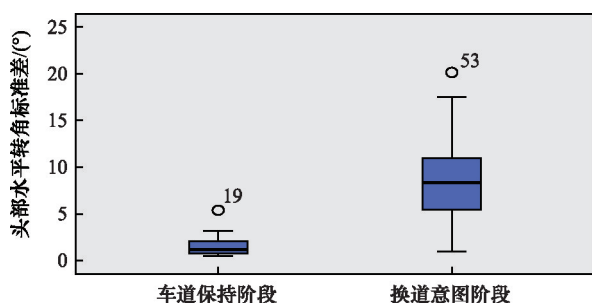


图8 头部水平转动角度标准差比较

Fig. 8 Comparison of standard deviation of head rotation angles in the horizontal direction

2 模型构建及识别结果

与传统的回归分析方法不同,Logistic模型更适合解决因变量为离散状态的回归案例,其对自变量的分布特征限定条件较少,可借助非线性变换将自变量的线性组合转换为因变量取值的概率值^[10]。对于换道意图识别而言,识别结果只有两类,即换道意图($Y=1$)与车道保持($Y=0$),因此适用于二元Logistic模型,其定义为

$$\ln \frac{p}{1-p} = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n \quad (1)$$

$$p = \frac{e^Z}{1+e^Z} = \frac{1}{1+e^{-Z}} \quad (2)$$

式中, p 为事件发生的概率; x_1, x_2, \dots, x_n 为相关自变量; b_0 为常数, b_1, b_2, \dots, b_n 为与自变量相对应的回归系数; $Z = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n$ 。当满足 $p \geq 0.5$,判定识别结果为驾驶人有显著的换道意图($Y=1$);若 $p < 0.5$,则判定识别结果为车道保持($Y=0$)。

根据上述时窗内驾驶人换道意图特征指标的分析,确定换道意图识别的遴选指标为扫视次数 x_1 、水平方向视觉搜索广度 x_2 、扫视幅度 x_3 、头部水平转动角度标准差 x_4 等相关参数。识别的思路是首先基于学习样本确定Logistic模型中的回归系数,再基于构建的Logistic模型对待识别样本进行离线的换道意图识别。对于任一学习样本,可基于统计分析获得其某个识别指标的确定值,结合其样本属性,在SPSS统计分析软件中,基于200个车道保持样本和200个换道意图样本构建的二元Logistic回归模型为

$$p = \frac{1}{1 + \exp[-(-17.88 + 1.547x_1 - 0.223x_2 + 0.239x_3 + 2.228x_4)]} \quad (3)$$

Logistic模型建立后,需要对其效度进行检验(Cox & Snell RCS^2 , Nagelkerke RN^2)。效度值 RCS^2 和 RN^2 越接近1,Logistic模型的拟合效果越好。式(3)的拟合效度检验结果为 $RCS^2 = 0.783$, $RN^2 = 0.923$, RCS^2 与 RN^2 均大于0.75,且 RN^2 达到了0.923,表明所构建的Logistic模型具有较好的拟合优度。

模型通过检验后,即可基于此模型对驾驶人的换道意图进行识别。对于待识别的车道保持与换道意图样本,假定其属性未知,将其顺序打乱放入虚拟的“灰箱”。对于灰箱中的任一待识别样本,确定样本时窗内各特征指标的参数值,代入构建的Logistic模型,对样本属性进行判定,并与其真实属性进行比较,验证模型对换道意图识别的分类效能。模型的最终分类效能如表2所示。将准确识别的换道意图样本定义为真阳性(TP),将准确识别的车道保持样本定义为真阴性(TN),由表2可知,换道意图样本的识别成功率为91.75%,而车道保持样本的识别成功率为89.05%,模型总体的识别成功率达到90.42%,表明所构建的Logistic模型对驾驶人的换道意图有较好的识别度。

目前市场上存在的换道辅助系统主要以驾驶人对转向灯的操作状态作为预警信号的触发依据。该研究基于实车

试验测试得到的换道时驾驶人对转向灯的操纵情况如图9所示。图9中横轴原点为换道起始时刻,负值表示换道前,正值表示换道后,例如“-3”表示换道前3 s时刻。截止至换道起始时刻,转向灯开启率仅为48.6%,至换道开始后5 s时刻,转向灯累计开启率仅为76%,说明基于转向灯信号识别驾驶人换道意图并不可靠。

表2 模型分类效能

Table 2 Classification efficiency of the model

| 待识别样本 | 识别结果 | | 成功率 |
|-------|---------|---------|--------|
| | 换道意图样本 | 车道保持样本 | |
| 换道意图 | 真阳性(TP) | 假阴性(FN) | 91.75% |
| 206 | 189 | 17 | |
| 车道保持 | 假阳性(FP) | 真阴性(TN) | 89.05% |
| 201 | 22 | 179 | |
| 合计 | 检测阳性数 | 检测阴性数 | 90.42% |
| 407 | 211 | 196 | |

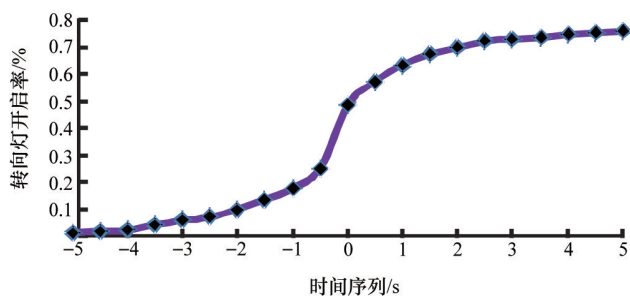


图9 时轴上转向灯开启率变化趋势

Fig. 9 Turn light usage rate along the time axis

与其他换道意图识别方法相比,本文基于Logistic模型的驾驶人换道意图识别方法,不仅可以避免因过度依赖驾驶人操纵特性识别驾驶人操作意图带来的不确定性^[11],而且考虑了时轴上换道意图识别的时序性^[12],实用性更强。本文方法的识别成功率达到90.42%,如果将研究成果应用于换道辅助系统的开发过程,将显著提高系统的工作效能及可靠性,保证车道变换的安全性。

3 结论

根据真实道路环境下的行车试验结果,以驾驶人的视觉特性为切入点,确定换道意图时窗,提取驾驶人换道意图特征指标,构建二元Logistic模型,对驾驶人的换道意图进行识别。确定的换道意图时窗是在给定被测试驾驶人的前提下获得的,若被测试驾驶人发生变更,则换道意图时窗可能改变。提取的换道意图特征指标涵盖了眼动信息和头部运动

状态参数,具有较高的可信度。构建的Logistic模型对驾驶人换道意图识别的成功率达到90.42%,与基于转向灯信号识别驾驶人换道意图相比,具有明显的时序及成功率方面的优势。

本文对驾驶人换道意图的识别是基于离线分析,下一步将致力于在线分析的换道意图识别理论与方法的研究。

参考文献(References)

- [1] 霍克. 城市道路驾驶员车道变换行为及注视转移特性研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
Huo Ke. Study on drivers' lane change behavior and law of eye movement in urban environment[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [2] Wang J S, Knippling R R. Lane change/merge: Problem size assessment and statistical description[R]. Virginia: National Highway Traffic Safety Administration, 2011.
- [3] Jula H, Kosmatopoulos E B. Collision avoidance analysis for lane changing and merging[J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2010, 49(6): 2295-2308.
- [4] Salvucci D D, Liu A. The time course of a lane change: driver control and eye-movement behavior[J]. Transportation Research Part F, 2002, 5(2): 123-132.
- [5] 彭金栓, 付锐, 郭应时, 等. 基于有限零和灰色博弈的车道变换决策分析[J]. 科技导报, 2011, 29(3): 52-56.
Peng Jinshuan, Fu Rui, Guo Yingshi, et al. Analysis of lane change decision making based on the finite and zero-sum grey game theory[J]. Science & Technology Review, 2011, 29(3): 52-56.
- [6] Lethaus F, Rataj J. Do eye movements reflect driving maneuvers?[J]. IET Intelligent Transport Systems, 2007(3): 199-204.
- [7] Lee S E, Olsen E C B, Wierwille W W. A Comprehensive Examination of Naturalistic Lane-Changes[R]. Virginia: Virginia Tech Transportation Institute, 2004.
- [8] 郭应时. 交通环境及驾驶经验对驾驶员眼动和工作负荷影响的研究[D]. 西安: 长安大学, 2009.
Guo Yingshi. The effect of traffic environment and driving experience on drivers' eye movement and workload[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- [9] Underwood G, Chapman P, Bowden K, et al. Visual search while driving: Skill and awareness during inspection of the scene[J]. Transportation Research Part F, 2002, 5(2): 87-97.
- [10] Pearce J, Ferrier S. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression[J]. Ecological Modelling, 2000, 133(3): 225-245.
- [11] 张良力. 面向安全预警的机动车驾驶意图识别方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.
Zhang Liangli. Research on motorists' intention recognition for traffic safety precaution[D]. Wuhan: Wuhan University of technology, 2011.
- [12] 侯海晶. 高速公路驾驶人换道意图识别方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
Hou haijing. Research on lane-changing intention recognition method for freeway drive[D]. Changchun: Jilin University, 2013.

(责任编辑 韩星明)