

文章编号:1672-9331(2019)01-0028-08

考虑驾驶风格的车辆换道行为及预测模型

刘思源¹, 喻伟¹, 刘洁莹¹, 尹小梅², 吴义虎¹

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114; 2.湖南都市职业学院, 湖南 长沙 410137)

摘要: 车辆换道过程对交通安全和交通拥堵有重要影响,为了获得不同驾驶人的换道行为特性,考虑了车辆换道过程中驾驶人的因素,利用 SPSS 对问卷调查的结果进行主成分分析,采用 K-均值聚类方法对驾驶风格进行量化,将驾驶人分为激进型和保守型两种类型,再利用时间对数模型提出了驾驶风格值变量。对两组类型驾驶人进行换道试验,获得了不同风格驾驶人换道时间和换道纵向距离等换道特性的试验数据,并建立了考虑驾驶风格的车辆换道时间预测模型;基于预测的换道时间以及换道车辆转向角与驾驶风格值变量、速度之间的关系,结合车辆运动学模型,建立了车辆换道纵向距离预测模型,并将预测结果与实际换道数据进行了对比分析,结果表明,本研究提出的预测模型准确率较高。研究结果表明,激进型驾驶人在换道过程中其行为较为激进,换道时间较短,换道距离较短;所建立的预测模型可以较准确地预测和解释驾驶人的换道行为。
关键词: 驾驶风格;主成分分析;K-均值聚类方法;换道时间;换道纵向距离;预测模型

中图分类号: U491.2⁺54

文献标识码: A

Characteristics analysis and prediction model of lane changing behavior under different driving styles

LIU Si-yuan¹, YU Wei¹, LIU Jie-ying¹, YIN Xiao-mei², WU Yi-hu¹

(1.School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China; 2.Hunan Urban Professional College, Changsha 410137, China)

Abstract: The lane-changing process exerts a significant impact on traffic safety and urban congestion issues. Drivers' different driving styles were considered in lane-changing characteristics analysis. Results of the questionnaires were first examined by SPSS, quantifying different driving styles via principal component analysis (PCA). Drivers were then categorized into two types: aggressive type and conservative type, using K-means clustering method. Vehicle trajectory data were collected separately for each driver type (aggressive and conservative), and fitted by polynomial models with high goodness of fit. Further, prediction models for lane-changing process were also furnished in both temporal and spatial fashion. A time-logarithmic model considering driving style factor was developed to predict lane-changing time, as well as a longitudinal distance prediction model. Results manifest high accuracy of the prediction models developed in this paper compared with the experimental data.

Key words: driving style; principal component analysis; K-means clustering method; lane-changing time; longitudinal distance; prediction model

收稿日期:2018-03-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51278066)

通讯作者:喻伟(1984—),男,湖南宁乡人,长沙理工大学博士研究生,主要从事交通运输方面的研究。E-mail: 820276413@qq.com

驾驶风格是指驾驶人在驾驶过程中根据环境选择习惯性的驾驶方式。它需要经过一段时间的驾驶实践累积而形成,如果以前的驾驶行为具有良好的效果,驾驶人就会继续保留这些驾驶行为。在以后的驾驶过程中,如果没有出现重大事故或造成一定的消极影响,驾驶人不会改变驾驶风格,并逐渐稳定^[1]。

通过对驾驶风格的研究可以整体预测和解释驾驶人驾驶行为。1993年,Elander等首次提出了驾驶风格的概念,指出导致交通事故的人为因素主要包括驾驶技能和驾驶风格。Ishibashi等^[2,3]指出,驾驶风格是指驾驶人在日常驾驶中表现出的一种习惯性风格。国内学者孙龙等研究了驾驶经验对驾驶风格与交通违规之间的关系。由于驾驶风格的研究相对于其他驾驶人因素的研究起步较晚,目前还未将驾驶风格与驾驶人换道轨迹特性相结合。

在换道轨迹方面,Ren等人^[4]提出了基于整体性加速度的换道轨迹规划方法,并假设加速度满足正反梯形曲线。国内学者王崇伦等^[5]利用滑模变结构控制方法以及改进的指数趋近律,设计了轨迹跟踪控制律。张颖达等^[6]选用NGSIM轨迹数据进行分析,对换道时间及其影响因素进行了分析,建立了多项式模型,拟合度达0.99。尽管针对换道过程的研究越来越多,然而考虑驾驶人驾驶风格的换道行为的文献仍有限。事实上,不当的换道行为会形成及传播时走时停局部交通震荡,从而产生延误;且不当的换道行为所造成的交通事故,也是道路交通安全所面临的一个严重问题。相比跟驰行为,驾驶人在换道行为的操作难度和心理压力都显著上升,更容易导致事故。研究不同驾驶风格的换道行为,对一些激进型驾驶人不良换道行为的防范具有重要意义,对交通控制以及交通管理也有一定的指导意义。

作者将驾驶风格分为保守型和激进型两种类型。保守型驾驶风格指驾驶人通常较少超车和超速并且会保持较大的车距,且对其他车辆的驾驶行为可以理解和协调;激进型驾驶风格指驾驶人高估其驾驶能力,总是以自我为中心,倾向于超速和超车,且容易被激怒、产生敌对的态度。在特定换道环境下,考虑不同驾驶风格驾驶人的个性,并引入驾驶风格的量化评分,对车辆换道时间和纵向

距离进行预测,有助于理清由换道行为引发事故的机理,为不同路段车辆换道控制提供理论依据。

1 基于主成分分析的驾驶风格量化

驾驶人是一个思维活跃且神经敏感的客体,驾驶风格差异是普遍存在的现象,将驾驶风格量化并划分是非常艰难的。通过对问卷调查结果的主成分分析,对驾驶风格进行分类,可以较好地反映驾驶人在实际换道过程中的特性。对问卷调查的结果进行统计学分析并从结果中选择描述驾驶风格的主要因素,这些因素可以在一定程度上准确地描述驾驶人的特征。设计问卷后,对选项进行打分,通常根据Likert累加定序量表,制定特定的数值来表示某种行为的发生频率,从0~5的6级来描述:“0”表示驾驶人驾驶行为“从来没有”;“1”表示此驾驶行为“偶尔发生”;“2”表示此驾驶行为“有时发生”;“3”表示此驾驶行为表示“时常发生”;“4”表示此驾驶行为“频繁发生”;“5”表示此驾驶行为“总是发生”。基于这一量表方法,从而对问卷中每种行为进行定量表示。

1.1 试验对象

共选取80名非专业驾驶人作为被试驾驶人,其中54名男性和26名女性。驾驶人最长驾龄为21y,最短为1y,平均驾龄为5.85y,标准偏差为5.98。最大累计驾驶里程为18万km,最小为0.5万km,平均里程为5.82万km,标准偏差为6.36。

1.2 问卷调查

采用自述驾驶行为调查问卷DBQ(Manchesterdriver Behavior Questionnaire)的方法,对驾驶人的驾驶风格进行调查。该方法能有效地收集驾驶人的主观特性数据,在驾驶人行为调查研究中得到了广泛的应用。已有研究表明,该方法能够有效地根据驾驶风格和驾驶能力对驾驶人进行分类^[7]。在张磊和侯海晶等人^[8]研究的基础上,选取12个与驾驶风格相关的题目作为问卷调查内容(见表1)。为了检验问卷的有效性和可行性,有必要根据调查结果对问卷的信度和效度是否满足要求进行验证。信度是表示问卷结果的一致性和稳定性,本研究采用较常用的信度系数——Cronbach Alpha系数(用 α 表示)来进行评估^[9]。一般认为,当 α 值在0.6~0.7时,问卷可靠性是可以接

受的;当 α 值高于0.7时,问卷的可靠性更高。 α 值计算公式为:

$$\alpha = \frac{N}{N-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2}{\sigma_T^2} \right) \quad (1)$$

式中: N 表示问卷中的问题总数; σ_i^2 表示被调查者中第 i 个问题的得分方差; σ_T^2 表示所有被调查者的总得分方差。

本研究选取的80个样本计算得出的 α 值为0.901,故问卷的可靠性较高。

效度表示问卷的有效性和准确性,效度越高

表示问卷的结果真实度越高。采用Pearson相关系数进行效度检验,计算公式为:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

式中: r_{xy} 表示相关系数; x_i 和 \bar{x} 表示各题目的得分及平均值; y_i 和 \bar{y} 表示总得分及平均值。

通过SPSS双变量分析得出相关系数,计算结果见表1。问卷各个题项的得分与问卷总得分显著相关,说明问卷的问题内容效度良好。

表1 各驾驶人问卷调查表

Table 1 Driver questionnaire

题号	题目内容	平均值	标准差	相关系数
1	跟车行驶时离前车很近	2.10	1.61	0.874**
2	在高速公路上超速行驶	2.29	1.54	0.867**
3	按喇叭发泄对其他车辆或行人的不满	1.86	1.04	0.865**
4	尽一切可能换道或超车	2.28	1.25	0.855**
5	被某些车辆的不良驾驶行为激怒后追赶表达愤怒	2.43	1.09	0.842**
6	在道路上和其他车辆竞速斗气	2.79	1.05	0.823**
7	在车队中蛇形穿梭	2.47	1.37	0.817**
8	在城市道路上超速行驶	2.73	1.92	0.804**
9	对外车道上慢速行驶车辆不耐烦而从内车道超车	2.45	1.15	0.801**
10	在城市道路交叉口闯红灯	0.57	1.90	0.747**
11	对某些类型的驾驶人比较反感并表达不满	2.72	1.77	0.603*
12	在马上要关闭的车道上行驶直到迫不得已而换道	1.65	1.58	0.545*

注:“**”表示在0.001水平(双侧)上显著相关;“*”表示在0.05水平(双侧)上显著相关。

1.3 基于主成分分析的驾驶风格量化

对80名驾驶人的问卷调查结果利用SPSS进行主成分分析,计算其综合得分并进行驾驶风格分类。对表1中12个问题的得分进行主成分分析,得到相应的特征根 λ_i 和主成分初始因子负荷矩阵 M ,并计算各个主成分的方差贡献率和累积贡献率。基于累积贡献率达到85%的原则,选择跟车行驶离前车过近、经常超车、经常在车队中蛇形穿梭、在路口闯红灯4个作为主成分因子,其累积贡献率达到85.98%。

确定主成分数量后,按照下式可计算得出主成分得分系数矩阵 A :

$$A_{ik} = \frac{M_{ik}}{\lambda_k}; i=1,2,\dots,12; k=1,2,3,4. \quad (3)$$

式中: M_{ik} 为主成分初始因子负荷矩阵 M 的第 k 列; λ_k 为矩阵 M 的第 k 个特征根; A_{ik} 为第 i 题的主成分得分系数矩阵,各主成分中每个指标所对应的系数如表2所示。

各位试验人员的驾驶风格主成分得分 F 为:

$$F_k = azx_1 + bzx_2 + \dots + lzx_{12}; \quad k=1,2,3,4. \quad (4)$$

式中: zx_i 为 x_i 的标准化变量。

对80名驾驶人的驾驶风格主成分得分按照贡献率加权,可以得出其驾驶风格综合得分量化模型为:

$$F = 0.521\ 49F_1 + 0.137\ 81F_2 + 0.109\ 15F_3 + 0.091\ 34F_4. \quad (5)$$

将标准化后的数据代入式(5),得到不同驾驶

人的驾驶风格评价得分,其中部分被调查驾驶人的得分如表 3 所示。

表 2 各主成分系数表

Table 2 Principal component coefficient table

系数	F_1	F_2	F_3	F_4
a	0.359 370 077	0.080 865 930	-0.214 931 198	0.050 625 648
b	0.346 178 517	-0.078 533 259	-0.093 486 334	0.162 384 153
c	0.332 986 956	0.166 397 203	0.002 621 112	-0.161 428 952
d	0.301 007 417	0.032 657 395	0.208 815 270	-0.464 227 637
e	0.113 527 366	-0.083 198 601	0.705 952 878	0.460 406 834
f	0.358 170 844	-0.083 198 601	-0.110 960 415	0.013 372 813
g	0.333 786 445	-0.066 092 347	0.319 775 685	0.152 832 144
h	0.187 480 051	0.570 726 854	-0.200 951 933	-0.003 820 804
i	0.162 296 164	0.615 825 161	0.259 490 105	-0.042 028 840
j	0.235 849 105	-0.063 759 676	-0.421 999 059	0.537 778 107
k	0.267 029 156	-0.384 890 726	0.024 463 714	-0.448 944 423
l	0.329 389 258	-0.287 696 098	-0.038 442 978	0.036 297 634

表 3 部分被试驾驶人驾驶风格各主成分得分及综合得分

Table 3 The scores and composite scores of the main components of the driving style of partial drivers

编号	F_1	F_2	F_3	F_4	综合得分
1	3.113 41	2.135 78	-0.529 13	-0.683 59	1.797 86
2	6.162 72	-1.446 26	-0.410 34	0.311 13	2.997 34
3	-0.144 31	-1.388 76	-0.491 85	0.357 54	-0.287 63
4	-0.526 72	1.259 54	-1.183 12	-0.535 35	-0.279 61
5	-2.383 49	0.335 10	0.221 37	-2.652 53	-1.414 98
6	0.955 19	-1.664 19	-0.162 23	-1.016 79	0.158 12
7	-2.450 21	0.246 13	0.570 86	0.865 75	-1.102 74
8	-0.616 75	-0.942 35	-0.251 03	-0.881 02	-0.558 95
9	-0.526 64	-0.002 22	-2.040 12	1.139 76	-0.393 55
10	-2.440 63	-1.165 43	0.671 16	0.869 54	-1.280 66
11	-1.537 95	-1.061 66	1.565 65	0.145 65	-0.763 79
12	0.996 72	1.765 88	1.776 97	0.444 89	0.997 56
13	2.006 57	0.853 83	1.581 42	0.651 57	1.396 78
14	-2.607 29	1.075 70	-1.319 64	0.984 89	-1.266 58

1.4 驾驶风格分类

驾驶风格综合得分越高,说明该驾驶人的驾驶风格越激进;得分越低,说明该驾驶人驾驶风格越保守。采用 K-means 聚类方法将驾驶风格分为两类:一类是聚类中心综合得分为 1.797 3 的激进型风格,有 26 人;另一类是聚类中心综合得分为 -0.718 9 的保守型风格,有 54 人。

分类结果如表 4 所示。

表 4 驾驶人风格分类结果

Table 4 Driver style classification results

类型	成员编号
激进型	1,2,12,13,16,19,21,24,28,32,34,37,42,43,45, 49,52,54,57,58,61,63,66,67,74,76
保守型	3,4,5,6,7,8,9,10,11,14,15,17,18,20,22,23, 25,26,27,29,30,31,33,35,36,38,39,40,41,44, 46,47,48,50,51,53,55,56,59,60,62,64,65,68, 69,70,71,72,73,75,77,78,79,80

2 不同风格驾驶人换道轨迹拟合及换道行为分析

2.1 数据采集及拟合

采用行车记录仪和视频图像处理技术,对80名试验对象进行无干扰驾驶试验。试验路段在一条车辆流量较少的高速公路直道路段,长400 m,采集时间为下午14:00—15:00,采样时间间隔为0.1 s。为尽量不干扰被试驾驶人,影响试验结果,本研究在每辆车安装行车记录仪,并通过视频图像处理技术识别换道过程,得到换道过程数据信息,共采集到372次换道行为。将采集的数据经过卡尔曼滤波处理,利用高次多项式进行数据拟合,对其中一组数据进行多项式拟合试算,其轨迹拟合曲线如图1所示。

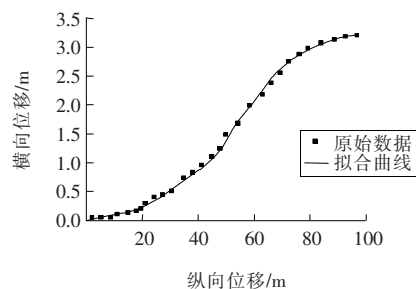


图1 轨迹拟合曲线

Fig. 1 Trajectory Fit Curve

用五次多项式对横向位移和纵向位移之间的关系进行拟合,具有简单、满足精度要求等优点。五次多项式拟合曲线函数为:

$$y = 0.0033 - 0.011x^1 - 5.42 \times 10^{-4}x^2 + 3.96 \times 10^{-5}x^3 - 5.37 \times 10^{-7}x^4 + 2.19 \times 10^{-9}x^5. \quad (6)$$

拟合系数为0.99938。共采集到换道次数372次,其中向左换道为229次。

统计结果见表5。

表5 两组驾驶人换道统计值

Table 5 Two groups of driver lane change statistics

驾驶人 类型	换道 次数	目标车道后 方有车次数	换道成 功次数	换道平均车速/ (km·h ⁻¹)	最大车速/ (km·h ⁻¹)
激进型组	158	84	103	108	120
保守型组	71	29	57	96	107

从表5可以看出,激进型组驾驶人换道次数、目标车道后方有车次数、换道成功次数、换道平均车速和最大车速等五个数值均比保守型组驾驶人大。说明保守型驾驶人在驾驶过程中因换道行为所引起的交通冲突的可能性相对较低。且不同类型驾驶人的期望车速不同,激进型驾驶人的期望速度较快,往往以换道利益为首要原则,一旦不满足现状即产生换道需求,导致换道次数会更多,换道轨迹相对不平稳,这与实际情况是相符的;而保守型驾驶人一般会综合考虑安全和换道利益。

2.2 基于实测数据的换道行为分析

车辆换道时间定义为车辆在换道过程中发生连续横向位移所花费的时间。驾驶人驾驶风格对换道时机的选择以及换道行为的产生起着决定性作用。不同风格的驾驶人面对相同的换道环境会有不同的反应和决策,这关系到换道过程车辆运行的安全性^[9],因此研究不同风格的驾驶人换道时间的差异对研究换道过程车辆运行的安全性有重要意义。

对372次换道行为进行数据采集,统计激进型与保守型驾驶人的换道持续时间、换道横向位移和换道车速,结果如表6和图2、图3所示。

表6 换道时间统计

Table 6 Statistics of lane-changing time

驾驶人 类型	最小值/ s	最大值/ s	平均值/ s	标准差
激进型	2.1	3.9	3.5	2.3
保守型	3.5	7.5	5.0	1.8

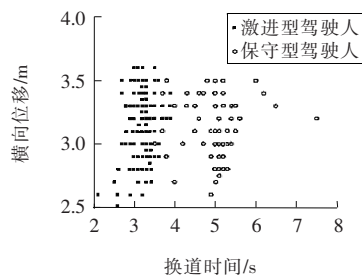


图2 不同风格驾驶人换道时间与横向位移统计图

Fig. 2 Lane change time and lateral displacement map

换道时间与驾驶人的反应时间、决策时间等

有关,复杂的车道变换环境会导致不同风格驾驶人的换道时间存在差异。根据表 6 的统计结果,激进型组驾驶人一般换道完成时间为 3.5 s 左右,而保守型组驾驶人换道完成时间为 5 s 左右。从图 2 可以看出,激进型组驾驶人换道过程在短时间内实现了较大的车辆横向位移。从图 3 可以看出,激进型组驾驶人较保守型组驾驶人的换道车速快。由此表明,不同风格的驾驶人在换道时间上存在明显的差距,激进型组驾驶人往往希望在更短的时间内完成换道,而保守型组驾驶人因考虑的因素较多,换道过程相对缓慢。

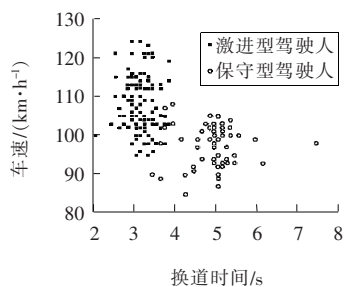


图 3 不同风格驾驶人换道时间与车速统计图

Fig. 3 Lane change time and speed map

3 不同风格驾驶人换道时间和换道距离预测模型

3.1 换道时间预测模型

根据不同风格驾驶人换道时间、换道过程车速的统计可以看出,不同风格驾驶人在速度上存在很大的差异。激进型组驾驶人具有更快的车速和更短的换道时间;相比之下,保守型组驾驶人通常具有更小的速度和更长的换道时间。

对车辆换道过程做如下合理假设:①假设本车 M 以恒定加速度和恒定角度换道至目标车道;②考虑到车辆换道过程中车辆与车道线所形成的纵向夹角 θ 较小,因此假定在车辆换道时近似忽略横向加速度对纵向速度的影响;③假设目标车道前方没有车辆,且由于本车道后车与本车 M 之间的安全性由本车道后车主导,故只考虑本车 M 与目标车道后车之间的相互影响。

驾驶人驾驶风格以驾驶风格激进程度 F 表示。 F 值越大,表明该驾驶人驾驶风格越激进;反之, F 值越小,表明该驾驶人驾驶风格越保守。实际车辆换道过程表明,换道车辆 M 与目标车道后

车 N 的初始距离 g_{Lag} 、与本车道前车 L 的初始距离 g_{Lead} 、换道初始时刻车辆距车道线的距离 x_0 和车速差 Δv_{12} 、 Δv_{13} 等指标为影响车辆换道时间的主要因素。

选取小汽车单次向左换道为研究对象来预测换道时间和换道距离。本车 M 换道时所处的换道环境如图 4 所示。

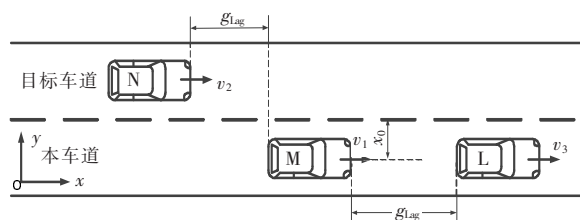


图 4 车辆 M 换道场景示意图

Fig. 4 Schematic diagram of vehicle M lane change scene

将驾驶风格激进程度变量 F 进行归一化处理得到驾驶风格值 f ,并代入换道时间预测模型中,其表达式为:

$$\ln t_n = \alpha X_n + \epsilon. \quad (7)$$

式中: t_n 为第 n 辆车的换道时间; X_n 为车辆换道显著性影响因素; α 为影响系数; ϵ 为误差项。

利用采集到的换道样本数据的 80% 即 298 次换道数据作 SPSS 回归分析,将各影响因素进行 $[0,1]$ 区间归一化处理,在 95% 置信空间下,驾驶风格值 f 、换道初始时刻车辆距车道线的距离 x_0 、换道车辆 M 的车速 v_1 、换道车与目标车道后车 N 初始距离 g_{Lag} 和车速差 Δv 为换道时间 t 的显著影响因素(如表 7 所示)。

表 7 显著性影响因素提取及参数标定汇总表

Table 7 Significant influence factor extraction and parameter calibration summary table

	显著影响因素	参数值	t 值
1	x_0/m	0.189	5.288
2	g_{Lag}/m	-0.006	-3.086
3	$v_1/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	-0.132	-3.112
4	$\Delta v_{13}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	-0.048	-2.915
5	f	-0.756	-2.127
6	$\Delta v_{12}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	-0.124	-2.824

由表 7 可见,车辆换道时间与换道初始时刻 M 距车道线距离 x_0 呈正相关,其原因可能是 x_0 越大,车辆横向移动距离就越大,则换道的时间也越长。换道时间与本车速度 v_1 、速度差 Δv_{12} 和

Δv_{13} 与目标车道后车距离 g_{Lag} 呈负相关,其可能的原因是车速越低,车间距越近,换道难度就越高,驾驶人在换道时就越谨慎,换道所需时间则更长。换道时间与驾驶风格激进程度 F 呈负相关, F 值越大,则驾驶风格越激进,换道时间越短;反之, F 值越小,则驾驶风格越保守,换道时间越长。

将采集到的换道样本数据的 80% 即 298 次换道数据代入式(7),得到换道时间预测的半经验模型。将剩余 20% 样本数据即 74 组换道数据代入半经验模型,得到的预测值与实际换道时间 t_r 作误差分析,进行准确性检验。将换道时间预测值与实测值的绝对误差值 e_1 作为评价指标,来判断模型的准确度:

$$e_1 = t - t_r \quad (8)$$

误差值统计结果如图 5 所示。从图 5 可以看出,换道时间预测误差在 $-0.2 \sim 0.2$ s 之间,误差的平均值为 -0.004 s,标准差为 0.072 ,说明预测准确率较高。

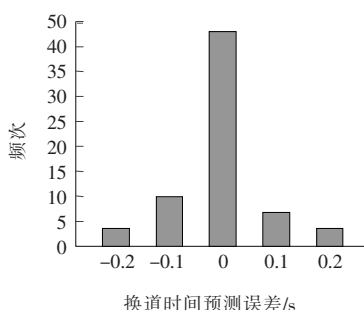


图 5 换道时间预测绝对误差

Fig. 5 Absolute error of lane change time

3.2 换道距离预测模型

不同风格驾驶人发生换道的横向距离差异不大,均在 $2.5 \sim 3.6$ m 之间,这与车道宽度是紧密相关的,因此本研究主要讨论车辆换道的纵向距离。由于不同驾驶风格的驾驶人换道时转向目标车道的角度有所不同,因此换道纵向距离模型中应引入驾驶风格变量,使得换道距离模型更为合理,且更符合实际情况。

设 θ 为 M 车换道时与车道水平线所形成的夹角, M 车转向方向角 $\theta(t)$ 为:

$$\theta(t) = \arctan \frac{\partial y(t)}{\partial x(t)} \quad (9)$$

式中: $x(t)$ 为车辆纵向位移; $y(t)$ 为车辆横向位移。

在车辆换道过程中,转向角 θ 会随着驾驶人驾驶风格以及车速的差异而有所不同,不同的驾

驶风格其转向角的变化趋势和最大值都会不同;而在实际换道过程中,车辆速度也对转向角有影响。对数据样本中换道速度平均值、转向角平均值以及驾驶风格值做相关分析,三者之间任意两者都显著相关。将采集到的换道数据作 SPSS 回归分析,可得到转向角的平均值 θ 与驾驶风格值 f 、换道平均速度 v 有如下关系式:

$$\theta = 17.064 - 0.168v + 5.524f \quad (10)$$

该拟合度为 0.987,说明拟合效果较好。

由式(10)可知,车辆转向角 θ 的平均值与驾驶风格值呈正相关,表明驾驶人驾驶风格激进程度越高,车辆在换道过程中转向角也越大;而车辆转向角 θ 的平均值与平均速度呈负相关,即换道速度越大,转向角反而越小。

当 M 车换道时,与车辆 N、车辆 L 都可能发生碰撞,因此为避免碰撞事故的发生,必须考虑换道场景中 M 车与 N 车、L 车之间的安全距离。受文章篇幅限制,本研究只考虑 M 车与 N 车在换道过程中的安全距离。M 车与 N 车可能发生斜向碰撞或碰撞,为保证 M 车不与目标车道后车 N 发生侧向碰撞,需满足以下关系式:

$$s(t) = g_{Lag} + \int_0^t [(v_1 + a_1 t) \cos \theta - (v_2 + a_2 t) \cos \theta] dt > 0, \forall t \in [0, T] \quad (11)$$

式中: $s(t)$ 是车辆 M 与车辆 N 关于时间的距离函数; t 是预测完成换道的时间; a_1 和 a_2 分别是 M 和 N 车的加速度; $v_2 \leq v_1 < v_{\text{限}}$, $v_{\text{限}}$ 为目标车道车辆行驶的最高速度。

通过结合车辆运动学理论及换道时间预测,可得到车辆 M 换道纵向距离函数 $y(t)$ 为:

$$y(t) = v_1 \cos \theta t + \frac{1}{2} a_1 \cos \theta t^2 \quad (12)$$

将采集到的换道样本数据的 80% 即 298 次换道数据代入式(11)和式(12),得到换道时间预测的半经验模型。将剩余 20% 样本数据中的实际换道距离 y_r 与利用半经验模型得到的换道纵向距离预测值作误差分析,进行准确性检验。共检验 74 组样本数据,将换道纵向距离的绝对误差 e_2 作为评价指标来判断模型的准确度:

$$e_2 = y - y_r \quad (13)$$

换道纵向距离的绝对误差统计结果如图 6 所

示。从图6可以看出,换道纵向距离预测误差在 $-0.4\sim 0.4$ m之间,误差平均值为 -0.019 m,标准差为 0.138 ,说明预测准确率较高。

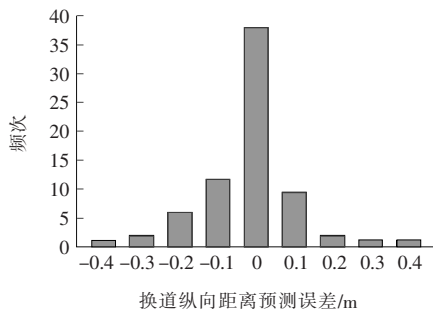


图6 换道纵向距离绝对误差

Fig. 6 Absolute error of longitudinal distance of lane change

4 结论

1) 阐述了驾驶风格的定义及其形成过程,根据研究目的将其分为激进型和保守型两种风格类型。对两组驾驶人进行换道试验并采集换道数据,用五次多项式对轨迹进行拟合,发现不同风格驾驶人换道行为存在显著差异。相对保守型驾驶人,激进型驾驶人在换道过程中行为较为激进,换道时间较短,换道距离较短。

2) 利用时间对数模型并引入驾驶风格值变量,对换道时间进行了影响因素提取,建立了考虑驾驶风格激进程度的换道时间预测模型,结果显示与实际换道时间误差较小。基于预测的换道时间以及换道车辆转向角与驾驶风格值变量、速度之间的关系,结合车辆运动学模型,建立了车辆换道纵向距离预测模型,结果显示与实际换道纵向距离误差较小,故预测模型准确率较高。

本研究结果可用于交通管理部门对危险驾驶行为进行预测,为考虑个性化的交通安全措施的制定提供参考,对道路标志、标线的科学合理运用也有重要的参考价值。在对驾驶人的规范引导中,可根据不同类型驾驶人的风格特性提出不同的教育手段和方式。

〔参考文献〕

- [1] 刘洁莹.不同驾驶风格下驾驶人换道轨迹分析及辅助换道系统设计[D].长沙:长沙理工大学,2017.
LIU Jie-ying. Driver lane change trajectory analysis and auxiliary lane change system design under different driving styles [D]. Changsha: Changsha University of Technology, 2017.
- [2] 孙龙,常若松.驾驶风格研究现状与展望[J].人类工效学,2013,19(4):92-95.
SUN Long, CHANG Ruo-song. Current status and prospects of driving style research [J]. Ergonomics, 2013, 19(4): 92-95.
- [3] 孙龙,常若松,董悦,等.驾驶经验对驾驶人驾驶风格和交通违规的影响[J].中国健康心理学杂志,2014,22(2):222-224.
SUN Long, CHANG Ruo-song, DONG Yue, et al. The impact of driving experience on driver driving style and traffic violations [J]. Chinese Journal of Health Psychology, 2014, 22(2): 222-224.
- [4] Ren D B, Zhang J Y, Zhang J M, et al. Trajectory planning and yaw rate tracking control for lane changing of intelligent vehicle on curved road[J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 2011, 54(3): 630-642.
- [5] 王崇伦,李振龙,盖彦荣,等.车辆换道轨迹滑模跟踪控制研究[J].交通信息与安全,2012,30(5):39-44.
WANG Chong-lun, LI Zhen-long, GAI Yan-rong, et al. Research on sliding mode tracking control of vehicle lane trajectory[J]. Traffic Information and Safety, 2012, 30(5): 39-44.
- [6] 张颖达,邵春福,李慧轩,等.基于NGSIM轨迹数据的换道行为微观特性分析[J].交通信息与安全,2015(6):19-24.
ZHANG Ying-da, SHAO Chun-fu, LI Hui-xuan, et al. Microscopic characteristics analysis of lane changing behavior based on NGSIM trajectory data[J]. Traffic Information and Safety, 2015(6): 19-24.
- [7] 石京,柳美玉.基于驾驶模拟实验的驾驶风格对高速公路换道行为的影响[J].东南大学学报:自然科学版,2017,47(5):1037-1041.
SHI Jing, LIU Mei-yu. The influence of driving style based on driving simulation experiment on highway lane changing behavior[J]. Journal of Southeast University: Natural Science, 2017, 47(5): 1037-1041.
- [8] 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 Hai-jing. Research on the method of lane change intention recognition for freeway drivers [D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- [9] 黎莉,黄晓梦,郭艳君,等.营运客车换道越线时间预测方法研究[J].中国安全科学学报,2016,26(4):90-95.
LI Li, HUANG Xiao-meng, GUO Yan-jun, et al. Research on time prediction method of operating bus changeover[J]. China Safety Science Journal, 2016, 26(4): 90-95.