

驾驶员行为意图及特性辨识研究综述

李 刚, 李高超

(辽宁工业大学汽车与交通工程学院, 辽宁锦州 121001)

摘 要:为了更好地提高汽车的主动安全性,实现个性化驾驶,针对汽车电控系统中的驾驶员行为意图及特性辨识问题,阐述了各种电控系统在汽车上的重要作用和驾驶员行为意图及特性辨识研究对于汽车电控系统开发的重要意义,对驾驶员行为意图及特性辨识的国内外研究进展情况进行了概述,提出了展望:为提高汽车电控系统性能,实现智能化控制,需要对汽车驾驶员行为意图及特性进行辨识研究;如何更为合理地对转向、制动、加速特性等综合特性进行合理分类和在线准确辨识,将是一个长期的研究课题。

关键词:车辆工程;驾驶员;行为意图;特性;辨识

中图分类号:U471.15 **文献标志码:**A

Review on identification study of driver behavior intention and characteristics

LI Gang, LI Gaochao

(School of Automobile and Traffic Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou, Liaoning 121001, China)

Abstract: In order to better improve vehicle active safety and realize personalized driving, aiming at the problem of the identification of driver behavior intention and characteristics, the electronic control systems' important role in the automobile and the importance of the driver behavior intention and characteristic identification are discussed. The relative domestic and foreign research is summarized, and the prospect is put forward. In order to improve the performance of automobile electronic control system and realize the intelligent control for the cars, the identification of driver behavior intention and characteristics needs to be studied. How to rationally classify and on-line identify drivers' characteristics correctly for the steering, braking and acceleration characteristics is a long term research topic.

Keywords: vehicle engineering; driver; behavior intention; characteristic; identification

汽车上应用日益广泛的各种电控系统及其集成控制技术,显著提高了汽车的电子化和智能化水平,在提升汽车的主、被动安全和驾驶舒适性等方面也起到了越来越重要的作用。在安全性方面,电子稳定性控制系统(ESC)、驱动防滑系统(ASR)、电子控制制动系统(EBS)、转向随动车灯(AFS)、安全气囊(Safety Airbag)

收稿日期:2016-06-27;修回日期:2017-03-29;责任编辑:张士莹

基金项目:国家自然科学基金(51305190,51675257)

第一作者简介:李 刚(1979—),男,辽宁朝阳人,副教授,博士,主要从事汽车动态仿真与控制方面的研究。

E-mail:lnitligang@126.com

李 刚,李高超. 驾驶员行为意图及特性辨识研究综述[J]. 河北科技大学学报,2017,38(4):335-340.

LI Gang, LI Gaochao. Review on identification study of driver behavior intention and characteristics[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology,2017,38(4):335-340.

等主、被动系统已被广泛应用在汽车上^[1],这些电控系统显著提高了汽车的行驶安全性。在驾驶舒适性方面,泊车辅助系统(PAS)、坡路辅助控制系统(HAC)、自适应巡航控制系统(ACC)、车道偏离预警系统(LDWS)、电控机械式自动变速器(AMT)等辅助驾驶系统作为标准配置已经在中高档汽车上得到了应用^[2]。随着线控技术的不断发展,汽车线控系统及线控汽车成为国内外研究的热点^[3-4]。汽车线控技术就是将驾驶员的操纵动作经过传感器变成电信号,通过电缆传输给电子控制单元,电子控制单元经过计算向执行机构发送相应的控制指令来实现驾驶意图。汽车线控技术可以降低部件的复杂性,摆脱机械机构的限制,使汽车设计有更多的自由空间,有利于实现更为理想的控制。

驾驶员行为意图及特性辨识主要是根据实时采集的驾驶员操作信号、汽车行驶状态数据和通过摄像头得到的驾驶员状态来辨识驾驶员的驾驶行为意图和驾驶特性。对驾驶行为意图及特性进行辨识,才能更好地实现主动安全系统、驾驶员辅助系统、线控系统等各种汽车电控系统的功能。考虑驾驶员特性的汽车电控系统可以在保证汽车行驶安全性的前提下,通过辨识得到驾驶员的行为意图及驾驶特性,调整电控系统参数满足驾驶员的个性化驾驶需求,完成“人适应车”到“车适应人”的转变,提高驾驶舒适性^[5]。由于驾驶员驾驶行为意图及特性辨识对提高汽车主动安全性和实现汽车智能化具有重要意义,因此成为国内外科研人员的研究热点^[6-30]。

驾驶员特性和驾驶意图辨识本质上是一个模式识别过程,目前关于该方面的研究还处于起步阶段,且大多是关于驾驶员行为意图辨识的研究,研究方法主要有模糊模式识别、句法模式识别、统计模式识别、逻辑推理法、神经网络法等^[6]。本文针对国内外汽车电控系统中驾驶员行为意图及特性辨识问题方面的研究进展情况作一概述,以期更好地提高汽车的主动安全性和驾驶舒适性。

1 国外驾驶员行为意图及特性辨识研究成果

在驾驶员驾驶行为意图和行为特性辨识方面,国外已经进行了长时间的研究,这些研究是研究个性化驾驶辅助和主动安全系统的基础,其中日本提出的高级安全汽车(ASVs)推动了驾驶员驾驶行为意图研究的发展进程^[7-8]。

哥伦比亚大学的QUINTERO等^[9]基于BP神经网络方法研究驾驶员行为,建立了驾驶员行为特性辨识模型,该模型主要由行为分类模块与辨识模块2部分组成。其中,驾驶员行为分类模块将驾驶员的驾驶行为分为稳健型和激进型,该模块还能够识别具有潜在危险的道路状况;驾驶员辨识模块用来对驾驶员状态进行识别,如酒后驾驶和疲劳驾驶等。通过实验对辨识模型的准确度进行了验证,验证结果表明,所建立的辨识模型能够实现对驾驶员状态的准确识别。

美国麻省理工学院的研究人员基于马尔科夫链理论建立了车辆马尔科夫动态模型,该动态模型由一系列车辆系统动力学模型连接而成,该动态模型的输入为驾驶员的预操纵行为和相应的传感器反馈信号,输出为预测的一段时间之后的驾驶员行为^[10]。马尔科夫动态模型原理如图1所示。

文献[11]设计了一种先进转向系统模型(ARMA),可以根据驾驶员的操纵行为特性修改汽车转向系统参数。ARMA能够实现驾驶员的各种侧向操作,比如保持直道行驶、直道行驶时换道、弯道行驶、弯道行驶时换道。

文献[12]设计了一种驾驶员在环系统,根据驾驶员的操纵行为、本车与前车之间的距离以及车辆的响应等驾驶员操纵和车辆反馈信息等,将驾驶员的驾驶行为划分为激进型和谨慎型等,然后根据驾驶员的操纵特性动态调整汽车电控系统的控制参数直至汽车的响应满足驾驶员需求,该驾驶员在环系统有利于提高驾驶员的驾驶舒适性。驾驶员在环系统原理如图2所示。文献[12]还提出了一种智能化电控系统,智能化电控系统原理如图3所示。该系统通过跟踪驾驶员的驾驶行为意图,实时监测驾驶员的驾驶操作,辅助驾驶员修正操纵动作,避免危险操纵行为的出现,提高汽车的行驶安全性。在此基础上,还提出了操纵危险系数的概念,用于界定驾驶员的类型,根据ABS,ASR,ESC等汽车电控系统提供的信号,分析并判断当前驾驶环境和

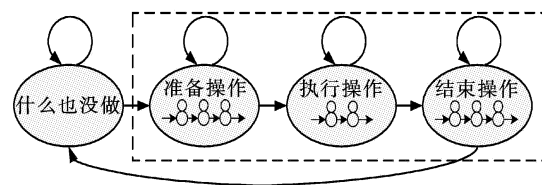


图1 马尔科夫动态模型

Fig. 1 Markov dynamic model

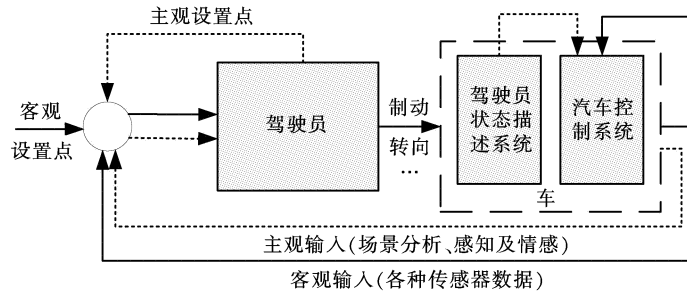


图 2 驾驶员在环系统

Fig.2 Driver in the loop system

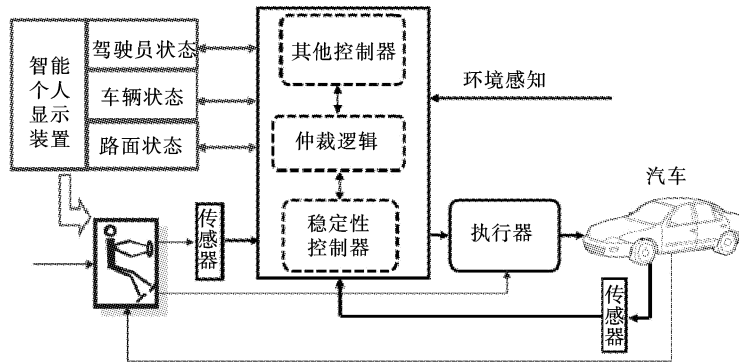


图 3 智能化电控系统原理图

Fig.3 Schematic of intelligent electronic control system

操纵危险系数间的关系,根据结果将驾驶员分为 4 种类型:cautious(谨慎型)、general(一般型)、expert(专业型)和 radical(鲁莽型)。

KUGE 等^[13]提出了一种驾驶员驾驶意图估计系统,估计系统原理如图 4 所示。该估计系统由驾驶员操纵行为监测器、汽车状态监测器、驾驶环境监测器组成,汽车状态监测器可监测当前的车辆状态,驾驶环境监测器可监测当前驾驶环境,驾驶员操纵行为监测器可以监测驾驶员的操作行为。文献[14]是上述估计系统在汽车上的实际应用,根据道路交通环境状况、驾驶员操纵行为与前后两车之间的关系来辨识驾驶员的行为意图。

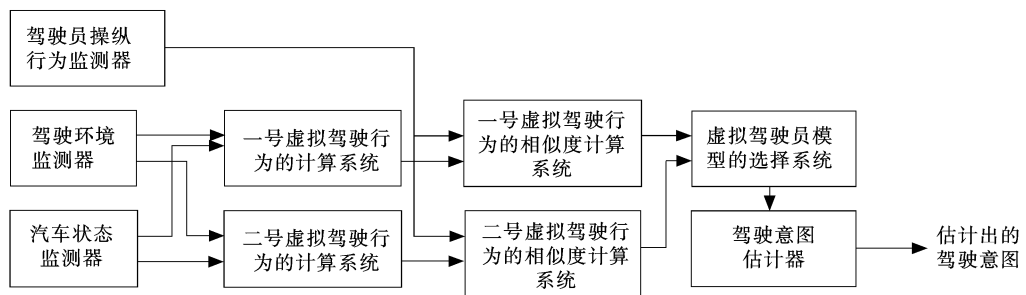


图 4 驾驶意图估计系统

Fig.4 Driving intention estimation system

文献[15]根据模糊集合理论(CFS)提出了一种驾驶意图辨识方法并建立了辨识模型。模型共分为 3 层,顶层包含 3 个节点,用来辨识驾驶员的 3 个操纵行为意图:直线行驶、左转向与右转向;中间层包含若干个节点,每个节点表示一个车辆状态或者驾驶员状态,驾驶员状态由驾驶员头的位置、车速、距离等组成,左转向、右转向或直线行驶等驾驶行为也包含在中间层的每个节点中;位于模型底层的输入层将驾驶员的输入通过隶属度函数转换成模型能够识别的特征值输入辨识模型。南洋理工大学的 WAHAB 等^[16]详细研究了

驾驶员个性化驾驶行为,基于小脑模型关联控制器建立驾驶员驾驶行为辨识模型并进行了实验验证。结果表明:可以从小脑模型关联控制器中提取得到驾驶员的一些潜在状态(如情绪、压力等),辨识模型可以准确地辨识出驾驶员的行为特征。

2 国内行为意图及特性辨识研究成果

在驾驶员驾驶行为意图及特性辨识方面,国内的研究人员也展开了许多研究,其中的一些研究成果已经在自动变速器自动换挡方面得到了应用。孙以泽等^[17]研究了驾驶员加速、减速及超车意图的辨识方法,并将研究成果应用到自动变速器的控制系统中。

吕岸等^[18]研究了驾驶员超车行为的辨识问题,建立了3种高斯混合隐马尔科夫模型(GM-HMM),分别用于辨识左换道、保持车道、右换道操纵行为,辨识流程如图5所示。根据辨识结果判断驾驶员是否为正常超车,以便及时警告或者辅助修正驾驶员的不正常驾驶行为,减少交通事故的发生率。QIN等^[19]基于模糊识别方法研究了对道路条件和驾驶员驾驶意图的辨识,还对自动变速器换挡规律有明显影响的驾驶意图辨识进行了总结与分析。ZHAO等^[20]研究了驾驶行为意图的辨识问题,基于模糊控制理论建立了驾驶员风格辨识模型,模型输入为踏板速度、位移及车速变化等信息,输出为驾驶员风格,可以实现根据驾驶风格确定合适的换挡规则。

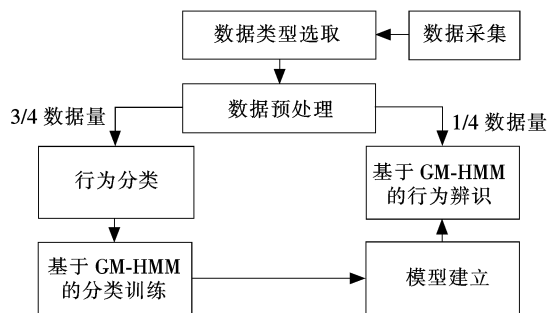


图5 超车行为辨识流程

Fig. 5 Flow chart of overtaking behavior identification

张磊^[21]基于对驾驶员特性的分析研究提出了一种汽车纵向驾驶辅助系统自学习方法,并开发了原理样机,该样机集成了追尾碰撞报警、避免碰撞功能和自适应巡航控制(ACC)等功能。王建强等^[22]研究了汽车碰撞预警问题,提出了一种考虑驾驶员操纵行为特性的汽车碰撞预警与避撞算法。将驾驶员操纵行为特性的实车实验数据应用到碰撞预警与避撞算法中,可以满足不同类型驾驶员的驾驶行为需求。此外,他们还通过实车试验验证了一种汽车弯道行驶前向碰撞预警算法,该算法在开发过程中考虑了驾驶员特性^[23]。为了研究如何监测与纠正驾驶员的操纵行为问题,将驾驶员操纵行为风格分成4个类别:保守型、稳健型、驾驶技能型和激进型,在此基础上定义了11个反映驾驶员操纵行为风格的参数,然后应用K-means聚类算法对每个风格的操纵行为进行了详细划分^[24]。王玉海等^[25]研究了典型工况下驾驶员换挡的操作特征,基于模糊推理方法研究了驾驶员意图的识别方法。

宗长富等^[26]基于驾驶模拟器实验,建立了隐形马尔科夫模型;他们还研究了线控汽车理想特性参考模型神经网络建模方法^[27]和驾驶员特性辨识算法^[28],提出了“车适应人”的汽车设计理念。吴坚等^[29]研究了基于驾驶员个人特质的辨识问题,提出了一种基于高斯混合模型理论的辨识方法,为进行个性化汽车控制系统的设计奠定了理论基础。

李刚等^[30]对汽车驾驶员转向特性分类与辨识方法进行了研究,基于CarSim软件仿真实验采集试验数据,根据车辆最大横摆角速度,采用K-means聚类算法对驾驶员转向特性进行分类,在Matlab软件环境下分别采用LVQ神经网络、BP神经网络、SVM建立辨识模型,测试和比较了3种模型的辨识效果。此外,基于驾驶模拟器实验进行了驾驶员转向特性的在线辨识研究^[31],设计了实验工况,选取实验人员进行驾驶模拟器实验,采集实验数据(方向盘转角、方向盘转角速度、车速和横摆角速度),然后对数据提取特征值(每次转弯时的方向盘转角、方向盘转角速度和横摆角速度这三者的最大值以及方向盘转角达到极值时的车速)。根据模糊C均值聚类方法将特征值分为3类,分类结果对应3类驾驶员转向特性:谨慎型、一般型和激进型,再基于BP神经网络方法编写控制程序,建立驾驶员转向特性辨识模型,实现对驾驶员转向特性的在线准确辨识。在此基础上,利用电动车四轮驱动力矩独立可控的优势,通过合理分配驱动力,使电动汽车的转向特性与驾驶员的期望响应相符合。下一步将在四轮独立驱动电动车上进行实车验证。

3 展 望

综上所述,在驾驶员驾驶行为意图及特性辨识领域国内外学者已进行了相应研究,取得了一定的成果,但目前的研究主要集中在驾驶员行为意图的辨识方面,而对于提高驾驶舒适性有重要作用的驾驶员特性辨识方面的研究才刚刚起步。基于驾驶员行为建模,对其行为意图进行辨识后用于汽车驾驶员辅助系统,可对驾驶员的动作进行修正,调整部分汽车的电控系统参数,提高汽车行驶的安全性及舒适性。

汽车电控系统与车辆、驾驶员和环境的相互作用研究推动了汽车技术的革新,提高汽车的主动安全性和实现个性化驾驶将成为汽车技术革新中的重要内容,而让汽车电控系统“辨识”出驾驶员的行为意图及特性是实现这一技术革新的前提和基础,多轮独立驱动及独立转向线控电动车的出现将成为辨识驾驶员特性的优良载体。

随着对汽车驾驶员行为意图及特性辨识方面的理论研究和应用探索的不断深入,汽车将不再只是一种满足乘驾和运载的行走工具,它会变得越来越智能,将实现“人适应车”到“车适应人”的重大转变。如何更为合理地对驾驶员进行包括转向、制动、加速特性在内的综合特性的合理分类和在线准确辨识,将是未来需要长期研究和探索的课题。

参考文献/References:

- [1] 冯渊. 汽车电子控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 付百学. 汽车电子控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [3] 宗长富,刘凯. 汽车线控驱动技术的发展[J]. 汽车技术, 2006(3):1-5.
ZONG Changfu, LIU Kai. Development of the drive-by-wire technology[J]. Automobile Technology, 2006(3):1-5.
- [4] 于蕾艳. 汽车线控技术[M]. 青岛:中国石油大学出版社,2013.
- [5] LU Jianbo. Modern vehicle dynamics and controls for automotive adaptation, personalization and safety [C]//2011 International Forum on Advanced Vehicle Technologies and Integration(VTI2011). 北京:机械工业出版社,2011:324-328.
- [6] 孙亮. 模式识别原理 [M]. 北京:北京工业大学出版社,2009.
- [7] TAKEZAKI J. Adaptive Driver-assistant systems[J]. Hitachi Hyoron ,2000,82(9):599-604.
- [8] ANONYMOUS. Advanced Safety Vehicle (ASV) Technology Put to Practical Use [EB/OL]. http://www.nasva.go.jp/mamoru/en/assessment_car/asv.html,2016-05-16.
- [9] QUINTERO M, LOPEZ J, PINILLA A C C. Driver behavior classification model based on an intelligent driving diagnosis system[C]//15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. [S. l.]: IEEE,2012: 894-899.
- [10] PENTLAND A, LIU A. Modeling and prediction of human behavior[J]. Neural Computation, 2009(11): 229-242.
- [11] RAKSINCHAROENSAK P, MIZUSHIMA T, NAGAI M. Direct yaw moment control system based on driver behavior recognition[J]. Vehicle System Dynamics, 2008, 46(1): 911-921.
- [12] DIMITAR F, JIANBO L U, KWAKU P A, et al. From vehicle stability control to intelligent personal minder: Real-time vehicle handling limit warning and driver style characterization [J]. Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Systems, 2009(9): 201-207.
- [13] KUGE N, KANAGAWA T. Driving Intention Estimation System, Vehicle Operation Assistance System and Vehicle Equipped There-with[P]. US:7634331B2,2009-12-15.
- [14] KUGE N, KIMURA T. Driving Intention Estimation System, Driver Assisting System and Vehicle with the System[P]. US:7809506B2, 2010-10-05.
- [15] OHASHI K, YAMAGUCHI T, TAMAI I. Humane automotive system using driver intention recognition[C]//Sice 2004 Conference. [S. l.]: [s. n.],2004:1164-1167.
- [16] WAHAB A, WEN T G, KAMARUDDIN N. Understanding driver behavior using multi-dimensional CMAC[C]//6th International Conference on Information, Communications & Signal Processing. [S. l.]: IEEE, 2007: 1-5.
- [17] 孙以泽,王其明. 车辆AMT中道路条件及驾驶意图的模糊识别[J]. 汽车工程, 2001,23(6):419-422.
SUN Yize, WANG Qiming. Fuzzy discernment of the driving environment and the driving intention in AMT[J]. Automotive Engineering, 2001,23(6):419-422.
- [18] 吕岸,胡振程,陈慧. 基于高斯混合隐马尔科夫模型的高速公路超车行为辨识与分析[J]. 汽车工程, 2010, 32(7): 630-634.
LYU An, HU Zhencheng, CHEN Hui. Recognition and analysis highway overtaking behaviors based on Gaussian mixture hidden Markov model[J]. Automotive Engineering, 2010,32(7):630-634.
- [19] QIN G H, LEI Y L, NIU M K, et al. Estimation of road situations and driver's intention in automotive electronic control system[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Vehicle Electronics. Changchun: [s. n.],1999:379-387.
- [20] ZHAO G Y, PENG C Y, WANG X T. Intelligent control for AMT based on driver's intention and ANFIS decision-making[C]//

- Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation. Chongqing: [s. n.], 2008: 1-6.
- [21] 张磊. 基于驾驶员特性自学习方法的车辆纵向驾驶辅助系统[D]. 北京:清华大学, 2009.
ZHANG Lei. A Vehicle Longitudinal Driving Assistance System Based on Self-Learning Method of Driver Characteristics[D]. Beijing: Tsinghua University, 2009.
- [22] 王建强, 迟瑞娟, 张磊, 等. 适应驾驶员特性的汽车追尾报警-避撞算法研究[J]. 公路交通科技, 2009, 26(sup1): 7-12.
WANG Jianqiang, CHI Ruijuan, ZHANG Lei, et al. Study on forward collision warning avoidance algorithm based on driver characteristics adaptation[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(sup1): 7-12.
- [23] 王建强, 肖庆, 迟瑞娟, 等. 考虑弯道驾驶员特性的汽车前撞报警算法[C]//第七届中国智能交通年会论文集. 北京:电子工业出版社, 2012: 45-51.
- [24] WANG J, LU M, LI K. Characterization of longitudinal driving behavior by measurable parameters[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2010(1): 15-23.
- [25] 王玉海, 宋健, 李兴坤, 等. 基于模糊推理的驾驶员意图识别研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(12): 113-118.
WANG Yuhai, SONG Jian, LI Xingkun, et al. Study on inference of driver's intentions based on fuzzy reasoning[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(12): 113-118.
- [26] 宗长富, 杨肖, 王畅, 等. 汽车转向时驾驶员驾驶意图辨识与行为预测[J]. 吉林大学学报(工学版), 2009, 39(1): 27-32.
ZONG Changfu, YANG Xiao, WANG Chang, et al. Driving intentions identification and behaviors prediction in car lane change[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2009, 39(1): 27-32.
- [27] 宗长富, 林娜, 李刚, 等. “车适应人”线控汽车理想特性参考模型神经网络建模[J]. 吉林大学学报(工学版), 2013, 43(3): 514-520.
ZONG Changfu, LIN Na, LI Gang, et al. Neural network modeling of ideal characteristics reference model for “car adaption for drive” x-by-wire vehicle[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2013, 43(3): 514-520.
- [28] 宗长富, 林娜, 张泽星, 等. 线控汽车驾驶员特性辨识算法的研究[J]. 汽车工程, 2014, 36(9): 1140-1144.
ZONG Changfu, LIN Na, ZHANG Zexing, et al. A study on the identification algorithm of drivers characteristics for x-by-wire vehicles [J]. Automotive Engineering, 2014, 36(9): 1140-1144.
- [29] 吴坚, 姚琳琳, 朱冰, 等. 基于高斯混合模型的驾驶员个人特质辨识[J]. 吉林大学学报(工学版), 2015, 45(1): 38-43.
WU Jian, YAO Linlin, ZHU Bing, et al. Identification of driver individualities using Gauss mixture model[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2015, 45(1): 38-43.
- [30] 李刚, 韩海兰, 袁航, 等. 驾驶员转向特性分类与辨识方法对比研究[J]. 河北科技大学学报, 2015, 36(6): 559-565.
LI Gang, HAN Hailan, YUAN Hang, et al. Study on classification and identification methods of driver steering characteristics[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2015, 36(6): 559-565.
- [31] 韩海兰. 智能四轮独立驱动轮毂电机电动汽车自适应转向研究[D]. 锦州:辽宁工业大学, 2016.
HAN Hailan. Study on Adaptive Steering for Intelligent Four-wheel Independently Driven in-wheel Motors Electric Vehicle[D]. Jinzhou: Liaoning University of Technology, 2016.