第 40 卷第 2 期　　河 北 科 技 大 学 学 报　　Vol.40，No.2
2019 年 4 月　　Journal of Hebei University of Science and Technology　　Apr. 2019

文章编号：1008-1542(2019)02-0105-07　　doi：10.7535/hbkd.2019yx02002

面向车辆纵向动力学控制的制动意图识别综述

尘　帅，王吉忠，张西龙，吕　林，郑龙月

（青岛理工大学机械与汽车工程学院，山东青岛　266000）

摘　要：制动意图识别作为新型线控制动系统控制的先决条件，其识别结果的优劣直接影响车辆控制系统的精度，进而影响特定工况下的车辆行车安全性，因此为了提高车辆的主动安全性，提升车辆的制动性能，针对车辆动力学中的纵向稳定性控制问题，以制动意图为切入点，介绍了目前制动意图的分类，概述了基于制动意图识别的车辆动力学控制的国内外研究现状；结合制动意图识别特征的选取问题，重点对比分析了几种典型的制动意图识别方法，包括模糊推理系统、神经网络、自适应神经模糊推理系统、隐马尔可夫模型和聚类分析；结合当下研究现状指出了合理选取特征参数、转换输出目标、多标准评价体系是面向车辆动力学控制的制动意图识别的研究重点和方向。

关键词：车辆工程；制动意图；意图识别；车辆动力学；稳定性控制

中图分类号：U463.5　　**文献标志码：**A

Overview of braking intention recognition for longitudinal dynamic control of vehicles

CHEN Shuai，WANG Jizhong，ZHANG Xilong，LYU Lin，ZHENG Longyue

（School of Mechanical and Automotive Engineering，Qingdao University of Technology，Qingdao，Shandong 266000，China）

Abstract： As a prerequisite for the control of the brake by wire system，the identification of braking intention has a direct impact on the accuracy of the vehicle control system，and it affects the vehicle running safety under specific working conditions，thus，in order to improve the active safety and braking performance of the vehicle，aiming at the longitudinal stability control problem in vehicle dynamics，the braking intention is taken as the breakthrough point，and the classification of braking intentions is introduced. At the same time，the vehicle dynamics control of braking intention recognition based on the research status at home and abroad is outlined. Besides，combining with the braking intention recognition feature selection problem，several typical braking intention recognition methods，including fuzzy inference system，neural network，adaptive neural fuzzy inference system，hidden Markov model and cluster analysis，are comparatively analyzed. Considering the status quo of research，the research emphasis and direction of braking intention recognition for vehicle dynamics control is pointed out，including reasonably selecting characteristic parameters，transition of export target and multistandard evaluation system.

Keywords：vehicle engineering；braking intention；intention recognition；vehicle dynamics；stability control

---

收稿日期：2018-12-22；修回日期：2019-02-28；责任编辑：冯　民

基金项目：国家自然科学基金(51806114)

第一作者简介：尘　帅(1995—)，男，山东菏泽人，硕士研究生，主要从事车辆动力学与控制方面的研究。

通信作者：王吉忠教授。E-mail：18763992672@163.com

尘帅，王吉忠，张西龙，等.面向车辆纵向动力学控制的制动意图识别综述[J].河北科技大学学报，2019，40(2)：105-111.

CHEN Shuai，WANG Jizhong，ZHANG Xilong，et al. Overview of braking intention recognition for longitudinal dynamic control of vehicles[J].Journal of Hebei University of Science and Technology，2019，40(2)：105-111.

随着车辆控制技术的不断提升，汽车的电子化、智能化和网络化成为当下汽车发展的重要标志，而安全、节能、环保、舒适是用户对车辆永恒的要求[1]。线控技术及智能网联技术的出现使得人们更加注重车辆行驶安全性，相应地对车辆的制动系统也提出了更精准可靠的要求。线控制动系统(brake by wire，BBW)作为一种新型电子制动系统，在其车辆结构上取消了部分机械与液压连接装置，将传统的制动系统发展为主要以电信号为触发信号、中央控制器协调制动执行器对车轮进行精确制动的电子制动系统。当下针对线控制动系统动力学控制的研究主要集中在路面附着系数识别[2-5]、防抱死制动控制方法[6-7]、制动力分配策略[8]及驾驶员制动意图识别[9-32]等方面，鉴于BBW将会成为取代传统液压制动系统的发展趋势之一，为了更精确可靠地进行车辆制动控制、提高汽车主动安全性，对驾驶员制动意图识别方法展开深入细致且合理的研究是非常重要的。制动意图识别研究主要包括：分类制动意图、选择意图识别方法、选取识别特征、确定评价标准等。

1 制动意图研究现状

目前车辆纵向动力学控制研究的重点主要集中在车辆性能参数匹配上，较少考虑驾驶员制动意图的影响，而人-车-路作为一个完整的闭环系统，在进行车辆纵向动力学控制时应当考虑人和路面的影响，进而提升车辆制动系统控制的精度，达到最优的控制效果。面向车辆动力学控制的制动意图研究对于提高车辆的主动安全性及促进智能车辆技术发展具有重要意义，是国内外科研人员研究的热点[9]。

1.1 国外制动意图识别研究现状

由于国外科研人员针对制动意图识别已开展了较长时间的研究工作，其研究内容不仅包括意图识别方法研究，还更多地涉及到多学科交叉融合研究，因此对高级驾驶员辅助系统(advanced driver assistance system，ADAS)及无人驾驶技术的发展具有重要促进作用。有些研究人员致力于制动意图识别方法研究，文献[10]提出了一种将驾驶员脑电图(electroencephalography，EEG)信号与周围信息融合控制的脑控车辆紧急制动意图检测方法，即首先建立一种基于脑电图的驾驶员紧急制动意图检测模型，然后将所提出的基于EEG的意图检测模型的结果与基于周围信息的障碍检测模型的结果融合，对突发事件进行识别。实验结果表明，该方法能够有效地检测突发事件，系统准确率为94.89%。文献[11]使用EEG信号来侦测紧急制动意图，采用支持向量机(support vector machines，SVM)和卷积神经网络对脑电图信号进行分类，用以识别制动意图和正常驾驶意图，结果表明SVM对紧急制动意图的识别显著。文献[12]提出了一种基于双层隐马尔可夫模型(hidden markov modle，HMM)的驾驶意图识别和驾驶行为预测模型，其上层多维离散隐马尔可夫模型表示联合工况下的驱动意图，它是根据下层多维高斯隐马尔可夫模型中某些单一工况下的驱动行为构建的，通过操纵驾驶员信号和车辆状态信息识别驾驶行为，将识别结果发送到上层HMM以识别驾驶意图，研究结果表明双层隐马尔可夫模型能够准确有效地识别驾驶意图和预测驾驶行为。

而有些科研人员则是针对具体的控制系统考虑制动意图的影响。文献[13]针对优化高级驾驶员辅助系统提出了一种计算效率高的算法，该算法基于3个主要概念：车辆模型、考虑驾驶员意图和车辆周围行人的有效碰撞检测系统、生成预警和紧急制动信号的风险评估系统，通过驾驶仿真舱验证发现考虑驾驶员意图的算法有效提升了ADAS性能。文献[14]针对车辆底盘集成控制提出了一种差动制动、前后牵引力矩和主动横摆力矩的协调控制算法，图1为该算法的框架图，其设计目的是在保持车辆在车道行驶的同时，最大限度地提高行驶速度。该算法的控制基础为驾驶员的意图和车辆的当前状态，采用基于优化的控制分配策略，在考虑轮胎和车辆限制的情况下，对执行机构控制输入进行优化分配。仿真结果表明，与简单的底盘协调控制系统相比，考虑驾驶员意图及当前车辆工况的一体化底盘控制器，在保证高速转弯性能的同时，保证了行驶速度的稳定性。文献[15]提出了一种考虑安全因素的线控液压制动控制策略，该模型由模糊制动力监控器和PI控制器组成，运用模糊推理方法识别驾驶员的制动意图，模糊制动力监控器先根据驾驶员的制动意图计算出理想的制动力，PI控制器再依据制动力偏差调节车轮制动轮缸压力。

1.2 国内制动意图识别研究现状

国内针对制动意图识别方面的研究尚处于初步发展阶段，主要深入研究了一些典型的制动意图识别方法，尤其是在混合动力汽车及纯电动汽车方面，有些成果已经转化为产品。文献[16]针对插电式混合动力汽车的能耗经济型问题，运用模糊推理控制器辨识驾驶员驱动及制动意图，建立能耗经济性目标函数，使用瞬

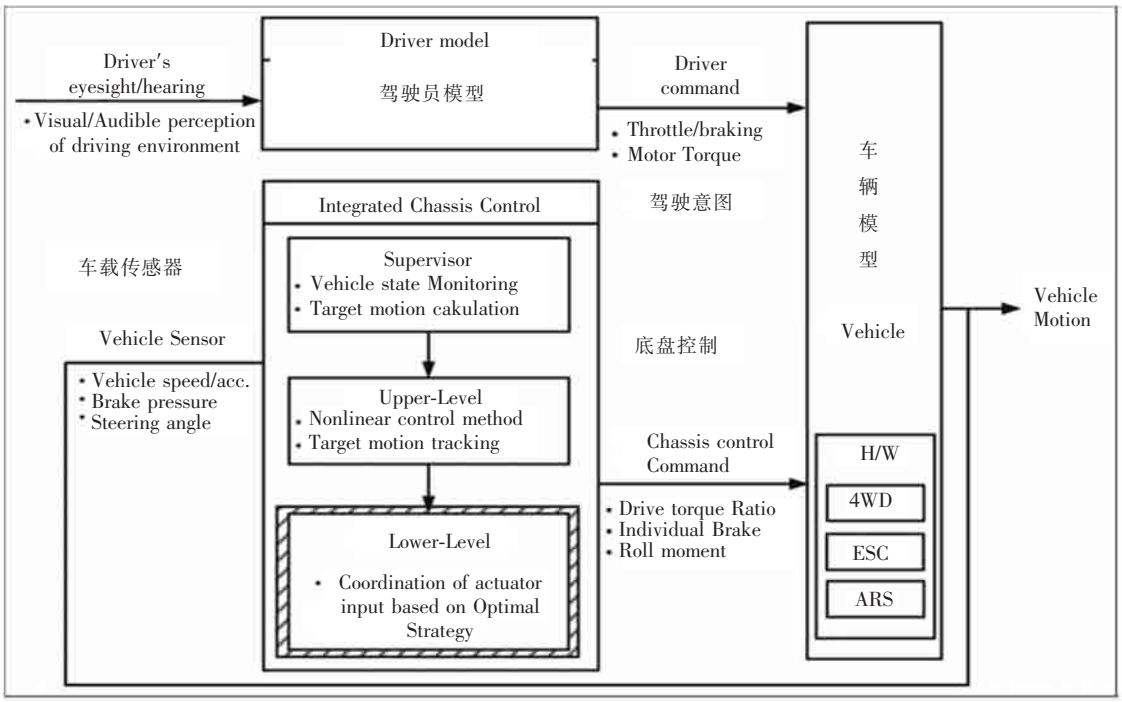

图 1　协调控制算法

Fig. 1　Coordinated control algorithm

时优化方法对发动机和电机转矩进行分配，以此为基础提出了考虑驾驶意图的能量管理策略。文献[17]针对电动汽车制动能量回收问题，提出了基于边界最大化的再生制动力分配策略，搭建了模糊制动意图识别器，用以实时识别驾驶员的制动意图，结合电池充电保护模型，运用 Cruise 在 NEDC 工况下进行仿真实验，结果表明该能量管理策略有效提高了电动汽车的续驶里程。文献[18]针对混合动力汽车下坡过程中驾驶员驾驶负担重的问题，提出了一种基于驾驶员驾驶意图的下坡辅助控制方法，即采用分层控制：上层为基于驾驶意图的车辆行驶安全性需求；中层为采用 PID 控制的 3 种制动模式的转矩分配策略；下层为发动机接入过程及液压转矩变化过程中的动态协调控制策略。经实车验证，在混合动力汽车下坡过程中，该方法可减轻驾驶员负担、提升行驶过程安全性且降低油耗；文献[19—20]针对混合动力汽车的能量经济性问题，基于模糊控制策略，研究了混合动力汽车在不同工况下加速及制动意图识别的问题。

同时，国内有些学者还着重研究了制动意图识别方法。文献[21]提出了基于制动踏板平均角速度的制动意图识别方法，研究了考虑驾驶员制动意图对电动复合制动系统制动力分配的问题。文献[22]为了提高行驶舒适性，针对电液复合制动系统研究了基于反向传播神经网络(back propagation，BP)的制动意图识别方法。

2　制动意图分类及识别特征选取

目前，针对制动意图的分类问题，潘宁等[22]考虑制动过程中的舒适性及安全性，将制动意图分为常规减速、压力跟随及紧急制动。王庆年等[23]针对混合动力汽车的制动控制问题，依据驾驶员是否对加速/制动踏板有动作，将制动意图分为常规制动及滑行制动，其中滑行制动即驾驶员对加速和制动踏板均未作出动作。张元才等[21]针对复合制动系统中再生制动力分配策略问题，根据驾驶员制动意图的紧急程度将制动意图分为轻度制动、中度制动及紧急制动。秦大同等[16]针对 PHEV 并联式制动系统控制问题，依据制动模式将制动意图分为滑行再生制动、再生制动、摩擦制动。唐先智等[24]针对电动汽车能量回收问题采用模糊 C 均值聚类方法研究制动意图分类中的平缓制动、中度制动的信号表征的特征。由上可见，由于科研人员的研究目的不同，对于制动意图的分类方法也不尽相同，且制动意图分类的应用范围窄，难以形成统一的标准。

制动意图识别过程的实质即为模式识别，而模式识别的关键在于识别特征的选取。王英范等[25]在良好的路面上进行汽车制动实验，采集汽车车速、制动踏板位移、制动踏板力等信号进行数据处理，最终得出制动

踏板位移为制动意图最佳识别参数。由于实际汽车制动时,其路面附着条件所对应的制动强度是不断变化的,导致制动踏板位移的不确定性,所以为了提高实际识别效果应该结合路面条件进行驾驶员制动意图识别研究。王波等[26]提出基于平均经验模式分解(ensemble empirical mode decomposition, EEMD)和熵理论的驾驶员制动意图聚类识别法,运用数字信号处理技术对制动踏板行程进行特征提取,进而运用聚类算法识别制动意图。吴志新等[17]选用制动踏板深度、车速、SOC作为模糊制动意图识别模型的识别参数。文献[27]采用制动踏板开度及其变化率作为自适应神经模糊推理系统的输入识别参数。文献[28]针对电动汽车再生制动过程中制动意图与制动强度的关系研究,选用制动踏板角位移引起的制动踏板电压变化及其变化率作为模糊识别特征参数。

3 制动意图识别方法

在车辆行驶过程中,工况会发生改变,进而导致驾驶员的制动意图随之改变,因此,制动意图具有高度不确定性和不可预测性。而高效的车辆横、纵向控制系统需要实时精确的制动意图输入,因此,针对制动意图的研究对于促进现代车辆动力学控制发展具有重要作用。当下针对制动意图识别的方法主要有:模糊推理系统(fuzzy inference system, FIS)、神经网络(neural network, NN)、自适应神经模糊推理系统(adaptive neural fuzzy inference system, ANFIS)、隐马尔可夫模型(hidden Markov modle, HMM)、聚类分析(cluster analysis, CA)等。

3.1 模糊推理系统

模糊推理法是用清晰的数学方法描述边界不清的事物的数学理论[29]。模糊推理可以对未知模型或不能确定的模型运用模糊规则进行推理,运用人的先验经验对不易建模的系统运用数学语言进行有效控制。模糊推理控制系统包括系统输入、模糊化、推理知识库、模糊推理、解模糊化5个部分,其中影响模糊控制系统控制效果的关键步骤为系统输入量及其隶属度函数、推理知识库的确定。虽然模糊推理法对非线性不确定系统控制有一定的优势,但是对于其关键步骤的确定存在较多的人为主观因素的影响,因此对于一些精度、实时性要求较高的车辆模型,往往达不到实际控制要求。

3.2 神经网络

神经网络具有高度并行性和自适应学习能力,其泛化性能好、抗干扰能力强。应用于模式识别的神经网络主要包括反向传播网络、径向基函数神经网络(radial basis function,RBF)等,由于一般任何函数都可以表示成一组基函数的加权和,因此RBF神经网络可以逼近任何未知函数。BP神经网络只要有足够多的隐含层节点和隐含层,则BP神经网络便可以逼近任意非线性映射关系[30]。基于以上特点,神经网络通过输入制动意图的特征参数,使用大量的样本,通过特定的算法训练达到一定的精度后,便可以准确地输出制动意图。但是制动意图识别效果的好坏不只是取决于一组特定的非线性关系,由于相同的制动踏板开度及其变化率在不同的路面上产生不同的制动减速度,从而造成制动性能的改变,即路面附着条件、适用车型数据的改变都会影响制动意图识别的精度,因此工作量大、数据不具备普适性原则、收敛速度慢等成为制约神经网络广泛应用于制动意图识别的因素。

3.3 自适应神经模糊推理系统

基于以上对模糊推理系统及神经网络的阐述,这两种方法各有优势和缺点,若将两者的优势进行结合,则形成一种兼顾人工主观经验及客观特征数据的新型识别方法,即自适应神经模糊推理系统。该方法具备自适应学习能力、泛化性能好、抗干扰性强且能以任意精度逼近任意非线性函数等优点,能够在一定程度上避免全凭人工主观意志定义输入量的隶属度函数,因此其在处理非线性、模糊性模型上有更大的优势,但是仍有工作量大、数据不具备普适性原则的弊端。

3.4 隐马尔科夫模型

隐马尔科夫模型是一种特殊的动态贝叶斯网络模型,具有较强的处理时间序列数据的能力。HMM通过建立双重随机过程,不但可以描述各状态间相互转移的马尔科夫随机过程,同时还可以描述各观测变量和状态之间统计关系的随机过程[31]。由于驾驶员进行制动操作是时间序列上的动作过程,因此隐马尔科夫模型具备制动意图识别的可行性。应用HMM需要解决关于评估、解码和学习的问题[32],其中评估问题是影响该方法识别效果的关键因素,即所有隐含状态之间的转换概率及隐含状态到可见状态之间的输出概率需

要提前被获知，基于此才能完成解码和学习。该方法的特点在于模型识别效果会因样本量的增多而变好，目前已被普遍应用于轻度制动、正常制动、紧急制动 3 种制动意图的训练工作。该方法具有意图识别的可行性，但实际上车辆动力学控制对于制动意图识别结果的要求更精确具体，而此方法虽具备精确识别紧急制动意图的能力，但不能精确完成对于常规制动意图的识别。

3.5　聚类分析

聚类分析是按照样本的特征，依据某种相似度度量的方法将特征相同的或相似的样本归为一类，完成制动意图聚类识别。聚类分析是一种简单有效的分类器，其算法的重点是求出特征相似的聚合类，即通过计算数据流中各元素与各聚类中心的距离，计算出距离各个元素最近的每个聚类中心，进而完成对数据的分类。但制动过程中特征参数的选取问题对于聚类算法识别效果的影响较大，故应用聚类分析前通常需要对制动特征参数进行一定的预处理。唐先智等[24]先对制动踏板行程信号使用 Hilbert-Huang 变换以提取信号时频域特征，运用模糊 C 均值聚类算法对平缓和中等制动两种制动意图进行识别；后又针对抑制制动踏板信号中的模式混叠现象提出了基于 EEMD 和熵理论的制动意图聚类识别法，提高了制动意图识别的准确率和实时性。

4　研究展望

所介绍的各种制动意图识别方法均能在一定程度上完成制动意图的识别工作，且识别准确率均能达到 90%以上，但也都存在不足之处。制动意图的识别工作与线控制动系统的推广及应用有着密切的联系，意图识别的准确与否决定了车辆纵向动力学控制效果的优劣，进而决定了车辆的主动安全性能。作为 ADAS 的底层控制基础，制动意图与多信息融合控制的发展对未来无人驾驶汽车及智能网联汽车的发展与研究产生了巨大的影响。制动意图的准确识别及应用有助于无人驾驶汽车从 L3 到 L4 的发展，而当无人驾驶汽车水平达到 L5 之后，制动意图识别将会成为优化整车协调控制策略的工具之一。所以，未来面向车辆动力学控制的制动意图识别研究，应该主要从以下几个方面展开。

1）合理选取特征参数。特征参数的选取影响最终的识别效果。面向车辆动力学控制的制动意图识别结果不仅需要精确，还需要强调其实时性。合理地选取特征参数有助于提高识别精度和实时性，可以考虑将路面信息作为特征提取参数之一，进而提高工况时变的车辆纵向动力学控制精度，达到较为精确、实时的控制目的。

2）转换输出目标。目前，针对意图识别的工作主要是输出平缓制动、中等制动和紧急制动、滑行制动这 4 种制动意图，由于车辆纵向动力学控制需要根据不同的路面实时获知驾驶员期望的制动强度，因此单纯的输出几种制动意图对于提高车辆动力学控制精度无太大作用，应考虑将制动意图与制动强度联结作为制动系统控制的基础，完成对车辆的实时控制。

3）多标准评价体系。目前针对制动意图识别的工作主要集中于意图识别准确率上，将意图识别准确率作为最终的评价意图识别效果的标准。为了提高纵向车辆动力学控制性能，应当采用多标准评价体系，不仅仅需要较高的意图识别准确率，同时还需要增加如能量回收率、制动距离、滑移率、制动减速度等评价指标。

参考文献/References：

[1]　彭晓燕. 汽车线控制动系统安全控制技术研究[D].长沙：湖南大学，2013.
PENG Xiaoyan. Research on Safety Control Method of Automotive Brake System Based on X-By-Wire[D].Changsha：Hunan University，2013.

[2]　何磊. 基于路面在线识别的线控制动系统制动力控制策略研究[D].长沙：湖南大学，2016.
HE Lei. The Braking Force Control Strategy Based on Road Identification Technology for Brake-By-Wire System [D].Changsha：Hunan University，2016.

[3]　卜未琦. 全线控纯电动汽车行驶状态估算与路面识别[D].长春：吉林大学，2014.
BU Weiqi. State Estimation and Road Identification for a Full Drive-By-Wire Electric Vehicle[D].Changchun：Jilin University，2014.

[4]　袁朝春，张龙飞，陈龙.路面附着系数识别方法发展现状综述及展望[J].机械制造与自动化，2018，47(2)：1-4.
YUAN Chaochun，ZHANG Longfei，CHEN Long. Summary and prospect of development of road coefficient identification methods[J].

Machine Building & Automation,2018,47(2):1-4.

[5] 彭晓燕,章兢,陈昌荣.基于RBF神经网络的最佳滑移率在线计算方法[J].机械工程学报,2011,47(14):108-113.
PENG Xiaoyan,ZHANG Jing,CHEN Changrong. Calculation of RBF neural network based optimal slip ratio[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011,47(14):108-113.

[6] 周淑文,陈庆明,孙大明.基于EMB系统的整车ABS滑模变结构控制[J].东北大学学报(自然科学版),2016,37(7):994-997.
ZHOU Shuwen,CHEN Qingming,SUN Daming. Variable structure control with sliding mode for ABS of vehicle based on EMB system [J].Journal of Northeastern University(Natural Science), 2016,37(7):994-997.

[7] 李顶根,张绿原,何保华.基于滑移率的汽车电子机械制动系统的模糊控制[J].机械工程学报,2012,48(20):124-129.
LI Dinggen,ZHANG Lvyuan,HE Baohua. Fuzzy control based on vehicle slip-ratio for electro-mechanical braking systems[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012,48(20):124-129.

[8] 彭晓燕,吕以滨,何磊.基于滑移率的线控制动系统制动力分配策略研究[J].中国机械工程,2016,27(17):2407-2412.
PENG Xiaoyan,LV Yibin,HE Lei.Research on brake-force distribution strategies for brake-by-wire system based on slip ratio[J].China Mechanical Engineering, 2016,27(17):2407-2412.

[9] 李刚,李高超.驾驶员行为意图及特性辨识研究综述[J].河北科技大报,2017,38(4):335-340.
LI Gang,LI Gaochao. An overview on identification study of driver behavior intention and characteristic[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology,2017,38(4):335-340.

[10] BI Luzheng,TENG Teng,GUAN Cuntai.A novel method of emergency situation detection for a brain-controlled vehicle by combining EEG signals with surrounding information[J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering,2018,26(10):1926-1934.

[11] HERNÁNDEZ L G, MOZOS O M, FERRÁNDEZ J M, et al. EEG-based detection of braking intention under different car driving conditions[J]. Frontiers in Neuroinformatics,2018,12: 10.3389/fninf.2018.00029.

[12] HE Lei,ZONG Changfu,WANG Chang. Driving intention recognition and behaviour prediction based on a double-layer hidden Markov model[J]. Journal of Zhejiang University-Science C-Computers & Electronics,2012,13(3):208-217.

[13] GIRBÉS V, ARMESTO L, DOLS J, et al. An active safety system for low-speed bus braking assistance[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation System,2016,18(2):377-387.

[14] HER H, JOA E, YI K. Integrated chassis control for optimized tyre force coordination to enhance the limit handling performance[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D-Journal of Automotive Engineering, 2015,230(8):1011-1026.

[15] XU Hui, SONG Chuanxue,LI Shoutao. Fuzzy logic control method of ehb system based on braking intention pattern identification[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2009: 10.1109/ICAL.2009.5262764.

[16] 秦大同,杨官龙,胡明辉,等.基于驾驶意图的插电式混合动力汽车能量管理策略[J].吉林大学学报(工学版),2015,45(6):1743-1750.
QIN Datong, YANG Guanlong, HU Minghui, et al. Energy management strategy of plug-in hybrid electric system based on driving intention[J].Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition),2015,45(6):1743-1750.

[17] 吴志新,石金蓬,李亚伦,等.基于制动边界与意图识别的再生制动策略[J].北京航空航天大学报,2017,43(8):1531-1540.
WU Zhixin,SHI Jinpeng,LI Yalun,et al. Regenerative brake strategy based on braking boundary and intention recognition[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2017,43(8):1531-1540.

[18] 韩云武,罗禹贡,李克强,等.混合动力汽车下坡辅助控制方法[J].机械工程学报,2016,52(6):136-144.
HAN Yunwu,LUO Yugong,LI Keqiang,et al. Downhill assist control method for hybrid electric vehicle[J]. Journal of Mechanical Engineering,2016,52(6):136-144.

[19] 王庆年,王俊,陈慧勇,等.混合动力车辆中的加速与制动意图识别[J].吉林大学学报(工学版),2014,44(2):281-286.
WANG Qingnian,WANG Jun,CHEN Huiyong,et al.Accelerating and braking intention identification in hybrid vehicle[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition),2014,44(2):281-286.

[20] 姬芬竹,杜发荣,朱文博.基于制动意图识别的电动汽车能量经济性[J].北京航空航天大学学报,2016,42(1):21-27.
JI Fenzhu,DU Farong,ZHU Wenbo. Electric vehicle energy economy based on braking intention identification[J].Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2016,42(1):21-27.

[21] 张元才,余卓平,徐乐,等.基于制动意图的电动汽车复合制动系统制动力分配策略研究[J].汽车工程,2009,31(3):244-249.
ZHANG Yuancai,YU Zhuoping,XU Le,et al.A study on the strategy of braking force distribution for the hybrid braking system in electric vehicle based on braking intention[J].Automotive Engineering, 2009,31(3):244-249.

[22] 潘宁,于良耀,宋健.考虑舒适性的电动汽车制动意图分类与识别方法[J].清华大学学报(自然科学版),2016,56(10):1097-1103.
PAN Ning,YU Liangyao,SONG Jian.Braking intention classification and identification considering braking comfort for electric vehicles [J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2016,56(10):1097-1103.

[23] 王庆年,孙磊,唐先智,等.HEV制动意图识别的研究[J].汽车工程,2013,35(9):769-774.

WANG Qingnian，SUN Lei，TANG Xianzhi，et al. A study on braking intention identification for HEV[J].Automotive Engineering，2013，35(9)：769-774.

[24] 唐先智，王波，杨树军，等.基于 Hilbert-Huang 变换的制动意图聚类识别[J].汽车工程，2016，38(5)：580-586.
TANG Xianzhi，WANG Bo，YANG Shujun，et al.Cluster identification of braking intention based on Hilbert-Huang transform [J]. Automotive Engineering，2016，38(5)：580-586.

[25] 王英范，宁国宝，余卓平.乘用车驾驶员制动意图识别参数的选择[J].汽车工程，2011，33(3)：213-216.
WANG Yingfan，NING Guobao，YU Zhuoping. Parameter selection for the identification of driver's braking intention for passenger car[J]. Automotive Engineering，2011，33(3)：213-216.

[26] 王波，唐先智，王连东，等.基于 EEMD 和熵理论的电动汽车制动意图识别方法[J].汽车工程，2018，40(8)：935-941.
WANG Bo，TANG Xianzhi，WANG Liandong，et al. Braking intention identification method for electric vehicles based on EEMD and entropy theory [J].Automotive Engineering，2018，40(8)：935-941.

[27] 曲代丽. 基于模糊神经网络的驾驶员制动意图辨识技术研究[D].长春：长春工业大学，2016.
QU Daili. Research on Identification Technology of Driver's Braking Intention Based on Fuzzy Neural Network[D]. Changchun：Changchun University of Technology，2016.

[28] 刘剑开，张向文.电动汽车再生制动过程制动踏板位移与制动意图及制动强度之间的关系[J].科学技术与工程，2018，18(12)：317-325.
LIU Jiankai，ZHANG Xiangwen. Relationship among braking pedal displacement，braking intensity and braking strength in regenerative braking process of electric vehicle[J].Science Technology and Engineering，2018，18(12)：317-325.

[29] 周润景.模式识别与人工智能(基于 MATLAB)[M].北京：清华大学出版社，2018：139.

[30] 赵伟强. 商用半挂车制动意图辨识与制动力分配控制策略开发及验证[D].沈阳：吉林大学，2013.
ZHAO Weiqiang. Development and Test of Intention Recognition and Braking Force Distribution Control Strategies for Tractor-Semitrailer[D].Shenyang：Jilin University，2013.

[31] 赵轩，马建，汪贵平.基于制动驾驶意图辨识的纯电动客车复合制动控制策略[J].交通运输工程学报，2014，14(4)：64-75.
ZHAO Xuan，MA Jian，WANG Guiping. Composite braking control strategy of pure electric bus based on brake driving intention recognition[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering，2014，14(4)：64-75.

[32] 张文波. 基于隐马尔可夫模型的 EHB 系统制动意图识别方法研究[D].长春：长春工业大学，2014.
ZHANG Wenbo.Braking Intention Recognition for EHB System Based on Hidden Markov Model [D].Changchun：Changchun University of Technology，2014.