

智能轨道交通系统专刊序言

阳春华¹ 董海荣² 吕宜生³

作为高效、可持续发展的交通运输模式, 轨道交通是现代城市和区域运行的骨架, 是国家经济和社会发展的关键基础设施和重要基础产业. 我国《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》、《新一代人工智能发展规划》、《交通强国建设纲要》均对轨道交通的智能化提出了要求. 近年来, 人工智能、物联网、大数据、云计算、移动通信等技术的快速发展, 给传统的轨道交通行业提出了新的挑战.

智能轨道交通系统涉及设计制造、控制调度、运营维护全生命周期的智能化, 主要面临多层域协同智能感知与数据融合、列车运行控制与动态调度一体化、列车运行优化控制、复杂路网条件下的列车群动态调度、故障诊断、运行安全态势评估及应急处理等一系列科学和技术问题. 本专刊介绍了我国学者在上述相关领域的最新研究成果, 本专刊论文经同行评议录用了 16 篇. 还有一些稿件正在完善中, 将在后续发表.

随着我国高铁里程数和客运量的快速增加, 现有的控制手段和调度方法在快速、有效解决列车运行过程中出现的突发事件(比如电力故障、突发地震、山体滑坡、异物侵限等)方面尚有一定差距. 目前列车运行控制与调度采用分层架构, 突发情况下主要依赖调度员和司机的人工经验进行应急处置, 列车晚点时间较长, 旅客满意度不高. 因此, 如何针对高速列车运行过程中可能出现的突发事件, 提升其应急处置能力, 就成为保障高铁安全高效运行的一大难题. 宁滨、董海荣、郑伟、荀径、高士根等的综

述文章“高速铁路运行控制与动态调度一体化的现状与展望”对现有运行控制和动态调度的发展现状进行梳理, 在此基础上给出一体化的基本架构, 明确其基本内涵, 最后提出了未来的主要研究方向.

高速列车的安全运行是高铁运行与发展的首要问题. 我国高速铁路运营线路长, 线路环境复杂, 长期运行更是给列车上器件设备等的服役性能带来严峻考验, 给高铁安全运行带来严重的安全隐患. 故障测试与验证平台是确保实时故障诊断技术在高速列车上有效应用的重要手段和途径. 杨超、彭涛、阳春华、陈志文、桂卫华的“高速列车牵引传动系统故障测试与验证仿真平台研究”从故障注入、仿真可信度评估、算法性能评估和仿真平台实现等方法和技术方面进行分析, 并针对上述难题概述了一些解决方案, 提出并构建了一种集高速列车实时仿真、故障运行行为逼真模拟以及随机故障测试和故障诊断算法评估于一体的牵引传动系统故障测试与验证实时仿真平台; 最后, 总结并展望了高速列车安全监测验证平台未来研究方向.

列车运行时轴承故障的检测与定位对于列车运行安全与健康维护至关重要. 刘强等提出了一种基于动态潜结构建模与重构的列车轴承故障检测与定位方法. 首先, 提出基于动态内在典型相关分析(Dynamic-inner canonical correlation analysis, DiCCA)的列车多轴轴温动态潜结构建模方法; 进而, 给出基于 DiCCA 综合指标的列车轴承故障检测方法; 在此基础上, 提出基于 DiCCA 多向重构的列车轴承故障定位方法.

高速铁路沿线部署了大量风速监测传感器, 一旦监测到强风, 将通过调度中心发出信号, 调度沿线列车减速慢行甚至停车. 在报警过程中, 如何确定报警保持时间极具挑战. 如果保持过短, 则可能发生重复报警, 增加处置次数, 加重工作人员负担; 若取消过晚, 则影响轨道通过能力, 带来不必要的效率损失. 针对该问题, 刘昊俣等提出一种高速铁路强风报警解除时间调整策略. 该策略通过轨道沿线部署的风速计装置, 结合时空注意力循环神经网络对短时未来强风情况进行预测, 基于预测情况,

DOI 10.16383/j.aas.2019.y000003

引用格式 阳春华, 董海荣, 吕宜生. 智能轨道交通系统专刊序言. 自动化学报, 2019, 45(12): 2205-2207

Citation Yang Chun-Hua, Dong Hai-Rong, Lv Yi-Sheng. Preface of the special issue for intelligent rail transportation systems. *Acta Automatica Sinica*, 2019, 45(12): 2205-2207

1. 中南大学自动化学院 长沙 410083 2. 北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室 北京 100044 3. 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室 北京 100190

1. School of Automation, Central South University, Changsha 410083 2. State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044 3. The State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

自适应调整报警解除时间。

列车晚点预测及分析直接服务于高速铁路调度指挥。张琦等通过对列车晚点传播结构及传播规律的分析,提出了一种高速铁路列车连带晚点的智能预测及特征识别方法。首先利用列车晚点自身传播及相邻线列车晚点传播的关系,构建基于小波神经网络的列车连带晚点递阶预测模型;然后利用列车晚点波动的线性组合方程及其结构向量,进行列车连带晚点影响值的量化;最后综合连带晚点的实际值、预测值和影响值,将晚点分为严重晚点、消散晚点、潜在晚点、一般晚点四种类型,并通过成渝高铁的实例数据对所提方法进行了验证。

列车建模是开展列车控制与调度的基础。王呈等提出一种基于混合滤波最大期望算法的高速列车建模方法。借助递阶辨识理论,将高铁列车状态空间模型分解为线性子系统模型和非线性子系统模型;进而,分别利用卡尔曼滤波和粒子滤波对速度和位移状态进行联合估计;最后,使用最大期望方法辨识高铁列车子系统模型参数。列车在实际运行过程中,运行状态会受到运行环境的影响。谢国等提出了一种列车动力学模型时变环境参数自适应辨识方法。首先,依据数据特征确定滑动窗口位置与窗口尺寸;然后,构造列车动力学模型参数的条件数学期望,并结合粒子滤波与粒子平滑算法以及贝叶斯理论,估计预设模型参数下的列车运行状态;在此基础上,分析粘着系数的后验概率,并极大化条件数学期望对模型参数预设进行优化更新,进而实现模型真实参数的逐步逼近;最后,考虑雪地、隧道等场景下的粘着系数变化,对所提方法进行了仿真验证。

列车的精确定位,不仅关系到列车的运行安全,而且也直接影响列车调度效率。陈光武等提出一种基于实时校正动态模型偏差的扩展卡尔曼滤波算法用于列车定位。通过引入动态模型偏差补偿随机系统建模,利用最小二乘支持向量机对动态模型学习、训练及预测,并将偏差结果引入扩展卡尔曼滤波中进行补偿和校正,以此提高最后的定位精度。最后设计了车载试验,并采用实际磁悬浮列车数据对提出的算法进行验证。

牵引整流器是高速列车的关键部件之一,其可靠性要求非常高,但是由于长时间不间断运行,且工作环境复杂多变,极易发生故障。陶宏伟等提出了一种高速列车牵引整流器多类故障联合诊断方法。首先,基于三电平牵引整流器开路故障分析,建立整流器所有功率器件开路故障以及正常运行的状态空间模型并构建相应状态观测器;然后,基于正

常状态观测器进行故障检测,当检测到故障时,基于故障观测器区分功率器件开路故障和网侧电流传感器故障,进而诊断出功率器件开路故障位置和网侧电流传感器故障类型。

为了提高不确定情景下高速列车牵引系统剩余寿命预测的准确性,王秀丽等提出了一种基于改进相关向量机的剩余寿命预测方法。首先,采用改进的相关向量机方法,建立鲁棒性能良好的多步回归模型;然后将超参数的先验融入似然函数,通过最大化似然函数估计未知的超参数,利用首达时间方法从概率角度对剩余寿命进行了预测,最后通过牵引系统中电容器退化的案例,验证了所提算法的有效性。

针对复杂多样的钢轨场景,金侠挺等提出一种基于多模型的钢轨表面缺陷检测系统 DeepRail,用于铁路轨道的表面缺陷检测。该系统采用一个新的轻量级、可伸缩性的贝叶斯卷积神经网络 DeeperLab 获取概率分割和模型不确定性;改进 Xception 网络融入 Dropout 来近似后验分布,通过网络权值的伯努利分布中采样;利用注意力网络监督训练 DeeperLab,降低原始任务的难度,达到最优权重。

针对中低速磁浮交通的轨排自激振动问题,周丹峰等提出了一种轨排耦合自激振动分析及自适应振动控制方法。首先,建立了包括轨枕、导轨在内的多跨磁浮轨排动力学模型,通过理论方法分析轨排的模态振型、频率等关键参数;其次,建立了包含一体化电磁铁的悬浮模块的动力学模型,并与轨排模型结合建立轨排-悬浮模块耦合模型,分析了耦合系统失稳发生自激振动的原因;提出了一种带辨识器的自适应振动控制方法,能够实时辨识轨排的主要动力学参数,并由此产生自适应振动控制律。

机车优化操纵可以在安全、正点前提下为机车提供操控策略以最大限度节约能源。刘平等针对中车株洲电力机车有限公司设计的 HXD1-C64 电力机车,提出一种基于两阶段自适应 Gauss 配点重构的伪谱法,用于列车优化操纵问题高效快速求解。首先,建立了 HXD1-C64 电力机车优化操纵数学模型;然后,给出控制变量两阶段自适应 Gauss 配点策略,第一阶段采用对分配点,第二阶段引入斜率变化分析对控制变量配点进行自适应细分和合并;最后,在运行时间最短目标下对 HXD1-C64 电力机车优化操纵进行仿真实验。

重载列车是一种由上百甚至几百节车厢组成的动力集中式大载重系统,其牵引力/制动力需通过车钩相继传递给车厢,存在明显的非线性和大滞后

性. 付雅婷等提出一种基于钩缓约束的重载列车驾驶过程优化方法, 以实现重载列车安全、正点、节能运行. 分析列车钩缓系统受力原理, 基于其特性曲线, 采用翟方法构造重载列车钩缓模型及整车纵向动力学模型; 据此, 考虑钩缓约束运用多目标自适应遗传算法, 结合实际运行线路 (限速、坡道、曲线率等) 约束条件设定列车理想的运行速度目标曲线; 最后, 采用改进广义预测控制器设计重载列车驾驶过程优化控制方法, 跟踪理想速度目标曲线安全、正点、低能耗运行; 借助于大秦线上 HXD1 实际数据, 对所提方法进行了仿真验证.

有轨电车是城市公共交通的重要组成部分. 王云鹏等提出一种基于深度强化学习的有轨电车信号优先控制策略. 该方法不依赖于交叉口复杂交通建模, 在有轨电车整个通行过程中连续动态调整交通信号. 该模型协同考虑有轨电车与社会车辆的通行需求, 在尽量保证有轨电车无需停车的同时, 降低社会车辆的通行延误. 借助 SUMO 对所提方法进行了仿真实验验证. 燃料电池混合动力有轨电车由于可无网运行且节能环保而备受关注. 为了改善燃料电池/超级电容/动力电池大功率有轨电车的燃料经济性与系统耐久性, 张晗等提出一种有轨电车能量管理策略的多目标优化方法, 首先以氢燃料消耗量和能量源性能衰减率作为评价指标, 立多目标成本函数; 进而设计了基于状态机与非支配排序的能量管理 Pareto 多目标优化方法, 获得了有轨电车能量管理策略 Pareto 非劣解集, 并分析了能量管理策略的目标功率参数对性能指标的影响规律, 从而遴选出兼顾燃料经济性与系统耐久性的综合最优解.

本专刊的顺利完成, 离不开作者、审稿专家和《自动化学报》编辑部的大力支持与协助. 我们在此表示诚挚的感谢, 并希望本专刊能给该领域的相关人员提供参考, 对智能轨道交通系统的研究起到积

极的促进作用.

客座编委



阳春华 中南大学自动化学院教授. 主要研究方向为复杂工业过程建模与优化, 故障诊断和智能系统.

E-mail: ychh@csu.edu.cn

(**YANG Chun-Hua** Professor at the School of Automation, Central South University. Her research interest covers complex industrial process modeling and optimization, fault diagnosis, and intelligent system.)



董海荣 北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室教授. 主要研究方向为列车运行智能控制与优化, 调度控制一体化.

E-mail: hrdong@bjtu.edu.cn

(**DONG Hai-Rong** Professor at the State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University. Her research interest covers intelligent control and optimization of train operation, integration of scheduling and control.)



吕宜生 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室副研究员. 主要研究方向为人工智能, 机器学习, 智能网联驾驶, 平行交通管理与控制系统.

E-mail: yisheng.lv@ia.ac.cn

(**LV Yi-Sheng** Associate professor at the State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interest covers artificial intelligence, machine learning, intelligent connected and automated vehicles, and parallel traffic management and control systems.)