

doi: 10.7690/bgzd.2016.08.002

基于多缩微车的智能交通半实物仿真平台

苏致远¹, 马育林^{2,3}, 李建市², 周晶晶¹

(1. 军事交通学院研究生管理大队, 天津 300161; 2. 军事交通学院军用车辆系, 天津 300161;
3. 交通运输部公路科学研究院国家智能交通系统工程技术研究中心, 北京 100088)

摘要: 为了更真实地模拟现实环境中的人、车、路等交通要素及相关的交通设施, 解决交通安全与拥堵等问题, 提出一种缩微尺度下智能交通半实物仿真平台。介绍了半实物仿真平台的硬件组成和软件架构, 进行车载系统、道路及路侧系统设计, 详细说明此平台在车辆自主驾驶与多车交互驾驶、三维构图与定位和基于事件驱动的车联网集群混成控制 3 个方面的应用, 并进行仿真。仿真结果表明: 该平台能够使缩微智能车实现完全模拟真车在真实道路环境下的驾驶行为, 为交通系统仿真与智能交通系统的研究提供了有益借鉴。

关键词: 半实物仿真; 缩微智能车; 智能交通

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Semi-physical Simulation Platform of Intelligent Transportation Based on Micro Intelligent Vehicles

Su Zhiyuan¹, Ma Yulin^{2,3}, Li Jianshi², Zhou Jingjing¹

(1. *Administrant Brigade of Postgraduate, Military Transportation University, Tianjin 300161, China*; 2. *Department of Military Vehicle, Military Transportation University, Tianjin 300161, China*; 3. *National Center of Intellectual Traffic System Engineering & Technology, Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China*)

Abstract: In order to truly simulate the people, vehicles, roads and related factors of traffic facilities in real environment, solve the problem of traffic safety and congestion, put forward a kind of miniature scales semi-physical simulation platform of intelligent transportation. Introduced hardware and software architecture of the platform, designed on-board system, road and roadside system, detailed applications in driving autonomously and driving by interacting with other cars, three-dimensional localization and mapping, and clustered hybrid control based on event driven in internet of vehicles, finally simulated all the applications. Simulation results show that the platform can make the micro intelligent vehicles simulate real car's driving behavior in the real road environment completely, and provide beneficial reference for the study of the traffic system and intelligent transportation simulation system.

Keywords: semi-physical simulation; micro intelligent vehicles; intelligent transportation system

0 引言

城市交通系统发展到今天, 主要面临 4 大困境: 交通拥堵、安全问题、环境污染以及资源浪费, 而智能交通系统是解决以上问题最有效的方法。以往对智能交通系统的研究主要采取软件仿真的方法, 然而软件仿真存在真实性不足和难以模拟人的驾驶行为等问题; 此外, 进行大规模真实环境下的智能交通系统实验耗时费力、成本高昂, 且难以模拟自动驾驶行为。因此, 半实物仿真技术成为智能交通系统研究的重要手段。半实物仿真根据相似原理, 按照一定比例, 构建缩微环境下的智能车路系统, 模拟智能交通系统的运行过程, 为车辆联网、协同驾驶、动态诱导、指挥调度以及监控管理等运行手段的自动化与智能化发展提供理论与技术基础。

1 半实物仿真平台设计

1.1 半实物仿真平台整体架构

半实物仿真平台用来模拟现实环境中的道路交

通及其配套设施, 包括可重构的缩微道路环境实验平台、多台缩微智能车、无线通信网、视频监控系統、监控指挥终端服务器和数据服务器, 其相互关系如图 1 所示。

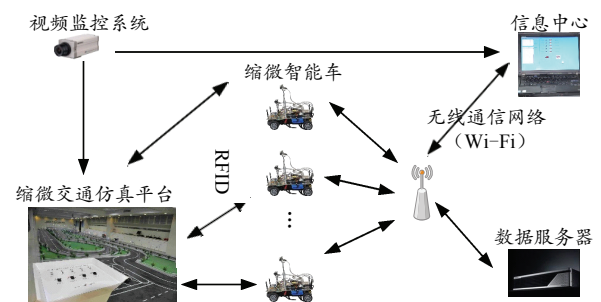


图 1 半实物仿真平台的整体架构

可重构缩微道路交通环境以 1:10 的缩微比模拟现实道路, 具备各种交通要素。缩微智能车配备多种传感器, 具备环境感知和自主行驶能力, 可通过无线通信网络分别与监控指挥终端服务器和数据服务器通信, 并且缩微智能车之间通过电子标签及无

收稿日期: 2016-03-21; 修回日期: 2016-05-30

基金项目: 国家博士后科学基金(2013M542433); 天津市自然科学基金(14JQCJNC101600)资助

作者简介: 苏致远(1990—), 男, 山东人, 在读硕士, 从事智能车环境感知研究。

线通信网无线连接。可重构缩微道路环境实验平台周边设有视频监控系统，并与监控指挥终端服务器连接。基于此，架构的智能交通半实物仿真平台能够有效地模拟实际交通系统，并符合智能交通的发展趋势，其仿真结果能够为城市交通发展建设提供有力借鉴和参考。

1.2 车载系统设计

车载系统主要是指缩微智能车的软/硬件构成。车载系统的组成应该与缩微车所要实现的功能相适应；因此，车载系统由底盘、感知模块、通信模块、控制模块、决策模块及电源模块 6 个部分组成。底盘是车载系统驾驶行为的执行对象，是车载系统与道路环境连接的纽带，需要能够准确执行各种指令，适应各种行驶条件；感知模块需要完成环境感知任务，通过摄像机、光电管等设备获取环境信息，处理后交由决策模块进行决策；通信模块主要指 Wi-Fi 模块及其外接天线和串口等，负责单车与外界的通信以及车内数据传输；控制模块主要由单片机接收决策模块发来的控制信息，并执行转向、行驶和制动等基本动作，同时向决策模块返回车辆行驶的基本参数；决策模块作为全车大脑，根据感知模块返回的环境信息和控制模块返回的车辆行驶基本参数综合决策，规划行进路线，确定行驶方案；电源模块为以上各模块提供所需的电能。

可重构缩微道路交通环境是以 1:10 的缩微比构建的，适应于微缩的交通系统，缩微智能车的尺寸是真实车辆尺寸的 1/10，时速 1~1.5 m/s 对应原尺度的时速 36~54 km/h。虽然在几何比例和动力上对车辆进行了微缩，但在智能驾驶技术上没有降低，对底盘的性能和软件设计提出了较高要求。感知模块包括 2 个摄像头、红外光电管、超声波传感器以及雷达。摄像头负责车道线以及交通标志识别；红外光电管、超声波传感器以及雷达负责对道路障碍以及周围车辆的判定；道路位置感应装置对缩微智能车当前所处的位置进行判定；传感器模块检测各种道路环境信息，并将采集的信息发送给中央处理系统。无线通信网是由无线路由器和无线网卡收发设备搭建而成的 Wi-Fi 无线通信网。车模的底盘仿真度高达 90% 以上，对真车的长、宽、高以及更多细节的真实缩小，具有良好的操纵性能。

缩微智能车的软件部分主要完成图像数据处理、障碍物检测、路径规划判断、运动控制执行和交互通信等功能设计。图像处理要识别当前道路车

道线和交通信号，在预处理中运用中值滤波和 Sobel 算子边缘增强，车道检测识别利用 Hough 变换，障碍物检测结合光电管和摄像头的检测结果，并对动态障碍进行跟踪。路径规划判断基于变尺度栅格法，重点关注感兴趣区域。整体控制采取基于道路模式确定行驶策略的方法，流程见图 2，运动控制使用增量型 PID 控制策略，并在此基础上研究车队跟随的滑膜控制理论。交互通信采用 TCP/UDP 协议。

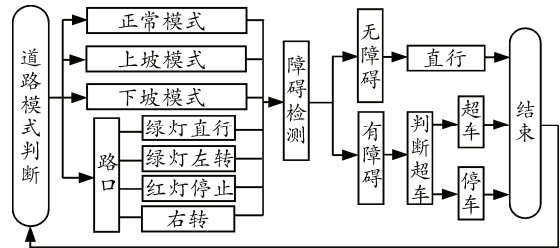


图 2 缩微智能车整体控制流程

在车队协同驾驶方面，设计车队协同驾驶的混成自动机，对车队协同驾驶过程中的动、静态信息进行分类和融合。提供的车队协同驾驶分布式体系的软件架构可以将系统整体功能分为上、下两层功能单元。协作层的车队协同驾驶混成自动机将车队有限的驾驶策略联系起来，通过车队位置、长度、速度、间隔等触发条件的设定完成各种车队协同驾驶策略的切换控制。协同驾驶示意图如图 3 所示。

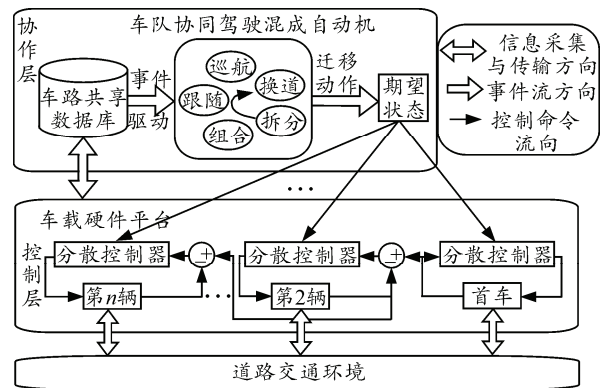


图 3 多缩微智能车的协同驾驶

1.3 道路及路侧系统设计

道路和路侧系统主要模拟实际场景中的道路环境和辅助设施。可重构的缩微道路环境应该包含实际道路的各种要素，如道路交通标志、道路标线、信号灯等基本道路设施，以及立交桥、交叉路口、急弯、陡坡、窄路等多种行驶环境。路侧系统是为了保证智能车队按照预期效果顺利运行而构建的辅助设备，可以分为监控指挥终端、视频监控系统、无线通信网络和数据服务器 4 部分。

监控指挥终端服务器一方面从数据服务器中获取各车的静态信息和动态信息，另一方面根据指挥员的主观意识对任意一台或多台车进行实时监控，并可以根据实验要求对各车进行相关控制、指挥与调度；视频监控系统可以监测整个交通环境，可以为智能交通研究提供模型参考，对车辆自动驾驶行为与群体智能行为提供分析材料；无线通信网络用来模拟现实中的移动通信网络，将所有的车辆、交通设施通过数据网络的形式连接在一起，使之具备车联网的条件；数据服务器可以实时存储车辆运行状态，积累大量实验数据，方便后期的实验优化和相关验证。路侧与车辆采用无线通信方式；信息中心与路侧采用有线通信方式。

2 仿真平台应用

交通仿真是智能交通系统的一个重要组成部分，是计算机技术在交通工程领域的一个重要应用。它以虚拟现实技术为手段，利用系统仿真模型模拟道路交通系统的运行状态，采用数字方式或图形方式来描述动态交通系统，以便更好地把握和控制系统的运行方式，常用的有 VISSIM/VISUM、TransCAD/TransModeler、Cube 以及德国柏林交通系统研究所 (institute of transportation systems) 的 SUMO 仿真平台^[1-2]等。随着多体系统动力学仿真手段及基于模型设计方法的发展，半实物仿真技术愈来愈成熟和重要。智能交通硬件在线仿真系统可以为车辆自动驾驶、协同驾驶、以及车联网集群行驶提供有利的实验平台。

1) 车辆自动驾驶与多车交互驾驶仿真。



图 4 车辆自动驾驶与多车交互驾驶仿真

根据现有的技术，可将智能汽车分为自主式和网联式 2 种类型，自主式智能车主要基于环境感知设备，获取环境信息并进行自动决策控制；网联式智能车主要基于通信互联和简单的传感器，获取环境信息并进行决策控制。基于以上分类，半实物仿

真平台既可以进行单车的自主式驾驶仿真，又可以进行集群的网联式驾驶仿真；因此，可基于半实物仿真平台开展相关的感知、决策、通信和控制研究。研究多传感器信息获取及车路交互数据的融合与分类融合，比较不同的控制策略，试验各式各样的决策模型。自动驾驶与多车交互驾驶仿真如图 4。

2) 三维构图与定位仿真。

“自主导航”是智能移动机器人领域的一个重要研究方向，而同时定位与地图创建 (simultaneous localization and mapping, SLAM) 是机器人实现自主导航要解决的核心问题。SLAM 问题是指把智能移动机器人放在未知环境中，机器人增量式地创建未知环境的连续地图，同时确定它在地图中的位置^[3]。基于半实物的智能交通仿真平台，可研究利用相机或一线雷达等的缩微智能车同时定位与地图构建问题，缩微环境定位仿真如图 5。相比于普通室内环境，该平台提供了各种交通场景，为研究真正交通场景及陌生环境下的 SLAM 问题提供了经验基础。

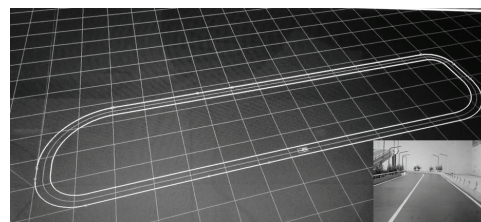
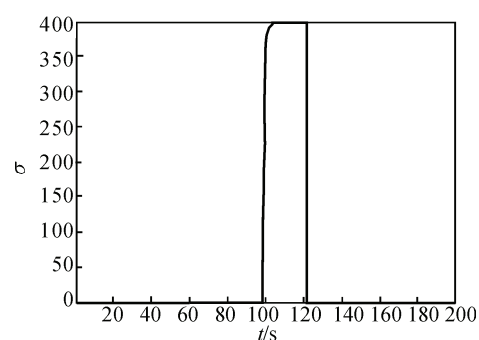
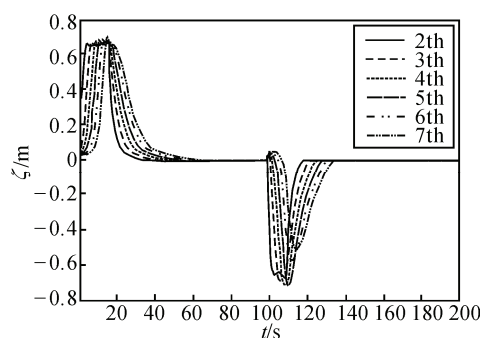


图 5 缩微环境定位仿真

3) 基于事件驱动的车联网集群混成控制仿真。



(a) 基于平均驻留时间的切换信号



(b) 车间距误差变化曲线

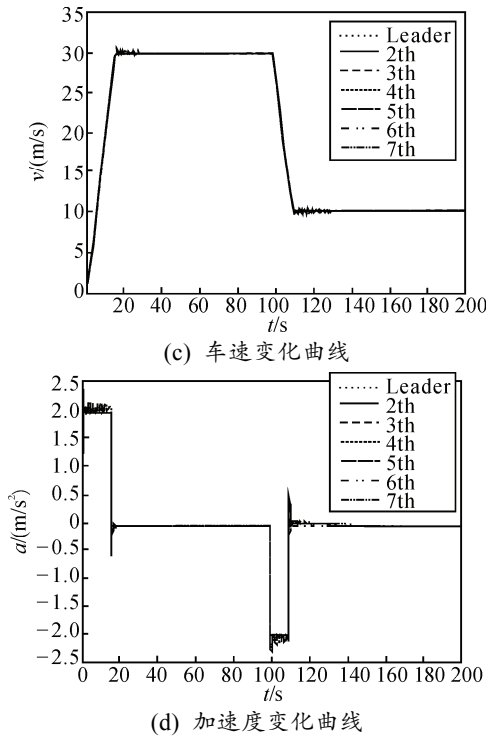


图 6 基于平均驻留时间的车队变工况切换控制仿真

设计基于事件驱动的车联网集群混成控制算法, 采用 Matlab/Simulink 仿真工具进行仿真。根据不同事件类型等, 采用自适应控制和最优理论, 分析通信延时、离散随机事件以及参数与扰动的不确定性对多车集群行驶稳定性的影响因素, 利用平均驻留法对集群算法中的控制参数进行调节, 完成控

(上接第 4 页)

参考文献:

[1] Nguyen V. H., Golinval J. Fault detection based on kernel principal component analysis[J]. Engineering Structures, 2010, 32(11): 3683-3691.

[2] Zhu Z B, Song Z H. Fault diagnosis based on imbalance modified kernel fisher discriminant analysis[J]. Chemical Engineering Research & Design, 2010, 88(8): 936-951.

[3] 杨帆, 胡金海, 陈卫, 等. 主元分析方法在航空发动机故障检测与诊断中的应用[J]. 机械科学与技术, 2008, 27(3): 330-333.

[4] 崔建国, 严雪, 蒲雪萍, 等. 基于动态 PCA 与改进 SVM 的航空发动机故障诊断[J]. 振动、测试与诊断, 2015, 35(1): 94-99.

[5] 尉询楷, 冯锐, 朱纪洪. 航空发动机 PHM 中的数据挖掘机遇与挑战[J]. 计算机工程与科学, 2012, 34(4): 88-93.

[6] 李应红, 尉询楷. 航空发动机的智能诊断、建模与预测方法[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 200-208.

[7] 胡金海, 谢寿生, 陈卫, 等. 基于核函数主元分析的航空发动机故障检测方法[J]. 推进技术, 2008, 29(1): 79-84.

[8] 胡金海, 李应红, 杨帆, 等. 一种基于自适应核主元分析的故障检测方法[J]. 控制工程, 2007, 14(7): 81-84.

制算法的优化^[4]。车队变工况切换控制仿真如图 6。

3 总结

基于多缩微车的智能交通半实物仿真平台, 缩微智能车可以完全模拟真车在真实道路环境下的驾驶行为, 便于研究自动驾驶技术和车联网条件下的智能交通系统的运行管理, 对将来智能交通系统的设计运营具有重要意义。该平台还将为机械传动、自动化仿真与控制、计算机视觉技术、人工智能技术、通信技术、传感技术、信息融合技术等专业提供多学科交叉研究的载体和实验平台^[5]。

参考文献:

[1] Ma Y L, Xu Y C, Wu Q, et al. Hybrid Control for Cooperative Vehicle-Platoon via the Hardware-in-the-loop Simulator[C]. Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems. The Hague: IEEE, 2013, 10: 2373-2378.

[2] Ma Y L, Wu Q, Yan X P, et al. The Hardware-in-the-loop Simulator: A Mechatronic Testbed for Cooperative Vehicles Maneuvers[J]. Intl. Journal of ITS Research, 2013, 11(1): 11-22.

[3] 周武. 面向智能移动机器人的同时定位与地图创建研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.

[4] 马育林, 徐友春, 吴青. 车队协同驾驶混成控制研究现状与展望[J]. 汽车工程学报, 2014, 4(1): 1-13.

[5] 赵建伟, 班钰, 王义, 等. 基于 Arduino 的智能小车的控制系统设计[J]. 兵工自动化, 2015, 34(5): 74-76.

[9] Zhao S J, Zhang J, Xu Y M. Monitoring of processes with multiple operation modes through multiple component analysis models[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2004, 43(22): 7025-7035.

[10] Natarajan S, Srinivasan R. Multi-model based process condition monitoring of offshore oil and gas production process[J]. Chemical Engineering Research & Design, 2010, 88(5): 572-591.

[11] 谢磊, 王树青. 递归核 PCA 及其在非线性过程自适应监控中的应用[J]. 化工学报, 2007, 58(7): 1776-1782.

[12] 孙靖杰, 赵建军, 彭军, 等. 改进的递归 PCA 方法对某型发射机的自适应监测[J]. 电机与控制学报, 2012, 16(2): 77-82.

[13] Scholkopf B, Smola A, Muller K R. Kernel principal component analysis[C]. Advances in kernel methods-support vector learning. Cambridge: MIT Press, 1999: 35-42.

[14] Baudat G, Anouar F. Kernel-based methods and function approximation[C]. International Joint Conference on Neural Networks. New York: IEEE, 2001: 56-60.

[15] 蒋浩天. 工业系统的故障检测与诊断[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 128-140.

[16] Frederick D K, Decastro J A., Litt J S. User's Guide for the Commercial Modular Aero-Propulsion System Simulation(C-MAPSS)[EB/OL]. <http://gltrs.grc.nasa.gov>, 2007.