

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2018.01.012

智慧高速公路架构与发展路径设计

张纪升, 李 斌, 王笑京, 张 凡, 孙晓亮

(交通运输部公路科学研究院, 北京 100088)

摘要: 国外在智慧高速方面已经开展了自动驾驶和车路合作技术、标准和试验验证等方面的探索, 如何结合我国的发展现状和实际需求, 探索我国智慧高速公路架构与发展路径具有前瞻意义。本文首先对国际智慧高速公路发展特征进行归纳总结, 通过对比分析认为我国智慧高速公路要强调平台性、互联性以及终端化概念。通过采用了面向过程的方法, 提出了我国智慧高速公路服务领域和服务列表, 并提出了基于“端-管-云”思路的智慧高速公路的技术架构。通过对智慧高速公路的特征和要素的细化分析, 通过对感知识别、管控服务和基础设施3个方面的特征分析, 提出了我国智慧高速公路发展4个等级划分方法并给出了现阶段我国智慧高速公路技术体系。最后, 对应用该框架开展的典型示范工程进行了介绍。该框架将对智慧高速公路的设计与建设、多层级数据链体系的构建、关键设备研发等提供重要支撑, 对未来我国智慧高速示范工程的建设具有重要的参考意义。

关键词: ITS; 智慧高速公路; 合作式智能交通系统; 云架构; 数据链

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2018)01-0088-07

Design of Architecture and Development Roadmap of Smart Expressway

ZHANG Ji-sheng, LI Bin, WANG Xiao-jing, ZHANG Fan, SUN Xiao-liang

(Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

Abstract: The technologies, standards and field tests of automated driving and vehicle-infrastructure cooperation for smart expressway has been explored abroad, thus, how to combine the current situation with the actual demand to explore the architecture and development roadmap of smart expressway in China has significant meaning for the future. First, based on the summary and comparative analysis of smart expressway development features in foreign countries, the smart expressway in China should emphasize the concepts of platform, connectivity and terminology. By using a process-oriented approach, the service field and service list of Chinese smart expressway and a “terminal-link-cloud” based technical architecture of smart expressway are proposed. Second, after the detailed analysis of the characteristics and the essential factors of smart expressway on the characteristics of perception, control and management service, and infrastructure, the classification method of 4-level Chinese smart expressway development and the technical system of current smart expressway are put forward. Finally, a typical demonstration project based on this framework is introduced. This architecture could offer an important support for design and construction, multi-level data link system construction and key equipment development of smart expressway in China, and has an important reference for the construction of demonstration project of Chinese smart expressway in the future.

Key words: ITS; smart expressway; cooperative ITS; cloud architecture; data link

收稿日期: 2017-10-18

基金项目: 2016年度交通运输战略规划政策研究项目(2016-4-6)

作者简介: 张纪升(1978-), 男, 山东安丘人, 博士, 研究员. (zjs@itsc.cn)

0 引言

截至目前,全国高速公路通车里程已突破13万 $\text{km}^{[1]}$,完成了高速公路规划里程的90%以上,高速公路网的规模效应已经显现,网络化交通运行特征明显,中东部地区高速公路跨省出行量占全部公路出行量的30%~40%,高速公路客货运周转量已经占全社会公路客货运总量的30%以上,是中长距离客货运运输的主要承担者。另外,智能车辆的发展与应用已成大势所趋,根据汽车行业咨询机构HIS的报告,到2025年左右,普通家庭将能享受自动驾驶技术带来的安全和便捷的驾驶体验;Lux Research报告认为,到2030年具备二级及以上自动化水平的汽车占比将达到92%,今后10年将出现智能化、网联化的车辆与人工驾驶车辆共存、混行的新形态。为适应当前高速公路交通需求的增长、公众便捷和安全出行的服务需求,以及恶劣气象环境带来的安全风险,应用智能交通技术,充分挖掘高速公路的服务能力,建设适应不同智能化程度运载工具的智慧高速是必然选择。

20世纪80年代攻关并分路段建设的高速公路监控、通信、收费三大系统,为高速公路信息化、智能化奠定了坚实基础,而2015年9月实现的高速公路不停车收费系统全国联网,更是将高速公路信息化与智能化推向了新的阶段。《收费公路联网收费多义性路径识别技术要求》(交通运输部2015第40号公告)的发布和实施,将为所有在途车辆配置具备DSRC交互功能的复合通行卡,将构建一个全样本的车路交互平台。同时,随着移动互联网、大数据、云计算等新一代信息技术的发展,具备强车路交互功能的智慧公路体系的构建将成为必然。与此同时,多位院士于2014年联合提出了“新一代国家交通控制网”的概念,试图实现对每条道路的全时空控制、每辆车的全程控制,实现道路交通“零伤亡、零伤害、零堵塞、极限通行能力”。

欧美等发达国家早在20年前就已进入“后建设”时代,近10年随着信息、通信和传感技术的发展,纷纷提出了第五代道路、合作式智能交通、互联车辆以及智慧公路等面向高速公路智能化的发展战略,并开展了大量的技术研发和示范推广工作^[2]。本研究将在总结分析国际智慧高速公路发展特征基础上,结合国内智慧高速公路的发展现实需求,参考《中国智能运输系统体系框架》^[3]的框架设计方法,提出中国智慧高速公路的总体架构及发展路径建议。

1 发达国家发展启示

美国的公路智能化发展主要从两大方面展开:一是面向运营管理,各州纷纷启动了智慧通道(Smart Corridor)^[4]的建设;二是面向车路合作,开展了互联车辆(Connected Vehicle)^[5]计划。其中,智慧通道主要包括区域通道级高速公路的主动交通管理^[6]和面向运输车辆的车队管理、车辆信息服务等。互联车辆计划通过利用专用短程通信技术(DSRC),实现车车/车路的交互与协同,确保车辆在高速公路上的自组织、高效、安全行驶。

与美国的发展模式类似,欧洲也开展了以主动交通管理为主要特征的Easyway项目^[7]和合作式智能交通系统(C-ITS, Cooperative ITS)战略^[8]。Easyway项目以欧洲跨国高速公路的信息共享和协同调度为主要目标,开展了区域出行者信息服务、主动交通管理服务以及货运和物流服务。而C-ITS战略主要面向车车/车路合作,开展技术、标准和试验验证。为进一步落实上述战略,荷兰、德国、奥地利开展了ITS走廊(ITS Corridor)的跨国高速公路示范工程。

日本在整合高速公路ETC系统、VICS系统基础上,提出了ETC2.0战略^[9],该战略以基于DSRC的车路交互技术为核心,整合车内智能终端,通过在高速公路上设置路侧热点(ITS SPOT)实现了收费、信息服务和车车、车路交互等功能,建立面向安全、管理和服务的开放平台。

韩国于2008年提出并实施了Smart Highway^[10]项目,该项目共提出了安全驾驶辅助、车路高速通信服务、面向用户的便捷服务,综合考虑了道路设施的智能化和多种通信模式下的车车/车路交互等服务,还包括了6项信息化基础设施和9项关键技术的战略规划。

发达国家在面向高速公路的智慧系统发展过程中主要特点有:

(1) 信息获取和发布商业化。以互联网企业为主的私营机构逐渐占据了信息采集和服务领域的主导地位。INRIX、TomTom等企业利用互联网数据开展了大量分析工作,并以此推出了覆盖几十个国家的个性化信息发布业务。近期,结合智能穿戴技术的发展,信息发布服务已具备了融合车载导航、智能手机甚至可穿戴设备的能力,基于智能终端的智慧交通服务体系已经具备一定的市场规模。

(2) 重视高速公路车路交互技术。日本依托广泛的ETC系统平台,开发了兼容ETC系统和VICS

信息服务功能的 ITS SPOT 系统,实现了车车/车路的高效、安全通信。欧美国家在 ETC 应用方面并无规模化应用,但 DSRC 通信协议、安全机制的标准化以及车车/车路合作一体化测试验证等方面开展了大量工作。结合未来自动驾驶、无人驾驶车辆的发展,无线交互平台将成为智慧高速公路为公众提供更加安全和便捷服务的基础。

(3) 空基技术对交通运行的支撑作用日渐显现。随着地基高精度定位技术和地图技术的发展,其对运输服务和交通运行管理的支撑功能越来越强大,同时无人机等装备在线型设计、养护检测、日常巡查监测和应急处置方面显示了明显的优势。

2 中国智慧高速公路系统需求特征及用户服务域

目前,“智慧公路”概念和内涵尚没有统一的定义,综合国内外在智慧公路建设发展方面的探索,从服务功能上是基本一致的,即:智慧公路是为充分发挥高速公路的功能属性,集成应用先进的感知技术、传输技术、信息处理技术、控制技术等,形成开放共用的基础平台;它以安全、高效、便捷、绿色为目标,结合多样、开放的运营管理与服务模式,为人和货物的快速运输提供可靠的网络化通行服务,为车车/车路交互提供自由的通信管道服务,为应急事件提供全时可响应的应急服务,为出行者提供精细化、自主化的出行服务。

相对于传统“智能交通”的定义,“智慧高速公路”概念更加强调平台性、互联性以及终端化概念。在新的通信、计算智能技术发展条件下,我国发展“智慧高速公路”主要的需求和着力点包括:

(1) 强调基于终端应用的总体架构。智能手机等移动智能终端已经普及,无线通信技术在整个智能交通系统中发挥着至关重要的作用^[11]。目前,利用 ETC 电子标签、基于移动终端的定位和信令数据获取动态交通运行信息,分析路网运行状态已成为重要手段。车辆终端化、智能化的发展,为未来信息获取、传递,甚至执行管控指令提供了重要基础。

(2) 以开放和交互的智能化基础设施为用户提供交互共享平台。发达国家纷纷将无线通信网及路侧智能基站作为高速公路的基础设施,将车路交互平台,尤其是 DSRC 交互平台,作为基本服务提供给公路出行者是智慧高速公路的重要特征之一^[12]。

(3) 引入“互联网+”思维和运营模式:当前的高速公路机电系统运营很少引入市场化力量,除了通行费这一主要经济来源之外,并没有找到其他

赢利点,建设智慧高速公路的目的之一就是要引入互联网思维,将高速公路及其智能化设施与用户出行和服务需求互联,在市场化环境中优化服务能力。

(4) 重视空间技术对智慧高速公路提升作用:无人机等低空监控技术已经在多个领域体现出了无限的潜力,国内外普遍相信高精度定位、三维地理信息技术以及无人机等技术的应用将对 ITS 跨代发展提供有力支撑。智慧高速公路将运用低空监控技术有效提升全断面事件发现、现场状态获取以及救援监测能力。

《中国智能运输系统体系框架》专题组采用了面向过程的方法,即将系统分解为过程,产生自上向下、结构清晰的系统结构,通过用户服务定义、逻辑架构和物理框架等步骤确保系统的完备性。智能运输系统体系框架中用户服务领域的划分相对稳定,受技术发展影响较小,本文参考服务领域在高速公路的应用,结合智慧高速公路发展需求,提供的服务领域和服务,如表 1 所示。

表 1 智慧高速公路服务领域和服务列表
Tab. 1 Service field and service list of smart expressway

服务领域	服务名称	服务领域	服务名称
1. 交通管理与控制	1. 交通运输规划支持	4. 车辆安全与辅助驾驶	18. 视野的扩展
	2. 基础设施的维护管理		19. 纵向防撞
	3. 交通均衡控制		20. 横向防撞
	4. 需求管理		21. 合流区防撞
	5. 紧急事件管理		22. 碰撞前乘员保护
2. 电子收费与支付	6. 人工半自动收费	5. 运输管理与服务	23. 自动驾驶
	7. 电子不停车收费 (ETC)		24. 营运车辆监视
	8. 移动支付		25. 一般货物运输管理
	9. 自由流收费		26. 特种运输的管理
3. 出行服务	10. 出行前信息服务	6. 紧急事件和安全	27. 紧急情况的确证及人身安全
	11. 行驶中驾驶员信息服务		28. 紧急车辆及智能装备管理
	12. 途中公共交通信息服务		29. 危险品及事故的警示
	13. 个性化信息服务		30. 交汇处的安全服务
	14. 路径诱导及导航服务		31. 应急响应服务设施
	15. 服务区综合服务		32. 智能安全保障服务
	16. 高精度位置服务	7. 能源管理与服务	33. 绿色能源互联网
	17. 沿线无线互联网服务		34. 移动/快速充电服务

3 智慧高速公路系统架构设计

3.1 智慧高速公路技术架构

“端-管-云”是当前“互联网+”技术下重要的技术架构,智慧高速公路融合“互联网+”架构及数据链体系,构建的技术架构如图1所示。

图1左侧的“端-管-云”体系架构中,“端”,包括交通系统中的人、运载工具、货物等核心载体所持有的移动智能终端、车载装备等,乃至

提供服务的无人机、充电装置等;“管”,主要指的是高速公路管理部门在提供高速公路通行管道服务基础上,提供车车/车路交互所需的通信管道,包括路域范围内的无线局域网服务、车路交互网、高精度定位服务的接入等;“云”,主要强调的是管理的集中化、数据的资源化、系统的集成化,通过“云化”处理,能够充分减轻路段管理者对于设备维护的负担,使数据规模化、资源化,在此基础上,进一步开展基于大数据的分析和决策支持。

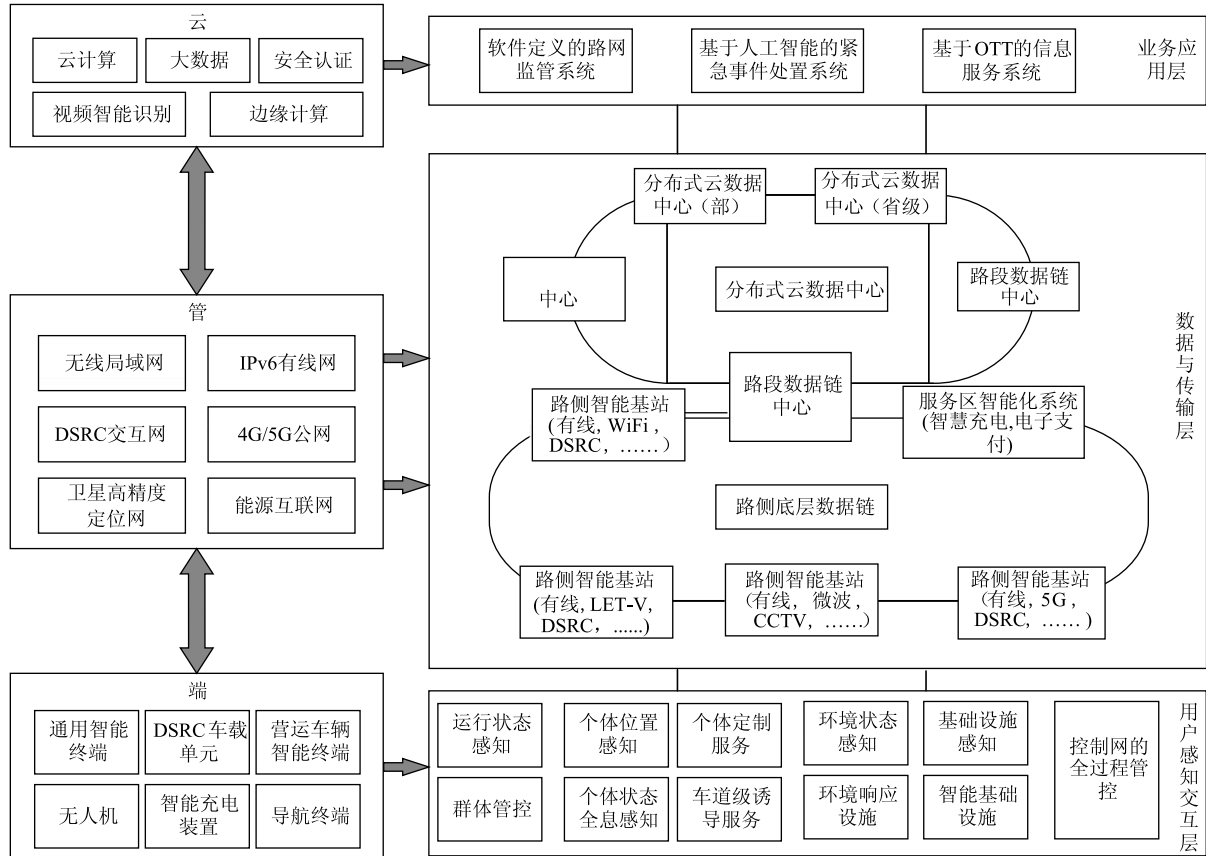


图1 智慧高速公路的技术架构

Fig. 1 Technical architecture of smart expressway

图1右侧的“用户感知交互层-数据层-业务应用层”体系结构中,主要强调的是在“端-管-云”架构下的逻辑与数据架构。该架构的核心是:多网融合的路侧智能基站系统,扁平化、分级授权和安全的数据链体系,以及融合“互联网+”和人工智能技术的三大业务应用系统。

(1) 多网融合的路侧智能基站系统。路侧智能基站首先为用户提供DSRC网、WiFi网、LTE-V、4G/5G等可按需选择的融合通信网络服务;其次,具备集成路侧交通信息采集、发布等系统的能力,为系统提供通信、供电等一体化功能,根据管理需

要智能基站还具备北斗地面增强等位置信息服务功能;最后,结合车车、车路交互中响应速度快、时延小的要求,路侧智能机站具备本地边缘计算能力,即能实现本地小区域范围动态感知和反馈信息的计算、处理与指令自动化执行功能。智能基站应具备全网唯一标识地址(IPv6地址),根据业务需要进行动态数据链的构建。

(2) 扁平化、分级授权和安全的数据链。“数据链”概念最早出现在信息化战争领域,是链接数字化战场上作战平台(传感器平台、指挥控制平台以及武器平台),处理和传输(交换、分发)战术信息

(态势信息、平台信息和作战指令信息等)的数据通信系统^[13]。随着信息感知与执行设施终端化、个体化,车车、车路交互低时延、可靠交互需求不断增强,不同层级的管理机构对于动态交通状态、管控等需求不断增强,依托路侧智能基站系统、云计算技术,构建一套扁平化、分级授权和安全的数据链,实现海量感知信息的跨平台传输和处理,和信息感知、管控与服务业务的高效处理和响应。

(3) 融合“互联网+”和人工智能技术的三大业务应用系统。基于个体终端的精细化数据和智能基站获取的动态交通信息,建设运营监管系统,实现路网状态的车道级表达,通过深度学习技术,对终端的历史行驶轨迹与当前行驶情况进行综合分析,对异常事件高精度判别和预测;基于高精度定位和地图,实现应急救援车辆车道级监控和导航服务,实现救援过程的精准化,实现事件应急处置预案的高效匹配,快速推演和评估功能。同时,引入互联网企业和互联网思维,构建独立于公路建设管理的

运营服务体系,通过智能终端实现与出行参与者的动态交互,以 O2O(线上到线下)模式向公路用户提供个性化、互动式服务。

3.2 智慧高速公路发展等级

2014 年,美国汽车工程师协会提出了自动驾驶汽车分级标准及其功能描述^[14],以人与系统参与驾驶的程度对自动驾驶等级进行了定义,明确了载运工具的智能化也是一个不断发展的过程,《国家车联网产业标准体系建设指南——智能网联汽车 2017 年》中,按照网联通信内容及实现的功能不同,划分为网联辅助信息交互、网联协同感知、网联协同决策与控制 3 个等级^[15]。本文以为服务对象提供更高水平的交通服务,最终实现设施网、能源网和运输服务网多网融合的新一代国家交通控制网为目标,按照基础设施智能化、感知识别与通信、管控主体等不同,将智慧高速公路划分为单点感知与重点管控、精准感知与主动管控、全息感知与协同管控以及多网融合的交通控制网等 4 个等级(如表 2 所示)。

表 2 智慧高速公路发展等级

Tab. 2 Levels of smart expressway development

等级	名称	特征	感知识别	管控服务	基础设施
1	单点感知与重点管控	提供基本的可测、可视服务	监控系统等路侧感知系统和手机定位等信息	以人为主的控制可变情报板、导航服务	定期巡检与养护
2	精准感知与主动管控	提供个体精准感知与主动干预服务	车辆位置、车辆状态感知与交互	以人为主/系统为辅路侧智能基站和车载主动干预	在线监测与智能养护
3	全息感知与协同管控	提供协同化感知与管控服务	人与系统协同合作式列队行驶、智能车车/车路双向交互平台		气候环境等自适应基础设施
4	多网融合的交通控制网	运输网、信息网、能源网多网融合,全局最优下的协同决策与控制	泛在互联网平台、智能化基础设施、能源互联网		

3.3 现阶段智慧高速公路技术体系

考虑新一代信息技术对高速公路管理与服务产生的变革性影响,结合考虑技术发展和现状需求,当前智慧高速公路技术体系如图 2 所示,主要面向上述 7 大服务领域,构建云路网中心、高速通信网、路侧热点等 6 项基础设施,并重点解决 DSRC 车车/车路通信、大数据分析等 8 项关键技术。

6 项基础设施包括:融合支撑车车/车路通信且兼容 DSRC、RFID、4G/5G、WiFi 等多种技术的无线通信网络和高速公路光纤通信网络的高速通信网;集成信息采集与发布、车路通信、定位增强等多功能的智慧路侧热点设施;北斗导航系统及地面增强站等定位服务提供功能的位置服务设施^[16];承载区域路网运行监测和管控,并具有大数据分析,支持车车/车

路通信等全面服务功能的云路网中心;面向局地应急事件的自动化应急响应服务设施;涵盖服务区充电及配套服务、动态无线充电车道及管理的充电设施。

8 项关键技术包括:应用 DSRC 及 LTE-V 技术的车车/车路通信技术;采用交通地理信息数据偏转加密算法高精度定位与地图技术;基于交通运输行业密钥管理和证书认证系统的不同车辆种类、不同认证级别的智慧高速公路安全认证技术;融合交通监测与管控的无人机监测与处置技术^[17];融合公路气象监测数据与气象部门的中尺度气象数据的精细化气象与环境预警技术;基于 DSRC 天线优化布局^[18]和其他定位辅助技术的自由流电子收费技术;基于非接触充电车道和车桩兼容的移动/快速充电技术;基于多种交通数据来源的交通大数据分析技术。



图2 现阶段的智慧高速公路技术体系

Fig. 2 Technical system of current smart expressway

4 应用案例

京港澳高速公路驻马店到信阳段智能管控示范工程,以构建高速公路“可视、可测、可控和可服务”功能体系为目标,针对通道型高速公路管理与服务总体需求,结合京港澳高速驻信段的地形、气候及管理特点,以“注重实用性、注重创新性、注重示范性”为科技示范路建设原则,依托国内外先进的信息化、智能化技术手段,在示范路段现有机电设施和管理系统基础上,重点推广应用高速公路运行状态综合评估与决策支持技术、主线交通均衡控制技术、不良环境条件下行车安全主动干预技术、紧急事件快速响应与处置技术等8类技术、11项示范内容,建设集数据综合管理、可靠存储和智能化分析为一体的智能高速公路数据中心,实现示范路智能管控、信息服务水平提升,并在全国同类改扩建高速公路推广。主要示范内容包括:

(1) 构建空-天-地立体化交通运行监测体系。在沿线设置高清视频摄像机、激光夜视摄像机、微波交通流检测器、气象检测器,建设了基于DSRC的交通流数据采集系统,道路、桥梁养护状况监测系统,长短航时相结合的无人机监测系统以及基于北斗定位的路政巡查终端系统,形成了空-天-地立体化的运行监测体系。在此基础上,利用大数据及其图像化展示方式,对交通流、气象、基础设施、车辆等形象化展示平台。

(2) 构建行车安全管控体系和应急响应系统。构建集高速公路运行态势分析、异常事件提前预警、处置决策科学评估、应急救援快速响应等功能于一体的安全行车主动管控体系,协助高速公路管理者由以往依赖经验的一般决策方式向数据综合分析的科学决策方式转变,同时,多种应急管控系统的联动,进一步提高高速公路安全管理和快速反应能力,更好地维护高速公路交通治安和营运管理秩序。

(3) 构建交互式公众交通信息服务体系,实现信息服务理念的创新。根据出行者的出行方式及层次化的信息服务需求,本工程构建一体化、交互式的信息服务体系,通过网站、广播、可变情报板、服务区查询终端等发布方式,面向本路段客货运车辆提供普遍的信息服 务;利用交通信息服务APP、微博、微信平台,实现实时路况、交通事件信息的主动推送和差异化播发。此外,通过建设服务区WiFi,提供免费上网服务,以及基于获得的Mac数据为分析该区域的车流、人流,并结合服务能力发出预警,提升服务区信息服务和管理能力。

5 结论

新一代信息技术对交通行业产生了变革性影响,智慧高速公路将有力带动智能制造和互联网相关产业的发展,是我国在经济转型发展期促进新一轮经济增长的重要抓手。高速公路作为交通运输行业信息化、智能化发展程度最高的领域之一,发展智慧高速公路,率先运用新一代信息技术来提升服务水平是行业发展的必然。本研究分析总结了国外经验对我国高速公路智能化发展的启示,提出了我国智慧高速公路的功能与服务域,提出了融合“端-管-云”和“数据链”概念的智慧高速公路技术架构和等级划分,给出了当前阶段智慧高速公路主要技术体系,最后介绍了依托该框架开展的示范工程。

本研究对国内智慧高速公路的顶层设计以及建设规划具有重要的参考价值。未来,将从政策、标准和技术研发等方面对智慧高速公路开展深化研究,形成更加完备、适用的技术和政策体系,为智慧高速公路的全面推广实施提供有力支撑。

参考文献:

References:

- [1] 交通运输部公路局, 2015 全国公路统计资料摘要 [R]. 北京: 交通运输部公路局, 2016.
Highway Bureau of Ministry of Transport. 2015 National

- Highway Statistics Summary [R]. Beijing: Highway Bureau of Ministry of Transport, 2016.
- [2] 王笑京. 智能交通系统演进与我国未来发展趋势分析 [J]. 交通运输部管理干部学院学报, 2013 (2): 3-7.
- WANG Xiao-jing. Discussion on Evolution and Future Development of Intelligent Transportation System [J]. Journal of Transport Management Institute Ministry of Transport, 2013 (2): 3-7.
- [3] 《中国智能运输系统体系框架》专题组. 中国智能运输系统体系框架 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- China ITS Framework Project Team. China Intelligent Transportation System Framework [M]. Beijing: China Communications Press, 2003.
- [4] SENGUPTA R, HONGOLA B. Estimating ATIS Benefits for the Smart Corridor [R]. Berkeley: California PATH Program, 1998.
- [5] ZHANG Y, GANTT G W, RYCHLINSKI M J, et al. Connected Vehicle Diagnostics and Prognostics, Concept, and Initial Practice [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2009, 58 (2): 286-294.
- [6] MIRSHAHI M, OBENBERGER J T, FUHS C A, et al. Active Traffic Management: The Next Step in Congestion Management [R]. Washington, D. C.: Federal Highway Administration, 2007.
- [7] SORIANO F R, TOMÁS V R, PLA-CASTELLS M. Deploying Harmonized ITS Services in the Framework of EasyWay Project: Traffic Management Plan for Corridors and Networks [C] // 2012 6th Euro American Conference on Telematics and Information Systems (EATIS). Valencia: IEEE, 2012: 1-7.
- [8] SHLADOVER S. Deployment Path Analysis for Cooperative ITS Systems [M]. Berkeley: University of California, 2009.
- [9] FUJIMOTO A, SAKAI K, OGAWA M, et al. Toward Realization of Smartway in Japan [C] // 15th World Congress on Intelligent Transport Systems and ITS America's 2008 Annual Meeting. New York: [s. n.], 2008.
- [10] CHO W, OH H S, PARK B J. Wireless Access Technologies for Smart Highway: Requirements and Preliminary Results [J]. The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, 2011, 11 (2): 237-244.
- [11] 王笑京, 杨文丽, 杨蕴, 等. 智能交通领域无线通信技术新型应用场景 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2015, 40 (S1): 17-20.
- WANG Xiao-jing, YANG Wen-li, YANG Yun, WANG Dong-zhu. New Application Scenarios of Wireless Communication Technology in Intelligent Transport System [J]. Journal of Chang'an University; Natural Science Edition, 2015, 40 (S1): 17-20.
- [12] 张纪升, 王笑京, 牛树云, 等. 最优化路网可观可控性的 DSRC 网设计模型研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15 (3): 75-81.
- ZHANG Ji-sheng, WANG Xiao-jing, NIU Shu-yun, et al. DSRC Network Design for Improving Observability and Controllability [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15 (3): 75-81.
- [13] 赵志勇. 数据链系统与技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- ZHAO Zhi-yong. Data Link System and Technology [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2014.
- [14] J3016—201609. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-road Motor Vehicle Automated Driving Systems [S].
- [15] 工业和信息化部. 国家车联网产业标准体系建设指南 (智能网联汽车) [R]. 北京: 工业和信息化部, 2017.
- Ministry of Industry and Information Technology. Guideline for Constructing Standard System for National industrial Internet of Vehicles (Intelligent Connecting Vehicle) [R]. Beijing: Ministry of Industry and Information Technology, 2017.
- [16] 张辉, 庄文盛, 杨永强, 等. 车路协同系统中的车辆精确定位方法研究 [J]. 公路交通科技, 2017, 34 (5): 137-143.
- ZHANG Hui, ZHUANG Wen-sheng, YANG Yong-qiang, et al. Study on Vehicle Accurate Position Method in Cooperative Vehicle Infrastructure System [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2017, 34 (5): 137-143.
- [17] 黄肖肖, 曹凯, 王杰. 基于空-地协同的轨迹规划方法 [J]. 公路交通科技, 2016, 33 (11): 134-139.
- HUANG Xiao-xiao, CAO Kai, WANG Jie. A Trajectory Planning Method Based on Air-ground Cooperation [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2016, 33 (11): 134-139.
- [18] 万芳, 牛树云, 朱丽丽, 等. 基于 DSRC 与点检测器数据融合的实时交通状态表达方法 [J]. 公路交通科技, 2017, 34 (8): 123-129.
- WAN Fang, NIU Shu-yun, ZHU Li-li, et al. Real-time Traffic State Expression Based on DSRC and Point Detector Data Fusion [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2017, 34 (8): 123-129.