

智慧道路系统架构研究*

罗玉林

(长沙理工大学 智能道路与车路协同湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410115)

摘要: 为推动智慧道路建设, 增强道路网络运行的整体感知能力, 实现道路网络管理、车辆道路协调和旅行信息服务智能化, 全面提高道路网络运行效率和交通安全水平, 文中考虑车路协同的需求, 提出智慧道路系统框架, 揭示智能道路的外部配置和内部机制, 为智能道路研究和施工提供参考。

关键词: 公路交通; 智慧道路; 道路协调; 智能车辆

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)04-0024-04

智慧道路通过收集和传输交通信息引导和转移时间、空间的交通流量, 避免道路拥堵, 加强道路使用者的安全, 减少交通事故, 改善道路交通环境。与传统道路管理相比, 智能道路的最大特点是采用多种信息传输设备, 以信息采集、处理、发布和分析为主线, 提供多样化的服务。如瑞典的 E4 公路配备 400 个太阳能传感器, 传感器连接到沥青和胶水铺砌的表面, 并与太阳能电池一起工作, 可在几百米前对冰冻路面、意外拥堵和其他危险情况通过无线网络向驾驶员提供预报; 美国科罗拉多州在 285 号公路的危险道路安装传感器监测车辆的磨损情况, 传感器与互联网相连, 为司机提供路网的相关信息; 日本 Smartway 计划的目标是实现车联网, 道路为车辆自动驾驶提供必要信息, 所有收费站都不需要支付停车费, 可以更快的速度通行, 道路和车辆可高度协调; 中国的“一带一路”能源部长会议提出“三合一电子高速公路”, 即可持续充电的智能高速公路, 其神奇之处在于“在跑步时充电”, 道路两侧的黑色部分是光伏道路, 中间的绿色部分是动态无线充电和发射线圈区域, 底部接收线圈可从地面发射线圈接收能量进行无线充电, 它是世界上第一个将光伏路、无线充电和无人技术相结合的应用, 下雪时路面可自行融化冰雪, 且 LED 道路具有智能引导功能。

1 智慧道路需求分析

道路智慧化是实现整体交通智慧化的前提, 智慧道路发展方向如下:

(1) 技术设施数字化。利用三维可测技术、高

精度地图等实现道路设施的数字化采集、管理和应用, 构建道路设施资产动态管理系统; 选择桥梁、隧道、斜坡等构建基础设施智能监控和传感网络, 实现交通基础设施安全状态的综合感应、分析和预警。

(2) 陆运一体化车路协同。基于营运车辆陆运一体化和路侧智能系统, 采用低延迟的宽带无线通信的 5G 等专用短程通信技术建立路边智能基站系统, 选择具有代表性的道路开展车辆信息交互、风险监测和预警、交通流量监测和分析。

(3) 北斗定位综合应用。建设高精度的北斗定位设施, 覆盖整个示范路段, 在灾区实施可靠的监测和预警; 探索基于北斗高精度定位的道路收费应用; 建设基于北斗高精度定位的道路应急救援综合管理系统, 进行车辆人员的快速定位和救援力量的快速调度与区域协调。

(4) 基于大数据的路网综合管理。建设基于大数据的道路管理与服务智能平台, 并将其应用于道路网信息采集、调度运行、资产管理、信息服务、应急管理等领域; 使用无人机等移动设备改善运营监控和应急响应能力; 通过新媒体和公共信息报告等互动渠道实现现场信息收集; 开展维护、道路管理和路网事件检测终端展示, 整合行业相关数据建设路网运行监控系统。

(5) “互联网+”路网综合服务。利用“互联网+”技术探索新的支付技术; 在移动互联网服务区域内开展增值服务, 如停车位和充电设施的指导与预订; 探索动态充电道路, 实现新能源汽车的动态/静态充电; 在低温条件下进行准确的天气预测及车辆

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(51678076); 智能道路与车路协同湖南省重点实验室(2017TP1016)

道路安全和辅助服务。

2 智慧道路的基本功能

智慧之路主要包括智能感知、智能传输、智能管理、智能服务、智能充电 5 个业务模块,它们彼此相关又彼此独立(见图 1)。

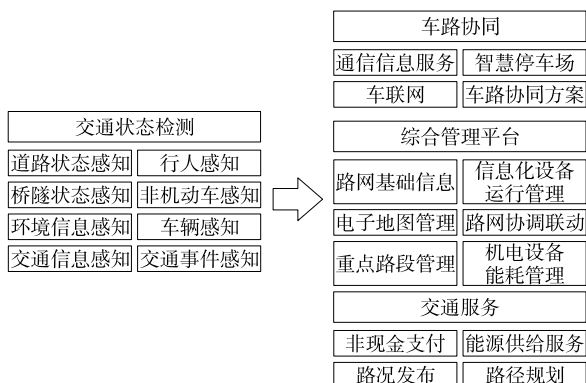


图 1 智慧道路的基本构成

2.1 交通运行状态监测及分析

2.1.1 交通基础设施监测与预警

运用北斗 GNSS 高精度位置服务功能,结合网络、大数据处理和传感器技术,实现对重点道路边坡的实时、多方位立体监测。监测系统利用传感和通信技术实时监测各种环境条件下道路的结构响应,获取反映结构条件和环境因素的各种信息,分析结构的安全状态并评估结构的可靠性。

2.1.2 交通运行状态监测与预警

结合道路网络交通调查数据收集和服务系统、收费车辆相关数据(包括 ETC 收费和人工收费数据,基于有效的收费车辆数据生成每辆车的车辆轨迹数据,获得行驶速度、行驶时间、平均行驶速度、行驶 OD 和其他数据),基于移动电话信令的交通流量分析数据(行程时间和行驶速度等)、“两客一危”车辆定位数据(由运管局道路运输卫星定位动态监管与服务系统中驶入道路的车辆轨迹数据,获得行程速度、行程时间和里程等)、全路网车检器及视频图像的交通流分析数据,同时整合路网运行监测与综合管理系统中普通道路交通流信息、道路水路安全畅通与应急处置系统中相邻省份交通流信息,进行多源信息融合处理,实现交通运行状态(流量、速度、密度)的采集与分析,最终实现全路网路况的实时分析和拥堵程度分析。

2.1.3 交通环境精准监测与预警

利用精细化智能预报技术、气象云等,强化和各

部门的融合发展,提升道路气象服务能力和水平,建立高速、精准的气象感知及预测系统。综合考虑移动监测信息、遥感监测信息、路面监测信息、路面精准预报信息及交通流量信息等,建立路面高影响天气预警模型,实现对道路高影响天气的实时预警。建立预警指标库及预警流程,实现各类危险天气条件的预警,并考虑各业务应用部门的应用场景推送相关预警等级及建议措施。

2.2 通信

2.2.1 基于“互联网+”移动终端的信息服

利用移动互联网实现高速可靠的无线接入服务,同时具备完善的网络安全特性和用户接入控制能力。通过移动互联网计算分析采集数据,得到终端的空间位置、行车方向、行车速度等,实现交通运行状态估计分析。基于移动 APP 和公路无线 WIFI 提供差异化的信息服务,包括旅游服务、道路服务、娱乐服务等。

2.2.2 基于车路协同的信息服

在路段建设具有多接口数据采集、多种上传方式、前端存储及预处理、接入认证和加密上传等功能的智能路侧基站,实现基于 DSRC、LTE-V、802.11P 等的无线通信,使车辆的通信网络全覆盖,提供高可靠、低延时的双向信息交互通道,车辆可使用 V2X 方法获得用于辅助驾驶的周围环境信息、交叉口交通信号状态信息等。车辆通信分为车辆与车辆的通信(V2V)、车辆与路边基础设施的通信(V2I)、车辆与行人的通信(V2P)、车辆和网络(V2N)的通信,统称为车辆到任意的通信(V2X)。将智能驾驶系统嵌入智能后视镜、中央控制面板甚至移动 APP,然后添加连接互联网的车载终端,构建 V2X 辅助驾驶系统,可为驾驶员提供图形或智能语音驾驶提示(见图 2)。

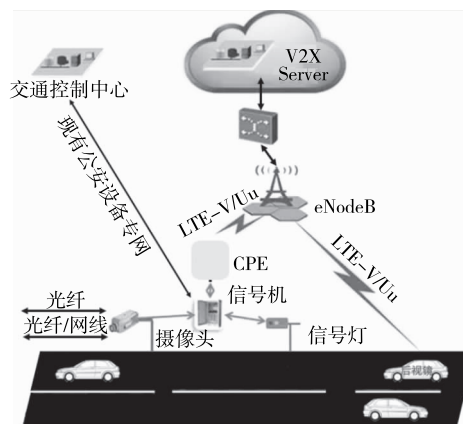


图 2 车路协同信息服务

同时,使用多车道自由流动模式的基于 DSRC 的交通信息收集装置与 ETC 车辆终端通信,获取车载单元(OBU)的网卡物理地址(MACID)和通过时间,然后上传到数据中心,在匹配和处理数据后生成实时交通信息。

2.2.3 隧道应急信息发布系统

长隧道需建立基于调频广播、有线广播和紧急电话的隧道综合应急服务系统,提高隧道内应急信息发布能力。在正常交通条件下,调频广播转播电台节目,有线广播和紧急电话功能不受影响且处于在线状态,有线广播可在需要时针对任何区域进行广播,紧急电话呼叫也可随时接通。突发事件发生时,调频广播信号源立即切换到话筒直接输入或本地存储音频,有线广播和调频广播播放相同内容。利用调频广播群载波技术,不论车辆的收音机处在哪个频段,都可接收到实时的应急广播,使隧道中车内外人员都能及时准确地获取应急服务信息。

2.2.4 交通信号

在智慧道路中交通信号可被其他通信设备取代。但在现有基础设施上运行的车辆需能感知并正确解释交通信号,而且只采用一种方法不能很好地识别交通信号。恶劣天气条件会干扰许多需要视线的传感器,如低角度的强烈阳光会严重破坏汽车感知交通信号信息的能力。这种问题需要多个信号来克服,但在某些情况下甚至多个传感器的冗余阵列都可能无法为汽车提供足够的道路数据。

2.3 支持自动驾驶的车路协同系统

2.3.1 路侧通信

采用传感器和服务于 V2X 通信的相关设备等路侧通信设备,其中设置在关键路段的通信信标可代替交通信号,提供车辆位置信息及其他功能,主要用于实现传统交通设施的联网。信号、视频监控等交通管理电子设备的数据都可连接到路侧设备中服务于车路协同,一方面提供给交警用于交通管理,另一方面支持智能驾驶和自动驾驶。

沿道路建设智能路侧基站(ITS Station),它支持多种数据接入,具有多种数据上传通道、多种供电接口,能保证接入安全并可与已有监控和感知设备融合。智能路侧基站作为智能基础设施互联体系中的基本单元,可为各种传感设备提供多种数据通道、分布式供电、杆件和基础一体化平台,在路段级实现公网与专网融合、有线与无线融合及数据 IP 化访问等,实现高速无线数据交互;结合基于位置的用户数

据应用,在为终端用户提供服务时可通过用户位置信息作为交通状态感知的新型数据源;能实现数据采集、预处理、分发、接收、存储、安全管理等功能。

2.3.2 停车

随着智能汽车的普及,停车场的规模、使用 and 分布可能发生很大变化。一些专家预测,由于汽车保有量减少,某些类型的停车需求可能会大幅减少,如住宅停车场、换乘枢纽停车场和购物中心停车场。但也需要增加其他类型的停车,如用于租用的智能车辆的停车场,预计这种停车设施将集中在某些区域(如交通枢纽)。

2.3.3 车联网

与车联网企业合作,将其车辆信息、交通行业现有道路网运行数据和试点路段的实时感知数据,通过多源数据融合,结合已有平台,打造支持自动驾驶的车路协同云平台。

2.3.4 自动驾驶和车路协同解决方案

目前已有不少无人自动驾驶技术应用到智能辅助手段的车辆系统中,如自适应巡航控制(ACC)、预测紧急制动系统、预防性安全系统、自动泊车系统、汽车夜视主动安全系统等。根据需求定制试验车进行无线通信试验,将 ITS Station 和 DSRC、ETC 与其结合,并将 ETC 和手机车载终端结合,为自动驾驶和道路协调提供更全面的解决方案。

2.4 高效的综合管理平台

2.4.1 路网基础信息管理系统

基础信息管理系统的主要功能是依托道路相关单位,建立道路基础信息数据库,供管理各方和社会公众查询使用,主要包括服务区信息管理、收费站及周边信息管理、道路基础信息管理、交通工程基础信息管理、车辆资源管理等。

2.4.2 信息化设备运行管理

生命周期管理系统的功能是收集道路上所有监控设备的运行状态信息,用于自检和诊断,进行交通运输行业信息设备的运维管理。

2.4.3 电子地图综合展示

在电子地图上分层次、分图层展示路网运行监测与预警信息,包括基本信息显示、流量操作状态显示、命令和调度动态数据显示。

2.4.4 路网协调联动

通过道路网络交通流信息共享进行道路和邻近国道的诱导分流,当通过交通流监测与预警模块确认某路段出现拥堵或突发事件时,及时获取相邻国

省道上可分流路段交通流,若相邻国省道上车流畅通,则在道路主线可变情报板发布分流诱导信息,诱导主线车流分流至国省道;反之亦然。

2.4.5 重点路段全生命周期管理系统

通过整合道路建设和质量监督管理与养护管理系统、普通道路网运行监测与综合管理系统、道路超限治理与移动执法系统的数据,实现对重点路段的前期勘察设计、建设施工、实验室测试和运行中养护路政等全过程的数据共享和挖掘分析,在交通运输地理信息平台地图上分图层展示重点路段建设项目设计时间、设计单位、工程招标、施工、监理、竣工、开放等静态剖面数据,施工期间的进度、资本计划和使用情况及道路管理案例、养护、影响路面技术的因素等动态数据,为重点路段养护、路政和改扩建提供数据支撑。智慧道路的道路标记、标志和信号的相关标准可能会比目前的水平更高,路面也可能需要保持更高的标准,如减少车道上的坑洞,因为车辆非常紧密地相互跟随,若路面上有坑洞会非常危险,特别是在高速行驶时。

2.5 便捷的非现金支付系统

2.5.1 智能扫码终端

使用移动支付技术,不会影响原始手动充电(MTC)和不间断充电(ETC)业务流程,升级现有收费系统,在MTC出口收费车道安装扫码终端并连接到第三方支付平台,建立移动支付系统。

2.5.2 无感支付

“无感觉付款”采用“车牌识别+手机APP”的模式,实现用户的自助绑定车牌和支付,从车辆到达收费窗口到完成支付,车主不需要任何动作,可大大提高车辆通行效率。

2.5.3 自助缴费机

自助扫码缴费机安放在收费站前,车辆驶出收费站时自动计算缴费金额并生成二维码,驾驶员利用移动支付端扫描二维码缴费。

2.6 能源供给及能耗管理系统

2.6.1 道路能源供给系统

根据道路机电设备的用电特点建设能源供给系统,利用分布式智能供电方式,当某个节点的机电设备发生短路、漏电等故障时不会影响其他节点的机电设备,系统的运行稳定性得以提高。同时细化电力监控,根据精细电力监控数据优化系统的供电质量,提高机电设备的使用寿命。

2.6.2 机电设备能耗管理系统

建设集交互、网络、感知、智能控制于一体的机电设备能耗管理系统,采用智能化数据采集与监视控制技术,提高信息采集精度,实现道路机电设备用电状态的快速感知和信息采集及隧道照明灯具的智能控制等。

通过快速感知、采集和融合机电运行状态数据、气候数据、电力数据和网络状态数据等,对机电设备能耗进行在线智能监测与净化、统计和多维分析,实现低成本、高精度的能源监测管理、用能设施的健康状态与故障起因诊断、运营养护策略的决策分析和制定,实现系统节能供电、智慧供电、能耗精细化监控管理。利用移动互联网技术,采用O2O建设模式,实现线上、线下运维一体化。

3 结语

智慧之路是未来智能城市不可或缺的一部分。智能交通是一个巨大的概念,以智慧之路为切入点,从小而有限的场景开始,智能化小场景并连接无数小场景,创建城市级智能交通系统。智慧道路建设的复杂程度并不亚于建设“智慧交通大脑”,随着时代的发展,智慧道路将加入更多的功能。该文对智慧道路的整体架构进行概括,旨在推动智慧道路建设,增强路网运营整体感知,实现道路网络管理、车路协同和出行信息服务智能化,提高路网运营效率和交通安全水平。

参考文献:

- [1] Guangbin Wang, Lei Zhang, Honglei Liu. The research and practice of the theory of intelligent cities at home and abroad[J]. Science Technology Progress and Policy, 2013, 30(9).
- [2] 查亚兵, 张涛, 黄卓, 等. 能源互联网关键技术分析[J]. 中国科学: 信息科学, 2014, 44(6).
- [3] 陈超, 吕植勇, 付姗姗, 等. 国内外车路协同系统发展现状综述[J]. 交通信息与安全, 2011, 29(1).
- [4] 宋子婧. 道路桥梁建养一体化信息管理研究[D]. 南京: 东南大学, 2015.
- [5] Wenhao Zong, Changzhu Zhang, Zhuping Wang, et al. Architecture design and implementation of an autonomous vehicle[J]. IEEE Access, 2018, 6.
- [6] 曹彦平. 朔黄铁路隧道防灾监控及应急通信系统的应用[J]. 铁道通信信号, 2013, 49(10).

(下转第51页)

表 5 纵向疏散楼梯结构参数布设条件 m

车道数	结构参数布设条件
单向双车道	$2.775a - 39.640c + 57.524 < 240$
	$0.068a - 2.352b - 3.891c + 11.266 < 9$
	$b \geq 1.2$
	$c \geq 0.8$
单向三车道	$4.000a - 64.180c + 64.084 < 240$
	$0.051a - 2.049b - 3.209c + 12.897 < 9$
	$b \geq 1.2$
	$c \geq 0.8$

由于研究疏散场景中只存在小客车,同时疏散楼梯坡度指定为 30°,故表 3 中布设条件仅适用于通过车辆均为小客车且疏散楼梯坡度接近 30°的城市水下双层隧道。

4 结论

(1) 行人的个体特征如年龄、性别等均会对逃生速度产生影响,仿真时需根据仿真群体的个体特征分布确定适宜的行人逃生期望速度。

(2) 行人在火灾场景下逃生对整体疏散时间及人群密度均有需求,城市水下双层隧道行人疏散所需安全时间为 6 min,其中可供行人移动的时间为 240 s,疏散过程中行人的 人群密度不宜大于 9 人/m²,否则易发生拥挤踩踏等二次事故。

(3) 纵向疏散楼梯的主要结构参数为疏散楼梯间距 a 、疏散楼梯疏散门宽度 b 、疏散楼梯宽度 c 、疏散楼梯高度 h 及疏散楼梯坡度 θ 。以武汉两湖隧道为载体,简化疏散楼梯结构参数后保留前 3 个参数。

(4) 疏散楼梯间距 a 及疏散楼梯宽度 c 与整体疏散时间 t_{move} 成线性关系,疏散楼梯疏散门宽度 b 与整体疏散时间 t_{move} 没有关系;疏散楼梯间距 a 、疏散楼梯疏散门宽度 b 及疏散楼梯宽度 c 与最大人群密度 ρ 成线性关系。

参考文献:

[1] 赵凯强,刘万福,王国卓,等.异形结构隧道火灾安全疏散研究[J].消防科学与技术,2016(3).

[2] 邓敏,段平,胡彦杰,等.火灾情况下某单洞双层盾构隧道人员疏散分析[J].安全与环境学报,2017,17(3).

[3] Fruin J J. Pedestrian planning and design[J]. New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.

[4] Frantzich H. Study of movement on stairs during evacuation using video analysing techniques[J]. Journal of Hygiene, 1996, 81(2).

[5] 王江川. 多层建筑长距离楼梯疏散速度实验研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.

[6] 李之红. 基于差异化个体特性的密集客流疏散行为分析与建模[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.

[7] 奚学东, 胡江文, 姜学鹏. 公路隧道火灾人员逃生概率计算[J]. 消防科学与技术, 2015(8).

[8] 叶红梅. 公路隧道火灾扩散及人员疏散研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2015.

[9] 张玉春, 向月, 何川, 等. 公路隧道横通道人员疏散行为及通行能力实验研究[J]. 西南交通大学学报, 2016, 51(4).

[10] Hoogendoorn S P, Daamen W. Pedestrian behavior at bottlenecks[J]. Transportation Science, 2005, 39(2).

[11] Hoogendoorn S P, Daamen W, Bovy P H L. Microscopic pedestrian traffic data collection and analysis by walking experiments: behaviour at bottlenecks [A]. Pedestrian and Evacuation Dynamics[C]. 2003.

[12] 冉丽君, 刘茂. 人群密度对人群拥挤事故的影响[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(4).

[13] 李桂萍. 崇明越江隧道火灾场景和安全疏散的研究 [D]. 上海: 同济大学, 2007.

[14] 王晓波. 长大隧道火灾安全疏散研究[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(5).

收稿日期: 2018—10—29

(上接第 27 页)

[7] 王少伟. 智能建筑与物联网结合的研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.

[8] P Manikonda, A K Yerrapragada, S S Annasamudram. Intelligent traffic management system[A]. IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology[C]. 2011.

[9] I Parra Alonso, D F Llorca, M Gavilan, et al. Accurate

global localization using visual odometry and digital maps on urban environments[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012, 13(4).

[10] M Bertozzi, L Bombini, A Broggi, et al. A framework for developing intelligent-vehicle vision applications [J]. IEEE Intelligent Systems, 2008, 23(1).

收稿日期: 2018—11—27