

“道路交通安全智能化管控关键技术与集成示范”项目技术丛书

课题三 高速公路运行状态智能监测与安全服务保障关键技术研发及系统集成

基于互联网的高速公路 服务信息主动推送技术

陈宇峰 董亚波 向郑涛 夏明 周鹏 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

“全智能化管控关键技术与集成示范”项目技术丛书
课题二 高速公路网运行状态智能监测与安全服务保障
关键技术研发及系统集成

基于互联网的高速公路 服务信息主动推送技术

陈宇峰 董亚波 向郑涛 夏明 周鹏 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书详细介绍了基于互联网的高速公路交通服务信息主动推送关键技术,系统阐述了交通服务信息主动推送系统的设计与实现过程。本书不仅在理论研究方面对解决高速公路信息服务问题提供一定的理论支持,也可为广大工程技术人员开发相应的应用系统提供参考。

本书可作为高等院校交通运输工程等专业研究生教材和高年级本科生选修教材,也可供有关科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于互联网的高速公路服务信息主动推送技术 / 陈宇峰等著. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2018.2

ISBN 978-7-114-13927-7

I. ①基… II. ①陈… III. ①互联网络—应用—高速公路—交通信息系统—研究 IV. ①U495

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 133971 号

Jiyu Hulianwang de Gaosu Gonglu Fuwu Xinxi Zhudong Tuisong Jishu

书 名: 基于互联网的高速公路服务信息主动推送技术

著 作 者: 陈宇峰 董亚波 向郑涛 夏 明 周 鹏

责任编辑: 郭红蕊 闫吉维

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外交斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11.75

字 数: 274 千

版 次: 2018 年 2 月 第 1 版

印 次: 2018 年 2 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13927-7

定 价: 50.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

丛书编委会名单

主任委员 吴德金

副主任委员 张劲泉 周荣峰 李作敏 胡 滨

主 编 李爱民 李 斌

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 芳	汪 林	蔡 蕾	宋国杰
牛树云	杨 轸	董亚波	陈宇峰
吴明先	张 凡	龚 民	路 芳
郝 盛	陈 洁	李 琳	孟春雷
张纪升	胡 钢	陈亚莉	王 琰
江运志	常云涛	孙晓亮	赵 丽
张 利	董宏辉	贾利民	李 丁
沈湘萍	燕 科	李 健	陈祥辉
周 宏			

丛书前言

自人类进入汽车社会以来,道路交通安全问题已经成为当今世界一个严重的社会问题。为了遏制道路交通事故的发生,降低道路交通事故的危害,人类做出了不懈的努力。进入21世纪,国际社会对道路交通安全问题愈发重视,在全球范围内掀起了提高道路交通安全性的新高潮。但是,遏制道路交通事故发生、缓解道路交通安全压力仍是一项长期和艰巨的任务。

高速公路是公路交通运输系统的“大动脉”,承担了我国70%以上的公路运输交通量,已成为我国综合交通运输系统的重要组成部分。然而,随着高速公路的快速发展,高速公路交通安全状况不容乐观。一是事故死亡人数占比较大,根据公安部发布的统计数据,2014年我国高速公路事故死亡人数占比达到了9.71%。二是事故率和死亡率仍然较高,2014年亿车公里事故率和死亡率分别为1.8和1.3,虽然低于普通国、省干线公路,但近年来有所上升,且仍远高于发达国家。随着我国机动化进程的不断加快,机动车数量和居民人均出行量快速增长,改善道路交通安全的压力和难度仍在增大。

交通安全是道路交通研究永恒的主题,科技进步和新技术应用则是解决道路交通安全问题的重要手段。由科技部、公安部、交通运输部三个部委联合组织实施的“国家道路交通安全科技行动计划”一期项目“重特大道路交通事故综合预防与处置集成技术开发与示范应用”已于2012年正式通过验收。项目形成了大量具有先进性和实用性的研究成果,示范效果明显,示范路网内事故数平均下降了20.1%,重特大事故数降幅为21.4%,死亡人数平均降幅27%。正是基于此,2014年国家又启动了“国家道路交通安全科技行动计划”二期项目“道路交通安全智能化管控关键技术与集成示范”,其目标是在一期项目的基础上,利用传感网、大数据研判等先进信息技术,围绕道路交通安全的主要矛盾和突出问题,打造安全、有序的高速公路交通行车环境,实现交通行为全方位有效监管,促进重点驾驶人安全驾驶行为和习惯的养成、交通秩序根本性好转,全面提升重特大交通事故的主动防控能力。

课题二“高速公路网运行状态智能监测与安全服务保障关键技术研发及系统集成”是“道路交通安全智能化管控关键技术与集成示范”项目的重要组成部分,面向国家公路网可视、可测、可控、可服务的战略需求,重点攻克并集成应用高速公路网运行状态感知与态势分析、路网运行预警与交通流组织、信息推送服务等关键技术,研发高速公路运行状态综合感知、路网运行态势分析、路网监测与安全服务保障平台等系统,研制公路传感网自组织节点设备、定向交通信息推送设备、异构系统间专用安全互操作设备等,建成协同高效的部省两级路网监测与安全服务保障平台;实现高速公路网运行状态的全时空监测,多尺度态势分析、研判、预警,跨区域协同管理和跨部门联动预警及安全信息主动推送服务;依托交通运输部公路网运行监测与服务系统工程和典型省份公路网运行监测与服务系统工程开展示范应用,形成公路网运行监测与服务相关标准规范。

在科技部、公安部和交通运输部三个部委的高度重视下,各相关方向有专长的科研单位、大学、企业及行业管理单位等 20 余家单位的 300 余位研究人员,共同参加课题研究、示范工程建设及标准规范编制修订工作,取得了丰硕的研究成果,并通过“产、学、研、用”相结合的方式,保证研究成果达到“实际、实用、实效”的要求。本丛书是对“高速公路网运行状态智能监测与安全服务保障关键技术研发及系统集成”课题部分成果的总结,是“国家道路交通安全科技行动计划”项目的重要成果之一。本丛书涉及公路桥梁安全状态监管、路网结构分析评估、路网运行状态分析与态势推演、高速公路网交通流调度、跨区域大范围路网协同运行控制、高速公路信息服务、跨部门跨区域路网监测与服务保障平台等方面,丛书将为公路行业的运营管理及交通安全改善工作提供指导,有助于进一步提升高速公路网的监测与安全服务保障能力,具有重要的指导意义和实用价值。

本丛书在编写过程中得到了交通运输部总工程师周伟,交通运输部公路局李华,交通运输部科教司庞松,交通运输部公路科学研究院王笑京、何勇、牛开民、傅宇方等领导的鼎力支持,得到了陈国靖、马林、关积珍、张明月、王辉、左海波等专家的悉心指导,交通运输部路网监测与应急处置中心、交通运输部公路科学研究院等 20 余家课题参加单位领导、同仁给予了大力配合,在此表示衷心感谢!书中参阅的国内外文献,引述文献已尽量予以标注,但难免存在疏漏,在此对各文献作者一并致谢!

前 言

高速公路作为整个交通运输网络的重要组成部分,在促进经济发展、方便群众生活、保障国家安全等方面发挥着越来越重要的作用。为了建设现代交通运输体系,必须深化信息化在交通运输行业的应用。近年来,我国一直非常重视交通运输业的信息化建设。2008年,科技部、公安部、交通运输部三部委联合签署了“国家道路交通安全科技行动计划”,并启动了一期项目“重特大道路交通事故综合预防与处置集成技术开发与示范应用”;2014年年底,在一期项目的基础上,启动了二期项目“道路交通安全智能化管控关键技术与集成示范”。其中,在高速公路方面设立了“高速公路网运行状态智能监测与安全服务保障关键技术研发及系统集成”课题,旨在利用信息技术提升高速公路在途交通安全信息服务水平,降低交通事故率。

交通服务信息的获取方式、种类、发布方式等对提升高速公路交通安全信息服务水平和驾乘人员的满意程度有着重要的促进作用。为了提高出行中信息服务水平,形成完善高效的信息服务体系,保障高速公路在正常及突发事件条件下安全有序运转,为道路使用者提供人性化、高标准的服务,必须加强交通信息主动推送技术与系统的开发,形成高速公路安全信息服务体系。本书依托“十二五”国家科技支撑计划课题“高速公路网运行状态智能监测与安全服务保障关键技术研发及系统集成”(课题编号:2014BAG01B02)下专题四“交通信息主动推送技术与系统研发”中的主要研究成果,系统阐述了基于互联网的高速公路服务信息主动推送的基本原理和关键技术,并结合实例给出了交通服务信息主动推送系统的设计与实现。全书分为三篇:引论篇(第1章:绪论;第2章:国内外研究与应用现状);关键技术篇(第3章:用户个性化信息推送策略;第4章:基于旅行时间的信息服务;第5章:车联网跨层路由技术;第6章:基于车车通信的车联网交通事故主动预防技术;第7章:终端关键技术);系统实现篇(第8章:交通服务信息主动推送系统架构;第9章:交通服务信息主动推送平台设计与实现;第10章:交通服务信息主动推送终端系统设计与实现)。

本书作者为湖北汽车工业学院的陈宇峰、向郑涛、周鹏,浙江大学的董亚波,浙江工业大学的夏明。陈宇峰负责第1、8、9章的撰写;董亚波负责第2章、参与第1章的撰写;向郑涛负责第4、6章的撰写;夏明负责第3、7、10章的撰写;周鹏负责第5章的撰写。除署名作者外,湖北汽车工业学院的张涛、高瞻、严汝康,浙江大学的尚进、何康乐也参与了本书的撰写。

由于著者水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

著作者
2017年5月

目 录

第1篇 引 论

第1章 绪论 /1

- 1.1 背景与意义 1
- 1.2 交通服务信息主动推送系统蓝图 2

第2章 国内外研究与应用现状 /4

- 2.1 国内外研究现状 4
- 2.2 国内外应用现状 7
- 2.3 综合评述..... 12

第2篇 关键技术

第3章 用户个性化信息推送策略 /14

- 3.1 引言..... 14
- 3.2 个性化3D推送规则模型 15

第4章 基于旅行时间的信息服务 /16

- 4.1 引言..... 16
- 4.2 信息反馈策略综述..... 17
- 4.3 浮动车比例对信息反馈策略性能的影响..... 21
- 4.4 加权平均速度反馈策略..... 27

第5章 车联网跨层路由技术 /38

- 5.1 引言..... 38
- 5.2 跨层路由设计技术..... 39
- 5.3 基于链路稳定性加权的车联网按需路由协议..... 42

第6章 基于车车通信的车联网交通事故主动预防技术 /57

- 6.1 引言..... 57
- 6.2 车车通信技术简介..... 57
- 6.3 典型恶劣(浓雾)环境下车车通信对交通事故的影响分析 61
- 6.4 典型恶劣(浓雾)环境下基于车车通信的事故通告分析 69

第7章 终端关键技术 /75

- 7.1 引言..... 75
- 7.2 个性化交通服务信息获取..... 75

7.3 行车线路和方向判定技术..... 77

7.4 个性化提醒消息生成技术..... 79

第3篇 系统实现

第8章 交通服务信息主动推送系统架构 /84

8.1 引言..... 84

8.2 系统构架..... 84

8.3 系统功能模块..... 85

8.4 系统推送流程..... 86

第9章 交通服务信息主动推送平台设计与实现 /88

9.1 引言..... 88

9.2 交通服务信息主动推送平台技术基础..... 89

9.3 通信协议设计..... 94

9.4 数据库设计 104

9.5 交通服务信息标准化及发布 119

9.6 交通服务信息主动推送过程 121

9.7 交通服务信息主动推送管理平台 123

第10章 交通服务信息主动推送终端系统设计与实现 /155

10.1 引言..... 155

10.2 终端硬件选择..... 155

10.3 交通服务信息主动推送终端功能..... 157

10.4 交通服务信息主动推送终端软件设计与实现..... 160

参考文献 /169

第 1 篇 引 论

第 1 章 绪 论

1.1 背景与意义

高速公路作为整个交通运输网络的重要组成部分,在促进经济发展、方便群众生活、保障国家安全等方面发挥着越来越重要的作用。近年来,我国高速公路的发展一直保持着较快的增长速度。截至 2016 年年底,我国高速公路总里程突破 13 万 km,2016 年新增里程超过 6000km,是世界上规模最大的高速公路网络^[1]。

现代交通运输体系的建设和发展离不开信息化的引领和支撑。在高速公路的建设过程中,信息化的建设越来越受到人们的重视,它是实现智慧交通的重要载体和手段。2016 年 4 月,交通运输部发布了《交通运输信息化“十三五”发展规划》^[2],规划中提出了七大主要任务:推进“互联网+”重点行动;促进大数据发展和应用;对接国家电子政务工程;支撑国家三大战略实施;深化行业信息化应用;开展信息化示范试点工程;完善信息化发展环境。其中,在“推进‘互联网+’重点行动”中提出“通过手机 APP、互联网站、电视、可变情报板以及交通服务热线(四屏一热线),提供基于位置的全程、实时交通出行信息服务”;在“深化行业信息化应用”中提出“完善各省路网运行监测体系,强化与路政、养护、应急、收费、交通量调查等相关系统衔接,与公安、气象、国土资源等部门的信息共享,拓展 ETC 应用领域,开展基于大数据的路网运行研判和分析评价,实现跨部门、跨区域的路网协同运行管理”。

2008 年,科技部、公安部、交通运输部三部委联合签署了“国家道路交通安全科技行动计划”,并启动了一期项目“重特大道路交通事故综合预防与处置集成技术开发与示范应用”。其中,在高速公路方面设立了“国家高速公路安全和服务技术开发与工程应用示范”课题,以安全为主线,针对高速公路通道和路段的主动安全、安全设计、防护设施安全、安全管理与控制技术以及安全信息服务等方面开展了系统的研究和示范,取得了一定的研究成果,示范效果良好。

2014 年年底,在一期项目的基础上,启动了二期项目“道路交通安全智能化管控关键技术集成示范”。其中,在高速公路方面设立了“高速公路网运行状态智能监测与安全服务

保障关键技术研发及系统集成”课题,该课题从跨区域路网监测、态势分析、协同调度和信息服务需求考虑,开展路网综合感知技术及装备研究,多渠道、多方式获取动态交通信息,重点研究区域路网运行态势分析技术及系统,研究路网交通协同管理技术、交通信息主动推送技术及系统,形成区域高速公路网运行状态智能监测与安全服务保障成套技术及装备,通过区域路网的集中示范,验证相关研究成果。

交通服务信息的获取方式、种类、发布方式等对提升高速公路运行状态智能监测与安全服务保障能力和提高驾乘人员的满意程度有着重要的促进作用。欧美等发达国家的交通信息服务系统,已经能够采用多种渠道向高速公路上的驾乘人员发布各种信息,包括封路、道路施工、事故、收费、线路、道路阻塞、恶劣天气情况等,以便驾乘人员能够更合理地安排出行。我国在这方面的的工作仍显欠缺,主要表现在设备种类繁多,配置不尽合理,采集的信息有效利用率比较低,出行中信息服务效率低、发布的信息针对性和有效性无法评估,难以满足出行者对实时、有效交通信息服务的需求。

因此,为了提高出行过程中的信息服务水平,形成完善高效的信息服务体系,保障高速公路在正常及突发事件条件下安全有序运转,为道路使用者提供人性化、高标准的信息服 务,必须加强交通信息主动推送技术与系统的开发,形成高速公路安全信息服务体系。

浙江大学、同济大学、湖北汽车工业学院等单位共同承担了“高速公路网运行状态智能监测与安全服务保障关键技术研发及系统集成”课题下专题四“交通信息主动推送技术与系统研发”的研究工作,实现以主动推送为核心的交通信息服务,为驾乘人员提供广播式和定向式的交通信息,以提高高速公路的运行效率和安全性。

1.2 交通服务信息主动推送系统蓝图

交通服务信息主动推送的目的地是路网环境下的运动车辆。从交通层面来看,车辆在路网中行驶,可以将车辆看作是路网中的移动节点,形成了交通网络。交通网络关注车辆的运动模式对整个路网交通的影响,即交通流特性。例如:通过交通流建模,实现交通流的动态演化分析,从而为道路规划、交通管理等提供理论支持。从通信层面来看,运动中的车辆通过车联网实现车/车通信、车/互联网通信,形成了车辆通信网络。车联网是一个开放的综合网络系统,包括车载自组网(Vehicular Ad Hoc Network,简称VANET)和移动互联网^[3]。其中,VANET是车联网的主要组成部分,VANET下的网络传输能力与其采用的路由策略有很大的关系。相比移动自组织网络(Mobile Ad Hoc Network,简称MANET),VANET具有道路约束、驾驶行为约束、环境复杂等特点,使得VANET在车辆节点的移动规律、无线链路等方面均与MANET有很大差异^[4]。因此,车联网(尤其是VANET)下的路由策略研究是车联网研究的一个核心问题。

交通网络和车辆通信网络的构建为交通服务信息主动推送提供了底层技术支撑。从应用层面来看,高速公路交通服务信息主动推送的应用蓝图如图1-1所示。

在图1-1中,信息推送系统以车用交通信息服务为应用背景,充分利用车联网技术,实现通用终端(智能手机)和专用终端(如交通广播综合终端、智能移动车载终端、平视显示系统等)?提供个性化的车用交通信息推送服务。

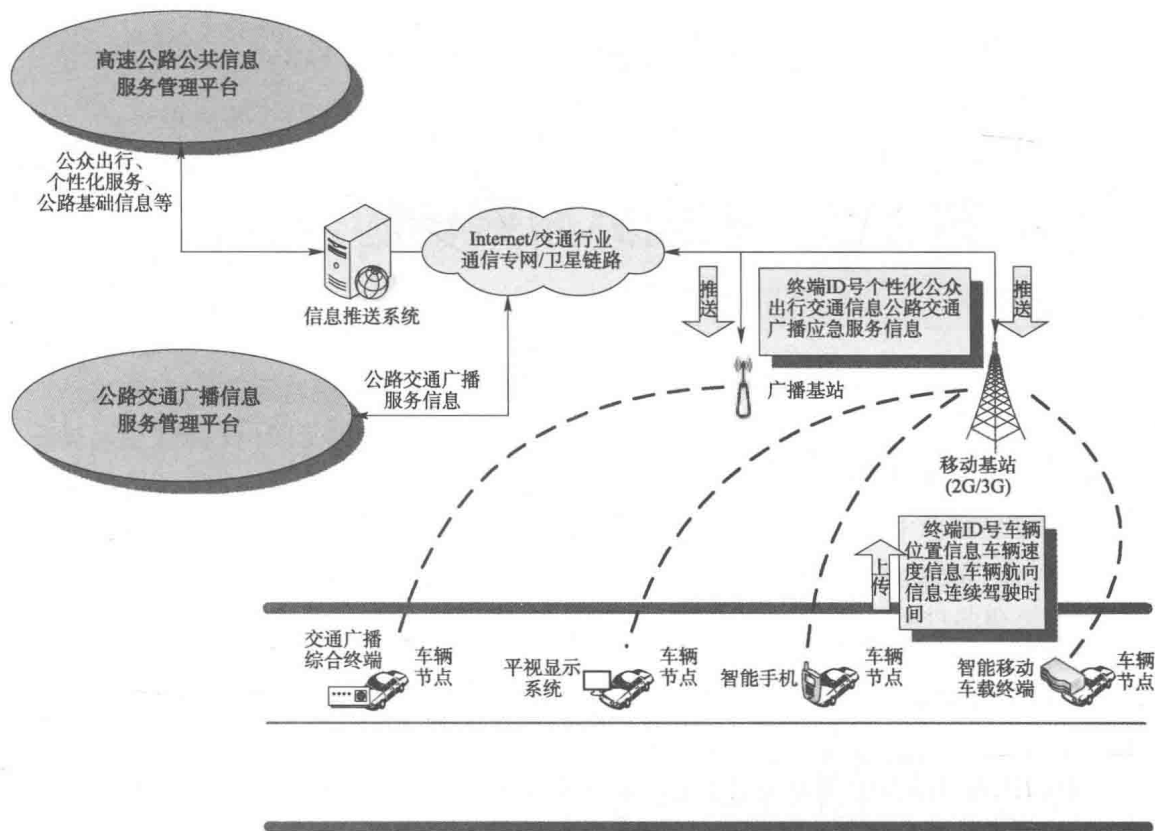


图 1-1 高速公路交通服务信息主动推送应用蓝图

其基本工作流程包括：

(1) 驾驶信息收集。通用终端和智能移动车载终端实时获取、处理并上传车辆行驶数据到信息推送系统,如当前位置、车速、航向、连续驾驶时间等。

(2) 发布信息获取。从“高速公路公共信息服务管理平台”获取个性化的交通服务信息,包括设施风险信息、路网状态指数、拥堵信息、旅行时间、道路养护、道路管制、交通事故、恶劣天气、道路损毁等信息。

(3) 交通信息推送。根据车辆类型、驾驶区域等设计合理的推送策略,如交通信息推送的范围和频率等,将发布信息向各类终端主动推送。

(4) 通用终端和专用终端接收信息推送系统的服务信息,采用各种手段进行本地展示,从而对于不同的驾驶员,推送不同推送内容和表现形式的交通信息以满足其个性化需求。

第2章 国内外研究与应用现状

2.1 国内外研究现状

2.1.1 安全车距模型

车辆行驶安全状态判断是车辆碰撞预警的基础,该项技术的核心内容之一是安全车距模型,利用安全距离的实时计算结果与实际车间距离的比较来进行行车安全状态的判断。

目前,国内外的安全距离模型主要有基于车辆制动过程运动学分析的安全距离模型、考虑乘坐舒适性的安全距离模型、基于车头时距的安全距离模型、考虑驾驶员特性的安全距离模型等。文献[5]通过对基于车头时距安全距离模型和基于制动过程安全模型的对比分析,针对前方车辆分别处于静止、匀速和匀减速等不同行驶状态,建立了单车道跟驰状态下跟随车与前方车辆不发生追尾碰撞的最小安全距离模型,并且考虑了车辆减速度的增长过程,更加符合车辆实际的行驶状况。文献[6]以驾驶员车间距保持目的假设为基础,通过驾驶员试验获得了反映驾驶员实际驾驶特点的参数,建立了一种新型汽车避撞安全距离模型。经仿真及试验对比,该模型计算结果体现了驾驶员的驾驶特点,能够适用于多种交通状况。文献[7]综合考虑了驾驶员、车辆状况、自然环境及路况因素,将驾驶员这一重要因素放在首要考虑位置,完整地分析了驾驶员在各种生理状态下对驾驶状态的影响,并运用综合加权法设计实现了修正的安全车距模型。文献[8]在车辆动力学分析基础上,考虑三种跟车状态(完全跟车状态、不完全跟车状态及最不利跟车状态)及制动特性,设计了3级安全跟车距离模型,并采取自适应模糊控制方法调整车速。仿真表明:该系统有效降低了高速公路追尾事故概率,提高了车辆安全性能。文献[9]运用车辆运动学理论,对车辆换道过程中目标车辆与周围车辆的安全距离进行分析,给出了多车道、多车辆情况下相应的换道最小安全距离模型。仿真结果显示:给出的换道最小安全距离模型能够有效地实施安全换道决策,避免碰撞发生。文献[10]根据车辆制动和加速特性,利用扩频雷达测得的与周围车辆的距离及相对速度等参数,建立了车辆跟随/车道变换的安全车距模型,设计出基于级联模糊推理理论的车辆防撞系统。蒙特卡洛仿真证实,该系统在跟驰、换道及紧急制动状态下效果良好。

2.1.2 基于统计性质的车联网路由策略优化

(1) 车联网路由协议

路由协议是提升网络性能的重要技术,然而在进行车联网路由协议设计时,大多数研究都缺乏理论指导。路由协议是路由策略的具体实现,也就是说,路由策略是抽象的设计,路由协议是具象的实现。然而,目前车联网路由协议的研究比路由策略的研究更为深入。因此,将路由协议与路由策略相对照,将能够发现路由策略研究的不足,进而提出相应的路由策略优化思路,并反过来指导路由协议的设计和实现。

文献[5]对车联网路由协议进行综述,将其分为基于拓扑、基于地理信息和基于簇团等三类。在文献[11]的车联网路由协议综述中,基于体系结构将路由协议分为基于车车(Vehicle-to-Vehicle-based,简称V2V)和基于车路(Vehicle-to-Infrastructure-based,简称V2I)的路由协议。对于V2V协议,可划分为基于拓扑、基于位置、基于簇团、基于地理位置多播、基于多播、基于广播六类路由协议;对于V2I路由协议,可划分为基于静态设施和基于移动设施的路由协议。总体而言,基于地理位置的路由协议更为有效,基础设施也能够提升VANET的传输能力。但是该文献对多径路由协议涉及较少。

现已有不少基于多径思想的VANET路由协议。如:文献[12]通过周期发布信息来达到单独路径的拥塞避免效果,但是一旦拥塞降低,最初的最短路径却不能被恢复。文献[13]提出多径路由恢复协议(Multipath Route Restoration Protocol,简称MRRP),不仅关注由于拥塞导致的链路失效,还通过修改拥塞自适应多径路由协议(Congestion Adaptive Multipath routing Protocol,简称CAMP),使得链路失效的路径得以恢复。文献[14]提出了多跳按需多径距离向量备份路由更新协议(Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector routing with Backup route Update,简称AOMDV-BU),其核心思想是提前寻找备份路由,而不是等到没有可用路径的时候再发起路由发现过程,这样可以保证至少有一条有效的备份路由。文献[15, 16]提出基于跨层设计的重传次数多跳按需多径距离向量路由协议^[15](Retransmission-counts-Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector,简称R-AOMDV)和重传次数—速度—多跳按需多径距离向量多径路由协议^[16](Retransmission-counts-Speed-Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector,简称R-S-AOMDV)。前者利用链路层的重传次数作为评价链路质量的指标,与路径跳数相结合作为路由判据;后者则结合了最小跳数、重传次数和车辆运动信息作为路由判据。然而,上述VANET多径路由协议均基于单输入单输出(Single-Input Single-Output,简称SISO)系统,虽然有多条可用路径,但是同时只能使用一条路径进行传输,不能充分发挥多径路由的优势。

(2) 基于统计性质的路由策略优化

复杂网络统计性质对于路由策略优化具有指导性的意义,原因在于设计适合的路由策略可以通过改变网络拓扑性质来提升网络传输能力。当对车联网进行路由策略优化研究时,首先需要对一般网络(有线或者无线)的路由策略优化进行分析,作为车联网路由策略优化的借鉴。

正如Zhao等^[17]指出,对于两个具有相同平均连通度、节点容量和数量的网络,如果二者

拓扑结构不同,则临界信息包产生率将差异很大,这将直接影响网络传输能力;文献[18]通过理论分析提出,具有均匀分布的节点负载和较小网络直径的拓扑结构对拥塞有更高的容忍能力;文献[19]指出网络容量与其最大介数具有反比关系;文献[20]基于“最大介数中心度是否已经最低”这一路由判据,提出了一种适用于现有路由策略的普适优化算法,使网络介数中心度值分布更均匀,均衡网络中各个节点的传输负载。特别地,针对简单无线网络, Yang 等^[21]分析了在二维平面随机游走的节点移动情况下,临界信息包产生率与速度和通信半径的关系;针对无线传感网络, Brust 等^[22]从容错角度分析了集群系数与容错性的关系,其中容错性由链路失效对平均距离的影响来度量。

路由策略能够改进网络性能的根本原因在于其对网络拓扑的控制,从而改变网络的统计性质。Chen 等^[23]综述了复杂网络路由策略,将其分为软策略和硬策略。硬策略的重点在于对网络结构因素的改变,包括增加链路策略、删除链路策略。增加链路策略主要关注如何增加节点和链路才能有效提高网络容量,删除链路策略主要关注如何选择被删除的链路从而能够更好地均分网络负载。软策略的重点在于避免最短路径策略所造成的中心节点拥塞问题,包括基于全局拓扑信息的全局策略、基于局部拓扑信息的局部策略、结合全局信息和局部信息的混合策略。软策略中所采用的信息包括边权信息、队列信息、等待时间信息、节点度信息、社团结构信息以及不同信息的结合等。

(3) 基于复杂网络统计性质的车联网路由策略优化

正是在前述研究工作的基础上,涌现出了一系列利用复杂网络理论和方法对车联网路由策略进行优化的研究成果。当考虑车联网路由策略优化时,也可以从硬策略和软策略两个方面考虑。

在硬策略方面,文献[24]通过增加路侧节点并控制车辆节点与路侧节点的连接,增强车联网的小世界特性,从而显著减小平均路径长度; Lu 等^[25]重点分析了通过基础设施模式(仅具有互联网—车通信方式)和混合模式(具有车—车和互联网—车通信方式)实现 Internet 访问的车联网下行链路吞吐量,并分析了不同部署方式下的下行链路容量的下限; Nekoui 等^[26]指出, VANET 的吞吐量与道路布局十分相关,而道路布局可以通过道路连通性(road-connectivity)来表征,而且引入路侧设备(Road Side Unit,简称 RSU)(即基础设施)将增强道路连通性,然而其对吞吐量的正向影响具有上限。上述文献从道路布局(物理拓扑)和路侧设备的角度说明了 VANET 与 MANET 统计性质的区别,这也隐含地为基于地理位置路由协议和基于基础设施路由协议的有效性提供了佐证。

相比于改变网络结构,从路由软策略出发优化网络传输性能是更为便利有效的方法,因而应用更为广泛^[27]。Eiza 等^[28]通过对 Mao 等^[29]提出的演化图模型进行改进,利用预测策略选择更具可靠性的路径,从而提高了网络可靠性,并获得更好的网络性能。Guan 等^[30]提出在交通网络和无线网络等空间无标度网络中,综合考虑欧氏距离和介中心度将能够获得比最短路径、最小介中心度等策略更优的网络性能。张宏等^[31]从网络控制的角度探讨了车载自组织网络的牵制控制问题,相比于随机牵制策略,采用特定牵制策略对车载自组织网络的控制效率更高。该文的仿真结果表明,特定牵制 5% 度最大的节点,就可以控制 80% 的节点,并分析其原因可能与网络节点度的不均匀性有关。文献[32]则从博弈论的角度对车联网

网进行建模,并分析了网络特性对合作扩散产生的影响,如由于高网络连接度所导致的高聚类特性将影响车辆节点从邻居接收分组的概率等。

2.2 国内外应用现状

2.2.1 日本 VICS 系统

日本于 1991 年开始建立道路交通信息通信系统(Vehicle Information and Communication System,简称 VICS),该系统由警察厅、邮政省、建设省和运输省等管理部门与各民间部门共同合作开发而成。1991 年成立 VICS 推进协会,1997 年成立财团法人 VICS 中心。目前,VICS 系统由 VICS 中心负责运营。

VICS 系统由信息的采集、处理、编辑、提供、利用五个部分构成^[33],系统架构如图 2-1 所示。

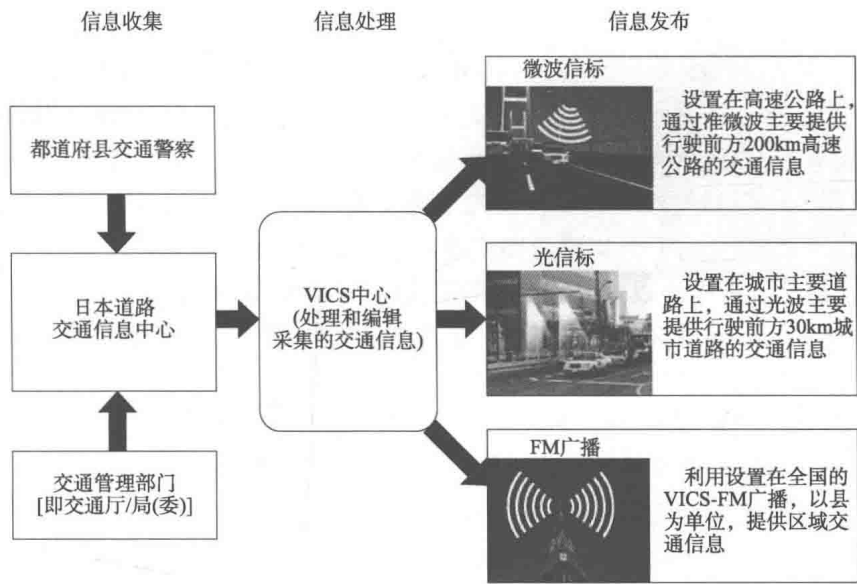


图 2-1 VICS 系统架构^[34]

VICS 中心信息服务内容包含交通堵塞信息、旅行时间、交通事故和道路施工信息、停车场位置和车位空置状况、车速和车道限制等。其运行机制是由交通管理者和道路管理者双方提供交通信息,经道路交通信息中心集中到 VICS 中心,再由 VICS 中心将这些信息传送给驾驶员和车载装置,通过多种方式向公众发布实时交通信息。其中,微波信标用于高速公路,可以为驾驶员提供 200km 范围的道路信息;光信标主要用于交通主干道,可以覆盖行驶前方 30km 的范围;FM 多路广播以某个特定区域为对象进行大范围的服务。用户通常可以得到三种形式的信息:文字显示、简易图形显示及地图显示。自 2002 年 9 月开始,VICS 中心开始向手机、掌上电脑、个人电脑和电视接收器等终端提供有偿交通信息,进一步扩大了 VICS 系统的服务范围。依靠 VICS 系统提供的实时、动态交通信息,车辆获取有效的交通引导和安全提示等帮助,有效缓解了日本的交通拥堵情况,并提升了道路安全水平^[35]。