



第三届全国期刊奖百种重点期刊 中国科技核心期刊
中国科技论文统计源期刊 中国五大文献数据库收录期刊

ISSN 1009-6868
CN 34-1228/TN

中兴通讯技术

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

www.zte.com.cn/magazine

2011年6月 • 第3期

专题：车辆自组织网络及其应用



ISSN 1009-6868



中兴通讯超 100G 新技术刷新世界纪录 填补一项中国空白

【本刊讯】2011年3月6—10日,在美国光纤通信(OFC/NFOEC)会议期间,中兴通讯首次在实验中实现了单信道为 10 Tbit/s 的光信号,并成功让该信号在 640 km 标准单模光纤上传输,刷新了此前单信道传输最高速率为 1 Tbit/s 光信号的世界记录,为单信道更高速率光传输技术的研究奠定了基础。实验通过采用中兴通讯专利技术——载波产生技术,成功地产生了 112 个相干的光载波,每个光载波承载 100 Gbit/s 的光信号,从而实现了单信道为 11.2 Tbit/s 的光信号。剥离前向纠错码(FEC)等开销后的净速率为 10 Tbit/s。

中兴通讯的单信道 10 Tbit/s 光信号采用正交频分复用技术,由中兴通讯美国研究所完成。中兴通讯美国研究所自 2010 年成立以来,立足于 100G 高速信号传输技术的尖端技术研究和开发,与全球最新技术紧密互动并与中国团队紧密配合,先后攻克了 100G 产品中的若干

关键技术,成为全球高速光通信传输技术的“引擎”。

该实验结果已经被 OFC 收录,并于 3 月 10 日在 OFC 会议上宣读,中兴通讯作为第一完成单位被 OFC 以 post deadline 方式接收,填补了中国公司在光纤通信传输领域的一项空白,标志着中国公司向世界光网络顶尖技术领域的迈进。该文章也是 2011 年中国公司在该会议上的唯一一篇最有竞争力的论文报告(PDP)。发布 PDP 是 OFC 会议的最核心部分,这些论文在光纤通信领域具有权威地位。

中兴通讯承载网产品作为公司战略重点之一,凭借持续技术创新、低 TCO 和良好的工程交付能力,近年来始终保持业界领先的增长态势。Ovum 4 季度滚动市场份额分析报告显示:中兴通讯年度市场滚动份额保持全球第三。在 100G 研究方面,中兴通讯承载网已经取得了重大进展,先后完成了桌上样机和离线样机的研制。

中兴通讯领衔亮相 CCBN 展会 全面展示自主创新的三网融合业务

【本刊讯】2011 年中兴通讯继续领衔中国供应商深度参与“第十九届中国国际广播电视信息网络展览会(CCBN 2011)”。在本次展会中,三网在网络各个层面的融合、NGB 建设等方面成为展示亮点,各种视频点播业务、银行支付、民生信息等业务也有精彩呈现。中兴通讯特别提出“标识网”概念的产品和方案。

配合此次展会的主题“推进三网融合,共享广电未来”,中兴通讯展出了针对三网融合的整体解决方案,覆盖终端、数字双向化改造、承载、核心网、互动电视、IPTV 需求,包括 10G xPON 网络平滑演进保证三网融合业务开展,多屏合一及基于 IMS 的融合应用提升业务体验,在一根同轴的基础上形成两张平面的三网融合承载网解决方案,突出了对三网融合产业链及产业运作机制的支撑。

作为具有自主创新精神的三网融合综合方案提供

商,中兴通讯以大容量、高可靠性、“标识网”突出了融合的广电业务承载方案,保证了网络的安全和可控。三网融合时代,加强信息网络管理,提高对虚拟社会的管理水平,需要进行自主创新。“标识网”的核心是给每个终端分配固定的身份标识(网络身份证),实现网络实名制。

同时,作为全球 EPON 第一品牌,中兴通讯此次重点展示针对广电应用场景的众多 ONU 设备、业界容量最大的集群路由器 T8000 设备及业界尺寸最紧凑的全业务路由器 M6000-NS 设备。此外展台的一大亮点是重点展出了 CMMB 业务,中兴通讯自主创新,全程参与其关键技术的研发,并形成了系列标准和专利。

据悉,中兴通讯此次占据 6 号馆 6202 展位 180 平方米展区,也对 3 月 21 日举办的“数字电视中国峰会”论坛进行了独家赞助,畅谈三网融合的机遇与挑战。

中兴通讯构筑“桥梁”部署方案 助力 IPv4/IPv6 网络平滑演进

【本刊讯】中兴通讯于 2011 年 4 月对外发布：构筑“桥梁”方案，跨越 IPv4/IPv6 网络“鸿沟”，兼容并推动产业链完善，实现 IPv4/IPv6 平滑演进。

针对不同的应用环境与应用阶段，中兴通讯提供独立型“桥梁”集中式部署和融合型“桥梁”分布式部署两种方案，以覆盖不同网络的演进阶段。网络演进初期，IPv6 用户规模较小，且需要兼顾投资成本及网络改造风险，此时独立型“桥梁”集中式部署方案给予支撑；随着 IPv6 用户规模扩大，“桥梁”延伸至城域网业务边缘控制层，由 BRAS 增插业务单板以集成“桥梁”功能，此时融合型“桥梁”分布式部署方案予以支撑。

中兴通讯 ZXR10 M6000 40G/100G 平台 SR/BRAS 具备完善的 IPv6 用户和业务管理特征，且为实现网络 IPv6 平滑演进、集成最为完善的 IPv4/IPv6 “桥梁”功能，提供了 DS-Lite CGN&DS-Lite BRAS、NAT444 LSN、6RD BR&6RD BRAS、NAT64、LA FT NGW&LAFT BRAS 以及 PNAT 等不同

功能，最终实现了 IPv4/IPv6 业务并发承载，保证了用户业务的丰富性。除此之外，SR/BRAS 还基于 NAT 实现了 IPv4 地址共享，缓解了运营商 IPv4 地址短缺压力。ZXR10 M6000 独家提供 CGN、LSN，BR 的 1:1/1+1 热备份和负载分担功能，提供合法监听和 PCP Server 功能以保证网络安全并降低 CGN/NGW 设备压力，不仅提高了网络可靠性，更是保证演进过程中网络可运营。同时秉持“可重构”的特征，ZXR10 M6000 可基于网络需求灵活增加或更改“桥梁”功能，无需更换硬件单板，降低成本。

中兴通讯承载网产品线总经理樊晓兵表示：“中兴通讯自 2001 年初就组建了专业的 IPv6 研发团队，10 年来坚持在 IPv6 技术领域持续投入，研制出具有自主知识产权的双栈操作系统平台、全系列 IPv4/IPv6 双栈数通产品，提供覆盖终端、承载网以及业务的端到端 IPv6 演进方案，已在欧洲高端市场以及中国市场中获得了显著的应用。”

中兴通讯发布 IP 多媒体会话 领域 RFC 标准

【本刊讯】2011 年 4 月，中兴通讯与合作伙伴一起成功发布 IP 多媒体会话领域 RFC 标准。该标准被 IETF 标准组织推荐为 Standard Track 最高等级，标志着中兴通讯在 IP 多媒体控制最核心的标准领域建立起话语权，处于行业领先地位。

RFC6141 是 SIP 中的核心协议 SIP Core WG 的标准，对于 SIP 网元及设备之间的互通具有指导性意义。作为 IP 多媒体控制领域的核心协议，对于所有的 SIP 终端、各通信设备商的 CSCF、SIP AS（如 IMS 的 AS、多媒体会议 AS）等核心网产品都有严格的标准约束力。

IETF 是互联网工程任务组的简称，作为全球互联网领域最具权威的大型技术研究组织，IETF 主要负责互联网相关技术规范的研发和制订，当前绝大多数国际互联网技术标准出自 IETF。此次在 IP 多媒体会话领域

发布 RFC 标准，有助于推动互联网标准完善和技术进步，显示了中兴通讯在业界标准领域的日渐成熟的影响力和重要性。

近年来，中兴通讯积极参与 IETF 组织的各项国际互联网技术开发和标准化工作，在以互联网标准制订方面为代表的领域内取得一系列成就。不久之前，中兴通讯 IMS 媒体面安全领域的核心协议（RFC6043）也已通过 IETF RFC 认证，并在 3GPP TS 33.328 标准中强制使用，得到了众多高端运营商的支持。

作为全球领先的设备供应商，中兴通讯已经成为 70 多个国际标准组织的会员和论坛成员，担任了 30 多个标准组织领导席位，获得了 80 多个标准编辑席位，累计递交了 12 000 个标准提案，在中国、美国及欧洲等国家与地区申请了超过 30 000 多件的专利。

专题:车辆自组织网络及其应用

专 | 题 | 导 | 读

信息化是当代人类社会和经济发展的重要趋势。信息化需要依托国家信息基础结构(NII)和建立在其上的各种层次业务信息网络来实现。中国现正以重大专项方式大力推动发展的物联网就是这种应用层网络,在“十二五”期间他将成为推动中国经济发展的重要动力。

目前,中国已成为世界最大的汽车生产和销售大国。急剧增长的家用车辆和其他用车使交通拥堵和车辆停放管理成为城市(特别是大城市)发展的重大问题。同时,迅速发展的高速公路一方面极大地缩短了地域距离,方便了人们的联系,促进了经济发展;另一方面,长时间在公路上驾驶和旅行的人们,也需要方便、及时地得到各种消息,并得到必要的视听娱乐服务。这些需求催生并推动了车辆无线通信网络的发展。

车辆自组织网络,简称车域网或车联网,是车辆无线通信网络的主要组成部分。它是一种服务于各种车辆(车载终端)和道路交通管理的信息网络,也是一种广义的物联网。车辆自组织网络把数字化、网络化和智能化延伸到移动的车辆和道路,使车载终端随时方便地接入互联网,从而及时得到各种信息。由于车辆的快速移动和各个节点接入的完全随机性,使这一通信方式具有信道的高度时变性、突出的多普勒效应和网络拓扑的不确定性等特点。因此,车辆无线通信网既要依托于现有的无线通信网络,又需要针对自身的特点构建自己的体系结构,并采用一些专用技术。这一领域的研究开发已受到广泛的关注,成为当前的一个热点,近年来已有许多研究成果报道,并已制订出一些标准,也有若干原型系统投入实验运行。

本期专题共收入9篇论文,将从各方面多角度介绍车辆自组织网络,包括:问题的提出、传输特点和技术、网络结构、协议标准、网络和信息安全、在智能交通中的应用、原型系统的开发和现场实际测试结果等。读者通过这些介绍,可以对车辆自组织网络有一个全面系统的了解,并可以通过各文后所列的参考文献做更深入的研究。

本期专题论文的作者都是实际从事这一领域研究的工作者,文中很多内容都是他们自己的研究心得和成果。感谢他们在百忙中为本期专题撰写稿件,希望这些论文能给读者有益的启示与参考。

本期专题策划人



乐光新

北京邮电大学教授、博士生导师,长期从事通信系统理论和数字通信系统的教学和科研工作,曾担任北京邮电大学电信工程系主任、校教学特别顾问和校学术委员会主任等职务,1992年起享受国务院特殊津贴,主要研究方向是数字通信系统与信息处理、宽带无线通信与网络等。

2011年第1—6期专题计划

- 1** 物联网技术及其应用
杨震 南京邮电大学校长
- 2** 未来网络
侯自强 中国科学院声学研究所教授
- 3** 车辆自组织网络及其应用
乐光新 北京邮电大学教授
- 4** 三网融合演进技术与业务
李红滨 北京大学教授
- 5** 新一代宽带移动通信创新技术
李少谦 电子科技大学教授
- 6** P比特级光交换网络
徐安士 北京大学教授



中兴通讯技术

ZHONGXINGTONGXUN JISHU

双月刊 1995年创刊 总第98期

2011年6月 第17卷第3期

主管：安徽省科学技术厅

主办：中兴通讯股份有限公司

安徽省科学技术情报研究所

编辑：《中兴通讯技术》编辑部

总编：谢大雄

副总编：邓新

常务副总编：黄新明

责任编辑：杨勤义

编辑：朱莉、卢丹、徐辉、Paul Sleswick

排版制作：余刚

发行：王萍萍

编务：王坤

《中兴通讯技术》编辑部

地址：合肥市荣事达大道450号

邮编：230041

网址：www.zte.com.cn/magazine

投稿平台：www.zte.com.cn/paper

电子邮箱：magazine@zte.com.cn

电话：(0551)5533356

传真：(0551)5850139

出版、发行：中兴通讯技术杂志社

发行范围：全球发行

印刷：合肥中建彩色印刷厂

出版日期：2011年6月10日

刊号：ISSN 1009-6868

CN 34-1228/TN

广告经营许可证：皖合工商广字0058

定价：每册10.00元，全年60.00元

目次

办刊宗旨

以人为本，荟萃通信技术领域精英；迎接挑战，把握世界通信技术动态；立即行动，求解通信发展疑难课题；励精图治，促进民族信息产业崛起。

专题：车辆自组织网络及其应用

- 01 车辆无线通信网络及其应用 罗涛, 王昊
- 08 车载自组织网络的体系结构和通信协议研究 杨琼, 沈连丰
- 12 一个基于 IEEE802.11p 标准的 WAVE 模型样机 向卫东
- 16 车联网网络架构与媒质接入机制研究 须超, 王新红, 刘富强
- 21 车载自组网中的网络与信息安全 高永康, 郝建军
- 24 车载自组织网络中基于贪婪算法的地理位置路由 胡淼, 李剑峰
- 29 基于车载自组网的动态交通信息的挖掘和利用 向勇
- 35 基于车载自组织网络的智能交通管理及应用 魏星
- 40 基于车载自组织网络的消息发送时机研究 王琳, 徐俊, 江昊

专家视点

- 44 100G 光传送技术渐入佳境 张海懿, 赵文玉

运营应用

- 49 IP 网络承载物联网业务能力研究 何晓明, 刘志华

研究论文

- 54 TD-LTE 系统切换技术的研究 陈俊, 彭木根, 王文博

开发园地

- 59 PBB-TE 分段保护的关键技术 吴少勇, 魏月华, 邵宏

系列讲座

- 62 分组通信网的同步与定时技术(3) 王文黉, 王斌, 糜正琨

综合信息

- 广告索引 (15)

期刊基本参数: CN 34-1228/TN * 1995 * b * 16 * 64 * zh * P * ¥10.00 * 15000 * 14 * 2011-06

Contents

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol.17 No.3 Jun. 2011

Special Topic: Vehicular Ad Hoc Networks and their Applications

- 01 Wireless Vehicular Communication Networks and Applications LUO Tao, WANG Hao
- 08 System Architecture and Communication Protocols
in Vehicular Ad Hoc Networks YANG Qiong, SHEN Lianfeng
- 12 A WAVE Prototype Based on the IEEE802.11p Standard XIANG Weidong
- 16 Internet of Vehicles:
Architecture and Multichannel MAC XU Chao, WANG Xinhong, LIU Fuqiang
- 21 Network and Information Security
in Vehicular Ad Hoc Networks GAO Yongkang, HAO Jianjun
- 24 Greedy Algorithm-Based Geographic Position Routing
in Vehicular Ad Hoc Networks HU Miao, LI Jianfeng
- 29 Dynamic Traffic Data Mining Based on Vehicular Ad Hoc Networking XIANG Yong
- 35 Intelligent Transportation Management and Applications Based on VANET WEI Xing
- 40 Message Sending Time in Vehicular Ad Hoc Networks WANG Lin, XU Jun, JIANG Hao

Expert View

- 44 100G Optical Transport Technology is Becoming More Refined ZHANG Haiyi, ZHAO Wenyu

Operational Application

- 49 The Ability of IP Networks to Carry the Internet of Things HE Xiaoming, LIU Zhihua

Research Paper

- 54 Investigation of the Handover Mechanism
in TD-LTE Systems CHEN Jun, PENG Mugen, WANG Wenbo

Development Field

- 59 Key Technology in PBB-TE Segment Protection WU Shaoyong, WEI Yuehua, SHAO Hong

Lecture Series

- 62 Synchronization and Timing Technology
of Packet Communication Networks (3) WANG Wennai, WANG Bin, MI Zhengkun

《中兴通讯技术》编辑委员会

主 任 钟义信

副主任 侯为贵 糜正琨

编委(按姓氏拼音顺序排列)

艾 波 曹淑敏 常金芸 陈常嘉
陈建平 陈 杰 陈锡生 程时端
程时昕 高 文 龚双瑾 古永承
顾晚仪 郭云飞 侯为贵 何士友
洪 波 纪越峰 江 华 蒋林涛
雷震洲 李红滨 李建东 李乐民
李少谦 李 星 孟洛明 糜正琨
倪 勤 史立荣 谈振辉 田文果
王晓明 王晓云 王育民 韦乐平
卫 国 谢大雄 谢希仁 徐安士
须成忠 续合元 杨义先 杨 震
殷一民 尤肖虎 乐光新 张同须
张智江 赵厚麟 赵慧玲 赵先明
钟义信 周苏苏 朱近康

敬告读者

一、本刊享有所发表文章的版权,包括英文版、电子版和网络版版权,所支付的稿酬已包含上述各版本的费用。

二、未经本刊许可,不得以任何形式全文转载本刊内容;如部分引用本刊内容,须注明该内容出自本刊。

邮购须知

本刊常年办理邮购订阅业务,欢迎订阅。订阅方法:从邮局汇款至编辑部,在汇款单上将订阅者的详细地址、收件人姓名及联系电话填写清楚,并在汇款单附言栏注明所购杂志期次及数量。

车辆无线通信网络及其应用

Wireless Vehicular Communication Networks and Applications

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0001-07

摘要: 文章介绍了车辆通信网的基本概念、网络架构、国际标准及关键技术, 分析了其在物理层、媒体接入层、路由层、安全技术的研究热点问题, 并讨论了其在智能交通、安全行车、导航和智能驾驶等方面的应用前景。

关键词: 车辆通信网; 专用短程通信; 通信安全; 驾驶辅助及预警系统。

Abstract: This paper introduces the basic concept, network architecture, international standards, and key technologies of wireless vehicular communication networks. It also analyzes issues in the PHY, MAC, and routing layers as well as issues in security technology. The broad prospects of wireless vehicular communication networks in intelligent transportation, safe driving, navigation, and intelligent driving are discussed.

Key words: vehicular communication networks; dedicated short range communications; communications security; driving assistance and warning systems

罗涛/LUO Tao

王昊/WANG Hao

(北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京, 100876)
(School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing 100876, China)

随着中国经济实力和科技水平的提高, 交通业发展迅速, 汽车已越来越深入到人们的日常生活之中。2009年中国的汽车年销售总量已超过美国而跃居全球第1; 截至2010年底, 中国汽车保有量为9 086万辆, 超过日本, 高居全球第2。车辆的骤增引发了一系列社会问题: 交通堵塞、停车困难、交通事故频发, 因此, 车辆的安全驾驶、交通管理和车辆间的信息交换(如自动刹车信息、危险告警、碰撞告警、位置信息、速度信息)等日益引起人们的关注。基于此, 智能交通及车辆无线通信网络等概念应运而生。智能交通系统(ITS)被认为是解决现代交通问题的最有效办法之一。而中国的交通环境和现状意味着智能交通系统具有迫切的需求和广阔的发展空间。基于此,

中国从“九五”期间就开始了智能交通的研究, 相继启动了一些研究项目, “十二五”规划中更是将其作为重点领域之一。作为智能交通领域最热门的研究方向之一, 车辆通信网络结合全球定位系统(GPS)、传感器技术和无线通信网络, 如无线局域网(WLAN)、无线传感器网、蜂窝网络等, 可为处于高速运动中的车辆提供一种高速率的数据接入网络, 进而可为车辆的安全行驶、计费管理、交通管理、数据通信等提供解决方案。显然, 车辆无线通信网络是智能交通系统的基础信息承载平台, 可为其采集实时的交通信息, 及时广播安全与导航信息, 在提高行车安全、减少交通事故、改善交通及驾驶环境等方面具有深远的意义。

1 智能交通系统发展及现状

智能交通系统是指将先进的信息技术、通信技术、传感技术、控制技

术以及计算机技术等有效地集成运用于整个交通运输管理体系, 而建立起的一种在大范围内、全方位发挥作用的, 实时、准确、高效的综合的运输和管理系统。智能交通系统以前在美国叫智能化车辆道路系统(IVHS), 在欧洲被称为公路运输信息(RTI)、先进运输车辆物联网(ATT), 从1994年开始全世界通称为ITS^[1]。

在日本, ITS从20世纪70年代开始兴起。当时日本开发了最早的汽车综合(交通)控制系统(CACS)。20世纪80年代中期至90年代, 相继完成了路车间通信系统(RACS)、先进的车辆交通信息与通信系统(AMTICS)、超智能车辆系统(SSVS)、安全车辆系统(ASV)及新交通管理系统(UTMS)等方面的研究。1994年1月成立路车交通智能协会(VETIS)专门负责在省厅、大学和科研机构以及民间企业之间的联络。同年, 日本建设省和道路工团邀请日本10家公司和集团联合进行了电子不停车收费系统(ETC)的野外试验, 为专用短程通信(DSRC)日本频率的选定提供了依据。1995年7月日本成立道路交通信息通信系统(VICS)中心, 并于1996年4月正式启动, 1998年向全国推进。日本的VICS

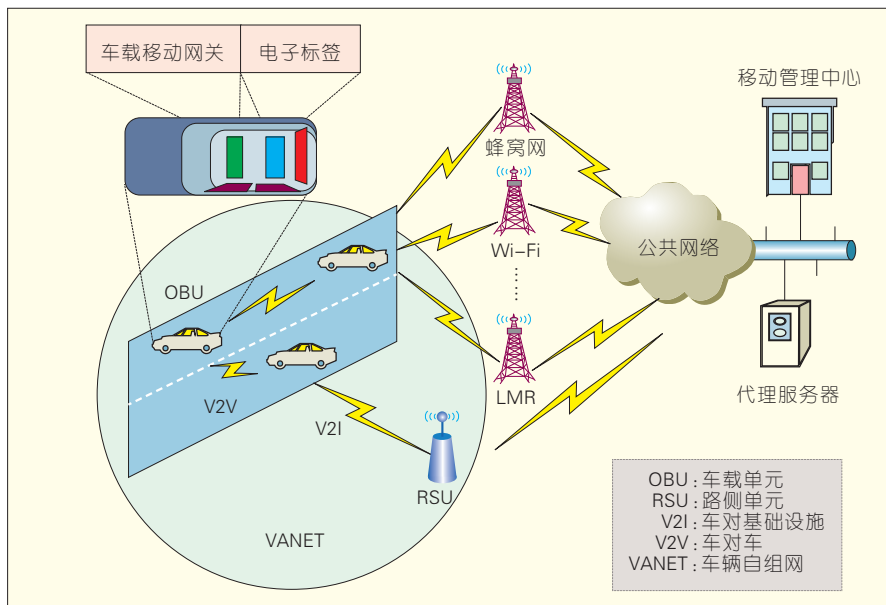
基金项目: 国家自然科学基金项目
(60872049、60971082)

是 ITS 实用化的第一步,居于世界领先水平。

在美国,ITS 始于 1967 年的电子路径导向系统(ERGS),之后在美国政府和国会的参与下,1990 年成立了 ITS 的领导和协调机构 IVHS。1991 年美国国会制订了综合地面运输效率方案(ISTEA),1994 年 IVHS 更名为 ITS。其实施战略是通过实现面向 21 世纪的“公路交通智能化”,以便从根本上解决和减轻事故、路面混杂、能源浪费等交通中的各种问题。

在欧洲,ITS 的研究开发由欧盟与民间并行推进。早在 1949 年,爱尔兰车辆通信工作组(PGVC)成立,标志着 IEEE 汽车技术协会的诞生。1986 年由欧洲多个国家联合执行的“保障车辆安全的欧洲道路基础设施(DRIVE)”计划旨在完善道路设施,提高服务质量。1992 年,欧洲成立 CEN/TC278 工作组,专门致力于道路运输和交通运输信息通信(RTTT)的标准化工作。欧洲各国正在进行车辆物联网(TELEMATICS)的全面应用开发工作,计划在全欧洲范围内建立专门的交通无线数据通信网。智能交通系统的交通管理、车辆行驶和电子收费等都围绕 TELEMATICS 和全欧洲无线数据通信网展开。欧洲民间也联合成立了“欧洲高效安全交通系统计划(PROMETHEUS)”的计划。除此以外,新兴的工业国家和发展中国家也已经开始智能交通系统的全面研究和开发^[2]。

在中国,20 世纪 80 年代就已从治理城市交通管理开始入手,运用高科技来发展交通运输系统。20 世纪 90 年代,一些高校和交通研究机构开始了城市交通诱导系统技术的研究和尝试,开始跟踪国际上智能运输系统的发展,交通部也将智能运输系统的研究纳入了公路、水运科技发展“九五”计划和 2010 发展纲要。目前中国正在进行和已经完成的和车辆通信相关的项目及课题也有很多,例如:在“九五”、“十五”、“十一五”中



▲ 图 1 车辆通信网络架构

国国家科技攻关计划关于智能交通项目实施的基础上,北京实施了“科技奥运”智能交通应用试点示范工程,广州、中山、深圳、上海、天津、重庆、济南、青岛、杭州等作为智能交通系统示范城市各自进行了有益的尝试。在高速公路方面,中国内地大多数省区实现了省区内不同范围的收费系统联网。2010 年 6 月,中国工业和信息化部批准了中国铁路通信信号集团公司承担的基于 TD-LTE 的高速铁路宽带通信的关键技术研究与应用验证课题申报书。同年,国家“863”计划中启动了车路协同、城市交通协同等智能交通方面的项目。2011 年 1 月 7 日,由中国测绘科学研究院、首都师范大学以及北京航空航天大学联合承担的国家“863”课题“车辆多传感器集成关键技术研究”顺利通过科技部验收。此外,北京邮电大学无线通信系统与网络实验室承担的国家自然科学基金项目“车辆无线通信网络的跨层设计理论及关键技术研究”,同济大学承担的“基于 WinCE 的车辆通信服务系统”,华中科技大学承担的“车辆无线通信系统中的关键技术研究”,北京科技大学承担的国家“863”计划项目“基于 Ad

Hoc 的车辆通信系统关键技术研究”等项目也在紧锣密鼓的进行中。在“十二五”期间,国家自然科学基金委员会也将高速铁路安全运行、移动通信理论以及运行环境感知与综合检测列为信息科学部的重点项目。

ITS 将是中国高新技术应用的巨大市场之一,因此建设 ITS 对于中国实现跳跃式发展,实现高新技术的产业化具有重大的意义。需要结合中国的国情:中国的交通构成、文化背景和交通行为等方面确定中国 ITS 的发展规划,制订智能交通系统关键标准,切实解决中国面临的交通问题。

2 车辆通信网

车辆通信网络就是在汽车上装载移动通信设备,为高速行驶中的车辆提供一种高速率的宽带无线接入方式,构建一个以车辆为载体的庞大的无线物联网,包括车辆内部各部件、车辆与车辆之间、车辆与路边基站之间的无线通信网络等,其网络架构如图 1 所示。根据通信距离划分,车辆通信网络主要包括车域网(VAN)和车辆自组网(VANET)两大类。车域网是指通过使用传感器、电子标签等,在移动车辆内部各部件之间构建

无线局域网,并通过车载网关接入周边的无线广域网。它能使车辆内部及周围的设备直接或者间接通过无线协议进行通信。移动自组织网络(MANET)在交通道路上的应用被称之为车辆自组网,它为高速运动的车辆之间及运行在高速公路上的车辆提供了一种可能的高速率无线通信接入方式。

2.1 车域网

车域网(VAN)通过整合和引导车内及网络中的各类交通设备或设施,把车辆完全转变成网络的一部分,实现了无线广域网在高速运动车辆领域的无缝拓展。车载移动网关模块、移动管理中心及广域网组成了车域网的基本架构。显然,车载移动网关是VAN的核心,它兼有无线局域网和无线广域网相关技术,用来建立高效且与位置无关的移动服务平台。VAN的车内组件是基于短距离无线通信技术的,如IEEE 802.11标准、蓝牙以及通过串口或者以太网进行直连;而无线广域网(WWAN)技术则可通过蜂窝网、Wi-Fi、WiMAX等技术来实现。车辆上装载有电子标签,可以通过无线射频等识别技术,实现在信息网络平台上对所有车辆的属性信息和静态、动态信息进行提取和有效利用,并将这些信息通过车载网关发送到Internet网络中。这种方式也被应用在车辆物联网中。移动管理中心设计为网络操作中心的拓扑,目的是允许操作者主动管理移动局域网服务,包括配置管理、积极检测、故障排除、性能及流量计费管理等。

2.2 车辆自组网

自组网(Ad Hoc)是一种无线分布式结构,强调多跳、自组织、无中心的概念。VANET是MANET的特殊形式,它具有移动自组织网络的各种特点,比如自治性和无固定结构、多跳路由、网络拓扑的动态变化、网络容量有限、良好的可扩展性等。但

VANET网络中,特殊的应用环境,如狭窄的道路、高密度节点分布、节点高速移动等,直接影响其信息传输能力,使得丢包增加、延迟增大。

VANET网络的基本架构主要分为车辆与车辆(V2V)通信,车辆与基础设施(V2I)通信两种结构,如图1中圆形区域所示。V2V通信可以使车辆实时监测到其附近道路上其他车辆的相关信息,为行车安全及智能驾驶等提供一种高科技的解决手段。V2I通信则可以使得车辆随时获悉其周边各类设施的相关信息,提供各类服务信息及数据网络接入,其通信系统一般由车载单元(OBU)、路侧单元(RSU)以及专用短距离无线通信协议3部分组成。

最早针对车辆间通信的研究也着重在VANET网络,为此已经建立了几个相对活跃的研究机构及项目^[3]。如CarTalk2000致力于开发一种新的基于车间通信的驾驶员辅助系统,用于驾驶的安全性和舒适性。C2C-CC目标是为车车通信建立一个公开的欧洲标准,不同制造商的汽车能够互相通信^[4]。

3 相关国际标准

DSRC是国际上专门开发适用于车辆通信的技术,1992年由美国材料与试验协会(ASTM)最早提出。2010年7月正式颁布的IEEE 802.11p是IEEE 802.11协议在车辆领域的推广与扩充,主要规定了DSRC协议的媒体访问控制层(MAC)和物理层(PHY)标准。IEEE 1609标准则是以802.11p通信协议为基础的高层标准,是IEEE针对无线通信技术应用于车辆

环境时所定义出的通信系统架构以及一系列标准化的服务和接口。

3.1 DSRC

DSRC是一种无线通信技术,负责在车路以及车车之间建立信息的双向传输,支持公共安全和私有操作。DSRC能够提供高速的数据传输,并且能保证通信链路的低延时和系统的可靠性,是专门用于车辆通信的技术。DSRC迄今为止还没有形成统一国际标准,国际上DSRC标准主要有欧、美、日三大阵营:欧洲ENV系列、美国900 MHz和日本ARIBSTD-T75标准。1992年,ASTM主要针对ETC业务的开发而最先提出DSRC技术的概念,其采用915 MHz频段。2002和2003年ASTM分别通过了DSRC标准E2213-02及其改进版本E2213-03,工作频率为5.9 GHz。表1给出了分别工作在915 MHz与5.9 GHz不同频段的DSRC的性能比较。DSRC工作在5.9 GHz时,通信范围扩展到1 000 m,数据传输速率也提高到6~27 Mbit/s。表2介绍了DSRC与其他无线通信技术的区别^[5]。DSRC能在短距离通信范围内进行高速数据传输,而且成本很低廉。

3.2 IEEE 802.11p

2004年,IEEE专门成立了车辆通信环境下的无线接入(WAVE)工作组,DSRC标准化工作也转入IEEE 802.11p与IEEE 1609工作组进行,主要还是针对应用于高速移动环境中的IEEE 802.11标准的相关内容进行一些修改。IEEE 802.11p^[6]是美国交通部针对欧洲的车辆通信网络,特别

▼表1 DSRC在915 MHz与5.9 GHz不同频段的性能比较

性能	915 MHz	5.9 GHz
通信范围/m	大于30	1 000
数据速率/(Mbit/s)	0.5	6~27
用途	最初针对电子不停车收费系统开发,也能够用于其他应用	用于一般因特网接入,也可用于电子不停车收费系统
信道	单一未授权信道	7个授权信道
接口	需要特殊芯片或者软件	使用开源芯片或者软件

▼表2 DSRC与其他无线通信技术比较

性能	DSRC	调频无线电	蜂窝通信	卫星通信
通信范围	1 000 米	几百千米	几千米	几千千米
数据速率	6 ~ 27 Mb/s	大于 10 k/s	目前: 大于 10 kb/s 未来: 2 ~ 3 Mb/s	—
方向性	视距传输	区域覆盖	区域覆盖	区域覆盖
成本	无	无	小	大

是电子道路收费系统、车辆安全服务与车载商业交易系统等应用而设计的一种中长距离通信的空中接口标准,它计划将被用在车辆通信系统中,能够提供高速的车到车和车到路侧单元的数据传输。在 WAVE 系统中,一个路侧单元大约可以覆盖方圆 1 km。IEEE 802.11p 协议主要描述车辆无线通信网络的物理层和 MAC 层协议:MAC 层采用增强分布式信道接入机制(EDCA),物理层仍采用 802.11a 标准使用的正交频分复用(OFDM)技术,只是其物理层参数在 802.11a 的基础上进行了一些调整。比如,其带宽调整为 10 MHz,信息传输速率相应地降低为 3 ~ 27 Mbit/s,工作频率为 5.850 ~ 5.925 GHz 等^[7]。

3.3 IEEE 1609 协议族

IEEE 1609 系列标准主要目的为制订 V2V 和 V2I 的标准无线通信协议,并提供行车环境下,包括汽车安全性、自动收费、增强导航、交通管理等广泛应用环境的通信标准。802.11p 协议主要负责物理层及 MAC 层,而 IEEE 1609 则主要规定了相应的高层协议。

IEEE 1609.1 主要用做资源管理,为 DSRC 设备提供额外的管理机制,让具有控制能力的节点能够远端控制一个区域内的所有节点。IEEE 1609.2 主要负责制订 IEEE 1609 标准中的安全机制。IEEE 1609.3 主要用来制订 WAVE 系统中网络层通信协议及管理机制,并为降低 WAVE 设备间传输时所需的时间而专门制订了短信通信协议(WSMP)。IEEE 1609.4 负责制订信道间切换方式。WAVE

中包含 1 个控制信道和 6 个服务信道。因为必须定期或者不定期对控制信道与服务信道之间进行切换,所以不同 WAVE 设备之间必须通过共通的信道交换信息。

车用通信长久以来受限于无线通信技术难以应用在高速移动环境中;不同车商之间缺乏统一的通信接口,使得车辆与外界的沟通受到相当大的限制。IEEE 1609 协议族在这方面有了突破。所以,世界各国都以指定车辆通信标准为其重要交通政策,如美国交通部提出 ITS 相关计划便是一例。IEEE 结合了政府、车商及运营商共同制订 IEEE 1609 系列技术标准,为行车环境中各项应用情境提供了解决方案。

4 关键技术

4.1 物理层技术

与传统无线通信系统相比较,车辆无线信道具有传输特性变化快的特点:车速高、时变快衰落、多普勒效应严重。众所周知,车辆行驶在市区等人群、楼宇密集的区域时,多径衰落可能是影响其通信质量的最主要因素;但当其行驶在郊外、高速公路等区域时,由于高速运动所引起的信道的时变性和多普勒频移将是主要因素,不可忽视。对于物理层使用 OFDM 技术的车辆无线通信系统中,由于 OFDM 对频偏的高敏感性使得这一问题尤为突出,会引起明显的误码率和吞吐量性能的下降。例如,移动速度为 200 km/h,采用非编码 16QAM, 40 dB 信噪比的情况下,存在/不存在多普勒频偏时无线局域网

802.11a 的平均误码率由 3.5×10^{-4} 下降为 1.8×10^{-4} ;而数字视频广播(DVB)系统则由 1.8×10^{-4} 急剧下降为 2.78×10^{-2} ,下降了 2 个数量级(约 1/500)^[8]。因此,如何降低多普勒频偏对系统所造成的影响,以及对于物理层信道传输特性的测量与建模等均是目前的研究热点。调整帧长和多普勒分集技术等可降低多普勒频偏的影响,Tan 等人首先建立了一种基于 GPS 的车辆无线信道测量实验平台,并在此基础上分别构建了 V2V 和 V2I 的信道模型^[9],David W Matolak 对目前存在的 V2V 模型进行了综述^[10]。

车辆无线通信网络的物理层采用 IEEE 802.11p 标准:工作频率为 5.850 ~ 5.925 GHz,共 75 MHz,被划分为 7 个 10 MHz 的信道。为了增强车载环境下抵抗多径传播和多普勒效应的能力,IEEE 802.11p 使用 64 点 OFDM 技术,信道带宽也降为 802.11a 的一半(10 MHz),信息传输速率为 3 ~ 27 Mbit/s。

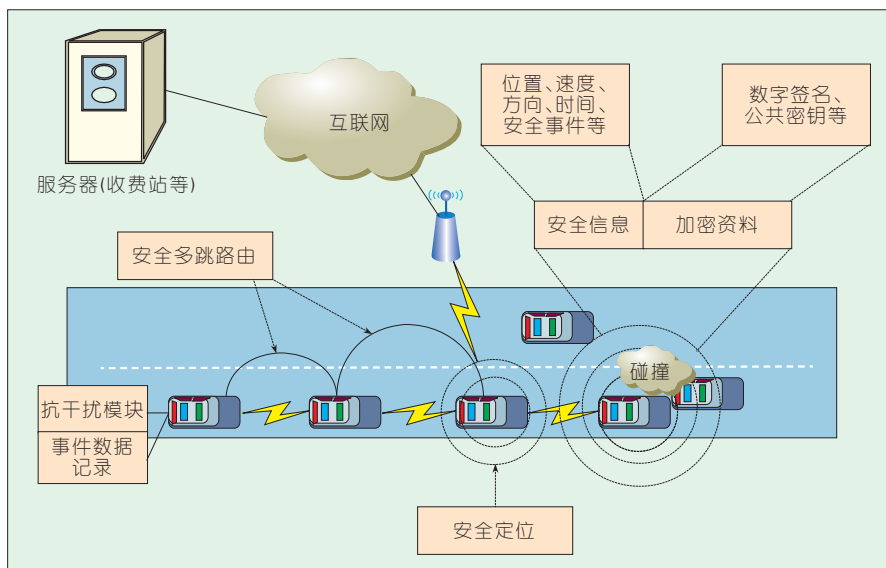
4.2 媒体接入层技术

MAC 层的关键技术主要是对 MAC 的资源进行管理,包括呼叫接纳和切换技术、调度技术、服务质量(QoS)架构、链路预测及自适应技术等。车辆自组网的 MAC 层有着与传统网络不同的特点:无线信道质量受道路环境、交通状况等影响严重,网络拓扑受道路约束及车辆移动速度的影响,链路不稳定等。这就要求车辆网络中的 MAC 协议需要支持车辆高速移动性,保证通信的实时性及可靠性;采用分布式自组网方式,保障用户公平、高效地进行通信^[11]。无线环境下 MAC 层的接入方式主要可划分为基于竞争的共享介质方式和基于调度的独享介质方式两大类。载波监听多路访问/冲突避免(CSMA/CA)是典型的基于竞争的共享介质方式,节点在发送数据之前进行载波侦听,如果信道是空闲的就发送数据。基于调度的独享介质方式主要有频分

多址(FDMA)、时分多址(TDMA)、码分多址(CDMA)等,每个网络节点都有预设的时隙来进行数据传输。文献[12]详细介绍了媒体控制接入方式相关内容。不难看出,CSMA/CA更适合用于VANET。文献[13]研究了车辆相对运动速度对车辆自组网络的影响,以CSMA/CA作为MAC层算法进行仿真,指出RTS-CTS机制在车辆相对速度较低的情况下表现出良好的性能。文献[14]指出车辆通信网络中使用单信道会因为频繁碰撞和接入导致很大的延时,研究者将CSMA/CA与动态信道分配(DCA)^[15]相结合提出了适用于车辆自组网中多信道环境下的群集多信道MAC协议(CMMP),结果表明使用CMMP能够将碰撞和时延降低到传统MAC算法的60%。文献[16]指出现有的802.11 MAC协议是利用退避算法及不同帧间隔实现不同的QoS需求,这种做法会降低网络性能。针对这一问题,该文献提出了一种结合SDMA、OFDMA、TDMA的新的MAC算法(SOFT MAC),这种算法预先分配传输时隙同时为高效服务提供了随机接入时间。与传统的802.11的MAC算法相比,只要有效负载的大小超过500比特,SOFT MAC可以明显提高网络性能。IEEE 802.11p标准在802.11 CSMA/CA的基础上提出使用EDCA MAC协议,并引入仲裁帧间间隔(AIFS)以适配不同的QoS。

4.3 路由层技术

在车辆通信网中,路由技术就是为源节点(发送端车辆)到目的节点(接收端车辆)找到一条合适的路径以确保通信的可靠性。很多研究针对MANET网络提出了路由协议,比如目的序列距离矢量路由协议(DSDV)、动态源路由协议(DSR)、按需距离矢量路由算法(AODV)等。车辆通信网中的V2I模式可以采用这些现有的路由协议,但是在V2V模式下采用这些路由协议会对网络性能有极大降低。这是因为在VANET中,车辆快



▲图2 车辆通信网络安全架构

速运动、信息动态交换、车流密度变化大都会导致链路的频繁建立与断开,很多研究者针对VANET网络这一特性提出了一系列的解决方案。

DSDV、OLSR、AODV、DSR这些基于拓扑的路由协议需要知道整个网络的拓扑才能工作,因此,基于地理位置的路由协议脱颖而出。在基于物理位置的路由协议中,每个节点装备GPS用来获得节点的物理位置、行驶速度以及邻居节点的位置信息。这样,只需知道局部拓扑信息也能选择最优路由进行数据传输。文献[17]研究了物理位置路由协议,对贪婪边界无状态路由(GPSR)协议进行了改进,使得节点在选择下一跳时的路由信息更加准确,同时在十字路口处使用了可预测模型来掌握车辆行驶的动态,仿真分析后发现,这种改进的算法能够有效的降低丢包率。

由于网络中带宽是一定的,传送包的数量过多会导致碰撞急剧增加、丢包率大大提高。文献[18]将基于地理位置的路由协议与预留时间相结合。基于预留时间算法首先设置等待时间,然后根据发送重复数据的数量来确定数据包的优先级,发送重复包数量越多,在预留时间中的比重越大。等待时间结束后,选择比重最小

的节点作为下一跳。当存在两个或两个以上比重相同且最小的节点时,根据位置信息确定下一跳。这种方法能有效减小冗余,提供传输效率。

4.4 安全技术

车辆网络协议允许节点(车辆或者路边基础设施)通过一跳或者多跳来互相通信,节点既可以作为终端又可以作为路由器。车辆通信的独特特征是一把双刃剑:一方面可以为驾驶员提供大量丰富的工具,另一方面可能遭到技术滥用以及恶意攻击。因此,车辆通信网络的安全是不容忽视的,否则这些系统会引发犯罪,甚至使部署车辆通信网络失去了意义。各种应用程序之间的耦合、通信网络结构以及社会、法律和经济方面的因素都使车辆通信安全的效果造成深远的影响^[19]。图2所示为车辆通信网络安全架构示意图^[20]。

一些汽车制造商将IEEE 802.11协议部署在车辆的无线设备上,这样的做法似乎给恶意攻击者提供了很大的方便,可能导致即使拥有唯一认证也不能确保对节点的正确操作。各种不同类型的攻击者(内部的或者外部的、善意的或者恶意的、连续的或者随机的)造成的影响也是不同

的。车辆网络安全潜在漏洞有:

(1) 干扰

干扰器直接产生一些干扰信号,导致在它接收范围内的通信都无法建立。由于网络覆盖范围(比如高速公路附近)是一定的,干扰器正好利用这个定义好的范围进行干扰。

(2) 假冒

车辆网络一个主要的漏洞就是要求准确和及时地接收应用程序数据。攻击者伪造了一条假的预警信息进行发送,导致车辆网络大部分快速“感染”,很多车辆收到了这条错误的信息,驾驶者可能会做出影响车辆安全的反应,极大地降低了网络信息的可靠性。

(3) 篡改

任何一个中继节点都可以破坏其他节点的通信:它可以丢弃或者破坏消息,或者有企图的修改信息。也就是说,任何需要接收到的有价值的信息、重要的流量信息或者安全信息都可能被篡改过。事实上,篡改消息比伪造消息更容易,影响也更恶劣。

在文献[21]中,Eskandarian和Blum描述安全体系结构专门应用车辆网络中所谓的“智能碰撞”,这种碰撞是由外界故意引起的。但“智能碰撞”只是一种攻击类型,建立安全结构网络要求必须认识尽可能多的潜在的威胁。他们提出在消息获得数字签名之后,使用公共密钥和虚拟的基础设施来提供可靠的消息传输。文献[22]主要针对车辆通信安全的隐私和安全位置问题。他们指出需要恰当地权衡“责任”和“隐私”这两个方面,同时引入了电子车牌(ELP)作为车辆的唯一电子标识。

5 应用前景

车辆通信网络已经在ETC计费、交通调度等方面得到了广泛的应用。基于车辆通信网络搭建的信息通信平台,一方面可以扩大人们的工作娱乐空间,同时也可以大大提高行车的安全性和智能性,从而为智能驾

驶和智能交通等提供强有力的保障。

5.1 车载娱乐与导航

车载娱乐系统是为了给汽车提供更多的娱乐功能,包括车载视听娱乐系统及显示系统。包括汽车音响系统(车载MP3)、车载电视娱乐系统(车载DVD)、车载电子导航等。

两辆或多辆车通过车辆网络相连,就构成了一个车载娱乐及互动的平台。借助于该平台的通信机制,不同车辆上的乘客可以随时交换信息,如文字、图片、音乐、视频等,还能进行联机游戏。与蜂窝网相比,依靠VANET网络建立的通信,价格比较低廉,时效性也有很大提高。

传统的交通信息采集,往往通过布设监控设备,由控制中心统一发布,具有很大的局限性。而在VANET的自组织网络结构中,车辆之间相互通信,同时配合电子地图的应用,随时获取道路交通信息,实时性和准确性都有很大的提高,驾驶员能准确掌握道路的车流量情况,从而选择车辆密度较少的最佳路线,避免增加主干道的负载压力。

目前车载娱乐及导航系统的市场已比较成熟。美国市场的车载信息娱乐系统主要包括远程信息娱乐系统和基于电子地图的导航系统;在日本,电子地图导航系统已经变成标准配置,例如,使用具有3D效果的地图和其他信息服务;在欧洲,有越来越多的导航仪和蓝牙无线电话生产厂商加入到这个产业链中来,并因此给后装市场带来了新的活力;在中国,现阶段车载信息娱乐市场将从以音频和娱乐为主的市场,转向以视频和信息服务为主的市场。

5.2 智能驾驶

5.2.1 车辆预警

碰撞预警系统包括诸如正面碰撞预警、盲点警示、车道偏离警示系统、车道变化或合并警告、路口碰撞

预警、行人检测及报警功能、倒车警告、追尾预警和适用于大型车的翻转预警。一种特殊类别的预警是对司机的监测,防止疲劳驾驶等影响车辆安全驾驶的行为产生。早期上市的碰撞预警系统已经被大量的建模和测试,夜视及倒车预警系统已经安装在一些移动设备上。在未来几年,正面碰撞预警和车道偏离预警也将成为可能。

5.2.2 车辆辅助驾驶

道路交通往往存在一些盲区,如十字路口或高速公路的出入口。驾驶辅助系统能够交互盲区附近车辆间的状态、位置信息,能协助驾驶员安全、及时地通过这些地段,避免突发事件的发生。另一方面,如果司机没有对车辆预警系统发出的警告做出任何响应,驾驶辅助系统中的防碰撞系统可能采取的转向控制、制动、油门或操纵车辆返回安全状态。日本和欧洲已经推出了备受瞩目的驾驶助手产品,这种产品即将在美国上市。这种产品会感应到前方车辆减速,同时调整自身车速使之与前车保持一定的安全距离,当前方路况好转时,该系统又会将速度调节到最佳。目前这种系统适用于高速情况下,更新一代的系统目前正在测试中,可以使用在走走停停的情况下。1999年,三菱在日本推出了一种驱动支持系统,这种系统通过车辆后视镜提供了车辆偏离道路服务,将其作为对车辆驾驶助手系统的补充。本田、日产和丰田联合开发的先进安全汽车项目多项安全子系统,其中包括道路定位、自动制动、障碍预警、疲劳驾驶示警及夜间行人示警等。在欧洲有些政府资助的项目研究重点在于研究驾驶员监控、道路条件感知、视觉增强、导航控制(智能转向控制及优化车辆轨迹)及结合传感器的应用。

5.2.3 车辆自动化系统

汽车自动化系统包括低速自动

驾驶、在公交车道或者码头等隔离区进行电子车辆引导。车辆上的设备及智能仪器都是自动化的,与其相关的一些协作设施比如路边单元或者其他车辆上的终端等,也可能是全自动的。在一些安全条件以及交通情况允许的情况下,可以实现车辆自动驾驶,这时车车之间的协作是提高通信效率的关键。总之,汽车自动化系统在未来可以应用在很多情况中,通过各种协作来提高系统的性能。

5.3 智能交通

车辆通信网不仅能够为驾驶员提供安全、便捷的驾驶环境,同时能够实现车辆调度及交通疏导,从而降低整个城市的交通堵塞压力,提高公共交通的畅通性。

2007年,广州市已经开始推广公交车智能交通调度系统。乘客一经过车辆的智能感应器,就会自动扫描测量。调度中心可即时获知车上有多少乘客,是否拥挤等情况。司机只需轻按车上的智能按钮,就会发送一条短信要求调整排班计划,调度员再将下一班的发班时间发送到车上的智能机。如果公交车在运行路上抛锚或堵塞,智能调度系统也会第一时间知悉,并进行适当调整。

北京、苏州等城市也逐渐推出相应的缓解交通压力的策略,比如交通监控及流量分析、部署电子警察以及实行出租车调度服务系统等。合理地部署车辆通信网络、有效利用车辆相应信息、完善智能调度系统能够有效缓解中国城市交通压力、改善城市中行车环境、提高驾驶效率。

此外,车辆通信网络还可以应用在其他一些领域。比如,利用车辆通信网络可提供高速率的数据接入服务,在行车过程中接入Internet网络进行实时办公,处理业务,从而大大扩展了人们的工作范围。当出现突发事件时,利用车辆通信网络相关安全告警信息瞬间就可以被广播出去,实时通知附近的车辆采取应急措

施。若再结合智能驾驶,就可以避免出现连环碰撞等,从而尽可能地降低损失。

6 结束语

综上所述,人们对于车辆通信网的认识刚刚起步,该网络在关键技术、网络安全、网络应用方面都有着很大的研究价值和市场价值。发展车辆通信网有助于有效地改善中国交通现状,提供一个舒适、安全的驾驶环境,同时也能为中国的经济发展做出贡献。

7 参考文献

- [1] 徐中明, 陈旭, 贺岩松, 等. 智能交通系统(ITS)中的智能汽车技术[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2005, 28(8): 17-21.
- [2] 鲍晓东. 智能交通系统的现状及发展[J]. 北京工业职业技术学院学报, 2007, 6(2): 42-45.
- [3] 常促宇, 向勇史, 美林. 车载自组网的现状与发展[J]. 通信学报, 2007, 28(11): 116-126.
- [4] Car-to-Car Communications [EB/OL]. [2010-09-21]. <http://www.car-to-car.org>. 2003.
- [5] Dedicated Short Range Communications (DSRC) Home [EB/OL]. [2010-11-15]. <http://www.leeearmstrong.com/dsrc/dsrcchomeset.htm>.
- [6] IEEE Standard 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) specifications [S]. 2007.
- [7] 郝建军, 罗涛, 乐光新. 车载Ad Hoc网络[J]. 中兴通讯技术, 2009, 15(6): 28-31.
- [8] 罗涛, 温志刚, 等. Saturation throughput analysis of WAVE networks in Doppler spread scenarios [J]. IET Communications, 2010, 4(7): 817-825.
- [9] TAN I L, TANG W, LABERTEAUX K P, et al., Measurement and analysis of wireless channel impairments in DSRC vehicular communications [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'08), May 19-23, 2008, Beijing, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 4882-4888.
- [10] MATOLAK D W. Channel modeling for vehicle-to-vehicle communications [J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 46(5): 76-83.
- [11] TOOR Y, MUHLETHALER P, LAOUI T A. Vehicle Ad Hoc networks: Applications and related technical issues [J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2008, 10(3): 74-78.
- [12] BERTSEKAS D, GALLAGER R. Data networks [M]. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 2001.
- [13] JUNG S D, PARK S W, LEE S S. Effect of MAC throughputs according to relative velocity in vehicle Ad Hoc network [C]//Proceedings of the International Conference on Convergence Information Technology (ICCI'07), Nov 21-23, 2007, Gyeongju, Republic of Korea. 2007: 1182-1183.
- [14] KIM T, JUNG S, LEE S. CMMP: Clustering-based multi-channel MAC protocol in VANET [C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Computer and Electrical Engineering (ICCEE'09), Dec 28-30, 2009, Dubai, United Arab Emirates. 2009: 380-383.
- [15] IEEE Standard 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) specifications [S]. 2007.
- [16] ABU-RGHAFF M A, ABDALLA G M T, SENOUCI S M. Space-Orthogonal Frequency-Time Medium Access Control (SOFT MAC) for VANET [C]//Proceedings of the 2nd International Global Information Infrastructure Symposium (GIIS'09), Jun 23-26, 2009, Hammamet, Tunisia. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 73-80.
- [17] WANG Y B, WU T Y, LEE W T, et al. A novel geographic routing strategy over VANET [C]//Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA'10), Apr 20-23, 2010, Perth, Australia. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 873-879.
- [18] NURI M D, NURI H H. Strategy for efficient routing in VANET [C]//Proceedings of the 4th International Symposium on Information Technology (ITSim'10), Jun 15-17, 2010, Kuala Lumpur, Malaysia. 2010: 903-908.
- [19] RAYA M, PAPADIMITRATOS P, HUBAUX J P. Securing vehicular communications [J]. IEEE Wireless Communications Magazine, 2006, 13(5): 8-15.
- [20] BISHOP R. Intelligent vehicle applications worldwide [J]. IEEE Intelligent Systems, 2000, 15(1): 78-81.
- [21] BLUM J, ESKANDARIAN A. The threat of intelligent collisions [J]. IT Professional, 2004, 6(1): 24-29.
- [22] HUBAUX J P, CAPKUN S, LUO J. The security and privacy of smart vehicles [J]. IEEE Security and Privacy Magazine, 2004, 2(3): 49-55.

收稿日期: 2011-03-22

作者简介



罗涛, 北京邮电大学教授、博士; 主要研究方向为宽带移动通信, 包括车载无线通信、感知无线电、MIMO、OFDM技术及高速率无线通信网络的体系结构等; 已发表论文50篇。



王昊, 北京邮电大学信息与通信学院在读硕士研究生; 主要研究方向为移动通信、车载无线通信等。

车载自组织网络的体系结构和通信协议研究

System Architecture and Communication Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0008-04

摘要: 在对车载自组织网络的特点和研究现状分析的基础上, 文章给出了车载自组织网络(VANET)中多维多层的理论模型和网络体系结构, 讨论了物理层技术及其相关标准以及 MAC 层、网络层协议设计的重点和难点, 阐述了广播协议的设计思路。

关键词: 车载自组织网络; 体系结构; 媒体访问控制协议; 路由协议

Abstract: This paper gives a brief introduction to the characteristics and research status of vehicular ad hoc networks and presents a multilayer, multidimensional theoretical model and network architecture. It discusses techniques and standards in the PHY layer as well as challenges in designing protocols for the MAC and network layers. The design of the broadcast protocol in the MAC layer is described in detail.

Key words: vehicular ad hoc network; system architecture; MAC protocol; routing protocol

杨琼/YANG Qiong
沈连丰/SHEN Lianfeng

(东南大学, 江苏 南京 210096)
(Southeast University, Nanjing 210096, China)

随着汽车工业的蓬勃发展, 城市交通拥堵、道路交通事故以及恶劣天气下道路交通安全成了亟待解决的问题。作为智能交通系统(ITS)重要组成的车载自组织网络(VANET)就是在此背景下提出的, 成为保障行车安全和提高交通效率的关键。VANET 是将无线通信技术应用于车辆间通信的自组织网络, 对于发展移动通信, 提升车辆的信息化自动化程度, 减少交通事故, 提高道路交通安全, 具有十分重要的意义。

1 车载自组织网络

1.1 车载自组织网络的特点

VANET 是自组织网络的一种在

基金项目: 国家高技术研究发展(“863”)计划(2008AA01Z205)

交通领域支持动态、随机、多跳拓扑结构应用的特殊区域性网络, 是一类特殊的移动自组织网络(MANET)^[1]。文献[2]认为真正纯粹的通用目的的 MANET 在现实世界中并不存在, 而诸如 VANET、MESH 网络、机会式网络和无线传感器网络(WSN)这类具有实际应用背景的特殊移动自组织网络却获得了巨大的成功。VANET 与通用目的的自组织网络相比, 具有以下特点^[3]:

(1) VANET 中节点的拓扑结构变化快, 车辆的快速移动性决定了车载自组织网络中拓扑结构的频繁改变, 使得两个车辆节点之间通信链路的生存时间大大缩短。通常的解决办法是通过提高发射功率来延长链路的生存时间, 但发射功率的提高、通信距离增加的同时又降低了网络的

吞吐量。

(2) 快速变化的拓扑结构给建立精确的邻居节点列表带来困难, 而每个节点要获取维护整个网络的全局拓扑结构变得不现实, 因此基于网络拓扑结构的协议不适用于车载自组织网络。

(3) 车辆高速行驶带来信道的快速衰落、严重的多普勒效应, 同时受道路情况、道路周围高大建筑物、树木的影响, 无线信道质量很不稳定。

(4) 虽然车辆节点的快速移动给车载自组织网络带来严重的挑战, 但是由于车辆总是在道路上行驶, 车辆节点的移动具有规律性, 因此节点的拓扑结构变化具有规律, 可预测。

(5) 车载自组织网络具有丰富的外部辅助设备。车载全球定位系统(GPS)可以为 VANET 提供精确的定时和车辆的位置信息, 配合电子地图的使用, 为 VANET 组网和路由协议设计带来便利。车辆上可安装各种功能的传感器, 采集车辆节点的速度、加速度、方向等状态信息。

(6) 通用 MANET 中通信模块由电池供电, 所以节省能量成为协议设计

过程中需要重点考虑的问题。而在车载自组织网络中,由车辆本身为各种设备提供电力,从而对通信设备的能耗和设备体积的要求降低。

1.2 车载自组织网络的研究现状

VANET 目前是专用自组织网络中研究和应用最为活跃的领域。全球有众多的科研机构、汽车制造商以及相关组织参与到车载自组织网络的科研项目、外场试验和标准化工作中。例如美国的 Vehicle Safety Consortium、欧洲的 Car-2-Car Communication Consortium、CarTALK 2000、FleetNet,日本的 Advanced Safety Vehicle Program 等。美国还启动了车载自组织网络的外场试验项目。

在标准化方面,专用短距离通信(DSRC)是主要用于 ITS 领域(如电子收费系统 ETC)专为 ITS 而开发出的技术标准^[4]。国际标准化组织智能运输系统委员会 ISO/TC204 负责 DSRC 国际标准的制订工作。国际上 DSRC 标准制订主要有欧洲、美国和日本三大阵营。欧洲 DSRC 标准化工作小组 CEN/TC278 第 9 工作组于 1994 年开始 DSRC 标准的起草工作,1997 年通过了 ENV12253“5.8 GHz DSRC 物理层”、ENV12795“DSRC 数据链路层”和 ENN12834“DSRC 应用层”标准。1997 年日本 DSRC 标准化工作小组 TC204 委员会完成了 DSRC 标准制订工作,2001 年和 2004 年又分别发布了 ARIB STD-T75 和 ARIB STD-T88 两项标准。1998 年美国联邦通信委员会将 5.850~5.925 GHz(75 MHz)频段分配给运输服务领域的短程通信。2002 年 ASTM 通过 DSRC 标准 E2213-02,2003 年通过其改进标准 E2213-03。在标准 E2213-03 的基础之上,IEEE 802.11p 和 IEEE 1609 工作小组开始制订车载环境下的无线通信标准。2006 年 IEEE 通过了 IEEE 1609.1—1609.4 系列标准。2010 年 7 月 IEEE 802.11p 标准正式发布,该标准是 DSRC 的物理层和 MAC 层标准,是针

对 ITS 中的相关应用对 IEEE 802.11 标准的扩充延伸。

2 车载自组织网络的体系结构

2.1 理论模型

由于车辆自组网的网络节点具有高度移动性,车辆的分布相当复杂且变化多端。为了适应这种情况并能揭示问题本质,本文提出 VANET 的信息描述模型,即在研究的地理区域内,考虑一多维数组并将它用 $n \times m$ 阶矩阵表示。将每一车辆有可能联网参与通信的设备均看成 $n \times m$ 阶矩阵中的一个“元素”,每一“元素”又都看作是一个一维或者多维数组,可以包含:位置信息、设备识别码、通信模式、优先等级、移动信息(例如速度方向等)、分组情况(所属的子集)、紧急情况标识(例如危险等级、求救信息等)、能量信息、联网状态等,能够根据实际情况的变化而随时修正。

同样,根据需要矩阵中的“元素”可以表示为一维或多维数组(矩阵),即可得到一个用多重数组(矩阵)表示的信息描述模型。根据这个理论模型比较容易得到网络的拓扑结构进而研究其体系结构。如果考虑到车辆的移动(速度和方向等)以及道路状况,可以通过改变数组的类型和数值,把模型映射为状态和状态转移,从而得到状态图和状态转移图。同理可以将通信模式、联网状态(包括车辆间通信状态、车辆内设备协同工作状态、与外部网络的连接情况等)、优先等级、紧急情况标识、节点切换方法等,用这种多重数组表征,从而进行定量的分析。

用所提出的多维多层的理论模型进行 VANET 体系结构的研究能够提供高可扩展性,同时做到灵活、方便,使得组网变得容易。

2.2 网络架构

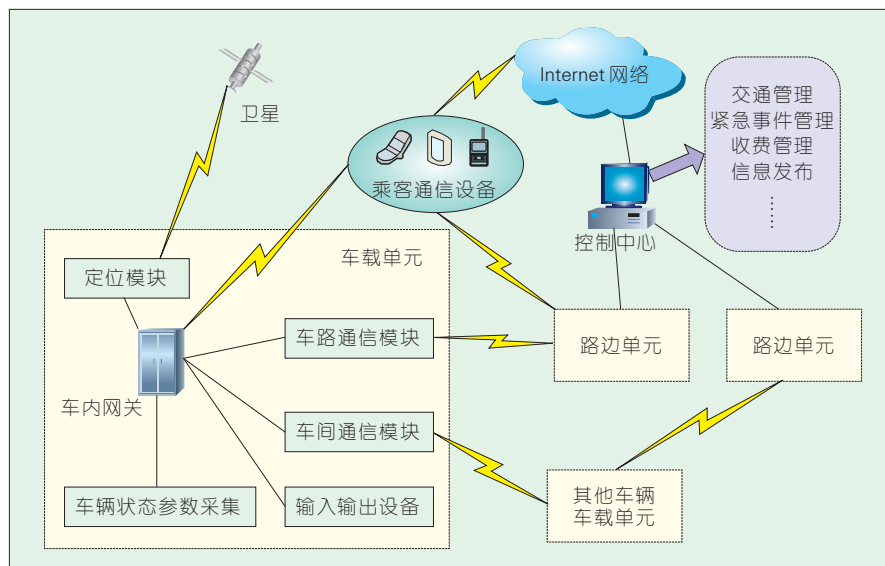
VANET 的网络架构主要分为两

大部分:一是车辆间的通信,即车车通信(IVC)或车对车(V2V);二是车辆与固定设施(即路边节点)之间的通信,即路车通信(RVC)或车对基础设施(V2I)。如图 1 所示。车辆上装载有车载单元(OBU),车辆通过车载单元与外界通信。固定设施主要是指在道路边缘设置的路边单元(RSU)。车载单元中主要包括定位模块、车辆状态参数采集模块、车路通信模块、车间通信模块以及输入输出设备。图 1 中所示定位模块采用 GPS 接收机通过卫星获取车辆的位置信息。车辆状态参数采集模块通过车辆上安装的各种传感器实时采集车辆行驶过程中的各种状态,例如:速度、加速度、方向等等。车路通信模块负责车辆与固定设施 RSU 的通信。车间通信模块负责车辆与车辆之间的信息交互。输入输出设备为车内人员提供了 VANET 的操作平台,可以向网络中输入信息,通过音频输出设备获取告警信息,也可以通过视频输出设备直观的获取 VANET 网络中车辆行驶状况。沿道路设置的路边单元主要负责车辆与固定设施之间的通信,一方面负责车载单元的接入,另一方面与控制中心相连,将覆盖区域内的交通情况报告给控制中心,同时将控制中心的相关管理信息发布给接入的车辆。控制中心连接着管辖区域内的所有路边单元,将各个路边单元获取的车辆行驶信息汇总,实时监控道路交通状况,负责交通管理、紧急事件处理、收费管理、信息发布等。另外,车内乘客的通信电子设备也可以通过无线方式接入车载单元和路边单元,获取本车行驶状况、周围其他车辆的行驶状况、道路的整体交通状况等信息。

3 车载自组织网络的相关技术与协议研究

3.1 物理层技术

目前国际上所研究的车辆自组



▲图1 VANET基本架构

网所采用的物理层技术主要是802.11和UTRA-TDD技术。文献[5]比较了这两种技术。虽然802.11技术的性能比UTRA-TDD差,但是由于802.11无线模块目前应用普及、价格低廉、实现简单,而且工作在免费频段,所以现在车辆自组网的研究中大多数的物理层都是基于802.11技术的。相比之下,虽然UTRA-TDD性能较好,但是它的实现复杂、造价较高等因素制约其被广泛应用。IEEE发布的IEEE 802.11p标准是在802.11a的基础上根据车辆节点高速移动的特点做出的改进,同样使用正交频分复用(OFDM)技术,但是为了降低多径扩展和多普勒频移所带来的码间干扰,时域的物理参数发生了变化。IEEE 802.11a和802.11p物理层参数对比如表1所示。

3.2 媒体接入控制层协议技术

车辆自组网中,MAC层技术主要可以分为两类:一类是以时分多址(TDMA)为代表的控制接入协议,另一类是以ALOHA和载波侦听多址接入(CSMA)为代表的随机接入协议。TDMA协议中,每个车辆节点被指定了固定的时隙发送数据,优点是延时小,而且不会发生多个节点同时接入

发生碰撞的情况,但是由于车辆自组网中车辆节点快速移动,网络拓扑结构变化频繁,使得更新车辆节点的分配时隙也相当频繁,带来巨大的网络开销。CSMA协议已经被广泛应用于IEEE 802.11系列标准中,节点在发送自己消息之前先进行媒体侦听,如果媒体空闲便发送数据,如果媒体被占用则退避等待直到空闲。由于车辆自组网的动态特性,随机接入协议比较适用,但是接入碰撞、隐藏终端等问题依然存在。在无线局域网(WLAN)中,通信模式大都采用点对点的方式,而在VANET中大部分的信息需要通过广播的方式进行通信。因此,要针对VANET的特点设计MAC层协议。

(1) 优先级接入

VANET中,典型的应用可以分为以下几类:(1)安全预警,如车祸消息;

(2)协助驾驶,如超车变道消息等;(3)交通信息,如前方道路车辆流量信息的发布等;(4)乘客办公娱乐,如前方车位预约服务等。对涉及到生命安全的消息有必要保证其快速准确发布出去,所以此类消息在接入信道时应被赋予较高的优先级,而乘客办公娱乐这类对实时性要求不高的消息,应该以较低的优先级接入信道。根据消息延时要求的不同,对不同类型的消息赋予不同的优先级,高优先级的消息接入信道时,设置较低的退避接入计数器最大值,较短的帧间间隔,保证高优先级的消息以较大可能先于低优先级消息接入信道。

(2) 多信道协调

在IEEE 802.11p标准中,将分配给VANET的带宽资源划分为7个信道:一个控制信道,负责安全消息的传输;另外6个服务信道,负责非安全性的服务消息的传输。

由于安全应用和非安全应用在VANET中是并存的,所以必须采取措施避免工作在服务信道上的车辆接收不到控制信道中传输的安全消息。文献[6-7]提出了一种类似802.11机制中点协调功能(PCF)的接入点(AP)协调模式。该模式中存在服务接入点和协调接入点两类接入点。服务接入点在RSU提供非安全服务,而协调接入点负责协调覆盖范围内车辆的信息传输。文献[8]提出了一种基于令牌环的MAC协议(MCTRP)。通过自适应的令牌环协调,车辆消息的接入被工作在不同服务信道上的多个令牌环自治管理。该协议使得安全消息能够以更小的

▼表1 IEEE 802.11a和802.11p物理层参数对比

参数	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p
频段/GHz	5.15 ~ 5.35、5.725 ~ 5.825	5.85 ~ 5.925
信道带宽/MHz	20	10
信道数	12	7
子载波个数	52	52
最大数据速率/(Mbit/s)(64QAM)	54	27
最小数据速率(BPSK)/(Mbit/s)	6	3
子载波间隔/kHz	312.5	156.25

延时得以传输,同时非安全应用的网络吞吐量也得以提高。目前,VANET中不少研究是针对MAC层多信道协调问题,希望在保证安全应用实时性的同时,提高服务信道中非安全应用网络吞吐量。

(3) 广播

VANET中传播的消息绝大多数都是安全性应用消息。这类消息的特性是消息简短,优先级高,主要通过广播或组播的方式发送,实时性要求高。保证广播消息可靠低延时的传输给MAC层协议设计带来不少挑战。首先,车辆节点接收到广播消息后不会发出确认消息(ACK),因为将会造成严重的消息碰撞,引起ACK风暴问题^[9]。缺少ACK确认的广播机制,将不能检测到消息是否发送成功,也不能实现消息发送失败的重传机制。其次,由于广播情况下缺少发送失败检测机制,竞争窗口(CW)的大小一旦确定后不能改变,当大量的节点竞争接入信道时,便会引起严重的碰撞。第三,隐藏终端问题在VANET中更加突出,因为单播中的握手机制会造成广播中请求发送/准备接收(RTS/CTS)握手消息的泛滥。文献[10]提出了一种有向广播协议,使用RTB/CTB握手机制代替原有的RTS/CTS握手机制,根据车辆的位置信息,仅仅选择特定的车辆来完成转发和确认广播消息的任务。文献[11]充分利用了车辆节点的位置信息来设计多跳广播协议。一种分布式的广播协议DV-CAST在文献[12]中被提出,将车辆节点密度引入到多跳广播协议的设计中。文献[13]采用了重复发送机制来保证可靠性,同时又使中继节点以概率转发广播消息,以此来减少消息的重复转发。

有效的多跳广播协议能减少重新广播的次数,减少竞争和碰撞,保证车辆自组网中安全消息的可靠低延时传输。在设计多跳广播协议时有必要综合考虑车辆位置信息、车辆节点密度、信号强度、信噪比、误码率

等因素来选择转发消息的车辆节点,实现广播消息的可靠低延时传输。

3.3 路由协议

MANET路由协议已经得到了广泛的研究,主要分为先应式路由协议和按需路由协议两大类。先应式路由协议需要维护路由信息表,因此又称为表驱动路由协议,每个节点采用周期性的路由分组广播交换路由信息,形成一张到达其他节点的路由表。当网络的拓扑结构发生变化时,节点发送更新消息,收到更新消息的节点将更新自己的路由表,及时维护准确的路由信息。当某节点有数据发送时,即可根据自己的路由表获取指向目的节点的路由。另一类按需路由协议是根据数据的传输请求,被动地搜索从源节点到目的节点的路由,而当没有数据传输请求时,节点并不需要交换路由信息,因此也被称为被动型路由协议。按需路由协议是自组织网络特有的路由协议类型,它可以降低开销,提高网络的吞吐量,但是目的节点是否可达以及路由建立的延迟都具有不确定性。

针对VANET中车辆高速移动带来的网络拓扑结构的快速变化,如何设计有效的路由协议成为网络层研究的难点问题。GSR^[14]协议试图克服MANET中利用位置信息的路由协议的缺点,进而应用于VANET。例如,MANET中的GPSR^[15]协议就是利用位置信息的一种贪婪转发协议,但缺点是会出现拓扑空洞问题。GSR协议则利用了静态道路地图和每个车辆节点的位置信息来寻找到达目的节点的传输路径,从而克服了上述问题。类似于GSR协议,SAR^[16]协议利用外部设备获取的道路地图信息,为路径寻找构建了一个“空间模型”,从而能很好地预测并避免因为网络拓扑空洞造成的路由恢复问题。但是,SAR协议的缺点是它并不知道被选中的道路上是否有车辆来完成转发任务,STAR^[17]协议通过选择沿着有车

辆行驶的道路寻找路由解决了该问题。A-STAR^[18]协议利用城市公交线路作为策略来寻找数据传输的高效路径,该协议适用于城市密集车流量的场景,而且基于公交车辆覆盖城市主要道路的假设。在GSR和A-STAR的基础上,GyTAR^[19]协议充分考虑了车辆行驶的方向、车辆密度、道路的多向性以及交通环境的改变等因素,使路由协议更加符合实际交通场景。

由于现实生活中道路情况错综复杂,车辆行驶状况也是千变万化,因此VANET中路由协议的设计要更加符合实际场景。目前而言,设计一种在各种场景下都能有效寻找传输路径的高效路由协议仍然是网络层研究的重大挑战。

4 结束语

车载自组织网络VANET是一类特殊的移动自组织网络,有着广阔的应用前景。VANET中车辆节点的高速移动性、网络拓扑结构的快速变化给网络体系结构的设计以及相关协议的设计均带来了严峻的挑战。本文介绍了一些针对车辆行驶特点的相关协议,包括物理层、MAC层和网络层协议,这些都是VANET研究领域中的热点难点问题。随着VANET的深入研究,这些难点问题的解决必将有助于提升车辆行驶智能化,提高道路交通安全,给日常生活带来更多便利。

5 参考文献

- [1] TOOR Y, MUHLETHALER P, LAOUI T A. Vehicle Ad Hoc networks: Applications and related technical issues [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2008, 10(3):74-88.
- [2] CONTI M, GIORDANO S. Multihop Ad Hoc networking: The reality [J]. IEEE Communications Magazine, 2007, 45(4): 88-95.
- [3] DUCOURTHIAL B, KHALED Y, SHAWKY M. Conditional transmissions: Performance study of a new communication strategy in VANET [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(6):3348-3357.
- [4] BISWAS S, TATCHIKOU R, DION F.

→下转第15页

一个基于 IEEE802.11p 标准的 WAVE 模型样机

A WAVE Prototype Based on the IEEE802.11p Standard

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0012-04

摘要: 基于 IEEE 802.11p 标准的车辆通信环境下的无线接入(WAVE)系统为未来的智能交通系统建造了功能性架构,旨在安全性、有效性和方便性方面极大地改善交通环境。文章阐述了 WAVE 系统的背景、关键技术及其对社会的深刻影响,报告了密歇根大学迪尔拜分校车载通信和网络中心进行的相关研究和进展,包括一个基于现场可编程门阵列(FPGA)的 WAVE 模型样机和车载网络仿真软件。

关键词: 专用短距离通信; 正交频分复用; 移动信道; 多入多出; 智能交通系统

Abstract: Wireless access in vehicular environments (WAVE) systems based on IEEE 802.11.p will be the infrastructure for intelligent transportation system applications that improve transport safety, efficiency, and convenience. This paper discusses the background, technical challenges, and broader impacts of WAVE systems and reports on recent activities at the Center for Vehicular Communications and Networks at the University of Michigan-Dearborn. These activities include research into a WAVE prototype based on field programmable gate array (FPGA) and research into a vehicular network simulator.

Key words: dedicated short range communications; orthogonal frequency division multiplexing; mobile channel; multiple-input multiple-output; intelligent transportation system

向卫东/XIANG Weidong
(密歇根大学, 密歇根 48128, 美国)
(University of Michigan, MI 48128, USA)

主要取决于驾驶者的生理感知能力。车载网络可以远距离感测交通状况,快速地传递安全信息和扩展感知信息并最终向零交通事故方向努力。实时全面的智能交通信息能有效地改善交通状况,是一个公认的比简单靠增加基础设施更为有效和经济的手段。以无线通信为核心的车载网络能够很大程度上消除由于驾驶者的客观失误造成的事故。

事实上,基于无线通信的汽车互连技术已经有二三十年的历史,过去被称为专用短距离通信(DSRC)。基于 IEEE 802.11p 的车辆通信环境下的无线接入(WAVE)系统采用正交频分复用(OFDM)技术来实现车与车和车与路面设备的宽带高速的无线互连。正交频分复用技术是当前无线通信的主流,并广泛地应用于包括无线局域网(如 Wi-Fi)和长期演进系统(LTE)等主要的无线网络系统。WAVE 是 DSRC 的最新版本,也是 Wi-Fi 应用范围的进一步拓展^[1-5]。

1 车辆通信环境下的无线接入系统

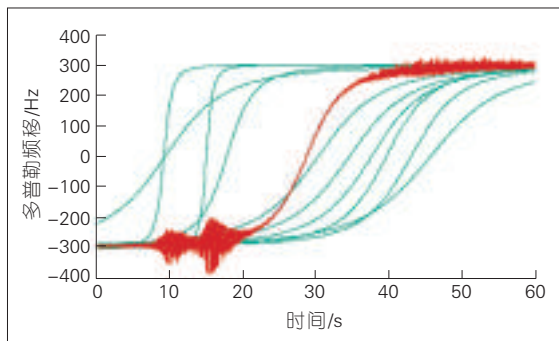
本文不讨论正交频分复用技术

汽车已在地球上以一种自控和孤立的模式运行了超过一百年。汽车是最昂贵复杂的日常用品,而汽车技术则代表了一个时代或一个国家的工业制造水平。在被人们称为信息时代的今天,汽车已经发展到需要相互实时通信构成网络的时刻。汽车互连的技术翻开了汽车发展的新篇章,同时也开辟了通信网络技术的一个全新领域。车载网络将极大地改善交通环境,尤其是在安全性、

有效性和方便性方面。车载网络为未来的智能交通系统的建立提供了物理基础,并为最终人类实现自动驾驶的梦想奠定基础。

另一方面,交通状况的日益拥挤和交通事故的不断攀升的是现代社会面临的重大挑战。堵塞的交通造成能源消耗增多、时间浪费严重并严重地影响人们的生活质量。交通事故致死是许多国家和地区人们非自然死亡的首要因素。由于经济的快速发展和城市化,中国的交通问题日益严重并有进一步恶化的趋势。目前,汽车对外部环境信息的探测接收

基金项目: 美国国家科学基金会
(National Science Foundation, 1002113
and 0821503)



▲图1 多普勒频移变化仿真实例

本身的技术特点而着重讨论与车载环境相关的技术难点。

1.1 移动信道

WAVE 系统设计的首要任务是 5.9 GHz 移动信道的测量和建模。这个课题经被频繁地提到但并未得到真正地重视和满意地解决。目前的文献仅仅局限于报道实际的信道测量结果并未建立一个被广泛认可的 WAVE 信道模型。同时, IEEE 801.11p 标准也未推荐相关的信道模型。目前的信道模型都未考虑各种真实的信道条件。例如,几乎所有的无线通信系统都假设收发信机被分别放置在足够远的位置,接收机处于传播区或远场区。实际上,在车载网络中,很多时候收发信机的距离小于菲涅耳距离,接收机处于菲涅耳区或近场区。传统的路径损耗加多径的描述可能不再适用。同时,天线的位置和体积以及车的金属外壳对信道的影响也应考虑。车载网络的信道非常复杂,需要仔细分类、建立和验证理论模型及大量的实际测试。总之,这是一个开放和急需研究的课题。

除信道模型外,另一个重要的课题是研究多普勒频移及其对正交频分复用信号的影响。尤其是当汽车跨越路边设备的时候,多普勒频移的极性会在一个极其短的时间内反转,从而导致其后的信号在解调时产生较大的误码。图1所示为一个仿真实例。图1仿真环境为车速 125 km/h,信道存在视距(LOS)信号和 10 条多径

信号。每条多径信号的幅度与视距比均小于 -10 dBc。

汽车在跨越路边设备和发射物时都会产生类似的频移变化现象。采用传统的多普勒频移检查的方法存在较大误差,最后残留的多普勒频移误差将严重地影响正交频分复用信号的解调性能。

1.2 关键技术

车载网络的特征在于时变的信道、时变的用户数量和时变的网络拓扑结构。但是另一方面,汽车的运行轨迹是预知和确定的并且对无线设备的体积和功耗有较宽松的要求。WAVE 系统的关键技术难点包括:

- 支持非竞争信道分配的媒体访问控制(MAC)协议用于实时性很强的安全信息传递。
- 基于地理位置的快速跨区转接技术。
- 采用多天线系统实现空间分集和空域的并行传输。
- 软件无线电结构兼容包括 Wi-Fi 和 LTE 系统的多模模式。
- 感知无线电实现空白频谱的

搜寻和预测。

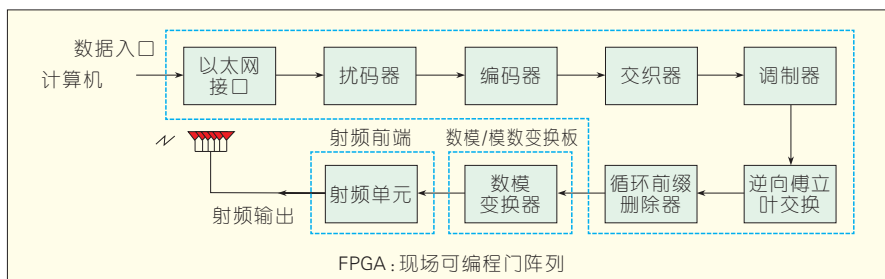
- 基于分组交换的网络和支持服务质量(QoS)。
- 强大的信息安全技术和方案。
- 网络的自组织和多跳路径的建立和选择。
- 有效的人机交互接口,包括如何及时有效地提供可靠的,足够而不多余的警示信息。
- 系统级基于物理设备的模拟环境。
- 支持未来电动汽车的营运,能及时汇报电池用量。

2 车辆通信环境下的无线接入模型样机

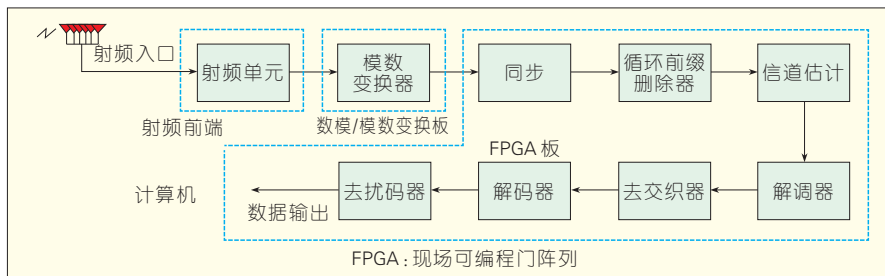
2011 年,密歇根大学迪尔拜分校车载通信和网络中心完成了一个基于现场可编程门阵列(FPGA)的 WAVE 模型样机。该样机采用软件无线电的结构并兼容 LTE 模式。其相关的系统框图、主要功能模块、测试环境和结果分别由图 2、图 3、图 4、图 5、图 6 和表 1、表 2 所示。

3 车载网络仿真软件

密歇根大学迪尔拜分校车载通信和网络中心还完成了一个基于 C/



▲图2 发射机系统框图



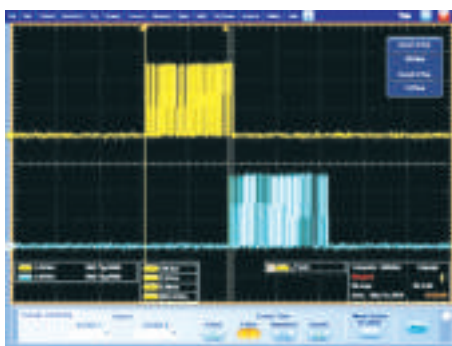
▲图3 接收机系统框图

▼表1 发射机主要功能模块

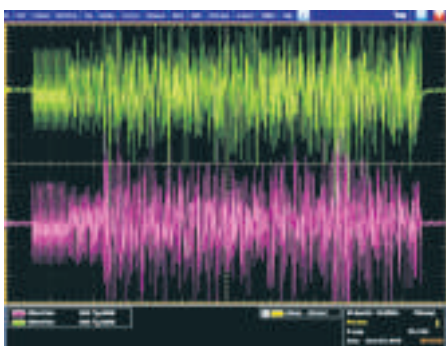
功能模块	参数	功能描述
千兆比特以太网	10/100/1 000 Mbit/s	至 933 Mbit/s
扰码器	$S(x)=x^7+x^4+1$	扰码
编码器	卷积码/LDPC/Turbo	编码
调制器	QPSK/16QAM/64QAM	调制
交织器	—	抗深衰落突发性误码
逆向傅立叶变换	64/128/256/512/1 024	逆向傅立叶变换
循环前缀	1/4、1/8、1/16	插入循环前缀

▼表2 接收机主要功能模块

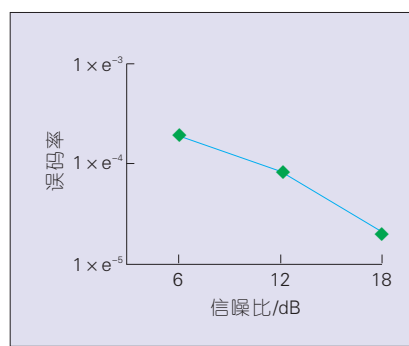
功能模块	参数	功能描述
同步	—	时域同步
循环前缀	—	删除循环前缀
傅立叶变换	64/128/256/512/1 024	傅立叶变换
信道估计	—	信道估计
去交织器	—	去交织
解调器	QPSK/16QAM/64QAM	解调
解码器	Viterbi、LDPC 解码器、Turbo 解码器	解码
去扰码器	$S(x)=x^7+x^4+1$	去扰码
千兆比特以太网	10/100/1 000 Mbit/s	至 933 Mbit/s



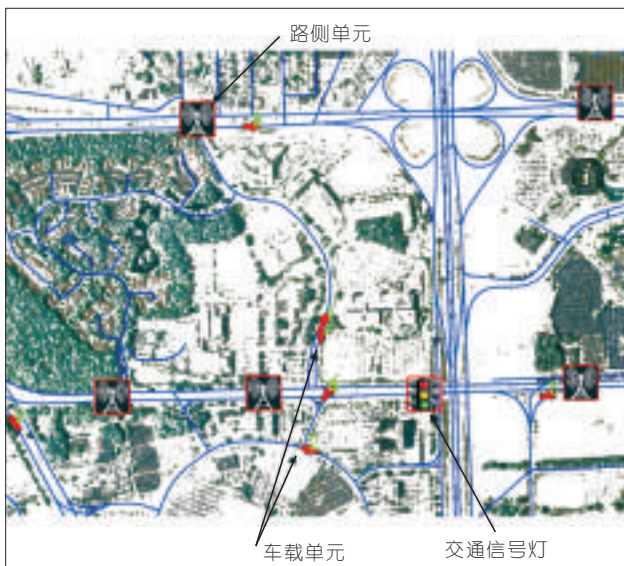
▲图4 系统处理时延的测试



▲图5 一个正交频分复用的IQ基带信号



▲图6 系统BER-SNR测试结果



▲图7 车载网络仿真软件的微观仿真图



▲图8 车载网络仿真软件的宏观仿真图

C++的车载网络仿真软件。该软件是目前唯一一个集成地理信息、信道模型、信号格式和网络协议的车载网络仿真软件。图7和图8演示的是有关该软件用于微观和宏观仿真时的情形。有关车载仿真软件更多的相关信息和功能,请访问作者的网页 <http://www-personal.engin.umd.umich.edu/~xwd/>。

<http://www-personal.engin.umd.umich.edu/~xwd/>

4 结束语

文章介绍的基于 WAVE 的 RSU/OBU 模型样机系统和车载网络仿真模型可以用于相关的研究和开发及

组建小规模 WAVE 网络。样机的基带算法和 MAC 协议采用 VHDL 语言编写,实现功能模块寄存器级的描述,可以用来作为下一步实现芯片设计的模板。

有关移动信道的测量和建模及车载环境下样机的性能报告,请访问

作者网页 <http://www-personal.engin.umd.umich.edu/~xwd/>。

5 参考文献

- [1] XIANG W. Enhanced carrier frequency offset estimator, US, 20090080576 [P]. 2009-03-26.
- [2] XIANG W, RICHARDSON P, GUO J. An invited paper: Introduction and preliminary research on wireless access for vehicular environments technology [C]//Proceedings of the 3rd ACM/IEEE Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networks and Services (MOBIQUITOUS'06), Jul 17-21, 2006, San Jose, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2006: 8p.
- [3] XIANG W, RICHARDSON P, WALKENHORST B, et al. A high-speed four-transmitter four-receiver MIMO OFDM testbed: Experiment results and analyses [J]. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2006(1): 1-10.
- [4] XIANG W, WATERS D, PRATT T, et al. Implementation and experimental results of a three-transmitter three-receiver OFDM/BLAST testbed [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(12): 88-95.
- [5] XIANG W, PRATT P, WANG X. A software radio testbed for two-transmitter two-receiver space-time coding OFDM wireless LAN [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(6): 20-28.
- [6] FRACCHIA R, MEO M. Alert service in VANET: Analysis and design [C]//Proceedings of the IEEE 2nd Workshop Resource Allocation in Wireless Networks (RAWNET'06), Apr 3, 2006, Boston, MA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006.
- [7] LOCHERT C, HARTENSTEIN H, TIAN J, et al. A routing strategy for vehicular Ad Hoc networks in city environments [C]//Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IVS'03), Jun 9-11, 2003, Columbus, OH, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 156-161.
- [8] KARP B, KUNG H T. Gpsr: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C]//Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'00), Aug 6-11, 2000, Boston, MA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2000: 243-254.
- [9] TIAN J, HAN L, ROTHERMEL K, et al. Spatially aware packet routing for mobile Ad Hoc inter-vehicle radio networks [C]//Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Transportation Systems Telecommunications (ITSC'03): Vol 2, Oct 12-15, 2003, Shanghai, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 1546-1551.
- [10] GIUDICI F, PAGANI E. Spatial and traffic-aware routing (star) for vehicular systems [C]//Proceedings of the 7th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC'05), Sep 21-23, 2005, Naples, Italy. LNCS 3726. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2005: 77-86.
- [11] SEET B C, LIU Genping, LEE Bu Sung, et al. A-STAR: A mobile Ad Hoc routing strategy for metropolis vehicular communications [C]//Networking Technologies, Services, and Protocols, Performance of Computer and Communication Networks, Mobile and Wireless Communications: Proceedings of the 3rd International IFIP-TC6 Networking conference (Networking'04), May 9-14, 2004, Athens, Greece. LNCS 3042. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2004: 989-999.
- [12] JERBI M, MERAIHI R, SENOUCI S, et al. Gytar: Improved greedy traffic aware routing protocol for vehicular Ad Hoc networks in city environments [C]//Proceedings of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'06), Sep 29, 2006, Los Angeles, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2006: 88-89.

收稿日期: 2011-03-15

作者简介



向卫东, 清华大学电子工程系工学博士毕业, 乔治亚理工大学博士后; 现任密歇根大学迪尔分校副教授, IEEE Communications Magazine、EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 杂志编委; 长期从事 WAVE、LTE 和智能电网的研究及其模型化工作。

上接第 11 页

Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety [J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(1): 74-82.

- [5] 常促宇, 向勇, 史美林. 车载自组网的现状与发展 [J]. 通信学报, 2007, 28(11): 116-126.
- [6] MAK T K, LABERTEAUX K P, SENGUPTA R. A multi-channel VANET providing concurrent safety and commercial services [C]//Proceedings of the 2nd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'05), Sep 2, 2005, Cologne, Germany. New York, NY, USA: ACM, 2006: 9-17.
- [7] MAK T K, LABERTEAUX K P, SENGUPTA R, et al. Multichannel medium access control for dedicated short-range communications [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(1): 349-366.
- [8] BI Yuanguo, LIU Kuanghao, SHEN Xuemin, et al. A Multi-channel token ring protocol for QoS provisioning in inter-vehicle communications [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(11): 5621-5631.
- [9] NI Sze Yao, TSENG Yu Chee, CHEN Yuh Shyan, et al. The broadcast storm problem in a mobile Ad Hoc network [C]//Proceeding of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'99), Aug 15-19, 1999, Seattle, WA, USA. New York, NY, USA: ACM, 1999: 151-162.
- [10] KORKMAZ G, EKICI E, OZGUNER F, et al. Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems [C]//Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'04), Oct 1, 2004, Philadelphia, PA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2004: 76-85.
- [11] YANG Yao Tsung, CHOU Li Der. Position-based adaptive broadcast for inter-vehicle communications [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'08), May 19-23, 2008, Beijing, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 410-414.
- [12] TONGUZ O, WISITPONGPHAN N, BAI F, et al. Broadcasting in VANET [C]//Proceedings of the IEEE Mobile Networking for Vehicular Environments, May 11, 2007, Anchorage, AK, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 7-12.

3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'06), Sep 29, 2006, Los Angeles, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2006: 88-89.

收稿日期: 2011-03-08

作者简介



杨琼, 东南大学信息科学与工程学院在读博士研究生; 主要研究方向是移动自组网网络相关技术。



沈连丰, 东南大学移动通信国家重点实验室教授、博士生导师, 国家无线电标准化委员会 H 分会委员、短距离无线通信与泛在网络方向学术带头人; 主要研究方向为宽带移动通信; 已承担国家级、省部级纵向项目和海内外合作项目 20 项, 获授权发明专利 19 项, 发表学术论文 100 篇, 出版著作、教材 10 部。

广告索引

A1、封四:
中兴通讯股份有限公司



车联网网络架构与媒质接入机制研究

Internet of Vehicles: Architecture and Multichannel MAC

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0016-05

摘要: 车联网旨在实现一体化智能交通体系和无处不在的网络,其关键技术在于全网数据共享和车辆宽带接入。现有车辆网络架构因其不同设计目标而缺少统一的协议栈和数据接口,难以有效进行全网数据共享或协同通信;其多信道机制缺少灵活性,整体网络性能受网络节点密度影响较大。文章提出面向安全应用的车联网无线网络架构及其协同通信协议栈,并对车联网自适应多信道媒质接入协议进行研究。

关键词: 车联网; 协议栈; 多信道; 媒体访问控制协议

Abstract: Internet of Vehicles is designed for intelligent transportation and ubiquitous Internet access. Its key is whole-network data sharing technology and vehicular broadband access. Because existing vehicular networks have different design objectives and lack a unified protocol stack and data interface, it is difficult to share data across the whole network or communicate cooperatively. Overall network performance is also affected by network node density because multichannel mechanisms lack flexibility. This paper puts forward a wireless network architecture and cooperative communication protocol stack for Internet of Vehicles. It also discusses self-adaptive multichannel MAC.

Keywords: Internet of vehicles; protocol stack; multichannel; MAC protocol

须超/XU Chao

王新红/WANG Xinhong

刘富强/LIU Fuqiang

(同济大学 电信学院宽带无线通信与多媒体
实验室,上海 200092)
(School of Electronics and Information
Engineering, Tongji University, Shanghai
200092, China)

车联网以车辆为基本信息单元,通过传感器技术、信息采集技术、接入技术、传输技术、组网技术,将行人、车辆、路边设施等道路实体与交通管理网络、移动网络与后备网络连接;服务于车辆安全、交通控制、信息服务、用户网络接入等应用;旨在建立改善交通状况、提高出行效率、拓展信息交互形式的智能综合网络体系。

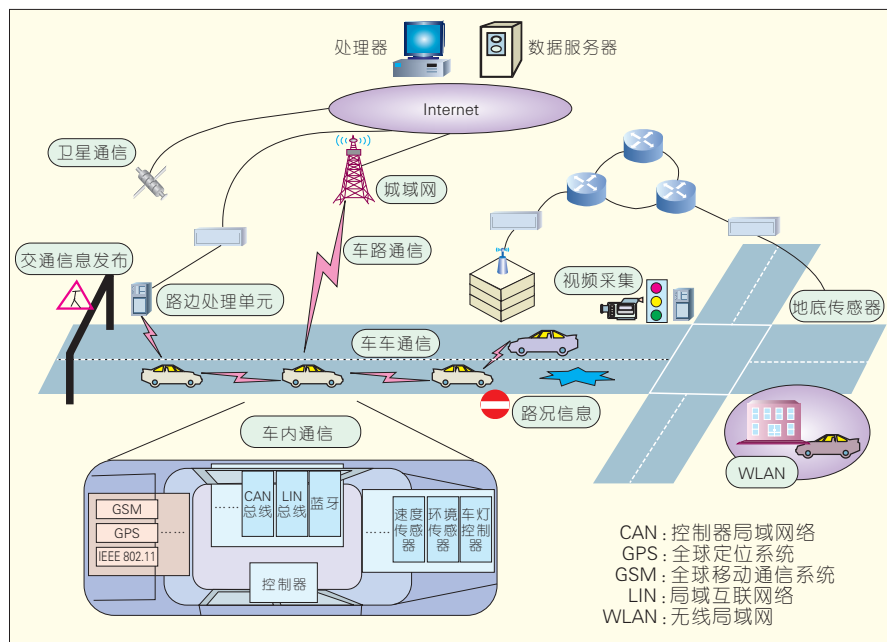
车联网具有广泛性、移动性和智能性3个特点。广泛性指车联网所的对象是广义概念,包括车辆、飞机、船舶、铁路等交通工具以及为车辆提供服务的路边单元、车载传感器、数

基金项目: 国家自然科学基金项目
(61073153)

据服务器等相关设施。对于不同通信设备与入网方式,车联网都提供相应的接口。移动性是由车辆不断运动、车辆间高动态的拓扑结构所决定的,保证车辆高速运动场景下实时安全信息传输,并在此基础上支持非安全应用的数据服务(如提供路况信息、基于位置信息的地图下载服务等),是现有车辆自组织网信道协调机制,如车辆通信环境下的无线接入(WAVE)媒体访问控制(MAC)、车辆网格网络(VMESH)^[1]、基于TDMA的多信道MAC协议(TMMAC)等无法完全适用的。智能性指车联网通过各种方式获取车辆和路况信息,主动对潜在交通隐患做出反应,是交通一体化、协同化、智能化体现。

车联网采用多信道MAC机制可以获得优于单信道的网络吞吐量和时延特性,实现安全消息和非安全消息非冲突传输。多信道MAC在保证安全应用服务质量(QoS)基础上,尽可能多地为车辆提供宽带接入服务,使得车联网数据共享、主动安全、交通管理、信息服务等成为可能。

现有车辆自组网因其本身网络架构约束,存在全网数据采集缺乏、信息共享不充分和数据交互实时性不足等影响车辆安全的问题^[2]。中国车联网的研究集中于车辆网络协议的理论和传感器硬件开发,对于车联网整体性网络框架和协议栈研究较少。就无线通信技术而言,为保证车辆安全消息的准确传输,已有多信道MAC协议缺乏灵活的信道协调机制和有效的分配策略,不能完全适用于复杂的车辆通信环境,或者以牺牲非安全业务的带宽来保证安全消息的传输。为此,本文设计车联网整体框架和相应通信协议栈,解决车路一体化控制和全网数据共享,在此基础上研究多信道自适应MAC机制,在保证安全消息准确传输的前提下,提高非安全业务的服务质量,构成一种高效的、面向交通安全应用的车联网网



▲图1 车联网框架图

络体系。

1 车联网网络架构和通信协议栈

典型的车联网框架如图1所示。车联网为车辆提供无处不在的网络接入、实时安全消息、多媒体业务、辅助控制等。随传感器网络加入,传感器、路边设施和车辆3个独立要素构成了车联网架构:传感器(埋地线圈、交叉路口视频检测系统、车载传感器等)实现车辆周边信息以及路况信息采集;路边设施(WiMAX基站、3G基站Wi-Fi接入点、卫星等)发布路况信息,为车辆提供接入服务。这种网络架构要求一种专有的协同通信架构和协议栈,可将不同底层数据整合,并对应用层隐藏不同接入方式间差别,实现信息交互。

1.1 车联网协同通信架构的设计

车联网协同架构如图2所示。图2包括6个模块:车联网管理模块、车联网安全模块、车联网基站、车联网传输协议、车辆接入模块和车联网上层应用。

(1) 车联网管理模块

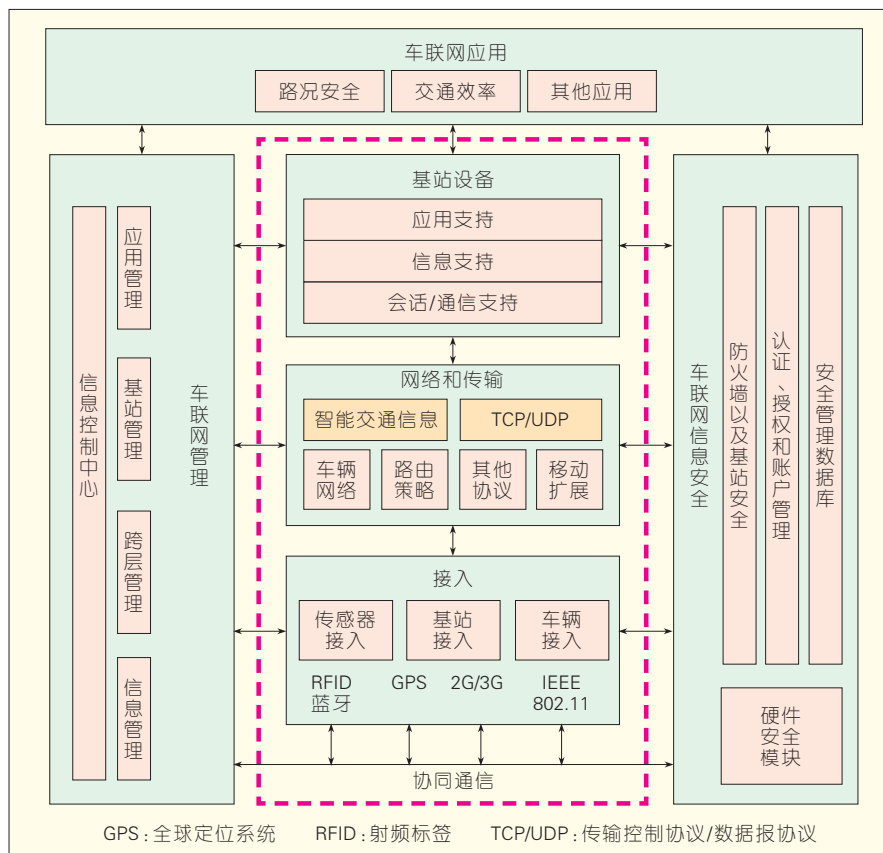
作为车联网的控制中心,分别管理和维护入网车辆信息、路况信息;实现车辆在异构网络中垂直切换和

跨层资源管理机制;协调车联网中所有为车辆提供服务的基站,实现车辆在不同基站间水平的无缝切换;实现车联网通信的QoS机制,根据入网车辆的信息和业务种类,提供不同优先级的服务等。

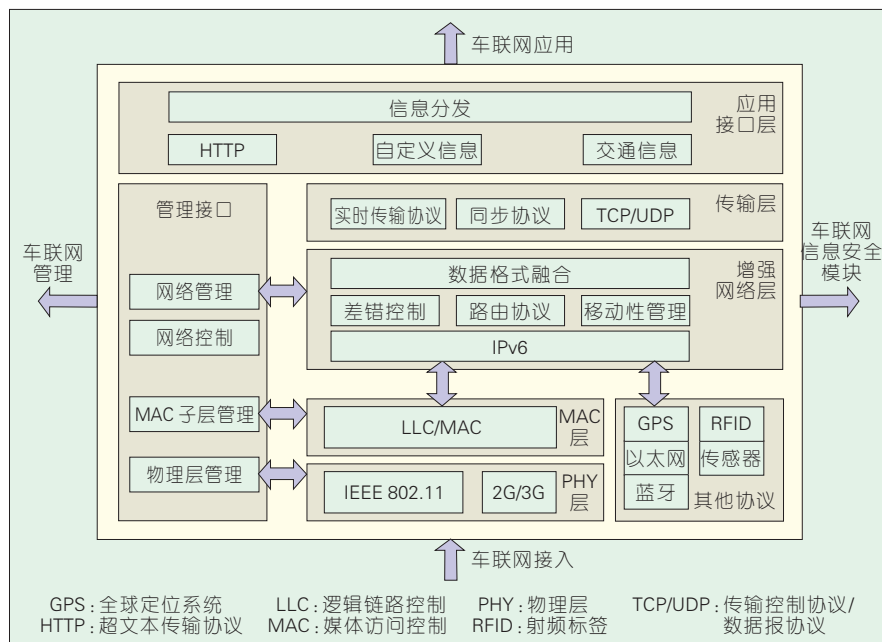
(2) 车联网信息安全模块

车联网高速拓扑变化、频繁的网络分割和有限的冗余性,制约着车联网通信系统数据安全和传输能力。车联网安全模块为车联网通信提供密钥管理、身份认证确保车联网传感器、车辆、基站等交通试题间传输的保密^[3];提供安全路由、数据传播,保证数据在传播过程中不被篡改、丢弃或者插入虚假数据;提供定位和位置验证,车联网大部分应用依赖准确的位置信息,位置信息的准确性对车联网有着重要意义;提供安全的时间同步,车联网的实时业务,尤其是安全应用要求高度精确的整网同步。

(3) 车联网应用模块



▲图2 车联网协同架构



▲图3 车联网通信协议栈设计

车联网为服务于车辆安全、交通效率,在此基础上,提供车联网用户其他非安全或非实时的接入后备网的接口。模块有前后向兼容性,能够兼容现有网络体系和未来可能的应用。

(4) 车联网基站设备

为上层应用提供标准的会话支持、信息支持和统一的应用层接口。车联网基站可以是WiMAX、Wi-Fi、2G/3G及其他能够为车辆提供接入和信息服务的基站。

(5) 车联网网络和传输模块

车联网内部协议众多,对于底层不同的车联网网络、路由策略,提供与现有网络相似或可以完全兼容的网络传输体系。基本的传输控制协议/数据报协议(TCP/UDP)、智能交通信息等,在这里被融合成统一的数据格式。

(6) 车联网接入模块

对于底层传感器网络、无线网络和有线网络,提供统一的接入。

1.2 车联网通信协议栈的设计

车联网通信协议栈如图3所示。

图3分别在物理层、MAC层、网络层、

传输层定义统一的功能、结构和接口。车联网管理接口负责车联网内部各层间,多种通信协议的融合,提供数据业务的差错控制、资源调度和路由机制等;物理层和MAC层负责车联网底层通信的工作。车辆间通信使用802.11p^[4]协议。车路通信使用2G/3G、WiMAX等技术来满足长距离车辆与路边设施间的通信。车内传感器使用蓝牙、红外等技术连接;网络层和传输层协议融合底层不同车辆接入方式的数据,把有效负载上传给应用层接口,传输层负责辅助车载

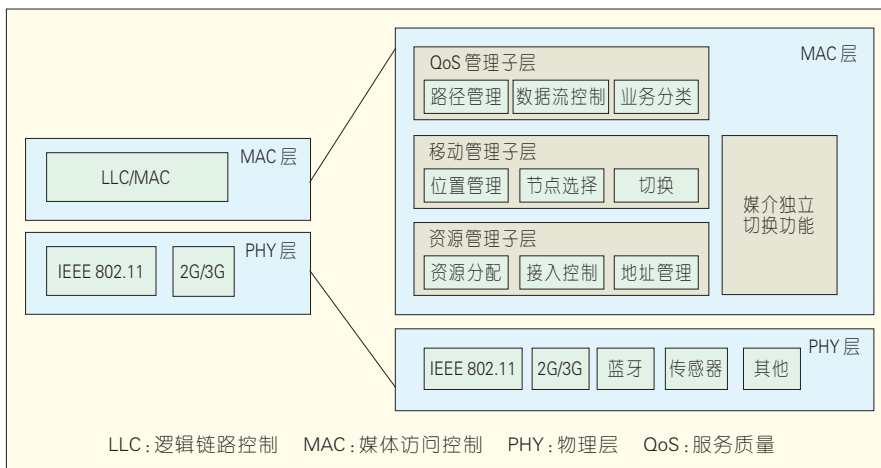
GPS同步车联网全局时钟和提供高效的路由机制、移动性管理等。协议栈上层为交通安全、数据业务、控制信息提供统一的接口,并支持用户自定义的协议实现后向兼容。

1.3 媒介独立切换功能模块

车联网第二层和第三层协议之间采用媒介无关的切换模块(MIHF),屏蔽车联网底层不同接入方式差异。MIHF处理从传感器网络、802.11、3G等不同无线接入方式的数据,由资源管理子层分配信道资源。移动管理子层根据车辆位置信息和周围网络拓扑信息,选择车辆接入点或下一跳数据节点。采用MIHF模块的车联网能最大程度保证安全信息的连续性和服务质量,减少切换时延和丢包率。媒介独立切换功能模块如图4所示。

2 车联网多信道MAC协议

现有车辆网络采用的多信道协调机制具体为:在控制信道(CCH)间隔,所有车辆节点跳频到控制信道,采用竞争方式进行安全消息的传递和信道协商,并在服务信道(SCH)间隔跳频到预约好的服务信道传递非安全信息。这样虽然能确保车辆节点接受服务信道上的非安全应用又不错过在控制信道上的安全消息,但固定间隔的时隙分割模式的协调机



▲图4 媒介独立切换功能模块

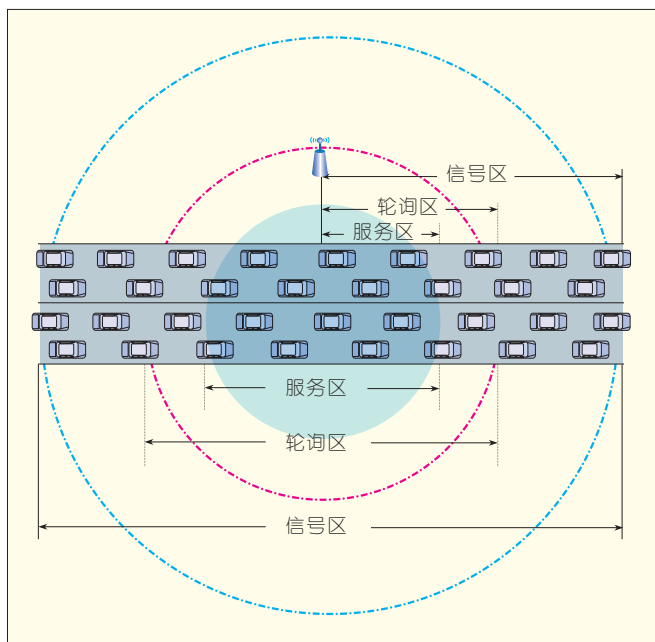


图5
RAMC对周围空间的划分

制对网络的适应性较差。在信道的接入机制方面,竞争接入很难保证安全消息和实时的非安全应用的QoS,并且安全消息缺乏可靠而有效的广播服务。根据车联网特点本文设计两种自适应MAC,分别在有车载单元(RSU)和车辆自组织情况下,提高车联网网络多信道协调机制的灵活性、有效性和安全性。

2.1 基于RSU多信道协作MAC机制

基于路边单元协调的媒体访问控制(RAMC)协议借由路边单元对所有信道资源统一分配,同时满足车辆安全和非安全应用。位于服务范围内的车辆可自由选择服务信道。RSU监听服务信道和控制信道内全部安全消息,周期性在所有信道内向附近车辆广播整合后安全信息简报,实现安全消息的可靠传输前提下非安全应用的高吞吐量。由于多频段设备成本及信道间干扰,一般车载设备使用单频天线,车辆因处于服务信道而没有接收到邻节点安全消息,将导致网络整体安全应用QoS下降。传统多信道协调机制将CCH分割为安全信息交换间隔和控制间隔。车辆须维持在CCH等待周围车辆完成

安全信息交换,在此期间SCH完全空闲,通过牺牲整体信道带宽效率保证安全信息可靠传输。非安全服务若需要一整个间隔传输,则这种MAC机制在交通密集情况时,将无法保障非安全应用QoS^[5]。

RAMC属于集中式多信道协议,依靠多射频RSU协调控制信道和服务信道资源,将时间划分为一个个同步间隔,其长度取决于安全消息最大时延。RAMC进一步将CCH分成非竞争(CFP)和竞争(CP)两个子时隙。在CFP时隙车辆使用轮询方式发送安全消息,最大程度确保安全消息传输;在CP时隙传输诸如服务信息声明、附加的安全消息等。SCH同样分成安全服务(非竞争)和非安全服务(竞争)两个子时隙。出现紧急安全消息时,RSU可以中止SCH正在提供的服务转而广播安全消息。在一个同步时隙内,RSU监控所有在CCH和SCH传输的安全消息;整合、处理收到的信息,在所有信道广播综合安全消息(CSM);向服务范围车辆重播任何紧急预警信息。车辆在服务区内可以自由选择服务信道或控制信道,被RSU轮询时须在当前信道广播状态安全信息;任何时候收到安全应用

请求,车辆必须返回CCH信道。RAMC不要求车辆周期性切换到CCH完成安全消息交互。RSU在全信道广播,使车辆在SCH也能接收到安全信息报告,最终减少车辆在CCH和SCH间的切换次数并提高整体信道利用率。

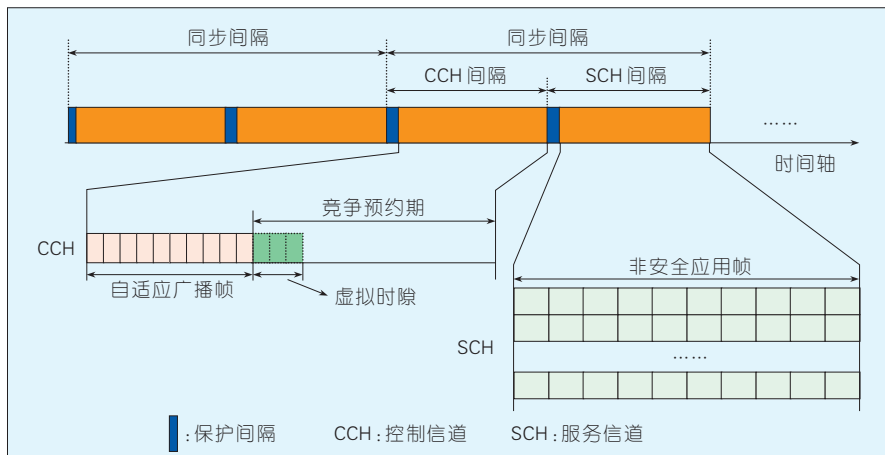
为减少干扰和提高安全消息传输可靠性,RAMC将以RSU为中心按距离分为3个区域:服务区、轮询区和信号区。如图5所示。服务区内车辆既可以在CCH也可以在SCH。同步间隔内车辆发送完安全信息后,可自由选择信道。在轮询区内服务区外车辆只允许在CCH信道与周围车辆交换安全信息。RSU将进入该区域的车辆添加到轮询列表中,此后他们能使用CFP时隙传递安全信息。在信号区内轮询区外车辆只能使用CP时隙发送安全和控制信息,在CFP时隙必须保持静默,以此减少干扰。

综上,RAMC利用多频段RSU监控所有信道的安全信息并广播安全信息简报,在保证安全消息传输前提下,充分利用多信道提高区域内非安全应用吞吐量。对车辆在RSU不同区域行为的划分能有效减少车辆间干扰。相对现有多信道机制,RAMC在高密度城市环境下,对车辆网络性能提升尤为显著。

2.2 基于自适应广播的多信道MAC机制

基于自适应广播的多信道MAC如图6所示。在没有路边单元的情况下,这种MAC机制提供了更安全,灵活性更好的资源非配策略。信道接入时间被分割为相等同步间隔,每个同步间隔包括等长CCH间隔和SCH间隔。CCH间隔又进一步分为一个自适应广播帧(ABF)和一个竞争预约期(CRP)。车辆动态地预约ABF中的一个时隙进行安全消息或其他控制消息的无冲突传递。

为了进行非安全应用,车辆之间



▲图6 基于自适应广播的多信道MAC

在CRP中通过信道协商过程预约下一个SCH间隔的信道资源。在CRP中采用CSMA/CA作为信道接入控制机制。由于CCH间隔长度固定,而ABF长度动态变化,因而CRP的长度依赖于ABF的长度。从全局来看,网络中的车辆并非同步地进入CRP,而这个异步行为可能导致冲突产生。我们在CRP中引入虚拟时隙以避免潜在的冲突,作为自适应广播机制来满足高动态车载环境下不同业务的QoS。CRIP规定了车辆进行信道协商和信道选择的过程。车辆专用多信道(DMMAC)中采用的信道协商机制类似于TMMAC在Ad Hoc交通指示信息(ATIM)窗口中的3次握手过程,尽管两种协议有着不同的信道选择算法。一对车辆节点需要交换3种数据包,即竞争预约期请求(CRP-REQ)、竞争预约期相应(CRP-RES)和竞争预约期确认(CRP-ACK),以完成一次协商。除此之外,车辆节点还可以利用CRP-BRD消息在CRP中进行紧急安全消息的广播。车辆传输安全消息、控制消息的广播需在ABF中预约一个空闲的时隙作为其专用基本信道(BCH)。自适应广播机制在没有中心节点的协调情况下,使用基于预约的可靠ALOHA(RR-ALOHA)^[9]的一些思想完成动态预约,从而避免由于隐藏终端等问题造成的传输冲突。

自适应广播机制根据网络节点密度调整自己的自适应广播帧长,两跳广播利用车辆的拓扑将紧急安全消息可靠并且有效地广播到两跳范围内,为安全消息提供无冲突、非时延受限的传输,增强MAC协议对不同交通密度环境的适应能力,完成安全消息无冲突传递,并一定程度解决交通密度变化和 network 拓扑对车辆网络性能的影响,提高整体网络性能。

3 结束语

车联网概念的提出,车路一体化的智能交通方向研究,已经成为“十二五”期间的重点发展内容。对此文章给出车联网的通信架构及其功能模块,针对协调车联网功能模块通信方式,设计了面向安全应用的车联网通信协议栈,并研究车联网底层媒介独立切换功能模块。我们对车联网通信中多信道协调、资源预约和信道分配提出了两种MAC机制,并论证这些机制对于提高现有车辆网络安全性能提升和整体网络性能改善是有效的。对于车联网信息通信安全性、不同接入方式融合、异构通信数据的一致性和可行性还有待进一步的研究。

4 参考文献

- [1] ZANG Yunpeng, STIBOR L, WALKE B, et al. A novel MAC protocol for throughput sensitive applications in vehicular environments [C]//

Proceedings of the 65th Vehicular Technology Conference(VTC-Spring'07), Apr 22-25,2007, Dublin,Ireland. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2007: 2580-2584.

- [2] HOSSAIN E, CHOW G, LEUNG V C M, et al. Vehicular telematics over heterogeneous wireless networks: A survey [J]. Computer Communications, 2010, 33 (7):775-793.
- [3] DU Wenliang, DENG Jing, HAN Y S, et al. A pair wise key pre-distribution scheme for wireless sensor networks [C]//Proceedings of the 10th ACM Computer and Communications Security (CCS'03), Oct 27-31,2003, Washington DC, USA. New York, NY,USA:ACM,2003: 42-51.
- [4] IEEE 802.11.Wireless local area networks [S]. 2007.
- [5] WANG Z, HASSAN M. How much of DSRC is available for non-safety use? [C]// Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'08), Sep 15, 2008, San Francisco, CA, USA. New York, NY, USA:ACM, 2008: 23-29.
- [6] BORGONOVO F, CAPONE A, CESANA M, et al. ADHOC MAC: A new MAC architecture for Ad Hoc networks providing efficient and reliable point-to-point and broadcast services [J]. Wireless Networks, 2004,10(4): 359-366.

收稿日期:2011-02-24

作者简介



须超,同济大学在读硕士研究生;主要研究方向为车载无线接入协议、资源管理和宽带无线测试。



王新红,同济大学副教授、博士;主要研究方向为车载通信、宽带无线通信网络;已承担国家级基金项目3项。



刘富强,同济大学教授、博导;主要研究方向为宽带无线通信网络、视频图像处理等;已承担国家级基金项目6项。

车载自组网中的网络与信息安全

Network and Information Security in Vehicular Ad Hoc Networks

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0021-03

摘要: 因自组织网络无中心的特点, 传统有中心网络中成熟的安全保障机制无法得到直接应用。为了使车载通信技术得到更加广泛的应用, 安全问题必须得到很好的解决。文章对车载自组网的安全需求及目标进行分析, 然后从安全路由、密钥管理和入侵检测3个方面对车载自组网安全研究的现状进行介绍。在这3个方面中, 安全路由研究最为广泛, 而密钥管理则是保障车载自组网安全的关键。

关键词: 车载自组网; 安全路由; 密钥管理; 入侵检测

Abstract: Self-organizing networks have no central node, so the security mechanisms of traditional networks cannot be directly applied in vehicular Ad Hoc networks (VANETs). So that VANETs can be more widely used, security issues must be properly resolved. This article introduces security needs and objectives of VANETs and discusses current research in secure routing, key management and intrusion detection. While secure routing has been most widely studied, key management is the most critical aspect of VANET security.

Key words: vehicular ad hoc network; secure routing; key management; intrusion detection

高永康/GAO Yongkang

郝建军/HAO Jianjun

(北京邮电大学, 北京 100876)

(Beijing University of Posts and

Telecommunications, Beijing 100876, China)

重要, 因为在紧急情况下往往需要借助网络协调好各种关系, 及时掌握新的情况和获得最新指示等, 如果网络不能提供可靠的服务, 就不可能保证这些工作的顺利完成。

(2) 完整性

完整性是指在报文分组转发和路由信息转发过程中信息不会被篡改, 能够确保信息完整准确地到达目的节点。信息一旦被恶意节点捕获并实施篡改, 就可能使信息内容发生变化, 或者产生错误的路由定向, 使得节点间传递的信息部分或者全部错误, 阻碍节点间正常通信。

(3) 认可性

认可性是指自组织网络的信源无法否认已经发送过报文分组信息, 这样可以防止恶意节点抵赖的行为, 认可性对监听检测恶意节点的攻击十分有效。

(4) 机密性

机密性是指秘密信息不被非授权节点获得, 确保加密的报文分组在

随着汽车工业的高速发展, 日益拥堵的城市交通和频发的交通事故, 使得行车安全和智能交通受到广泛关注。车辆自组织网络(VANET)因其在智能交通和车载娱乐方面的广阔应用前景, 也同时受到业界的普遍关注。

1 安全需求及目标

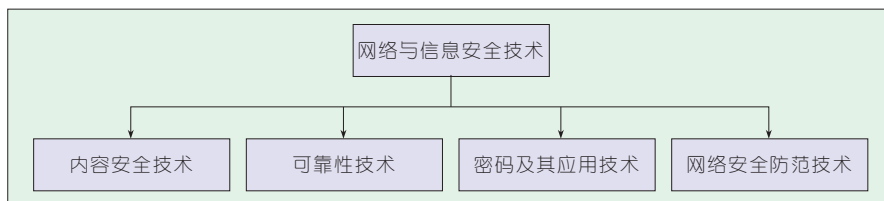
信息安全问题是车载自组网中尚未得到很好解决的问题, 也是阻碍车载自组网技术得到广泛应用的焦点问题^[1]。由于车载自组网自身的无中心、自组织等特点, 传统有线网络中成熟的安全保障机制无法得到直接应用^[2], 使得车载自组网更容易受到来自恶意节点的安全威胁。网络

与信息安全技术一般包含如图1所示的几个层面。

研究表明^[3], 为了维护车载自组网的安全, 车载自组织网络中的网络与信息安全需要全面考虑以下几个安全属性^[4]:

(1) 可用性

可用性是指自组织网络能保障可用, 即使是在遭受攻击的情况下仍能够保证正常可靠的通信, 不会因为恶意攻击而陷入瘫痪。可用性对于紧急情况和突发事件场合显得尤为



▲图1 网络信息安全技术的几个层面

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60971082)

转发过程中不被窃取。在某些情况下,甚至路由信息本身也需要加密,因为路由信息可能被攻击者用来识别身份,或者对网络中有价值的目标进行定位。

(5) 认证性

认证性是指节点间能够相互确认对方的身份,能够鉴别出恶意节点。如果节点没有鉴别恶意节点的能力,那么攻击者可能会伪装成一个正常的授权节点进行非授权访问并且获取机密信息,从而威胁到了通信安全。

为了保证车载自组网的安全,必须满足以上安全属性的所有方面。目前,许多专家学者已经对车载自组网的安全问题进行了较为全面的研究,从研究的方向来看,最主要的研究方向包括安全路由、密钥管理和入侵检测3个方面。

2 安全路由协议

路由技术是车载自组网的关键技术之一。目前,传统有线网络中的路由协议已经比较成熟,但是由于带宽和能量约束以及动态拓扑等多方面的原因,传统的路由协议并不能很好地适应车载自组网环境。因此,设计适应车载自组网特点的安全路由协议成为了研究的热点问题。

2.1 路由攻击形式

在车载自组网中,针对路由的主要攻击形式包括如下几种类型^[5]:

(1) 窃听攻击

由于无线链路的开放性,使得网络中节点可能受到其他节点的窃听。由于窃听攻击并不对原始数据进行干扰破坏,使得这种攻击易于实施,但是很难被检测。

(2) 拒绝服务攻击

主要是指恶意节点通过大量重复地向其他节点发送路由请求或者其他无效数据,导致其他节点来不及处理从而导致该节点停止对其他节点的响应。无论是由于无意间的失

败或恶意行为,这种威胁都构成了一个严重的安全风险。

(3) 假冒攻击

指恶意通过伪装成网络中的合法节点或者关键节点,非法获取信息或者破坏网络的可用性。假冒攻击能够给网络带来致命的威胁,并且攻击者能够借助被假冒者的身份来隐藏自己的身份,从而不容易被发现。

(4) 路由修改攻击

指网络中的恶意节点在转发路由请求分组时修改其中的路由信息,如源节点和目的节点标识,或者修改跳数,导致路由查找过程不能正确地完成,或者数据不能从源节点正确到达目的节点,从而影响了节点之间的通信。

(5) 黑洞攻击

指网络中的恶意节点在收到路由请求分组后总是向源节点回复路由应答,声称自己有到达目的节点最近的路由,从而使得大量的数据涌向该恶意节点。但是该节点又不对数据进行转发,而是将数据丢弃,从而使网络在恶意节点处形成一个吸收数据的黑洞,使得网络的丢包率急剧上升。

2.2 典型安全路由协议

前面介绍了车载自组织网络中常见的针对路由的攻击。为了有效地抵抗这些攻击,在传统路由协议的基础上,一系列安全路由协议被提出,这些安全路由协议一方面能够正常地实现路由协议的功能,另外对常见的路由攻击能够有效地抵御。下面介绍3种最常见的安全路由协议:Ad Hoc 网安全按需路由协议(SAODV)、Ariadne 和 SRP。

(1) SAODV^[6]协议

SAODV 协议保证安全路由的主要方法是利用数字签名对路由消息中的多个字段进行验证。使用单向散列哈希函数对路由信息中的跳数进行验证。SAODV 路由协议对路由请求分组中关键字段进行数字签名,

因此中间节点无法随意修改其中的源节点和目的节点等信息,而且路由请求分组中的跳数进行了 Hash 函数计算,这使得中间节点无法修改跳数变成小于实际跳数的值,可以防止恶意节点虚报跳数信息。

(2) Ariadne 协议

为了验证路由信息的完整性和真实性,Ariadne^[7]协议利用以单向散列消息鉴别码(MAC)为技术基础的广播认证机制——TESLA 认证方案。TESLA 方案采用单向散列函数链作为单向密钥链,各节点选取一个链值作为 TESLA 密钥来计算其 MAC,并附于路由包中。

Ariadne 协议中,通过单向散列函数的应用阻止了恶意节点伪造虚假信息或插入路由信息,可避免路由黑洞等外部恶意节点发起的攻击。对于内部不安全节点的恶意行为,因其不知道两端节点间的密钥,最终也将被检验出来,使合法节点免受错误信息的误导。

(3) SRP 协议

使用 SRP^[8]协议的前提是源节点和目的节点间已经建立安全连接,并拥有共享密钥。SRP 包头附加于 Ad Hoc 基本路由协议之后,其中携带了请求序列号和请求识别符号以及消息鉴别码 MAC。SRP 协议使用两端节点的共享密钥计算 MAC,对端节点身份的可信任性进行验证,同时以请求序列号标识最新路由,阻止了路由重播攻击。而对路由发现请求频率的限制,也使目的节点免受拒绝服务攻击的危害。

3 密钥管理

加密是保障信息安全的根本手段,加密技术能够满足车载自组网的认证、消息私密性、数据完整性及不可否认性等安全需求。但是,有效的加密需要良好的密钥管理手段。传统网络中的密钥分发和管理工作一般都是由密钥分发中心(KDC)或证书认证中心(CA)来完成,但在车载自组

网中却不存在任何中心,无法使用这样的中心机构,因此需要寻找其他方式来进行密钥分发和管理。

目前已经提出的车载自组网中密钥管理的方法有局部分布式CA、完全分布式CA、自发布证书CA等。

3.1 局部分布式证书认证中心

局部分布式CA^[9]采用公钥加密技术,由离线的管理中心挑选 n 个服务器节点组成CA,并将CA的公钥 pk_{CA} 告知所有节点;再根据Shamir秘密共享算法将CA的私钥 sk_{CA} 分为 n 个分量,每个服务器节点获得一个分量。每个私钥分量都可用来为其他节点签发部分证书, k 份以上正确的部分证书组合起来才能得到一个完整的有效证书。每个证书都有有效期,节点必须在证书过期前更新证书。节点更新证书时必须向至少 k 个服务器节点提出请求,获得批准后由服务器节点分别产生新的部分证书并发送给组合器,然后由组合器检验证书的有效性,无效则重新产生另一组证书,直到有效为止。

为了防止攻击者在一段时间内攻破 k 个以上服务器节点,CA私钥需要定期更新。更新过程是由每个服务器节点把自己的CA私钥分量再分为几份(称为子份),按一定方式给其他的服务器节点每个发送一份,然后组合其他服务器节点发给自己的子份,从而得到自己新的CA私钥分量,这个过程称为私钥主动更新。

但是,局部分布式CA也存在一些不容忽视的问题:第一,缺少证书撤销机制;第二,需要证书同步机制;第三,服务器节点加入和离开网络的问题还有待解决;第四,必须有离线的管理中心负责向每个节点发布CA的公钥。

3.2 完全分布式证书认证中心

完全分布式CA^[10]也采用Shamir秘密共享算法、可检验的秘密共享算法和私钥主动更新机制,不过它不需

要选择特殊的节点作为服务器,而是将CA私钥分配给网络所有节点。

在网络初始化阶段,离线的管理中心负责初始化最初的 k 个节点,包括提供初始证书 $certID$ 、CA证书 $certCA$,以及CA私钥分量。

在这之后,管理中心只负责给新节点发放初始证书。任何新加入网络的节点都将成为分布式CA的一员,新节点需向 k 个以上邻居节点提出CA私钥分量申请,由邻居节点验证其初始证书合法性后再为其分配一个CA私钥分量。在网络运行阶段,节点可以更新自己的证书及申请CA私钥分量;在网络更新阶段,所有的节点以分布式的方式更新CA私钥分量。

完全分布式CA也有它的不足之处有:第一,CA私钥的初始化和更新工作复杂;第二, k 的选择必须谨慎, k 值选得大可以防止更新期间攻击者能够破坏足够多的节点,但会影响服务的可用性;第三,必须提供证书同步机制;第四,需要管理中心负责给节点发放初始证书以及CA公钥。

3.3 自发布式证书认证中心

自发布式CA^[11]不需要任何证书授权中心的介入,由节点自己发布证书,并且每个节点拥有一个本地证书库存储少量证书。

节点本地证书库中存储的证书分为3类:由该节点发放的证书、给该节点发放的证书、其他证书。当两个节点希望验证彼此公钥的合法性时,他们将设法从合并起来的本地证书库里找到一条证书链来完成验证工作。

自发布式CA的缺点包括:第一,采用的证书选择算法只能从概率统计上保证获得一条证书链,并且不一定适合车载自组网;第二,缺少证书撤销机制。

4 入侵检测

入侵检测系统(IDS)^[12]是网络安全

防护的一种重要的补充措施。通过从系统内部和网络中收集信息并加以分析,检查网络中是否有违反安全策略的行为和遭到袭击的迹象,从而对内部和外部的攻击提供实时相关保护。

由于车载自组网与传统有线网络之间存在很大差异,有线网络上发展起来的入侵检测技术很难应用到车载自组网。最重要的原因在于后者没有一个固定基础网络架构,且节点自身又可能充当路由器,因此车载自组网中入侵检测的研究面临很多问题。

有线网中基于网络的入侵检测系统依赖于实时流量分析,流量监控通常是在交换机、路由器和网关节点上实施,而车载自组网中不具备这种便于对整个网络进行数据收集的流量集中监控点。在任何时候,唯一可利用、被收集到的数据仅限于发射电磁波一定范围内的通信活动,入侵检测系统也只能使用这些局部和本地的信息来进行入侵检测。

此外,车载自组网中正常与异常行为不存在明显的分界线,比如发出错误路由信息的节点,可能是被俘节点,也有可能是由于移动性而暂时失去同步的一些节点,入侵检测在一定程度上很难识别真正的入侵和系统的暂时性故障。

5 结束语

车载自组网技术是以Ad Hoc网络技术为基础的一种新型通信技术,可以广泛应用于智能交通、辅助驾驶、车载娱乐等方面。但是,信息安全问题仍然是车载自组网技术中的有待进一步解决的问题。如果这些问题得不到有效的解决,恶意节点就可能对网络进行攻击,从而干扰交通,窃取驾驶员位置信息等,反而造成不良影响。

同时,由于车载自组网无中心、自组织的特点,使得传统有中心网络

→下转第43页

车载自组织网络中基于贪婪算法的地理位置路由

Greedy Algorithm-Based Geographic Position Routing in Vehicular Ad Hoc Networks

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0024-05

摘要: 车载自组织网络(VANET)技术发展迅速,但由于其特殊的节点类型和信道特性,采用传统 Ad Hoc 网络路由协议无法取得满意的性能。实现高速可靠的数据传输速率,需要研究新兴的路由算法。基于贪婪算法的地理位置辅助路由是目前 VANET 路由的主流思路。文章认为基于这类思路的协议利用车载 GPS 装置、电子地图和下一代网络导航技术,能使路由发现和建立的时间大大缩短;结合已知的道路拓扑结构,选择多跳传输的最优路径,能避免路边建筑物的屏蔽效应,改善信道条件;动态评估道路上的车流密度,选择可靠性最高的传输路径,能很好地降低传输时延,提高网络吞吐能力。

关键词: 车载自组织网络;路由;地理位置;道路拓扑;车流密度

Abstract: Vehicular ad hoc networks (VANETs) are developing rapidly. However, existing routing protocols in the ad hoc network cannot perform satisfactorily because of the particular node type and channel conditions in VANET. New routing protocols need to be developed for high-speed transmission and reliability. Making full use of geographic position information is the mainstream way of thinking about VANET routing protocols. Protocols based on this kind of thinking take advantage of GPS, electronic map and next generation network (NGN) to shorten the time of routing discovery and establishment. By using the known road topology and choosing the optimal path of the multihop transmission, the screening effect of roadside buildings can be avoided and channel conditions can be improved. Dynamic evaluation of road traffic density can also be used to choose the surest transmission route. This significantly reduces transmission delay and improves network throughput.

Keywords: vehicular ad hoc network; routing; geographic position; road topological; traffic density

胡淼/HU Miao

李剑峰/LI Jianfeng

(北京邮电大学, 北京, 100876)

(Beijing University of Posts &

Telecommunications, Beijing 100876, China)

度出发,可分为先应式路由协议与反应式路由协议;从网络结构的角度出发,可分为平面路由与分层路由协议;从是否使用地理位置信息的角度出发,可以分地理位置辅助路由协议和非地理位置辅助路由协议。

(1)先应式和反应式路由协议

先应式路由协议又称为表驱动路由协议。

先应式路由协议一般包括邻居节点探测和路由广播两个过程。节点向各通信端口周期广播“HELLO”报文,来实现邻居节点探测。在距离矢量基本算法中,虽然没有显式的邻居节点探测过程,但在与邻居节点交换路由表时,隐含了邻居节点探测的过程。路由广播常采用“洪泛”的方式向全网扩散。在先应式路由协议中,由于每个节点需要实时地维护到其他节点的路由信息,这样在网络规模较大、拓扑变化较快的环境中,大量的拓扑更新消息会占用过多的信道资源,使得系统效率急剧下降。

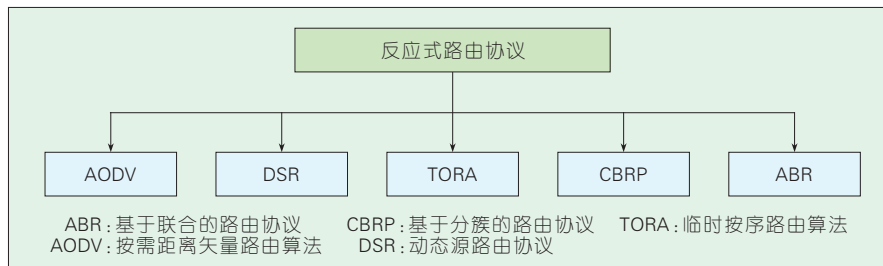
反应式路由协议又称为按需路由协议,它根据网络分组的传输请求,被动地搜索从源节点到目的节点

以 IEEE 802.11p 标准为基础的车辆间通信(IVC)技术已经成为目前智能交通系统(ITS)^[1]研究的主流之一。通过将城市或高速公路上的汽车组成移动自组织网络(Ad Hoc),能有效地降低交通事故发生率,缓解道路拥堵,满足人们对车载办公和娱乐

的需求。推动车载自组织网络(VANET)的普及应用,需要开发适用于该网络环境下的通信协议。其中,路由协议的研究对提高车载自组织网络中数据传输的实时性和有效性,具有关键的作用。

对于目前已经提出的 Ad Hoc 网络路由协议,可以从不同的角度进行不同的分类。从路由发现策略的角

基金项目: 国家自然科学基金项目
(60971082、60872049)



▲ 图1 常见的反应式路由协议

的路由。当没有分组传递请求时,节点处于静默状态,并不需要交换路由信息。

反应式路由协议主要包括路由发现和路由维护两个过程。当源节点需要获得到目的节点的路由,而该路由没有在路由表中时,源节点路由发现过程将被激活。节点采用“洪泛”的方式,向整个网络广播路由请求分组。当路由请求分组到达目的节点时,目的节点向源节点发出路由应答分组。这样,在源与目的节点之间会建立起双向路由。随着拓扑结构的变化,当已经激活的路径上的某段链路发生中断时,路由维护过程被启动。路由维护可以采用两种不同的策略,分别是断点处开始修复路径和通知源节点重新启动路由建立过程。典型的反应式路由协议如图1所示。

反应式路由协议是 Ad Hoc 网络特有的路由协议类型,在以往中心网络中并不存在。它可以降低路由开销,提高网络的吞吐量。但是,反应式路由协议具有潜在的不确定性,包括目的节点是否可达的不确定性和路由建立延迟的不确定性。在反应式路由协议中,每条激活路由建立的平均开销要远远高于先应式路由协议的平均开销。在只有少数节点之间需要通信的情况下,按需路由协议的路由开销才比先应式路由协议小。

在 VANET 中,由于网络的规模庞大以及节点高速移动,使得实时维护一个到其他节点的路由表变得非常困难。因此,在 VANET 中,更适宜使用反应式路由协议。

(2)平面路由和分层路由协议

在 Ad Hoc 网络中,网络结构可以分为平面式和分层式两种。平面式网络中使用平面路由协议,而分层结构中使用分层路由协议。分层路由协议采用簇的概念对节点进行层次划分。若干个在空间上相邻的节点构成一个簇,每个簇有一个簇头。簇之间可以通过网关节点进行通信,簇头和网关节点构成了网络的上层。

分层结构路由协议包括分簇算法、簇维护协议、簇内路由协议和簇间路由协议4个部分。分簇算法解决的是如何在动态分布式网络环境下使移动节点高效地聚集成簇,它是分层路由协议的关键。簇维护协议主要解决节点移动过程中的簇结构维护问题,包括移动节点退出和加入簇、簇的产生和消亡等功能。簇内路由和簇间路由则主要解决节点之间发现路由和维护路由的问题。常见的分层路由协议如图2所示。

分层结构路由协议适用于超大规模网络。在分层路由协议中,上层网络节点的路由可以参考甚至直接使用平面路由协议。在 VANET 网络中,由于网络规模和节点移动性的因素,更适宜使用分层路由协议。

(3)地理位置辅助路由协议

由于车辆通信环境中,非地理位置辅助的路由算法开销大,路由发现慢且不稳定,所以基于地理位置的路由算法具有明显优势,故这里只讨论基于地理位置辅助的路由协议。

随着定位技术的发展,节点可以方便地获得自己的地理位置信息。利用这些位置信息,可以改善 Ad Hoc 网络的路由性能。根据节点在发送数据前是否先建立路由,可以将地理位置辅助路由协议分为两类:一类是位置辅助的路由协议,该类协议的特点是仅仅使用地理位置辅助路由发现的过程,节点在发送数据前仍然先寻找路由,寻找路由成功后保存路由表;另一类是基于位置信息的路由协议,该类协议的特点是节点在发送数据前不寻找路由,不保存路由表。移动节点直接根据自己的位置信息、邻居节点的位置信息和目的节点的位置信息制订数据转发策略。中间节点在收到数据之后根据数据分组中所包含的目的节点位置信息进行相应的转发。

根据对位置信息的表示方式和利用程度的不同,基于位置信息的路由协议一般可归为3类:贪婪路由(如 GPSR、GEDIR 和 GRA)、定向“洪泛”路由(如 DREAM)和分层路由。在前两种路由协议中,源节点或中间节点将数据分组传送给一个(贪婪转发)或多个邻节点(定向“洪泛”)。这些节点相对于而言距离目的节点的距离更近,从而可以一步步将数据转发至目的节点。而在分层网络结构下,网络的不同层次可以采用不同的路由协议,但某些层次的路由转发需要位置信息的支持。常见的地理位置辅

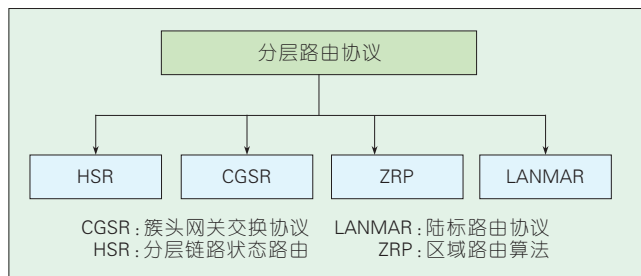
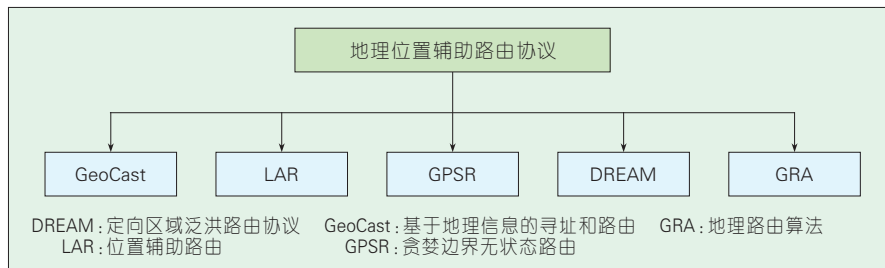


图2 常见的分层路由协议



▲ 图3 常见的地理位置辅助路由协议

助路由协议如图3所示。

地理位置辅助路由协议的前提条件是节点必须能够获得地理位置信息,这些地理位置信息一般通过GPS等设备获得。在VANET中,由于车辆节点很容易配备GPS设备,因此地理位置辅助路由协议比较可行。在这类协议中,以基于贪婪算法的路由协议发展最为全面。

1 地理位置辅助路由

迄今为止,许多专家学者已经对VANET中基于地理位置信息辅助的路由协议进行了较为全面的研究。根据其改进和丰富的历程,地理位置辅助路由的发展可以分为3个阶段:第一个阶段仅仅考虑网络中节点的实时定位信息,其核心机制是贪婪路由;第二个阶段在地理位置信息的基础上,利用车辆具有的导航、电子地图等功能,发展出了利用道路拓扑信息的锚路由机制;第三个阶段进一步综合和改进了前人的成果,在道路拓扑信息的基础上添加了车流密度信息,利用车辆自主发现的方式实现了地标覆盖路由机制。地理位置辅助路由的演进过程,可以用图4来直观体现。

2 贪婪路由

传统的Ad Hoc网络路由协议,路由发现和建立的时间往往较长,无法适应车载自组织网络中节点移动速度快、网络拓扑结构变化迅速等特点。2000年诞生的贪婪路由思路,较好地解决了这一问题,取得了满意的性能表现。该类协议的特点是节点

在发送数据前不寻找路由,不保存路由表。移动节点直接根据自己的位置信息、邻居节点的位置信息和目的节点的位置信息制订数据转发策略。中间节点在收到数据之后根据数据分组中所包含的目的节点位置信息进行相应的转发。由于省略了路由寻找的过程,因此能满足较高的实时性要求。

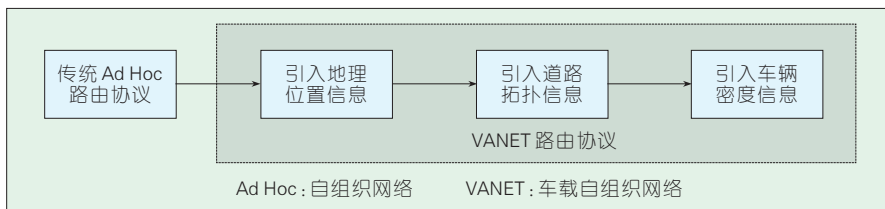
2.1 典型贪婪路由协议

2000年,哈佛大学的Brad Karp等人提出了贪婪边界无状态路由(GPSR)^[9]协议,成功地将贪婪算法与地理位置信息的实时获取相结合,为Ad Hoc网络路由开辟了新的思路,成为了车载自组织网络中一系列以地理位置为核心机制的路由协议的先驱和源头。该协议的实现思路是,网络中每个节点都周期性地广播一条信标消息,消息中包含自身的标识信息和实时位置坐标。同时,每个节点都维护一个直接邻居列表。所谓直接邻居,就是节点在一跳的传输范围之内可以达到的其他节点。节点之间通过交换信标消息,将直接邻居的身份标识和位置信息添加到自己的邻居列表中,由此获得对自身周围网络拓扑情况的认知。当一个节点需要发送数据时,首先,它通过网络服

务获取目的节点的位置信息,并将该信息加入包头。接着,发送节点通过查找自己的邻居列表,选择距离目的节点最近的直接邻居,并将数据包传输给它。收包的节点继续以同样的方式,选择下一跳并发送数据。以此类推,直到数据包到达目的节点。

2.2 贪婪路由协议的优势和不足

由于地理位置信息的恰当引入,贪婪路由开拓了VANET路由协议的设计思路。基于地理位置信息的机制也成为了VANET路由设计中最为普遍采用的设计思想。由于在该类协议中,每一跳的接收节点都是由发送节点根据地理位置信息而临时决定的。从全局来看,该类算法选择的路径并不一定是最优解,而是一个由所有中继节点的局部最优解构成的满意解。然而正因如此,它节省了穷尽所有可能和回溯需要耗费的大量时间,使路由得到迅速的建立。这正是贪婪算法的思想所在。相比传统的Ad Hoc路由协议,如按需距离矢量路由算法(AODV)^[9]算法而言,以GPSR为代表的这类协议具有极大的灵活性和抗毁性,即使网络中两两节点间的交互时间很短,也能迅速地发现和建立路由,具有较高的实时性和可靠性,特别适合于节点移动速度较快的网络,如车载自组织网络。然而,仅仅基于地理位置信息的路由协议同样具有缺陷。在多跳传输中,由于节点分布不均匀,发送节点可能会遭遇局部最大现象,即需要发包的节点周围,没有任何比它自身更接近目的节点的直接邻居。由于无法选择下一跳,此时需要改用周界路由机制来进行转发。该机制往往导致路径跳数



▲ 图4 地理位置辅助路由发展历程

过多,传输时延增大,路由协议的效率降低。

3 锚路由

由于车载自组织网络中信号传输采用的频率较高,穿透力弱,因此,道路两边的建筑物对信号的屏蔽效应较强,信道条件差。为了克服这一问题,同时充分利用车载网络节点运动的规律性,将道路拓扑信息引入路由选择成为了VANET路由新的发展方向。该类协议的特点是:节点在发送数据前仍然先寻找路由,寻找路由成功后保存路由表。但这条路由指的并非是中间节点序列,而是一条空间上数据传输的通路,由一系列十字路口构成。由于多跳传输避免了穿越路边障碍物,因此提高了数据传输的可靠性。

3.1 典型锚路由协议

2003年,Christian Lochert等人在若干车载项目的支持下提出了地理位置源路由(GSR)^[4]协议,将道路拓扑信息引入路由选择过程,进一步提高了地理位置路由算法的可实现性。基于道路拓扑结构的车载路由协议同样源于对GPSR协议的改进。在GPSR协议中,发送节点选择下一跳的时候,仅仅考虑自己的直接邻居与目的节点之间的距离。在传统的Ad Hoc网络中,由于节点位置随机分布,这种选择方式比较合适。然而,车载环境有其特殊性,车辆仅能沿着道路行驶,路边障碍物对无线电波的屏蔽效应很强。为了避开建筑物的阻挡,同时充分利用车辆节点运动轨迹可预测的特点,GSR这类协议定义了锚节点序列,由从源节点到目的节点路径上的一系列十字路口组成。在两个锚节点之间,仍然采用贪婪路由。也就是说,发包节点在选择下一跳的时候,将计算直接邻居和目的节点之间的距离,改为计算直接邻居和距离目的节点较近的下一个锚节点之间的距离,最终选择距离锚节点较

近的邻居车辆节点作为下一跳。这种选择方式使得数据包只能沿着道路进行传输,无线信号无需穿越路边的障碍物,改善了信道条件。同时,由于道路的延伸方向也正是节点运动的方向,通过选择同向运动的节点作为下一跳,可以进一步降低多普勒频移效应带来的不良影响。当数据包传输到十字路口时,继续选择距离目的节点较近的相邻路口作为下一个锚节点。以此类推,直到数据包到达目的节点。

3.2 锚路由协议的优势和不足

基于道路拓扑的地理位置路由协议充分利用了车载网络中移动节点的运动规律,将地理位置信息和道路结构很好地结合起来,改善了信道条件,提高了数据传输的可靠性,进一步开拓了VANET路由协议的设计思路。然而,GSR这类算法采用的锚节点序列仍然无法解决GPSR协议遭遇的局部最大问题。由于车辆节点分布不均匀,两个十字路口之间的道路上未必有足够的中继节点来提供多跳所需的连通性,因此,一旦数据包传输至车辆稀少的区域,就可能因为无法找到合适的下一跳而启用周边路由,从而产生更大的时延甚至丢包。

4 地标覆盖路由

GSR协议之后,出现了很多利用道路拓扑信息的改进协议,如采用锚路径加权值和局部最大恢复策略的A-STAR协议^[5]等。这些协议尝试把道路车辆密度、车辆之间相对运动的方向和速度等各种信息加入路由选择,均取得了一定的成效,获得了许多有用的实验数据。2008年,出现了一种新的利用车流密度信息辅助路由选择的思路。这类协议兼具上述两类协议的特点,同时综合吸收了前人的经验成果。由于其完整利用了地理位置、道路拓扑和道路密度信息,因此成为VANET路由研究中最

具代表性的成果之一。

4.1 典型地标覆盖路由协议

2008年,Kevin C Lee等人提出了城市车在环境下的地标覆盖路由(LOUVRE)^[6-7]协议,利用一种车辆自主发现密度的方式辅助路由选择。LOUVRE协议同样继承了GPSR算法的贪婪路由思想,其机制可以概括为以下几点:第一,车辆与车辆之间,采用基于地理位置信息的贪婪算法进行数据包的路由转发,而贪婪算法所采用的核心机制,是“洪泛”的信标消息广播和周期性更新的邻居列表。第二,引入道路拓扑信息辅助路由选择,延续了锚节点路由的理论,将其升级为地标覆盖的概念。每一个道路交叉口都被看作是一个地标,通过选择一条最优的地标序列来得到满意的路由,在地标和地标之间建立路径,数据包在地标之间贪婪传递。而决定路径是否有效的依据,就是两个地标之间的道路车辆密度分布情况。第三,提出了一种车辆自主发现道路密度的算法。车辆通过观察直接邻居的数量,得到对身边道路密度的评估值。再利用贪婪路由中固有的信标消息,将该评估结果散播出去。通过“洪泛”传播,全网的所有车辆就能建立起对两两地标之间是否具有传输通路的认识。

4.2 地标覆盖路由协议的优势和不足

通过上述3个机制,LOUVRE协议充分吸收了前人研究成果的优势,能够很好地适应车载自组织网络的环境。同时,由于车辆在选择地标路由的时候,仅仅考虑那些车辆密度分布达到一定要求的道路,因此最大可能地降低了发送节点缺乏直接邻居的风险,避免了因道路上车辆稀少或者车辆密度分布不均匀而产生的局部最大现象。在对时延和效率要求极高的车载网络中,这是一个重要的性能提升。由于LOUVRE协议能够很好地适应VANET快速变化的网络

▼表1 3阶段路由协议内容和性能对比

代表路由	利用地理位置信息	利用道路拓扑信息	利用车流密度信息	对抗节点快速移动	对抗路边建筑屏蔽	对抗局部最大问题
贪婪边界无状态路由	√	×	×	√	×	×
地理位置源路由	√	√	×	√	√	×
城市车在环境下的地标覆盖路由	√	√	√	√	√	√

拓扑结构、迅速的节点移动,同时对抗网络中普遍存在的屏蔽效应和GPSR算法固有的局部最大难题,较好地满足车载自组织网络中的数据传传输要求,因此非常适合车载网络下的路由选择。然而,在实际应用的可靠性和可行性方面,它仍然存在一些不容忽视的不足之处:第一,为了实现贪婪算法和道路密度信息的自主获取,网络中所有车辆节点都要周期性地广播信标消息,消息的内容不仅包括自身的标识信息,还要包括自己收集到的道路密度信息。随着网络规模的扩大,车辆数目的增多,网络中的信标消息数量将呈膨胀式增长。在网络容量有限的VANET中,如此众多的消息极易引起网络拥塞,使得基于竞争机制的信道利用发生冲突,产生较大的发送时延。在繁忙的城市环境下,这种现象将尤为严重。第二,由于LOUVRE协议采用车辆自主评估的道路密度发现机制,因此车辆密度信息的传播完全依赖于信标消息的顺利送达。然而,VANET中的车流分布往往非常不均匀,在车辆稀疏的路段,就会出现多跳的断点,导致信标消息无法及时被传送出来,其载有的密度信息也就无法让其他车辆收到。这种断点的存在将会产生众多密度评估的盲区,降低道路密度信息的准确性和全面性,最终引起路由选择的错误,降低数据包传输的可靠性。

5 路由协议内容和性能对比

基于贪婪算法的地理位置辅助路由,由一开始的仅仅利用地理位置信息,发展到综合利用道路拓扑信息,再丰富为综合利用车流密度信

息,其性能不断提升,对VANET特性的适应能力也不断变强。上述3个阶段的路由协议,其核心内容和主要性能对比如表1所示。

6 结束语

车载自组织网络技术能提供车辆之间高速、可靠、廉价的数据传输,具有组网灵活自由、信息传播实时性高等优点,能极好地解决道路交通安全问题,因此受到了通信和汽车工业领域的广泛关注。然而,VANET特殊的应用环境,决定了其具有较为复杂的网络拓扑结构和较差的信道传输条件。综上考虑,开发适用于车载网络的性能优良的通信协议,对VANET技术的可实现性有着重要的影响,甚至成为决定车辆通信系统能否推广应用的关键环节。

由于VANET通信协议的设计、开发和改进仍然是现今通信领域和汽车工业领域研究的一个热门课题,因此,对路由协议以及车载自组织网络中其他层协议的研究始终具有相当大的发展空间。如在LOUVRE算法中,车辆自主发现密度的方式仍具有效率低下、准确度不高的问题,需要研究新的思路加以对抗。此外,通过引入一些细节上的改进,比如多跳时综合考虑车辆间的相对运动方向和运动速度等,能进一步提高路由协议的性能。在将来,利用越来越全面和先进的各类车载设备,车辆间通信技术必然具有一个良好的应用前景,实现其在交通安全、运输方面的价值。

7 参考文献

- [1] 杨东凯,吴金培,张其善.智能交通系统及其信息化模型[J].北京航空航天大学学报,2000,26(3):270-273.

- [2] KARP B, KUNG T H. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C]// Proceedings of the 6th annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM '00), Aug 6-11, 2000, Boston, MA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2000: 243-254.
- [3] PERKINS C E, ROYER E M. Ad-hoc on-demand distance vector routing [C]// Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA '99), Feb 25-26, 1999, New Orleans, LA, USA. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 1999: 90-100.
- [4] LOCHERT C, HARTENSTEIN H, TIAN J, et al. A routing strategy for vehicular Ad Hoc networks in city environments [C]// Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IVS '03), Jun 9-11, 2003, Columbus, OH, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 156-161.
- [5] SEET B C, LIU Genping, LEE Bu Sung, et al. A-STAR: A mobile Ad Hoc routing strategy for metropolis vehicular communications [C]// Networking Technologies, Services, and Protocols, Performance of Computer and Communication Networks, Mobile and Wireless Communications: Proceedings of the 3rd International IFIP-TC6 Networking conference (Networking '04), May 9-14, 2004, Athens, Greece. LNCS 3042. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2004: 989-999.
- [6] LEE C K, LE M, HARRI J. LOUVRE: Landmark overlays for urban vehicular routing environments [C]// Proceedings of the 68th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall '08), Sep 21-24, 2008, Calgary, Canada. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 5p.
- [7] LEE C K, ZHU Jiajie, FAN Jih Chung. Histogram-based density discovery in establishing road connectivity [C]// Proceedings of the 2009 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC '09), Oct 28-30, 2009, Tokyo, Japan. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 7p.

收稿日期:2011-03-18

作者简介



胡淼,北京邮电大学在读硕士研究生;主要研究方向移动通信与宽带信息网络,包括车载移动通信中的路由层协议等;已发表EI检索论文2篇。



李剑峰,北京邮电大学研究员、博士;主要研究方向宽带移动无线通信,包括基于多载波调制技术的车辆移动通信、感知无线电、视频图像的传输与处理等;已发表各类论文30篇。

基于车载自组网的动态交通信息的挖掘和利用

Dynamic Traffic Data Mining Based on Vehicular Ad Hoc Networking

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0029-06

摘要: 动态交通信息系统是智能交通系统中重要的组成部分,作为一种新兴的车辆间无线通信网络技术,车载自组网可有效提高高速行驶车辆间的信息共享能力。文章阐述利用基于车载自组网的交通信息采集和交通事件协同检测算法、大规模海量交通信息的分布式组织和实时处理方法、基于位置的交通信息分发协议等技术,构建一个动态交通信息系统,实现改进交通信息系统中的事件检测的准确性和实时性,提高大规模交通信息处理的实时性,改善交通信息分发的针对性。

关键词: 智能交通信息系统;车载自组网;信息挖掘

Abstract: A dynamic traffic information system is an essential component of an intelligent transportation system. Vehicular ad hoc networking (VANET) is a new wireless technique that can be used to improve information sharing between vehicles moving at high speed. VANET techniques that can be used in a dynamic traffic information system include cooperative detection algorithm for traffic events and information based on VANET, distributed real-time processing of mass traffic information, and position-based traffic data delivery protocols. These improve the accuracy and immediacy of traffic event detection, ensure real-time processing of mass traffic data, and ensure traffic data is delivered appropriately.

Keywords: intelligent transportation system; vehicular ad hoc network; information mining

向勇/XIANG Yong

(清华大学 计算机系, 北京 100084)
(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

很好的促进作用。

1 动态交通信息处理技术

交通信息系统的基本功能是交通信息的采集、处理和分发。目前全球的研究工作主要集中在以下几个方面:交通信息系统体系结构、信息采集手段和采集方法、海量时变交通信息的处理方法、交通信息分发模式和信息采集和分发中的数据传输模式等。

1.1 交通信息系统体系结构

依据交通信息的处理方式不同,可将交通信息系统的体系结构分成基于交管中心的交通信息系统和基于对等网络(P2P)的交通信息系统。

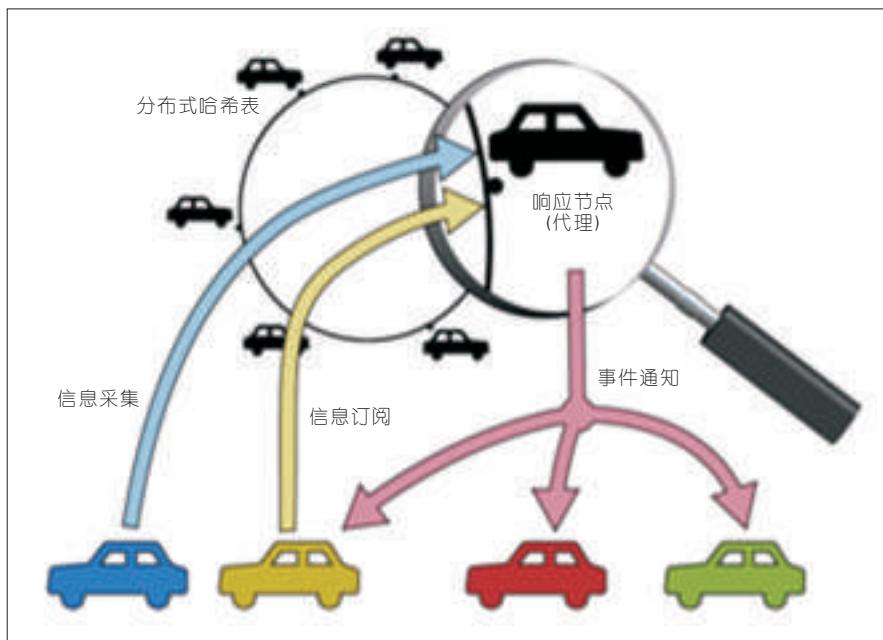
基于交管中心的交通信息系统通常由一个由交管中心管理的道路交通信息公共网络平台、多个交通指挥调度和信息化发布子系统(如公安、公交车、出租车、医疗急救、车辆救援等子系统)和多种交通信息采集子系统(如基于固定设施的交通流检测、浮动车GPS信息、事故报警人员通报等子系统)。基于这种结构的交通信息管理系统,采集手段和采集点较

随着城市经济的快速增长和城市

化进程的加快,城市机动车数量呈快速增长的势头。车载自组网是一种新兴的无线网络形式。它针对高速运动车辆沿道路行驶的特征,研究车辆间如何利用无线通信技术形成一个自组织网络,为行驶中的车辆提供信息传输服务^[1-4]。车载自组网在交通系统中有着巨大的应用潜力,将对交通系统中海量和时变的交通信息从采集、处理

和分发等方面产生深远影响。我们认为,车载自组网技术可引入新的交通信息采集模式,自组网内车辆的合作可提高交通信息采集的多样性、实时性和准确性;通过分层次的交通信息处理机构,将可实现海量和时变的交通信息的深度挖掘和实时处理,形成更多和更准确的交通信息服务;通过对交通信息用户需求的分析和引入车载自组网,用户将可及时得到自己最需要的交通信息,减少不必要的交通信息发布所带来的带宽浪费,最终对城市交通信息系统的发展起到

基金项目: 国家高技术研究发展(“863”)计划(2008AA01Z220)



▲ 图1 基于信息订阅和推送的交通信息的分发过程

少,研究工作的重点是寻找新的交通信息采集手段、选择信息采集点的位置^[5]和利用这些有限的交通流数据得到有用的交通信息。最早应用的交通流数据采集手段是基于感应线圈的固定检测设施。当蜂窝网普及后,基于浮动车的交通信息采集方式被引入交通信息系统,扩展了交通信息的采集方式和采集范围^[6]。交通流数据的处理工作是在各个采集子系统中完成的,子系统的处理结果都会汇总到交管中心,并通过公共网络平台在子系统间共享。该结构很好地描述了交通信息系统可能采集到的各种交通数据和用户对交通信息的需求,形成交通信息系统的基本框架。这种结构是目前实际系统中广泛采用的,它的扩展和改进是目前的智能交通系统研究的热点^[7]。

当浮动车数据采集点大规模增加后,很难再由交管中心来集中管理这些海量的实时数据。于是,具有良好可扩展性的对等网络技术被引入交通信息系统。基于P2P的交通信息系统把交管中心的功能改成由P2P网络完成,以此来解决海量交通流数据的实时处理“瓶颈”。基于信息订

阅和推送的交通信息的分发过程如图1所示。通过使用分布式哈希表(DHT),少量流通数据被分布到多个处理节点上处理^[8]。随着交通信息量的增加,信息采集方式和分发方式也发生了变化。在信息采集方式上,由于采集交通流信息的浮动车数据源大量增加,有可能通过动态调整采集数据量和采集周期来实时获取用户需要的区域在指定时间段的交通流数据,从而实现按需采集数据^[9]。

车载自组网技术的出现和被引入交通信息系统,使车载自组网节点的浮动车可相互协作来一起完成交通流数据采集和基本处理^[10-11],从而有可能提高交通信息的实时性和准确性。海量交通信息也带来了信息分发方式的变化,信息采集者很可能同时也是信息的用户。用户需要的交通信息往往只是所有信息中极少量的一部分。例如,出租车是重要的交通流数据源,出租车驾驶员是最关心路况的交通信息用户。出租车驾驶员关心的仅仅是自己所在区域和将要通过道路的交通信息。这时就需要更准确地了解用户对交通信息的需求,通过信息订阅和推送方式来

进行交通信息的分发,从而提高信息分发的效率和实时性。在引入车载自组网技术后,交通信息系统中采集、处理和分发3部分的功能划分和相互关系将会发生一定的融合,有可能设计形成一种适合大规模、海量和时变交通信息服务的混合结构的体系框架,支持多种固定设施和浮动车的信息采集。

1.2 交通流数据采集和事故检测

交通流数据采集的目的是获取道路交通流信息和道路事故信息。数据采集方法包括视频采集、诱导线圈、雷达、车载传感器和人工报警等。基于视频和图像分析的交通流数据采集需要进行预处理。采集到的交通流数据需要进行分析处理,以便检测到用户关心的交通信息。

检测算法可以分为宏观检测算法和微观检测算法。宏观检测算法利用安装在固定地点的视频监控设备、雷达设备、诱导线圈以及浮动车,根据采集并上传到交管中心的交通数据,进行宏观综合分析来检测事故的发生。宏观检测算法可分为基于模式的检测算法、基于突变理论的检测算法、基于统计数据的检测算法、基于人工智能的检测算法和基于浮动车的检测算法五大类。前4类是基于视频监控设备和诱导线圈等固定设备的算法,现在已经比较完善。它们使用基于路面的点数据(如环形线圈检测的数据),能采集到流量、占有率等交通参数,从而对真实的交通状况进行估计和推测。第4类基于浮动车技术的浮动车技术,也被称作“探测车”,是近年来新采用的一种获取道路交通信息的先进技术手段。

(1) 基于模式的检测算法

基于模式的检测算法用采集到的占有率和车流量等当前交通数据与历史数据进行比较,从而判断是否发生了交通事故。如果差距超过了一个阈值或存在明显变化,就认为发生了事故^[12-13]。

(2) 基于突变理论的算法

基于突变理论的算法通过分析车辆速度、流量和拥堵程度等变量,当其他变量没有明显变化的时,某一变量发生了突变则判定为可能产生了事故^[14]。比如,在流量和拥堵程度没有发生明显变化时速度产生明显变化,那么就有可能是事故发生了。

(3) 基于统计数据的算法

在基于统计数据的检测算法中,使用历史记录建立交通流模型。这些模型通常是非线性的,运行在宏观层面。他们可以从过去实施的交通信息,利用空间技术的动态状态估计的交通密度和流动,这些模型可以被用来预测交通格局的演变。如果交通差别很大,则可能是发生了事故。

(4) 基于人工智能的检测算法

基于人工智能的检测算法^[15-16]利用神经网络,基于历史数据的训练来识别交通流模式。神经网络的方法虽然有效,但需要大量历史数据的学习,而且检测速度较慢。模糊逻辑可与神经网络结合使用,引入模糊边界概念,方便检测占用率或速度的模式变化,以确定交通事故。使用模糊逻辑可改善神经网络算法的性能。

(5) 基于浮动车的检测算法

基于浮动车的检测算法^[17]根据装备GPS设备的浮动车在其行驶过程中定期记录的车辆位置、方向和速度信息,应用地图匹配、路径推测等相关的计算模型和算法进行处理,使浮动车位置数据和城市道路在时间和空间上关联起来,最终得到浮动车所经过道路的车辆行驶速度以及道路的行车旅行时间等交通拥堵信息。当城市中部署足够数量的浮动车,并将这些浮动车的位置数据通过无线通信系统定期、实时地传输到一个交管调度中心,由交管调度中心综合处理,就可以获得整个城市动态、实时的交通拥堵信息。

宏观监测算法主要的问题有以下几个方面:首先是这些基于流量和模型的检测对于那些交通流量比较

少的地方可能不太灵敏,因为事故的影响可能很小;第二,现在的算法大多不能发现事故的地点和具体发生的事情;第三,基于诱导线圈等固定检测设备的检测方法的部署代价较高^[18];第四,基于视频分析的算法在遇到特殊环境(如大雾,沙尘等天气)时会明显影响精度^[19-20]。

微观检测算法着眼于车辆的GPS数据、车载手机、车载传感器、手动报警等设备提供的数据对某一地点附近的交通情况进行分析,目标是准确地检测事故发生的地点以及严重程度等信息。下面是几种典型的微观检测算法:

(1) 基于手机位置的检测算法

蜂窝网基站可以感知到手机的大体位置,通过这个位置可以把一部分手机终端定义为车上终端。分析这些终端数据,可以得到相应的车辆的平均速度,也可以通过车辆平均速度的变化判定事故的发生^[21]。

(2) 手动报警

研究发现,38%的事故可以通过手机信息获得。这是因为事故会同时对附近的人产生影响。但是传统的通过拨打电话报警的方式报警率很低,而且误报率比较高。为了解决这一问题,首先需要将人工报警变得更加简单可行,车内集成报警的特殊按钮,司机只要动一下手指就能完成报警过程,另外需要结合其他的事故检测方法进行判定,提高人工报警的可靠性^[22]。

(3) 基于车载自组网的检测

车载传感器采集到的车辆数据存放在事件数据记录器(EDR)中,作用相当于飞机上的黑匣子。EDR也可以接受驾驶员输入,比如结冰等不容易检测的数据。经过路边基础设施的时候EDR就把信息传输给基础设施,基础设施通过发生事故时车辆应该有的行为,分析后就得到道路上事故的情况。这可以分为基础设施不相连的和基础设施相连的两种。基础设施不相连的使用车载自

组网进行车辆间通信^[23-25]。

我们认为,通过综合利用多种信息源,采用闭合回路的事件检测和复核方法,在同一车载自组网中的浮动节点上进行周期性数据分析和事故协作复核,可实现对检测结果的快速确认,从而提高检测的准确性和减少误判,从而提高事故检测的时效性和准确性。

1.3 交通信息数据处理和挖掘

交通数据具有动态、海量和关联等特性。关联性挖掘数据内部潜在关系的基础,也是进行社会网络分析提取有用信息的前提。交通信息早先是按数据类型划分,随着交通信息总量的增加,分布式数据存储结构被引入^[26]。交通数据被存储到采用主从模式的两级服务器数据管理结构中,即由交通管理中心控制的交管中心数据库服务器及由各区域交通管理部门控制的数据库服务器和客户端。中心数据库同各区域服务器通过网络平台实现共享。为了实时处理交通流数据,并提供用户需要的实时交通信息服务,面向服务的架构和分布式实时信息处理也被用到交通信息系统中。

基于面向服务的交通信息系统中,子系统能够实现的功能被划分成粒度不同的服务。子系统之间的功能调用转化为对服务的调用,从而实现动态交通信息采集、信息共享、数据处理及发布。当实时交通信息服务成为可能时,更多的交通信息服务就成了新的研究热点。如基于实时路况的导航系统就可以为用户提供当前的最短用时路径服务^[27]。

为了处理大规模的实时交通信息,不同地理区域的数据分散到不同的处理节点上,这些处理节点的协作和数据共享成为交通信息系统面临的重要问题^[28-29]。云计算平台和方法也被引入到交通信息系统中。

Google针对分布式应用提出了一组相关技术^[30]。GFS是一个可扩展的

分布式文件系统,用于大型分布式对大量数据进行访问的应用。文件在目录中按层次组织起来并由路径名标识。从结构上看,它是由一个元数据服务器(Master)和大量的数据存储服务器(Chunkserver)组成,文件划分成固定大小的块存储,并被许多客户访问。对于海量数据处理,一种通用的办法就是借助分布式计算模型来实现,是很多大型系统数据处理的核心,特别是进行搜索业务和大规模信息处理业务时。现有分布式处理模型比较多。MapReduce^[31]是一种编程模型,其基于GFS文件系统的处理模型,用于海量数据集的并行计算,以满足Google迅速增长的数据处理需求。Map操作即映射函数,是将一组独立的元素组成的列表进行指定的操作,得到一个中间数据集,而Reduce操作,就是对元素进行适当的合并,这两个操作具有高度的并行性。Big table^[32]是Google使用的文件存储系统,其本质是一个分布式、多维度的映射表。MapReduceOnline^[33]在处理流程上有一定优化,其数据流在传递过程中采用不同的方式,一般情况下使用的是事务处理技术,而联机模式下,使用的是流水线技术。

基于Hadoop的分布式处理模型被用于编写和运行用于处理海量数据的应用程序。它是对MapReduce的Java实现。它使用了Hadoop分布式文件系统(HDFS)。

这种模型有着较强的优势。首先是其开源性,能很好地借鉴并根据需求作出修改;其次,具有很好的可扩展性和有效性,能通过数据分发,实现数据在不同节点上的并行处理;另外,通过多拷贝保证可靠性。Hadoop是海量数据处理分布式模型的一种很好选择。MogileFS是一套高效的文件自动备份系统,广泛应用于Web站点上,其主要功能主要体现在文件备份操作上。Memcached是高性能的、分布式内存对象缓存系统,用于在动态应用中减少数据库负载,提

升访问速度。这种处理模型实现了跨服务器分布式的全局缓存。在实现海量数据处理的时候,可以借助现有成熟的处理模型,特别是开源的Hadoop模型。由于Hadoop的上述特征,一些研究工作把它用于各种大型分布式数据处理应用^[34-35]。Hadoop已经得到Yahoo的全面支持,而且也应用在百度的分布式解决方案中。

我们认为,在交通信息系统中采用Hadoop作为分布式数据处理平台,基于大规模时变信息的描述、存储和处理方法来描述和分析交通数据在时间、地点、逻辑关系等方面的时空关联性,并有效地把这些信息组织成一个整体,是挖掘和利用这些数据的基础。有可能形成多层面的交通信息组织结构,使相关信息组织成一个有机整体,方便交通数据的利用,并实现交通信息的分布式并行处理和大规模数据的及时处理,从而改进交通流数据的处理和挖掘。

1.4 交通信息的传输和分发

交通信息系统中的数据传输和分发要解决的问题是数据传输方式和分发内容选择的问题。数据传输技术研究各类路由算法;分发内容技术与传输相关的数据处理,主要是数据融合方法的研究。引入车载自组网后,数据传输问题更加复杂。

目前对路由算法的研究主要集中在两个方面:广播和单播路由协议,以广播为主。因为在车载自组网中主要的应用场景为安全信息和交通信息,而这些信息对于所有行驶在道路上的车辆来讲都是重要的信息。在广播路由算法的研究中,主要有两个较大的方向:可靠广播和提高性能。可靠广播研究的目的是提高安全信息的传输可靠性。因为在IEEE 802.11协议中,广播协议是没有确认信息的,故在安全信息这类要求可靠交付的应用场景下,如何确保消息准确、可靠的发送到目的节点就成了问题的关键。已有研究人员提

出了很多可靠广播协议,其中包括概率路由、划分区域进行中继等。对广播协议的另一个研究方向是提高广播协议的性能。这是因为在车载自组网环境下,车辆密度较大,如果采用洪泛广播的方法会造成较大的拥塞,甚至广播风暴,造成路由协议性能降低。为了减小广播协议的开销,目前主要采取的方法是记录丢包率等信息并进行计算,选择适当的中继节点等方法来减小广播的次数,以此来提高广播路由协议的性能。对单播路由协议的研究主要集中在提高报文交付率上。目前较为流行的方法是无状态路由、地理路由、延迟容忍网络(DTN)。在最新发表的论文中,已经开始出现了采用多路径的单播路由协议。

传输交通信息的路由算法主要考虑道路和交通流对路由算法的影响。文献[36]把路由选择转换为道路车流密度的选择,选择车辆密度高的道路进行转发,同时采用DTN的方法来提高交付率。一种新的组播协议^[37]提出关联区域(ZOR)和转发区域(ZOF)。通常在ZOR内的节点之间能够通信,当车辆加速或者减速时,车辆可能退出该ZOR。ZOF可用于将数据转发给那些不在ZOR中的节点。文献[38]通过修改DSR协议得到一种新的可用于车载自组网的多路径单播路由算法。

广播及广播可靠性在交通信息传输中面临更大挑战。许多研究工作是从减少广播占用的带宽和提高广播可靠性的角度来研究交通信息广播协议。文献[39]通过网络编码来提高车载自组网中传输多媒体数据的可靠性。每个节点会周期性地广播自己接收到的最大数据帧序号。如果节点尚未接收小于该序号的数据帧,则发送请求,要求邻居节点向其发送该数据帧。文献[40]通过概率路由来增强安全信息的多跳广播可靠性。文献[41]针对高速路场景研究事故信息分发算法,以减少误判和开

销,并提高精度。文献[42]通过控制广播风暴来减少广播的带宽占用。

另一个研究方向是对传输的数据进行处理,目标是减少需要传输的数据量,减小对网络带宽的消耗。目前主要的方法是采用数据融合技术,通过将需要发送的数据进行融合,减少数据量。由于目前车载自组网中主要的应用方向是安全信息和交通信息。所以目前提出的方法也都使用在这两种应用上。在车载自组网中,周期性广播信息是一类十分重要的信息,车辆通过周期性广播来发送自己的位置、速度、方向信息。整个网络通过周期性广播得以构建起来。目前已经开始有文章专门研究周期性广播的性能。目前主要有两种观点,一种是周期性广播一跳数据,这种广播通过大功率发射,使发送的数据尽量覆盖更大的面积,使更多的邻居节点接收到数据。另一种方式是采用小功率、多跳广播。从目前看,两种广播的方式有各自的特点,需要根据具体应用来进行选择。在数据传输的各种论文中,已经出现了一种新的消息获取方式,即发布/订阅(Publish/Subscribe)方式。通过这一方式,实现了消息发送方和接收方的完全解耦。

文献[43]采用发布/订阅的思想,信号灯是信息的发布者,而车辆是信息的订阅者。信号灯只发布所在区域的相关信息,而它周围的车辆需要的也正是所在区域的交通信息。文献[44]提出使用马尔可夫模型的数据融合算法,通过合并数据来减小数据发送开销。文献[45]通过选举融合节点收集和压缩多车数据来减少信息传输量。文献[46]利用前方道路一定范围内的车辆数量来获取当前道路是否拥堵的信息,并向反方向发送,通知随后的车辆。文献[47-48]研究交通流信息汇聚范围和汇聚节点选择来控制传输的信息量,以避免信息过多。

我们认为,基于社会网络方法的

用户需求和行为特征有可能形成新交通信息分发方法。用户仅关心海量的交通信息中与自己相关的部分,表达用户需求和关联相关信息是提高交通信息利用效率的重要方法。通过分析用户行为特征来挖掘用户的交通信息需求,进而基于内容的交通信息路由策略,及时主动地分发给需要的用户。

2 应用前景

交通运输产业是国民经济的重要产业,城市交通管理水平是城市现代化程度的重要标志。基于车载自组网交通信息系统能够在车辆驾驶中提供各种安全驾驶所需要的信息与服务,扩展司机的视野与车载部件的功能,对提高驾驶的安全性将起到非常重要的作用。典型的应用包括:

(1) 行驶安全预警

利用车辆间相互交换状态信息,通过车载自组网提前通告给司机,建议司机根据情况作出及时、适当的驾驶行为,这便有效的提升了司机的注意力,提高驾驶的安全性。

(2) 协助驾驶

帮助驾驶员快速、安全的通过“盲区”,例如在高速路出入口或交通十字路口处的车辆协调通行。

(3) 分布式交通信息发布

改变传统的基于中心式网络结构的交通信息发布形式。车辆从车载自组网中获取实时交通信息,提高路况信息的实时性,例如,综合出与自身相关的车流量状况,更新电子地图以便更高效的决定路径规划。

(4) 基于通信的纵向车辆控制

通过车载自组网,车辆能根据尾随车辆和更多前边视线范围外的车辆相互协同行驶,这样能够自动形成一个更为和谐的车辆行驶队列,避免更多的交通事故。

(5) 乘客办公与娱乐化

让乘客享受娱乐,视频点播、汽车会议、路边超市等各种基于无线网络的应用,例如,在线游戏和 Internet

接入等。

目前,中国汽车总保有量已经超过3 000万辆,车载自组网技术应用于交通信息将直接促进车辆安全驾驶和提高道路通行能力。通过形成行业标准、国家标准,其后续产生的经济效益和社会效益将不可估量。

3 参考文献

- [1] 1982年至2009年8月北京机动车保有量变化[EB/OL]. [2009-09-14]. <http://info.auto.hc360.com/2009/09/140857313559.shtml>.
- [2] 北京机动车突破430万辆[EB/OL]. [2010-05-25]. <http://www.chinanews.com.cn/auto/news/2010/05-25/2301783.shtml>.
- [3] 胡明伟, 缪立新, 王耘非. 北京市交通流数据采集、处理/分析和信息发布系统设计[J]. 公路交通科技, 2003(2): 77-80.
- [4] 常促宇, 向勇, 史美林. 车载自组网的现状与发展[J]. 通信学报, 2007, 28(11): 115-126.
- [5] TRULLOLO S, FIORE M, CASETTI C, et al. Planning roadside infrastructure for information dissemination in intelligent transportation systems[J]. Computer Communications, 2010, 33(4): 432-442.
- [6] 李昊. 中心城市公众出行交通动态信息采集、处理及共享技术研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2006.
- [7] Report on ITS framework reference architecture[R/OL]. [2008-02-15]. <http://www.coopers-ip.eu/index.php?id=150>.
- [8] RYBICKI J, SCHEUERMANN B, KIESS W, et al. Challenge: Peers on wheels -- A road to new traffic information systems[C]// Proceedings of the 13th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'07), Sep 9-14, 2007, Montréal, Canada. New York, NY, USA: ACM, 2007: 215-221.
- [9] RYBICKI J, SCHEUERMANN B, KOEGEL M, et al. PeerTIS: A peer-to-peer traffic information system[C]// Proceedings of the 6th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'09), Sep 25, 2009, Beijing, China. New York, NY, USA: ACM, 2009: 23-32.
- [10] YANG Yi, BAGRODIA R. Evaluation of VANET-based advanced intelligent transportation systems[C]// Proceedings of the 6th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'09), Sep 25, 2009, Beijing, China. New York, NY, USA: ACM, 2009: 3-12.
- [11] ARBABI M H, WEIGLE M C. Using vehicular networks to collect common traffic data[C]// Proceedings of the 6th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'09), Sep 25, 2009, Beijing, China. New York, NY, USA: ACM, 2009: 117-118.
- [12] MARTIN P T, PERRIN H J, HANSEN B G. Incident detection algorithm evaluation, UTL-0700-31[R]. Salt Lake, UT, USA: Utah Traffic Laboratory, 2001.
- [13] 魏丽英, 夏明, 田春林. 基于LVQ神经网络的快速路事件自动检测算法[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2010, 40(2): 412-416.
- [14] PERSAUD B N, HALL F L. Catastrophe theory and patterns in 30-second freeway

- traffic data implications for incident detection [J]. Transportation Research, Part A: General, 1989,23A(2): 103-113.
- [15] SRINIVASAN D, JIN X, CHEU Ruey Long. Evaluation of adaptive neural network models for freeway incident detection [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2004,5(1): 1-11.
- [16] CHEN S, WANG W. Decision tree learning for freeway automatic incident detection [J]. Expert Systems with Applications, 2009,36(2): 4101-4105.
- [17] 余柳, 于雷, 戚懿, 等. 基于浮动车数据的城市快速路交通事故检测算法研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2008,8(4): 36-41.
- [18] 全洪波, 陈锐祥. 城市道路交通拥堵自动判断算法研究 [J]. 中山大学学报:自然科学版, 2008,47(1): 42-46.
- [19] MONTEIRO G. Traffic video surveillance for automatic incident detection on highways [D]. Coimbra, Portugal: University of Coimbra, 2008.
- [20] CANO J A L, KOVACEVA J, LINDMAN M, et al. Automatic incident detection and classification at intersections [C]// Proceedings of the 21st International Conference on Enhanced Safety of Vehicles(ESV'09), Jun 15-18, 2009, Stuttgart, Germany. 2009: 12p.
- [21] 史凤林, 吕廷杰, 李建祥. 基于手机位置信息的实时路况信息服务 [J]. 计算机应用, 2008(5): 46-49.
- [22] 温慧敏, 杨兆升. 交通事件检测技术的进展研究 [J]. 交通运输工程与信息, 2005,5(1): 25-28,73.
- [23] ABUELELA M, OLARIU S. A probabilistic technique for detecting permanent and temporary incidents in VANETs [C]// Proceedings of the 6th Workshop on Intelligent Transportation(WIT'09), Mar 24-25, 2009, Hamburg, Germany. 2009.
- [24] ZHU Tongyu, WANG Jifang, LÜ Weifeng. Outlier mining based automatic incident detection on urban arterial road [C]// Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Technology, Application and Systems(Mobility'09), Sep 23-25, 2009, Nice, France. New York, NY, USA: ACM, 2009.
- [25] ARBABI M H, WEIGLE M C. Using vehicular networks to collect common traffic data [C]// Proceedings of the 6th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'09), Sep 25, 2009, Beijing, China. New York, NY, USA: ACM, 2009: 117-118.
- [26] 曹振臻, 肖扬. 分布式智能交通系统数据管理与处理平台设计 [J]. 信息技术, 2005(12): 1-6.
- [27] CHEN K, MAKKI K, PISSINOU N. A real-time wireless route guidance system for urban traffic management and its performance evaluation [C]//Proceedings of the 70th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall'09), Sep 20-23, 2008, Anchorage, AK, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 5p.
- [28] 冯洋. 动态导航系统道路实时信息处理 [J]. 测绘与空间地理信息, 2008,31(3): 129-131.
- [29] OSBORNE M A, ROBERTS S J, ROGERS A, et al. Towards real-time information processing of sensor network data using computationally efficient multi-output Gaussian processes [C]//Proceedings of the 7th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'08), Apr 22-24, 2008, St Louis, MO, USA. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2008: 109-120.
- [30] GHEMAWAT S, GOBIOFF H, LEUNG S T. The Google file system [C]//Proceedings of the 19th ACM SIGOPS Symposium on Operating Systems Principles (SOSP'03), Oct 19-22, 2003, Bolton Landing, NY, USA. New York, NY, USA: ACM, 2003: 29-43.
- [31] DEAN J, GHEMAWAT S. MapReduce: Simplified data processing on large clusters [J]. Communications of the ACM, 2008,51(1), 107-113.
- [32] CHANG F, DEAN J, GHEMAWAT S, et al. Bigtable: A distributed storage system for structured data [C]//Proceedings of the 7th USENIX Symposium on Operation Systems Design and Implementation(OSDI'06), Nov 6-8, 2006, Seattle, WA, USA. Berkeley, CA, USA: USENIX Association, 2006: 205-218.
- [33] CONDIE T, CONWAY N, ALVARO P, et al. MapReduce Online, UCB/ECS-2009-136 [R]. Berkeley, CA, USA: University of California, 2009.
- [34] 朱珠. 基于Hadoop的海量数据处理模型研究和应用 [D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [35] 陈勇. 基于Hadoop平台的通信数据分布式查询算法的设计与实现 [D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [36] YANG Qing, LIM A, LI Shuang, et al. ACAR: Adaptive connectivity aware routing for vehicular Ad Hoc networks in city scenarios [J]. Mobile Networks and Applications, 2010, 15(1): 36-60.
- [37] CHEN Yuh Shyan, LIN Yun Wei, LEE Sing Ling. A mobicast routing protocol in vehicular ad-hoc networks [J]. Mobile Networks and Applications, 2010, 15(1): 20-35.
- [38] BAI Songnan, HUANG Zequn, CHO Hanbyeong, et al. Movement-aware alternative path routing protocol for vehicular multi-hop communications [C]// Proceedings of the International Conference on Hybrid Information Technology (ICHIT'09), Aug 27-29, 2009, Daejeon, Republic of Korea. New York, NY, USA: ACM, 2009: 361-368.
- [39] PARK Joon Sang, LEE Uichin, OH Soon Young, et al. Emergency related video streaming in VANET using network coding [C]//Proceedings of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'06), Sep 29, 2006, Los Angeles, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2006: 102-103.
- [40] LI Ming, LOU Wenjing. Opportunistic broadcast of emergency messages in vehicular Ad Hoc networks with unreliable links [C]//Proceedings of the 5th International ICST Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness(QShine'08), Jul 28-31, 2008, Hong Kong, China. Brussels, Belgium: ICST, 2008.
- [41] HUANG Ching Ling, GUAN Xu, FALLAH Y P, et al. Robustness evaluation of decentralized self-information dissemination control algorithms for VANET tracking applications [C]//Proceedings of the 70th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall'09), Sep 20-23, 2008, Anchorage, AK, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 5p.
- [42] SLAVIK M, MAHGOUB I. Stochastic broadcast for VANET [C]//Proceedings of the 7th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference (CCNC'10), Jan 10-13, 2010, Las Vegas, NV, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 5p.
- [43] THOPTÉ D, DEVKOTA T, GOKHALE A. A real-time publish/subscribe driver alert system for accident avoidance due to red light running [C]//Proceedings of the 3rd ACM International Conference on Distributed Event-Based Systems(DEBS'09), Jul 6-9, 2009, Nashville, TN, USA. New York, NY, USA: ACM, 2009, 46.
- [44] YU Bo, GONG Jiayu, XU Chengzhong. Catch-up: A data aggregation scheme for vanets [C]//Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'08), Sep 15, 2008, San Francisco, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2008: 49-57.
- [45] IBRAHIM K, WEIGLE M C. Accurate data aggregation for VANETs [C]//Proceedings of the 4th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'07), Sep 10, 2007, Montreal, Canada. New York, NY, USA: ACM, 2007: 71-72.
- [46] TASSERON G, SCHUT G C. SOTRIP: A self organizing protocol for traffic information [C]//Proceedings of the 2009 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing: Connecting the World Wirelessly(IWCMC'09), Jun 21-24, 2009, Leipzig, Germany. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 1152-1156.
- [47] LOCHERT C, SCHEUERMANN B, WEWETZER C, et al. Data aggregation and roadside unit placement for a vanet traffic information system [C]//Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'08), Sep 15, 2008, San Francisco, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2008: 58-65.
- [48] DIETZEL S, BAKO B, SCHOCH E, et al. A fuzzy logic based approach for structure-free aggregation in vehicular ad-hoc networks [C]//Proceedings of the 6th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'09), Sep 25, 2009, Beijing, China. New York, NY, USA: ACM, 2009: 79-88.

收稿日期: 2011-03-15

作者简介



向勇, 清华大学计算机系副教授、博士; 主要研究领域为无线自组网、计算机协同工作和操作系统; 已主持或参与国家级科研项目和企业合作项目 10 项; 已发表学术论文 40 篇, 其中被 SCI/EI 检索 10 篇。

基于车载自组织网络的智能交通 管理及应用

Intelligent Transportation Management and Applications Based on VANET

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0035-05

摘要: 文章讨论了基于车载自组织网络(VANET)的道路车辆交通智能化管理和应用的3个实例:电子检查、许可证管理、行程规划。电子检查通过车辆上的转发传感器和路边系统的传感器通信,自动处理车辆的基本信息,实现车辆检查的自动化;许可证管理实现各省市之间交通车辆信息、车辆所属公司、驾驶员证件等信息的共享;行程规划系统实现对公共车辆位置、时间信息和出行者出行路线的实时更新和规划。

关键词: 车载自组织网络;电子检查;许可证管理;行程规划

Abstract: This paper introduces three intelligent transport management and applications based on vehicular ad hoc networking (VANET): electronic checks, licence administration, and trip planning. Electronic checks involve communication between roadside and on-board vehicular sensors. Basic information about a vehicle is detected and automatically processed for the purposes of automated vehicle inspection. Licence administration involves sharing information across provinces and cities about a vehicle's owner and drivers with shared documents. Trip planning involves locating public transport in real time so that information about travel time and routes can also be updated in real time.

Keywords: vehicular ad hoc network; electronic screening; credentials administration; trip planning

魏星/WEI Xing

(北京理工大学 信息与电子学院, 北京 100081)

(Department of Information and Electronics,
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081,
China)

短程通信(DSRC)方式使路边设备与车辆上安装的转发器通信。路边设备对车辆传达的数据进行分析,锁定高风险驾驶车辆,选出需要通过称重站和检测设备的车辆。电子检查集中检测问题车辆,提高检测设备的工作效率^[4]。

在电子检查中,DSRC用于区分车辆,存储和转发其他检测数据。DSRC技术用于提供移动车辆和路边设备之间的数据通信,以供电子检查机制处理。DSRC是通过装在车顶部的转发器与安装在路边的读取器和天线互相通信实现的。转发器要包含车辆ID信息。转发器有声音和图像指示,用于给驾驶员提供信号。

电子数据交换(EDI)可以用于从信息服务机构发送安全和证件数据给路边系统,以协助电子检查处理。车辆自动识别是任何用于车辆身份认证的技术,它也包括音频和其他无线频谱(RF)识别系统。车辆自动分类用于将车辆按各种类型分类。AVC对于鉴定车辆的合法载重量很重要。AVC单元也可用于规定可以绕过检测站的车辆。有线信号和各种信息标志应由路边操作站自动控

车载自组织网络(VANET)是应用于道路上的新型移动无线自组织网络,它具有移动自组织网络的各种特点,比如自治性和无固定结构、多跳路由、网络拓扑的动态变化、网络容量有限、良好的可扩展性等。借由无线通信与信息传递技术,VANET提供车辆之间以及车辆和路边的基础设施之间的相互通信,即VANET包含了车对车(V2V)通信和车对基础设施(V2I)通信^[1-3]。

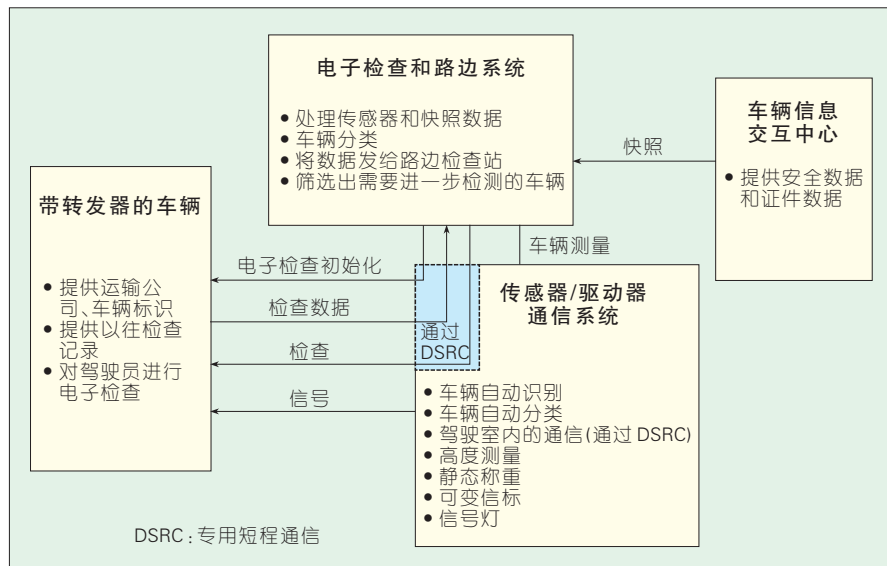
VANET的主要目的是实现车辆的智能化应用和管理。为了实现这

一目的,需要在每辆车上安装一个专用的电子设备,该设备可以提供车辆间的Ad Hoc网络连接。VANET不仅能应用于实现交通事故告警,还能实现道路交通信息查询、高速公路缴费和车辆间音视频通信等功能。

1 基于VANET的智能化 管理

1.1 电子检查

电子检查是VANET车辆与路边设备间的无线通信的实现,使用专用



▲图1 电子检查数据流

制,并配合以车辆探测定位。需要对时间和信号进行控制以保证提供给车辆明确的方向指示。

电子检查过程中的数据交换有一些关键的接口标准。EDI实现终端之间的数据交换。EDI接口主要用于在公共机构间或公共机构和私有部门间传递信息,它一般是基于Web协议的。EDI通过DSRC进行车辆-路边间的数据交换^[5-8]。

车辆信息交互中心用于存储和交换安全数据和证件数据。在车辆管理系统中,需要实现各省市间快照信息的交换。图1中显示了各种支持电子检查的系统间的数据流。

在电子检查中,还有一种数据交换的标准,称为“快照”。“快照”包含了承运公司、车辆、驾驶员的安全检查历史记录和一些基本的证件信息。

路边系统使用电子检查,检查通过路边检查站的车辆。基于转发器上显示的身份、快照中的安全和证件信息,路边系统检查超重不合法车辆的证件,鉴定是否需要对该车辆进行详细的监测工作。

路边检查站系统的工作流程如图2所示。①表示通过DSRC辨认转发器信息、车辆信息;②表示在电子检查时检查“快照”信息;③表示通过

转发器通知驾驶员。

电子检查使用转发器实现车载单元和路边的通信,支持多种应用,如电子检查、安全认证、收费、停车管理等。对于商用车辆规定行使的车道也可以通过路边发送指示信号给车载转发器,来通知驾驶员按照规定选择行驶车道。

1.2 许可证管理

许可证管理是对驾驶员和车辆的身份和证件进行认证和审查。检查车辆是否已注册,是否有车牌。对

于商用车辆而言,车辆从属的承运公司需要有一定的信誉保障,如果需要运输特殊类型的货物必须取得相关法律授权。另外,车辆装载量如果超过了规定的标准重量,需要有许可证才能通过检查。驾驶员需要有驾驶证(说明可以驾驶的车型号),而且必要通过健康审核。承运公司需要向各个监察机构缴纳燃油税。

许可证管理过程包括接受申请、审核和授权商用车辆证件,并收取相关费用,根据燃油税款单缴纳相应的费用,管理证件和税款支付情况,并将相关信息给用户信息查询接口。

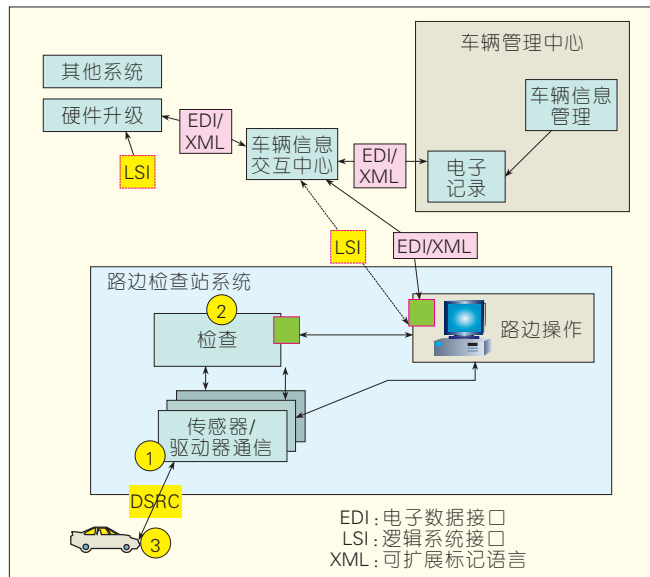
证件的管理包括如下内容:注册承运公司、持有安全保险、存储证件认证、车辆注册和车牌申请,支付燃油税情况,申请超重许可情况,申请危险品运输许可情况等。

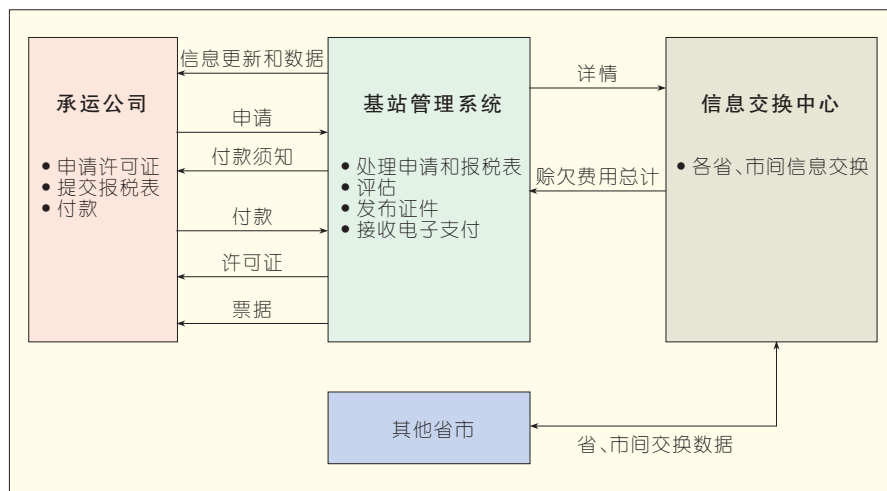
许可证管理主要分为3个部分:电子许可证管理、省市间证件数据和缴费数据交换、各监督机构间的证件数据交换。许可证管理的数据交换流程如图3所示。图3显示了证件管理的整个流程,主要是承运商要履行的职责以及信息交换的几种方式。

1.2.1 电子许可证

许可证是一种符合特定指标的认证形式。它是由国家监督机关发

图2 电子检查工作流程





▲图3 许可证管理的数据交换流程

起,允许持有者享有的特殊权利。电子许可证是各种许可和认证的电子记录。

承运公司等部门可以申请监督部门的软件申请许可证(包括燃油税款单),这种许可证也支持电子支付方式。

承运公司按照如下的步骤将新增的车辆信息提交到注册中心。

1.2.2 跨省市证件数据交换

为了实现省/市间的数据交换,各省市需要建立注册信息交换中心。信息交换中心管理车辆从提交注册申请到接收电子证件的全部数据和缴费清单。

省市间可以通过电子记录“快照”的方式交换许可证数据。“快照”是承运公司、车辆或驾驶员的身份认证的简要数据,它包含了有限的身份认证/普查、安全和证件信息。各省市需要建立车辆信息交互系统,存储承运公司和车辆的“快照”信息,收集本地电子证件信息和缴费信息。

1.2.3 监督机构间的许可证数据交换

各种监督机构一般都会需要访问许可证信息。例如,车辆在申请注册之前,它必须申请到车牌号;在承运公司申请危险品许可之前,承运公司必须要有运营许可。许可证信息

可以通过省市间的车辆信息管理中心通过“快照”的方式交换,也可以直接在省市的车辆管理系统之间交换。图4所示为自动化许可证管理的流程。

2 基于VANET的应用

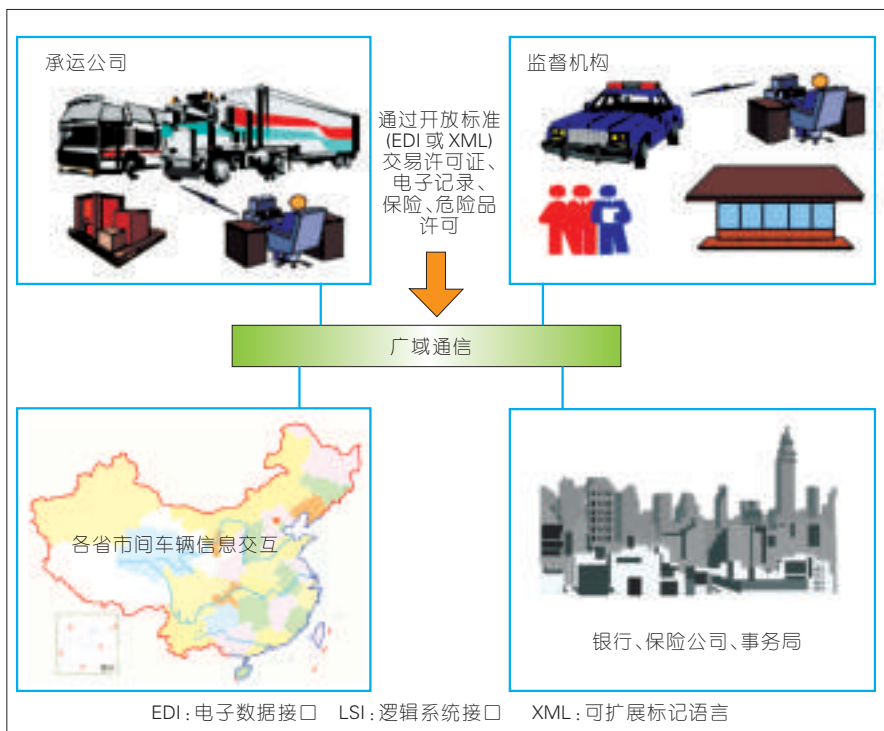
2.1 行程规划系统

行程规划系统在大中型城市中

的交通系统中起着很关键的作用。交通系统中的车辆一般会有出发点、目的地和期望的离开时间和到达时间。基于交通机构提供的信息,乘客可以根据出行需要,选择合适的路线和换乘站点。

公交车辆经常会因交通拥堵和交通事故而导致晚点,基于历史日程表来静态规划行程显然不能满足乘客的需要。因此,使用动态车辆定位(AVL)机制做行程规划,将车辆(如公共汽车、地铁)定位数据实时地发送到交通管理中心,利用这些实时的数据可以更准确地估计车辆到达指定地点的时间,这样可以有效地减少行程规划的不精确性。

出行者行程规划系统的架构如图5所示。行程规划系统支持多种方式换乘的模式,出行者可以选择自己驾车、乘公交车、或者泊车-换乘公交车(或地铁)等出行方式。规划服务器根据实时车辆定位数据,预测车辆到达指定点的时间,将预测的结果实时地通过有线和无线网络发送给出行者,出行者可以通过Web浏览器、



▲图4 自动化许可证管理流程

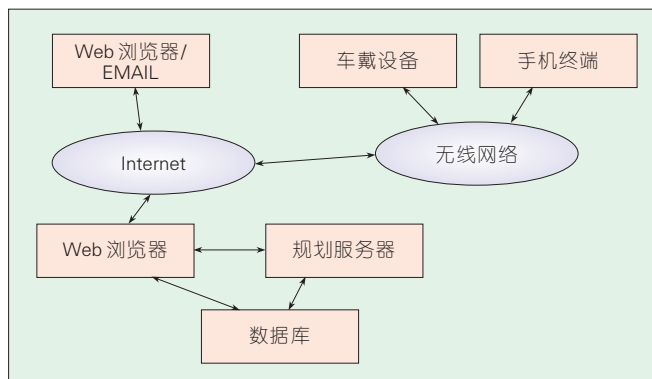


图5
行程规划系统架构

手机或者车载设备获取信息。

行程规划网络包含多种类型的节点,如交叉口、公交站点、地铁站点、停车场。系统通常建立两种类型的网络:公路网络和交通网络。

2.2 系统的设计和应用

行程规划系统需要为用户提供多模式的行程规划信息,用户可以在系统提供的规划方案中根据具体情况灵活地选择出行的方式和换乘的方式。系统需要提供可用的换乘工具(公交车、地铁)实时到达指定站点的时间,通过手机GPS定位或车载GPS定位获得用户的当前位置,再获得用户请求的目的地位置,找到可行的行驶路线,实时地发送到用户端。所以,多模式规划和实时数据采集是系统的重要工作。图6所示为实时数据在系统中的处理以及传递的流程^[9-12]。

2.2.1 Web应用

对基于Web的多模式行程规划用户来说,系统可以提供给用户基于Web的换乘信息查看工具,支持使用路线名称、站点名、附近地址来实时检索道路信息或者历史日程信息。系统还可以提供行驶路线信息更新,使用多类数据相结合来匹配用户位置,建立详尽的路线信息,针对用户的位置和行程提供给用户需要的路线信息。

基于Web的规划系统使用Google地图,加入了具体的路线信息,对自

驾车、乘公交车、乘地铁、换乘等方式在需要花费的时间、价钱及二氧化碳排放量等方面做了详细的对比,用户可以根据实际需要作出选择。

2.2.2 车载应用

图7所示为出行者自驾车出行方式的行程规划系统框架。出行者使用车辆上安装的车载无线设备转发器可以向行程规划系统发出请求,车载设备通过DSRC方式将请求的信号发送给路边的无线设备,路边无线设备收到信号后,进行初步处理,然后将数据发到行程规划系统。系统接

到请求,用AVI找到请求车辆的实时位置,在数据库中查找从请求车辆当前位置到目的地节点的所有可行路线信息,然后通过行程规划服务器的评估,找到最优行驶方式,并将其实时的发回给路边子系统;路边设备将回复信号通过DSRC发回请求车辆。

2.2.3 手机应用

智能手机用户也可以应用行程规划系统。系统获取手机的GPS定位数据和用户期望的实时换乘信息,行程规划服务器查询用户需要的换乘信息以及公交车辆或地铁的实时位置(通过车载GPS设备),然后根据用户的需求返回最佳的路线信息。

利用系统实时的公交车GPS定位数据和历史日程数据统计和预估的公交车到达各站点的时刻表,手机用户可以查询到达每个站点的时间和各站点间的行驶时间这两项动态数据,了解其关心的信息^[13-16]。

3 结束语

本文主要讨论了基于VANET的

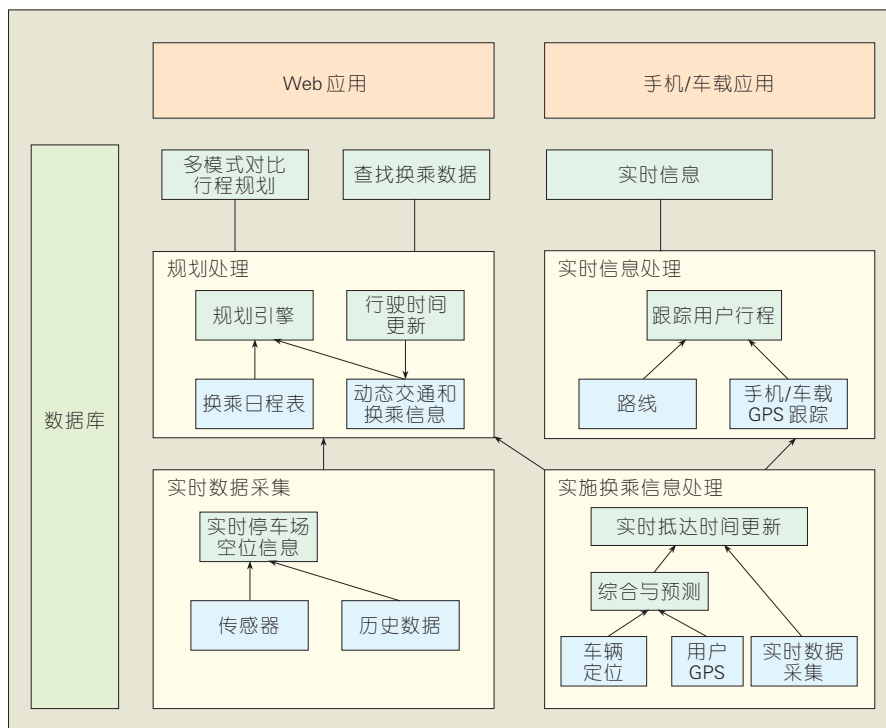


图6 实时数据在系统中处理和传递流程

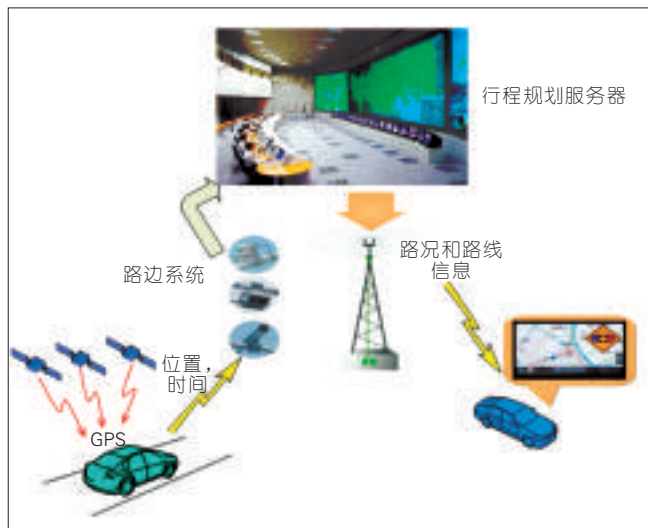


图7
出行者行程规划框架

道路车辆和交通的智能化管理和应用的3个实例:电子检查、许可证管理、行程规划。

电子检查通过车辆上的转发传感器和路边系统的传感器通信,自动处理车辆的基本信息,如果车辆证件完整且符合安全指标,则允许车辆通过;如果车辆信息不符合相关指标,则要求车辆进行进一步具体检查,如路边称重站称重。电子检查实现了车辆检查的自动化,提高了城市交通管理的效率,也节省了有限的检查站和称重站等检查设备。

许可证管理实现了各省市之间交通车辆信息、车辆所属公司、驾驶员证件等信息的共享。中央可以对各地方交通进行整体管理,收集各个省市车辆、驾驶员和承运公司的许可证申请,动态地更新信息,并及时地对各种请求进行处理。

行程规划系统实现了对公共车辆位置、时间信息和出行者出行路线的实时更新和规划。系统包含行程规划服务器、Web浏览器、车载转发器、车辆GPS定位器、车辆到达时间估计和数据库。系统实现了时间和位置的信息绑定,有助于出行者了解实时的交通车辆情况。在车辆拥堵问题日益严重的今天,行程规划系统有其重要的意义。

VANET作为无线移动网络的一

种关键技术,对实现高效的智能化交通管理以及各种车辆和道路的自动化、智能化应用起着决定性的作用。VANET的检查、认证、费用管理及行程规划等将成为智能交通系统的主要应用。

4 参考文献

- [1] KARIM R. VANET: Superior system for content distribution in vehicular network applications [D]. Berkeley, CA, USA: University of California, 2009.
- [2] CVISN guide to safety information exchange [M]. POR-99-7191. Baltimore, MD, USA: Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, 2002.
- [3] CVISN guide to credentials administration [M]. POR-99-7192 P.2. Baltimore, MD, USA: Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, 2000.
- [4] MORGAN Y L. Notes on DSRC & WAVE standards suite: Its architecture, design, and characteristics [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2010, 12(4):504-518.
- [5] IEEE 1609.3-2007. Trial-use standard for Wireless Accesses in Vehicular Environments (WAVE): Network service [S]. 2007.
- [6] IEEE 1609.4-2006. Trial-use standard for Wireless Accesses in Vehicular Environments (WAVE) multi: Channel operatio [S]. 2006.
- [7] IEEE 1609.2-2006. Trial-use standard for Wireless Accesses in Vehicular Environments (WAVE): Security services for applications and management messages [S]. 2006.
- [8] IEEE 1609.1-2006. Trial-use standard for Wireless Accesses in Vehicular Environments (WAVE): Resource manager [S]. 2006.
- [9] CVISN guide to electronic screening [M]. POR-99-7193. Baltimore, MD, USA: Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, 2002.
- [10] LI Jingquan, ZHOU Kun, ZHANG Liping, et al. A multimodal trip planning system incorporating the park-and-ride mode and real-time traffic/transit information [C]// Proceedings of the 17th ITS World Congress, Oct 25-29, 2010, Busan, Republic of Korea. 2010.
- [11] ZHANG Liping, LI Jingquan, ZHOU Kun. Design and implementation of a traveler information tool with integrated real-time transit information and multi-modal trip planning [C]// Proceedings of the Transportation Research Board (TRB) 90th Annual Meeting (TRB '11), Jan. 26, 2011, Washington, DC, USA. 2011.
- [12] XIANG Weidong. Coming soon to a car near you: Wireless access in vehicular environments [D]. Ann Arbor, MI, USA: University of Michigan, 2010.
- [13] IEEE P802.11pTM/D11.0. Draft standard for information technology - Telecommunications and information exchange between systems - LAN/MAN specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Wireless access in vehicular environments [S]. 2005.
- [14] IEEE P802.11pTM/D3.0. Draft standard for information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications amendment 7: Wireless access in vehicular environments [S]. 2007.
- [15] IEEE P802.11pTM/D10.0. Draft standard for information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications amendment 7: Wireless access in vehicular environments [C]. 2010.
- [16] IEEE P802.11p-2010. IEEE standard for information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications amendment 6: Wireless access in vehicular environments [S]. 2010.

收稿日期: 2011-03-24

作者简介



魏星, 北京理工大学博士后; 主要研究领域为数字信号处理、智能交通系统。

基于车载自组织网络的消息发送时机研究

Message Sending Time in Vehicular Ad Hoc Networks

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0040-04

摘要: 车载自组织网络(VANET)是一种节点迅速移动的无线自组织网络,网络的动态密度变化具有明显的特征,呈现出疏密相间的“手风琴”现象。利用汽车之间相遇的机会进行通信需要考虑到网络动态变化对传输的影响。文章利用仿真软件SUMO生成的跟踪轨迹文件,在仿真软件ONE下做网络参数的对比实验。通过模拟道路网络的动态密度变化,文章得出结论:最佳发送时机随网络参数不同而变化。

关键词: 车载自组织网络; 消息发送时机; 网络密度

Abstract: VANETs have fast-moving wireless nodes. The changing network density shows a concertina effect. The dynamic topology of VANET needs to be taken in to account when two vehicles meet by chance and communicate with the network. In this paper, we use SUMO and ONE to simulate the changing density of VANET and carry out some experiments using different parameters. We also analyze the effect of network density on sending time.

Key words: vehicular Ad Hoc network; message sending time; network density system

王琳/WANG Lin

徐俊/XU Jun

江昊/JIANG Hao

(武汉大学, 湖北 武汉 430079)

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

网络拓扑变化大的特点进行研究,例如媒体访问控制(MAC)协议的研究、路由协议的研究等。

1 仿真场景

1.1 仿真平台的搭建

本文采用SUMO和ONE仿真软件对车辆运行情况进行仿真。首先根据仿真汽车的运行设定,运用仿真软件SUMO得到汽车的跟踪轨迹文件,记录汽车行进过程中的详细地理位置和时间。然后根据仿真软件ONE的输入文件的需要,转化跟踪轨迹文件的格式,形成ONE外部运动模式所

车载自组织网络(VANET)是运行于道路上的新型移动无线自组织网络,可以实现车辆间、车辆与路边节点间的多跳通信。它在道路上构建一个自组织、部署方便、费用低廉、结构开放的车辆间通信网络。VANET技术可以实现事故告警、辅助驾驶、道路交通信息查询、乘客间通信和Internet信息服务等应用^[1]。

VANET的网络结构图如图1所示。由于路边无线访问点的覆盖范围有限,路上运动的车辆并没有被完全覆盖,因此车辆间可组成自组织网

络,在无线访问点覆盖范围内的车辆可与其进行无线通信,无线访问点覆盖范围外的节点可通过多跳方式与其通信。

关于VANET,国内外开展了很多的研究^[2-10]。大部分工作主要针对其

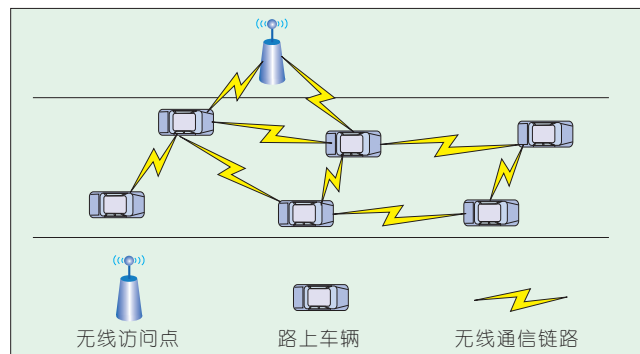


图1
VANET网络结构图

基金项目: 国家自然科学基金项目
(60502028、60762005)

要求的格式,设定 ONE 的配置文件,形成节点相遇和消息交互的事件,进行仿真对比实验。

为了满足仿真的要求,实际中, SUMO 交通灯的设置通过手动设置,相应地,要对 ONE 的源码进行修改,得到丢包的输出和提高时间精度。

1.2 仿真场景设定

(1) SUMO 中的设定

道路:单向行驶的 4 车道,限速 25 m/s。道路长 9 000 m,前 1 000 m 为发车预设车道(单车道)。在 8 000 m 处,设一交通灯。

节点:同方向行驶的两类加速能力和最大速度不同的汽车,以便模拟公路行驶过程中的超车现象。车长为 5 m,驾驶员的驾驶参数设定为 0.5 (0-1)。并使用 SUMO 中的流(Flow)形成匀速发车的两组汽车流。具体的速度设定根据不同的实验组而定。

交通灯:配置交通灯,延长交通灯的时间,使所发的所有车辆(无论发车前后)同时拥堵在交通灯一侧。模拟堵车状态下的网络。

(2) ONE 的设定

仿真时间:根据 SUMO 的输出 (483 ~ 1 200 s)。开始时刻 483 s,是所有的汽车均发车完毕的时间;结束时间 1 200 s,为所有汽车均拥堵在交通灯处的时间。总时间长为 700 s。

路由模式:为研究出消息的传递时机与诸多网络特性的关系,修改路由,延迟消息的发送时机。

节点:运动模式为外部运用。根据道路车道情况,为保证并行车辆的同时通信,设定为 60 m。

消息:大小为 5 kb ~ 10 kb。在参与仿真的节点中,随机地选择发送节点和目的节点。在仿真的全部时间长度内,消息均匀产生。

2 仿真结果

2.1 分析对象

汽车道路行驶,从正常行驶到遭

遇交通灯,网络的密度实际上是动态变化的,更确切的讲是一个由疏变密的过程。动态密度变化的网络中,根据动态密度的变化,控制节点发送消息的时机,可以对可达率及延迟产生影响。在合适的时机发送消息,不仅能提高消息的可达率,对于节约功耗也有深远的意义。

合理的发送时机应该是一个窗口值。进一步做实验,可以得出窗口值是随网络中参数的变化而变的,具体的网络参数如下:

- 消息的生存期。不同的生存期,对消息的传递策略至关重要。
- 发送消息的个数。决定了网络负荷,权衡节点的通信能力,对拥塞的研究很有意义。
- 节点的数目。可以影响网络的密度,以便研究不同网络密度的通信状况。
- 节点的运动速度。在网络场景中,节点的运动速度对于节点相遇的几率有很大影响,决定了节点的相遇时刻和相遇时间长度,进而影响消息的传递。
- 节点缓存区。影响节点对消息的携带。

2.2 结果分析

根据 5 种仿真参数的不同,设置不同的 5 组实验。每组实验设定 0 ~ 800 s 不同的 9 组消息发送时刻。在发送时刻前,消息只产生不发送,而在发送时刻后开始消息的发送。5 组参数,分别研究 5 种不同网络参数对可达率或是延迟的影响。

基本的参数为:消息的生存期为 1 min,产生消息的个数为 350 个(即仿真的全部时间内约每 2 s 产生一个消息)。节点个数为 50。运动的速度,一组加速度为 1.0 m/s^2 ,最大速度为 8 m/s;另一组加速度为 0.8 m/s^2 ,最大速度为 12 m/s。缓存区设定为无限大。

以下的几组实验,均以基本参数为标准,改变其中的一个参数,可得到该参数对网络的影响。

(1) 改变消息的个数

图 2 所示为消息个数对可达率的影响。图 3 所示为消息的个数对延迟的影响。在图 2、图 3 中,横轴代表消息的发送时机;纵轴表示在横轴所在的时刻开始允许消息发送,进行仿真实验计算出的可达率和延迟。

随着消息负荷的增大,可达率下降,增大的趋势变平缓,最后出现下降的趋势。延迟的曲线基本一致。

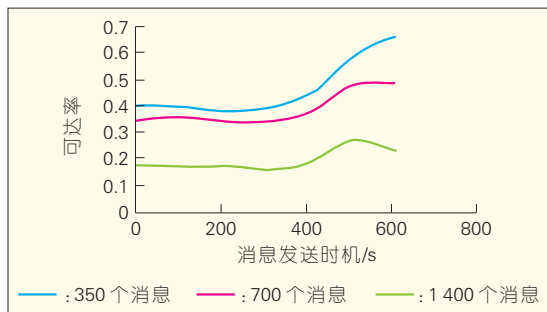
随着发送时刻的变化,消息的可达率随负荷的增大,呈现出窗口状。最为明显即为 1 400 个消息的情况,在 400 ~ 600 s 之间,消息的可达率发生变化,500 s 时出现了峰值,即 500 s 是消息发送的最好时机(在要求可达率较高的情况下)。

(2) 改变生存时间(TTL)的大小

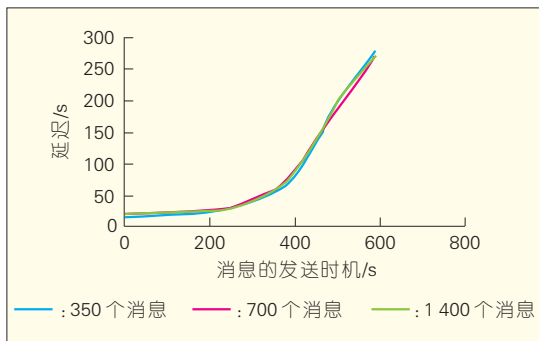
图 4 所示为消息的生存期对可达率的影响。图 5 所示为消息的生存期对延迟的影响。

在图 4、图 5 中, TTL 设定为 1 min ~ 3 min,共 3 组,图 4 中, TTL 的单位为分众,图 5 中系列 1 表示 TTL=1 min、系列 2 表示 TTL=2 min、系列 3 表示 TTL=3 min。当 TTL 增大时,消息的可达率升高,能够带到的最大值也会增大;曲线的形状会有下降的情况。

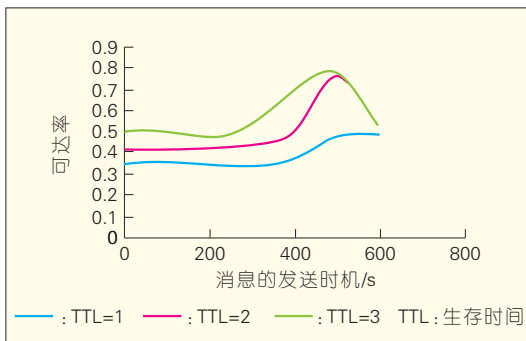
存在 600 s 下降现象。到了 600 s 的时候,不论消息还有多少的生存期,都只有接近 100 s 的时间可以用来传递消息,故 TTL=2 和 TTL=3 时的完全相同,只有 TTL=1 较低。



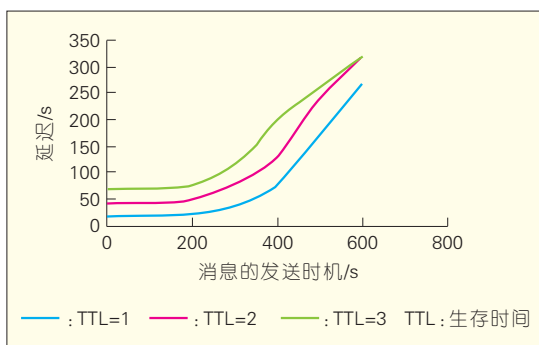
▲图 2 消息个数对可达率的影响



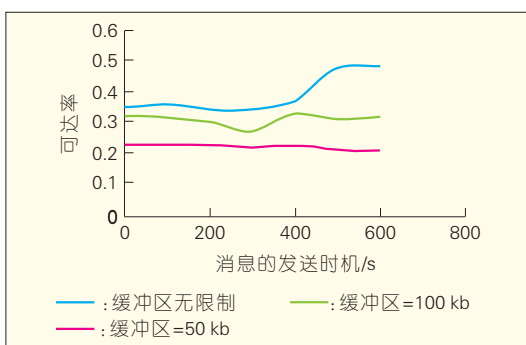
▲图3 消息的个数对延迟的影响



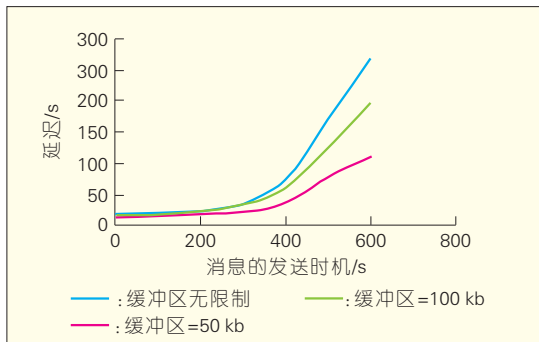
▲图4 消息的生存期对可达率的影响



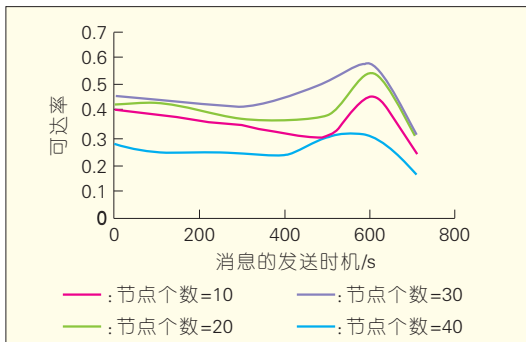
▲图5 消息的生存期对延迟的影响



▲图6 缓冲区大小对可达率的影响



▲图7 缓冲区大小对延迟的影响



▲图8 节点速度对可达率的影响

TTL越大在500 s时会有更大的传输机会(开始增长的位置前移)。积累消息使可达率增高。

TTL增大,消息的延迟增大。

(3)改变缓冲区的大小

图6所示为缓冲区大小对可达率的影响。图7所示为缓冲区大小对延迟的影响。缓冲区大小越小,则曲线越平缓,增大网络密度,对可达率的提高作用减弱。在图6、图7中,从缓冲区=100 kb到缓冲区=50 kb,不会因为300 s以后网络的密度变大而增高。从具体的消息丢失也可以看

出因为缓冲区不够的原因丢包的概率增大。

(4)改变节点的个数

图8所示为节点速度对可达率的影响。图9所示为节点个数对可达率的影响。

在图8、图9中,增加节点的个数(车辆数)就可以使可达率得到提高。

随着发送时刻的增大,曲线的最低点下降的幅度呈现先增后减的趋势。虽可达率随节点个数增大,但当个数达

到一定程度,增大的幅度会降低。

改变节点的个数对延迟的影响较小。但节点少,则延迟较小。

(5)改变节点速度

图10所示为节点速度对可达率的影响。设定6组不同的速度分别对应图10中的速度1到速度6。

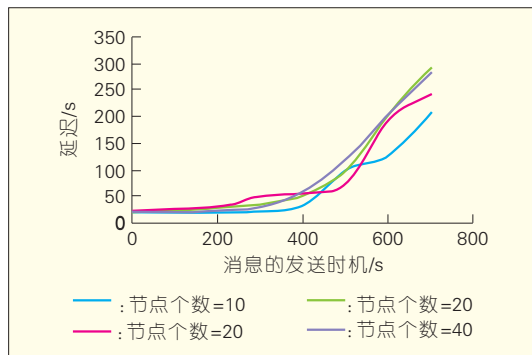
速度的大小影响可达率开始增高的位置。速度越大,开始增大的位置越靠前。速度越大,网络密度增大得越快,达到密度最大的时间提前。

速度的大小同样影响到最低点下降的幅度。速度小的曲线,最低点值小。速度小的网络用较长的时间达到一定密度,相应地网络中没有发送的消息增多,导致冲突增大,可达率下降的更多。

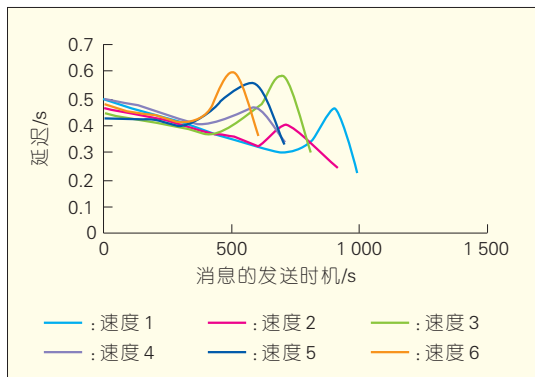
2.3 结论

在VANET中,网络的动态密度随车流的行进呈现出明显的“手风琴”现象,正常运行

到红绿灯处再到正常行驶,网络的密度呈现出疏密相间的情况。在这种



▲图9 节点个数对可达率的影响



▲图10 节点速度对可到达率的影响

网络中,控制消息的发送时机,可以对消息的可到达率和延迟产生影响。

由仿真可以看出,消息的发送时机实际上是一个窗口值。窗口的大小随着具体的网络参数变化。一般而言,网络的负荷越重(车辆的个数多、消息的个数多),资源(缓冲区越小)越有限,窗口出现的时机越早。在网络密度较低的时候就会出现对应的窗口大小降低。

3 参考文献

- [1] Internet ITS consortium [EB/OL]. [2009-04-20]. <http://www.internetits.org>.
- [2] FleetNet project: Inter-vehicle

communication [EB/OL]. [2004-09-04]. <http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/english/about.html>.

- [3] CAR 2 CAR Communication Consortium [EB/OL]. [2010-09-08]. <http://www.car-2-car.org/>.
- [4] CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto, version 1.1 [EB/OL]. [2007-08-04]. <http://www.car-to-car.org/index.php?id=570>.
- [5] NoV: Network on wheels [EB/OL]. [2006-07-31]. <http://www.network-on-wheels.de>.
- [6] IP PreVENT final report [R/OL]. [2010-06-04]. <http://www.prevent-ip.org/en/home.htm>.
- [7] DAIMLER A G, MAKINEN T, IRION J, et al. Preventive and active safety applications integrated project IP_D15: Final report [R/OL]. [2008-10-06]. http://www.prevent-ip.org/download/deliverables/IP_Level/PR-04000-IPD-080222-v15_PReVENT_Final_Report_Amendments%206%20May%202008.pdf 2008.
- [8] PReVENT: WILLWARN [EB/OL]. [2010-09-04]. http://www.prevent-ip.org/en/prevent_subprojects/safe_speed_and_safe_following/willwarn/, 2007.
- [9] ZANG Yunpeng, STIBOR L, REUMERMAN H J, et al. Wireless local danger warning using inter-vehicle communications in highway scenarios [C]//Proceedings of the 14th European Wireless Conference (EW'08), Jun 22-28, 2008, Prague, Czech. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 7p.
- [10] HILLER A, HINSBERGER A, STRASSBERGER M, et al. Results from the WILLWARN Project [C]//Proceedings of the 6th European Congress and Exhibition on

Intelligent Transportation Systems and Services, Jun 18-20, 2007, Aalborg, Denmark. 2007.

收稿日期: 2011-03-18

作者简介



王琳, 武汉大学互联网与信息技术研究室在读硕士研究生; 研究方向为无线网络、VANET网络等。



徐俊, 武汉大学互联网与信息技术研究室在读硕士研究生; 研究方向为无线网络、无线Mesh网等。



江昊, 武汉大学电子信息学院副教授; 主要研究方向为移动自组织网络、容延迟网络; 已承担国家级、省部级纵向项目9项, 获授权发明专利2项, 发表学术论文23篇。

←上接第23页

中的安全机制无法直接应用, 又进一步增加了研究的难度。

6 参考文献

- [1] 王金龙, 王呈贵, 吴启晖, 等. Ad Hoc移动无线网络 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004: 68-76.
- [2] 郑少仁, 王海涛, 赵志峰, 等. Ad Hoc网络技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [3] 陈林星, 曾曦, 曹毅. 移动Ad Hoc网络: 自组织分组无线网络技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 7-9.
- [4] KO Young Bac, Vaidya n h. Location-Aided Routing(LAR)in mobile Ad Hoc networks [C]//Proceeding of the 4th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'98), Dallas, TX, USA. New York, NY, USA: ACM, 1998: 66-75.
- [5] 赵金磊, 朱培栋. Ad Hoc网络移动模型及其应用 [J]. 计算机工程与科学, 2005, 27(5): 15-17.
- [6] ZAPATA M G. Secure Ad Hoc On-demand Distance Vector(SAODV)Routing [R]. IETF Internet Draft. draft-guerrero-manet-saodv-oo.txt. 2001.
- [7] HU Yih Chun, PERRIG A, JOHNSON D B. Ariadne: A secure on-demand routing

protocol for Ad Hoc networks [C]//Proceedings of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking(MOBICOM'02), Sep 23-26, Atlanta, GA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2002: 12-23.

- [8] PAPADIMITRATOS P, Haas Z. Secure routing for mobile Ad Hoc networks [C]//Proceedings of the SCS Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference (CNDS'02), Jan 27-31, 2002, San Antonio, TX, USA. 2002: 27-31.
- [9] ZHOU L, HAAS Z J. Securing Ad Hoc networks [J]. IEEE Network, 1999, 13(6): 24-30.
- [10] LUO H, ZERFOS P, KONG J, et al. Self-securing Ad Hoc wireless networks [C]//Proceedings of the 7th International Symposium on Computers and Communications (ISCC'02), Jul 1-4, Taormina Giardini Naxos, Italy. Piscataway, NJ, USA: IEEE Computer Society, 2002: 567-574.
- [11] WEIMERSKIRCH A, THONET G. A distributed light-weight authentication model for ad-hoc networks [C]//Information Security and Cryptology: Proceedings of the 4th International Conference on Information Security and Cryptology(ICISC'01), Dec 6-7, 2001, Seoul, Republic of Korea. LNCS

2288. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2001, 341-354.

收稿日期: 2011-03-22

作者简介



高永康, 北京邮电大学信息与通信学院在读硕士研究生; 主要研究方向为车载无线通信和嵌入式通信系统。



郝建军, 北京邮电大学副教授、博士; 主要研究方向为车载无线通信、感知无线电、网络编码、协同通信以及嵌入式通信系统; 已发表学术论文30篇。

100G 光传送技术渐入佳境

100G Optical Transport Technology is Becoming More Refined

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0044-05

摘要: 高速 Internet 和视频业务的迅速发展, IP 网络流量持续强劲增长, 对运营商的骨干传送网络提出了更高的要求, 100G 光传技术因此应运而生。该技术在码型、复用方式、相干接收和前向纠错(FEC)等关键技术方面都有创新。对于 100G 传输商用设备, 业界一般看好的长距传输码型是采用相干接收的偏振复用正交相移键控(PDM-QPSK), 但由于目前模数转换器(ADC)和 DSP 芯片等处理技术水平的限制, 几乎所有高速电信号处理芯片都没有商用解决方案, 这是目前的技术攻关重点。近年来实验室和现网实验方兴未艾, 预计基于 100G 的长距传送系统在 1~2 年后开始部署。

关键词: 100 Gbit/s; 标准; 关键技术; 应用

Abstract: With the rapid development of high-speed Internet and video service and the corresponding increase in IP network flow, higher requirements are placed on transmission networks. As a result, 100G optical transport technology has emerged. 100G optical transport technology has innovative coding scheme, multiplexing methods, coherent receiver, and forward error correction (FEC). For 100G commercial equipment, industry is generally optimistic about the long-distance transmission code that uses polarization-division multiplexed quadrature phase shift keying (PDM-QPSK) of a coherent receiver. However, because development of analog-to-digital converter (ADC) and DSP chip technology is somewhat restricted, almost all high-speed signal processing chip solutions are not commercially available. This is now the focus of technical research. Recently, laboratory experiments and field trials have been conducted, and it is expected that the 100G long-distance transport system will be deployed in one to two years.

Key words: 100 Gbit/s; standard; key technology; application

张海懿/ZHANG Haiyi
赵文玉/ZHAO Wenyu

(工业和信息化部电信研究院, 北京 100191)
(China Academy of Telecommunication Research of MIIT, Beijing 100191, China)

- 偏振复用正交相移键控将是相对实现优势比较明显的传输码型, 也是目前标准化组织和设备厂商关注的焦点码型
- 基于 100G 信号的实时相干接收处理等尚待技术突破, 这是 100G 波分复用系统走向商用的最大技术瓶颈
- 前向纠错技术的进一步突破势必会对系统长距传输带来裨益

2004 年左右, 随着路由器 40 Gbit/s POS 接口的推出和传送网络带宽的持续增长, 40 Gbit/s 技术已经逐步成熟并走向规模商用。近年来, 中国运营商在传送网上开展了不同规模的试验和小规模商用。从 2010 年开始, 中国电信和中国联通等在线网络上大规模引入 40 Gbit/s 波分复用(WDM)系统, 标志着基于 40 Gbit/s 的

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)课题(2009AA01Z257、2009AA01Z252); 国家重点基础研究发展规划(“973”计划)课题(2010CB328200、2010CB328201)

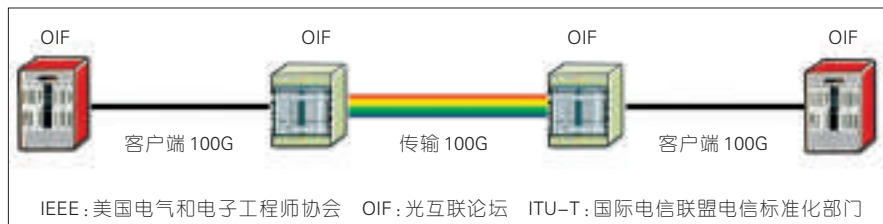
WDM 系统已经逐步进入规模商用阶段。随着 100GE 标准的确立, 100G 高速传输技术已成为业界关注的下一个高速率平台。

1 100GE 相关标准已经确立

100GE 技术的相关标准已由美国电气和电子工程师协会(IEEE)、国际电信联盟电信标准化部门(ITU-T)和光互联论坛(OIF)等进行开发。IEEE 成立了 IEEE 802.3ba 工作组研究 100GE 技术; ITU-T 正在研究如何将 100GE 信号映射到光传送网(OTN)构

架的 OTU-4 等级中; OIF 关注物理层及链路层接口标准, 研究支持 100G 速率的接口标准以及信号传输特性的标准。3 个标准组织在标准化方面的分工如图 1 所示。

IEEE 于 2006 年成立高速网络工作(HSSG), 主要制订 100G 以太网的媒体接入控制(MAC)、物理编码子层(PCS)、物理介质附加子层/物理介质子层(PMA/PMD)的技术规范。2007 年 12 月, HSSG 正式转变为 IEEE 802.3ba 任务组, 其任务是制订在光纤和铜缆上实现 40 Gbit/s 或 100 Gbit/s 数据速



▲图1 针对100G标准的3个标准组织的分工

率的标准^[1]。该小组的草案目标是希望未来的40 Gbit/s或100 Gbit/s以太网标准支持全双工操作,并通过使用802.3 MAC的方式保留802.3以太网帧格式,MAC层和物理层的误码率(BER)至少要低于 $1e^{-12}$ 并且能够妥善地支持OTN^[2]。100GE的标准已于2010年6月正式通过,100GE信号速率为103.125 Gbit/s \pm 100 ppm,在100GE物理层规范方面,100 Gbit/s以太网层应满足的条件如表1所列。

ITU-T作为较为强势的标准组织,在标准化方面主要涉及100GE的映射和传送。ITU-T G.709定义了OTU4的速率为111 809 973.568 kbit/s,ODU4的速率为104 794 445.815 kbit/s,保证了未来100GE作为客户信号映射进OTN的兼容性,同时开展了相关光波分传输接口和前向纠错(FEC)等方面的研究工作^[3]。

OIF主要规范了相关电接口,并定义了CEI-25(通用电接口)、SPI-5(物理层接口)、SFI-5(串行/解串行接口)和VSR-5(甚短距接口)等接口标准。同时,OIF于2008年9月左右开始研究100G长距离密集型光波复用(DWDM)传输项目,该项目遵从ITU-T定义的112 Gbit/s传输速率,采用双极性正交相移键控(DP-QPSK)和相干接收机结合的技术来开展100G长距离传输研究,同时开展100G长距离DWDM传输架构、传输集成光器件、FEC和光模块等方面的标准研究,并已经形成实现协议。从某种角度来说,这也对ITU-T开展的相关长距传输标准研究造成了一定的挑战。

中国标准组织也在积极跟踪和制订100G相关标准。中国100G传

输标准由中国通信标准化协会传输网与接入网技术工作委员会(CCSA TC6)制订,目前行业技术报告《N \times 100G DWDM传输系统技术要求》已征求意见,报告《N \times 100G DWDM系统测试方法》正在研究中。鉴于制造业等对100G标准需求,2011年拟制订行业标准《N \times 100 Gb/s光波分复用(WDM)系统技术要求》。

综合来看,100G有关的用户侧和传输的国际标准已经基本确立,部分关键的技术点也已在研究中。中国相关标准已初具形态,并将在技术试验和设备研发的基础上尽快推出。

2 100G 传输现网试验方兴未艾

高速Internet和视频业务的迅速

▼表1 IEEE 802.3ba 100GE物理接口类型

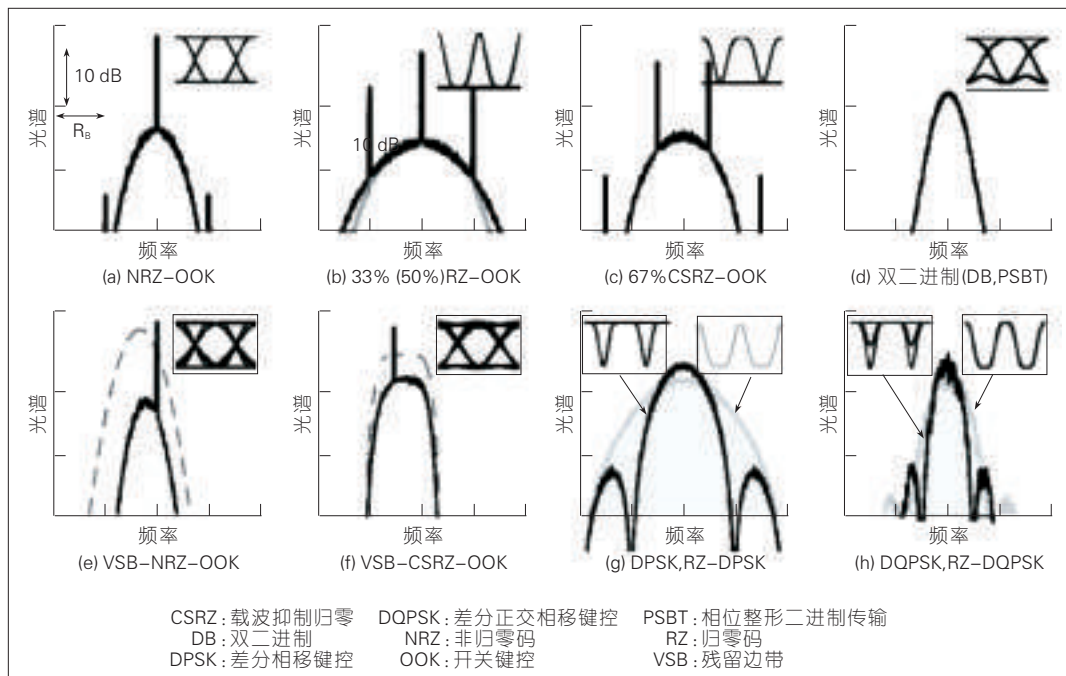
距离	媒质类型	100G以太网
7 m	铜缆	10x10G(基于10G Base-KR)
100 m	多模光纤	10x10G, 每方向10根光纤
10 km	单模光纤	4x25G, 1.3 μ LAN WDM(800 GHz间隔)
40 km	单模光纤	4x25G, 1.3 μ LAN WDM(800 GHz间隔)
LAN: 局域网		WDM: 密集波分复用

▼表2 2010年100G传输部分现网试验案例

时间	运营商	设备制造商	速率/(Gbit/s)	传输距离/km	其他特点
2010年2月	Verizon	Juniper、NEC、Finisar	112	1 520	100G路由器和WDM, 实时处理
2010年3月	AT&T	NEC	114	640	25 GHz间隔
2010年3月	AT&T	Opnext、Cisco、和Ixia	127		实时处理
2010年5月	TeliaSonera	OPNEX	127	>1 700	DP-QPSK
2010年6月	Verizon	AlcatelLucent	100	12.7	
2010年9月	XO	Infinera	100(采用PIC技术5 \times 100 Gbit/s)	1 348	
2010年11月	瑞典ACREO	Ericsson	100	824	16 QAM, 偏振复用, 离线处理
DP-QPSK: 偏振复用正交相移键控			QAM: 正交幅度调制		WDM: 光波复用

发展,IP网络流量持续强劲增长,这些都对运营商的骨干传送网络提出了更高的要求,因此运营商需要不断地升级网络。针对100G的长距传输,从2004年左右,很多设备制造商已经开始跟踪和研发,全球很多厂家都宣称有100G WDM的解决方案,近年来全球各大运营商也对此表现出极大的兴趣,开展了各种现场试验,表2所示为2010年部分现网试验的案例。

随着光纤接入(FTTx)等业务的发展和“三网融合”战略的实施,中国各大运营商的宽带业务和网络的发展都逐步步入快速增长期。目前中国电信和中国联通的骨干网已经规模部署了40G WDM传输系统。中国移动也开展了现网实验,100G WDM超高速传输技术的需求也已初现端倪。中国电信与康宁公司等于2010年11月成功完成100G超长距WDM传输技术实验室测试,实现了超过3 000 km的超长传输距离。该测试是中国第一次100G超长距WDM传输实验,测试的100G WDM传送设备采用相干接收PM-QPSK调制技



▲图2 几种调制码型的波形和眼图

术,也是业界公认的 100G WDM 长途传输的最佳解决方案,同时有色散补偿模块(DCM)的现网升级模型和没有 DCM 的新建系统模型下全面评估了 100G WDM 传输技术的性能和关键技术参数。

综上所述,100G 传输实验始于 2008 年,现网试验在近两年获得了很大发展,运营商对 100G DWDM 高速传输系统非常关注,已经开始了实验室超长距离传输的实验,为后续标准和工程应用等奠定了技术基础。

3 100G 长距传输关键技术尚待完善

与 40 Gbit/s 技术类似,除了支持现有通路间隔(如 100 GHz、50 GHz)和尽量提高频谱利用率之外,100G 长距传输限制的因素主要体现在色度色散容限、偏振模色散容限、光信噪比(OSNR)容限及非线性效应容限等多个方面。为了克服对 100G 信号的传输限制,除了采用常规的解决途径(如采用光域或电域的补偿或均衡之外)之外,主要采用的解决方案包括新型调制码型、新型复用技术、相

干接收技术和 FEC 技术等多个方面。

3.1 新型调制码型和复用方式

从调制格式和复用方式来看,100G 长距传输技术除了基于偏振复用结合多相位调制的调制方式,如四相相移键控(PDM-(D)QPSK)之外,还包括多级相位和幅度调制的调制码型,如 8/16 相移键控(8 PSK/16 PSK)、16/32/64 级正交幅度调制(16 QAM/32 QAM/64 QAM)等,及基于低速子波复用的正交频分复用(OFDM)等。

目前 10 Gbit/s 速率及其以下速率商用系统中普遍采用的是基于强度调制及检测的非归零码(NRZ)调制格式。为了解决目前高速光信号传输距离受限(CD、PMD、非线性效应等)的问题,新型调制码型成为一个新的技术选择。比较典型的几种调制码型的波形和眼图如图 2 所示。

对于 40 Gbit/s 技术,目前基本采用的码型为光双二进制/相位整形二进制传输(ODB/PSBT)、差分移相键控(DPSK)(包括改进型 DPSK)、差分正交相移键控(DQPSK)和 DP-QPSK(相干接收)等。对于 100 Gbit/s 高速传

输,目前基本采用的码型为 DQPSK、DP-QPSK 同时结合相干接收等技术。

在 40 Gbit/s DWDM 技术发展过程中出现了多种调制格式百花齐放的情景。对于多种应用场景可以采用不同的码型,但是也同时出现了多种码型同时研发、成本和备件都较高的弊端,为了解决光信号高速技术限制而提出的多种调制编码格式在实际应用中面临如何选择的难题,综合研究认为对于调制格式的选择,应主要考虑以下一些方面:

首先,传输距离是决定码型选择的关键因素

之一。在几种典型码型中,根据码型具体特征,若不考虑 50 GHz 通路间隔的应用需求,NRZ 可用于局内、短距和 600 km 左右的长距,而 ODB/PSBT 可用于 600 km 左右的长距,其他几种可用于 600 km 以上长距。

第二,通路间隔也是码型选择的主要条件。目前商用 $N \times 10$ Gbit/s 系统通路间隔最小为 50 GHz,若考虑 40 Gbit/s 系统也支持 50 GHz 通路间隔,根据码型具体特征,那么实际应用时可选择 ODB/PSBT、归零码-差分正交相移键控(RZ-DQPSK)和 DP-QPSK 等,其他码型在 50 GHz 通路间隔应用时系统代价较大,一般很难满足系统性能要求。

第三,与低速 40 Gbit/s 系统的混传也是目前 100 Gbit/s 码型选择时需要考虑的问题。多种速率混传时,除了考虑传输距离和通路间隔等共性问题之外,还需考虑两种速率间不同调制格式之间的通道间干扰问题,如目前公开的一些试验和仿真研究表明在某些特定条件下强度调制对于四相相位调制的信号影响较大。

第四,综合考虑调制编码格式的

▼表3 100 Gbit/s 调制格式基本特性比较

	100G NRZ	100G 双二进制 (RZ-DQPSK)	100G (RZ-DQPSK) (极化复用)	100G (极化复用) (二进制)	40G (二进制)	10G (二进制)
Roq'd 的光信噪比/dB (误码率=10 ⁻³)	21	25	18	16	14~15	8~9
DGD 公差/ps (1dB 代价)	3	3	8	非常大	10	40
CD 公差/(ps/nm) (2dB 代价)	±8	±25	±26	非常大	±50	±80~2 000
支持的通路间隔/GHz	150~200	150~200	100	50	50~100	25~50
NRZ: 非归零码		RZ-DQPSK: 归零码-差分正交相移键控				

成本与性能的平衡。与 NRZ 相比, ODB/PSBT、归零传号交替反转码 (RZ-AMI)、RZ-DQPSK、DP-QPSK、DPSK 等传输码型在实现了某些高性能的同时,实现复杂性(成本)亦在不断增加。这就需要在实际选择传输码型时需兼顾成本与性能的平衡问题。另外,考虑到未来的 $N \times 100$ Gbit/s 技术,基于偏振复用、多相位调制和相干解调的传输码型具有较强的竞争力。

对于 100 Gbit/s 高速传输,不同的调制码型的 PMD、CD 和背靠背 OSNR 容限等差异很大,如表 3 所示。

为了提供系统波特率的前提下不降低系统性能,基于不同的复用技术也应用到高速光通信当中,对典型如基于偏振的复用、基于频率/波长的复用等,如图 3 所示。

依据目前的技术分析,QPSK 将是相对实现优势比较明显的传输码型,也是目前标准化组织和设备厂商关注的焦点码型。

3.2 相干接收技术

从调制编码解调来看,目前主要可采用直接解调和相干解调两种方式,其中相干解调主要采用数字信号处理(DSP)技术来实现,显著降低了相干通信中对于激光器特性的要求。相对于常规的直接检测技术,相干技术主要有以下一些优势:

(1) 在足够大本征功率的情况可得到散弹噪声受限的接收机灵敏度。本征的较大功率给予信号很大的增益,本征的散弹噪声淹没了接收机的热噪声限制。相对于常规的强

度直接检测技术,采用相干接收以后接收机灵敏度可提升 20 dB 左右。

(2) 可以显著提升系统的频谱利用率。中频的频率分辨率相对很高,可以在电域分离间隔更近的 WDM 相邻通路。

(3) 相位检测技术的实现可以显著提高接收灵敏度。这主要是由于符号之间的编码距离通过相位信息得到拓展。例如,相对于 NRZ,基于平衡接收的 DPSK 接收灵敏度理论上可以提高 3 dB 左右。

(4) 一些相位调制技术还可以通过相干接收引入到光纤通信网络当中来。

虽然相干接收技术优势明显,在二十多年以前业界就十分关注,但随着掺铒光纤放大器(EDFA)技术的发明和规模应用,利用相干接收方式提高接收机灵敏度的优势已不再显著。另外,相干接收技术本身的技术难题也没有得到本质解决,例如基于外差相干接收实际可以处理的比特速率还达不到直接相干接收的一半,而基于零差相干接收的复杂性、对于

载波相位漂移的平稳锁定等。

但最近几年对着高速和 WDM 技术的发展,基于相干接收的技术又得到迅猛发展,最基本的驱动是基于更高频谱利用率的多相位调制编码技术的应用以及高速 DSP 处理技术的发展。按照基本的工作原因,目前研究的相干技术可以分为两大类:即相干接收和自相干接收。

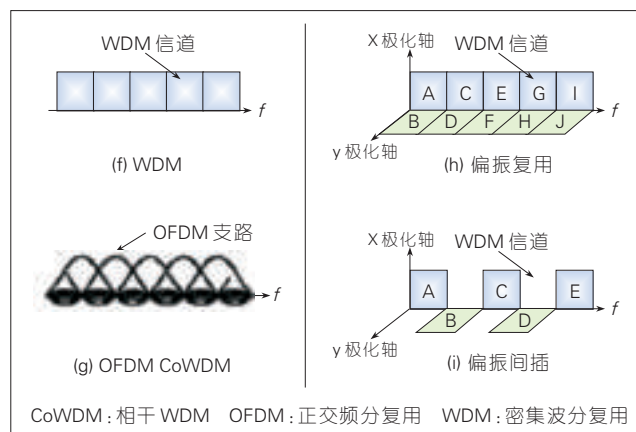
综合考虑系统性能要求、实现复杂性和性价比等多种因素,对于 100G 传输商用设备,业界一般看好的长距传输码型为采用相干接收的 PDM-QPSK。另外,由于目前模数转换器(ADC)和 DSP 芯片等处理技术水平的限制,几乎所有高速电信号处理芯片都没有商用解决方案,目前基于 100G 信号的实时相干接收处理等尚待技术突破,这是 100G WDM 系统走向商用的最大技术瓶颈。

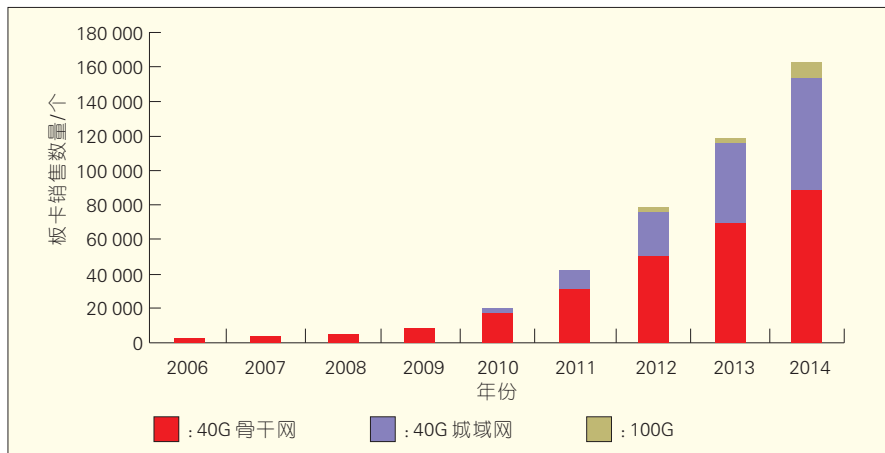
从 OSNR 容限来看,对于相同的调制格式,100 Gbit/s 相对于 40 Gbit/s 的 OSNR 容限要求要提升 4 dB 左右,这对于系统研发挑战性很大,目前采用不同调制格式的 OSNR 容限差异较大,但相同的调制格式采用相干接收后可显著提升 OSNR 容限 1~2 dB 以上,但是在 OSNR 上要实现 100G WDM 系统 1 000 km 以上的传输,还需要在 FEC 方案、相干接收、等方面有更多的增益,才能日益满足 OSNR 的要求。

3.3 前向纠错技术

解决高速光通信系统的另外一

图3 基于频率和偏振的新型复用技术





▲图4 OVUM公司对40G/100G板卡销售数量的预测

个有效途径即是采用FEC技术,以降低系统对于OSNR容限的要求。FEC的具体实现方式主要分为带内FEC、带外普通FEC(如ITU-T G.709)、带外增强型FEC等几类。目前基于带内的FEC基本没有应用,基于普通FEC的OSNR增益一般为5~7 dB,基于增强型FEC的OSNR增益一般可达到7~9 dB左右。各大芯片制造商也竞相在FEC等方面开展研究,以期进一步提高系统性能,PMCSierra公司近日宣布推出新FEC技术,利用标准的6.7%的OTN开销可实现高达9.45 dB的业界最高净有效编码增益(NECG)。可以看到FEC技术的进一步突破势必会对系统长距传输带来裨益。

3.4 测试和评估技术

100G高速传输技术发展迅速,对于100G高速传输系统的评估和测试也逐步提到议事日程中,一些国际知名的仪表公司陆续推出了100G的相关测试仪表,可分为电域信号分析仪和光域信号分析仪两大类。可初步完成一些评估和测试项目,但是在部分测试项目中仍有待于进一步研究。

对于OSNR测试,40G信号的带内测试目前基于偏振效应实现,基于偏振复用的100G信号的带内测试与40G系统面临着类似甚至更复杂的问题;对于CD容限测试,100G采用

相干接收加DSP极大增加了接收机的CD容限,但现有仪表尚未有大范围CD仿真仪;对于调制信号质量与抖动测试,100G(DP-QPSK)信号测试眼图意义不大,直接测试某些关键相位参数体现的含义更为直接,具体采用哪些相位指标有待进一步研究。

综上所述,综合考虑系统性能要求、实现复杂性和性价比等多种因素,对于100G传输商用设备,业界一般看好的长距传输码型为采用相干接收的PDM-QPSK。另外,ADC和DSP芯片等处理技术水平的限制,几乎所有高速电信号处理芯片都没有商用解决方案,目前基于100 Gbit/s信号的实时相干接收处理等尚待技术突破,这是100G WDM系统走向商用的最大技术瓶颈。在FEC和测试评估等方面都有一些尚待研究的方面,随着技术的发展会逐步突破。

4 100G WDM传输规模商用尚待时日

随着100GE标准在2011年正式确定,从应用来看,主要分为100G短距技术和100G长距技术,100G短距技术主要用于路由器、高速视频服务器、海量数据服务器等核心设备的互连,优先采用10×10 Gbit/s的光/电物理接口,将逐步开展应用。100G WDM长距传输的需求后续会逐步出现,主要解决100G信号在省际和省

内干线层面的1000 km以内甚至更长的传输需求。从目前100G产品进展的公开资料和OVUM公司的预测来看(如图4所示),至少到2012年左右才可能多家出现,形成市场效应^[4]。

同时在干线网络上,由于目前基于40 Gbit/s速率的路由器和传输系统已经大规模部署,部分解决了端口容量和端口数量的问题,预计基于100G的长距传送在1~2年后开始部署,首先从干线开始部署,逐步延伸到城域核心,采用DWDM技术和应用,相信在这个时间窗口内100G长距传输技术存在的主要技术瓶颈也会逐步攻克,并迎来容量大幅提高的100G WDM时代的来临。

5 参考文献

- [1] IEEE 802.3ba-2010. 40Gb/s and 100Gb/s Ethernet [S].2010.
- [2] ITU-T G.709. Interfaces for the Optical Transport Network (OTN) [S].2009.
- [3] 赵文玉,张海懿,汤瑞,等. OTN关键技术及应用策略探讨[J]. 电信网技术,2010(11):50-54.
- [4] 张海懿. 100G光传送时代渐行渐近[N]. 人民邮电报, 2010-11-26.

收稿日期:2011-03-17

作者简介



张海懿,毕业于北京邮电大学,现任工业和信息化部电信研究院通信标准研究所传输与接入研究部主任;长期从事光传输系统、WDM系统、SDH系统、MSTP、自动交换光网络以及电信传输网络体制标准、运营商的技术咨询等方面的研究工作,具有丰富的主持大型网络设备技术选型评估和现网验收测试经验;目前主要从事高速光通信、OTN和PTN等光传送网技术和标准研究;曾获国家科技进步二等奖、中国通信标准化协会科学技术一等奖和二等奖;已发表技术文章数十篇。



赵文玉,工业和信息化部电信研究院通信标准研究所传输与接入研究部高工;主要从事40G/100G WDM、OTN等光传送网技术研究、标准制订以及系统测试评估等相关工作。

IP 网络承载物联网业务能力研究

The Ability of IP Networks to Carry the Internet of Things

摘要: 物联网的通信量将成为未来 IP 网络流量的重要组成部分, 必将对 IP 网络承载能力产生深远影响。物联网应用的复杂性和多样性也对网络“服务质量、安全可信、可控可管”等各个方面提出了更高的要求。文章对物联网业务承载能力及业务需求进行了分析, 对 IP 网络承载物联网业务相关能力进行了研究和探讨。同时指出为适应未来大规模物联网业务的承载, 需要进一步提升电信级的 IP 网络能力。

关键词: 物联网; IP 网络; 承载能力; 实时性; 服务质量

Abstract: Internet of Things traffic will be an important part of IP network traffic in the future and will heavily impact the IP network. More complex and diverse Internet of Things applications will place higher requirements on all aspects of the network, including QoS, safety and reliability, controllability, and manageability. This paper analyzes the service requirements of the Internet of Things and the ability of IP networks to carry it. We suggest that carrier-classed IP networks need to be upgraded in order to satisfy large-scale Internet of Things applications in the future.

Key words: the Internet of Things; IP network; bearing capability; real-time; quality of service

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0049-05

何晓明/HE Xiaoming
刘志华/LIU Zhihua

(中国电信股份有限公司 广东研究院, 广东
广州 510630)
(Guangdong Research Institute, China Telecom
Corporation Ltd. Co, Guangzhou 510630, China)

IP 网络架构是否需要为未来承载海量的物联网数据而优化、调整 and 改变? 这一切都需要不断深入研究和实践验证。

文章对物联网业务承载能力及业务需求进行分析, 对 IP 网络承载物联网业务相关能力进行研究和探讨。

1 物联网业务承载能力及业务需求分析

1.1 物联网业务承载能力分析

当前各个行业广泛存在的物联网应用可以分为 6 种基本类别: 监控报警类、数据采集类、信息推送类、视频监控类、远程控制类、识别与定位类。下面对这 6 种基本应用所需要的网络承载能力进行分析。

(1) 监控报警类

感知层的传感器节点持续监测本地数据, 当发生不符合预期的数据变化时通过网络通知应用层进行报警。典型应用场景如家庭安防、环境监控等。

- 上行流量: 数据量少, 仅在某些触发条件下发送少量数据
- 下行流量: 无
- QoS 要求: 不同场景间有较大

物联网就是把任意物品, 通过射频识别(RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备, 按约定的协议与传统的通信网络连接起来, 进行信息交换和共享, 以实现远程数据采集和测量、智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。物联网使物体与互联网等各类通信网络相连, 获取无处不在的现实世界的信息, 实现物与物、物与人之间的信息交互, 支持智能的信息化应用, 实现信息基础设施与物理基础设施的全面融合, 最终形成统一的智能基础设施。从本质上看, 物联网是架构在网络上的一种联网应用和通信的能力。

据美国权威咨询机构 Forrester 预测, 未来物联网的通信量是当前互联

网的 30 倍。姑且不去论证其预测是否具有科学性, 但可以肯定的是, 物联网的通信量将成为未来 IP 网络流量的重要组成部分, 必将对 IP 网络承载能力产生深远影响。同时, 物联网应用的复杂性和多样性也对网络的“智能”提出了更高的要求。当前互联网的承载网是一种“尽力而为”的分组传输网络, 并不适合物联网业务的“可靠传递”。物联网的承载网络则要求具备更多的电信级的特性, 对网络服务质量、安全可信、可控可管都提出了很高的要求。为满足物联网业务的承载, 需要进一步提升接入网、城域网、骨干网的电信级要求, 包括端到端服务质量(QoS)能力、网络自愈能力、业务保护能力、网络安全等。现有基于互联网应用的开放的

差异,与应用需求以及当前数据所代表的含义有关,通常对报警数据传输的实时性要求较高

- 数据安全:不同场景间有较大差异,与应用需求有关

- 设备管理和配置:出厂/软件或本地安装时设定,或者通过在线远程配置

- 对连接性的需求:需要监控连接性以防破坏和无效

- 对数据处理的需求:应用强相关,无通用可共享的数据

- 终端移动性:与应用需求相关

(2) 数据收集类

感知层的传感器节点对环境感知数据进行周期性和持续性的采集并上报。在一个传感器网络中通常散布有大量的传感器节点,这些节点采集的数据由某个中心控制节点进行收集、汇聚后通过网络上传到应用层。典型的应用场景如气象信息监测、森林火灾预警监测、路况信息收集等。

- 上行流量:数据量较大,持续的数据上报或者周期性数据上报

- 下行流量:较少,更多的是用于修改上报规则等

- QoS要求:不同场景间有较大差异,与应用需求以及当前数据所代表的含义有关

- 数据安全:不同场景间有较大差异,与应用需求有关

- 设备管理和配置:更多的是应用交互,由应用定制的参数较多,因此应用负责应用层设备管理,网络参数的设定则需要与网络耦合较强部分进行设定

- 对连接性的需求:需要监控连接性以防破坏或无效

- 对数据处理的需求:应用相关,部分数据可共享(如路况信息)

- 终端移动性:与应用需求相关

(3) 信息推送类

根据终端的请求,或由应用系统持续性或周期性地向远程终端设备主动推动信息的应用。典型应用场

景如智能博物馆、电子广告牌、车站交通信息通知等。

- 上行流量:数据量不定,常用于进行应用交互

- 下行流量:较大,持续或者基于交互等外界条件出发的或者周期性的数据推送

- QoS要求:不同场景间有较大差异,与应用需求以及当前数据所代表的含义有关

- 数据安全:不同场景间有较大差异,与应用需求有关

- 设备管理和配置:通过在线远程配置,或者出厂/软件或本地安装时设定

- 对连接性的需求:较强,需要维护网络连接以便于进行数据的正确传输

- 对数据处理的需求:应用相关,可共享度低

- 终端移动性:两极分化,部分终端有很强的移动性,部分终端则通常不移动

(4) 视频监控类

终端把实时采集的视频数据通过网络持续地向监控中心发送。典型应用场景如行业视频监控、全球眼等等。

- 上行流量:数据量大,更多的是基于Session的持续的多媒体流

- 下行流量:较小,主要用于数据传输等的控制和调节

- QoS要求:不同场景间有较大差异,与应用需求有关

- 数据安全:不同场景间有较大差异,与应用需求有关

- 设备管理和配置:更多的是应用交互,由应用定制的参数较多,因此应用负责应用层设备管理,网络参数的设定则需要与网络耦合较强部分进行设定

- 对连接性的需求:较强,需要维护网络连接以便于进行数据的正确传输

- 对数据处理的需求:应用相关,可共享度低

- 终端移动性:两极分化。部分终端有很强的移动性,部分终端则通常不移动

(5) 远程控制执行器类

感知层的传感器节点通过对现场环境进行持续性监测或数据采集,并通过网络发送至应用系统,或者当检测到不符合预期的异常事件时立即通过网络报警。应用系统对上传的数据进行分析、处理后,根据情况向执行器发送远程控制指令。典型应用场景如工业自动化中的过程控制、电力自动化系统的继电保护等。

- 上行流量:无,如有则可以认为是与数据收集类的组合

- 下行流量:数据量不定,取决于实际应用

- QoS要求:不同场景间有较大差异,与应用需求有关,但通常对控制消息传输的实时性较高

- 数据安全:不同场景间有较大差异,与应用需求有关

- 设备管理和配置:更多的是应用交互,由应用定制的参数较多,因此应用负责应用层设备管理,网络参数的设定则需要与网络耦合较强部分进行设定(Enabler)

- 对连接性的需求:较强,需要维护网络连接以便于进行数据的正确传输

- 对数据处理的需求:应用相关,可共享度低

- 终端移动性:两极分化,部分终端有很强的移动性,部分终端则通常不移动

(6) 识别与定位类

RFID或GPS终端设备把物体的电子标签或位置信息通过网络发送到应用系统,由应用系统对物体进行智能化的识别、定位和追踪。典型应用场景如物流货运、车辆调度等。

- 上行流量:数据量较大,持续的数据上报或者周期性数据上报

- 下行流量:RFID等识别类终端无下行流量,但对于具有GPS定位功能的终端,可能会根据位置信息推送

▼表 1 6 种基本物联网应用对网络承载网络能力需求对比关系

	监控报警类	数据采集类	信息推送类	视频监控类	远程控制类	识别与定位类
上行流量	少量数据	数据量较大	少量	数据量大	无	数据量较大
下行流量	无	较少	数据量较大	少量	少量	少量
QoS 要求	应用需求相关, 一般较高	应用需求相关	应用需求相关	应用需求相关	应用需求相关, 一般较高	应用需求相关
数据安全	应用需求相关	应用需求相关	应用需求相关	应用需求相关	应用需求相关	应用需求相关
管理配置	远程管理配置	远程管理配置	远程管理配置	远程管理配置	远程管理配置	远程管理配置
连接性需求	较强	较强	较强	较强	较强	较强
终端移动性	应用需求相关	应用需求相关	应用需求相关	应用需求相关	应用需求相关	应用需求相关, 移动性强
应用场景举例	家庭安防	气象信息监测	智能博物馆	全球眼	工业自动化	物流货运

相应的服务

- QoS 要求: 不同场景间有较大差异, 与应用需求以及当前数据所代表的含义有关
- 数据安全: 不同场景间有较大差异, 与应用需求有关
- 设备管理和配置: 通过在线远程配置, 或者出厂/软件或本地安装时设定
- 对连接性的需求: 需要监控连接性以防破坏或无效
- 对数据处理的需求: 应用相关, 部分数据可共享
- 终端移动性: 与应用需求相关

表 1 列出了这 6 种基本物联网应用对网络承载网络能力需求的对比关系。

从物联网业务数据传输的实时性来看, 不同的物联网应用对数据传输的实时性要求差异性较大。美国仪表系统和自动化学会关于工业环境下的无线系统标准委员会 (ISA-SP100) 把自动化和环境控制中的应用分为监控、控制、安全应用三大类, 又细分为六小类。第 4、5 类为报警监控类应用, 为基于事件的维护而必须采集的数据, 一般不对监控对象产生直接的控制和操作, 对实时性要求一般, 如工业环境中设备状态的监控; 第 3 类为开环控制类应用, 用户接收到采集数据或报警信息后需要人工对监控对象进行处理和干预, 对实时性要求较强, 如设备工作电压过低或电池电量不够等; 第 1、2 类为

闭环控制类应用, 当系统接收到采集数据后需要即时对监控对象进行频繁的远程控制和调节操作, 对实时性要求很强, 如过程控制中的工作参数 (电压/电流的变化、温湿度变化、压力/振动的变化) 需要动态调节在一个设定的范围; 第 0 类为关键的紧急行动类应用, 需要通过远程控制立即执行, 对实时性要求极强, 如安全连锁、紧急停车、电力自动化系统中的继电保护等动作。

1.2 物联网基本业务需求

从上节的应用场景可以看到, 不同的物联网业务对网络带宽、实时性、数据安全性、终端设备移动性以及连接时长等有不同的需求, 欧洲电信标准化组织 (ETSI) 和第三代合作伙伴计划专门针对机器到机器 (M2M) 业务需求制订了相应技术规范^[1-2], 以下是 M2M 应用的典型需求:

- 提供可以承诺服务质量的通信保障: 根据不同的 M2M 应用需求提供不同级别的 QoS 保证。
- 提供端到端的业务安全: 移动业务现有安全系统建立在基于用户卡的鉴权, 而基于机器类业务的主要区别在于采集数据和控制外部环境的核心是机器, 在现有的业务网络, 终端设备和用户卡不具有同等的安全保障, 因此机器通信的安全是 M2M 业务需要重点支持的功能。
- M2M 系统可以寻址到各种 M2M 终端设备。

• 支持群组管理, 多个具有相同功能的 M2M 终端设备节点可以组成一个群组, 支持对同一群组中的终端设备同时进行相同的操作。

• 终端设备远程管理: 由于 M2M 终端设备通常情况下是无人值守的, 因此 M2M 终端设备的远程管理需求是 M2M 业务的最基本特征, 需要支持对 M2M 终端设备进行远程参数配置和远程软件升级等远程管理功能。

• 支持不同流量的数据传输, 例如在视频监控业务中有大量的视频数据需要传输, 而在智能抄表业务中只需要传输少量的数据信息。

• 支持多种接入方式, 能够支持固定和移动形态的终端设备通过各种方式接入。

• 支持终端设备数量的扩展, 新加入的终端设备可以方便地加入到网络中来。

• 支持多种信息传递方式, 包括单播、组播、任播和广播。

• 支持具有不同移动性的终端设备, 有些终端设备是固定的, 而另一些终端设备则可能是低速移动或高速移动, 对于移动终端设备可以支持终端设备的漫游与切换, 为用户提供一致的业务体验。

• 支持终端设备的休眠模式: 由于很多 M2M 终端设备是没有电源供电的, 节约能量的消耗对这样的 M2M 终端设备很重要, 所以有些终端设备会在工作一段时间后根据一定的策略转入休眠状态, M2M 终端设备在休眠之后要能接收到在休眠过程中的数据信息。

2 IP 网络承载物联网业务能力研究

根据对物联网业务承载能力及基本业务需求的分析, 文章将从以下 10 个方面对 IP 网络承载物联网业务能力进行研究和探讨。

(1) 接入的广覆盖与多样性

为满足物联网无处不在的接入需求, 接入网络应具备地域上的广泛

覆盖性和多样化的接入方式。2G/3G移动网络能很好地满足各种物联网终端接入场景下的移动性需求,但是在数据传输的稳定性、实时性、可靠性、高带宽性等方面存在不足,无法满足某些物联网应用的需求;而固网宽带具有链路质量稳定可靠、高容量的带宽资源、良好的传输实时性等优势,恰恰能够弥补这种不足。根据不同的应用场景,选择合适的通信接入模式,将有线网络、无线蜂窝网、传感网3种通信方式有机融合起来,满足物联网应用的按需接入网络。

(2) 终端标志与寻址

物联网标志需求包含以下内容:

- 核心网应唯一标志物联网终端设备。物联网终端和网关设备都应有规范的设备编码、标签等标志信息,以支持对设备的辨识、寻址与追踪。除此之外,根据业务需求和网络特点决定是否需要感知延伸层的传感节点进行寻址,如果需要,则提供唯一的地址标志,从而保证物联网业务的用户可以通过网络寻址到特定的传感节点。物联网设备可选择的标志有国际移动用户识别码(IMSI)、移动用户电话号码(MSISDN)、通用资源标志符(URI)、用于SIP会话的通用资源标志符(SIP URI)等,也可根据设备所在的地理位置、所属行业、业务类型等属性进行标志。

- 核心网应支持海量终端的标志。由于物联网终端数量庞大,现有的移动终端使用的IMSI、MSISDN标志资源无法满足快速发展的物联网业务对标志的需求,因此在设备标志的选择上需要充分考虑到标志的可扩展性。

- 核心网应提供终端标志的地址解析能力。核心网需提供一种物联网终端标志与IP地址的动态或静态映射机制,使得应用系统能根据设备标志正确寻址到特定的终端。

(3) 接入控制

网络层必须提供对物联网终端/网关设备的接入控制能力。终端设

备通过PPPoE、IPoE等拨号方式或专线方式接入网络,经由网络层(如城域网接入控制设备SR与AAA服务器的配合)的鉴权、授权后获取IP地址以及相应网络资源后方可使用网络。同时,网络层还需维护终端会话连接,监测会话连接状态,为物联网业务平台或应用系统提供终端的通信状态信息。

网络层应具有业务感知能力和网络资源控制能力,针对不同类型的业务进行网络资源区别配置,按照不同业务属性的要求合理调度网络资源,保证业务的功能和性能。

(4) 认证与计费

网络层必须提供对物联网终端/网关设备的认证与计费功能。终端必须通过认证后才能接入网络。网络应能提供按连接建立时长、使用流量、连接次数、业务类型等多种灵活计费策略。

(5) 流量控制与拥塞控制

拥塞是一种持续过载的网络状态,此时用户对网络资源(包括链路带宽、存储空间和处理器处理能力等)的需求超过了其固有的容量。拥塞导致的直接结果是分组丢失率提高,端到端时延加大,甚至有可能使整个系统发生崩溃。当网络处于拥塞崩溃状态时,微小的负载增量都将使网络的有效吞吐量急剧下降。

拥塞控制就是网络节点采取措施来避免拥塞的发生或者对拥塞的发生做出反应。与流量控制相比,拥塞控制主要考虑端节点之间的网络环境,目的是使负载不超过网络的传送能力;而流量控制主要考虑接收端,目的是使发送端的发送速率不超过接收端的接收能力,实际上流量控制只是实现拥塞控制的一种技术实现途径而已。拥塞控制算法包含拥塞避免和拥塞控制这两种不同的机制。拥塞避免是“预防”机制,他的目标是避免网络进入拥塞状态,使网络运行在高吞吐量、低延迟的状态下;拥塞控制是“恢复”机制,它用于把网

络从拥塞状态中恢复出来。

大规模物联网业务流环境下对网络提出以下拥塞控制要求:

(a) 接入网、核心网能够准确、有效地判断拥塞及过载状况的发生:

在拥塞及过载情况下,接入网应当能够限制终端设备的接入,避免终端设备不断发起接入/连接请求加剧接入网的拥塞和过载;

在拥塞及过载情况下,接入网应当能够基于群组、用户或业务优先级拒绝终端设备的连接建立请求,以降低终端对接入网带来的信令拥塞。

(b) 大规模物联网业务流环境下的拥塞控制方法:

- 网络应支持基于随机早期检测算法(RED)或加权早期检测算法(WRED)的拥塞避免算法。

- 终端宜采用具有端到端拥塞控制功能的传输控制协议(TCP)传送业务数据,以便从数据源中减轻网络的负荷。

(6) QoS能力

网络应具备根据物联网业务类型、用户类别等设置不同服务级别的能力,以提供相应级别服务。并支持能够根据物联网应用特点动态调整服务级别的能力。支撑物联网业务的传输网络的丢包和时延性能指标应符合YD/T 1171-2001《IP网络技术要求-网络性能参数与指标》^[1]中规定的1级(交互式)QoS等级,丢报率上限不超过 1×10^{-3} ;网络时延上限值为400 ms;时延抖动上限值为50 ms。

(7) IPv6接入技术

物联网业务的规模发展阶段,大量的终端设备接入网络,IPv4地址无法满足海量终端的接入需求,终端需要支持基于IPv6的PPPoE和IPoE拨号接入方式以及专线接入方式,同时网络也需要支持终端的多种IPv6接入技术。接入网支持IPv6接入技术的具体要求包括:

- 城域网接入控制设备:需要支持IPv6CP、DHCPv6、DHCPv6 Prefix Delegation以及RADIUSv6等功能。

- AAA 服务器: 需要支持 RADIUSv6, 以满足物联网终端的认证、授权和计费功能。

- DNS 服务器: 需要支持 DNSv6, 实现对域名的 IPv6 地址解析。

- 物联网终端/网关设备: 需要支持 IPv6 协议栈, 如 IPv6 邻居发现协议、无状态自动配置协议、有状态自动配置协议等; 需要支持 IPv6CP、DHCPv6、DNSv6 等。

(8) 数据传输的可靠性

物联网对数据传输的可靠性要求因行业应用的不同而存在差别, 但总体来说比人与人通信具有更高的可靠性要求, 特别是在一些监测控制领域的应用。因此, 承载网络需要具有较好的网络自愈能力, 当发生网络节点或链路故障时, 能快速对业务进行保护倒换, 为物联网业务提供备用路由。

骨干网的可靠性可采用多协议标签交换(MPLS)技术、快速重路由技术、快速路由收敛等技术实现业务的快速切换。城域网的可靠性包括: 在城域网业务接入控制节点宽带远程接入服务器/业务路由器(BRAS/SR)实施各种备份技术; 在接入网采用基于 SDH 的多业务传送平台/分组传送网(MSTP/PTN)等具有类似 SDH 的保护倒换特性和丰富的操作管理和维护(OAM)管理功能的分组传输设备, 实现对重点行业或高等级行业的专线或虚拟专用网络(VPN)接入。

(9) 安全性考虑

物联网与人们的生活息息相关, 其可能引发的安全威胁也可由网络世界延伸到物理世界, 因此其重要性不言而喻。物联网的安全性考虑主要包括承载网络的安全、终端/网关接入网络的安全以及物联网应用数据传输的安全等方面。

承载网络安全主要通过对网络设备、路由的安全保护, 强化网络的抗攻击能力, 提高网络的可用性、生存性, 并防范外部环境对网络的流量攻击。

终端/网关接入网络的安全是指物联网终端或网关设备必须通过网络的认证和授权, 才能接入网络, 并获取相应的网络资源, 防止非法或未经授权的终端/网关访问网络。

物联网应用数据传输的安全主要是对于某些机密数据, 为确保数据在传输中不被篡改或窃取, 需要对数据进行加密或对数据进行完整性保护。对于安全性较高的物联网应用数据, 承载网通过对物联网数据进行适当的安全隔离可提高数据传输的安全性, 如采用专线、IPSec、虚拟专用拨号网(VPDN)、虚拟局域网(VLAN)、二、三层 VPN 等传输方式。

(10) 网络管理

为了方便、快捷、高效地开展物联网业务, 更好地为公众和行业用户提供物联网服务, 需要对接入网、传送网和核心网的各种物联网业务提供能力进行管理, 包括物联网业务能力的配置、性能监测、故障管理、远程控制等。

物联网业务能力的配置: 在接入网、传送网和核心网相关网元设备中对物联网应用相关能力进行配置, 如 VPN、带宽、QoS 属性、计费策略、备用路由、接入方式、地址分配、数据安全加密保护等等。

性能监测: 对物联网业务的承载网络性能进行端到端的监测, 如链路的连通性、链路的误码特性; 网络设备 CPU 利用率、内存利用率、设备运行状况; 终端拨号接入网络的呼叫性能数据, 如并发连接数、接入成功率; 业务流的延时、抖动、丢包情况等。

故障管理: 对网络中的网元、链路进行实时监测, 发现故障能及时告警, 并能进行远程诊断、故障定位以及故障恢复操作。

远程控制: 物联网终端的一个显著特征是无人在现场对终端进行干预和值守。当物联网终端不存在电路域的通信方式, 只能通过分组域进行通信时, 网管需要提供对此类物联网终端的远程控制机制, 在 IP 不可

达时, 仍能实现对终端的远程接入或断开网络。

3 结束语

物联网让地球变得更加智慧, 使人类的生活变得更加美好。受到国家和各级政府的高度重视, 物联网正在步入良性发展轨道。为应对大规模物联网应用时代的到来, 电信运营商必须提前做好准备, 以大容量、优质高效的网络实现对物联网业务的承载。物联网的特征表现为“全面感知、可靠传递、智能处理”, 在影响物联网发展的这 3 个环节中, 电信运营商须在“可靠传递”这个环节下足功夫, 做好精细化的智能管道, 为物联网行业、家庭、个人应用提供通信保障服务。同时, 物联网对承载网络的服务质量、安全可信、可控可管等提出了更高的要求, 需要电信运营商不断优化网络结构, 提升网络性能。

4 参考文献

- [1] ETSI TS 102 689. Machine-to-Machine Communications (M2M): M2M Service Requirements[S]. 2010.
- [2] 3GPP TS 22.368. Service Requirements for Machine-Type Communications[S]. 2010.
- [3] YD/T 1171-2001. IP 网络技术要求—网络性能参数与指标[S]. 2001.

收稿日期: 2011-03-10

作者简介



何晓明, 中国电信股份有限公司广东研究院高级工程师、博士; 主要研究领域为电信级 IP 承载网、QoS、物联网等; 发表论文 20 余篇, 获授权国家专利 4 项。



刘志华, 中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师; 主要研究领域为 IP/MPLS、VPN、IPv6 研究设计与部署等; 获中国通信学会及中国电信科技进步奖 6 项; 发表论文 10 余篇, 多项提案被 IETF 采纳。

TD-LTE 系统切换技术的研究

Investigation of the Handover Mechanism in TD-LTE Systems

陈俊/CHEN Jun, 彭木根/PENG Mugen, 王文博/WANG Wenbo

(北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100876)
(School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0054-05

摘要: 文章介绍时分同步码分多址长期演进(TD-LTE)中的无线资源管理(RRM)的关键技术, 及TD-LTE系统的切换流程和协议设计。针对TD-LTE系统现存的一些迫切需求, 提出了一种基于切换滞后差值(HOM)和触发时间(TTT)的切换算法, 研究了在切换中HOM和TTT对系统性能的影响。动态仿真结果表明随着HOM和TTT的增长, 在系统吞吐量没有明显下降的基础上, 总切换次数有了大幅度的减少, 降低了系统信令的交互频率, 节省了系统资源并提高了切换效率。

关键词: 无线资源管理; 时分同步码分多址长期演进; 频分双工长期演进; 切换

Abstract: This paper introduces the key technology of Radio Resource Management (RRM) in TD-SCDMA Long Term Evolution (TD-LTE) as well as the handover flow and protocol design of the TD-LTE system. It proposes a handover algorithm based on Handover Hysteresis Margin (HOM) and Time-to-Tigger (TTT) that conforms to the requirements of TD-LTE. The impact of HOM and TTT on system performance is also analyzed. Simulation results show that with the growth of HOM and TTT, there is no significant drop in system throughput. However, the total number of handovers is greatly reduced. This reduces the frequency of signaling interaction, saves system resources, and improves handover efficiency.

Keywords: RRM; TD-LTE; FDD-LTE; handover

为了使移动通信与宽带无线接入(BWA)技术相互融合, 并同时应对全球微波互联接入(WiMAX)和4G的挑战, 第三代合作伙伴项目(3GPP)启动了长期演进(LTE)项目。LTE采用正交频分复用(OFDM)及多输入多输出(MIMO)等先进的无线传输技术, 使用扁平网络结构和全IP系统架构, 能够支持最大为20 MHz的系统带宽, 实现超过200 Mbit/s的峰值速率和更短的传输延时, 并且频谱效率可以达到3GPP R6标准的3~5倍, 是一项非常重大的革新。

时分同步码分多址长期演进(TD-LTE), 作为时分同步码分多址(TD-SCDMA)的演进技术, 目前已经成为3GPP中唯一基于时分双工(TDD)技术的LTE标准。中国已经全面启动TD-LTE产业, 与国际LTE产业保持基本同步, 并已被国际广泛接受和认可。TD-LTE将为中国在引领移动通信产业的发展带来很重要的机遇。

TD-LTE一方面继承了TD-SCDMA智能天线、特殊时隙等的核心专利; 另一方面, TD-LTE可以提

供更高的带宽, 通过更灵活的频谱配置方案(1.4~20 MHz)来提升网络效率和单个基站效率, 并采用公共无线资源管理控制基站来简化系统结构, 减少网络节点, 更加有效地为用户提供服务^[1]。

在所有蜂窝系统中, 无线资源管理(RRM)功能非常重要, 他不仅决定了系统的容量、覆盖和服务质量(QoS), 还决定了无线接口资源的使用效率。RRM提供空中接口无线资源管理的功能, 目的是提供一些机制以保证空中接口无线资源的有效利用, 实现资源最优使用效率、更高的数据速率和更低的时延, 从而满足系统所定义的无线资源的相关需求^[2]。

TD-LTE系统内的RRM技术包括无线承载控制(RBC)、无线接纳控制(RAC)、连接移动性控制(CMC)、动态资源分配(DRA)、小区间干扰协调(ICIC)和负载均衡(LB)。RBC用于配置与无线承载相关的资源; RAC用于判断是否需要建立新的无线承载接入; CMC用于管理空闲模式以及连接模式下的无线资源, 包括小区选择、寻呼和切换; DRA用于分配和释放控制面与用户面数据包的无线资源; ICIC用于管理无线资源, 通过对他的管理将小区之间的干扰水平保持在可控的状态下; LB用于处理多个小区间不均衡的业务量。RRM每种技术的具体功能将在文章中进行详细介绍^[3]。

1 LTE 系统架构

LTE系统在设计之初便是在提高数据速率、降低传输时延、提高系统性能、降低系统复杂度等方面进行了严格的定义, 并且现行3G系统架构也

难以满足 LTE 的系统需求。为全面满足 LTE 系统需求,系统架构也重新进行了设计。

从整体上看,TD-LTE 系统和频分双工长期演进(FDD-LTE)系统采用相同的系统架构,分为核心网和接入网两部分;而 TD-LTE 和 FDD-LTE 的差别主要在于帧结构(TDD 帧包含特殊时隙 DwPTS 和 UpPTS)和多天线配置上^[4](TDD 沿用智能天线技术可以支持 8 天线的波束赋形技术,而 FDD 最多支持 4 天线)。

如图 1 所示,LTE 系统的整体架构包括演进后的核心网(EPC),即图 1 中的移动性管理实体/业务网关(MME/S-GW)和演进通用陆地无线接入网络(E-UTRAN)。LTE 接入网由演进后的节点(eNB)组成,并提供用户设备(UE)的 E-UTRAN 控制面与用户面的协议终止点。eNB 之间通过 X2 接口进行连接,该接口总会存在于需要通信的两个不同的 eNB 之间。S1 接口连接 LTE 接入网与核心网,并支持多到多连接方式。

与 3G 系统的网络架构相比,接入网仅包括 eNB 一种逻辑节点,网络架构中节点数量减少,网络架构更趋于扁平化。这种扁平化的网络架构降低了呼叫建立时延及用户数据的传输时延,并且随着逻辑节点的减少,运营成本(OPEX)与资本支出(CAPEX)也会相应降低^[5]。

2 TD-LTE 系统的 RRM 组成

RRM 提供空中接口的无线资源管理的功能,目的是能够提供一些机制保证空中接口无线资源的有效利用,实现最优的资源使用效率,从而满足系统所定义的无线资源相关的需求。

在 LTE 的 E-UTRAN 系统中,RRM 功能的定义参考了现有 3G 系统 RRM 的基本功能,并基于 LTE 的 E-UTRAN 架构和需求特性对 RRM 功能进行了扩展。LTE 系统中所进行的无线资源管理包括对单小区无线资源的管

理,同时也包括对多小区无线资源的管理。

(1) RBC

RBC 用于配置无线承载相关的资源,包括无线承载的建立、保持、释放。当为一个服务连接建立无线承载时,无线承载控制需要综合考虑 E-UTRAN 中无线资源的整体状况、正在进行中的会话的 QoS 需求以及该新建服务连接的 QoS 需求。

(2) RAC

RAC 功能用于判断是否需要建立新的无线承载接入。为得到合理、可靠的判决结果,在进行接入判决时,无线接纳控制需要考虑 E-UTRAN 中无线资源状态的总体情况、QoS 需求、优先级、正在进行中的会话 QoS 情况以及该新建无线承载的 QoS 需求^[6]。

(3) CMC

CMC 功能用于管理空闲模式及连接模式下的无线资源。在空闲模式下,CMC 不仅为小区重选算法提供一系列参数(如门限值、滞后量等),还提供用于配置 UE 测量控制以及测量报告的 E-UTRAN 广播参数,同时还能配合网关对 UE 进行寻呼;在连接模式下,支持无线连接的移动性,并基于 UE 与 eNB 的测量结果进行切换决策,将连接从当前服务小区切换到另一个小区。

(4) DRA

DRA 又可称为分组调度(PS),该功能用于分配和释放控制面与用户面数据包的无线资源,包括缓冲区、进程资源、资源块等。动态资源分配主要考虑无线承载 QoS 需求、信道质量信息及干扰状态等信息。

(5) ICIC

ICIC 功能是指通过对无线资源进行管理,将小区间的干扰水平保持在可控的状态下。尤其是在小区边界地带,更需要对无线资源做些特殊的管理。

(6) LB

LB 功能用于处理多个小区间不均衡的业务量,通过均衡小区间的业务量分配,提高无线资源的利用率,将正在进行中的会话的 QoS 保持在一个合理的水平上,降低掉话率。负载均衡算法可能会导致部分终端进行切换或小区重选,以均衡小区间负载状况。

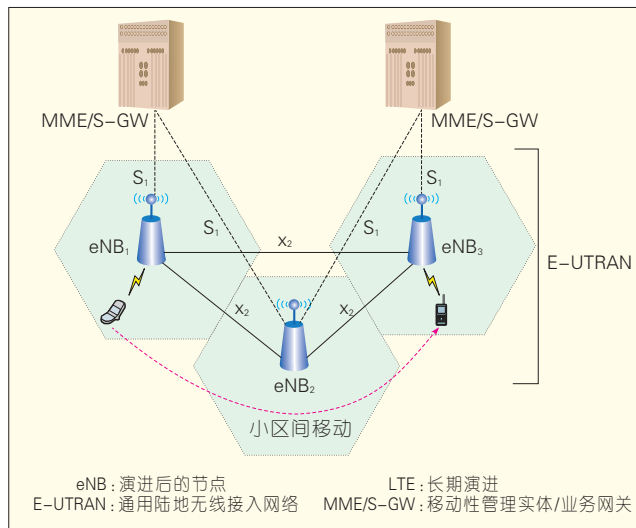
3 TD-LTE 系统的切换技术

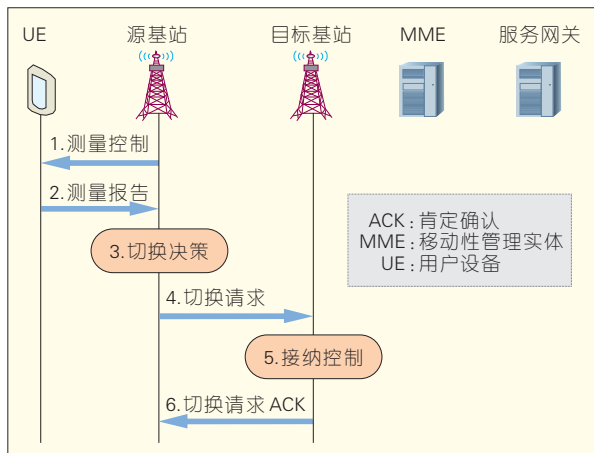
(1) 切换技术

切换技术大致可分为:硬切换和软切换。

硬切换的特点是先中断源小区的链路,后建立目标小区的链路,这时通话会产生“缝隙”。硬切换机制使得切换不够健壮,会出现“掉话”的

图 1 ▶
LTE 系统架构





▲图2 切换准备过程

现象。因此,硬切换多用于由于覆盖、负载、业务等引起的频率间的切换,如宽带码分多址(WCDMA)系统内的频率之间的硬切换和系统之间的硬切换。

软切换的特点是CDMA系统所特有的。在采用频分多址(FDMA)或时分多址(TDMA)的系统中,相邻小区采用不同的频率,所以小区之间的切换只能采用硬切换;而在CDMA系统中,相邻小区采用相同的频率,这就使得软切换的使用成为可能。

在进行软切换时,要先建立目标小区的链路,后中断与源小区的链路,这样可以避免通话的“缝隙”,有效地提高切换成功率,减少上行链路干扰,提高系统容量并扩大小区覆盖范围。但同时也存在一些缺点,如要比硬切换占用更多的信道资源、信令复杂导致系统负荷增加、增加了下行链路干扰等。

(2) TD-SCDMA 系统接力切换

TD-SCDMA 特有的接力切换技术,克服了软切换浪费信道资源的缺点,不仅具有软切换的功能,而且可用于不同载波频率甚至其他移动通信系统的基站间,实现不丢失信息、不中断通信的理想越区切换。

TD-SCDMA 系统的接力切换概念不同于硬切换与软切换,在切换之前,目标基站已经获得移动台比较精确的位置信息,因此在切换过程中

UE断开与源基站的连接之后,能迅速切换到目标基站。移动台比较精确的位置信息,主要是通过智能天线技术从而获得。

(3) TD-LTE 切换理论

作为 TD-SCDMA 演进技术的 TD-LTE 系统,可以采用快速硬切换方法实现不同频段之间以及各系统间的切换,从而更好地实现地域覆盖和无缝切换,并且实现

与现有 3GPP 和非 3GPP 的兼容。软切换由于设备复杂度高、定时难度大,会带来较高处理能力的需求,因而未被采用。核心网的设计也发生了相应的改变,增加了系统架构演进(SAE)和 3GPP 模块,实现了 LTE 系统与 3GPP 和非 3GPP 系统切换的兼容。

切换过程都会被分为 4 个步骤:测量、上报、判决和执行。接收功率、误比特率和链路距离都能够作为测量标准从而进行理论上的估计和相应的处理。TD-LTE 系统的切换是 UE 辅助的硬切换,他和 FDD-LTE 硬切换的最大区别在于:在 TD-LTE 中导频信号是在一个特殊的时隙上进行传输,而 FDD-LTE 系统中导频信道则占用一整个帧长度,所以基于导频信道的测量标准对于 TD-LTE 来说并不是那么精确。所以对于 TD-LTE 的测量,还需要结合信道质量、UE 的位置和导频信号强度来进行。

(a) 切换原理

在连接模式下的 E-UTRAN 内切换是终端辅助网络控制的切换。切换主要分成切换准备、切换执行和切换完成 3 个部分,这 3 个部分在文章的信令交互部分有详细的说明。其中 eNB 包

括以下几种切换:

• 基于无线质量的切换

通常进行此类切换的原因是:UE 的测量报告显示出存在比当前服务小区信道质量更好的邻小区。

• 基于无线接入技术覆盖的切换

此类切换是在 UE 丢失当前无线接入技术(RAT)覆盖从而连接到其他 RAT 的情况下产生的。例如,一个 UE 远离了城市区域从而丢失 TD-LTE 覆盖,网络就会切换到 UE 检测到的质量次好的 RAT,如通用移动通信系统(UMTS)或者全球移动通信系统(GSM)。

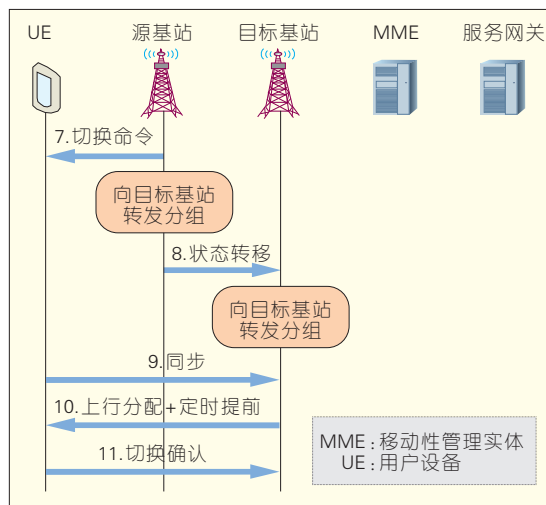
• 基于负载情况的切换

此类切换用于当一个给定小区过载时,尽量平衡属于同一操作者的不同 RAT 间的负载状况。例如,如果当一个 TD-LTE 小区非常拥挤,一些用户就需要转移到相邻 TD-LTE 小区或是相邻 UMTS 小区中。

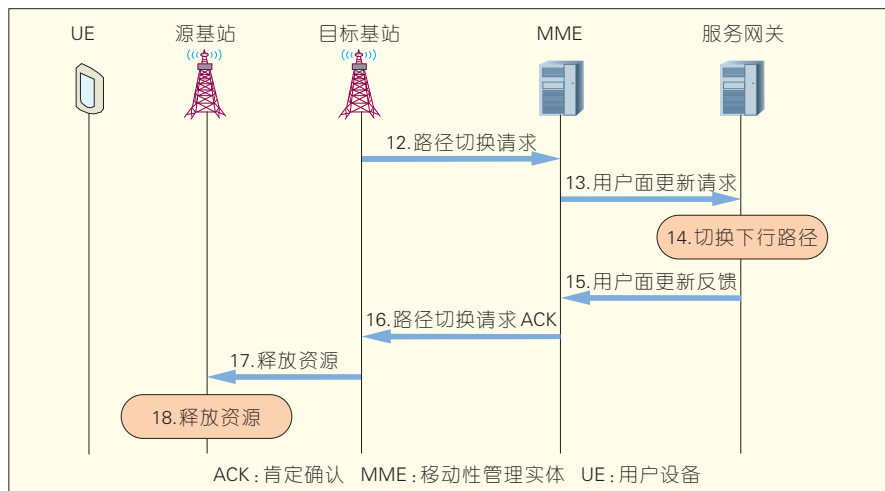
(b) 切换过程中的信令交互

• 如图 2 所示,源 eNB 根据漫游限制配置 UE 的测量报告,UE 根据预定的测量规则发送报告;源 eNB 根据报告及 RRM 信息决定 UE 是否需要切换。当需要切换时,源 eNB 向目标 eNB 发送切换请求;目标 eNB 根据收到的 QoS 信息执行接纳控制,并返回至 ACK。

• 如图 3 所示,源 eNB 向 UE 发送



▲图3 切换执行过程



▲图4 切换完成过程

切换指令,UE 接到后进行切换并同步到目标 eNB;网络对同步进行响应,当 UE 成功接入目标 eNB 后,向目标 eNB 发送切换确认消息。

- 如图 4 所示 MME 向 S-GW 发送用户面更新请求,用户面切换下行路径到目标侧;目标 eNB 通知源 eNB 释放原先占用的资源。切换过程完成。

(c) 切换测量与判决标准

切换测量在切换算法中占有重要的地位,UE 的测量报告对 eNB 的切换决策具有关键作用,在 LTE 标准^[6-9]中定义的切换测量和判决的相应标准为:

- 参考信号接收功率(RSRP):即对于需要考虑的小区,在需要考虑的测量频带上,承载小区专属参考信号的电磁波干扰(RE)功率贡献(以 W 为单位)的线性平均值。

- 切换滞后差值(HOM):即当前服务小区与相邻小区的 RSRP 差值,该值可根据通信环境不同而自行设定,其大小决定了切换时延长短。

- 触发时长(TTT):即在此段时间内必须持续满足某一 HOM 条件才能进行切换判决,TTT 可以有效防止切换中“乒乓效应”的发生。

下面将详细介绍 LTE 中的切换算法:

UE 监测所有被测小区经过滤波器后的 RSRP,并给服务小区的 eNB

发送测量报告。当下面的条件在给定的 TTT 内持续被满足时,eNB 将对 UE 进行切换。UE 根据他的速度来设定 TTT 参数。 $RSRP_T$ 是目标小区的

参考信号接收功率,而 $RSRP_S$ 是服务小区的参考信号接收功率。

$$RSRP_T > RSRP_S + HOM$$

图 5 中描述了该切换算法的一个重要实例。

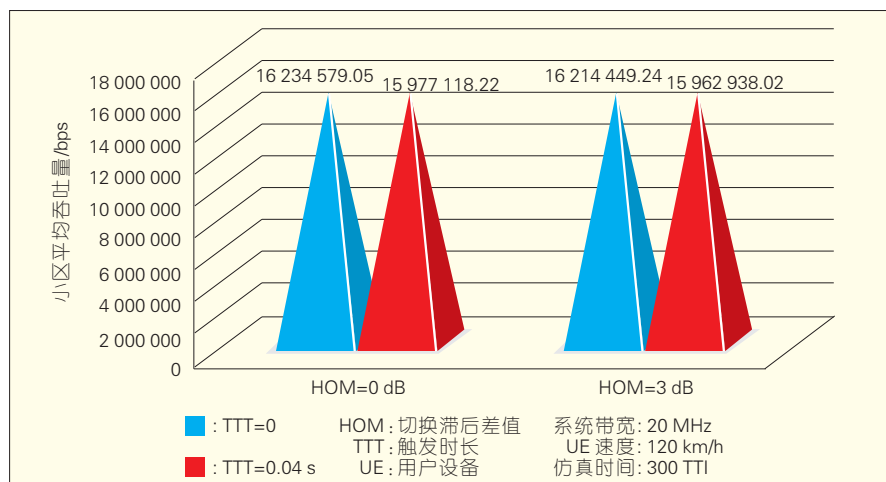
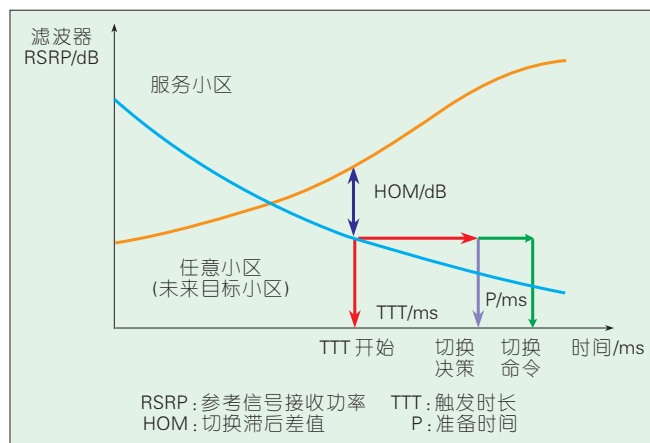
在接收到测量报告之后,当前服务的 eNB 使用网络内部程序开始准备将 UE 切换到新的目标小区。假设目标小区总有足够的资源给将要切换过来的 UE。准备时间被建模为一个常数协议延迟,在图中表示为 P。准备完成之后,服务小区在下行向 UE 发送切换命令消息。

很多文献都在此算法的基础上对切换测量、决策等算法进行了改进与创新,避免了“乒乓效应”,从而完善了系统的整体性能。

(4) 切换仿真结果分析

图 6 给出了不同 HOM (0 dB 和 3

图 5
切换算法示意图



▲图6 不同HOM和TTT值下小区平均吞吐量对比

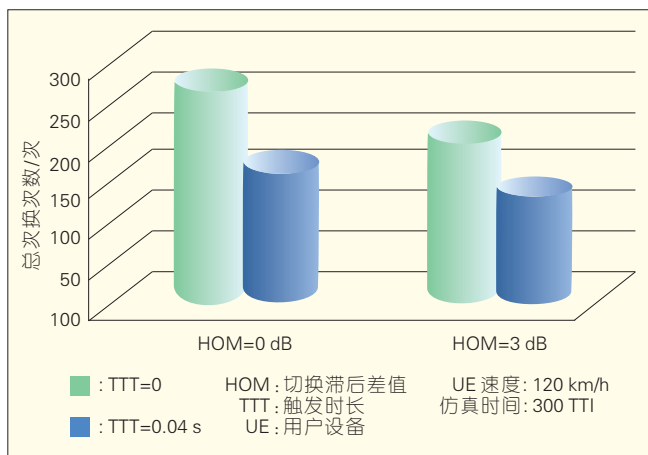


图 7
不同 HOM 和 TTT 值下
总切换次数对比

dB) 和 TTT (0 s 和 0.04 s) 下小区平均总吞吐量的对比, 图 7 中给出了不同的 HOM (0 dB 和 3 dB) 和 TTT (0 s 和 0.04 s) 下总切换次数的对比。

两幅图的结果均由动态系统级仿真平台得出, 仿真环境主要参数如下: 场景为单入单出(SISO), 带宽 20 MHz, UE 速度为 120 km/h, 仿真时长 300 TTI, 撒点用户 570 个, 测量间隔 30 TTI。

从图 7 可以看出当固定 TTT 时, 随着 HOM 的增加, 小区平均总吞吐量几乎没有变化, 然而总切换次数却减少 62 次 (TTT=0 s) 和 35 次 (TTT=0.04 s); 当固定 HOM 时, 随着 TTT 的增加, 小区平均总吞吐量相应有了较小幅度的下降, 但是总切换次数分别却减少了 103 次 (HOM=0 dB) 和 76 次 (HOM=3 dB)。

仿真结果显示: 使用基于 RSRP、HOM 和 TTT 的切换算法后, 不仅系统的整体性能没有大幅降低, 而且总切换次数也有了明显下降, 从而减少了系统信令交互的开销, 提高了切换效率。但是, 这并不意味着 HOM 和 TTT 的值越大越好, 因为增大 HOM 和 TTT 的取值会增加系统的切换时延, 导致用户服务质量的降低。

4 结束语

LTE 是第四代移动通信的主流技术之一, LTE 及其增强版本 LTE-Advanced 的研究和标准化受到

了全球运营商和设备商最为广泛的支持和参与。

文章研究了 TD-LTE 中的 RRM 关键技术, 针对 TD-LTE 系统 Handover 切换技术的流程以及相应的协议设计进行了详细探讨和论述, 对于用户对 TD-LTE 系统提出的一系列需求, 例如降低切换时延、提高用户体验质量等。同时文章提出了一种基于 HOM 和 TTT 的切换算法, 研究了在切换中 HOM 和 TTT 对系统性能的影响。动态系统级仿真结果表明随着 HOM 和 TTT 的增长, 在系统吞吐量没有明显下降的基础上, 总切换次数有了大幅度的减少, 降低了系统信令的交互频率, 节省了系统资源并提高了切换效率。

为了更好的满足未来通讯技术的发展, 后续的研究工作的重心将放在切换参数的自优化技术上, 通过自优化算法更好地适应网络结构的扁平化和灵活性, 降低运营商对网络进行操作维护的人工成本。

5 参考文献

- [1] PENG Mugen, WANG Wenbo, CHEN Hsiao-Hwa. TD-SCDMA Evolution [J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2010, 5 (2): 28 - 41.
- [2] 彭木根, 王文博. 3G 无线资源管理与网络规划优化 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- [3] PENG Mugen, WANG Wenbo. A Framework for Investigating Radio Resource Management Algorithms in TD-SCDMA Systems [J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(6): 12 - 18.
- [4] PENG Mugen, WANG Wenbo, CHEN

Hsiao-Hwa. Technologies and Standards for TD-SCDMA Evolutions to IMT-Advanced [J]. IEEE Communications Magazine, 2009, 47 (12): 50 - 58.

- [5] 沈嘉, 索士强, 全海洋, 等. 3GPP 长期演进 (LTE) 技术原理与系统设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [6] PENG Mugen, WANG Wenbo, ZHANG Jie. Investigation of Capacity and Call Admission Control in TD-SCDMA Uplink Systems Employing Multi-User Detection and Smart Antenna Techniques [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2010, 10(2): 241 - 256.
- [7] 3GPP TS 36.133 v8.6.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for Support of Radio Resource Management (Release 8) [S]. 2009.
- [8] 3GPP TS 36.214 v8.6.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer - Measurements (Release 8) [S]. 2009.
- [9] 3GPP TS 36.331 v8.6.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification (Release 8) [S]. 2009.

收稿日期: 2011-01-14

作者简介



陈俊, 北京邮电大学通信与信息系统专业在读研究生; 现主要从事 3G LTE 和 IMT-Advanced 系统的无线资源管理关键技术的研究; 现已申请相关专利 2 项, 提交相关提案 2 篇, 发表相关论文 1 篇。



王文博, 教授、博士生导师、北京邮电大学研究生院常务副院长、国务院“信息与通信工程”学科评议组成员、国家级首批高等学校特色专业“通信工程”建设项目负责人; 现主要从事的科研和教学工作包括移动通信无线传输理论和无线通信网络理论等; 已发表论文 200 篇, 独著或合作出版专著和教材 10 部。



彭木根, 北京邮电大学副教授、博士生导师; 长期从事网络规划优化、无线网络协同信息理论、网络编码、无线网络自组织技术等研发工作; 主持和完成了包括国家自然科学基金、科技部“863”项目、国家科技支撑计划、国际科技重大专项等多项国家和部级科研项目; 发表论文 80 余篇, SCI 检索 20 余篇, EI 检索 50 余篇, 出版学术专著 8 本, 译著 3 本, 申请科技发明专利 40 余项。

PBB-TE 分段保护的关键技术

Key Technology in PBB-TE Segment Protection

中图分类号: TP393.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0059-03

摘要: 运营商骨干桥流量工程(PBB-TE)采用端到端的保护技术。随着 PBB-TE 网络规模的扩大,端到端的保护技术在流量切换效率、多点故障、点到多点路径等保护等方面存在不足,难以满足分组传送网的越来越精细的保护倒换要求。PBB-TE 的分段保护技术由此应运而生。文章通过对 PBB-TE 分段保护技术及其数据业务切换、M:1 关键技术分析阐述,为提高长距离分组传送网可靠性问题提出了解决方案。

关键词: 运营商骨干桥流量工程;分段保护;分组传送网;可靠性

Abstract: Provider backbone bridge-traffic engineering (PBB-TE) adopts an end-to-end protection mechanism. With PBB-TE network expansion, this mechanism is insufficient for traffic switching efficiency, multifailure protection, and point-to-multipoint connection, and it cannot satisfy the increased requirement for precision. We therefore propose PBB-TE segment protection technology. This paper analyses PBB-TE end-to-end technology, details the requirements of a long distance transit network, and introduces PBB-TE segment protection technology. It then presents a key technology of PBB-TE segment protection: traffic service switching and M:1 segment protection. In conclusion, we put forward a solution for improving the reliability of long distance packet transport networks.

Key words: PBB-TE; segment protection; PTN; reliability

吴少勇/WU Shaoyong

魏月华/WEI Yuehua

邵宏/SHAO Hong

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)

(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

运 营商骨干桥接流量工程(PBB-TE)是 IEEE 标准组织定义的支持流量工程的运营商骨干桥接技术(技术标准 IEEE 802.1Qay)。该技术能将无连接的局域以太网扩展为面向连接的、可以支持大规模业务的分组传送网技术。为了满足电信级 50 ms 的可靠性^[1], PBB-TE 技术标准中定义了端到端的保护技术。随着 PBB-TE 网络应用领域的拓展,端到端的保护技术在流量切换效率、多点故障、点到多点路径等保护等方面存在不足,难以满足分组传送网的高可靠性需求, PBB-TE 的分段保护技术因此应运而生。PBB-TE 分段保护通常应用于 PBB-TE 网络内部,组

网非常灵活,能够有效克服端到端保护的不足,从而提高 PBB-TE 网络的可靠性。

1 传统的 PBB-TE 端到端保护技术

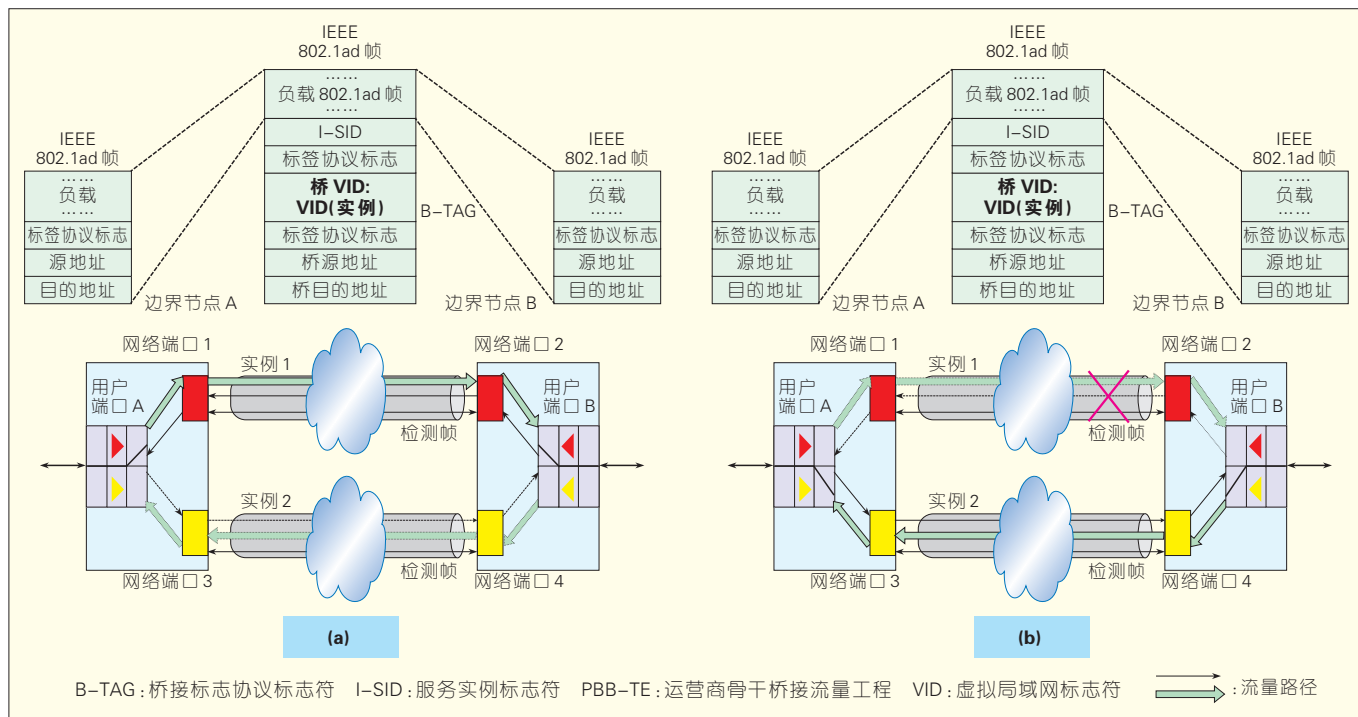
在 PBB-TE 技术标准中定义了端到端的流量工程服务实例(TESI)的保护方法,主要原理是在端到端的两个端节点上(在 PBB-TE 技术中称为 PE 节点,即运营商边界节点),建立两个 TESI。两个 TESI 中一个被配置为工作 TESI,另外一个被配置为保护 TESI,并使用 IEEE 802.1ag 定义的链路检测协议分别检测两个 TESI 的状态。当端到端 PE 节点的工作和保护

TESI 状态都为正常时,源端 PE 将数据帧头的桥接 VID(B-VID)封装为工作 TESI 对应的 VID,因此流量在 PBB-TE 网络的工作 TESI 上传输;当工作 TESI 发生故障时,源端 PE 将数据帧头的 B-VID 封装修改为保护 TESI 对应的 VID,流量在 PBB-TE 网络的保护 TESI 上传输,并且切换时间在 50 ms 以内。由于这种 PBB-TE 的端到端保护方法使得流量在不同的 TESI 之间切换,因此也称为 PBB-TE 的端到端 TESI 保护^[2]。

图 1 为端到端的 PBB-TE 保护示意图,两个 PE 边界节点分别检测 TESI-1(实例 1)和 TESI-2(实例 2)的传输路径状态。当工作路径发生故障进行保护切换时,两个 PE 节点封装的 B-VID 改变为 TESI-2 对应的 VID,使得流量在保护路径上传输,从而实现端到端的 TESI 保护切换。

2 PBB-TE 分段保护技术的需求

端到端 TESI 保护虽然提供了 PBB-TE 网络的可靠性技术,但在进行保护切换时,存在对流量影响范围大、难以保护多点故障、效率低、无法



▲ 图 1 端到端的 PBB-TE 保护

保护点到多点路径等缺点。

针对 PBB-TE 端到端 TESI 保护的不足, PBB-TE 分段保护应运而生。PBB-TE 端到端 TESI 保护的端节点只能为 PE 节点, 因此只能保护 PE 到 PE 之间的路径。而 PBB-TE 分段保护的端节点既可以为 PE 节点, 又可以为 P 节点 (即运营商节点), 还能够和 PBB-TE 端到端保护共存, 组网非常灵活。当 PBB-TE 的分段保护应用于端到端保护网络中时, 能够有效克服端到端保护的不足, 提高 PBB-TE 网络的可靠性。

在 PBB-TE 的内部网络上建立分段保护域, 当局部链路发生故障时, 只有分段保护域的局部流量路径进行切换, 不会导致整个 TESI 的流量切换, 倒换效率高。即使端到端保护的工作和保护 TESI 路径同时发生故障, 流量也能够通过分段保护的保护区传输而不会中断, 提高了 PBB-TE 在多点故障情况下的可靠性。在点到多点的 TESI 路径上建立起多组 PBB-TE 分段保护域, 从而能够实现点对点到多点的 TESI 路径进行有效的

保护。

3 PBB-TE 分段保护的关键技术

PBB-TE 分段保护技术的基本原理是在 PBB-TE 网络中设置一个分段保护域, 其中包括两个端节点 (P 或者 PE 节点), 在两个端节点上建立两条或者两条以上无公共点的流量传输路径, 其中一条传输路径为工作段, 其他路径为保护段, 并通过链路检测协议检测这些传输路径的状态。当工作段状态为正常时, 流量在工作段上传输; 当工作段发生故障时, 流量切换到其他段上传输, 从而对流量进行保护, 并且保护切换时间在 50 ms 以内。PBB-TE 分段保护域在切换时, 通过修改分段保护域端节点地址表出端口的方法进行数据业务的切换, 还增加了 M:1 的保护模式增加网络可靠性^[9]。

3.1 分段保护的数据业务切换方法

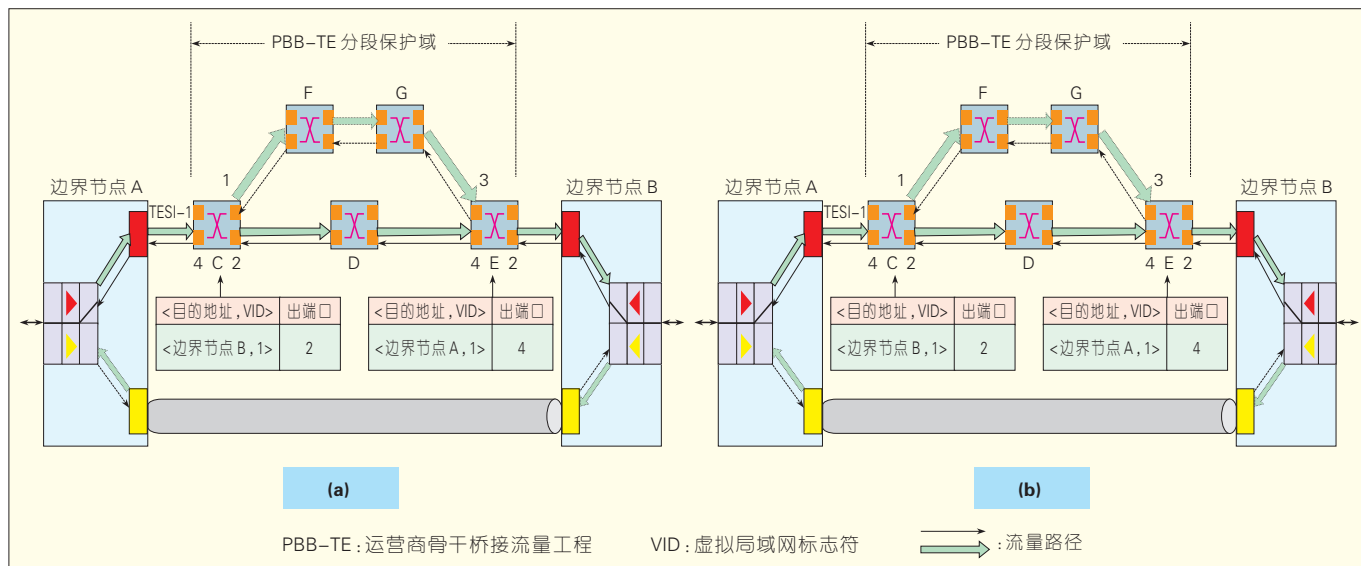
在 PBB-TE 分段保护的端节点上, 预先配置了业务的出端口表, 即

地址表。当节点收到业务帧时根据桥接目的地址 (B-DA) 和 B-VID 查找出地址表中的出端口, 并且将帧从出端口中转发出去。PBB-TE 分段保护技术应用了地址表的转发原理实现数据业务的保护切换。

当工作段和保护段状态都为正常时, 端节点上被保护流量的 B-DA 和 B-VID 在地址表中的出端口为工作段端口。当端节点从分段保护域外收到被保护流量时, 该端节点查找地址表, 将流量转发到工作段端口, 而不需要对流量进行封装等操作。流量在工作段上传输到分段保护域的另外一个端节点后, 该端节点将流量转发到分段保护域外, 并按照 PBB-TE 网络中预先配置的路径进行转发。在该过程中, 同样也不需要流量进行解封封装等操作。图 2 为 PBB-TE 分段保护技术示意图, 分段保护域的工作段和保护段上都预设了 TESI-1 对应 TESI 的转发地址表。

3.2 M:1 的分段保护

只有一个工作段和一个保护段



▲ 图2 PBB-TE 的分段保护

的PBB-TE分段保护域为1:1的保护模式。在1:1保护模式的分段保护域中,当工作段发生故障后,被保护TESI的流量不能继续在工作段上进行传输,而是通过分段保护技术切换到保护段上进行传输,从而能够保障被保护TESI的流量重新连通。但是如果保护段继续发生故障,则被保护TESI的流量既不能在工作段上传输,也不能在保护段上传输,被保护TESI的流量将会中断。1:1的分段保护技术虽然提高了被保护TESI流量传输的可靠性,但在故障发生概率较高的网络中,仍难以满足被保护TESI的流量传输的高可靠性要求。

因此在PBB-TE的分段保护技术中,为了提高分段保护域的可靠性,可以增加保护段的数量,这种方法称为M:1的分段保护,其中M代表有M个保护段,1代表有1个工作段。每个保护段分别设定不同的优先级,其中一个保护段设定为规定保护段,有着最高优先级;其他保护段设定为预备保护段,预备保护段的优先级低于规定保护段的优先级。当规定保护段可用时,规定保护段作为分段保护域的保护段;当规定保护段不可用时,选择可用的预备保护段中优先级最高的作为PBB-TE的分段保护域的

保护段。因此当工作段和规定保护段同时故障时,能够在其他的预备保护段中选择可用保护段进行流量的传输,被保护TESI的流量能通过新的保护段传输,保障被保护TESI流量的重新连通,提高被保护TESI的流量在分段保护域中传输的生存性。

4 结束语

PBB-TE分段保护技术以一种经济高效的方式提高了PBB-TE的可靠性,提供低于50 ms的保护倒换时间,非常适合长距离分组传送网的高可靠性需求^[3-5]。中国和国际上的一些标准组织也在积极的对PBB-TE的分段保护技术进行标准化,例如在IEEE中推进的标准IEEE 802.1Qbf^[6]、中国通信标准化协会(CCSA)的标准《基于以太网的分组传送网技术要求》^[7]等,为PBB-TE分段保护的技术走向成熟提供了标准的基础。

5 参考文献

- [1] MEF2. Requirements and Framework for Ethernet Service Protection in Metro Ethernet Networks[S].2004.
- [2] IEEE 802.1Qay. EN-Local and Metropolitan Area Networks--Virtual Bridged Local Area Networks Amendment 10: Provider Backbone Bridge Traffic Engineering[S]. 2009.
- [3] 荆瑞泉. 分组传送网技术发展中的若干问题[J]. 中兴通讯技术, 2010,16(3):9-12.

- [4] 韦建文, 谢锐, 金耀辉. PBB-TE的结构特征与GMPLS控制技术[J]. 中兴通讯技术, 2010,16(3):13-16.
- [5] 陆月明. 分组传送网的保护和生存性机制[J]. 中兴通讯技术, 2010,16(3):17-20.
- [6] IEEE 802.1Qbf/D0.2. Virtual Bridged Local Area Networks Amendment: PBB-TE Infrastructure Segment Protection[S].2010.
- [7] 基于以太网的分组传送网技术要求[IR].北京:中国通信标准化协会,2010.

收稿日期:2011-03-21

作者简介



吴少勇, 武汉大学硕士毕业; 现就职于中兴通讯股份有限公司, 任主任工程师; 现从事分组传送网可靠性保护技术研发, 参与ITU、IEEE标准工作; 已发表学术论文3篇, 申请发明专利50多项。



魏月华, 华中科技大学硕士毕业; 现就职于中兴通讯股份有限公司, 任主任工程师; 现从事电信级以太网标准和技术研究, 参与IEEE 802.1标准化工作; 已发表学术论文2篇。



邵宏, 哈尔滨工业大学硕士毕业; 现就职于中兴通讯股份有限公司, 任有线院院长助理; 现从事有线技术领域的研究和ITU、IETF、IEEE标准工作, 方向包括以太网、互联网、分组传送和接入技术; 已发表学术论文4篇。

分组通信网的同步与定时技术

3

王文鼎, 王斌, 糜正琨

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

[编者按] 分组通信网同步与定时, 其技术需求源于分组网与传统通信网的互连互通, 是分组网承载电路仿真业务和实时型业务的前提条件, 是移动回传网、音视频桥和无线传感网等应用的关键技术之一。无线分组网的定时与同步, 面向无线传感网和物联网的控制与应用, 具有广阔的发展前景。本讲座从技术发展、有线和无线环境3个方面, 分期论述分组网同步与定时技术: 第1讲概要介绍同步与定时的技术概念、需求和现状, 第2讲着重讨论以太网为的同步技术标准, 第3讲对无线分组网的同步算法及性能进行综述和介绍。

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0062-03

8 无线传感网的同步技术

从原理上讲, 有线分组通信网采用的同步技术, 都可以自然地延用到无线分组通信网, 包括无线传感网。但在实际中, 无线分组通信系统通常对能耗非常敏感, 使得基于专用信号链路和不计带宽限制的同步技术, 在无线环境下可能不再适用。而无线信道的广播特性, 则为同步信号和定时信息的传递, 提供了一种独有的技术手段。无线传感网应用的广泛性, 又决定了同步与定时的性能指标要求, 存在较大的可变范围。因此, 无线传感网的同步技术具有多样性的特点, 标准化也不是一个十分迫切的问题。

8.1 运用时标参照广播的同步技术

早在2002年, 研究人员就针对无线传感网的同步需求提出了名为“参照广播同步”(RBS)的方法。所谓参照, 是指一个起信号作用的脉冲或分组, 用做为同步处理的参考。与常规同步方法不同的是, RBS存在一个中心节点, 该节点发送同步定时分组的目的只是为需要同步的节点提供一

个对时参照, 中心节点本身不参与时间同步。

图1是RBS同步过程的简要说明, 中心节点(C)周期性地向其他节点(比如A和B)发出参照广播, 接收到该参照的节点记录下相应的本地时间。

具体实现时, 时标参照的广播可借助地址解析协议(ARP)分组或无线局域网(WLAN)中请求发送/清除发送(RTS/CTS)帧的传送, 以节省同步信号的传输开销。而对于接收过程的抖动, 则可采用较为简单的线性回归算法进行处理和过滤^[1]。

8.2 传感网定时同步协议

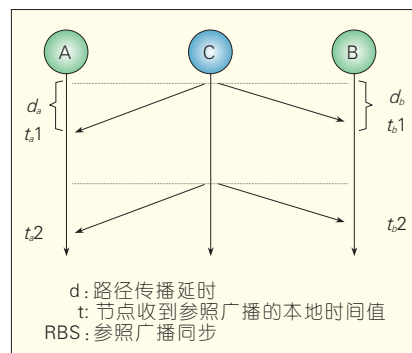
针对可扩展性的要求, 研究人员延用网络时间协议(NTP)双向校时方法设计出传感网定时同步技术(TPSN), 以实现全网与真实时间同步的目标^[2]。TPSN的同步, 包括树型同步结构建立和同步操作两个阶段。树型同步结构的根节点, 等级为0, 在网络部署之初人为指定。

图2是TPSN同步生成树建立的过程。其中, 圆内数值表示节点等级。节点A为根, 节点B发出的1级

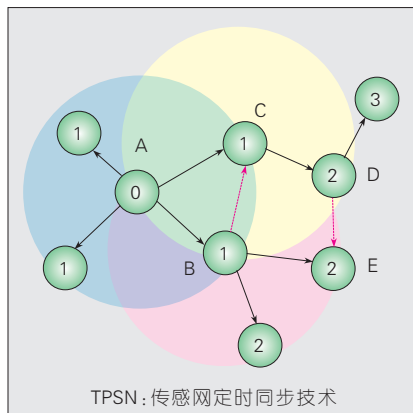
广播通告被C丢弃, 节点D发出的2级广播通告被E丢失。

在树型结构建立阶段, 根节点通过特定分组通告邻近节点, 以确定等级为1的节点。而等级为1的节点, 继续向外围节点通告, 以确定等级为2的节点。如此扩散到全部可达节点, 如图2所示。已确定等级的节点不再接受通告, 以避免同步循环。

在同步操作阶段, 首先由根节点广播时间同步分组, 所有等级为1的节点等待一个独立的随机时间, 再向根节点发出延时测量请求, 并由根节点给出应答。其间, 采用了与NTP类似的时戳传递和延时计算方法, 由1级节点调整本地时钟并同步到0级



▲图1 RBS 中时标参照广播的示意过程



▲图2 TPSN同步生成树建立的示意过程

节点。

8.3 基于延时测量的时间同步

为继承RBS单向同步优点,克服TPSN的灵活性缺点,人们又设计了基于单向延时估测的时间同步方法(DMTS)^[3]。在DMTS中,主时钟节点向外广播时标,接收节点测出传输延时并将其与主节点时标之和用于设置本地时间。

图3是DTMS的同步分组收发时序示意图,其中假定信道传输延时小到可以忽略。因此,接收节点同步的目标时间为 $t_r = t + (t_r - t_i) + n\tau$,其中, t 为物理层发送前导的时间, t_i 为物理层开始接收前导的时间, n 为前导的码长, τ 为单位码的发送时间。对于一个特定协议(比如WLAN), $n\tau$ 是一个固定值。由图3可见,DTMS的精度主要取决于 t_r 和 t_i 的测量准确度。

DTMS的一次同步操作,所有邻近节点都可以完成同步,因而整个同步区具有较好的节电性能。对于多跳网络,在选取等级为0的主钟后,所有邻近节点等级自动取1,这些1级节点采用相同广播和同步方法,以便外围2级节点达到同步。最终,网内全部节点均同步到0级主时钟。

DTMS避免了同步回路,但他的最大弱点是同步精度相对较低。

8.4 其他同步方法

概率性时钟同步(PCS),在RBS的

基础上采用误差概率预测的方法来过滤时戳本身的偏差^[4]。

时间同步洪泛协议(FTSP),在TPSN的基础上,引入了RBS的线性回归方法来过滤主时钟漂移对同步性能的影响,引入了动态根节点选取方法来提高同步等级树的灵活性^[5]。在等级树建立时,或节点发生故障时,或新节点加入时,FTSP的节点会周期性地发出通告广播以告知其节点标志。节点间相互比较标志,其值较大者成为根。

此外,针对同步树构造和抖动或漂移的补偿,研究人员又提出了为数众多的各种无线传感网同步方案,包括时间扩散同步协议(TDP)^[6]、小型/微型同步(TS/MS)^[7]和基于反馈控制的同步(FBS)^[8]等。但上述技术方案,都忽略了信道传播延时对同步性能的影响,同步性能难以达到亚微秒级。

9 PTP在无线分组网的应用

对于30 m长的无线信道,其信号传播延时约为100 ns。因此,如果无线节点频繁移动,并导致信号传播路径的变化超过30 m、抖动大于100 ns,则现有无线传感网同步技术的平均时钟偏差不易稳定在100 ns之内。

为以太网环境设计的精确定时协议(PTP),通过在物理层到媒体访问控制(MAC)层之间探测双向传播延时,并用于补偿时间偏差的计算,易于实现亚微秒级同步性能。

9.1 基于硬件时戳的PTP应用

H. Cho等人提出将PTP应用于Zigbee节点同步的技术方案^[9],如图4

所示。在图4中,主时钟通过以太网和PTP网关连接到Zigbee无线传感网内的从时钟。PTP网关根据消息长度,在无线传感网一侧完成分组拆装和中继。主时钟和从时钟按PTP要求从媒质无关接口(MII)读取时戳,并由从时钟对本地时钟进行校准。为获得高精度同步性能,从时钟采用了具有温度补偿功能的晶振作为本地时钟信号源。

文献[8]报道,针对图4的配置,并由500次实验测试得到,从时钟的平均偏差为19.3 ns,最大偏差小于160 ns,标准偏差小于54.67 ns,优于上文介绍的无线传感网同步方案。

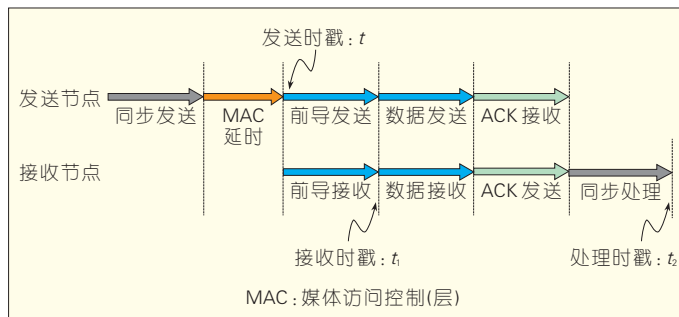
9.2 基于软件时戳的PTP应用

2010年,A. Mahmood提出了一个无需硬件支持的PTP应用于WLAN同步方案^[9],如图5所示,并对同步性能进行实验测试。实验中,时戳值取自于网络驱动软件所提供的、符合IEEE 802.11规范的MAC管理实体高层同步原语(MLME-HL-SYNC),以避免MII读取时戳所涉及的硬件变更。实验室环境下,无其他业务分组干扰时,从时钟的平均偏差为397 ns,标准偏差为3.17 μ s;有其他业务流量争用信道时,从时钟的平均偏差为529 ns,标准偏差为5.27 μ s。相比于本文第8节介绍的同步技术方案,仍有较好的同步性能。

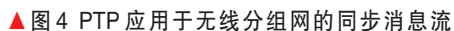
10 结束语

近年来,分组通信网的同步与定时,成为网络融合和业务融合发展的一个重要支撑技术,也是技术研究和

图3 DMTS的分组收发时序示意过程



接收时戳



应用标准重点关注的问题之一。本讲座对分组网同步与定时的技术需求、发展过程、实现方案、性能特点和相关标准进行了较为全面的综述,涵盖同步与定时的基本概念和性能指标,相对成熟的NTP、PTP同步协议,以及同步以太网和无线传感网等分组网的同步方法。目前,以分组技术为基础的骨干通信网和位于网络边缘的无线分组网,其同步与定时的技术方案、关键算法和协议标准,有待进一步深入研究。

(续完)

[1] ELSON J, GIROD L, ESTRIN D. Fine-Grained Network Time Synchronization Using

- Reference Broadcasts[C]// Proceedings of the 5th USENIX Symposium on Operation Systems Design and Implementation (OSDI' 02), Dec 9–11, 2002, Boston, MA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2002: 147–153.
- [2] GANERIVAL S, KUMAR R, SRIVASTAVA M B. Timing–sync Protocol for Sensor Networks [C]//Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '03), Nov 5–7, 2003, Los Angeles, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2003:138–149.
- [3] PING S. Delay Measurement Time Synchronization for Wireless Sensor Networks, IRB–TR–03–013 [R]. Berkeley, CA, USA: Intel Research Berkeley Lab, 2003.
- [4] PALCHAUDHURI S, SAHA A, JOHNSON D B. Probabilistic Clock Synchronization Service in Sensor Networks, TR 03–418 [R]. Houston, TX, USA: Rice University, 2003.
- [5] MARÓTI M, KUSY B, SIMON G, et al. The Flooding Time Synchronization Protocol[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor



Systems (SenSys'04), Nov 3–5, 2004, Baltimore, MD, USA. New York, NY, USA: ACM, 2004: 39–49.

- [6] SU W, AKYILDIZ I F. Time-Diffusion Synchronization Protocol for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2005, 13(2):384-397.
- [7] SICHITIU M L, VEERARITTIPHAN C. Simple, Accurate Time Synchronization for Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of the 2003 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '03):Vol 2, Mar 16-20,2003, New Orleans, LA, USA. New York,NY, USA: IEEE, 2003: 1266-1273.
- [8] CHO H, JUNG J, BONGRAE CHO B, et al. Precision Time Synchronization Using IEEE 1588 for Wireless Sensor Networks[C]// Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering(CSE'09), Aug 29-31, 2009, Vancouver, Canada.Los Alamitos,CA, USA: IEEE Computer Society,2009: 579-586.
- [9] MAHMOOD A, GADERER G, LOSCHMIDT P. Clock Synchronization in Wireless LANs Without Hardware Support[C]// Proceedings of the 8th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS '10), May 18-21, 2010, Nancy, France. Piscataway,NJ, USA: IEEE, 2010: 75-78.

收稿日期:2011-03-20

作者简介



王文龢,南京邮电大学教授,南京大学博士毕业;现从事新一代网络技术方面的教学与科研工作;公开发表的学术论文超过 50 篇,近 30 篇被 SCI/EI 检索。



王斌,南京邮电大学副教授,北京邮电大学博士毕业;现从事低轨道卫星通信、LTE移动通信、电信级以太网保护和高性能交换等方面的教学和科研工作;公开发表论文12篇,其中5篇被SCI/EI检索,申请国内发明专利31项,申请国外发明专利8项。



糜正琨，南京邮电大学教授、博导；目前主要研究方向为下一代网络技术和异构网络融合技术；曾获江苏省科技进步二等奖一项，信息产业部科技进步二等奖和三等奖各一项；已发表 SCI、EI 收录论文 40 余篇，出版专著和国家级教材 8 部，申请国家发明专利 4 项。