



智能交通自组网的设计与实现^{*}

余 聪, 秦华标, 邓洪波

(华南理工大学电子与信息学院 广州 510640)

摘 要:提出了一种智能交通自组网的实现方案,该方案采用适应于车辆移动环境的 IEEE 802.11p 标准,改进车载自组网路由协议,并基于该网络架构实现车辆交通感知与全方位导航等应用。测试结果表明,基于该方案的智能交通自组网的网络性能满足车载通信的要求。

关键词: IEEE 802.11p; 车载自组网路由协议; 车辆交通感知; 全方位导航系统

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.08.020

Design and Implementation of the Intelligent Transportation VANET

Yu Cong, Qin Huabiao, Deng Hongbo

(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: An implementation of the intelligent transportation VANET was presented. The implementation adopted IEEE 802.11p communication standard which was adapted to the environment of vehicular traffic, improved the routing protocol for VANET. Based on this VANET, two applications, intelligisense of traffic condition and comprehensive navigation system, were realized. Test results show that the network performance of this implementation could satisfy the requirement of VANET.

Key words: IEEE 802.11p, routing protocol for VANET, intelligisense of traffic condition, comprehensive navigation system

1 引言

交通事故是全世界关注的公共安全问题,每年大量交通事故给社会和个人造成了巨大损失。在这个背景下,智能交通系统(intelligent transport system, ITS)应运而生。智能交通自组网作为 ITS 的一个非常重要的组成部分,是物联网在车辆交通领域的一个重大应用^[1]。它充分利用模式识别、无线通信、自组织网络等先进技术,实现车辆对道路交通状况的智能感知与人、车、路三位一体互联互通,在交通安全、智能驾驶以及娱乐、商业等方面的应用具有极大的发展潜力。

智能交通自组网能否投入实际应用,技术方面的关键在于网络层的车载自组网路由协议以及网络层以下的无

线传输通信标准所决定的网络性能。在车载自组网路由协议方面,虽然其理论仿真取得了许多建设性发展^[2],但在实际实现中基本处于起步阶段。近年来 IEEE 工作组一直致力于车辆通信标准 IEEE 1609 协议族的制定工作,虽然其中的 IEEE 1609.3 考虑了网络层的设计并提供了 IPv6 对 IPv4 的替代方案^[3],但并没有定义车辆间的自组织路由协议,而是保留了这个问题的开放性。在无线传输通信标准方面,目前许多自组网系统普遍基于 IEEE 802.11 (Wi-Fi) 标准和 UTRA-TDD (TD-SCDMA) 技术^[4],例如 CarTalk 与 FleetNet 项目采用了 UTRA-TDD 技术,C2C 联盟则主张使用改进后的 IEEE 802.11b 技术。新近制定的 DSRC(dedicated short range communication)协议是专门应

^{*} 粤港关键领域重点突破基金资助项目(No.2011A011305001),广州市科技计划基金资助项目(No.11C42080686)



用于车辆之间、车辆与路边设施之间的无线通信技术,其底层标准是 IEEE 802.11p, DSRC 已经在不停车自动收费 (electronic fee collection, EFC) 领域实现应用^[5], 它在其他领域上的发展同样也具有极大的空间。本文就上述智能交通自组网中各个重要技术的发展情况, 提出了基于 IEEE 802.11p 通信标准和更适应车载环境的改进路由协议之上的智能交通自组网的构想和具体实现方案。

基于智能交通自组网, 许多针对交通安全的应用得以实现。车辆节点可以通过车载设备感知周围的环境信息以及自身的信息如驾驶员的状态、车辆的行驶动作等, 并利用智能交通自组网所构建的网络进行信息的资源共享, 从而辅助驾驶员做出高效、安全的行车决策。据此, 本文在提出的智能交通自组网方案上实现了车辆交通感知和全方位导航等应用。

2 整体系统

为了实现交通信息共享, 解决交通安全问题, 本文所述的智能交通自组网中每个车辆节点的终端总体框架如图 1 所示。车辆节点终端应用层的数据通过 socket(套接字)递交给底层的网络协议栈、链路层和物理层并转发出去, 而网络中其他节点发送过来的数据则依次通过物理层、链路层和网络协议栈的相应处理后传递到应用层中, 实现数据信息的发送与接收。其中, 网络协议栈具有 TCP/IP 的处理流程, 实现传统的 C/S 模式, 也具有车载自组网路由协议的处理流程, 实现自组网中所有节点既是收发节点又是中继节点的模式。同时, 终端在车载自组网网络协议栈的底层相应地采用了更适合于车辆移动环境的 IEEE 802.11p 标准的通信网卡以及驱动程序。两种不同的通信协议使得车辆节点终端可以同时工作在不同的网络中, 实现异构网络的无缝交互。

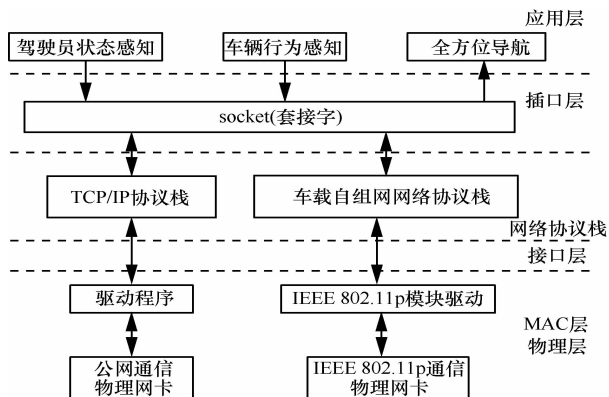


图 1 智能交通自组网中车辆节点终端总体框架

应用层方面, 驾驶员状态感知模块对驾驶员进行疲劳检测, 获得其驾驶状态; 而车辆行为感知模块则判断车辆是否做出危险动作; 这些信息可以通过车载自组网网络协议栈发送给自组网中的相关车辆, 也可以通过 TCP/IP 协议栈发送到处于服务端地位的交通控制中心。全方位导航模块将车辆本身以及车辆通过自组网感知到的邻近节点显示在内置的电子地图上, 实现新型导航功能。

3 方案设计与实现

3.1 物理层与 MAC 层

本文的智能交通自组网方案在物理层与链路层上采用的是 IEEE 802.11p 标准。由于进行了多项针对汽车这种特殊环境的改进, 如更先进的热点切换、更好的移动环境支持、减去部分握手协议形成的快速数据交换能力等, 使得 IEEE 802.11p 标准相对于其他无线通信标准 (如 Wi-Fi、WiMAX) 而言, 更适合在车载自组网环境中使用^[6]。

在应用于车辆交通的智能交通自组网中, 需要传递的信息有优先级高低之分。普通 IP 数据业务的紧要性要求不是很高, 可缓存发送, 而高优先级的信息, 如本文提出的预警信息, 驾驶员处于疲劳状态、车辆做出危险动作等, 应优先接入信道并转发, 以满足高速移动环境中信息的实时性要求。

针对不同的信息服务要求, IEEE 1609.4 作为 IEEE 802.11p MAC 层的补充, 在其基础上定义了多信道操作, 从而充分利用了 DSRC 定义的 75 MHz 带宽, 使不同的服务位于不同的信道上, 大大改善了智能交通自组网中数据传输的时延, 增加了系统的吞吐量。多信道机制的信道分配如图 2 所示, 75 MHz 带宽中除了在 5.850~5.855 GHz 留下安全空白区外, 高频段的 70 MHz 被分为 7 个信道, 其中, CH178 是控制信道, 主要负责信道配置、传输协议控制报文和实时性要求高的报文, CH172 和 CH184 是特殊服务信道, 其他 4 个信道是普通服务信道。

本文中关于预警信息的两个应用实例拟工作在控制信道 CH178 中。CH178 不仅专门用于传输实时性要求高的报文, 同时它的传输功率相对另外 6 个信道是最高的。当本文所述的智能交通自组网中的车辆节点进入彼此的通信范围后, 由于都工作在相同信道上, 也就是说都对该信道的服务感兴趣, 并且 IEEE 802.11p 标准中减去了请求应答所形成的握手协议部分, 所以节点可以即刻建立连接并传递信息, 无需经过信道扫描、关联、认证等步骤, 保证预警信息的实时性。

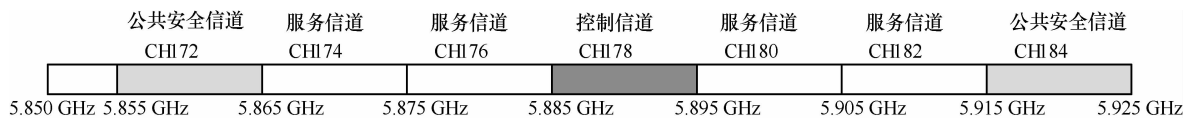


图2 IEEE 802.11p 信道分配

3.2 网络层

网络层的车载自组网路由协议使得组成智能交通自组网的所有车辆以及路边设施作为通信节点,不依赖于预设的基础设施,既可以作为收发终端,又可以作为路由中继;节点能够与在其通信范围内的节点进行直接通信,与不在其通信范围内的节点通过其他节点的中转实现多跳通信。

车载自组网中,无线信道质量不稳定、车辆移动速度快、网络拓扑变化频繁、交通灯以及路段车辆密度等因素,容易引起网络被分割,这些特点使得传统的先应式路由协议(如 DSDV、WAP、OSLR 等)的工作性能并不理想,而反应式的按需多跳路由协议在数据需要传输的时候才建立路由,无需维护全局的拓扑信息,极大地降低了网络负载。

针对车载网络环境的特点,系统对原有的按需多跳路由进行改进,采用了基于链路预测生存时间的按需多跳路由(link lifetime prediction Ad Hoc on demand routing, LLPODR)协议,协议利用车辆节点的位置和速度矢量信息估算链路的生存时间,从而选择一条链路质量最好的路径进行信息传输,以适应网络节点的高速移动性,提高分组投递率。其中,按需多跳路由^[7]的基本原理为:当源节点需要发送数据时,如果路由表中没有到达目的节点的有效路由,源节点会广播 RREQ 报文进行路由寻找;中间节点接收到 RREQ,首先建立到达源节点的反向路由,如果存在到达目的节点的有效路由,则会通过反向路由回复 RREP 报文通知源节点,如果不存在,则继续广播 RREQ;目的节点接收到 RREQ,建立到达源节点的反向路由,并回复 RREP;中间节点根据之前建立的反向路由进行 RREP 的转发;源节点接收到 RREP 时,完成路由建立,开始发送数据。其原理如图 3 所示。

链路指的是数据从源节点传递到目的节点所经过的一系列节点形成的通信路径,而该链路的生存时间是由这一系列通信节点中一对连接维持时间最短的相邻节点的维持时间所决定的。利用相邻节点间的位置和相对速度矢量信息可以预测链路中任意一对相邻节点的连接维持时间,从而预测该链路的生存时间。在系统采用的 LLPODR 协议中,RREQ 报文中增加了一个保存预测时间的域,当 RREQ 经过中间节点时,会获得上游节点与该中间节点的连接维持时间,RREQ 将其保存在预测时间的域中,然后

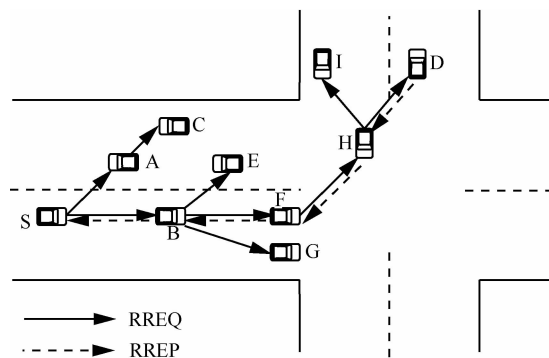


图3 按需协议路由发现机制原理

继续广播出去,如果在下一跳节点中获得的连接维持时间比 RREQ 报文中保存的预测时间更短,则更新其预测时间的域并继续广播。当目的节点接收到来自不同邻居节点的 RREQ 时,都进行 RREP 的回复,源节点在一定时间内接收到来自同一个目的节点的不同 RREP,通过对预测时间域中所保存时间的比较,选择生存时间最长的链路进行数据的转发,从而提高数据传输率。

3.3 应用层

基于本文所述的智能交通自组网,系统实现了车辆交通感知以及全方位导航系统。其中,车辆交通感知通过车载设备,如加速度传感器、摄像头等以及相应的检测程序捕获车辆行为以及驾驶员状态,当判断出车辆做出如突然的加速、刹车、大角度的转弯等危险动作或者其驾驶员处于疲劳状态时,则将相应的预警信息通过智能交通自组网广播出去。全方位导航内置相应城市的电子地图,并通过智能交通自组网进行区域性的自身位置信息广播。处于自组网中的车辆节点终端接收到这些广播信息后,其地图不仅能够显示本车的位置情况,同时也将广播这些信息的对应邻近车辆显示出来。图 4 为全方位导航的电子地图界面。其中,邻近车辆因为做出危险动作或者其驾驶员处于疲劳状态而广播预警信息,这时接收到预警信息的车辆节点在其电子地图上将这个危险车辆标识为红色,如图 4 中圆圈所标识的车辆。

4 系统测试结果

在搭建系统进行实际测试之前,首先在仿真平台 NS2



图4 全方位导航电子地图

上进行路由协议的验证比较。从图5可以看出,进行改进的LLPODR协议比传统的移动自组网路由协议AODV在分组投递率方面具有更好的性能。因为在更顽健的链路中进行数据的传输,可以大大地减少分组丢失情况的发生。

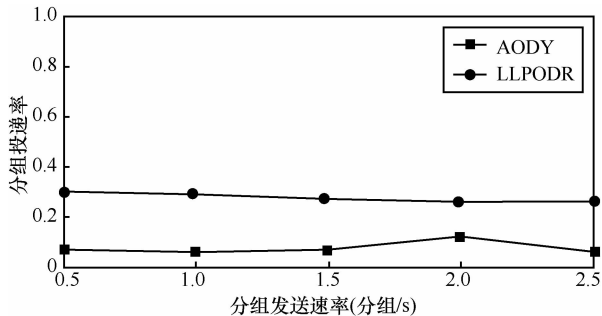


图5 LLPODR与AODV在分组投递率上的性能比较

实际测试中,在5个车辆节点上搭建了终端平台。每个终端平台在启动并初始化时,会将其自身的网络标识设置为“ITS”,并调节其通信网卡的工作频率为5.89 GHz(控制信道CH178的中心频率),从而自动完成了通信网卡以及底层系统为IEEE 802.11p工作标准的设置,如图6所示。之后终端会守候在5.89 GHz对应的信道上直接进行网络搜索。当搜索到“ITS”时,说明已经有其他车辆节点建立了这个网络,也就是开启了这个服务,则完成与其他车辆的自组织网络的组网。

使用网络测试工具Iperf对节点之间的多跳通信性能进行测试。通过Iperf设置5个车辆节点中的一个为服务端,一个为客户端,利用客户端向服务端发送数据,从而获得无线信道中客户端的发送速率、时延抖动、分组丢失率等网络性能信息。表1为节点间进行UDP通信的测试结果。结果表明,分组丢失率极低,满足车载环境进行多跳数据传输的要求。

```
root@eclab-desktop:~# iwconfig
lo                no wireless extensions.

eth0              no wireless extensions.
wmaster0          no wireless extensions.

wlan0             IEEE 802.11p  ESSID:"ITS"
                  Mode:Ad-Hoc  Frequency:5.89 GHz Cell:Not-Associated
                  Tx-Power=27 dBm
                  Retry long limit:7  RTS thr:off  Fragment thr:off
                  Encryption key:off
                  Power Management: off
                  Link Quality:0  Signal level:0  Noise level:0
                  Rx invalid nwid:0  Rx invalid crypt:0  Rx invalid frag:0
                  Tx excessive retries:0  Invalid misc:0  Missed beacon:0
```

图6 配置IEEE 802.11p标准

表1 节点间UDP性能测试结果

客户端测试带宽	客户端实际发送速率(Mbit/s)	时延抖动(ms)	分组丢失率
3 Mbit/s	3.00	0.012	0
4.5 Mbit/s	4.50	0.006	0
6 Mbit/s	6.00	0.005	0.56%
9 Mbit/s	9.00	0.018	2.9%

5 结束语

本文提出的智能交通自组网实现方案中,采用了不依赖预设基础设施的自组织网络技术以及专门应用于车辆移动环境的IEEE 802.11p底层标准,具有快速组网、自愈能力强、更适应车辆节点快速移动、多跳方式下更高的数据传递成功率等优点。同时系统在该智能交通自组网中实现了车辆交通感知和全方位导航等安全应用,为ITS的发展做出了贡献。

参考文献

- 刘小洋,伍民友.车联网:物联网在城市交通网络中的应用.计算机应用,2011,32(4):900~904
- 刘峥,向勇,孙卫真.车载自组网单播路由协议对比分析.计算机工程与设计,2011,32(11):3622~3628
- Khaled Y, Jemaa I B, Tsukada M, et al. Application of IPv6 multicast to VANET. Proceedings of IEEE the 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST), Lille, France, 2009: 198~205
- 杨琼,沈连丰.车载自组织网络的体系结构和通信协议研究.中兴通讯技术,2011,17(3):9~11
- 刘宗臻,卢元元,陈秋和.基于DSRC协议的ETC应用研究与实现.计算机工程,2012,38(21):241~244
- 范庆彬,孙健淞,牟红光.DSRC技术及其通信机制的研究.电信科学,2010(8):99~101
- Perkins C E, Royer E M, Das S R. Ad Hoc on demand distance vector (AODV) routing. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-06.txt>, 2000



表 3 智能化技术及实现

分析功能	针对域的分析应用程序; 数学模型的应用程序; 绩效指示板和关键绩效指标
业务优化	用于实现优化的模型业务流程; 优化技术的应用程序; 优化资产使用情况并简化业务流程; 改善操作逻辑和业务规则
业务流程服务	事件驱动 SOA 流程; 动态传感和响应; 企业应用程序集成

5 结束语

当前阶段,随着物联网、云计算等新一代信息技术的创新发展,以透彻感知、深度互联、智能应用为特点的智慧城市成为城市信息化的趋势和新的愿景。智慧城市的数据源及采集获取、数据管理与存储、分析功能和业务应用等技术有别于传统的信息化城市,是更高层次的城市信息化发展阶段。

智慧化是一个循序渐进的技术进步过程,信息技术的不断推陈出新奠定了智慧城市的基础。总的来说,城市智慧化的关键在于新一代信息与通信技术的突破及其渗透应用,主要体现在物联化、互联化和智能化 3 个层面。物联化通过基于传感器的系统将可见性扩展到实际运输、公用事业、水资源和城市建筑等领域中,提供以前无法利用的新的实时数据源;物联化运用事件处理软件从原始传感器输入流中导出和业务相关的事件,集成中间件将这些数据带入所需情景中,实现对运营系统实际行为的洞察;智能化借助于数学算法和统计工具处理复杂的数据分析、汇总和计算,执行结果预测、场景建模和模拟,使决策过程更加科学。本文为我国智慧城市建设提供了技术路径参考。

参考文献

- 1 许庆瑞,吴志岩,陈力田. 智慧城市的愿景与架构. 管理工程

学报, 2012, 26(4): 1~6

- 2 张秋文,王乘,张勇传等. 数字城市整体构架与关键技术. 华中科技大学学报, 2001, 29(7): 13~15
- 3 郑龙,郑敏,喻晓峰等. 虚拟城市可视化的研究与实现. 计算机仿真, 2006, 23(10):185~188
- 4 Kashiwagi H. The information city as management apparatus. Japan Forum, 2011, 23(2): 263~271
- 5 Chen S, Choi C J. Creating a knowledge-based city: the example of Hsinchu science park. Journal of Knowledge Management, 2004, 8(5): 73~82
- 6 Deakin M, Waer H A. From intelligent to smart cities. Intelligent Buildings International, 2011, 3(3): 140~152
- 7 Kanter R M, Litow S S. Informed and interconnected: a manifesto for smarter cities. Harvard Business School Working Paper, 2009
- 8 Centre of Regional Science (SRF). Vienna University of Technology. Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities, 2007
- 9 Smart cities transforming the 21st century city via the creative use of technology. http://www.arup.com/~media/Files/PDF/Publications/Research_and_whitepapers/Arup_SmartCities_June_2011.ashx
- 10 IBM. 智慧的城市在中国. http://www-900.ibm.com/innovation/cn/cities/pdf/white_paper_0924.pdf
- 11 李德仁. 从数字城市到智慧城市. 中国建设信息, 2011(12): 10~12
- 12 宋刚,郭伦. 创新 2.0 视野下的智慧城市. 城市发展研究, 2012, 19(9): 53~60

[作者简介]



徐静,女,北京大学博士后,主要研究方向为物联网与智慧城市等。

(收稿日期:2013-05-13)

(上接第 122 页)

[作者简介]



余聪,男,华南理工大学硕士研究生,主要研究方向为车载自组网。

秦华标,男,博士,华南理工大学教授,主要研究方向为智能信息处理、嵌入式系统与无线通信、SOC 设计。

邓洪波,男,华南理工大学电子与信息学院实验中心主任、高级实验师,主要从事高频电路和数字系统研究及实验室管理工作。

(收稿日期:2013-06-25)