

WAVE/WiMAX 混合车载自组网路由研究

白翔宇¹, 李钢小¹, 李 军², 王淑芳¹

(1 内蒙古大学 计算机学院, 内蒙古 呼和浩特 010021; 2 中国科学院 计算技术研究所, 北京 100190)

摘 要: 提出一种混合网络中节点密度自适应的路由协议, 能够实现全网各条道路上实时车流的估算, 并根据节点密度自适应地选择 WiMAX 或 WAVE 网络发送数据包, 同时动态生成数据包转发的源路由。仿真实验表明, 协议的数据包递送成功率有较大幅度提高, 端到端平均递送延迟较小, 并且 WiMAX 开销增长较小。

关键词: 车载自组网; WAVE; WiMAX; 路由; 混合网络

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)11-0107-05

VANET Routing on the Use of WAVE/WiMAX Hybrid

BAI Xiang-yu¹, LI Gang-xiao¹, LI Jun^{1,2}, WANG Shu-fang¹

(1 College of Computer Science, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China;

2 Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: A adaptive routing protocol for hybrid VANET with vehicle density aware is proposed, which can achieve real-time traffic estimation in whole network, select WiMAX or WAVE network to send data packets according to the node density adaptively and build source routing. The simulations indicate the packet delivery is tremendously improved and the average delay decreases in the case of smaller growth of the WiMAX cost.

Key words: vehicular Ad Hoc networks; WAVE; WiMAX; routing; hybrid network

1 引言

车载自组网 (Vehicular Ad Hoc Networks, VANET) 是未来智能交通系统重要的组成部分, 专门设计用于车辆的信息发布与数据交换。车载自组网中, 道路上的车辆与车辆之间、车辆与路边设施之间相互通信, 可在不依赖于基础网络设施的情况下, 动态地形成自组织网络结构。节点 (即车辆或路边设施) 利用其无线通信设备交互信息, 当通信对端节点不在彼此的无线信号覆盖范围之内时, 通过车辆间的中继转发进行数据包的多跳传递, 从而实现信息共享, 为车辆驾驶和旅客出行提供服务, 包括碰撞预警、辅助驾驶、交通信息发布、应急救援通信、乘客办公娱乐等^[1]。

车载自组网通信标准的制定得到了工业发达国

家和国际标准化组织的大力支持。其中, 车用环境无线访问标准 WAVE (Wireless Access in the Vehicular Environment)^[2] 备受关注, 其选择 802.11a 作为基础通信技术, 经修改后推出适用于车辆通信环境的标准草案 802.11p, 有望被作为国际标准采纳。同时, 以 WiMAX (即 802.16)^[3] 为典型代表的无线城域网 (Wireless Metropolitan Area Network, WMAN) 技术, 近几年也被移动设备广泛支持, 成为移动宽带数据业务发展的重要方向。在车辆节点上同时支持 WAVE 与 WiMAX 等多种通信接口, 融合不同无线网络技术的优势, 根据智能交通应用的特点和网络的状态来选择采用合适的信道实现数据的传输, 以满足不同应用的需求, 将成为未来 VANET 发展的一种趋势。

但值得注意的是, 802.11p 是一种无线局域网

(Wireless Local Area Network, WLAN)技术,车辆节点以 Ad Hoc 方式组网,工作在非授权频段,数据通信免费,可支持 3~5 公里以内的节点间通信,数据传输率较高;而 802.16 是一种城域网基础设施,车辆节点工作前需连接到覆盖网络中,并向运营商付费,数据传输率相对较低。同时,相对于传统的移动自组网而言,车载自组网节点移动快、拓扑变化频繁、节点在不同时间和区域分布差异很大,这使得通信链路的维持时间较为短暂、网络具有部分连接和间歇连接性。如何高效地在车辆间进行数据包转发,是各种应用实现的关键^[4]。

利用车载自组网提供通信服务的时候,大量应用特别是面向用户的应用中,节点间通信的距离常常超出无线传输范围,需要依赖路由协议支持以实现中间节点转发。针对车载自组网的特点,融合 WAVE 和 WiMAX 的优势,设计专用、高效的路由协议,适应网络拓扑的快速变化、减小路由成本、避免复杂的路由计算成为路由技术的重点。

现有的 VANET 路由协议针对 802.11p 网络中不同的目的和应用场景,普遍基于地理位置等信息设计各自的路由算法,以满足响应时间、数据率、通信范围等不同要求,但大多并没有考虑多网络混合覆盖的问题^[5]。Doyle 等^[6]讨论了 VANET 网络带宽的不足,提出节点利用 WiMAX 接入 Internet 的基本框架;Batistatos 等^[7]分析了在应急救援场合中,WAVE 和 WiMAX 等技术在移动车辆中融合通信的方式,并讨论了其典型的应用;Vetrivelan 等^[8]分析了 VANET 中多种无线网络融合的可行性,并针对碰撞预警等实时应用提出了解决方案;Faezipour 等^[9]考虑到 VANET 应用的特点与通信成本因素,提出在节点间距离较近且通信区域内节点密度较高时,优先选择 WAVE 作为数据传输的网络,但并没有给出具体的路由协议。

文献[10]中作者提出了路由协议 RTAR(Real-time Traffic Aware Routing),利用 VLS^[11]位置服务所提供的基础位置信息,对各条道路上的车辆数据进行提取和汇总,估算实时的车流交通信息,从而给出一种实时车辆密度自适应的路径选择方法,在 WAVE 网络中可以获得较高的数据包递送率。本文在上述工作的基础上,提出一种 WAVE/WiMAX 混合网络的 VANET 路由协议 RTAR-W2,能够利用实时车流信息,自适应地选择网络类型与路径,利用较低的 WiMAX 开销来提高数据包递送率。

2 路由协议设计

2.1 实时车流信息

在城市环境中,移动的车辆节点具有 WAVE 和 WiMAX 两种无线网络接口,节点利用 WAVE 动态地形成自组织网络,并利用 WiMAX 获得运营商网络接入功能。节点具备 GPS 接收系统,可以获得自身的地理位置坐标及与卫星同步的时钟信号。车载的导航系统能够将车辆的位置信息关联到特定的城市道路。车辆在道路上行驶时周期性地向其临近节点发送 Beacon 消息,报告当前位置、运动方向及速度。节点采用 VLS 作为位置服务协议,在通信前根据目标节点的标识查询其对应的地理位置。

VLS 协议利用电子地图所提供的道路分级信息,选择道路并划分为若干个路段,每个路段的车辆构成服务单元来担任位置服务器。同时,VLS 将网络划分为多个区域,并在每个区域中为各节点基于哈希映射选择对应的位置服务器。每个节点周期性地向其位置服务器发送位置更新报文,其中包括了节点当前的坐标、速度、方向和道路分段标识,并附加了时间戳。VLS 协议中的每个节点在各个区域中选择了相应的位置服务器,并在位置服务器中进行注册,周期性地向这些位置服务器发送更新报文。这样,对于一个区域而言,区域中所有的位置服务器,实际上存放了整个网络中的车辆位置数据。因此,可以提取这些分布在不同的服务器上的数据,将其汇总起来用于估算实时的交通车流量,从而利用实时车流信息来辅助路由选择。这里需要说明的是,为了实现在 WiMAX 网络中的通信,VLS 协议中的位置服务器应在 WiMAX 中进行同步。

为了实现各个网络区域中数据的汇集,对原有的位置服务器进行功能扩展,增加交通信息处理模块,构造成为交通服务器(Traffic Server)。同时,将这些服务器组织为树形结构,称为交通信息树 TI-tree(Traffic Information Tree),TI-tree 树的根节点作为交通信息中心 TIC(Traffic Information Center)。交通信息树中处于叶子节点的交通服务器,周期性地指定的数据汇集时刻向其相邻的父节点交通服务器报告自己所保存的位置信息。当父节点的交通服务器从其各个孩子结点收到了 TS(Traffic Statistic)报文后,更新自身的信息后继续向上级父节点转发,直到报文传递给交通信息树的根节点 TIC。TIC 收到了所有子树的 TS 报文后,对全网的交通流量进行估算,统计所有节点在各个道路分段

上的分布情况,生成最终的交通流量信息发送给所有的交通服务器。源节点在与目标节点通信前,如果没有交通流量信息或者已经陈旧,则向距离自己最近的交通服务器发送 TQ(Traffic Query)报文查询实时车流信息。交通服务器收到 TQ 报文后,将其保存的交通流量库 TD 封装在 TR(Traffic Reply)报文中回复源节点。

2.2 路由选择策略

源节点在发送数据包前,首先在电子地图中定位目标节点所处的道路,然后利用交通流量库进行路由选择。其策略是:为了提高数据包的递送率、降低延迟和通信成本,优先在 WAVE 网络中转发数据包;尽量选择车流密度高的道路,利用道路上分布的节点基于 Ad Hoc 模式来实现数据包的多跳无线转发通信;而当车流密度低、不能直接进行无线转发时,则利用 WiMAX 网络,将数据包传递给运营商网络,由其利用基础网络设施向目标节点转发。

2.2.1 道路可用性评价

城市道路网被看作连通图,源节点、目标节点和各个道路交叉口构成图中的节点,而各条道路构成图中的边。根据交通流量库 TD,对每条道路计算其代价 Cost,评价在道路上进行数据包转发的可用性。代价越小,可用性越高。代价 Cost 的计算方法如式(1)式所示。

$$\text{Cost} = \frac{L}{\text{MAX}\left(\alpha \cdot \sum_{i=1}^k n_i, \frac{\beta}{R}\right)} \quad (1)$$

其中, L 是某条道路的长度, l 是道路分段的大小, $k=L/l$ 表示该道路中所划分的路段的个数, n_i 是各个道路分段上车辆的数目, R 是无线传播距离, α 和 β 是权重因子。对一条道路而言,道路上的车辆密度越高越多,数据包进行转发的几率越大,代价越小。如果车辆间的平均距超过了 R/β ,则认为车辆节点的道路分布密度低于阈值,无法再 WAVE 网络中传输,需使用 WiMAX 网络。

2.2.2 源路由计算

源节点在连通图上,为各条道路即各边标注代价 Cost,并将 Cost 大于 LR/β 的边删除,获得生成图 G。如果在 G 上,源节点与目标节点是非连通的,则需采用 WiMAX 进行数据转发;否则,在图 G 上根据 Dijkstra 算法计算到达目标节点的各项路径中总代价 $\sum \text{Cost}$ 最小的一条,构成由道路相连而成的地理位置源路由。在发送数据包前,将其途径的各个关节点(即数据包传递转向的交叉路口的中心点)的

地理位置信息加入到数据包的头部格式中。数据包将基于位置信息,沿着道路在关节点之间依次传递,最终传递给目标节点。

2.3 协议工作机制

协议 RTAR-W² 的组织结构如图 1 所示。图中矩形代表协议的主要功能模块,箭头连接线绘出了数据处理的主要流程,无箭头连接线表示功能模块与相关内存对象间存在数据访问关系。RTAR-W² 协议通过上层协议接口与各种车载应用交换数据,通过 MAC 层的 WAVE(802.11p)和 WiMAX(802.16)接口实现数据包的发送、接收,协议的主要功能模块包括路由模块、转发模块、交通模块、邻居维护模块、报文生成模块和报文解析模块等。

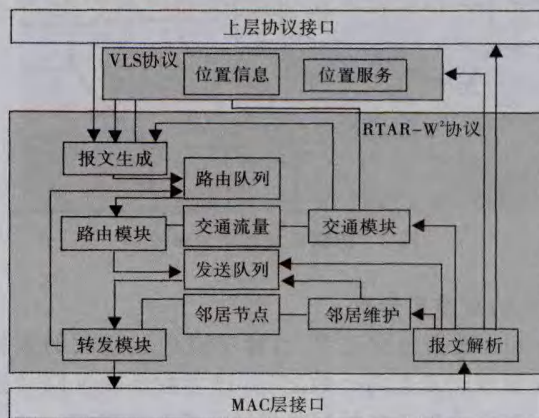


图1 RTAR-W² 协议组织结构图

3 仿真实验与评估

在网络仿真平台 NS-2.31^[12] 的 WAVE/WiMAX 混合网络中实现了路由协议 RTAR-W²,并将其与在 WAVE 和 WiMAX 两种情形下的数据包递送率、平均端到端时延、通信费用开销比较,其中在 WAVE 中使用的路由协议为 RTA^{R[10]}。

3.1 仿真场景设置

为了模拟城市环境下车载自组网的运行,选取 4×4 公里的区域,作为城市路网的原始场景,道路分布如图 2 所示。利用 SUMO^[13] 交通流量仿真工具,构造路网仿真环境,产生节点的运动轨迹。仿真环境中的路网由 27 条城市道路组成,根据地图信息将其分别标注为主干路、次干路和支路,三种道路的总长度约为 68 公里。同时,按照实际交通情况为每条道路设置车道数、最高限速以及道路口的信号灯。车辆节点总数目为 4000,车辆的移动速度在 30~80 公里/小时之间变化,在行驶中根据道路的速度限

制、车辆间距离和信号灯的分布情况进行相应的调整. 对 SUMO 生成的 Trace 文件, 提取时间-节点-位置信息, 作为 NS-2 中的节点坐标输入数据. WAVE 通信采用 802.11 DCF, 传播距离为 250 米; WiMAX 通信采用 NIST 的 NS-2 模块, 全区域覆盖. 应用层通信设置由 20 个任意的源节点随机选择目标节点发送数据包. 在系统运行稳定后, 取 300 秒结果数据, 将其 5 次的平均值作为分析对象.

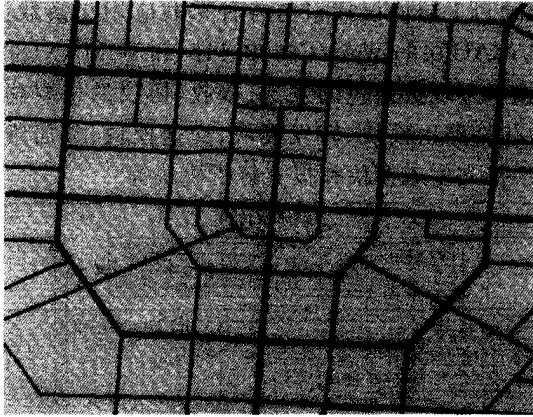


图 2 仿真环境路网分布图

3.2 仿真结果分析

(1) 数据包递送率: 目标节点成功接收的数据包与源节点发送的个数之比, 该参数反映了路径选择对网络中端到端数据包投递准确性的影响.

(2) 平均端到端时延: 目标节点的数据包接收时间与源节点相应的发送时间的平均差值, 该参数包括了数据包从产生到成功接收的所有可能时延, 反映了不同网络和协议对数据包的投递时效性.

(3) WiMAX 开销: 为成功发送一个数据包到达目标节点而使用 WiMAX 网络发送的数据包个数, 反映了在混合网络中的数据包投递费用. 对三种情形下的 WiMAX 通信开销进行比较.

RTAR 协议只使用 WAVE 网络, 其 WiMAX 通信量为 0; 而如果只使用 WiMAX 网络, 为成功发送一个数据包, 需要在 WiMAX 中发送的平均数据包数目为 1.02 个; 在采用 RTAR-W² 时, 当节点密度达到阈值以上时, 大量的数据包由 WAVE 网络转发, 而仅当节点密度较低时, 才是用 WiMAX 网络, 其平均 WiMAX 通信量约为 11% 左右.

从上述仿真实验中, 可以得知 RTAR-W² 在采用了基于节点密度的网络自适应选择后, 能够对网络中局部出现的分割进行自适应的路由调整即选择 WiMAX 网络, 虽然协议增加了少量 WiMAX 网络开销, 但其带来的优点也较为明显, 比仅使用

WAVE 网络提高了数据包递送率, 并使数据包由于携带转发造成的平均时延显著减少. 同时, 与仅使用 WiMAX 网络相比, 在获得相近的数据包递送率与端到端平均时延的情况下, 所产生的通信费用显著较低, 仅为后者的 1/10.

4 结束语

针对城市环境下车载自组网 WAVE 与 WiMAX 混合组网的特点, 提出了一种车辆节点密度自适应的路由协议——RTAR-W², 给出了对道路上车辆节点密度的检测方法和基于车流状况的路由选择方法, 能够根据节点的疏密情况自适应地选择 WiMAX 或 WAVE 网络发送数据包, 并动态生成数据包转发的源路由. 通过城市环境下车载自组网的仿真, 比较了 RTAR-W² 的性能. 实验结果表明, 协议在网络中具有较稳定的性能, 能够检测节点密度并相应选择合适的网络, 与仅使用 WAVE 比较, WAVE/WiMAX 混合网络下的数据包递送成功率较高, 端到端平均时延较小, WiMAX 通信成本增长也限制在较小的范围内, 适合于典型的面向用户类车载应用的需求^[5].

参考文献:

- [1] Toor Y, Mühlethaler P, Laouiti A, et al. Vehicle ad hoc networks: applications and related technical issues [J]. IEEE Communications Surveys, 2008, 10(3):74-88.
- [2] IEEE 1609 family of standards for wireless access in vehicular environments[S]. 2010.
- [3] IEEE standard for local and metropolitan area networks Part 16: air interface for broadband wireless access systems[S]. 2009.
- [4] Hartenstein H, Laberteaux K P. VANET: vehicular applications and inter-networking technologies [M]. Boston: John Wiley and Sons, Ltd, 2010.
- [5] Huang C M, Chen Y S. Telematics communication technologies and vehicular networks: wireless architectures and applications, information science Reference [M]. New York, 2010.
- [6] Doyle N C, Jaber N, Tepe K E. Improvement in vehicular networking efficiency using a new combined WiMAX and DSRC system design[C]// IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing. Canada: Victoria, 2011.
- [7] Batistatos M C, Tsoulos G V, Athanasiadou G E. Mobile telemedicine for moving vehicle scenarios;

- wireless technology options and challenges[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2012, 35(3): 1140-1150.
- [8] Vetrivelan P, Narayanasamy P, John Charlas J C. A multi-constraint real-time vehicular (MCRV) mobility framework for 4G heterogeneous vehicular Ad-Hoc networks[C]// IMECS2012, Hong Kong, 2012.
- [9] Faezipour M, Nourani M, Saeed A, et al. Progress and challenges in intelligent vehicle area networks[J]. Communications of the ACM, 2012, 55(2): 90-100.
- [10] 白翔宇, 叶新铭, 李军. 感知实时车流信息的 VANET 路由仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(2): 429-440.
- [11] Bai X Y, Ye X M, Li j, et al. VLS: a map-based vehicle location service for city environments[C]// IEEE ICC '09. Germany; Dresden, 2009
- [12] The network simulator ns 2. [EB/OL][2012-02-10]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>
- [13] SUMO-Simulation of urban mObility. [EB/OL][2012-01-30]. <http://sumo.sourceforge.net/>

作者简介:



白翔宇 男, (1976—), 博士, 副教授. 研究方向为移动与无线网络、车载自组织网.

(上接第 106 页)

- [4] 周雨霁, 田庆久. EO-1 Hyperion 高光谱数据的质量评价[J]. 地球信息科学, 2008, 10(5): 678-683.
- [5] 张秋爽, 祝民强, 刘碧洪. Hyperion 高光谱遥感数据大气校正方法[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(1): 220-222.
- [6] Das S, Suganthan P N. Differential evolution: a survey of the state-of-the-art[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2011, 15(1): 4-31.
- [7] 苏红军, 杜培军, 盛业华. 高光谱影像波段选择算法研究[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(4): 1093-1096.
- [8] Ferreira C. Gene expression programming: mathematical modeling by an artificial intelligence[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.

作者简介:

李 宠 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为遥感图像处理、数据挖掘.