

VANET-Cellular 环境下安全消息广播中 继选择方法研究

吴黎兵^{1),2)} 刘冰艺^{1),3)} 聂雷¹⁾ 范静¹⁾ 谢永¹⁾

¹⁾(武汉大学计算机学院 武汉 430072)

²⁾(武汉大学软件工程国家重点实验室 武汉 430072)

³⁾(香港城市大学计算机科学系 香港 九龙)

摘 要 当目标区域距离广播源节点过远时,基于机会网络的车联网安全消息广播算法往往造成过高的传输时延,难以保证安全消息的 QoS 需求.广泛部署的蜂窝移动网络为安全消息广播提供了一种新思路.基于 VANET-cellular 网络架构,该文提出了一种安全消息广播中继节点选择方法.通过一种改进的 RTS/CTS 交互,根据候选车辆的蜂窝网络信号强度及其增量、链路稳定度、信道质量、地理位置等参数选出最佳的广播中继节点,并通过该节点将安全消息传递给服务器,最终由服务器传递给目标区域.数值分析和实验仿真结果显示,该方法不过分依赖于车流密度,也不需要额外部署基础设施,同时能够快速、可靠地传递安全消息,减少车载网络中信息冗余,提高了网络资源利用率.

关键词 VANET-cellular;安全消息;广播中继;链路稳定度;网络资源利用率

中图法分类号 TP393 DOI号 10.11897/SP.J.1016.2017.01004

Research on Selection of Safety Message Broadcast Relay in VANET-Cellular

WU Li-Bing^{1),2)} LIU Bing-Yi^{1),3)} NIE Lei¹⁾ FAN Jing¹⁾ XIE Yong¹⁾

¹⁾(School of Computer Science, Wuhan University, Wuhan 430072)

²⁾(State Key Laboratory of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072)

³⁾(Department of Computer Science, City University of Hong Kong, Kowloon, Hong Kong)

Abstract The broadcast of safety message based on opportunistic network always lead to high latency when the target area is far from the source node. In this circumstance, the QoS of the safety message dissemination will have no insurance. The rapid popularity and development of cellular network provides a new method for the broadcast of safety message. Based on the VANET-cellular architecture, a selection method of safety message broadcast relay was proposed by us. We first introduce a relay metric for relay selection by jointly considering cellular signal strength and its variation, link stability, physical-layer channel conditions and geographical locations. Then, using the relay metric, a unique relay vehicle is selected to forward the safety message to server by cellular network. The server will send the safety message to the target area afterward. Simulations and mathematical analysis demonstrate that the proposed method can minimize the broadcast message redundancy, improve the network resource utilization, rapidly and reliably transmit the safety message. What's more, the encouraging results are not excessively dependent on the density of traffic and widely deployment of infrastructures.

Keywords VANET-cellular; safety message; broadcast relay; link stability; network resource utilization

收稿日期:2014-12-28;在线出版日期:2015-07-23.本课题得到国家自然科学基金(61272112,61472287)和中央高校基本科研业务费专项资金(2014211020202)资助.吴黎兵,男,1972年生,博士,教授,中国计算机学会(CCF)会员,主要研究领域为网络管理、无线传感器网络、分布式计算等. E-mail: wu@whu.edu.cn.刘冰艺,男,1990年生,博士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、车联网.聂雷,男,1989年生,博士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、车联网.范静,男,1989年生,博士研究生,主要研究方向为网络管理、分布式计算.谢永,男,1978年生,博士研究生,副教授,主要研究方向为车联网、下一代互联网.

1 引言

车联网指车与车、车与基础设施之间依托无线通信和传感器网络等技术构成的开放式移动网络,通过车、路、人的密切协作来减少和预防交通事故,提高交通安全,改善交通环境,提高路网通行能力;通过为交通参与者提供实时交通信息服务和分析,为交通管理者提供决策支持,减少交通系统的能源消耗;通过车辆间协同控制技术,为驾驶员提供安全服务和控制,提高交通参与者的安全^[1]. 国际电联组织的车联网论坛指出,未来车联网的部署应用可以降低 30%~70% 由交通事故造成的生命财产损失. 美国交通运输部估计,基于专用短程通信(Dedicated Short Range Communications, DSRC)的车辆之间(Vehicle-to-Vehicle, V2V)和车辆与基础设施之间(Vehicle-to-Infrastructure, V2I)的通信可以避免 82% 的事故,挽救成千上万的生命并减少数十亿美元的经济损失.

车联网安全消息主要包括车辆碰撞警告消息、交通事故消息、拥塞程度消息和道路预警消息等. 这类消息的传播关乎生命安全,对传输时延和丢包率的控制有较高的要求^[2-3],是车联网中最具挑战性的一类应用. 然而,车联网环境下要面对各种复杂的交通环境,由于车辆高移动性和快速的拓扑变化,导致节点间链路维持时间短,降低了车辆网络的连通性. 这种低连通率现象在车辆密度低的偏远地区和高速公路尤为普遍,即便是在车辆密度大的城市交通环境下,由于大量建筑物的存在,无线信号密集且干扰强,车辆之间的通信距离比理论通信范围短很多,并且存在严重的广播风暴以及隐藏终端问题. 同时,由于红绿灯的广泛部署,路段上的车辆往往以簇的方式出现,车辆节点无法构成拓扑稳定且完全连通的网络,难以保证车辆网络的连通性. 这些因素的存在大大增加了安全消息的传输时延和丢包率. 而基于机会网络的 V2V 或者 V2I 通信只有节点进入各自传输范围时,通信机会才会出现,安全消息 QoS 需求难以得到保证.

如图 1 所示的 3 个不同场景中,路段 II 上车辆 A 发生交通事故,需要尽快将该安全消息传递给路段 I 上的车辆. 在图 1(a)所示的场景 1 中,由于红绿灯的存在,两波车之间最短距离超过 IEEE802.11p 的最大通信距离 R ,通过携带-转发的方式,安全消息

无法及时传递给路段 I 的车辆. 而在图 1(b)所示的场景 2 中,由于十字路口建筑物对信号的干扰,使得安全消息无法及时传递给路段 I 的车辆. 路段 I 的车辆因无法及时得到安全消息从而大量拥入路段 II,造成了严重交通拥堵发生的可能,远端的车辆更是无法及时得到安全消息,导致不能提前规划最优路径,同时不利于警车和救护车等特殊车辆快速到达现场处理交通事故. 在图 1(c)场景 3 中,车辆 B 和车辆 C 均可以通过蜂窝移动网络连接至 Internet,车辆 A 在发生安全事故后,将安全消息以 V2V 方式传递给车辆 C,然后由车辆 C 上传至服务器,由服务器决策传输给车辆 B,进而传输给路段 I 上的车辆. 通过车辆 B 和 C 充当安全消息中继,相对于传统的 V2V 传输方式,这种结合 V2V 和 V2I 的传输方式无疑提高了全路段的车辆连通率,且传输时延不易受到车辆地理位置的影响. 在车联网环境下如何对安全消息进行高效广播是研究的难点.

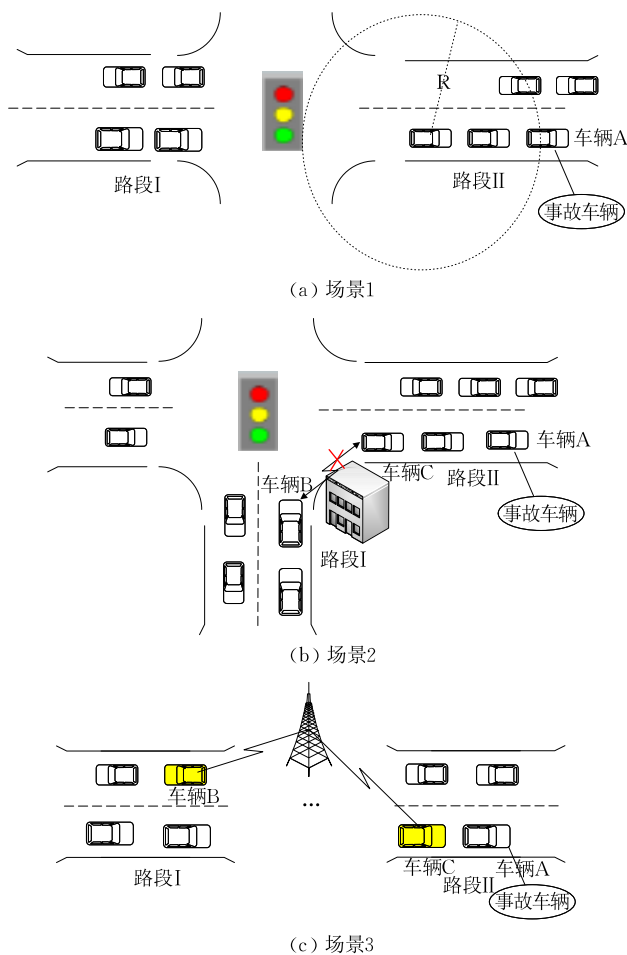


图 1 VANET 数据传播方式示意图

3/4G 网络的出现和普及为解决车辆安全消息广播提供了更好的选择. 当前全球 3G 网络发展相

对成熟,各国正积极推进 4G 网络的发展部署,相关设备厂商和运营商加快 4G 网络的产业布局,我国政府及相关研究机构积极参与 4G 网络标准的制定,实现了与当前发达国家 4G 技术的同步发展,TD-LTE 的研究和快速部署预示我国即将迈入 4G 时代,这为 VANET 与蜂窝移动网络的融合提供了良好的发展环境. 尽管 3/4G 网络为实现车联网数据远距离传输提供了新的方法,但是在当前交通环境下若每辆车均装备 3/4G 网络设备并同时与基站通信,这无疑会大大增加基站的负载,增加传输时延,使得安全消息无法及时传递或者接收. 另外车辆均通过 3/4G 网络保持与基站通信,会产生不少的 3/4G 网络通信费用,难以被市场接受. 以基于 DSRC 的 V2V 通信为主,基于蜂窝移动网络的 V2I 通信为辅的通信架构是车联网未来的发展方向.

2012 年,北京、天津、上海、广州等全国各大城市已经分别启动公交车装配 3G/Wi-Fi 路由器的工作. 3G/Wi-Fi 路由器相当于一个具有两个无线接口的接入点 (Access Point, AP),一端为 Wi-Fi 接口,而另一端则使用覆盖范围广的 3G 或者 LTE 接口连入互联网. 事实上除了公交车以外,许多车辆已经内置蜂窝网络接口,即便车辆没有自带蜂窝网络接口,大部分车辆提供蓝牙接口与驾驶员的手机相连,车辆通过相应的手机 APP 支持,也可以连入互联网. 正是基于这种车辆的大量存在,让其充当安全消息的中继广播节点,将安全消息上传到服务器,由服务器决策传到目的区域,实现了车辆间远距离通信. 例如文献[4]提出了一种 VANET-3G 网络架构,车辆通过相关参数组成簇,在这些簇里面装备有 3G 网卡的车辆作为候选网关车辆,通过这些网关车辆实现数据的远距离传输. 这样安全消息广播不过分依赖车流密度,可以很好地改善现有的车联网广播通信方式,也是未来车联网的一种发展趋势.

2 相关工作

现有的广播中继方法从通信方式上,主要可分为 V2V 和 V2I 通信^[3]. 当前研究主要集中在基于机会网络的 V2V 和 V2I 多跳广播,通过携带-转发的方式将广播数据传递给其他车辆. 例如文献[5]提出的基于地理位置信息的多跳广播协议 (Directional Broadcast Protocol, PMBP),该协议每次选择源车辆节点通信范围内距离最远的车辆作为广播中继节

点,这样安全消息能够快速广播给远方车辆. 实验结果显示 PMBP 协议能够降低消息冗余,同时远端车辆能够快速获取安全消息,然而由于传输距离过远,当车辆密度增加,消息传输极易受到噪声及路径衰落等因素的影响,造成数据包多次重传,这对 PMBP 性能影响十分显著,难以满足安全消息广播性能需求. 文献[6]提出的跨层广播协议 (Cross-Layer Broadcast Protocol, CLBP)在 PMBP 的基础上做出改进,把相对距离、信道的丢包率和相对速度作为中继节点选择的因素,但是该方案仅适用于高速公路,对于城市道路多交叉路口的环境,该协议因为难以覆盖更多的区域而无法适用. 相对于 PMBP 和 CLBP,文献[7]提出了基于交叉口交通相位信息的多跳广播通信协议 (Intersection Broadcast Scheme based on Traffic Phase, IBSTP),其引入象限思想,结合交通相位信息对交叉路口进行区域划分,在 3 个路段的有效区域内依次选取中继节点,保证每个路段都能收到安全消息. 基于基础设施的广播方式也是当前研究的热点,文献[8-9]证明了借助基础设施可以显著提高数据的传递率,这里的基础设施主要指路侧单元 (Road Side Unit, RSU)或者无线接入点. 文献[10-11]利用部分 RSU 作为中继节点将数据转交给目标区域的车辆,RSU 与经过其通信范围内的车辆进行通信将数据转交,提高了网络连通性. 但是真实环境中,数据在生存时间 (Time-To-Live, TTL) 内的数据传递率并不高,主要原因在于交通环境下车辆移动的差异性,导致部分车辆难以与其他车辆相遇. 尽管基础设施的部署可以提高数据传递率,但是还不足以保证所有数据的传递率. 文献[12]的研究显示,车载设备与城市中的开放 AP 连接的持续时间大约为 13 s,而平均的连接间隔大约为 75 s,因此需要 V2V 通信来转发消息,覆盖 V2I 无法到达的区域. 当 AP 有数据要发送给车载终端,而该车并不在其覆盖范围之内时,这就需要一辆更靠近目的车辆的车辆作为中继节点为其转发数据,这些操作无疑增加了传递时延.

部署大量 RSU 是一个周期长、造价高的过程,基于已有的蜂窝移动网络进行消息传递无疑是更好的选择. 蜂窝移动网络在交通环境中普遍存在,特别是在城市交通环境下,蜂窝移动网络可以显著地提高数据的传递率以及广播覆盖率. 当前主要的研究集中在 VANET-cellular 网络融合架构,而结合蜂窝网络的车联网广播研究相对较少. 文献[4]提出了

融合 VANET 与 3G 网络的自适应网关管理方法,从装载有 3G 网卡的车辆中选出网关,其他普通车辆可以通过该网关与其他远程车辆或者服务器通信,但是该方法涉及车辆簇的管理,车辆节点的高速移动及复杂的拓扑变化使得 VANET 需要消耗大量的网络资源来管理簇,严重影响了网络性能,从源车辆发出网关请求报文到建立与网关节点间链路的时间间隔过长,难以满足车辆安全消息通信需求.同时过高的网关车辆 3G 通信负载,会产生大量的 3G 通信费用.文献[13]提出了一种数据包传递选择方案,在 3G 数据量一定的情况下,提高数据的传递率并降低数据传输时延,该方案的假设前提是车辆均装备有 3G 网络接口,这在当前交通环境下并不现实.在文献[14]中,作者基于 VANET-LTE 混合架构网络,提出了一种 QoS 平衡网关选择方法,该方法考虑了不同数据流的时延需求以及当前网关车辆的负载来动态选择网关传递数据,实验证明了该方法在不同的车流密度下有较稳定的传输性能.

本文基于当前真实的交通环境,首次提出了一种基于 VANET-cellular 网络架构的安全消息广播中继节点选择方法,使得安全消息的广播不过分依赖车流密度,也不需要额外部署 RSU.该方法在进行中继决策时综合考虑了当前车辆移动方向、链路稳定性、信道质量、蜂窝移动网络信号强度和地理位置等多个因素,从装载有蜂窝网络接口的车辆中选出唯一的广播中继节点,通过中继节点快速地将安

全消息传递给目标区域车辆.数学分析和仿真结果表明,该方法能快速、可靠地传递安全消息,降低了广播消息冗余,有效地解决隐藏终端问题,同时提高了广播消息的覆盖率和网络资源利用率.

3 中继选择方法

如图 2 所示,VANET-cellular 架构由两层网络节点组成.高层节点指装备有蜂窝移动网络接口的公交车或者普通车辆,我们也称之为候选广播中继节点(Broadcast Relay Candidates, BRCs),低层节点指只有 IEEE802.11p 接口的普通车辆.基于 IEEE802.11p 通信协议的车辆节点主要实现车辆间的信息传输,为低层节点提供接入及消息转发等服务,BRCs 则实现了车辆与服务器及车辆间远程通信等功能.低层车辆节点可以通过 BRCs 将安全广播消息上传给 Internet 服务器,由服务器来决策将广播消息传递给相应的区域.这种做法无疑提高了数据分发的效率和覆盖范围,同时因为安全消息数据量小,不会产生高昂的通信费用.如何选择一个合适的网关车辆,将安全消息及时转发给目标区域车辆是本文研究的重点.

本节提出了一种跨层的安全消息广播中继节点选择方法.该方法采用一种复合式的中继向量,综合考虑蜂窝网络信号强度和增量、车辆间链路稳定性、信道质量和车辆地理位置等信息.基于该中继向量,对 BRTS/BCTS^[5] 帧加以改进,即 MRTS/MCTS

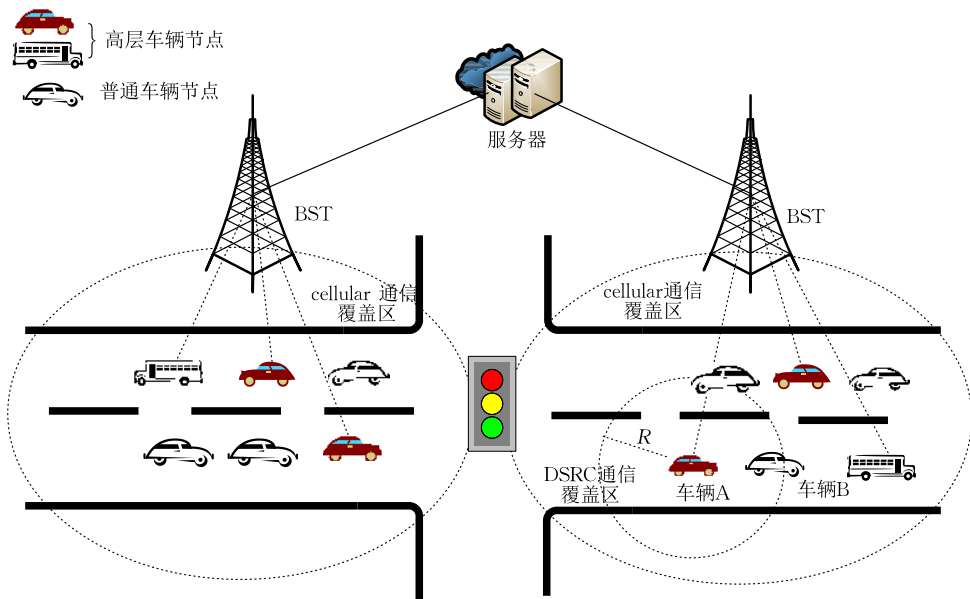


图 2 VANET-cellular 网络架构

(Modified RTS/CTS)帧.若源节点车辆没有蜂窝网络接口,则在广播安全消息之前进行 MRTS/MCTS 交互.周围节点收到该消息后,根据中继向量值计算并开启退避计时器,竞争回复一条 MCTS 消息,最先回复 MCTS 的车辆节点当选为广播中继车辆.广播源节点将安全消息传递给该节点,该节点通过蜂窝网络传递给服务器,再由服务器决策后传递给目标区域.少数情况下可能出现一跳范围内没有网关车辆,那么被选中的车辆重复源节点的步骤,直到选中网关车辆为止.

第 4 节的数学分析和第 5 节的仿真实验证明当网关车辆达到一定数量时,有很大的概率在一跳范围内选出网关车辆.此外为了满足 VANET 安全消息的 QoS 需求,缩短其访问信道时间,采用 IEEE802.11p 中增强型分布式协调访问(Enhanced Distributed Channel Access, EDCA)功能来传输安全消息,安全消息在所有消息传输中具有最高优先级.

3.1 改进的 RTS/CTS 交互

RTS/CTS 握手和确认是基于 IEEE802.11 的一种点对点数据传输机制,它有效地解决了隐藏终端的问题,提高了数据交换的可靠性.然而,广播数据的传输常常伴随多个目标节点,RTS/CTS 包以及 ACK 包常常会造成源节点周围的数据包风暴,为了解决这个问题,一些协议通过拓扑信息直接选择将会传递 CTS 和 ACK 包的节点^[14-15].本文中通过 MRTS/MCTS 交互,选取安全消息广播中继车辆节点,传输过程中有效地避免了隐藏终端问题,保证了安全消息可靠实时地上传给服务器并传输给远端车辆.

MRTS 的帧结构如图 3 所示,与传统的 RTS 帧

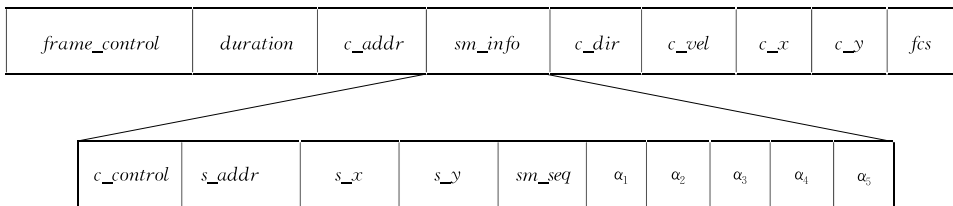


图 3 MRTS 帧格式

假设 (x_i, y_i) 为当前广播节点的地理位置,当一个位于 (x_j, y_j) 的车辆节点准备回复一个 MCTS 帧时,它将根据以下数值来计算中继向量:(1)蜂窝网络信号强度增量;(2)蜂窝网络信号强度;(3)该节点与当前广播节点的链路稳定度;(4)接收 MRTS 时所测得信噪比(Signal to Noise Ratio, SNR)以及计算出

相比, MRTS 多了 5 个参数: $sm_info, c_dir, c_vel, c_x, c_y$. sm_info 包含了广播源节点的相关信息:(1) $s_control$ 表示该数据包是否需要上传到服务器;(2) s_addr 表示广播源节点地址;(3) s_x, s_y 表示地理位置;(4) sm_seq 表示安全消息序列号;(5) $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 分别表示相关参数在中继节点决策时的权重. c_dir 表示车辆行驶方向, c_vel 表示当前广播节点的速度, c_x, c_y 表示当前广播节点的地理位置. 当一个节点要广播安全消息,并且发现自己不是 BRC 节点时,首先广播一个包含车辆自身状态消息的 MRTS 帧,并启动计时器,若溢出时间 t_{mrts_r} 内未收到其他车辆回复的 MCTS 帧,那么当前广播车辆再次竞争信道,重新广播 MRTS 帧,直到成功接收附近车辆回复的 MCTS 帧,溢出时间设置为 $t_{mrts_r} = t_{mrts} + t_{sifs} + t_{mcts}$, 其中 t_{mrts}, t_{mcts} 分别为以基速率传输 MRTS 帧和 MCTS 帧的时间, t_{sifs} 为短帧间间隔时间(Short Inter Frame Space, SIFS). 由于在 MRTS 帧中定义了 duration 字段,没有回复 MCTS 帧的邻近车辆将根据该字段中的值来设置网络分配向量(Network Allocation Vector, NAV),从而延迟信道访问时间. 车辆在收到一个 MRTS 帧后将计算中继向量的值,并开启定时器准备回复一个 MCTS 帧,源节点收到 MCTS 帧后开始广播安全消息,回复 MCTS 帧的车辆节点收到该消息后判断自己是否是 BRC,若是,则将安全消息通过蜂窝网络传至服务器,否则,按源节点的中继节点选择方法选择下一跳广播中继节点. 这将确保信息尽可能快速可靠地传递到服务器. 同时,因为只有唯一的中继节点车辆被选中,减少了 cellular 网络资源的浪费,提高了信道资源利用率.

的误包率(Packet Error Ratio, PER);(5)与当前广播车辆之间距离. 邻居车辆收到 MRTS 帧后将根据式(1),并基于以上 5 个参数来计算中继向量值:

$$F = \frac{1}{\sum_{i=1}^5 \alpha_i} \left[\alpha_1 \times \left(1 - \frac{\Delta RSS}{\Delta RSS_{\max}} \right) + \right]$$

$$\alpha_2 \times \left(1 - \frac{RSS}{RSS_{\max}}\right) + \alpha_3 \times \frac{LS}{LS_{\max}} + \alpha_4 \times \frac{e}{E_{\max}} + \alpha_5 \times \frac{\Delta d}{R} \quad (1)$$

其中:RSS(Receive Signal Strength)为 cellular 网络信号接受强度, e 为安全消息的 PER, E_{\max} 为最大 PER; LS (Link Stability)为链路稳定度.下面将分别介绍这几个参数的计算方法.

(1)信号接收强度.蜂窝网络信号接收强度可以直接从物理层读出.此外当车辆向基站方向行驶时,信号强度不断增强,并且随着速度的增大,信号增强的速度越快;反之,当车辆驶离基站方向时,信号强度不断减弱,并且速度越快,信号衰减得越快.假设 a 为在特定速度和行驶方向下信号强弱的变化率^[4],信号强度的增量有如下公式:

$$\begin{aligned} \Delta RSS &= RSS_t - RSS_{t-1} \\ &= \begin{cases} 1 - e^{-\frac{|v_t - v_{t-1}|}{a}}, & \text{当车辆驶近基站;} \\ -\left(1 - e^{-\frac{|v_t - v_{t-1}|}{a}}\right), & \text{当车辆驶离基站} \end{cases} \quad (2) \end{aligned}$$

由式(2)得到信号强度增量与速度和运动方向的关系,为了便于计算,本文假设车辆记录有通信基站的地理位置,通过车辆与基站的链路稳定度来反映当前车辆蜂窝网络信号强度的变化趋势.

(2)链路稳定度.车辆的行驶方向、速度越接近,车辆间链路稳定度越高,两车辆之间的链路稳定度 LS 的计算公式如下:

$$LS_{ij} = \sqrt{(v_i \cos \theta_i - v_j \cos \theta_j)^2 + (v_i \sin \theta_i - v_j \sin \theta_j)^2} \quad (3)$$

两辆车的坐标分别为 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) , θ_i 和 θ_j 分别为车辆节点行驶方向相对于 x 轴的斜率, R 为传输半径. LS 的值越大,说明车辆链路的稳定度越低.

(3)信道质量,误包率 e 可以通过物理层测得的信噪比 SNR 来获得.通过 BPSK 调制方式,采用叠加高斯白噪声(AWGN)信道^[16]的安全消息误码率为

$$Q\left(\sqrt{\frac{2\epsilon_b}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2P_r}{r_b \times N_0}}\right), \text{其中 } Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt,$$

ϵ_b 为每一位接受信号的能量, N_0 为噪声的能量谱密度(Power Spectrum Density, PSD), P_r 为接受信号的功率, r_b 为数据传输的基数率.误包率 e 可以表示为^[17]

$$e = 1 - \left(1 - Q\left(\sqrt{\frac{2P_r}{R_b \times N_0}}\right)\right)^L = 1 - \left(1 - Q\left(\frac{I}{\Delta d}\right)\right)^L \quad (4)$$

因子 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 通常由消息的源节点用户根据当前的交通环境所设定.例如,在城市环境下车流较为密集,此时蜂窝网络信号强度较好,但因为建筑物的存在,信号干扰较强,车辆间链路不稳定,可以适当增加 $\alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 的值,选取链路稳定、误包率低、距离更近的车辆.反之,在车流不密集的高速环境下,车辆蜂窝网络信号差异较大,但是链路相对稳定,车辆信号干扰少,可以适当增加 α_1, α_2 的值,选取 cellular 网络信号强并且车辆驶近基站的车辆.

车辆在发送 MRTS 时必须设置 duration 字段,当其车辆节点检测到信道中传送帧的“持续时间”,就调整自己的网络分配向量 NAV. NAV 指出了信道处于忙状态的持续时间, MRTS 中持续时间计算公式如下:

$$\begin{aligned} t_{mrts_d} &= t_{difs} + t_{mcts} + \varphi + t_{sifs} + L_{em}/R_b + \varphi + \\ & t_{sifs} + t_{ack} + \varphi \\ &= t_{mcts} + L_{em}/R_b + t_{ack} + t_{difs} + 2t_{sifs} + 3\varphi \quad (5) \end{aligned}$$

其中: t_{sifs}, t_{difs} 分别为短帧间间隔时间和分布协调功能帧间间隔时间(Distributed Inter Frame Space, DIFS); t_{mrts}, t_{mcts} 分别为以基速率传输 MRTS 和 MCTS 帧的时间; L_{em} 为一个安全消息帧长度; R_b 为控制信息传播的基速率; φ 为信号在传输范围内信道上的延迟.在回复完一个 MCTS 帧后,其它候选中继节点能够侦听到该 MCTS 帧,并根据该帧的 s_addr 和 sm_seq 字段判断是否回复的是同一个 MRTS 帧.若是,此时这些节点将停止它们的定时器,并且根据 MCTS 中的 duration 的值更新 NAV.这里 MCTS 帧内的 duration 字段设置为

$$t_{mcts_d} = t_{mrts_d} - t_{difs} - t_{mcts} \quad (6)$$

3.2 MCTS 碰撞

如果向量取值为闭区间,则这些向量的复合向量的取值也为闭区间^[18].公式中 $RSS \in [0, RSS_{\max}], e \in [0, 1], LS \in [0, LS_{\max}]$,实际环境下我们测得 $RSS \in [-110 \text{ dBm}, -50 \text{ dBm}]$,那么由这些向量所组成的复合向量 \mathbf{F} 取值为闭区间,用 \mathbf{F}_{\min} 和 \mathbf{F}_{\max} 来表示其最小和最大值.为避免车辆间 MRTS/MCTS 交互时因其它邻居车辆节点通信干扰而中断,车辆节点需要在 DIFS 时间回复 MCTS 帧.将 DIFS 时间分割成一系列的 mini-slot^[19],一个 mini-slot 的时间长度为 $2 \times \varphi + t_{\text{switch}}$,同时将区间 $[\mathbf{F}_{\min}, \mathbf{F}_{\max}]$ 分割成 W 个区间,每个区间大小为 $\epsilon_0 = (\mathbf{F}_{\max} - \mathbf{F}_{\min})/W$,且 $W = t_{\text{difs}}/(2 \times \varphi + t_{\text{switch}})$, t_{switch} 表示收发装置从接收方式切换到发送方式的时间,然后将中

继向量 F 映射到具体的 mini-slot 上来决定等待时间 T_w . 具体方法是, 在计算完自己的中继向量 F 后, 车辆根据 F 的取值区间决定计时器时间 T_w , T_w 的计算公式为

$$T_w = k(2 \times \varphi + t_{\text{switch}}) \quad (7)$$

由于车辆周边 BRC 数量有限, 而普通车辆较多, 导致 F 在 $[F_{\min}, F_{\max}]$ 中的分布前半段稀疏而后半段密集, 并且 BRC 最有可能被选为中继车辆, 所以尽可能地降低它的等待时间, 对于普通车辆尽可能使其等待时间分布于不同的区间来降低碰撞概率, 基于该原理设计了等待时间映射方法: 如果它的中继向量 F 处于 $(F_{\min} + (i-1) \times \epsilon_0, F_{\min} + i \times \epsilon_0]$, 若 $i=1, 2, \dots, W/2$, 则候选中继节点将它的定时器值设为 $i/2$ 个 mini-slot 时隙的长度, 若 $i=(W+n)/2, n=0, 1, 2, \dots, W$, 则设置为 $(3i-W)/2$ 个 mini-slot 时隙的长度, 即

$$k = \begin{cases} i/2, & \text{if } i = 1, 2, 3, \dots, W/2, \\ (3i-W)/2, & \text{if } i = (W+n)/2, \\ & n = 0, 1, 2, \dots, W \end{cases} \quad (8)$$

若邻居车辆所计算出的中继向量值处于相同区间, 这意味着它们会等待同一 mini-slot 时间值回复 MCTS 帧, 从而造成 MCTS 帧碰撞. 如果一个已经回复 MCTS 的中继车辆再次听到来源于同一源车辆发送的 MRTS 帧, 说明刚才发送的 MCTS 帧已

发生帧碰撞, 则继续将 ϵ_0 分割成 W 个时间段, 每段长度 $\epsilon_1 = \epsilon_0/W$, 然后将 F 重新映射为对应的 mini-slot. 一旦 MCTS 帧发生碰撞, 该过程继续重复, 若 MCTS 帧碰撞次数超过 r_{\max} , 邻居车辆计算出的中继向量值十分相似, 那么发生帧碰撞的车辆在第 r_{\max} 次以后随机映射到一个 mini-slot 时间段回复 MCTS 帧, 当一个车辆成功地被选为安全消息中继车辆时该过程结束.

中继向量值最小的车辆最先回复 MCTS 帧, 从而被当前广播源节点选作下一跳安全消息中继车辆. 这意味着一个驶向基站、信道质量越好、与当前广播节点之间链路越稳定、蜂窝网络信号强度越强、距离越近的车辆更容易选来作为安全消息的中继节点. 在该中继节点选择方法中, 由于中继向量 F 考虑了五个参数, 即蜂窝网络信号强度及其增量、链路稳定度、信道质量、地理位置, 不同的车辆计算出相同的中继向量值的概率很小, 因此发生 MCTS 碰撞的概率非常小. 该碰撞避免机制可以帮助当前安全消息广播车辆快速选择出唯一的广播中继车辆.

3.3 中继车辆选择方法流程图

中继车辆选择方法流程如图 4 所示. 若当前车辆产生交通事件欲向周边车辆广播安全消息, 该车辆首先检测自身是否是 BRC, 若是, 则直接将安全消息传递给服务器, 再由服务器决策来传输给目标区域的车辆; 否则, 该车辆广播一条 MRTS 请求, 来

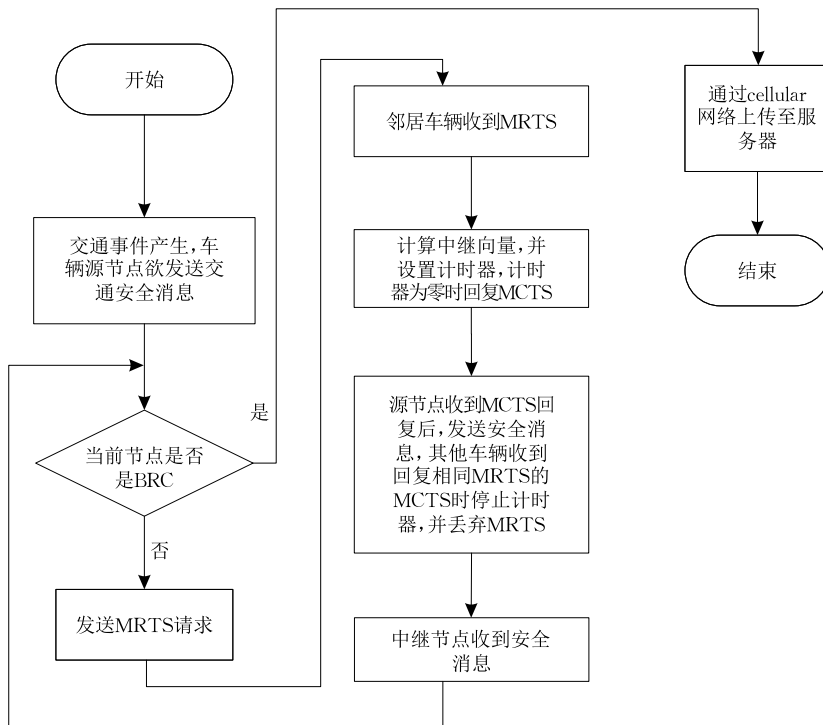


图 4 中继车辆选择方法流程图

寻找周边是否有 BRC 车辆。周边车辆在收到该 MRTS 请求后,按 3.1 节的方法计算中继向量,通过该中继向量来设置计时器,当计时器为 0 时回复相应的 MCTS。当前安全消息广播车辆在收到 MCTS 后则向发送 MCTS 的车辆发送安全消息,而其他的车辆在收到该 MCTS 帧后则停止计时器并丢弃之前收到的 MRTS 帧。邻居车辆在收到安全消息之后判断自身是否是 BRC,然后重复源车辆的中继节点选择过程。

3.4 优先级问题

为了给安全类消息提供 QoS 保证,EDCA 根据消息业务类型将消息划分为 5 种优先级的访问类型 AC,分别对应不同的竞争窗口 $CW[AC]$ 。如图 5 所示,节点发送数据时先侦听信道,若信道空闲时间超过 $AIFS[AC]$ 则选择对应窗口 $CW[AC]$ 启动计时器,当计时器变为零则开始访问信道,其中 $AIFS[AC]$ 代表 AC 对应的侦听时间, $AIFS[AC] = SIFS + AIFSN[AC] \times SlotTime$ 。对于安全消息, $AIFS[4] = SIFS + 2 \times SlotTime$ 。安全消息对应的 $AIFS$ 最小,说明侦听信道状态的时间最短,访问信道的优先级最高,不同访问类型 AC 对应的竞争窗口和相关参数值见表 1。

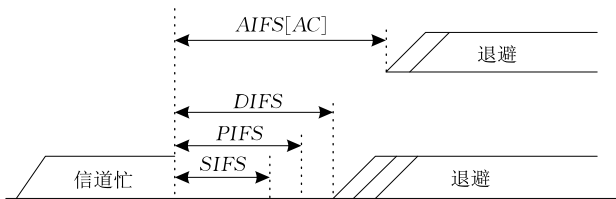


图 5 信道访问延迟

表 1 EDCA 的 CW 和 $AIFSN$ 取值

AC	CW_{\min}	CW_{\max}	AIFSN	PF
0	31	1023	7	2
1	31	1023	3	2
2	15	31	2	2
3	7	15	2	2
4	7	15	2	1

车辆节点在首次发送 MRTS 帧时,竞争窗口设为最小竞争窗口。若计时器超时,节点需要确定新的竞争窗口 $CW[AC]$,新的竞争窗口值的计算方法如下:

$$CW[AC] = \min((CW[AC] + 1) \cdot PF, CW_{\max}[AC]) \quad (9)$$

其中,参数 PF 为坚持因子^[6]。安全消息的竞争窗口的范围是 7~15,小于其他类型消息的竞争窗口,因

此缩短了等待信道的的时间,增加了访问信道的优先权。通过对相关参数的设置提高了安全消息发送的优先权,满足了其 QoS 需求。

4 数学分析

为了分析该方法的性能,本节数学模型基于以下假设:

(1) 车辆从路段一端进入,并且以速度 v 行驶。

进入道路的 BRC 车辆数目服从参数为 λ 的 Poisson 分布,即单位时间内平均进入道路的 BRC 车辆数目 λ ,BRC 车辆占有所有车辆的百分比为 A 。

(2) 车辆均装备有 GPS 和基于 IEEE802.11p 的数据收发设备,通信距离为 R 。

(3) 物理信道可靠且不产生错误。

基于以上假设,分别对 BRC 车辆节点连通率、单跳内 BRC 车辆数量和端到端延时进行了理论分析。

(1) BRC 车辆节点连通率

在道路上自由行驶的车辆间时间间隔服从指数分布,因此两车之间的距离 d 有如下表达式:

$$f(d) = \lambda e^{-\lambda d} \quad (10)$$

则两辆车连通的概率为

$$F(R, \lambda) = P(d < R) = \int_0^R f(d) d_D = 1 - e^{-\lambda R} \quad (11)$$

假设在长度为 L 的单车道中有 m 辆车,由这 m 辆车组成的链路连通的概率:

$$P(\lambda, R, m) = \prod_{i=1}^{m-1} F(R, \lambda) = (1 - e^{-\lambda R})^{m-1} \quad (12)$$

(2) 单跳内 BRC 车辆数量

若时间间隔 $(0, t]$ 内,进入道路的车辆数量表示为随机变量 x ,则 x 的密度函数及数学期望可分别表示为

$$Pr_x(k) = \frac{(\lambda t)^k \cdot e^{-(\lambda t)}}{k!} \quad (13)$$

$$E(x) = \lambda t \quad (14)$$

若 d 代表相邻两车辆之间间距,则 $d = v \cdot t$,若两辆车可相互通信,即 $d \leq R$,那么由式(13)、(14)可得 d 的条件概率密度函数和数学期望:

$$Pr(d = n | d \leq R) = \frac{1 - e^{-(\lambda n/v)}}{1 - e^{-(\lambda R/v)}} \quad (15)$$

$$E(d) = v/\lambda - \frac{R}{e^{(\lambda R/v)} - 1} \quad (16)$$

则车辆节点传输距离内的 BRC 数量期望可表示为

$$E(s) = [R/E(d)] = \left[\frac{R\lambda(e^{(\lambda R/v)} - 1)}{v(e^{(\lambda R/v)} - 1) - R\lambda} \right] \quad (17)$$

(3) 端到端时延

端到端时延定义为安全消息从源节点到服务器的总时间 T_a , 假设从 BRC 车辆节点到服务器的时间为 T_c , 若广播节点本身是 BRC 节点, 则车辆不需要选择中继节点, 直接将数据传递至服务器, 否则进行第一跳中继节点的选择. 设此时安全消息单跳时延为 T_f , 若第 1 跳中继节点也不是 BRC 节点, 则重新开始中继节点的选择过程. 当邻居车辆被选中为候选中继节点后, 此前回复的 MCTS 帧已为当前车辆的下一次传输 MRTS 预定了信道, 所以此后的每一跳的安全消息传输时间相对于第一跳的传输时间要短, 设此时的端到端时延为 T_m , 最后一跳的时延为 T_l , 假设第 n 次 MRTS/MCTS 交互才选出安全消息中继节点, n 的分布律根据式(11)可表示为

$$P(n=k) = \begin{cases} A, & k=0; \\ (1-A)[1-F(R,\lambda)]^{k-1}F(R,\lambda), & k=1,2,\dots \end{cases} \quad (18)$$

安全消息从源节点到服务器的总时间可以表示为

$$T_a = \begin{cases} T_c, & n=0 \\ T_f + T_c, & n=1 \\ T_f + (n-2)T_m + T_l + T_c, & n \geq 2 \end{cases} \quad (19)$$

对于第 1 跳信息传输 T_f

$$T_f = T_{aifs} + T_B + T_d \quad (20)$$

其中: T_{aifs} 为安全消息帧间间隔时间; T_B 为发生帧碰撞所造成退避时间及重传成功所占用信道时间总和; T_d 为安全消息传输所占用信道时间, 基于优先级的 IEEE802.11e 分析模型^[20], 可得 T_B 的表达式

$$T_B = \sum_{j=0}^{r_{\max}-1} (1-c) \cdot c^j \cdot E(B_j) / (1-c^{r_{\max}}) \quad (21)$$

其中: c 为 MRTS 帧发生碰撞的概率; $E(B_j)$ 为邻近车辆发生帧碰撞所占用信道时间、发生 j 次重传所造成退避时间、传输成功所占用信道时间的总和. c 和 $E(B_j)$ 的推导过程可参考文献[21].

T_d 包含 MRTS/MCTS 交互和安全消息广播的时间, 它可以表示为

$$T_d = T_{mrts} + T_{sifs} + T_{mcts} + T_{sifs} + L_{em}/R_b \quad (22)$$

从第 2 跳开始节点在等待 SIFS 间隔后就广播 MRTS 帧, T_m 可以表示为

$$T_m = T_{sifs} + T_d \quad (23)$$

而最后一跳内节点的个数小于 $E(S)$, T_l 可以表示为

$$T_l = T_{sifs} + T_{mrts} + T_{sifs} + T_{mrts} + T_{sifs} + L_{em}/R_b \quad (24)$$

将式(20)、(23)、(24)分别代入式(19), 可得安

全消息从源节点通过蜂窝网络到达服务器的端到端时延, 结合式(18), 可得安全消息从源节点到服务器的总时间期望. 当 BRC 车辆密度为 10 辆/km 时, BRC 车辆的连通率约为 0.96, 此时车辆在一跳范围能确定广播中继节点的概率为 0.984, 数值分析上可以看出车辆很大的概率在一跳范围内将安全消息上传至服务器, 并且因为蜂窝网络实现远距离通信, 不会因为广播距离的增加而降低全局车辆连通的概率, 克服了基于机会网络过分依赖于车流密度造成的消息传递高时延.

(4) 中继节点和接收节点的比例

在 VANET-cellular 架构环境下, 应尽可能地提高蜂窝移动网络的资源利用率, 减少蜂窝移动网络数据产生量, 将安全消息可靠地、快速地广播给目标区域内所有车辆节点. 广播节点数量与接收节点数量的比例是影响车联网广播性能的一个重要因素, 该比例越小意味着安全消息经过较少的中继车辆传输给更多的接收车辆. 该中继选择方法使得源车辆发送一次 MRTS 帧后, 邻居车辆中只有一个被选为中继车辆, 因此广播车辆数量与接收车辆数量的比例为 $1/E(s)$, $E(s)$ 为单跳内车辆的期望数.

5 模拟实验

在 OMNeT++ 和 SUMO 平台上编写了仿真程序, 其中 OMNeT++ 主要仿真车辆节点各层协议, SUMO 用来仿真交通场景. 仿真参数如表 2 所示.

表 2 仿真参数

参数	值	参数	值
MRTS	22 bytes	SNR	-110 dBm
MCTS	14 bytes	P_t	110 mW
α_1	1	E_{\max}	8%
α_2	1	σ	20 us
α_3	2	r_{\max}	7
α_4	2	G_r	1
α_5	2	G_r	1
f_c	2.4 GHz	RSS _{max}	-40 dBm
DATA	512 bytes	LS _{max}	400
CW _{min}	31	CW _{max}	1023

实验过程中, 假设位于队列的某一车辆发生交通事故, 同时作为源节点发送安全消息. 根据当前交通环境设置参数值, 在城市环境下车流较为密集, 此时 cellular 网络信号强度较好, 但因为建筑物等交通环境因素增加了信号的干扰, 导致车辆间链路不稳定, 因此适当增加 $\alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 的值, 达到选取链路稳

定、误包率低、距离更近的车辆的目的是. 仿真实验将 CLBP 和 AMB 与本文提出的中继节点选择方法 VRSM(Vehicular Relay Selection Method) 进行对比, 比较了它们在不同车流密度下的相关性能.

5.1 理论分析对比图

首先对第 4 节理论分析进行实验验证. 安全消息访问延迟定义为源节点发送 MRTS 请求到中继节点成功接收安全消息的时间间隔. 如图 6 所示, 随着车辆密度增大, 网络中帧碰撞将增加, 安全消息访问延迟也随之增长, 从图中可以看出实验所得时延曲线与理论曲线具有较高的一致性.

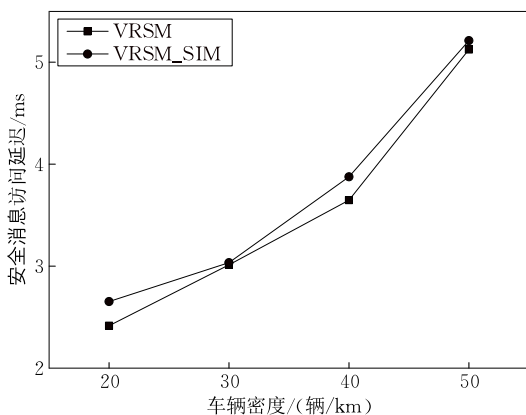


图 6 理论分析对比图

5.2 相邻车辆连通率

定义车辆接收成功率为车辆无需携带数据包等待下一跳车辆进入通信范围, 而将数据包直接成功交付给下一跳车辆的概率. CLBP 在选择中继车辆节点时, 不考虑车辆是否是 BRC 车辆, 而根据车辆速度、地理位置等参数选择下一跳车辆; VRSM 则必须选择 BRC 车辆作为下一跳中继节点, 如图 7 所示, 随着 BRC 车辆比例和车辆密度的增大, 安全消息接收成功率不断增加. 本实验在测试接收成功率时, 为了突出接受率曲线的变化特征, 将车辆密度设置较低. 在真实的城市交通环境下, 正常的车流密度远大于 18 辆/km, 此时通过图 7 看出接收成功率在 90% 以上, 满足安全消息转发的需求. 由于模拟的是城市交通环境, 我们在后面的实验中将车流密度设为 20~50 辆/km 之间.

5.3 安全消息误包率与密度的关系

在不同的车流密度下, AMB、CLBP、VRSM 的传输误包率如图 8 所示. 车辆密度较小时, 3 种方法都有较小的误包率; 当车辆密度增大时, 信号干扰随之增强, AMB 的误包率上升速度较快, 而 CLBP 和

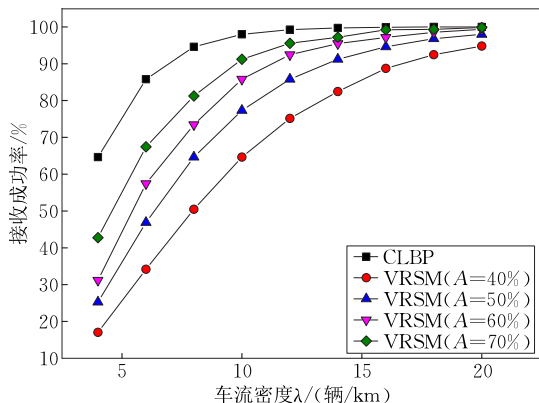


图 7 安全消息接收成功率

VRSM 误包率变化率较小. 若当前信道状况恶劣, CLBP 在选择中继节点时, 会选择较近的中继节点进行传递. 而 VRSM 始终会选择最近、丢包率低、链路稳定度高的车辆, 所以 VRSM 的误包率比 CLBP 的误包率稍低, AMB 在选择中继节点时不考虑信道质量, 这样远处的车辆往往有较高的 SNR, 会产生较大的误包率.

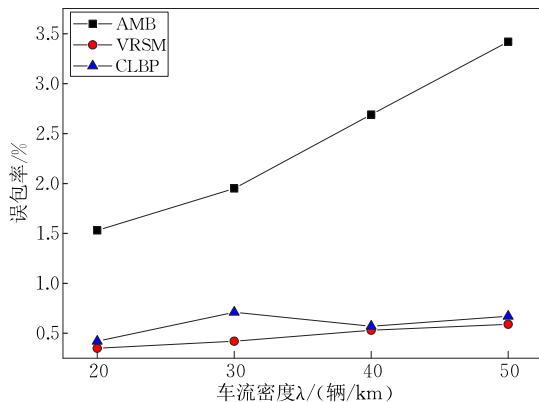


图 8 安全消息误包率

5.4 中继车辆选择延迟

从当前源车辆的 MAC 层产生 MRTS 帧到成功接收邻居车辆所回复 MCTS 帧的时间间隔定义为中继车辆选择延迟. CLBP、VRSM、AMB 在不同车流密度下的中继车辆选择延迟如图 9 所示, AMB 在选择中继节点时采用传统 CSMA/CA, 而 CLBP 和 VRSM 考虑不同数据的时延需求, 对安全消息的优先级最高, 信道等待时间最短, 中继选择延迟相对较低. VRSM 在回复 MRTS 消息时, 考虑的参数比 CLBP 多, 因而回复 MCTS 等待时间相同的概率更小, 因此 MCTS 碰撞的概率相对较小, 源节点能更快收到 MCTS 回复, 在中继选择延迟上比 CLBP 时间略短.

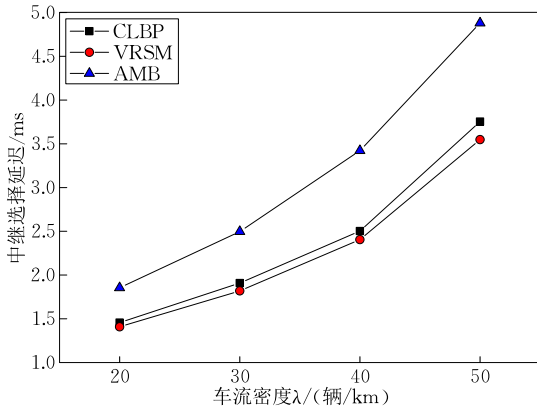


图9 中继车辆选择延迟

5.5 安全消息端到端延迟

图 10 比较的是在不同的车流密度下的端到端延迟,该图中端到端的延迟定义为车辆应用层产生安全消息到传递给下一跳车辆的应用层的时间间隔.VRSM 相对于 CLBP 和 AMB 的端到端延时明显要短,这在于当车辆本身具有蜂窝网络网卡时,作为安全消息的下一跳,可以直接将其上传给服务器.同时图 10 显示了 VRSM 相对于其他两种协议端到端时延相对更为稳定,这在于车辆密度高于一定值时,能够较大概率的一跳范围内确定中继车辆.

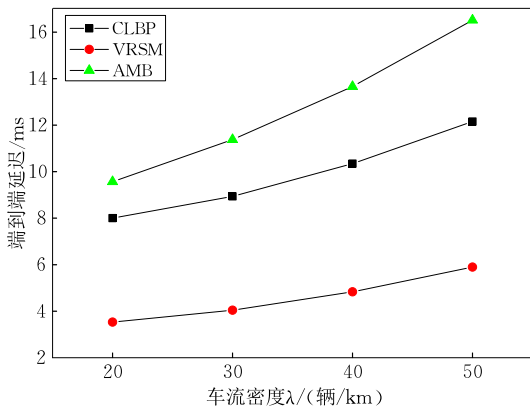


图 10 安全消息端到端延迟

为了测试安全消息由源节点车辆传递给服务器的时间间隔,我们在真实的城市道路环境下测试 3G 网络数据包端到端时延 T_e ,VRSM 在选择中继节点时,考虑了车辆当前的蜂窝网络信号强度,因此测试时保证蜂窝网络 $RSS \geq -70$ dBm 并选择不同的道路地点,测得的结果如图 11 所示,从图 11 中可以看出时延 T_e 集中在 80~140 ms 之间.对比图 10 和图 11,节点间安全消息传输时延相对于蜂窝网络传输时延要小很多,当 BRC 车流密度到达一定数量时,若源车辆节点本身不是 BRC 车辆,影响安全消息端

到端时延的主要因素取决于蜂窝网络的当前状况.而 VRSM 在选择中继节点时,考虑车辆当前的 VRSM 信号强度以及与信号增量,有利于降低安全消息的端到端总时延.

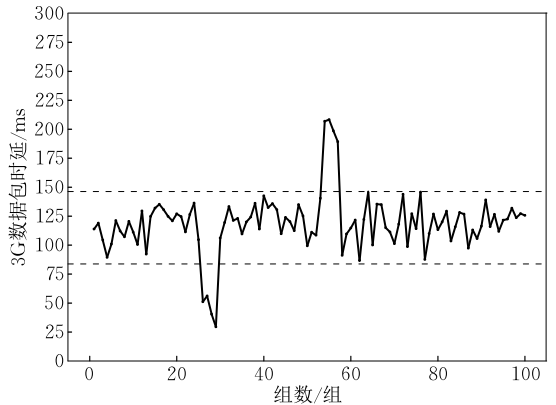


图 11 cellular 数据包端到端延迟

6 结 论

在车联网环境下,为了将安全消息实时、可靠地传递给其他车辆,考虑到当前基于机会网络下安全消息广播往往过于依赖车流密度,从而造成安全消息无法快速传递给目标区域,特别是当目标区域与当前安全消息产生区域过远时,很难满足安全消息传递的 QoS 需求.本文结合蜂窝移动网络的高覆盖率和高速率等优势以及当前交通环境下通过蜂窝网络连入互联网的车辆不断增多的事实,提出了 VANET-cellular 环境下安全消息广播中继节点方法 VRSM.当车辆可以通过蜂窝网络网卡连入互联网时,则不需要进行中继选择,而直接将安全消息传递给服务器,最终由服务器决策传递给目标区域.若车辆不能连入互联网,在车辆进行安全消息广播之前,首先通过 MRTS/MCTS 交互从相邻车辆中选出综合性能最优的中继车辆,再由该车辆传递给服务器.该方法有效地解决了隐藏终端的问题,使得安全消息广播可达性不过分依赖于道路车流密度,提高了安全消息广播的可靠性和覆盖率,保证了安全消息远距离传输低时延,唯一中继节点被选出提高了网络资源利用率.

本文解决的主要是上行链路问题,未来的工作中我们将解决下行链路问题,也就是如何实时、可靠地将安全消息由服务器传递给目标区域.同时通过实验和数学分析发现:尽管通过蜂窝网络可以大大

提高安全消息的覆盖率,但是若源节点附近的车辆密度达到一定程度时,对于源节点附近的车辆,基于 IEEE802.11p 进行安全消息广播时延会更小更可靠,所以有必要解决如何对数据包的传递路径和方法进行抉择的问题.未来工作中,我们将逐步解决以上两个问题,最终实现不同交通环境下安全消息传播的低时延、高可靠性、高覆盖率和网络资源的高利用率.

参 考 文 献

- [1] Sichitiu M L, Kihl M. Inter-vehicle communication systems; A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2008, 10(2): 88-105
- [2] Schoch E, Karge F, Weber M, Leinmuller T. Communication patterns in VANETs. *IEEE Communications Magazine*, 2008, 46(11): 119-125
- [3] Panichpapiboon S, Pattara-Atikom W. A review of information dissemination protocols for vehicular ad hoc networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2012, 14(3): 784-798
- [4] Benslimane A, Taleb T, Sivaraj R. Dynamic clustering-based adaptive mobile gateway management in integrated VANET-3G heterogeneous wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2011, 29(3): 559-570
- [5] Bi Y, Zhao H, Shen X. A directional broadcast protocol for emergency message exchange in inter-vehicle communications in Communications//*Proceedings of the IEEE International Conference on Communication*. Dresden, Germany, 2009: 1-5
- [6] Bi Y, Cai L, Shen X, Zhao H. Efficient and reliable broadcast in intervehicle communication networks; A cross-layer approach. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2010, 59(5): 2404-2417
- [7] Tan G, Yin Y, Bu J, Ding N. An IVC broadcast scheme based on traffic phase for emergency message dissemination at road intersection//*Proceedings of the 7th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems(CISIS)*. Taiwan, China, 2013: 59-65
- [8] Leontiadis I, Costa P, Mascolo C. Extending access point connectivity through opportunistic routing in vehicular networks//*Proceedings of the INFOCOM*. San Diego, USA, 2010: 1-5
- [9] Zhang W, Chen Y, Yang Y, et al. Multi-hop connectivity probability in infrastructure-based vehicular networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2012, 30(4): 740-747
- [10] Yu Zhen, Xu Jing-Dong, Zhang Jian-Zhong, Zhang Yu. IEDR: An infrastructure enhanced DTN routing protocol. *Journal on Communications*, 2013, 34(8): 44-52(in Chinese) (于振, 徐敬东, 张建忠, 张玉. 基础设施增强的 DTN 路由协议. *通信学报*, 2013, 34(8): 44-52)
- [11] Wu Y, Zhu Y, Li B. Trajectory improves data delivery in vehicular networks//*Proceedings of the INFOCOM*. Shanghai, China, 2011: 2183-2191
- [12] Bychkovsky V, Hall B, Miu A. A measurement study of vehicular Internet access using in situ Wi-Fi networks//*Proceedings of the MobiCom*. Los Angeles, USA, 2006: 50-61
- [13] Zhao Q, Zhu Y, Chen C, et al. When 3G meets VANET: 3G-assisted data delivery in VANETs. *IEEE Sensors Journal*, 2013, 13(10): 3575-3584
- [14] Zhioua G, Tabbane N, Labiod H, Tabbane S. A fuzzy multi-metric qos-balancing gateway selection algorithm in a clustered vanet to lte advanced hybrid cellular network. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2014, 64(2): 804-817
- [15] Sun M, Huang L, Wang S, et al. Reliable MAC layer multicast in IEEE 802.11 wireless networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2003, 3(4): 439-453
- [16] Mak T, Laberteaux K, Sengupta R, Ergen M. Multichannel medium access control for dedicated short-range communications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2009, 58(1): 349-366
- [17] Roberts J. Packet error rates for DPSK and differentially encoded coherent BPSK. *IEEE Transactions on Communications*, 1994, 42(234): 1441-1444
- [18] Gouda M, Schneider M. Maximizable routing metrics. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2003, 11(4): 663-675
- [19] Hanguan S, Weihua Z, Wang Z. Distributed cooperative MAC for multihop wireless networks. *IEEE Communications Magazine*, 2009, 47(2): 126-133
- [20] Xu D, Sakurai T, Taka V, Hai L. MAC access Delay in IEEE 802.11 e EDCA//*Proceedings of the IEEE 64th Vehicular Technology Conference*. Montreal, Canada, 2006: 1-5
- [21] Korkmaz G, Kecici E, Ozguner F. A cross-layer multihop data delivery protocol with fairness guarantees for vehicular networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2006, 55(3): 865-875



WU Li-Bing, born in 1972, Ph.D., professor. His main research interests include wireless sensor networks, network management and distributed computing.

LIU Bing-Yi, born in 1990, Ph.D. candidate. His main research interests include wireless sensor networks and vehicular ad-hoc network.

Background

Currently, a great number of researchers have paid much attention to the area of the broadcast based on Opportunistic Networks in VANET. Although it always has low latency when the target nodes are not far from the source nodes, the delay can be extremely high when the broadcast area becomes larger. This is unacceptable for the safety message transmission, which has high QoS requirement. Considering the high data rates of IEEE 802.11p-based VANETs and the wide coverage area of 3/4G networks, This paper proposed a novel method to broadcast safety message base on the VANET-3/4G architecture. A vehicle can directly send safety message to server via cellular network if it has a 3/4G interface. Otherwise, it must transmit the safety message to another 3G vehicle. Issues pertaining to the selection of the optimal 3/4G vehicle in its neighborhood are addressed in this paper. We first introduce a relay metric for relay selection by jointly considering 3/4G signal strength and its variation, link stability, physical-layer channel conditions

NIE Lei, born in 1989, Ph.D. candidate. His main research interests include wireless sensor networks and vehicular ad-hoc network.

FAN Jing, born in 1989, Ph.D. candidate. His main research interests include network management and distributed computing.

XIE Yong, born in 1978, Ph.D. candidate, associated professor. His research interests include vehicular ad-hoc network and next generation Internet.

and geographical locations. Then, using the relay metric, a unique relay vehicle is selected to forward the safety message to server via cellular network. The server will decide the target area and transfer the safety message rapidly. To maximize the performance of the method proposed. Some details like the modification of MRTS/MCTS and the application of EDCA are also considered. Finally, the mathematics analysis and simulations carried out by OMNeT++ demonstrate the proposed method can minimize the broadcast message redundancy, improve the network resource utilization, rapidly and reliably transfer the safety message. What's more, the encouraging results are not excessively dependent on the encounter probability of vehicle and widely deployment of infrastructures.

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.61272112 and 61472287. And supported by the Fundamental "Research Funds for the Central University" No.2014211020202.