



用于 VANET 紧急消息传输的改进二元分割广播协议

程黛月,章国安,叶 翔

(南通大学电子信息学院 南通 226019)

摘 要:针对车辆自组织网络(vehicular Ad Hoc network, VANET)中紧急消息的传输,提出一个改进的二元分割广播(MBPAB)协议。协议将通信范围迭代划分成小的区域,寻找离发送节点最远区域内的车辆,对紧急消息执行转发,通过减少转发跳数,提高消息传播速度。通过引入 MAC(media access control)子层的微型分布式帧间间隔(mini-DIFS),赋予对紧急消息以更高的优先级接入通信信道。仿真结果表明,在 VANET 中,MBPAB 协议与现有的广播协议相比,在通信时延和消息传播速度方面有更好的性能表现。

关键词:车辆自组织网络;紧急消息传输;多跳广播协议

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015199

Modified Binary Partition Assisted Broadcast Protocol for Emergency Message Dissemination in VANET

Cheng Daiyue, Zhang Guoan, Ye Xiang

(School of Electronics and Information of Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: A modified binary partition assisted broadcast (MBPAB) protocol was proposed, which was designed for emergency messages dissemination in vehicular Ad Hoc network (VANET). The protocol divided the communication range into small sectors, and sought the farthest possible nodes in the farthest sector from the sender node to be the forwarding node to increase the dissemination speed by reducing the forwarding hops. A mini distributed inter-frame space (mini-DIFS) in a medium access control (MAC) sublayer was introduced to give the emergency messages a higher access priority to the communication channel compared with other messages. The results demonstrate that MBPAB protocol outperforms benchmarks of the existing broadcast protocols in VANET in terms of communication delay and the average message dissemination speed.

Key words: vehicular Ad Hoc network, emergency message transmission, multi-hop broadcast protocol

收稿日期:2015-04-29;修回日期:2015-07-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.61371113, No.61401241),交通运输部应用基础研究基金资助项目(No. 2013-319-825-110)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61371113, No.61401241), Project of Ministry of Transport of the People's Republic of China(No.2013-319-825-110)

论文引用格式:程黛月,章国安,叶翔.用于 VANET 紧急消息传输的改进二元分割广播协议.电信科学,2015199

Cheng D Y, Zhang G A, Ye X. Modified binary partition assisted broadcast protocol for emergency message dissemination in VANET. Telecommunications Science, 2015199

1 引言

近些年来,VANET(车辆自组织网络)中的紧急消息传输在智能交通系统(intelligent transportation system,ITS)里引起了重要关注。车辆自组织网络主要通过广播的方式传播紧急消息。这样的广播方式主要依赖于被许可的专用短程通信,如 IEEE 802.11p 和 IEEE P1609.4 标准^[1,2]。然而,由于车辆自组织网络节点的高速移动、节点密度频繁变化、网络拓扑结构不稳定以及信道资源有限等特点,使得快速可靠地广播紧急消息成为极大的挑战^[3]。而近期的研究表明,最初的 IEEE 802.11p 的 MAC 子层标准并不适用于 VANET 中对紧急消息的及时广播。

- 目前在 VANET 中广播协议方面的研究主要有以下几种。
- 参考文献[4]提出 RTB/CTB 握手方案,解决隐藏终端问题。然而,其性能分析结果显示,它具有较高的通信时延。
 - 参考文献[5]针对参考文献[4]存在的问题,提出了智能广播(SB)协议,该协议具有较短的通信时延,然而它对网络变化的适应性较差。
 - 参考文献[6]提出了机会广播(OB-VAN)协议,目的是满足安全应用所需的严格时间约束和较高的投递率。然而当多个节点选取同一个退避值时,会发生严重的冲突。
 - 参考文献[7]提出了 BPAB(binary partition assisted broadcast)协议,目的是减少并稳定广播时延。从性能分析结果中看出,BPAB 协议相比于其他协议,如 SB 协议,在平均消息传播速度方面具有更好的性能表现。但是在协议初始阶段,该机制并未赋予紧急消息最高优先级,从而在协议初始阶段消耗更多时间。

本文针对参考文献[7]的不足,提出了一种改进的二元分割广播协议(MBPAB 协议),该协议能够更大地降低广播时延,提高消息传播速度。

2 系统模型

系统模型如图 1 所示,这场景为高速公路。在该场景中,假设没有路边单元等基础设施用于通信支持。

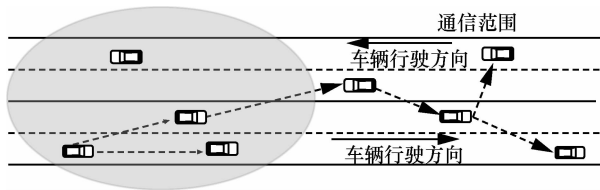


图 1 系统模型

图 1 中,车辆在高速公路中移动,它们之间通过 IEEE 802.11p 网络通信接口直接通信。在这个模型中,来自所有方向的车辆都可以加入紧急消息的传播。有效地利用反向交通,能够在传播方向上有效地延伸传播距离。这种通信一般用于节点对等网络。

3 协议描述

本文针对 BPAB 协议,提出了一些改进方法,主要是在紧急消息接入信道前加入 mini-DIFS^[7]来减小竞争时间。mini-DIFS 能够为紧急消息提供快速的信道接入。二元分割主要减小竞争抖动以及在每一跳中选择合适的转发节点(离消息源节点最远的节点)。因此它实现了较快的平均传播速度。此外,类似于 IEEE 802.11p 标准下的请求广播/清除广播(RTB/CTB)握手机制也被运用到协议中,用来解决多跳无线网络中的隐藏终端的问题。最后,在冲突解决和数据传输阶段,发生碰撞的消息被重新发送。改进的二元分割的全部过程如图 2 所示。每个阶段细节如下所示。

(1)本协议使用 mini-DIFS,其基本思想是将 DIFS 划分为多个时隙,有紧急消息的节点随机选择几个时隙(而不需要再等待整个 DIFS),判断信道是否闲忙。DIFS 的时隙划分如图 3 所示,这里 DIFS 的时隙划分为 w 个。图 4 表示用于判断信道状态等待的一个随机时间。

微时隙的长度 l 以及微时隙的数量 w 的计算式如下:

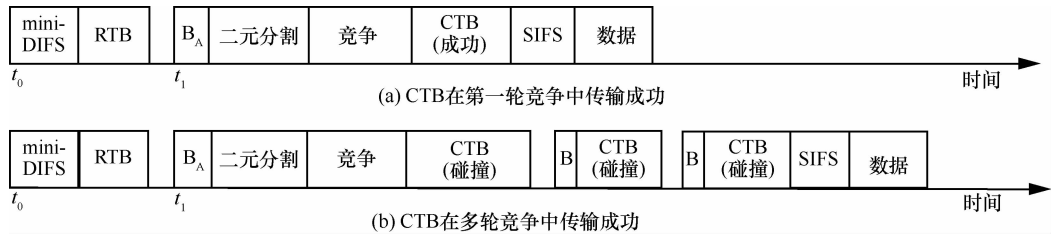


图 2 改进的二元分割过程

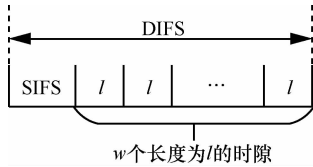


图3 DIFS划分

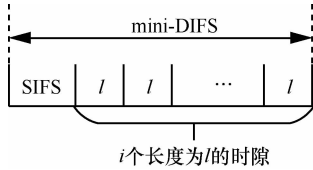


图4 等待时间

$$l = 2\delta + T_{\text{switch}} \quad (1)$$

$$w = \left\lceil \frac{T_{\text{DIFS}} - T_{\text{SIFS}}}{l} \right\rceil \quad (2)$$

其中, δ 是在传输范围 R 内的最大信道传播时延。 T_{switch} 是收发器在发送和接收模式之间的转换所需要的时间。 T_{DIFS} 和 T_{SIFS} 分别对应于 DIFS 和 SIFS 的标准持续时间。一旦通信信道进入闲置状态,为赋予紧急消息优先权,尝试广播紧急消息的车辆将从 $(0, w]$ 中随机选取第 i 个微时隙。等待时间 T_w 最终被计算成:

$$T_w = i \cdot l + T_{\text{SIFS}} \quad (3)$$

mini-DIFS 阶段结束后,发送端发送一个 RTB 数据分组,等待来自下一跳转发节点响应的 CTB 数据分组。利用 RTB/CTB 机制解决隐藏终端和广播风暴问题^[9]。在发送节点传输范围内,接收到 RTB 消息的所有车辆同时广播出一个黑脉冲消息 B_A ,即干扰信号。一旦发送端接收到 B_A ,便判断出消息传播方向区域内至少有一个候选转发节点。这种情况下,将进入二元分割进程。否则,发送节点会判定,传播方向内没有候选转发节点。那么发送节点会等待一定时间,然后重新开始 mini-DIFS 过程。

(2)收到发送节点的 RTB 分组后,所有潜在的转发节点同时广播黑脉冲 B_A ,告知发送节点存在潜在转发节点。下一步就是选取离发送节点最远的可能的转发节点,再以每跳最大通信范围向下一跳转发紧急消息,这可以通过二元分割机制实现。

(3)碰撞处理机制:最后一轮二元分割过程结束后,可能发生 CTB 碰撞。这种情况下,所选区域内,退避时间未结束的车辆将继续进行倒计时,因此,它们最终也会成为一个转发节点。

超时阶段(由最大竞争窗口时间 C_w 和广播 CTB 数据分组的时间($T_{\text{timeout}} = \max_{cw} + T_{\text{CTB}}$)组成)结束后,若发送节点未

能收到 CTB,它将仅需图 2(b)所示的一半的时隙通过广播黑脉冲来重启该进程。一旦检测到半个时隙的黑脉冲,在所选区域的候选节点通过选择新的 C_w 值相互重新竞争。该进程在设定的阈值内重复执行,直到 CTB 被成功发送。否则,若重新竞争次数超出预先设定的阈值,候选节点竞争进程将被终止。

4 协议性能参数

4.1 单跳时延 T_d

单跳时延指的是紧急消息被收到至转发给中继节点的时间。如图 2(a)所示,即:

$$T_d = T_i + T_p + T_c + T_b \quad (4)$$

其中, T_i 表示初始化时间, T_p 表示分割时间, T_c 表示竞争时间, T_b 表示消息传播时间。

(1)初始时间 T_i

初始时间是指紧急消息被收到至 RTB 数据分组成功传播的时间。因此,它由 mini-DIFS 时间 T_m 以及 RTB 数据分组广播时间 T_{RTB} 组成,如下:

$$T_i = T_m + T_{\text{RTB}} \quad (5)$$

在 mini-DIFS 进程的竞争阶段时间内,会经历下面 3 种情况之一。

- 空闲:没有车辆广播 RTB,并且信道在整个 mini-DIFS 时隙中都处于空闲状态。
- 成功:只有一个车辆广播 RTB,广播成功。
- 碰撞:同时有多辆车广播 RTB,发生碰撞。

3 种情况下的平均初始时间的持续时间分别为:

$$T_{m_idle} = l \quad (6)$$

$$T_{m_suc} = T_{\text{RTB}} \quad (7)$$

$$T_{m_col} = T_{\text{RTB}} + T_{m_cont} \quad (8)$$

其中, T_{m_idle} 是信道处于空闲状态的时间。 T_{m_suc} 是成功传播 RTB 时间。 T_{m_col} 表示平均碰撞时间,由 T_{RTB} 和 mini-DIFS 阶段间的平均竞争时间 T_{m_cont} 组成。

设 w 为 mini-DIFS 的时隙数。因此,一个节点在给定时间内初始化一次广播的概率为 $p_m = 1/w$ 。因为紧急消息事件发生概率非常小,并且独立于其他事件,无记忆进程和数据分组之间的独立模型适用于这种情况。因此,假设紧急消息的是以到达率为 λ_m (本文默认为 5 紧急分组/s)的泊松随机过程到达的。根据泊松随机过程,空闲、成功以及碰撞情况下的概率如下:

$$p_{m_idle} = e^{-\lambda_m p_m} \quad (9)$$

$$p_{m_suc} = \lambda_m p_m e^{-\lambda_m p_m} \quad (10)$$

$$p_{m_col} = 1 - p_{m_idle} - p_{m_suc} = 1 - e^{-\lambda_m p_m} (\lambda_m p_m + 1) \quad (11)$$

每种情况独立发生,在成功发送 RTB 前发送失败的次数是以期望值为 f_m 的几何分布,期望值计算如下:

$$f_m = \frac{1 - p_{m_suc}}{p_{m_suc}} \quad (12)$$

假设在一个 mini-DIFS 阶段,空闲和碰撞情况都表示通信失败。因此,失败的 mini-DIFS 时隙的持续时间期望值 T_{m_fail} 为:

$$T_{m_fail} = T_{m_idle} \frac{p_{m_idle}}{1 - p_{m_suc}} + T_{m_col} \frac{p_{m_col}}{1 - p_{m_suc}} \quad (13)$$

因此,在 mini-DIFS 阶段所需的平均时间 T_m 为:

$$T_m = f_m T_{m_fail} \quad (14)$$

将式(14)代入式(5),可得初始时间为:

$$T_i = f_m T_{m_fail} + T_{RTB} \quad (15)$$

(2)分割时间 T_p

分割时间是在分割机制中消耗的时间:

$$T_p = \left[\left(\sum_{i=1}^{n-1} i \right) N + 1 \right] T_{SlotTime} = (N+1) T_{SlotTime} \quad (16)$$

其中, n 是任何多进制分割机制的基础值,本文 n 值取 2; N 是分割迭代次数。 $T_{SlotTime}$ 是时隙的持续时间。

(3)竞争时间 T_c

假定单位区域内的车辆数是一个随机的变量,该变量服从均值为 λ 的泊松分布。因此在任意具有 N 次迭代的 n 元分割机制的每个区域的车辆数将是一个均值为 $\mu = \lambda/nN$ 的泊松随机变量。

与 mini-DIFS 阶段相似,竞争阶段也会经历下面 3 种情况之一。

- 空闲:没有车辆广播 CTB,信道在整个时隙里保持空闲。
- 成功:只有一个车辆广播 CTB,CTB 传播成功。
- 碰撞:同时有多个车辆广播 CTB,发生碰撞。

每种情况下消耗的时间分别为:

$$T_{c_idle} = T_{SlotTime} \quad (17)$$

$$T_{c_suc} = T_{CTB} + T_{SIFS} + T_{Data} \quad (18)$$

$$T_{c_col} = T_{CTB} + T_{DIFS} \quad (19)$$

其中, T_{c_idle} 等同于 $T_{SlotTime}$ 。 T_{c_suc} 由 CTB 的传播时间 T_{CTB} 、SIFS 阶段的时间 T_{SIFS} 以及数据传播持续时间 T_{Data} 组成。

T_{c_col} 由 T_{CTB} 和 DIFS 阶段的 T_{DIFS} 组成。

每一次 C_w 的选择的概率为 $p = 1/C_w$,这里的 C_w 是指每次分割可获得的竞争窗口的个数。因此,3 种情况下的概率分别为:

$$p_{c_idle} = e^{-\mu p} \quad (20)$$

$$p_{c_suc} = \mu p e^{-\mu p} \quad (21)$$

$$p_{c_col} = 1 - p_{c_idle} - p_{c_suc} = 1 - e^{-\mu p} (\mu p + 1) \quad (22)$$

由于在成功传播 CTB 前的竞争次数等于源节点广播的黑脉冲的次数,竞争时间可计算为:

$$T_c = f T_{c_fail} + \left[\frac{f}{C_w} \right] \frac{T_{SlotTime}}{2} \quad (23)$$

成功传播 CTB 之前的失败尝试次数是以期望值为 f 的几何分布, T_{c_fail} 是失败时隙的预期持续时间。每个参数的计算如下:

$$f = \frac{1 - p_{c_suc}}{p_{c_suc}} \quad (24)$$

$$T_{c_fail} = T_{c_idle} \frac{p_{c_idle}}{1 - p_{c_suc}} + T_{c_col} \frac{p_{c_col}}{1 - p_{c_suc}} \quad (25)$$

(4)广播传输时间 T_B

T_B 用来表示广播传输时间,它由 CTB 成功发送时间 T_{CTB} 、SIFS 时间 T_{SIFS} 以及数据传输时间 T_{Data} 组成,计算如下:

$$T_B = T_{CTB} + T_{SIFS} + T_{Data} \quad (26)$$

将式(15)、式(16)、式(23)以及式(26)代入式(4)中,单跳时延可计算为:

$$T_d = f_m T_{m_fail} + T_{RTB} + (N+1) T_{SlotTime} + f T_{c_fail} + \left[\frac{f}{C_w} \right] \frac{T_{SlotTime}}{2} + T_{CTB} + T_{SIFS} + T_{Data} \quad (27)$$

4.2 平均单跳广播进展 β

平均单跳广播进展指每一跳信息广播的平均距离。协议将通信范围划分为 2^N 个区域。若假设,最终的中继节点在相应区域中的某处,那么在第 i ($i=1,2,\dots,2^N$) 个区域消息进度(用 M_i 表示)可表示为:

$$M_i = \frac{2^N - i}{2^N} + \frac{1}{2(2^N)} = \frac{2(2^N - i) + 1}{2^{N+1}} \quad (28)$$

当某路段存在节点且比这个路段更远的路段为空白的,那么这个路段即被选定。则空白和非空白区域的概率分别为:

$$p(k=0) = e^{-\mu} \quad (29)$$

$$p(k \geq 1) = 1 - e^{-\mu} \quad (30)$$

若在区域 j ($j > i$) 不存在转发节点,那么区域 i 将成为选中的区域。因此:



$$p(M_i) = (1 - e^{-\mu}) \prod_{j=1}^{i-1} e^{-\mu} = (1 - e^{-\mu}) e^{-(i-1)\mu} \quad (31)$$

那么,平均单跳广播进展 β 可表示为:

$$\beta = \sum_{i=1}^{2^N} M_i \cdot p(M_i) = \sum_{i=1}^{2^N} M_i \cdot (1 - e^{-\mu}) e^{-(i-1)\mu} \quad (32)$$

4.3 消息传播速度 ν

消息传播速度定义为每秒广播紧急消息的平均距离,即单跳广播进展除以通信时延的值。

$$\nu = \frac{\beta}{T_d} \quad (33)$$

5 仿真分析

本文采用单跳时延、单跳消息进展和消息传播速度3个性能指标来评估协议的性能。仿真条件假设如下:

- 车辆在高速公路上是随机分布的,所有车辆都相对运动,具有固定的网络拓扑结构;
- C_w 为竞争窗口大小,本文选取其值为4, N 为其迭代次数,本文取值为3;
- 单位区域内的车辆数是一个均值为 λ 的泊松分布的随机变量;
- 通信范围近似为单位区域的长方形;
- 忽略车辆节点的移动性对广播性能的影响;
- 源节点发送的紧急消息能被其通信范围内的所有节点接收。

本文考虑一个1 500 m长的高速公路环境,车辆位置的分布服从泊松过程,每辆车上都安装了无线通信设备,具体参数值见表1。

表1 性能仿真参数

参数	默认取值
标准	IEEE 802.11p/IEEE 1609.4
比特率	18 Mbit/s
最大传播范围	900 m
紧急消息分组大小	500 byte
RTB 分组大小	20 byte
CTB 分组大小	14 byte
时隙值	13 μ s
DIFS	58 μ s
SIFS	32 μ s
最大信道传播时延	2 μ s
T_{switch}	1 μ s

MBPAB协议和BPAB协议以及SB协议的单跳时延随车辆密度变化的曲线如图5所示。从图5中可以看出,SB协议在车辆密度较低的情况下,单跳时延较低,但是当车辆

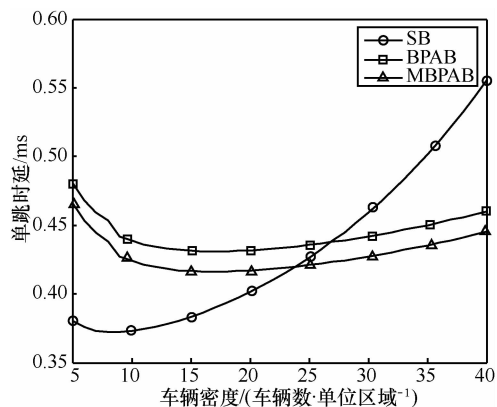


图5 单跳时延随车辆密度变化曲线

密度大于25辆/单位区域时,其单跳时延快速增长,并不适用于车辆密度较高时紧急消息的传播。当车辆密度从5增大到40的过程中,BPAB和MBPAB的单跳时延见表2。

表2 BPAB与MBPAB单跳时延

车辆密度/(车辆数·单位区域 ⁻¹)	BPAB/ms	MBPAB/ms	时延差/ms
5	0.480 8	0.466 2	0.014 6
10	0.438 6	0.423 9	0.014 7
15	0.431 3	0.416 6	0.014 7
20	0.431 6	0.417	0.014 6
25	0.435 6	0.420 9	0.014 7
30	0.441 9	0.427 3	0.014 6
35	0.450 1	0.435 4	0.014 7
40	0.46	0.445 3	0.014 7

从表2可看出,当车辆密不断增加时,BPAB和MBPAB协议的单跳时延缓慢增加,同时,MBPAB协议的时延比BPAB协议的时延低14.7 μ s,MBPAB协议引入了mini-DIFS,使紧急消息拥有最高优先级接入信道,从而为消息的传播争取更多有效时间,使紧急消息能够有效地广播出去。

图6比较了3种协议的单跳广播进展随着车辆密度的变化曲线。从图6中可以看出,SB协议随着车辆密度的增大,单跳广播进展在车辆密度达到15辆/单位区域后,呈下降趋势,说明该协议在车辆网络发生异常情况下(如交通事故场景中),容易导致网络拥塞,不能将消息可靠地广播出去。MBPAB协议与原BPAB协议的单跳广播进展曲线是一致的,随着车辆密度的上升,其单跳广播进展缓慢增长,并且当车辆密度增大时,单跳广播进展能达到最大传播范围的94%,说明MBPAB协议能保证消息传播的可靠性。

图7比较了3种协议的消息传播速度随车辆密度变化的性能曲线。从图7中可以看出,车辆密度低于15辆/单位区域时,SB协议消息传播速度高于2 000 m/s,其性能优

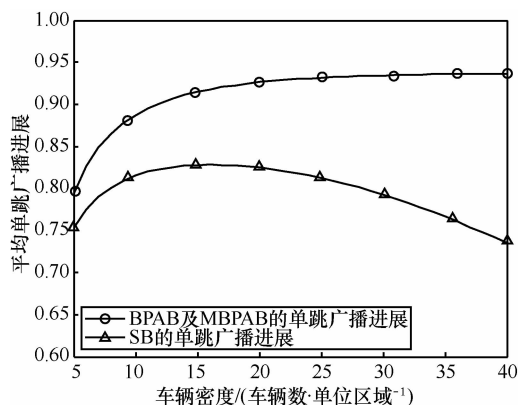


图 6 平均单跳广播进展随车辆密度变化曲线

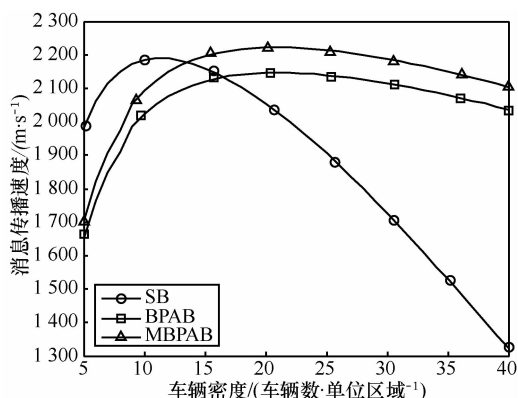


图 7 消息传播速度随车辆密度变化曲线

于 MBPAB 协议;当车辆密度高于 15 辆/单位区域时,SB 协议消息传播速度呈逐渐下降趋势,说明该协议适用于车辆密度稀疏的网络,而在高车辆密度网络下,协议性能变差。从 MBPAB 和 BPAB 协议的消息传播速度曲线比较中,发现 MBPAB 协议由于采用了 mini-DIFS,平均传输速度相较于原协议提升了大概 75 m/s。这种提升是因为 mini-DIFS 机制赋予紧急消息较高的优先权,降低了接入时延,提高了消息传播速度,从而改善协议的性能。

6 结束语

本文提出了一种改进的二元分割广播协议,赋予紧急消息最高的优先级接入信道,通过分析推导获得单跳时延、平均单跳广播进程以及消息传播速度的计算式。仿真结果表明,MBPAB 协议与 BPAB、SB 协议相比,降低了单跳广播时延并且提高了消息传播速度,增强了广播协议的有效性和可靠性。

参考文献

1 IEEE Std. P802.11-REVmc/D3.0. IEEE 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, Jun 2014

2 IEEE Std. 1609.4-2010. IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Multi-Channel Operation, Feb 2011

3 张恩展, 邱育军. 路口 2-D VANET 中紧急信息单跳广播的可靠性分析. 电信科学, 2014, 30(3):80~86

Zhang E Z, Kuang Y J. Reliability analysis of emergency message broadcast at an intersection in 2-D VANET. Telecommunications Science, 2014, 30(3):80~86

4 Korkmaz G, Özgüner F, Ekici E, et al. Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems. Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'04), Philadelphia, PA, USA, 2004:76~85

5 Fasolo E, Zanella A, Zorzi M. An effective broadcast scheme for alert message propagation in vehicular Ad Hoc networks. Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Communications, Glasgow, Scotland, UK, 2006:3960~3965

6 Bachir A, Benslimane A. A multicast protocol in Ad Hoc networks inter-vehicle geocast. Proceedings of the 57th IEEE Vehicular Technology Conference, Jeju, Korea, 2003:2456~2460

7 Sahoo J, Wu E H K, Sahu P K, et al. Binary-partition-assisted MAC-layer broadcast for emergency message dissemination in VANETs. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011(3):757~770

8 Hafeez K A, Zhao L, Mark J W, et al. Distributed multichannel and mobility-aware cluster-based MAC protocol for vehicular Ad Hoc networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013(8):3886~3902

9 Wisitpongphan N, Tonguz O K, Parikh J S, et al. Broadcast storm mitigation techniques in vehicular Ad Hoc networks. IEEE Wireless Communications, 2007, 14(6):84~94

[作者简介]



程黛月, 女, 南通大学电子信息学院硕士生, 主要研究方向为车载自组织网络。

章国安, 男, 博士, 南通大学电子信息学院教授、博士生导师, 主要研究方向为无线通信网络理论与技术。

叶翔, 男, 南通大学电子信息学院硕士生, 主要研究方向为车载自组织网络。