

车载网中紧急消息的广播性能分析

于明鹭¹, 刘南杰^{1,2}, 赵海涛^{1,2}

(1. 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003;
2. 南京邮电大学 网络基因工程研究所, 江苏 南京 210003)

摘要:车载自组织网络中,由于没有 RTS/CTS 握手机制和应答机制,使得通信可靠性降低,这在紧急消息的传输中会带来严重后果。针对该问题,首先提出车载自组织网络中具有优先级的安全消息传输性能分析模型;然后利用该模型分别计算出任一间隙传递状态消息和紧急消息的概率以及信道忙的概率;在此基础上分析出状态消息存在的情况下紧急消息的平均传输时延;最后对理论分析进行仿真验证。仿真结果与理论分析具有很好的一致性,表明了该模型对选取合适的网络参数来减小紧急消息的传输时延及进一步研究车载自组织网络的其他性能具有一定的参考价值。

关键词:车载自组织网络;紧急消息;状态消息;马尔可夫链;时延

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)12-0169-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.12.038

Performance Analysis of Emergency Message Broadcast in Vehicular Ad Hoc Networks

YU Ming-lu¹, LIU Nan-jie^{1,2}, ZHAO Hai-tao^{1,2}

(1. Institute of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of
Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. Network Gene Engineering Research Institute, Nanjing University of Posts and Telecommunications,
Nanjing 210003, China)

Abstract: In Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs), the lack of request-to-send/clear-to-send handshaking and response mechanism makes communication less reliable, which will cause serious consequences in emergency message transmission. Aiming at this problem, first a performance analysis model of safety message dissemination in VANETs with priority was proposed, then figured out the probability of transmitting status and emergency messages in a random slot respectively. In addition, the probability of a slot in busy condition is figured out. Furthermore, determined average transmission delay of emergency messages in the presence of status messages. Finally, the numerical analysis is validated by simulation, which indicates the model is helpful to select appropriate network parameters to reduce the delay of emergency messages transmission and study other performance in VANETs.

Key words: VANETs; emergency message; status message; Markov chain; delay

1 概述

车载自组织网络 (Vehicular Ad-hoc NETWORKS, VANETs, 以下简称车载网) 作为智能交通系统的重要组成部分,指的是道路上车辆与车辆或车辆与基础设施之间通过各自配备的无线通信模块相互通信而组成的开放性移动 ad-hoc 网络。用于传递辅助驾驶或避免交通事故的实时信息,或提供娱乐信息、Internet 接

入等数据服务。专用短距离通信技术 (Dedicated Short Range Communications, DSRC) 或者说是 IEEE802.11p^[1] 促进了车载自组织网络的研究和应用的发展,这些研究和应用旨在提高驾驶安全性和减少交通事故。

IEEE802.11p 协议是 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment) 协议的底层协议,它是 IEEE802 协议族的新成员,专门用于支持车载网下的应用。IEEE802.11p MAC 层采用的基本接入策略为

收稿日期:2015-03-12

修回日期:2015-06-17

网络出版时间:2015-11-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目 (61302100); 国家“973”重点基础研究发展计划项目 (2013CB329005); 教育部博士点基金资助项目 (20133223120002)

作者简介:于明鹭 (1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向为车联网; 刘南杰, 博士, 教授, 研究方向为泛在通信、车联网、智能交通。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20151119.1107.018.html>

CSMA/CA。在交通安全中,由于紧急消息对时延和可靠性比状态消息更加敏感,所以 IEEE802. 11p 引入了 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)^[2] 机制来保证高优先级消息优先接入信道。它是 IEEE802. 11p 基本的 DCF (Distributed Coordination Function) 的增强版本。EDCA 也是带有碰撞避免的 CSMA,与基本的 DCF 的区别在于每个节点内都有四个不同的队列,各种业务的数据帧首先映射到不同的接入类并且放在相应的发送队列。每个发送队列采用 DCF 机制独立的竞争信道。由于这些队列有不同的 AIFS,竞争窗口初始值和竞争窗口最大值,队列的 AIFS 越短且竞争窗口越小,队列优先级就越高。当同一节点内部的多个发送队列之间因竞争信道发生冲突时,虚拟调度器会选择优先级较高的队列发送,而其他低优先级的竞争窗口就会加倍,重传次数加 1。不同的节点同时发送数据帧时将发生碰撞,发送碰撞的各个发送队列都要经历重传过程,与队列的优先级高低无关。因此,在 802. 11p MAC 层内有两层竞争:第一层是内部竞争(基于接入类型)来选择传输哪个数据包;第二层是被选择的数据包将根据信道接入参数进行外部竞争。EDCA 有 4 种接入级别,不同的接入级别 AIFSN 不同,以此来减少高优先级包的等待时间,如表 1 所示。

表 1 IEEE802. 11p 控制信道的竞争参数

AC NO.	Access Class	CW _{min}	CW _{max}	AIFSN
0	Background Traffic(BK)	15	1 023	9
1	Best Effort(BE)	7	15	6
2	Voice(VO)	3	7	3
3	Video(VI)	3	7	2

DSRC^[3]工作频段分配在 5.9 GHz 上,见图 1。

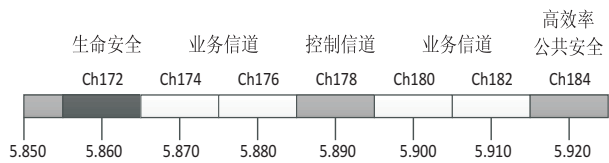


图 1 IEEE802. 11 频段和信道分配

频谱宽度为 75 M,分成 7 个 10 MHz 信道和一个 5 MHz 保护带。中间的信道即 Ch178 为控制信道(Control CHannel,CCH),主要用于与交通安全相关的应用、系统控制和高优先级管理等,其他六个信道用做业务信道(Service CHannels,SCHs),主要支持非安全应用。车辆会同步 CCH 与一个或多个 SCH 之间的切换,这样与安全相关的消息就不会丢失。同步间隔包含一个 CCH 间隔和一个 SCH 间隔。增大 CCH 间隔可以增强安全消息的可靠性。

车载网既可以是车辆间通信(Inter-Vehicle Communication,IVC^[4]),也可以是车辆与基础设施之间的

通信。文中考虑 IVC 通信,其中车辆配备感知器和全球定位系统来搜集它们的位置、速度、加速度和方位等信息,并把这些信息广播给一定范围内的所有车辆。在 IEEE802. 11p 中,对于广播包,车辆不会发送任何确认消息,发送者无法发现包接收失败,所以发送方不会重发,这在紧急消息的传输中会带来严重后果。例如,在碰撞提醒的应用中,所有事故发生车辆后面的车辆都必须在短时间内成功接收警告消息,否则会产生严重的后果。

许多文献对车载网中安全消息的传输性能进行了分析,文献[5]分析了每种类型消息的传输时延,但未考虑退避过程的时延。文献[6]在多跳场景下用马尔可夫链模型提出了隐藏终端对安全消息传输性能的影响。文献[7]提出了一个一维马尔可夫链模型来计算安全消息的传输时延和接收率,但未考虑信道忙产生的时延。文献[8-9]分析了 EDCA,文献[10]分析了 IEEE802. 11p 协议,但这些分析都是基于单播的。尽管 WAVE 协议是基于 IEEE802. 11 和 EDCA 的,但针对单播的分析模型是无法用于 IEEE802. 11p 广播分析的,因为在 IEEE802. 11p 中接收方不会发送确认帧,所以发送方无法检测到碰撞。文献[11]研究了饱和情况下车载网中安全消息的传输性能。文献[12-14]只考虑到一种类型的消息传输,而实际上,在车载自组网络安全应用中,车辆通常广播两种类型的消息。

文中在上述分析的基础上做了如下工作:

- (1)建立马尔可夫链模型并分析得出在状态消息存在的情况下紧急消息的平均传输时延。
- (2)搭建仿真场景,对提出的模型进行仿真分析。

2 系统模型

车载网的安全应用中,车辆通常广播两种类型的消息,第一种是状态消息(低优先级消息),状态消息通过车辆传感器获得,通常包含车辆的速度、加速度、方向、位置等信息,它们周期性地传输给一定范围内的所有车辆,以此来了解周围路面和车辆的信息。第二种是事件驱动型的紧急消息(高优先级消息),通常包含危险消息,如发生交通事故,车辆变道,减速到小于某门限值,等等,所以紧急消息因为具有最高优先级而采用 AC₃,状态消息则采用 AC₀,如表 1 所示。

2.1 模型描述

文中考虑一个双向高速公路,因为消息传输范围远大于道路的宽度,两个车道之间的距离可以忽略,所以这种典型的公路场景可以简化为一个一维车载网模型,如图 2 所示。

下文用一个节点来代表一辆车,传输范围(R)定义为成功发送/接收包的距离,它与传输功率和信道衰

节点即 $h = 1$ 节点的传输时延与中间节点的传输时延略有不同,将在后面讨论。因为第 h 个转发节点已经接收到第 $h - 1$ 个节点发送的紧急消息,所以原先该节点不可能处在活动区,所以当接收到前一节点的消息时,就开始检测 AIFS 时长,如果检测到信道空闲(概率为 $1 - p$),该节点就会在下一时隙发送消息。在这种情况下,转发时延是 $AIFS + T_i$ 。如果检测到信道忙碌(概率为 p),那么该节点就会等正在传输的信息传输完毕并经过退避过程。又因为在一个时隙内有消息在传输的概率是均匀分布的,所以平均检测时隙时长为 $0.5 AIFS$,转发时延为 $0.5 AIFS + T_i + E[\text{backoff}] + T_i$ 。综上所述,第 h 个转发节点的平均时延为:

$$\bar{d}_h = (1 - p)(AIFS + T_i) + p(0.5 AIFS + T_i + E[\text{backoff}] + T_i) \quad (6)$$

设 i 表示第 h 个转发节点的退避值, $i = 0, 1, \dots, W_e - 1$ 。如果在退避过程中有状态消息产生,则退避值保持不变,此时等待时间为消息的平均传输时间加一个时隙的时长。因为任一时隙传输状态消息的概率为 τ_s ,设 T_{wt} 表示任一转发节点的平均等待时间。则

$$T_{wt} = (1 - \tau_s) AIFS + \tau_s(0.5 AIFS + T_i + T_{wt}) \quad (7)$$

简化后得:

$$T_{wt} = \frac{(1 - 0.5 \tau_s) AIFS + \tau_s T_i}{1 - \tau_s} \quad (8)$$

因为 i 是在 $[0, W_e]$ 中均匀取值,所以转发节点的平均退避时间为:

$$E[\text{backoff}] = \frac{W_e}{2} T_{wt} \quad (9)$$

将公式(9)代入公式(6)就可以得到第 h 个节点的平均转发时延。

接下来讨论源节点即 $h = 1$ 节点的传输时延。源节点在产生紧急消息时可能处在活动区(概率为 $P_i^{[18]}$)。在这种情况下,该节点随机产生一个退避值并在时隙空闲时减小该值。因为在活动区域内接收到紧急消息的概率是均匀分布的,所以源节点检测到信道空闲的平均等待时间为 $0.5 T_i$,其中 T_i 是消息平均传输时间。另一方面如果源节点在产生高优先级消息时没有处在活动区,那么源节点的传输时延与其他中间节点类似。如公式(6),所以源节点的平均传输时延如下:

$$\bar{d}_1 = P_i(0.5 T_i + E[\text{backoff}] + T_i) + (1 - P_i) \bar{d}_h = P_i \left[\frac{W_e}{2} T_{wt} + 1.5 T_i \right] + (1 - P_i) \bar{d}_h \quad (10)$$

其中,文献[19]中给出了 P_i 的值。

最后给出经过 H 跳传输后总的传输时延 \bar{D}_H :

$$\bar{D}_H = \bar{d}_1 + (H - 1) \bar{d}_h \quad (11)$$

4 仿真分析及参数设置

为了验证模型的准确性,文中用 MATLAB 搭建了事件驱动型的仿真平台,在该平台上执行具有两种优先级的 IEEE 802.11p MAC 协议。为了验证忽略节点移动性的假设,仿真融入了移动模型^[19]。仿真场景为一段长为 4 000 m 的双向高速公路,每个方向 2 个车道。车辆的速度为 80 ~ 120 km/h。

简要来看,该移动模型考虑车辆到达高速公路两端的数量服从参数为 ρ 辆/秒的泊松分布。两辆车之间的到达时间间隔是随机的,称为移动间隔,它服从参数为 δ_i 的指数分布。在移动间隔内,车辆以恒定速度移动,该速度在服从参数为 $G(\eta, \sigma_i^2)$ 的高斯分布中随机选择。该移动模型的优势在于方便数学处理以及能够准确反映车辆在高速移动场景下的主要特性。仿真中每辆车都发送状态消息而只有一辆车发送紧急消息。表 2 给出了仿真参数。

表 2 仿真参数设置

参数	值
车辆密度 β	0.1
消息长度/Bytes	500
数据速率 r_d /Mbps	6
传输时延 $\delta/\mu s$	1
紧急消息最小竞争窗口 W_e	3
状态消息最小竞争窗口 W_s	15
紧急消息传输跳数 H	5

图 4 和图 5 给出了紧急消息传输时延的数值分析结果及仿真结果。其中图 4 是紧急消息的传输时延随通信范围的变化关系,状态包的产生率作为参数。而图 5 是紧急消息的传输时延随状态消息产生率的变化关系,通信范围作为参数。

由仿真结果图可知,紧急消息的平均传输时延随着通信范围 R 和状态消息产生率 λ_s 的增大而增大,因为这两种情况下,通信中每一跳在信道接入时的竞争变大。另外,紧急消息的传输时延随通信范围的变化几乎呈线性,而且斜率随着 λ_s 的增大而增大。这一结果有助于选择最大通信范围来保证通信的可靠性,或者应用于通信范围自适应传输机制。例如图 4,当 $\lambda_s = 9$, $R = 700$ 时,紧急消息在经过五跳后的时延将近 500 ms,也就是说每一跳的平均时延将近 100 ms。而 DSRC 规定的可靠通信所能接受的最大消息传输时延是 100 ms^[1]。所以,为了保证通信的可靠性,通信范围的选择不能大于 700 m。再如图 5,当 $R = 800$, λ_s 接近 8.7 时,紧急消息平均传输时延超过了 500 ms,所以,此时应该减小通信范围来保证通信可靠性。由仿真结果图可以看出,数值分析与仿真结果具有很好的一致

性,因而证实了分析模型的准确性。

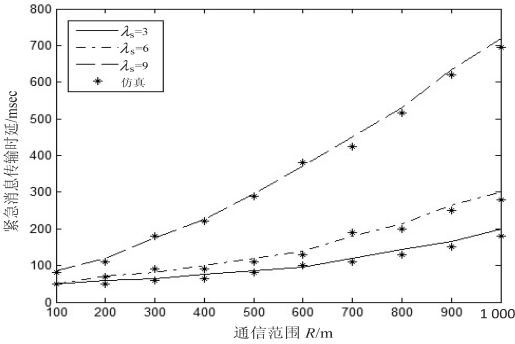


图 4 紧急消息的传输时延随通信范围的变化关系

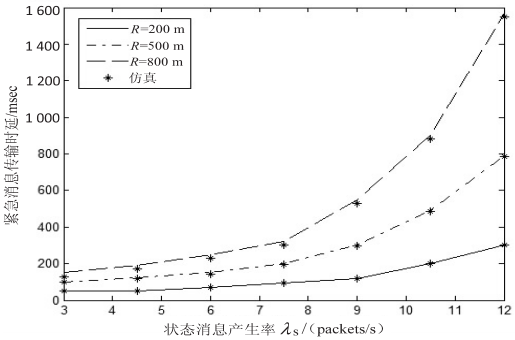


图 5 紧急消息的传输时延随状态消息产生率的变化关系

5 结束语

具有不同优先级的安全消息(如状态消息和紧急消息)的广播和传输是车联网应用的热点。文中提出了一个分析模型来计算紧急消息的平均传输时延,通过建立两个一维马尔可夫链来分别计算出在任一时刻传输状态包和紧急包的概率,在此基础上进一步分析得出状态消息存在的情况下紧急消息的平均传输时延,仿真结果表明文中的分析模型十分准确。该模型非常有助于选择合适的网络参数以保证通信的可靠性,从而有利于行车安全。

在未来的研究工作中,会根据文中得出的结论考虑如何最大程度减小紧急消息的平均传输时延以保证紧急消息传输的可靠性,减少交通事故。

参考文献:

[1] IEEE 802 Committee of the IEEE Computer Society. IEEE P802.11p/D5.0. wireless access in vehicular environments [S]. New York:IEEE,2008.

[2] 袁 涛. 基于 IEEE 802.11p 的车载自组网 MAC 层关键技术研究[D]. 南京:南京邮电大学,2013.

[3] 郭海陶. 智能交通专用短程通信(DSRC)关键技术与应用研究[D]. 广州:华南理工大学,2010.

[4] 吕虎猛,叶雪梅,安 利,等. 车载自组网安全消息可靠传输策略研究[J]. 四川兵工学报,2011,32(8):99-102.

[5] Eichler S. Performance evaluation of the IEEE 802.11p

WAVE communication standard[C]//Proc of vehicular technology conference. Baltimore:IEEE,2007:2199-2203.

[6] Choi Jong-Mu, So Jungmin, Ko Young-Bae. Numerical analysis of IEEE 802.11 broadcast scheme in multihop wireless ad hoc networks[J]. Information Networking,2005(10):1-10.

[7] Ma Xiaomin, Chen Xianbo. Delay and broadcast reception rates of highway safety applications in vehicular ad hoc networks[C]//Proc of mobile networking for vehicular environments. Anchorage:IEEE,2007:85-90.

[8] Xu Dongxia, Sakurai T, Vu H, et al. An access delay model for IEEE 802.11e EDCA [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing,2009,8(2):261-275.

[9] Lee J Y, Lee H S. A performance analysis model for IEEE 802.11e EDCA under saturation condition[J]. IEEE Transactions on Communications,2009,57(1):56-63.

[10] Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2000,18(3):535-547.

[11] Ma Xiaomin, Chen Xianbo. Performance analysis of IEEE 802.11 broadcast scheme in ad hoc wireless LANs [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology,2008,57(6):3757-3768.

[12] Zhang Wenhui. Analysis of packet forwarding in VANETs using probabilistic channel model[C]//Proc of vehicular technology conference. [s. l.]:IEEE,2009.

[13] Vinel A, Vishnevsky V M, Koucheryavy Y. A simple analytical model for the periodic broadcasting in vehicular ad-hoc networks [C]//Proc of IEEE Globecom workshops. [s. l.]:IEEE,2008.

[14] Sahoo J, Wu E H K, Sahu P K, et al. Binary-partition-assisted MAC-layer broadcast for emergency message dissemination in VANETs[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,2011,12(3):757-770.

[15] Hafeez K A, Zhao Lian, Ma B, et al. Performance analysis and enhancement of the DSRC for VANET's safety applications [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology,2013,62(7):3069-3083.

[16] 刘南杰,葛剑飞,赵海涛,等. 基于 IEEE802.11p 协议的车载网信标消息性能研究[J]. 信息通信技术,2013,7(5):57-62.

[17] Wisitpongpham N, Bai F P, Mudalige P, et al. Routing in sparse vehicular ad hoc wireless networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2007,25(8):1538-1556.


[18] Khabazian M, Aissa S, Mehmet-Ali M. Performance modeling of message dissemination in vehicular ad hoc networks with priority[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2011,29(1):61-71.

[19] Khabazian M, Ali M. A performance modeling of connectivity in vehicular ad hoc networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology,2008,57(4):2440-2450.

车联网中紧急消息的广播性能分析

作者：[于明鹭](#)，[刘南杰](#)，[赵海涛](#)，[YU Ming-lu](#)，[LIU Nan-jie](#)，[ZHAO Hai-tao](#)

作者单位：[于明鹭, YU Ming-lu\(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京, 210003\)](#)，[刘南杰, 赵海涛, LIU Nan-jie, ZHAO Hai-tao\(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003; 南京邮电大学 网络基因工程研究所, 江苏 南京 210003\)](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015, 25(12)

引用本文格式：[于明鹭](#). [刘南杰](#). [赵海涛](#). [YU Ming-lu](#). [LIU Nan-jie](#). [ZHAO Hai-tao](#) [车联网中紧急消息的广播性能分析](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(12)