

# 基于IEEE802.11p协议的车载网信标消息性能研究

刘南杰<sup>1,2</sup> 葛剑飞<sup>3</sup> 赵海涛<sup>1,2</sup> 刘委婉<sup>1,2</sup>

1南京邮电大学通信与信息工程学院 南京 210003

2南京邮电大学网络基因研究所 南京 210003

3国网上海市电力公司信息通信公司 上海 200122

**摘要** 研究车辆间通信交换信标消息的性能。首先通过建立马尔科夫链模型在理论上分析随着最小竞争窗口和车辆密度的变化关系信标消息的平均到达时延和广播接收率;然后对理论分析结果进行NS2仿真,仿真结果与理论分析具有一致性,表明文章提出的模型适用于研究车载网中的信标消息,对进一步研究车载网的其他性能也具有一定的参考价值。

**关键词** 信标消息;马尔科夫链模型;最小竞争窗口;车辆密度

## 引言

车载自组织网络(Vehicular Ad-hoc Networks, VANET, 以下简称车载网)作为智能交通系统的基本组成部分,是指在交通道路上车辆之间、车辆与固定接入点之间相互通信组成的移动Ad-hoc网络。提供车辆与车辆、车辆与路边单元之间的相互通信,用于传递辅助驾驶或避免事故的实时信息,或提供娱乐信息、Internet接入等数据服务。

IEEE802.11p<sup>[1]</sup>协议是WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)协议栈的底层协议,它是IEEE802协议族的新成员,它专门用于支持车载网下的应用。目前,IEEE 802.11p协议仍然处于草案阶段。IEEE802.11p位于5.9GHz频段(5.85~5.925GHz),共有7个子信道,每个信道带宽10MHz,如图1所示。每

个子信道拥有27Mb/s的带宽,保护间隔是802.11a的两倍,信号传输的范围能够延伸到1km。IEEE802.11p的物理层采用的是IEEE802.11a传输技术。MAC层采用两种接入访问机制,一种是基本接入协议,该协议基于IEEE802.11的DCF机制,不区分消息的优先级,节点在指定的时间间隔内利用载波监听机制来判断信道是否空闲,通过退避减少消息间的碰撞;另一种是扩展层接入协议,该协议基于IEEE802.11e的EDCA机制,EDCA定义了四个不同的接入类别,分别对应于MAC层的四个传输队列,通过EDCA机制,IEEE802.11p可以将不同的数据流按优先级分成不同的接入类别,这样可以保证车载应用的服务质量。由于本文研究的是车辆间传输的信标信息,该消息不需要区分消息类别,因此,本文采取DCF接入机制,如图1所示。

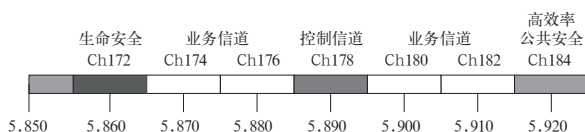


图1 IEEE802.11p频段和信道分配

IEEE802.11的MAC层DCF协议流程为<sup>[2]</sup>:当MAC从上层接收到数据帧时,节点侦听信道尝试发送数据帧。如果信道空闲,则在等待信道空闲DIFS时长之后,节点发送数据帧;如果信道忙碌,则节点从

基金项目:电力通信接入网关键技术研究及应用(No.52090F135015);国家自然科学基金(No.61302100, 61201162);江苏省基础研究计划-重点研究专项基金(No.BK2011027, BK2012434);江苏省高校自然科学基金(No.12KJB510022, 12KJB510020);南京邮电大学引进人才科研启动基金(No.NY211007, NY211036);中国博士后研究基金(No. 2013M531391);教育部博士点基金(No.20133223120002, 20123223120001)

$[0, CW_{min}]$ 间随机选择一个值进入退避阶段。当退避计数器减为0时节点开始广播数据帧。广播中的接收方是所有节点, 不能实现双向握手机制, 不需要发送及等待ACK的确认, 因此, 最小竞争窗口的值始终保持不变。

许多文献对IEEE802.11p协议中信标消息的性能进行了研究。Murray T等人通过NS-2仿真证明车辆密度对于消息的丢包率、网络吞吐量和时延均有重要影响, 而车速对这些性能的影响不大<sup>[3]</sup>; Stanica R等人在文献[4]中提出五种估计周边车辆密度来动态调整最小竞争窗口的方法, 仿真结果表明, 随着车辆密度的增加, 消息接收率具有明显的下降趋势, 需要动态调整竞争窗口大小来保证消息的接收率, 但是作者所提出的算法并没有具体的理论分析过程, 仅仅从前人的研究中得出经验公式, 缺乏一定的理论依据; 文献[5]中作者从交通流理论角度出发, 推导出车辆估计周边交通流密度的方法, 并据此判断当前车辆是处于自由流交通状态还是交通堵塞状态, 并提出了一种允许车辆根据当前的交通状态动态调整消息传输范围的方法, 但是在算法中作者忽略了CW<sub>min</sub>对于消息性能的影响; Reinders R等人在文献[6]中指出增加最小竞争窗口的值会增加信标的平均到达时延, 而对广播接收率几乎没有影响; 文献[7]中作者提出通过动态调整传输功率和最小竞争窗口来提高车载网中的消息性能, 但是作者并没有将车辆密度考虑在内, 因此具有一定的片面性; 文献[8]对单播的性能进行了研究, 作者指出802.11协议中的BEB算法远远不能满足车载网对消息性能的要求, 提出一种基于网络状态检测的方法来动态调整最小竞争窗口, 并表明该方法能够提高MAC层的整体吞吐量, 减少包碰撞率和时延, 但是文献[8]中提出的算法是针对单播的, 不能直接应用在广播通信中。

本文在上述分析的基础上做了如下工作。1)建立马尔科夫链模型来分析最小竞争窗口和车辆密度对信标消息广播接收率和平均到达时延的影响。2)搭建仿真场景, 对提出的马尔科夫链模型进行了仿真分析, 仿真采用NS2.35和VanetMobiSim1.1联合仿真的形式。

本文第一部分通过建立马尔科夫链模型对信标消息的广播接收率和平均到达时延进行了理论分析; 第二部分给出了仿真过程及结果分析; 第三部分对本文进行总结。

## 1 Markov系统建模

信标消息作为车载网中的周期性提醒消息, 其作用是让司机了解车辆周围的实时信息, 一条信标消息的数据量很小, 因此广播接收率和平均到达时延是信标消息的重要衡量指标; 此外, 信标消息还具有时效性, 如果MAC层不能在下一个消息到达MAC队列前将当前的信标消息发送出去, 那么该消息就会被丢弃, 因为这一过期消息不仅会占据有限的带宽资源, 还会影响实时信息的准确性<sup>[9]</sup>。

考虑到信标消息具有有限的生命时长, 为了能更好地理解信标消息的特性, 我们通过建立如图2所示的马尔科夫链模型<sup>[10-11]</sup>进行分析。

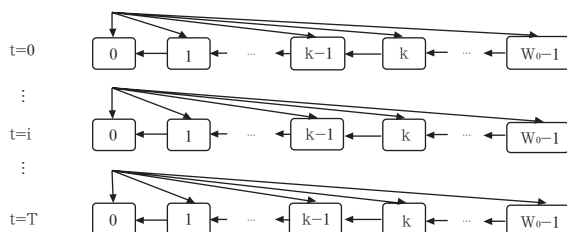


图2 信标消息的马尔科夫链。当 $t=T$ 时消息过期

马尔科夫状态转移概率为:

$$\begin{cases} P\{i | i+1\} = 1, & i \in [0, W_0 - 2] \\ P\{i | 0\} = 1/W_0, & i \in [0, W_0 - 1] \end{cases} \quad (1)$$

$W_0$ 为最小竞争窗口值。在退避阶段, 节点会从 $[0, W_0-1]$ 间随机选择值进行退避。

1) 单独考虑某一时刻( $t=i$ )的退避过程, 一阶马尔科夫链的平稳概率为:

$$\begin{cases} b_k = \frac{W_0 - k}{W_0} b_0, & 0 \leq k \leq W_0 - 1 \\ \sum_{k=0}^{W_0-1} b_k = 1, & b_k \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中

$$b_k = \lim_{t \rightarrow \infty} \{b(t) = k\}, \quad k \in [0, W_0 - 1] \quad (3)$$

解公式(2)得,

$$b_0 = \frac{2}{W_0 + 1} \quad (4)$$

设 为节点在该时刻进行信息传输的概率, 则

$$\tau = b_0 = \frac{2}{W_0 + 1} \quad (5)$$

不考虑信道存在误码的情况, 有

$$p_c = p_b - p_s \quad (6)$$

其中,  $p_c$  为消息产生碰撞的概率,  $p_s$  为消息成功传输的概率:

$$p_b = 1 - (1 - \tau)^M \quad (7)$$

$$p_s = M\tau(1 - \tau)^{M-1} \quad (8)$$

$M$  为竞争节点数目。结合公式(7)(8)可知:

$$p_c = 1 - \left(1 - \frac{2}{W_0 + 1}\right)^{M-1} \frac{W_0 - 1 + 2M}{W_0 + 1} \quad (9)$$

2) 考虑多个时刻时, 由文献[7]知:

$$P_e = 1 - P_b \bar{P}_b - \frac{P_b}{W_0} (1 - \bar{P}_b) - \sum_{i=W_0-1}^{T-1} \bar{P}_b P_1^{(i)} \quad (10)$$

其中,  $P_e$  为信标消息过期的概率,  $P_1^{(i)}$  表示  $t=i$  时退避值为1的概率。假设  $W_0 < T$ , 计算  $P_1^{(i)}$  时需要分两种情况:

$$\text{当 } i \leq W_0 - 1 \text{ 时, } P_1^{(i)} = P_k^{(0)} = \frac{P_b}{W_0} \quad (11)$$

$$\text{当 } i > W_0 - 1 \text{ 时, } P_k^{(i)} = P_k^{(i-1)} P_b + P_{k-1}^{(i-1)} \bar{P}_b \quad (12)$$

综上所述, 可以得出如下结论: 当竞争窗口在一个较小范围时, 消息的碰撞概率大于消息的过期概率, 而碰撞概率会随着竞争窗口的增大而减小, 因此为了增加广播的接收率应该增加最小竞争窗口的值; 当竞争窗口处于较大值范围时, 消息的过期概率占据主要成分, 而消息的过期概率会随着最小竞争窗口的增大而增大, 所以为了增加广播的接收率, 此时应该减小最小竞争窗口的值; 当消息的碰撞概率与过期概率达到均衡时, 广播接收率能够达到最大值。因此最优的竞争窗口应该能够保证消息的碰撞概率和过期概率之间的均衡。

## 2 仿真分析及参数设置

为了验证最小竞争窗口值和车辆密度对信标消息性能的影响, 本文采取 VanetMobiSim 1.1 和 NS2.35 进行联合仿真。车载网络移动性模拟器 VanetMobiSim<sup>[12]</sup> 能

够方便地定义车辆的真实移动模型和具体移动参数。它所具有>IDM\_IM模型和IDM\_LC模型均考虑了真实的交通规则和场景, 考虑了车辆之间的相互作用, 能得到更真实的车辆移动性仿真轨迹; NS2<sup>[13]</sup> 是 UC Berkeley 大学开发的一个离散事件仿真器, 是进行网络研究主流仿真软件之一, 它的仿真过程如图3所示<sup>[14]</sup>。

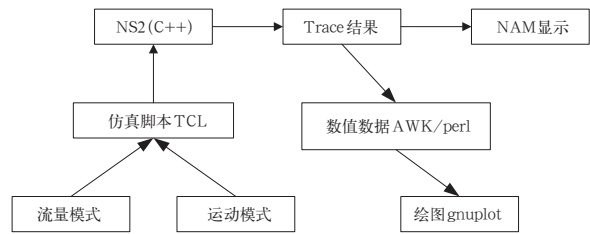


图3 NS2仿真过程

### 2.1 信标消息仿真框架

在2008年发布的NS2.31及其后续版本中已经实现了周期性广播代理Agent/PBC<sup>[15]</sup>, 此代理可以生成链路的广播流, 进行车载自组网的广播性能研究。在仿真平台中, 本文对直线型的高速公路进行模拟, 每个方向两个车道共4个车道, 采用IDM\_LC模型。每条道路的长度为2 000米, 车辆数在10到120之间变化, 广播的通信范围设置为300米。仿真流程如图4所示。

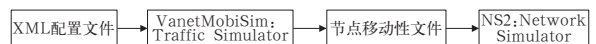


图4 VanetMobiSim和NS2联合仿真流程图

仿真具体用到的其它参数如表1所示。

表1 仿真参数设置

参 数	值	参 数	值
场景大小	2100m × 2100m	噪声门限	-99dBm
仿真时间	200s	发送功率	0.01W
车辆移动模型	IDM_LC	时隙长度	0.000013s
车辆移动速度	10~30m/s	SIFS时长	0.000032s
无线传播模型	TwoRayGround	传播时延	0.000001s
MAC层协议类型	802.11p	广播包大小	400B
工作频率	5.895GHz	发包频率	10Hz
信道带宽	10MHz		

在进行仿真前需要将802.11p导入NS2.35中。本文采用的是Sherbrooke大学提供的802.11p仿真模块, 它

可以为研究者提供IEEE 802.11p的仿真。NS2.35中自带有Agent/PBC周期性广播代理,因此可以直接通过tcl脚本配置产生周期性的广播流。

## 2.2 评估指标

在评估信标消息的性能时,采取的评估指标是平均到达时延和广播接收率。

AWK中计算平均到达时延的表达式为:

$$D(i) = RT(i) - ST(i) \quad (13)$$

其中 $RT(i)$ 表示第 $i$ 个数据包的接收时间, $ST(i)$ 表示第 $i$ 个数据包的发送时间, $D(i)$ 表示第 $i$ 个数据包的时延。本文采用平均时延:

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D(i) \quad (14)$$

$N$ 表示统计次数,本文采取每隔1.5秒统计一次。

AWK中计算广播接收率的表达式为:

$$RR(i) = \frac{n_r(i)}{n_t(i)} \times 100\% \quad (15)$$

其中, $n_r(i)$ 为通信范围内收到该包的车辆数, $n_t(i)$ 为通信范围内车辆总数, $RR(i)$ 表示第 $i$ 个包的接收率。本文通过统计所有包的接收率取平均作为信标的广播接收率:

$$RR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RR(i) \quad (16)$$

$N$ 为trace文件中消息包的最大编号。

## 2.3 仿真结果分析

图5为通过改变最小竞争窗口和车辆密度来研究信标平均到达时延的变化情况。从图5中可以看出信标平均到达时延为毫秒级,能够满足车载网中对于时延的要求。当车辆密度固定,最小竞争窗口从15增加到120时,平均到达时延增加了50%左右;相同竞争窗口下,当车辆密度从10增加到120时,平均到达时延增加了两倍多。这与前面分析的平均到达时延随最小竞争窗口和车辆密度的变化趋势是一致的。

图6通过改变竞争窗口大小来研究广播接收率的变化情况。从图6中可以看出,车辆密度为60vehicles/km的广播接收率性能要优于车辆密度为120vehicles/km的

广播接收率性能。当车辆密度固定时,当最小竞争窗口在[10,60]范围内,广播接收率随着最小竞争窗口的增加而增加;当最小竞争窗口在[60,170]范围内,随着竞争窗口的增加,广播接收率基本不变;而当竞争窗口在[170,300]范围内,广播接收率随着竞争窗口的增加而下降。这与前面的分析结果也是一致的。

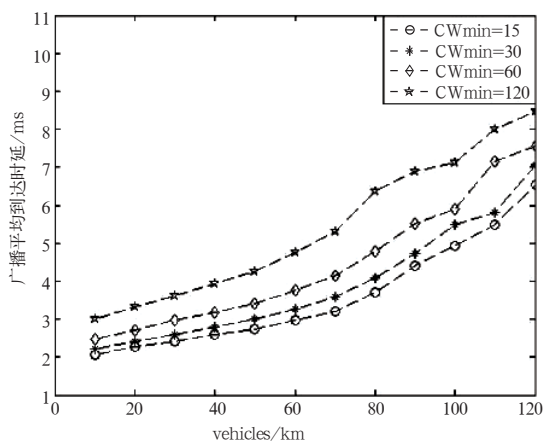


图5 广播平均到达时延随车辆数的变化关系

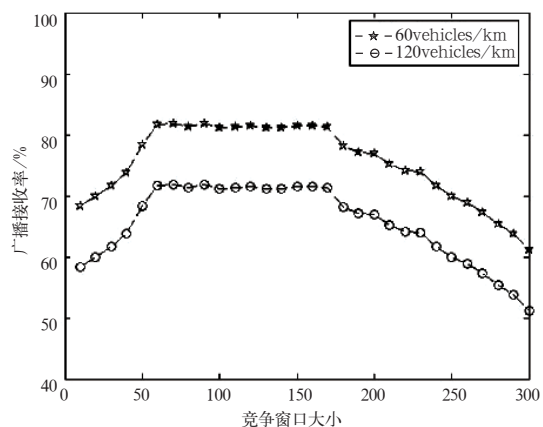


图6 广播平均接收率随车辆数的变化关系

## 3 结论

本文对信标消息进行了建模分析和仿真研究,通过建立一维马尔科夫链模型理论上分析了信标的广播接收率和平均到达时延,然后在仿真平台NS2.35和VanetMobiSim1.1下对信标消息的平均接收率和平均到达时延进行了仿真分析。结果表明:增加最小竞争窗口

的值或者增加车辆密度都会导致平均到达时延的增大,广播接收率会随着最小竞争窗口的增大呈现先增加后平缓最后下降的趋势。

在未来的研究工作中,我们会根据本文得出的结论考虑如何根据当前的网络环境动态调整竞争窗口大小以保证信标消息的可靠性。具体的工作包括:1)邻节点数目检测算法;2)信标消息退避算法;3)性能仿真等。此外,被动式广播的性能也是感兴趣的研究方向。

## 参考文献

- [1] IEEE P802.11pTM/D5.0.Draft Standard for Information Technology—Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks—Specific requirements,Part11:Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)specifications.Amendment 6:Wireless Access in Vehicular Environments[S]
- [2] 钟婷,秦志光,杨磊,等.饱和状态下IEEE 802.11广播的性能分析[J].电子科技大学学报,2011,40(2):278-282
- [3] MURRAY T,COJOCARI M,FU H.Measuring the performance of IEEE 802.11 p using ns-2 simulator for vehicular networks[C]//Electro/Information Technology, 2008. EIT 2008.IEEE International Conference on. IEEE,2008:498-503
- [4] STANICA R,CHAPUT E,BEYLOT A.Local density estimation for contention window adaptation in vehicular networks[C]//Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC),2011 IEEE 22nd International Symposium on.IEEE,2011:730-734
- [5] ARTIMY M.Local Density Estimation and Dynamic Transmission-Range Assignment in Vehicular[J]. Intelligent Transportation Systems,IEEE Transactions on,2007,8(3):400-412
- [6] REINDERS R,VAN EENENNAAM EM,KARAGIANNIS G,et al.Contention window analysis for beaconing in VANETs[C]//Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC),2011 7th International. IEEE,2011:1481-1487
- [7] RAWAT D B,POPESCU D C,YAN G,et al.Enhancing VANET performance by joint adaptation of transmission power and contention window size[J].Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on,2011,22(9): 1528-1535
- [8] JANG H C,FENG W C.Network status detection-based dynamic adaptation of contention window in ieee 802.11 p[C]//Vehicular Technology Conference(VTC 2010-Spring),2010 IEEE 71st.IEEE,2010:1-5
- [9] STANICA R,CHAPUT E,BEYLOT A L.Enhancements of ieee 802.11 p protocol for access control on a vanet control channel[C]//Communications (ICC),2011 IEEE International Conference on.IEEE,2011:1-5
- [10] IEEE 802.11 Working Group.Part 11:wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer(PHY) specifications,ANSI/IEEE Std.802.11,Sept.1999[EB/OL]. [2013-09-18].<http://www.doc88.com/p-994284569342.html>
- [11] MA X,CHEN X.Delay and broadcast reception rates of highway safety applications in vehicular ad hoc networks[C]//2007 Mobile Networking for Vehicular Environments.IEEE,2007: 85-90
- [12] VanetMobiSim.[EB/OL].[2013-09-18].  
<http://vanet.eurecom.fr/>
- [13] Network Simulator 2 (ns2).[EB/OL].[2013-09-18].  
<http://nslam.isi.edu/nslam/index.php/Main Page>
- [14] 熊栋宇,陈前斌,唐伦,等.车载安全应用广播性能分析[J].计算机应用研究,2010,27(4):1437-1440
- [15] CHEN Q,SCHMIDT E F,JIANG D,et al.Overhaul of IEEE 802.11 modeling and simulation in ns-2[C]//The 10th ACM Symposium in Proceedings of wireless and mobile systems on Modeling, analysis, and simulation,2007: 159-168



---

### 作者简介

---



刘南杰

博士，教授，南京邮电大学网络基因工程研究所所长，教育部工程研究中心副主任，物联网研究院副院长，江苏省南亿迪纳数字科技发展有限公司CEO、首席科学家，主要研究方向为泛在通信、车联网、智能交通。



葛剑飞

高级工程师，长期从事电力通信和自动化工作。



赵海涛

博士，讲师、网络基因工程研究所所长助理，主要研究方向为无线网络与泛在通信。



刘委婉

在读硕士研究生，主要研究方向为移动通信与无线技术、车载自组织网络的MAC协议。

### Performance Evaluation for IEEE 802.11p-based Beaconing in VANETs

Liu Nanjie<sup>1,2</sup>

Ge Jianfei<sup>3</sup>

Zhao Haitao<sup>1,2</sup>

Liu Weiwan<sup>1,2</sup>

1 College of Telecommunications & Information Engineering Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

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

3 State Grid Shanghai Municipal Electric Power Company Information and Communications Company, Shanghai 200122, China

**Abstract** This paper discusses the performance of beacons exchanged among vehicles. Firstly, it analyzes the acceptance rate and average delay with the variation of minimum contention window size and vehicle density theoretically by building Markov Model, then studies the theoretical by results using ns-2 network simulator. The simulation results are consistent with the theoretical analysis, it demonstrates that the Markov Model proposed in this paper is suitable to be used to study the beacon performance, and the simulation results will provide some reference for further research of other performance of VANETs.

**Keywords** Beacon Information; Markov Model; Minimum Contention Window; Vehicle Density

---