



车载自组织网络中基于邻居节点数估计的 最小竞争窗口调整算法^{*}

李大鹏, 袁 涛, 赵海涛

(南京邮电大学通信与信息工程学院 南京 210003)

摘 要:针对基于 IEEE 802.11p 的车载自组织网络(VANET)中控制信道上周期性广播的可扩展性问题,提出了一种基于邻居节点估计的最小竞争窗口调整算法。首先,在 IEEE 802.11 广播退避的马尔可夫模型的基础上,以最小化碰撞概率为目的,推导出最小竞争窗口(CWmin)和活跃节点数 n 之间的关系;然后,利用周期性广播的 beacon 消息的特点对节点的邻居节点数进行实时估计,并根据估计的邻居节点数动态调整最小竞争窗口;最后,对提出的算法和 IEEE 802.11p 固定 CWmin 方法进行仿真比较分析。结果表明,提出的算法在广播接收率上优于原始方法。

关键词:车载自组织网络;周期性广播;退避;最小竞争窗口

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.06.013

Study on Minimum Contention Window Size Adjustment Algorithm Based on Neighbor Nodes Number Estimation in Vehicular Ad Hoc Network

Li Dapeng, Yuan Tao, Zhao Haitao

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

Abstract: In order to solve the periodic broadcast scalability of IEEE 802.11p-based VANET on control channel, a minimum contention window adjustment algorithm based on neighbor nodes number estimation was proposed. First of all, in order to minimize the collision probability, the relationship between minimum contention window (CWmin) and active node number n was deduced on the basis of Markov model IEEE 802.11 broadcast backoff. Then minimum contention window was adjusted dynamically by estimating the number of neighbor nodes in real time. Finally, the proposed algorithm and the original's fixed CWmin method were compared by simulation, and the results show that the proposed algorithm is superior to the original method in broadcast reception rate.

Key words: vehicular Ad Hoc network, periodic broadcast, backoff, minimum contention window

^{*} 国家自然科学基金资助项目(No.61201162),教育部博士点基金资助项目(No.20123223120001),国家博士后基金资助项目(No.2012M511790),江苏省属高校自然科学基金资助项目(No.12KJB510020),南京邮电大学科研基金资助项目(No.NYZ11005)

1 引言

车载自组织网络 (vehicular Ad Hoc network, VANET) 是移动自组织网络 (mobile Ad Hoc network, MANET) 的一种特殊形式和应用, 主要运用在道路交通和车载通信领域, 能够支持车辆和路边基础设施 (vehicle to infrastructure, V2I) 以及车辆与车辆 (vehicle to vehicle, V2V) 之间的无线通信, 对道路交通安全及效率的提高具有重要作用^[1]。为了车载通信领域的研究, 美国联邦通信委员会 (Federal Communications Commission, FCC) 将 5.850~5.925 GHz 频段共 75 MHz 频谱分配给交通领域的专用短距离通信 (dedicated short range communication, DSRC) 使用, 而近些年来, 美国的研究机构在 DSRC 频谱上积极发展和部署无线通信系统和相关协议, 这就是所谓的车载环境无线接入 (wireless access in vehicular environment, WAVE) 系统^[2]。IEEE 802.11p^[3]是 WAVE 协议栈的底层协议, 对 IEEE 802.11a 物理层和 MAC 层的相关参数做了修改, 使其更适用于车载环境下的无线通信。

WAVE 的工作频谱为 DSRC 带宽 5.850~5.925 GHz, 在这个频谱范围内, 划分了 1 个专用于系统控制和安全相关应用的控制信道 (CCH) 以及其他 6 个业务信道 (SCH), 用于交换非安全相关的数据。IEEE 802.11p 的 MAC 层则定义了在同一的控制信道或业务信道上, 不同的竞争节点怎么接入网络。IEEE 802.11p 的 MAC 层采用了分布式协调功能 (DCF), DCF 有广播和单播两种操作模式。对控制信道上安全相关的应用来说, 主要是以广播模式传输的消息, 如协作碰撞避免 (cooperation collision avoidance, CCA)、变换车道告警 (lane change warning, LCW) 等。除了由事件驱动的安全相关的消息外, 有一种重要的消息需要在控制信道上周期性地广播, 即短状态信标 (beacon) 消息^[4]。beacon 消息用于向车辆的邻居节点周期性地报告自身的状态消息, 包括车辆的位置、行驶速度、行驶方向等, 这些消息对一些高级的安全应用具有很重要的作用, 如碰撞避免、驾驶辅助、巡航控制等。由此可见, 车载自组织网络中的每个节点都要向周边节点周期性地广播 beacon 消息, 然而 IEEE 802.11 协议族在广播性能方面的表现并不好^[5], 并且节点的快速移动使得 MAC 层广播的可扩展性问题更为严峻。但是, IEEE 802.11p 针对 IEEE 802.11 协议族的修改主要集中在物理层, 对 MAC 层还没有一些重要的加强措施。

本文针对 IEEE 802.11p 控制信道上周期性广播的可扩展性问题, 提出了一种基于邻居节点数估计的广播最小竞争窗口 (minimum contention window, CW_{min}) 调整算法。首先, 讨论了 IEEE 802.11 广播的可扩展性和解决可扩展性问题的可能策略; 然后, 提出了一种新的最小竞争窗口调整机制; 最后, 将本文提出的算法和原始的方法进行了仿真比较。

2 IEEE 802.11 广播的可扩展性

在真实的交通场景中, 车辆并不是随机地移动, 而是沿着特定的道路移动, 在交叉路口处车辆的移动方向可能发生改变。车辆的移动特性使得车辆的密度会发生较大变化, 在车载自组织网络中, 车辆密度可能从非常稀疏变到高度密集, 甚至每线路超过 150 车辆/线路/km。因此, 车载自组织网络的 MAC 层协议必须具备一个非常重要的特性, 即 MAC 层的可扩展性。在网络拥塞的情况下, 传统的单播 IEEE 802.11 MAC 层可获得的吞吐量急速下降^[6]。然而, 对广播消息来说, MAC 层的可扩展性问题可能更加紧急。因为 IEEE 802.11 的单播传输采用了 RTS/CTS 4 次握手协议, 该协议可以减轻隐藏终端问题, 但广播消息并没有采用 RTS/CTS。因此, 在真实的车载环境中, 广播消息可能面临更多的隐藏节点问题, 这就会导致竞争信道的车辆数目急剧增加, 甚至在车辆密度中等的情况下, IEEE 802.11p 的控制信道因为 beacon 消息的广播而达到饱和^[7]。

针对 IEEE 802.11 的可扩展性问题, 研究 MANET 以及 VANET 的组织进行了各种各样的处理。其中, 最简单的处理方法就是将竞争节点的数目控制在一个给定的门限之内, 这可以利用功率控制实现^[8]。在这个方法中, 当节点接入信道变得困难时, 车辆就通过降低自身的传输功率来减少由于传输所造成的干扰范围。然而, 降低传输功率有一些非常重要的局限性, 这是因为标准制定机构对传输 beacon 消息的最小功率有非常严格的限制。

另外一个解决方法是控制 beacon 消息的传输时间。由于信标的大小是固定的, 唯一能够改变的信标参数就是它的数据速率。提高数据速率将会减少隐藏节点所带来的碰撞概率, 从而能够将信标消息传输到更多的车辆^[9]。然而, 为了接收端能够顺利接收到以高数据速率传输的 beacon 消息, 接收端需要一个更高的信噪比。在这种情况下, 由于接收端的干扰, 发送端发出的 beacon 消息的覆盖范围也会被减少。因此, 控制数据速率与控制传输功率一



样都是受限的。研究人员还提出了在高密度车辆中减少 beacon 消息频率的方法。但正如在参考文献[7]中所看到的,即使将信标频率调到最小的 2 Hz,仍然能够在一定的条件下给 IEEE 802.11p 控制信道上带来太多的信标消息。

也有文献在分析 IEEE 802.11 DCF 性能的基础上,寻求竞争节点数和网络协议参数之间的关系。希望根据竞争节点数动态地调整相关的网络参数,从而解决 MAC 协议的可扩展性问题。参考文献[10]分析了饱和的单播 IEEE 802.11 网络性能,得出了最优的竞争窗口值 CW_{min_opt} 和竞争节点数 N_{cont} 之间的关系,表示如下:

$$CW_{min_opt} = N_{cont} \sqrt{2T_t} \quad (1)$$

其中, T_t 指总的传输时间(包括 ACK)。参考文献[10]还指出,当由于节点的退避而产生的信道空闲时间 T_{idle} 与由于碰撞而产生的繁忙时间 T_{col} 相等时,信道是最佳的。但这个计算式只适用于饱和网络或者速率比到达一定门限值的网络,这种情况在周期性广播的 beacon 消息中是不常见的。广播消息没有采用 ACK 确认机制,碰撞无法被检测出来。如果数据帧在传输时丢失,那么发送节点并不会重新发送该帧,而是发送下一个新的数据帧。因此,尽管 IEEE 802.11 MAC 层的二进制指数退避算法可以提高单播消息传输的可扩展性,但在广播环境中,既不能利用 BEB,也不能利用 RTS/CTS 握手协议。因此怎样选择合适的退避参数,提高广播的可扩展性是一个有趣的课题。

在广播消息方面,通常利用最小竞争窗口进行退避。很多文献对 IEEE 802.11p 退避机制中用到的 CW_{min} 的值进行了研究。参考文献[11]通过仿真指出,在所有研究的仿真场景中,IEEE 802.11p 标准提出的初始竞争窗口值 15 对 beacon 消息性能表现显著。但也有很多文献^[12,13]在处理 VANET 的退避机制时提到,目前的 IEEE 802.11p 标准中规定的 CW_{min} (3~15) 远远不是最优的,从而可以寻找有效的方法动态地调整 CW_{min} 。

参考文献[13]重点关注交通安全应用中的 beacon 消息传输,为了限制由于 beacon 消息到期所造成的数据丢失,笔者提出先将竞争窗口设置为一个较大的值,在 beacon 消息过期造成分组丢失后,将竞争窗口值减少一半。参考文献[14,15]提出了根据车辆密度和网络状态而动态调整 CW_{min} 的不同方法。在所有的这些方法中,都假设能够在一定程度上估计信道中碰撞的持续时间,但这对于广播消息来说并不是一个有效的假设。因此,需要充分考虑 IEEE

802.11p 广播的特点来做出相应的调整。

3 基于邻居节点数估计的 CW_{min} 调整算法

参考文献[16]以最大化吞吐量为目的,得出了广播退避中的最优竞争窗口与网络节点数之间的关系。对单播流量来说,可以以提高吞吐量为目标,但对广播来说,主要是为了降低碰撞概率,提高广播接收率。对 IEEE 802.11p 控制信道上周期性广播的 beacon 消息来说,提高广播接收率尤为重要,这是因为交通安全应用的目标不是传输大量的数据,而是尽可能地让司机知道车辆周围环境的相关信息。因此在评估 IEEE 802.11p 周期性广播性能时,广播接收率或者广播帧碰撞概率应该是一个重要的权值,而不是吞吐量。本节以最小化广播帧碰撞概率为目标,对 IEEE 802.11p 控制信道上的广播性能进行分析,推导出广播退避初始竞争窗口和网络竞争节点数之间的关系。

3.1 性能分析

Bianchi 在参考文献[10]中介绍了一个二维马尔可夫链模型,分析 IEEE 802.11 DCF 机制的饱和单播性能,并描述了 IEEE 802.11 二进制指数退避算法。但是,IEEE 802.11p 控制信道上的广播不采用二进制指数退避,而仅使用最小竞争窗口进行退避。此外,广播消息传输失败后也没有重传,因此在分析一跳的周期性广播消息的退避时,并不能直接套用此分析模型,要寻求其他的方法。在二维马尔可夫模型的基础上,参考文献[17]在分析 IEEE 802.11 的广播性能时,推导出广播性能的一维马尔可夫模型。本文将采用此模型分析 IEEE 802.11p 的广播退避过程。设总的车辆节点数为 n ,对于每一个广播 beacon 消息的车辆来说,用随机过程 $b(t)$ 表示在时刻 t 广播退避计数器的值。 $b(t)$ 在每个时隙起始时刻减 1,其取值范围为 $(0, 1, 2, 3, \dots, W_0 - 2, W_0 - 1)$ 。 W_0 表示初始竞争窗口,也叫最小竞争窗口。假设节点在任一时隙传输的概率 τ 与退避过程无关,随机过程 $\{b(t)\}$ 就构成了离散时间的一维马尔可夫链模型。每个站点的状态用 $\{k\}$ 表示, k 表示站点退避计数器值。IEEE 802.11p 控制信道上广播退避的状态转移如图 1 所示。

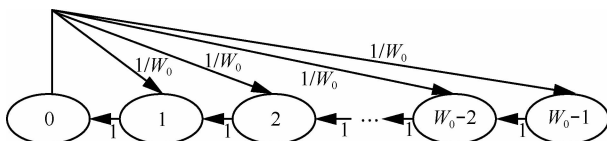


图 1 IEEE 802.11p 控制信道上广播退避的马尔可夫链模型

从图1中可以看出,状态 k 到状态 $k-1$ 的转移概率为1,这些状态表示在每一个空闲时隙退避计数器值下降。当退避计数器的值降为0后,节点开始传输,并在传输之后以等概率 $1/W_0$ 随机选择退避时隙时延接入信道。一阶马尔可夫状态转移方程如式(2)所示:

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

一阶马尔可夫链的极限分布可以表示为:

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

其中, b_k 表示节点处于第 k 个退避状态时退避计数器的值。由马尔可夫过程的稳态分析可知,当 $t \rightarrow \infty$ 时,各个状态分布稳定并且与系统的初始状态无关。因此,该极限分布也是稳态分布,则在平稳状态下,可以得到式(4)^[7]:

$$\begin{cases} b_k = \frac{W_0-k}{W_0} b_0, & 0 \leq k \leq W_0-1 \\ \sum_{k=0}^{W_0-1} b_k = 1, & b_k \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

由式(4)可以解出 b_0 ,如式(5)所示:

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

因为节点在退避计数器的值为0后开始传输,所以节点在任一时刻传输的概率 τ 如式(6)所示:

$$\tau = b_0 = \frac{2}{W_0+1} \quad (6)$$

则信道忙的概率 p_b 就是1减去信道空闲的概率,如式(7)所示:

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

而在一个时隙内成功传输的概率 p_s 如式(8)所示:

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

假设信道没有误码,传输碰撞是接入信道失败的唯一原因,则碰撞发生的概率 p_c 如式(9)所示:

$$\begin{aligned} p_c &= p_b - p_s \\ &= 1 - (1-\tau)^n - n\tau(1-\tau)^{n-1} \\ &= 1 - \left[\left(1 - \frac{2}{W_0+1}\right)^n + \frac{2n}{W_0+1} \left(1 - \frac{2}{W_0+1}\right)^{n-1} \right] \\ &= 1 - \left(1 - \frac{2}{W_0+1}\right)^{n-1} \frac{W_0-1+2n}{W_0+1} \end{aligned} \quad (9)$$

分析式(9)可知,为了使碰撞概率 p_c 最小,就要使 $\left(1 - \frac{2}{W_0+1}\right)^{n-1} \frac{W_0-1+2n}{W_0+1}$ 的值最大,因此,本文构造二元函数 $f(W_0, n)$,如式(10)所示:

$$f(W_0, n) = \left(1 - \frac{2}{W_0+1}\right)^{n-1} \frac{W_0-1+2n}{W_0+1} \quad (10)$$

因为当 $x < 1$ 时, $(1-x)^n \approx 1 - nx + \frac{n(n-1)}{2}x^2$,所以当

$\frac{2}{W_0+1} < 1$ 即 $W_0 > 1$ 时,式(10)可转化为式(11):

$$\begin{aligned} f(W_0, n) &= \frac{\left(1 - \frac{2}{W_0+1}\right)^n}{1 - \frac{2}{W_0+1}} \frac{W_0-1+2n}{W_0+1} \\ &\approx \frac{1 - \frac{2n}{W_0+1} + \frac{n(n-1)}{2} \left(\frac{2}{W_0+1}\right)^2}{\frac{W_0-1}{W_0+1}} \frac{W_0-1+2n}{W_0+1} \\ &= \frac{(W_0+1-2n)(W_0-1+2n)}{(W_0-1)(W_0+1)} + \frac{2n(n-1)(W_0-1+2n)}{(W_0-1)(W_0+1)} \end{aligned} \quad (11)$$

求二元函数 $f(W_0, n)$ 对 W_0 的偏导数 $\frac{\partial f}{\partial W_0}$,并令其等

于0,可以得到式(12):

$$4W_0^2n - 4W_0^2 - 7W_0n^2 - 3W_0n^2 - 4W_0 + n^2 - 2n + 1 = 0 \quad (12)$$

将式(12)看作关于 W_0 的一元二次方程,则 $\Delta = (n+1)^2(3n+4)^2 - 16(n-1)^3 > 0$,则方程的根为: $W_0 =$

$$\frac{3n^2 + 7n + 4 \pm \left[(n+1)^2(3n+4)^2 - 16(n-1)^3\right]^{1/2}}{8(n-1)}, \quad \text{考虑到}$$

W_0 的实际意义,取较大的 W_0 值,则广播最小竞争窗口值 W_0 和网络竞争节点数 n 之间的关系如式(13)所示:

$$W_0 = \frac{3n^2 + 7n + 4 + \left[(n+1)^2(3n+4)^2 - 16(n-1)^3\right]^{1/2}}{8(n-1)}, \quad n > 1 \quad (13)$$

式(13)对节点广播退避参数 W_0 的调整具有重要意义,第3.2节将在式(13)的基础上提出根据节点的一跳邻居节点数实时调整竞争窗口的算法,以改进IEEE 802.11p控制信道上的周期性广播性能。

3.2 算法设计思路

IEEE 802.11p协议根据消息的优先级确定不同的初始最小竞争窗口值,但值都较小且是固定值。 $CW_{\min}$ 值并没有正确反映网络的真实状况,在网络拓扑和车辆密度快速变化的车载环境下尤为如此。由广播性能仿真可知,当车辆周围竞争节点数较多时,固定的较小的竞争窗口导致广播接收率较低。因此,要想提高广播性能,节点需要了解所处局部网络实时的信道竞争情况,这可以通过估计竞争节



点数或者监听无线信道收集相关的信道使用信息来完成。

本文考虑的是周期性广播的 beacon 消息的传输性能,每辆车都相当于竞争节点,都在竞争信道资源。因此,节点的邻居节点数就是竞争节点数,对调整 $CW_{\min}$ 有很大的作用。可以在每个节点处进行邻居节点数估计,这样就能在一定程度上反映信道的竞争情况。因此,本文提出了根据邻居节点数动态调整 $CW_{\min}$ 的算法。该算法包括两个重要步骤:节点的邻居节点数估计以及根据式(13)调整 $CW_{\min}$ 。下面对这两个步骤进行详细介绍。

3.2.1 邻居节点数估计

因为每辆车都拥有唯一的 MAC 地址,此 MAC 地址可以确定唯一的 MAC_ID,节点在控制信道上进行通信,每个车辆都向传输范围内的其他节点周期性地广播 beacon 消息。beacon 消息中包含:源节点的 MAC 地址确定的唯一 MAC_ID 以及车辆的位置、车辆行驶速度、车辆行驶方向等车辆自身的状态消息。每个节点都要维护一个本地的一跳邻居节点列表。由于车辆移动速度比较快,使得邻居节点变化很快,车辆逆向行驶的情况尤为如此。这就要求节点始终侦听信道,当节点正确接收到 beacon 消息后,节点从该消息中取出发送地址,并和本地接收时间一起加入邻居节点列表中。

通过这种方式添加邻居节点信息有可能导致邻居节点重复加入,为此,检测表中是否已存在该邻居节点,如果存在,则删除之前加入的信息。这意味着当节点接收到一个帧后,首先取出发送地址并加入邻居节点列表,查找该节点是否重复,如果重复,则删除旧的重复邻居节点信息,保留最新的一次加入。然后,检测每一个邻居节点进入列表的时间,如果进入时间超过观测间隔,则删除该邻居节点。

除此之外,在时间上,车辆节点将时间分成周期性的观测间隔(observation interval, OI),在每个观测间隔结束之后,节点都要更新邻居节点列表,这样做可以防止邻居节点列表过大,浪费存储空间,同时还避免了保留的邻居节点信息过期的情况。因为如果一个邻居节点不再是本节点的邻居节点,由于它的离开没有任何通告信息,会导致邻居节点列表的无限增大,且保留的信息是无效的历史信息,设置一个观测间隔,并定期更新邻居节点列表,能避免上述情况的发生,提高邻居节点数目检测的准确性。由于网络拓扑变化一般都在秒级以上,所以在检测车辆的邻居节点个数时,可以设置一个比较大

的观测间隔,如检测间隔设为 5 s。当然,观测间隔只是一个参数,可以根据实际中具体的网络场景和业务模型进行选择。

在每一个观测期内,节点都会更新邻居节点列表,并计算邻居节点个数。为了保证邻居节点个数的准确性,取本次观测期的邻居节点数 n_1 以及上两次观测期的邻居节点数 n_2, n_3 的均值作为最终估计的邻居节点数目 n 。

3.2.2 最小竞争窗口自适应调整

按照式(13)计算的初始竞争窗口值 W_0 可能取到小数,这不符合真实的竞争窗口的含义。因此,对计算出的 W_0 值取整,得到新的初始窗口值 $CW'_{\min}$,如式(14)所示:

$$CW'_{\min} = \left\lfloor \frac{3n^2 + 7n + 4 + \left[(n+1)^2(3n+4)^2 - 16(n-1)^3 \right]^{1/2}}{8(n-1)} \right\rfloor \quad (14)$$

分析式(14)可知, $CW'_{\min}$ 的值随着邻居节点数 n 单调递增。通过计算可知,当 $n=19$ 时, $CW'_{\min}=16$ 。所以,当 $n \geq 19$ 时, $CW'_{\min}=16$, $CW'_{\min}$ 的值满足 $\frac{2}{W_0+1} \ll 1$ 的条件。因此当邻居节点数 $n \geq 19$ 时,可以按照式(14)计算最小竞争窗口值。

开始时,每个节点将根据要传输的 beacon 消息的优先级设置初始最小竞争窗口值,本文假设所有的周期性广播消息具有相同的优先级别,并设置相同的初始竞争窗口 $CW_{\min}(3, 7, 15)$,然后开始传输数据。在数据传输和接收过程中,节点根据收到的 beacon 消息维护好邻居节点列表。在每一个观测期结束时,节点根据前面介绍的方法算出本次邻居节点数和上两次观测期观测的邻居节点数的平均值 n ,并把 n 的值作为本次观测期估计的竞争节点数。如果不在观测期的结尾,就继续根据收到的 beacon 消息维护邻居节点列表。在估算好 n 之后,节点开始调整最小竞争窗口值。根据邻居节点数的不同,分为以下两种情况:

- 当 $1 \leq n \leq 19$ 时,不满足式(14)成立的条件,令最小竞争窗口 $CW_{\min}=CW_{\min}$;
- 当 $n > 19$ 时,满足式(14)成立的条件,因此可以按照式(14)计算最小竞争窗口 $CW_{\min}=CW'_{\min}$ 。

最小竞争窗口的值确定以后,再确定退避时间并持续更新和维护邻居节点列表。

基于邻居节点估计的最小竞争窗口调整算法流程图如图 2 所示。

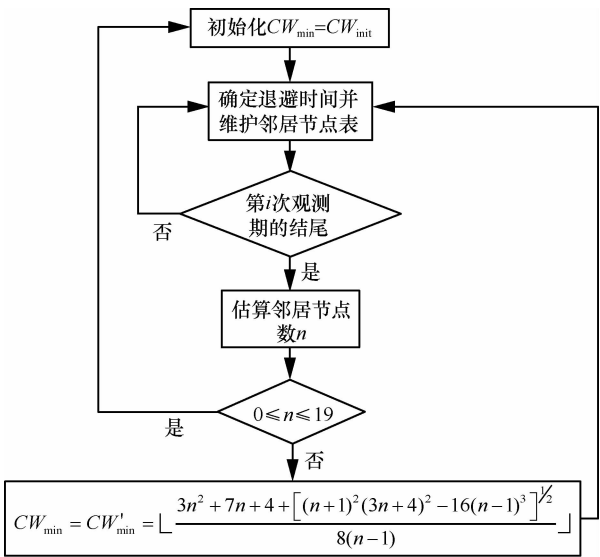


图2 基于邻居节点数估计的最小竞争窗口调整算法流程

4 仿真与分析

本文采用 VanetMobiSim^[18]作为车辆移动性轨迹产生器,并结合网络仿真软件 NS2^[19](network simulator, version 2)进行联合仿真。仿真场景为双向四车道的高速公路场景,每条车道的长度为 2 000 m,车辆移动模型采用 IDM_LC 模型。本文用最新的 NS2.35 中的 PBC Agent 生成周期性的广播帧。广播帧大小为 250 byte,广播帧产生频率为 5 Hz。具体仿真场景参数设置见表 1。根据 IEEE 802.11p 标准和 NS2.35 中自带的 IEEE 802.11p 仿真默认参数,本文设置了 IEEE 802.11p 物理层和 MAC 层的具体参数,所使用的部分参数见表 2。

表 1 仿真场景参数

仿真参数	数值
场景大小	2 000 m×2 000 m
仿真时间	300 s
仿真次数	10 次
车辆移动模型	IDM_IM 模型
车辆密度(车辆/线路/km)	10/20/30/40/50/60/70/80/90/100
车辆速度	0~35 m/s
无线传播模型	双径传播模型
天线类型	全向天线
MAC 层协议类型	IEEE 802_11Ext
路由协议	Dumb Agent
流量代理	PBC Agent

表 2 IEEE 802.11p MAC 层和物理层所使用的参数

仿真参数	数值
工作频率	5.895 GHz
信道带宽	10 MHz
监听门限	-85 dBm
噪声	-99 dBm
传输功率	0.05 W
传输和接收天线高度	1.5 m
传输和接收天线增益	1 dBm
帧时隙	13 μs
SIFS	32 μs
CW_min	3/7/15/自适应 CW_min

评价广播性能最重要的指标是广播接收率和广播平均到达时延,这两个指标分别反映了广播的可靠性以及实时性。本文在同一仿真场景下,对 IEEE 802.11p 原始的固定 CW_min 方法以及本文提出的根据邻居节点数自适应调整 CW_min 的方法进行比较分析,仿真结果如图 3、图 4 所示。图 3 显示了在高速公路场景下,对于不同的最小竞争窗口值,广播接收概率和车辆密度之间的关系。图 4 则显示了广播平均到达时延和车辆密度之间的关系。其中,自适应 CW_min 表示

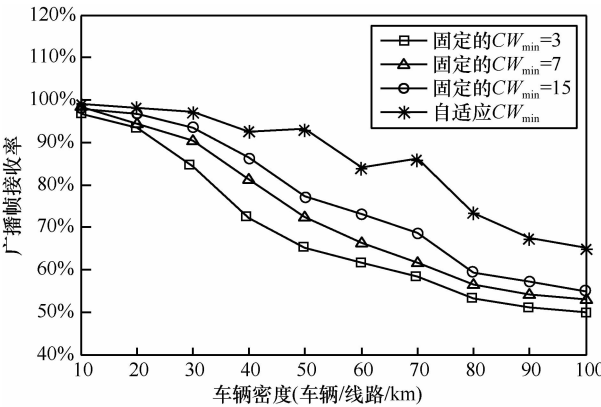


图3 固定的 CW_min 与自适应 CW_min 对广播接收率的影响

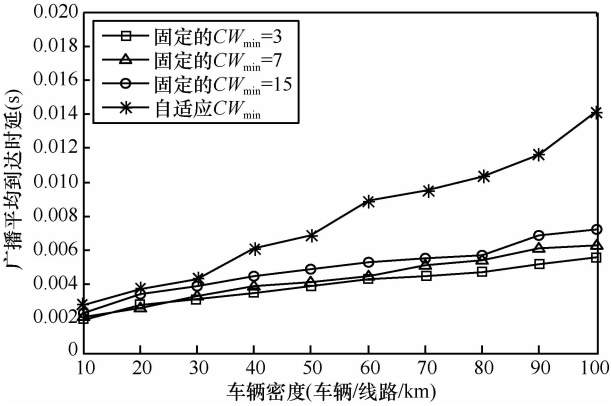


图4 固定的 CW_min 与自适应 CW_min 对广播平均到达时延的影响



本文提出的根据邻居节点数动态调整 CW_{min} 的算法。

从图 3 可以看出,随着车辆密度的增加,不同的 CW_{min} 下的广播接收率都呈下降趋势,这主要是因为每辆车都要向它的邻居节点发送 beacon 消息,导致碰撞增加,广播帧丢失。且当车辆密度达到一定值之后,固定的 CW_{min} 导致广播接收率急速下降。这是因为车辆密度的增加使得竞争信道的节点数增多,而固定较小的 CW_{min} 不能反映网络中竞争节点数目的变化,导致许多节点选择了相同的退避间隔,节点在退避时间为 0 之后同时接入信道引起碰撞。但是,在车辆密度增加时,根据邻居节点数自适应地调整 CW_{min} 的算法的广播接收率并没有急剧下降,而是缓慢下降并呈现出一定的波动性。这是因为新算法通过估计邻居节点数调整 CW_{min} ,使 CW_{min} 的值反映了信道竞争的情况,当车辆密度增加时,车辆的邻居节点数增加, CW_{min} 也随之增加,使得节点的退避时间有了更多的选择,节点在同一时间接入信道发生碰撞的概率减少,广播接收率增加。由于新算法通过估计邻居节点数目来调整 CW_{min} ,对邻居节点数的估计存在一定的误差,导致广播接收率存在波动性。但当车辆密度较高时,根据邻居节点数调整 CW_{min} 明显优于固定的 CW_{min} 。

从图 4 可以看出,随着车辆密度的增加,广播的平均到达时延总体上逐渐增大,固定的 CW_{min} 值的时延增加幅度不大,但根据邻居节点数自适应调整 CW_{min} 的算法时延增大较明显。这是因为车辆密度的增加使得信道的竞争加剧,节点有广播数据发送的时候需要等待一定的时间,拥有较小的 CW_{min} 值的节点随机等待的时间较少,而根据邻居节点数增加 CW_{min} 值的算法使得节点接入信道前的等待时间较长,从而广播平均到达时延比固定的 CW_{min} 值的时延要大(车辆密度为 80 车辆/线路/km,自适应 CW_{min} 的广播平均到达时延比 $CW_{min}=3$ 时的时延大了约 6 ms)。由此可见,虽然改进的根据邻居节点数目调整 CW_{min} 的算法的广播接收率有所增加,但广播平均到达时延也增大,提高广播接收率是以牺牲时延为代价的。

5 结束语

本文针对基于 IEEE 802.11p 的车载自组织网络中周期性广播的可扩展性问题,提出了一种基于邻居节点数估计的最小竞争窗口调整算法。首先,在 IEEE 802.11 广播退避的马尔可夫模型的基础上,以最小化碰撞概率为目的,通过推导最小竞争窗口 CW_{min} 和活跃节点数 n 之间

的关系;然后,通过实时估计邻居节点数动态地调整最小竞争窗口;最后,通过对提出算法和 IEEE 802.11p 固定 CW_{min} 方法进行仿真比较,结果表明本文提出的算法在广播接收率上优于原始方法,但时延性能有所下降,广播接收率的提高是以牺牲时延为代价的,应该在后续的研究中寻求更有效的方法,使得在保证广播接收率的同时减少时延。

参考文献

- 1 Hartenstein H, Laberteaux K P. A tutorial survey on vehicular Ad Hoc networks. *IEEE Communications Magazine*, 2008, 46(6): 164~171
- 2 Uzcategui R, Acosta M G. Wave: a tutorial. *IEEE Communications Magazine*, 2009, 47(5): 126~133
- 3 IEEE 802.11p. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments. IEEE Standards Association, 2010
- 4 Eenennaam M, Wolterink W K, Karagiannis G, *et al.* Exploring the solution space of beaconing in VANETs. *IEEE 2009 Vehicular Networking Conference (VNC)*, Tokyo, Japan, 2009:1~8
- 5 Oliveira R, Bernardo L, Pinto P. The influence of broadcast traffic on IEEE 802.11 DCF networks. *Computer Communications*, 2009, 32(2): 439~452
- 6 Li J, Blake C, Couto D D, *et al.* Morris capacity of Ad Hoc wireless networks. *Proceedings of the 7th ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Rome, Italy, 2001: 61~69
- 7 Le L, Festag A, Baldessari R, *et al.* Vehicular wireless short-range communication for improving intersection safety. *IEEE Communications Magazine*, 2009, 47(11): 104~110
- 8 Torrent-Moreno M, Mittag J, Santi P, *et al.* Vehicle-to-vehicle communication: fair transmit power control for safety-critical information. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2009, 58(7): 3684~3703
- 9 Mertens Y, Wellens M, Mahonen P. Simulation-based performance evaluation of enhanced broadcast schemes for IEEE 802.11-based vehicular networks. *IEEE 67th Vehicular Technology Conference*, Marina Bay, Singapore, 2008: 3042~3046
- 10 Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000, 18(3): 535~547
- 11 Reinders R, Eenennaam M, Karagiannis G, *et al.* Contention window analysis for beaconing in VANETs. *7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, Istanbul, Turkey, 2011: 1481~1487
- 12 Campolo C, Vinel A, Molinaro A, *et al.* Modeling broadcasting in

(下转第 99 页)