

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2212183

车载自组织网络的竞争窗口自适应退避算法*

张显飞¹ 赵一帆¹ 高明虎¹ 姚应东¹ 周恩达²

(1. 云南民族大学电气信息工程学院 昆明 650000; 2. 云南民族大学无人自主系统研究院 昆明 650000)

摘要: 随机多址接入协议对于保障车载自组织网络的服务质量(QoS)至关重要。由于该网络中车辆节点的高速移动特性使得网络拓扑变化频繁,固定的媒体接入控制协议机制会限制高动态自组织网络的整体服务质量。本文针对该问题,在CSMA/CA系列协议退避算法基础上,提出了一种基于车辆节点密度、信道占用因子和冲突门限的竞争窗口自适应退避算法(NCW-COCT)。首先,为使冲突概率最小化,以车辆节点密度和竞争窗口值为基础建立一维马尔可夫模型进而构造目标函数;其次,提出信道占用因子并结合最优冲突门限值,实现以车载自组织网络通信服务质量最优化为目标的竞争窗口自适应退避。仿真结果表明,NCW-COCT算法与同类的DCW算法和IM-BEB算法进行比较,吞吐量性能分别提升了11.64%和6.77%,丢包率分别降低了19.46%和13.29%。

关键词: 车载自组织网络;CSMA/CA协议;退避算法;竞争窗口;马尔可夫模型

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.50

Adaptive backoff algorithm of competitive window in vehicle ad hoc networks

Zhang Xianfei¹ Zhao Yifan¹ Gao Minghu¹ Yao Yingdong¹ Zhou Sida²

(1. School of Electrical and Information Technology, Yunnan Minzu University, Kunming 650000, China;

2. Institute of Unmanned Autonomous System, Yunnan Minzu University, Kunming 650000, China)

Abstract: The random multiple access protocol is of great significance to the quality of service(QoS) of the vehicular ad hoc networks. Due to the high-speed mobility of the vehicle nodes in the network, the network topology changes frequently. The fixed media access control protocol will limit the overall QoS of the high-dynamic ad hoc network. In order to solve this problem, based on the CSMA/CA series protocol backoff algorithm, a competitive window adaptive backoff algorithm (NCW-COCT) is proposed, which is based on vehicle node density, channel occupancy factor and collision threshold. Firstly, in order to minimize the collision probability, a one-dimensional Markov model is established based on the vehicle node density and the competition window value, and then the objective function is constructed. Then, the channel occupation factor and the optimal conflict threshold are proposed to realize adaptive backoff of the competition window aiming at optimizing the communication quality of vehicular ad hoc networks. Simulation results show that NCW-COCT is compared with similar DCW algorithm and IM-BEB algorithm, the throughput performance is improved by an average of 11.64% and 6.77%; the packet loss rate performance is reduced by an average of 19.46% and 13.29% respectively.

Keywords: vehicular ad hoc networks; CSMA/CA protocol; backoff algorithm; competition window; Markov model

0 引 言

车载自组织网络(vehicular ad-hoc network, VANET)作为智能交通系统的重要组成部分,在缓解交通堵塞、减小交通事故中发挥着重要作用,受到了学术界和产业界地广泛关注和支持^[1]。VANET主要通过车辆间的信息交互提

高交通安全、缓解交通压力,但是车辆节点的快速移动导致网络拓扑频繁变化,造成VANET中车对车或车对基础设施之间的信息传输不可靠^[2]。因此,与移动自组织网络类似^[3-4],可靠的媒体接入控制(media access control, MAC)协议是VANET发展的核心研究内容之一,它控制着网络中资源的分配和调度问题。

收稿日期:2022-11-24

* 基金项目:国家自然科学基金(62063035)项目资助

载波侦听多路访问冲突避免(carrier sense multiple access with collision avoidance, CSMA/CA)协议具有容易实现、操作便捷、组网灵活等优点,因此在实际中应用非常普遍。但在 VANET 网络中随着车辆节点的不断增加,消息传输之间的干扰和冲突增加、数据包冲突更加严重等问题,使得目前的 CSMA/CA 协议难以保证高效可靠的消息广播^[5]。因此,设计一种适用于广播模式下的 CSMA/CA 协议,使其可以根据 VANET 环境中车辆密度的变化动态调整退避策略,对于保证 VANET 的网络性能十分重要。

针对 VANET,近年来有许多研究者在 CSMA/CA 协议的基础上,分别对协议的退避机制、功率控制、拥塞控制等进行研究。其中大部分学者的研究都集中在对退避机制以及竞争窗口(contention window, CW)的调整策略上,使其更加适用于变化的 VANET 场景。由于在广播模式下无法根据确认机制调整 CW,这就需要找到表征网络状态的参量来调整 CW 以适应网络变化^[6]。许多研究通过节点密度、负载状态、移动速度等来调节 CW。文献[7]提出用吞吐量作奖励的强化学习模型,来周期性地调节 CW,从而显著提高系统性能。文献[8-11]通过直接或间接的方式评估局部节点密度来调整 CW,在文献[11]中作者是通过定义一个参量来表示节点密度变化的趋势,根据相邻周期趋势变化的比较来选择性的调节 CW。文献[8-11]的不足在于当节点密度过大导致冲突加剧,数据包的成功接受率降低,对节点密度的评估不准确致使对 CW 的调整出错。文献[12]运用 D-S 证据理论得到负载状态集,并使用判决准则实现负载状态的划分,据此更新 CW 的值。

此外,在对 CSMA/CA 协议的研究中,还有许多学者专注于对 MAC 协议进行数学建模,从理论推导模型对网络性能进行分析和优化。文献[13]使用了二维马尔可夫模型来模拟和分析 IEEE 802.11 协议的分布式协调机制(distributed coordination function, DCF),为后续的研究奠定了理论基础。文献[14-15]通过数学模型对 VANET 广播方案进行可靠性评估,针对广播的特点从数据接收率、接入时延、吞吐量、优先级接入等不同角度对广播性能进行了理论分析。文献[16]首先是根据获取的邻居消息评估车辆节点数目,其次通过马尔可夫模型推导使得吞吐量最大化时车辆节点数目与 CW 的关系,从而进行相应的 CW 调整。文献[17]为降低现有退避算法的碰撞概率、提高系统吞吐量为目标,改进了基于最小竞争窗口值的退避算法。但所提的马尔可夫模型是假设所有的节点均工作在饱和状态下,然而这在实际中是不太可能的。文献[18]提出一种信道冲突的窗口缩放回退机制,在每个退避阶段选择最优的 CW 大小,并通过一个迭代离散时间的马尔可夫模型分析验证所提出的机制。文献[19],提出了一种称为 DCW 的方案,该方案通过最小化消息平均更新时延得到节点密度与 CW 之间的关系,使得节点能够在不同的节点密度下选择合适的 CW。

综上所述,现有的自适应退避算法主要通过交通状态(如节点密度、速度等)和信道状态(如消息接收率、消息冲突率等)其中之一以调节 CW。基于单一状态因子的自适应 CW 不可避免的导致系统陷入全网服务质量(quality of service, QoS)局部最优^[20],而引入更多的环境因子在有可能提升协议性能的同时也带来了算法不稳定性和复杂度的提升。本文通过结合车辆密度参量和信道状态参量,提出了一种基于车辆节点密度、信道占用因子和冲突门限的竞争窗口自适应退避算法(a competitive window adaptive backoff algorithm based on vehicle node density, channel occupancy factor and collision threshold, NCW-COCT)。

本文的主要贡献如下:首先,设计了基于节点密度的最优竞争窗口调节机制(optimal contention window adjustment mechanism based on node density, NCW)。该机制根据所建立的一维 VANET 马尔可夫模型,以冲突概率最小化为目标,推导出随车辆节点密度变化而变化的 CW 函数表达式,以解决 CSMA/CA 系列协议在动态网络环境下 QoS 鲁棒性较低的问题。其次,提出信道占用因子并以平均时延最小化为目标经线性搜索得到最优冲突门限值,能够根据信道状态进一步调整 CW,为网络性能的提升提供双重保障。仿真结果表明,在复杂 VANET 网络环境中 NCW-COCT 算法比同类的 DCW 算法以及 IM-BEB 算法在吞吐量和丢包率方面表现改善显著。

1 竞争窗口自适应退避算法

1.1 马尔可夫建模

根据二维马尔可夫模型模拟 IEEE 802.11p 中的 MAC 协议的二进制指数退避算法为基础,结合广播的特点对其进行简化分析最终得到广播模式的一维马尔可夫模型。

如图 1 所示为非饱和状态下消息广播的马尔可夫模型,非饱和状态指的是节点在一个数据包传输完成后,会出现处于空闲状态的情况。由于 VANET 网络的通信环境是复杂多变的,为了更加贴合实际的 VANET 场景,故在一维马尔可夫模型中加入了一个新状态 E 用以表示缓存区的空闲状态,即此时车辆节点没有数据包需要进行传送。令 $b(t)$ 表示给定节点在时隙 t 时的退避计数器。在如图 1 所示的马尔可夫模型中, W 表示该节点竞争窗口的大小,圆圈中的数字表示节点的状态,表示从 $(0, 1, \dots, W-1)$ 的范围内以相同的概率随机选择退避计数器的取值。定义

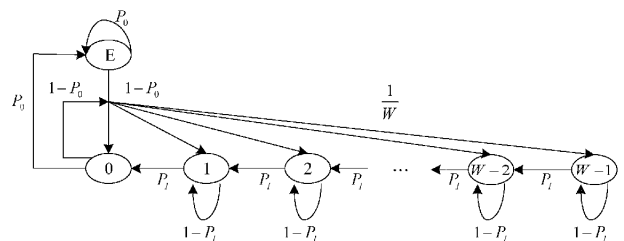


图 1 非饱和状态下的马尔可夫模型

P_0 是不饱和条件下节点缓冲队列为空的概率, P_i 是在退避过程中侦听到信道状态为空闲的概率。表1为公式推导所涉及到的符号对照。

表1 符号对照表

符号	含义
r	数据传输速率
τ	广播消息的概率
σ	退避时隙的大小
W	竞争窗口的大小
E	缓冲区的空闲状态
P_0	缓冲队列为空的概率
P_i	信道空闲的概率
b_k	在退避过程中节点的窗口值为 k 的概率
P_c	数据发生冲突的概率
L_p	数据包的长度
T_i	数据包在信道上传输所需要的时间
T_b	节点完成退避过程所需的时间

因此,图1所示马尔可夫模型的一阶状态转移方程由式(1)给出:

$$\begin{cases} P\{k | E\} = \frac{1 - P_0}{W}, k \in [0, W - 1] \\ P\{k | 0\} = \frac{1 - P_0}{W}, k \in [0, W - 1] \\ P\{k | k + 1\} = P_i, k \in [0, W - 2] \\ P\{k | k\} = 1 - P_i, k \in [1, W - 1] \end{cases} \quad (1)$$

极限平稳分布如式(2)所示:

$$b_k = \lim_{t \rightarrow \infty} \{b(t) = k\} \quad (2)$$

式中: b_k 为在退避过程中节点的窗口值为 k 的概率,而 b_0 表示当退避计数器的值减为0时的发送概率,进一步推导得到如下的关系表达式。

$$\begin{cases} b_0 = (1 - P_0)(b_E + b_0) \\ \sum_{k=0}^{W-1} b_k + b_E = 1 \\ b_k = \frac{(b_E + b_0)(1 - P_0)(W - k)}{WP_i} \end{cases} \quad (3)$$

通过式(3)的推导可以得到:

$$b_0 = \frac{2P_i(1 - P_0)}{(W + 1)(1 - P_0) + 2P_0P_i} \quad (4)$$

定义 τ 为节点广播消息的概率,也就是当节点的退避计数器的值为0时,节点发送数据,所以 τ 的值等于 b_0 。

$$\tau = b_0 = \frac{2P_i(1 - P_0)}{(W + 1)(1 - P_0) + 2P_0P_i} \quad (5)$$

基于式(5),可以进一步推导出消息冲突的概率以及数据包发送的平均时延。假设通信范围内有 n 个车辆节点,若信道处于忙碌状态,即至少有一个车辆节点试图占用信

道,其概率由式(6)给出:

$$P_b = 1 - (1 - \tau)^n \quad (6)$$

而当信息成功广播的概率,即只有一个车辆节点占用信道的概率由式(7)给出:

$$P_s = n\tau(1 - \tau)^{n-1} \quad (7)$$

根据式(6)和(7)得到消息冲突的概率如式(8)所示。

$$P_c = P_b - P_s = 1 - (1 - \tau)^n - n\tau(1 - \tau)^{n-1} \quad (8)$$

数据包的平均时延为退避时延加上传输时延,即:

$$E(T) = T_b + T_i \quad (9)$$

式中: T_b 为节点完成退避过程所需的时间, T_i 为数据包在信道上传输所需要的时间。得到式(10)和(11):

$$T_b = \sum_{i=0}^{W-1} \frac{i}{W} [(1 - P_b)\sigma + P_b T_i] = \frac{W-1}{2} [(1 - P_b)\sigma + P_b T_i] \quad (10)$$

$$T_i = DIFS + \frac{L_p}{r} \quad (11)$$

定义 L_p 为数据包的长度, r 为信道数据速率, σ 表示退避时隙的大小。

1.2 数值分析

根据式(5)、(8)、(9)、(10)、(11),给出数值计算结果以评估基于马尔可夫模型的VANET广播性能。得出如图2和3所示的广播消息冲突概率和数据包平均时延在不同节点密度下以及在不同的CW下的数值结果,表2中列出了数值计算所使用的参数值。

表2 数值计算参数表

参数	取值
节点数目 n	0~100 个
竞争窗口大小 W	8,16,32,64,128
时隙长度 σ	0.2 ms
传输速率 r	10 Mbit/s
数据包长度 L_p	1 500 bytes

图2所示为广播消息在不同的车辆节点密度下的数据冲突概率。其中,每条曲线分别代表CW取不同值时的结果。由图2可知,随着车辆密度的增加消息冲突的概率也在不断增加。由于网络越密集车辆节点同时接入信道的概率就越大,因此发生消息冲突的可能性也越大。而随着CW的增加冲突概率相应地减小,由于在CW较大时,多个车辆节点随机选取到相同退避计数器值的概率将会降低。因此当车辆节点的密度增大时,可以通过适当增加CW的值来降低冲突概率。

图3为广播消息在不同节点密度下数据包发送的平均时延,随着节点密度的增大时延也逐渐增加。因为网络中有更多的消息需要传输,信道更加繁忙,因而节点需要进行更多的退避。此外,较大的CW将导致较长的退避时间,因此随着CW取值的增大平均时延也会增加。

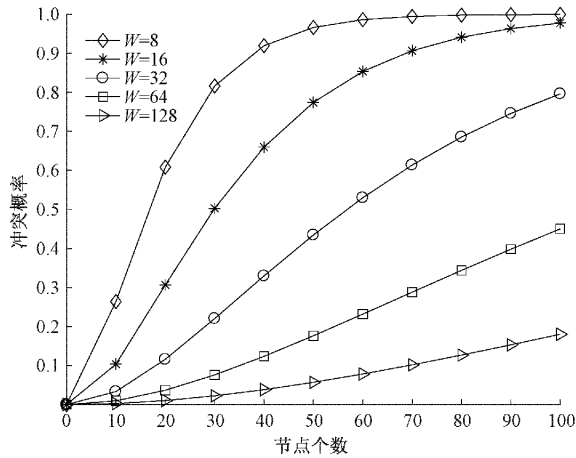


图 2 广播消息冲突概率

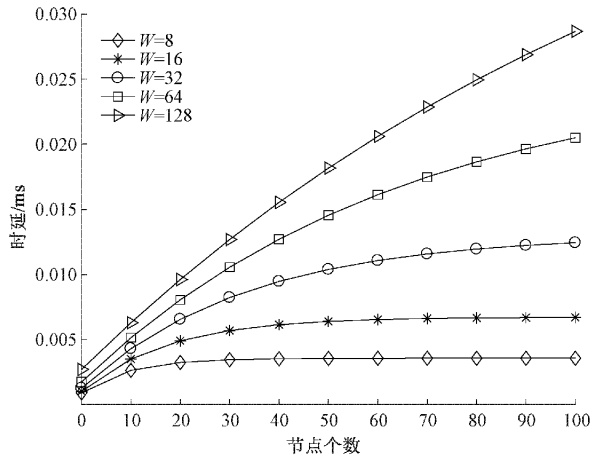


图 3 广播消息的平均时延

通过对图 2 和 3 的分析可知,数据包冲突概率和平均时延都会随着车辆节点密度的增大而增加。CW 的增大会降低数据包冲突的概率,但其增大又必然会带来时延的增加。因此在选择 CW 时须兼顾这两种重要的性能评价指标,既要保证较低的冲突概率,又要实现较低的平均时延。以降低冲突概率为目标,有必要在车辆密度增加时适当增加 CW,而在车辆密度降低时通过引入环境参数来适当地减小 CW 以获得较低的数据包平均时延。

1.3 NCW 机制

从图 2 和 3 的分析结果可知,在不同车辆节点密度下, VANET 的广播性能受到 CW 选择的影响。所以适应车辆节点密度变化,降低数据包冲突,找到合适的 CW 以获得更好的网络性能至关重要。考虑到消息发生冲突导致数据包丢失是衡量 VANET 性能的重要指标,通过最小化数据包冲突概率提出基于车辆节点密度的 NCW 机制。根据式(8)可得式(12):

$$P_c = 1 - (1 - \tau)^n - n\tau(1 - \tau)^{n-1} = 1 - (1 - \tau)^{n-1}[(1 - \tau) + n\tau] \quad (12)$$

由实际意义可知,要使冲突概率最小也就是使得(1 -

$\tau)^{n-1}(1 - \tau + n\tau)$ 这一部分取最大值,为了便于分析,构造二元函数 $f(W, n)$ 来求最值,其表达式如式(13)所示。

$$f(W, n) = (1 - \tau)^{n-1}(1 - \tau + n\tau) = \left[1 - \frac{2P_f(1 - P_0)}{(W + 1)(1 - P_0) + 2P_fP_0} \right]^{n-1} \cdot \frac{(W + 1)(1 - P_0) + 2P_f(2P_0 - nP_0 + n - 1)}{(W + 1)(1 - P_0) + 2P_0} \quad (13)$$

对式(13)进行简化推导,并对 $f(W, n)$ 求偏导,令其偏导为 0 得到式(14):

$$(2n - 2)W^2 - (3n^2 - 13n + 10)W - 4n^2 + 14n - 10 = 0 \quad (14)$$

将式(14)看作是关于 W 的一元二次方程,求得方程的解为:

$$W = \frac{(3n^2 - 13n + 10) + \sqrt{(3n^2 - 13n + 10)^2 + 8(n - 1)(4n^2 - 14n + 10)}}{4(n - 1)} \quad (15)$$

根据式(15)得到如图 4 所示的竞争窗口与节点密度的关系图。

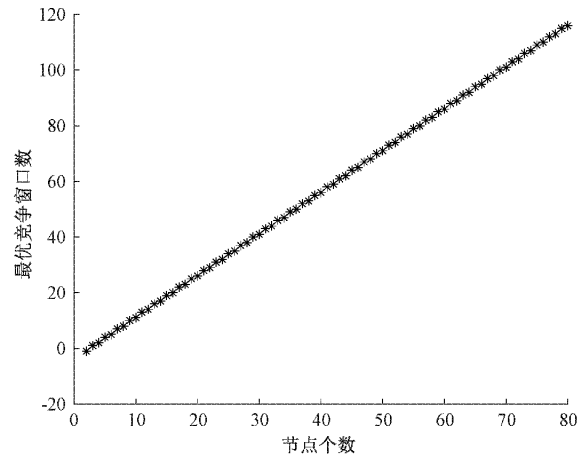


图 4 节点数与竞争窗口的函数关系

如图 4 所示,节点密度和 CW 呈现出线性正相关的特点,在不同的节点密度之下对应一个最优的竞争窗口使得整体的冲突概率最小。因此在仿真过程中通过车辆节点密度变化,依据图 4 所示的节点密度与 CW 的关系进行调整。

1.4 NCW-COCT 算法

NCW 机制针对不同的流量密度场景提供了最优 CW 的值,降低了数据包冲突概率。但由于 VANET 环境是复杂多变的,仅根据节点密度这一个变化指标来调节 CW 的值,存在一定的不确定性。同时也无法反映出信道状态的变化情况。所以在此基础上,提出一种竞争窗口自适应 NCW-COCT 退避算法。允许车辆节点在选择最优 CW 后根据信道占用情况进一步调整 CW 的值。

节点在执行退避算法的过程中,通过侦听信道空闲与否来决定退避计数器的值是递减 1 还是冻结。如果退避计数器被冻结,需要信道重新恢复空闲状态,才会继续启动退

避计数器。因此节点在每次退避过程中退避冻结的次数在一定程度上可以反映当前的网络状态拥塞与否。据此,提出信道占用因子来反映信道繁忙程度,该因子反映退避过程中侦听到信道处于忙碌状态的次数和随机选取的CW的比值,计算公式如下:

$$ratio = \frac{CW_{occupied}}{CW_{backoff} + 1} \quad (16)$$

式中: $CW_{occupied}$ 用于记录从退避开始到发送数据之前侦听到信道忙的次数, $CW_{backoff}$ 表示所选取CW。 $ratio$ 的值越接近于1表示信道拥塞程度越高,式(16)中的分母部分加1是为了防止所选取的CW取值为0时使式子不成立的情况。

根据所提出的信道占用因子 $ratio$ 来调整CW,其表达式如式(17)所示。

$$CW_{new} = rand[0, CW_{opt} + (ratio - CT) \cdot 100] \quad (17)$$

其中, CW_{opt} 为根据节点密度变化的最优初始竞争窗口的值,CT(collision threshold)为冲突门限,参数大小可通过仿真调试过程中获取。从式(17)可得,当 $ratio$ 大于CT时,CW选取的范围会增大用以改善网络状况。算法1为NCW-COCT算法的描述,该算法的输入是冲突门限CT以及根据NCW机制获得的初始CW。

算法1 NCW-COCT算法

输入:冲突门限CT,最优初始竞争窗口值 CW_{opt} ,

选取的竞争窗口值 $CW_{backoff}$,冻结次数 $CW_{occupied}$

输出:更新后的竞争窗口值 CW_{new}

1、初始化: CW_{opt} , $CW_{occupied}$

2、随机选择退避计数器的值 $CW_{backoff}$

3、while $CW_{backoff} > 0$

4、 if 信道空闲 then

5、 $CW_{backoff} - 1$

6、 else $CW_{occupied} + 1$

7、end while

8、退避计数器为0,发送消息

9、计算 $ratio = \frac{CW_{occupied}}{CW_{backoff} + 1}$

10、由式(17)得到 CW_{new}

第4~5行通过侦听信道状态,判断当前的信道处于空闲, $CW_{backoff}$ 进行自减1;第6行表示当前信道处于繁忙状态,退避计数器的值被冻结, $CW_{occupied}$ 进行自加1的操作。在 $CW_{backoff}$ 减为0之前,重复执行上述步骤。当节点的数据发送完成之后,执行竞争窗口的更新程序,根据式(16)和(17)更新竞争窗口直到仿真实验结束。

2 仿真验证

2.1 仿真参数设置

本文采用 OPNET Modeler 14.5 仿真平台进行仿真实

证,将本文所提出的 NCW-COCT 算法与 NCW 机制、IM-BEB 算法^[17]以及 DCW 算法^[19]作对比分析。其中 IM-BEB 算法是基于最小化冲突概率的退避算法,而 DCW 算法是根据最小化平均更新时延的退避算法,这两种算法与本文所提的算法所用条件类似,对比性更强。仿真测试在不同车辆节点数目下,比较它们在平均时延、吞吐量和丢包率等性能指标上的差异,仿真场景大致如图5所示。

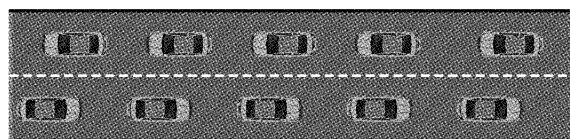


图5 仿真场景

在每个场景中节点的移动速度为10 m/s,节点数目分别为10、20、30、40、50、60、70以及80个。在相同的仿真场景下,每次仿真运行5次并取其平均值,以减小因其他随机因素带来的误差,主要的仿真参数如表3所示。

表3 主要仿真参数设置

参数	数值
场景大小	2 km × 2 km
随机种子值	128
车道数	双向四车道
包到达间隔	exponential(0.05)
传输范围	0.5 km
移动模型	Random Waypoint
平均速度	10 m/s
数据包长度	1 500 bytes
传输速率	10 Mbit/s
时隙长度	0.2 ms
节点数目	(10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80)
仿真时间	100 s

2.2 仿真结果分析

通过线性搜索的仿真调试分析,得到冲突门限和平均时延的关系如表4所示。当冲突门限CT达到0.2时,平均时延性能更好,因此在后续的仿真过程中令CT=0.2。

表4 冲突门限与平均时延的关系

冲突门限	平均时延/s
0.10	0.008 9
0.15	0.008 5
0.20	0.007 9
0.25	0.009 0
0.30	0.009 4
0.35	0.010 8

1) 丢包率分析

丢包率指的是节点发送失败的数据包数目占总发送数目的比值,反映了接入协议的可靠性。丢包率越低说明成功被接收的数据包越多,可靠性越高,其计算公式如式(18)所示。

$$P_{loss} = \frac{R_b}{R_g + R_b} \quad (18)$$

式中: R_g 表示网络中成功接收数据包的总量, R_b 表示网络中由于冲突而丢失的数据包数量。

图 6 为不同车辆节点密度下的丢包率情况。由于随着节点密度的不断增大,同时竞争信道发送消息的节点增多,导致消息冲突加剧、丢包增加。因此 4 种算法的丢包率都呈上升趋势。与 NCW 机制、IM-BEB 算法以及 DCW 算法相比, NCW-COCT 算法的丢包率性能分别提升了 10.59%, 13.29% 以及 19.46%。因为 NCW-COCT 算法通过最小化冲突概率得到不同节点密度下的最优 CW, 并进一步通过信道占用因子调整 CW 的值。根据所提的信道占用因子和冲突门限之间的关系,在信道空闲时适当降低 CW 的值,避免资源浪费并降低时延;在信道拥塞时适当增加 CW 的值以减轻信道压力并降低冲突。

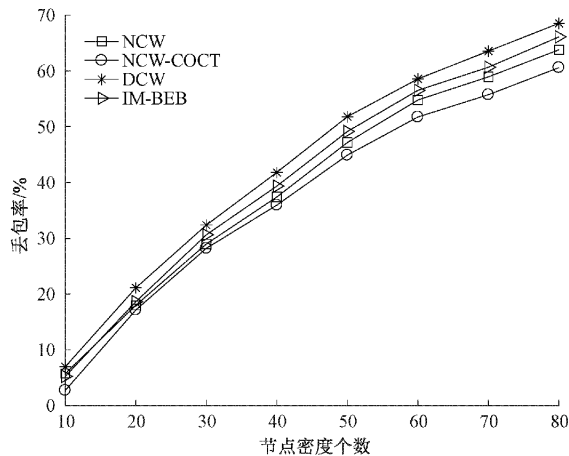


图 6 不同节点密度下的丢包率

2) 吞吐量分析

吞吐量指的是单位时间内接收到的数据量,即网络的平均速率,其计算公式如式(19)所示。

$$S_{throughput} = \frac{\sum S_i}{T} \quad (19)$$

式中: T 表示总的通信时间, S_i 表示所有节点接收到的数据包总量。

不同车辆节点密度下吞吐量性能曲线如图 7 所示。由于 NCW-COCT 算法通过考虑节点密度和信道占用因子两个参量来联合调整 CW,在动态变化的 VANET 网络中具有更好的适应性,故吞吐量性能更高。所以 NCW-COCT 算法在吞吐量性能方面相比于 NCW 机制、IM-BEB 算法以

及 DCW 算法分别增加了 4.65%, 6.77% 以及 11.64%。

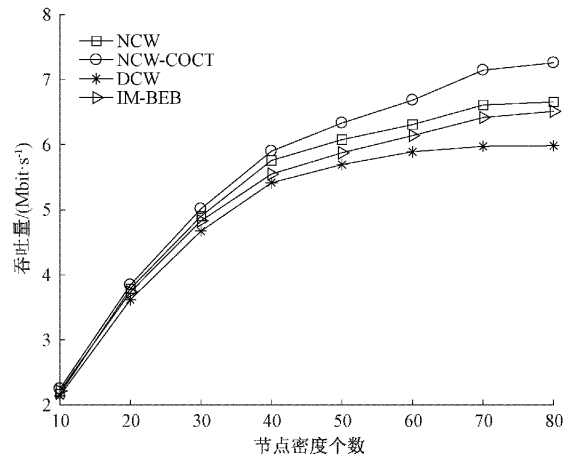


图 7 不同节点密度下的吞吐量

3) 平均端到端时延分析

端到端时延指的是数据包在发送端生成到被接收端成功接收所需时间的平均值。平均端到端时延反映了网络传输效率以及网络的拥塞情况,如式(20)所示。

$$T_{delay} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_r - T_s) \quad (20)$$

式中: N 表示数据包总量, T_r 表示数据包被成功接收的时刻, T_s 表示数据包的发送时刻。

图 8 为不同车辆节点密度下的平均时延情况,其中 DCW 算法的平均时延是最低的。原因在于其他 3 种算法都是通过增加 CW 来降低冲突,因此图 7 中吞吐量的提升就是以图 8 中更大的平均时延为代价。由于 NCW-COCT 算法在低节点密度下能根据信道状况适当降低 CW,避免资源浪费;而在高节点密度情况下能根据信道状况适当增加 CW,降低数据包冲突。因而 NCW 机制与 NCW-COCT 算法在不同的节点密度下的平均时延具有不同的表现。

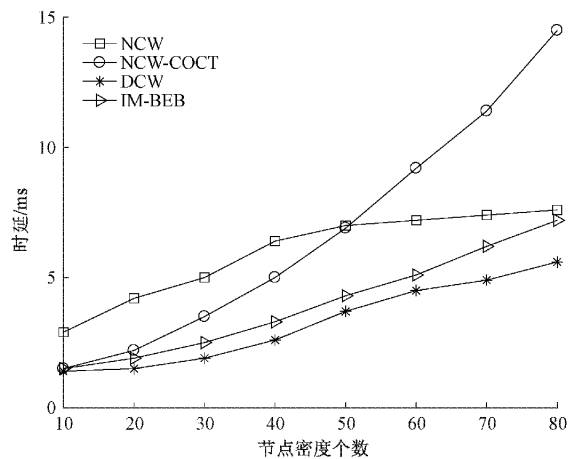


图 8 不同节点密度下的时延

由图 7 和 8 可知吞吐量的增大是以平均时延为代价的。因为节点密度增大使得吞吐量增大的同时数据包冲突

也随之而来,平均时延也随着冲突的增大而增加。即吞吐量和平均时延存在对立关系。因此在满足时延要求的前提下,以一定程度的平均时延增加换取冲突概率的降低,吞吐量的提升是可以接受的。

3 结 论

本文提出一种竞争窗口自适应退避算法。NCW-COCT算法根据节点密度、信道占用因子反映信道拥塞情况,相应地调整CW以适应不同规模的VANET网络。首先,选择马尔可夫模型对VANET网络在非饱和情况下的CSMA/CA协议进行系统分析。其次,采用节点密度和信道占用因子分别表征环境变化以及信道状态变化,据此动态调整CW。仿真结果表明,在多目标、多对象、复杂场景的VANET网络中使用两种状态参量表征网络变化状况,使得NCW-COCT算法能够自适应的选择CW。并在吞吐量、丢包率性能方面均优于DCW算法和IM-BEB算法。所提出的NCW-COCT算法主要考虑消息接收的成功率,未考虑从时延性能方面去提升网络的QoS。因此在未来的工作中,将评估退避算法在平均时延方面的改善,并考虑信道占用和平均时延做融合处理的问题。

参考文献

- [1] QURESHI K N, DIN S, JEON G, et al. Internet of vehicles: Key technologies, network model, solutions and challenges with future aspects [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2020, 22(3): 1777-1786.
- [2] MA M Y, LIU K, LUO X L, et al. Review of MAC protocols for vehicular ad hoc networks[J]. Sensors, 2020, 20(23): 6709-6736.
- [3] LIU Y T, LI Y, ZHAO Y M, et al. Research on MAC protocols in cluster-based AD Hoc networks[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2021, 2021: 1-12.
- [4] POLLICINO F, STABILI D, MARCHETTI M. On the effectiveness of BSM communications in V2V emergency scenarios[C]. IEEE Vehicular Technology Conference, IEEE, 2022: 1-5.
- [5] DANG D N M, TRAN A K, PHAM N T, et al. Safety message broadcast reliability enhancement MAC protocol in VANETs [C]. IEEE Ninth International Conference on Communications and Electronics, IEEE, 2022: 69-74, DOI: 10.1109/ICCE55644.2022.9852052.
- [6] CHANG C Y, YEN H C, DENG D J. V2V QoS guaranteed channel access in IEEE 802.11p VANETs [J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2016, 13(1): 5-17.
- [7] CHEN Y W, KAO K C. Study of contention window adjustment for CSMA/CA by using machine learning[C]. Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium, IEEE, 2021: 206-209.
- [8] SYED I, SHIN S H, ROH B H, et al. Performance improvement of QoS-Enabled WLANs using adaptive contention window backoff algorithm [J]. IEEE Systems Journal, 2018, 12(4): 3260-3270.
- [9] ZHANG C S, CHEN P P, REN J J, et al. A backoff algorithm based on self-adaptive contention window update factor for IEEE 802.11 DCF [J]. Wireless Networks, 2017, 23: 749-758.
- [10] LEE M W, HWANG G. Adaptive contention window control scheme in wireless AD Hoc networks [J]. IEEE Communications Letters, 2018, 22(5): 1062-1065.
- [11] HUANG X Q, LIU A J, ZHOU H B, et al. FMAC: A self-adaptive MAC protocol for flocking of flying Ad Hoc network [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2021, 8(1): 610-625.
- [12] 王维, 包志华, 王慧玲, 等. 自适应负载状态的车联网信道接入算法[J]. 南京邮电大学学报(自然科学报), 2020, 40(2): 66-71.
- [13] XIE Y, HO I W H, MAGSINO E R. The modeling and cross-layer optimization of 802.11p VANET unicast [J]. IEEE Access, 2018, 6: 171-186.
- [14] SHAH A F M S, IZHAN H, TURELI U, et al. Performance and complexity analysis of MAC protocol for VANETs [C]. IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference, Vancouver, IEEE, 2019: 1081-1086.
- [15] HU L, DAI Z J. Performance and reliability analysis of prioritized safety messages broadcasting in DSRC with hidden terminals [J]. IEEE Access, 2020, 8: 177112-177124.
- [16] 祁涛, 王树彬, 杜京涛. 车联网的MAC协议退避算法研究[J]. 电子测量技术, 2018, 41(9): 135-140.
- [17] 段志荣. IEEE 802.11 DCF协议退避算法的研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2018.
- [18] REHMAN A, HUSSAIN F B, TANVEER J, et al. Collision-based window-scaled back-off mechanism for dense channel resource allocation in future Wi-Fi [J]. Mathematics, 2022, 10(12): 2053-2074.
- [19] YANG Q, XING S, XIA W W, et al. Modelling and performance analysis of dynamic contention window scheme for periodic broadcast in vehicular AD Hoc networks [J]. IET Communications, 2015, 9(11): 1347-1354.

- [20] LU Y F, REN J M, QIAN J, et al. Predictive contention window-based broadcast collision mitigation strategy for VANET [C]. IEEE International Conferences on Big Data and Cloud Computing, Social Computing and Networking, Sustainable Computing and Communications, IEEE, 2016: 209-215.

作者简介

张显飞, 硕士研究生, 主要研究方向为车载自组网 MAC 协议。
E-mail:13540981672@163.com

赵一帆(通信作者), 硕士生导师, 博士, 主要研究方向为随机多址通信协议、无人机自组织网络、车联网路由协议。

E-mail:shipzhaoyifan@ymu.edu.cn

高明虎, 副教授, 主要研究方向为机器学习、深度学习。

E-mail:040711@ymu.edu.cn

姚应东, 硕士研究生, 主要研究方向为车载自组网 MAC 协议。

E-mail:041729@ymu.edu.cn

周思达, 教授, 主要研究方向为无人自主系统技术。

E-mail:zhousida@sina.com