



海上自组网中基于侦听的 MAC 协议退避算法

摘要

无人艇通常以编队协同的方式进行作业,并通过自组网进行数据交换.因海浪等因素影响,海上自组网的信道传输损耗通常处于动态变化中,现有 MAC 协议的退避算法在动态海上环境下无法区分分组碰撞和分组丢失,会出现可靠性和稳定性下降的问题.为此,本文提出一种基于信道侦听的自适应最小竞争窗口退避算法,该算法通过感知邻近竞争节点数目来估计信道状态,降低信道冲突概率和重传次数,提升了网络整体的可靠性和稳定性.仿真结果表明,与经典 BEB 算法相比,改进算法的吞吐量和公平性分别最大提高 28.67% 和 62.00%,端到端延时和丢包率分别最大降低 2.84% 和 15.10%.

关键词

退避算法;海上通信;自组网;信道侦听;自适应;最小竞争窗口

中图分类号 TN929.5

文献标志码 A

收稿日期 2022-06-17

资助项目 国家自然科学基金(62071139)

作者简介

肖峰,男,硕士生,主要研究方向为海上无线自组网.xiaofeng@hrbeu.edu.cn

窦峥(通信作者),男,博士,教授,主要研究方向为宽带智能通信系统高速数字信号处理、无线自组网.douzheng@hrbeu.edu.cn

¹ 哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院,哈尔滨,150001

0 引言

海上自组网是海上通信网络的一种组网形式.由于海面环境复杂、海面粗糙度多变以及天气频繁变化等因素^[1-2],海上通信网络经常发生分组丢失和传输中断^[3-4].因此,如何提升海上自组网的稳定性和可靠性成为了一个不可忽视的问题.

在无线自组网中,媒体接入控制(Medium Access Control, MAC)层与网络传输的稳定性和可靠性直接相关.与现有的无线移动自组网一样,海上无线自组网的 MAC 层面面临的主要挑战之一就是退避算法.作为协议体系中较为底层的算法,退避算法为网络中的所有节点提供可靠的信道接入时机,在保证和平衡节点的数据传输速率、端到端时延、分组成功率和公平性上起到了至关重要的作用.但与现有无线自组网不同的是,海上无线自组网 MAC 层的退避算法必须能够抵抗多样的海上信道干扰和随机变化的传输损耗对于网络性能的影响^[5-6].因此,对于海上自组网的 MAC 协议退避算法的研究是非常重要的.

针对海上自组网的 MAC 协议退避算法的研究进展缓慢,现有的海上网络依旧使用无线移动自组网的退避算法.其中最为经典的是二进制指数退避(Binary Exponential Backoff, BEB)^[7]算法,其对于竞争窗口的调整方法是指数增加、定值缩小.因 BEB 算法存在节点竞争不公平和吞吐量受限等缺陷,所以提出改进的退避算法^[8-9],大致可以分为两种类型:基于竞争窗口变化方式的退避算法和基于网络状态估计的退避算法.

基于竞争窗口变化方式的退避算法的设计思路是更新竞争窗口的变化规则.目前大多改进算法属于这一类,例如,旨在提升网络收敛速度的指数增加指数减少(Exponential Increase Exponential Decrease, EIED)^[10]的退避算法和能够兼顾所有负载情况下网络性能要求的乘性增加、乘性/线性减少(Multiplicative Increase Multiplicate/ Linear Decrease, MIMLD)^[11]的退避算法等.这些算法机制简单,没有额外开销,但是由于其仅通过信道竞争调整退避窗口,无法区分分组碰撞和丢失,且窗口变化的参数固定,无法针对海上动态信道环境进行自适应调整,其网络性能仍存在很大的提升空间.

基于网络状态估计的退避算法的设计思路是让节点通过信道信息估测网络负载变化,对窗口变化因子进行自适应调整.例如,基于碰

撞的自适应退避算法(Collision-Aware Backoff Mechanism, CABM)^[12]通过统计固定周期内的发送失败次数和发送总数来计算自己的碰撞概率,进而调整自身竞争窗口变化策略.该类算法相较于基于竞争窗口变化方式的算法,其理论性能更加优秀.但由于需要一定时间和周期采集计算网络信息,该类算法收敛速度更慢,且会误判海上信道的分组丢失为分组碰撞,错误估计网络负载状态,造成节点出现不必要的等待,导致网络延迟增加,所以该类算法对变化迅速的海上环境适应性较差.

为了解决当前自组网退避算法在海上信道性能表现不佳的问题,本文提出一种新的 MAC 的退避算法,为海上无人艇节点间提供可靠通信传输,其设计思路是通过侦听机制对邻近活跃节点数目进行感知,估计信道实际负载状态,自适应调整竞争窗口,使其能够在海上组网中保持良好的网络性能.

1 系统模型

海上无线自组网的系统模型如图 1 所示.假设该自组网络仅由海基(无人艇、舰船等)节点构成,在该网络中共存在 n 个相同节点,所有节点随机分布在一个 $X \times Y$ 矩形区域内;假设存在信道干扰和环境噪声干扰.在该模型中,干扰较小时,相距最远的两个节点恰好能够正常通信,即所有节点可以进行点对点通信,此时整个系统可以视为一个单跳网络.考虑到海上组网的信道损耗与海洋环境密切相关,因此仿真将采用由 Timmins 等^[13]所提出的广义海上路径损耗指数模型.

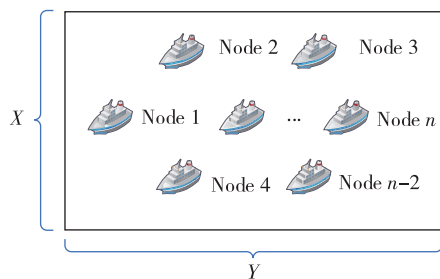


图 1 海上网络模型

Fig. 1 Offshore network model

海上信道的信道模型和传输损耗与陆地环境和空中环境都不尽相同.海面作为一个粗糙的平面,能在通信过程中形成多条路径,这些路径相互叠加作用,对于信号的能量、相位、频率都产生了干扰,故在模拟仿真海上无线移动自组网时,使用简单的两径模型、

瑞利-莱斯模型等信道模型,都不能完全准确估算海洋的多径干扰以及海浪等因素对于节点的影响^[14-15].为了让仿真的环境更加真实,使得后续的仿真结果具有说服力,本文采用一种新的海上多径信道传输损耗模型——广义海上路径损耗指数模型^[13],该模型充分考虑了海洋多径干扰等因素对传输损耗的影响,其公式如下:

$$P_{h,d,f} = P_{d_0} + 10\alpha \log(d/d_0) + X_f, \quad (1)$$

其中, α 参数的定义为

$$\alpha = [(0.498 \log_{10}(f) + 0.793)h + 2]. \quad (2)$$

式(1)也可以写作:

$$P_{h,d,f} = P_{d_0} + 10[(0.498 \log_{10}(f) + 0.793)h + 2] \log(d/d_0) + X_f, \quad (3)$$

式中: $P_{h,d,f}$ 表示传输过程中海面海浪最高高度为 h 的情况下,距离发射机 d (单位:m) 的位置上,发射机发射的频率为 f 的信号在此处的信号强度(单位: dB); P_{d_0} 为距离发射机为 d_0 处的信号强度(单位: dB); X_f 表示均值为 0, 标准差为 σ 的高斯随机变量:

$$\sigma = [0.157f + 0.405]h. \quad (4)$$

可以看出,海上信道损耗与海浪高度、信号频率和传输距离有直接的关系.根据文献[16]的说明,在简单的线性理论框架下,依据中心极限定理,海浪波面高度分布服从正态分布,即在海况等级确定的情况下,海浪最高高度在其所在海况等级的区间值内处于正态分布.因此,在海浪最高高度服从正态分布时,海上信道传输损耗是一个随海浪高度变化的随机值.

2 理论建模与 ALBI 退避算法设计

由于海洋信道是快速随机变化的,无法迅速适应海洋信道的网络会因为信道冲突和重传而导致网络整体的可靠性和稳定性下降.本节首先利用数学建模分析最小冲突概率与邻居节点数目关系,进而得到最佳竞争窗口的计算方法,最后提出基于侦听机制的对数退避算法(Adaptive Logarithm Backoff based on Interception, ALBI).

2.1 自组网 MAC 层传输过程建模

假设网络处于饱和状态, P 为节点的碰撞概率,且 P 独立固定,不依赖网络重传次数;另已知整个网络节点数据为 n . 设 $b(t)$ 与 $s(t)$ 分别为节点在 t 时刻退避计数器的值和当前退避计数器的阶数.假定自组网 MAC 层使用 IEEE802.11 的分布式协议功能

(Distributed Coordination Function, DCF) 机制, 根据文献[17-18], 整个 DCF 自组网络可以视为由 $b(t)$ 与 $s(t)$ 组成的一个二维随机过程, 且是一个典型的二维离散马尔可夫链. 其结构如图 2 所示.

文献[17]推导得出该马尔可夫链发送概率与碰撞概率之间的关系:

$$\tau = \frac{\sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p}}{2(1-2p) + \frac{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)}{1-2p}}, \quad (5)$$

其中 m 为重传的阶数, 当 $m=0$ 时, 可以将式(5)改写为

$$\tau = \frac{2}{W+1}. \quad (6)$$

式(6)说明了第一次发送时发送概率和竞争窗口大小的关系. 同时, 由文献[17], 可以得到使得网络性能最佳的发送概率与竞争节点数目的关系式:

$$\tau_{\text{最优}} \approx \frac{1}{n\sqrt{\frac{T_c}{2\sigma}}}. \quad (7)$$

通过联立式(6)和式(7), 有

$$W = n\sqrt{\frac{2T_c}{\sigma}}. \quad (8)$$

所以, 若使吞吐量最大, 每个节点的发送概率就必须趋向于式(7)所得出的最优值, 即要使得节点的竞争窗口值的初始大小趋近于式(8). 最优初始窗口值的变化取决于节点数目 n 、碰撞时间 T_c 和时隙长度 σ . 在网络建立完毕后, T_c 和 σ 一般都是固定值, 可以由其他参数计算而来, 故最优初始窗口值的变化一般由当前与本节点竞争的周围节点数目决定. 对于海上无线自组网而言, 节点的加入/退出网络, 信道的损耗、干扰导致的最大通信范围的变化等, 都使得竞争信道的邻居节点数目 n 存在动态变化的可能, 因此想要网络达到最佳传输, 其初始发送窗口应该随周围情况进行变化, 具有动态性.

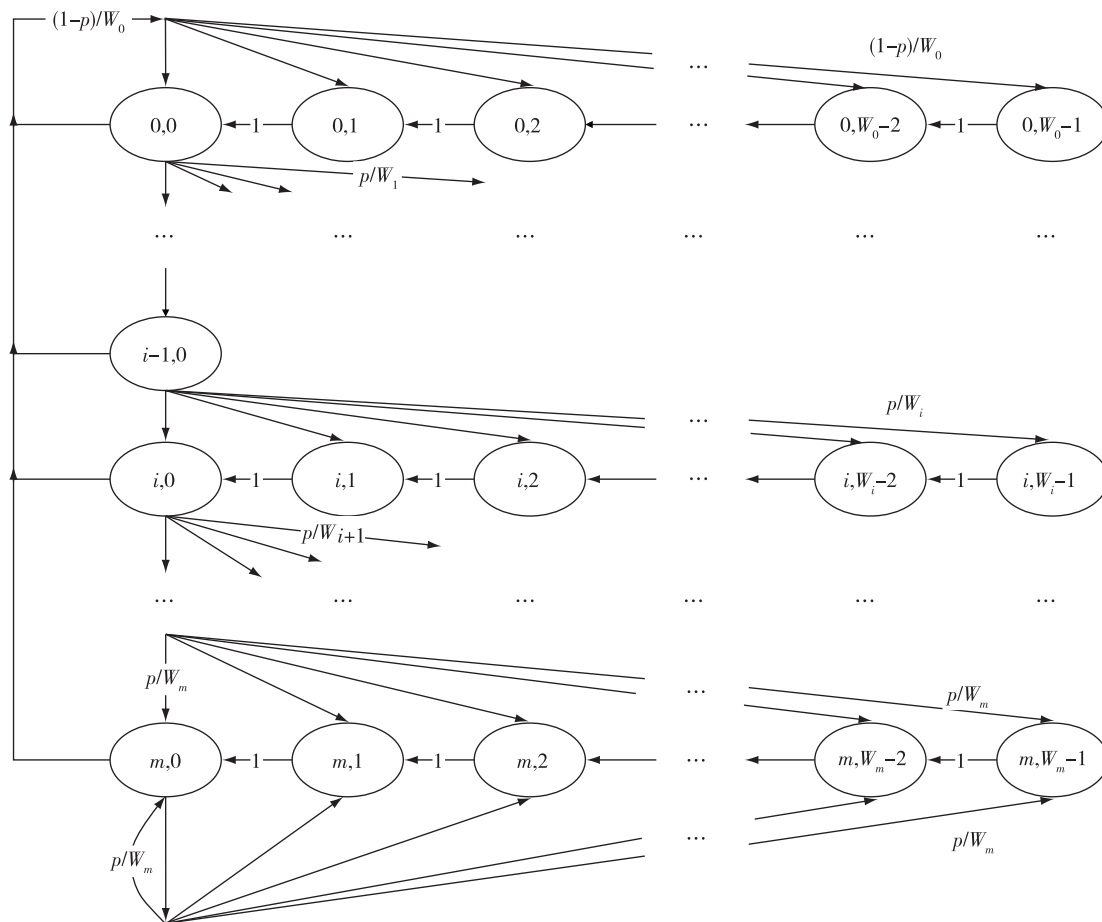


图 2 自组网通信的马尔可夫链模型

Fig. 2 Markov chain model of ad hoc network communication

2.2 基于侦听机制的对数自适应退避算法

由 2.1 节可知最佳竞争窗口与邻居节点数目存在对应关系,故本文提出一种新的改进退避算法——基于侦听机制的对数退避算法(ALBI).本算法对初始最佳竞争窗口和竞争窗口调整因子进行自适应设计,使得竞争窗口的调整方式对网络的动态变化更具有适应性.

令 $W_{C,i}$ (i 为退避次数, $0 \leq i \leq m$, m 为最大重传次数) 为当前竞争窗口, $W_{C,\min}$ 与 $W_{C,\max}$ 分别为最小竞争窗口和最大竞争窗口, $W_{C,\text{gate}}$ 为理论最佳竞争窗口, B_i 为当前退避计数器的值,其单位为 DCF 帧间间隔(DCF Inter-Frame Space, DIFS).ALBI 算法可以描述如下:

Step0: 节点在发送数据之前,需要监听信道,若检测到信道忙碌,则转向 Step4,当信道空闲后,转回 Step1.当监听到信道空闲一个 DIFS 时间,进入退避竞争阶段,初始化窗口值为 $W_{C,\text{init}}$,即:

$$W_{C,\text{init}} = \max(W_{C,\min}, W_{C,\text{gate}}). \quad (9)$$

Step1: 节点进入退避阶段后,根据当前竞争窗口值获取一个随机的以时隙为单位的退避时间,并存入退避计数器,如:

$$B_i = \text{int}[W_{C,i} \times \text{random}()], \quad (10)$$

其中: $\text{random}()$ 为随机数函数,其取值范围为 $(0, 1]$; $\text{int}[\]$ 为取整函数,其取整逻辑为向上取整.

Step2: 节点继续监听信道,信道每空闲一个时隙,退避计数器的值就会减少 1,若退避计数器 B_i 的值为 0,则节点开始发送数据,进入 Step3,否则继续 Step2.若节点在退避过程中,检测到信道被占用,则会冻结退避计数器 B_i 的值,并进入 Step4,直到检测到信道空闲 DIFS 长度,再回到 Step2.

Step3: 若数据发送失败,那么下一次竞争窗口需要根据维护的活跃竞争节点表中记录的节点数目进行调整,即:

$$W_{C,i+1} = \min(W_{C,i}(1 + \log_2(n)), W_{C,\max}). \quad (11)$$

若没有超过最大重传次数 m ,节点会依据新的竞争窗口传送当前数据包;若超过最大重传次数,节点会放弃传输当前的数据包,转而传输下一个数据包.若数据发送成功,那么下一次竞争窗口需要根据维护的活跃竞争节点表中记录的节点数目和当前最佳初始竞争窗口值进行调整,即:

$$W_{C,i+1} = \max(W_{C,\text{gate}}, 2W_{C,i}/(1 + \log_2(n))). \quad (12)$$

Step4: 当节点检测到信道被占用,会尝试接收当前信道上传输的数据.若接收失败,则保持在当前

阶段,等待信道空闲;若接收成功,节点会维护活跃竞争节点更新表,将当前占用信道节点的 MAC 地址和发送时间更新在表中,同时删除过期的活跃节点数据,然后保持在当前阶段,等待信道空闲.

综上所述,算法的竞争窗口 CW 调整公式可以表示为

$$\begin{cases} W_{C,\text{init}} = \max(W_{C,\min}, W_{C,\text{gate}}), \\ \quad \text{节点初始竞争窗口;} \\ W_{C,i+1} = \min(W_{C,i}(1 + \log_2(n)), W_{C,\max}), \\ \quad \text{节点发送失败;} \\ W_{C,i+1} = \max(W_{C,\text{gate}}, 2W_{C,i}/(1 + \log_2(n))), \\ \quad \text{节点发送成功.} \end{cases} \quad (13)$$

$$W_{C,\text{gate}} = n \sqrt{\frac{2T_c}{\sigma}}. \quad (14)$$

$$T_c = T_{\text{DIFS}} + T_{\text{MSG}} + T_{\text{SIFS}} + T_{\text{ACK}}. \quad (15)$$

式(14)是由式(8)改写而来,描述的是最佳初始竞争窗口值与周围节点数目(n)的关系. T_c 是单次数据传输的时间长度,传输总时间为信道空闲后发送前等待的 DIFS 时间(T_{DIFS})、单个数据包(包含 MAC 帧头帧尾和物理层帧头帧尾)的传输时间(T_{MSG})、等待 ACK 的 SIFS 时间(T_{SIFS})和 ACK 传输时间(T_{ACK} , 包含 MAC 帧头帧尾和物理层帧头帧尾)之和. σ 则为单个时隙时间长度.

3 仿真条件与性能分析

为了验证基于侦听机制的自适应对数退避(ALBI)算法的有效性,本节利用 OMNET++ 实现 ALBI 算法的仿真分析,并将其与其他现有的退避算法进行比较.

3.1 仿真场景与参数设计

基于 OMNET++ 建立的仿真网络,场景模型参考图 1,该网络是由 n 个移动节点(例如船只、舰艇等)组成的单跳网络,随机分布在 $400 \text{ m} \times 300 \text{ m}$ 的区域中,节点的目标地址随机选择,仿真参数如表 1 所示,网络仿真时间为 300 s.

3.2 性能分析

本小节主要将 ALBI 算法与传统 BEB^[7]、EIED^[10]、MIMLD^[11] 和 CABM^[12] 算法进行比较分析,分别从网络归一化吞吐量、公平性、端到端时延和丢包率 4 个指标来评估算法性能.

通过对比网络中不同竞争节点数目的情况,本文得到几种退避算法的性能比较,如图 3—6 所示.

表 1 仿真参数

Table 1 Simulation parameters

参数名	参数值
信道速率/(Mbit/s)	6
时隙长度/ μ s	20
T_{SIFS}/μ s	10
T_{DIFS}/μ s	50
最大重传次数	4
数据包长度/byte	1 200
MAC 帧头/byte	136
物理层帧头/byte	64
最低接收门限/dBm	-85
天线高度/m	1.5
$W_{C,max}$	1 024
$W_{C,min}$	32
信道损耗模型	广义海上路径损耗指数模型
海浪等级	2
发射频率/GHz	2.412
带宽/MHz	2
发射功率/mW	370
背景噪声/dBm	-86
最低接收信噪比/dB	4
路由类型	静态路由

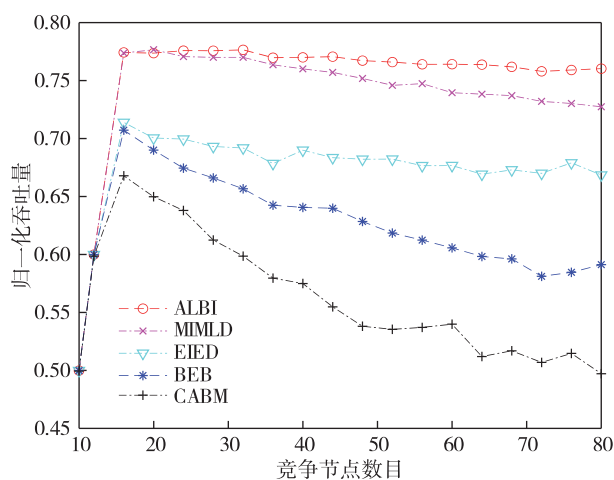


图 3 几种退避算法的吞吐量性能比较

Fig. 3 Throughput performance comparison of several backoff algorithms

从图 3 可以看出:退避算法的网络整体吞吐量在 16 个竞争节点时到达峰值,此时网络负载饱和,之后增加的竞争节点会对吞吐量产生负面收益,其中 CABM、EIED 和 BEB 算法都随着网络节点数目的增加产生了明显的下降趋势,而 MIMLD 算法只是略有下降,基本保持稳定;ALBI 算法吞吐量性能最好,

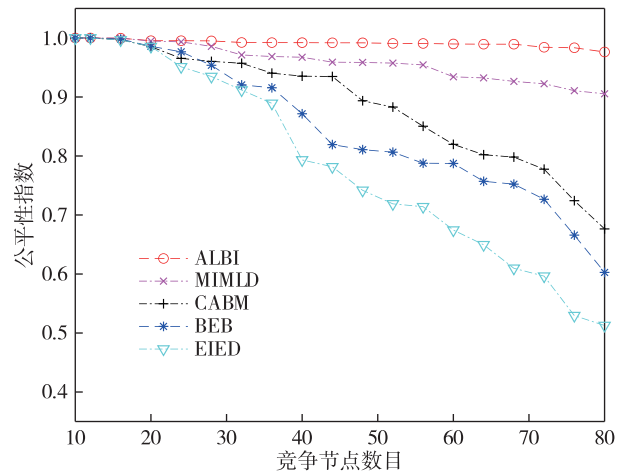


图 4 几种退避算法的公平性比较

Fig. 4 Fairness comparison of several backoff algorithms

在网络负载最大、节点数目最多时,ALBI 算法相比 MIMLD、EIED、BEB 和 CABM 算法吞吐量分别提高 4.5%、13.72%、28.67%和 52.89%。

从图 4 可以看出:所有算法的公平性指标在网络竞争不激烈时都处于最佳状态,随着网络中竞争节点的增多,公平性指标因为网络负载的增大而降低,其中 EIED、CABM 和 BEB 算法的公平性在高负载下急剧下降,MIMLD 算法公平性指标在高负载下略有下降,而 ALBI 算法的公平性基本不受影响。在网络负载最大、节点数目最多时,ALBI 算法相比 MIMLD、CABM、BEB 和 EIED 算法公平性分别提高 7.82%、44.32%、62.00%和 90.40%。

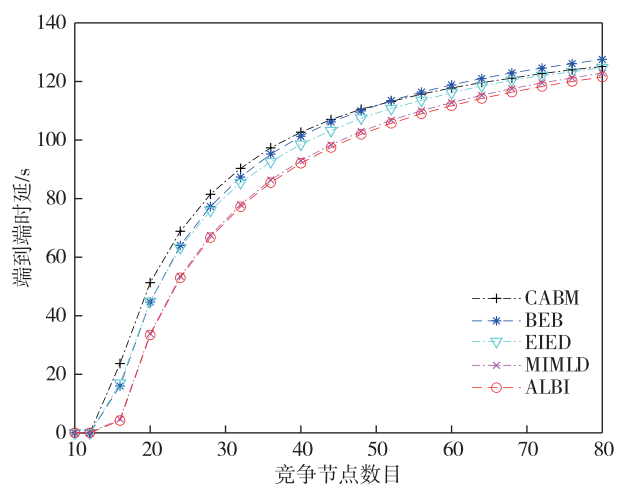


图 5 几种退避算法的延时比较

Fig. 5 Delay comparison of several backoff algorithms

从图 5 可以看出,端到端延时性能随着节点数目的增加而下降,这是因为竞争节点数目的增加导

致信道争用时碰撞的概率增加,所以传输时延增加.在低负载时,ALBI 算法的延时性能最佳,随着节点数目增加,网络负载进入饱和状态,ALBI 算法的延时性能逐渐下降,但与其他算法之间依旧存在性能优势;在网络负载最大时,ALBI 算法相比于 MIMLD、EIED、BEB 和 CABM 算法端到端延时分别减少 1.10%、2.60%、2.84% 和 4.72%.

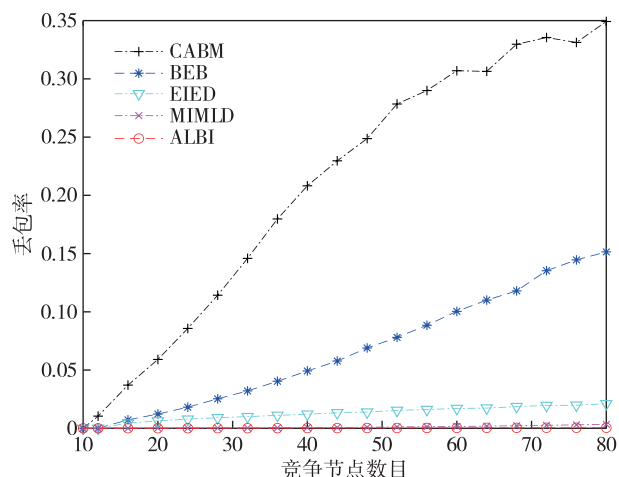


图 6 几种算法的丢包率比较

Fig. 6 Comparison of packet loss rate of several backoff algorithms

从图 6 可以看出:CABM 算法的丢包率随着节点数目增加,上升很快,其性能甚至劣于传统的 BEB 算法;EIED 丢包率基本保持稳定;ALBI 和 MIMLD 丢包率基本不变,约等于 0,但 ALBI 算法更接近于 0.ALBI 算法相比于 MIMLD、EIED、BEB 和 CABM 算法的丢包率分别减少 0.29%、2.06%、15.10% 和 34.88%.

综上所述,基于碰撞情况估计信道竞争的 CABM 算法无法适应海上变化的信道环境,这主要是因为海上信道的传输损耗随机变化,使得节点传输失败的原因不仅仅是信道争用失败,也可能是节点之间因为信道传输损耗过高无法通信,但通过信道碰撞和信道占用情况预测下一时刻信道竞争态势的方法无法区分二者;同时,由于信道传输损耗的随机变化,不同时刻存在信道竞争的邻居节点数目也会随机发生改变,因此基于平均碰撞概率的信道情况分析无法根据过去的准确预测未来网络竞争的随机性的变化,所以 CABM 算法经常发生节点之间的信道碰撞和不必要的信道等待,导致该算法的稳定性和可靠性要远低于预期,其性能表现甚至远低于传统的 BEB 算法.BEB、EIED 和 MIMLD 等

静态竞争窗口调节因子的算法在海上自组网中的综合性能要略优于 CABM 算法,但因为窗口调节因子固定,只能依赖过去分组竞争的成败来调整现在的竞争窗口等缺陷.随着网络节点数增加,网络负载增大,使用 BEB、EIED 和 MIMLD 等算法的网络节点冲突加剧,其吞吐量、公平性和延时等性能都存在着不同程度的下降.其中,由于 MIMLD 算法采用门限窗口的机制,对于高负载和低负载网络的竞争窗口采取不同的变化逻辑,所以其性能表现比较稳定,但仍与 ALBI 算法之间存在性能差距.相比于仿真测试的其他算法,ALBI 算法的性能最为优秀.ALBI 算法采用侦听机制和自适应竞争窗口调整因子和最佳初始竞争窗口的设计,不再过分依赖过去的信道争用情况来调整竞争窗口,而是根据邻居节点数目来调整竞争窗口,使得竞争窗口维持在一个动态的合理的数值.ALBI 算法虽然会略微增加网络延时,但避免了因为分组碰撞而损失过多的网络性能,并且改善了激烈信道竞争时节点发送成功后退避时间太短的缺陷,减少了不必要的信道碰撞和传输时间浪费,提升了网络的公平性.同时,自适应竞争窗口调整因子可以促使竞争窗口快速收敛,使得网络发生重构时,当前节点的竞争窗口可以迅速适应当前网络的变化情况.对比仿真结果可以得出结论:ALBI 算法是当前算法中最适合海上无线自组网的选择.

4 结束语

本文提出一种高效可靠的海上网络的竞争式 MAC 退避算法,该算法通过侦听机制来收集邻近活跃竞争节点信息,通过自适应竞争窗口调整因子和自适应最佳初始竞争窗口两种机制,提高了网络的综合传输性能.OMNET++ 仿真结果表明,相较于已有算法,ALBI 算法在高负载的海上网络环境下能够取得更好的性能.未来将会进一步研究基于 ALBI 的改进方法,在保证公平性的同时继续提高算法的吞吐量、降低延时和丢包率.

参考文献

References

- [1] 张瑞杰,彭琳琳,付林罡,等.海上无人船自组网随机接入仿真研究[J].遥测遥控,2020,41(5):29-35
ZHANG Ruijie, PENG Linlin, FU Lingang, et al. Random access technique for unmanned surface vehicle ad-hoc network [J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2020, 41(5): 29-35
- [2] 石尧,李晖,杜文才,等.基于 Ad Hoc 移动节点模型的

- 海上 DTN 建模与性能分析[J].计算机工程,2018,44(3):82-86
SHI Yao, LI Hui, DU Wencai, et al. Modeling and performance analysis of marine DTN based on ad hoc mobile nodes model [J]. Computer Engineering, 2018, 44(3): 82-86
- [3] Hosseini-Fahraji A, Zeng K, Yang Y, et al. A self-sustaining maritime mesh network [C]//2019 United States National Committee of URSI National Radio Science Meeting (USNC-URSI NRSM).IEEE,2019:1-2
- [4] Yau K L A, Syed A R, Hashim W, et al. Maritime networking; bringing Internet to the sea [J]. IEEE Access, 2019, 7:48236-4825
- [5] 李瑞景.海上宽带无线自组网多信道 MAC 协议研究[D].大连:大连海事大学,2019
LI Ruijing. Study on the multi-channel MAC protocol of maritime broadband wireless ad hoc network [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2019
- [6] 张键.海上宽带无线自组网 MAC 协议设计与实现[D].大连:大连海事大学,2019
ZHANG Jian. Design and implementation of MAC protocol for maritime broadband wireless ad hoc network [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2019
- [7] 彭璟云.无线局域网 MAC 层 BEB 退避算法研究[D].昆明:昆明理工大学,2018
PENG Jingyun. Research on BEB backoff algorithm in MAC layer of WLAN [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2018
- [8] 余小龙. Ad Hoc 网络 MAC 层协议研究及其算法改进[D].成都:电子科技大学,2017
YU Xiaolong. Research on ad hoc network MAC layer protocol and related algorithm improvement [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2017
- [9] 陆毅.无人机集群自组网 MAC 协议研究[D].桂林:桂林电子科技大学,2020
LU Yi. Research on MAC protocol of UAV cluster ad hoc network [D]. Guilin: Guilin University of Electronic Technology, 2020
- [10] Song N O, Kwak B J, Song J, et al. Enhancement of IEEE 802.11 distributed coordination function with exponential increase exponential decrease backoff algorithm [C]//The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference. Jeju, Korea (South). IEEE, 2003: 2775-2778
- [11] Pang Q X, Liew S C, Lee J Y B, et al. Performance evaluation of an adaptive backoff scheme for WLAN [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2004, 4(8): 867-879
- [12] Chan Y C, Liao M C, Chu C H. A collision-aware backoff mechanism for IEEE 802.11 WLANs [C]//2009 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems. IEEE, 2009, 3: 284-288
- [13] Timmins I J, O'Young S. Marine communications channel modeling using the finite-difference time domain method [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(6): 2626-2637
- [14] 沈亮.面向海上无线通信的信道估计算法研究与实现[D].西安:西安电子科技大学,2018
SHEN Liang. Research and implementation of channel estimation algorithms for maritime wireless communication systems [D]. Xi'an: Xidian University, 2018
- [15] 魏特,王文浩,陈军,等.环境信息辅助的海上无线信道测量与建模[J].清华大学学报(自然科学版),2021,61(9):1002-1007
WEI Te, WANG Wenhao, CHEN Jun, et al. Environmental information-aided maritime wireless channel measurement and modelling [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2021, 61(9): 1002-1007
- [16] 戴德君.有关海浪波面高度分布的几个问题[D].青岛:中国海洋大学,2000
DAI Dejun. Some problems about the height distribution of sea waves [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2000
- [17] 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
- [18] Bianchi G, Tinnirello I. Remarks on IEEE 802.11 DCF performance analysis [J]. IEEE Communications Letters, 2005, 9(8): 765-767

MAC protocol backoff algorithm based on interception in maritime ad hoc networks

XIAO Feng¹ DOU Zheng¹

¹ College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001

Abstract Unmanned Surface Vehicles (USVs) usually operate in coordinated formation and exchange data through wireless ad hoc networks due to mission requirements, and the channel transmission loss of maritime ad hoc networks is usually in a dynamic state owing to the influence of ocean waves. However, the existing backoff algorithm of MAC protocol in ad hoc networks cannot distinguish between packet collision and packet loss in a dynamic maritime environment, resulting in the decline of reliability and stability. Here, we propose an adaptive minimum contention window backoff algorithm based on channel monitoring. The algorithm estimates the channel state by sensing the

number of adjacent contention nodes, reduces the channel collision probability and retransmission times, thus improves the reliability and stability of the network as a whole. Simulation results show that compared with classical BEB algorithm, the proposed backoff algorithm increases the throughput and fairness by 28.67% and 62.00%, respectively, and reduces the end-to-end delay and packet loss rate by 2.84% and 15.10%, respectively.

Key words backoff algorithm; maritime communication; ad hoc network; channel monitoring; adaptive; minimum competition window