

# Ad hoc网络中一种新的退避算法

夏海轮, 许航天, 曾志民, 丁 炜

(北京邮电大学宽带通信网络实验室 北京 海淀区 100876)

**【摘要】**为了提高Ad hoc网络中高等级节点的接入能力, 提出了一种新的二进制负指数退避算法, 该算法中高等级节点在分组发送成功时将竞争窗口设为普通节点的最小竞争窗口, 在发生碰撞时竞争窗口随着退避次数的增加而呈负指数规律减小。仿真结果表明, 该算法能够显著提高高等级节点的接入能力, 提高了其业务吞吐量, 并降低了端到端传输时延。

**关键词** 无线自组网; 退避算法; 二进制负指数退避; 竞争窗口  
**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## A Novel Backoff Algorithm for Ad hoc Networks

XIA Hai-lun, XU Hang-tian, ZENG Zhi-min, and DING Wei

(Broadband Communication Networks Laboratory, Beijing University of Posts and Telecommunications Haidian Beijing 100876)

**Abstract** In order to increase the access ability of high-level node in wireless ad hoc network, a novel binary negative exponential backoff (BNEB) algorithm is proposed. In this algorithm, the high-level node sets its contention window (CW) to the minimum CW of normal nodes after successful transmission, and reduces its CW as times of retransmission increased. The simulation results show that the BNEB algorithm can remarkably increase the access ability of high-level node and reduce the end-to-end delay.

**Key words** Ad hoc; backoff algorithm; binary negative exponential backoff; contention window

无线Ad hoc网络多采用IEEE 802.11的分布式协调功能(distributed coordination function, DCF)<sup>[1]</sup>作为基本的媒体接入控制(MAC)协议, 距离相近的节点竞争共享的无线信道。DCF是一种分布式的MAC协议, 采用了随机访问机制, 在随机接入过程中, 为了减小碰撞概率, DCF协议中使用二进制指数退避(binary exponential backoff, BEB)<sup>[2]</sup>机制, 其特点是一旦发生碰撞, 竞争窗口将以二进制指数规律增长, 发送成功后竞争窗口减小到最小。BEB算法是一种简单有效的算法, 广泛应用于无线局域网。

通常情况下, Ad hoc网络中各个节点都是对等的, 竞争信道的效果是相当的。但是在某些情况下, 需要考虑节点不同的竞争等级, 如: (1) 在战术互联网中的领导者节点应该比普通节点有更高的接入等级<sup>[3]</sup>; (2) 由于节点分布的随机性使得网络中部分节点承载较大的转发业务负载, 为了减小拥塞对Ad hoc网络性能的影响, 可以通过提高路由节点的接入等级使得路由节点尽快转发接收到的分组。

本文提出了一种新的用于高等级节点信道接入

的二进制负指数退避算法BNEB, 该算法使用普通等级节点的最小竞争窗口作为高等级节点的最大竞争窗口, 在节点发送失败时竞争窗口随退避次数的增加而减小, 发送成功后将竞争窗口设为最大值, 这样高等级节点的竞争窗口在整个网络中一直是最小值, 因此增强了其信道接入能力。

### 1 二进制负指数退避算法

Ad hoc网络中各节点竞争有限的共享信道资源, 节点只有竞争到信道才能够传输数据, 因此可以认为节点的竞争能力影响其传输能力。退避算法是为了减小重发时再次发生冲突的可能性, 发生冲突时发送节点要延迟一段随机时间后再重新发送, 延迟的随机时间为退避时间, 是在 $[0, CW]$ 之间的随机值, 其中CW为节点中的竞争窗口。退避时间的大小直接反映了节点接入信道的能力, 退避时间越小, 节点抢占信道的能力就越强。竞争窗口CW在总体上反映了退避时间, 因此可以通过改变竞争窗口来改变退避时间, 进而改变节点的竞争能力。因此可以

通过为高等级节点设置较小的竞争窗口来提高其信道接入能力,文献[4]即是通过在节点接收分组后将其退避窗口设为很小的值,使其尽快转发分组,转发后再恢复正常的竞争窗口值。从文献[5-8]也可以看出竞争窗口对网络性能的影响。

在BEB退避算法中,分组发送成功时减小竞争窗口,发生碰撞时将竞争窗口加倍,这样CW随重传次数的增加而迅速增大,其目的是减小碰撞的概率,但却会导致发送失败的节点再次接入信道的概率大大降低,而成功发送的节点却有更高的概率接入信道,也就是存在捕获效应,这样在网络负载较大时会导致一些节点竞争不到信道。

为了使高等级节点能够获得较高的信道接入能力,本文改变了其退避策略,将高等级节点的最大竞争窗口设为普通节点的最小竞争窗口,节点初次接入信道所用的竞争窗口初始值为最大竞争窗口值,发生碰撞时竞争窗口按照二进制负指数规律减小,在发送成功时重置为最大的竞争窗口值。设普通等级节点使用的BEB算法的最小竞争窗口为 $CW_{min}$ ,最大竞争窗口为 $CW_{max}$ ,因此对于BEB退避算法可以定义 $W_i = 2^i CW_{min}$ ,其中 $i \in (0, m)$ 称为退避阶段, $m$ 为最大退避阶段,满足 $W_m = 2^m CW_{min} = CW_{max}$ 。那么BNEB退避算法可具体描述为:

$$CW = \begin{cases} CW_{min} & \text{送成功} \\ \max\left(\frac{CW}{2}, \frac{CW_{min}}{2^m}\right) & \text{生碰撞} \end{cases} \quad (1)$$

可以看出,高等级节点使用BNEB退避算法时, $W_i = 2^i CW_{min}$ , $i \in (0, m)$ ,竞争窗口最大值为 $CW_{min}$ ,最小值为 $CW_{min}/2^m$ ,随着退避次数的增加,高等级节点竞争窗口减小,因此称为二进制负指数退避算法。高等级节点的竞争窗口在整个网络中一直保持最小,而且在发生碰撞时会进一步减小,因此平均退避时间很小,信道竞争能力比普通等级节点要强。

## 2 吞吐量分析

本节分析网络的端到端饱和吞吐量,考虑 $n$ 个普通等级发送节点和1个高等级节点组成的Ad hoc网络,所有节点均在相互的传输范围之内。每个节点链路处于饱和状态,即每个节点成功传输一个分组后,需要为下一个分组的传输立即参与信道的竞争。普通等级节点和高等级节点都可根据文献[5]建立Markov模型,设 $\tau_c$ 、 $p_c$ 分别为普通等级节点的发送概率和冲突概率, $\tau_h$ 、 $p_h$ 分别为高等级节点的发送

概率和冲突概率,分析Markov模型的状态方程可以得出:

$$\tau_c = \frac{2(1-2p_c)}{(1-2p_c)(W_0+1) + p_c W_0(1-(2p_c)^m)} \quad (2)$$

$$\tau_h = \frac{2(1-2p_h)}{(1-2p_h)(W_0+1) + p_h W_0(1-(2p_h)^m)} \quad (3)$$

式中  $p_c$  为普通等级节点在一个时隙内发生冲突的概率,即 $n-1$ 个剩余普通等级节点加上高等级节点中至少有一个节点同时也发送分组的概率; $p_h$ 为高等级节点在一个时隙内发生冲突的概率,即 $n$ 个普通等级节点中至少有一个同时也发送分组的概率。因此有以下关系:

$$p_c = 1 - (1 - \tau_c)^{n-1} (1 - \tau_h) \quad (4)$$

$$p_h = 1 - (1 - \tau_c)^n \quad (5)$$

联立式(2)~式(5)构成一个非线性系统,其中 $\tau_c$ 、 $\tau_h$ 、 $p_c$ 和 $p_h$ 为未知变量,可以使用数值方法求解。

设 $P_{tr}$ 为在一个随机选择的时隙内网络中至少有一个节点发送分组的概率,则有:

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau_c)^n (1 - \tau_h) \quad (6)$$

设 $P_s$ 为成功发送一个分组的概率,则有:

$$P_s = \frac{n\tau_c(1-\tau_c)n-1(1-\tau_h) + \tau_h(1-\tau_c)^n}{P_{tr}} = \frac{n\tau_c(1-\tau_c)n-1(1-\tau_h) + \tau_h(1-\tau_c)^n}{1-(1-\tau_c)^n(1-\tau_h)} \quad (7)$$

设 $S$ 为网络归一化的系统吞吐量,则有:

$$S = \frac{P_s P_{tr} E[P]}{(1 - P_{tr})\sigma + P_s P_{tr} T_s + (1 - P_s) P_{tr} T_c} \quad (8)$$

式中  $T_s$ 和 $T_c$ 分别为信道由于一次成功的发送和一次碰撞所导致的忙期; $E[P]$ 为平均分组长度; $\sigma$ 为一个空时隙的时间。对本文来说,有以下关系:

$$\begin{cases} T_s = \text{DIFS} + \text{RTS} + \text{SIFS} + \delta + \text{CTS} + \text{SIFS} + \\ \delta + H + E[P] + \text{SIFS} + \delta + \text{ACK} + \delta \\ T_c = \text{DIFS} + \text{RTS} + \delta \end{cases} \quad (9)$$

式中  $H = \text{PHY}_{hdr} + \text{MAC}_{hdr}$  为分组头部的物理层和链路层封装长度之和; $\delta$ 为信道传输时延。

## 3 仿真结果与分析

通过仿真研究BNEB退避算法的性能,使用的仿真工具为Glomosim 2.03<sup>[6]</sup>。仿真场景大小为300 m×300 m,各节点均在相互的传输范围之内,分别考虑节点数量为5、10、15、20、25和30的情况下网络的性能,其中有一个节点为高等级节点,其他均为普

通等级节点。节点物理层采用DSSS,无线链路速率为2 Mb/s,竞争窗口参数为 $CW_{min}$ 为32, $CW_{max}$ 为1024,使用RTS/CTS握手方式。每个节点均随机选择一个节点发送业务流,业务类型选用CBR业务,分组长度为128 Byte,每个业务流速率为400 b/s,保证网络处于饱和状态,每次仿真时间为300 s。

图1显示了节点数量不同的情况下网络的饱和吞吐量,可以看出,随着节点数量的增加,碰撞次数增加,网络的饱和吞吐量有微弱下降。网络中高等级节点使用BNEB算法或者BEB算法对系统总的饱和吞吐量影响不大。

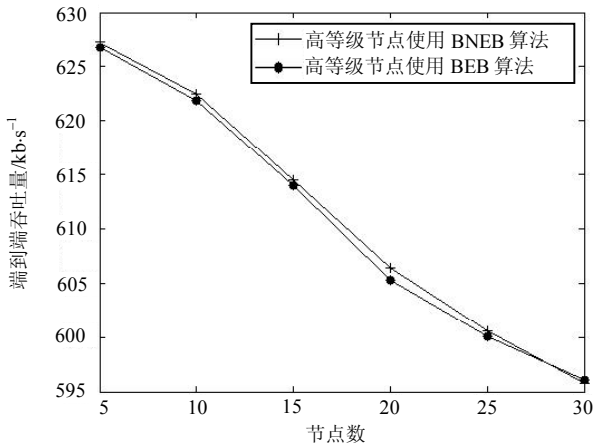


图1 网络总的端到端吞吐量

图2显示了高等级节点与普通等级节点的端到端饱和吞吐量,高等级节点使用BNEB算法时,由于竞争窗口在整个网络中最小,信道竞争力得到提高,吞吐量要比相对于普通节点来说得到提高。在节点数量较大时高等级节点吞吐量提高也较多,因为节点数量较多导致碰撞概率增加,碰撞使得高等级节点的竞争窗口更小而普通等级节点的竞争窗口更大。另一方面高等级节点使用BNEB退避算法时,普通节点的吞吐量要比高等级节点使用BEB算法时的普通节点吞吐量低,因为使用BNEB算法时,高等级节点信道竞争力的提高导致普通节点信道竞争力的相对降低,因此使用BNEB算法时高等级节点吞吐量的增加是以降低普通节点吞吐量的代价来实现的,由于普通等级节点数量较多,因此对普通节点的影响并不大。

图3显示了节点的端到端延迟,高等级节点使用BNEB算法时,端到端的延迟比普通等级节点要小,节点数量越大延迟性能改善越大,这是由于高等级节点的竞争窗口比普通等级节点小,信道竞争力较强,节点数量大的时候碰撞概率增加使得普通节点竞争窗口增大,延迟进一步增加,而高等级节点变

化不大。另一方面普通等级节点的延迟有所增加,但是总的来说影响并不大。

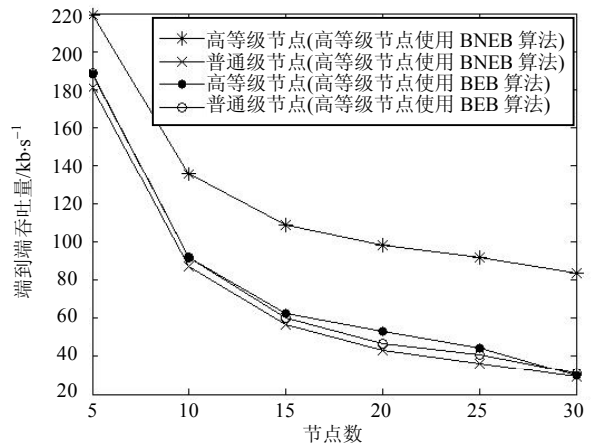


图2 不同节点端到端饱和吞吐量

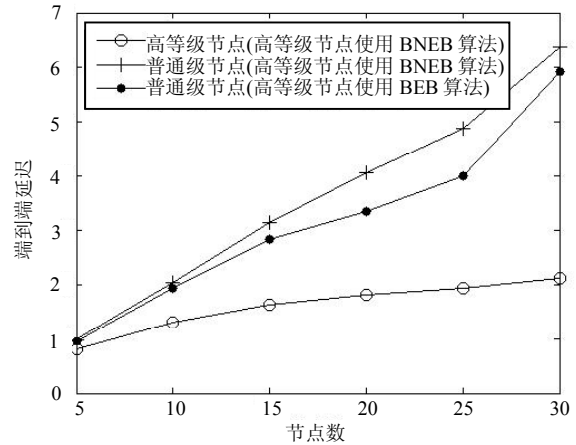


图3 端到端延迟

## 4 结束语

Ad hoc网络在一些情况下需要考虑节点不同的等级,高等级的节点需要比普通等级的节点有更强的接入信道能力。本文提出了一种用于高等级节点的二进制负指数退避算法BNEB,该算法中节点在发生碰撞时竞争窗口随着退避次数的增加呈二进制负指数规律减小,发送成功后将竞争窗口设为最大值,使得竞争窗口在网络中保持最小值,信道竞争能力得到增强。仿真结果表明BNEB算法使得高等级节点较普通节点有更高的节点接入能力,吞吐量和时延都得到较大改善,而且对普通节点影响不大。

## 参 考 文 献

- [1] IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee. Wireless LAN Medium Access Protocol (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, IEEE Std 802.11-1997[S]/New York, NY: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1997.
- [2] GOODMAN J, GREENBERG A G, MADRAS N, et al.

- Stability of binary exponential backoff[J]. Journal of the ACM, 1988, 35(3): 579-602.
- [3] 吴克军, 苏兆龙, 于全. Ad Hoc网络媒体接入控制中一种新的退避算法[J]. 北京邮电大学学报, 2005, 28(5): 30-33.
- WU Ke-jun, SU Zhao-long, YU Quan. A novel backoff algorithm for media access control in Ad Hoc network[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2005, 28(5): 30-33.
- [4] ZHAI H, WANG J, FANG Y. Distributed packet scheduling for multihop flows in Ad Hoc networks[C]// Proceedings of IEEE WCNC'2004. New York, NY: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004: 1081-1086.
- [5] 李云, 陈前斌, 隆克平, 等. 通过自适应调整最小竞争窗口最大化IEEE 802.11 DCF的饱和吞吐量[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(10): 1930-1934.
- LI Yun, CHEN Qian-bin, LONG Ke-ping, et al. Self-adaptively adjusting the minimum contention windows to maximizing the saturated throughput of IEEE 802.11 DCF[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2006, 28(10): 1930-1934.
- [6] SAMER E H, HUSSEIN A. Adaptive contention-window MAC algorithms for QoS-enabled wireless LANs[C]//2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, 2005, 1: 368-374.
- [7] 王辉, 李津生, 洪佩林. 一种IEEE 802.11中慢启动递减的竞争窗口控制算法[J]. 电路与系统学报, 2005, 10(1): 93-97.
- WANG Hui, LI Jin-sheng, HONG Pei-lin. The slow-start decrease scheme for the contention window control in IEEE 802.11 WLANs[J]. Journal of Circuits and Systems, 2005, 10(1): 93-97.
- [8] 徐志江, 李式巨, 官军. IEEE 802.11网络中增强的退避算法[J]. 电子与信息学报, 2004, 26(10): 1930-1934.
- XU Zhi-jiang, LI Shi-ju, GUAN Jun. Enhanced backoff algorithm of IEEE 802.11 network[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2004, 26(10): 1527-1533.
- [9] BIANCHI G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function[J]. IEEE Journal on Selected Area in Communication, 2000, 18(3): 535-574.
- [10] BAJAJ L, TAKAI M, AHUJA R, et al. Simulation of large-scale heterogeneous communication systems[C]//IEEE Military Communications Conference MILCOM'99. New York, NY: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 1999: 1396-1400.

编辑 张俊

(上接第557页)

$3d^n$ 离子的经验值0.31较接近。本文得到的结果和采用的参量是合理的。

(2) 本文得到的 $N_i$ 偏离纯离子键时的1较多, 反映出体系具有明显的共价性, 这是由于 $V^{4+}$ 的高价态所致。由于共价性, 配体轨道以及旋轨耦合作用的贡献将变得重要, 而不考虑上述配体贡献的理论结果与实验相差较大(见表1)。因此对 $TiO_2:V^{4+}$ 等体系应当考虑配体轨道及旋轨耦合作用的影响。

(3) 本文得到的包含配体轨道和旋轨耦合作用贡献的改进的EPR参量微扰公式还可用于其他四角对称中的 $3d^1$ 离子(如 $Ti^{3+}$ 、 $Cr^{5+}$ )。

### 3 结束语

本文在离子簇模型基础上引入了配体轨道和旋轨耦合作用的贡献, 较好地解释了锐钛矿( $TiO_2$ )中填隙 $V^{4+}$ 离子的EPR实验结果, 所得的理论值与实验符合得很好。由于 $V^{4+}$ 的高价态, 体系具有明显的共价性, 而且此时配体轨道以及旋轨耦合作用的贡献不能忽略。

#### 参 考 文 献

- [1] BALLY A R, KOROBENIKOVA E N, SCHMID P E. Structural and electrical properties of Fe-doped  $TiO_2$  thin films[J]. Phys D: Appl Phys, 1998, 31(10): 1149-1154.

- [2] YIN Jian-bo, ZHAO Xiao-peng. Electrorheological effects of cerium-doped  $TiO_2$ [J]. Chinese Phys Lett, 2001, 18(8): 1144-1146.
- [3] JIN Yun-xia, LI Guang-hai, ZHANG Yong, et al. Photoluminescence of anatase  $TiO_2$  thin films achieved by the addition of  $ZnFe_2O_4$ [J]. J Phys: Condens Matter, 2001, 13(44): 913-918.
- [4] GAINON D, LACROIX R. Electron Paramagnetic Resonance of  $Fe^{3+}$  Ion in anatase[J]. Proc Phys Soc, 1962, 79(3): 658-659.
- [5] MERIAUDEAU P, CHE M, JORGENSEN C K. Angular overlap treatment and electron spin resonance of titanium(III) in anatase[J]. Chem Phys Lett, 1970, 5: 131-133.
- [6] GALLAY R, VAN J J, KLINK D, et al. EPR study vanadium(4+) in the anatase and rutile phases of  $TiO_2$ [J]. Phys Rev B, 1986, 34(5): 3060-3068.
- [7] WYCKOFF R W. Crystal structures[M]. New York: Interscience Press, 1951.
- [8] ABRAGAM A, BLEANLEY B. Electron paramagnetic resonance of transition ions[M]. London: Oxford University Press, 1964.
- [9] GAO Xiu-ying, WU Shao-yi, WEI Wang-he, et al. Theoretical study of the spin hamiltonian parameters of vanadium ions  $V^{2+}$  in  $CsMgX_3$  ( $X=Cl, Br, I$ )[J]. Z Naturforsch, 2005, 60a: 145-148.
- [10] NEWMAN D J, NG B. The superposition model of crystal field[J]. Rep Prog Phys, 1989, 52(3): 699.

编辑 黄莘