

IEEE 802.11 无线局域网中基于最优窗口的退避算法

廖盛斌^{1,2} 朱晓亮¹

(华中师范大学国家数字化学习工程研究中心 武汉 430079)¹ (华中科技大学电信系 武汉 430074)²

摘要 首先通过把资源分配看成效用最大化的优化模型,说明在 IEEE 802.11 无线局域网中各个节点争用信道的退避窗口应当一样,然后通过最小化节点间的冲突概率,得出节点个数与最优退避窗口之间的关系,由此提出一种基于最优共享退避窗口的重传算法。由于各个节点的退避窗口一样,算法有效地解决了 BEB(Binary Exponential Backoff)算法的不公平性问题;并且退避窗口根据网络的状况设置,吞吐量也得到了较大的提高。仿真试验验证了算法的有效性。

关键词 效用,资源分配,最优化,退避算法,公平性,无线局域网

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Optimal Window Based Backoff Algorithm for IEEE 802.11 WLANs

LIAO Sheng-bin^{1,2} ZHU Xiao-liang¹

(National Engineering and Research Center for e-learning, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China)¹

(Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)²

Abstract That every node should have the same value of contention window (C_w) was first verified in a WLAN by formulating resource allocation as a utility maximization optimal problem, then the relation between the optimal value of C_w and the number of nodes was obtained by maximizing the total network utility with constraints of minimizing collision probability. A new retransmission algorithm was proposed which uses an optimal shared C_w . Due to the same C_w , the proposed algorithm can effectively overcome the unfairness of BEB algorithm and improve throughput. Simulation results validate our conclusion.

Keywords Utility, Resource allocation, Optimization, Backoff algorithm, Fairness, WLANs

1 引言

随着 IEEE 802.11 无线局域网协议^[1]的标准化和广泛使用,如何提高协议的性能引起了人们广泛的关注。文献[2,3]通过采用隐马尔柯夫过程建模的方法,分析了协议的饱和吞吐量。文献[4,5]分别用基于流的效用函数的优化模型和博弈论的思想研究了协议公平性问题。这些方法一般只是单独考虑了吞吐量或公平性。

IEEE 802.11 媒体访问控制协议中,节点采用 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)机制接入共享的无线信道,由于协议在冲突避免阶段采用的是二进制退避 BEB 算法,因此加剧了其不公平性。文献[6]提出了 p -persistent IEEE 802.11 协议,即让所有节点的争用窗口一样,而通过最优的 p 值来调节节点的争用窗口。文献[7]通过利用信道带宽成功地传输信息的利用率来刻画当前的争用情况,从而自适应地调节节点的争用窗口。文献[8]通过节点估计两次传输之间连续的空闲时隙来决定它们的争用窗口,最终让所有节点的窗口都收敛到同一值,在提供

高吞吐量的同时,保证了节点间接入的公平性。

本文研究了一种能提供高吞吐量和低时延的退避算法。与文献[8]不同的是,我们首先通过一个基于效用最大化的优化模型说明了各个节点的争用窗口应该一样,然后估计网络中的节点数,据此来决定最优窗口,让所有节点的争用窗口都为这一个最优值。由于各个节点的争用窗口一样,因此在提供高吞吐量的同时,能保证算法的公平性。

本文在第 2 节介绍了基于效用最大化的优化模型,说明了各个节点的争用窗口应该设置成一样。在第 3 节介绍了基于最优窗口的退避算法。第 4 节对算法进行了仿真实验,最后是小结。

2 网络效用最大化

假定一个无线局域网由 s 个节点构成,每个节点标示为 s 。这些节点争用一条公共的无线信道,信道的容量为 C 。因为所有节点都与局域网的 AP 通信,所以从 AP 的角度出发,在满足无线信道带宽的要求下,它的目标是最大化收集到的总信息量(即总效用)。于是,提出了如下的最优化模型。

到稿日期:2011-02-20 返修日期:2011-04-23 本文受国家自然科学基金项目(60772088,61072051),武汉市科技攻关计划项目(201110821234),中央高校自主科研项目(120002040246)资助。

廖盛斌(1969-),男,博士,副教授,主要研究方向为无线自组织网络,E-mail:liao shengbin@gmail.com;朱晓亮(1975-),男,博士,副教授,主要研究方向为多媒体网络。

$$\begin{aligned} & \max \sum_s U_s(x_s) \\ & s. t. \sum_s x_s \leq C \\ & x_s \geq 0, \forall s \in S \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $U_s(x_s)$ 表示源节点 s 以速率 x_s 发送数据时获得的效用。根据效用函数的设计规则和属性^[5], 假定它是一个非减的、严格凹的连续可微函数。

采用拉格朗日对偶理论, 问题(1)的拉格朗日对偶函数为

$$\begin{aligned} D(\lambda) &= \max_{x_s \geq 0} \sum_s (U_s(x_s) - \lambda_s(x_s - C)) \\ &= \max_{x_s \geq 0} \sum_s (U_s(x_s) - \lambda_s x_s) + \sum_s \lambda_s C \end{aligned}$$

于是, 问题(1)的对偶问题的目标函数可表示为

$$\min_{\lambda_s \geq 0} D(\lambda) \quad (2)$$

式中, 向量 $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_s)$, 可以将其解释为无线信道的争用价格向量, 它体现了局域网内节点争用信道的程度。

假定节点的发送速率和价格采用归一化的单位。根据对偶理论, 模型(1)在给定价格向量 λ 之后, 有一最优解 $x^*(\lambda) = (x_s^*(\lambda), s \in S)$, 这里 $x_s^*(\lambda)$ 是向量 $x^*(\lambda)$ 的第 s 个分量。因此, 从 AP 的角度看, 归一化的速率和 $\sum_s x_s^*(\lambda)$ 体现了局域网内节点争用信道的程度。这样, AP 将根据 $\sum_s x_s^*(\lambda)$ 的大小来调整价格向量 λ , 使其最终趋于平衡和最优。也就是说, AP 可以把归一化的速率之和 $\sum_s x_s^*(\lambda)$ 看成节点争用信道的概率。根据这样的思路, 在提出的接入方案中, 局域网内所有节点都以概率 $\sum_s x_s^*(\lambda)$ 争用信道。

由于在 IEEE 802.11 的退避算法中, 每个节点管理一个退避窗口 C_w , 每次发送数据之前, 在 $[0, C_w - 1]$ 之间随机选取一个数, 当信道为空闲时, 就将随机选取的数减 1; 当该数减为 0 时, 它就发送数据。这样, 退避窗口 C_w 的大小体现了节点争用信道的情况。根据上面的阐述, 价格向量 λ 也体现了节点争用信道的情况, 它最终导致了节点都以同样的概率 $\sum_s x_s^*(\lambda)$ 争用信道。于是, 局域网内的节点应该具有同样大小的退避窗口 C_w , 因为它们都以同样大小的概率和价格争用信道。

3 算法

根据上面的结论, 首先假定局域网内各个节点以相同大小的退避窗口采用 IEEE 802.11 DCF 接入信道, 得出最优退避窗口值与节点个数的关系, 然后给出本文的算法。

用 p_r 表示一个节点在一个随机选择的时隙里发送数据的概率。 s 个节点争用同一个无线信道时, 只有在一个节点发送而其他节点都不发送的情况下, 发送才能成功。这样, 一个节点发送成功的概率 $p_s = S p_r \cdot (1 - p_r)^{S-1}$ 。类似地, 一个时隙空闲和发生冲突的概率可以分别表示为 $p_i = (1 - p_r)^S$, $p_c = 1 - p_s - p_i$ 。

因为所有的节点以一样的退避窗口 C_w 争用信道, 根据文献[3], 有

$$p_r = 2 / (C_w + 1) \quad (3)$$

用 T 表示归一化的吞吐量, 将其定义为系统成功传输数据的时间比, 即

$$T = \alpha S p_r (1 - p_r)^{S-1} L / (T_s + T_f + T_{idle})$$

式中, L 是数据帧的载荷长度; T_s, T_f, T_{idle} 分别表示在一个平

均的时隙长度内, 成功传输、失败传输和信道空闲所占的时间, 且

$$T_s = \alpha p_s = \alpha S p_r (1 - p_r)^{S-1}$$

$$T_f = \beta p_c = \beta (1 - S p_r (1 - p_r)^{S-1} - (1 - p_r)^S)$$

$$T_{idle} = \delta p_i = \delta (1 - p_r)^S$$

式中, α 和 β 分别表示成功发送和冲突时占用信道的时间, 它们的表达式在文献[3]中可以找到。 δ 表示 IEEE 802.11 标准中空闲时隙的长度。

为了最大化系统的吞吐量, 从 $\partial T / \partial p_r = 0$, 得到相应于最优的系统吞吐量的 p_r 应该满足

$$\delta (1 - p_r)^S - \beta (1 - p_r)^S - S \beta p_r + \beta = 0 \quad (4)$$

于是, 通过联合求解式(3)和式(4), 并根据节点的个数可以求得最优的退避窗口大小 $C_{w_{opt}}$ 。由于 AP 知道局域网内节点的个数, 于是得到如下的退避算法思路。

AP 通过联合求解式(3)和式(4)得到局域网内节点争用信道的最优退避窗口 $C_{w_{opt}}$ 。然后 AP 广播一个控制包给局域网内的各个节点, 要求它们以 $C_{w_{opt}}$ 大小的窗口执行退避算法。据此得到如下退避算法。

每个节点维持两个计数器^[9]。一个称为退避计数器, 是每个节点发送数据之前在 $[0, C_{w_{opt}} - 1]$ 之间随机地选取一个数 W_n ; 另一个称为阶段计数器, 它的初始值为 $C_{w_{opt}}$ 。假定所有的节点从 $t=0$ 时刻开始侦听信道。如果检测到信道在某个时隙是空闲的, 它们就将自己的两个计数器分别减 1; 否则, 两个计数器的值不变。

如果一个节点的退避计数器变为 0, 该节点将向 AP 发送一个 RTS 数据包。如果在该时隙刚好没有其他节点发送数据, 则该节点按照标准的 IEEE 802.11 DCF 方法进行数据传输。

与标准的 IEEE 802.11 DCF 不同的是, 如果两个或多个节点刚好在同一个时隙发生了传输冲突, 冲突的节点并不改变它的退避窗口的大小, 并且也不立即执行一个新的退避, 依然维持为 $C_{w_{opt}}$, 直到它的阶段计数器变为 0。这样就保证了同一阶段内所有 RTS 数据包的传输发生在因冲突而重传的数据包之前, 从而避免了交叉冲突。

在信道使用过程中, 节点的计数器被冻结。采用 IEEE 802.11 标准, 在成功地传输或冲突发生后, 节点分别等待一个 DIFS 帧长或一个 EIFS 帧长的时间再激活两个计数器。这样, 局域网内节点的阶段计数器能同步地减为 0。对于发生了冲突的节点, 只有在它的阶段计数器变为 0 时才执行一个新的退避过程。如此重复上述过程, 直到数据发送成功。

4 仿真

使用 NS2^[10] 仿真平台来比较基于最优窗口的退避算法 (OWBA) 和 IEEE 802.11 标准的二进指数退避算法的性能。在仿真环境中, 假设节点分布在 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 的区域, 节点能够直接与 AP 通信, AP 处于仿真区域的边界 (100, 100)。实验所用的参数见表 1。

图 1 对比了算法的归一化吞吐量的结果。IEEE 802.11 DCF 的吞吐量随着竞争节点数目的增加而显著下降, 而 OWBA 算法根据竞争节点数目确定了节点的最优争用窗口, 而且避免了网络中占主导地位的交叉冲突, 因此同 IEEE 802.11

DCF相比,极大地提高了分组传输成功的概率,从而获得更高的系统吞吐量。

表1 模板图像的性质示例

参数	值
SIFS/ μ s	10
DIFS/ μ s	50
Slot Interval/ μ s	20
DATA 分组长度/ byte	512
Preamble 长度/ bits	144
PLCP 头长度/ bits	48
信道容量/Mbps	2
C_{w_min}	32
C_{w_max}	256

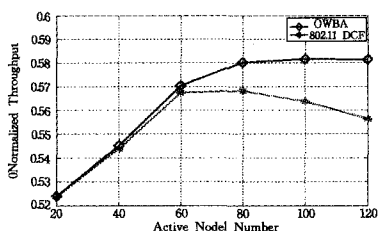


图1 不同节点时的吞吐量比较

分组延迟能够反映算法的调度效率。从图2可以看出,当网络负载较低时,两者的时延比较接近。随着网络负载的增加,OWBA算法比DCF延迟要小很多,并且延迟增加幅度更加平缓。由于DCF协议的冲突解析效率不高,因此节点在冲突中恢复需要耗费更多的时间,增加了延迟。

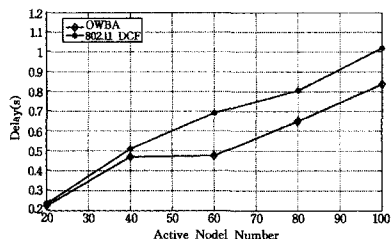


图2 不同节点时的时延比较

结束语 本文针对无线局域网的场景,提出了一个新的MAC层接入退避算法。与传统的协议和算法设计思路不同的是,本文所提算法首先把无线信道接入抽象为一个网络效用最大化问题,并在此基础上得出了局域网内节点争用信道的窗口应该一样的结论。然后,基于此给出了一个窗口最优

的退避算法。实验结果表明,本文提出的OWBA算法在吞吐量和分组延迟方面具有良好的性能。

参考文献

- [1] IEEE, Wireless LAN media access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications[S]. IEEE standard 802. 11, June 1999
- [2] Giuseppe B. IEEE 802. 11 saturation throughput analysis[J]. IEEE Communications Letters, 1998, 2(12): 318-320
- [3] Giuseppe B. Performance Analysis of the IEEE 802. 11 Distributed Coordination Function[J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547
- [4] Thyagarajan N, Kim T, Xia G, et al. Achieving MAC Layer Fairness in Wireless Packet Networks[C]// the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM 2000). 2000: 87-98
- [5] Fang Z, Brahim B. Fair Bandwidth Sharing Algorithms Based on Game Theory Frameworks for Wireless Ad-hoc networks[C] // Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2004). 2004, 2: 1284-1295
- [6] Federico C, Marco C, Enrico G. Dynamic Tuning of the IEEE 802. 11 Protocol to Achieve a Theoretical Throughput Limit [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(6): 785-799
- [7] Federico C, Marco C, Enrico G. IEEE 802. 11 Protocol: Design and Performance Evaluation of an Adaptive Backoff Mechanism [J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 2000, 18(9): 1774-1786
- [8] Martin H, Franck R, Romaric G, et al. Idel Sense: An Optiaml Access Method for High Throughput and Fairness in Rate Diverse Wireless LANs[J]. Proceedings of the 2005 Conference Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications (SIGCOMM) 2005, 35(4): 1261-1273
- [9] Tian Q, Coyle E. A mac layer retransmission algorithm designed for the physical-layer characteristics of clustered sensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5(11): 732-745
- [10] Varadhan K, Fall K. The ns manual[M]. UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, 2002

(上接第76页)

- [6] Mhatre V, Rosenberg C. Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation [J]. Ad Hoc Networks, 2004, 2(1): 45-63
- [7] 孙国栋, 廖明宏. 能量均衡的无线传感器网络短路径路由算法 [J]. 自动化学报, 2008, 34(12): 1540-1543
- [8] Kar K, Kodialam M, Lakshman T V, et al. Routing for network capacity maximization in energy-constrained ad-hoc networks [C]// Proceedings of the 22th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. San Francisco: IEEE, 2003: 1-9
- [9] Yin L, Wang C, Qien G E. An energy-efficient routing protocol

- for event-driven dense wireless sensor networks[J]. International Journal of Wireless Information Networks, 2009, 16(3): 154-164
- [10] Rogers A, David E, Jennings N R. Self-organized routing for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2005, 35(3): 349-359
- [11] Heinzelman W R. Application-specific Protocol Architectures for Wireless Networks[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2000
- [12] Han K H, Ko Y B, Kim J H. A novel gradient approach for efficient data dissemination in wireless sensor networks[C]// Proceedings of IEEE 60th Vehicular Technology Conference. IEEE, 2004: 2979-2983