

WLAN 中吞吐量异构下最小竞争窗口自适应算法

李 玄^{1,2,3} 宋冠男^{2,3} 王新宇³ 张之江¹

(1. 上海大学通信与信息工程学院 上海 200072; 2. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所 上海 200050; 3. 上海无线通信研究中心 上海 201210)

摘要: 随着移动设备的增多,基于 802.11 协议的 WLAN 系统已经被越来越广泛地使用。由于 802.11 协议是基于吞吐量相等的设计模式,在这种模式下所有的用户(包括 AP)的吞吐量都相等。但是在实际的 WLAN 系统中,下行吞吐量往往大于上行吞吐量,因此 WLAN 设计模式在现实应用中会阻塞下行数据包的传输,上下行吞吐量异构已经是需要解决的一个重要问题。文中提出了一种自适应调节 AP 和 STA 的最小退避窗口的算法,解决了上下行流量异构问题。

关键词: WLAN; 流量异构; 吞吐量; 自适应

中图分类号: TP751 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Adaptive minimum contention window size algorithm under asymmetric traffic circumstances in WLAN

Li Xuan^{1,2,3} Song Guannan^{2,3} Wang Xinyu³ Zhang Zhijiang¹

(1. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China;

3. Shanghai Research Center for Wireless Communication, Shanghai 201210, China)

Abstract: With the number of mobile devices increasing rapidly, wireless local area networks (WLANs) based on 802.11 standard, are becoming more and more popular. All the stations (STA) including access point (AP) have the same traffic load because the 802.11 standard adopts equal throughput design model. But in real life, downlink traffic is almost always larger than uplink traffic. The design model of WLANs will limit downlink packets transmitting, so the asymmetric traffic loads between uplink and downlink is an important problem to solve. This paper gives a solution to solve this problem by adaptively adjusting minimum contention window (CW_{min}) of AP and STA based on the number of active stations (STAs).

Keywords: WLAN; asymmetric traffic; throughput; adaptive

1 引言

随着社会的发展,移动设备数量迅猛增长,网络数据量也随之快速增长。由于 WLAN 具有易部署、低费用、移动性强、速率快等优点,WLAN 已经被越来越多地在通信中得到使用。除在通信领域外,WLAN 也逐渐在构图及定位^[1-3]、智能家居^[4]中得到广泛应用。

WLAN 是基于 802.11 协议来实现,主要是由 1 个接入节点(AP)以及与其相连接的终端(STA)所组成。802.11 协议采用的是基于吞吐量相等的 CSMA 信道接入机制,在这种接入机制下,所有的用户(包括 AP)的吞吐量都是相等的。文献[5]中分析了居民宽带互联网的流量特

性。文献[6]分析了在大会议场景下互联网的流量特性。文献[7]和文献[8]分析了 2004 年和 2008 年 SIGCOMM 会议网络流量使用情况。以上研究结果均表明,下行流量几乎总是大于上行流量。因此,采用 CSMA 信道接入机制的 WLAN 系统会造成上下行流量异构性问题。

当前已经有很多解决上下行流量异构性问题的研究。文献[9-11]都是通过自适应调节 AP 的最小竞争窗口来调节下行吞吐量,从而解决上下行吞吐量异构性的问题。文献[12][13]是当 AP 接入到信道后采用将多个数据包聚合或者每次发送多个数据包的方式增加下行的吞吐量。文献[14]是让 AP 采用 PIFS 接入信道方式,可以让 AP 避免碰撞,增加了下行的吞吐量,但是并没有减少 STA 的碰撞,

特别是当 STA 数量较多时将会明显降低整个网络的吞吐量。文献[15]分析了下行信道接入优先级的几种算法,但仍然是通过自适应改变 AP 的最小竞争窗口来解决上下行吞吐量异构性的问题。这些方法都仅仅是从 AP 的角度解决上下行吞吐量的不公平性,改变上下行流量的比例,但是不能保证在解决上下行流量异构性问题的同时使得整个网络吞吐量达到最大。下文中,我们提出了一种 AP 和 STA 同时自适应改变最小竞争窗口的算法,不仅可以解决上下行流量的异构性问题,而且还使得整个网络的吞吐量得到了优化。

本文的文档结构如下:第 2 节中主要介绍了不同 STA 数量下最小竞争窗口对整个网络吞吐量的影响。第 3 节中提出了上下行自适应最小窗口算法。第 4 节对相关算法进行仿真验证。第 5 节结论。

2 最小窗口对整个网络吞吐量影响

本节主要分析不同 STA 数量情况下最小竞争窗口对整个网络最大吞吐量的影响。图 1 为发送速率为 2 MB/s 时不同 STA 数量下最小竞争窗口与整个网络吞吐量之间的关系。

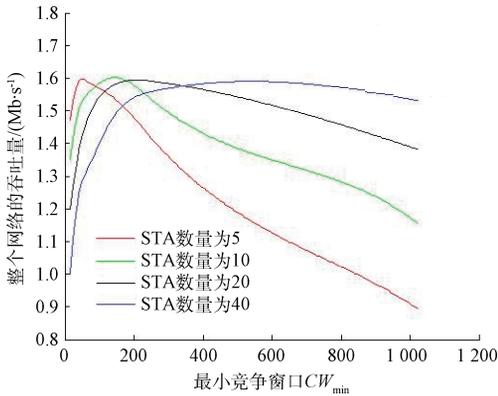


图 1 不同 STA 数量下最小竞争窗口与整个网络吞吐量

由图 1 可以看出,当 STA 数量不同时,整个网络吞吐量最大时最小竞争窗口是不同的。在解决上下行吞吐量异构性时,如果仅仅改变 AP 的最小竞争窗口而不改变 STA 的最小竞争窗口,当网络中的 STA 数量发生变化时不会使整个网络的吞吐量最大化。第 3 节提出了 AP 和 STA 自适应调整最小竞争窗口算法,从而在解决上下行吞吐量异构性问题的同时使整个网络的吞吐量获得最大化。

3 自适应最小窗口算法

第 3 节给出了上下行最小竞争窗口自适应算法。假设系统中有 n 个 STA(包括 AP),所有 STA 均处于饱和状态,下行吞吐量是上行吞吐量的 α 倍。

当有 n 个 STA(包括 AP)在饱和状态下进行传输时,

通过文献[15]的分析可以得到每个 STA 在每个时隙中的接入概率为:

$$p = \frac{2}{\omega_{\min} + 1} \quad (1)$$

式中: p 为 STA 接入概率, ω_{\min} 为最小竞争窗口。

根据式(1)得,AP 和每个 STA 在每个时隙中接入信道的概率为:

$$p_{AP} = \frac{2}{\omega_{AP\min} + 1} \quad (2)$$

$$p_{STA} = \frac{2}{\omega_{STA\min} + 1} \quad (3)$$

式中: $\omega_{STA\min}$ 为 AP 的最小竞争窗口, $\omega_{STA\min}$ 为 STA 的最小竞争窗口。

那么,在每个时隙中信道忙碌的概率为:

$$p_t = 1 - (1 - p_{AP\min})(1 - p_{STA\min})^{n-1} \quad (4)$$

在每个时隙中成功传输的概率为:

$$p_{ts} = p_{ds} + p_{us} \quad (5)$$

式中: p_{ds} 为下行传输成功的概率, p_{us} 为上行传输成功的概率。

$$p_{ds} = \frac{p_{AP\min}(1 - p_{STA\min})^{n-1}}{p_t} \quad (6)$$

$$p_{us} = \frac{(n-1)p_{STA\min}(1 - p_{STA\min})^{n-2}(1 - p_{AP\min})}{p_t} \quad (7)$$

整个网络的吞吐量为:

$$S = p_{ts} \frac{T}{T + T_{idle}} \quad (8)$$

式中: T 为每一次发送的时间(以时隙为单位), $T_{idle} = \frac{1}{p_t}$

1 为空闲的时间(以时隙为单位),

$$\frac{dS}{d\omega_{\min}} = \frac{dS}{dp} \cdot \frac{dp}{d\omega_{\min}} \quad (9)$$

假设下行吞吐量是上行吞吐量的 α 倍,即 $p_{ds} = \alpha p_{us}$ 。

根据式(2)(3)(6)(7),可得:

$$p_{AP\min} = \frac{\alpha(n-1)p_{STA\min}}{1 + (\alpha n - \alpha - 1)p_{STA\min}} \quad (10)$$

当 $\omega_{\min} \gg n > 1$ 时, $p_{STA\min} \ll 1$,

$$p_{AP\min} \approx \alpha(n-1)p_{STA\min} \quad (11)$$

当 $dS/dp_{STA} = 0$ 时,根据(9)~(11)得:

$$T(1 - np_{STA\min}) = (T-1)(1 - p_{STA\min})^n \quad (12)$$

令 $(1 - p_{STA\min})^n \approx 1 - np_{STA\min} + \frac{n(n-1)}{2}p_{STA\min}^2$, 得:

$$n(n-1)(T-1)p_{STA\min}^2 + 2np_{STA\min} - 2 = 0 \quad (13)$$

$$p_{STA\min} = \frac{-n + \sqrt{n^2 + 2n(n-1)(T-1)}}{n(n-1)(T-1)} \quad (14)$$

因为 $T \gg 1$, 则

$$-n + \sqrt{n^2 + 2n(n-1)(T-1)} \approx \sqrt{2n(n-1)(T-1)}$$

$$p_{STA\min} = \sqrt{\frac{2}{n(n-1)(T-1)}} \quad (15)$$

因为 $\omega_{STA\min} \gg 1$,

$$\omega_{STA_{min}} \approx \sqrt{2n(n-1)(T-1)} \quad (16)$$

$$\omega_{AP_{min}} \approx \frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{2n(T-1)}{n-1}} \quad (17)$$

n 为当前活跃的用户(包括 AP)的数量。但是系统中 STA 数量是有可能发生变化的,即系统中可能存在 STA 的加入或退出。在每个用户的 MAC 层设置了 2 个变量, $m_address$ 和 m_count 。在最近 1 个时间 T_{count} 内如果收到 1 个新的 mac 地址,则地址添加到 $m_address$ 中,且 m_count 加 1,当在 T_{count} 内没有收到相关 MAC 地址的数据帧,则将此 MAC 地址从 $m_address$ 中删除,并且 m_count 减 1,则 $n=m_count+1$ 。

4 算法仿真实验

为了验证本算法,做如下相关仿真。第 1 种是 AP 最小窗口自适应算法:当上行吞吐量大于下行吞吐量时,减小 AP 最小竞争窗口,增加下行吞吐量;当下行吞吐量大于上行吞吐量时,增大 AP 最小竞争窗口,减少下行吞吐量,步长都为 1。第 2 种方案是 AP 数据帧聚合自适应算法:根据网络中活跃的 STA 的数量自适应调整下行数据包聚合数量。第 3 种是本文提出的上下行最小窗口自适应算法,令 $\alpha=1$ 。在仿真中,假设信道均为理想信道。仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数

参数	指标	参数	指标
DIFS	34 μ s	RTS packet size	20 bytes
SIFS	16 μ s	CTS packet size	14 bytes
Slot length	9 μ s	ACK packet size	14 bytes
MSDU	1 500 bytes	CWmin	31
MAC header size	36 bytes	CWmax	1023
FCS	4 bytes	Bit rate	2Mb/s
Retry Times	5		

图 2、图 3、图 5 分别对应不同算法网络下行吞吐量、网络上行吞吐量、整个网络的吞吐量之间的对比,图 4 为不同算法下整个网络的丢包率。

通过以上仿真,从图 2、图 3 可以看出,这 3 种方法上下行吞吐量比例都接近于 1,都可以解决上下行吞吐量异构性问题。但是本文提出的算法在上行和下行吞吐量上都比其他两种算法有更好的表现。从图 4 可以看出,本文提出的算法在网络中变化时丢包率一直接近于 0,而其他两种算法随着 STA 数量增加丢包率快速增加。从图 5 可以看出,AP 数据帧聚合自适应算法虽然可以在 AP 接入信道后将多个数据帧聚合为一个较长的数据帧进行传输,减少了每次传输单个数据帧时带来的开销,在 STA 数量比较少时可以获得性能的提升,但是当 STA 数量比较大时,STA 碰

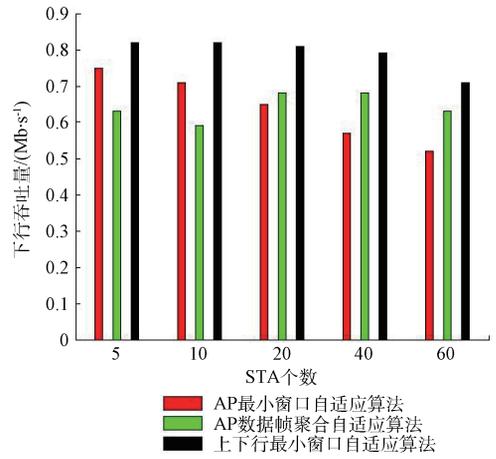


图 2 网络下行吞吐量

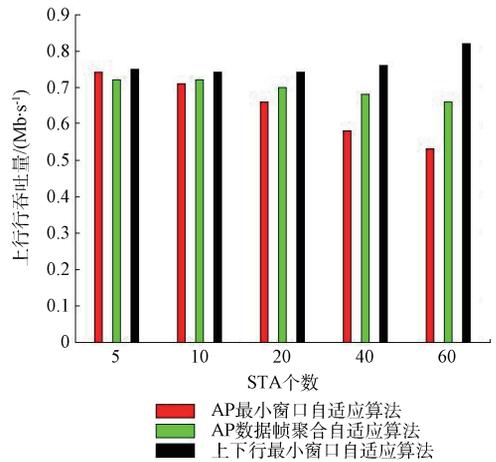


图 3 网络上行吞吐量

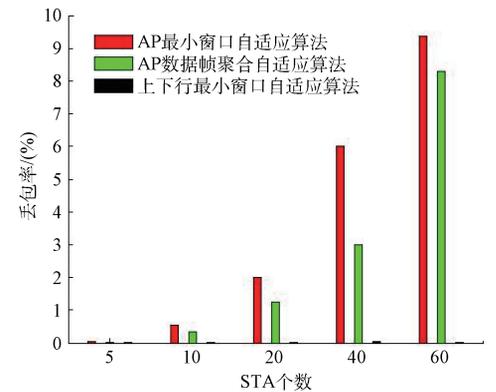


图 4 整个网络的丢包率

撞增加从而使网络吞吐量降低,AP 最小窗口自适应算法,虽然通过自适应调整 AP 的最小窗口可以不断调整上下行吞吐量的比例,解决上下行吞吐量异构性的问题,但是当 STA 不断增加时,碰撞不断增加,整个网络的吞吐量不断下降。所提出的上下行最小窗口自适应算法,可以根据整

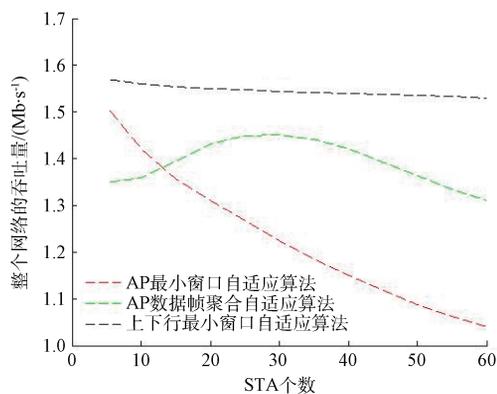


图 5 整个网络的吞吐量

个网络的活跃的 STA 数量自适应调整 AP 和 STA 的最小竞争窗口,减少不同 STA 接入信道时碰撞的概率,从而使整个网络的吞吐量维持在比较高的水平。从图 5 中可以看出相比其他两种方案本文提出的算法大约 15% 的性能提升,特别是在 STA 用户特别多的情况下性能提升更加明显。

5 结 论

通过仿真结果可以看出,所提出的算法通过自适应调整 AP 和 STA 的最小窗口,通过减少接入信道时碰撞的概率,降低丢包率,使整个网络的获得比较高的吞吐量,整体吞吐量比前面两种方案有大约 15% 的提高,特别是当用户数量比较多时吞吐量提高更加明显。该算法对密集用户场景中系统性能的提升有非常重要的意义。

参考文献

- [1] 涂岩恺,陈典全. 多模自适应 WiFi 无线图构建与定位[J]. 电子测量技术, 2013, 36(9): 112-114.
- [2] 郑学伟. 基于权值参数的 WiFi 定位算法研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(3): 35-37.
- [3] 张勇,黄杰,徐科宇. 基于 PCA-LSSVR 算法的 WLAN 室内定位方法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(2): 408-414.
- [4] 张国静,张俊玲. 智能电网中的 WiFi 无线智能家居系统[J]. 电子测量技术, 2013, 36(11): 128-129.
- [5] MAIER G, FELDMANN A, PAXSON V, et al. Dominant characteristics of residential broadband internet traffic [C]. Internet Measurement Conference, ACM, 2009: 90-102.
- [6] RAGHAVENDRA R, BELDING E, PAPAGIANNAKI K, et al. Unwanted link layer traffic in large IEEE 802.11 wireless networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(9): 1212-1225.
- [7] NGUYEN H, SCALOSUB G, ZHENG R. Quality of monitoring for multi-channel wireless infrastructure

networks[J]. IEEE, 2014, 13(3): 664-677.

- [8] KASHYAP A, PAUL U, DAS S R. Deconstructing interference relations in WiFi networks[C]. SECON, IEEE, 2010: 1-9.
- [9] SEYEDZADEGAN M, OTHMAN M. Class-based weighted window for TCP Fairness in WLANs [J]. International Conference on Future Networks, 2009, 13(4): 196-202.
- [10] KASHIBUCHI K, JAMALIPOUR A, KATO N. Channel occupancy time based TCP rate control for improving fairness in IEEE 802.11 DCF[J]. IEEE, 2010, 59(6): 2974-2985.
- [11] GAO Y Y, DAI L. Optimal downlink/uplink throughput allocation for IEEE 802.11 DCF networks[J]. Wireless Communications Letters, IEEE, 2013, 2(6): 627-630.
- [12] WEI W, CHEN Y J. Distributed computing systems (ICDCS)[C]. 2015 IEEE 35th International Conference, 2015: 768-769.
- [13] SAAD W, DAWY Z, SHARAFEDDINE S. A utility-based algorithm for joint uplink/downlink scheduling in wireless cellular networks[J]. Journal of Network & Computer Applications, 2012, 35(1): 348-356.
- [14] KIM S, KIM B, LEE I. MAC protocol for reliable multicast over multi-hop wireless ad hoc networks[J]. Journal of Communications & Networks, 2012, 14(14): 63-74.
- [15] GUPTA A, MIN J, RHEE I. WiFox: scaling WiFi performance for large audience environments [C]. Proceedings of ACM CoNEXT, 2012: 317-328.
- [16] WANG M, SHEN Q H, ZHANG R, et al. Vehicle-density-based adaptive MAC for high throughput in drive-thru networks. IEEE [J]. Internet of Things Journal IEEE, 2014, 1(6): 533-543.

作者简介

李玄, 硕士研究生, 主要研究方向为 MAC 层退避算法、负载均衡等。

E-mail: lixuan0122@126.com

宋冠男, 博士研究生, 主要研究方向为 MAC 层退避算法、异构网络能效研究等。

E-mail: songgn@163.com

王新宇, 博士, 工程师, 主要研究方向为 3G、4G 及 WiFi 等无线通信系统的算法研究。

Email: xinyu.wang@wico.sh

张之江, 教授, 主要研究方向为计算机视觉、数字全息等。

E-mail: zjzhang@shu.edu.cn