

IEEE 802.11 宽带无线局域网负载均衡优化研究^{*}

刘宴兵^{1,2}, 杨茜惠², 孙世新¹

(1. 电子科技大学 计算机学院, 成都 610054; 2. 重庆邮电大学 计算机科学与技术学院, 重庆 400065)

摘 要: 在基于 IEEE 802.11 的宽带无线局域网中, 随着终端 STA 的接入、移动和无线信道的时变性, 各个接入点(AP) 的负载将会产生差异, 需要负载均衡优化机制平衡各个 AP 的差异, 以达到网络资源的最大利用率。详细讨论了无线局域网中用到的几种负载均衡机制, 分析了各自的优缺点, 结合这些特点给出一种新的负载均衡机制。该机制能较准确地统计终端业务信息, 降低切换失败风险, 快速达到 APs 之间的负载均衡, 优化提高网络整体性能。

关键词: IEEE802.11; 无线局域网; 负载均衡

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2008) 07-2135-03

Study on load balancing of IEEE 802.11 bandwidth WLANs

LIU Yan-bing^{1,2}, YANG Qian-hui², SUN Shi-xin¹

(1. College of Computer Science, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 610054, China; 2. College of Computer Science & Technology, Chongqing University of Post & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: In the wireless local area networks based on the IEEE 802.11, each AP's load is different because of the accesses and movements of Stations (STAs) and the time varying of wireless channels. Load balancing is required to balance the diversity of access points (APs) to maximize utilization of network resource. This paper provided a comprehensive study of different load balancing mechanisms, then gave a novel load balancing mechanism. This mechanism can exactly collect statistical traffic information of stations, reduce risk of handoff failure, achieve load balance of APs rapidly, and improve performance of the whole network.

Key words: IEEE 802.11; wireless LANs; load balancing

0 引言

基于 IEEE 802.11 的宽带无线局域网由于其低成本和快速接入 IP 网络等优点, 得到了快速的发展和广泛的应用。目前在机场、会展中心、咖啡厅和酒店等热点地区利用无线局域网网络进行覆盖, 为用户提供高宽带的无线接入。无线局域网有两种工作模式, 即独立基本服务集和基础结构服务集^[1]。在基础结构网络中, 由于 AP 的发射功率小, 覆盖范围有限, 在一个扩展服务集中需要多个 AP 以扩大通信范围。当终端上电或者漫游出当前 AP 小区时, 终端通常是选择收到信号强度(RSSI) 最大的 AP 建立连接, 这将导致某些 APs 超载, 而其他的 APs 不能得到很好的利用, 这样将增加网络的拥塞, 造成网络资源的浪费, 使网络的整体性能下降。通过研究发现, 无线局域网的负载均衡机制可以归纳为 STA 主控负载均衡机制^[2,3]、AP 主控负载均衡机制^[4~8]和小区呼吸负载均衡机制^[9]三类。

无线接入网的服务质量(QoS) 的研究还处于开始阶段, 标准尚未提出可行、可靠的解决方案; 另一个研究课题是移动性对无线接入网的服务质量的影响也是当前的研究热点。本文以结构服务集为基础, 对传统的基于 RSSI 的连接方法进行改进和优化: 在终端接入的过程中, 同时考虑 RSSI 和 AP 当前的实际负载。仿真实验结果证明, 该方法能使网络的整体性能得

到提高, 这对无线局域网进一步提高 QoS 具有重要参考作用。

1 现有负载均衡机制

1.1 STA 主控负载均衡机制

在 IEEE 802.11 标准中, 终端 STA 是控制连接和漫游过程的实体。在一个扩展服务集 ESS 中, AP 的覆盖区域通常是相互重叠的, 在重叠区域的移动终端可以与任一能够提供足够信号强度的 AP 连接。现有连接技术迫使终端与信号强度最大的 AP 进行连接, 这种方法容易造成信号强的 AP 拥塞, 而另一些 APs 空闲, 导致网络资源利用率低下。仅仅靠接收到的信号强度作为接入或切换的条件是片面的。一种可取的方法是平衡接收到的信号强度和 AP 的利用率, 终端一方面要选择能够保证自己正常数据传输的 AP; 另一方面通过选择具有较低负载的 AP 以避免单个 AP 的饱和。一些厂家生产的 AP^[10~12]在它们的信标帧中通知 AP 的利用率。目前有大量研究集中在改进接入和切换的条件。

Papanikos 等人^[13]提出, 当终端发送探求请求后, APs 在它们的探求响应帧中提供所连接的终端数量、所连接终端的平均 RSSI 和从请求终端收到的 RSSI, 终端利用这些信息为所有可达的 APs 计算一个权值, 然后与具有最低权值的 AP 连接。Ekici 等人^[12]提出了一种预连接算法, 每个终端对 AP 贡献的

收稿日期: 2007-05-31; 修回日期: 2007-10-11 基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC, 2005BB2060)

作者简介: 刘宴兵(1971-), 男, 四川遂宁人, 博士研究生, 主要研究方向为宽带无线网络(liuyb@cqupt.edu.cn); 孙世新(1940-), 男, 教授, 主要研究方向为组合优化。

负载与该终端的连接速度成反比,与能够提供最高有效数据速率的 AP 进行连接。

1.2 AP 主控负载均衡机制

AP 主控负载均衡机制的核心思想是: AP 处于网络侧, AP 之间通过分布式系统连接,相互之间可以在不影响 STA 业务的情况下相互传递负载均衡相关的信息。一个新的终端发送连接请求时,网络端考虑邻近 AP 小区的负载和终端的需求,决定将新的终端连接到合适的 AP。例如当 AP 出现拥塞时,将拒绝新的终端接入;当某个 AP 出现超载时, AP 决定将一个或多个活动终端切换到另一个 AP 小区以降低网络拥塞。

文献[4~8]均采用 AP 主控负载均衡机制,使得 AP 之间的负载达到平衡。文献[4~6]利用中心服务控制器提供负载均衡服务,中心服务控制器搜集每个 AP 的负载状态,能够较准确地决定终端与哪个 AP 相连。在文献[4]中,中心服务控制器除了提供最优 AP 连接外,如果邻近 APs 不能满足 STA 的要求,中心服务控制器还建议终端切换到更远的 AP。文献[4]中,Bejerano 等人提出不考虑终端的地理位置,网络端对终端进行公平带宽分配,最大化每个终端的公平性。在文献[6]中,考虑了不同业务产生的负载,不仅能够有效控制 STA 的接入,平衡各个 AP 之间的负载,而且提供了 QoS 保证。这些机制最大化整个网络利用率,但是容易造成瓶颈。

1.3 小区呼吸负载均衡机制

小区呼吸技术开始是用在蜂窝网络中,即指小区的覆盖范围随着网络用户数增加、网络负载增大而减小。在文献[8]中,O. Brickley 等人采用小区呼吸技术平衡 APs 间的负载,以此来提高网络的整体服务质量。AP 通过改变它的发射功率,重新配置它的覆盖范围,降低发射功率将减小该 AP 的覆盖范围,使得终端数减少,从而降低无线媒体上的碰撞率;反之,当增加 AP 的发射功率时,将有效扩大该 AP 的覆盖范围。

在图 1 中, AP1 只有 STA1 与之相连,其余终端都与 AP2 相连。如果所有终端都有相同的数据传输,那么 AP2 的负载将比 AP1 的负载高,于是 AP2 通过降低发射功率与离自己最远的 STA3 断开连接, STA3 将与 AP1 相连,此时网络负载达到平衡。但是此时有可能出现这样的情况,比如终端 1、2、3、4 提供的业务量分别是 6 Mbps、2 Mbps、5 Mbps、1 Mbps,在没有执行小区呼吸技术之前, AP1 为 6 Mbps、AP2 为 8 Mbps,执行小区呼吸技术后, AP1 为 11 Mbps, AP2 为 3 Mbps, AP1 和 AP2 的负载差异更大。所以,在执行小区呼吸技术的过程中, AP 与最远的终端断开连接不一定是最优的选择, AP 需要搜集终端的业务信息,统计终端业务等级,测量出真实负载。

2 负载分配算法设计与实现

2.1 基本思想

IEEE 802.11 工作在 2.4 GHz 频段上,使用 14 个可用信道的前面 11 个信道,信道 1、6 和 11 是不相互重叠,彼此之间不存在干扰。在该算法中,假设 AP 之间的覆盖区域相互重叠,相邻 AP 工作在互不干扰的信道上。在 IEEE 802.11 无线局域网中,终端通过主动扫描或被动扫描方式得到 AP 的信息。在被动扫描模式下,终端通过在每个 AP 的可用信道上侦听信标帧得到 AP 的相关信息。在主动扫描模式下,终端在特定信道上发送探测请求帧,通过收到 AP 的探测响应帧而获知 AP 的

信息,如时间戳、信标帧间隔等信息。因此可以通过扩展信标帧或探测响应帧的信息字段增加 AP 的负载信息,以达到 AP 的最优选择。在本文的优化算法中,采取主动扫描得到 AP 的相关信息。终端主动扫描与 AP 建立连接的过程如图 2 所示。为了使终端与 AP 之间更好地交互信息,需要扩展标准协议中的探测请求帧和探测响应帧结构,在探测请求帧结构中增加终端发送需要占用的带宽,探测响应帧结构中增加 AP 统计到的负载信息。终端收到探测响应帧后,得到可利用 AP 的 RSSI 和负载信息。

文献[14]提出的 ISL 函数能很好地描述 RSSI 与负载之间的关系,借助式(1)函数定义一个权值函数 W_i :

$$W_i(RSSI_i, L_i) = RSSI_{AP_i}(t) \times \exp(-L_i/\bar{L})$$

$$SNR > S_0, L_i < L_0$$

(1)

其中: $1 \leq i \leq n$, n 表示向终端响应探测响应帧的 AP 个数; L_i 表示第 i 个 AP 的负载; \bar{L} 是终端探测到可用 AP 的平均负载; S_0 是 RSSI 的最低门限值; L_0 是 AP 能够承受的最高负载。终端提取探测响应帧的负载信息,求出最大权值,终端向最大 W_i 的 AP 发送连接请求建立连接。

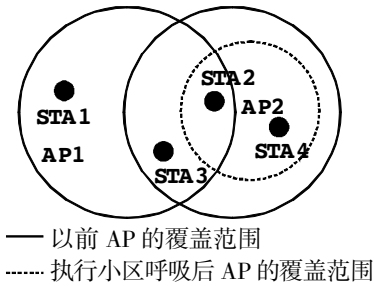


图 1 小区呼吸负载均衡

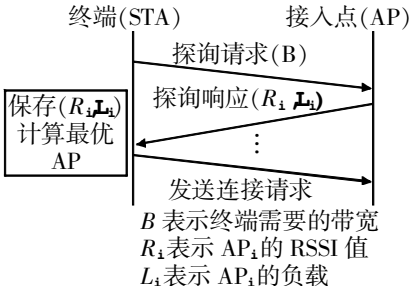


图 2 终端的连接过程

2.2 算法描述

通过以上分析研究,本文考虑在终端接入的过程中,同时考虑 AP 的 RSSI 和负载,整个负载均衡的算法过程中需要终端和 AP 的共同参与。设计的算法描述如下:

- a) 终端(STA)
- (a) 终端在信道上发送探测请求帧,包括自己发送将占用的带宽,启动定时器,开始计时。
- (b) 终端若在规定的时间内收到探测响应帧,转(c);否则转(a)。
- (c) 终端从探测响应帧中提取负载信息,比较相关信息是否与自己的相符,保存 R_i 和 L_i 。
- (d) 终端扫描完所有信道后,计算权值 W_i ,保存 W_i 值,向权值 W_i 值最大的 AP 发送连接请求。
- b) AP 端
- (a) AP 收到探测请求帧后,统计当前自身的负载信息,包括新终端加入后的负载。
- (b) 如果 AP 的负载没有超过最大门限值,则构造探测响应帧,向终端发回;否则转(c)。
- (c) AP 不向终端发送探测响应帧。

3 仿真实验及分析

下面利用仿真工具对提出的算法进行验证。仿真场景:覆盖面积是 $1\,000 \times 1\,000\text{ m}^2$,实验中共有 3 个 AP, AP 带宽是 2 Mbps,各个 AP 之间相互重叠,分别工作在信道 1、6 和 11,以降低相互之间的干扰,采用 DCF 信道访问方式。在实验开始时, AP1 有 4 个节点, AP2 有 5 个节点, AP3 有 3 个节点,随着实验

的进行,将有终端进入网络,在重叠区域的终端根据收到的信号强度和负载信息连接到相应的 AP。在实验中,本文设所有 STA 的负载均为 200 kbps。根据 802.11 标准,由于 AP1 具有最强的信号强度,在重叠区域新加入的终端不考虑负载都将与 AP1 进行连接,终端的接入造成 AP1 的负载量超过它所能承受的最大值,AP1 的吞吐率随着负载的增加而降低,造成数据包的丢失,影响系统的整体性能。图 3 表示新终端接入前和接入后 AP1 吞吐量的变化情况。

图 4 表示新终端接入前系统的吞吐量、新终端在接入的过程中只考虑信号强度以及同时考虑信号强度和负载时的吞吐量变化情况。从图中可以看出,终端只考虑信号强度时,新终端均与 AP1 连接,使得 AP1 超载,终端碰撞加剧,造成系统的整体性能下降。但是终端在接入的过程中同时考虑信号强度和负载时,新终端的接入使得系统的吞吐率得到提高。

图 5 表示系统延迟。在重叠区域的终端通过主动扫描得到所有可利用 AP 的信息,通过计算结果,新终端将与权值最大的 AP3 进行连接,减小了碰撞率,降低了系统延迟,提高了网络的整体性能。

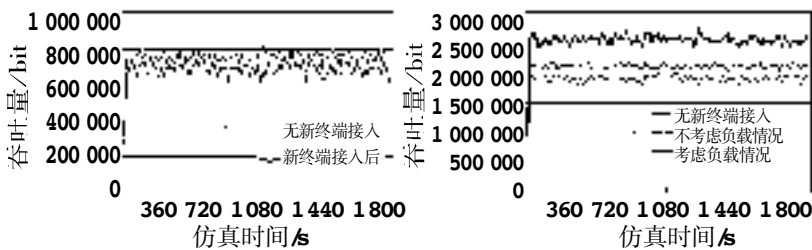


图 3 新终端接入时 API 吞吐量的变化情况

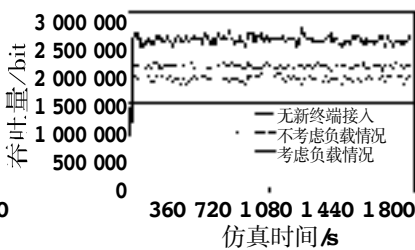


图 4 新终端接入前后不同情况下系统吞吐量比较

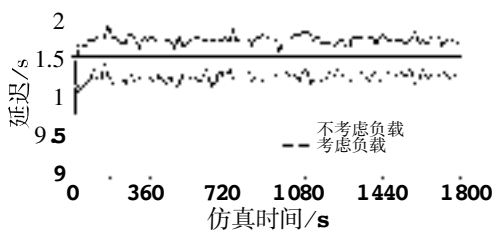


图 5 终端接入过程中不同情况下的系统延迟

4 结束语

在 IEEE 802.11 标准中,终端在接入和漫游的过程中通常选择收到信号强度大的 AP 建立连接,导致 AP 之间差异太大,浪费了无线资源,造成系统性能下降。本文针对这一情况,进行了改进,新终端在接入的过程中同时考虑信号强度和各个 AP 的负载信息。通过仿真实验证明,综合考虑信号强度和负载信息能提高系统的整体性能,降低系统的延迟。

参考文献:

[1] 刘乃安,李晓辉,张联峰,等. 无线局域网(WLAN) ——原理、技术与应用[M] . 西安: 西安电子科技大学出版社,2004: 15-17.

[2] EKICI O, YONGACOGLU A. Predictive association algorithm for IEEE 802.11 WLANs[C] //Proc of Information and Communication Technologies. [S. l.] : IEEE, 2006: 2394-2399.

[3] BALACHANDRAN A, BAHL P, VOELKER G. Hot-spot congestion relief in public-area wireless networks[C] //Proc of the 4th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. [S. l.] : IEEE Press, 2002: 70-80.

[4] BEJERANO Y, HAN S J, LI L E. Fairness and load balancing in wireless LANs using association control[C] //Proc of MobiCom 2004. New York: ACM, 2004: 315-329.

[5] TARTARELLI S, NUNZI G. QoS management and cogestion control in wireless hotspots[C] //Proc of Network Operations and Management Symposium. [S. l.] : IEEE, 2006: 95-105.

[6] VELAYOS H, ALEO V, KARLSSON G. Load balancing in overlapping wireless LAN cells[C] //Proc of IEEE International Conference on Communications. New Jersey: IEEE, 2004: 3833-3836.

[7] BAZZI A, DIOLAITI M, PASOLINI G. Measurement based call admission control strategies in infrastructured IEEE 802.11[C] //Proc of the 16th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. [S. l.] : IEEE, 2005: 2093-2098.

[8] BRICKLEY O, REA S, PESCH D. Load balancing for QoS optimisation in wireless LANs utilising advanced cell breathing techniques[C] //Proc of the 61st Vehicular Technology Conference. [S. l.] : IEEE, 2005.

[9] BIANCHI G, TINNIRELLO I. Improving load balancing mechanisms in wireless packet networks[C] //Proc of IEEE International Conference on Communications. [S. l.] : IEEE, 2002: 891-895.

[10] Cisco Systems, Inc. Data sheet: cisco aironet, 350 series access points [EB/OL] . <http://www.cisco.com>.

[11] Proxim Wireless Networks. Data sheet: orinoco AP- 600 access point [EB/OL] . <http://www.proxim.com>.

[12] AirFlow Networks, Inc. White paper: high availability for mission-critical WLANs[EB/OL] . <http://www.airflownetworks.com>.

[13] PAPANIKOS I, LOGOTHETIS M. A study on dynamic load balance for IEEE 802.11 b wireless LAN[C] //Proc of COMCON. 2001.

[14] WANG Lan, NIU Zhi-sheng, ZHU Yan-feng. Integration of SNR, load and time in handoff initiation for wireless LAN[C] //Proc of the 14th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication Proceedings. [S. l.] : IEEE, 2003.

[15] BALAZINSKA M, CASTRO P. Characterizing mobility and network usage in a corporate wireless local-area network[C] //Proc of the 1st International Conference on Mobile Systems, Applications and Services. New York: ACM, 2003: 303-316.

(上接第 2080 页)

参考文献:

[1] EATING M, BRICAUD P. Reuse methodology manual for system-on-a-chip design[M] . 3rd ed. New York: Kluwer Academic Publisher, 2002: 247-249, 219-220.

[2] NURMI J, TENHUNEN H, ISOAHO J, *et al.* Interconnect-centric design for advanced SOC and NOC[M] . Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004: 212-216.

[3] ARM Ltd. AMBA AXI protocol(v1.0) specification [R] . 2003.

[4] OCP-IP Group. Open core protocol specification(r2.1) [EB/OL] . (2007-06-03) . <http://www.ocpip.org/home/>.

[5] ARM ltd. AMBATM specification: rev 2.0[R] . 1999.

[6] RASHINKAR P, PATERSON P, SINGH L. 系统芯片(SOC) 验证方法与技术[M] . 孙海平,丁健,译. 北京: 电子工业出版社, 2005: 80-81.

[7] GLUSKA A. Coverage-oriented verification of banias[C] //Proc of the 2nd Design Automation Conference. Anaheim, CA: [s. n.], 2003: 280-285.

[8] 许彤,王朋宇,黄海林,等. 嵌入式处理器在片调试的验证[J] . 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, 19(4) : 503-504.

[9] VERISITY D L. Verisity AHB eVC user guide: version 2.1 release candidate 1[R] . Verisity Design, Inc. 2000.

[10] Synopsys Inc. Designware IP solutions for AMBATM interconnect [EB/OL] . (2007-06-30) . http://www.synopsys.com/products/designware/amba_solutions.html.