

无线 Mesh 网络中支持 QoS 的 802.11e 协议优化

王小花, 李陶深, 葛志辉

(广西大学 计算机与电子信息学院, 广西 南宁 530004)

摘 要: 在无线 Mesh 网络中, 支持 QoS 的 IEEE 802.11e EDCA 协议, 其固定的队列接入机制, 使得在网络负载较重的时高优先业务的 QoS 得不到应有的保障, 同时在网络负载较轻时信道利用率也不高. 文中提出了一种动态调整业务接入队列的算法. 节点可以根据感知到的网络负载状况自适应调整队列接入方式, 在保障高优先级业务 QoS 要求的同时, 尽可能提高信道的利用率. 仿真结果表明, 在不同网络负载的场景下, 该算法相对于 IEEE 802.11e 在 QoS 保障和利用率方面都有较好的表现.

关键词: 无线 Mesh 网络; 802.11e EDCA; 优先级; 服务质量

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)09-0099-04

QoS-Supported for 802.11e Protocol Optimization in Wireless Mesh Network

WANG Xiao-hua, LI Tao-shen, GE Zhi-hui

(School of Computer and Electronics Information, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In wireless mesh network, the IEEE 802.11e EDCA protocol with fixed queue-access mechanism, which makes the QoS of voice and video traffic are not guaranteed in the high load traffic, and the channel utilization is low when the network load is under-loaded. Therefore, a dynamic adjustment access queue algorithm is proposed, in which nodes could adjust their access queue according to the network load state they measured. So the proposed algorithm could improve the channel utilization while at the same time meeting the QoS demand of high-priority traffic. The simulation result shows that, the algorithm has better performance than that of the IEEE 802.11e on the guarantee of the QoS and the channel utilization under various scenarios.

Key words: wireless mesh network; 802.11e EDCA; priority; QoS

1 引言

无线 Mesh 网络(WMN)也称为无线格状网或无线多跳网,是针对特定的商业应用而涌现出来的一种新型宽带无线网络结构,可以为 Internet 业务提供商及其他终端用户提供强健、可靠的接入服务^[1]. 在 WMN 中,MAC 层采用 IEEE 802.11 DCF 协议,用于支持尽力而为业务,但不能为新兴的多媒体业务提供 QoS 保障. 为此,IEEE 802 工作组制定了 IEEE 802.11e^[2] MAC 协议 EDCA,对 DCF 协议进行了增强,对不同业务的服务质量要求提供支持.

EDCA 通过引入业务类别实现了对 QoS 的支持,但是其固定的队列接入机制,使得在高背景负载条件下,由于信道竞争激烈,某些高优先级业务将得不到应有的 QoS,而在网络负载较轻的时候,由于低优先级业务需使用较长的退避时间,从而浪费了空闲的时隙,降低了信道的利用率.

2 IEEE 802.11e EDCA 接入控制机制

IEEE802.11e 的 EDCA 接入方式,引入了优先级的概念,定义了 4 种不同优先级的 AC,分别为语音、视频、尽力而为和背景数据,其中语音业务的优

收稿日期: 2012-02-08; 修回日期: 2012-03-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(60963022); 广西自然科学基金项目(2012GXNSFAA053226)

优先级最高,其次为视频业务,背景数据的优先级最低.每个 AC 都有自己的队列和 EDCA 参数集.不同接入等级的参数主要包括最小竞争窗口 CW_{min} 、最大竞争窗口 CW_{max} 、仲裁帧间间隔 AIFS 等.当有数据到达时,IEEE802.11e 的 MAC 根据适当的 AC 把这些数据分类,并放到相应的 AC 发送队列中,以保证不同接入类的服务质量.但是这并不足以满足实时业务实际的需求,它仅仅是根据业务传输流种类分配信道访问的概率优先机制,并不足以提供足够的服务质量保证.

现阶段已有很多学者对 IEEE 802.11e EDCA 机制进行了理论建模和性能分析.文献[3,4]通过调整竞争窗口 CW_{max} 、 CW_{min} 的大小来实现 802.11e 的 QoS 保障,从而提高 IEEE 802.11e MAC 层的性能.文献[5]提出了一种增强的 TXOP 机制 ETXOP,通过将剩余的 TXOP 时间分配给待重传获其他队列中的实时业务,来提供更好的 QoS 和系统性能.文献[6]提出了一种 POAP 算法,以优先权为导向,通过 AP 以轮询的方式为各 AC 提供 QoS.虽然上述算法可以在一定程度上提高 MAC 层的性能,但也同样存在一些不足之处,如并未考虑到网络的动态流通特性,另外考虑到无线 Mesh 网络的拓扑特性,借助 AP 来实现并不是最佳的解决方案.

本文针对 IEEE 802.11e 协议的固定队列接入机制存在的问题,提出了一种动态调整业务接入队列的算法 Q-EDCA.该算法可以根据网络负载的变化,自适应调整 AC 在不同状态下的接入方式,从而确保无线 Mesh 网络的 QoS.

3 支持 QoS 的自适应业务接入队列算法 Q-EDCA

3.1 信道接入算法基本思想

传统的 EDCA 协议,为每一类业务分别建立一个队列,站点发送的各类业务分别进入相应的队列,固定的 MAC 竞争参数设置导致数据在传输时碰撞概率加大,使整个网络的性能变差.文中根据网络负载程度动态改变数据进入队列的方式.算法设计思想描述如下:(1)由于无线信道的共享特性,WMN 中的每个节点都可以侦听到单跳范围内其他站点的发帧情况,因此,节点可通过记录的发送情况计算网络的平均冲突概率来感知网络的负载程度;(2)当检测到的网络负载程度高于预设的门限值 P_{high} 时,丢弃竞争信道的低优先级业务数据,缓解网络拥塞,给

予高优先级业务更多的接入机会,从而保障实时业务的 QoS;当检测的网络负载程度小于预设的门限值 P_{low} 时,在保证实时业务 QoS 的前提下,动态调整低优先级业务的接入优先级,将其优先级提高,降低其退避时隙,从而给予低优先级业务一定的接入机会,避免过多信道时隙的浪费.

与现有的 EDCA 协议优化方案相比,本文提出的算法优势在于:

(1) 打破了传统的 EDCA 固定的接入队列模式,根据网络情况动态调整优先级业务队列;

(2) 在资源分配过程中,本文算法考虑的是在不同情况下网络整体性能的优化,在保证高优先级业务 QoS 的前提下,对低优先级业务采取不同的分配策略,使网络能较好的满足不同业务的需求.

3.2 网络负载程度检测

本文提出的算法需得到当前网络的负载程度.在网络传输过程中,根据网络负载情况进行优先级的动态分配.文中以节点的冲突概率作为衡量网络负载程度的指标.每个站点维持一个冲突概率 P_{curr} ,跟踪记录信道接入数和发生碰撞的记录,通过该概率来表示网络的竞争状态. P_{curr} 可通过下面的公式得到^[7]:

$$P_{curr} = \frac{\text{Numb}(\text{collision})_j[p]}{\text{Numb}(\text{access})_j[p]} \quad (1)$$

其中, $\text{Numb}(\text{access})$ 为第 j 段时间内,移动节点发送的数据包数, $\text{Numb}(\text{collision})$ 为第 j 段时间内,移动节点发生的竞争冲突的数据包数.

为了避免一次统计过程中出现的统计偏差过大,采用 EMWA (Exponentially Weighted Moving Average) 模型对结果进行平滑处理,假设 α 服从指数分布, α 的变化范围为 $[0, 1]$, 则:

$$P_{avg}^j = (1 - \alpha) \times P_{curr}^j + \alpha \times P_{avg}^{j-1} \quad (2)$$

通过式(2)得到的 P_{avg} 可以反映当前网络 MAC 层的接入剧烈程度,为算法的启动提供依据.

3.3 Q-EDCA 算法的具体实现

在网络传输过程中,需要根据网络负载情况进行优先级的动态分配.站点实时统计出单位时间内节点发送的数据包和发生了碰撞的数据包,计算出平均冲突概率 P_{avg} ,并将不断更新的冲突概率与预设的门限值 P_{low} 和 P_{high} 进行比较,来判断网络的竞争状况.本文算法资源分配过程描述如下:

步骤 1: 初始化网络信息,如网络节点数、节点发送的各业务流类别、各优先级业务参数、节点发送数据速率、链路容量等;

步骤 2:分析网络负载程度,以网络中的平均碰撞概率 P_{avg} 作为算法启动依据;

步骤 3:将统计的平均冲突概率与预设的门限值(P_{low} 和 P_{high})相比较,根据分析结果采取相应的分配策略;

步骤 4:若当 $P_{avg} > P_{high}$,说明网络负载较重,此时网络拥塞,实时业务 QoS 得不到应有的保障,同时低优先级业务也会多次参与竞争重传,增加了网络的负担,因此,对低优先级业务的数据进行丢弃,缓解网络拥塞程度,保证实时业务的 QoS;

步骤 5:若当 $P_{low} < P_{avg} < P_{high}$,说明网络负载适中,此时网络处于负载平衡状态,各优先级业务正常发送数据,恢复 EDCA 的接入机制即可;

步骤 6:若当 $P_{avg} < P_{low}$,说明网络负载较轻,此时实时业务 QoS 可以得到保证,而且网络还有剩余资源,则将低优先级业务的数据流接入到视频业务的队列中,提高其优先级,从而在保证实时业务 QoS 的前提下给予低优先业务更多的接入机会,提高信道的利用率。

步骤 7:更新平均冲突概率,跳回步骤 3。

4 仿真分析

采用 NS2 网络仿真工具对本文算法进行实验模拟。各接入类别的竞争参数如表 1 所示。使用视频流来仿真高优先级业务,用 FTP 流来仿真尽力而为业务,用 Exponential Traffic 流来仿真背景业务,即低优先级业务。仿真带宽为 1Mbps。采用端到端的平均吞吐量和平均延时作为性能评价指标。实验分别在网络负载较轻和较重两种场景下进行。

表 1 各业务流仿真参数

业务流	AC	AIFS	CWmin	CWmax	TXOP
视频业务	Prio_1	2	15	31	6.016ms
尽力而为业务	Prio_2	3	31	1023	0.000ms
背景业务	Prio_3	7	31	1023	0.000ms

4.1 网络负载较轻时的实验

在网络负载较轻时,实时业务的 QoS 得到了应有的保障,因此我们旨在给予低优先级业务更多的接入机会,使其充分利用网络空闲时隙,提高资源利用率。分别采用 EDCA 机制和本文算法 Q-EDCA 进行仿真模拟,结果对比如图 1、图 2 所示。

图 1 是本文算法与 EDCA 的低优先级业务延时对比。由图可知,在网络负载较轻时,采用 EDCA,低优先级业务的平均延时为 0.836823s,最大延时

0.975624s。而采用 Q-EDCA 算法时,将低优先级业务的优先级提高为 prio_1,此时其平均延时为 0.0492548s,最大延时为 0.065962s,极大的降低了低优先级业务的延时,充分利用了网络剩余资源。

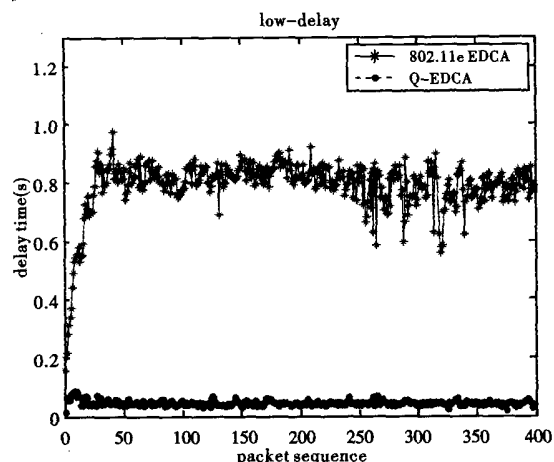


图 1 轻负载时低优先级业务延时对比

图 2 是 EDCA 和 Q-EDCA 的低优先级业务吞吐量对比。由图可知,在网络负载较轻时,EDCA 低优先级业务的平均吞吐量为 84.524kbps,而采用 Q-EDCA 算法,此时其平均吞吐量为 112.831kbps,较大的提高了低优先级业务的吞吐量。

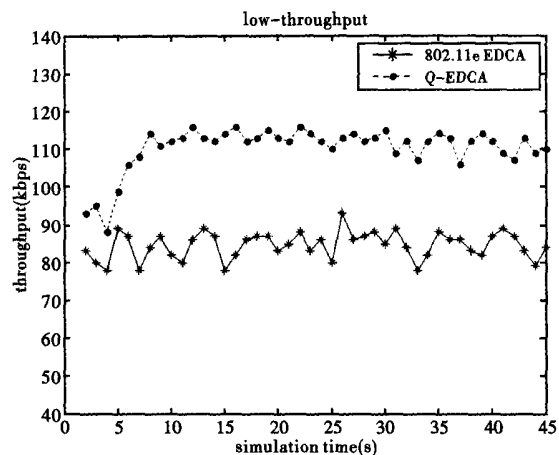


图 2 轻负载时低优先级业务吞吐量对比

4.2 网络负载较重时的实验

在网络负载较重时,此时实时业务的 QoS 得不到应有的保障,大量的重传与丢包使其性能大幅度下降,同时低优先级业务的数据也会多次参与竞争重传,无疑增加了网络的负担,因此,我们对低优先级业务的数据采取丢弃策略,缓解此时网络的竞争压力,保证实时业务的 QoS。

图 3 是本文算法与 EDCA 的高优先级业务延时对比。由图中可知,当网络负载较重时,EDCA 的

高优先级业务平均延时为 0.045813s, 最大延时为 0.09148s, 远超出了实时业务的最大时延 0.04ms, QoS 得不到应有的保障. 而采用 Q-EDCA 算法时, 我们丢弃低优先级业务, 此时高优先级业务平均延时为 0.03687s, 最大延时为 0.06352s, 极大的降低了高优先级业务的延时.

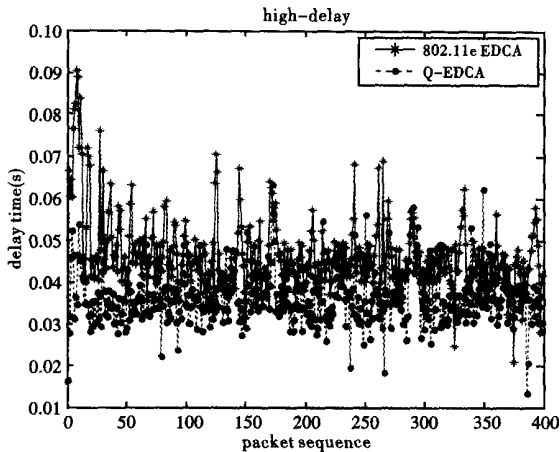


图3 重负载时高优先级业务延时对比

图4是EDCA和Q-EDCA算法的高优先级业务吞吐量对比图. 由图中可以看出, 在网络负载较重时, 采用EDCA, 高优先级业务的平均吞吐量为223.496kbps. 而采用Q-EDCA算法, 此时平均吞吐量为274.438kbps, 较大的提高了其吞吐量.

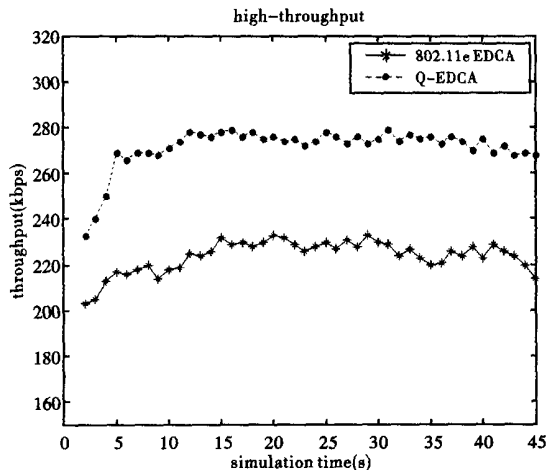


图4 重负载时高优先级业务吞吐量对比

由于采用视频流来仿真高优先级业务, 因此可以通过画面品质的对比来评价本文算法的优越性. 对于视频业务来讲, 可以通过多媒体品质评估工具 myEvalVid 将视频流进行重建. 使用 IEEE 802.11e EDCA 重建后的视频流的 PSNR, 大小为 32.391780. 而采用 Q-EDCA 算法后, 视频流 PSNR

为 34.139347. 可以得出, 采用本文算法 Q-EDCA 后, 重建的视频影像和原始影像的差距更小, 画面品质相对较好.

5 结束语

分析了 IEEE 802.11e EDCA 机制的优点和不足, 指出 EDCA 在高背景负载的条件下, 实时业务的信道竞争优势由于大量低优先级业务的存在而削弱, 在网络负载较低时, 信道空闲的资源得不到充分利用. 本文提出了一种动态调整队列接入控制的算法, 即根据网络的负载程度, 动态调整数据进入队列的方式. 仿真结果表明, 该算法与目前备受关注的 IEEE 802.11e EDCA 机制相比, 在 QoS 保障以及信道利用率方面都有较好的表现.

参考文献:

- [1] Ekram Hossain, Kin K. Leung. Wireless mesh networks architectures and protocols[M]. 易燕, 译, 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [2] ANSI/IEEE. 802.11e. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, amendment 8: medium access control (MAC) enhancements for quality of service (QoS). IEEE Std 802.11e-2005. [S/OL]. (2005-11-10). [2012-02-08]. <http://www.ieee.org>.
- [3] Lassad Gannoun, Stephan Robert. Dynamic tuning of the minimum contention window for enhanced service differentiation in IEEE 802.11 wireless Ad-Hoc networks[C] // Vehicular Technology Conference. [s. l.]: IEEE, 2006: 1266-1271.
- [4] Lassad Gannoun, Stephan Robert. Dynamic tuning of the maximum contention window for enhanced service differentiation in IEEE 802.11 Wireless Ad-Hoc Networks[C] // Vehicular Technology Conference. [s. l.]: IEEE, 2004: 2956-2961.
- [5] Gao D Y, Cai J F, Chuan H F, et al. Improving WLAN VoIP capacity through service differentiation[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(1): 465-474.
- [6] Chen J C, Cheng K W. EDCA/CA: enhancement of IEEE 802.11e EDCA by contention adaption for energy efficiency[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(8): 2866-2870.
- [7] 葛志辉, 陈志刚, 李陶深, 等. MANET 中支持 QoS 的自适应 MAC 协议退避机制[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(3): 676-679.

(下转第 108 页)

- ness[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2012, 74(4): 591-602.
- [4] Abrishami S, Naghibzadeh M. Deadline-constrained workflow scheduling in software as a service cloud[J]. Scientia Iranica, 2011(11):47.
- [5] Garg S K, Yeo C S, Anandasivam A, et al. Environment-conscious scheduling of HPC applications on distributed cloud-oriented data centers [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2011, 71(6): 732-749.
- [6] Mezmaz M, Melab N, Kessaci Y, et al. A parallel bi-objective hybrid metaheuristic for energy-aware scheduling for cloud computing systems[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2011, 71(11): 1497-1508.
- [7] Lucas-Simarro J L, Moreno-Vozmediano R, Montero R S, et al. Scheduling strategies for optimal service deployment across multiple clouds[J]. Future Generation Computer Systems, 2012(1):7.
- [8] Xu B M, Zhao C Y, Hu E Z, et al. Job scheduling algorithm based on Berger model in cloud environment [J]. Advances in Engineering Software, 2011, 42(7): 419-425.
- [9] Riakiotakis I, Ciorba F M, Papakonstantinou G, et al.

Towards the optimal synchronization granularity for dynamic scheduling of pipelined computations on heterogeneous computing systems [J]. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2012 (10): 2812.

作者简介:



吴煜祺 女,(1987—),硕士研究生. 研究方向为并行分布处理、云计算.



曾国荪 男,(1964—),博士,教授,博导. 研究方向为并行分布计算、可信网络软件.

(上接第 102 页)

作者简介:



王小花 女,(1987—),硕士研究生, CCF 学生会会员(E200018204G). 研究方向为无线 Mesh 网络.



李陶深 男,(1957—),博士,教授,CCF 高级会员(E200050058S). 研究方向为无线 Mesh 网络、分布式数据库、网络路由算法.



葛志辉 男,(1978—),博士,副教授. 研究方向为无线网络.