

基于跨层的自适应预留带宽和多重 QoS 保证的 EDCA 流接纳控制

曾菊玲¹ 蒋砾思²

(三峡大学计算机与信息学院 宜昌 443002)¹ (北京邮电大学信息与通信工程学院 北京 100876)²

摘要 提出了基于跨层的自适应带宽预留和多重 QoS 保证的 802.11eEDCA 分布式流接纳控制。首先自适应分配各站点 OFDM 子载波比特以最大化信道容量,并将比特率跨层传送到 MAC 层。基于此,提出了基于分布式测量的动态带宽预留机制,使预留带宽自适应各用户信道特点和业务特征;提出了半模式化的中心控制的剩余因子估计方法,从而克服了直接测量的不准确性和分布式估计的局部性,并降低了计算复杂度;提出了基于协议模型的带宽和碰撞率双重接纳标准,使多重 QoS 参数同时得到保证。通过这些措施得到自上至下的自适应接纳控制。仿真表明,提出的接纳控制机制能较大地提高资源利用率,更好地保证业务质量。

关键词 分布式流接纳控制, OFDM 子载波比特分配, 动态带宽预留, 碰撞概率及剩余因子计算, 多重 QoS 保证

中图分类号 TN915 **文献标识码** A

Per-flow Admission Control with Adaptive Reservation of Bandwidth and Multiple QoS Support in EDCA of IEEE 802.11e Based on Cross-layer Design

ZENG Ju-ling¹ JIANG Li-si²

(College of Computer and Information Technology, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)¹

(School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)²

Abstract A novel dynamic distributed admission control with adaptive reservation of bandwidth and multiple QoS support of EDCA(enhanced distributed channel access) in IEEE802.11e based on cross-layer was presented. In this mechanism, the bits of the subcarrier of OFDM in the station are allocated to obtain the maximum channel capacity subjected to the maximum power at first and the bit rate is transmitted to the medium access control layer at the same time. By means of that, a dynamic reservation of the bandwidth was presented based on the distributed measurement, which adapts to the characteristics of the channel and the service. And an estimation of the surplus factor by center control half-based on model was presented, which overcomes the un-accuracy resulted by directed measuring and locality resulted by distributed estimation. The relationship between the service's parameters and the collision probability was obtained and the double admission criteria of the bandwidth and the collision probability was suggested to support the multiple QoS such as bandwidth and delay as well as error ratio of the frame. All above suggestions structure an adaptive admission control from the upper layer to the lower layer. The simulation shows the admission control presented outperforms the former in the utilization of the resource and the quality of the service.

Keywords Distributed admission control, Bits allocation of OFDM subcarrier, Dynamic reservation of the bandwidth, Computation of the collision probability and surplus factor, Multiple QoS support

1 引言

逐渐增多的多媒体业务要求无线局域网提供多级、多重量化 QoS 保证^[14,15]。与此同时,无线局域网中日益紧张的无线频谱、时变的无线信道和用户的随机移动导致的无线资源的稀缺性和波动性使 QoS 保证变得更具挑战性。如何在充分利用无线资源的基础上为多媒体业务提供多级、多重量化 QoS 保证是当前的研究热点之一。IEEE802.11eEDCA 是目前主要的能提供 QoS 保证的宽带无线局域网接入技术,其提供量化 QoS 保证的方法为分布式接纳控制算法(DAC, Dis-

tributed Access Control)^[1],它于 2003 年在 draft 中提出,并在文献[2]中得到了改进。该算法存在以下问题:(1)在计算网络资源时,没有考虑链路层或物理层可采用的自适应技术,导致资源利用率不高;(2)根据业务权重和业务量预先静态设定的预留带宽不能自适应于业务 QoS 及网络资源,业务质量不能得到动态保证且资源利用率低下;(3)站点直接测量剩余带宽因子的局部性导致带宽分配不准确;(4)单一的有带宽即接纳的标准不能从多方面真正地保证业务 QoS;(5)未考虑用户满意度的接入参数的设置使业务质量受到损失。针对以上问题,作出了以下改进:文献[3]针对问题(2)提出了动态更新

预留带宽的方法,其根据业务优先权、负载及利用率等,动态更新预留带宽,提高了资源利用率,但当系统采用 AMC 时,这种基于集中式测量的更新方法就不能考虑不同站点的不同信道所导致的同类业务的不同负载及资源利用率这一特点;文献[4]针对问题(2)提出了 HARMONIC 算法,其根据 LQI (链路质量指示器)值动态改变窗口参数和业务带宽,但没有提出链路质量与资源分配的量化关系,这一缺陷导致多业务条件下仍然只能采用搜索方法实现资源分配,难以做到实时最优。针对问题(3),文献[5]提出了基于模式的接纳控制机制,其由 AP 测量信道碰撞概率、空闲概率、成功传输概率、平均载荷等,由双 MARKOV 链计算每流可达通过率,并进行接纳控制;类似的还有文献[6]得出了理想和有错信道的时延表达,提出了满足通过率及时延限的接纳控制算法;文献[7]提出了突发信道中的 TXOP 模型并给出了计算方法。但基于模式的方法计算复杂,不适于在线控制,同时,自适应技术导致的可变比特率将使模式计算更加复杂;针对问题(4),文献[8]提出了以信道碰撞概率作为网络性能度量和接纳判决准则,实现对现有流的保护;文献[9]基于双令牌桶方法,综合业务 QoS 参数,提出了具有时延保证的保证速率来对可变业务流进行有效保护,但前者没有将碰撞概率与业务参数结合起来,后者的保证速率也只会将业务的到达率变化和带宽结合,两者都不能提供多重 QoS 保证的接纳控制。

EDCA 机制中基于 OFDM 的自适应资源分配得到了广泛研究。文献[10]首先提出了单用户 OFDM 中比特率受限、功率最小的比特分配方法,但其算法复杂;文献[11,12]给出了具有功率限制和误比特率约束、比特率最大的次优资源分配算法;文献[13]从流控制、路由、功率及速率等多方面对跨层资源分配进行了研究。但目前这些研究没有将自适应资源分配与业务 QoS 相结合来实现自上至下的自适应,使业务 QoS 和资源利用率同时得到保证。

本文提出了一种新的基于跨层的自适应预留带宽和具有多重 QoS 保证的 802.11eEDCA 流接纳控制。首先自适应分配各站点 OFDM 子载波比特,以最大化信道容量,并将比特率跨层传送到 MAC 层。基于此,提出了基于分布式测量的动态带宽预留机制,使预留带宽自适应各用户信道特点和业务特征;提出了半模式化的中心控制的剩余因子估计方法,克服了直接测量的不准确性和分布式测量的局部性,并降低了计算复杂度;提出了基于协议模型的带宽和碰撞率双重接纳标准,使多重 QoS 参数同时得到保证。通过这些措施,得到自上至下的自适应接纳控制。仿真表明,提出的接纳控制机制能较大地提高资源利用率,更好地保证业务质量。

2 优化的 OFDM 子载波比特分配

2.1 优化模型

假定在 EDCA 的调度时隙内频域信道为准静态衰落的 OFDM 系统,在第 k 个站点的第 i 个子载波上的接收符号为:

$$r_{i,k} = H_{i,k}s_{i,k} + N_{i,k} \quad (1)$$

式中, $s_{i,k}$ 是第 k 个站点的第 i 个子载波上的调制数据, $H_{i,k}$ 是该子载波的频域复信道增益, $N_{i,k}$ 是零均值复高斯噪声,令 $p_{i,j} = E[|s_{i,j}|^2]$, 则对 M 阶 Gray 映射的 QAM, 该子载波上的速率为:

$$R_{i,k} = \log_2 \left(1 + \frac{p_{i,k} |H_{i,k}|^2}{\Gamma \sigma_z^2} \right) \quad (2)$$

式中, $\sigma_z^2 = N_0 \frac{B}{N}$, $\Gamma = -\ln(5BER)/1.6$, BER 是 M 阶 Gray 映射的 QAM 的误比特率。

对于具有 K 个用户、每个用户具有 N 个子载波的系统,的任一个用户,系统速率最大、保持全部功率在给定水平之下且保持一定误比特率(或误帧率)低于一定值的优化模型为:

$$\max_p \left(\frac{B}{N} \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{p_i |H_i|^2}{\Gamma \sigma_z^2} \right) \right) \quad (3)$$

$$\text{subject to: (c1) } p_i \geq 0$$

$$(c2) E \left[\sum_{i=1}^N p_{i,k} \right] \leq p_k$$

2.2 优化问题的求解

式(3)为非线性 N 阶整数优化问题,其严格的数学求解计算复杂度高,不适合在线控制,可将上述问题转化为多用户“注水定理”采用 Lagrange Multiplier 法频域“注水定理”,可得:

将 $H_{i,k}$ 按升幂排列,令 $H_{1,k}$ 为其中最小值,则:

$$p_{1,k} = \frac{p_k - V_k}{N} \quad (4)$$

$$p_{i,k} = p_{1,k} + \frac{H_{i,k} - H_{1,k}}{H_{i,k} H_{1,k}} \quad (5)$$

式中, $V_k = \sum_{i=2}^N \frac{H_{i,k} - H_{1,k}}{H_{i,k} H_{1,k}}$, 由式(5)可知,信道状态越好,获得的功率越高。相应地,

$$R_{i,k} = \left\lfloor \log_2 \left(1 + \frac{p_{i,k} |H_{i,k}|^2}{\Gamma \sigma_z^2} \right) \right\rfloor \quad (6)$$

式中, $R_{i,k}$ 为第 k 个站点、第 i 个子载波上的比特率或 MQAM 的阶数。

$$R_k = r_s \sum_{i=1}^N R_{i,k} \quad (7)$$

式中, r_s 为 OFDM 的符号速率, R_k 为第 k 个站点的物理速率。

3 基于比特分配和分布式测量的预留带宽的更新

基于 OFDM 子载波比特分配,不同站点具有不同的比特率,须根据各站点的传送状态及业务负载平均计算预留带宽,才能使网络资源得到充分利用并保证业务 QoS。

3.1 定义利用率因子

假定 $ALT(i)$ 是 AP 预留给业务 $AC(i)$ 的带宽,定义 $AC(i)$ 的利用率因子:

$$uw(i) = \frac{TX_TIME(i)}{Total_TXOP_Used} \quad (8)$$

式中, $Total_TXOP_Used = \sum_i TX_TIME(i)$, 采用 AMC 后,各站点的 $TX_TIME(i)$ 将随信道的改变而变化,因此,采用站点监测信道,根据 AMC 变化,记录每个站点的 $TX_TIME(i)$ 并反馈 AP, 此时 $uw(i)$ 修正为:

$$TX_TIME(i) = \sum_j TX_TIME_j(i) \quad (9)$$

$$Total_TXOP_Used = \sum_j \sum_i TX_TIME_j(i) \quad (10)$$

式中, j 为站点数,利用率因子代表业务对网络资源的占有率,为了保证业务所需带宽,所分配资源应与之成正比。

3.2 定义权重因子

令 $pw(i)$ 为根据业务流量确定的业务权重,假定 $i=1,2,3$,若带宽需求之比为:1:2:7,则可定义 $pw(i)=0.1 \setminus 0.2 \setminus$

0.7, $i=1,2,3$,在网络建立初期,当负荷较小时,可直接根据该值预留带宽;但当业务变化时, $pw(i)$ 应随着时间变化,提高网络效率。采用前面定义的 $uw(i)$ 代替 $pw(i)$,由于 $uw(i)$ 是瞬时函数,存在时间局限,而 IEEE802.11e 上行时间关联方法是与下一帧关联,因此可采用基于最小均方误差的线性预测的方法估计,即

$$uw_i(n) = \sum_{k=1}^M a_k uw_i(n-k) \quad (11)$$

式中,系数 a_k 可由最陡下降法求得。

3.3 定义负载因子

$$lw(i) = \frac{TX_Load(i)}{Total_TXOP_Need} \times \alpha \quad (12)$$

式中, α 为可用剩余带宽与总带宽之比,站点 j 传输一个 AC(i) MSDU(MAC 服务数据单元)所需时间为:

$$\tau_j(i) = \frac{MSDU(i)}{R_j} + t_{ACK} + SIFS + AIFS(i) \quad (13)$$

$$TX_Load(i) = \sum_j queenlength_j(i) \times \tau_j(i) \quad (14)$$

$$Total_TXOP_Need = \sum_i TX_Load(i) \quad (15)$$

负载因子反映了业务负载,为保证质量,所分配资源应与之成正比。

定义有效因子为:

$$ew(i) = pw(i) \times (1 + lw(i)) \quad (16)$$

定义预留带宽为:

$$ALT(i) = (TIME_in_CP - Total_TXOP_Used) \times ew(i) \quad (17)$$

$$wp_{j,0,0}(i) = \frac{2d_{j,i}(1-2p_{j,c}(i))(1-p_{j,c}(i))}{CW_{j,\min}(i)(1-(2p_{j,c}(i))^{R_i+1})(1-p_{j,c}(i)) + (1-2p_{j,c}(i))(1-p_{j,c}^{R_i+1}(i))(2d_{j,i}-1)} \quad (18)$$

式中, $d_{j,i} = p_j^{q_{fs}(i)}$, 为站点 j 的 AC(i) 退避状态转移概率, $p_{j,c}(i)$ 为站点 j 的 AC(i) 碰撞概率,假定 $wp_{j,0,0}(i)$ 表示站点 j 在发送 AC(i) 时处于竞争窗初始状态(退避阶数及退避计数器余数为 0)的概率,由双 MARKOV 链分析可得,

$$wp_{j,k,0}(i) = p_{j,c}(i) * wp_{j,k-1,0}(i) = p_{j,c}^k(i) * wp_{j,0,0}(i) \quad (19)$$

站点 j 的 AC(i) 在某时隙访问信道的概率为:

$$\tau_j(i) = \sum_{k=0}^{R_i} wp_{j,k,0}(i) = \frac{1-p_{j,c}^{R_i+1}(i)}{1-p_{j,c}(i)} wp_{j,0,0}(i) \quad (20)$$

在其他条件不变时,站点采用子载波比特分配后,具有不同比特率,不同站点的同类业务访问信道的概率将与比特率成反比,假设站点 j 的比特率为 r_j , 则

$$p_{j,c}(i) = 1 - \prod_{k=1}^N \left(\prod_{i=0}^{M-1} (1 - \tau_k(i) / (1 - \tau_j(i))) \right) \quad (21)$$

式中, $\tau_k(i) = \frac{r_j}{r_k} \tau_j(i)$, 站点 j 的 AC(i) 的内部碰撞概率为:

$$p_{j,v}(i) = 1 - \prod_{k=0, k \neq i}^{M-1} (1 - \tau_j(k)) \quad (22)$$

$$p_{j,r}(i) = p_{j,v}(i) + p_{j,r}(i) \quad (23)$$

信道空闲概率为:

$$p_{idle} = 1 - \prod_{k=1}^N \prod_{i=0}^{M-1} (1 - \tau_k(i))$$

式中, $\tau_k(i) = \frac{r_j}{r_k} \tau_j(i)$ (24)

联合求解式(18)一式(24),可求出 $p_{j,c}(i)$, ($i=0,1,\dots,M-1$), 考虑上述求解过程,可以发现, $p_{j,c}(i)$ 的求解仅与该类业务的最小窗口初始值、仲裁帧间隔、重发次数以及各站点的比特率有关,这些参数都可以由 AP 方便地获得,因此,提

4 改进的剩余因子计算及窗口参数定义

4.1 改进的剩余因子计算

剩余因子定义为传输某类业务所用全部带宽与成功传输该类业务所用带宽之比,用来表征由于碰撞需要的额外带宽。在文献[10],剩余带宽因子由某站点测量并传送给 AP 作为所有站点的同类业务的参数。事实上,采用 OFDM 子载波比特分配后,不同站点具有不同的数据速率,当发送完全相同的业务时,也具有不同的碰撞概率,因此,具有不同的剩余因子和传输预算时间,剩余因子的测量及计算应由各站点对业务流进行测量并由 AP 平均计算,但这样将增加 AP 与站点的握手次数,导致资源浪费。同时,该测量方法计算的剩余因子包含了本地排队导致的丢包,将使分配带宽过大,资源浪费。由于 AP 已知各站点的信道状态和站点比特率,由 AP 测量并计算剩余因子更合适,但 AP 无法知道哪些包发生了碰撞,因此无法直接测量。另外,由于在 EDCA 中,接入流对网络状态影响较大,若 AP 采用直接测量方法必然会导致带宽盗用。AP 能方便地侦听信道的忙闲状态,从而根据 EDCA 的协议模型来计算不同站点的业务流的碰撞概率和剩余因子,最后由同类业务的不同站点的剩余因子的最大值确定该类业务的剩余因子。

假定 AP 测得信道忙、闲的概率分别为 p_b, p_f , 业务 AC(i) 的 EDCA 参数集为 $CW_{j,\min}(i), AIFS_j(i), CW_{j,\max}(i)$, 回退或重发次数为 R_i , 对站点 j , 则在饱和状态下,由双 MARKOV 链分析可得:当回退窗口没有达到最大窗口时,

出了由 AP 计算各站点各类业务的碰撞概率的策略,以提高准确度和减少 AP 与站点的握手次数。

定义:

$$p_{j,c}(i) = 1 - \frac{1}{SBA_j(i)} \quad (25)$$

令

$$SBA(i) = \max_j (SBA_j(i)) \quad (26)$$

选取不同站点的同类业务的剩余因子中的最大值作为该类业务的剩余因子,可以提供最充分的带宽来克服碰撞。

4.2 CAP 分配原则

SBA_i 代表了信道条件好坏,可用来更新窗口,以保证接入参数对信道的适应性,对于新接收流:

$$CW_{i,\min}^i = CW_{i,\min}^i(0) \times rand(1, SBA_i) \quad (27)$$

$$AIFS_{i,\min}^i = \beta \times AIFS_{i,\min}^i(0) \times rand(1, SBA_i) \quad (28)$$

式中, $CW_{i,\min}^i(0), AIFS_{i,\min}^i(0)$ 为缺省值, β 是为保证 $AIFS_{i,\min}^i$ 在规定范围内而设置的常量,对于已存在流,当业务质量较好时,适当增大窗口参数,反之,则减小窗口,以保持一定的公平性,定义

$$U_i = \exp(-(D_i - D_i^{req}) / D_i^{req}) \text{ (实时业务)}$$

$$U_i = \exp((\bar{r}_i - r_i^{req}) / r_i^{req}) \text{ (非实时业务)}$$

式中, D_i, r_i 分别为 AC(i) 的时延和速率。令

$$\Delta SBA_i(n) = SBA_i(n) - SBA_i(n-1)$$

若 $\Delta SBA_i(n) > 0$

$$CW_{i,\min}^i(n) = CW_{i,\min}^i(n-1) \times U_i \times rand(1, 1 + \Delta SBA_i(n)) \quad (29)$$

$$AIFS_{i,\min}^j(n) = \beta \times U_i \times AIFS_{i,\min}^j(n-1) \times \text{rand}(1, 1 + \Delta SBA_i(n)) \quad (30)$$

式中, 若 $\Delta SBA_i(n) < 0$, $\delta = 0.5$, 则采用下式更新:

$$CW_{i,\min}^j(n) = \max(CW_{i,\min}^j(0), \delta \times U_i \times CW_{i,\min}^j(n-1)) \quad (31)$$

$$AIFS_{i,\min}^j(n) = \max(AIFS_{i,\min}^j(0), \delta \times U_i \times AIFS_{i,\min}^j(n-1)) \quad (32)$$

5 碰撞概率

5.1 流时延与重发次数

对 EDCA, 当重发次数确定后, 流时延由重发次数 R_i 和最小回退窗口 $CW_{i,\min}$ 确定, 平均丢包时延可用下式确定:

$$E_i(T_{drop}) = \frac{CW_{i,\min}^j(2^{R_{i,\max}+1}-1) + (R_{i,\max}+1)}{2} E_i(slot) \quad (33)$$

式中, $R_{i,\max}$ 是流 i 最大重发次数。忽略排队时延时, $E_i(slot)$ 为流 i 的平均时隙时长:

$$E_i(slot) = \frac{T_i + T_s + T_c}{N_i + N_s + N_c} = p_{idle} T_i + p_s T_s + p_c T_c \quad (34)$$

式中, T_i , T_s , T_c 分别为空闲时间、成功传输时间、碰撞时间。

$$T_s = H + E[P] + SIFS + ACK + AIFS$$

$$T_c = H + E * [P] + SIFS + ACK_Timeout$$

式中, H 为各协议层附加在数据帧头部的长度, $E[P]$ 为成功传输的数据帧平均长度, $E * [P]$ 为碰撞中最大数据帧长度的期望值, p_{idle} , p_s , p_c 分别为空闲概率、成功传输概率和碰撞概率, p_{idle} 如式(24)所示:

$$p_s = \sum_{j=1}^N \tau_j(i) (1 - p_j(i)), p_c = 1 - p_{idle} - p_s$$

AP 可由信道忙、闲、碰撞概率计算出每流的平均时隙长度, 假定 D_i 为流 i 的时延限, 得:

$$R_{i,\max} = \left\lfloor \log_2 \left(\frac{2D_i}{CW_{i,\min} E(slot)} + 1 \right) - 1 \right\rfloor \quad (35)$$

因此 AP 可计算出每流的最大重发次数。

5.2 流的丢包率与碰撞率上限

碰撞和信道错误是主要的丢包原因, 忽略缓冲器满丢包, 则丢包率为:

$$p_{i,drop} = (1 - (1 - p_{i,err})(1 - p_{i,col}))^{R_i+1} \quad (36)$$

式中, $p_{i,err}$ 为误帧率, 在 OFDM 子载波比特分配中, 误比特率保持为定值, 由此值计算出误帧率。 $p_{i,col}$ 为碰撞概率, 由于 $0 < p_{i,drop} < 1$, 因此当重发次数达到最大时, 碰撞概率最大为:

$$p_{i,col,\max} = \frac{R_i+1 \sqrt{p_{i,drop}} - p_{i,err}}{1 - p_{i,err}} \quad (37)$$

6 具有多重 QoS 保证的 EDCA 流接纳控制

6.1 接入点 AP 接纳控制

(1) 根据信道特点, 对接入站点进行 OFDM 子载波比特分配;

(2) 根据业务请求和站点状态计算 $ALT(i)$;

(3) 测量信道忙、闲概率, 计算剩余因子;

(4) 根据丢包率、误帧率及最大重发次数计算各类业务最大碰撞概率, 并通过信标帧传送给站点;

(5) 计算各类业务剩余可用时间, 通过信标帧发送给站点。

AP 保存参数 $AIFS(i) \setminus CW_{\min}(i) \setminus CW_{\max}(i) \setminus surplus_factor(i) \setminus ALT(i) \setminus Txtime(i)$ 对实时业务的接入类别 $AC(i)$, $AIFS(i) \setminus CW_{\min}(i) \setminus CW_{\max}(i)$ 保持恒定; $surplus_factor(i)$ 为剩余因子, $ALT(i)$ 为 $AC(i)$ 可用的最大带宽, $Txtime(i)$ 为 $AC(i)$ 传输一帧数据的所有时间(包括开销和帧间隔)。因此, $AC(i)$ 在下一个信标帧后可用的传输时间为:

$$TXOPBudget(i) = \max(ALT(i) - Txtime(i) \times surplus_factor(i), 0) \quad (38)$$

6.2 站点 STA 接纳控制

各站点保存参数 $TxRemainder(i)$, $TxMemory(i)$, $TxUsed(i)$, $TxCounter(i)$, $TxLimiter(i)$, $TxUsed(i)$ 用以记录该站已接纳的 $AC(i)$ 在线传输所需时间或新接纳的 $AC(i)$ 请求带宽; $TxCounter(i)$ 用以记录该站 $AC(i)$ 成功传输所用时间; $TxMemory(i)$ 用以记录该站 $AC(i)$ 在一个信标帧中所用的资源; $TxLimiter(i)$ 表示该站 $AC(i)$ 能用的最大资源; $TxRemainder(i)$ 表示一个帧被禁止后, 该站 $AC(i)$ 所剩资源。

1) 若 $TXOPBudget(i) = 0$, 则下一个信标帧中以 $AC(i)$ 接入的站被拒绝, 且该站点保持:

$$\begin{aligned} TxMemory(i) &= 0, TxRemainder(i) = 0, \\ TxLimiter(i) &= 0 \end{aligned} \quad (39)$$

对于其他站, 保持 $TxMemory(i)$, $TxRemainder(i)$, $TxLimiter(i)$ 不变。

2) 若 $TXOPBudget(i) > 0$, 则采用碰撞概率和带宽双重接纳标准。首先, 根据剩余因子由式(26)计算碰撞概率, 若碰撞概率大于最大碰撞概率, 则下一个信标帧中以 $AC(i)$ 接入的站被拒绝, 且该站点保持:

$$\begin{aligned} TxMemory(i) &= 0, TxRemainder(i) = 0, \\ TxLimiter(i) &= 0 \end{aligned} \quad (40)$$

若 $TXOPBudget(i) > 0$, 但碰撞概率小于最大碰撞概率, 则下一个信标帧中以 $AC(i)$ 接入的站有如下特性:

$$TxMemory(i) \in [0, TXOPBudget(i) / Surplus_factor(i)] \quad (41)$$

对其他站作如下更新:

$$\begin{aligned} TxMemory(i) &= f \times TxMemory(i) + (1 - f) \times ((TxCounter(i) \times Surplus_factor(i) + TXOPBudget(i)) \end{aligned} \quad (42)$$

更新后, 令

$$TxCounter(i) = 0 \quad (43)$$

对已接入流或新接入流, 都有:

$$TxLimiter(i) = TxMemory(i) + TxRemainder(i) \quad (44)$$

(1) 对新的 $AC(i)$, $TXOPBudget(i) > 0$, 且

$$TxUsed(i) < TxLimiter(i) \quad (45)$$

则接受, 否则, 拒绝。

(2) 对现存 $AC(i)$, 若

$$TxUsed(i) > TxLimiter(i) \quad (46)$$

则阻止发送, 且

$$TxRemainder = TxLimiter(i) - TxUsed(i)$$

否则, 继续发送。

6.3 DAC 对现有流的保护

当 $TXOPBudget(i) = 0$ 时, 新的 $AC(i)$ 不被接纳, 现存流的 $TxMemory(i)$, $TxRemainder(i)$ 保持不变, 则 $TxLimi-$

$ter(i)$ 保持不变。当 $TXOPBudget(i) > 0$ 时, $TxMemory(i)$ $TxLimiter(i)$ 周期性改变, 由于 $f < 1$, 因此 $TxMemory(i)$ 收敛于:

$$TxCounter(i) \times Surplusfactor(i) + TXOPBudget(i)$$

当 $TXOPBudget(i)$ 耗尽时, $TxMemory(i)$ 收敛于 $TxCounter(i) \times Surplusfactor(i)$, $TxLimiter(i)$ 收敛于 $TxCounter(i) \times Surplusfactor(i)$ 加上剩余, 保证实时业务获得不变的保证传输的带宽。

7 仿真

7.1 物理信道

假定 OFDM 为 128 子载波/符号, 循环前缀为 28 子载波, 比特分配在剩余 100 个子载波上进行, 假定 100 个子载波分为 3 个子带, 每个子带内, 子载波具有相同的信道增益, 且随子载波序号由低到高增大, 分别为 -8dB、-4dB、-2dB, 误比特率要求为 10^{-3} , 信道中加性高斯白噪声单边功率谱为 14×10^{-12} W/Hz, 假定上行链路功率限制为 100mw, 在不采用比特分配时, 子载波上全部采用 16QAM 调制, 采用比特分配后, 在 3 个子带分别采用 16QAM、32QAM、64QAM 调制, 假定符号速率为 80K 符号/s, 则总数据速率可达 40Mbps/s, 而此前为 32Mbps/s。可以看出, 当采用子载波分配时, 频谱效率有较大提高。

7.2 业务及传输环境

采用由 4 个站点及 1 个 AP 的系统进行接纳控制仿真。假定每个站点的业务到达完全相同, 每个站点都有 3 类业务 (语音、视频、数据), 各类负载分别为 80B、500B、1024B, 每个类都有 3 个流, 其 QoS 参数如表 1 所列, 数据业务平均速率为 1024bps, 服从 on-off 指数分布, 流的传输仅限上行方向, 各类业务的初始传输接入参数如下: $AIFS(voice) = 25\mu s$, $CW_{min}(voice) = 15$, $AIFS(video) = 25\mu s$, $CW_{min}(video) = 31$, $AIFS(data) = 34\mu s$, $CW_{min}(data) = 63$, $SIFS = 16\mu s$, $slot\ time = 9\mu s$, $beacon\ interval = 2s$ 。流传输起始于语音, 其后每隔 30s 到达一个语音流, 流到达顺序依次为 A、B、C, 视频流起始于 10s 后, 其后每隔 30s 到达一个视频流, 流到达顺序依次为 A、B、C, 数据流起始于 20s 后, 其后每隔 30s 到达一个数据流, 对于数据业务, 当网络负载较轻、有空闲时, 可全部接纳, 当网络负载较重时, 数据业务可被舍去, 释放信道, 释放方法为每次最少丢去一个数据业务, 但保证数据业务占有带宽占全部带宽的 10% 左右。物理信道为上述的 OFDM 系统, 假定误帧率为 0。

表 1 业务参数

业务	数据速率	时延	丢包率
Voice(A)	128Kbps	<5ms	<3%
Voice(B)	64Kbps	<5ms	<3%
Voice(C)	16Kbps	<5ms	<3%
Video(A)	384Kbps	<30ms	<1%
Video(B)	768Kbps	<60ms	<1%
Video(C)	1024Kbps	<30ms	<1%

7.3 预留带宽、碰撞率、剩余因子分析

对未采用比特分配的 OFDM 系统, 采用根据业务权重静态预留带宽方法, 分配给语音、视频的带宽分别为 2.399Mbps/s 和 26.401Mbps/s。对采用比特分配的 OFDM

系统, 初始时刻, 仍然根据业务权重分配带宽, 分配给语音、视频的带宽分别为 4Mbps/s 和 32Mbps/s。在网络负载较轻时, 一直按此比例预留带宽。随着负载增加, 当负载达到一定量时, 用利用率因子 $uw(i)$ 替代权重因子 $pw(i)$ 进行预留带宽计算, 并采用长度为 5 的滤波器对利用率进行线性预测估计。由图 2 可以看到, 对语音流, 预测得到的 $uw(i) < pw(i)$, 对视频流, 预测得到的 $uw(i) > pw(i)$, 这恰好能够满足语音流和视频流对带宽的要求。再考虑有效因子, 假定各业务到来时刻恰为已存在业务传输完毕时刻, 因此在网络进入饱和状态前, 不存在碰撞重发, 队列长度可看作为 0, 当网络进入饱和状态后, 由于语音负载远小于视频流负载, 因此, 当出现饱和时, 语音流的负载因子 $lw(i) = 0$, 视频流的 $lw(i) > 0$, 再将 $uw(i)$ 、 $lw(i)$ 代入式 (16), 计算出有效因子 $ew(i)$, 如图 2 所示。网络进入饱和状态前, $ew(i)$ 保持不变; 当网络进入饱和状态后, $ew(i)$ 自适应网络变化, 此时语音流的有效因子小于静态分配因子, 视频流的有效因子大于静态分配因子, 即饱和后, 分配给语音的带宽减小, 分配给视频流的带宽增大, 平衡了网络中语音流和视频流的业务量。图 3—图 5 中的自适应分配带宽时的业务饱和时间恰好与有效因子的自适应变化时刻吻合, 这也说明采用有效因子计算带宽能够平衡语音流和视频流的带宽需求。通过图 3 还可发现, 采用有效因子自适应分配带宽后, 提高了系统通过率。

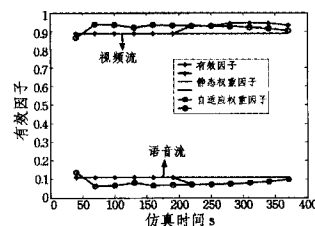


图 1 有效因子比较

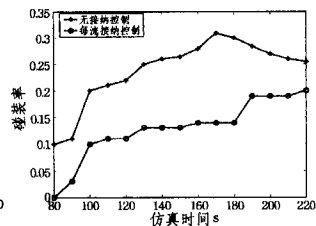


图 2 碰撞率比较

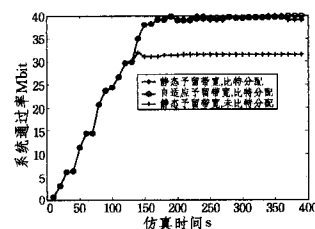


图 3 系统通过率比较

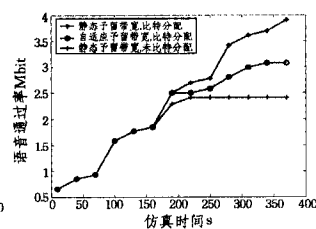


图 4 语音流通过率比较

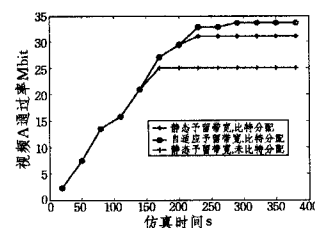


图 5 视频流通过率比较

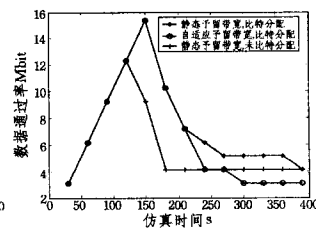


图 6 数据流通过率比较

对于剩余因子, 在忽略信道误帧和缓冲器满丢包的情况下, 当网络负载较轻时, 由于初始窗口参数能够区分业务, 几乎没有碰撞出现, 因此没有丢包现象, 可令 $SBA_i = 1$; 随着网络负载增加, 碰撞率增加, 丢包增多, SBA_i 逐渐增大, 其最大值可由式 (26) 计算, 对语音流以及视频流 A、B、C 分别为: 1.72、1.47、1.67、1.47。窗口参数与剩余因子的关系由式 (27) —

式(32)确定,由式(33)一式(37)得到视频流 C 的碰撞率,如图 2 所示。可以看到,在无接纳控制时,碰撞概率随负载增加而增大,当负载大到一定程度后,碰撞概率将下降,这是一些站点或流无法接入导致的。当采用本文的接纳控制后,由于接入流受到控制,碰撞概率较小;当网络饱和后,碰撞概率稳定在某一值。

7.4 通过率分析

本文比较了某站点在以下 3 种条件下的系统通过率、语音通过率、数据通过率:(1)采用子载波比特分配和未采用自适应带宽预留及比特分配。(2)未采用自适应带宽预留和子载波比特分配。(3)采用自适应带宽预留和子载波比特分配。从图 3 可以看到:由于频谱效率提高,条件(2)比条件(3)推迟 50s 到达饱和状态,系统通过率提高 8Mits 左右,在饱和状态,采用自适应预留带宽的条件(1)比条件(2)通过率也有所提高,但不是很大,这是由于系统通过率受到信道带宽限制,自适应预留带宽的作用是根据业务流特征分配带宽,使业务间更具公平性。从图 4、图 5 可以看到,当网络趋于饱和时,语音流由于自适应预留带宽小于静态预留值而较早达到饱和,但视频流则相反,这就使语音、视频流基本同时饱和,克服了静态时视频流比语音流早 170s 达到饱和的缺陷,保证了公平性。图 4、图 5 还说明,网络负载较重时,由于数据业务可以释放信道,语音流比系统较晚饱和,且在条件(2)比条件(3)晚 170s 达到饱和,同理,视频流也比系统较晚饱和,且条件(2)比条件(3)晚 60s 达到饱和。图 6 为 3 个系统数据通过率之比,可以看到三者都是先增大,到达峰值后逐渐减小,直至稳定。这是因为网络负载较轻时,数据业务可被及时接纳;当网络饱和后,数据业务释放信道,直至最低限。同时可以看到:条件(2)比条件(3)推迟 60s 到达饱和,对于条件(1),自适应带宽预留机制使得当网络负载加重时,数据业务更快地释放信道,并拿出一定带宽用以解决视频业务负载过大问题。

结束语 本文提出了基于跨层的自适应预留带宽和具有多重 QoS 保证的 802.11eEDCA 动态分布式流接纳控制。在建议的机制中,通过 OFDM 子载波比特分配,信道频谱效率达到最大,提高了资源利用率;通过分布式测量的动态带宽预留,实现了自适应信道和业务特征的带宽分配;通过半模式化的中心控制的剩余因子估计方法,克服了直接测量的不准确性和分布式测量的局部性并使计算复杂度降低;带宽和碰撞率双重接纳标准使带宽、时延、误帧率等多重 QoS 参数得到了保证。

参考文献

- [1] IEEE 802.11 WG. Draft Supplement to Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications[S]. MAC Enhancements for QoS, IEEE Std 802.11e/D4.3, May 2003
- [2] Yang Xiao, Li Hai-zhon. Voice and Video Transmissions with Global Data Parameter Control for the IEEE 802.11e Enhanced Distributed Channel Access[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2004, 15(11): 1041-1053
- [3] Gavini K K, Apte V, Iyer S. PLUS-DAC: A Distributed Admission Control Scheme for IEEE 802.11e WLANs[C] // 13th IEEE International Conference on Networks. Nov. 2005, 1:6
- [4] Zhang Li-qiang, Zeadally S. HARMONICA: Enhanced QoS Support with Admission Control for IEEE802.11 Contention-based Access[C] // Proceedings of the 10th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS'04). 2004: 64-71
- [5] Pong D, Moors T. Call Admission Control for IEEE 802.11 Contention Access Mechanism[C] // GLOBECOM. 2003: 173-178
- [6] Zhu Jiang, Fapojuwo A O. A New Call Admission Control Method for Providing Desired Throughput and Delay Performance in IEEE802.11e Wireless LANs[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(2): 701-709
- [7] Rashwand S, Mišić J. IEEE 802.11e EDCA Under Bursty Traffic—How Much TXOP Can Improve Performance[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(3): 1009-1115
- [8] Assi C M, Agarwal A, Liu Yi. Enhanced Per-Flow Admission Control and QoS Provisioning in IEEE 802.11e Wireless LANs[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(2): 1077-1088
- [9] Chou C-T, Shankar S N, Shin K G. Achieving Per-Stream QoS with Distributed Airtime Allocation and Admission Control[J]. IEEE 802.11e Wireless LANs, INFOCOM 2005. March 2005, 3: 1584-1595
- [10] Wong C Y, Cheng R S. Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit, and Power Allocation[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1999, 17(10): 1747-1758
- [11] Wang I C, Shen Z. A Low Complexity Algorithm for Proportional Resource Allocation in OFDMA system[C] // SIPS. 2004: 1-6
- [12] Bala E, Cimini L J. Low-Complexity and Robust Resource Allocation Strategies for Adaptive OFDMA[C] // SIPS. 2005: 176-180
- [13] Weeraddana P C, Codreanu M, Latva-Aho M. Resource Allocation for Cross-Layer Utility Maximization in Wireless Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(6): 2790-2811
- [14] Kong Z, Tsang D H K, Bensaou B, et al. Performance analysis of IEEE 802.11e contention-based channel access[J]. IEEE J. on Select. Areas. Commun., 2004, 22(10): 2095-2106
- [15] Banchs A, Serrano P, Vollero L. Providing Service Guarantees in 802.11e EDCA WLANs with Legacy Stations[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(8): 1057-1071
- [11] Karl H, Willig A. Protocols and architectures for wireless sensor networks[M]. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd, 2005: 374-375
- [12] Deb K, Pratap A, Agarwal S, et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II[J]. IEEE Transaction on Evolutionary Computation, 2002, 6(2): 182-197

(上接第 118 页)

- [9] Rappaport T S. Wireless communications: principles and practice (second edition)[M]. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002: 104-106
- [10] Li Y, Song Y-Q, Schott R, et al. Impact of link unreliability and asymmetry on the quality of connectivity in large-scale sensor networks[J]. Sensors, 2008, 8(10): 6674-6691