

支持多优先级的无线自组织网接纳控制方案

白翔, 毛玉明

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】提出了一种适用于无线自组织网的多优先级接纳控制(admission control)方案。基于单跳自组织网络的带宽分配,推算了带宽预测函数和保证已接入流服务质量(QoS)的带宽上限值,为不同接入等级的业务提供接纳控制。该方案能保证网络中实时业务流的QoS,防止由于流数的增加导致QoS降级,同时也保证尽力而为业务能分享信道的剩余带宽。仿真结果验证了接纳控制方案的有效性。

关键词 接纳控制; 自组织网络; 服务质量; 饱和状态; 准饱和状态
中图分类号 TN924+.1 **文献标识码** A

Admission Control Scheme for Multi-Priority in Self-Organized Networks

BAI Xiang and MAO Yu-ming

(School of Communication and Information Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract In this paper, we present a novel admission control scheme for multi-priority self-organized networks. Based on bandwidth allocation scheme, we calculate the bandwidth prediction function and two upper bounds that guarantee the quality of service (QoS) of admitted real-time flows. The proposed scheme protects the throughput of active flows and prevents QoS degradation due to flow's number increases. Simulation results show the proposed admission control is feasible.

Key words admission control; organized networks; quality of service; saturated state; semi-saturated state

IEEE 802.11e在IEEE 802.11的基础上加入了QoS的相关内容,它引入了EDCA(enhanced distributed channel access),该机制结合帧间隔(IFS)和后退算法来提供业务区分服务。对EDCA的仿真研究^[1-3]表明:基于业务区分的EDCA是非常高效的信道接入机制,高优先级业务能获得更高的吞吐量和更低的接入时延。然而网络过载情况下,高优先级业务虽然仍能优先获得带宽,但是QoS明显降级,同时低优先级业务很容易被高优先级业务“饿死(starvation)”^[4-8]造成严重的不公平性。因而有必要在业务区分机制的基础上引入接纳控制机制,保证实时业务的服务质量和信道接入的公平性,防止由于流数的增加引起的QoS降级。

本文基于单跳Ad hoc网络的带宽分配^[9],提出了适用于Ad hoc网络的多优先级接纳控制方案,其主要特点是:(1)网络中已存在的实时业务流的吞吐量不会因为新流的接入而造成降级。(2)较高优先级的

业务流能接入信道而占用满足QoS的带宽,即导致低优先级的实时业务和尽力而为业务吞吐量降级。

(3)尽力而为业务在不影响实时业务流的情况下接入信道,占用信道的剩余带宽。经过仿真分析,提出的接纳控制方案体现了上述3个特点,具有很好的接纳控制功能。

1 单跳Ad hoc网络的带宽分配

1.1 节点状态

网络中的饱和节点总是有数据发送的,发送队列时时处于满状态,而非饱和节点发送队列时时处于空状态。网络中节点的带宽分配与竞争节点的状态和网络中的拥塞程度相关。设 s_i 为节点 i 的带宽分配量; p_i 为节点 i 在一个时隙内成功发送数据的概率; $s_{i,sat}$ 和 $s_{i,nsat}$ 分别表示饱和与非饱和节点分配的带宽; w_i 和 L_i 分别表示节点的最小竞争窗和包长。对饱和节点 i 有^[7]:

收稿日期:2007-01-19;修回日期:2007-05-12

基金项目:国家“863”高技术研究发展计划基金(2005AA123820)

作者简介:白翔(1977-),男,博士生,主要从事无线局域网、Ad hoc网络和无线接入控制方面的研究。

$$\begin{aligned}
 p_{i,\text{sat}} &= (\tau_{i,\text{sat}} / 1 - \tau_{i,\text{sat}}) \prod_{j=1}^n (1 - \tau_j) \\
 \tau_{i,\text{sat}} &= 2(1 - 2\phi_i) / [(1 - 2\phi_i)(w_i + 2) + \\
 &\quad \phi_i(w_i + 1)(1 - (2\phi_i)^{m_i})] \quad (1)
 \end{aligned}$$

式中 ϕ_i 为节点发生碰撞的概率; τ_i 为节点在时隙内发送数据的概率; m_i 是重传次数, n 为网络中节点数。可以推导节点 i 分配的最大饱和带宽为:

$$s_{i,\text{sat}} = p_{i,\text{sat}} L_i \sum_{j=1}^n s_j / \left(\sum_{j=1}^n p_j L_j \right) \quad (2)$$

如果节点的负载量 $R_i L_i > s_{i,\text{sat}}$, 说明节点负载大于网络能分配给它的最大带宽, 此时节点饱和。而非饱和节点由于其发送队列时时为空, 因而带宽分配实际就是其负载量, 对非饱和节点有:

$$\begin{aligned}
 s_{i,\text{sat}} &= R_i L_i; \quad s_{i,\text{sat}} \leq s_{i,\text{sat}}; \quad p_{i,\text{sat}} < p_{i,\text{sat}}; \\
 p_{i,\text{sat}} &= \frac{R_i \sum_{j=1}^n p_j L_j}{\sum_{j=1}^n s_j} \quad (3)
 \end{aligned}$$

1.2 网络状态

根据节点中业务类型和负载情况, 网络可以分为3种状态: 饱和、非饱和与准饱和。饱和状态的网络所有节点都饱和; 非饱和状态的网络中没有饱和节点; 饱和与非饱和节点共存属于准饱和网络。实际的Ad hoc网络处于上述3种状态之一。

1.3 带宽分配

考虑网络中饱和节点数为 n_1 , 非饱和节点数为 n_2 , 则 $n_1 \cup n_2 = n$, 有 $\sum_{i=1}^n s_i \approx c$, 其中 c 为信道带宽。饱和节点的负载量 $R_i L_i > s_{i,\text{sat}}$, 否则为非饱和节点。由式(2)和式(3)可以推导 $s_{i,\text{sat}} = L_i c / \eta w_i$, 其中 $\eta = \sum_{i \in n_1} (L_i / w_i) / \left[1 - \sum_{i \in n_2} (R_i L_i / c) \right]$, η 体现了网络拥塞程度。可以看出: η 增加, $s_{i,\text{sat}}$ 减小, 意味着网络中有更多的节点负载量 $R_i L_i$ 大于 $s_{i,\text{sat}}$, 导致这些节点饱和。取临界值有 $R_i L_i = s_{i,\text{sat}}$, 可以推导 $\eta^* = c / R_i w_i$ 。如果有 $\eta_{x_k}^* \leq \eta(k) < \eta_{x_{k+1}}^*$ ($\eta_{x_1}^* \leq \eta_{x_2}^* \leq \eta_{x_3}^* \leq \dots \leq \eta_{x_n}^*$), 则节点 x_1, x_2, \dots, x_k 为饱和节点, 节点 $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n$ 为非饱和节点。

上述的带宽分配算法可以决定各个网络状态中每个节点的带宽分配情况:

网络饱和: $s_i = L_i c / \eta w_i$ 。网络非饱和: $s_i = R_i L_i$ 。网络准饱和: 如果 $i \in n_1$, 则 $s_i = L_i c / \eta w_i$; 如果 $i \in n_2$,

则 $s_i = R_i L_i$ 。

2 接纳控制

2.1 u_{new} 与 η 值的关系

假定新流的负载量为 $u_{\text{new}} = R_{\text{new}} L_{\text{new}}$, 当节点 V 接入新流后, 此时网络中的 η 可以表示为:

$$\eta = \sum_{i=1}^k (L_i / w_i) / \left[1 - \sum_{i=k+1}^n (R_i L_i / c) - (u_{\text{new}} / c) \right], \text{通过上式解出带宽预测函数:}$$

$$u_{\text{new}} = c \left(1 - \sum_{i=k+1}^n \frac{R_i L_i}{c} - \frac{1}{\eta} \sum_{i=1}^k \frac{L_i}{w_i} \right) \quad (4)$$

式中 $\eta_{x_k}^* < \eta < \eta_{x_{k+1}}^*$, 图1给出了 u_{new} 与 $1/\eta$ 之间的线性关系。 u_{new} 越大, $1/\eta$ 越小, 当 $1/\eta$ 小于某个节点的临界值 $1/\eta^*$ 时, 该节点进入饱和状态, 这时新流的接入占用带宽导致此节点上业务流吞吐量下降。

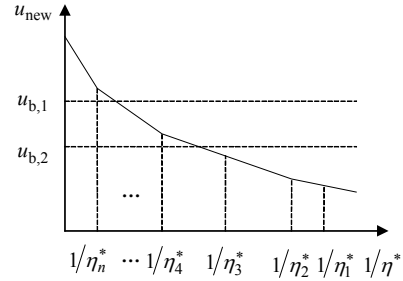


图1 u_{new} 与 $1/\eta^*$ 的关系

2.2 u_{new} 上限值与接纳控制

根据 u_{new} 的带宽预测函数可以计算2个上限值, 它们是网络在保证QoS的情况下能分配给新接入流的最大带宽。第一个上限值 $u_{b,1}$ 与网络中已存在的业务流的优先级相关, 接纳控制方案要求流的接入不能导致网络中已存在的相同级别或更高级别的流发生QoS降级。基于此, 利用带宽预测函数可以得到 $u_{b,1}$ 的表达式为:

$$u_{b,1} = c \left(1 - \sum_{i=r}^n \frac{R_i L_i}{c} - \frac{1}{\eta_r^*} \sum_{i=1}^{r-1} \frac{L_i}{w_i} \right) \quad (5)$$

式中 x_r 的业务流与新流具有相同级别或更高级别。如果新流的接入导致网络的 $1/\eta$ 小于 $1/\eta_{x_r}^*$, 就会引起节点 x_r 的饱和, 造成该节点上的较高级别业务流吞吐量下降。因此 $1/\eta$ 必须大于 $1/\eta_{x_r}^*$, 根据带宽预测公式要求 $u_{\text{new}} < u_{b,1}$ 。

第二个上限值 $u_{b,2}$ 与要接入流的节点本身饱和和门限相关。当节点 V 接入新流后, 节点的饱和门限 η_v^* 变为: $\eta_v^* = c / R_v w_v = c / (R_{\text{new}} + R_{v,\text{old}}) w_v$, 其中 R_{new} 是新接入流的负载。可以看出 R_{new} 增加, η_v^* 减小。同时 u_{new} 增大, 整个与网络拥塞程度相关的 $1/\eta$ 减小,

$1/\eta$ 可能会最先达到 $1/\eta_v^*$ 的门限,导致节点 V 进入饱和状态,这样由于节点 V 的饱和,新接入的流达不到要求的带宽,上限值 $u_{b,2}$ 为:

$$u_{b,2} = c \left(1 - \sum_{i=v}^n \frac{R_{x_i} L_{x_i}}{c} - \frac{1}{\eta_v^*} \sum_{i=1}^{v-1} \frac{L_{x_i}}{w_{x_i}} \right) \quad (6)$$

式中 $x_v = V$,且 $\eta_{x_{v-1}}^* < \eta_v^* < \eta_{x_{v+1}}^*$ 。设置此门限的目的是防止新流的接入导致节点本身饱和。图1显示了两个上限值 $u_{b,1}$ 和 $u_{b,2}$ 。两个上限值决定了新流是否能接入信道:网络中的节点根据接入流的负载和优先级情况执行接纳控制,利用式(4)计算 $u_{b,1}$ 和 $u_{b,2}$,如果 u_{new} 大于 $u_{b,1}$,则新接入的流会降低网络中同优先级或更高优先级流的吞吐量。如果 u_{new} 大于 $u_{b,2}$,那么新接入的流不能获得自身所要求的带宽,因为接入流的节点饱和。两种情况接纳控制机制都拒绝新流的接入,只有当 u_{new} 小于2个上限时,新流才被允许接入信道。

接纳控制方案中尽力而为业务的接入与实时业务的接入不同。实时流的接入要求不能影响已存在的实时流的QoS;尽力而为业务的接入要求不影响已存在实时流的QoS,同时可与已存在的低优先级流分享信道的剩余带宽,因为尽力而为业务对时延和带宽要求不敏感。同样依据带宽预测函数可以计算接入尽力而为业务流的带宽上限:

$$u'_{b,1} = c \left(1 - \sum_{i=r}^n \frac{R_{x_i} L_{x_i}}{c} - \frac{1}{\eta_r^*} \sum_{i=1}^{r-1} \frac{L_{x_i}}{w_{x_i}} \right) \quad (7)$$

式中 x_r 是承载实时业务的节点,即接入的低优先级流不得影响实时流的吞吐量。

3 仿真实验与结果分析

仿真工具使用NS2的2.29版本^[10],在Red Hat 9.0平台上仿真。仿真场景如图2所示,图中flow0~flow3表示业务流的接入顺序。

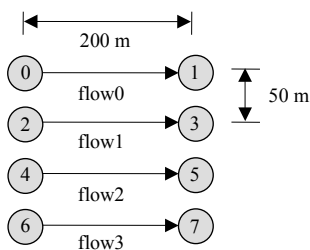


图2 仿真拓扑结构

业务流采用Video和Background类型,其流参数如表1所示。

表1 业务流参数

流类型	包长度 /byte	包间隔 /s	负载 /kb·s ⁻¹	队列 长度	优先 级别
Video	1 300	0.02	520	50	AC3
Background	800	0.02	320	50	AC1

MAC协议采用基于业务区分的IEEE802.11e,信道带宽为2 Mbps,仿真时间为80 s。仿真分3种情况:

(1) 每隔5 s连续接入Video流,图3a和图4显示了仿真结果:15 s以后新接入的流使得网络进入饱和状态,导致已接入的实时流吞吐量下降,这时4个流平等分配网络带宽。而在接纳控制情况下,在15 s时节点6拒绝了新流的接入,保证了已接入流的吞吐量,如图3b所示。

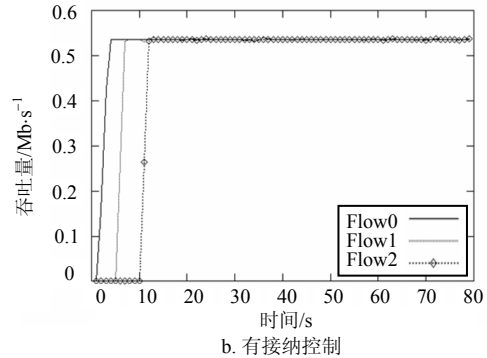
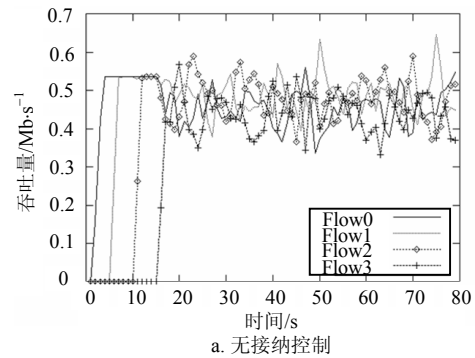
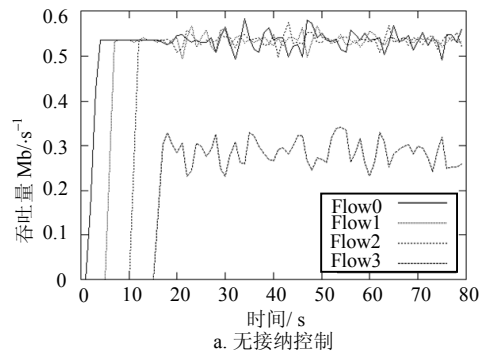


图3 每隔5 s连续接入Video流



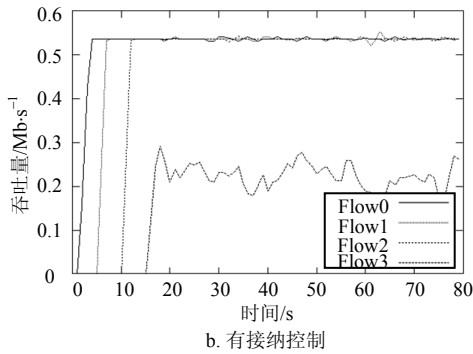


图4 接入的前3个流为Video流

(2) 连续接入的前3个流仍为Video流, 从15 s开始接入Background业务, 图4a和图4b显示了仿真结果: 在无接纳控制情况下, 高优先级的实时流虽然仍能占用大部分带宽, 但在Background流的影响下发生了QoS降级。图4b的接纳控制方案能够保证已接入的Video流不发生QoS降级, 同时让Background流占用信道的剩余带宽。

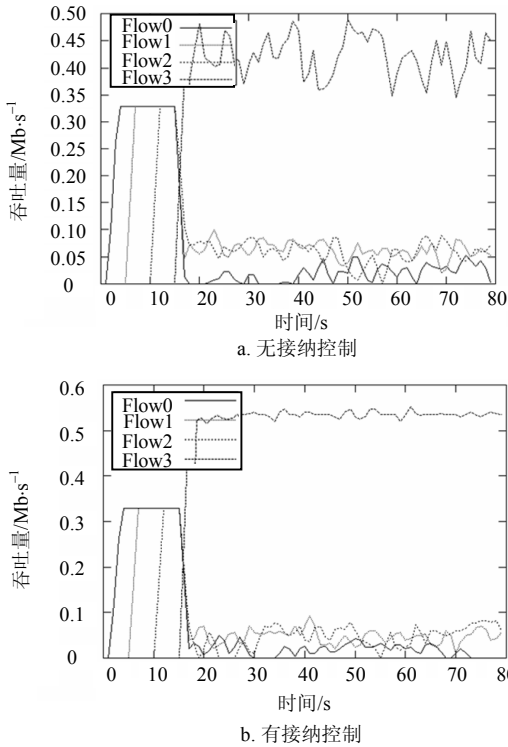


图5 接入的前3个流为Background流

(3) 连续接入的前3个流为Background流, 从15 s开始接入Video业务, 图5a和图5b显示了仿真结果: 新接入的实时流造成了低优先级业务流的吞吐量下降, 占用了信道大量带宽, 但是网络的带宽分配仍然不能满足新接入流所要求的带宽, 造成新接入的实时流QoS降级。而在采用接纳控制的情况下, 新接入的实时流占用大量带宽满足了所要求的传输速率, 同时也造成了低优先级流的吞吐量下降, 但是仍然占有信道的剩余带宽。从以上3种情况下的仿真

可以看出, 接纳控制的目的就是为了防止实时业务的QoS在新接入流的影响下发生降级。网络中每个节点依据网络状态独立执行接纳控制机制而决定是否接入新流, 因而适用于具有完全分布式特点的Ad hoc网络。

4 结束语

Ad hoc网络的接纳控制机制是研究支持QoS的MAC协议的热点问题, 现有的大多数方案都是基于WLAN中的BSS模式, 由AP来实施接纳控制, 而并不适用于Ad hoc模式。本文在带宽分配算法的基础上提出的适用于单跳Ad hoc网络的接纳控制方案, 能够保证网络中实时业务的QoS, 防止由于流数的增加导致QoS降级, 同时也保证了尽力而为业务能分享信道的剩余带宽。此方案是在单跳Ad hoc网络的基础上提出的, 下一步研究的重点是依据多跳Ad hoc网络的特点, 将其扩展到多跳Ad hoc网络。

参 考 文 献

- [1] Dajiang He, Charles She. Simulation Study of IEEE802.11e EDCF[C]//Proc of the 57th IEEE Semiannual Vehicular Technodgy Conference. Jeju, Korea: [s.n.], 2003: 685-689.
- [2] FERRE P, DOUFEXI A. Throughput analysis of IEEE802.11 and IEEE802.11e MAC[C]//IEEE Communications Society, WCNC 2004. Atlanta: [s.n.], 2004, 2: 783-788.
- [3] XIAO Y. Protection and guarantee for voice and video traffic in IEEE802.11e Wireless LANs[C]//Proc of IEEE INFOCOM 2004, HongKong: [s.n.], 2004: 2153-2163.
- [4] PONG D and MOOR T. Call admission control for IEEE802.11 contention access mechanisms[C]//Proc of IEEE Globecom. San Francisco: IEEE Press, 2003, 6: 174-178.
- [5] ADLEN K, ABDELHAK. A new IEEE802.11 MAC protocol with admission control for sensitive multimedia applications[C]//Proc of Globecom'05. Montreal: [s.n.], 2005: 186-195.
- [6] VALAEE S, LI Bao-chun. Distributed call admission control for Ad hoc networks[J]. IEEE Trans on Multimedia, 2002, 3: 1244-1248.
- [7] ZIOUNA E, ANTONAKOPOULOUS T. CSMA/CA performance under high traffic conditions: throughput and delay analysis[J]. Computer and Communications, 2002, 25: 313-321.
- [8] GE Y, HOU J. An analytical model for service differentiation in IEEE 802.11[C]//Proc of IEEE ICC 2003, Ottawa. Canada: [s.n.], 2003, 2: 1157-1162.
- [9] YANG Ya-ling, KRAVETS R. Achievable bandwidth prediction in multihop wireless networks[R]. Illinois: UIUCDCS-R-2003-2367 2003.
- [10] KE C H. NS2.[EB/OL]. [2006-09-01]. <http://140.116.72.80/~smallko/ns2/ns2.htm>.

编辑 张俊