

IEEE 802.11 中基于传输时间的接纳控制算法研究¹

苟定勇 刘刚 吴诗其

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

摘要: 在 IEEE 802.11 无线局域网中引入基于传输时间的实时业务接纳控制算法, 当新申请的业务加入系统后使系统总的传输时间超过预算时, 拒绝该业务加入。对已接纳的业务流按照令牌桶算法分配传输时间, 并采用轮询机制保证实时业务的服务质量。通过拒绝接纳过多的实时业务流, 为非实时业务留出部分资源, 避免了实时业务耗尽系统资源使非实时业务得不到服务的情况。

关键词: IEEE 802.11, 服务质量, 接纳控制, 轮询

中图分类号: TN919.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2004)12-1972-06

Performance Evaluation of Transmission Time Based Admission Control in IEEE 802.11

Gou Ding-yong Liu Gang Wu Shi-qi

(School of Communication and Info. Eng., UEST of China, Chengdu 610054, China)

Abstract In this paper, a transmission time based admission control algorithm in IEEE 802.11 wireless LANs is proposed. When a new real-time flow requests to be admitted to the system, the Access Point (AP) evaluates whether the new flow will overrun the system transmission time budget. For the admitted flow, the AP adopts a token bucket to allocate the transmission time and polls the flow regularly, so the quality of service of the flow will be guaranteed. Furthermore, by means of excluding extra real-time flows, some wireless resources will be left for non-real-time services. The fairness of wireless resources sharing will be satisfied.

Key words IEEE 802.11, Quality of service, Admission control, Polling

1 引言

现有的 IEEE 802.11 无线局域网主要为非实时的数据业务提供服务, 没有提供服务质量的控制机制^[1]。802.11b 能够达到的传输速率为 11 Mbps, 随着无线技术的发展, 其他的标准如 IEEE 802.11a 和 IEEE 802.11g 的制定及实施, 物理层信道传输速率可以达到 54 Mbps。在这种情况下在无线局域网中引入实时的多媒体业务是一种必然的趋势。为了适应这一趋势, IEEE 802.11e 工作组正在对 IEEE 802.11 无线局域网的媒体访问控制 (Medium Access Control, MAC) 协议进行扩展, 以提供服务质量控制能力。

在 802.11e 标准的草案中, 增强型分布协调功能 (Enhanced Distributed Coordination Function, EDCF) 对原有 MAC 协议中基本的 DCF 功能进行了增强。EDCF 通过将业务按照优先级分成不同的接入类 (Access Category, AC), 对不同接入类的业务采用不同的竞争窗口 (Contention Window, CW) 以及仲裁帧间间隔 (Arbitration Interframe Space, AIFS), 使得高优先级的业务可以优先竞争得到信道, 从而实现业务区分^[2-5]。但是 EDCF 这种基于竞争的信道获得方式仍然不能对实时业务提供足够的 QoS(Quality of Service) 保证, 当系统处于重负荷时, 大量的竞争冲突和退避延迟使得实时业务的时延、抖动、带宽等关键性能参数得不到保证。并

¹ 2003-07-13 收到, 2003-12-15 改回

且当实时业务过多时,低优先级的非实时业务得到的带宽严重不足,丧失了共享资源的公平性^[4]。因此,在 IEEE 802.11 无线局域网中引入接纳控制,对实时业务采用基于轮询机制的混合协调功能 (Hybrid Coordination Function, HCF),可以在服务质量和公平性之间取得折中^[4,5]。

2 基于传输时间的接纳控制算法

总体上说,接纳控制本身由各个设备商或者运营商的调度器实现方式、可用信道容量、链路状况、重传限制以及对给定业务参数 (Traffic SPECification, TSPEC) 的调度要求等决定。IEEE 802.11e 工作组只是负责制定协议标准,定义相关的参数格式等。标准本身并不规定如何根据 TSPEC 提供的业务特性参数进行接纳控制,接纳控制算法实现问题由设备商或者运营商自行决定^[5]。

在本文所研究的 IEEE 802.11 无线局域网中,包含一个支持 QoS 的接入点 (Access Point, AP),该接入点负责与有线网络互连和执行 HCF 的轮询功能,称之为 QAP/HC。相应的支持 QoS 的终端站点 (STation, STA) 称之为 QSTA。IEEE 802.11 的各个节点共享无线信道,存在多种物理信道速率,在任何一个时刻至多只能有一个节点处于发送状态,否则引起信道冲突。由于这种信道分配与时间的关系以及服务质量与时间的关系,本文提出一种基于传输时间的接纳控制算法,对每个实时业务流执行接纳控制。被系统接纳的实时业务流加入轮询列表中,由 QAP/HC 周期性地轮询,因此其服务质量可以得到保证。同时,实时业务占据的信道资源由 QAP/HC 控制,被系统拒绝的实时业务流得不到传输,对非实时业务可以保证一定的资源共享的公平性。接纳控制本身是一种宏观控制措施,本文还配合采用了令牌桶算法进行业务流传输时间的分配,在微观上进行控制。

设超帧 (Super Frame, SF) 周期为 T_{SF} ,其中无竞争期 (Contention-Free Period, CFP) 持续时间为 T_{CFP} ,其余时间为竞争期 (CP),由 EDCF 方式使用,如图 1 所示。设短帧间间隔 (Short InterFrame Space, SIFS) 时间为 $aSIFSTime$,物理层汇聚协议 (Physical Layer Convergence Protocol, PLCP) 的开销 (时间) 为 T_{PLCP} 。设 MAC 报头比特数为 B_M ,对于一个比特数为 B_S 的 MAC 载荷 MSDU (MAC Service Data Unit),在物理信道速率为 R_p 时传输需要的时间为

$$T_S = aSIFSTime + T_{PLCP} + (B_S + B_M)/R_p \quad (1)$$

设业务流服务时间间隔 (Service Interval, SI) 为 T_{SI} ,数据速率为 R_d ,则在每个服务时间间隔内产生的 MSDU (MAC Service Data Unit) 数目为 N :

$$N = \lceil R_d \cdot T_{SI} / B_S \rceil \quad (2)$$

因此在 T_{SI} 时间内需要给该业务流分配的传输时间为 $N \cdot T_S$,如果将应答等消息的开销算在系统开销内,那么在每一个服务时间间隔 T_{SI} 内该业务流需要的传输时间以传输机会 (Transmission Opportunity, TXOP) 表示为

$$TXOP = \lceil R_d T_{SI} / B_S \rceil \cdot [aSIFSTime + T_{PLCP} + (B_S + B_M)/R_p] \quad (3)$$

本文提出的接纳控制算法是针对单个业务流进行的,而不是基于每个站点。对于实时业务流,由 QSTA 或者通信对端传递业务参数集 TSPEC^[5],向 QAP/HC 申请将该业务流加入轮询列表。该参数集包括业务的流标记、接入类别、平均速率、峰值速率、物理信道速率、服务时间间隔等。由于基于传输时间的接纳控制算法本身需要和传输时间分配算法以及分组调度算法进行配合才能完成服务质量控制,本文采用了令牌桶算法进行传输时间分配并控制分组调度。不同于一般的令牌桶算法,本文的令牌桶算法是针对传输时间而言,令牌生成速率实际上是单位调度时间间隔 T_{SF} 内业务流传输机会 (TXOP) 的增量。而令牌桶的桶深即 $TXOP_limit$ (不包

括应答等开销), 为一个 T_{SF} 内业务流传输机会的最大值。业务流每传输一个 MAC 分组, 从令牌桶中减去相应的传输时间, 如果桶中剩余的传输时间不足以传输一个 MAC 分组, 则该分组被延迟到有足够的传输时间为止。

在业务分类方面, 认为 AC3 类业务通常是恒比特率业务 (可以有 ON-OFF 特性, 如语音), 对于 AC2 类业务, 通常用于视频等可变比特率业务。在实施接纳控制和计算令牌生成速率时, 对 AC3 类业务使用峰值速率进行计算, 对 AC2 类业务使用平均速率进行计算。在计算桶深时, 对 AC3 和 AC2 两类业务流均使用峰值速率进行计算。

设平均数据速率为 R_{DM} , 峰值数据速率为 R_{DP} , 在每一个调度时间间隔 T_{SF} 内, 令牌增加为 $T_B = N \cdot T_S \cdot T_{SF} / T_{SI}$ 。对于 AC3 类业务, 令牌增加为

$$T_B[AC3] = \lceil R_{DP} \cdot T_{SI} / B_S \rceil \cdot [aSIFSTime + T_{PLCP} + (B_S + B_M) / R_p] \cdot T_{SF} / T_{SI} \quad (4)$$

对于 AC2 类业务, 令牌增加为

$$T_B[AC2] = \lceil R_{DM} \cdot T_{SI} / B_S \rceil \cdot [aSIFSTime + T_{PLCP} + (B_S + B_M) / R_p] \cdot T_{SF} / T_{SI} \quad (5)$$

考虑到视频流等非对称业务, QAP/HC 计算令牌增加时, 将每个业务流上下行分开计算, 即 $T_{B|UL}$ 和 $T_{B|DL}$ 。设系统在第 k 个 T_{SF} 内的无竞争期持续时间为 $T_{CFP}(k)$, 在进行接纳控制判决时, 使用平均持续时间 $T_{CFP}(\text{mean}, k)$ 。该参数由 M 节 FIR 滤波器平滑后得到, 以适应语音激活等 ON-OFF 特性:

$$T_{CFP}(\text{mean}, k) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^M T_{CFP}(k - i) \quad (6)$$

在一个 T_{SF} 时间内, 增加新的业务流后总的 CFP 持续时间为

$$T_{CFP}(\text{new}) = T_{B|UL} + T_{B|DL} + T_{CFP}(\text{mean}, k) \quad (7)$$

设接纳门限为 T_{th} , 也就是系统划分给无竞争期持续时间的预算值。当 $T_{CFP}(\text{new}) \leq T_{th}$ 时, 接纳该业务流, 否则拒绝该业务流。根据系统内实时业务和非实时业务对资源的需求状况, 接纳门限参数可以在管理信息库 (Management Information Base, MIB) 中进行动态调整, 进一步平衡服务质量、公平性、整体传输效率、运营商收益之间的关系。QAP/HC 对已经接纳的业务流按照优先级依次轮询, 即首先调度 AC3 类业务, 完成之后再调度 AC2 类业务。注意这里的轮询是基于单个业务流而不是单个 QSTA。当调度结束时 QAP/HC 使用 CFP-End 帧通知 CFP 结束, 以便系统进入竞争期 CP, 各个节点的非实时业务可以使用 EDCAF 规则竞争信道, 如图 1 所示。

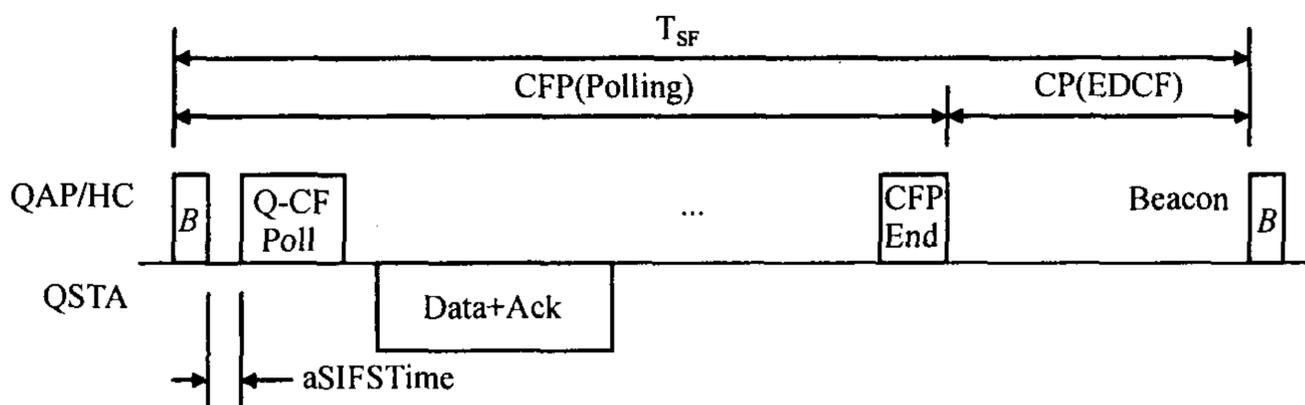


图 1 超帧结构示意图

3 仿真及结果

本文针对语音业务和视频流业务的接纳控制进行仿真, 为了方便, 本文称从 QAP/HC 到 QSTA 的链路为下行, 从 QSTA 到 QAP/HC 的链路为上行. 假定语音业务采用 GSM 蜂窝系统的话音编码方式, 净编码速率为 13 kbps, 帧速率为 50 帧/s. 语音激活期服从均值为 0.35 s 的指数分布, 静默期服从均值为 0.65 s 的指数分布, 因此激活因子为 0.35. 相比较而言, 视频业务的业务模型很复杂, 难以采用单一的参数进行描述, 但是通常认为视频是可变比特率业务, 峰值速率对平均速率比值大约在 1.3 到 2.4^[6]. 本文假定视频流业务主要流量集中在下行, 帧速率为 25 帧/s, 帧平均大小为 1200 byte, 最大为 2300 byte, 平均速率 256 kbps, 峰值速率为 460 kbps. 流媒体业务上行 (接收质量反馈信息) 流量为 0.2 帧/s, 每帧 52 byte. 在考虑增加 8 byte 的 UDP 报头和 20 byte 的 IP 报头开销之后, 相应的接纳控制参数 TSPEC 如表 1 所示.

表 1 两类实时业务的 TSPEC 参数

业务参数	接入类别 AC	MSDU 大小 B_S (bit)	服务时间间隔 T_{SI} (ms)	平均速率 R_{DM} (kbps)	峰值速率 R_{DP} (kbps)
语音上行	3	488	20	24.4	24.4
语音下行	3	488	20	24.4	24.4
视频流上行	2	640	5000	0.128	16
视频流下行	2	9600	40	256	460

仿真模型采用 IEEE 802.11b 的物理层参数, 基本信道速率为 1 Mbps, 用于控制信息传输, 正常的业务信道速率采用 11 Mbps, T_{PLCP} 时间为 192 μ s, aSIFSTime 为 10 μ s^[7]. 仿真分为 3 个场景: 场景 1(SC1) 为不采用语音激活的话音业务流接纳控制, 场景 2(SC2) 为采用语音激活的话音业务流接纳控制, 场景 3(SC3) 为流式视频业务流的接纳控制. 场景 SC1 和 SC2 的 T_{SF} 周期为 20 ms, 场景 SC3 的 T_{SF} 周期为 40 ms. 由于动态调整接纳门限是一个相当复杂的问题, 为了定量地衡量接纳控制算法的性能, 本文仿真采用的接纳门限 T_{th} 均固定设置为 $0.5T_{SF}$. 另外, 在对式 (6) 中的 $T_{CFP}(\text{mean}, k)$ 进行估计时, 滤波器节数 M 取值为 32. 由于本文主要研究对实时业务流的接纳控制, 因此没有仿真 EDCF 的性能, 在仿真过程中忽略了 EDCF 造成的信标抖动.

仿真结果如图 2 到图 5 所示. 图 2 是 3 种仿真场景下系统接纳的实时业务流数量对比, 接纳流数分别为 12, 14, 16. 在所给定的接纳门限预算 $0.5T_{SF}$ 下, 3 种场景下的 MAC 实际平均有效吞吐能力分别为 683 kbps, 273 kbps, 3110 kbps, 注意这里没有包含 CP 期间非实时业务的流量. 对比图 2 中的 SC1 和 SC2, 采用语音激活后接纳的话音业务流增加只有 2, 仅增加了 14%. 设接纳的流数目为 L , 每一个业务流的上下行速率之和为 R_t , 定义 MAC 传输效率为 η , 用以衡量 MAC 传输载荷的效率:

$$\eta = L \cdot (R_t/R_p) \cdot (T_{SF}/T_{th}) \quad (8)$$

根据图 2 的仿真结果和相关业务参数设置进行计算, 得到 3 种仿真场景下的 MAC 传输效率 η 分别为 0.12, 0.05, 0.56. 由此可见, MAC 报头、PLCP 报头、帧间间隔、轮询和应答等开销极大地降低了低速率实时业务下的 MAC 传输效率. 也就是说, IEEE 802.11b 在支持低速率实时业务 (如语音) 方面效率低下, 与以语音业务为主的蜂窝系统相比有较大的差距. 根据仿真结果可以认为 IEEE 802.11b 更适合于视频等高速率实时业务或者非实时数据业务的传输.

图 3 是语音业务流情况下的无竞争期时间 (T_{CFP}) 相对于 T_{SF} 的比例, 与接纳控制的门限目标值 $0.5T_{SF}$ 吻合. 由于视频流业务是变比特率业务, 在接纳流数一定的情况下, 实际 T_{CFP} 所占的时间比例是动态变化的. 图 4 采用了累积分布函数 (Cumulative Distribution Function,

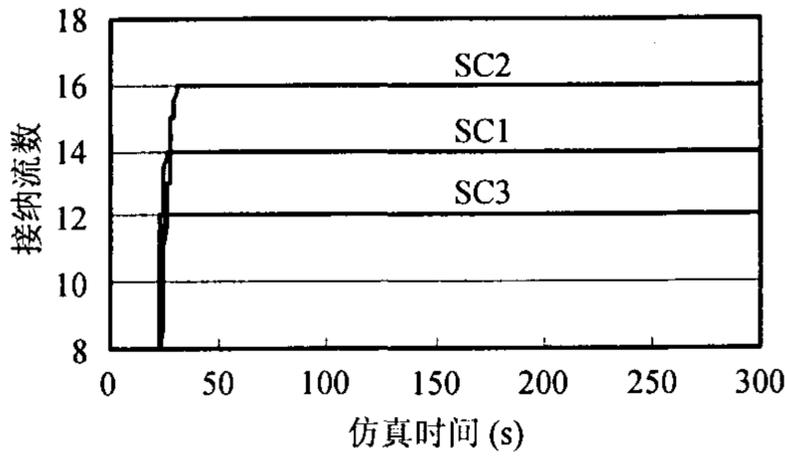


图 2 3 种场景下接纳业务流的数量

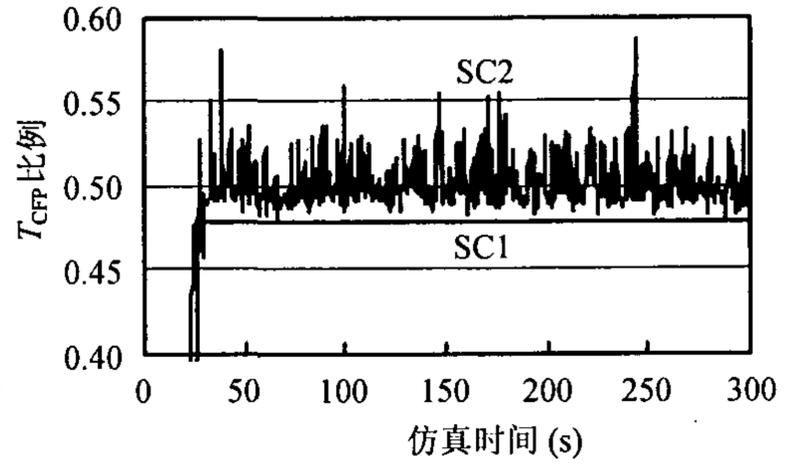


图 3 话音业务流下的 T_{CFP} 比例

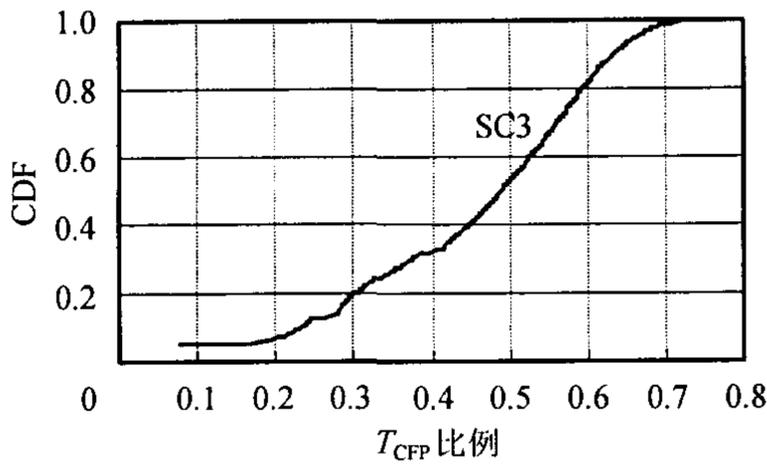


图 4 视频流业务下的 T_{CFP} 比例

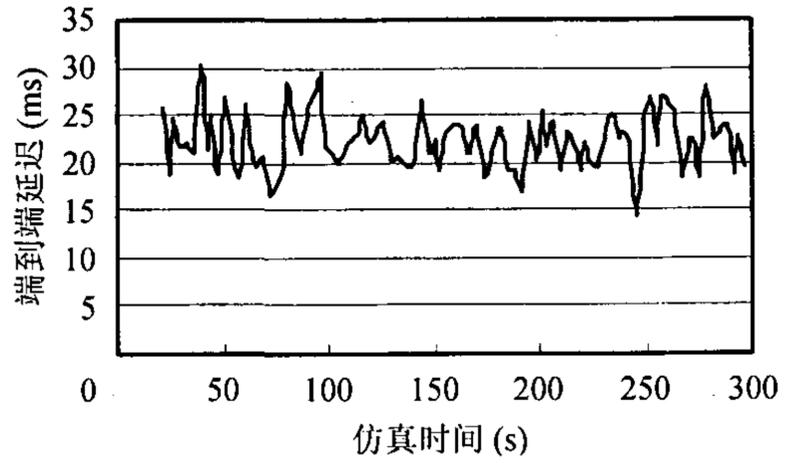


图 5 视频流业务端到端延迟

CDF) 来描述 T_{CFP} 的比例。根据仿真结果, T_{CFP} 比例小于 0.5 的概率约 0.5, T_{CFP} 比例小于 0.7 的概率约 0.99, 符合接纳控制门限设置。

话音业务采用峰值速率进行传输时间的分配, 而视频流业务采用平均速率进行传输时间分配。由于采用轮询机制, 被接纳的业务流服务质量能够得到保证。图 5 给出了视频流业务下行传输端到端延迟, 平均值约 23ms。由于话音业务流优先级更高, 调度周期更短, 端到端延迟比视频流业务更小, 故不再赘述。

IEEE 802.11 MAC 的 HCF 轮询机制和蜂窝系统的严格帧时间同步相比, 其实时性保证方面要差一些。因为在 CP 期间的数据帧传输会造成超帧起始时刻的时延和抖动, 加上业务本身的 ON-OFF 特性和帧重传也会影响业务流的轮询时刻, 因此实时业务的时延抖动相比蜂窝系统而言要大得多。时延抖动与系统负荷程度有关, 平均大约有数毫秒。可以在接收端加一个缓冲区, 缓解或者消除这种时延抖动, 这也是实际的 IP 电话系统所采用的方法。IEEE 802.11 的 HCF 机制对于满足话音或者视频流媒体等实时业务的 QoS 要求是没有问题的, 但是无法满足毫秒级时延和亚毫秒级时延抖动的实时业务的要求, 这是由 IEEE 802.11 MAC 信道访问方式的本质所决定的。

4 结论

本文提出一种 IEEE 802.11 无线局域网中基于传输时间的接纳控制算法, 并给出了相配合的传输时间分配和分组调度算法。仿真结果表明, 该算法能够有效地根据业务特性参数和接纳门限参数对实时业务流实施接纳控制, 不会产生过多的实时业务吞噬系统资源的情况。在相应分配和调度算法的支持下, 保证了实时业务的服务质量。另一方面, 通过仿真也表明了 IEEE 802.11 MAC 协议轮询机制及 802.11b 物理层在低速率实时业务传输方面效率低下, 可能更适合于高速率的实时业务或非实时业务传输。

参 考 文 献

- [1] ISO/IEC 8802-11: 1999(E) (ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition) Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
- [2] Mangold S, Choi S, May P, *et al.*. IEEE 802.11e Wireless LAN for quality of service. Proc. of European Wireless 2002, Florence, Italy, Feb. 2002. <http://www.ing.unipi.it/ew2002/>.
- [3] Truong H L, Vannuccini G. Performance evaluation of the QoS enhanced IEEE 802.11e MAC layer. The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference, 2003-Spring, Jeju, Korea, 2003: 940–944.
- [4] He Da-jiang, Shen C Q. Simulation study of IEEE 802.11e EDCAF. The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference, 2003-Spring, Jeju, Korea, 2003: 685–689.
- [5] IEEE P802.11. Wireless LANs Normative Text for TGe Consensus Proposal. Sept. 2002. <http://www.ieee802.org/11/Documents/DocumentHolder/2-604.zip>.
- [6] Kihong Park, Walter Willinger. Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation. New York, John Wiley & Sons, Inc. 2000: 285–316.
- [7] IEEE Std 802.11b-1999 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band.

苟定勇: 男, 1971 年生, 博士生, 主要研究方向为无线多媒体网络的服务质量.

刘 刚: 男, 1975 年生, 博士, 主要研究方向为卫星 IP 网络.

吴诗其: 男, 1938 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为卫星移动通信系统.