

DCF 传输 MPEG-4 视频流的研究

邹仕洪 林华生 程时端

(北京邮电大学交换技术与通信网国家重点实验室 北京 100876)

摘要: IEEE 802.11 无线局域网的基本接入方式是分布式协调功能 (DCF)。当无线局域网中的负载变大时, 采用 DCF 的站点可能在成功发送之前需要延迟几秒以上。这将严重影响 MPEG-4 视频流等实时应用的性能。该文针对实时应用提出了一种 DCF 的改进机制 L-DCF, 并介绍了在 L-DCF 下如何传输 MPEG-4 视频流。仿真结果表明, 与 DCF 相比, 采用 L-DCF 的 MPEG-4 视频流将经历较少的时延和抖动, 同时又具有与采用 DCF 时相同的吞吐量与公平性, 因此能够获得更好的播放质量。

关键词: 无线局域网, IEEE 802.11, 分布式协调功能, MPEG-4

中图分类号: TP393.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2005)01-0131-05

Study on Transmitting MPEG-4 Video Stream in WLAN

Zou Shi-hong Lin Hua-Sheng Cheng Shi-duan

(National Lab, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract The basis of IEEE 802.11 wireless LAN Medium Access Control (MAC) is Distributed Coordination Function (DCF). When network load in WLAN is moderate or even higher, with DCF a station may need to defer several seconds before successful transmission. This will degrade the performance of real time applications such as MPEG-4 video stream. This paper proposes L-DCF, which is suit for real time applications, and presents mechanism for transmitting MPEG-4 video stream with L-DCF. Simulations show that this mechanism provides much less delay and jitter while obtains the same goodput and fairness.

Key words Wireless LAN, IEEE 802.11, Distributed Coordination Function (DCF), MPEG-4

1 引言

与有线以太网相比, 无线局域网 (Wireless LAN, WLAN) 提供了更为方便快捷的接入方式。IEEE 802.11^[1]是 WLAN 的一个国际标准, 该标准系列 (802.11b, 802.11a) 提供的速率从 1 Mbps 到 54 Mbps 不等, 而且还呈现出进一步增长的趋势。与此同时, 多媒体应用的需求也在快速增长, 对多媒体标准也提出了更高的要求, 而已有的标准 MPEG-1、MPEG-2 难以满足这些要求, 因此 MPEG-4^[2]便应运而生。可以预见, 随着 WLAN 的广泛普及和接入带宽的增加, WLAN 中的 MPEG-4 视频传输将是一个很重要的多媒体应用。

IEEE 802.11 定义了两种接入方式: 分布式协调功能 (Distributed Coordination Function, DCF) 和点协调功能 (Point Coordination Function, PCF)。DCF 是基本接入方式, 它使用 CSMA/CA 机制实现基于竞争的接入, 提供一种异步数据服务。PCF 则在 DCF 的基础上实现无竞争的接入, 提

供限时服务, 非常适合实时业务。但由于管理及实现上的复杂性, 目前的 802.11 产品中均未实现 PCF。因此, 研究 DCF 下如何传输实时多媒体应用非常必要。采用 DCF 时, 当 WLAN 中站点数增加到 10 个或者更多时, 成功传送一个帧的时延可能会高达若干秒或者更多。这是由于 DCF 的退避机制以及按重传次数丢弃数据帧造成的, 一个帧在丢弃之前必须经过 7 次碰撞, 这段时间可能很长。而对于实时多媒体应用来说, 该帧可能早已过时, 继续发送该帧已经没有意义, 只会浪费原本就非常有限的无线资源。因此本文提出一种针对实时应用的 DCF 的改进机制——L-DCF (Lifetime-DCF), 并介绍了在 L-DCF 下如何传输 MPEG-4 视频流^[3]。L-DCF 为每个帧引入参数 Lifetime, 当一个帧被认为是过期时由 MAC 层直接丢弃。大量仿真表明, 传输实时应用时, L-DCF 能够获得比 DCF 更好的性能。

本文的主要内容安排如下: 第 2 节简要介绍了 MPEG-4 和 IEEE 802.11 DCF; 第 3 节引入了针对实时应用的 DCF 的

改进机制 L-DCF，并描述了在 L-DCF 下如何传输 MPEG-4 视频流；第 4 节是仿真结果和分析；第 5 节对全文进行了总结。

2 MPEG-4 和分布式协调功能

2.1 MPEG-4 概述

MPEG-4 标准对自然及合成音频视频流的编码进行了规范。MPEG-4 视频通过将视频数据编码成视频对象 (Video Object, VO) 能够提供较好的灵活性和有效性。一个视觉场景是由独立编码的一系列视频对象所构成。每个视频对象由一系列时间上连续的帧画面组成，即所谓的视频对象平面 (Video Object Plane, VOP)。VOP 又分 3 种类型：I-VOP, P-VOP 和 B-VOP。I-VOP 在这 3 种 VOP 中最重要，因为 I-VOP 的传输错误将不仅影响它本身的解码，而且还影响所有依据该 I-VOP 来预测的 P-VOP 和 B-VOP^[2]。

MPEG-4 视觉系统利用层次编码解决系统的扩展性以及异质问题。扩展性存在两个方面：空间和时间。“空间扩展性”允许解码器只使用编码器产生的流的一个子集来以较低的空间分辨率进行纹理、图像和视频对象的重构。“时间扩展性”允许解码器只使用编码器产生的流的一个子集来以较低的时间分辨率重构显示一个对象。最多允许 3 个级别的扩展性。由于层次编码，MPEG-4 视频流可以被分为基本层流和增强层流^[4]。基本层流对于视频对象的重构来说是必须的，而增强层流可以提高播放质量，但对于视频对象的重构而言是可选的。

2.2 分布式协调功能 (DCF)

DCF 是以一种尽力而为的机制来支持突发的数据传送，它是 IEEE 802.11 的基本接入方式。标准规定，一个基本服务集 (Basic Service Set, BSS) 中的所有站点都必须支持 DCF。DCF 协议基于载波监听多址接入/碰撞避免 (CSMA/CA) 机制。在 IEEE 802.11 中，载波监听同时在物理层 (物理载波监听) 和链路层 (虚拟载波监听) 进行。

DCF 中分组的传送可以使用两种方法。缺省的是二次握手机制，即基本接入方法，目的站点接收到分组后，发送一个 MAC 层的肯定确认以确认分组的成功发送。另一种可选方法是四次握手机制，使用请求发送/清除发送 (RTS/CTS) 技术在数据发送之前预留信道。该机制用来减少由于隐藏终端带来的性能降低。然而，使用 RTS/CTS 机制的缺点是增加了短数据帧的开销。本文基于 RTS/CTS 机制讨论，但我们的方法也可以适用于基本接入方法。图 1 描述了 RTS/CTS 方法。

3 针对实时应用的 L-DCF 以及 MPEG-4 视频流的传输

3.1 L-DCF

从图 1 可以看到，在 RTS/CTS 机制中，一个站点在发

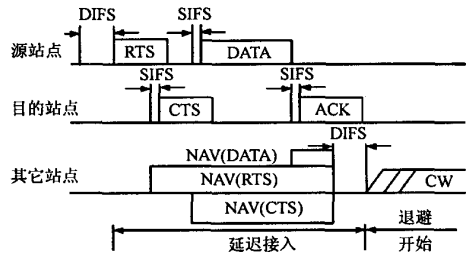


图 1 DCF 的 RTS/CTS 接入机制

送之前必须监听信道。如果信道忙，则该站点暂停退避时间计数器并推迟发送。只有当信道空闲的时候站点才能减少其退避时间计数器。当退避时间计数器减为 0 并且信道在 (DIFS) 内仍然保持空闲，站点才能开始发送数据。由于其它站点在其退避期间内抢先发送，或者由于碰撞导致重发，一个帧的发送时延可能很大。当网络负载增加时，时延可能达到几秒甚至更多。下面分析 WLAN 中一个帧可能经历的时延大小。

假设 WLAN 中站点数为 n ，一个时隙中每个站点发送分组的概率均为 τ ，并令 p_{idle} , p_{col} , p_{suc} 分别表示 WLAN 中时隙空闲的概率，分组碰撞的概率以及分组传送成功的概率，则

$$p_{idle} = (1 - \tau)^n \tag{1}$$

$$p_{col} = 1 - (1 - \tau)^n - n\tau(1 - \tau)^{n-1} \tag{2}$$

$$p_{suc} = n\tau(1 - \tau)^{n-1} \tag{3}$$

图 2 为 WLAN 中一次虚拟成功发送的过程，则 WLAN 中平均成功发送一个帧所占用的时间为 $[T_{col}(p_{col}/p_{suc}) + T_{slot}(p_{idle}/p_{suc}) + T_{suc}]$ ，其中 T_{slot} 为 WLAN 的时隙大小， T_{col} 为碰撞所占用的时间， T_{suc} 为传送一个帧所需的时间。

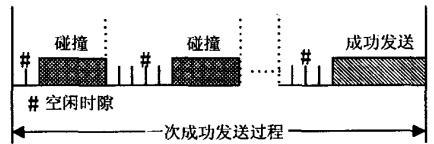


图 2 WLAN 中一次虚拟成功发送的过程

因此对于一个站点而言，其成功发送一个帧平均经历的时延为

$$E(D) = n[T_{col}(p_{col}/p_{suc}) + T_{slot}(p_{idle}/p_{suc}) + T_{suc}] \tag{4}$$

可见，随着 n 的增加，平均时延也变长。文献[5]利用 Markov 链对 DCF 建模分析其饱和吞吐量，利用该文献的结果可求得 τ 的数值解。将 τ 的数值解代入式(4)，并假定分组大小为 1000 byte，数据报文以 2 Mbps 的速率发送，另外标准规定所有控制报文都以 1Mbps 的速率发送，按直接序列扩频 (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) 的参数值计算，

可得 $E(D)$ 的数值解, 如图 3。可见, 随着站点数的增加, WLAN 的平均时延几乎成线性增加。图 3 只是帧发送时延的均值, 由于 DCF 是竞争共享协议, 各站点的发送时延很可能比平均时延长得多, 以至数秒。下面简单分析最坏情况下一个站点成功发送一个帧所需经历的时延。最坏情况为一个站点经历 $m-1$ 次碰撞 ($m=7$ 为允许的碰撞最大次数), 到达退避的第 m 阶段等待-随机退避时间后准备发送数据, 则此时该站点所等待的空闲时隙总数 N_{slot} 为

$$N_{slot} = (2^0 + 2^1 + 2^2 + 2^3 + 2^4 + 2^5 + 2^5) CW_{min} / 2 \quad (5)$$

其中 $CW_{min}=32$ 为最小竞争窗口。而一次成功发送中的信道时隙空闲的平均个数为 p_{idle}/p_{suc} 。因此, 最坏情况下该站点所需等待的时延为

$$D_{max} = \frac{N_{slot}}{p_{idle}/p_{suc}} \left[T_{col} \left(\frac{p_{col}}{p_{suc}} \right) + T_{slot} \left(\frac{p_{idle}}{p_{suc}} \right) + T_{suc} \right] \quad (6)$$

对 D_{max} 求数值解可得图 4, 而最坏情况出现的概率为

$$p = (1 - (1 - \tau)^{n-1})^{m-1} \quad (7)$$

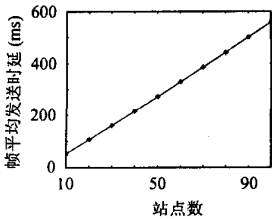


图 3 一个站点的帧平均发送时延

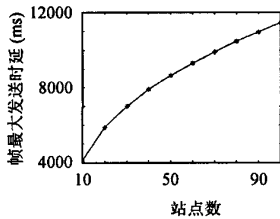


图 4 一个站点的帧最大发送时延

由图 3 和图 4 可以看出在 WLAN 中一个帧的发送时延可能会很长, 而在 IEEE 802.11 中对发送的推迟没有定义超时。这对于实时应用来说可能会带来性能下降。因为实时应用对于分组的接收都有一个 Deadline (最终期限), 在 Deadline 之后接收到的帧都被视为无效。因此, 当网络负载变大时 DCF 很可能传送已经超过 Deadline 的数据帧。这将带来两个后果, 一是浪费带宽, 二是滞后了后续的数据帧, 而这将进一步恶化实时应用的性能。

基于以上分析, 我们提出一种 DCF 的改进机制——L-DCF, 使得 MAC 层可以及时丢弃过期的数据帧。为每个帧引入“Lifetime”参数。上层应用根据需要赋予其产生的数据一个 Lifetime, 然后这些数据在 MAC 层被分成帧并在队列中等待传送。同时, 在 MAC 层发送一个帧之前, 首先检查其 Lifetime 看其是否过期。如果过期, 则直接丢弃该帧。这样, L-DCF 将不会发送过期的帧。为了与正常的 DCF 保持同样的吞吐量及公平性, 在 L-DCF 中当一个帧因过期而被丢弃时, 并不重置 SSRC (Station Short Retry Count) 和竞争窗口 (CW), 而在正常的 DCF 中丢弃一个帧时 SSRC 应该置为 0, CW 应该置为 31。

3.2 MPEG-4 视频流的传输

L-DCF 中 Lifetime 的取值应该根据应用能够容忍的时延、应用的带宽需求、MAC 层的平均时延而定, 且应该满足以下要求: (1) 当网络能够提供的带宽大于应用所需求的带宽时, L-DCF 与原始 DCF 效果一样, 不能出现因为 Lifetime 过期而丢包的现象; (2) 当网络能够提供的带宽小于应用所需求的带宽时, 所设置的 Lifetime 应该使得得到发送 (没有因为过期而丢弃) 的数据的数量的均值大于网络能够提供带宽的 90%, 这样就不会出现因为 Lifetime 过期的丢包过多而导致不能充分利用带宽。由于应用的种类千差万别, 它们能够容忍的时延也各不相同。下面在不考虑应用能够容忍的时延的情况下, 分析 WLAN 不能满足应用的带宽需求时 Lifetime 的取值。

假设一个站点接入信道 (得以成功发送数据) 的平均时延为 D 秒, 应用层数据到达 MAC 层的速率为 a/D 帧/秒, 其中 $a > 1$ 。令 Lifetime = bD , 下面分析 b 的取值。

上层应用的数据到达近似看作泊松流, MAC 层接入信道的时间也认为符合负指数分布, 而且假设由于设置了 Lifetime, MAC 层的队列始终不会溢出, 则 MAC 层的队列符合 M/M/1 排队模型, 调度策略为先进先出并超时丢包 (FIFO-TO)。文献[6]对 M/M/1 排队模型的 FIFO-TO 调度策略进行了分析, 得出 P_s (得到服务的概率) 和 W (等待时间) 如下:

$$P_s = \begin{cases} \frac{1 - \rho e^{-(\mu-\lambda)T}}{1 - \rho^2 e^{-(\mu-\lambda)T}}, & \rho \neq 1 \\ \frac{1 + \mu T}{2 + \mu T}, & \rho = 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$W = \begin{cases} \frac{\rho [1 - e^{-(\mu-\lambda)T} - \mu T (1 - \rho) e^{-(\mu-\lambda)T}]}{\mu (1 - \rho) (1 - \rho e^{-(\mu-\lambda)T})}, & \rho \neq 1 \\ \frac{\mu T}{1 + \mu T}, & \rho = 1 \end{cases} \quad (9)$$

则根据我们的定义有, $\rho = a$, $-(\mu - \lambda)T = (a - 1)b$ 代入式 (8) 有

$$P_s = \frac{1 - a e^{(a-1)b}}{1 - a^2 e^{(a-1)b}} \quad (10)$$

令 $P_s = 0.9/a$ (90% 的可用带宽得以利用), 并对 a 从 1.1 到 2.0 求 b 的数值解, 可得图 5 和图 6。

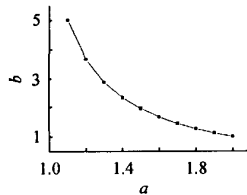


图 5 $P_s = 0.9/a$ 时 b 和 a 的关系

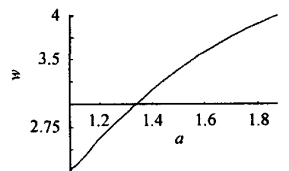


图 6 $b=5$ 时 W 和 a 的关系

因此, 取 $b=5$ 便可在网络超负载情况下 ($a \geq 1.1$) 保证引

入 Lifetime 后网络的可用带宽得到充分利用(90%以上)。此时,

$$W = \left[\frac{1 + (a-1)be^{(a-1)b} - e^{(a-1)b}}{(a-1)(e^{(a-1)b} - \frac{1}{a})} \right] \times D \quad (11)$$

可见, 平均等待时间在 $4D$ 以内。当网络负载更大时 (a 更大), 平均等待时间趋于 $5D$ 。

对于原始 DCF, 其 MAC 层的队列符合 M/M/1/m 排队模型, 其平均等待时间为^[7]

$$W = \left[\frac{1}{a-1} + \frac{ma^m}{a^m-1} \right] \times D \quad (12)$$

由式(12)可知, $W > mD$, 而 $m \geq 50$ 。可见, 在网络超负载时, L-DCF 的时延将比 DCF 小得多。

Lifetime 越大意味着优先级越高。Lifetime 为无穷的帧则由正常的 DCF 处理, 具有最高的优先级。我们可以为不同的数据设置不同的 Lifetime。如果应用是可扩展的, 即由基本层数据和增强层数据组成的话, 如 MPEG-4 视频, 我们可以将应用的基本层数据的 Lifetime 设为无穷, 而将增强层数据的 Lifetime 设为平均传输时延的 b 倍, b 的取值由应用的需求及网络状况而定。假设应用能够容忍的时延为平均传输时延的 c 倍。当网络能够提供给应用足够的带宽时 (可根据接收端的反馈或者观察 MAC 层的队列排队状况进行判断), b 取值为 c ; 当网络状况发生恶化, 不能提供给应用所需要的全部带宽时, b 取值为 $\min(5, c)$, 则该应用可以及时地丢弃增强层数据, 以基本层数据继续运行, 从而在网络状况变差时提高视频流的播放质量。

4 仿真结果和分析

本文使用的仿真工具是由伯克利大学开发的 NS2^[8]以及它的 CMU 无线扩展^[9]。NS2 中实现了 IEEE 802.11 DCF, 我们在其基础上实现了 L-DCF。为了评估 L-DCF 的有效性, 我们的仿真环境为有 20 个节点的无线局域网, 其中两个节点分别是 MPEG-4 视频流的发送者和接收者, 其它的节点产生 CBR 业务流作为背景流量, 一半为发送者, 一半为接收者。所有的节点在整个仿真过程中都保持静止。仿真使用的 MPEG-4 trace 文件来自“星球大战”^[10]。它包含 5000 个 VOP, 其中有 417 个 I-VOP, 其余的都是 P/B-VOP。我们将 I-VOP 视为基本层数据, 而将 P/B-VOP 视为增强层数据。I-VOP 的 Lifetime 设为无穷。P/B-VOP 的 Lifetime 设为 130ms, 大约是帧平均时延的 5 倍。当 P/B-VOP 超过 MAC 层的帧大小而被分为 k 个帧时, 则该 VOP 拆分后的所有帧的 Lifetime 都设置成 $k \times 130ms$ (仿真中没有考虑 MPEG-4 视频流能够容忍的时延, 假定它大于 $k \times 130ms$)。MPEG-4 视频流以 UDP 传输, UDP 的分组大小为 1000 byte。背景流量 CBR 的分组大

小为 1000 byte, CBR 分组产生间隔为 60ms。此环境下 WLAN 能够提供的带宽不能满足 MPEG-4 视频流的需求。整个仿真持续 200 s。

图 7 对分别采用 DCF 和 L-DCF 所带来的 VOP 时延进行了比较。从图中可以看出, 采用 L-DCF 后的时延比 DCF 要低得多, 且抖动也更小。图中的波动是由于 VOP 不等长所造成的。VOP 每 40ms 产生一个, 但长度是变化的。当 VOP 较大时它必须切分为若干个 MAC 帧进行传送, 这样端到端的 VOP 时延必然较长。表 1 列出了整个仿真中 VOP 的丢失率。我们可以看出, 采用 L-DCF 后, I-VOP 的丢失率比 DCF 低得多。但我们也要注意 I-VOP 丢失率的降低是通过丢弃过期的 P-VOP 和 B-VOP 而获得的, 因此, L-DCF 的 P-VOP、B-VOP 的丢失率有所增加。由于 MPEG-4 视频 VOP 之间的依赖性, 我们认为 L-DCF 将能够获得更好的播放质量。

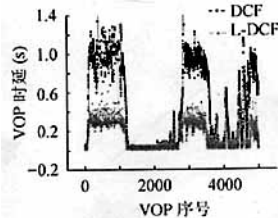


图 7 VOP 时延

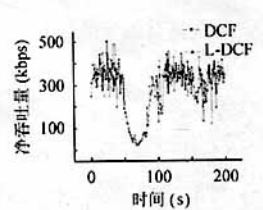


图 8 净吞吐量比较

表 1 两种机制下不同 VOP 的丢失率比较

	I-VOP 丢失率	P/B-VOP 丢失率
L-DCF	10/417=2.3%	1013/4583=22.1%
DCF	114/417=27.3%	794/4583=17.3%

另外, 我们还评估了采用 L-DCF 后的净吞吐量。由于 MPEG-4 视频流所需带宽大于 WLAN 能够提供的带宽, 因此前面的仿真场景可以用作公平性衡量。公平性衡量主要是比较两种机制在相同条件下获得的净吞吐量 (goodput)。净吞吐量每秒统计一次, 两种机制的净吞吐量的统计结果如图 8。从图 8 可以看出, 在同样的竞争条件下, 站点采用 L-DCF 所获得的净吞吐量与采用 DCF 所获得的净吞吐量一样, 也就是说, 站点采用 L-DCF 并不会牺牲自己的净吞吐量也不会占用其它站点的带宽。从另一方面来说, 采用 L-DCF 的站点和采用 DCF 的站点是公平竞争, 其公平性与全部采用 DCF 时完全一样。

5 结束语

当 IEEE 802.11 无线局域网中的站点数较多时, 一个帧的发送时延可能增加至数秒。这将严重影响实时应用的性能。本文提出了一种 DCF 的改进机制 L-DCF 来解决该问题。在应用层, 数据都被赋予一个参数“Lifetime”, 然后在 MAC 层 L-DCF 检查该 Lifetime 看其是否过期。如果过期, 则直接

丢弃该帧; 否则以正常的 DCF 进行处理。采用 L-DCF 还可以对 MPEG-4 视频的数据区别对待: 基本层数据的 Lifetime 被赋予无穷, 而当网络不能满足应用要求的带宽时, 增强层数据的 Lifetime 被赋予 5 倍平均时延与应用能够容忍时延的较小值。我们在 NS2 中实现了 L-DCF 并对 MPEG-4 视频流的传输进行了仿真。仿真结果表明, 在同样的条件下, L-DCF 能够获得较 DCF 更低的时延和抖动, 且 I-VOP 的丢失率要低得多; 与此同时, 无线局域网的公平性并没有降低。

进一步的研究包括如何根据应用的带宽需要以及网络状况自适应的调整 Lifetime 的大小。

参 考 文 献

- [1] IEEE standard for wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, ISO/IEC 8802-11, 1999(E), Aug. 1999.
- [2] Rob Koenen. Overview of the MPEG-4 standard. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N4668, March 2002.
- [3] Zou Shi-hong, Wu Hai-tao, Cheng Shi-duan. A new mechanism of transmitting MPEG-4 video in IEEE 802.11 wireless LAN with DCF. IEEE ICCT03, Beijing, April 2003: 1226 - 1229.
- [4] Toufik Ahmed, *et al.*. Encapsulation and marking MPEG-4 video over IP differentiated service. Proceedings. Sixth IEEE Symposium on Computers and Communications, 2001: 346 - 352.
- [5] Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function. *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, 2000, 18(3): 535 - 547.
- [6] Doshi B T, Heffes H. Overload performance of several processor queueing disciplines for the M/M/1 queue. *IEEE Trans. on Comm.*, 1986, 34(6): 538 - 546.
- [7] 陆传赓. 排队论. 北京: 北京邮电大学出版社, 1994: 54 - 58.
- [8] "NS", URL <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/>
- [9] "CMU monarch extensions to ns." <http://www.monarch.cs.cmu.edu/>.
- [10] Fitzek F, Reisslein M. MPEG-4 and H.263 video traces for network performance evaluation. Technical University of Berlin, Technical Report, October 2000. <http://www-tkn.ee.tu-berlin.de/research/trace/trace.html>

邹仕洪: 男, 1978 年生, 博士, 讲师, 主要研究无线局域网、移动自组网等。

林华生: 男, 1976 年生, 博士生, 主要研究服务质量、TCP/IP 改进等。

程时端: 女, 1940 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究服务质量、网络性能分析等。