

一种新的语音流队列管理调度机制

陈秀忠, 李忠诚, 闵应骅

(中国科学院计算技术研究所, 北京 100080)

摘要: 本文提出一种新的语音流队列管理调度机制, 结合随机早期探测 (RED) 和主动丢包调度算法实现因特网语音流的队列管理和调度. 采用仿真方法分析了新机制的性能特征, 并与 RED 做了性能对比. 当网络拥塞时, 该算法可有效改善包转发的性能. 语音质量测试表明新机制是可行的和有效的.

关键词: VoIP; 网络拥塞; 队列管理; 包调度

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 05-0862-05

A New Queue Management and Scheduling Mechanism for VoIP

CHEN Xiu2zhong, LI Zhong2cheng, MIN Ying2hua

(Institute of Computing Technology, China Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: This paper proposes a new queuing management and scheduling mechanism for VoIP queues, which coordinate RED and a scheduling algorithm of advisedly dropping packets. Simulation results show that the mechanism enables some improvement of the performance of packet forwarding effectively during network congestions compared to RED and FIFO scheduling. VoIP quality measurements verify its feasibility and effectiveness.

Key words: VoIP; network congestion; queue management; packet scheduling

1 引言

网络拥塞的存在是 VoIP 服务质量保证的障碍, 它会导致语音流排队和延迟增大, 甚至于丢包. 丢包分因缓存满而出现的网络丢包和因包延迟大于延迟上限而出现的滞后丢包^[1]. 转发滞后丢包将浪费本已紧缺的网络资源.

保证 VoIP 服务质量的前提是采用基于优先级或类似的调度算法^[2-4]为 VoIP 流配置独立的队列. VoIP 队列管理的传统方法是截尾方式 DropTail, 内部调度算法是 FIFO^[2]. 由于截尾方式对突发通信存在偏见, 公平性差, 丢包突发性大, 可能长时间保持队列满, 增大包转发延迟^[5,6], 导致滞后丢包; 因此当网络拥塞时, 截尾方式和 FIFO 不能有效解决网络拥塞对语音质量的影响, 网络资源利用率低.

基于 VoIP 应用的自身特征, 本文提出一种新的队列管理调度机制)) 结合随机早期探测 (RED)^[5]与主动丢包调度算法, 解决网络拥塞问题, 提高网络资源的利用率. 第二节探讨新机制的可行性, 描述主动丢包调度算法的基本思想; 第三节讨论新机制的实现; 第四节通过仿真与 RED 做性能对比, 分析了新机制的性能特征; 最后给出结论.

2 基本思想

语音流不同于数据流, 表现为延迟敏感、丢包不太敏感.

研究^[1,7,8]表明, 应用层容错机制^[9,10](譬如 FEC) 有助于 VoIP 应用处理包丢失问题. 单个包丢失可以被恢复, 而突发丢包 (指连续的包丢失) 影响容错机制的效率, 严重损害语音的质量. 我们的主观语音评价结果也表明, 语音可以容忍一定的包丢失. 随着丢包率的增加, 语音质量逐步下降.

在语音包丢弃模式上, 已有研究实践. Sanneck^[7]提出了基于语音特征的包标记算法 SPB-DIFFMARK 和 VoIP 队列内调度算法 DiffRED. 它们将 VoIP 包区分为高、低优先级, 在网络拥塞时先丢弃低优先级包, 减少高优先级包的丢失, 从而保证最终语音质量. 但实现难度增加了. Hamdi^[12]提出将后进先出算法应用于 VoIP 拥塞队列的调度. 但突发性丢包几率依然较大, 语音包的失序增加了接收端复杂度.

由于截尾方式的不足, IETF 提出用主动队列管理机制解决网络拥塞, 提倡将 RED 与调度算法相结合以提高网络性能^[6]; RED 已成为 Internet 拥塞避免的事实标准. RED 通过拥塞探测和按概率随机丢包可控制平均队列长度, 避免拥塞; 可无偏见地支持突发通信, 保证带宽共享的公平性^[5]. RED 是担保转发 (Assured Forwarding) 机制^[12]的恰当的队列管理机制.

考虑到 RED 解决网络拥塞的有效性、VoIP 流允许通过主动丢包方式缓解拥塞, 本文提出使用 RED 和主动丢包调度算法 (VASA 算法) 实现 VoIP 队列管理和包调度, RED 管理语音包的入队操作, VASA 控制包的调度输出. 当网络不拥塞时,

仍实现先进先出的包转发; 当网络拥塞时, 不再保证缓存中 VoIP 语音包按序完整转发, 而是在发送语音包的同时主动丢弃部分语音包. 这样既可以加快缓存中语音包的输出, 缓解网络拥塞程度, 也可以在不过分增加语音包的丢失情况下, 满足 VoIP 的时效要求.

3 机制实现

RED 和 VASA 算法共同实现对每个 VoIP 队列的包转发控制(图 1). RED 负责将每个新到包加入到相应的 VoIP 队列中, 在网络拥塞时, 依据一定概率丢弃部分包. VASA 算法将根据网络拥塞状况实现

VoIP 队列的语音包无丢失或有丢失的输出. 我们在 ns2^[1] 上实现了 VASA 算法, 具体的包转发过程如下(图 2):

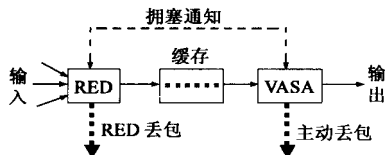


图 1 队列管理调度机制的模型

```

为新到达包 P 进行分类, 获得相应的实时队列 q;
if (队列 q 为空) {
    队列 q 头 = 队列 q 尾 = p;
    队列 q 长度加 1;
} else {
    队列 q 尾 = p;
    队列 q 长度加 1;
    if (队列 q 长度 > RED 队列上界) {
        强制丢弃队列 q 尾的一个包;
        队列长度减 1;
    } else if (队列 q 长度 > RED 队列下界) {
        计算丢包概率, 判定是否丢弃包;
        if (丢弃包) {
            队列 q 尾删除一个包;
            队列 q 长度减 1;
        }
    }
}
if (队列长度 q 超过 RED 下界) {
    网络拥塞标志 con_flag = 1;
}

```

```

if (实时队列 q 为空) {
    返回空;
} else {
    从队列 q 头取包 p;
    队列 q 长度减 1;
    if (网络拥塞标志 con_flag == 1) {
        drop_flag = if_drop(N); /* if_drop
为判断是否丢包的函数 */
        if (drop_flag == 1) {
            从队列 q 头删除一个包;
            队列 q 长度减 1;
        }
    }
    返回包 p;
}

```

图 2 (a) 单个实时队列的包入队算法; (b) 单个实时队列的包离队算法

0 包入队: 包入队操作沿用标准 RED 算法, 依据丢包概率率丢弃或加入新到达包^[5]. 不同在于 RED 算法还需要将网络拥塞状态传递给 VASA 算法, 即当平均队列长度 avg 大于阈值 minth 时, RED 设置网络拥塞标志 con_flag 为 TRUE, 向 VASA 传递拥塞状态.

0 包调度: VASA 依据 con_flag 确定当前网络是否拥塞. 当网络不拥塞时, 按语音包到达的先后输出包. 当网络拥塞时, 不仅按语音包到达的先后输出包, 还将启动主动丢包机制从队列头丢弃部分语音包. 目前的主动丢包机制是由计数器函数 if_drop(N) 实现单一丢包率的控制, N 设置为在两个主动丢包之间正常转发包的个数. 计数器初始值为 0, 函数每次被调用时, 计数器加 1. 若计数器值小于 N, 则函数返回值 0;

否则计数器值归 0, 函数返回值 1, 要求从队列头主动丢弃一个包. 当队列长度小于 minth 时, VASA 设置 con_flag 为 FALSE, 向 RED 反馈网络拥塞信息.

与采用标准 RED 和 FIFO 算法管理的队列(简称 RED 队列)不同, RED 和 VASA 算法管理的队列(简称 VASA 队列)实现: 1 RED 与 VASA 之间状态信息交换; 0 网络拥塞时主动丢包. 由于单个队列的管理控制使用相同状态空间, RED 算法和 VASA 算法之间的信息交换可通过共享变量实现. 丢包操作由一个简单计数器控制, 队列头丢包与标准 RED 算法的队列尾丢包在复杂度上是相同的. 因此, RED 队列和 VASA 队列的实现复杂度是相当的. N 值代表了 VASA 算法的丢包率, 它与 QoS 要求、应用层容错机制(如 FEC)密切相关. N 值越小, 则主动丢包的比率越大, 对 VoIP 质量的影响也越大; N 值越大, 则相反. 考虑到 VoIP 语音编码的 FEC 算法特征, 目前我们将 N 设置为 3.

4 性能分析

VASA 队列与 RED 队列区别在于网络拥塞时 VoIP 数据流经历了主动丢包. 鉴于 VoIP 业务有丢包和时效要求, 我们通过实验对比分析了 RED 队列和 VASA 队列的性能特征(包括队列长度、丢包和延迟), 以及对语音质量的影响.

4.1 实验环境

基于 ns2 分析了 RED 队列和 VASA 队列的性能. 网络拓扑(图 3)有 12 个节点, 其中 r0、r1、r2、r3 为路由器, 其余为源节点. 路由器之间链路设置为 RED 或

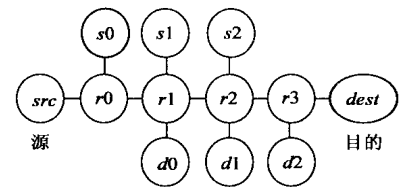


图 3 测试网络拓扑结构

VASA 队列, 带宽为 5Mbps, 延迟为 10ms, 缓存为 64; 其余链路为 FIFO, 带宽为 10Mbps, 延迟为 2ms, 队列长度足够大以保证不会出现网络丢包. 显然, 路由器间链路将成为拥塞链路. 为了分析缓存大小的影响, 还分别测试了缓存为 128、256 时 RED 或 VASA 队列的性能. RED 参数 max_th 设置为缓存大小, min_th 设置为 max_th 的 1/3, maxp 设置为 0.02.

节点 src 与 dest 之间有 100 个 VoIP 流; 节点 s0 与 d0、s1 与 d1、s2 与 d2 之间产生背景 VoIP 流; 总仿真时长为 100 秒. 每个 VoIP 流遵从 ON/OFF 模型, 包大小为 100 字节, 突发时长为 2s, 空闲时长为 1s, 突发速率为 24kbps. 通过调整背景流量使得拥塞链路平均负载达到 100%、110%、115%、120%.

4.1.2 实验结果与分析

(1) 队列长度 RED 和 VASA 的队列长度变化见图 4. 随

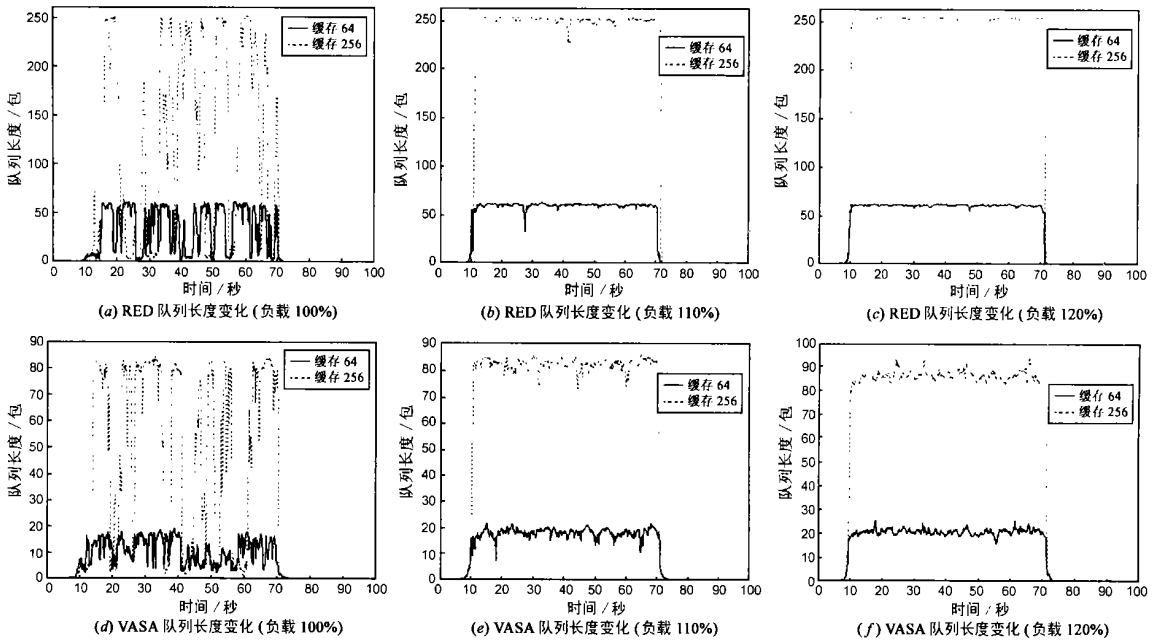


图 4 RED 与 VASA 队列的长度变化

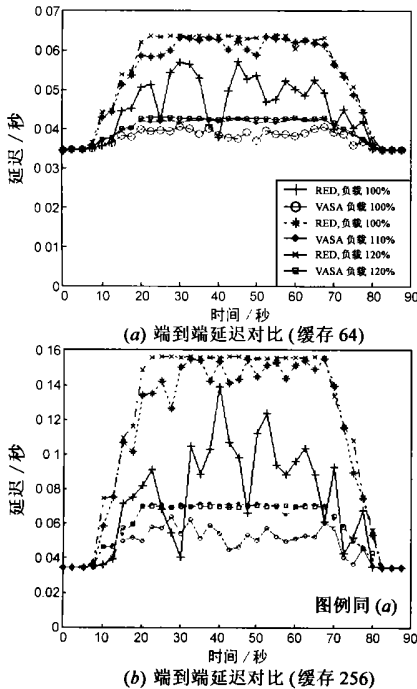


图 5 RED 与 VASA 的端到端延迟对比

随着负载的增加, RED 和 VASA 队列长度也增加。当缓存为 64、负载 100% 时, 图 4 (a) 和 (d) 中 RED 或 VASA 队列长度都是上下波动, RED 最大达到 64, VASA 为 20; 当负载达到 110% 或 120% 时, 图 4 (b)、(c) 反映了拥塞期间 RED 队列长度基本为 64, 持续满队列, RED 将丢弃部分到达包; 图 4 (e)、(f) 反映了 VASA 队列长度小于 22, 没有满队列。这是因为 VASA 队列通过 RED 丢弃部分到达包和 VASA 算法的主动丢包控制队列长度。当缓存为 256 时, 测试结果证明了同样的差异。

实验结果表明 VASA 队列可有效减小拥塞网元的队列长度。这是因为 VASA 提高了网络在拥塞期间处理语音包的速率, 缓解了网络拥塞程度。队列长度的减小将直接减小语音包延迟, 有利于系统的稳定。

(2) 延迟 RED 与 VASA 的端到端延迟变化见图 5。随着负载的增加, RED 或 VASA 队列语音包的延迟也在增大。当缓存为 64、负载 100% 时, RED 的包延迟在 35ms 和 65ms 间变化, VASA 则在 35ms 和 42ms 间变化; 当负载达到 110%、120% 时, RED 的包延迟可达 65ms, 而 VASA 的延迟小于 43ms。当缓存为 256, 负载 110%、120% 时, RED 队列的部分包延迟大于延迟上限 150ms, 形成滞后丢包, 系统浪费了资源, 并且不能满足 VoIP 的服务质量要求; 而 VASA 的延迟小于 70ms, 系统仍然满足 VoIP 的服务质量要求。

VASA 队列通过控制队列长度, 有效减小了拥塞期间语音包的端到端延迟。这符合调度算法的低延迟原则, 有利于系统为 VoIP 应用提供服务质量保证。RED 队列不能避免由于转发端到端延迟大于 150ms 的包而造成的资源浪费, 而 VASA 队列可以解决同样条件下的滞后丢包问题, 保证资源利用的有效性。

(3) 丢包特征 图 6 (a) 是缓存为 64 时 RED 和 VASA 队列的丢包率随负载的变化。结果表明在相同条件下, RED 和 VASA 队列的丢包率随负载增加而加大, VASA 队列的丢包率略小于 RED; RED 和 VASA 队列的吞吐量相当。图 6 (b) 为单个丢包率 (即突发长度为 1 的丢包与总丢包的对比) 的对比。结果表明: VASA 单个丢包率明显高于 RED, 而突发长度大于 1 的连续丢包明显低于 RED。图 7 为在缓存 64、负载 110% 时 RED 与 VASA 的突发丢包分布, 结果表明: RED 队列存在突发长度较大的丢包, 譬如连续丢失同一个 VoIP 流的 60 个语音包; 而 VASA 突发丢包长度基本小于 10, Morris 研究结果^[14] 也表明: RED 仍然存

在短暂的不公平, 造成单个流的连续突发丢包.

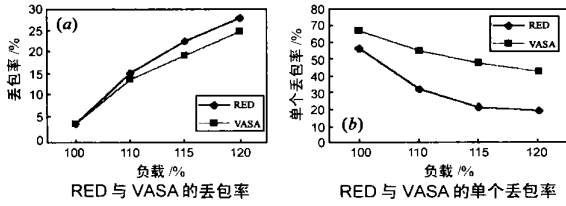
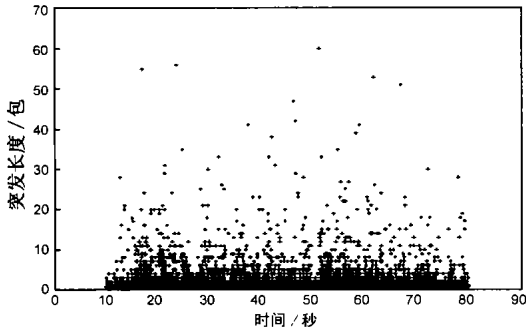
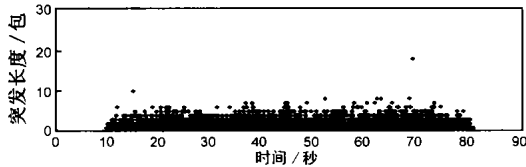


图 6 RED 与 VASA 的丢包特征(缓存为 64)

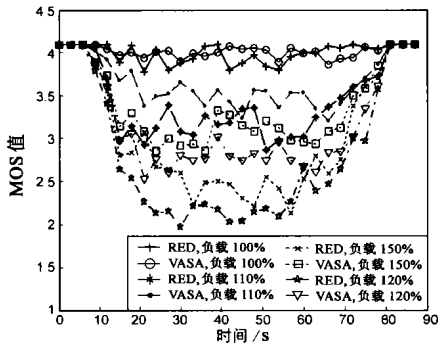


(a) RED 突发丢包分布 (缓存 64, 负载 110%)

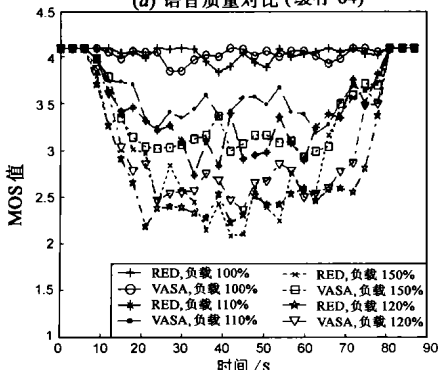


(b) VASA 突发丢包分布 (缓存 64, 负载 110%)

图 7 RED 与 VASA 的突发丢包分布



(a) 语音质量对比(缓存 64)



(b) 语音质量对比(缓存 256)

图 8 RED 与 VASA 的语音质量对比

表 1 MOS 评分

等级	语音质量
5	极好 完全放松
4	好 必要关注
3	中等 适度努力
2	差 可观努力
1	极差 无法理解

VASA 算法在没有增加丢包的情况下改变了 RED 算法的丢包分布, 可以有效减小 RED 大突发长度丢包的发生几率, 增加了单个丢包的发生次数. 研究^[1,8]已表明, 突发长度大于 1 的丢包将降低 FEC 等包纠错机制的效率, 比长度为 1 的丢包对语音质量的损害更大, 突发长度越大, 语音质量越差.

(4) 语音质量 语音质量是衡量 VoIP 队列管理调度机制的重要指标. 我们采用客观评价标准 Emodel^[15-17] 对比了 RED 和 VASA 队列的语音质量. Emodel 考虑了各种语音损伤因子 (包括延迟、丢包、回声、响度、设备等), 一般 Emodel 计算公式可简化为公式(1), 其中 I_d 是延迟的损伤, I_e 是丢包的损伤; Emodel 的 R 值可被映射到主观评价标准 MOS (Mean Objection Score)^[18]. MOS 值反映了语音质量的主观清晰度 (表 1). 一般认为, MOS 值 2.5~3.5 表示会话质量达到可建立连接级; 3.5~4.0 为可通话通信级; 4.0~4.5 为可收费电信级.

$$R = 94122I_d I_e \quad (1)$$

在计算语音质量之前, 我们首先应用 FEC 纠错机制对每个 VoIP 的接收到语音流进行纠错, 然后计算其语音质量. 图 8 是缓存为 64、256, 负载为 100%、110%、115%、120% 时, RED 和 VASA 队列的语音质量对比. 当负载为 100% 时, RED 和 VASA 队列的 MOS 值在 4.0 左右波动, 语音质量基本相当; 当负载为 110% 时, RED 的语音质量都小于 3.5, 而 VASA 得语音质量基本可达 3.5, 可进行语音通话; 当负载为 115%、120% 时, RED 的语音质量基本小于 2.5, 无法建立语音连接, 而 VASA 的 MOS 值大于 2.5, 可以建立语音连接.

语音质量的对比表明 VASA 算法可以有效改善 RED 队列的语音质量, 在 RED 无法保证语音质量的时候, VASA 队列可以保证会话的进行. 这是因为 VASA 算法改善了语音包的延迟和丢包特性. 我们还将 VASA 算法的丢包策略调整为每转发 4 个包就丢弃第 5 个包, 测试在相同实验条件下其性能特征. 测试结果同样表明 VASA 队列的性能优势.

5 结束语

本文基于 VoIP 应用的特征, 提出了一种新的 VoIP 队列管理调度机制))) 结合 RED 和主动丢包调度算法 VASA 实现 VoIP 队列管理和调度, 并测试了它的性能特征. VASA 算法通过主动丢包有效减轻了网络拥塞对语音质量的影响, 提高了网络资源使用效率. 实验结果表明该队列管理调度机制可适应于 VoIP 应用. 我们还将继续研究 VASA 算法的动态丢包策略, 以及在多节点网络中的应用.

参考文献:

[1] Wenyu Jiang, Henning Schulzrinne. Modeling of packet loss and delay and their effect on realtime multimedia service quality [A]. Proc. of International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV) [C]. Chapel Hill, North Carolina, USA: ACM Press, 2000. 220- 229.

- [2] R Guerin, V Peris. Quality of service in packet networks: basic mechanisms and directions [J]. Computer Networks, 1999, 31(3): 169- 189.
- [3] 王重钢, 龚向阳, 程时端, 隆克平. 分组交换网络中队列调度算法的研究及其展望 [J]. 电子学报, 2001, 29(4): 553- 559.
- [4] 陈秀忠, 王春峰. VoIP 服务质量管理机制及原型系统 [J]. 计算机科学, 2003, 30(10): 144- 148.
- [5] Sally Floyd, Van Jacobson. Random early detection gateways for congestion avoidance [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993, 1(4): 397- 413.
- [6] B Braden, D Clark. RFC2309, Recommendations on Queue Management and Congestion Avoidance in the Internet [S]. April 1998.
- [7] H Sarneck, N Le, A Wolisz, G Carle. Intra-flow loss recovery and control for VoIP [A]. Proceedings of ACM Multimedia 2001 [C]. Ottawa, ON: USA: ACM Press, 2001. 441- 454.
- [8] Wenyu Jiang, Henning Schulzrinne. Comparison and optimization of packet loss repair methods on VoIP perceived quality under bursty loss [A]. Proc. of International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV) [C]. Miami Beach, Florida: USA: ACM Press. May 2002. 73- 81.
- [9] Colin Perkins, Orion Hodson, Vicky Hardman. A survey of packet loss recovery techniques for streaming audio [J]. IEEE Network, 1998, 12(5): 40- 48.
- [10] Benjamin W Wah, Xiao Su, Dong Lin. A survey of error concealment schemes for real-time audio and video transmissions over the Internet [A]. Proc. of Int. l Symposium on Multimedia Software Engineering [C]. Taipei, Taiwan: IEEE, USA: IEEE Computer Society, Dec. 2000. 17- 24.
- [11] M Hamdi. Fresh packet first scheduling for interactive services in the internet [A]. Proceedings of the 4th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis. ISAS. 98 [C]. Orlando, USA, July 1998.
- [12] Heinanen J, F Baker, W Weiss, J Wroclawski. RFC 2597. Assured Forwarding PHB Group [S]. June 1999.
- [13] UCB/LBNL/VINT Network Simulators (version 2) [DB/OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [14] D Lim, R Morris. Dynamics of random early detection [A]. Proc. of SIGCOMM [C]. USA: ACM Press, 1997. 27(4): 127- 137.
- [15] International Telecommunication Union. Recommendation G. 107. The Emodel, a Computational Model for Use in Transmission Planning [S]. Dec. 1998.
- [16] Cole R G, Rosenbluth J. Voice over IP performance monitoring [J]. ACM Computer Communication Review 4, Mar. 2001, 31(2): 9- 24.
- [17] Athina P, Markopoulou, Fouad A Tobagi, Mansour J Karam. Assessing the quality of voice communications over internet backbones [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002, 11(5): 747- 760.
- [18] International Telecommunication Union. Recommendation P. 830. Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs [S]. Geneva, Switzerland, Feb. 1996.

作者简介:



陈秀忠 男, 1971 年生于安徽, 中国科学院计算技术研究所 2000 级博士生, 研究方向是服务质量保证和调度算法。



李忠诚 男, 1962 年生于黑龙江, 中国科学院计算技术研究所博士生导师, 主要研究方向为计算机网络。