

中图法分类号: TN919.8 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)05-0703-07

论文索引信息: 万征, 方志军, 王正友. 基于相对排队延时的无线视频传输研究 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(5): 703-709

基于相对排队延时的无线视频传输研究

万征, 方志军, 王正友

(江西财经大学信息管理学院, 南昌 330032)

摘要: 无线接入和视频应用的日益普及使无线视频传输成为新的研究热点。随着研究的深入, 跨层优化和不平等保护的思想逐渐为大多数研究所采纳。基于 IEEE 802.11e 协议研究无线视频传输质量的改善方法, 提出一种综合考虑视频帧优先级和相对排队延时、适用于优先级数目有限的任何编码算法的视频帧调度算法。仿真实验结果表明, 提出的算法具有远高于标准 EDCA 及其已有改进方案的平均峰值信噪比。

关键词: 视频帧调度; 相对排队延时; 不平等保护; 优先级映射

Relative queuing delay based wireless video transmission

Wan Zheng, Fang Zhijun, Wang Zhengyou

(School of Information Technology, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330032 China)

Abstract: With the popularity of wireless access and video applications, wireless video transmission is bringing more attention. In most papers, the ideas of cross-layer optimization and unequal protection were adopted. To improve transmission quality of wireless video streams, a novel scheduling algorithm which integrates priorities of video frame with "relative queuing delay" and is suitable for any coding algorithm with limited priorities under IEEE 802.11e is proposed in this paper. Simulation results show that average peak SNR of proposed algorithm is much higher than those of EDCA and existing improving scheme.

Keywords: video frame scheduling; relative queuing delay; unequal protection; priority mapping

0 引言

随着无线网络宽带的逐步提升, 无线视频监控、视频会议、远程教育和 VOD 等视频应用迅速发展, 无线视频传输技术成为网络领域新的研究热点。近年来, 国内外众多学者在这一领域进行了大量研究。其中, 跨层优化^[1-3] 和不平等保护^[4-5] 成为两种主流思想。前者以降低视频传输失真为目标, 对视频编码算法和网络传输机制进行联合优化; 后者依据一个或多个指标区分视频数据的重要性, 并据此执行有差别的传输控制。另外, 数据业务和多媒体业务

共存的现状促使 IEEE 提出了区别对待不同业务的 802.11e 协议^[6]。该协议部署了 4 个拥有不同调度机会的队列 (AC[3]/AC[2]/AC[1]/AC[0]), 以容纳不同类型的业务。

为了优化视频传输, 许多学者提出将重要性各异的视频数据与多个 AC 队列分别映射的方案。例如, Ksentini 等人将 H. 264 视频的不同部分与 AC[3]/AC[2]/AC[1] 队列静态映射, 优先保障重要数据的传输^[7]。Lin 等人在此基础上提出视队列拥塞状况对视频帧进行降级处理^[8], 用队列长度标识 AC[2] 队列的拥塞状况, 在信道负载较重时为不同类型的视频帧设置相应的降级概率。Foh 等人通

收稿日期: 2010-01-11; 修回日期: 2010-06-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60862002, 60863016, 60963011); 江西省自然科学基金项目 (2008GQS0015, 2009GZS0022)。

第一作者简介: 万征 (1979—), 男, 副教授。2006 年获浙江大学计算机科学与技术专业博士学位, 主要研究方向为无线视频传输、网络服务质量和下一代网络协议。E-mail: cloudcity66@yahoo.com.cn。

过优化队列 AC[2] 和 AC[1] 的流量比减少视频传输失真^[9]。这些方案虽然在一定程度上降低了视频的传输失真,但由于存在未充分利用队列 AC[0] 的容量和对高优先级视频帧保护力度不够等问题,其视频传输性能仍有待提高。

本文使用“相对排队延时”近似计算各个 AC 队列的排队时间,在此基础上提出一种综合考虑视频帧优先级(应用层)和队列相对排队延时(链路层)的视频帧调度算法(PRSA)。

1 算法描述

1.1 总体思路

如图 1 所示,PRSA 借用队列 AC[1] 和 AC[0] 传输视频数据,其核心是综合考虑视频帧的优先级、3 个队列的相对排队延时和拥塞状况为视频帧选择合适队列的视频帧调度算法。

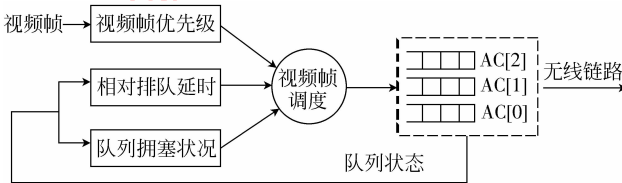


图 1 PRSA 的总体思路

Fig.1 System architecture of PRSA

1.2 相对排队延时

为降低数据帧的传输延时,应将其插入排队延时最小的队列。在 IEEE 802.11e 协议的多队列调度模型中,数据帧进入某个队列后的排队延时取决于两个因素:一是已经进入队列正在等待调度的数据量;二是该队列的调度机会。

排队延时与已进入队列等待调度的数据量成正比,等待调度的字节数越多,数据帧的排队延时就越大。排队延时与队列的调度机会成反比,队列调度机会越大,数据帧的排队延时就越小。在多队列调度模型中,所有队列的参数共同作用,决定各队列分别拥有多少调度机会。队列的吞吐率是其调度机会的直接体现。在非饱和状态下,队列吞吐率主要取决于相关业务的流量;即使在饱和状态下,由于队列参数的取值具有随机性,队列吞吐率也存在一定的波动范围。因此,应使用饱和状态下一段时间内的平均吞吐率描述不同队列在调度机会上的差异。

为近似计算数据帧在不同队列中的排队延时,本文提出“相对排队延时”的概念。设队列 AC[i] ($i=0,1,2$) 中等待调度的字节数为 B_i ,队列的平均吞吐率之比为 $T_2:T_1:T_0$ 。

定义 1.1 相对排队延时

队列 AC[i] 的“相对排队延时” $D_{ri} = B_i / T_i$ 。

显然,入队数据帧的“相对排队延时”越小,其实际排队时间也越短。设 $D_{rmin} = \min\{D_{ri} | i=0,1,2\}$,那么将视频帧插入 D_{rmin} 对应的 AC 队列可最小化其传输延时。上述定义中, B_i 应在调度过程中实时计算, $T_2:T_1:T_0$ 则需事先确定。

1.3 视频帧调度算法

大量研究表明,不同视频帧的解码重要性是不一样的。大多数情况下,无线链路的带宽都无法满足视频传输的要求,数据丢失难以避免。如果为每个视频帧都选择 D_{rmin} 对应的队列,会使重要视频帧和普通视频帧以相同的概率被丢弃,从而加大视频的传输失真。解决该问题的唯一途径,就是牺牲低优先级视频帧来保障高优先级视频帧的传输。为此,本文提出一种区分优先级的视频帧调度算法 PRSA,综合考虑视频帧的优先级和多个队列的即时状态为视频帧分派队列。算法的主要思想包括:

1) 以 D_i 标识队列的优先级。 D_i 越小则队列的优先级越高。在调度视频帧时,尽可能为其选择高优先级队列。

2) 以队列长度(即队列中等待调度的数据帧个数)标识队列的拥塞状况。为优先级较高的两个队列(AC[min] 和 AC[mid]) 设置多级准入门槛(即队列长度的阈值),视频帧的每一种优先级在这两个队列中都有相应的准入门槛。

在执行调度时,算法依次扫描队列 AC[min] 和 AC[mid],根据它们的拥塞状况判断视频帧能否进入某个队列。如果两个队列的长度均大于相应的阈值,就把视频帧插入 D_i 最大的队列(AC[max])。由此可见,视频帧优先级越高、队列长度越小,则视频帧进入队列的机会就越大。PRSA 算法适用于优先级数目有限的任何编码算法,如 MPEG4 和 H.264。为避免设置过多的队列长度阈值,采取两个队列共用阈值的策略。如果编码算法的优先级有 $n+1$ 种,则为每个队列设置 n 个阈值($k_1 > k_2 > \dots > k_n$)。以下是算法具体描述:

Let $min = \{i | D_{ri} = D_{rmin}\};$

Let $mid = \{i | D_{ri} = D_{rmid}\};$

```

Let  $max = \{i \mid D_{ri} = D_{rmax}\}$ ;
switch {priority} {
  case 1:
    if (length(AC[ $min$ ]) <  $k_1$ ) insert into AC[ $min$ ];
    else if (length(AC[ $mid$ ]) <  $k_1$ ) insert into AC[ $mid$ ];
    else insert into AC[ $max$ ];
    break;
  case  $j$ : //  $1 < j < n + 1$ 
    if (length(AC[ $min$ ]) <  $k_j$ ) insert into AC[ $min$ ];
    else if (length(AC[ $mid$ ]) <  $k_{j-1}$ ) insert into AC[ $mid$ ];
    else insert into AC[ $max$ ];
    break;
  case  $n + 1$ :
    if (length(AC[ $min$ ]) <  $k_n$ ) insert into AC[ $min$ ];
    else if (length(AC[ $mid$ ]) <  $k_n$ ) insert into AC[ $mid$ ];
    else insert into AC[ $max$ ];
    break;
  default:
    break;
}
    
```

1.4 参数分析

PRSA 算法的参数包括 3 个 AC 队列平均吞吐率之比 ($T_2 : T_1 : T_0$) 和队列长度阈值 (k_1, k_2, \dots, k_n)。 $T_2 : T_1 : T_0$ 的定量计算非常困难,但可借助实验得到其近似值。

实验采取标准 EDCA 模式,无线信道带宽为 1 Mbit/s;音频业务数据率设为常用的 64 kbit/s;视频、尽力发送和背景流的数据率均为 1 Mbit/s(任何一种业务都能使信道饱和)。4 类业务使用等长数据包,由同一个无线终端发往接入点(AP)。进行 3 次实验,数据包长度分别设置为 200 B、500 B 和 1000 B, $T_2 : T_1 : T_0$ 的测试结果分别为 8.55:2.84:1、8.31:2.51:1 和 8.78:2.84:1。由此可见,不同数据包长度下的测试结果虽稍有差别,但基本一致。为简化后续实验的参数设置,取 $T_2 : T_1 : T_0 = 9:3:1$ 。

在 PRSA 算法中,某类视频帧进入队列 AC[min] 的机会越多,表明对该类视频帧的保护力度越大。由 1.3 节的视频帧调度算法可知,阈值 k_1 与队列长度上限的差距越小,则算法对优先级最高的视频帧保护越到位; k_{j+1} 与 k_j 差距越大,则算法对第 j 级视频帧的保护力度越大。2.2 节将通过仿真实验分析 PRSA 算法的参数设置原则。

2 仿真结果

2.1 性能比较

仿真实验基于 ns-2 仿真平台^[10]和 Evalvid 视频传输测试工具^[11],由 Ke 等人实现^[12]。有关该平台的详细介绍可参考相关文献。实验使用如图 2 所示的仿真拓扑。

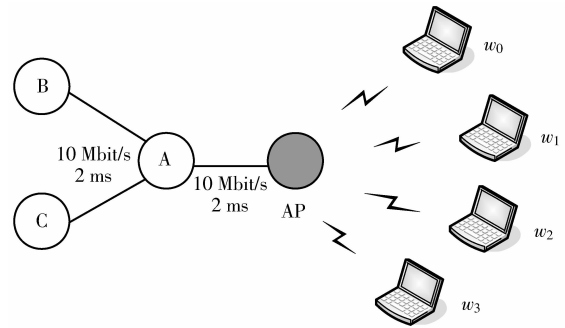


图 2 仿真拓扑

Fig.2 Simulation topology

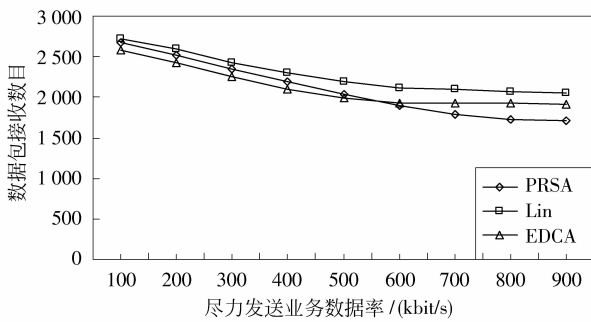
接入点 AP 及固定节点 A、B、C 之间通过有线链路相连。AP 与节点 A 相连,并通过 802.11e 链路将无线终端 w_0-w_3 接入固定网络。仿真实验以 MPEG 编码算法为例。测试序列为 foreman. cif,信道带宽为略高于序列平均吞吐率的 3 Mbit/s,目的是在特定情况下产生拥塞。在 3 个场景中比较 PRSA 与 Lin 算法^[8]和标准 EDCA 在数据包接收数目、平均峰值信噪比 (PSNR) 和平均延时等方面的性能:1) 4 类业务均由 w_1 发往 B;2) 4 类业务由 B 分别发往 w_0-w_3 ;3) 4 类业务分别由 w_0-w_3 发往 B。

Lin 算法的参数如表 1 所示,PRSA 算法中 k_1 和 k_2 分别设置为 40 和 10。实验结果如图 3—5 所示,横坐标为“尽力发送”业务的数据率(背景流数据率等于“尽力发送”业务的一半)。

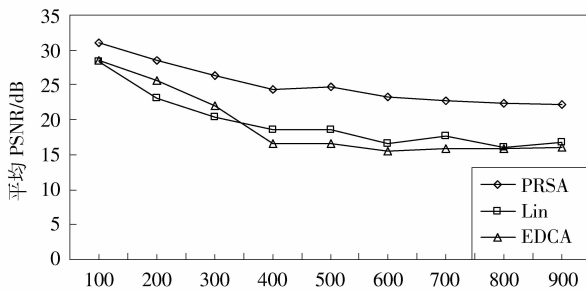
表 1 Lin 算法的仿真参数

Tab.1 Parameters of Lin

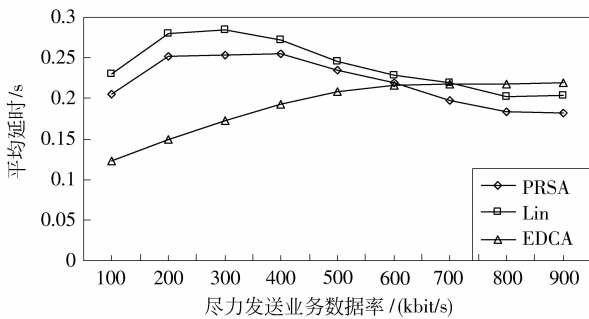
参数	参数说明	设置值
prob0	I 帧默认降级概率	0
prob1	P 帧默认降级概率	0.3
prob2	B 帧默认降级概率	0.6
Threshold1	队列长度阈值 1	10
Threshold2	队列长度阈值 2	40



(a) 数据包接收数目



(b) 平均峰值信噪比 (PSNR)



(c) 平均延时

图 3 场景 1 下的仿真结果

Fig. 3 Results under scene 1

图 3 给出场景 1 下的仿真结果。

图 3(a) 表明在丢包性能上 PRSA 不如 Lin, 且当“尽力发送”业务的数据率达到 600 kbit/s 后, PRSA 甚至不如 EDCA。这是因为在队列负载达到一定程度后 PRSA 直接将视频帧降级, 造成进入 AC[*mid*] 和 AC[*max*] 队列的视频帧大量丢失。相反, Lin 以一定概率对视频帧进行降级处理, 能充分利用 AC[2] 队列的容量从而降低丢包率。由图 3(b) 可知, PRSA 在丢包率大于 Lin 的情况下, 却拥有高于后者近 6 dB 的平均 PSNR, 这主要得益于它对高优先级数据的有效保护。图 3(a) (b) 的相似之处在于, 随着低优先级业务数据率的增加, 3 种方案的丢包率和平均 PSNR 均在迅速下降后趋于平稳。这说明在达到一定值后继续提高低优先级业务

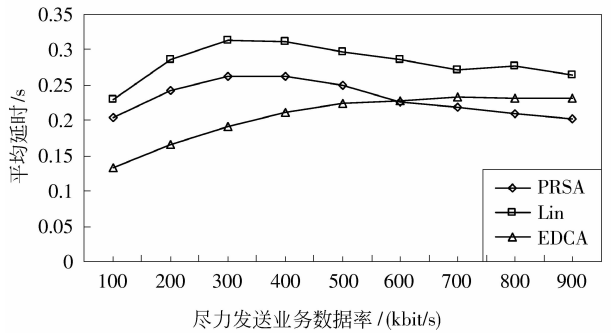
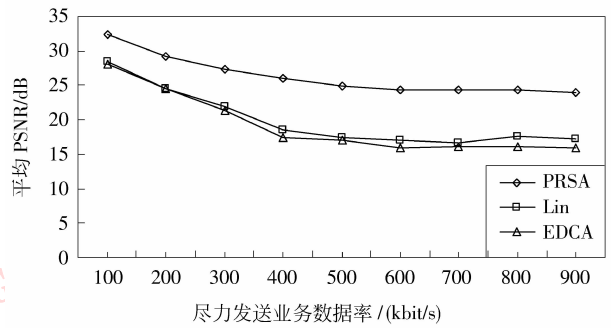


图 4 场景 2 下的仿真结果

Fig. 4 Results under scene 2

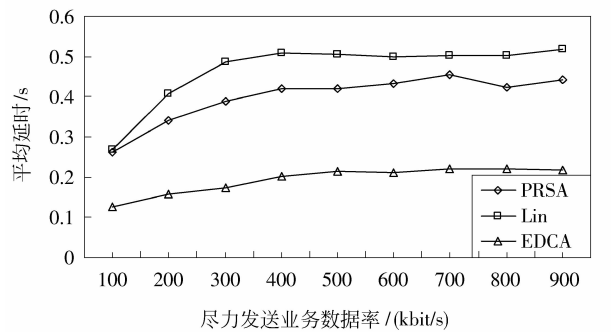
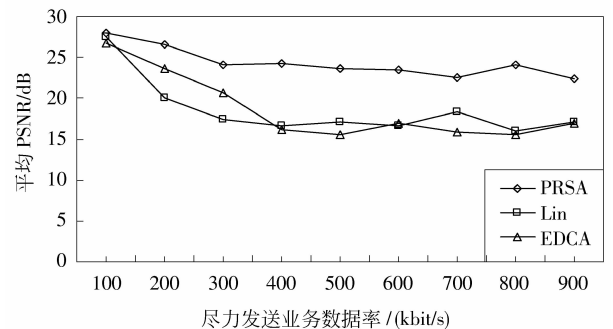


图 5 场景 3 下的仿真结果

Fig. 5 Results under scene 3

的数据率对视频业务影响不大, 因为增加的部分几乎都被丢弃了。

由于丢包率不能准确反映视频传输的失真, 因此后续实验不给出数据包接收数目的仿真结果。

图3(c)给出的仿真结果表明,PRSA的平均延时性能优于Lin,但不如EDCA。与丢包率和平均PSNR的仿真结果相似,EDCA的平均延时也表现为先迅速下降后趋于平稳。但PRSA和Lin的平均延时在达到峰值后却开始逐步下降,这是因为:1)成功发送的数据包总数逐渐减少;2)进入AC[*min*]或AC[2]的数据包所占比重不断上升,所以从整体而言视频帧能更快地得到调度。在低优先级业务的数据率较低时,两种改进算法成功发送的视频帧较多且部分视频帧进入AC[*mid*]和AC[*max*](或AC[1]和AC[0]),因而它们的平均延时远高于EDCA。此外,两个队列的过早饱和也使两种改进算法的平均延时更快达到峰值。

场景2与场景1的相似之处是4类业务的数据源都集中在一个节点上;区别在于数据流的传输方向。由图4可知,场景2与场景1的仿真结果基本一致。

图5给出场景3下的仿真结果。在场景1和场景2中,赢得节点内部竞争的队列即可使用无线信道。但在场景3中,若是AC[1]或AC[0]队列赢得 w_1 节点的内部竞争,那么它们还将与其他节点的胜出队列再次竞争,并且第2次竞争可能造成冲突损耗。因此,PRSA的平均PSNR虽然远高于Lin和EDCA,但却普遍低于场景1中的相应值。此外,由于大量视频帧进入 w_1 的AC[1]和AC[0]队列(w_1 节点本身不产生低优先级数据),而这些数据只有在赢得与其他节点的竞争时才能得到调度,所以两种改进算法的平均延时都远高于EDCA,也远高于场景1中的相应值。

综合图3—5所示结果,可得出以下结论:

1) 由于PRSA加强了对高优先级数据的保护,所以其平均PSNR高于Lin和EDCA;

2) 丢包率方面Lin最低,PRSA在多数情况下低于EDCA。但是,丢包率无法准确反映失真;

3) 就平均延时性能来说,PRSA总是优于Lin,而EDCA在大多数时候都是最佳选择。

通常情况下视频业务对失真的敏感性高于延时,所以PRSA的整体性能优于Lin和EDCA。

2.2 参数比较

实验均在场景3下完成。

1) 参数 $T_2:T_1:T_0$ 。

在本实验中,参数 $T_2:T_1$ 为变量(T_0 份额为1),“尽力发送”和背景流的数据率分别为500 kbit/s和

250 kbit/s, k_1 和 k_2 的值与2.1节相同。

图6给出平均PSNR和平均延时随参数 $T_2:T_1$ 的变化情况,仿真结果证明9:3是最佳选择。此外, $T_2:T_1$ 达到9:3后继续增加AC[2]队列所占比重对失真和延时性能的影响不大;相反增加AC[1]队列所占比重则使性能大为下降,因为AC[1]队列的负载远高于AC[2]队列。

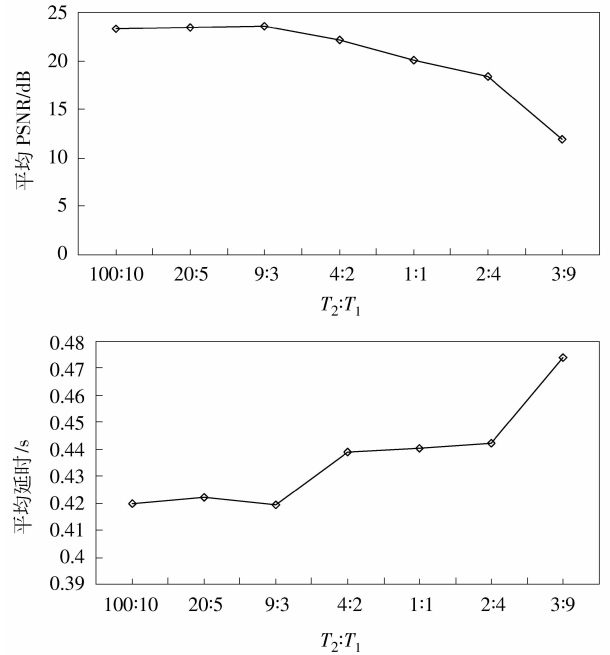


图6 参数 $T_2:T_1$ 的比较结果

Fig. 6 Results of $T_2:T_1$

2) 参数 k_1 。

在本实验中,参数 k_1 是变量,“尽力发送”和背景流的数据率分别为500 kbit/s和250 kbit/s,参数 $T_2:T_1:T_0$ 和 k_2 的值与2.1节相同。

图7所示的仿真结果表明,平均PSNR随参数 k_1 的减少而下降,而平均延时的变化趋势则刚好相反。由调度算法和低优先级业务的数据率可知,AC[*min*]在绝大多数情况下就是AC[2]且AC[*mid*]可供视频帧使用的空间非常有限。在这种环境下, k_1 越大意味着I帧进入AC[*min*]的机会越大,它们被成功发送的可能性也越大。因此,PSRA算法接收到的数据包和平均PSNR都随 k_1 的增加而增加,而丢包率的降低又使平均延时逐渐增大。

3) 参数 k_2 。

在本实验中,参数 k_2 是变量, k_1 设为49,“尽力发送”和背景流的数据率分别为500 kbit/s和250 kbit/s,参数 $T_2:T_1:T_0$ 的值与2.1节相同。

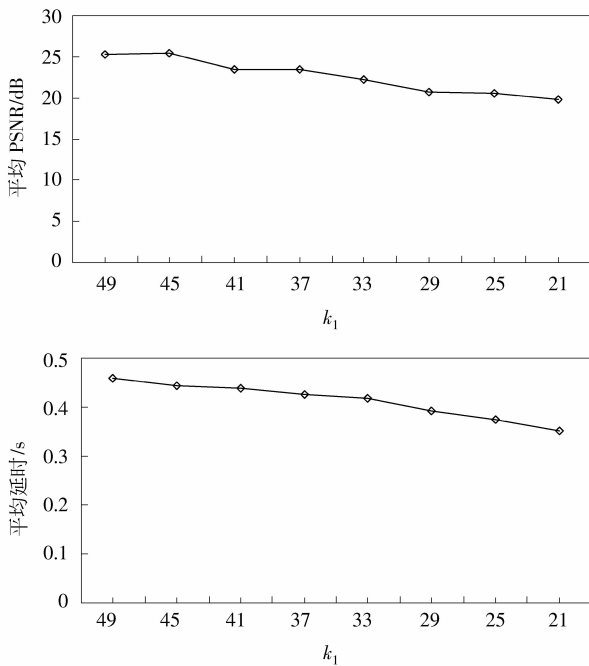
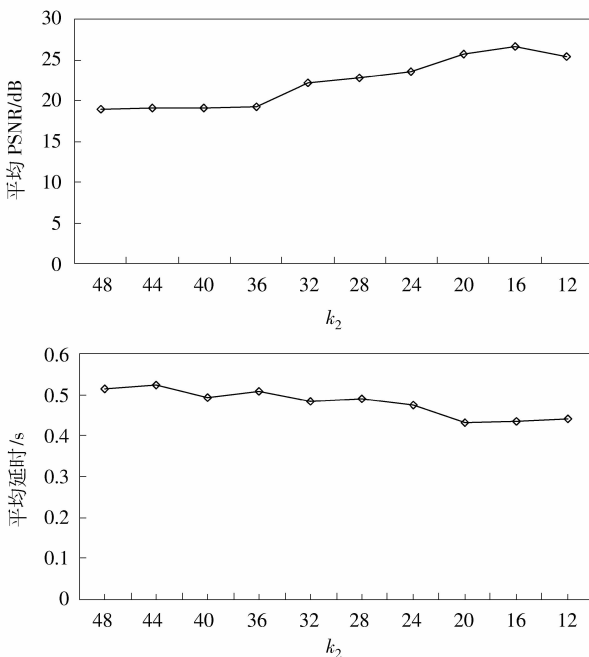
图 7 参数 k_1 的比较结果Fig. 7 Results of k_1

图 8 所示的仿真结果表明,平均 PSNR 随参数 k_2 的减少而增加,并在 $k_2 = 16$ 时达到峰值,随后开始下降。由调度算法和低优先级业务的数据率可知, k_2 下降意味着 B 帧和 P 帧进入 AC[*min*] 的机会减少。这样一来,I 帧的接收率和 B/P 帧的丢弃率

图 8 参数 k_2 的比较结果Fig. 8 Results of k_2

都将随之上升,从而造成平均 PSNR 的增加(I 帧接收率上升)和平均延时的下降(总体丢弃率上升)。

结合 1.4 节对 PSRA 算法的分析和图 7、8 给出的仿真结果可知,队列长度阈值应依据其相应优先级所包含的视频帧数量设置。

3 结论

提出一种基于 IEEE 802.11e 协议、结合视频帧优先级和相对排队延时的视频帧调度算法(PSRA)。仿真实验结果表明,该算法:

- 1) 具有远低于标准 EDCA 及其已有改进算法的视频传输失真;
- 2) 作为代价,其平均延时在多数情况下高于 EDCA,但优于其他改进算法;
- 3) 参数 $T_2; T_1; T_0$ 应事先通过实验确定;
- 4) 队列长度阈值应依据其相应优先级所包含的视频帧数量设置。

下一步工作主要是设计平均吞吐率之比和队列长度阈值的自适应调整策略,分别适应音频数据率的动态变化和编码结构各异的视频序列。

参考文献 (References)

- [1] Kompella S, Mao S, Hou Y T, et al. On path selection and rate allocation for video in wireless mesh networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2009, 17(1): 212-224.
- [2] Wen Jianwei, Dai Qionghai, Jin Yihui. PID_based channel-adaptive cross layer optimizing design for wireless video transmissions [J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology), 2007, 47(10): 1578-1580. [温建伟,戴琼海,金以慧.基于PID的信道自适应跨层优化无线视频传输[J].清华大学学报(自然科学版),2007,47(10):1578-1580.]
- [3] Zhou L, Wang X, Tu W, et al. Distributed scheduling scheme for video streaming over multi-channel multi-radio multi-hop wireless networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010, 28(3): 409-419.
- [4] Ahmed Abd El Al, Saadawi T, Lee M. Multi-user video streaming over multi-hop wireless networks: a distributed, cross-layer approach based on priority queuing [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(4): 770-785.
- [5] Qiu Jinbo, Zhu Guangxi. An unequal protection strategy for adaptive cross layer video transmission over wireless channels [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2007, 29(1): 209-213. [邱锦波,朱光喜.一种无线视频传输的跨层自适应不平等保护方法[J].电子与信息学报,2007,

- 29(1): 209-213.]
- [6] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). IEEE Standard 802.11e-2005, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements [S]. New York, USA: IEEE, 2005.
- [7] Ksentini A, Naimi M, Guéroui A. Toward an improvement of H.264 video transmission over IEEE 802.11e through a cross-layer architecture [J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(1): 107-114.
- [8] Lin C H, Shieh C K, Ke C H, et al. An adaptive cross-layer mapping algorithm for MPEG-4 video transmission over IEEE 802.11e WLAN [J]. Telecommunication Systems, 2009, 42(3-4): 223-234.
- [9] Foh C H, Zhang Y, Ni Z F, et al. Scalable video transmission over the IEEE 802.11e networks using cross-layer rate control [C] //Proceedings of International Conference on Communications (ICC'07). New York, USA: IEEE, 2007: 1760-1765.
- [10] Information Sciences Institute. The Network Simulator-NS (version 2) [EB/OL]. (1995-07-31) [2009-06-17]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [11] Klaue J, Rathke B, Wolisz A. EvalVid-A framework for video transmission and quality evaluation [C] //Proceedings of 13th International Conference on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation. Berlin, Germany: Springer, 2003: 255-272.
- [12] Ke C H, Shieh C K, Hwang W S, et al. An evaluation framework for more realistic simulations of MPEG video transmission [J]. Journal of Information Science and Engineering, 2008, 24(2): 425-440.