

一种基于 EDCA 的视频数据包动态映射算法

杜建超* 肖嵩 吴成柯

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室 西安 710071)

摘要: 为了改善无线局域网中视频流的传输性能, 该文提出一种基于增强分布式协调接入机制(EDCA)的动态映射算法。该算法首先建立视频数据包重要性排序模型, 统计 EDCA 各个访问类的平均服务率, 然后根据其可用资源动态地将排序后的视频数据包映射到不同的访问类中进行传输。该方法改进了 EDCA 机制中对数据包的静态映射机制, 能够充分利用网络资源, 从而改善了视频流在无线局域网中的传输性能。实验结果表明, 该文提出的方法降低了数据包的传输延迟, 提高了重建图像的质量。

关键词: 无线局域网; 视频流传输; 增强分布式协调接入机制; 服务质量

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2012)01-0045-06

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2011.00471

An EDCA-based Dynamic Mapping Scheme for Video Streaming Packets

Du Jian-chao Xiao Song Wu Cheng-ke

(State Key Laboratory of Integrated Service Network, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: To improve the performance of video transmission over Wireless Local Area Networks (WLAN), a dynamic mapping scheme based on Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) is proposed. This scheme builds initially the importance-based sorting model for video data packets and computes statistically the average service rate for each access category of EDCA, and then sends dynamically the sorted video packets into different access category for transmission according to the available resources. Because the proposed scheme that modifies the still mode of packets mapping scheme in EDCA can make full use of the network resources, it improves the transmission performance for video transmission over WLAN. The experiment results show that the proposed scheme can reduce the transmission delay of packets and increase the quality of reconstruction images.

Key words: Wireless Local Area Network (WLAN); Video streaming; Enhanced Distributed Channel Access (EDCA); Quality of Service (QoS)

1 引言

近年来, 随着无线网络的发展, 对网络资源需求较高的多媒体应用也快速发展起来。用户通过无线媒体终端, 可以方便、快捷地接收网络视频及其相关的服务。由于视频业务具有时效性、依赖性、高带宽等约束条件, 使得视频业务与其它数据业务的传输方法有很大的不同^[1]。如果无线局域网能够保证服务质量(Quality of Service, QoS), 将会改善视频流在无线局域网中的传输性能, 提高接收端的视频质量。

当前的无线局域网络大多基于 IEEE 802.11 a/b/g 标准, 其 MAC 层传输均采用分布式协调机制

(Distributed Coordination Function, DCF)机制。DCF 在提出的时候并未考虑网络中数据的不同类型, 因此按照统一的传输机制来处理。随着多媒体数据业务的增多, DCF 已经不能满足要求, 特别是不能满足音/视频等实时业务流的传输需求。为了适应新的发展, IEEE 提出了 802.11e 协议, 用以增加无线网络对 QoS 的支持。802.11a/b/g 都可以采用 802.11e 中规定的传输机制来增强网络性能。在 802.11e 中, 一种新的 MAC 层传输机制称为增强分布式协调接入机制(Enhanced Distributed Channel Access, EDCA)。它定义了 4 个访问类, 分别为 AC_3, AC_2, AC_1, AC_0, 从网络层传递到 MAC 层的每个数据包将会被映射到 4 个访问类中的一个并被送到其传输队列中。默认情况下, 语音业务数据包将被映射到 AC_3, 视频数据包将被映射到 AC_2, 尽力而为(Best Effort, BE)数据包被映射到 AC_1, 而其它数据包作为背景数据映射到

2011-05-19 收到, 2011-10-24 改回

国家自然科学基金(60702058), 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目和中央高校基本科研业务费专项资金资助课题

*通信作者: 杜建超 jcd@xidian.edu.cn

AC_0。由于在无线网络中，信道是共享的，因此当需要发送数据时，这4个访问类要竞争媒体访问权。EDCA对这4个访问类规定了不同的媒体访问优先级参数，使得AC_3的优先级最高，依次降低，至AC_0最低。这使得音/视频数据包在传输过程中，将会优先于其它数据包被发送，并且具有更短的等待时间，从而在一定程度上提高了无线网络对QoS需求的支持。

然而，对于视频传输而言，EDCA机制不能完成最优的传输性能。首先，无线网络的带宽变化大，接收距离的远近会大大影响传输速率和丢包概率。当信道情况发生变化时，需要及时调整发送策略以保证视频流质量的稳定性。其次，视频数据包的重要性有很大差异，不同视频数据包的丢失对重建图像的质量造成影响不同。因此有必要对视频数据包加以区别处理，使其更加符合视频数据的特点。针对这些问题，一些文献研究了EDCA的参数性能并通过参数调整来提高视频数据的QoS保证。文献[2]研究了竞争窗口(CW)和仲裁帧间间隔(AIFS)参数对QoS性能的影响。文献[3]研究了实时流的QoS需求，并提出通过接入控制策略来保证QoS性能。文献[4,5]提出动态调整传输机会(TXOP)参数的接入控制算法，以此来保证网络的QoS服务性能。文献[6]为相关的数据包分别定义了不同的有效生存时间，并根据当前的网络状况调整相应数据包的重发次数。还有一些研究根据视频数据包的特点提出新的访问类映射策略。文献[7]提出将视频数据包按照I片(slice), P片(slice), B片(slice)的编码类型进行分类，然后分别将其映射到AC_3, AC_2, AC_1访问类，其根据是视频编码中I片的重要性最高，对整个重建图像的影响最大，P片次之，B片最小。文献[8]提出对于H.264数据分割码流得到的A, B, C 3类数据，分别映射到AC_3, AC_2, AC_1访问类。文献[9]根据视频数据包的重要性特征，分类映射并采用前向纠错(FEC)不等错误保护策略来提高传输的性能。文献[10,11]对可分级视频编码(SVC)分层码流进行了区别处理，提出了新的映射策略。

这些方法提出了把视频数据包分类映射的思路，但是没有考虑到视频数据包的实时性问题。这些方法在一定程度上改善了视频传输性能，但是它们根据数据包类型来调整发送策略的模式仍然是静态的，没有充分利用网络资源。针对以上问题，本文提出一种优化信道利用率的视频数据包动态映射算法。该方法首先实时检测每个访问类的可用容量，然后按照重要性特征将视频数据包分别映射到不同

的访问类进行传输，以充分利用信道资源，获得最佳的视频传输质量。

2 视频数据包的重要性模型

视频编码中GOP(Group of Pictures)含有I, P和B 3种编码帧类型。GOP内所含的帧数称为GOP的长度，记为 L 。每个视频帧被编码成一个或者多个片，每个片被封装进一个数据包。用 $p(i, j, k)$ 表示一个视频数据包，其中 i 为GOP序号， j 为GOP中的帧序号， k 为属于同一帧的数据包序号。

在图像重建时，I帧的解码不需要参考帧，而P帧和B帧的解码则需要在参考帧的基础上，叠加上残差信息得到重建图像。这一过程可表示为

$$\left. \begin{aligned} I_n &= \tilde{I}_n \\ P_n &= \tilde{P}_n \oplus R_{n-1} \\ B_n &= \tilde{B}_n \oplus R_{n-1} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中，参考帧 R_{n-1} 为已经完成解码的I帧或者P帧。

因此，如果数据包 $p(i, j, k)$ 在传输过程中丢失，则会对“本帧”及“同一GOP内的其它帧”的解码产生影响。这种影响的大小将决定视频数据包的重要性。

首先，若 $p(i, j, k)$ 丢失，将影响本帧的解码。此时，该数据包所包含的图像信息将由解码器通过错误掩盖策略来估计。错误掩盖是利用图像在时/空域上的相关性，由正确收到的数据来估计丢失部分数据的方法^[12-13]。把估计数据与原数据之间存在的误差，称为第1类误差，记为 δ_1 。设 $p(i, j, k)$ 对应的图像区域为 S ，若 S 经过错误掩盖后为 S^* ，则

$$\delta_1 = |S^* - S| \quad (2)$$

对 δ_1 的计算可以用均方误差(Mean Square Error, MSE)，绝对误差和(Sum of Absolute Difference, SAD)或者峰值信噪比(PSNR)等。本文使用SAD来计算。

$$\text{SAD}(S^*, S) = \sum_{m=0}^{M_0-1} |S^*(m) - S(m)| \quad (3)$$

其中 $S^*(m)$ 和 $S(m)$ 分别表示图像区域 S^* 和 S 中的像素灰度值， M_0 表示总的像素个数。

其次，由式(1)可知，若数据包 $p(i, j, k)$ 所属帧被用作参考帧，则当它“丢失”时，会影响GOP内其它帧的解码。把这种对其它帧解码造成的误差，称为第2类误差，记为 δ_2 。若GOP内的帧 f_n 受影响的图像区域为 S_n ，重建后为 S_n^* ，则

$$\delta_2 = \sum_{0 \leq n \leq L-1, n \neq j} \alpha(n) \cdot |S_n^* - S_n| \quad (4)$$

其中 $\alpha(n)$ 为权因子。当 $p(i, j, k)$ 对帧 f_n ($n = 0, \dots, L-1; n \neq j$)的解码有影响时， $\alpha(n) = 1$ ；否则，

$\alpha(n) = 0$ 。

对 δ_2 的计算较为复杂。例如，假如 GOP 内 I_1 帧的一个数据包“丢失”，则它对本 GOP 内 P_3 帧的影响是由中间两帧 P_1 和 P_2 “传递”而来。因此，为了计算 P_3 帧的质量下降，不仅需要计算 I_1 帧的错误掩盖，而且需要在此基础上解码中间的两帧 P_1 和 P_2 。当 GOP 长度 L 较大时，这种计算是相当费时的。本文提出一种简便的计算方法，能大大简化计算复杂度。

在式(1)中， \oplus 表示运动补偿，这是一种线性运算。因此，忽略编码过程中的计算误差，可以认为错误掩盖的误差也是线性传递的。这样，对于 f_n 受影响的图像区域 S_n ，其每一像素的误差可由数据包 $p(i, j, k)$ 对应图像区域 S 中的像素误差计算得到。像素的对应关系由运动矢量决定。根据 $p(i, j, k)$ 中像素的初始误差及其所影响的像素数，式(4)可以写为

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \sum_{0 \leq n \leq L-1, n \neq j} \alpha(n) \cdot |S_n^* - S_n| \\ &= \sum_{0 \leq n \leq L-1, n \neq j} \alpha(n) \cdot \left(\sum_{m \in S_n} |S_n^*(m) - S_n(m)| \right) \\ &= \sum_{0 \leq n \leq L-1, n \neq j} \alpha(n) \cdot \left(\sum_{m \in S} \beta(m) \cdot |S^*(m) - S(m)| \right) \quad (5) \end{aligned}$$

其中 M_n 是 S_n 包含的总像素数， $\beta(m)$ 是像素 $S(m)$ 被 S_n 中的像素参考的次数，由运动矢量容易求得此变量。也就是说，由 $p(i, j, k)$ 的第 1 类误差和一系列的运动矢量，可以求得其对 GOP 内其它帧造成的误差。

综合以上分析，得到数据包 $p(i, j, k)$ 的重要性评价参数为

$$\delta = \theta \delta_1 + (1 - \theta) \delta_2 \quad (6)$$

θ ($0 \leq \theta \leq 1$) 用来调节第 1 类误差和第 2 类误差的权重。当 $\theta < 0.5$ 时，误差扩散对数据包重要性的影响较大；当 $\theta > 0.5$ 时，当前帧的质量下降对数据包重要性的影响较大。

3 基于数据包重要性排序的动态映射算法

在 EDCA 中，MAC 层定义了 4 个访问类 AC_3, AC_2, AC_1, AC_0 ，它们分别维护自身的传输队列，并通过载波侦听多路访问/冲突避免(CSMA/CA)的竞争机制获得媒体的访问权。赢得竞争的访问类能够发送数据包。如果接收方成功收到数据包，则返回一个 ACK 确认包；若发送方在规定时间内没有收到确认包，则重新发送。当重发次数超过了规定的最大重传次数时，则该数据包被发送方丢弃。不仅不同的发送终端之间要竞争媒体访问权，而且同一发送终端内部的访问类之间也要竞争。同一时段，

只有一个发送终端的一个访问类赢得媒体访问权。在访问类的竞争过程中， AC_3 的优先级最高，其赢得媒体访问权的概率最大。 AC_2 次之， AC_1 再次， AC_0 优先级最低。

设发送方访问类 AC_i 队列的平均服务率为 μ_i ，包的到达率为 λ_i ($i = 0, 1, 2, 3$)，则每个数据包的平均服务时间为 $1/\mu_i$ ，包的到达间隔时间为 $1/\lambda_i$ ，每个访问类的队列使用率定义为

$$\rho_i = \lambda_i / \mu_i \quad (7)$$

当 $\rho_i \leq 1$ 时，数据包能够被及时发送；当 $\rho_i > 1$ 时，数据包将必须在队列中的先进行等待，然后才能发送。文献[14,15]根据访问类的竞争原理和回退机制建立了队列的平均服务率模型。由于现有的模型都没有考虑丢包，因此求得的平均服务率仅适用于理想的网络状态。本文提出一种统计方法来快速计算平均服务率。

对访问类 AC_i ，以时间间隔 $\Delta\tau$ 统计到达的数据包数量 R_i 、成功发送的数据包数量 T_i 、以及在本段时间内队列空闲的时间 d_i 。

设初始统计时刻为 τ_0 ，此后统计的时间点为 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \dots$ ，则到达数据包数量记为 $R_{i,1}, R_{i,2}, \dots, R_{i,k}, \dots$ ，成功发送数据包数量记为 $T_{i,1}, T_{i,2}, \dots, T_{i,k}, \dots$ ，队列空闲的时间记为 $d_{i,1}, d_{i,2}, \dots, d_{i,k}, \dots$ 。由此，在时间点 τ_k 处，成功发送的总数为 $\tilde{T}_{i,k} = \sum_{j=1}^k T_{i,j}$ ，到达的总数为 $\tilde{R}_{i,k} = \sum_{j=1}^k R_{i,j}$ ，空闲的时间总量为 $\tilde{d}_{i,k} = \sum_{j=1}^k d_{i,j}$ 。因为随着网络状态的变化，服务率和到达率也动态变化，所以用下式来表示时间点 τ_k 处访问类 AC_i 队列的平均服务率和到达率

$$\left. \begin{aligned} \mu_{i,k} &= \sigma \cdot \frac{T_{i,k}}{\Delta\tau - d_{i,k}} + (1 - \sigma) \cdot \frac{\tilde{T}_{i,k-1}}{(k-1) \cdot \Delta\tau - \tilde{d}_{i,k-1}} \\ \lambda_{i,k} &= \sigma \cdot \frac{R_{i,k}}{\Delta\tau} + (1 - \sigma) \cdot \frac{\tilde{R}_{i,k-1}}{(k-1) \cdot \Delta\tau} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

其中 $0 \leq \sigma \leq 1$ ，用作加权当前和平均的网络状态。如果在时间间隔 τ_k 内，队列处于空闲，则式(8)中平均服务率 $\mu_{i,k}$ 的计算中第 1 项分子分母为零，此时直接令 $\mu_{i,k} = \mu_{i,k-1}$ 。

根据式(7)，为了使数据包能够及时发送，队列 AC_i 在时刻 τ_k 的平均到达率 $\lambda_{i,k}$ 应该满足以下关系：

$$\lambda_{i,k} \leq \mu_{i,k} \quad (9)$$

考虑到与其它业务并存的情况，设

$$\lambda_{i,k} = \lambda_{i,k}^v + \lambda_{i,k}^u \quad (10)$$

其中 $\lambda_{i,k}^v$ 是视频数据包的到达率， $\lambda_{i,k}^u$ 是非视频数据包的到达率。

在缺省情况下, 视频数据包被映射到 AC_2 访问类队列中。如果其它访问类队列有空闲资源, 则可以用来传输视频数据包。可供视频数据包利用的资源为

$$\lambda_{i,k}^v = \lfloor \mu_{i,k} - \lambda_{i,k}^u \rfloor \quad (11)$$

这里 $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示下取整。由此可以知道, 所有访问类在时刻 τ_k 的可用资源为

$$\lambda_k^v = \sum_{i=1}^4 \lambda_{i,k}^v \quad (12)$$

基于以上分析, 本文提出基于视频数据包排序的动态映射算法: 系统周期性地更新每个访问类的可用资源; 当发送视频数据包时, 首先对每一个 GOP 的数据包进行重要性排序, 然后按照由高到低的顺序将数据包映射到不同的访问类。访问类的优先级顺序也是由高到低, 并且把上一级的填满(饱和和状态)后再填充下一级。如果 4 个访问类填充完毕后还剩余有数据包, 则在下一个统计时刻进行循环填充。

算法的具体步骤为:

步骤 1 设初始时刻为 τ_0 , 访问类队列的可用资源 $\lambda_{i,k}^v = 1$;

步骤 2 以时间间隔 $\Delta\tau$ 按式(8)计算每个访问类的平均服务率 $\mu_{i,k}$ 和平均达到率 $\lambda_{i,k}$, 并按式(11)更新各个访问类的可用资源 $\lambda_{i,k}^v$;

步骤 3 计算一个 GOP 内的所有数据包的重要性参数, 并按式(6)分别进行排序;

步骤 4 依次向访问类 AC_3, AC_2, AC_1, AC_0 的队列分配视频数据包。其中, 访问类 AC_i 分配 $\lambda_{i,k}^v$ 个数据包;

步骤 5 跳转到步骤 2。

4 仿真实验

仿真实验采用 NS-2 和 JM 16.0。无线网络设置为: 1 个无线访问点 AP, 4 个无线接收终端 STA0, STA1, STA2, STA3。网络协议采用 802.11b, 传输速率为 11 Mbps。视频编码器设置为: 图像序列为 CIF 格式的 Foreman 和 Mobile, 编码帧率为 30 fps, GOP 长度为 16, 结构为 IBBPBBP...。每个序列编码 300 帧, 设两种固定编码速率为 1.0 Mbp 和 2.0 Mbps。在仿真实验中, 视频编码器产生数据包, 然后将包的大小、序号、发送时间、包的编码类型等参数读入到 NS-2 的事件调度器中, 由 NS-2 进行网络传输模拟。模拟完毕, 对数据包的接收信息进行统计, 计算出丢包率、延迟等信息。

4.1 视频数据包重要性排序实验

首先对视频数据包的重要性排序方法进行了实

验。图 1 展示了视频数据包的类型与重要性的不同关系。在图 1(a)中, I, P, B 3 种类型的数据包 Foreman 序列 1 Mbps 码流中分别占据了不同的比重。按照式(6)所提的重要性模型, 对数据包的重要性进行了计算和排序, 并把前 $r_1\%$ 的数据包的重要性设为高, 中间 $r_2\%$ 设为中, 剩余 $r_3\%$ 设为低。如果把 r_1, r_2, r_3 的值取为图 1(a)中各类型所占的比重, 则得到图 1(b)。在这个计算过程中, 式(6)中的参数 $\theta = 0.5$ 。

由图 1(b)可以看出, 高重要性的数据包中 I 只占了一部分, 还有很大一部分是 P 以及少量的 B。这种现象同样存在于重要性为中和低的类别。因此, 文献[7]中所提的按照 I, P, B 类型来固定划分数据包重要性的方法是不准确的。按照本文提出的重要性模型对数据包进行划分将得到更高的视频质量。

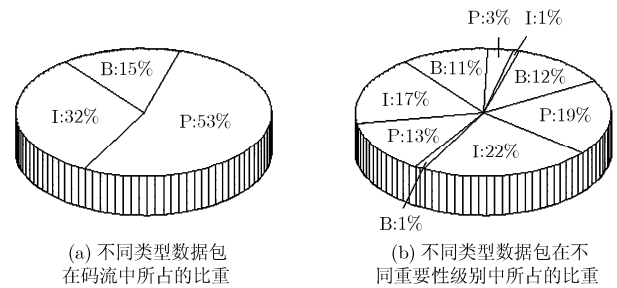


图 1 视频数据包的类型与重要性关系(Foreman 序列 1 Mbps)

4.2 视频传输性能实验

模拟场景为: 无线访问点 AP 通过访问类 AC_0, AC_1, AC_2, AC_3 分别向 STA0, SAT1, SAT2, SAT3 传输数据。数据流参数设置见表 1。其中, 视频数据包的大小和发送间隔由码流 trace 文件决定, 码率有 1 Mbps 和 2 Mbps 两种。

实验比较了分别采用 EDCA、文献[7]中的 ITM 方法和本文所提的动态映射算法时, 视频数据包的延迟、丢包率以及重建图像的质量。在仿真过程中, 式(8)中的参数 $\sigma = 0.7$ 。系统对访问类的可用资源进行周期性统计的时间间隔设为 $\Delta\tau = 100$ ms。如果数据包从进入访问类队列开始, 在 1 s 中之内没

表 1 数据流参数设置

参数	SAT0	SAT1	SAT2	SAT3
包大小(byte)	200	1000	-	200
发送间隔(ms)	5	10	-	10
码率(kbps)	320	800	1120/2160	160
起始时间(s)	1.0	1.0	1.0	3.0
终止时间(s)	15.0	15.0	12.0	6.0

有发送出去的话，系统将其丢弃。

表 2 给出了平均延迟、丢包率和平均 PSNR 的仿真结果。对于 Foreman 序列 1 Mbps 的视频流数据包，EDCA 方法的平均传输延迟为 0.131 s，ITM 方法为 0.115 s，而本文提出的方法为 0.108 s。对于 Foreman 序列 2 Mbps 的视频流数据包，3 种方法的平均传输延迟依次为：0.186 s，0.166 s，0.154 s。因此本文的方法能够减低传输延迟 20-30 ms，这使得视频数据包超过其时效性的概率大大降低。此外，3 种方法下视频数据包的丢包率也有所差别，这是因为不同的方法有不同的访问类映射策略，使得在竞争信道资源时有不同的丢包率表现。由数据可以看出，本文的方法产生的丢包率较小。

表 2 不同传输方法的性能比较

图像序列		EDCA	ITM	本文方法
Foreman (1 Mbps)	平均延迟(s)	0.131	0.115	0.108
	丢包率(%)	5.3	3.2	2.5
	平均 PSNR(dB)	35.71	36.30	36.53
Foreman (2 Mbps)	平均延迟(s)	0.186	0.166	0.154
	丢包率(%)	10.4	8.4	7.2
	平均 PSNR(dB)	38.64	39.58	39.76
Mobile (1 Mbps)	平均延迟(s)	0.135	0.116	0.106
	丢包率(%)	5.7	3.5	3.1
	平均 PSNR	32.34	32.69	32.98
Mobile (2 Mbps)	平均延迟	0.192	0.175	0.169
	丢包率(%)	11.9	8.3	7.6
	平均 PSNR(dB)	35.69	36.33	36.72

此外，由表 2 可以看出，本文的方法比 EDCA 要高约 0.8-1 dB 的质量增益，比 ITM 高出约 0.3 dB。这是因为本文方法和 ITM 都将视频数据包映

射到了不同的访问类进行传输，而 EDCA 则在单一的访问类发送，造成数据丢失严重。并且本文提出的映射算法比 ITM 更符合视频数据包的重要性特征，而 ITM 中则有一部分重要的 P 数据包被丢失，使得质量有所下降。

图 2 给出了 Foreman 序列重建图像的 PSNR 结果。由图 2(a)可以看出，STA0 和 STA1 的数据流对视频流的影响较小，而 STA3 的数据流对视频流的影响较大，这是因为当有访问类 AC₃ 中有数据发送时，它将占据 50%-60% 的吞吐量，直接影响到其它访问类中的数据发送，因此在 STA3 发送数据的时间段内(3-6 s)，解码质量产生的了波动。而对于图 2(b)，由于视频数据码率较大，因此从一开始就有数据丢失，3 种方法产生的解码质量表现差异明显。可以看出，本文的方法具有最高的 PSNR 值，而 EDCA 方法得到的重建图像质量在 3 种方法中最低。

5 结束语

EDCA 是 802.11 无线局域网 MAC 层传输协议，具有一定的 QoS 支持能力。但是，由于它静态地处理不同类型的数据，且没有结合视频数据包的特性，因此不能充分地利用信道资源和优化视频传输质量。本文提出一种基于 EDCA 机制的改进传输方法，周期性地统计各个访问类的空闲网络资源，将不同重要性的数据包动态映射到优先级不同的访问类进行传输。需要注意的是：本文所提方法在 GOP 排序时将产生一个 GOP 的延迟，并需要一定的存储空间。然而，以此为代价，换来的是传输性能的优化，减少丢包率，并通过数据包排序得到视频质量最大化。实验结果表明，本文提出的方法能够提高重建图像的质量，改善无线局域网上视频流的传输性能。

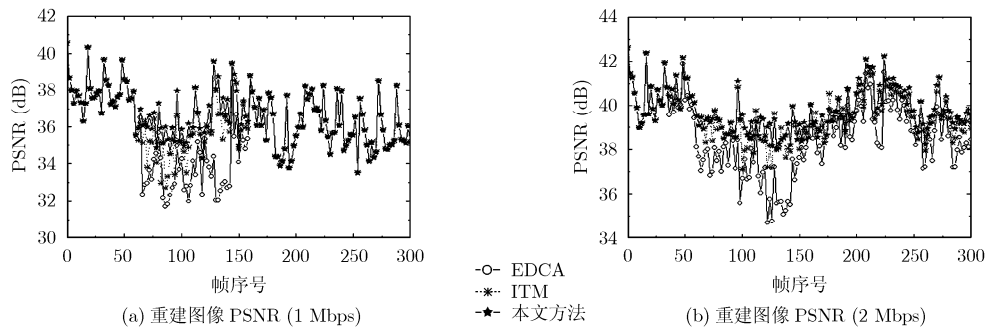


图 2 重建图像 PSNR 比较

参考文献

- [1] MacKenzie R, Hands D, and O' Farrell T. QoS of video delivery over 802.11e WLANs[C]. IEEE ICC, Dresden, Germany, June 2009: 1-5.
- [2] Peng F, Peng B, and Qian D. Performance analysis of IEEE 802.11e enhanced distributed channel access[J]. *IET Communications*, 2010, 4(6): 728-738.
- [3] Chen Xiang, Zhai Hong-qiang, Tian Xue-jun, *et al.* Supporting QoS in IEEE 802.11e Wireless LANs[J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2006, 5(8): 2217-2227.
- [4] Liu Hua-bing and Zhao Yun. Adaptive EDCA algorithm using video prediction for multimedia IEEE 802.11e WLAN[C]. IEEE International Conference on Wireless and Mobile Communications, Bucharest, Romania, 2006: 10.
- [5] 毛建兵, 毛玉明, 冷苏鹏, 等. 支持 QoS 的 IEEE 802.11 EDCA 性能研究[J]. 软件学报, 2010, 21(4): 750-770.
Mao Jian-bing, Mao Yu-ming, Leng Su-peng, *et al.* Research of the QoS-supporting IEEE 802.11 EDCA performance[J]. *Journal of Software*, 2010, 21(4): 750-770.
- [6] Chen Chih-ming, Lin Chia-wen, and Chen Yung-chang. Cross-layer packet retry limit adaptation for video transport over wireless LANs[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2010, 20(11): 1448-1461.
- [7] Jang H C and Su Y T. A hybrid design framework for video streaming in IEEE 802.11e wireless network[C]. Proceedings of the 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Ginowan, Japan, March 2008: 560-567.
- [8] Ksentini A, Naimi M, and Gueroui 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.
- [9] Oh B J and Chen C W. A cross-layer approach to multichannel MAC protocol design for video streaming over wireless Ad Hoc networks[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2009, 11(6): 1052-1061.
- [10] Li Mao-dong, Chen Zhen-zhong, and Tan Yap-peng. Joint packet prioritization and QoS mapping for SVC over w lans[C]. IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, Dallas, USA, March 2010: 14-19.
- [11] Sutinen Tiia and Huusko Jyrki. MAC layer QoS architecture for optimized and fair transmission of scalable video[C]. IEEE Consumer Communications and Networking Conference-Multimedia & Entertainment Networking and Service, Las Vegas, USA, January 2011: 421-425.
- [12] Kumar S, Xu L, Mandal M K, *et al.* Error resiliency schemes in H.264/AVC standard[J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2006, 17(2): 425-450.
- [13] Zhou Jie, Yan Bo, and Gharavi H. Efficient motion vector interpolation for error concealment of H.264/AVC[J]. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2011, 57(1): 75-80.
- [14] Shankar S N and Schaar M Van der. Performance analysis of video transmission over IEEE 802.11a/e WLANs[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2007, 56(4): 2346-2362.
- [15] Inan I, Keceli F, and Ayanoglu E. A capacity analysis framework for the IEEE 802.11e contention-based infrastructure basic service set[J]. *IEEE Transactions on Communications*, 2009, 57(11): 3433-3445.
- 杜建超: 男, 1977 年生, 博士, 副教授, 研究方向为视频编码与传输.
- 肖 嵩: 女, 1977 年生, 博士, 教授, 研究方向为视频编码与传输、网络编码.
- 吴成柯: 男, 1938 年生, 教授, 研究方向为图像/视频编码、视觉几何与 3 维重建.