

基于跨层码率适配和差错控制的 3D 视频无线传输方法

刘金霞^{1,3}, 刘延伟², 慈 松²

(1. 浙江万里学院, 浙江宁波 315100; 2. 中国科学院声学研究所, 北京 100190; 3. 宁波大学, 浙江宁波 315211)

摘 要: 针对纹理视频加深度序列的 3D 视频无线传输, 本文提出一种基于跨层优化的码率适配和差错控制方法. 通过最小化端到端 3D 视频失真, 均衡调整和配置应用层 3D 视频编码的码率和帧内编码更新比例, 以及物理层的调制和编码模式, 达到信源码率适配信道带宽以及应用层差错控制和物理层信道保护强度相互平衡的目的, 进而提高接收端的 3D 虚拟视点视频质量. 实验结果表明, 提出的方法能有效的提高 3D 视频无线传输的性能.

关键词: 3D 视频无线传输; 跨层码率适配; 差错控制

中图分类号: TP919.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2014)02-0312-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.02.016

Cross-layer Optimized Rate Adaptation and Error Control for Mobile 3D Video Streaming

LIU Jin-xia^{1,3}, LIU Yan-wei², CI Song²

(1. Zhejiang Wanli University, Ningbo, Zhejiang 315100, China;

2. Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 3. Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China)

Abstract: For video plus depth based mobile 3D video streaming, this paper proposes a cross-layer optimized rate adaptation and error control method. The proposed method tunes the coding rate and intra refresh coding ratio at the application layer, and modulation and channel coding scheme at the physical layer by minimizing the end-to-end 3D video distortion. Thus, the proposed method can reach the goal of adapting source rate to the channel bandwidth as well as leveraging the error control strengths between the application layer and physical layer. Correspondingly, the virtual view quality of the 3D video at the receiver can be improved. Experimental results show that the proposed method can efficiently improve the 3D video streaming performance.

Key words: mobile 3D video streaming; cross-layer rate adaptation; error control

1 引言

随着 3D 采集与显示技术的发展, 3D 视频技术已经逐步发展起来, 并可能成为下一代多媒体产业发展的主流趋势. 为了应对这种市场趋势, MPEG(运动图像专家组)正在加紧制定 3D 视频的高性能编码技术标准^[1]. 在中国, 具有自主知识产权的 AVS(先进音视频编码)3D 视频标准^[2]的制定也极大的推动了 3D 视频产业的发展. 近年来, 由于智能移动终端对 2D/3D 可切换显示技术的支持, 3D 视频也逐步进入到无线应用环境中^[3], 人们可以通过移动 3D 视频服务随时随地的享受 3D 体验.

目前, 由于无线网络带宽资源的限制以及视点选择

的灵活性等原因, 纹理视频加上深度信号的 3D 视频数据格式比较适合于无线应用环境^[3], 但是传输的数据量也会随着深度信号的引入而增加. 尽管 3D 视频编码从压缩信息冗余的角度出发, 大大减少了需要传输的数据量, 但 3D 视频仍然给无线传输带来了很大的挑战. 除了数据量与传输带宽之间的矛盾, 由于信号衰减和多径/阴影干扰, 以及无线终端会经常处于移动状态等因素, 导致 3D 视频的传输丢包较为严重, 进而影响 3D 视频的主观体验.

为了降低丢包对 2D 视频传输的影响, 传统网络视频传输大多采用差错保护或控制技术. 在信源端采用容错编码^[4,5]是典型的信源保护与容错技术. 由于传输丢包, 解码端必须对差错进行恢复与隐藏; 除了在信源端

进行保护,还可以在物理层进行信道编码,对传输的信源码流进行保护.基于前向差错保护(FEC)的物理层信道编码就是一种信道传输差错控制技术^[6].针对 2D 视频的无线传输,研究人员提出了联合分配信源和信道保护强度的方法来控制传输差错对视频接收质量的影响^[6].根据这种思想的相关传输差错控制方法在一定程度上能够提高 2D 视频的传输性能.但是这种方法并没有考虑到网络中不同协议层参数的优化配置问题.基于跨层优化的差错控制可以进一步提高视频传输的性能^[7,8].

相对于 2D 视频,3D 视频的数据量较大.由于带宽的限制和无线链路的不稳定特性,3D 视频传输丢包的概率也相应加大.因此,3D 视频无线传输中的码率适配和差错控制问题显得更为重要^[9].对于纹理视频加上深度序列的 3D 视频,深度信息只是为了接收端虚拟视点的绘制,而不是为了直接观看.文献^[10,11]等根据这一特点提出了基于内容感知的方法优化 3D 视频传输的鲁棒性.文献^[12]针对 3D 视频提出了一种基于多描述编码和 P2P(点对点协议)网络相结合的跨层设计理念,但是并没有考虑 3D 视型的特殊端到端率失真特性,也没有展示出实质性的 3D 视频传输容错效果.

相对于纹理视频,深度序列可以保持相对较低的码率.纹理视频和深度信号之间的码率分配对虚拟视点的绘制质量有很大影响^[13].由于传输错误也会引起 3D 视频失真,因此 3D 视频中纹理视频和深度的码率分配也必须考虑传输的丢包情况.这样,3D 视频在易错信道下的传输呈现出不同于 2D 视频的端到端码率-失真(率失真)特性.如何利用这种 3D 视频的特殊率失真特性,并结合物理层信道编码,对 3D 视频传输进行跨层优化的码率适配与差错控制目前还鲜有研究.

本文针对纹理视频加深度信号格式的 3D 视频无线传输,从跨层优化的角度出发,在传输中综合考虑应用层 3D 信源特性,信源容错编码,以及物理层调制和信道编码.利用端到端 3D 视频失真作为优化目标,合理分配信源容错编码的强度和信道保护的强度,以及纹理视频和深度之间的传输码率,进而提高接收端 3D 视频质量.

2 3D 视频端到端失真分析

对于纹理视频加深度的 3D 视频格式,3D 视频不仅在编码过程中会产生量化失真,在传输过程中由于丢包也会产生失真,同时在接收端绘制虚拟视点过程中

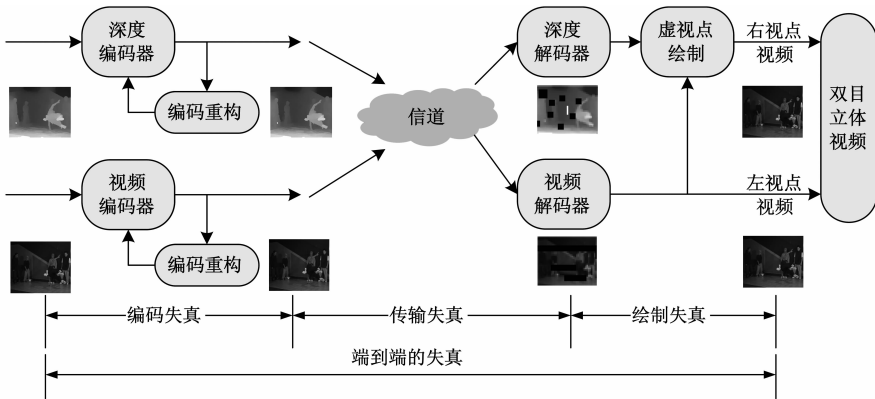


图1 3D视频端到端失真分析

由于遮挡等 3D 几何因素也会有虚拟视点视频的绘制失真产生,参考图 1.为了精确刻画端到端 3D 视频失真,需要建立一个端到端的 3D 视频失真模型.从图 1 可以看出,端到端 3D 视频失真模型主要包括三种类型的失真:(1)纹理视频和深度编码量化引起的虚拟视点视频失真.视频编码的失真会转移到虚拟视点上,而深度压缩中深度值的损失将会导致右虚拟视点像素产生映射位置偏移误差,从而产生失真;(2)传输丢包引起的虚拟视点视频失真.传输中丢包引起的纹理视频失真和深度失真都会导致右虚拟视点的失真;(3)视点绘制引起的虚拟视点失真.虚拟视点绘制过程中,由于遮挡而无法找到对应参考像素以及像素映射位置取整等原因,会导致一定的映射孔洞,这些孔洞也需要补绘(In-painting),相应的也会产生失真.根据文献^[13]对多视点纹理视频和深度的端到端失真分析,简化得到纹理视频加深度的双目 3D 视频的端到端失真模型,其近似计算形式如下:

$$D_r \approx D_l + \Delta D_l \Big|_{\text{depth}_l} + D_l \Big|_{\text{loss}} + \Delta D_l \Big|_{\text{depth}_l \text{ loss}} + D_v \quad (1)$$

其中 D_r 表示右虚拟视点视频失真, D_l 表示左视点纹理视频压缩引起的失真,可以在编码中直接得到. $\Delta D_l \Big|_{\text{depth}_l}$ 表示左视点深度压缩引起的右虚拟视点视频失真. $\Delta D_l \Big|_{\text{depth}_l \text{ loss}}$ 表示左视点深度丢包引起的右虚拟视点视频失真, D_v 表示视点绘制引起的右虚拟视点视频失真.

$\Delta D_l \Big|_{\text{depth}_l}$ 可以通过基于左视点纹理视频功率谱的线性模型^[13]来估计,即

$$\Delta D_l \Big|_{\text{depth}_l} \approx \|\Delta \mathbf{n}\|^2 \psi_l \quad (2)$$

在式(2)中 $\|\Delta \mathbf{n}\|^2$ 表示右视点绘制中像素位置映射误差的平方均值, ψ_l 是与左视点纹理视频功率谱相关的运动敏感性因子.由于 ψ_l 是与左视点纹理视频相关的一个量,它间接反映了左视点纹理视频的失真,而 $\|\Delta \mathbf{n}\|^2$ 反映了左视点深度的失真,所以对 $\Delta D_l \Big|_{\text{depth}_l}$

进行建模得到,

$$\Delta D_l \Big|_{depth_l} \approx \alpha \cdot D_l \cdot D_{depth_l} + \beta n \quad (3)$$

其中 α 和 β 为常数, D_{depth_l} 表示左视点深度的压缩失真. 公式(3)反映出左视点深度压缩会导致左视点纹理视频像素在虚拟右视点上的映射位置产生偏移而导致右视点虚拟视频失真; 同时, 左视点纹理视频压缩导致的像素值失真也直接转移到右视点视频上. 这样, $\Delta D_l \Big|_{depth_l}$ 和 D_{depth_l} 以及 D_l 直接相关. 图 2 给出了针对

公式(3)的 Balloons 和 Kendo 序列的 $\Delta D_l \Big|_{depth_l}$ 和 $D_l \cdot D_{depth_l}$ 的近似线性关系实验验证结果. 图 2 中纵坐标和横坐标都是以平均平方误差 (MSE) 刻画的失真值. 从图中可以看出, $\Delta D_l \Big|_{depth_l}$ 可以通过公式(3)进行线性近似计算而得到.

在式(1)中, D_{l_loss} 表示左视点纹理视频丢包引起的失真, 其可以根据^[14]

$$D_{l_loss} = \kappa \cdot \rho_l \quad (4)$$

进行近似估计, κ 是丢包敏感性因子, 其可以根据视频编码参数设置与解码端差错隐藏, 以及视频内容进行设置^[14]. ρ_l 表示当前图像组 (GOP) 的平均丢包率.

在无线通信系统的物理层有多种调制和信道编码模式^[15], 每一种调制模式下有几种不同的信道编码有效率, 因此每一种调制和编码的组合在信道信噪比为 γ 时对应一个近似的误比特率,

$$B_m(\gamma) \approx \frac{a_m}{e^{\gamma \times b_m}} \quad (5)$$

其中, m 是调制和编码组合的索引. 系数 a_m 和 b_m 可以由表 1^[8]得到.

表 1 调制和编码模式

AMC 序号 (m)	1	2	3	4	5	6
调制方式	BPSK	QPSK	QPSK	16-QAM	16-QAM	64-QAM
编码速率 (cm)	1/2	1/2	3/4	9/16	3/4	3/4
速率 (bits/sym)	0.50	1.00	1.50	2.25	3.0	4.5
a_m	1.1369	0.3351	0.2197	0.2081	0.1936	0.1887
b_m	7.5556	3.2543	1.5244	0.6250	0.3484	0.0871

如果一个 GOP 的数据比特数为 L , 分割为 N 个数据包进行传输, 则当前 GOP 近似的平均丢包概率 (从统计意义上可以认为是丢包率) 为

$$\rho_l(\gamma) = 1 - (1 - B_m(\gamma))^{L/N} \quad (6)$$

这样, 左视点深度丢包引起的深度失真可以通过式(4)估计得到, 然后根据式(3)可以估计出式(1)中的 $\Delta D_l \Big|_{depth_l_loss}$.

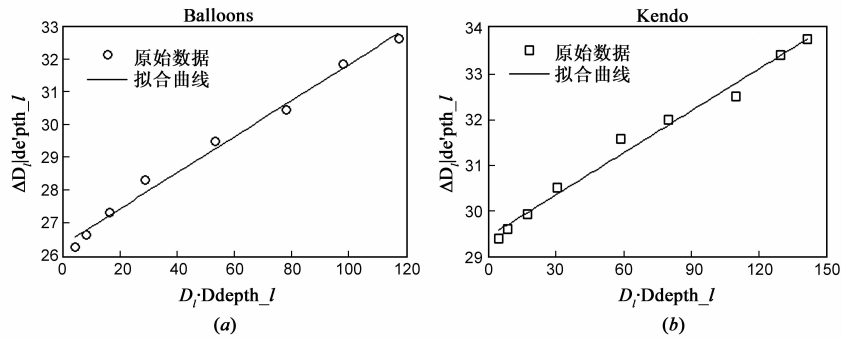


图 2 $\Delta D_l \Big|_{depth_p}$ 和 $D_l \cdot D_{depth_l}$ 的近似线性关系

在式(1)中, D_v 主要是由于视点几何关系造成的右虚拟视点绘制失真, 可以通过计算遮挡部分的比例, 以及压缩的量化程度来进行估计. 当前, 在 3D 视频失真估计过程中的部分参数, 例如式(3)中的 α 和 β , 以及式(4)中的 κ 需要根据视频内容以及丢包情况通过离线训练拟合实际失真的方式确定.

3 3D 视频跨层码率适配与差错控制

端到端 3D 视频失真分析表明, 应用层 3D 视频编码的量化参数和容错编码强度, 以及物理层信道编码都是 3D 视频端到端失真的主要贡献因素. 因此, 根据信道的链路质量, 基于跨层优化思想配置 3D 视频的传输码率, 通过最小化 3D 视频失真, 实时调整应用层编码参数和物理层信道编码参数, 进而可以提高 3D 视频的传输性能.

本文从抑制差错传递的角度出发, 在 3D 视频传输中主要考虑帧内更新编码这一容错编码技术. 帧内更新编码能够有效地截断视频数据丢包引起的差错传递效应. 由于纹理视频和深度的重要性不同, 虚拟视点绘制的质量对纹理视频的依赖性较大, 所以纹理视频和深度的保护强度可以区别对待, 他们的帧内编码更新比例可以进行不同的设置. 这直接导致编码码率的改变. 左视点纹理视频的编码码率可以表示为 $R_l(\beta_l, QP_l)$, 深度的编码码率可以表示为 $R_{depth}(\beta_{l_depth}, QP_{l_depth})$, 其中 β_l 和 β_{l_depth} 分别表示左视点纹理视频和深度编码的帧内编码更新比例, QP_l 和 QP_{l_depth} 分别表示左视点纹理视频和深度编码的量化参数.

在 3D 视频传输过程中, 由于信道物理层采用前向差错控制编码, 会产生一部分冗余比特而占用部分带宽. 如果假定信道可用的传输带宽为 R , 纹理视频和深度的信道编码有效率为 c_l 和 c_{l_depth} , 则

$$R \geq \frac{1}{c_l} \times R_l(\beta_l, QP_l) + \frac{1}{c_{l_depth}} \times R_{depth}(\beta_{l_depth}, QP_{l_depth}) \quad (7)$$

其中, c_l 和 c_{l_depth} 的取值范围和候选集合对应于表 1 的

c_m . 对于不同的调制模式,当信道编码有效率相同时,在 SNR 相同的条件下,信道的误比特率和传输速率也是不同的,因此,调制和信道编码模式是对应的一组参数,对应于表 1 中的 m .

由于 3D 视频由左右视点的纹理视频组成,在发送端除了要通过式(7)保证右视点虚拟纹理视频的信源质量(通过控制信源的编码码率来体现),还要保证左视点纹理视频的信源质量,才能保证接收端收到的 3D 视频有较好的立体视觉观看体验.因此左视点纹理视频的信源编码码率要达到信道可用带宽的一半以上,即满足以下约束条件,

$$\frac{R}{2} \leq \frac{1}{c_l} \times R_l(\beta_l, QP_l) \quad (8)$$

在不等式(7)和式(8)的约束下,调整纹理视频和深度的帧内更新编码比例 β_l 和 β_{l_depth} 、调制和编码模式为 m_l 和 m_{l_depth} 所对应的信道编码效率 $c_l(m_l)$ 和 $c_{l_depth}(m_{l_depth})$ 、以及编码量化参数 QP_l 和 QP_{l_depth} ,可以最小化公式(1)中的端到端 3D 视频失真.因此,3D 视频传输中的跨层差错控制与码率适配可以根据下式求解得到最优的跨层优化参数,

$$(QP_l^{opt}, QP_{l_depth}^{opt}, \beta_l^{opt}, \beta_{l_depth}^{opt}, m_l^{opt}, m_{l_depth}^{opt}) = \operatorname{argmin} D_r$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} R \geq \left(\frac{1}{c_l(m_l)} \times R_l(\beta_l, QP_l) + \frac{1}{c_{l_depth}(m_{l_depth})} \right) \\ \quad \times R_{depth}(\beta_{l_depth}, QP_{l_depth}), \\ \frac{R}{2} \leq \frac{1}{c_l(m_l)} \times R_l(\beta_l, QP_l), \end{cases} \quad (9)$$

根据式(9),通过以 GOP 为计算单元,利用视频和深度编码的码率-量化关系模型^[13],确定合适的 QP_l 和 QP_{l_depth} 的组合范围,使他们满足式(9)的码率约束条件.然后调整帧内更新编码比例以及调制与编码模式,以全搜索的方式对满足公式(9)约束条件的每一组参数组合 $(QP_l, QP_{l_depth}, \beta_l, \beta_{l_depth}, m_l, m_{l_depth})$ 进行 3D 视频失真估计.得到所有参数组合情况下的 3D 视频失真后,选择具有最小失真的参数组合作为最优的跨层优化参数对应用层视频编码和物理层调制与编码进行配置.在跨层码率适配计算中,根据 3D 视频的码率-量化关系模型,以及物理层调制与编码模式和信道信噪比(SNR)的关系,本文采用了低复杂度跨层优化算法^[16],极大地降低了跨层优化参数搜索的参数组合数量,进而提高了跨层优化计算的速度.

由于目前实时编码 3D 视频有些困难,本文采用离线多版本编码模拟实时编码的方式,编码多个不同参数组合的压缩码流,以 GOP 为单元进行跨层优化计算,在发送端动态地选择与发送码率和帧内更新编码组合

最优的纹理视频和深度序列的码流版本,同时对物理层调制和信道编码模式进行最优的配置.这种方式以离线编码降低了实时应用的复杂度,不会由于使用 GOP 为计算单元进行动态码率适配而导致视频编码和传输时延.随着硬件编码芯片技术的发展,本文提出的针对 3D 视频传输的优化方法完全可以在高性能硬件编码技术的支持下以视频帧为码率调整单元进行实时的码率适配与差错控制的实际应用.

4 实验结果与分析

为了验证本文提出的基于跨层优化的 3D 视频差错控制和码率适配方法,本文实验采用 H.264/AVC 对纹理视频和深度序列分别进行编码,同时利用 NS2 软件模拟 3D 视频无线传输,在接收端利用重构的 3D 视频进行主观与客观评价.编码序列采用 Balloons(视点 1)和 Kendo 序列(视点 1),视点 2 作为虚拟右视点,空间分辨率为 1024×768 .3D 视频编码的具体配置参数如表 2 所示.

表 2 3D 视频编码参数

Profile(档次)	H.264/AVC 基准档次
熵编码	CAVLC(上下文自适应可变长编码)
编码结构	IPPP
GOP 长度	16
编码帧数	300
错误隐藏方式	时域拷贝

4.1 失真估计

由于本文提出的 3D 视频跨层差错控制通过估计的方式对端到端 3D 视频失真进行近似预测,所以失真估计的性能直接影响差错控制的性能.图 3 给出了固定丢包率和时变丢包率下估计的端到端视频失真和实测的视频失真之间的精度对比.图中,视频和深度编码采用了同样的量化参数.在 Balloons 序列的失真估计过程中,参数 α 和 β ,以及 κ 分别取值为 0.0549, 27.41 和 3025.437.以视频的平均峰值信噪比(PSNR)为度量标准,图 3 给出了估计得到的端到端失真和实际测量的真实失真的对比.图 3(a)给出了视频数据传输丢包率为 5%时,不同码率条件下 Balloons 测试序列的失真估计与真实失真的对比.可以看出,在低码率条件下,失真估计的精度很高;在高码率条件下,纹理视频和深度的码率范围较大,所以失真估计精度也相对较低一些.图 3(b)给出了不同 SNR 时的失真估计与真实失真的对比.可以看出,当丢包不是很严重(SNR 较高时)时,失真的估计和实际失真较为符合,但是当丢包较为严重时,估计的失真和实际失真相差较大,但是依然可以反映失真随着信道质量变化的近似走向.

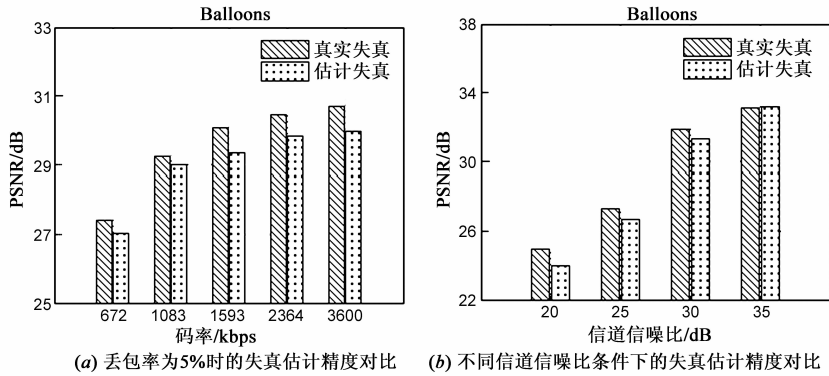


图3 估计得到的端到端失真和实际测量的真实失真的对比

4.2 跨层码率适配与差错控制

传统的3D视频传输针对纹理视频和深度采用比例为5:1的固定码率分配工作. 本文以固定码率分配为对比参考方法来评价所提出的跨层码率适配方法. 图4给出了Balloons序列在动态时变带宽变化条件下的 QP_l 和 QP_{l_depth} 的变化情况(随着GOP序号的变化情况). 从图4可以看出, 纹理视频和深度的编码量化参数可以动态地根据传输带宽的约束而进行相应调整. 在带宽较高时, 动态选择的 QP_l 和 QP_{l_depth} 较小一些, 而传输带宽较低时, 动态选择的 QP_l 和 QP_{l_depth} 偏大一些. 而且, QP_l 和 QP_{l_depth} 之间的数值对比关系(实质是纹理视频和深度的信源码率关系)能够动态的调整.

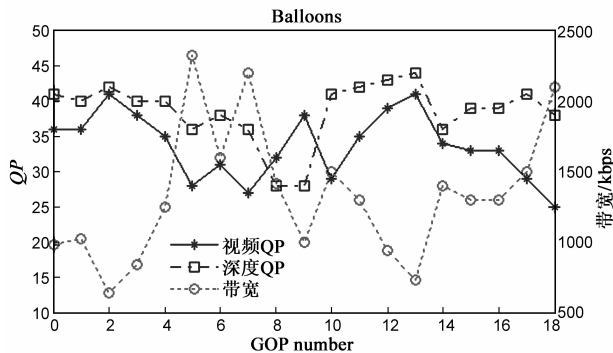


图4 Balloons序列的动态码率适配情况以及QP参数选择情况

编码量化参数的选择直接代表了纹理视频和深度之间不同码率分配比例的选择. 图5给出了针对Balloons和Kendo序列的跨层码率适配和固定比例码率适配的传输质量的对比. 图中没有采用跨层差错控制. 实验中, 帧内更新编码采用固定的10%更新率, 网络带宽为动态变化的带宽. 图中跨层适配表示采用了跨层码率适配, 包含了基于跨层适配的纹理视频和深度的最优码率分配, 而固定比例码率适配表示传输的总码率是跨层适配的, 但是纹理视频和深度之间是采用固定比例进行码率分配的. 从图中可以看出, 动态跨层的纹理视频和深度之间的码率分配可以提高虚拟视点视频的传输性能, 也就是说在不同的总码率条件下, 纹理视

频和深度对虚拟视点质量的影响是不同的.

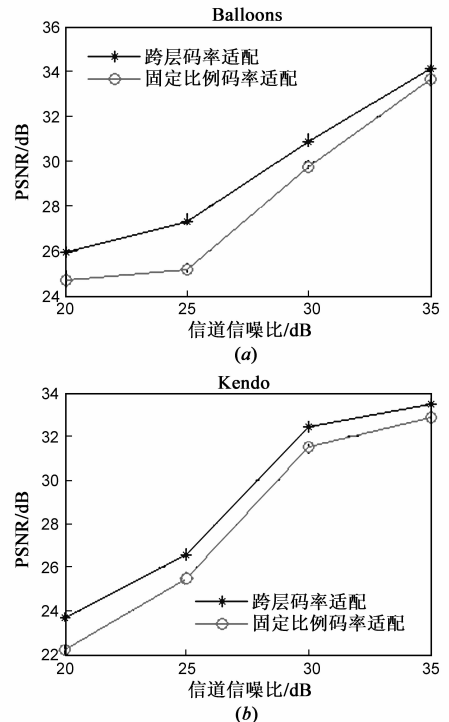


图5 不同信道信噪比(SNR)条件下的基于跨层码率适配和固定比例码率适配方法传输后得到的虚拟右视点视频的客观质量对比

在无线传输中, 码率适配可以尽量避免传输拥塞而造成的丢包. 但是无线链路质量差而导致传输丢包并不能通过码率适配而解决. 本文采用跨层差错控制来减少无线链路丢包对视频传输性能的影响. 由于目前还没有针对3D视频无线传输的基于端到端失真计算的跨层优化方法, 本文采用传统的跨层优化方法对纹理视频和深度单独进行跨层优化传输作为对比方案, 来评价所提出的3D视频跨层优化差错控制方法. 除了单独跨层优化差错控制, 本文也采用了非跨层差错控制方法作为对比方案. 非跨层差错控制采用固定更新率为10%的帧内更新编码.

表3给出了Balloons序列在不同传输方案下的帧内

编码更新比例和物理层的调制与编码模式情况. 其中 IUR 表示在当前信道条件下的帧内编码更新比例的平均值, 而 m 表示当前信道平均质量下出现频率最高的物理层调制与编码模式. 从表 3 可以看出, 在信道条件较好 (SNR 较高) 时, 3D 视频跨层优化的纹理视频和深度的帧内编码更新比例比较低, 而整体上帧内编码更新比例和物理层调制与编码模式所导致的传输保护能够平衡. 但是随着 SNR 降低, 纹理视频和深度的帧内编码更新比例相应增加, 并且纹理视频和深度的帧内编码更新比例之间仍旧比较均衡. 他们和物理层调制和编码模式选择之间也继续保持平衡. 相比之下, 单独对纹理视频和深度进行跨层优化的帧内编码更新比例尽管也会随着信道相应变化, 但是纹理视频和深度之间没有协同配合, 导致传输的信源码流增加了一定的冗余码率, 而且物理层的调制与编码和帧内编码更新比例之间没有保持平衡, 也消耗了一定的信道冗余码率.

表 3 不同传输方案下的帧内编码模式更新比例和物理层的调制与编码模式统计

方 案 SNR	3D 跨层-视频 (IUR, m)	3D 跨层-深 度(IUR, m)	单独跨层-视 频(IUR, m)	单独跨层-深 度(IUR, m)
20dB	(0.36, 2)	(0.21, 3)	(0.36, 3)	(0.34, 4)
25dB	(0.29, 4)	(0.18, 2)	(0.23, 5)	(0.39, 4)
30dB	(0.25, 4)	(0.22, 3)	(0.27, 4)	(0.24, 6)
35dB	(0.16, 5)	(0.12, 2)	(0.18, 5)	(0.26, 5)

图 6 给出了在跨层码率适配条件下的跨层差错控制和纹理视频与深度单独跨层差错控制, 以及非跨层差错控制的 3D 视频质量对比. 在图 6 中, 非跨层差错控制采用固定比例码率分配和固定帧内更新比例. 单独跨层差错控制表示分别对纹理视频和深度采用跨层差错控制和跨层码率适配. 而跨层差错控制表示对纹理视频和深度采用了联合跨层差错控制和跨层码率适配. 从图中可以看出, 在信道质量较差时 (SNR 较小时), 跨层差错控制的效果较好, 而随着信道质量的逐步提升, 跨层差错控制的效果逐渐降低. 从图中可以看出, 相比于非跨层差错控制, 对纹理视频和深度单独进行差错控制的虚拟视点视频质量提高不大, 这说明 3D 视频的码率分配特性对虚拟视点视频的影响较大. 相

比之下, 提出的跨层优化方法比单独跨层优化差错控制提高虚拟视点视频 PSNR 值 1.5dB 左右, 而非跨层差错控制方法可以提升虚拟视点视频 PSNR 值 2dB 以上. 这说明, 一方面, 跨层码率适配避免了拥塞丢包, 另一方面, 跨层差错控制通过最小化端到端 3D 视频失真, 均衡分配信源和信道方面的差错控制力度, 减小了传输差错带来的影响.

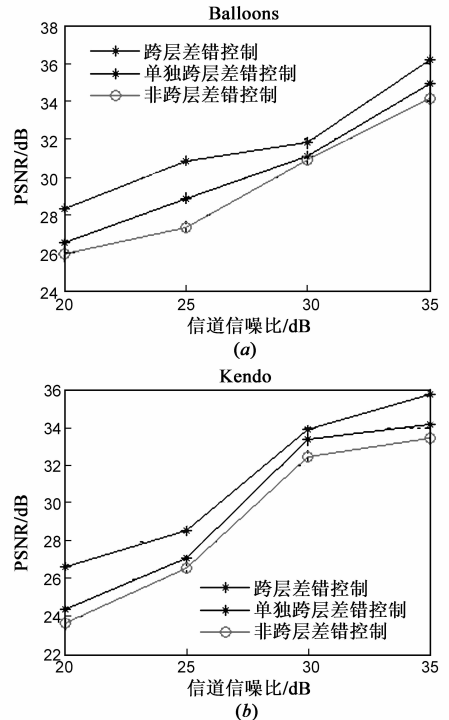


图 6 不同信道信噪比 (SNR) 条件下的跨层差错控制与纹理视频和深度单独跨层差错控制以及非跨层差错控制的右虚拟视点视频的客观质量对比

4.3 主观质量评价

图 7 给出了 Balloons 序列的虚拟视点的在第 67 帧时的图像质量对比. 传输信道的平均信噪比为 25dB. 由于通过端到端 3D 视频失真来调整和配置信源与信道的参数, 所以跨层差错控制和码率适配方法得到的虚拟视点视频的主观质量比单独对纹理视频和深度进行差错控制和码率适配, 以及非跨层差错控制和码率适配方法有很大提升. 这也从图中 (d) 与 (b) 和 (c) 的对比得到了验

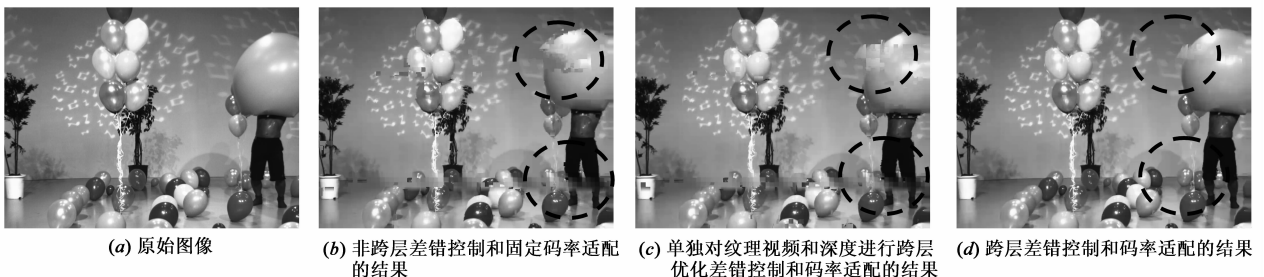


图 7 基于跨层差错控制和码率适配方法与其他方法的图像主观质量对比

证.从图中虚线椭圆区域的图像对比可以看到,与其他两种方法相比,提出的跨层优化方法有明显的图像差错抑制效果.单独对视频和深度进行跨层可以一定程度的抑制差错传递,但是抑制的效果并不彻底,特别是纹理和深度之间没有保持一定的差错控制均衡而导致效果不如提出的 3D 视频跨层差错控制方法.

5 结束语

针对纹理视频加深度的 3D 视频无线传输,本文提出了一种跨层码率适配和跨层差错控制的传输优化方法.提出的跨层优化方法从分析端到端视频传输失真的影响因素出发,通过最小化端到端 3D 视频失真,调整和配置信源纹理视频和深度的编码码率以及容错编码强度,物理层信道调制和编码模式.实验结果证实,与单独对纹理视频和深度进行跨层优化以及非跨层优化方法相比,提出的优化方法可以提高 3D 视频无线传输的虚拟视点视频的峰值信噪比(PSNR)1.5dB 以上.

参考文献

- [1] Schwarz Heiko, Bartnik Christian, Bosse Sebastian, et al. 3D video coding using advanced prediction, depth modeling, and encoder control methods[A]. Proceedings of 2012 Picture Coding Symposium[C]. Krakow, Poland: IEEE, 2012. 1-6.
- [2] Ma Si-wei, Wang Shi-qi, Gao Wen. AVS 3D video coding technology and system[J]. ZTE Communications, 2012, 10(2): 13-18.
- [3] Gotchev Atanas, Akar Gozde-bozdagi, Gapin Tolga, et al. Three-dimensional media for mobile devices[J]. Proceedings of IEEE, 2011, 99(4): 708-741.
- [4] Wang Yao, Wenger Stephan, Wen Jiang-tao, et al. Review of error resilience coding techniques for real-time video communications[J]. IEEE Signal Process. Mag, 2000, 17(7): 61-82.
- [5] 高攀, 彭强, 王琼华. 基于多视点视频编码的差错控制算法[J]. 电子学报, 2012, 40(12): 2544-2548.
Gao Pan, Peng Qiang, Wang Qiong-hua. An error resilient coding algorithm in multiview video coding[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(12): 2544-2548. (in Chinese)
- [6] Stuhlmüller Klaus, FrberK Niko, Link Michael, et al. Analysis of video transmission over lossy channels [J]. IEEE J. Select. Areas Commun, 2000, 18(6): 1012-1032.
- [7] Argyriou Antonios. Cross-Layer error control for multimedia streaming in wireless/wireline packet networks [J]. IEEE Trans. on Multimedia, 2008, 10(6): 1121-1127.
- [8] Luo Hai-yan, Argyriou Antonios, Wu Da-lei, et al. Joint source coding and network supported distributed error control for video streaming in wireless multihop networks [J]. IEEE trans. on multimedia, 2009, 11(7): 1362-1372.
- [9] Liu Yan-wei, Ci Song, Tang Hui, et al. Application-adapted

mobile 3D video coding and streaming-a survey[J]. 3D Research Journal, 2012, 3(1): Article 5.

- [10] Hewage Chaminda T E R, Nasir Sabih, Worrall Stewart, et al. Prioritized 3D video distribution over IEEE 802.11e[A]. Proceedings of Future Network & Mobile Summit[C]. Florence, Italy: 2010. 1-9.
- [11] Appuhami Ralalage, Harsha Martini Maria, Hewage Chaminda T E R Channel and content aware 3D video scheduling with prioritized queuing [A]. Proceedings of Wireless Advanced 2012[C]. London: 2012. 159-163.
- [12] AkmanArda, et. al. 3D video networking-cross layer optimizations: ROMEO approach [A]. First ROMEO WORKSHOP [A]. Athens: 2012. 1-6.
- [13] Liu Yan-wei, Huang Qing-ming, Ma Si-wei, et al. Joint video/depth rate allocation for 3D video coding based on view synthesis distortion model[J]. Signal Processing: Image Communication, 2009, 24(8): 666-681.
- [14] Zhu Xiao-qing, Setton Eric, Girod Bernd. Congestion-distortion optimized video transmission over ad hoc networks[J]. Signal Process. : Image Commun, 2005, 20(8): 773-783.
- [15] Doufexi Angela, Armour Simon, Butler Michael. A comparison of the HIPERLAN/2 and IEEE 802.11a wireless LAN standards[J]. IEEE Communication Magazine, 2002, 40(5): 172-180.
- [16] Zhao Ping-hua, Liu Yan-wei, Yao Rui-xiao, et al. Perceptual quality driven cross-layer optimization for wireless video streaming [A]. Proceeding of IEEE Consumer Communications and Networking Conference 2013 (CCNC2013)[C]. Las Vegas, Nevada, USA: 2013. 201-215.

作者简介



刘金霞 女, 1969 年出生于黑龙江省, 现为浙江万里学院副教授, 主要研究方向为立体视频编码与通信.

E-mail: liujinxia1969@126.com



刘延伟(通信作者) 男, 1976 年出生于黑龙江省, 博士, 中国科学院声学研究所助理研究员, 主要研究方向为视频处理与通信、无线通信.

E-mail: liuyw@hpln.ac.cn