

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **11**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年11月 第17卷 第11期(总第199期)

目次

综述

数字图像合成技术综述 吴昊, 徐丹(1333)

图像处理和编码

基于群稀疏的结构化字典学习 郭景峰, 李贤(1347)

SSIM 度量虚拟视点绘制失真的深度图帧内编码 喻莉, 张军涛, 邓慧萍, 向森, 周鹏, 左雯, 王宁(1353)

统计量移位的鲁棒无损图像信息隐藏 李晓博, 周诠(1359)

伪造图像典型篡改操作的检测 左菊仙, 刘本永(1367)

图像分析和识别

融合灰度和 SURF 特征的红外目标跟踪 范新南, 丁朋华, 刘俊定, 张学武(1376)

海面温度栅格图的锋面提取与矢量化 崔雪森, 周为峰, 王栋, 张胜茂(1384)

交通场景中车辆的运动检测与阴影消除 王彬, 冯远静, 郭海峰, 张贵军(1391)

基于随机点积图的图像标注改善算法 孙登第, 罗斌, 郭玉堂(1400)

图像理解和计算机视觉

有监督子空间建模和稀疏表示的场景分类 段菲, 章毓晋(1409)

对立色 LBP 模型的目标跟踪 张炯, 宁纪锋, 颜永丰, 于伟(1418)

计算机图形学

联合骨架与边界特征的平面形状分解…………… 蒋建国, 周丹凤, 郝世杰, 郭艳蓉, 詹曙(1425)

屏幕空间自适应的地形 Tessellation 绘制…………… 张兵强, 张立民, 艾祖亮, 张建廷(1431)

遥感图像处理

SAR 图像稀疏优化滤波…………… 杨萌, 张弓(1439)

分段线性动态矩匹配条带去除…………… 秦雁, 邓孺孺, 何颖清, 陈蕾, 陈启东(1444)

基于 Harris 角点和 SIFT 描述符的高分辨率遥感影像匹配算法…………… 陈梦婷, 闫冬梅, 王刚(1453)

第八届图像图形技术与应用学术会议征文通知…………… (1460)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 11 期

2012 年 11 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa.ac.cn
电话:010-64807995 010-82614429
网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTXFZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

中图法分类号: TN919.8 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)11-1353-06

论文引用格式: 喻莉,张军涛,邓慧萍,向森,周鹏,左雯,王宁. SSIM 度量虚拟视点绘制失真的深度图帧内编码[J]. 中国图象图形学报,2012,17(11):1353-1358.

SSIM 度量虚拟视点绘制失真的深度图帧内编码

喻莉¹, 张军涛¹, 邓慧萍¹, 向森¹, 周鹏¹, 左雯², 王宁²

1. 华中科技大学电子信息与工程系, 武汉 430074; 2. 中兴通讯股份有限公司, 深圳 518057

摘要: 3D 视频中深度编码的性能主要取决于绘制视点的主观质量,传统的失真测度方法——均方误差(MSE)不能很好地体现人眼视觉(HVS)特性。提出了一种基于结构相似度(SSIM)度量的虚拟视点绘制失真的深度编码方法。通过分析深度编码失真与虚拟视点绘制失真(用SSIM作为失真测度)的关系,建立深度编码引起虚拟视点绘制失真的估计模型。最后将绘制失真估计模型应用到基于SSIM的感知率失真优化(RDO)框架中,以此指导深度编码的最优模式选择。实验结果表明,所提方法能够提高SSIM增益,获得更好的绘制视点主观质量,有效减少绘制视点中物体边界的失真和伪影。

关键词: 深度编码;视点绘制;率失真优化;失真分析

Virtual view rendering distortion using the structural similarity index as quality metric for depth map intra coding

Yu Li¹, Zhang Juntao¹, Deng Huiping¹, Xiang Sen¹, Zhou Peng¹, Zuo Wen², Wang Ning²

1. Department of Electronics and Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Zhongxing Telecommunication Equipment Corporation, Shenzhen 518057, China

Abstract: The performance of depth map coding in 3D videos mainly depends on the subjective quality of the rendering view. Traditional quality metric, the mean square error (MSE), does not characterize the human visual system (HVS) well. In this paper, we present a depth map coding method based on virtual view rendering distortion using structural similarity index (SSIM) as a quality metric. By analyzing the relationship between distortions in the coded depth map and distortions using SSIM as quality metric in the rendered view, a distortion model that estimates the rendering distortions caused by depth changes on depth coding is proposed. The rendering distortion estimation model is applied to the perceptual rate-distortion optimization (RDO) framework based on SSIM which decides the best mode in depth map coding. Experimental results with the proposed method show higher SSIM and better subjective quality for the rendered views, while reducing objects boundary's distortion and artifacts in rendered view.

Key words: depth coding; view rendering; rate-distortion optimization; distortion analysis

0 引言

3D 视频是多媒体领域发展的一个重要趋势,它

在自由视点电视、立体电视、立体视频会议、多视点视频点播等数字娱乐领域有着非常广泛的应用前景。传统的3D视频系统主要是基于双目立体视频技术的,仅能提供两路视频。目前新兴的自动3D

收稿日期:2012-02-27;修回日期:2012-05-04

基金项目:国家自然科学基金项目(60972016);新世纪优秀人才支持计划(NCET070339);湖北省杰出青年基金项目(2009CDA150);国家实验室基金项目(P080010);中芬国际合作项目(2010DFB10570)

第一作者简介:喻莉(1970—),女,教授,1999年于华中科技大学获通信与信息系统专业博士学位,主要研究方向为多媒体信息处理、多媒体通信技术、计算机网络等。E-mail: hustlyu@mail.hust.edu.cn

显示设备能同时显示多路视频,让用户可以从不同视角实现裸眼观看。对获取不同视角高质量的 3D 视点视频画面,纹理加深度的多视点视频是目前最有效的一种 3D 视频数据表达形式。由于纹理加深度的多视点视频数据量十分惊人,因此对于 3D 视频数据的编码来说,除了多路视频数据的编码外,深度编码是 3D 视频编码的关键问题。

深度图可被看作灰度图像,可用标准的视频编码方法对深度图编码,例如 MPEG-C part 3 就是利用 H. 264/AVC 对深度图进行编码。同时,由于深度图具有物体内部平滑边缘突出、不是输出显示、用作绘制虚拟视点等 3 个特征,近年来已出现针对这些深度图特性的压缩方法^[1-8]。然而,这些方法都没有考虑到深度编码会引起绘制失真的问题。针对上述问题,近期已做了一些尝试,Takahashi^[9]验证了纹理特性、相机距离等因素对深度编码性能的影响,Woo 和张秋闻等人^[10-11]提出了有损深度编码引起深度变化造成的视点绘制失真(不是由绘制方法引起)的估计模型。但以上模型中的失真测度都是传统的图像质量客观评价方法—均方误差(MSE),基于 MSE 的深度编码方法虽然计算简单、易于实现,但由于没有考虑人眼的视觉感受,致使绘制视点失真最小时,无法保证其主观质量最优。Wang 等人^[12]根据人类视觉系统(HVS)能高度自适应地提取场景中的结构信息的理论提出了基于结构相似度(SSIM)的图像质量评价方法。SSIM 能有效避免传统图像客观质量评价方法的缺陷,且与人的主观感受一致。所以,探索以 SSIM 作为绘制视点失真度量的深度编码方法具有十分重要的意义。

以深度信息反映视点绘制过程中的像素位置为出发点,用能体现人眼视觉特性的 SSIM 作为视点绘制失真的度量方法,推导深度编码失真与视点绘制失真的数学关系,建立基于 SSIM 的虚拟视点绘制失真模型,并将此模型应用到感知率失真优化(RDO)框架中以指导深度编码最优模式选择,在降低深度编码码率的同时,减小视点绘制的失真以提高虚拟视点主观质量。

1 SSIM 度量的虚拟视点绘制失真分析

深度图不是用作输出显示和观看的,只用来绘制视点,反映的是视点绘制过程中的几何位置关系,深度编码引起的深度值误差会导致绘制视点像素位

置的偏移,从而进一步导致视点的绘制失真。基于此,用一种综合视点绘制失真(由深度编码引起的)的方法来编码深度图是有意义的。因此,提出一种由深度编码失真引起的虚拟视点绘制失真的估计模型。由于传统的图像质量评价方法—均方误差不能很好地体现人眼视觉特性,拟以 SSIM 为失真测度方法,推导视点绘制失真的估计模型。

1.1 结构相似度

SSIM 是符合 HVS 特性的图像质量客观评价方法,它是基于人类视觉系统能高度自适应地提取场景中的结构信息的理论提出的。SSIM 的计算是图像块为单位,测量的是目标像与参考图像对应块之间亮度和对比度之间的相似性,其定义为

$$\text{SSIM}(x, y) = l(x, y) c(x, y) s(x, y) \quad (1)$$

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (2)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (3)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (4)$$

式中, $l(x, y)$ 是两图像块的亮度对比, $c(x, y)$ 是对比度对比, $s(x, y)$ 是结构相似对比; σ_x^2 和 σ_y^2 分别是两图像块的方差, σ_{xy} 是两图像块的协方差; C_1 、 C_2 、 C_3 为常量^[13]。当目标图像与参考图像亮度和对比度的相似性越强时,图像的相关性就越强,图像的失真越不明显,其质量也就越好。

1.2 视点绘制失真分析

如上所述,深度信息反映的是视点绘制过程中的几何位置关系,其失真会引起几何位置的偏移,Lai 等人^[13]分析了它们之间的关系,有如下结论:

$$\Delta p = a\delta_x \frac{\Delta D(x, y)}{255} \left(\frac{1}{Z_{\text{near}}} - \frac{1}{Z_{\text{far}}} \right) = k_1 \Delta D(x, y) \quad (5)$$

式中, $\Delta D(x, y)$ 深度图编码后像素点 (x, y) 处的编码误差, Δp 是视点绘制过程中对应像素点水平方向的偏移量, a 是相机在水平方向的焦距, δ_x 是两相邻相机间的水平距离。 Z_{near} 、 Z_{far} 是摄像机到场景截面的最近和最远深度值。对具体的序列, a 、 δ_x 、 Z_{near} 、 Z_{far} 都是常数,那么 Δp 和 $\Delta D(x, y)$ 之间是线性关系,比例因子记为 k_1 。

在虚拟视点绘制过程中,绘制失真程度依赖于深度图的内容特征,例如在图像平滑区域,深度值变化引起的绘制失真较小,相反,在一些边缘或者深度

值变化剧烈的区域,深度值变化引起的绘制失真较大。利用深度图相关联的纹理图像来估计深度变化所造成的绘制失真。根据纹理图像的全局特征,定义 $D_{SSIM}(\Delta p)$ 为原始图像和它在水平方向平移 Δp 个像素后对应块失真 d_{SSIM} 的平均值,那么

$$D_{SSIM}(\Delta p) = \frac{\sum \sum d_{SSIM}}{n} \quad (6)$$

$$d_{SSIM} = 1 - SSIM(x, y) \quad (7)$$

式中, n 是两图像中对应图像块的总和, $SSIM(x, y)$ 由式(1)计算。对任一多视点视频序列,通过式(6)获得的 $(\Delta p, D_{SSIM})$ 点如图 1 所示。从图 1 中可知不同多视点视频序列的 $D_{SSIM}-\Delta p$ 曲线走势是一致的,因此可以通过曲线拟合的方式求得表征这些曲线的函数方程。

曲线拟合的优度用 R^2 ^[14] 来衡量, R^2 的值越大表示拟合的越佳, R^2 的最大值是 1, 表示所有的数据点在函数方程曲线上。对图 1 所示的全部曲线进行

拟合,不同多视点视频序列的 $D_{SSIM}(\Delta p)$ 和 Δp 之间的关系模型为

$$D_{SSIM}(\Delta p) = ae^{b\Delta p} + ce^{d\Delta p} \quad (8)$$

对不同的多视点视频序列,式中参数 a, b, c, d 以及 R^2 的值如表 1 所示。

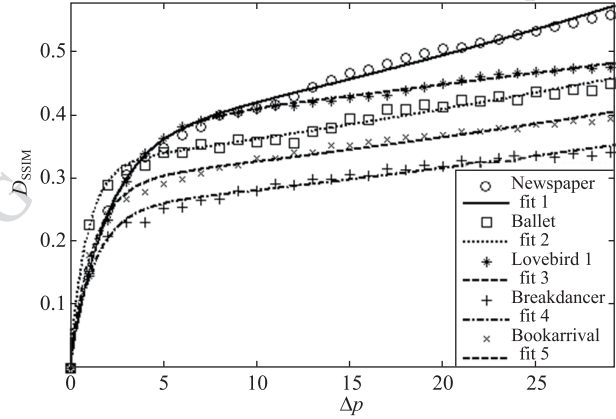


图 1 不同多视点视频序列的 $D_{SSIM}-\Delta p$ 关系曲线

Fig. 1 $D_{SSIM}-\Delta p$ curve for various multiview test sequences

表 1 不同测试序列的 $D_{SSIM}-\Delta p$ 曲线拟合

Table 1 $D_{SSIM}-\Delta p$ curve fitting for various test sequences

序列	a	b	c	d	R^2
Ballet	0.318 9	0.012 34	-0.317 5	-1.115	0.992 4
Newspaper	0.359	0.015 91	-0.354 5	-0.500 3	0.996 1
Lovebird1	0.380 5	0.008 041	-0.381 5	-0.471	0.999 1
Breakdancer	0.248 9	0.011 8	-0.244 8	-0.773 5	0.988 7
Bookarrival	0.290 6	0.011 25	-0.286 3	-0.801 7	0.991 3

从表 1 中可以看出,不同序列的 R^2 值均接近于 1,因此式(8)是对图 1 中曲线的最佳逼近。在绘制过程中由几何位置偏移 Δp 引起的绘制失真 $D_{SSIM}(\Delta p)$ 记为 D_r ,又式(5)建立了深度值失真 $\Delta D(x, y)$ 和几何位置偏移 Δp 之间的关系模型,所以可知深度值失真 $\Delta D(x, y)$ 引起的视点绘制失真 D_r ,表达式为

$$D_r = ae^{bk_1\Delta D(x, y)} + ce^{dk_1\Delta D(x, y)} \quad (9)$$

式(9)即为深度编码失真引起的虚拟视点绘制失真估计模型。

2 SSIM 度量虚拟视点绘制失真的感知 RDO 模型

在视点绘制过程中,基于深度图像的绘制技术

(DIBR)从各个参考视点得到的虚拟视点公共部分根据虚拟视点与参考视点的距离,由 μ 加权得到最终的像素值^[15]。参考视点的深度序列独立编码,那么虚拟视点失真 ΔD_r 和绘制失真 D_r 的关系式表述为

$$\Delta D_r = \mu D_r \quad (10)$$

由式(9)和式(10),可以建立虚拟视点失真和深度编码失真之间的关系模型。

感知 RDO 模型中^[16],用 SSIM 作为失真测度,拉格朗日代价函数定义为

$$J_{SSIM} = D_{SSIM} + \lambda_{SSIM} R \quad (11)$$

失真 D_{SSIM} 可由式(7)求得,相应的拉格朗日参数 λ_{SSIM} 是由 $R-D_{SSIM}$ 曲线(通过基于 MSE 的 RDO 模型编码视频图像获得)决定,可用斜率逼近的方法对其进行估计。深度编码时,在感知 RDO 框架中,用

虚拟视点失真 ΔD_v 代替深度图自身的编码失真,基于 SSIM 度量虚拟视点绘制失真的感知 RDO 模型可表述为

$$J = \Delta D_v + \lambda_{\text{SSIM}} R_{\text{depth}} \quad (12)$$

式中, R_{depth} 是深度编码的码率。深度编码时,通过式(12)计算各种可选模式的率失真开销,选取最小值下的模式作为宏块的最优编码模式,这样既能减少深度图编码后的码率又能保证提高虚拟视点的主观质量。

3 实验结果

3.1 实验条件

采用 H. 264/AVC 标准参考模型 JM18.2, 使用其帧内编码的全部模式。为验证本文算法的有效性,采用两个运动剧烈的序列 Ballet 和 Breakdancer, 一个运动平缓的序列 Newspaper 和一个室外场景的序列 Lovebird1, 进行交叉对比。这 4 个序列有不同的运动剧烈程度和场景, 具有普适性, 能够验证本文算法的鲁棒性。实验中,用 H. 264/AVC, 文献[10]算法和本文算法对深度图进行编码(纹理图不编码), QP 分别设为 24、28、32、36, 编码完成后,采用 MPEG 视点合成参考软件 VSRS 3.5 对测试序列进行虚拟视点绘制。算法性能通过 R-D 曲线和主观

质量两个方面进行比较。R-D 曲线中的 D 用 SSIM 度量,一般选择 8×8 的图像块,但与 H. 264/AVC 的编码框架保持一致,以 4×4 的块为基本单位计算 SSIM 大小。

3.2 R-D 性能

图 2 所示的是本文算法,文献[10]算法和 H. 264/AVC 的 R-D 曲线, X 轴代表两个参考视点的深度序列编码后的码率之和 S_{depth} 。由于深度编码的性能依赖于绘制视点的质量,因此实验中采用的是绘制视点的 SSIM 来评价深度编码性能,那么 Y 轴即代表虚拟视点图像的 SSIM(深度序列未编码的虚拟视点绘制图像与深度序列编码后绘制的虚拟视点绘制图像的 SSIM)。

从图 2 的实验结果来看,本文算法与两种参考算法的 R-D 性能有比较明显的差异。从所有测试序列的总体实验结果来看,文献[10]算法较 H. 264/AVC 保持了较好的性能,但差异并不明显,主要是因为 Woo 等人提出的绘制视点失真估计模型是基于 MSE 的,当用体现人眼视觉特性的 SSIM 作为图像质量评价方法时,深度编码效果就不再明显。本文算法的 SSIM 明显优于参考算法 H. 264/AVC 和文献[10]。具体到不同序列的实验结果来看,本文算法对纹理比较丰富、多边缘区域的多视点视频序列编码效果明显,如 Newspaper 序列,因为参

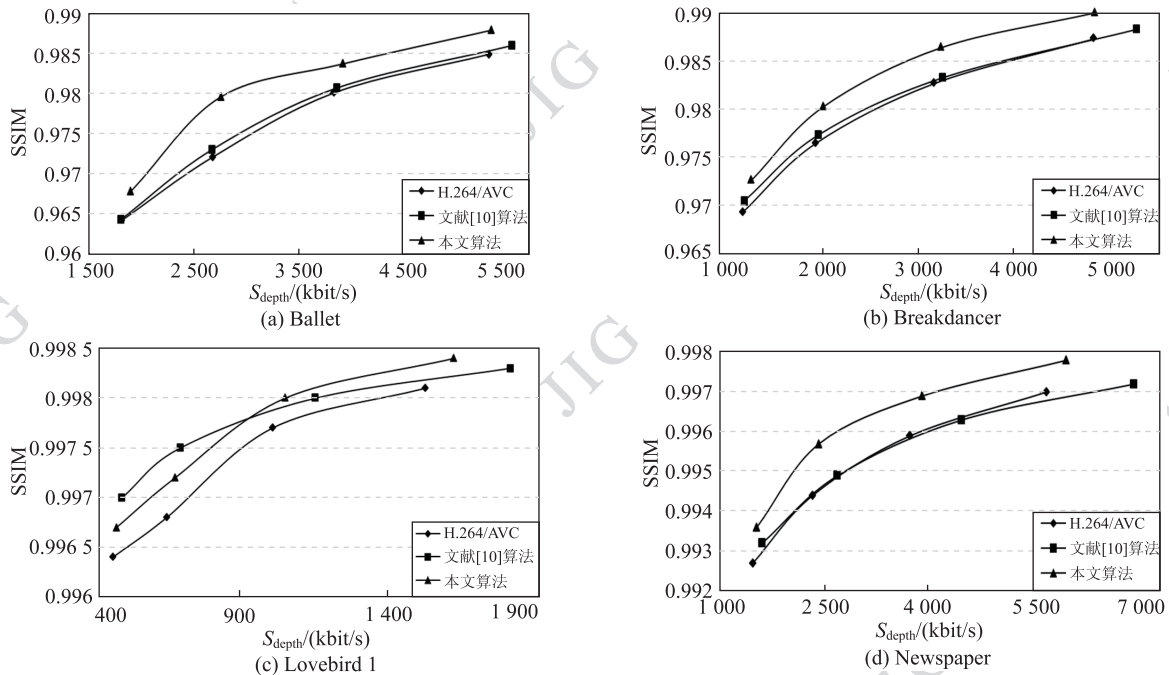


图 2 不同序列的 R-D 曲线

Fig. 2 R-D curves of different sequences

考算法的失真测度 MSE 没有考虑像素间的空间相关性和人眼视觉特性,在图像纹理丰富以及人眼敏感的边缘区域评判性能不佳;而提出的虚拟视点绘制失真估计模型是基于 SSIM 的,是对图像结构信息的度量,在图像纹理丰富和边缘区域均能准确的体现人眼视觉特性。由于 Lovebird1 序列拍摄的场景为室外,图像内容多为背景区域,人眼敏感的边缘区域较小,所以本文算法与文献[10]算法率失真性能接近,但编码效果仍明显优于 H.264/AVC 算法。

3.3 主观质量

主观质量对比如图 3 和图 4 所示。可以看出,本文算法具有更好的主观质量,能够有效地减少物体边界的锯齿和伪影。例如,在图 3(c)中人物腰部(圆圈标示区域)线条清晰、平滑,而图 3(a)(b)中人物腰部边缘处有明显的锯齿。从图 4 中所示部分也可看出,本文算法获得的图像更加清晰。很明显,实验结果验证了本文算法的有效性。

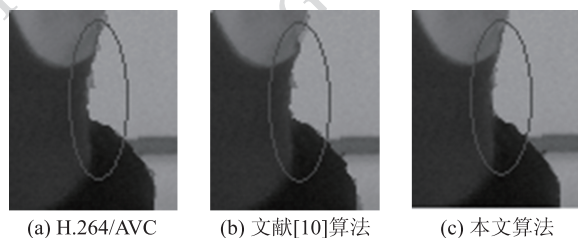


图 3 Ballet 序列绘制视点 4 的主观质量比较
Fig. 3 Comparison of subjective quality for the 4th rendering view of Ballet's sequence

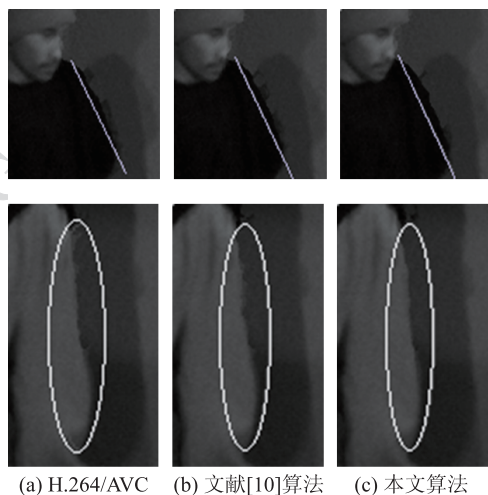


图 4 Breakdancer 序列绘制视点 4 的主观质量比较
Fig. 4 Comparison of subjective quality for the 4th rendering view of Breakdancer's sequence

4 结 论

以考虑了人眼视觉特性的图像客观质量评价方法 SSIM 为基础,建立了深度编码失真造成的虚拟视点绘制失真(用 SSIM 作为失真测度)的估计模型。深度编码时,为了能够减少虚拟视点的失真且保证虚拟视点的失真测度与主观评价的一致性,将此模型应用到基于 SSIM 的感知率失真优化框架中,即用 SSIM 度量的虚拟视点失真代替深度图编码失真来指导宏块的最优模式选择。实验结果表明,本文算法既能提高虚拟视点的主观质量,又能获得更高的 SSIM 增益。

参考文献(References)

- [1] Morvan Y, Farin D, De With P H N. Depth-image compression based on an r-d optimized quadtree decomposition for the transmission of multiview images[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. AK, USA: IEEE Press, 2007:105-108.
- [2] Zamarin M, Milani S, Zanuttigh P, et al. A novel multi-view image coding scheme based on view-warping and 3D-DCT[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2010, 21(8):462-473.
- [3] Maitre M, Do M N. Depth and depth-color coding using shape-adaptive wavelets[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2010, 21(5-6):513-522.
- [4] Kwan J O, Vetro A, Yo S H. Depth coding using a boundary reconstruction filter for 3-D video systems[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2011, 21(3):350-359.
- [5] Kwan J O, Yea S, Vetro A, et al. Depth reconstruction filter and down/up sampling for depth coding in 3-D video[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2009, 16(9):747-750.
- [6] Ekmekcioglu E, Mrak M, Worrall S, et al. Utilisation of edge adaptive upsampling in compression of depth map videos for enhanced free-viewpoint rendering[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Cairo, Egypt: IEEE Press, 2009:733-736.
- [7] Sung Y K, Yo S H. Mesh-based depth coding for 3D video using hierarchical decomposition of depth maps[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. San Antonio, TX, USA: IEEE Press, 2007:117-120.
- [8] Yea S, Vetro A. Multi-layered coding of depth for virtual view synthesis[C]//Picture Coding Symposium. Chicago, IL, USA: IEEE Computer Society, 2009.
- [9] Takahashi K. Performance analysis on multi-view coding with

- depth map distortion [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Hong kong, China: IEEE Press, 2010: 2625-2628.
- [10] Woo S K, Ortega A, PoLin L, et al. Depth map distortion analysis for view rendering and depth coding [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Cairo, Egypt: IEEE Press, 2009:721-724.
- [11] Zhang Q W, An P, Zhang Y, et al. Depth map intra coding based on virtual view rendering distortion estimation[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2011, 33(11):2541-2546. [张秋闻, 安平, 张艳, 等. 基于虚拟视点绘制失真估计的深度图帧内编码[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(11): 2541-2546.]
- [12] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [13] Lai P, Ortega A, Dorea C, et al. Improving view rendering quality and coding efficiency by suppressing compression artifacts in depth-image coding [C]//Proceedings of Visual Communications and Image Processing. San Jose, CA, USA: The International Society for Optical Engineering, 2009.
- [14] Devore J L, Farnum N R. Applied Statistics for Engineers and Scientists[M]. New York: Duxbury, 1999.
- [15] Mori Y, Fukushima N, Fujii T, et al. View generation with 3D warping using depth information for FTV[J]. Signal Processing: Image Communication, 2009,24(1-2):65-72.
- [16] Huang Y H, Ou T S, Su P Y, et al. Perceptual rate-distortion optimization using structural similarity index as quality metric [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(11):1614-1624.