

基于视觉显著性的多视点纹理视频编码算法

罗晓林¹ 罗 雷²

(重庆交通科研设计研究院 重庆 400065)¹ (重庆邮电大学通信与信息工程学院 重庆 400065)²

摘 要 针对多视点视频的压缩问题,提出一种基于视觉显著性分析的编码算法。该算法根据人眼对显著性区域的失真更加敏感这一特性,通过控制显著性区域与非显著性区域的编码质量来有效提高多视点视频编码的效率。首先,利用融合颜色与运动信息的视频显著性滤波器提取出多视点视频图像像素级精度的视觉显著性图;然后,将所有视点视频的视觉显著性图转换为编码宏块的显著性表示;最后,利用感知视频编码的原理实现基于显著性的宏块质量自适应控制。实验结果表明,该算法有效地提高了多视点视频编码的率失真效率及主观视频质量。

关键词 显著性,三维视频,码率分配,量化参数

中图法分类号 TP391 文献标识码 A

Visual Saliency Based Multi-view Video Coding Algorithm

LUO Xiao-lin¹ LUO Lei²

(Chongqing Communications Technology Research & Design Institute, Chongqing 400065, China)¹

(School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)²

Abstract Towards the compression issue for multi-view video coding, a visual saliency based coding algorithm was proposed. Based on the fact that the human eyes are more sensitive to the distortion of the salient regions, the proposed method employed the controlling of the coding quality of the salient and non-salient regions to improve the multi-view video coding efficiency. First, pixel based visual saliency map of the multi-view video was extracted by the color and motion information fusion based video saliency filter. Then, the visual saliency map was transformed to the saliency representation of the coding macroblock. Finally, through the principle of the perceptual video coding, the coding quality of each macroblock was adaptively controlled based on its saliency representation. The experimental results demonstrate that the proposed method can effectively improve the rate-distortion performance and the subjective quality of the multi-view video coding.

Keywords Saliency, 3D video, Rate allocation, Quantization parameter

1 引言

随着多媒体技术的不断发展,三维视频应用逐渐走入人们的生活,包括三维电视(3DTV)以及自由视点电视(FTV)等。为了有效地表达三维场景,需要通过多路摄像机同时采集同一场景多个视角的视频,即多视点视频(Multi-View Video, MVV)。随着视点数目的不断增加,多视点视频的数据量将会成倍地增加。考虑到实际应用中存储空间及网络带宽的限制,高效的多视点视频压缩算法对于三维视频的应用显得尤为关键。

针对多视点视频的压缩问题,可以采用多种压缩编码算法。其中,最为简单的方法是对每一个视点的视频采用标准的编码技术(如 H. 264/AVC^[1] 或 HEVC^[2])进行单独编码,这样的编码方式称为单播(Simulcast)。除此之外,可以通过挖掘视点间的冗余性,采用多视点视频编码技术(Multi-view Video Coding, MVC)^[3]实现对多个视点纹理视频的高效压

缩。MVC 编码技术除了使用传统的时域帧间预测技术和空域帧内预测技术之外,还通过充分挖掘同一时间点上的多个视点图像之间的相似性,采用视点间预测技术(Inter-view Prediction)^[4]来进一步提高压缩编码的效率。此外,MVC 还通过采用分等级的 B 帧预测结构实现了随机访问和可伸缩等功能特性。实验结果证明,相比于 simulcast 方式,MVC 可以对视点纹理视频的编码实现 20%~30% 的码率节省以及 2~3dB PSNR 的提高。虽然 MVC 相比于传统的 Simulcast 编码方法,已经实现了较大幅度的编码效率提高,然而 MVC 的编码码率还是与参考视点的数目呈线性增长关系。即随着参考视点数目的不断增多,MVC 的编码码率还是比较高。因此,对于实际的三维视频应用而言,如何进一步降低多视点纹理视频的编码码率依然是非常有研究意义的。

视频压缩编码的一个基本原理是通过消除视频信号的冗余性实现数据的有效压缩。MVC 通过帧内预测、帧间预测以及视点间预测技术有效消除了视频信号在空间、时间以及视

本文受国家自然科学基金(61501074),重庆市基础与前沿研究计划(cstc2015jcyjA40012),重庆市教委科学技术研究项目(KJ1500430)资助。

罗晓林(1985—),男,工程师,主要研究方向为三维视频编码,E-mail:410314755@qq.com;罗 雷(1986—),男,博士,讲师,主要研究方向为图像处理。

点间的冗余性。然而,还有一种视频信号冗余性是可以被用来进行压缩编码的,这就是基于人类视觉系统(Human Vision System, HVS)的感知冗余。视频显著性与人类视觉系统 HVS 密切相关,通常表现为图像或者视频信号中最为突出或值得注意的部分^[5]。实验证明,人眼对图像或者视频中的显著性区域的失真比背景区域(非显著性区域)的失真更加敏感^[6-8]。这也就意味着可以通过增加失真敏感度较低的背景区域的失真来提高 MVC 的编码效率。基于视觉显著性(Visual Saliency)的视频编码方法的基本原理正是利用人眼对显著性区域的失真更加敏感这一特性,自适应地调整图像各个区域的编码质量,以更高的质量对显著性区域进行编码,而对非显著性区域则相反地降低其编码质量。本文提出了一种基于视觉显著性的多视点视频编码算法以有效提高多视点视频编码的效率。首先利用课题组前期研究成果提出的融合颜色与运动信息的视觉显著性滤波器(CSF)^[9]提取出多视点视频图像中像素精度的显著性区域,然后通过块映射将像素精度的显著性区域转换成显著性宏块,最后通过对显著性宏块和非显著性宏块之间的码率分配降低非显著性宏块的编码质量以及提高显著性宏块的编码质量。需要指出的是,为了降低本文算法的计算复杂度,在进行显著性区域检测时,仅对中间视点的视频采用 CSF 进行检测,而其它视点的显著性区域则通过中间视点显著性区域的三维图像变换得到。

2 算法设计

本文提出的基于视觉显著性的多视点视频编码算法主要包括视频显著性检测、编码宏块显著性表示以及宏块级码率分配 3 个部分,算法的整体流程如图 1 所示。

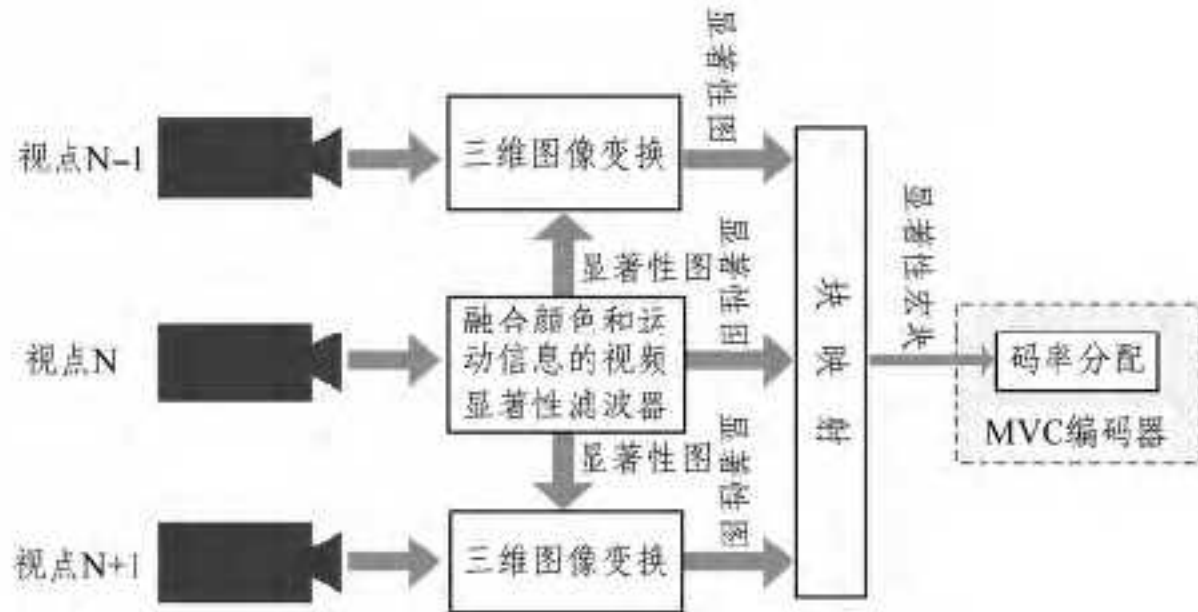


图 1 基于视觉显著性的多视点视频编码算法架构

2.1 融合颜色与运动信息的视频显著性滤波器

为了检测多视点视频的显著性,本文采用课题组前期研究提出的融合颜色与运动信息的视频显著性滤波器(CSF)^[9]对中心视点的显著性进行计算。本节将对 CSF 的相关内容进行简要概述。

CSF 将视频图像分解为若干超像素区域之后,以超像素区域为单位,利用多维高斯滤波器分别计算每一个超像素区域的 4 种测度:颜色独立性测度、颜色空间分布测度、运动独立性测度及运动空间分布测度。这 4 种测度分别代表颜色和运动信息的局部和全局特征。

颜色独立性测度,用于表征每一个超像素单元的色彩与其他区域之间的差异性。图像中与其他区域色彩差异性较大的部分更能吸引人眼的注意,因此通常被认为是视觉显著性区域。超像素单元 i 的颜色独立性测度 $U_{i,c}$ 为:

$$U_{i,c} = \sum_{j=1}^N \omega(L_i, L_j) \|c_i - c_j\|^2 \quad (1)$$

其中, N 为整帧图像超像素单元数, c_i 和 c_j 分别表示超像素单元 i 和 j 的平均像素值, L_i 和 L_j 分别表示超像素单元 i 和 j 的平均坐标位置, $\omega(L_i, L_j)$ 为颜色独立性测度的高斯滤波权重。

颜色空间分布测度,显著性目标通常是紧凑地分布在图像中的某一个特定区域,而非显著性区域则均匀分布于整帧图像之中。因此,通过超像素单元的色彩的空间方差来表征其颜色空间分布。低方差指该超像素单元具有较高的视觉显著性,反之亦然。超像素单元 i 的颜色空间分布 $D_{i,c}$ 表示为:

$$D_{i,c} = \sum_{j=1}^N \omega(c_i, c_j) \|L_j - \tau_i\|^2 \quad (2)$$

其中, $\omega(c_i, c_j)$ 用于表示超像素单元 i 与 j 之间的颜色相似度, τ_i 为超像素单元 i 的加权平均位置。

运动独立性测度,描述每一个超像素单元的运动与其它区域之间的差异性。视频图像中的前景目标通常是容易引起人眼注意的显著性区域,而前景目标的运动通常与背景存在较大的差异。超像素单元 i 的运动独立性测度 $U_{i,m}$ 表示为:

$$U_{i,m} = \sum_{j=1}^N \omega(L_i, L_j) \|m_i - m_j\|^2 \quad (3)$$

其中, m_i 和 m_j 为超像素单元 i 和 j 的运动矢量。

运动空间分布测度,用于描述视频序列中运动信息的全局特征。前景目标的运动通常紧凑地分布于图像中的某个特定区域,而背景的杂乱运动则会零散地分布于整帧视频图像中。类似于颜色空间分布测度,以超像素单元运动矢量的空间方差来表征其运动的空间分布。超像素单元 i 的运动空间分布测度 $D_{i,m}$ 表示为:

$$D_{i,m} = \sum_{j=1}^N \omega(m_i, m_j) \|L_j - \tau_i\|^2 \quad (4)$$

其中, $\omega(m_i, m_j)$ 为超像素单元 i 和 j 之间的运动相似度。

在得到 4 种测度之后,对其进行指数融合,则超像素单元 i 的显著性可表示为:

$$\hat{S}_i = \alpha \cdot U_{i,c} \cdot \exp(-k \cdot D_{i,c}) + \beta \cdot U_{i,m} \cdot \exp(-k \cdot D_{i,m}) \quad (5)$$

其中, α 和 β 为颜色显著性和运动显著性的权重, k 用于控制空间分布的影响。由式(5)可以看出, $D_{i,c}$ 和 $D_{i,m}$ 的值越大,即颜色和运动空间分布越广,则对应超像素区域显著性越小; $U_{i,c}$ 和 $U_{i,m}$ 的值越大,即颜色和运动独立性越高,则对应超像素区域显著性越大。最后,通过高斯滤波得到平滑的像素精度的显著性图 S_i 为:

$$S_i = \sum_{j \in \Omega_i} \omega_{ij} \hat{S}_j \quad (6)$$

其中, Ω_i 为超像素单元 i 的邻域超像素单元, ω_{ij} 为高斯滤波权重。

2.2 基于三维图像变换的多视点显著性提取

如图 1 所示,在通过视频显著性滤波器检测出中间视点的显著性区域之后,还需要获取其余视点的显著性图。为了降低本文提出的 MVC 编码方法的计算复杂度,采用基于三维图像变换的显著性提取方法对除中间视点外的其他视点进行显著性检测。假设视点 a 的显著性图为 S_a ,并且三维摄像机系统已经过精确的校正,根据三维图像变换方法可知,视点 b 的显著性图 S_b 可以表示为:

$$Z_b S_b = Z_a S_a + A R^{-1} [t_a - t_b] \quad (7)$$

其中, Z_a 和 Z_b 分别表示视点 a 和 b 的深度, A 和 R 分别表示摄像机的内参矩阵和旋转矩阵,而 t_a 和 t_b 则表示视点 a 和 b

的平移向量。图2所示为通过三维图像变化获得的视觉显著性图,其中视点1的显著性通过CSF获得,而视点7的显著性图则通过三维图像变换获得。

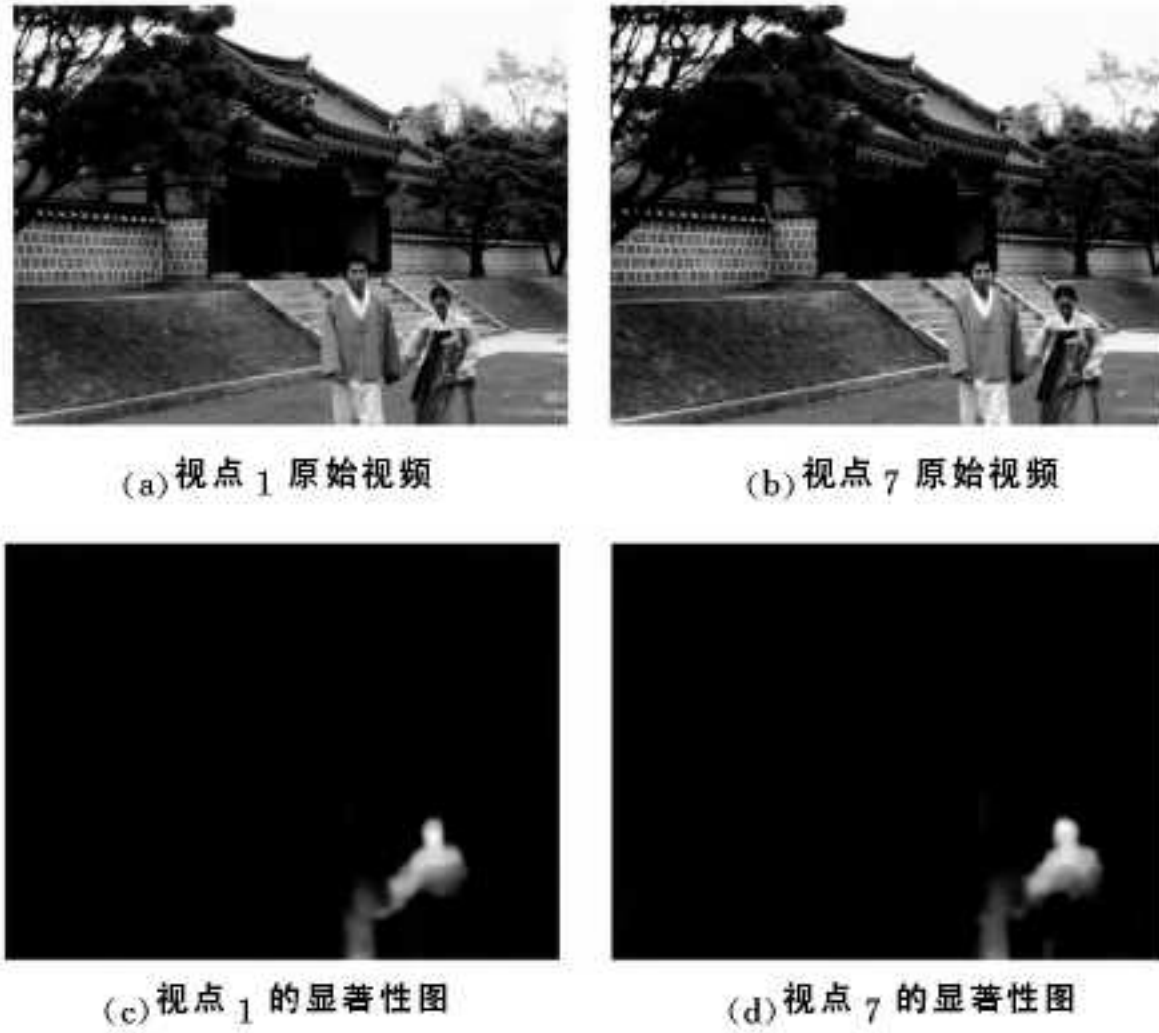


图2 基于三维图像变换的视觉显著性提取

2.3 宏块显著性表示

考虑到视频编码是以宏块为单位进行处理的,因此需要将像素精度的视觉显著性图转换成宏块精度的显著性图。由于一个宏块的显著性是由该宏块内的所有像素的显著性所决定的,因此将宏块的显著性表示为该宏块内所有像素的显著性之和。具体而言,宏块 M_i 的显著性 $S(M_i)$ 为:

$$S(M_i) = \sum_{(x,y) \in M_i} S(x,y) \quad (8)$$

其中, $S(x,y)$ 表示像素 (x,y) 的显著性值。图3所示为宏块显著性示意图。

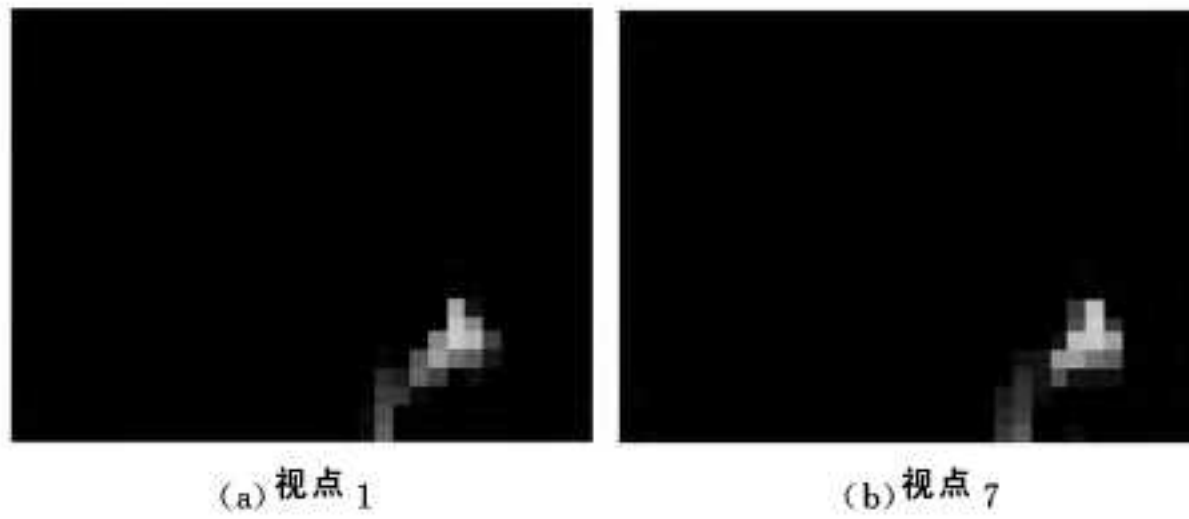


图3 宏块显著性示意图

2.4 宏块码率分配

基于显著性分析的多视点视频编码方法的目的是为了使得显著性区域获得比非显著性区域更高的编码质量。这可以通过对显著性和非显著性区域的码率分配策略实现。在视频编码中,码率分配实际上是通过控制编码的量化参数QP值实现的。通过式(8)计算出每个宏块的显著性之后,可以通过宏块级的QP控制实现对宏块的质量控制。如果一个宏块的显著性越高,则需要保持该宏块的编码质量越高,即QP越小。具体而言,根据感知视频编码方法的原理[8],当前帧第 i 个宏块 M_i 的QP值设置为:

$$QP_i = \text{round}(\frac{QP_f}{\sqrt{w_i}}) \quad (9)$$

其中, QP_f 为当前帧的编码QP; w_i 为QP控制的权重参数,具体表示为:

$$w_i = a + \frac{b}{1 + \exp(-c(S(M_i) - \bar{s})/\bar{s})} \quad (10)$$

其中, $\bar{s}$ 为当前编码帧中所有宏块显著性的平均值。 a, b, c 为3个常数值,实验取值分别为 $a=0.7, b=0.6, c=4$ 。

3 实验结果及分析

3.1 实验条件

为了验证本文提出的基于视觉显著性分析的多视点纹理视频编码方法的有效性,以H.264/MVC标准参考模型JMVC8.5[10]为基础进行实验。实验中所选用的三维视频测试序列为Ballet和Lovebird1序列,这两个序列的分辨率均为 1024×768 。其中,Ballet序列选用视点0、1、2这3个视点进行编码,Lovebird1序列选用视点6、7、8这3个视点进行编码。两个序列的编码帧数均为100帧。JMVC8.5的编码参数配置如表1所列,采用4个不同的QP值对这两个测试序列进行编码,分别为26、30、34、38。

表1 JMVC8.5 编码参数配置

编码参数	配置
GOP 结构	分等级 B 帧
视点间预测选项	使能
运动搜索范围	16
8×8 DCT 变换	使能
熵编码类型	CABAC

实验中采用加权PSNR(WPSNR)[11]指标对编码方法的率失真性能进行评估。其中WPSNR的定义如下:

$$WMSE = \frac{1}{\omega} \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} \varphi(x,y) \cdot \|I(x,y) - \tilde{I}(x,y)\|^2 \quad (11)$$

$$\omega = \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} \varphi(x,y) \quad (12)$$

$$WPSNR = 10 \cdot \log_{10}(\frac{255^2}{WMSE}) \quad (13)$$

其中, W 和 H 分别表示一帧图像的宽和高; $I(x,y)$ 和 $\tilde{I}(x,y)$ 分别表示原始视频图像和压缩编码后的视频图像; $\varphi(x,y)$ 为像素 (x,y) 的加权系数,实验中该加权系数取值即为该像素点的显著性值 $S(x,y)$ 。

3.2 实验结果及分析

如图4所示为两个测试序列的率失真曲线。其中,JMVC为标准参考算法,SR-MVC为本文提出的算法。可以看出,本文提出的基于视觉显著性的多视点视频编码算法SR-MVC的结果要明显好于JMVC,说明本文算法显著地提高了多视点视频编码的率失真性能。

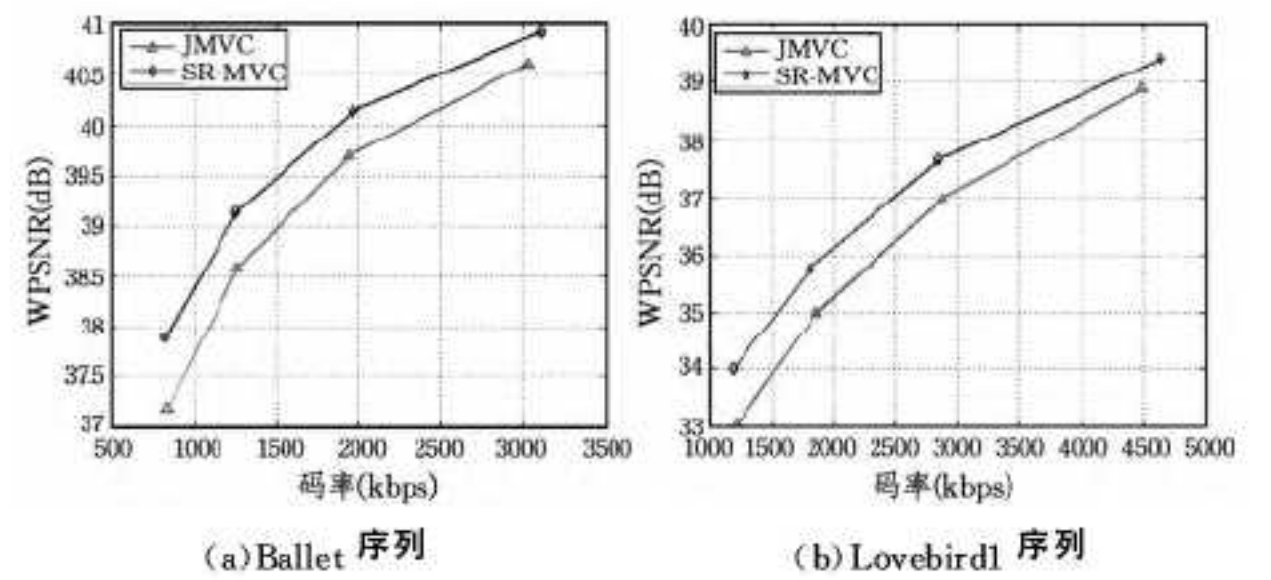


图4 测试序列率失真曲线

表2显示了这两个测试序列详细的率失真数据。其中,BD-BR和BD-WPSNR分别表示本文方法相对于JMVC方法的码率节省和WPSNR提高。可以看到,本文提出的SR-MVC方法显著地降低了编码码率,大约可节省18%的码率,

同时对显著性区域质量的提高也非常明显,分别对 Ballet 和 Lovebird 提高了 0.483dB 和 0.772dB。

表 2 BD-BR 和 BD-WPSNR 指标

视频序列	JMVC 方法			本文 SR-MVC 方法			BD-BR (%)	BD-WPSNR (dB)
	QP	码率 (kbps)	WPSNR (dB)	QP	码率 (kbps)	WPSNR (dB)		
Ballet	26	3036	40.61	26	3112	40.93	-18.01	0.483
	30	1942	39.70	30	1971	40.15		
	34	1265	38.60	34	1258	39.14		
	38	842	37.19	38	826	37.88		
Lovebird1	26	4490	38.88	26	4645	39.41	-17.71	0.772
	30	2877	36.99	30	2841	37.65		
	34	1855	34.93	34	1806	35.78		
	38	1205	33.04	38	1180	33.98		

图 5、图 6 分别显示了 Ballet 和 Lovebird1 序列的主观质量对比。可以看到,本文提出的方法对人眼关注部分的质量有明显提高。事实上,SR-MVC 编码方法主要是依靠对显著性区域分配更小的 QP 进行编码实现其质量的提高。如图 7、图 8 所示,可以看到 SR-MVC 方法在显著性区域的 QP 明显小于 JMVC 方法,同时 SR-MVC 方法通过适当提高非显著性区域的 QP 以降低码率,因此整帧图像的 QP 从 36 到 41 变化。相反,JMVC 却使用固定的 QP=38 对当前帧的所有宏块进行编码,显然这是不够合理的。



(a)JMVC 编码方法, QP=38, 码率为 842kbps, WPSNR 为 37.36dB



(b)SR-MVC 编码方法, QP=38, 码率为 826kbps, WPSNR 为 37.92dB



(c)图(a)的细节



(d)图(b)的细节

图 5 Ballet 序列视点 1 第 3 帧主观质量对比



(a)JMVC 编码方法, QP=38, 码率为 1205kbps, WPSNR 为 33.12dB



(b)SR-MVC 编码方法, QP=38, 码率为 1180kbps, WPSNR 为 33.87dB



(c)图(a)的细节



(d)图(b)的细节

图 6 Lovebird1 序列视点 7 第 2 帧主观质量对比



(a)JMVC



(b)SR-MVC

图 7 Ballet 序列的 QP 分布



(a)JMVC



(b)SR-MVC

图 8 Lovebird1 序列的 QP 分布

结束语 本文提出一种基于视觉显著性的多视点视频编码方法。首先,利用融合颜色信息和运动信息的视频显著性滤波器来生成中心视点图像的显著性图。然后,利用三维图像变换获取其它视点的显著性图,并将所有视点图像像素精度的显著性图变换为编码宏块的显著性表示。最后,利用感知视频编码的原理,以宏块的显著性值对其进行量化参数控制,从而实现基于显著性的宏块质量自适应控制。实验结果表明,本文提出的基于显著性的多视点视频编码方法可以有效地提高多视点视频编码的效率及主观视频质量。

参考文献

- [1] Wiegand T, Sullivan G J, Bjontegaard G, et al. Overview of the H.264/AVC video coding standard[J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7): 560-576
- [2] Sullivan G J, Ohm J R, Han W J, et al. Overview of the High efficiency video coding (HEVC) standard[J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(12): 1649-1667
- [3] Vetro A, Wiegand T, Sullivan G J. Overview of the stereo and multiview video coding, extensions of the H.264/AVC standard [J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(4): 626-642
- [4] Merkle P, Smolic A, Muller K, et al. Efficient prediction structure for Multiview video video[J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(11): 1461-1473

(下转第 183 页)

表₁是检测所花费的时间比较,表₂是匹配率的对比结果。

表₁ 各类检测的时间对比(s)

图像	平移	放大一倍	旋转 30°	组合
SIFT 算法 所用时间	23.87	24.57	23.54	36.64
本文算法 所用时间	9.54	10.11	9.46	18.44

表₂ 组合情况下匹配率的对比

算法	匹配对	误匹配	误匹配率(%) (误匹配/匹配对)
SIFT 算法	753	99	13.15
本文算法	1838	52	2.83

实验结果表明,本文算法可以有效检测出图像是否经过了复制粘贴篡改,如果图像在复制粘贴篡改过程中还进行了旋转或缩放,即“复制_旋转_粘贴”、“复制_缩放_粘贴”或者“复制_旋转+缩放_粘贴”等操作,本文算法同样有效。采用本文提出的改进 SIFT 算法的实验结果如图 8(b)、图 9(b)、图 10(b)及图 11(b)所示,从图中可以看出,每个特征点有特征点与其对应,将检测出来的特征点用直线连线标记,如果图像经过复制粘贴篡改,那么所标记的直线将集中于某两个区域之间。

从表₁可以看出,本文算法检测的时间明显小于 SIFT 算法所用时间,说明本文算法在平移、旋转、缩放以及组合情况下的检测速度要明显优于 SIFT 算法。此外,从表₂可以看出,本文算法和 SIFT 算法对同一图像进行检测时,本文算法得到的匹配数和匹配正确率要明显高于 SIFT 算法,说明本文算法在匹配性能上优于 SIFT 算法,本文算法明显改善了检测效果。

结束语 本文将图像匹配技术中的 SIFT 方法进行改进后应用于图像的复制粘贴篡改检测,先用 SIFT 算法提取具有尺度不变性的特征点,再用 BBF 最近邻搜索算法找到所有可能的特征匹配点,确定复制粘贴篡改区域,从而有效地检测出各种基本的图像篡改操作及其组合。实验结果表明,本文算法对复制粘贴及各种后处理篡改操作(如旋转、缩放等),无论在时间还是精度上都具有很好的检测效果。

(上接第 174 页)

[5] Qin Yao, Lu Hu-chuan, Xu Yi-qun, et al. Saliency detection via cellular automata[C]//IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2015:110-119

[6] Hadizadeh H, Bajic I V. Saliency-aware video compression[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2014, 23(1):19-33

[7] Zhang Y, Jang G Y, Yu M, et al. Depth perceptual region-of-interest based multiview video coding[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2010, 21(5):498-512

[8] Chen Z, Guillemot C. Perceptually-friendly H. 264/AVC video

参考文献

[1] Kuo T Y, Lo Y C, Huang S N. Image forgery detection for region duplication tampering[C]//2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo(ICME). 2013:1-6

[2] Redi J A, Taktak W, Dugelay J L. Digital image Forensics: a booklet for beginners[J]. Multimedia Tools and Applications, 2011, 51(1):133-162

[3] 周琳娜, 王东明, 郭云彪. 基于数字图像边缘特性的形态学滤波取证技术[J]. 电子学报, 2008, 36(6):1047-1051

[4] Fridrich J, Soukal D, Lukas J. Detection of Copy-Move Forgery in Digital Images[R]. Technical Report, Cleveland, USA, 2003: 272-276

[5] 骆伟祺, 黄继武, 丘国平. 鲁棒的区域复制图像篡改检测技术[J]. 计算机学报, 2007, 30(11):1998-2007

[6] 王俊文, 刘光杰, 张湛, 等. 图像区域复制篡改快速鲁棒取证[J]. 自动化学报, 2009, 35(12):1488-1495

[7] Li Kun-lun, Li He-xin, Yang Bo, et al. Detection of Image Forgery Based on Improved PCA-SIFT[J]. Computer Engineering and Networking, 2014, 277:679-686

[8] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant key points [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110

[9] Liu Bo, Pun Chi-man. A SIFT and local features based integrated method for copy-move attack detection in digital Image[C]//2013 IEEE International Conference on Information and Automation(ICIA). 2013:865-869

[10] Zhang Ju, Ruan Qiu-qi, Jin Yi. Combined SIFT and bi-coherence features to detect image forgery[C]//2014 12th International Conference on Signal Processing(ICSP). IEEE, 2014:1859-1863

[11] Zhao W L, Ngo C W. Flip-invariant SIFT for copy and object detection[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(3):980-991

[12] Chihaoui T, Bourouis S, Hamrouni K. Copy-move image forgery detection based on SIFT descriptors and SVD-matching[C]//2014 1st International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP). IEEE, 2014:125-129

[13] Jayshri C, Antara B. Revealing image forgery through image manipulation detection[C]//2015 Global Conference on Communication Technologies (GCCT). IEEE, 2015:723-727

coding based on foveated just-noticeable-distortion model[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(6):806-819

[9] 罗雷, 蒋荣欣, 田翔, 等. 融合颜色与运动信息的视频显著性滤波器[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(2):81-85

[10] ISO/IEC MPEG&ITU-T VCEG, Draft Reference Software for MVC[S]. Doc. JVT-AE207, London, UK, 2009

[11] Song H, Kuo C J. A region-based H. 263+ codec and its rate control for low VBR video[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2004, 6(3):489-500