

多视点视频中基于局部直方图匹配的 亮度和色差校正

陈建乐¹⁾ 刘济林¹⁾ 叶建洪¹⁾ 陈好姝²⁾

¹⁾(浙江大学信电系, 杭州 310027) ²⁾(华侨大学信息学院, 泉州 362021)

摘要 由于相机性能的差异,多视点视频序列之间总是存在亮度和颜色的差异,为降低这种差异对多视点系统中各种后续处理效果的影响,提出了一种基于部分重叠局部直方图匹配的亮度和色差校正算法。该直方图匹配算法先通过原图像直方图和参考图像直方图的匹配建立映射函数,然后使用该映射函数来校正原图像的亮度和色差值。根据映射函数的计算方法不同,直方图匹配可以分为全局直方图匹配和局部自适应直方图匹配。在全局直方图匹配算法中,由于整幅图像是使用统一的映射函数,因此校正性能较差。而局部自适应直方图匹配算法则是利用局部信息为每个像素建立唯一的映射函数,因此能够准确地校正图像不同区域的差异,但是算法的复杂度非常高。该部分交叠的局部直方图匹配方法中,一小块范围内的像素是使用同样的局部直方图来建立映射函数,然后使用条件去块滤波器去除可能存在的块效应。与自适应局部直方图匹配算法相比,该算法不仅可减少计算直方图和映射函数的次数,而且在降低计算复杂度的同时,还能够自适应地校正图像不同区域的差异。该算法可作为多视点视频系统中的预处理技术,实验结果表明,该算法能够提高后续压缩过程的性能。

关键词 多视点视频 亮度校正 直方图匹配

中图分类号: TN941.2 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)11-1992-08

Luminance and Chrominance Correction for Multi-view Video Using Overlapped Local Histogram Matching

CHEN Jian-le¹⁾, LIU Ji-lin¹⁾, YE Jian-hong¹⁾, CHEN Yu-shan²⁾

¹⁾(Department of Information Science and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

²⁾(Information college, Huaqiao University, Quanzhou 362021)

Abstract Significant luminance and chrominance discrepancies between the different camera views can often be observed in multiview video sequences. In this paper, a luminance and chrominance correction algorithm based on partially overlapped local histogram matching is proposed. In the histogram matching method, a mapping function is established by matching the histogram of the original image to that of the reference image. Then the mapping function is applied to the original image to obtain the corrected image. There are two branches of histogram matching according to the mapping function used: global histogram matching and adaptive local histogram matching. Global histogram matching uses the same mapping function for the whole image, so its performance is relatively low. Adaptive local histogram matching can calibrate the luminance and chrominance effectively by using the local histogram for each pixel, but the computational complexity is very high. In the proposed partially overlapped local histogram matching method, the same mapping function is applied to a block of pixels. A conditional block reduction filter is utilized on the boundaries of all the adjacent blocks to eliminate the blocking effect. The proposed algorithm can be used as a preprocessing tool in the multiview video system. Experiment results show that it can improve the performance of the multiview video encoder.

Keywords multiview video, luminance correction, histogram matching

收稿日期:2005-11-24;改回日期:2006-04-10

第一作者简介:陈建乐(1979~),男,2001年获浙江大学信息与电子工程系学士学位,现为浙江大学信电系博士研究生。主要从事视频压缩和传输、视频信号处理等方面的研究。E-mail: cjlansow@hotmail.com

1 引言

随着数字视频技术的快速发展和广泛应用,人们对视频质量和形式的要求越来越高,传统的 2 维平面视频已不能满足人们对场景真实和自然再现的需求,因此能够提供立体感和交互操作功能的立体/多视点视频技术越来越受到业界的重视。立体/多视点视频与单目视频相比,由于增加了景物深度信息表征,因此在立体电视、自由视点电视,以及具有临场感的可视会议、虚拟现实等领域中具有广泛应用的前景^[1-3]。

多视点视频是由一组处于不同位置的相机同步摄取而得,由于相机性能的差异,致使不同视频中的图像之间会存在亮度和色差(简称亮色度)的差异,而这种偏差将会影响各种后续处理的效果。为提高多视点视频压缩等后续处理过程的性能,需要采用合适的算法来校正不同视点之间的亮色度差异。

图像亮度校正是一种重要的图像处理技术,在人脸识别,医学,军事图像增强等许多领域已有着广泛的应用。常用的图像亮度校正方法有亮度变换和亮度直方图处理两种。其中亮度变换的原理是使用简化的光照成像模型来建立原始图像和目标图像之间的逐点变换关系,常见的变换关系有乘性变换^[4]、乘加结合的变换^[5]和 gamma 变换^[6]等,然而由于不同相机之间性能差异的随机性,不同视点的图像之间亮度和颜色特性并不符合这些简化的成像模型,因此不适合采用这些变换关系来校正视点之间的亮度和颜色差异。直方图处理是图像处理中非常简单却很实用的方法。直方图既提供了图像的亮度和颜色分布情况,也给出了图像的整体描述^[7,8]。直方图既可以清楚地显示图像的亮度和颜色分布情况,也可以通过改变直方图的形状来校正图像间亮度和颜色的差异^[9],而且直方图处理的方法不需要建立简化的相机成像模型,也能够校正任意类型的亮度和颜色差异。

本文提出了一种适用于多视点视频系统的亮色度校正方法,该方法是采用亮度直方图匹配的方法来校正相邻视点之间的图像亮度差异。直方图匹配算法是先通过原图像亮度直方图和参考图像亮度直方图的匹配来建立映射函数;然后使用该映射函数来校正原图像的亮色度。本文提出的部分交叠的局部直方图匹配方法由于结合了分块亮度直方图匹配

和自适应局部亮度直方图匹配的优点,因此一小块范围内的像素可使用同样的局部亮度直方图来建立映射函数,为减小因直方图变形而产生的块效应,需要使相邻块的亮度直方图区域具有很大的重叠部分。与自适应局部直方图匹配算法相比,该算法不仅减少了计算亮度直方图和映射函数的次数,降低了计算复杂度同时能够自适应地校正图像局部区域的差异。

2 直方图匹配算法

本文采用直方图匹配的方法来消除相邻视点之间的亮色度偏差。直方图匹配方法的优点是性能不受简化的光照成像模型的影响,既可以校正线性偏差,也可以消除伽马效应之类的非线性差异。

直方图匹配过程的第一步是计算原图像和参考图像的 3 个颜色分量的直方图。式(1)给出了参考图像 I^R 亮度直方图的计算方法。

$$H_{I^R}(u) = \frac{1}{w \times h} \cdot \sum_{j=0}^h \sum_{i=0}^w \gamma(u, I^R(j, i)) \quad (1)$$

其中,

$$\gamma(a, b) = \begin{cases} 1 & \text{当 } a = b \text{ 时} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

式中, w, h 分别为图像的宽和高, $H_{I^R}(u)$ 为参考图像亮度直方图在亮度为 u 处的值,它表示图像中亮度值为 u 的像素所占的百分比。 $I^R(j, i)$ 表示参考图像的像素 (i, j) 的亮度值。

本文将相邻两个视点的左图视为参考图像,右图视为需要校正的原图像。通过亮度直方图匹配的方法来建立映射函数需要经过以下两步:

(1) 首先计算积分分布函数——积累直方图,其中参考图像的亮度积累直方图由式(2)计算。

$$C_1^R(u) = \sum_{i=0}^u H_{I^R}(i) \quad (2)$$

式中, $C_1^R(u)$ 为参考图像亮度积累直方图(上角 R 代表 reference, I 代表亮度),它表示图像中亮度值小于或者等于 u 的像素的百分比。

(2) 在得到原图像和参考图像积累直方图以后,再通过积累直方图的对应关系建立亮度变换的映射函数,使得校正后的图像和参考图像的积累直方图在每个亮度值处具有相似的数值。可使用下面的方法得到映射函数。

$$\text{Map}_1(v) = u \quad \text{当 } C_1^R(u) < C_1^O(v) \leq C_1^R(u+1) \quad (3)$$

式中, $Map_i(v)$ 表示亮度映射函数, $C_i^R(u)$ 、 $C_i^O(v)$ 分别代表参考图像和原图像(上角 O 代表 original) 的亮度分量积累直方图, 当条件 $C_i^R(u) < C_i^O(v) \leq C_i^R(u+1)$ 满足时, 表示原图像中亮度值小于或者等于 v 的像素和参考图像中亮度值小于或者等于 u 的像素数目相似, 此时, 将原图像中亮度值为 v 的像素校正成 u 。

最后将亮度映射函数应用于原图像的每个像素来得到校正后图像的亮度值 $I^c(i, j)$ 。

$$I^c(i, j) = Map_i(I^o(i, j)) \quad (4)$$

图 1 给出了 Race 视频序列相邻视点中图像的亮度直方图。图中深色(粗)实线表示参考图像(左图像)的亮度直方图, 浅色(细)实线表示原图像(右图像)的亮度直方图, 虚线表示校正后图像的亮度直方图, 由图 1 可以看出, 校正后图像的亮度直方图与参考图像的亮度直方图具有相似的形状。另外, 原图像的色差分量也可通过相同的方法得到校正。

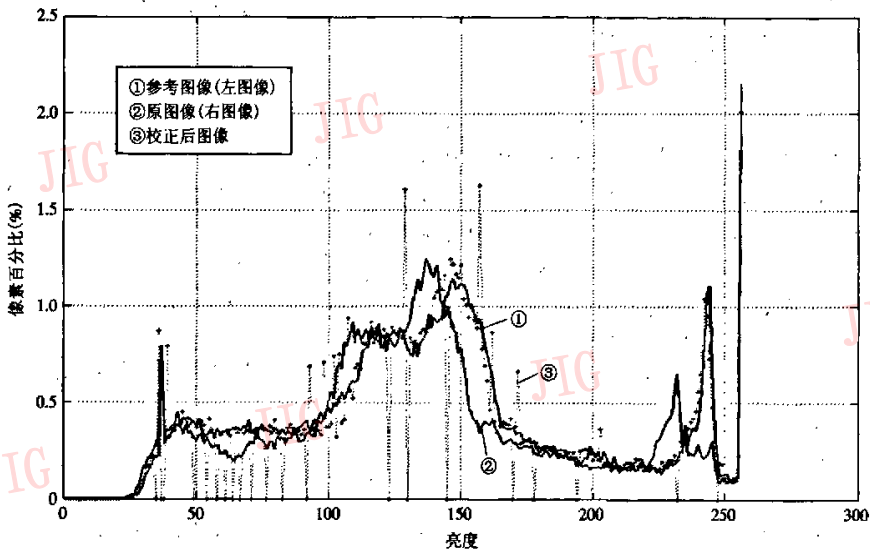


图 1 左右图像和修正后图像的亮度直方图

Fig. 1 Histogram of left, right and corrected right picture

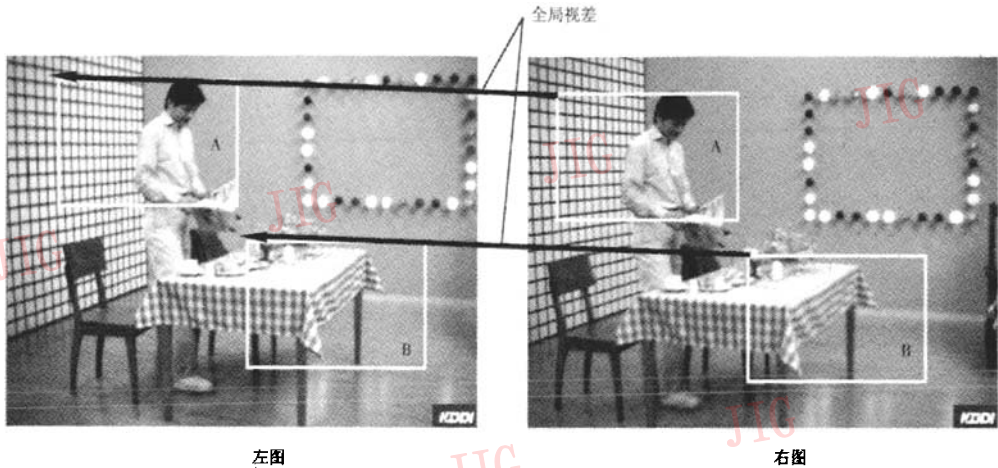
3 局部对应区域的亮度直方图匹配

通常情况下, 图像的不同区域的亮度差异程度并不一致^[6], 这种不一致性会造成原图像和参考图像之间亮度直方图的变形。图 2 给出了 Objects 视频序列中相邻视点图像对的局部对应区域的亮度直方图和全局亮度直方图; 其中图 2(b) 的左图表示左上局部区域的亮度直方图, 图 2(b) 右图表示右下局部区域的亮度直方图, 比较这两个局部区域的亮度直方图可以发现, 图像左上区域的亮度差异比右下区域大, 因此这两个区域应该建立各自不同的亮度映射函数。而上述的基于整幅图像全局亮度直方图匹配方法中, 由于所有像素采用同一映射函数, 因此不能准确地校正图像各个部分不同的亮度差异。

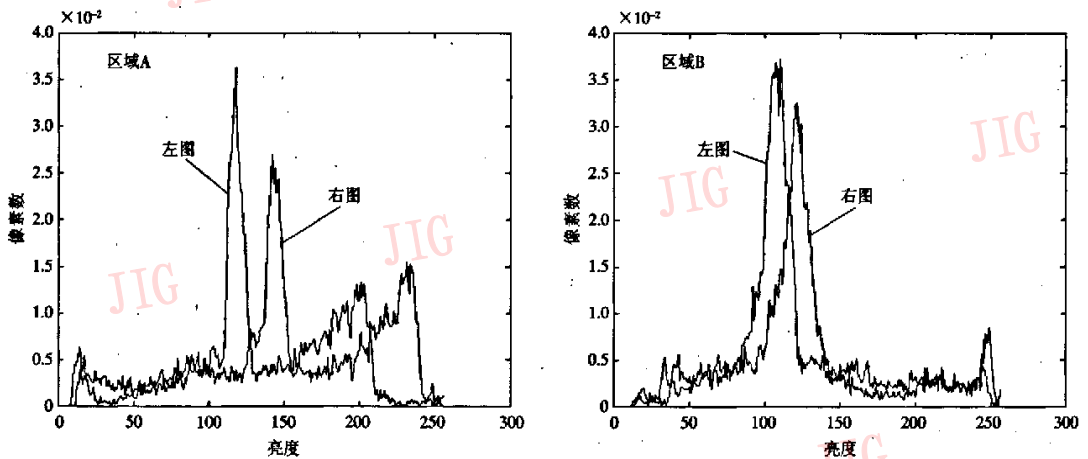
从图 2(b) 中可以看出, 对应区域局部亮度直方

图具有相似的形状, 能够较准确地表现当前区域内像素的亮度差异。为自适应地校正图像各个部分的亮度差异, 需要利用原图像与参考图像对应的局部区域亮度直方图建立映射函数。为此虽可以采用类似于自适应直方图均衡^[7]的方法来建立映射函数, 但是由于该方法计算复杂度太高, 因此不适合在具有大量图像的多视点视频系统中应用。

为降低计算复杂度同时自适应地校正各个区域的亮度差异, 可以采用分块处理的方法, 即先将原图像分成大小相同的区域, 并各自在参考图像的对应区域建立映射函数, 用来校正该区域内的像素亮度值。在这种方法中, 由于一个区域内的所有像素只需要计算一次直方图, 因此能够极大地降低计算复杂度。然而, 由于相邻区域亮度直方图产生变形, 致使该方法在区域边界会出现亮度值突变和形成块效应而严重影响图像的主观视觉质量。



(a) Objects 视频序列相邻视点图像对



(b) 图像局部对应区域的亮度直方图

图 2 Objects 视频序列相邻视点图像的直方图比较

Fig.2 Histogram comparison in neighboring viewpoint of Objects

为降低块效应的影响同时保持较低的计算复杂度,本文提出部分交叠的局部亮度直方图匹配方法。在这种方法中,一个矩形区域统计的亮度直方图只用来对该矩形中心一小块内的像素进行亮度校正。如图 3 所示,由横条纹理的矩形区域与该区域在参考图中的对应区域建立的映射函数只用来处理 A 块内的像素,当处理 B 块内的像素时,则需要使用由竖条纹理的矩形区域和它在参考图中的对应区域建立的映射函数,因这两个区域具有一定的重叠部分。在分块亮度直方图匹配方法中,由于相邻区域的亮度直方图的形状差异,造成了区域边界处出现亮度值突变,因而形成块效应。在部分交叠的局部直方

图匹配方法中,相邻区域具有一定程度的重叠部分,由于其减少了相邻区域亮度直方图的形状差异,从而降低了块效应。从图 3 可以看出,当用来计算亮度直方图的矩形区域面积固定时,若每次处理的块的面积越小,则相邻区域的重叠部分的比例越大,然而此时算法的计算复杂度越高,直到每次只处理一个像素时,才成为自适应局部亮度直方图匹配算法;反之,如果每次处理的块的面积越大,则相邻区域的重叠部分的比例越小,此时算法的复杂度虽会降低,然而校正后图像的块效应越明显,直到相邻亮度直方图统计区域没有重叠部分时,就成为分块亮度直方图匹配方法。仿真实验发现,当亮度直方图统计

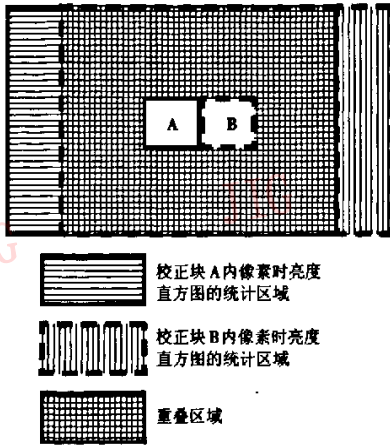


图 3 部分重叠的局部亮度直方图匹配方法
Fig. 3 Partially overlapped local histogram matching

的区域大小为 120×88 , 块 A 和块 B 为 8×8 时, 块效应可以减小到几乎观测不到的程度, 此时的计算复杂度是自适应局部亮度直方图匹配算法的 $1/64$ 。

同自适应局部亮度直方图匹配算法相比, 部分交叠的局部亮度直方图匹配方法虽然减少了计算直方图和映射函数的次数, 然而该算法的计算复杂度依旧较高, 为此, 需要对算法进行优化, 以降低计算复杂度。如图 3 所示, 当处理 B 块内像素时, 局部亮度直方图可以由处理 A 块时的亮度直方图减去图中重叠区域左边横条区域的像素, 再加上右边竖条区域内的像素, 这样就可大大减少局部亮度直方图的计算消耗。

多视点视频由在不同位置的摄像机拍摄同一场景而得, 由于同一物体在不同视点视频中会出现位置偏差, 因此进行局部区域亮度直方图匹配之前, 首先要找到当前区域在参考图像中的对应区域。由立体视觉的原理可知, 多视点视频相邻视点之间总存在一定的全局位置偏差, 被称为全局视差。如图 2(a) 所示, 本文算法对原图像的各个区域采用统一的全局视差来找到在参考图像中的对应区域, 这样原图像和参考图像中的相邻区域就保持了相同的重叠部分, 这将有助于减少块效应的产生。

为进一步降低块效应的影响, 算法的最后一步可使用条件低通滤波器来消除在相邻块边界处可能存在的块效应, 而利用原图像和校正后图像在块边界处的差异比值来检测块效应 (如图 4 所示的垂直块边界处), 当同时满足以下两个条件时, 则认为存在块效应。

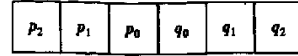


图 4 去块滤波方法的边界像素示意图
Fig. 4 Border pixels of deblocking filter

- (1) $|(p_0^* - q_0^*)| < T_1$ 。
- (2) $|(p_0^* - q_0^*) / (p_0^* - q_0^*)| > T_2$ 。

式中, $p_0^*, q_0^*, p_0^*, q_0^*$ 分别表示校正后图像和原图像在相同块边界处的像素亮度值。条件 (1) 要求原图内该块边界处没有明显的亮度差异, 表示此处没有边缘; 条件 (2) 表明该位置处亮度差异被扩大, 造成人为的边缘, 从而形成块效应。Karunasekera 通过大量的研究表明, 在 256 级灰度图像中, 亮度阶数差只有 3~5 时, 人眼几乎观测不到区别^[10], 此时可以认为没有边缘存在。因此本文算法取 T_1 的值为 6。 T_2 表示亮度差异被放大的程度, 通过实验统计取值为 1.5。实验中发现, 该方法能够较好地检测到平坦区域的块效应。当检测到块效应时, 可使用如下公式修改校正后图像在块边界处像素的亮度值。

$$\hat{p}_0 = (p_2 + 2 \times p_1 + 2 \times p_0 + 2 \times q_0 + q_1 + 4) > 3 \quad (5)$$

$$\hat{p}_1 = (p_2 + p_1 + p_0 + q_0 + 2) > 2 \quad (6)$$

$$\hat{q}_0 = (p_1 + 2 \times p_0 + 2 \times q_0 + 2 \times q_1 + q_2 + 4) > 3 \quad (7)$$

$$\hat{p}_1 = (p_0 + q_0 + q_1 + q_2 + 2) > 2 \quad (8)$$

将上述去块滤波器作用于所有相邻块的水平和垂直边界, 以去除校正后图像的块效应。

4 实验结果

本文采用多个 MPEG 3 维音视频 (3 dimension audio and video, 3DAV) 专家组建议的标准多视点序列来验证本文提出的亮色度校正算法的性能。KDDI 实验室提供的大小为 320×240 的 Golf, Race 和 Objects 视频序列和美国微软研究院提供大小为 1024×768 的 Breakdancer 视频序列, 它们都是用来验证多视点视频编码性能的标准测试序列。所有视频序列都是由 8 路水平设置的摄像机获取。本文算法的目的旨在校正相邻视点的亮色度差异, 所以实验中只使用其中靠近中间视点位置的两路视频, 并选择其中一路视频序列作为参考视频, 用来校正另外一路视频的亮色度偏差。实验中发现, 由于所有测试序列的色差分量的偏差具有很好的全局一致性, 因此实验过程中, 先采用基于部分重叠的局部直

方图匹配算法校正亮度的差异,然后使用全局直方图匹配算法校正两个色差分量的差异。

本文使用多视点视频的主观视觉质量和压缩性能两个方面来评价本文提出的亮色度校正算法的性能。主观视觉质量是评价亮色度校正算法的首要标

准,首先对上诉序列进行了主观方面的测试,鉴于篇幅,图 5 和图 6 中只示出了 Race 和 Objects 图像对右图像校正的效果。从图中可以看出,本文算法校正后图像的亮色度与参考图像具有很好的一致性,同时没有块效益的产生。



图 5 Race 序列的亮色度校正结果

Fig.5 Luminance correction result of Race sequence



图 6 Objects 序列的亮色度校正结果

Fig.6 Luminance correction result of Objects sequence

为验证本文亮色度校正算法对多视点视频压缩性能的影响,本文采用文献[11]的基于 H. 264 压缩标准的编码方法分别对原视频序列对和校正后的视频序列对进行压缩。该编码方案的预测过程如图 7 所示,左视频只使用 H. 264 时间方向的预测编码,右视频序列既可以采用时间方向的运动预测编码,也可以采用从左视频序列中进行空间方向的视差预

测编码。两次编码过程中,参考视频作为左视频,另一路视频的原视频和校正后视频分别作为右视频。编码过程中的参数设置如表 1 所示,编码帧数为每个序列 200 帧。

表 1 H. 264 编码参数设置

Tab.1 Configuration of H. 264 encoder

率失真优化方法	使用
熵编码方法	CABAC
时间方向参考帧数	5
运动估计搜索范围	± 32
视差估计搜索范围	水平 0 ~ 64, 垂直 ± 16
图像组 (Group of picture) 结构	IBBP..., $N = 30, M = 3$

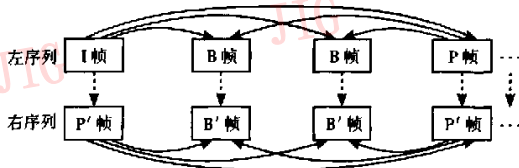


图 7 视频序列对编码方案的预测方法

Fig.7 Test scheme of multiview video encoder

本文使用编码比特率 (bitrate) 和重构图像的峰值信噪比 (peak signal and noise ratio, PSNR) 来比较校正前后两种情况的压缩性能。由于两种编码过程中参考视频具有相同的压缩性能, 所以只比较第 2 个视点的压缩性能。图 8 给出了 Race、Golf、Objects、Breakdancers 4 个视频序列校正前后两种情况的第 2 个视点视频的编码比特率和重构图像的峰值信噪比

的曲线图。从图 8 可以看出, 通过颜色校正后, 两视频序列的相关性得到提高, 在相同图像质量下, 编码比特数得到了明显的减少。在中等码率情况下, Race 序列编码比特数大约节省了 25%, Golf 和 Objects 视频序列大约节省了 7% ~ 10%, Breakdancers 视频序列大约节省了 5%。

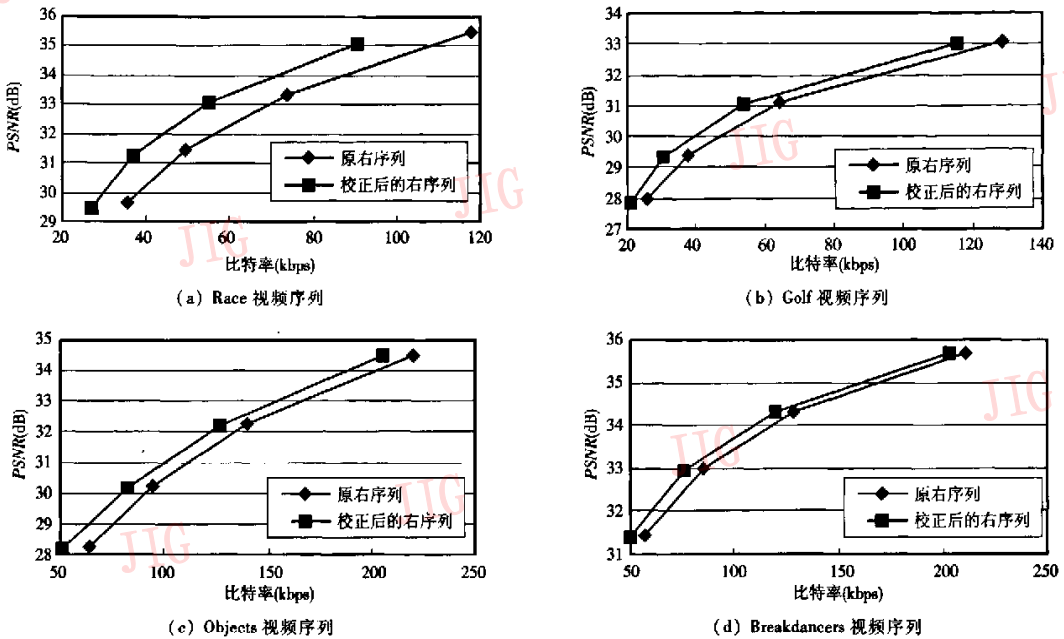


图 8 本文亮色度校正算法对压缩性能的影响

Fig. 8 Compression performance improvement of proposed luminance correction algorithm

从上面的结果可以看出, 使用亮色度校正后, 多视点视频的编码性能得到了有效的提高。通过对编码产生的比特数进行分析发现, 经过亮色度校正后, 不仅使编码残差系数的比特数得到了减小, 同时也减小了视差矢量的编码比特数。这是因为, 在编码过程中, 当图像之间存在颜色差异时, 由于使用 SAD (sum absolute difference) 来搜索得到的视差矢量会出现较大的随机性, 也会使相邻块的视差矢量的相关性减小, 从而不利于视差矢量的编码; 而使用颜色差异补偿后, 编码过程中更倾向于搜索到真实的视差矢量, 由于会使得视差场的空间相关性得到提高, 从而有利于使用预测的方法进行编码。

5 结 论

本文提出了一种针对多视点视频系统应用的亮

度和色差校正方法, 它采用的直方图匹配的方法不需要建立简化的相机成像模型, 就能够校正任意类型的亮度和颜色差异。在较低计算复杂度的情况下, 结合分块直方图匹配和自适应局部直方图优点的部分重叠的局部直方图匹配方法, 既能自适应地校正图像局部的差异, 又阻止了块效应的产生。实验结果表明, 作为多视点视频系统的预处理过程, 本文算法不仅提高了多视点视频压缩性能, 而且改善了主观视觉质量。

参考文献 (References)

- 1 Aljoscha S, Chen M C. 3DAV exploration of video-based rendering technology in MPEG[J]. IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology, 2004, 14(3): 348 - 356.
- 2 Francesco I, Emanuele T, Oliver S. Three-dimensional image processing in the future of immersive media[J]. IEEE Transactions

- on Circuit and Systems for Video Technology, 2004, 14(3): 288 ~ 303.
- 3 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. Call for Evidence on Multi-View Video Coding[A]. N6720, Palma de Mallorca, Spain, 2004.
 - 4 Cheung H K, Siu W C, Feng D G. Novel illumination compensation scheme for sprite coding [A]. In: Proceedings of International Conference on Signal Processing [C], Beijing, 2004, 2: 1223 ~ 1226.
 - 5 Chang Y C, Reid J F. RGB calibration for color image analysis in machine vision[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(10): 1414 ~ 1422.
 - 6 Sakaue S, Tamura A, Nakayama M. Adaptive gamma processing of the video cameras for the expansion of the dynamic range[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1995, 41(7): 555 ~ 562.
 - 7 Stark J A. Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(5): 889 ~ 896.
 - 8 Thurman G. Optimized algorithm for adaptive histogram equalization [A]. In: Proceedings of the SPIE Conference on Image Processing [C], San Diego, CA, USA, 1998: 1052 ~ 1055.
 - 9 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. Luminance and Chrominance Compensation for Multi-View Sequences Using Histogram Matching [A], Nice, France, 2005.
 - 10 Karunasekera S A, Kingsbury N G. A distortion measure for blocking artifacts in image based on human visual sensitivity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(6): 713 ~ 724.
 - 11 Guo X, Huang Q M. Multiview video coding based on global motion model[A]. In: Proceedings of Pacific-rim Conference on Multimedia [C], Tokyo, Japan, 2004: 665 ~ 672.