

基于立体掩蔽效应的非对称立体视频编码算法

张冠军, 郁梅*, 廖义

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 由于立体视频的数据量巨大, 不便存储和传输, 因此必须进一步提高其压缩效率, 降低传输的码率. 文章分析了立体视频左右通道间恰可察觉失真的关系, 基于立体掩蔽效应提出了非对称立体视频编码算法. 实验结果表明: 在解码重建图像主观质量基本不变的前提下, 右视点视频编码的码率节约了 11.45%~18.69%. 与传统立体视频编码模型相比, 该算法可以获得更好的立体视频压缩性能.

关键词: 非对称立体视频编码; 立体掩蔽效应; 恰可察觉失真

中图分类号: TN911.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2014) 01-0044-04

随着立体视频编码技术的快速发展, 人们对高质量、沉浸式视觉体验需求日益增长, 立体视频技术正受到越来越多的关注^[1-2]. 与单视点视频相比, 立体视频除包含单视点视频所拥有的各种冗余外, 还包含了大量的立体感知冗余^[3-4]. 而传统的立体视频压缩算法主要采用对称的压缩方式, 无法有效地去除立体视频内存在的大量立体感知冗余.

人类视觉系统特性的研究表明, 当人的两个眼睛同时分别观看一幅图像时, 人感觉到的图像的整体质量基本上由质量好的那幅图像决定, 这就是立体掩蔽效应. Tam 等^[5]分析了模糊失真对主观感知质量的影响, 实验结果表明对于模糊失真, 立体图像的质量主要取决于质量较好的那个视点的质量. Meegan 等^[6]的实验也得到了相似的结论. Wang 等^[7]通过主观实验得出当左视点图像 PSNR 在 32 dB 以上时, 右视点图像的 PSNR 值比左视点图像低 2 dB 的立体图像, 相对于左右视点质量相同的立体图像, 在主观感知上无明显差异. 非对称的立体视频压缩算法利用了立体掩蔽效应的这一特点以进一步去除立体感知冗余, 从而可以获得更好的压缩性能. 恰可察觉失真(Just Noticeable Distortion, JND)模型给出了人眼的失真可察觉阈

值, 当失真小于该阈值时, 该失真不能被人眼所察觉. 因此, 基于 JND 的视频编码方案可进一步去除视频的感知冗余. 文献[8]认为亮度掩蔽效应是影响视频序列 JND 值的主要因素. 文献[9]利用背景亮度自适应和纹理掩蔽效应估计视频序列的 JND 值. 文献[10]除了利用时空 JND 模型之外, 还利用全局感知冗余建立了中心凹模型. 文献[11]在离散余弦域提出时空域模型来估计视频序列的 JND 值. 文献[12]将对比敏感度函数(Contrast Sensitivity Function, CSF)结合到 JND 模型中描述人类视觉系统(Human Visual System, HVS)对频率部分的敏感度. 然而, 上述模型都是针对单视点视频序列, 难以应用于立体视频编码过程中. 文献[13]虽考虑了两个视点间 JND 值的关系, 但并未考虑视差, 因此还是一个理想模型, 也无法应用到实际的立体视频编码过程中.

为了去除立体视频中大量的感知冗余, 笔者提出了基于立体掩蔽效应的非对称立体视频编码算法. 利用左右视点间的相关性, 根据立体掩蔽效应主观实验的结果建立了左右视点 JND 值之间的关系, 左视点视频序列使用传统的立体视频编码模型编码, 右视点视频序列使用立体 JND 模型结

收稿日期: 2013-03-10.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省自然科学基金(Y1101240); 宁波市自然科学基金(2011A610197).

第一作者: 张冠军(1986-), 男, 山东济宁人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 视频通信及图像处理. E-mail: zhang.gj@siat.ac.cn

*通信作者: 郁梅(1968-), 女, 江苏无锡人, 博士/教授, 主要研究方向: 视频通信及图像处理. E-mail: yumei@nbu.edu.cn

合传统的立体视频编码模型编码。

1 非对称立体视频编码算法

传统的对称立体视频编码预测结构, 如分层 B 帧编码预测(Hierarchical B Picture, HBP), 虽然也利用视点间的相关性去除了一部分视点间的冗余, 但是并未去除视点间存在的大量的感知冗余。

为了解决上述问题, 笔者提出了基于立体掩蔽效应的非对称立体视频编码方法, 其编码框架如图 1 所示, 即左视点利用传统的编码器进行编码, 右视点利用建立的立体 JND 模型和非对称编码器进行编码; 在解码端左视点单独解码, 而右视点结合左视点进行解码, 然后使用立体显示设备进行显示。

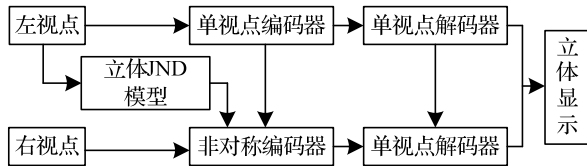


图 1 非对称立体视频编码框架

1.1 立体 JND 模型

文献[7]给出了左视点质量与左右视点间视觉阈值之间的关系, 如图 2 所示。由图 2 可知, 当左视点图像 PSNR 在 32 dB 以上时, 右视点图像的 PSNR 值比左视点图像低 2 dB 的立体图像, 相对于左右视点编码质量相同的立体图像, 在主观感知上没有差异。由此, 笔者提出了基于立体掩蔽效应的立体 JND 模型, 结合基本的空域 JND 模型^[10], 推导出左右两个视点 JND 值之间的关系并用于编码。

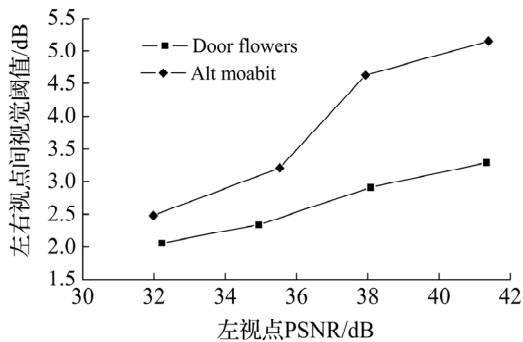


图 2 左视点的质量与左右视点间视觉阈值之间的关系^[7]

根据文献[7]的结论可得非对称编码需满足 $PSNR_l - PSNR_r \leq 2$, 其中 $PSNR_l$ 和 $PSNR_r$ 分别表

示左右视点图像的 PSNR, 由此可得:

$$\frac{\sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} (|I_l(x, y) - \hat{I}_r(x, y)|)}{\sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} (|I_l(x, y) - \hat{I}_l(x, y)|)} \leq 1.58, \quad (1)$$

其中: $I_l(x, y)$ 和 $I_r(x, y)$ 分别表示左、右视点 (x, y) 像素的原始亮度, $\hat{I}_l(x, y)$ 和 $\hat{I}_r(x, y)$ 则表示左、右视点 (x, y) 像素的重建亮度。

(1)式可改写为:

$$\frac{\sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} JND_r(x, y)}{\sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} JND_l(x, y)} \leq 1.58, \quad (2)$$

其中: $JND_l(x, y)$ 和 $JND_r(x, y)$ 分别表示左、右视点 (x, y) 像素的 JND 值。(2)式给出了左右两个视点 JND 值之间的关系。

利用(2)式给出的立体 JND 模型, 可以根据左视点的 JND 值求取右视点的 JND 值。若右视点待编码块中的某个像素残差小于对应的 JND 值, 则使用当前块残差的均值替代。这就使得当前待编码块残差数据的一致性增强, 信息熵减小, 编码后码率大大降低。虽然这种调整会使右视点解码后像素值失真, 但其变化在人眼不能察觉的范围内, 并且左视点并未进行任何处理, 仍保持原来的质量, 由 Wang 等^[7]的主观实验结果可知, 右视点像素值的变化并不影响立体视频的主观感知质量。

1.2 非对称立体视频编码算法流程

为了去除立体视频中存在的大量的感知冗余, 降低立体视频编码后的码率, 利用(2)式进行非对称立体视频编码, 具体流程如下:

(1) 利用基于亮度对比度和纹理掩蔽效应的空域 JND 模型求取左视点视频对应的 JND 值。

(2) 对左右视点彩色视频进行双目匹配^[14], 对于对应匹配块使用(2)式计算右视点彩色视频的 JND 值, 而对于无匹配的区域, 使用其周围的 JND 值插值获得相应的 JND 值。

(3) 利用右视点的 JND 值, 结合文献[15]中的残差预处理模型调整右视点的残差。这样既最大程度上去除了左右视点视频序列间的感知冗余, 提高了压缩效率, 又没有降低立体视频序列的主观感知质量。

2 实验结果与分析

为验证提出算法的有效性,我们以 H.264/AVC 的测试模型 JMVC 8.3 为基础,将提出的算法加入立体编码框架中.实验测试了 Alt Moabit、Book Arrival、Ballet、Balloons 4 个序列. GOP 长度为 16, QP 则分别为 17、22、27、32. 表 1 为编码结果、总码率节省百分比及提出算法编码右视点相对于传统立体视频编码方法编码右视点的 Bjonteggrad Delta Bitrate (BDBR)值, BDBR 反映了 2 种编码方式不同 QP 下平均的码率变化情况. 表 1 中 R_{CSVS} 表示传统的立体视频编码方法编码左右视点的总码率, R_{PSVC} 表示提出算法编码左右视点的总码率,而 R_{SAVE} 则表示提出算法与传统方法相比总码率节约的百分比, R_{BDBR} 表示提出算法编码的右视点与传统方法编码的右视点之间的 BDBR,其中负号表示码率降低.

表 1 码率节省性能比较

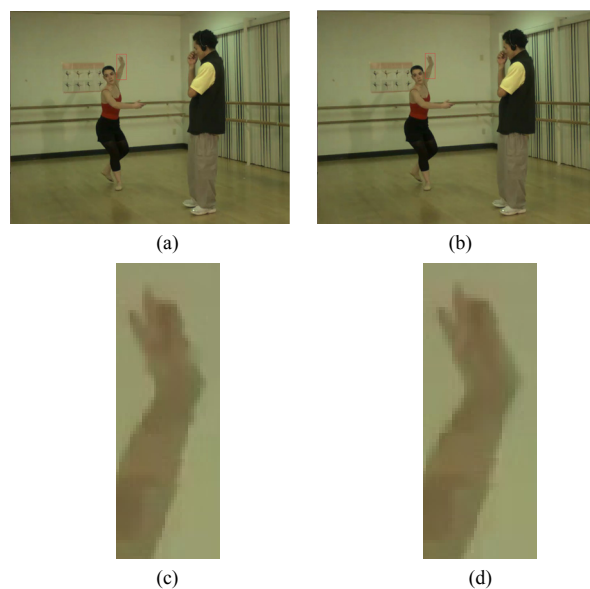
序列	QP	R_{CSVS}/kbps	R_{PSVC}/kbps	$R_{SAVE}/\%$	$R_{BDBR}/\%$
Alt	17	3539.192	2935.122	17.07	-14.92
	22	1570.209	1367.089	12.94	
	27	842.265	739.300	12.22	
	32	473.785	422.122	10.9	
Book	17	4148.034	3546.614	14.50	-18.69
	22	1664.193	1460.914	12.21	
	27	826.120	743.843	9.96	
	32	456.560	408.098	10.61	
Ballet	17	2857.235	2334.542	18.29	-16.23
	22	1091.437	970.953	11.04	
	27	552.917	496.796	10.15	
	32	317.453	293.047	7.68	
Balloons	17	2804.972	2434.371	13.21	-11.45
	22	1372.257	1202.355	12.38	
	27	772.714	702.618	9.07	
	32	448.738	413.150	7.93	
Average					-15.32

从表 1 可以发现,与传统立体视频编码方法相比,提出算法总码率节省达 7.68%~18.29%,且随着 QP 的增大码率节省比例呈下降趋势,这是由于 QP 越大,立体视频编码后码率越小,存在的立体感知冗余越少的缘故.从 R_{BDBR} 可以发现右视点平均节约的码率为 11.45%~18.69%,在很大程度上降

低了右视点的码率.

图 3 为 $QP=27$ 时 Ballet 序列编码的右视点图像.图 3(a)和图 3(b)分别是采用传统立体视频编码方法和提出算法编码所得到的右视点图像;图 3(c)和图 3(d)则是局部放大区域.从图 3(c)和图 3(d)可以发现提出算法不仅可以降低右视点码率,而且图像内容的边缘更加光滑,在一定程度上可以改善立体视频的主观感知质量.

实验结果表明,提出算法较好地去除了立体视频中存在的大量感知冗余,可以使立体视频的右视点码率降低达 11.45%~18.69%,而其与传统立体视频编码方法所达到的主观感知效果基本一致.



(a)为传统立体视频编码方法所得右视点图像($PSNR=39.35$ dB);
(b)为提出编码方法所得右视点图像($PSNR=39.31$ dB);
(c)为局部区域;
(d)为局部放大区域

图 3 传统立体视频编码方法与提出算法编码图像对比

3 结论

笔者从人眼的立体掩蔽效应出发,结合 Wang 等的主观实验结论,建立了左右视点恰可察觉失真之间的关系,并应用于基于立体掩蔽效应的非对称立体视频编码方法.实验结果证明了提出算法的有效性,在相同的立体图像主观感知质量下,使得右视点码率降低了 11.45%~18.69%.

参考文献:

- [1] Chan S, Zhu Z, Wang C, et al. A multi-camera approach

- to image-based rendering and 3D/multiview display of ancient chinese artifacts[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2012, 14(6):1631-1641.
- [2] Liu H, Chen S, Kubota N. Guest editorial special section on intelligent video systems and analytics[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012, 8(1):90.
- [3] Hakkinen J, Kawai T, Takatalo J, et al. Measuring stereoscopic image quality experience with interpretation based quality methodology[EB/OL]. [2008-01-28]. <http://dx.doi.org/10.1117/12.760935>.
- [4] Kim L, Kim Y, Sohn K. Stereoscopic video coding and disparity estimation for low bitrate applications based on MPEG-4 multiple auxiliary components[J]. Signal Processing Image Communication, 2008, 23(6):404-416.
- [5] Tam W J, Stelmach L B, Meegan D V, et al. Bandwidth reduction for stereoscopic video signals[EB/OL]. [2000-05-03]. <http://dx.doi.org/10.1117/12.384476>.
- [6] Meegan D V, Stelmach L B, Tam W J. Unequal weighting of monocular inputs in binocular combination: Implications for the compression of stereoscopic imagery [J]. Journal of Experimental Psychology, 2001, 7(2):143-153.
- [7] Wang X, Jiang G Y, Zhou J M, et al. Visibility threshold of compressed stereoscopic image: Effects of asymmetrical coding[J]. The Imaging Science Journal, 2011, 61(2):172-182.
- [8] Chin Y J, Berger T. A software-only video codec using pixel-wise conditional differential replenishment and perceptual enhancements[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9(3):438-450.
- [9] Chou C H, Liy C. A perceptually tuned subband image codec based on the measure of just noticeable distortion profile[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1995, 5(6):467-476.
- [10] Chen Z Z, Guillemot C. Perceptually friendly H.264/AVC video coding based on foveated JND model[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(6):806-819.
- [11] Jia Y T, Lin W S, Kassim A A. Estimating just noticeable distortion for video[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(7):820-829.
- [12] Wei Z Y, Ngan K N. Spatio-temporal just noticeable distortion profile for grey scale image/video in DCT domain[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2009, 19(3):337-346.
- [13] Zhao Y, Chen Z Z, Zhu C, et al. Binocular just noticeable difference model for stereoscopic images[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2011, 18(1):19-22.
- [14] Tao Hu, May Huang. A new stereo matching algorithm for binocular vision[J]. International Journal of Hybrid Information Technology, 2010, 3(1):42-44.
- [15] Zhang L, Peng Q, Wang Q H, et al. Stereoscopic perceptual video coding based on just noticeable distortion profile[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2011, 57(2):572-581.

Asymmetric Stereoscopic Video Coding Algorithm Based on Stereoscopic Masking Effect

ZHANG Guan-jun, YU Mei*, LIAO Yi

(Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: It is inconvenient for stereoscopic video to be stored and transported due to huge amount of data, thus the compression efficiency must be further improved to reduce the transmission bit rate. The relationship of just noticeable distortion among stereoscopic video channels is analyzed, an asymmetric stereoscopic video coding scheme based on stereoscopic masking effect is proposed in this paper. The experimental results show that the proposed scheme can reduce the right viewpoint bit rate by 11.45%-18.69% with decoded reconstructed image maintaining almost the same subjective quality. The proposed algorithm achieves better stereoscope video compression performance compared with the traditional stereoscope video coding scheme.

Key words: asymmetric stereoscopic video coding; stereoscopic masking effect; just noticeable distortion

(责任编辑 史小丽)