

中图分类号: TN911.73 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)09-1758-05

论文索引信息: 东野升云, 王世刚, 韦健, 陈丽伟, 吕源治. 人类深度感知立体图像质量评价方法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(9): 1758-1762

人类深度感知立体图像质量评价方法

东野升云, 王世刚, 韦健, 陈丽伟, 吕源治

(吉林大学通信工程学院, 长春 130012)

摘要: 立体图像质量评价是感知与显示的基础, 也是立体视频系统设计的依据。由于图像的最终接受者是人, 所以评价图像质量的关键在于其是否符合人类的视觉系统特性。通过对视觉非线性、对比敏感度、多通道结构和掩蔽效应等人类视觉特性的分析, 提出一种符合人类主观感知的立体图像质量评价方法。该方法首先对图像进行5级小波分解, 将图像的空间频率按视觉系统的掩蔽效应特点分成6个频带分别进行滤波, 以改变原始图像的空间频率, 然后对每个频带进行相似度度量。根据对比敏感度特性对各个频带的质量评价结果进行加权平均, 得到最终的质量评价尺度。实验结果表明, 本文方法优于传统的客观质量评价方法, 与人的主观感受有更好的一致性, 能够反映图像的质量以及立体感。

关键词: 图像质量评价; 人类视觉系统; 小波变换; 立体感

Stereo image quality evaluation method of human depth perception

Dongye Shengyun, Wang Shigang, Wei Jian, Chen Liwei, Lü Yuanzhi

(College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012 China)

Abstract: Stereo image quality assessment is the basis of perception and is also the foundation of stereo video system design. Since human beings are the final receiver of the images, it is essential that the image quality assessment matches the characteristics of the human visual system (HVS). An algorithm for stereo image quality assessment is proposed based on the basic HVS characteristics such as visual non-linearity, contrast sensitivity, multi-channel model, masking effect, and so on. A five level wavelet decomposition is first performed on the images. The spatial frequency of an image is divided into six bands to vary the spatial frequency of the initial image according to the characteristic of the masking effect. Then the similarity measure for each of the frequency bands is evaluated. According to the contrast sensitivity characteristics, the quality evaluation results of each band are weighted to get the final quality assessment scale. The experimental results show that the proposed algorithm outperforms conventional objective image quality methods, and has good agreement between objective and subjective perception. It may reflect the image quality and stereo sense.

Keywords: image quality assessment; HVS; wavelet transform; stereo sense

0 引言

近年来,随着立体显示技术的迅速发展,3维技

术已经广泛应用到各个领域。为了获得更好的视觉体验与临场感,对立体图像的质量提出了更高的要求。立体图像质量评价直接影响着立体技术的发展。立体图像的质量评价可分为主观评价和客观评价两

收稿日期:2011-01-04;修回日期:2011-04-06

基金项目:国家自然科学基金重点项目(U0935001);吉林省科技发展计划项目(20090506,20100306)。

第一作者简介:东野升云(1984—),男,吉林大学通信工程学院通信与信息系统硕士研究生,主要研究方向为立体视频质量评价。E-mail:270432563@163.com。

类。主观评价方法更接近人的视觉感受,但耗费人力和时间,且结果易受观察者、测试条件和环境影响,稳定性、可移植性差^[1-2]。客观评价方法速度快、易实行。传统的客观评价方法如峰值信噪比(PSNR)是基于对随机误差进行统计平均的客观图像质量评价方法,但这种方法往往不符合人眼的视觉感受,只能粗略地估计平面图像质量,在很多情况下难以获得与主观评价相一致的结果。因此,有必要建立一个基于人类深度感知特性的立体图像质量客观评价标准。

提出一种基于视觉感知的立体图像质量评价方法,在考虑人眼对于图像结构高度敏感特性的同时,结合了小波变换与人眼对比度敏感特性的良好拟合特性,更准确地对立体图像质量进行评价,获得与主观评价更匹配的评价结果。

1 人类视觉系统

1.1 人类立体视觉^[3]

人类的立体视觉由生理立体视觉与心理立体视觉组成。生理立体视觉是指由人眼的晶状体调节、双眼会聚和双眼视差等因素构成的立体视觉。其中,双眼视差是人眼最强烈的生理立体视觉因素,它反映了客观景物的深度。人能够感知深度是因为视差经脑部区域融合,产生了立体视觉。心理立体视觉是视觉经验和视觉记忆的一种体现,它主要由遮挡、阴影、几何透视和纹理梯度等因素构成。而在这些因素中,与立体图像有直接关系的只有双眼视差。可见影响人眼立体视觉的外界因素主要是立体图像中的双眼视差信息。

1.2 人类主要视觉特性

对人类视觉系统(HVS)的研究表明,人眼对不同频率的信息敏感度不同,高于一定频率的信息的敏感度低于相对较低频率的信息,并且不同方向的频率敏感性也不相同,通常对角方向的频率敏感性最弱,这种视觉特性称为对比度敏感函数(CSF),通常采用式(1)中的模型来表示人的视觉敏感度特性^[4-5]:

$$A(f) = 2.6(0.192 + 0.114f) \times \exp[-(0.114f)^{1.1}] \quad (1)$$

式中,频率 $f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ (周期/度) 表示空间频率, f_x 、 f_y 分别为水平、垂直方向的空间频率。由于 CSF 在不同的频率子带中具有不同的敏感度,图像在不同的频带具有不同的视觉敏感度,而小波分解可以将图像分解为不同的频率通道,每进行一次分

解就把频率二分,可以把采样频率作为第一级小波分解的空间频率,后续的每一级频率都以 2 的倍数递减。将 CSF 曲线与小波分解结构对比,为每一个频率子带根据 CSF 指定一个权重值,用来衡量该频率子带中信息对于人眼的重要性。本文用子带平均方法获得每一级小波频率子带中的权重。

2 基于视觉特性立体图像质量评价

人眼观看立体图像与平面图像有很大区别。在观看平面图像时,人的两只眼睛看到的是同一幅图像;而对于立体图像,人双眼看到的是视点对,人大脑内部可以根据视点对中的标准视差信息产生立体感。立体感觉好坏很大程度上决定于左右双眼看到两幅图像的视差^[6-7]。分两个方面对立体图像质量进行客观评价:首先对原始立体图像和被测试立体图像的左、右视点质量分别进行客观评价;然后,通过对视点对之间的差值图像质量进行评价获得立体感评价尺度。

2.1 立体图像质量客观评价

为使算法简单有效,且又符合 HVS 的深度感知特性,建立如图 1 所示的立体图像质量客观评价系统。

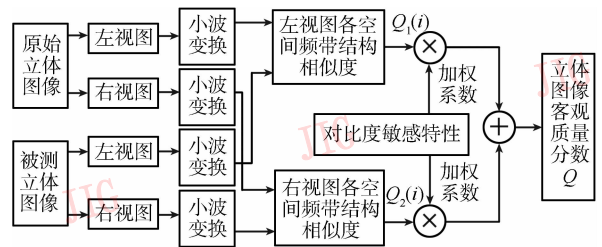


图 1 立体图像质量客观评价框图

Fig. 1 Flow chart of stereo image quality objective evaluation

其计算过程如下:

1) 将原始立体图像和被测试立体图像的左、右视图分别进行 D9/7 小波分解,分解的方向为 0°, 45°, 90°, 135°, 分解的级数为 5 级,整个频带划分为 6 个部分。

2) 分别计算左、右视图各空间频带的结构相似度^[8-9]

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (2)$$

式中： μ_x, μ_y 分别为图像块 x 和图像块 y 的亮度均值； σ_x, σ_y 分别为图像块 x 和图像块 y 的标准差； σ_{xy} 为图像块 x 和图像块 y 的协方差； C_1, C_2 是为了避免分母为零而引入的常数； $C_1 = (K_1L)^2, C_2 = (K_2L)^2$ ， L 是像素值的动态范围， K_1, K_2 是远小于 1 的常数。

3) 利用 CSF 的非线性带通特性分别对各个小波子带的 SSIM 进行加权调制，得出左、右视图质量评价尺度 Q_1 和 Q_2 。加权值 $w(i)$ 为在相应频带内 CSF 曲线的平均值。图 2 为加权值及其相应的空间频带。

$$Q_j = \frac{\sum_{i=1}^6 w(i) Q_j(i)}{\sum_{i=1}^6 w(i)} \quad j = 1, 2 \quad (3)$$

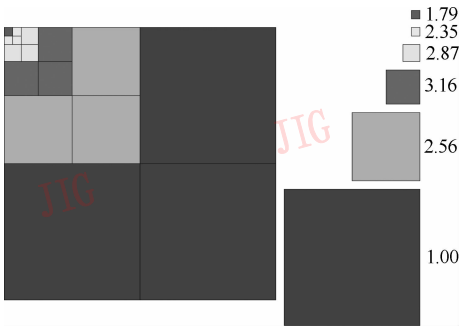


图 2 加权值及其相应的空间频带

Fig. 2 The weights and the corresponding spatial frequency

4) 立体图像客观质量分数 Q 与左右视点图像质量间的关系定义为

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \quad (4)$$

2.2 立体感客观评价

根据人眼获得视差立体感的原理^[10]，差值图越接近原始图像对的差值图，立体视差的质量就越好，立体感也就越好。立体感客观评价模型如图 3 所示。

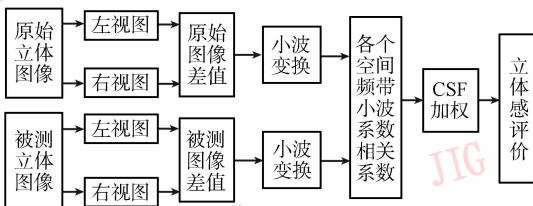


图 3 立体感客观评价框图

Fig. 3 Flow chart of stereo sense objective evaluation

其计算过程为

1) 对原始立体图像对和被测试立体图像对分

别进行绝对差值运算得到差值图像 A 和 B ；

2) 与立体图像质量客观评价相似，对差值图像 A 和 B 分别进行小波分解，得到各个空间频带的小波系数；

3) 计算各个空间频率子带小波系数之间的相关系数，图像 A 和 B 相应小波系数之间的相关系数 C_k 定义为

$$C_k = \frac{\left| \frac{1}{M_k - 1} \sum_{i=1}^{M_k-1} (W_{A_k}[i] - \overline{W_{A_k}})(W_{B_k}[i] - \overline{W_{B_k}}) \right|}{\left(\sqrt{\frac{1}{M_k - 1} \sum_{i=1}^{M_k-1} (W_{A_k}[i] - \overline{W_{A_k}})^2} \times \sqrt{\frac{1}{M_k - 1} \sum_{i=1}^{M_k-1} (W_{B_k}[i] - \overline{W_{B_k}})^2} \right)} \quad (5)$$

式中， M_k 表示小波变换后第 k 个频带的小波系数元素个数， W_{A_k} 和 W_{B_k} 为图像 A 和 B 经小波变换后第 k 个频带的小波系数；

4) 根据 CSF 的非线性带通特性对各个频率子带的相关系数进行加权平均，得到立体感评价尺度 S 。

3 实验结果

为验证所提算法，实验选用 IU 立体视频序列和 IUJW 立体视频序列作为测试图像，图像大小为 $320 \times 240 \times 8$ ，每幅图像均进行不同比特率的 JPG 压缩编码，对所得的解压缩图像分别用本文的算法、PSNR^[11] 和主观评价 (MOS 方法) 进行质量评价。

表 1 给出分析客观方法有效性的性能参数：均方根误差 (RMSE) 和 Pearson 线性相关系数 (pearson linear correlation)。

表 1 性能参数分析

Tab. 1 Metrics of performances synthesis

	第 16 帧 IU 立体图像		第 8 帧 IUJW 立体图像	
	RMSE	CC	RMSE	CC
PSNR	1.585 8	0.811 0	1.740 4	0.775 0
Q	0.438 5	0.946 2	0.428 9	0.950 1
S	0.443 8	0.941 6	0.456 5	0.943 8

从表中可以看出本文的客观评价指标与 PSNR 相比，有较小的 RMSE 和较大的 Pearson 线性相关系数，这反映了本文算法具有较好的预测准确度和预测一致性。

表 2 给出第 16 帧 IU 立体图像对和第 8 帧

IUJW 立体图像对在不同压缩比下的图像质量评价,给出了 21 对压缩图像的实验结果。

为了更直观地比较立体图像质量 Q 、立体感质量 S 、PSNR 与 MOS 的一致性关系,将 Q 和 S 的值按

比例延伸到 1~5 区间,PSNR 值按比例缩放到 1~5 区间,图 4、图 5 给出相应的质量评价结果。从图中可以看出, Q 、 S 和 PSNR 值随着压缩比的减小而增大,说明压缩比值越大,立体图像的质量越差。

表 2 立体图像质量评价
Tabl. 2 Stereo image quality assessment value

JPG 压缩质量百分比/%	第 16 帧 IU 立体图像				第 8 帧 IUJW 立体图像			
	PSNR	Q	S	MOS	μ PSNR	Q	S	MOS
1	23.282 4	0.732 4	0.748 0	1	21.272 8	0.746 1	0.715 6	1
5	26.174 5	0.823 7	0.843 5	1.8	23.664 2	0.834 2	0.822 1	1.8
10	29.270 7	0.907 1	0.912 5	2.2	26.320 9	0.907 2	0.902 6	2.2
15	30.964 1	0.931 5	0.935 1	3	27.888 0	0.935 0	0.931 3	3
20	32.075 0	0.947 9	0.948 2	3.6	29.005 2	0.950 3	0.945 8	3.6
25	32.912 9	0.956 9	0.956 1	4	29.901 3	0.959 4	0.955 4	4
30	33.596 4	0.963 1	0.961 3	4.2	30.681 9	0.965 9	0.962 6	4.2
35	34.188 6	0.967 8	0.965 8	4.4	31.339 4	0.970 6	0.967 9	4.4
40	34.641 5	0.971 5	0.968 8	4.4	31.862 1	0.973 7	0.971 4	4.4
45	35.095 7	0.974 5	0.971 6	4.6	32.381 8	0.976 3	0.974 7	4.6
50	35.482 4	0.977 2	0.973 8	4.6	32.843 0	0.978 8	0.977 3	4.6
55	35.865 3	0.979 2	0.975 7	4.6	33.302 9	0.980 7	0.979 1	4.6
60	36.294 2	0.981 1	0.977 9	4.8	33.835 3	0.982 7	0.981 6	4.8
65	36.819 7	0.983 2	0.979 8	4.8	34.452 5	0.984 9	0.984 0	4.8
70	37.430 6	0.985 2	0.982 3	4.8	35.188 2	0.986 8	0.986 4	4.8
75	38.109 6	0.987 6	0.984 5	5	36.008 4	0.988 8	0.988 6	5
80	39.038 6	0.989 9	0.987 4	5	37.135 5	0.991 1	0.991 2	5
85	40.286 2	0.992 4	0.990 3	5	38.639 3	0.993 4	0.993 6	5
90	42.119 5	0.994 9	0.993 2	5	40.851 0	0.995 6	0.996 0	5
95	45.222 9	0.997 3	0.996 6	5	44.597 2	0.997 8	0.998 3	5
100	52.774 6	0.999 1	0.999 5	5	52.926 1	0.999 4	0.999 8	5

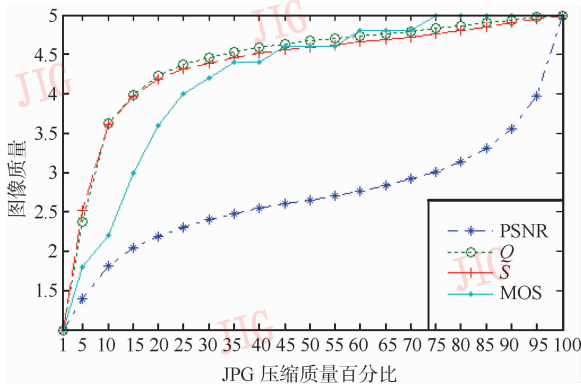


图 4 第 16 帧 IU 立体图像质量评价结果
Fig. 4 IU stereo image quality assessment results of the 16th frame

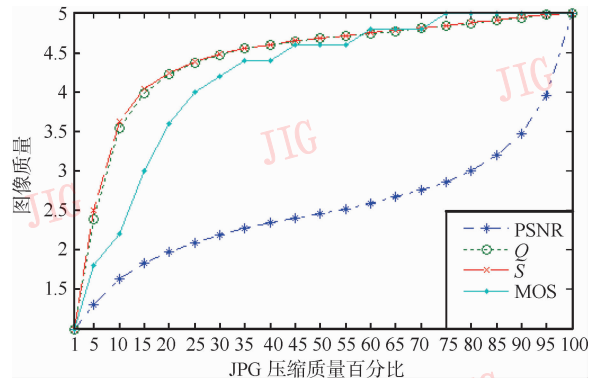


图 5 第 8 帧 IUJW 立体图像质量评价结果
Fig. 5 IUJW stereo image quality assessment results of the 8th frame

因此,本文的图像质量客观评价方法在充分考虑了视觉感知特性后, Q 和 S 的值与 MOS 值的相关性要优于传统的 PSNR 方法,与人眼的视觉主观感受有更高的一致性。

4 结 论

在分析人眼主要视觉特性的基础上,利用小波分解的数据结构与视觉通道结构特性的相似性,提出了一种评价立体图像的方法。该方法利用小波变换的多尺度分析对图像进行多分辨率分解,对变换后的不同空间频带的图像质量分别进行评价,并对评价结果进行 CSF 加权平均得到图像质量的客观评价尺度。实验结果表明,本文所提出的方法比传统的 PSNR 方法更有优势,与主观评价结果基本一致,能够反映图像质量以及立体感的优劣。

参考文献 (References)

- [1] Wang Zhijun, Ziou D, Armenakis C, et al. A comparative analysis of image fusion methods [J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 2005, 43(6) : 1391-1402.
- [2] Piella G. New quality measures for image fusion [C]// Proceedings of the Seventh International Conference on Information Fusion. Mountain View, CA: International Society of Information Fusion, 2004 : 542-546.
- [3] Yang Jiachen, Hou Chunping, Zhou Yuan, et al. Objective quality assessment method of stereo images [C]// Proc. 3DTV Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video. Potsdam: IEEE Press, 2009 : 1-4.
- [4] Ni Xiaoming, Chen Qiaosong. New image quality assessment algorithm based on the wavelet transform and HVS [J]. Computer Knowledge and Technology, 2008, 4(9) : 2735-2738. [倪晓明,陈乔松.基于小波变换和 HVS 特性的图像质量评价新方法 [J]. 电脑知识与技术,2008,4(9) : 2735-2738.]
- [5] Wang Nannan, Li Guiling. Video quality evaluation models based on human visual properties [J]. Journal of Image and Graphic, 2001, 6(6) : 523-527. [王楠楠,李桂苓.符合人眼视觉特性的视频质量评价模型 [J]. 中国图象图形学报, 2001,6(6) : 523-527.]
- [6] Zhu Zhongjie, Wang Yuer, Bai Yongqiang, et al. New metric for stereo video quality assessment [C]// Proceedings of the International Symposium on Photonics and Optoelectronics. Washington, DC, USA: IEEE Press, 2009 : 1-4.
- [7] Benoit A, Le Callet P, Campisi P, et al. Quality assessment of stereoscopic images [J]. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2008 : 1-13.
- [8] Wang Zhou, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error measurement to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4) : 600-613.
- [9] Huang Dajiang, Yu Mei, Yang You, et al. Right view image evaluation method for stereoscopic image pair based similarity measure [J]. Acta Photonica Sinica, 2008, 37(8) : 1693-1697. [黄大江,郁梅,杨铀,等.基于相似度的立体图像对中右视点图像质量评价方法 [J]. 光子学报,2008,37(8) : 1694-1697.]
- [10] Alexandre B, Patrick C, Patrizio A C, et al. Using disparity for quality assessment of stereoscopic images [C]// Proc. IEEE International Conference on Image Processing. San Diego, United States: IEEE Press, 2008 : 389-392.
- [11] Yang Jiachen, Hou Chunping, Shen Lili, et al. Objective evaluation method for stereo image quality based on PSNR [J]. Journal of Tianjin University, 2008, 41(12) : 1448-1452. [杨嘉琛,侯春萍,沈丽丽,等.基于 PSNR 立体图像质量客观评价方法 [J]. 天津大学学报,2008,41(12) : 1448-1452.]