

基于小波变换的无参考立体图像质量评价

熊润生 李朝锋 张 伟

(江南大学物联网工程学院 无锡 214122)

摘 要 立体图像质量评价是图像处理领域中一项重要技术,现有的 2D 图像质量评价方法并不能很好地应用于立体图像。为了更好地评价立体图像质量,提出了一种基于小波变换提取左右图像及其合成图像特征的无参考立体图像质量评价方法。该方法首先通过对失真的立体左右图像计算合成图像;再通过小波分解提取左右图像及其合成图像的小波系数,获取小波子带能量作为立体图像质量感知特征;最后通过支持向量回归建立立体图像特征与主观得分的关系模型,来预测和得到立体图像质量的客观评价得分。实验结果表明,与现有无参考立体图像质量评价方法相比较,该客观评价模型可以获得更好的主观感知一致性,更加符合人眼视觉系统。

关键词 无参考立体图像质量评价,小波变换,合成图像,支持向量回归

中图分类号 TP391.4 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.9.055

No-reference Stereoscopic Image Quality Assessment Based on Wavelet Transform

XIONG Run-sheng LI Chao-feng ZHANG Wei

(School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract Stereoscopic image quality assessment is an important field of image processing, and existing no-reference quality assessment method of 2D image cannot be well used in stereoscopic images. To evaluate the stereoscopic image quality, we presented a no-reference stereoscopic image quality assessment method based on wavelet transform. Firstly, the “Cyclopean” images are gained using Gabor and SSIM algorithm based on the left and right stereoscopic images. And then the sub-band energy of the left and right stereoscopic images and the “Cyclopean” image is calculated by wavelet decomposition. At last the relationship model between perceptual features of 3D image and subjective scores is built by support vector regression(SVR). Experimental results show that our method is better consistent with subjective assessment, and is more accord with human visual system.

Keywords No-reference stereoscopic image quality assessment, Wavelet transform, “Cyclopean” image, Support vector regression

1 引言

3D 技术的不断发展(3D 电视、3D 相机、3D 游戏等),带来了一个新的研究方向——3D 图像质量评价。目前,已有众多研究机构对其展开了一系列的研究。一类是利用 2D 图像质量评价方法,即利用 PSNR、SSIM^[1]、VIF^[2]等方法去评价 3D 图像。You^[3]对比了 2D 方法用于 3D 图像质量评价的效果,但结果都要低于 2D 方法用于 2D 图像评价的结果。另一类是使用视差图或深度图的方法。You 等^[3]比较了使用视差图的 3 种不同方法,发现 SSIM 方法能得到较好的结果。Xing 等^[4]提出了一种使用立体图像计算深度图,再通过加权 SSIM 方法测量原始和失真图像来评价立体图像质量的方法。Rittermann^[5]提出了一种利用 3D 属性来评价 3D 图像质量的方法。该方法先捕捉对象的几个视角来生成相关的深度图,然后再对图像配准,提取傅里叶变化和统计变化等特征来评价图像质量。Akhater 等^[6]基于分区的图像针对描述三维

工件固定大小的块,提出了一种无参考的 JPEG 压缩失真评价方法。Shao 等^[7]提出了一种基于双目视觉特点的全参考的立体图像评价方法。Perera 等^[8]基于双目能量,提出了一种立体图像的全参考评价方法。Gorley 和 Holliman^[9]提出了另外一种完全不同的方法,基于感知的应用模型即迈克尔逊的公式和 Stereo Band-Limited Contrast 模型,根据立体图像对的左右视图之间的点进行匹配。

当前,有些学者开始研究无参考立体图像质量评价方法。Gu 等人^[10]根据非线性叠加模型、显著性模型和视差补偿模型,提出了一种无参考立体图像质量评价方法;Sazzad 等人^[11]将提取的失真和边缘信息作为 2D 图像特征,并结合视差信息来对 JPEG 压缩失真图像进行无参考评价;Mittal 等人^[12]提出了一种 2D 无参考方法 BRISQUE,该方法应用于 3D 图像质量评价也能取得很好的效果。Chen 等^[13]提出了一种基于合成图像的无参考图像评价算法,该算法基于 SSIM 模型,获取差距图并计算合成图,然后对合成图像提取 2D、

到稿日期:2014-05-09 返修日期:2014-07-29 本文受国家自然科学基金(61170120),教育部新世纪人才计划(NCET-12-0881)资助。

熊润生(1990—),男,硕士,主要研究方向为图像质量评价,E-mail:aolingta@sina.com;李朝锋(1971—),男,博士,教授,主要研究方向为图像质量评价、图像处理与分析,E-mail:wxlichao@126.com;张 伟 男,副教授,主要研究方向为软件工程。

3D 特征,且将失真类型区分为对称失真和非对称失真,最终再利用支持向量回归(SVR)来获得最终的图像质量评分。但该算法使用了太多的特征,不利于推广应用。

本文提出一种基于小波变换的无参考立体图像质量评价方法,该方法先通过 Gabor 滤波和 SSIM 立体算法获得合成图像,然后提取左右图像以及合成图像的小波子带能量作为立体图像质量感知特征,最后利用 SVR 来建立立体图像特征和主观得分之间的关系模型。

2 立体图像质量感知特征提取和分析

根据文献[14]中计算合成图像的方法,先计算得到立体左右失真图像的合成图像;然后分别对左视图、右视图及它们的合成图像进行小波变换,提取小波子带能量;最后利用 SVR 建立主观得分与子带能量之间的关系模型。整个算法流程如图 1 所示。

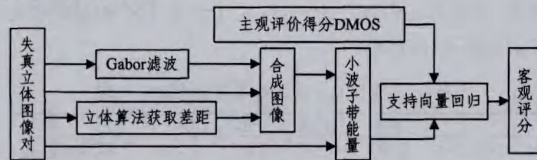


图 1 算法流程

2.1 合成图像计算

当立体图像对出现不同程度的蚀变后,由于双目竞争的存在,图像的主观质量无法仅仅通过左右图像质量的均值来得到,因此对左右图像进行 Gabor 滤波,从图像的颜色和亮度通道提取特征,二维复 Gabor 滤波定义如下:

$$G(x, y, \sigma_x, \sigma_y, \zeta_x, \zeta_y, \theta) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}[\frac{R_1}{\sigma_x^2} + \frac{R_2}{\sigma_y^2}]} \cdot e^{i(x\zeta_x + y\zeta_y)} \quad (1)$$

式中, $R_1 = x\cos\theta + y\sin\theta$, $R_2 = -x\sin\theta + y\cos\theta$, σ_x, σ_y 是椭圆高斯在 x, y 轴的标准差, ζ_x, ζ_y 为空间频率, θ 是控制角度。

既然文献[14]已表明在二维图像质量评价方法中 SSIM 能取得更好的结果,本文利用基于 SSIM 的立体算法对失真图像对获取视差图。计算步骤如下:初始差距图全为 0,先对左右图像对分别求取梯度图,初始差距为 1,用左图像和右图像(向右移动差距,补零)SSIM 求取 SSIMmap,左梯度图像和右梯度图像(向右移动差距,补零)SSIM 求取 SSIMmap,对这两个 SSIMmap 求取均值,均值大于差距图的更新为当前差距,依次增加视差,计算 SSIMmap 并更新差距图。

根据文献[14],合成图像定义为:

$$CI(x, y) = W_L(x, y) \times I_L(x, y) + W_R((x+d), y) \times I_R((x+d), y) \quad (2)$$

CI 代表的是合成图像, I_L 和 I_R 是左、右图像, d 是左图像像素点到右图像像素点的差距,权重 W_L 和 W_R 通过 Gabor 滤波计算得到:

$$W_L(x, y) = \frac{GE_L(x, y)}{GE_L(x, y) + GE_L((x+d), y)} \quad (3)$$

$$W_R(x+d, y) = \frac{GE_R((x+d), y)}{GE_L(x, y) + GE_L((x+d), y)} \quad (4)$$

式中的 GE_R, GE_L 是通过式(1)计算得到的卷积总和。

2.2 小波变换提取特征

对原始图像对和合成图像分别进行了 4 尺度的小波变换^[15],求取其小波子带能量,其计算如下:

$$E_{s,o} = \frac{1}{T} \sum \log_2 |C_{s,o} + \phi| \quad (5)$$

式中, E 为子带能量; T 为子带像素个数; C 为子带系数; s 为尺度数; o 为方向数;为防止运算中 C 趋近于 0 时所造成的能量偏差并保证子带能量的线性分布, ϕ 为调整因子,实验中取为 0.1。对高尺度的每个方向子带选取其中绝对值大于子带绝对值均值的系数作为视觉感知重要区域,然后依次根据不同尺度方向逐级进行升采样插值,依次得到其余 3 尺度的视觉感知重要区域,最后用该区域的系数替代整个子带的系数,得到了更具线性规律子带能量。

LIVE3D_I 库共有 20 个场景的图像,包含 365 幅失真图像,其中分别有 80 幅 JPEG2000 失真、80 幅 JPEG 失真、80 幅 WN 失真、45 幅 Blur 失真、80 幅 FF 失真的图像。图 2、图 3 分别为其中的一幅场景的左、右参考图像。



图 2 左参考图像

图 3 右参考图像

图 4、图 5 分别为 LIVE3D_I 库左右参考图像的子带能量分布图,可以看出子带能量随子带尺度呈现近似线性分布。同时也给出 LIVE3D_I 库中 DMOS(主观评分)大于 10 的左右失真图像的子带能量分布,如图 6、图 7 所示。对比图 4—图 7 可以看出,失真图像的子带能量分布曲线与参考图像分布曲线有较大的偏差,破坏了线性分布的规律。

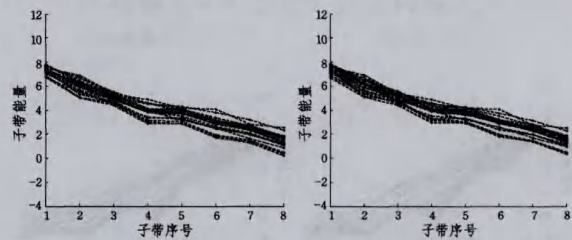


图 4 左参考图像子带能量分布图

图 5 右参考图像子带能量分布图

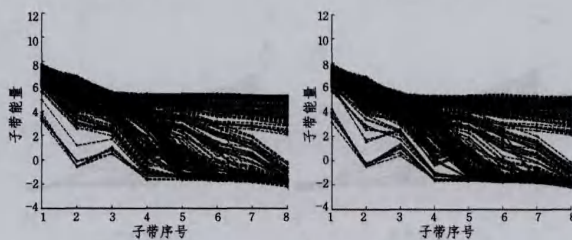


图 6 左失真图像子带能量分布图

图 7 右失真图像子带能量分布图

图 8 分别为 5 种失真类型(JPEG2000, JPEG, WN, Blur, FF)中 DMOS 大于 10 的左、右图像子带能量分布图。根据图像失真产生的原因, JPEG2000、高斯模糊(WN)和 FastFading 都会使图像信息损失,降低了图像的细节信息,使边缘纹理区域变得光滑,破坏了子带能量线性分布的规律,表现在小波能量分布图上,低尺度部分的子带能量衰减非常快,而高尺度部分子带能量变化非常小。而对于高斯白噪声,其增加了与图像信息不相关的信息,表现在小波能量分布图上,其低尺度部

分的子带能量会呈上升趋势。对于 JPEG 失真,其能量在低尺度部分衰减更加严重,但在高尺度部分基本没什么变化,也许是由于压缩降低了图像高频的信息,但 DCT 变化所产生的块效应又增加了块边界的高频能量。

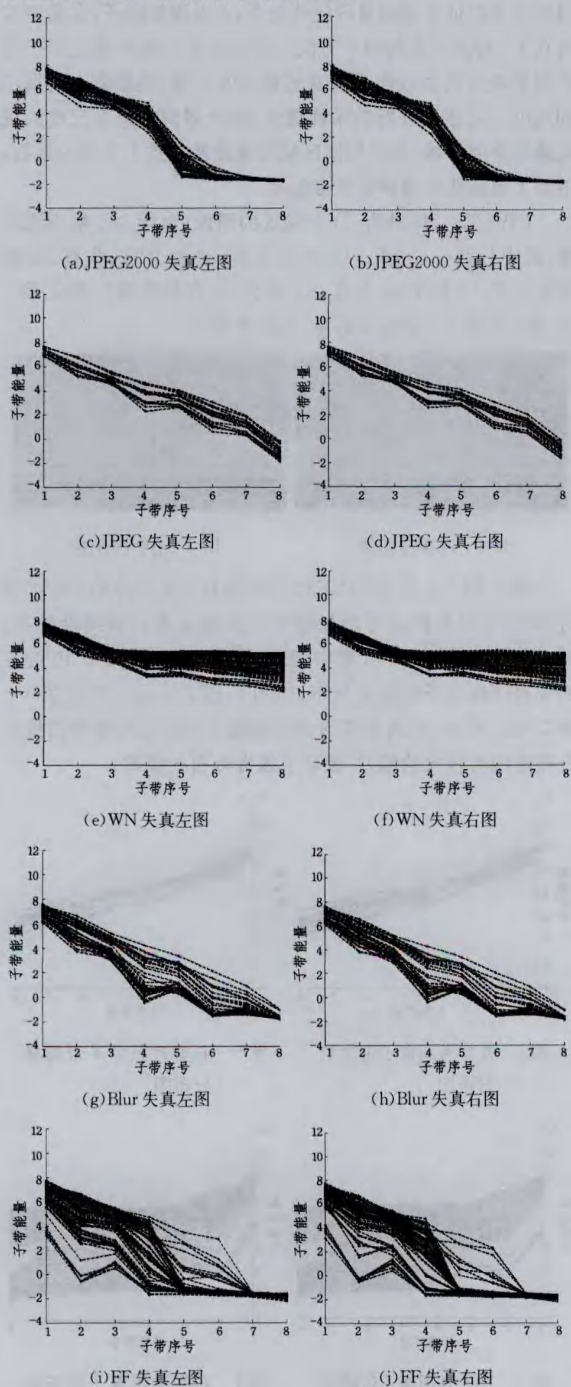


图8 5种失真类型图像的子带能量分布图

3 实验结果与分析

针对失真的左右图像和合成的左右图像对,分别提取 8 个小波子带能量作为图像质量感知特征。相关文献研究表明,相比传统的神经网络方法,建立在小样本学习和统计学习理论基础之上的 SVR 方法具有更好的推广能力,并且在稳定性和泛化性上也有一定的优势,因此本文使用 SVR 模型来建立图像质量感知特征与主观得分之间的关系模型。

实验中使用 LIVE3D 图像质量评价数据库,其主观评分 (Difference Mean Opinion Score, DMOS) 由人给出^[16],对每幅失真图像及相应的参考图像有 17 个主观评分,用失真图像和参考图像的评分相减得到 DOS (Differential Opinion Score),再对这 17 个结果取平均得到 DMOS,将其作为该图像的主观评分。

本文选用 SROCC 和 PLCC 这两个国际上惯用的指标来比较客观评价算法的性能,其中 SROCC 反映客观评价算法预测单调性的 Spearman 等级次序相关系数,PLCC 反映客观评价方法预测精确性的线性相关系数。

3.1 在 LIVE3D_I 库测试

首先在 LIVE3D_I 库上进行实验,该库共有 20 幅参考图像和其对应的 365 幅失真图像,随机选取 16 个场景所对应的失真图像来进行训练,剩下 4 个场景所对应的图像作为测试样本,以保证测试图像和训练图像内容上的完全独立。所得实验结果如表 1 和表 2 所列,同时也给出 BRISQUE 和文献^[13]的结果以作比较。

表1 LIVE3D_I 库无参考方法 PLCC 比较

	WN	JP2K	JPEG	Blur	FF	ALL
BRISQUE ^[12]	0.941	0.847	0.615	0.926	0.853	0.910
文献 ^[13]	0.917	0.907	0.695	0.917	0.735	0.895
本文方法	0.939	0.941	0.576	0.950	0.736	0.926

表2 LIVE3D_I 库无参考方法 SROCC 比较

	WN	JP2K	JPEG	Blur	FF	ALL
BRISQUE ^[12]	0.940	0.812	0.569	0.860	0.784	0.901
文献 ^[13]	0.919	0.863	0.617	0.878	0.652	0.891
本文方法	0.914	0.886	0.555	0.880	0.667	0.912

从表 1 和表 2 中可以清晰地看到,本文方法的结果在所有图像上的效果要优于 BRISQUE 和文献^[13]的结果,同时在单个的 JP2K 和 Blur 失真类型上也体现了优势。

3.2 在 LIVE3D_II 库测试

LIVE3D_II 库中共有 8 个场景的图像,包含 360 幅失真图像。LIVE3D_II 库中大部分立体图像对为非对称失真,如图 9 所示,其中左、右图像的失真差距明显,这就要求算法能表达出图像在人脑中融合的过程,否则很难取得很好的结果。

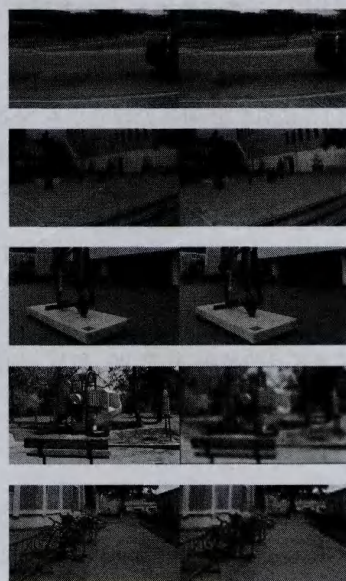


图9 LIVE3D_II 库失真图像

International Conference on Computer Vision, Barcelona, Spain; IEEE, 2011; 1879-1886

[12] Zhang Z, Warrell J, Torr P H S. Proposal generation for object detection using cascaded ranking SVMs[C]//2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE, 2011; 1497-1504

[13] Cheng M M, Zhang Z M, Lin W Y, et al. BING: Binarized normed gradients for objectness estimation at 300fps[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014. Columbus, United States; IEEE, 2014; 3286-3293

[14] Everingham M, Van Gool L, Williams C K I, et al. The pascal visual object classes (voc) challenge [J]. International Journal of Computer Vision, 2010, 88(2): 303-338

[15] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259

[16] Gao D, Mahadevan V, Vasconcelos N. On the plausibility of the discriminant center-surround hypothesis for visual saliency [J]. Journal of Vision, 2008, 8(7): 1-18

[17] Liu T, Yuan Z, Sun J, et al. Learning to detect a salient object [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(2): 353-367

[18] Mahadevan V, Vasconcelos N. Biologically inspired object tracking using center-surround saliency mechanisms [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(3): 541-554

(上接第 284 页)

随机选取 6 个场景对应的失真图像对作为训练样本, 剩下的 2 个场景对应的失真图像作为测试样本, 以保证测试图像和训练图像内容上的完全独立。表 3 和表 4 分别列出了本文方法和相关文献中的方法在 LIVE3D_II 库上的实验结果。

表 3 LIVE3D_II 库 SROCC 对比(后 4 种为无参考方法)

	WN	JP2K	JPEG	Blur	FF	ALL
You	0.909	0.894	0.795	0.813	0.891	0.786
CyclopeanMS-SSIM	0.940	0.814	0.843	0.908	0.884	0.889
Benoit	0.923	0.751	0.867	0.455	0.773	0.728
BRISQUE ^[12]	0.846	0.593	0.769	0.862	0.935	0.769
文献[13]	0.950	0.867	0.867	0.900	0.933	0.880
本文方法	0.931	0.913	0.731	0.919	0.944	0.890

表 4 LIVE3D_II 库 PLCC 对比(后 4 种为无参考方法)

	WN	JP2K	JPEG	Blur	FF	ALL
You	0.912	0.905	0.830	0.784	0.915	0.800
CyclopeanMS-SSIM	0.957	0.834	0.862	0.963	0.901	0.900
Benoit	0.926	0.784	0.853	0.535	0.807	0.748
BRISQUE ^[12]	0.844	0.599	0.787	0.927	0.925	0.780
文献[13]	0.947	0.899	0.901	0.941	0.932	0.895
本文方法	0.950	0.918	0.717	0.976	0.938	0.905

从表 3 和表 4 中可以看出, 本文方法在 LIVE3D_II 库中非对称失真图像上也得到了不错的效果, 在所有图像上的主观感知一致性要优于文献[12, 14]的结果, 同时在单个的 JP2K 和 Blur 失真类型上也体现了优势。这进一步说明了本文方法的有效性和可靠性。

结束语 本文利用立体图像对及合成图像对, 使用小波变换系数特征, 提出了一种基于支持向量回归的无参考立体图像质量评价算法。实验结果表明该算法与人类主观感知有着很好的一致性。但该方法在单个的 JPEG 失真类型上效果不尽如人意, 这也是接下来需要提高的地方。

参考文献

[1] Wang Z, Simoncelli E P, Bovik A C. Multi-scale structural similarity for image quality assessment[C]//IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove, CA, 2003; 1398-1402

[2] Sheikh H R, Bovik A C. Image information and visual quality [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(2): 430-444

[3] You J, Xing L, Perkis A, et al. Perceptual quality assessment for stereoscopic images based on 2D image quality metrics and disparity analysis[C]//International workshop on video processing and quality metrics. Scottsdale, Arizona, USA, 2010

[4] Xing L, You J, Ebrahimi T, et al. A perceptual quality metric for stereoscopic crosstalk perception[C]//IEEE International Conference on Image Processing. Hong Kong, China, 2010; 4033-4036

[5] Rittermann M. A proposal for the quality assessment of 3D video objects[C]//International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services. Lisboa, Portugal, 2004

[6] Akhter R, Sazzad Z M P, Horita Y, et al. No-reference stereoscopic image quality assessment[C]//Proceedings of SPIE. San Jose, California, USA, 2010; 17-21

[7] Shao F, Lin W S, Gu S B, et al. Perceptual full-reference quality assessment of stereoscopic images by considering binocular visual characteristics[J]. IEEE Trans. Image Process, 2013, 22(5): 1940-1953

[8] Perera G C V, De S V, Kondoz A M, Dogan An improved model of binocular energy calculation for full-reference stereoscopic image quality assessment[C]//IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing, 2014; 594-598

[9] Gorley P, Holliman N. Stereoscopic image quality metrics and compression[C]//Proceedings of SPIE. San Jose, California, USA, 2008; 1-11

[10] Gu K, Zhai G, Yang X. No-Reference Stereoscopic IQA Approach: From Nonlinear Effect to Parallax Compensation[J]. Journal of Electrical and Computer Engineering, 2012

[11] Sazzad Z M, Akhter R, Baltes J. Objective no-reference stereoscopic image quality prediction based on 2D image features and relative disparity[J]. Advances in Multimedia, 2012, 2012; 1-16

[12] Mittal A, Moorthy A K, Bovik A C. Blind/referenceless image spatial quality evaluator[J]. IEEE Trans. Image Process, 2012, 19(2): 75-78

[13] Chen Ming-jun, Lawrence K, Cormack Bovik A C. No-Reference Quality Assessment of Natural Stereopairs[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(9): 3379-3391

[14] Chen Ming-jun, Su D K, Kwon C C, et al. Full-reference quality assessment of stereopairs accounting for rivalry[J]. Signal Processing; Image Communication, 2013, 28(9): 1143-1155

[15] 金波, 李朝锋, 吴小俊. 结合 NSS 和小波变换的无参图像质量评价[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(1): 33-39

Jin Bo, Li Chao-feng, Wu Xiao-jun. No-reference image quality assessment based on natural scene statistics and wavelet [J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(1): 33-39

[16] Moorthy A K, Su Che-chun, Mittal A, et al. Subjective evaluation of stereoscopic image quality [J]. Signal Processing; Image Communication, 2013, 28(8): 870-883