

基于结构失真的图像质量评价方法的研究

朱大龙, 明 军

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘 要:在说明传统的图像质量评价方法及其不足的基础上, 分别对基于结构失真图像质量评价方法的各个因子进行了讨论, 并从图像空间及其向量的理论角度分析了结构性信息对于图像质量的影响。理论分析和实验均证明了结构失真评价方法与图像主观视觉质量的一致性。

关键词:结构失真; 图像空间; 图像质量评价

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1005-3751(2006)03-0056-02

Research of Image Quality Assessment Based on Structural Distortion

ZHU Da-long, MING Jun

(Ministry of Education Key Lab. of Intelligent Computing & Signal Processing, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: Introduce some shortage of traditional image quality assessment methods and discuss some factors of image quality assessment approaches based on structural distortion through a lot of experiments, respectively. At the same time, analyze the affection of structure information to image quality by theories of image space and vector. The theory analysis and experiments demonstrate the correspondence between the assessment approach based on structural distortion and the subjective image quality.

Key words: structural distortion; image space; image quality assessment

0 引言

图像质量评价是图像工程的重要内容之一, 其难点在于人的视觉特性的复杂性和评价者的主观性。图像质量评价方法一般来说可分为主观质量评价(MOS, Mean Opinion Score)方法和客观质量评价方法。根据评价尺度的不同, 主观质量评价方法可以分成两类: 绝对性尺度和相对性尺度^[1]。主观质量评价方法充分地考虑了观察者对图像的理解效果, 但是这种方法由于受到观察者知识背景、观测目的和环境等影响, 具有很大的自由度, 并且从工程的角度看来, 这种方法过于费时费力, 且难以用数学模型表达加以应用^[2]; 对于客观质量评价方法, 目前人们最常用的指标是均方误差(MSE, Mean Square Error)和峰值信噪比(PSNR, Peak Signal Noise Ratio), 它们都是基于统计特性的客观图像质量评价方法。MSE和PSNR的计算比较直观、严格、简单, 这使得它们一直得到广泛使用。但是由于这两种方法都是独立地基于逐像素点比较图像差别, 把图像中所有像素点同样对待, 因此它们只能近似地反映图像的主观视觉质量。

近年来, 一些学者又结合人的视觉特性来研究图像质

量问题。文献[3]给出了一种将HVS与图像余弦变换和图像质量评价相结合的基于HVS的图像质量评价方法; 文献[4]提出了一种基于失真模型的图像质量评价方法, 分别从空间距离、空间频率、图像尺寸对比度的变化及对比度掩盖效应等方面考察图像失真情况。

1 基于结构失真的图像质量评价

基于结构失真的图像质量评价方法^[5~7]的基本思想是: 人类视觉系统的主要功能是从视觉区域提取图像的结构信息。该方法把评价值分为评价图像和原始图像之间的亮度比较、对比度比较和结构相似性比较三个部分, 然后把三个部分的比较结果进行乘积运算, 最后以乘积运算的结果来对图像质量进行评价, 具体如下:

对于原始图像 $X\{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ 和评价图像 $Y\{y_i | i = 1, 2, \dots, N\}$, $u_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ 和 $u_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$ 分别表示原始图像 X 和评价图像 Y 的平均亮度, $\sigma_x = (\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2)^{1/2}$ 和 $\sigma_y = (\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2)^{1/2}$ 分别表示原始图像 X 和评价图像 Y 的标准差, $\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - u_x)(y_i - u_y)$ 表示两者之间的协方差。基于结构失真(SSIM, Structural Similarity)的评价值为:

$$SSIM = l(x, y) \cdot c(x, y) \cdot s(x, y) \quad (1)$$

其中, $l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y}{\mu_x^2 + \mu_y^2}$ 为亮度比较函数, $c(x, y)$

收稿日期: 2005-06-06

基金项目: 安徽省自然科学基金资助项目(01042105)

作者简介: 朱大龙(1976—), 男, 安徽枞阳人, 硕士研究生, 研究方向为图像视频质量评价; 明 军, 教授, 硕士生导师, 研究方向为视频处理及图像识别。

$= \frac{2\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$ 为对比度比较函数, $s(x, y) = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x\sigma_y}$ 为结构相似性比较函数。

2 实验结果与分析

实验过程中,通过对原始 Goldhill 图像分别加高斯白噪声、运用均值滤波进行模糊和加椒盐噪声进行处理,得到三幅损伤图像,其 MSE 值均为 230,如图 1 所示。与标准图像(A)比较,可以看出,在三幅损伤图像中,主观视觉质量最好的是图像(D),最差的是图像(C),图像(B)的主观视觉质量介于图像(C)和(D)之间,由此验证了前面所提到的 MSE 方法评价图像质量所存在的不足。

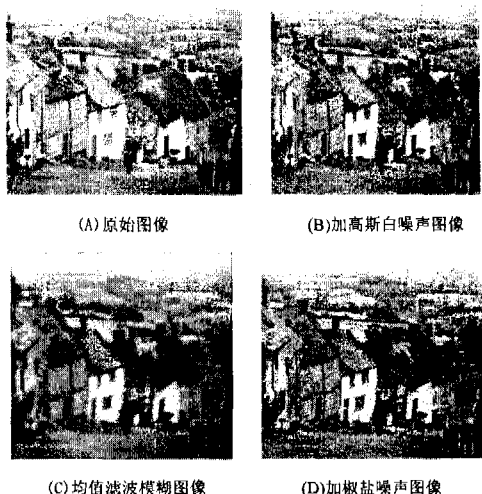


图1 Goldhill 原始图像和评价图像

下面采用基于结构失真评价方法中的各个组成部分及其组合方式,分别对上述图像质量进行评价试验。实验过程中,运用了一个 8×8 移动窗口,让其从原始图像和评价图像的左上角逐像素移动到右下角,计算图像的平均亮度值。在计算边界像素点处的值时,对其以外窗口区域进行补零处理。事实上,这个 8×8 的小窗口就是充分考虑了一个像素点与其周围像素点的结构相关性。通过实验,得到了表 1 所示的一组实验数据。其中, MSE 为均方误差评价价值, SSIM 为结构失真评价价值, L, C 和 S 分别为亮度、对比度和结构相似性评价价值。

表1 基于结构失真评价方法的实验结果

评价方法	MSE	SSIM	L	C	S	L·C	L·S	C·S
测试图像								
加高斯白噪声图像(B)	230	0.4950	0.9992	0.7979	0.5606	0.7973	0.5603	0.4953
均值滤波模糊图像(C)	230	0.3803	0.9978	0.7087	0.4925	0.7070	0.4912	0.3814
加椒盐噪声图像(D)	230	0.6990	0.9990	0.8682	0.7372	0.8675	0.7367	0.6994

从表 1 中数据可以看出,运用结构失真的方法对图像质量进行评价,所得到的 SSIM 值与图像的主观视觉质量是一致的,说明该方法的有效性。同时,从第五列到最后一列,其评价价值均与 SSIM 值一致,即与人的主观视觉质

量一致。而仅有第四列的评价价值与 SSIM 值不一致,这也说明了仅仅通过亮度值的比较是不能对图像质量进行正确评价的。实际上在基于结构失真的评价方法中,对图像质量影响权重较大的是结构相似性 S 这一评价因子,相对于其它几列不含有 S 评价因子的评价价值来说,第六列的 S、第八列的 L·S 和最后一列的 C·S 的评价价值与第三列的 SSIM 的评价价值比较接近,这些都说明了 S 因子对于结构失真评价方法的权重值较大,进一步证实了图像的结构信息对其质量的影响。

接下来从图像空间的角度来分析运用 MSE 对图像进行评价所存在的不足,并从理论上来分析结构信息在图像中的重要性。我们知道,对于原始图像 $X\{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ 和评价图像 $Y\{y_i | i = 1, 2, \dots, N\}$, 其 MSE 定义如下:

$$\text{MSE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \quad (2)$$

把空间看成是一个维数与图像像素点相同的图像空间,那么任何一幅图像都表示成这个空间中的一一点。因此,在这样一个图像空间中,总可以找到原始 Goldhill 图像(A)、加高斯白噪声图像(B)、均匀模糊处理图像(C)和加椒盐噪声图像(D)所在的点,图 2 给出了相应的示意图。在这样一个图像空间中, B, C, D 所在的球面表示一个超球面,其上所有点相对于 A 点的向量模值相等,即 MSE 值相等,它不能反映图像空间的向量角度差异,如图 2 中的向量 AB 和 AC。从图像空间的向量角度来考虑,这是由于图像像素点的不同排列而导致图像的结构发生了变化。换句话说,对于像素点值相同,而排列不同即结构不同的两幅图像,表现在图像空间中就是其所在点的向量角的不同。

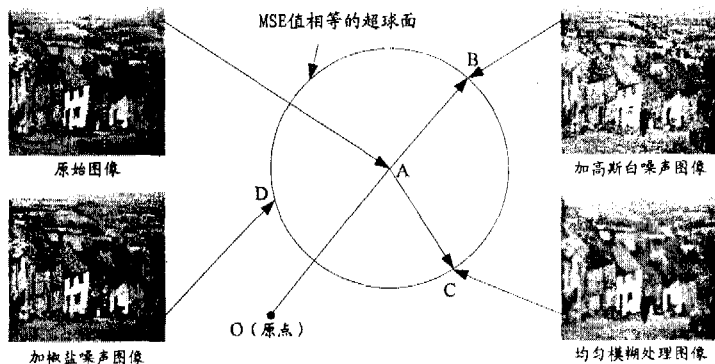


图2 图像空间及评价图像示意图

因此,随着结构的变化, MSE 值相同的图像却表现出了不同的主观视觉效果。综上所述, MSE 值的计算仅仅考虑孤立的图像像素点值,没有考虑到图像结构性信息和图像的相位信息,而基于结构失真的评价方法克服了其缺点,从而达到了评价结果与图像主观视觉效果的一致性。

3 结论

基于结构失真的评价方法在充分考虑了人眼的视觉

(下转第 60 页)

```

else i++;
}
else cout<<"None!"<<endl;//项集为空就输出 None
}

```

3 实现商场购物系统中频繁项集的挖掘

在实现时,预定义 $\min=2$ 。如表 1(文献[2])所示,为一商场的交易记录数据,利用 Apriori 算法进行频繁项集的挖掘(说明:基于上述算法,增加了交易记录数 TID-Count)。

表 1 一个商场的交易记录数据

TID	交易记录数 TIDCount	交易记录
T100	3	I1, I2, I5
T200	2	I2, I4
T300	2	I2, I3
T400	3	I1, I2, I4
T500	2	I1, I3
T600	2	I2, I3
T700	2	I1, I3
T800	4	I1, I2, I3, I5
T900	3	I1, I2, I3

表 1 中共有 9 条交易记录数据,即 $|D|=9$ 。将这些数据制作成输入文件 Data Mining,再通过上文对 Apriori 算法的实现,将各个算法连接在一起构成完整的程序。文献[2]给出频繁项集 $L1, L2, L3$ 计算结果(如表 2 所示),利用文中算法运行结果如图 2 所示,不难发现结果是一致的。

表 2 频繁项集 $L1, L2, L3$

L 1		L 2		L 3	
项集	支持频度	项集	支持频度	项集	支持频度
{I1}	6	{I1, I2}	4	{I1, I2, I3}	2
{I2}	7	{I1, I3}	4	{I1, I2, I5}	2
{I3}	6	{I1, I5}	2		
{I4}	2	{I2, I3}	4		
{I5}	2	{I2, I4}	2		
		{I2, I5}	2		

(上接第 57 页)

特点——人眼的主要功能是提取图像的结构性信息的基础上,分别从图像的亮度、对比度和结构相似性的角度来评价图像质量。理论分析和实验结果均证明了该评价结果与图像的主观视觉效果的一致性。同时,在笔者研究过程中发现,把对于结构失真的研究转化到图像空间及其向量的角度来进行深入研究,是个较有前途的研究课题。

参考文献:

- [1] 魏政刚,袁杰辉,蔡元龙. 图象质量评价方法的历史、现状和未来[J]. 中国图像图形学报, 1998, 3(5): 236-239.
- [2] Castleman K R. Digital Image Processing[M]. 北京:清华大学出版社, 2001.
- [3] 杨 军,刘藻珍,王寅龙. 基于人眼视觉特征的图像质量评

图 2 频繁项集挖掘结果

图 2 频繁项集挖掘结果

4 总 结

频繁项集的挖掘是发现强规则的基础,而连接与剪枝操作是逐层迭代求解频繁项集中的核心算法。文中主要研究了这两步核心算法的实现过程,为进一步发现关联规则奠定了一定的基础。

参考文献:

- [1] 李清峰,杨路明,张晓峰. 关联规则中最大频繁项目集的研究[J]. 计算机应用研究, 2005(1): 93-95.
- [2] Witten I H, Frank E. Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques with JAVA Implementations[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.
- [3] 朱 明. 数据挖掘[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2002.
- [4] 颜雪松,蔡之华,徐战亚,等. 一种高效的关联规则挖掘算法研究[J]. 微机发展, 2002, 12(5): 9-11.
- [5] 钟 璐,张开松,李三得,等. Web 使用挖掘研究及实现[J]. 微机发展, 2005, 15(1): 33-35.
- [6] 高 隽. 人工神经网络与自然计算研究进展[M]. 合肥:合肥工业大学出版社, 2004.

价模型[J]. 弹箭与制导学报, 2003, 23(2): 59-62.

- [4] Damara - Venkata N, Kite T D, Geisler W S, et al. Image Quality Assessment Based on a Degradation Model[J]. IEEE Trans Image Processing, 2000, 4(4): 636-650.
- [5] Wang Z, Bovik A C. A universal image quality index[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(3): 81-84.
- [6] Wang Z, Lu L, Bovik A C. Video quality assessment based on structural distortion measurement[J]. Signal Processing: Image Communication, special issue on Objective video quality metrics, 2004, 19(2): 121-132.
- [7] Wang Z, 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): 600-612.