文章编号：2096-1472(2018)-04-23-04
DOI:10.19644/j.cnki.issn2096-1472.2018.04.006

图像模糊度评价及其应用综述

梅嘉祥，刘展宁，张志佳，王子韬，张轩祎，薛 晴
(沈阳工业大学软件学院，辽宁 沈阳 110023)

摘 要：图像模糊度指的是一种图像降质程度，对其进行评价有着重要的意义。图像模糊度评价属于图像质量评价的一种，目前图像模糊度评价客观方法分为全参考图像模糊度评价、半参考图像模糊度评价、无参考图像模糊度评价三种。本文对上述三种评价方法及其应用进行了分析，尤其对无参考图像模糊度评价算法进行深入探讨，分析其应用适用性，并对其今后发展进行了展望。

关键词：图像质量评价；模糊度；无参考
中图分类号：TP391 **文献标识码**：A

A Review of Image Fuzziness Evaluation and Its Application

MEI Jiaxiang,LIU Zhanning,ZHANG Zhijia,WANG Zitao,ZHANG Xuanyi,XUE Qing
(*Software School Shenyang University of Technology*,*Shenyang* 110023,*China*)

Abstract: Image fuzziness refers to the degree of image degradation,and it is of great significance to evaluate it.Image fuzziness evaluation belongs to a kind of image quality evaluation.At present,there are three objective methods of image fuzziness evaluation:full reference(FR),reduced reference(RR),and no reference(NR).In this paper,the above three evaluation methods and their application are analyzed,especially the no reference image fuzziness evaluation algorithm and its applicability are further discussed,and its future development is prospected.

Keywords:image quality evaluation;fuzziness;no reference

1 引言(Introduction)

Image Quality Assessment，即图像质量评价，简称IQA，是对图像进行操作处理的一种技术，作用是对图像特征进行分析，然后对图像质量(图像失真程度)进行评价。图像质量评价在图像处理系统中有着重要的作用，如算法分析与比较、系统性能评价等。近年来，随着对数字图像领域的学习和探究的深入，在评价图像的质量方面的研究也受到了科研者的重视，提出并完善了许多图像质量评价的指标和方法。

图像的质量降低程度即是其模糊度，而导致其质量下降的原因有很多，包括去噪过程、空气的运动、散焦等。其模糊度的如何进行评定，是模拟人脑中图像的具体参考模型的清晰程度与待测试的图片进行对比的过程，而这个过程也参考了人体大脑对所看到的视觉信息，并将其进行处理的层次行和自学特性。在视频操作、文件压缩、通信传播、图像等领域中，图像模糊度的评价对其相关操作具有非常有用的参考价值和意义。

图像模糊度评价属于图像质量评价的一种，评价类型包括客观和主观两种类型。主观评价主要是使用期平均主观得分或其差异进行表示，但主观评价过程中需要审查人员对图像进行评分，而这个过程会造成人力资源的浪费，并且评价起来非常不方便。客观评价是使用计算机对图像质量进行分析，得出其指标数值，并根据结合数据对参考图像进行评价，而参考方式主要分为三种：无参考(No Reference，NR)、全参考(Full Reference，FR)、半参考(Reduced Reference，RR)。由于其评价的指标只有模糊度，因此在参考其方式时，算法会在模糊度的运算上做详细设计，并把核心放在特征参数的提取方面。而无参考的方式则不将原始图像作为参考，这种方式也是目前被应用比较广的方式。

本文主要对图像模糊度评价客观评价方法尤其是无参考评价方法的研究现状进行综述并对其中的典型算法及其应用进行分析。

2 国内外发展情况(Development at home and abroad)

2.1 国外发展现状

国外对图像模糊度评价研究较早，在2002年的时候，Marziliano等[1,2]提出了垂直Sobel边缘的检测方法，这种方法是以边缘分析作为基本依据，以查找灰度值中的某一局部极值点，收集其所有的边缘宽度，并筛选出像素的值，进行均值的计算，以此作为模糊度的估算。

图像模糊度评价是一个多角度的问题，角度不同评价的

基金项目：本论文受沈阳工业大学2017年大学生创新创业训练项目支持.

www.rjgcz.com

途径和方法也有很大的不同。通过查阅文献[3]和文献[4]的相关内容知道，有三种失真情况对静态图像的质量干扰最大，主要是结构性噪声、随机噪声、图像模糊三种。其中随机噪声可以分为脉冲和高斯白两种噪声类别，其均是因为成像系统或信道干扰噪声而产生的；而图像模糊则是由于后期操作处理、成像系统本身及其环境而造成，这种情况会造成高频信息缺损或对比度下降。为了提高准确性，并消除部分孤立点和噪声的干扰，2003年Dijk等[5]提出了基于一种新的基于高斯线和边缘的图像模糊，一方面通过高斯形状拟合幅宽度，另一方面通过正交滤波器对图像的边缘和其中的直线部分进行检测，并以某一阀值点数大于统计值的方法，对图像的模糊度进行估算。

2006年由Ferzli和Karam[6]提出模糊度评价中的重要的新型概念Just Noticeable Blur,即可觉察模糊，简称JNB，这是人体视觉的特点。其主要指在对比度存在差别的情况下，人体在模糊度上根据其值提供相对可觉察的数值，之后将图像划分为平滑块和边缘块，之后将边缘快中的纹理块去掉，之后运算各个边缘块的亮度对比度及周边宽度，最后通过JNB对其模糊的程度值进行估算。其将人眼视觉特性和对比度的值、边缘宽度等因素纳入思索范围内，因此，其相对于效果而言，较优于前期的方式。JNB的获取步骤在文献[7]中被完整的记录，并且提出了模糊概率模型，其同样是以JNB为根据，是以点的边缘加宽来估算得出模糊概率，并计合图像块的模糊度。

2006年基于支持向量机的方法由LIVE数据库的研究人员提出，这个方法是将已知的质量数据训练支持向量回归分析模型[8]。第一步是通过SVM来识别失真类型，第二步是构建识别出来的失真类型的SVR回归分析模型。即是SVM与SVR结合产生的模型。这也是无参考的基本模型中的一种，为图像模糊度评价开辟新道路。

Moorthy和Bovk[9]在2010年的时候，其盲图像质量指数通过使用SVM+SVR模型做出两个环节的估算。先拟合得到的参数当作特征，这一步使用的是广义高斯分布模型，并使用SVM分类进行类可能性占比的计算，之后为了得出总的模糊度评价指标，还需要使用SVR运算每一个类型的指标，并将其进行概率加权，从而得出最后的结果。

使用SVR运算每一类型的模糊程度值指标。再采用SVR对各个退化类型计算图像模糊度指标值,最后根据概率加权得到总的模糊度评价指标。该方法适用于的图像包括多方向、尺寸的类型，并且其对于运算精度的增加有良好的促进效果。

Hou等[10]在2014年的时候，使用了深度学习算法来对模糊程度值进行评价，这种方式是有五层网络结构，并且结合了后验概率计算、分类的相关技术，输入三级小波变换细节，在训练时，采用的是RBM作为层间的学习，之后再做精细调整，这个步骤使用的反向传递算法。但其具有一定的限制，特别训练的量和网络结构的设计方面，这方面要求对较强复杂度进行运算，并且也需要足够大的量。在最近的几年间，CNN等隐含层神经网络技术算法为图像的模糊度评价注入了新的活力。

2.2 国内发展现状

国内对图像模糊度评价的研究起步较晚，但也取得了较多的研究成果。2007年华中科技大学朱里等人提出了基于结构相似度(SSM)的图像模糊度评价算法[11]，这个方法是通过对比度、亮度和结构信息的功率乘积当作测度。

2008年华南理工大学廖斌等人针对结构相似度模型在模糊图像，以及低位率压缩降质图像评价中存在的不足，提出一种基于小波域结构相似度的图像模糊度评价算法[12]。这个算法对图像以频率特征和尺度进行划分为自包含图像，之后将失真的与原始的图像结构进行对比，最后对各个特征下的灵敏度加权，这个过程需要借助视觉系统。该算法克服了边缘失真程度不够准确的缺点，适用于低码率压缩图像。

2013年江南大学桑庆兵等人也在SSM基础上提出一种基于梯度结构相似度(GSIM)的图像模糊度评价方法[13]。该算法适用于对焦失真类型，运行快、较简单性、需要计算的量较小。

廖永忠等人在2013年的时候，发表了模糊核函数估计算法[14]，这种新型的算法是以频谱域作为依据。其可以在信噪比低和模糊长度小的情况下，高效精准的估算出模糊核函数。采用基于hyper—laplacian先验的快速非盲解卷积算法用于复原模糊图像。

田若良等人在2015年的时候，发表了图像模糊度评价方法[15]，这种新型的算法是以频域能量分割作为依据。其是先对图像进行转换为频域，并在其中进行能量的分割，之后采集能量覆盖的面积,计算整个图像区域的能量比例，并利用最终比率测量图像的模糊程度。该方法对于大部分平滑的图像处理结果都比较理想。

近年来随着不同应用领域对图像模糊度评价提出的特定需求，越来越多的科研人员进行了比较深入的研究。

3 图像模糊度评价算法(Image fuzziness evaluation algorithm)

本部分按照全参考、半参考和无参考三种类型对相关算法进行分析。

3.1 全参考模糊度评价

全参考图像模糊度评价是指在选择理想图像作为参考图像的情况下，将参考和待评两个图像进行对比，并对其失真的程度进行分析计算，最后得出其质量评估。全参考图像模糊度评价通常基于像素统计、信息理论和结构信息三个方面。

(1)基于图像像素统计

均方误差(MSE)与峰值信噪比($PSNR$)都是这种算法较为常用的方法。这种方式在角度上使用的是统计学进行评价其质量的好坏，其依据是将参考和待评的两个图像对应点的像素灰度值进行比较，比较运算其差值。设待评图像为F，参考图像为R，它们大小为$M\times N$,则利用$PSNR$表征图像模糊度的计算方法为：

$$PSNR = 10\lg\frac{255^2}{\frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}|R(i,j)-F(i,j)|^2} \tag{1}$$

通过MSE表征图像质量的运算公式是：

www.rjgcz.com

$$MSE = \frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}|R(i,j) - F(i,j)|^2 \quad (2)$$

参考图像和被评估图像两者间像素差值的全局误差都可以使用*MSE*和*PSNR*来计算，并以其值对图像质量进行测量。*MSE*值越小，图像越清晰。*PSNR*值大，则会模糊。上述所描述的方式均是较为简易的。在去噪等方面有着广泛的应用。但是该算法是基于图像的像素值的全局统计，而忽略人眼的局部视觉因素，因此无法把握图像的局部质量。

(2)基于信息论

基于信息论的信息熵和互信息被广泛应用于图像模糊度评价。在最近的几年内，Bovik和Sheikh等人发表了视觉信息保真度(VIF)和信息保真度准则(IFC)算法[16]。VIF和IFC均是通过测量互信息来对清晰度做出判断，即将参考样本与待评样本进行比较，并且其均存在支持的理论，扩大了图像与人眼对信息保真度的关系，但这些方法对图像的结构信息没有反应。

(3)基于双树复数小波

通过运用双树复数小波方向选择性和平移不变性等特性，对几何失真和对比度亮度变化拥有更好的鲁棒性。基于双树复数小波SSIM方法[17]从整体上自顶向下模拟HVS，通过评估失真图像的均值、方差和结构信息的退化来评价图像，在交叉失真或失真严重时评价效果不佳。

由于SSIM的出色表现，SSIM已经成为广播和有线电视中广为使用的一种衡量视频质量的方法。在超分辨率[18]、图像去模糊[19]中都有广泛的应用。

3.2 半参考模糊度评价

半参考是选择采用部分作为参考对象，一般情况下是将待评样本与理想图像中的某一个部分的特征信息做出对比，并根据其结果做出相对应的质量评价。由于所参考的信息是从图像中提取出来的特征，所以必须要先提取待评图像和理想图像的部分特征信息，以采集出来的信息进行比较，以此检测图像的相关质量值。而在半参考方式中，一般根据其依据进行划分，一般分为基于数字水印和基于原始图像特征等方法。这种方式会存在图像特征的局限，与其相较于整个图像，数据量下降了很多，目前应用比较集中在图像传输系统中。

3.3 无参考模糊度评价

这种方式在市场上被广泛使用，主要原因是不受理想参考图像的限制，并且不需要进行挑选参考样板，其方式主要分为以下几类。

(1)基于梯度结构相似度(GSIM)的方法

这种算法通过构造边缘膨胀图像、构造参考图像、针对图像进行分块、子块*GSIM*计算，最后将*GSIM*指数进行平均值的计算，并以此计算结果当成原始图像的模糊值[15]。

$$blur = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} GSIM \quad (3)$$

在上述公式中，M是包含的边缘膨胀块数量。通过公式可知，*GSIM*值越小，*blur*值也就越小，而图像质量也就越好。

基于ＧＳＩＭ的无参考图像模糊度评价算法可以较准确地估计五种常用的图像失真程度，尤其针对高斯模糊图像失真及JPEG2000图片压缩和JPEG图片压缩上与人眼主观感知质量具有高度一致性。

(2)基于边缘分析的方法

采用基于边缘的方式主要是因为大部分的图像模糊时，会造成其整体边缘会展宽。有些算法会对某一个方向的边缘宽度进行均值的计算，Ong等[20,21]通过对梯度查找Carmy边缘宽度，之后以指数进行宽度均值的计算，以此估计出模糊度；Marzilian等[1,2]是在垂直方向上的Sobel边缘进行检测，以查找图像灰度值中的局部极值点，之后再进行均值的计算，从而估计其模糊度。

这种以边缘为评价依据的方式，对图像内容存在依赖，若边缘特征不明显，则可能导致最终评价结果不准确；但这种方法在概念上较为直观，并且所使用的计算都较为简易，并且衍生的算法也符合人体视觉的相关特征。

(3)基于卷积神经网络方法

卷积神经网络(CNN)作为深度学习重要一员，具有复杂的网络结构和很好的非线性映射能力，能实现端到端的图片特征提取和识别。这种方式要求的训练量较大，并且需在训练的过程中去学习模糊图像盲复原，并发现其潜在的规律[22]，之后将发现的规律在图像模糊操作上运用，最后得出较好的复原效果。同时，这种训练学习方式，同时对图像的自动生成操作方式拥有广阔的发展空间，在操作上多用于图像去噪声，去雾等图像处理模式，具有很强的通用性和实用性。

(4)基于再模糊理论的模糊图像检测方法

该方法首先将图像进行压缩，并转换为灰度图，利用局部方差提取显著区域，选用高斯模糊进行图像再模糊，使用拉普拉斯算子进行边缘提取合差异计算[23]。计算差异图像标准差作为评价模糊程度标准。

当压缩传入图片时造成压缩前后的信息损失可以表示为压缩处理的输入，输出的数学函数时，称其为客观保真度准则[24]。通过计算原图像的局部方差，筛选出图像中局部方差较大的区域，也就是人眼感兴趣的图像区域，然后只分析人眼感兴趣的这一部分图像区域的特征代替分析整个图像。将图像灰度化并提取出显著区域后，将原始图像通过低通滤波器来获得建一个比原始图像更模糊的图像，添加模糊的程度，更容易察觉被添加的模糊成分并确定原始输入图像是否本来就存在模糊。

该方法在实际应用中主要针对于拍摄设备晃动造成的模糊图像。比如无人机在进行航拍任务时，不可避免的会因为一些因素拍摄出模糊图像，影响后续对图像信息的提取，可能会使后期的计算结果产生很大的误差甚至颠覆性的结果，所以图像的模糊检测是无人机航拍图像预处理中至关重要的一步。

4 结论(Conclusion)

本文对图像模糊度评价的研究现状和主要方法进行了深入分析和讨论。

在目前的图像模糊度评价中，全参考评价最为成熟，全参考评价方法需要参考图像的全部信息，将原始的和待评的

www.rjgcz.com

图像进行对比，之后运算其模糊度，这种研究难度与无参考和半参考的方式相比，较为简易。

在当今市场的实际使用上，绝大部分模糊图像无法找到原始参考图像，这使无参考评价有了极大的应用空间。从整体的发展历程看，这种评价方式渐渐的从以规则作为依据，慢慢的过度到机器学习上。并且在未来的趋势上，会慢慢融合空间域等其他技术，以提高其评价的精确度，但其中最为核心的是在回归分析和图像特征的选择上。

精确、快捷的模糊度评价算法可以应用在任何需要进行自动图像识别系统的前期处理中。通过对采集到的图像进行模糊度质量评价，可以实现智能图像处理系统中的自动分类及预处理，对于基于图像的智能系统等具有重要的推进作用。

参考文献(References)

[1] Marziliano P,Dufaux F,Winkler S,et al.A no-reference perceptual blur metric.In:Proceedings of the 2002 International Conference on Image Processing[C].New YorkUSA:IEEE,2002:57-60.

[2] Marziliano P,Dufaux F,Winkler S,et al.Perceptualblur and ringing metrics:application to PEG2000[J].Image Communication,2004,19(2):163-172.

[3] X.Li.Blind.image quality assessment[C].Proceedings of the International Conference on Image Processing.NY,2002:449-452.

[4] ITU. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures[C].ITU-Recommendation BT 500-11,2002:1-48.

[5] Dijk J,van Ginkel M,van Asselt R J,et al.A new sharpness measure based on Gaussianlines and edges[C].Proceedings of the 8th Annual Conference on the Advanced School for Computing and Imaging Berlin.Germany:Springer,2003:149-156.

[6] Ferzli R,Karam L J.Human visual system based no-reference objective image sharpness metric[C].Proceedingsof the 2006 IEEE International Conference on Image Processing. Atlanta,GA:IEEE,2006:2949-2952.

[7] Ferzli R,Karam L J.A no-reference objective image sharpness metric based on just-noticeable blur and probabilitysummation[C].Proceedings of the 2007 IEEE InternationalConference on Image Processing.San Antonio,TX: IEEE 2007(III):445-448.

[8] 王志明.无参考图像质量评价综述[N].自动化学报,2015,41(6):1062-1079.

[9] Moorthy A K,Bovik A C.A two-step framework for constructing blind image quality indices[C].IEEE Signal Processing Letters,2010,17(2):513-516.

[10] Hou W L,Gao X B,Tao D C,et al.Blind image qualityassessment via deep learning[C].IEEE Transactions on NeuralNetworks and Learning Systems,2014,26(6):1275-1286.

[11] 朱里,李乔亮,张婷,等.基于结构相似性的图像质量评价方法[J].光电工程,2001,34(11):108-113.

[12] 廖斌,刘利雄.一种基于小波域结构相似度的图像模糊度评价算法[J].北京理工大学报,2008,28(09):802-805.

[13] 桑庆兵,苏媛媛,李朝锋,等.基于梯度结构相似度的无参考模糊图像质量评价[J].光电子·激光,2017(3):573-577.

[14] 廖永忠,蔡自兴,何湘华.快速运动模糊图像忙解卷积算法[J].光学精密工程,2013,21(10):2688-2695.

[15] 田若良,刘柏森.基于频域能量分割的图像模糊度评价方法[J].计算机技术与发展,2015,25(6):101-105.

[16] Sheikh H R,Bovik A C,Veciana G.An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics[J].IEEE Transactions on Image Processing,2005,14(12):2117-2128.

[17] 赵武峰,沈海斌,严小浪.基于双树复数小波的结构相似度测量法[J].浙江大学学报(工学版),2008,42(8):1385-1388.

[18] Yang C Y,Ma C,Yang M H.Single-image super-resolution:a benchmark:European Conference on Computer Vision[C]. Springer International Publishing,2014,(8692):372-386.

[19] Lai W S,Huang J B,Hu Z.A Comparative Study for Single Image Blind Deblurring[C].CVPR,2016.

[20] Ong E P,Lin W S,Lu Z K,et al.A no-reference quality metric for measuring image blur[C].Proceedings of the 7th International Symposium on Signal Processing and Its Applications.New York,USA:IEEE,2003:469-472.

[21] Ong E P,Lin W S,Lu Z K,et al.No-reference JPEG-2000 image quality metric[C].Proceedings of the 2003 International Conference on Multimedia and Expo New York,USA:IEEE,2003(I):545-548.

[22] 石晓玲,杨英仓,尤超.基于卷积神经网络的交通监控模糊图像复原技术[J].智能城市,2017,1:73-76.

[23] 房楚尧,周知,赵家培,等.基于再模糊理论的航拍图像质量检测方法[J].计算机工程与应用,2018,3:1-16.

[24] 李玉.基于视觉信息保真度的图像质量评估的算法研究[D].成都:电子科技大学,2015.

作者简介：

梅嘉祥(1998-)，男，本科生.研究领域：智能系统软件开发.

刘展宁(1996-)，女，本科生.研究领域：智能系统软件开发.

张志佳(1974-)，男，博士，教授.研究领域：智能系统，机器视觉.

王子韬(1998-)，男，本科生.研究领域：智能系统软件开发.

张轩祎(1998-)，男，本科生.研究领域：智能系统软件开发.

薛　晴(1998-)，女，本科生.研究领域：智能系统软件开发.

www.rjgcz.com