

面向无参考图像的清晰度评价方法研究

李祚林^{1,2}, 李晓辉¹, 马灵玲¹, 胡 玥³, 唐伶俐¹

(1. 中国科学院光电研究院, 北京 100190; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 首都经济贸易大学信息学院, 北京 100026)

摘要: 图像的清晰度是衡量数字图像质量优劣的重要指标。基于面向无参考图像质量评价, 重点介绍了目前较为常用的、具有代表性的几种清晰度评价算法, 并从算法的单峰性、无偏性、灵敏性, 与图像尺度、内容的无关性, 以及与主观感知的一致性3个方面的性能进行了对比和分析, 以求准确客观地评价各清晰度算法, 达到在实际应用中合理、有效地评价图像清晰度的目的。

关键词: 图像质量; 清晰度; 性能评价

中图分类号: TP 731 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2011)02-0239-08

1 引 言

遥感图像质量评价可以用来指导遥感图像处理系统的构建和调整, 优化处理算法和参数设定。目前图像质量评价有两种途径: 主观评价和客观评价^[1]。主观评价方法是以人的视觉效果作为评判准则, 由观察者对图像质量提出判断; 客观评价方法是指用可定量分析的数学模型表达出人对图像的主观感受。主观评价方法需要对图像判读人员进行专门的训练, 评价过程费时耗力, 经济性差。而客观评价方法从理论出发, 快速稳定, 能给出定量数据, 但它忽略了人的视觉特性, 有时与人的主观感受不一致。因此开发出与人对图像的主观感受相一致的客观质量评价方法显得尤为重要。目前常用的图像客观评价方法分为3类^[1-3]: ① 全参考质量评价(Full-Reference QA), 需要将“失真”图像与参考图像进行比较得到评价结果; ② 弱参考质量评价(Reduced-Reference QA), 可以从参考图像中得到部分特征信息, 并利用这些信息完成对“失真”图像质量的评价; ③ 无参考质量评价(No-Reference QA), 不借助任何参考图像的信息, 独立完成对图像质量的评价。前两类方法都必须借助原始的非失真图像作为参考进行质量评价, 而在很多实际应用中, 特别是遥感应用, 原始参考图像很难或无法获得, 因此研究无参考图像质量评价方法具有重要意义。

在无参考图像的质量评价中, 图像的清晰度是衡量图像质量优劣的重要指标, 它能够较好地与人的主观感受相对应, 图像的清晰度不高表现出图像的模糊。模糊是常见的一种图像降质形式, 它导致图像分析和解译的困难, 降低图像的实际应用价值。导致图像模糊的原因有很多, 大致分为确定性因素和随机性因素两类。确定性因素包括成像系统调焦不当、目标物体相对运动等; 随机性因素主要是图像在记录、传输过程中的污染, 比如电子系统的高频性能不好造成图像高频分量的损失。在频域, 当一幅图像的高频部分被削弱时图像看起来会显得模糊; 在空域, 图像的边界和细节部分不清晰时, 图像看起来也会显得模糊。

人们在使用主观方法评价图像清晰度的同时, 也开发了多种图像清晰度的客观评价算法, 并力图实现上述算法的计算结果与主观感知效果取得一致。本文针对无参考图像质量评价应用, 对目前几种较为常用的、具有代表性的清晰度算法进行了讨论分析, 以求准确客观地评价各清晰度算法, 为实际应用中选择清晰度算法提供依据。

2 数字图像清晰度评价方法

清晰度是衡量数字图像质量优劣的一个重要指标, 目前已发展出很多计算数字图像清晰度的方法, 并且新的思路和研究方法也在不断产生。本文针对

收稿日期: 2010-09-27; 修订日期: 2010-12-22

基金项目: “基于物理量反演的卫星探测能力评估技术研究”项目。

作者简介: 李祚林(1985—), 男, 湖南邵阳人, 硕士研究生, 主要从事图像质量评价方面的研究。E-mail: lizuoilin163@sina.com。

©1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

几种较为常用的和具有代表性的方法进行讨论。

2.1 基于梯度函数的评价方法

在图像处理中梯度函数常用来提取边缘信息,对于聚焦较好的图像,通常清晰度较高,图像也表现为边缘更加锐利,具有更大的梯度值,因此可以通过计算图像的梯度来表征图像的清晰度。常用的计算图像清晰度的梯度函数有以下几种^[3]:

(1) Brenne 梯度函数^[4]

Brenne 梯度函数是最简单梯度评价函数,它只是简单地计算相邻两个像素的灰度差,由于需要将边缘的贡献进行增强,所以对差值进行了平方处理,基于 Brenne 梯度函数的图像清晰度定义如下:

$$D(I) = \sum_x \sum_y [I(x+2, y) - I(x, y)]^2 \quad (1)$$

其中: $I(x, y)$ 表示图像 I 对应像素点 (x, y) 的灰度值, $D(I)$ 为图像清晰度计算结果(下同)。

(2) Tenengrad 和 Laplacian 梯度函数

Krotkov 采用 Tenengrad 梯度函数^[5-7] 作为清晰度的评价方法,使用 Sobel 算子分别提取水平方向和竖直方向的梯度值。基于 Tenengrad 梯度函数的图像清晰度定义如下:

$$D(I) = \sum_x \sum_y [S(x, y)]^2 \quad (S(x, y) > T) \quad (2)$$

其中: T 是预先设定的阈值,而:

$$S(x, y) = \sqrt{I_x^2(x, y) + I_y^2(x, y)} \quad (3)$$

Schlag 和 Sanderson 建议使用以下 Sobel 算子模板来检测边缘:

$$i_x = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, i_y = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Laplacian 梯度函数^[7] 与 Tenengrad 基本一致,只不过前者使用 Laplacian 算子作为边缘检测的方法,该算子定义如下:

$$L = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & -20 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

国内也有学者使用其他的边缘探测算子进行图像清晰度的评价:孙越、栾晓明^[8] 使用基于 Prewitt 算子评价图像的清晰度;蒋婷、谭跃刚^[9] 对传统的 Sobel 边缘检测算子进行了改进,并通过实验说明不同边缘探测算子在具体应用方面的优劣。

(3) 能量梯度函数法

Jarvis 等^[10] 采用能量梯度函数作为清晰度的评价函数,也称作相邻像素灰度方差法(SMD),计算公式如下:

$$D(I) = \frac{1}{n} [|I(x, y) - I(x, y-1)| + |I(x, y) - I(x+1, y)|] \quad (6)$$

其中: n 为图像像素总数。

此外吴利明、陶晓杰^[11] 使用了一种基于焦点窗口模式的能量梯度评价函数方法,王勇等^[12] 提出了一种基于聚焦窗口模式的平方梯度函数作为评价函数。但是上述两种方法都涉及到待评估图像区域的权重取值,不同的权重将导致不同的图像清晰度计算结果,因此具有一定的局限性。

2.2 基于图像变换域的方法

基于图像变换域的方法源于傅立叶变换,其理论依据是清晰度高的图像比模糊图像应该包含更多的高频成分,意味着图像有更清晰可辨的边缘,在局部有很强的灰级变化。

具体的做法是利用傅立叶变换对图像的空间频率进行分析,即对图像进行 FFT 变换,并定义清晰度评价函数为:

$$D(I) = \frac{1}{M \times N} \sum (\text{real}^2 + \text{imaginary}^2) \times \tan^{-1}(\text{imaginary}/\text{red}) \quad (7)$$

其中: M 和 N 分别代表原始图像的行数和列数, real 和 imaginary 分别表示图像变换后的实部和虚部, $D(I)$ 越大表明图像的清晰度越好。

2.3 熵函数法

熵函数法是根据香农信息论提出来的,香农认为熵越大时信息量越多,将此原理应用到图像清晰度评价中^[10, 13],可以认为在图像能量一定的情况下,图像熵越大则图像越清晰。基于熵函数法的图像清晰度定义如下:

$$D(I) = - \sum_x \sum_y I(x, y) \ln[I(x, y)] \quad (8)$$

其中: $D(I)$ 同时也表示图像的熵。

以上3类方法是最具代表性的图像清晰度评价方法,由于它们思路简单,物理意义较明确,所以广泛应用于具有相同内容和尺寸的图像清晰度的分析和计算,但是上述方法均是无界的,不适合不同图像之间清晰度的横向比较。

2.4 其他方法

如前所述,虽然上述算法能够满足对特定一类图像清晰度的计算,但是没有和人眼视觉系统(HVS)特性结合起来,所以存在一定的局限性。近年来,随着人们对 HVS 特性研究的进一步深入和图像处理的新方法、新思路的不断引入,图像清晰度计算的新方法也层出不穷,概括来讲以下几种方法具

有代表性和典型性。

2.4.1 基于点锐度的清晰度算法(EAV)

徐贵力、张霞等^[14-15]提出了一种基于边缘锐度的算法用于评价图像的清晰度。他们认为图像清晰度的高低与边缘处灰度变化情况密切相关,即灰度变化越大表明边缘越清晰,因此可以通过统计图像某一边缘方向的灰度变化情况进行评价。计算公式如下:

$$D(I) = \frac{\sum_a^b (dI/dx)^2}{|I(b) - I(a)|} \tag{9}$$

其中: dI/dx 为边缘方向的灰度变化率, $I(b) - I(a)$ 为该方向总体灰度变化。

王鸿南等^[16]对上述算法进行了改进,他将该算法改进为计算某像素点 8 邻域像素与该像素点灰度值之差的绝对值,并且需要将差值进行距离加权,距离近则权大,距离远则权小。改进的基于点锐度图像清晰度(EAV)计算公式如下:

$$EAV = \frac{\sum_{i=1}^{M \times N} \sum_{a=1}^8 |dI/dx|}{M \times N} \tag{10}$$

其中: EAV 表示图像清晰度计算结果, M 和 N 为图像的行数和列数, dI 为灰度变化幅值, dx 为像元间的距离增量。在实际应用中, dI/dx 可取像素 8 邻域进行计算,对于水平和竖直方向可取权重(距离增量)为 1,而在 45° 和 135° 方向上可设为 $1/\sqrt{2}$ 。

2.4.2 基于二次模糊的清晰度算法(ReBlur)

Crete^[17]在文献中提到,如果一幅图像已经模糊了,那么再对它进行一次模糊处理,高频分量变化不大;但如果原图是清晰的,对它进行一次模糊处理,则高频分量变化会非常大。因此可以通过对待评测图像进行一次高斯模糊处理,得到该图像的退化图像,然后再比较原图像和退化图像相邻像素值的变化情况,根据变化的大小确定清晰度值的高低,计算结果越小表明图像越清晰,反之则越模糊。这种思路可称作基于二次模糊的清晰度算法(ReBlur),其简化流程如图 1 所示。

2.4.3 基于梯度结构相似度的清晰度算法(NRSS)

Wang 等^[18-20]利用人类视觉系统(HVS)非常适于提取目标的结构信息的特点,提出了图像结构相似度概念(SSIM),认为只要能计算目标结构信息的变化,就能够得到感知图像失真值。杨春玲等^[21]基于此思路,将该方法引入到计算全参考图像的清晰度评价中,认为图像的清晰度可以使用目标图像与

参考图像间的结构相似度来表示,而图像间的结构相似度包含以下 3 个部分的比较:

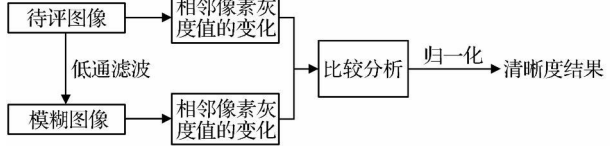


图 1 二次模糊清晰度算法流程图(ReBlur)

Fig. 1 Flow chart of ReBlur algorithm

亮度比较:

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C}$$

对比度比较:

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}$$

结构信息比较:

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}$$

而图像的结构相似度由下式计算可得:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma \tag{11}$$

为简单起见可以令 $\alpha = \beta = \gamma = 1$ 。

谢小甫等^[22]进一步改进了杨春玲等的方法,根据结构相似度的相关思想结合人眼视觉系统的相关特点,设计了无参考图像清晰度的评价指标(NRSS),计算方法如下:

(1) 为待评价图像构造参考图像。定义待评价图像为 I , 而参考图像 $I_r = LPF(I)$, 即对待评价图像 I 进行低通滤波得到参考图像 I_r 。

(2) 提取图像 I 和 I_r 的梯度信息。利用人眼对水平和竖直方向的边缘信息最为敏感的特性,使用 Sobel 算子分别提取水平和竖直方向的边缘信息,定义 I 和 I_r 的梯度图像是 G 和 G_r 。

(3) 找出梯度图像 G 中梯度信息最丰富的 N 个图像块。通过计算方差找出梯度图像 G 中梯度信息最丰富的 N 个图像块,方差越大说明梯度信息越丰富,根据找到的 G 中的前 N 个块,找出对应的 G_r 的前 N 个块。

(4) 计算结构清晰度 NRSS。根据找到的梯度信息最丰富的 N 个块,计算图像 I 的无参考结构清晰度 NRSS:

$$NRSS = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N SSIM(x_i, y_i) \tag{12}$$

杨春玲等^[21]的算法是应用到嵌入式系统中的,在对实时性和硬件资源要求不高的情况下,可以省

略第三步,利用梯度图像直接计算原始图像清晰度。

除上述算法外,沈国鑫等^[23]从小波变换出发,构建了 3 层 BP 神经网络对图像的清晰度进行识别。这种算法构建的 BP 神经网络的准确程度与样本数量密切相关,即在样本数较少的情况下该算法得出的清晰度评价结果可能并不准确。

3 算法比较

一个好的清晰度评价算法应该具有以下 3 个特性^[24]:较好的单峰性、无偏性和较高的灵敏性。单峰性是指在成像系统的正焦位置取得单一的极值,不能出现其他局部极值;无偏性是指计算出来的清晰度曲线要与图像的清晰度变化事实相吻合;灵敏性是指对不同程度的模糊图片,清晰度评价结果要求有一定的差别。其中单峰性和无偏性决定了评价函数的正确性,灵敏性决定了评价函数的准确性。

清晰度与人的主观感受密切相关,一个好的清晰度算法其计算结果应该与人的主观感知具有较强的相关性,能够较准确地符合人对图像的主观感受。此外,为了便于不同图像清晰度算法之间的横向比较,好的清晰度算法还要求计算结果有界,且与图像的内容和尺寸无关。本文选取了几种具有代表性的清晰度算法进行定量比较和分析,并设计了以下 3 组实验:① 对比分析各算法的单峰性、无偏性和灵敏性;② 对比分析各算法与图像尺度、内容的无关性;③ 对比分析各算法与主观感知的一致性。

3.1 实验 1——算法的单峰性、无偏性、灵敏性

为了对比不同清晰度算法的单峰性、无偏性和灵敏性,本文使用一个可调焦的相机对同一目标进行了拍摄,使得目标在不同的位置上成像(如图 2),然后将各种算法计算得出的结果在不同尺度下进行归一化,计算结果如图 3 所示。

图 3 的横坐标表示不同焦距位置拍摄图像的序列号,纵坐标表示不同算法下清晰度的计算结果。从图 3 可见,各个清晰度算法的计算结果均在正焦位置取得极值,具有单峰性的特点(ReBlur 方法计算结果越小代表图像清晰度越高);各个算法的计算结果与主观感受的图像清晰度变化一致,具有无偏性特点;各个算法对不同焦距位置图像的清晰度计算结果均不相同,且相差较大,区分度较好,具有灵敏性特点,所以都可以在特定情况下(如具有相同内

容的图像)对图像的清晰度进行评价。

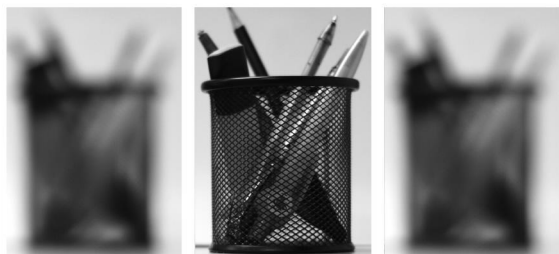


图 2 不同焦距上的图像

Fig. 2 Images of different focal lengths

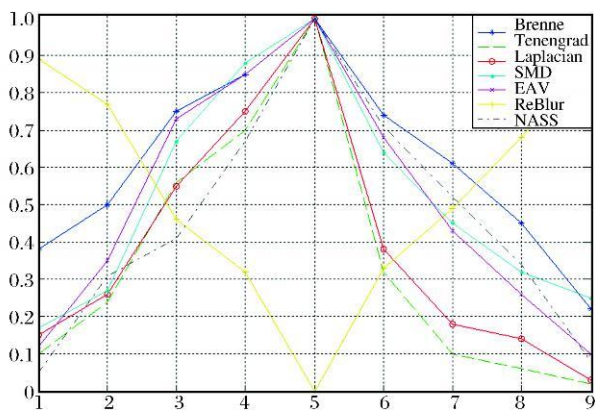


图 3 不同算法图像清晰度结果

Fig. 3 Definition results from different algorithms

3.2 实验 2——算法的尺寸与内容无关性

为了比较算法计算结果对于图像尺寸的无关性,本文采用内容相同但尺寸不同的 Lena 图像^[25](如图 4)进行了清晰度计算,计算结果如表 1 所示。



图 4 不同尺寸的 Lena 图像

Fig. 4 Different sizes of Lena images

从表 1 看出,对于不同尺寸而清晰度主观感知一致的 Lena 图像,所有方法的计算结果并不完全一致;表中所列的前 4 种方法,计算值随尺寸的增大而减小,是由于尺寸的增大减小了单个像素对计算结果的影响;ReBlur 算法的一致性是最好的;而 NRSS 方法随尺寸的增大,计算结果变化趋缓,这主要是由于图像尺寸过小时,不能忽略图像的块效应。同时,当图像尺寸在 512×512 以上时,NRSS 计算结果比较准确。

表 1 不同尺寸的 Lena 图像清晰度计算结果

Table 1 Definition results from different sizes of Lena images

清晰度算法	尺寸大小				
	128× 128	256× 256	512× 512	768× 768	1 024× 1 024
Teneng rad	2 493. 200	1 720. 200	984. 900	748. 780	547. 000
Laplacian	88. 220	85. 700	69. 490	66. 220	57. 000
SMD	22. 110	16. 550	11. 320	8. 866	6. 935
EAV	87. 210	63. 520	42. 960	35. 070	27. 420
ReBlur	0. 040	0. 040	0. 037	0. 043	0. 048
N RSS	0. 680	0. 640	0. 500	0. 470	0. 450

为了比较不同算法与图像内容的无关性, 本文将尺寸为 1 024× 1 024 的 Lena 图像均分成 a、b、c、d 4 个尺寸相同的区域(如图 5), 分别对这 4 个区域进行清晰度计算, 计算结果如表 2 所示。



图 5 相同图像的不同区域

Fig. 5 Different regions of the same image

表 2 不同内容的 Lena 图像清晰度计算结果

Table 2 Definition results from different contents of Lena image

清晰度 算法	图像区域			
	a	b	c	d
Teneng rad	389. 310	560. 070	713. 520	440. 050
Laplacian	53. 070	56. 160	57. 380	59. 220
SMD	6. 720	5. 860	9. 710	5. 420
EAV	26. 320	22. 880	38. 630	21. 790
ReBlur	0. 036	0. 052	0. 052	0. 051
N RSS	0. 380	0. 290	0. 300	0. 240

从表 2 看出, 除 Tenengrad 梯度法外, 其他 5 种方法对同一图像不同区域的计算结果变化均不是很大, 基本是一致的, 其中 Laplacian 梯度法计算结果的变化最小。但是需要注意的是 Laplacian 梯度法的结果与它所选取的阈值大小有关, 在大多数情况

下是一个经验值, 不利于程序的自动计算。此外, 前 4 种算法输出的结果是无界的, 不利于尺寸和内容均不相同的图像清晰度之间的横向对比, 而后两种算法的计算结果值域在 0~1 之间, 便于进行图像间清晰度的比较。

3.3 实验 3——算法与主观感知的一致性

如前所述, 由于 ReBlur 和 N RSS 算法具有较好的尺度与内容的无关性以及确定的值域, 更加适合对不同图像进行清晰度的计算与对比, 因此本实验选取这两种方法进行主客观一致性的对比与分析。为了使图像的主观评价数据真实可靠, 本实验采用了美国德州大学图像与视频工程实验室提供的图像质量评价数据库^[26-28]。该图像数据库包含 29 幅原始图像, 并利用这些原始图像生成了包括 JPEG 压缩、JPEG 2000 压缩、高斯模糊、Fastfading (在 Fastfading 通道中传输造成的流传输错误)、White Noise(白噪声)5 类失真在内的失真图像共 779 幅, 其中不同程度退化的高斯模糊图像有 145 幅。该图像数据库还给出了所有原始图像和失真图像的主观 DMOS 分值 (Difference Mean Opinion Scores), DMOS 分值描述的是主观 MOS (Mean Opinion Scores)值和满分 100 分的差值, DMOS 分数越大表示图像质量越差, DMOS 分数越小表示图像质量越好。

为了分析对比这两种方法的清晰度与主观感知的一致性, 本文采用国际视频质量专家组 (VQEG)^[29]提供的方法对该数据库中的 145 幅高斯模糊图像进行计算, 以定量评价上述两种算法与主观感知的一致性。首先, 利用数据库提供的这 145 幅图像的 DMOS 分值来量化图像的主观清晰度感知效果; 然后, 根据不同清晰度算法计算所有样本图像的清晰度值 (VQR), 再使用非线性回归函数 (Logisitic) 拟合 DMOS 分值和清晰度计算结果

VQR^[29-31], 拟合结果为 DMOSP; 最后将 DMOSP 值与 DMOS 进行相关系数 (CC)、绝对误差均值 (MAE)、绝对误差均方差 (RMS) 3 个参数的比较, 根据参数值确定算法的优劣。实验中使用的非线性拟合函数为:

$$DMOSP = \frac{b_1}{1 + \exp(-b_2 \times (VQR - b_3))} \quad (13)$$

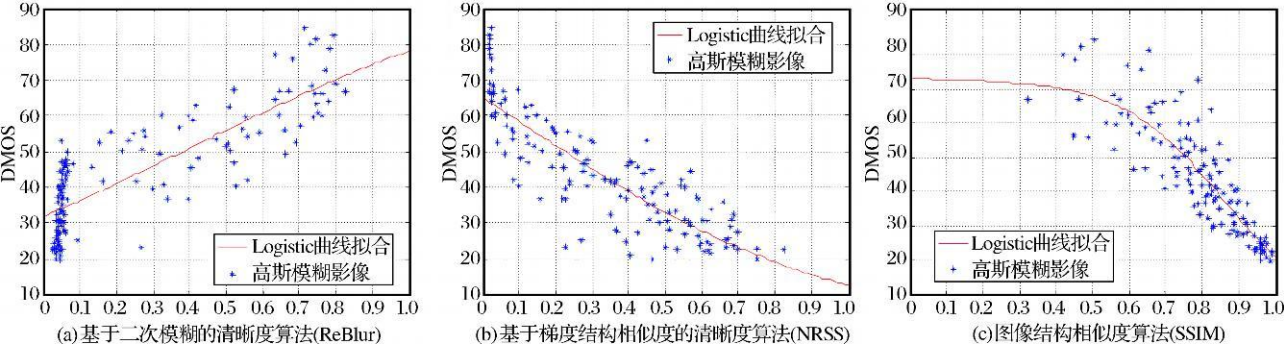


图 6 不同评价方法的主观拟合曲线
Fig. 6 Fitting curves of different evaluation methods

从表 3 得知, 上述 3 种方法的客观度量结果与主观评分的相关性均高于 80%, 表现为较好的主观感知一致性。其中, SSIM 方法在主观一致性方面的性能最好, 主要是由于 SSIM 方法为全参考图像质量评价方法, 能够利用到原始图像信息。而 ReBlur 和 NRSS 方法均为无参考图像质量评价, 没有任何原图像信息可供参考。另外, NRSS 方法在相关系数、绝对误差均值和均方差上均优于 ReBlur 方法, 具有更好的主观感知一致性。

表 3 不同评价算法主观感知一致性性能比较

	CC	MAE	RMS
ReBlur	0.8306	7.5450	8.7852
NRSS	0.8518	6.3044	8.2655
SSIM	0.8737	5.7683	7.6759

4 结 语

本文面向无参考图像质量评价, 对当前较为常用的、具有代表性的几种清晰度算法的原理和特点进行了详细描述, 并通过实验进行了综合分析和对比。结果表明, 基于梯度函数、点锐度和图像变换域的清晰度评估方法, 均满足单峰性、无偏性和灵敏性特点, 能够用于无参考图像的清晰度评价。但是由于上述算法与图像的内容与尺寸相关, 且没有

其中: b_1 、 b_2 、 b_3 为 Logistic 曲线参数。
为了对比与全参考图像质量评价在清晰度指标计算上的性能差异, 本文利用数据库中的 29 幅原始图像, 使用基于结构相似度的全参考图像清晰度算法 (SSIM)^[29] 进行了计算。ReBlur、NRSS、SSIM 3 种方法对样本图像清晰度的计算结果以及拟合曲线如图 6 所示:

固定的值域, 因此只适用于计算与评估具有相同尺寸与相同内容的图像的清晰度, 而不适用于在具有不同内容或尺寸的图像之间进行清晰度的横向比较。

由于 ReBlur 和 NRSS 方法计算结果是有界的, 因此较上述方法而言更适用于不同图像之间的清晰度的横向比较。其中, ReBlur 方法在图像尺寸与内容无关性方面优于 NRSS 方法, 而 NRSS 与人类主观感知的相关性与一致性优于 ReBlur 方法。在实际应用中, 如果图像的尺寸较大, 那么 NRSS 方法较其他方法更优。

参考文献 (References):

[1] Xiao Wen. Spatial No-reference Image Quality Assessment [D]. Nanchang: Jiangxi University of Finance and Economics, 2006. [肖文. 空域无参考图像质量评价 [D]. 南昌: 江西财经大学, 2006.]
[2] Wang Z Sheikh H R, Alan C B. Objective Video Quality Assessment [C] // The Handbook of Video Databases: Design and Applications. Florida: CRC Press, 2003 1041-1078.
[3] Ng K C, Nathaniel P, Aun N, et al. Practical Issues in Pixel-based Auto-focusing for Machine Vision [C] // Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Seoul Korea May 21-26, 2001: 2791-2796.
[4] Subbarao M, Tyan J K. Selection the Optimal Focus Measure for Auto-focusing and Depth from Focus [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20

- (8): 864-870.
- [5] Schlag J F, Sanderson A C, Neuman C P, *et al.* Implementation of Automatic Focusing Algorithms for a Computer Vision System with Camera Control[R] . Technical Report CM U-RI-TR-83-14, Carnegie Mellon University, 1983.
- [6] Tenenbaum J M. Accommodation in Computer Vision[D] . California: Stanford University, 1970.
- [7] Krotkov E P. Active Computer Vision by Cooperative Focus and Stereo[M] . Springer-Verlag, 1989.
- [8] Sun Yue, Luan Xiaoming, Zhao Fang. An Improved Image-contrast Evaluation Function[J] . Applied Science and Technology, 2009, 36(9): 52-55. [孙越, 栾晓明, 赵芳. 一种改进的图像清晰度评价函数[J] . 应用科技, 2009, 36(9): 52-55.]
- [9] Jiang Ting, Tan Yuegang, Liu Quan. Research of a Clarity-Evaluation Function of Image based on Sobel[J] . Computer & Digital Engineering, 2008, 36(8): 129-131. [蒋婷, 谭跃刚, 刘泉. 基于 SOBEL 算子的图像清晰度评价函数研究[J] . 计算机与数字工程, 2008, 36(8): 129-131.]
- [10] Jarvis R A. Focus Optimization Criteria for Computer Image Processing[J] . Microscope, 1976, 24(2): 163-180.
- [11] Wu Liming, Tao Xiaojie. A New Kind of Definition Evaluation Function of Image[J] . Instrumentation Customer, 2008, 15(6): 84-86. [吴利明, 陶晓杰. 一种新的图像清晰度评价方法[J] . 仪器仪表用户, 2008, 15(6): 84-86.]
- [12] Wang Yong, Tan Yihua, Tian Jinwen. A New Kind of Sharpness-evaluation-function of Image[J] . Journal of Wuhan University of Technology, 2007, 29(3): 124-126. [王勇, 谭毅华, 田金文. 一种新的图像清晰度评价函数[J] . 武汉理工大学学报, 2007, 29(3): 124-126.]
- [13] Horn B K P. Focusing[R] . Technical Report AIM-160, Massachusetts Institute of Technology, May, 1968.
- [14] Xu Guili, Liu Xiaoxia, Tian Yupeng, *et al.* Image Charity-evaluation-function Method[J] . Infrared and Laser Engineering, 2009, 38(1): 180-184. [徐贵力, 刘小霞, 田裕鹏, 等. 一种图像清晰度评价方法[J] . 红外与激光工程, 2009, 38(1): 180-184.]
- [15] Zhang Xia, Zhang Bing, Zhao Yongchao, *et al.* Image Quality Assessment for the Infrared Multi-Spectral Scanner of the Chinese-Brazil Earth Resources Satellite[J] . Journal of Image and Graphics, 2002, 7A(6): 581-586. [张霞, 张兵, 赵永超, 等. 中巴地球资源一号卫星多光谱扫描图像质量评价[J] . 中国图象图形学报, 2002, 7A(6): 581-586.]
- [16] Wang Hongnan, Zhong Wen, Wang Jing, *et al.* Research of Measurement for Digital Image Definition[J] . Journal of Image and Graphics, 2004, 9(7): 581-586. [王鸿南, 钟文, 汪静, 等. 图像清晰度评价方法研究[J] . 中国图象图形学报, 2004, 9(7): 581-586.]
- [17] Crete F, Dolmiere T, Ladret P, *et al.* The Blur Effect: Perception and Estimation with a New No-reference Perceptual Blur Metric[C] // Proceedings of the SPIE, San Jose, 29 January 2007, 64920L-11.
- [18] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, *et al.* Image Quality Assessment: from Error Visibility to Structural Similarity[J] . IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [19] Wang Z, Bovik A C, Lu L. Why is Image Quality Assessment so Difficult? [C] // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Orlando, 2002: 3313-3316.
- [20] Wang Z, Simoncelli E P, Bovik A C. Multi-scale Structural Similarity for Image Quality Assessment[C] // Proceedings of the 37th IEEE Asilomar Conference on Signals Systems and Computers, California: Pacific Grove, 2003: 1398-1402.
- [21] Yang Chunling, Chen Guanhao, Xie Shengli. Gradient Information based Image Quality Assessment[J] . Chinese Journal of Electronics, 2007, 35(7): 1313-1317. [杨春玲, 陈冠豪, 谢胜利. 基于梯度信息的图像质量评判方法的研究[J] . 电子学报, 2007, 35(7): 1313-1317.]
- [22] Xie Xiaofu, Zhou Jin, Wu Qinzhang. No-reference Quality Index for Image Blur[J] . Journal of Computer Application, 2010, 30(4): 921-924. [谢小甫, 周进, 吴钦章. 一种针对图像模糊的无参考质量评价指标[J] . 计算机应用, 2010, 30(4): 921-924.]
- [23] Shen Guoxin, Chen Guojin, Fei Haibo. Digital Image Quality Recognition Algorithm based on Neural Network and Wavelet Transform Action [J] . Mechanical Electrical Engineering Magazine, 2008, 25(4): 25-27. [沈国鑫, 陈国金, 费海波. 基于小波变换和神经网络的数字图像清晰度识别算法[J] . 机电工程, 2008, 25(4): 25-27.]
- [24] Yuan Ke, Xu Weihong. Assistant Camera Focusing System based on Image Definition Evaluation[J] . Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(1): 141-144. [袁珂, 徐蔚鸿. 基于图像清晰度评价的摄像头辅助调焦系统[J] . 光电工程, 2006, 33(1): 141-144.]
- [25] Wakin M. Standard Test Images[EB/OL] . <http://www.ece.rice.edu/~wakin/images/>, 2005.
- [26] Sheikh H R, Wang Z, Cormack L, *et al.* LIVE Image Quality Assessment Database Release 2[DB/OL] . <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [27] Sheikh H R, Sabir M F, Bovik A C. A Statistical Evaluation of Recent Full Reference Image Quality Assessment Algorithms [J] . IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(11): 3440-3451.
- [29] VQEG, Final Report from the Video Quality Experts Group on the Validation of Objective Models of Video Quality Assessment[EB/OL] . <http://www.vqeg.org/>.
- [30] Davies E R. Vision: Machine Vision, Third Edition: Theory, Algorithms, Practicalities[M] . Elsevier: Academic Press Limited, 1990.
- [31] Press W H, Teukolsky S A, Vetterling W T, *et al.* Numerical Recipes in C: Numerical Recipes 2nd Edition: The Art of Scientific Computing [M] . New York: Cambridge University Press, 1992: 504-508.

Research of Definition Assessment based on No-reference Digital Image Quality

LI Zuo-lin^{1,2}, LI Xiao-hui¹, MA Ling-ling¹, Hu Yue³, TANG Ling-li¹

(1. *Academy of Opto-Electronics Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3. *Capital University of Economics and Business, Beijing 100026, China)*

Abstract: Image definition is an important indicator of digital image quality. Oriented to the application of No-reference image quality assessment, some representative definition evaluation algorithms are introduced in this paper. In order to accurately and objectively assess each algorithm and to effectively evaluate image definition in the practical application, comparisons and analysis on performance of each algorithm are also done from the following aspects: single peak, no bias, sensitivity; the independence of image size and content; the consistency with subjective perception. Results show the ReBlur and NRSS algorithm have better evaluation performance than other algorithms for the No-reference image quality assessment.

Key words: Image quality; Definition; Performance evaluation