

基于清晰度探测与人机交互的图像质量评价算法^{*}

方小艳

(陕西工业职业技术学院 咸阳 712000)

摘要:为了解决清晰度函数种类覆盖度小和人机交互缺乏灵活性的背景下,存在图像质量评价力不足的问题,分别从清晰度探测数学模型分析和人机交互软件开发的角度出发,提出了基于清晰度探测与人机交互的图像质量评价算法。首先,根据图像灰度标准差函数、熵函数和傅里叶变换函数,设计了耦合灰度空间域、能量域与频域的清晰度探测算子,多领域评价图像清晰程度。然后,根据 Windows 消息响应机制,推导图像与控件尺寸转换关系,结合图像部分区域提取方法,实现图像感兴趣区域提取目的。最后,在感兴趣图像区域进行清晰度评价算子计算,开发图像质量评价系统。实验测试结果显示:与当前图像质量评价机制相比,本文机制拥有更健壮的评价力与实用性。

关键词:图像质量评价;清晰度探测;人机交互;傅里叶变换;Windows 消息响应;感兴趣区域

中图分类号: TP391 TN919.81 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6040

Image quality assessment system based on resolution detection and human-computer interaction

Fang Xiaoyan

(Shaanxi Polytechnic Institute, Xianyang 712000, China)

Abstract: In order to solve the current version of the official software is expensive and the definition of function types covered by small and interactive lack of universality in the background, lack of image quality evaluation problems, this paper from the definition of detection model analysis and interactive software development perspective, put forward the image quality evaluation system based on man-machine interaction detection and resolution. Firstly, according to the image gray standard deviation function, the entropy function and the Fu Liye transform function; we design the detection operator of the coupling gray space domain, the energy domain and the frequency domain. Then, according to the Windows message response mechanism, the relationship between the image and the size of the control is deduced, and then the region of interest is extracted with the method of image region extraction. Finally, the image quality evaluation system is developed by integrating the clarity detection operator and the human-computer interaction mechanism. The experimental results show that compared with the current image quality evaluation mechanism, this mechanism has higher precision and practicability.

Keywords: image quality evaluation; sharpness detection; human-computer interaction; Fourier transform; windows message response; region of interest⁷

1 引言

图像清晰度探测主要应用于自动聚焦系统和图像分辨率评价系统,是一个集计算机视觉、软件工程、光学工程与电子工程于一体的多学科交叉应用,其中图像分辨率评价系统,主要用于对工业镜头或者相机的清晰成像能力,是把控光学成像产品质量的关键^[1]。目前在这一领域的

问题是官方公版专业评价软件需付费,且价格昂贵;自主开发的评价软件清晰度方法集中在灰度空间域,缺乏全面性^[2];多数评价系统缺乏灵活的人机交互机制。

在清晰度评价方面,国内研究人员已经取得了一定研究成果,如张文娟^[3]提出了基于非局部结构张量的 SSIM 图像质量评价系统,在各像素点的非局部结构张量的主特征值大小很好地反映了该像素点的结构强度信息,特别是

收稿日期:2017-02

^{*} 基金项目:陕西工业职业技术学院自然科学研究计划(ZK13-23)资助项目

纹理结构等细节信息;主特征向量的方向反映了该像素点的结构方向信息;利用退化图像和参考图像的非局部结构张量的主特征值相似度刻画结构强度相似度,达到图像质量评价目的。但是,此技术未充分考虑频域与能量域,不能全面的评价图像清晰度,往往影响了评价准确性。路文^[4]提出了像素局部相关性的图像质量评价系统,利用互信息最大化将图像分解成块内差异最小、块间差异最大的图像块,挖掘图像块和图像亮度分布之间的相关性;然后从相关熵、互信息和条件熵的角度描述这种相关性,进而把图像抽象成为具体信息量、显著度信息量和缠绕信息量;最后,将这些信息量在失真图像的变化映射成图像的质量分数。然而,这种技术仅考虑熵函数所在能量域的优化,未考虑频域与空间域,往往不能准确评价图像质量。

为此,为了提高图像质量评价系统的准确度和灵活操控性,本研究从空间域、频域和能量域 3 个维度出发,耦合灰度标准差、傅里叶高频分量和熵函数,设计出综合评价算子。最后结合评价算法与系统软件,本文提出了基于清晰度探测与人机交互的图像质量评价系统。

2 本文图像质量评价算法

待评价原图如图 1 所示,来自美国 edmond 公司的专业 1951USAF 高分辨率测试卡,在视觉采集系统下得到的图像,本研究的目的就是分析处理这类图像,得到质量评价结果。评价软件系统架构如图 2 所示,涉及空间域、频域和能量域 3 个维度。选取每个领域较具代表的函数展开分析、实现、处理,基于相对样本标准判断机制,得到清晰度评价结果。最后将开发实现的人机交互模块集成至系统,完成整个评价系统的开发。

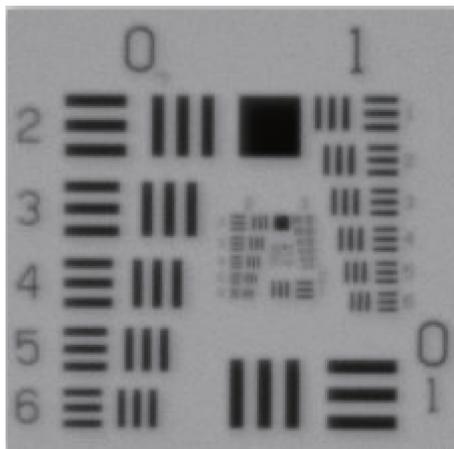


图 1 待聚焦原图

2.1 清晰度探测函数

目前有关清晰度探测的理论和方法有很多,但是对于一个领域的方法展开分析研究,不可避免地存在一定局限性。本研究综合灰度空间域、频域和能量域,展开分

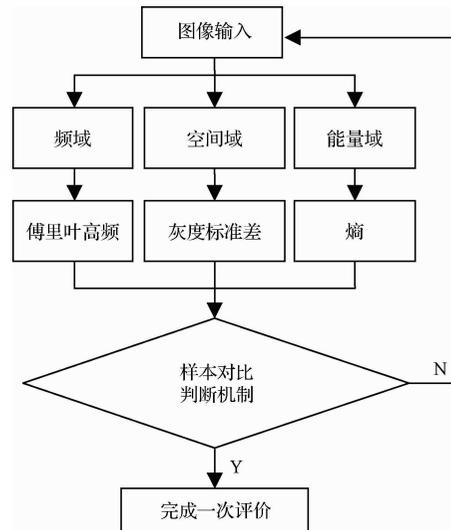


图 2 系统软件架构

析研究。图像是否清晰,关键看图像细节是否丰富、边缘是否明显,灰度空间域就是利用图像各像素点间的灰度变化来表征图像清晰度^[5]。

在灰度空间域,图像灰度标准差函数如下:

$$std = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [f(i,j) - u]^2}{m \times n}} \quad (1)$$

式中:std 代表图像灰度标准差, $f(x,y)$ 代表图像在坐标 (x,y) 处的灰度值, u 代表图像平均灰度值, m,n 代表图像横向分辨率与纵向分辨率。图像愈清晰,灰度极值与均值差距愈大,极值数量愈多,因此式 1 计算出的标准差数值愈大。

在能量域,熵代表能量均匀程度,图像越清晰,熵越大^[6]。信息熵函数如下:

$$\begin{cases} E = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} f(i,j) \\ H = - \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} f(i,j) \ln(f(i,j)) \end{cases} \quad (2)$$

式中: E 代表图像能量, H 代表图像信息熵。根据信息学香农熵定义,熵最大时信息量最大,图像最清晰^[7]。因此做如下改进:

$$H_{\text{improve}} = \frac{H}{E} \quad (3)$$

式中: H_{improve} 代表本研究提出的以自身参考的信息熵函数值。在频域,图像的清晰边缘与丰富细节与傅里叶变换后的高频分量相对应,因此以高频含量多少作为评判清晰与否的标准^[8]。二维傅立叶变换函数如下:

$$F(u,v) = \frac{1}{m \times n} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} f(x,y) e^{-j2\pi(ux/m+vy/n)} \quad (4)$$

F 代表图像 f 二维傅立叶变换结果。优质图像具有清晰的边缘和丰富的图像细节,这些部分与傅立叶变换后的高频分量对应,高频分量由实部与虚部的幅值、相位差

构成^[9]。实部与虚部如下:

$$R(u, v) = \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} f(x, y) \cos(2\pi(\frac{ux}{m} + \frac{vy}{n})) \quad (5)$$

$$I(u, v) = \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} f(x, y) \sin(2\pi(\frac{ux}{m} + \frac{vy}{n})) \quad (6)$$

式中: R 代表实部, I 代表虚部, u, v 代表频率^[10]。代表高频分量的清晰度函数如下:

$$D(f) = \frac{1}{m \times n} \sum (R^2 + I^2) \times \tan^{-1}(I/R) \quad (7)$$

$D(f)$ 代表基于图像傅立叶变换的清晰度函数值。

综合以上灰度标准差、信息熵和傅里叶高频分量计算, 处理图 1, 得到本节评价结果如图 3 所示, 可见在以上空间域、能量域和频域这 3 个维度上, 得到了评价数据。

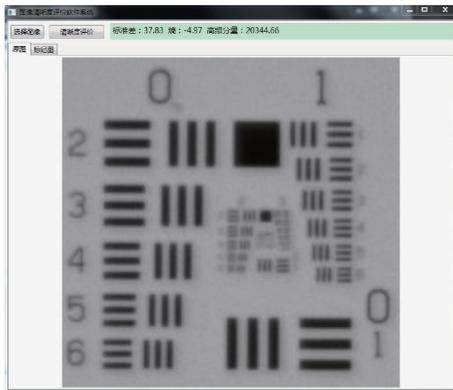


图 3 本研究清晰度评价结果

2.2 人机交互机制

本研究采用 C# 语言在 WPF 框架下开发系统, 系统中人机交互功能: 鼠标点击拖拉释放, 获取感兴趣区域并显示和清晰度评价计算, 达到自主选择局部图像清晰度评价的目的。

在 WPF 框架内调用 Winform 框架的 PictureBox 控件显示图像。由于源图像长宽比随机, 导致图像在控件中填充程度未知, 因此基于 Windows 消息响应机制, 推导控件与图像坐标转换关系, 实现鼠标所选, 即为图像 ROI 提取结果。分为两步: 转换控件坐标至图像坐标; 选定区域图像提取。

如图 4 所示, 设 m, n 代表图像长宽, M, N 代表控件长宽, x, y 代表图像坐标, X, Y 代表控件坐标。

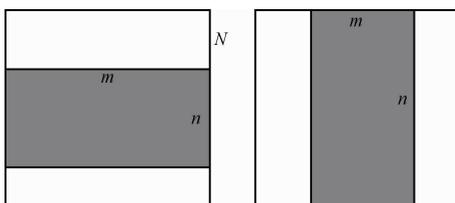


图 4 图像尺寸与控件尺寸关系

$$1) m > (M/N)n$$

$$\begin{cases} x = \frac{m}{M}X \\ y = \frac{m}{M}Y - \frac{Nm - Mn}{2M} \end{cases} \quad (8)$$

$$2) m < (M/N)n$$

$$\begin{cases} x = \frac{n}{N}X - \frac{Mn - Nm}{2N} \\ y = \frac{n}{N}Y \end{cases} \quad (9)$$

$$f_{ROI} = f \cdot Mask[Lx, Ly, W, H] \quad (10)$$

式中: f 代表图像, f_{ROI} 代表提取的感兴趣区域, $Mask$ 代表图像掩码, (Lx, Ly) 代表感兴趣区域左上角坐标, W, H 代表感兴趣区域长宽。

经过本研究人机交互机制处理图 3, 选取 4 个感兴趣区域并基于 2.1 节技术计算清晰度, 最后显示在系统界面, 如图 5 所示。

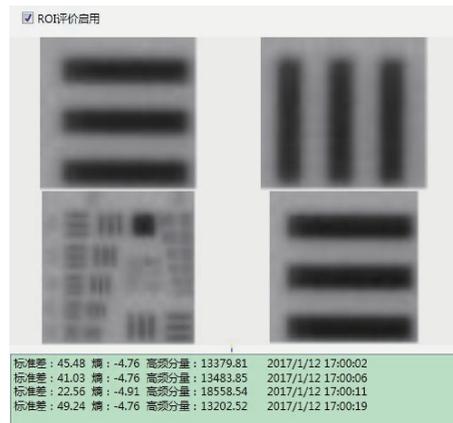


图 5 人机交互功能展示

3 实验与讨论

为了体现本研究的优势, 将图像质量评价性能较好的技术一文献[3]、文献[4]设为对照组, 并基于 VS2012 平台开发实现, 算法实验参数如: 灰度标准均值(25)、熵对数根(2.81)。

本系统界面如图 6 所示, 功能有全局与局部图像显示、ROI 选取、清晰度评价计算与显示。在界面右上角的 4 个子图为人机交互选取的感兴趣区域图像, 右下方的列表为评价数据履历。

如图 7 所示, 左右两幅图像为待对比评价的原图, 可见左图清晰度劣于右图, 利用本文算法、文献[3]、文献[4] 3 种系统对其进行评价。良好的评价结果应该是右图清晰度结果数据明显高于左图。一般结果是右图清晰度结果数据高于左图。

由于本文清晰度评价系统采用结合空间域、频域和能量域的 3 类函数评价, 其结果相对综合全面, 如图 8 所示, 右图清晰度评价结果明显高于左图, 达到了预期效果。

而利用文献[3]技术利用退化图像和参考图像的非局部结构张量的主特征值相似度刻画结构强度相似度,达到图像质量评价目的。但是,此技术未充分考虑频域与能量域,不能全面的评价图像清晰度,不能全面的评价图像清晰度,如图9所示,虽然右图清晰度评价结果高于左图,但是差距比本研究小,可见其评价精度低于本研究。

文献[4]技术是从相关熵、互信息和条件熵的角度描述这种相关性,进而把图像抽象成为具体信息量、显著度信息量和缠绕信息量;最后,将这些信息量在失真图像的变化映射成图像的质量分数。然而,这种技术仅考虑熵函数所在能量域的优化,未考虑频域与空间域,往往不能准确评价图像质量,如图10所示,虽然右图清晰度评价结果高于左图,但是差距比本研究小,可见其评价精度低于本研究。

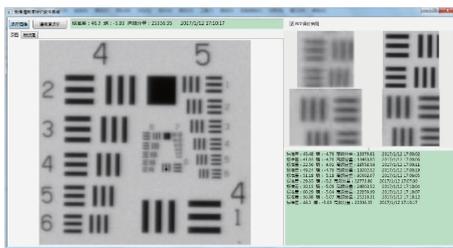


图6 本系统 UI

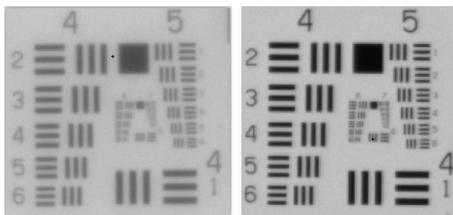


图7 两幅待对比评价原图

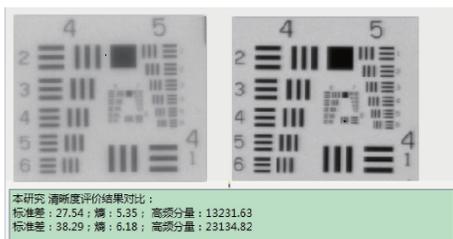


图8 本文评价结果

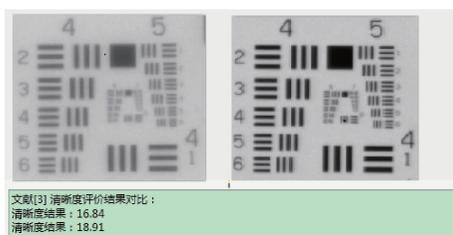


图9 文献[3]评价结果

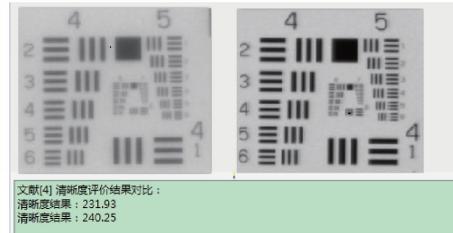


图10 文献[4]评价结果

4 结论

为了突破来自标准图像质量评价软件价格较贵、普通定制图像质量评价软件清晰度评价方法种类单一且缺乏灵活操控性的限制,达到清晰度函数种类覆盖全面且操控性灵活的系统,本文综合灰度标准差函数、熵函数、高频分量函数,提出综合评价算子。实验数据表明,当处理两张清晰度不一的图像,相较普通技术,本文评价技术具有更高精度,系统具有更高的人机交互灵活性。

参考文献

- [1] 郑绍华, 陈健, 潘林. 面向无参考的眼底成像清晰度实时评价方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(3): 241-246.
- [2] 姚凯. 基于小波清晰度计算的水下图像融合增强研究[J]. 电子测量技术, 2015, 38(2): 64-67.
- [3] 张文娟. 基于非局部结构张量的SSIM图像质量评价方法[J]. 计算机应用研究, 2017, 23(11): 171-176.
- [4] 路文. 一种像素局部相关性的图像质量评价方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2017, 8(5): 42-47.
- [5] 赵泉华, 高郡, 李玉. 基于区域划分的多特征纹理图像分割[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(11): 2519-2530.
- [6] 刘琼, 史诺, 申妙芳. 基于区间二型模糊集的农田障碍物分割方法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(4): 81-84.
- [7] 孙彦景. 基于内在生成机制的多尺度结构相似性图像质量评价[J]. 电子与信息学报, 2016, 17(12): 47-50.
- [8] 潘雪娟. 基于梯度计算的自动聚焦图像清晰度评价函数仿真分析[J]. 红外技术, 2016, 6(14): 11-15.
- [9] ZOU H D, WANG H X. A new automatic focusing algorithm and its application on vision measuring machine[J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 397-400: 1523-1528.
- [10] 曾台英. 基于局部离散小波变换的无参考模糊图像质量评价方法[J]. 光电子·激光, 2016, 21(13): 71-76.

作者简介

方小艳, 硕士, 讲师, 主要研究方向为图像处理、数据库、软件工程。
E-mail: fangxyan1977sx@163.com