

一种图像清晰度评价方法

徐贵力, 刘小霞, 田裕鹏, 程月华, 李 鹏

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

摘 要: 图像清晰度评价在图像分析和识别中具有重要的意义。对于同一内容的图像, 清晰图像的边缘相对模糊图像具有较大的灰度变化率的特征。提出了一种以图像边缘灰度变化率为指标的图像清晰度评价方法, 即以每一行灰度值连续下降间隔像素点数最多的边缘灰度变化率代表这一行的灰度变化率, 计算出图像所有行灰度变化率均值为评价指标。分析了清晰图像与模糊图像某行边缘灰度变化规律, 设计了这种新的图像清晰度评价方法的实现流程。以红外图像和一般的可见光和运动模糊图像为对象, 进行了该方法与相邻像素灰度方差法和方差法对比研究。实验结果表明: 该方法能更好地满足单调性和无偏性, 具有更高的灵敏度。

关键词: 清晰度评价; 灰度梯度; 红外图像

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2009)01-0180-05

Image clarity-evaluation-function method

XU Gui-li, LIU Xiao-xia, TIAN Yu-peng, CHENG Yue-hua, LI Peng

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Clarity-evaluation-function is very important in image processing and recognition. It is found that the clarity image has obviously high grey gradient than the blurred image while the object images are same. A new clarity-evaluation-function of grey gradient was proposed. The edge grey gradient, whose spaced pixle numbers of continue grey decline in a line were most, was regarded as the grey gradient in the line. The average change of grey gradient in all line in the whole image was counted as the clarity-evaluation-function. The change rule of edge grey gradient in a line for the clarity image and the blurred image was analyzed, and the flow for the new method of the clarity-evaluation-function was designed. The comparison experiments including infrared images, visible images and motion blurred images show that the new clarity-evaluation-function of grey gradient has better characteristics of non-deflection, single peak value and sensitivity than the SMD and the variance method.

Key words: Clarity-evaluation-function; Gray gradient; Infrared images

0 引 言

近年来, 数字图像处理获得了迅猛的发展。在日益自动化的今天, 许多领域对获取的图像的清晰程度要求越来越高, 为此, 需要对图像的清晰度作一个精确的评价^[1-7]。

图像的清晰程度不高表现出来的就是图像模糊, 模糊是一种常见的图像降质形式, 在频域, 当一幅图像的高频部分被削弱时, 图像看起来就会显得模糊; 在空域, 图像的边界及细节部分不清晰时, 图像看起来就显得模糊。

收稿日期: 2008-07-10; 修订日期: 2008-09-15

基金项目: 航空科学基金项目 (20060752006)

作者简介: 徐贵力 (1972-), 男, 黑龙江佳木斯人, 副教授, 博士, 研究方向为光电检测技术、计算机视觉技术。Email: guilixu@nuaa.edu.cn

传统的图像清晰度评价函数主要有以下几类^[1]:

(1) 灰度变化函数。聚焦图像比离焦图像包含更多的灰度变化,所以,图像灰度值的变化可以作为评价函数,如图像灰度方差函数属于灰度变化函数。

(2) 梯度函数。在图像处理中,图像梯度可以用来进行边缘提取,对焦越好,图像边缘越锋利,应该具有更大的图像梯度值,如图像灰度梯度能量函数、Robert梯度和拉普拉斯算子等都属于梯度函数。

(3) 图像灰度熵函数。对焦良好图像的信息熵要大于离焦图像的信息熵,图像的信息熵反映的是图像的信息丰富程度,因此,图像的灰度熵也可以作为评价函数。

一个好的图像清晰度评价函数应该具有较强的单峰性、较好的无偏性和较高的灵敏性^[2]。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离焦图片,清晰度评价要求有一定的差别,以保证调焦的精确度,其中单峰性和无偏性决定了评价函数的正确性。

Marziliano 提出以边缘宽度作为图像清晰度衡量指标^[3],在垂直边缘点邻域寻找局部最大、最小值,两者的距离即为边缘宽度。但是在实际情况下,由于噪声的影响,对局部最大值、最小值的确定存在较大的误差,而且在图像模糊程度较大的情况下,根本检测不到边缘,因此,这种方法对图像清晰度的评价不够准确,且不能对模糊程度较大的图像进行评价。

Caviedes 等人提出一种基于 DCT 的模糊度衡量方法^[4],认为清晰边缘点上的 DCT 系数除直流分量外,应该满足高斯分布,因此,用衡量与高斯分布相似程度的 4 阶矩来表示模糊情况。但实际上,DCT 系数符合高斯分布这一假设并不能很好地刻画边缘特性,且该方法是基于高阶矩的,容易产生较大偏差。

1 改进的图像清晰度评价方法

1.1 算法原理

图像的边界及细节部分不清晰时,图像就显得模糊,于是以图像的边界是否清晰为依据,对图像的清晰度进行判断。图 1(a)为清晰的图像,图 1(b)为清晰图像某行的边缘灰度变化,图 1(c)为模糊的图像,图

1(d)为模糊图像某行的边缘灰度变化。显然,对于同一内容的图像,清晰图像的边缘相对模糊图像具有较大的灰度变化率,即清晰图像能更快地从高灰度降低灰度。于是提出了一种以图像边缘灰度变化率为依据的图像清晰度评价方法。

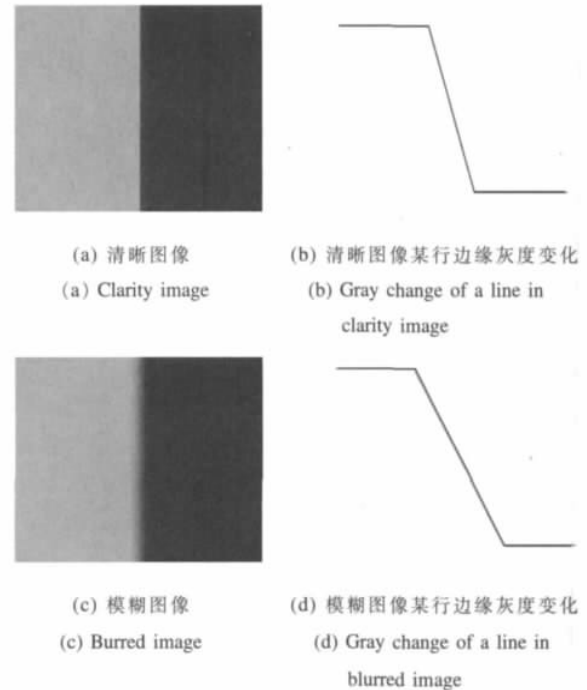


图1 清晰图像与模糊图像某行边缘灰度变化图
Fig.1 Gray change of a line in clarity image and blurred image

1.2 改进的算法

数字图像的灰度是以二维数组的形式存在计算机中的,对于一幅分辨率为 $m \times n$ 的图像,其保存在计算机中为 $n \times m$ 矩阵。

首先,对图像进行预处理。为了有效减少噪声并尽量保持边缘,采用边缘保持能力较强的边缘保持滤波器。

然后,确定灰度值下降的垂直边缘。边缘保持滤波可以滤除脉冲噪声,从而减小了相邻像素灰度值的较大波动,但是如果对每一行数据逐一进行比较,很容易产生误判,因为由噪声引起的部分像素灰度值的变化也会被误以为是下降的垂直边缘。

为了有效克服上述缺点和减少计算量,对每一行数据每隔 N 个像素取一个灰度值,如果是真正的灰度下降的边缘,就会有灰度值的连续下降,其他的如单一的背景则较少出现灰度值的连续下降,这样就可以减少由噪声造成的边缘误判。文中隔一个像素取一个

灰度值。

通常, 图像中的每一行会有多次灰度的阶跃或屋顶变化, 也会有少数背景噪声造成的灰度连续下降, 通过实验发现: 在单一背景情况下, 由噪声造成的灰度的变化范围不会很大, 而且其间隔的像素点数也较小, 为了更有效地去除噪声, 取每一行灰度值连续下降间隔像素点数最多的边缘的灰度变化率代表这一行的灰度变化率, 计算出所有行的灰度变化率后对其求和, 由于图像分辨率与目标大小的差异, 会出现模糊图像的所有行的灰度变化率之和大于相对清晰图像的所有行的灰度变化率之和, 所以定义一个初始值为零的变量 α , 每计算一次灰度变化率变量 α 的值加 1, 最后以灰度变化率之和的平均值作为衡量图像清晰度的指标。上述算法具体如图 2 所示。

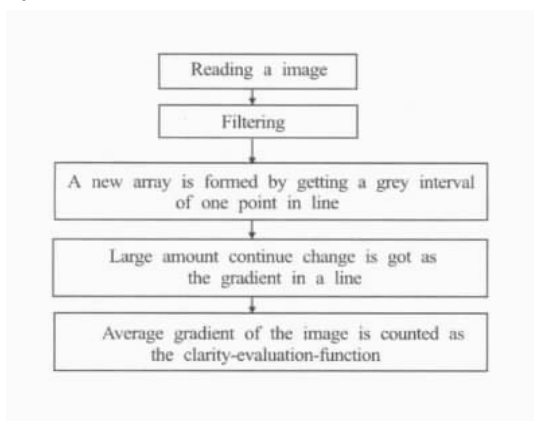


图 2 图像清晰度评价流程图

Fig.2 Flow of clarity-evaluation-function

首先对图像进行边缘保持滤波; 然后对图像的每一行隔一个像素取一个灰度值, 则得到了一个新的灰度矩阵 $V(I, J)$, 同时定义一个初始值为零的变量 a ; 接着对每一行数据进行分析, 根据

$$\begin{aligned} V(i, j) > V(i, j+1) > V(i, j+2) \\ 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m-2 \end{aligned} \quad (1)$$

找出每一行中灰度值连续下降起止像素点间隔的像素点数 $account$ 的最大值, 及其对应的像素起止点位置以及起止位置对应像素点的灰度值, 当一行中 $account$ 的最大值不止一个时, 则找出灰度值相差最大的像素点的起止位置; 然后在矩阵 $V(I, J)$ 中找出起止点间所有像素点的灰度值, 由于实际边缘像素点的灰度值不一定呈严格的线性变化, 为了更准确地表示图像边缘的灰度变化, 有必要对其进行直线拟合, 这里采用

最小二乘法原理对边缘灰度值进行直线拟合。

最小二乘法是一种数学优化技术, 它通过最小化误差的平方和找到一组数据的最佳函数匹配。记拟合直线的斜率为 $value$, 显然 $value$ 反映了边缘灰度变化的快慢, 即 $value$ 为对应的边缘灰度变化率, 每计算一次 $value$, 变量 a 的值加 1; 接下来对所有行垂直下降边缘的灰度变化率的绝对值求和, 即得整幅图像的灰度变化率和 S_1 , 即:

$$S_1 = \sum |value| \quad (2)$$

最后可求得灰度变化率之和的平均值 S 为:

$$S = S_1/a \quad (3)$$

该方法以灰度变化率绝对值之和的平均值 S 为衡量图像清晰度的指标, 越清晰的图像, 其对应的 S 越大。

2 实验结果对比

目前, 对图像清晰度评价效果较好的评价函数有: 相邻像素灰度方差法(SMD)和方差法^[5]。SMD 法定义为:

$$S = \frac{1}{n} \left[\sum |I(x, y) - I(x, y-1)| + \sum |I(x, y) - I(x+1, y)| \right] \quad (4)$$

式中: $I(x, y)$ 对应于 (x, y) 位置的灰度值; n 为图像的像素总数。

为了验证本算法的有效性, 对红外图像序列用上述 3 种方法进行比较, 如图 3 所示。图 3 中每幅

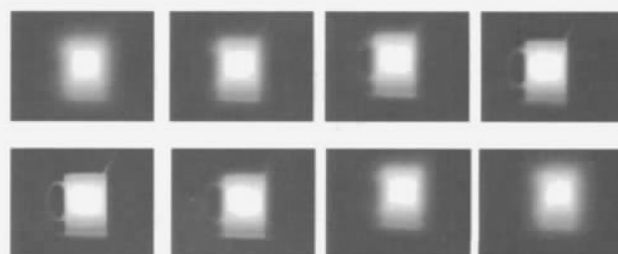


图 3 按照调焦顺序采集到的不同清晰程度的红外图片

Fig.3 Different clarity infrared images

图片的分辨率均为 320×240 , 归一化后的实验结果如图 4 所示。可以看出: 最清晰的图片为第五幅图片, 方差法效果较差, 出现了多个峰值, 不满足单峰性、无偏性和灵敏性; SMD 法和文中方法满足无偏性, 灵敏性

和的单峰性较好。

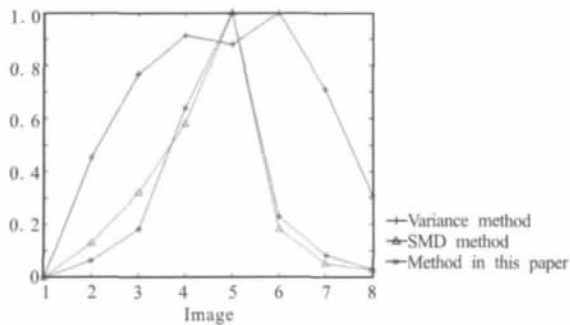


图 4 实验结果对比图

Fig.4 Comparison result

为了证明文中算法的适用范围,下面对一组从模糊到清晰再到模糊的不同复杂程度的可见光序列图像,采用文中方法、方差法、相邻像素灰度方差法来进行对比,如图 5 所示。

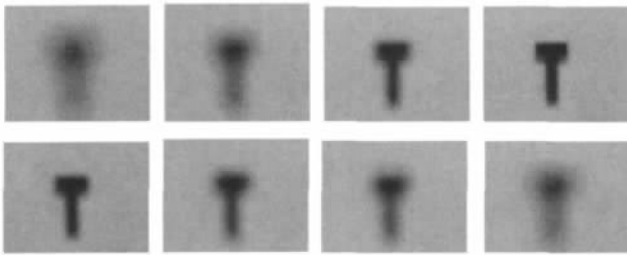


图 5 不同清晰程度的简单可见光图片

Fig.5 Different clarity simple visible images

图 5 中第四幅图片最清晰,由实验结果可知,方差法和文中方法均满足无偏性,但是方差法对图像的清晰度变化不敏感、相邻像素灰度方差法不满足灵敏性和无偏性,而文中方法有单峰性、较高的灵敏性和较好的无偏性。

归一化后的仿真结果如图 6 所示。

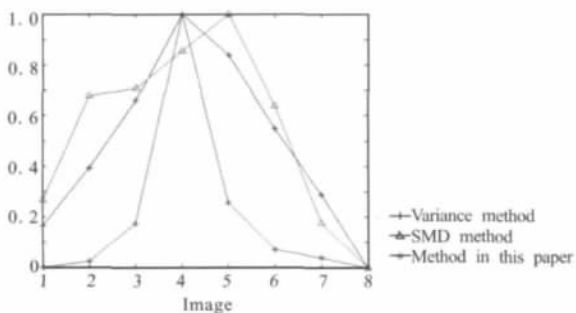


图 6 实验结果对比图

Fig.6 Comparison result

为使研究具有一般性,下面对一复杂的可见光图像序列采用上述 3 种方法进行比较,如图 7 所示。

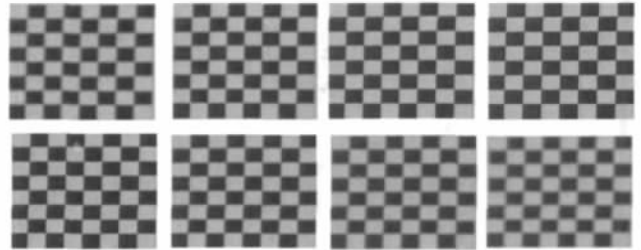


图 7 不同清晰程度的复杂可见光图片

Fig.7 Different clarity complicated visible images

图 8 中第四幅图片最清晰的,由实验结果可知:方差法不满足无偏性,且其灵敏性也不够好,SMD 法和文中方法均满足无偏性,且具有较强的灵敏性和较好的单峰性。

归一化后的仿真结果如图 8 所示。

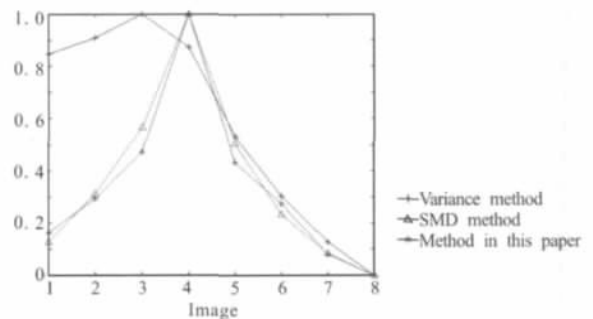


图 8 实验结果对比图

Fig.8 Comparison result

以上两组图像为散焦模糊图像,下面对运动模糊图像用文中的评价方法进行评价,图 9 为运动模糊图像,第四幅是原始图像,其他均为水平运动方向上不

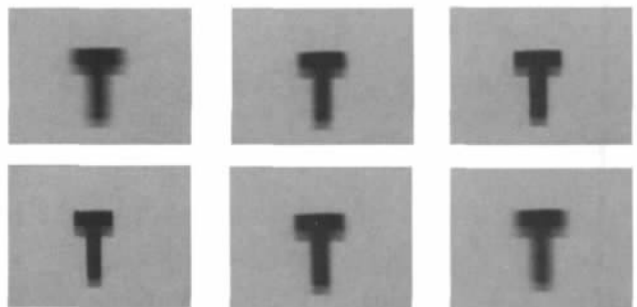


图 9 运动模糊图像

Fig.9 Motion blurred images

同模糊距离的图像,已知从第一到第四幅图像模糊度递减,第四到第六幅图像模糊度递增。

归一化后的仿真结果如图 10 所示。

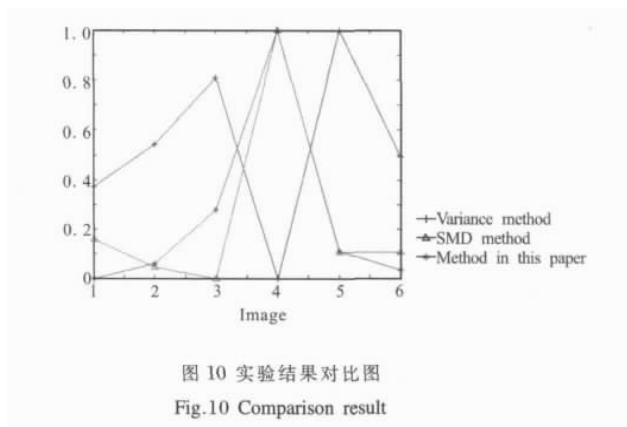


图 10 实验结果对比图
Fig.10 Comparison result

由上述实验结果可以看出:方差法不满足单峰性和无偏性,SMD 法不满足单调性和无偏性,而文中方法具有良好的单调性,满足无偏性和灵敏性。

3 结 论

综上所述,文中方法满足单调性和无偏性,具有较好的灵敏性,可用于图像清晰度自动判别,也为图像质量的评价提供了重要的参考。

参考文献:

- [1] ZHU Kong-feng,JIANG Wei,WANG Rui-fang, et al.New kind of clarity evaluation function of image [J].*Infrared and*

Laser Engineering (朱孔凤,姜威,王瑞芳.一种新的图像清晰度评价函数.红外激光与工程),2005,34(4):464-468.

- [2] YUAN Ke,XU Wei-hong.Assistant camera focusing system based on image definition evaluation [J].*Opto-Electronic Engineering* (袁珂,徐蔚鸿.基于图像清晰度评价的摄像头辅助调焦系统.光电工程),2006,33(1):141-144.
- [3] MARZILIANO P, DUFAUX F, WINKLER S.A no-reference perceptual blur metric[C]//*Proc of IEEE Int Conf Image Proc*, 2002:57-60.
- [4] CAVIEDES J,GURBUZ S.No-reference sharpness metric based onLocal edge Kurtosis[C]//*Proc of IEEE Int Conf Image Proc*,2002:61-64.
- [5] CHERN N K,Neow P A,ANG M H Jr,et al.Practical issues in pixel-based auto-focusing for machine vision [C]//*Proceedings of the 2001 IEEE,International Conference on Robotics and Automation*,2001:2791-2796.
- [6] WANG Xin,AN Zhi-yong,YANG Rui-ning.The research of CCD camera auto-focusing technology based on image definition criterion [J].*Journal of Changchun University of Science and Technology* (王欣,安志勇,杨瑞宁.基于图像清晰度评价函数的 CCD 摄像机自动调焦技术研究.长春理工大学学报),2008,31(01):11-14.
- [7] WANG Yong,TAN Yi-hua,TIAN Jin-wen.A new kind of sharpness-evaluation-function of image [J].*Journal of Wuhan University of Technology* (王勇,谭毅华,田金文.一种新的图像清晰度评价函数.武汉理工大学学报),2007,29(3):125-127.

《现代光学与光子学的进展》(第二集)获首届中国出版政府奖

《红外与激光工程》编辑部编辑,天津科学技术出版社出版的《现代光学与光子学的进展》(第二集)获得 2008 年首届中国出版政府奖科技类图书奖,这也是天津市唯一获此殊荣的科技类图书!

首届中国出版政府奖是国家新闻出版总署主办的全国性奖项,每 3 年评选一次,其前身为国家图书奖,是中国出版行业最高政府奖。

《现代光学与光子学的进展》(第二集)由中国科学院、中国工程院资深院士王大珩先生担任主编,邀请光科学界的 20 余位院士、专家撰稿,主要是关于现代光学与光子学领域的综述性文章,每篇文章自成体系,涵盖了现代光学与光子学涉及的主要研究领域,具有很高的权威性和指导意义,从出版到内容均是光学科学及光学普及和宣传工作的一个重要创新,是一部概述了我国光学发展历程和展望光学未来的承前启后之作!