

一种无参考运动模糊图像的质量评价方法

付 强, 孙秀霞, 彭 轲, 刘树光, 陶国文
(空军工程大学航空航天工程学院, 陕西 西安 710038)

摘 要:针对高动态环境下视觉导航系统的可靠性受到运动模糊制约,而现有的结构相似度算法(SSIM)对模糊图像评价不敏感的问题,提出了一种基于改进结构相似度的无参考运动模糊图像质量评价算法。首先,将原始运动模糊图像经过同运动方向的模糊算子生成再模糊图像;之后,将原始模糊图像与再模糊图像进行 8×8 分块,并在相应子块中找到边缘信息丰富的子块;然后,计算原始模糊图像和再模糊图像中对应边缘信息丰富子块的结构相似度;最后,通过边缘置信度对子块加权得到整幅图像的模糊评价指标。实验结果表明,此评价方法结果与主观评价结果具有较高的一致性,能够准确地对运动模糊图像进行评价。由于本方法能有效地优化边缘子块的权值,与传统的平均结构相似度(MSSIM)评价方法相比,具有更高的灵敏性。

关键词:无参考图像质量评价;结构相似度;图像边缘;加权;运动模糊

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2015.06.023

Evaluation method for non-reference motion blur image

FU Qiang, SUN Xiu-xia, PENG Ke, LIU Shu-guang, TAO Guo-wen

(School of Aeronautics and Astronautics Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: In order to solve the problem that the reliability of visual navigation is restricted by motion blur under high dynamic environment, a novel non-reference motion-blurred image quality assessment algorithm based on improved structural similarity is proposed. Firstly, the re-blurred image is produced by the original blurred image with the same blurred direction. Then two images are divided into 8×8 blocks, and find the edge block, and then structural similarity of corresponding edge blocks in original blurred image and re-blurred image. Finally the blur estimation of the blurred image is obtained by the different weights of the edge block's structural similarity index. The experimental results show that the proposed approach can obtain good performances, and the algorithm is more sensitive than traditional MSSIM algorithm.

Key words: no-reference image quality assessment; structural similarity; image edge; weighted; motion-blurred

1 引 言

相机在高动态环境下容易发生摇晃和振动,导致所观测到的场景图像发生不同程度的运动模糊,这将严重危害视觉导航系统的精确度。对运动模糊图像进行准确评价,既可以对符合要求的图像进行特征提取等加以充分利用,又便于及时对不符合要

求的图像进行复原处理^[1-2]。依赖原始清晰参考图像的大小,将图像质量评价方法分为全参考、部分参考和无参考3种类型。由于无参考图像评价方法没有清晰图像作为参考,在图像质量评价要求比较高的领域还有待增强,然而在许多实际的应用场合中,原始清晰参考图像又都无法得到。因此,建立有效

基金项目:中国博士后科学基金(No. 2014M562629);陕西省自然科学基金项目(No. 2013JM8332)资助。

作者简介:付 强(1990-),男,硕士研究生,主研领域方向为视觉图像处理。E-mail: fuqiang931@126.com

收稿日期:2015-01-21; **修订日期:**2015-02-11

地无参考运动模糊图像质量评价算法具有十分重要的意义。

文献[3]提出一种基于结构信息提取的图像质量评价方法——结构相似度(SSIM),但是进行评价时需要原始清晰参考图像,而且没有考虑到待评价图像的边缘信息,提出的算法在评价模糊图像时不敏感。基于SSIM的图像质量评价体系又出现了许多改进方法,文献[4]提出了基于边缘和梯度的相似度评价方法,这些方法优于SSIM评价方法,但是算法较复杂,运行速度慢,而且只对于模糊图像进行评价有较好的准确度,对其他失真图像进行评价的准确度并不好。还有许多文献评价图像时进行变换^[5],但其计算量大,不易于实时应用。

因此,本文针对高动态环境下视觉导航系统的可靠性受到运动模糊制约,而现有的结构相似度算法对模糊图像评价不敏感的问题,首先分析导致图像产生运动模糊的原因,在SSIM评价方法的基础上加入由于运动带来图像模糊失真的考量,为待评价图像构造参考图像,提出了一种基于改进结构相似度的无参考运动模糊图像质量评价算法。

2 图像产生运动模糊的原因

一般情况下,图像的退化是由系统退化和系统噪声共同作用导致的,图像退化模型可表示为:

$$y = x \otimes k + w \quad (1)$$

其中, y 为模糊图像; x 为原始清晰图像; k 为模糊核; w 为加性噪声。

相机做不同的运动会造成成像出现不同的运动模糊,主要分为匀速直线运动和非匀速直线运动,在相机曝光时间相对较短时,就能够将其他类型的运动模糊近似看作匀速直线运动模糊^[6]。因此,本文考虑的是匀速直线运动造成图像模糊,点扩散函数 k 的一般表达式为:

$$k = \begin{cases} \frac{1}{L}, \sqrt{x^2 + y^2} \leq \frac{L}{2} \text{ 且 } \frac{x}{y} = -\tan\theta \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (2)$$

其中, L 表示在曝光时间内相机的镜头与目标之间相对运动的大小; θ 表示在曝光时间内相机的镜头与目标之间相对运动的方向,它们是运动模糊图像的重要参数。

3 SSIM 评价指标

Z. Wang 等人^[3]提出了基于结构相似度的图像质量评价方法,通过比较原始清晰参考图像和待评

价图像以得到评价指标。

亮度测量比较定义为:

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (3)$$

对比度测量比较定义为:

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (4)$$

结构信息测量比较定义为:

$$s(x, y) = \frac{2\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (5)$$

组成的评价指标模型为:

$$\text{SSIM}(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \quad (6)$$

其中, μ_x, μ_y 表示像素点值的平均亮度; σ_x, σ_y 表示标准差; σ_{xy} 表示协方差;参数 α, β, γ 用来调整三个函数的比重大小; C_1, C_2, C_3 是防止分母等于零而增加的小常数。一般情况下,取 $\alpha = \beta = \gamma = 1$, $C_3 = C_2/2$,式(6)可以简化为:

$$\text{SSIM}(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (7)$$

从式(5)可以看出, $s(x, y)$ 求的是参考图像子块和待评价图像子块像素的相关系数大小,没有对边缘轮廓的相关性做判断,而模糊图像主要影响图像的边缘和轮廓信息,所以SSIM对模糊图像的评估不准确^[4]。

4 图像边缘置信度

由于相机振动等现象导致图像产生运动模糊时,模糊效应会在真实的边缘信息周围产生许多伪边缘信息,进行图像质量评价时必须正确有效地划分出真边缘和伪边缘,为此,从边缘真伪的角度引入边缘置信度。

首先将一幅图像划分为不重叠的一些小块,然后计算其中的邻域标准差,邻域标准差定义为去掉邻域内的最大灰度和最小灰度后剩余像素的标准差:

$$\sigma_{i,j} = \sqrt{\frac{1}{k^2 - 2} \sum_{\substack{I(x,y) \in Iw_{i,j} \\ I(x,y) \neq \max(Iw_{i,j}) \\ I(x,y) \neq \min(Iw_{i,j})}} (I(x, y) - \mu_{i,j})^2} \quad (8)$$

其中, $\mu_{i,j}$ 为子块中除去最大最小灰度后余下像素的平均值。

边缘的真实性可以由邻域标准差的大小说明,局部区域内的灰度变化大,可靠性高;邻域标准差

小,可靠性差。因此,标准差小的使之更小,大的使之更大,得到更加合理的加权系数以更好地评价图像质量。

5 无参考评价方法设计

无参考评价方法设计的关键在于如何获得一幅图像,它可以取代原始清晰参考图像的位置,与待评价图像进行对比从而得到评价价值。文献[4]提出用低通滤波器对待评价图像进行滤波,得到一个重新模糊图像,通过对比图像滤波前后图像最终得到模糊值;文献[7]提出先对待评价图像添加噪声,再将待评价图像与消噪图像进行比较得到模糊值。本文对于模糊图像的测量主要关注运动模糊,用再模糊的运动位移参数取代一般再模糊处理中的低通滤波器构造参考图像,运动模糊图像与再模糊图像越相似说明模糊程度越大。因此,基于改进结构相似度的无参考运动模糊图像质量评价算法的具体运算步骤如下:

步骤 1:对待评价模糊图像 X 进行再运动模糊,得到参考再模糊图像 Y ;

步骤 2:对待评价模糊图像 X 和再模糊图像 Y 分别进行 8×8 分块,通过 Canny 边缘检测后得到 N 个边缘信息丰富的边缘子块;

步骤 3:根据式(7)计算每个边缘子块的结构相似度质量评价指标;

步骤 4:通过置信度加权每个边缘子块的评价指标得到最终的评价指标 WSSIM。

$$WSSIM(X, Y) = \sum_{i=1}^N b_i SSIM(X_i, Y_i) \quad (9)$$

6 仿真结果与分析

为了验证本文方法的正确性和有效性,通过两个实验进行验证,分别选取标准图像中的 Lena 和实拍跑道图像,对其模糊处理得到测试图像。本文假定图像模糊只发生在 45° 的方向,对于其他任意方向,检测出运动模糊方向后,将图像旋转至该方向即可。

6.1 有效性验证

本节用标准 Lena 图像对本文算法与 PSNR 算法、SSIM 算法进行比较,以验证本文提出评价方法的有效性。

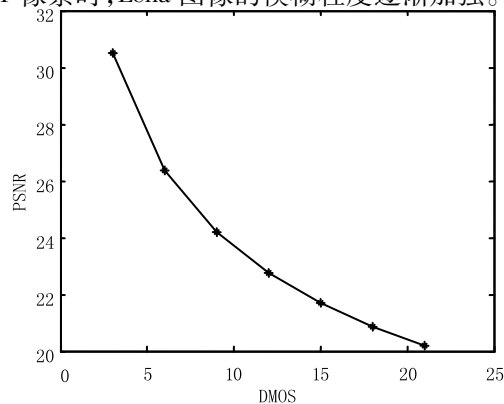
首先选取不同运动大小参数的运动模糊 Lena 图像得到主观评价价值(DMOS),模糊长度为依次从 3 像素增加到 21 像素,模糊方向为 45° ,利用 Matlab 对原始清晰的 Lena 图像进行模糊处理生成运动模糊测试序列图,如图 1 所示。



图 1 不同运动模糊大小的标准 Lena 图像

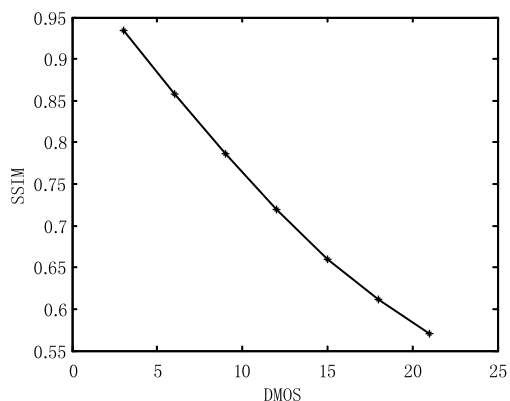
Fig. 1 Lena images with different motion blur size

从图 1 可以看出,模糊长度依次从 3 像素增加到 21 像素时,Lena 图像的模糊程度逐渐加强。

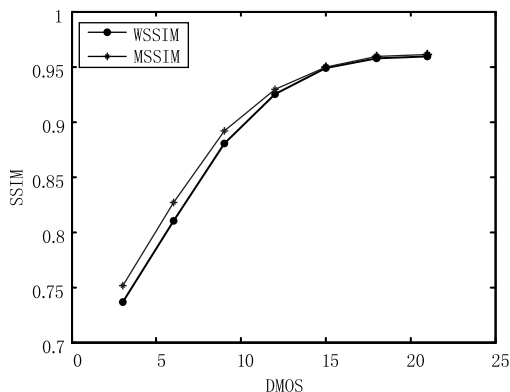


(a) 全参考评价时PSNR评价结果

(a) Full reference evaluation results of PSNR



(b) 全参考评价时SSIM评价结果
(b) Full reference evaluation results of SSIM



(c) 无参考评价时SSIM评价结果
(c) No-reference evaluation results of SSIM

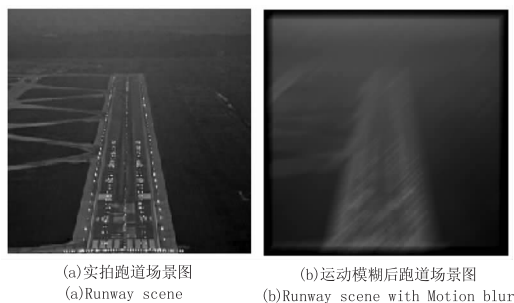
图2 不同方法的模糊度评价指标

Fig. 2 Evaluation index of different methods

从图2(a)(b)可以看出 Lena 模糊图像有清晰参考图像时的评价结果,RSNR 和 SSIM 随着运动模糊的增加出现斜率减小,无参考评价 SSIM 曲线斜率同样有所减小,这是符合实际情况的。对比无参考图像情况下的结果,通过数据比较可以看出本文算法比 MSSIM 算法一致性高,评定效果更优越。从图2(c)的客观评价得分还可以看出,总体上来讲,本文评价方法 WSSIM 能够及时地映射出图像清晰度的变化,准确地度量所采集运动模糊图像的模糊度递增的趋势。因此,本文采用的客观评价准则,其评价得分与图像的客观质量和人类的主观感受保持了良好的一致性。

6.2 灵敏度验证

为了进一步验证本文评价方法对运动模糊图像的有效性,采用含噪声的机场跑道模糊场景图像进行实验,如图3所示。模糊长度依次从3像素增加到30像素,模糊方向为 45° ,生成运动模糊测试序列图。用 MSSIM 算法以及本文算法在不同再模糊参数下得到评价数据并进行对比,结果如图4所示。

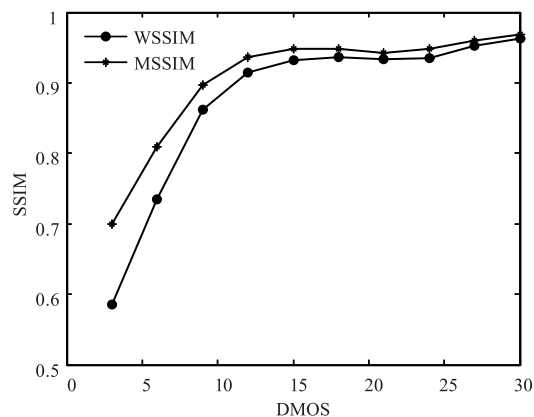


(a)实拍跑道场景图
(a) Runway scene
(b)运动模糊后跑道场景图
(b) Runway scene with Motion blur

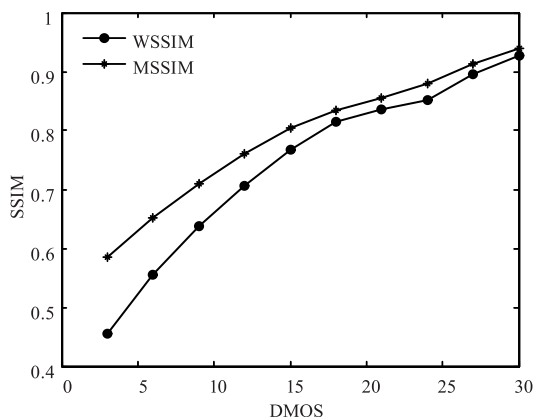
图3 运动模糊图像示例

(运动位移为30像素,运动角度为 45°)

Fig. 3 Airport runway scene image (the length of movement is 30 pixels, the angle is 45°)



(a) 运动再模糊大小参数为15像素
(a) Movement parameter is 15 pixels



(b) 运动再模糊大小参数为30像素
(b) Movement parameter is 30 pixels

图4 不同再模糊参数的模糊度评价指标

Fig. 4 Evaluation index with different parameters

通过数据比较可以看出,再模糊参数比较大时, MSSIM 和本文方法都能较好地评价出运动模糊的程度,但在构造再模糊图像运动参数比较小的时候,评价初始运动模糊参数大小为15像素到24像素的跑道图像时, MSSIM 评价指标结果不增反减,本文方法虽然增幅减小,但也始终保持增加的趋势,具体数据如表1所示。因此,本文算法更能够保证评价的准确性,评定效果相较更灵敏,进一步验证了其有效性。

表 1 运动再模糊大小为 15 像素的模糊度评价指标

Tab. 1 Evaluation index when the motion-blur parameter is 15 pixels

DMOS	15	18	21	24
MSSIM	0.9484	0.9475	0.9428	0.9475
WSSIM	0.9326	0.9332	0.9335	0.9345

7 结 语

针对高动态环境下视觉导航中的图像容易出现运动模糊且不容易获得实时的清晰参考图像,本文提出了一种基于改进结构相似度的无参考运动模糊图像质量评价方法。实验表明,本文提出的方法具有较好的有效性和一致性,同时较好地提高了无参考 MSSIM 评价运动模糊图像时的灵敏性。

参考文献:

- [1] CHEN Xiaoming, YAN Jinglong, LI yujue, et al. Infrared image de-noising based on redundant DWT[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(03): 265 – 271. (in Chinese)
陈小明, 颜景龙, 李玉珏, 等. 基于信息冗余的小波红外图像去噪算法[J]. 激光与红外, 2013, 43(03): 265 – 271.
- [2] BI Duyan, GE Yuan, LI Quanhe, et al. A research on de-fogging methods with single image[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2013, 14(6): 46 – 53. (in Chinese)
毕笃彦, 葛渊, 李权合, 等. 单幅图像去雾方法研究[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2013, 14(6): 46 – 53.
- [3] 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 – 613.
- [4] SANG Qingbing, SU Yuanyuan, LI Chaofeng, et al. No-reference blur image quality assessment based on gradient similarity[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2013, 24(3): 573 – 577. (in Chinese)
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, 2013, 24(3): 573 – 577.
- [5] WANG Feng, MENG Fankun, WAN Fangjie, et al. No-reference image quality assessment based on gradient structural similarity in contourlet domain[J]. Journal of Information Engineering University, 2014, 15(1): 80 – 84. (in Chinese)
王锋, 孟凡坤, 万方杰, 等. 基于 Contourlet 域梯度结构相似度的无参考图像质量评价[J]. 信息工程大学学报, 2014, 15(1): 80 – 84.
- [6] ZHANG Yujin. Image engineering[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001. (in Chinese)
章毓晋. 图像工程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [7] PANG Lulu, LI Congli, LUO Jun. Image quality assessment method based on TV and SSIM[J]. Computer Engineering, 2012, 38(3): 215 – 217. (in Chinese)
庞璐璐, 李从利, 罗军. 基于 TV 与 SSIM 的图像质量评价方法[J]. 计算机工程, 2012, 38(3): 215 – 217.