

大气湍流退化图像过渡区域细化算法

孙李辉^{1,2}, 李俊山², 张仲敏^{2,3}, 卢美玲¹

(1. 中国人民解放军96646部队, 陕西 汉中 713500; 2. 第二炮兵工程大学402教研室, 西安 710025;
3. 西安通信学院, 西安 710036)

摘要: 针对气动光学效应以及噪声等先验信息不明带来的图像模糊退化, 从而使图像过渡区域不易进行细化的问题, 提出了一种大气湍流退化图像的过渡区域提取及细化算法。首先, 对退化图像进行了基于局部方差的区域分割; 然后, 对过渡区域进行噪声疑似度和边缘疑似度判断, 以获得更贴近区域中心线的较窄区域; 最后, 进一步对过渡区域跟踪细化完成了轮廓提取。大量仿真实验结果表明, 算法较好地提取了退化图像的轮廓信息, 同时, 算法具有较好的区域分割效果、抗噪性能、细化效果以及实时性。

关键词: 图像处理; 气动光学效应; 过渡区域; 区域分割; 跟踪细化; 实时性

中图分类号: V271.4; TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)09-0014-04

Refinement Algorithm of Edge Transitional Region for Turbulence Degraded Image

SUN Lihui^{1,2}, LI Junshan², ZHANG Zhongmin^{2,3}, LU Meiling¹

(1. No. 96646 Unit of PLA, Hanzhong 713500, China; 2. Staffroom 402, The Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China; 3. Xi'an Communication Institute, Xi'an 710036, China)

Abstract: It is difficult to refine edge transitional region for aero-optical degraded images due to aero-optical effects and unknown of transcendental message. To solve the problem, we proposed an extracting and refining algorithm of edge transitional region for turbulence degraded images. Firstly, adaptive region segmentation based on local variance was made to get edge transitional region. Secondly, similar degree of noise and similar degree of edge were calculated for obtaining the narrow region close to heartland of edge transitional region. At last, track refining to edge transitional region was implemented and the edge contour was extracted. The simulation result indicates that this algorithm, which can extract well the contour message of turbulence degraded images, has fine performance on region segmentation, denoising, refining and real-time capability.

Key words: image processing; aero-optical effect; edge transitional region; region segmentation; track refining; real-time performance

0 引言

气动模糊退化图像中, 先验信息的未知给图像的复原处理带来很大困难。很多学者致力于研究基于图像某种不变特征(如边缘的盲复原方法), 但存在的问题是, 气动光学效应以及噪声等多种因素的影响使

得退化图像的边缘区域往往带有一定程度的模糊和畸变, 在图像中表现为灰度变化剧烈频繁并且包含丰富的高频分量以及吉布斯效应和振铃效应等伪像问题^[1-5], 在这种情况下进行边缘的提取十分困难。

现有的边缘提取算法因大气湍流退化图像的特殊性不能很好地适应实际的需要。例如, 文献[6]提出利用局部模糊方差区分过渡区与背景区的差异构造过渡区, 在此基础上通过多阈值的选择方法实现了图像区域分割, 将之应用于气动退化图像分割处理后发现, 尽管鲁棒性较好, 但分割效果一般, 多阈值造成运行时间较长; 文献[7]采用统计图像局部复杂度的方法准

收稿日期: 2012-10-29

修回日期: 2012-11-13

基金项目: 国家自然科学基金项目“超声速飞行器气动光学效应红外图像复原理论与方法研究”(61175120)

作者简介: 孙李辉(1984—), 男, 河南洛阳人, 博士生, 研究方向为智能图像处理和气动退化图像复原处理。

确提取图像的过渡区,处理后的退化图像边缘细节保持比较好,缺陷是算法受灰度级别变化剧烈程度的影响严重,不适用于较模糊退化图像的边缘提取;文献[8]提出了一种基于 sheralet 方法的边缘分析和检测方法,仿真结果表明,算法对于模糊程度较轻的退化图像处理效果较好,对于严重模糊的图像处理效果欠佳。

现在成熟的边缘区域细化算法,例如串行细化和并行细化算法以及在此基础上改进的细化算法,由于没有考虑过渡区域中粘连的部分目标区域和背景区域,在进行细化处理时没能克服图像模糊造成的像素畸变,最终很难得到细化到一定程度的区域轮廓^[9-10]。

在总结国内外已有研究成果的基础上,基于已有算法没有实现分割阈值的自适应,以及不适用于严重模糊图像分割处理的问题,提出了一种气动退化图像自适应窗口区域分割及细化算法。首先,使用基于局部方差的区域分割算法提取退化图像的过渡区域,然后,进行噪声疑似度和边缘疑似度判断获取紧邻边缘中心线的过渡区域,之后,通过跟踪细化完成了过渡区域的细化处理,获得了连续较窄的过渡区域,实验结果验证了方法的有效性。

1 区域分割

已有的过渡区域确定方法中有一个默认的前提,即认为过渡区域所在的图像区域是整幅图像中灰度变化最为剧烈的区域。虽然噪声会一定程度上改变灰度级的变化频率,但是对灰度级分布的集中程度没有很大的改变,局部方差能很好地区分这种灰度级分布的集中程度。同时研究发现,人眼对于模糊图像的视觉感受,即使图像存在散焦模糊或其他模糊和噪声污染,也能区分大致轮廓,其根本原因是图像边缘的像素与非边缘处的像素邻域信息存在较大的差异^[11]。据此,根据图像局部方差大小设计了大气湍流退化图像自适应窗口区域分割算法。具体实现过程如下所述。

1) 计算退化图像 $g(i,j)$ 处的局部方差 $\sigma_g^2(i,j)$ 。

$$\sigma_g^2(i,j) = \frac{1}{(2K+1)(2L+1)} \cdot \sum_{k=-p}^{k=p} \sum_{l=-l}^{l=L} [g(i+k,j+l) - \mu_g(i,j)]^2 \quad (1)$$

式中, $\mu_g(i,j)$ 为局部均值, $\mu_g(i,j) = \frac{1}{(2K+1)(2L+1)} \cdot$

$\sum_{k=-p}^{k=p} \sum_{l=-l}^{l=L} g(i+k,j+l)$ 。计算局部方差使用的窗口设定为 $K=L=w$, w 为下文细化后过渡区域平均宽度向上取整,即 $w = [\bar{w}_2]$ 。记 $\sigma_{g,\max}^2$ 为局部方差的最大值 $\sigma_{g,\max}^2 = \max\{\sigma_g^2(i,j)\}$ 。

2) 选取阈值 T ,按以下条件对模糊图像进行

分区。

$$\begin{cases} \sigma_g^2(i,j) > T\sigma_{g,\max}^2, & g(i,j) \text{ 为边缘区} \\ \sigma_g^2(i,j) \leq T\sigma_{g,\max}^2, & g(i,j) \text{ 为平坦区} \end{cases} \quad (2)$$

阈值 T 与图像边缘特征丰富程度有关,图像边缘特征越丰富, T 取值越大;反之, T 取值越小。大量实验后发现, T 的取值范围是 0.257 ~ 0.543。

2 噪声点和伪边缘点去除

受噪声和气动光学效应的影响,退化图像的过渡区域难免存在噪声和伪边缘点。噪声和图像过渡区域点的性质相似,都是灰度发生突变的地方,因此很难直接进行噪声的去除,并且受噪声污染的图像更易导致边缘的错误定位。过渡区域是从背景到目标的过渡,此处的灰度值变化剧烈,像素普遍具有较大的梯度值,像素之间存在较强相关性,具有一定的约束关系。为进一步细化过渡区域图像的灰度层次,设计了噪声点检测去除和伪边缘检测去除环节。

噪声点检测方法是:以垂直过渡区域外边缘切线方向像素数量定义过渡区域宽度,以过渡区域当前跟踪点为中心,以当前点所处过渡区域宽度 w 为长度取 $w \times w$ 的邻域,计算统计量 β_{ij} 为

$$\beta_{ij} = |x_{ij} - \bar{x}| \quad (3)$$

式中, \bar{x} 为邻域均值。统计邻域内每个像素点的统计量 $\beta_{ij} > TH$ 的个数 N , 阈值 $TH = \frac{3\bar{x}}{2w}$ 。如果 $N \geq \frac{1}{2}w_2$, 则确定该点被噪声污染,该点像素值用除该点外的邻域均值代替。阈值设计的好处是可以随过渡区域宽度调节大小。过渡区域较窄时,阈值 TH 较大,满足式(3)的点数 N 较少,避免将真实边缘点错检为噪声点;过渡区域较宽时,阈值 TH 较小,满足式(3)的点数 N 较多,确保正确检测噪声点,避免漏检。

边缘疑似度的计算规则是:以垂直过渡区域外边缘切线方向像素数量定义过渡区域宽度,以过渡区域当前跟踪点为中心,以当前点所处边缘区域宽度 W 为长度取 $w \times w$ 的邻域,统计邻域中位于过渡区域内的邻域点数 m (切线与过渡区域之间部分像素点均认为属于过渡区域),然后按照设计的式(4)进行边缘疑似度判断。实验后确定, $W_1 = \frac{1}{m} \bar{x}$, $W_2 = \frac{3m+1}{m} \bar{x}$, $0 < m < w_2$ 。大量实验后发现,这样设计阈值的好处是:越靠近边缘中心线附近的点的 m 值越大,从而边缘疑似度 δ_{ij} 越大,该点可以被最大程度地保留。

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0, & x_{ij} \leq W_1 \text{ 或 } x_{ij} \geq W_2 \\ \frac{x_{ij} - W_1}{W_2 - W_1}, & W_1 < x_{ij} < W_2 \end{cases} \quad (4)$$

如果边缘疑似度低于 0.4, 认定该点不属于过渡区域点, 将该点排除出过渡区域, 该点像素值用该点 $w \times w$ 邻域内非过渡区域像素点的均值代替。

对过渡区域进行噪声点去除后可以减轻过渡区域受噪声污染的程度, 避免或减少后续伪边缘点去除的误判断, 提高算法的抗噪性。对过渡区域进行伪边缘点去除, 可以尽可能地保留属于过渡区域的点, 最大程度地定位过渡区域轮廓, 减少后续细化和边缘连接的复杂度。图 1 所示是一帧添加方差为 0.15 混合高斯噪声情况下, 使用仿真软件生成的气动退化图像区域分割和疑似度判断后的结果。所有图像展示时已做适度拉伸。

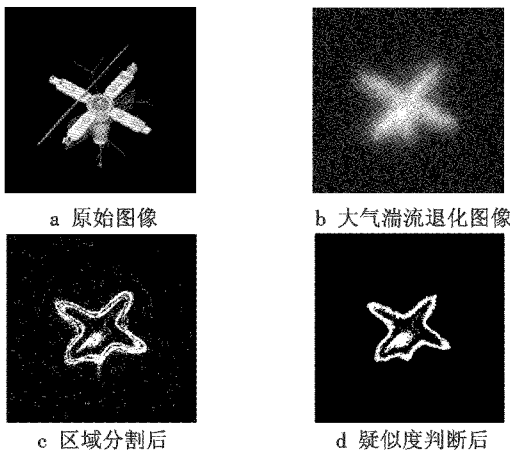


图 1 区域分割和疑似度判断后结果图像

Fig. 1 The result images after region segmentation and similar degree disposal

3 过渡区域二次跟踪细化

去除噪声和伪边缘之后的过渡区域宽度变窄了, 并且基本保留了区域中心线的走向和端点, 但是受噪声和图像退化模糊的影响, 上述处理会产生大量短边、断边和孤立点, 因此必须进行细化处理。据此设计了改进的过渡区域细化算法, 算法具体实现步骤如下所述。

1) 对过渡区域进行噪声疑似度和边缘疑似度判断。

2) 循环进行噪声检测去除和伪边缘检测去除。测量过渡区域宽度, 使过渡区域宽度减少到合理范围内。考虑到退化图像模糊程度不同、振铃效应影响以及过渡区域像素的灰度相关性, 以垂直边缘切线方向像素数量定义过渡区域宽度, 取垂直过渡区域外边缘上某点切线方向向内边缘方向的 n 个像素宽度构成一个小样本, 统计样本方差。每次循环计算样本方差, 取样本方差最小时的 n 值为最佳宽度, 反馈调节阈值分割环节窗口值 w , 算法循环次数控制在 10 次以内。

3) 对噪声和伪边缘去除之后的图像进行二值化,

将边缘区域点重新标定为 1, 其余点标定为 0。

4) 对二值图像按照从上到下、从左到右的顺序进行搜索, 得到的第一个点作为跟踪的起点, 设当前点为 p , 记录下 p 点的空间位置。

5) 以顺时针方向对 p 点的 8 个邻域进行检测, 并进行过渡区域点类型判断, 确定当前点的类型^[12]。端点保留不进行任何处理, 对分叉点进行轮廓方向搜索, 断点进行边缘连接处理, 孤立点直接删除, 之后寻找新的当前点。

6) 根据相邻边缘点具有一定的方向性, 判断当前点中角度与 p 点的角度最接近的点作为新的当前点, 记录下该点的空间位置, 接着执行步骤 5), 进行边缘点类型判断。

7) 如果在 8 邻域中找不到符合条件的点, 说明边缘中断, 判断与边缘走向垂直的方向是否有局部峰值。如果有, 表示是弱边缘点, 设为新的点 p , 接着执行步骤 3); 如果没有, 则该条边缘跟踪结束。

8) 转步骤 4), 对过渡区域进行二次跟踪细化。

4 仿真实验及算法性能分析

4.1 实验结果和数据

为了验证算法的有效性, 分别在不同噪声条件下使用文献[6-8]的分割方法, 以及本文分割算法采集了大量气动退化图像进行了仿真实验, 并对几种算法的分割结果使用文中细化算法进行细化处理, 以验证细化算法对于不同分割算法的普适性。使用峰值信噪比 PSNR、算法运行时间 t 来衡量几种算法的抗噪性和实时性, 使用细化前后过渡区域平均宽度 (\bar{w}_1/\bar{w}_2) 来衡量本文算法的细化效果。图 2 为添加方差 0.15 混合高斯噪声情况下的实验结果, 图像展示时已做适度拉伸处理, 图 3 为几种算法的性能参数曲线。

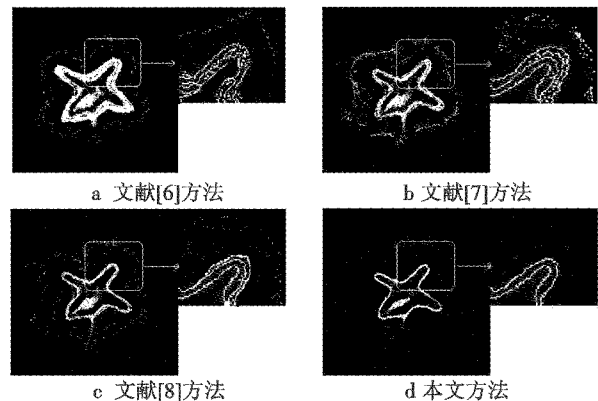


图 2 几种分割算法的整体结果图像及局部细化结果图像

Fig. 2 The whole result images of several segmentation algorithms and corresponding local refining results

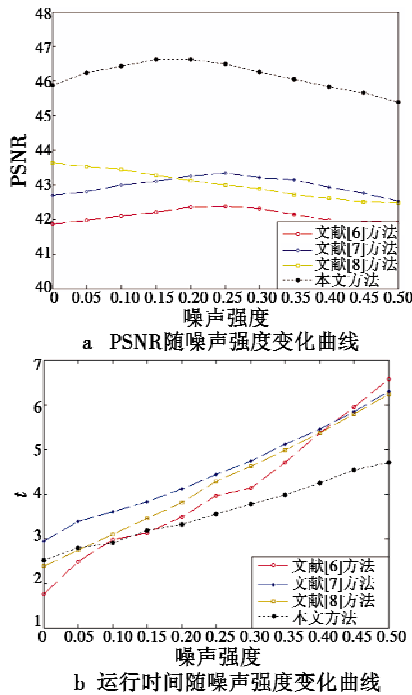


图3 不同噪声条件下几种算法的性能参数曲线

Fig.3 Capability parameter Curves of several algorithms under different noise intensities

表1给出了不同噪声强度下,本文算法处理前后过渡区域平均宽度。过渡区域平均宽度的计算方法是,以像素为单位,统计垂直过渡区域切线方向像素数量的平均值。

表1 不同噪声强度下本文方法细化前后过渡区域平均宽度

Table 1 The average width of transitional region before and after refining with the proposed algorithm

方差	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
\bar{w}_1	4.83	5.31	5.63	5.86	6.01	6.22	6.40	6.63	6.87
\bar{w}_2	2.86	2.97	3.14	3.32	3.55	3.62	3.72	3.80	3.91

4.2 实验结果分析

从实验结果图像中可以看到,本文区域分割算法得到的过渡区域相比其他算法得到的宽度较窄,细化后的过渡区域宽度改善明显,并且区域边界线连续清晰,过渡区域紧贴边缘中心线,没有发生大的偏移。从实验数据中可以看到,同等噪声条件下本文算法的PSNR、 t 都优于其他算法,并且随着噪声强度的增加,本文算法的PSNR相比其他算法均保持了较高的改善量(高出2 dB)。同时,本文算法的运行时间 t 的增加量相比其他算法较少,从而也说明算法的鲁棒性较好。从表1可以看到,细化前后过渡区域宽度改善量明显,随着噪声强度增加,细化后的过渡区域宽度依然很窄,从而也说明细化算法具有较好鲁棒性。

5 结论

在对大气湍流退化图像进行区域分割提取过渡区域的基础上,使用基于局部方差的分割方法获取退化图像的过渡区域;考虑到退化图像的部分多余区域粘连以及噪声的影响,设计了噪声疑似度和边缘疑似度判断环节;为了去除断边短边、孤立点分叉点,克服图像局部畸变,设计了改进的跟踪细化算法,最终得到了细化连续较窄的过渡区域轮廓。算法实时性和抗噪性都较好。继续将细化后的退化图像应用于图像复原处理中是下一步的研究方向。

参考文献

- [1] TOUMI A, RECHID N, TALED-AHMED A, et al. Two ways of use of the PSO for degraded image restoration [J]. Journal of Communication and Computer, 2011, 8:436-442.
- [2] WYCKHAM C M, SMITS A J. Aero-optic distortion in transonic and hypersonic turbulent boundary layers [J]. AIAA Journal, 2009, 47(9):2158-2168.
- [3] 杨文霞,蔡超,丁明跃,等. 气动光学效应分析与气动模糊图像复原[J]. 光学学报,2009,29(2):347-352.
- [4] WHITE M D. High-order parabolic beam approximation for aero-optics [J]. Journal of Computational Physics, 2010, 229(15):5465-5485.
- [5] MANI A, WANG M, MOIN P. Resolution requirements for aero-optical simulations [J]. Journal of Computational Physics, 2008, 227(21):9008-9020.
- [6] 田岩,刘继军,谢玉波,等. 基于局部模糊方差的过渡区提取及图像分割[J]. 红外与毫米波学报,2007,26(5):386-389.
- [7] 冯涛,周祖安,刘其真. 基于局部复杂度的图像过渡区处理研究[J]. 中国图象图形学报,2008,13(10):1894-1897.
- [8] YI S, LABATE D, EASLEY G R, et al. A shearlet approach to edge analysis and detection [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(5):929-941.
- [9] 卞维新,徐德琴. 指纹图像细化的复合式算法[J]. 中国图象图形学报,2011,16(6):1015-1020.
- [10] FU Shujun, ZHANG Caining, TAI Xuechen. Image denoising and deblurring: Non-convex regularization, inverse diffusion and shock filter [J]. Science China, 2011, 54(6):1184-1198.
- [11] 刘洋,王昊京,田小建,等. 采用区域分割的变尺寸样本块高效图像修复[J]. 光学精密工程,2010,18(12):2656-2664.
- [12] 吴俊芳,刘桂雄. 图像边缘过渡区的数学表征方法研究[J]. 仪器仪表学报,2010,31(8s):55-60.