

文章编号: 1001 - 9014 (2009) 06 - 0472 - 04

基于支持向量机的湍流退化图像加速复原算法

黎明¹, 杨杰²

(1. 上海电机学院 电子信息学院, 上海 200240; 2 上海交通大学 图像处理与模式识别研究所, 上海 200240)

摘要: 由于湍流图像的退化原因十分复杂, 现有图像复原算法很难在复原效率和复原质量间达到很好的平衡, 为此提出了一种基于支持向量机的湍流退化图像加速复原算法. 该算法通过设置方差阈值进行样本选择, 舍弃了冗余信息, 提高了样本质量; 同时, 对序列图像进行实时模型更新, 加快了序列图像的复原速度. 针对电弧风洞图像, 将加速复原算法和原算法进行了比较. 实验结果表明, 加速算法的复原速度更快, 复原效果也更好, 它可以有效地解决湍流退化给图像带来的噪声和能量衰减问题, 并能很好地校正湍流效应引起的模糊和抖动现象.

关键词: 图像复原; 湍流; 支持向量机

中图分类号: TP391. 41 **文献标识码:** A

MAGE ACCELERATION RESTORATION ALGORITHM FOR TURBULENCE-DEGRADED IMAGES BASED ON SUPPORT VECTOR MACHINE

LIMing¹, YANG Jie²

(1. School of Electronics & Information, Shanghai Dian Ji University, Shanghai 200240, China;

2. Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiao Tong University,
Shanghai 200240, China)

Abstract: Because of the complicated mechanisms of atmospheric turbulence, it is difficult for existing image restoration algorithms to achieve a good balance between restoration efficiency and quality. A technique for the acceleration of support vector machine based image restoration algorithm was presented to solve this problem. In this algorithm, variance threshold was applied to assist sample selection. Since redundant information was discarded by means of the sample selection algorithm, training samples became more effective. Meanwhile, a real-time model updating algorithm was applied to speed up the restoration rate of serial images. Comparisons of the acceleration method with the previously proposed restoration algorithm on electric arc wind-tunnel images were provided. Experimental results show that the proposed acceleration method runs faster and performs better. It can effectively restore the turbulence-degraded images from strong noise, energy attenuation, blur and jitter.

Key words: image restoration; turbulence; support vector machine

引言

当载有光学成像探测制导系统的高速飞行器在大气层中飞行时, 高速来流与光学头罩间会形成复杂流场, 对光学成像探测制导系统造成气动热、热辐射及气动光学传输干扰, 从而致使获得的图像发生严重退化, 产生局部或全局位移、模糊和抖动现象^[1]. 退化图像严重影响飞行器的目标检测与跟踪定位, 因此国内外开展了大量的湍流退化图像的复

原研究工作^[2~5]. 然而现有算法多基于空域、频域滤波及迭代运算. 滤波算法对于有损压缩图像的复原较为有效, 但是湍流退化不同于图像压缩, 因此应用滤波算法的复原效果往往不是很好. 迭代复原算法只需少量先验知识即可进行复原, 其复原效果也往往好于滤波算法, 但是由于需要进行大量计算, 效率通常不高. 文献 [2] 中提出了迭代技术的加速算法, 复原效率较以往有了较大提高. 作为现有复原方法的有益补充, 文献 [3] 提出了一种基于支持向量机

的复原算法,该算法通过深入分析湍流退化的机制,利用邻域像素的高度相关性,复原效果较好.本文对 [3] 中的算法进一步加以扩展,不仅复原效率大大提高,复原效果也有明显提升.本文的主要贡献为: a) 提出基于经验方差阈值的样本选择算法,提高样本质量的同时减小了所需样本的数量; b) 提出序列图像复原的模型更新算法,加快了序列图像的复原速度.

1 湍流退化模型

根据图像模糊的物理机制,它可分为三种类型^[6]:光学模糊、机械模糊和介质模糊.其中介质模糊也被称作大气模糊,由光线传播所需的介质发生散射或湍流引起.当发生大气模糊时,会对目标图像产生多种影响,如能量衰减、轮廓模糊、质心偏移等,从而严重影响目标检测、目标跟踪等图像处理算法.因此需要有效的图像复原算法来恢复大气模糊对图像造成的退化.

大气模糊通常可以近似成一个线性移不变系统^[1],其退化模型表示如下:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) \quad (1)$$

其中, $g(x, y)$ 表示湍流退化图像, $h(x, y)$ 表示点扩散函数, $f(x, y)$ 表示清晰图像. 因此只要估计出成像系统的点扩散函数,即可获得复原后的图像.

2 基于支持向量机的湍流退化图像复原算法

支持向量机^[7]是在统计学习理论上发展而来的新的机器学习算法,其原理是利用非线性映射将数据集映射到高维空间,从而使得低维线性不可分的数据在高维空间线性可分.支持向量机广泛用于分类和回归分析,具有训练样本少、泛化能力强等优点.文献 [3] 提出了一种基于支持向量回归的湍流退化图像复原算法,通过训练样本学习点扩散函数的网络模型,然后用于复原.该算法流程图如图 1 所示.

由图 1 可知,该算法为了使训练集包含足够多的图像特征,训练样本量通常较大,从而造成训练时间较长,同时样本中冗余信息较多.另外,该算法只研究了单帧图像的复原问题,没有涉及序列图像.而在湍流退化图像研究中,所研究对象多为图像序列或视频,因此有必要对该算法加以改进.

3 湍流退化图像复原的加速算法

3.1 基于方差阈值的样本选择算法

样本选择是机器学习至关重要的环节,好的样

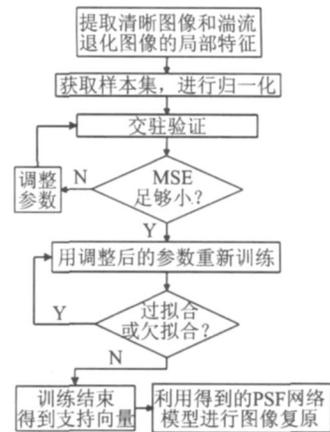


图 1 基于支持向量机的湍流退化图像复原算法
Fig. 1 Support vector machine based image restoration algorithm for turbulence-degraded images

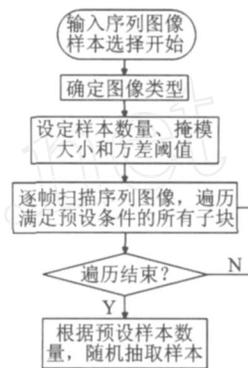


图 2 样本选择算法流程图
Fig. 2 The flow chart of sample selection algorithm

本将生成好的学习结果,从而才会有好的复原结果.由于文献 [3] 针对整幅图像选取学习样本,因此样本量较大.本文提出一种基于方差阈值的样本选择算法,根据方差阈值动态调整样本数量,舍弃了冗余信息、提高了样本质量.样本选择算法如图 2 所示.

本文采用风洞模拟湍流退化过程,根据风洞类型可将图像分为炮风洞图像、电弧风洞图像、双喷管风洞图像等.不同的风洞类型可用于模拟来流的不同特性,如马赫数、雷诺数、总温等.样本数量根据问题的规模大小来确定,鉴于支持向量机良好的泛化性能,通常样本量在 [10, 1000] 范围内选取都能有较好的学习结果.样本数量越大,学习结果越好,但学习耗费的时间相对会越多.掩模大小和方差阈值的选取采用经验值,根据不同的图像类型有不同的取值范围.掩模大小取值范围是 $\{ (2k + 1) | k = 1, 2, \dots, 5 \}$, 值越大,样本所包含的图像邻域信息越多,学习结果越好,但同时学习耗费的时间也越多.经验方差阈值如表 1 所示.

表 1 经验方差阈值

Table 1 Empirical variance threshold

图像类型	掩模大小	经验方差
炮风洞		1 ~ 10
双喷管		5 ~ 10
电弧风洞	三角靶	3
		5
		7
		9
点目标		400 ~ 500
		8 ~ 20

方差阈值的设定由多次实验总结得出,默认设置为 20,可根据目标类型和所需样本数目进行适当调节. 炮风洞和双喷管风洞的目标类型多为点目标,此类风洞能够提供马赫数为 6 ~ 12 的高超声速均匀流场,雷诺数范围 $Re = 1 \times 10^6 \sim 6 \times 10^6$,图像退化较为严重,方差阈值也相对较小,其取值范围多在 [1, 10] 之间. 电弧风洞的目标类型有点目标、三角靶、圆形靶、四条靶等,该风洞的马赫数和雷诺数相对较小,方差阈值通常较大、取值范围较广,对于不同的目标类型和掩模大小应取不同的方差阈值.

3.2 模型更新算法

对于序列图像,由于各帧之间的退化程度不同,一个模型通常难以应用于整个序列进行复原,因此必须考虑模型的更新问题. WANG Zhou 等人^[8]提出了一种通用的图像质量测量方法,该方法基于人眼视觉特性 (Human Visual System, HVS),能很好地测量图像质量. 本文引用该方法来描述风洞图像的退化程度,并作为判断模型更新的标准. 模型更新算法如图 3 所示.

4 实验结果及分析

本文以电弧风洞图像为实验对象,通过比较使用加速算法前后的复原效果和复原所需时间,对加速算法进行评价. 电弧风洞原理如图 4 所示^[1]. 首先,高温黑体辐射源生成目标,并由准直光管校准到

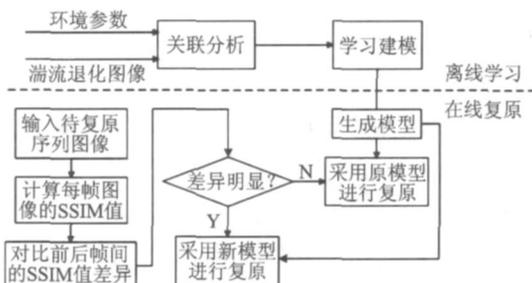


图 3 模型更新算法 Fig 3 Model updating algorithm

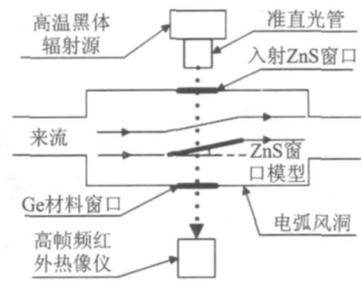


图 4 电弧风洞原理图 Fig.4 Schematic diagram of electric arc wind-tunnel

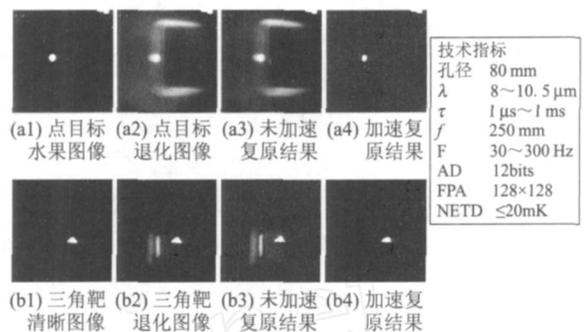


图 5 复原结果(λ :工作波长; τ :积分时间; f :高帧频图像采集系统焦距; F :帧频) Fig.5 Restoration results(λ : wavelength; τ : integral time; f : focal length of high frame rate IR thermal imager; F : frame rate)

无穷远. 然后,红外目标辐射通过入射 ZnS窗口进入电弧风洞,受到高速来流扰动. 最后,目标辐射穿过 Ge材料出射窗口由高帧频红外热像仪接收.

本文采用点目标和三角靶图像进行对比实验. 加速算法中,掩模大小设定为 3,点目标阈值取 10,三角靶阈值取 70. 使用加速算法后的复原结果如图 5 所示. 图 5 (a2)中横穿点目标的白色半框和灰色圆盘、以及 (b2)中三角形左边的竖线均为背景噪声. 受湍流效应影响,背景噪声往往很严重. 从图中可看出,加速算法很好地滤除了背景噪声.

表 2 对加速前后的复原效果进行了对比. 从表中可以看出,采用加速算法后,复原速度加快,并且复原效果也好于原算法. 值得说明的是,对于三角靶图像,采用加速算法的复原图像的 NMSE 值大于原

表 2 加速前后复原效果对比

Table 2 Comparisons of the acceleration method vs no-acceleration algorithm

	点目标		三角靶	
	不加速	加速	不加速	加速
复原时间	15.64	7.26	5.33	4.64
NMSE	0.2513	0.1393	0.3504	0.8730
PSNR	-4.3468	2.0312	3.9257	8.0291

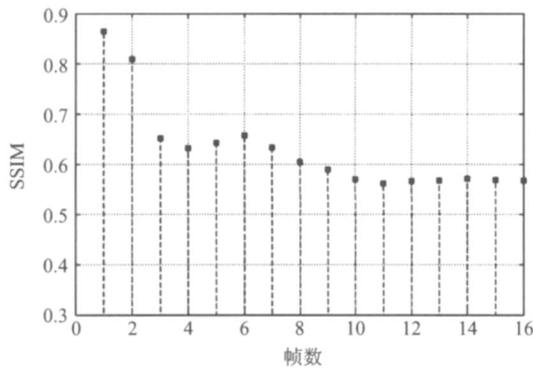


图6 点目标图像序列退化分析

Fig. 6 Degradation analysis of point target image sequence

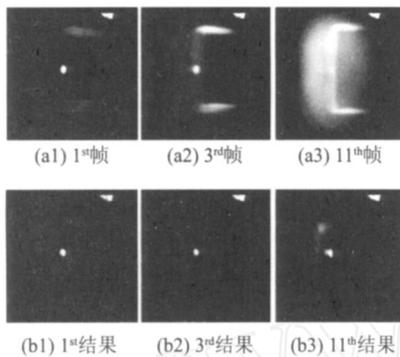


图7 采用模型更新算法的复原结果.第一行是退化图像序列,第二行是对应的复原结果

Fig. 7 Restoration results by using the model updating algorithm. The first row denotes degradation image sequence, and the second row denotes restoration results

算法,这是由于评价指标 NMSE只描述两幅图像的全局差异性,却忽略了图像的局部特性而造成的,而局部特性,如局部位移和模糊,对于湍流引起的图像质量退化尤为重要.鉴于此,本文采用 NMSE和 PSNR两种类型指标对复原算法进行评价,同时结合主观评价方法对加速前后的复原效果进行对比.

图6描述了点目标图像序列的退化程度.与前两帧相比,第3至第10帧的退化程度明显加深,其

SSM值在 $[0.58, 0.66]$ 范围波动;而第11至第16帧的SSM值在0.56左右,变化幅度较小.因此将第3和第7帧列为该图像序列的关键帧,进行模型更新.图7为点目标图像序列采用模型更新算法的复原结果.采用模型更新算法后,不仅加快了序列图像的复原速度,同时复原效果也更好.

5 结论

针对基于支持向量机的湍流退化图像复原算法进行了扩展和改进,提出了新的加速复原算法.新算法加入了样本选择算法和模型更新算法,不仅使得提取的样本更为有效,同时解决了高速导弹的弹上在线复原的模型更新问题.风洞实验结果表明,加速算法不仅加快了复原效率,同时也提高了复原质量.

REFERENCES

- [1] YN Xing-Liang. *Principle of Aero-Optics* [M]. Beijing: China Aerospace Press (殷兴良. 气动光学原理. 北京: 中国宇航出版社), 2003.
- [2] HONG Han-Yu, WANG Jin, ZHANG Tian-Xu, et al. Study on acceleration technique of circulation iterative restoration algorithm for infrared target images [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (洪汉玉, 王进, 张天序, 等. 红外目标图像循环迭代复原算法的加速技术研究. 红外与毫米波学报), 2008, 27(1): 115—118.
- [3] Liu C S, Li M. A novel atmospheric turbulence-degraded image restoration algorithm based on support vector regression [C]. Beijing: *SPIE*, 2006, 6357: 63575F-1-63575F-5.
- [4] McGlamery B L. Restoration of turbulence-degraded images [J]. *J. Opt Soc Am*, 1967, 57(3): 293—297.
- [5] Fraser D, Thope G, Lambert A. Atmospheric turbulence visualization with wide-area motion-blur restoration [J]. *J. Opt Soc Am A*, 1999, 16(7): 1751—1758.
- [6] Chan T F, Shen J H. *Image Processing and Analysis* [M]. Philadelphia: SIAM, 2005.
- [7] Cristianini N, Shawe-Taylor J. *An Introduction to Support Vector Machines* [M]. New York: Cambridge University Press, 2000.
- [8] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment from error measurement to structural similarity [J]. *IEEE Trans Image Process*, 2004, 13(1): 1—14.