

· 红外技术 ·

红外成像制导运动模糊图像恢复技术研究

王 铎

(92941部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

摘要: 红外成像制导具有灵敏度高、空间分辨率高、抗电磁干扰能力强等优点, 目前已被各国广泛应用。但是在成像制导过程中, 由于弹目之间的相对快速运动容易造成成像运动模糊, 使得目标相对于成像系统产生横向运动和尺寸大小的相对变化, 给后续目标识别与跟踪造成影响。针对红外成像制导拍摄到的图像, 在运动参数未知的情况下, 采用点扩展函数预估计方法, 分别利用Roberts边缘检测算子和自相关的方法确定出点扩散函数的运动方向和尺度参数。在此基础上, 采用有约束的最小二乘滤波对图像进行恢复, 仿真实验结果表明, 文中算法可较好的对运动模糊图像进行恢复, 取得不错的效果, 为红外成像制导目标识别与跟踪奠定基础。

关键词: 红外成像; 运动模糊; 图像恢复; 点扩散函数; 有约束最小二乘滤波

中图分类号: TN219

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2016)-04-0015-03

Research on Motion-blur Image Restoration Technology of Infrared Imaging Guidance

WANG Duo

(92941 Army Unit, Huludao 125001, China)

Abstract: Infrared imaging guidance has been widely used in various countries due to the high sensitivity, spatial resolution and immunity to electromagnetic interference and so on. However, in the process of imaging guidance, image motion blur is easy to be caused for the relatively rapid movement between the projectile and target, which makes lateral movement and target size relatively change between the target and the imaging system and takes impact to the subsequent target recognition and tracking process. According to the images captured by imaging guidance system, at the condition of unknown motion parameters, point spread function (PSF) estimation algorithm is adopted. The motion direction and scale parameter of the function are determined by Roberts edge detection operator and auto-correlation algorithm. Based on this, the image is restored by constrained least squares filter algorithm. Simulation results show that the algorithm can better restore the motion blurred image and lay the foundation for infrared imaging guidance target recognition and tracking.

Key words: infrared imaging; motion blur; image restoration; point spread function (PSF); constrained least-squares filtering

红外制导技术因其独特的优势^[1]在现代战争中占据一席之地, 红外目标识别是从红外图像中检测并提取出目标的过程^[2], 是制导的关键技术之一。目标识别是系统最前端、最重要的部分, 但是由于成像系统与目标间的相对运动容易造成成像运动

模糊, 使得成像系统的物像映射关系产生退化^[3], 为红外成像制导目标识别带来一定的困难, 对运动模糊图像的进一步应用就会造成一定的误差, 尤其是当目标距离较远时, 背景中细节成分极少, 特别严重时检测识别任务变得非常困难^[4-5], 将直接影响后

收稿日期: 2016-07-31

作者简介: 王铎(1985-), 男, 河南新郑人, 硕士研究生, 主要研究方向为制导与信号处理。

续的目标捕获与跟踪,最终造成制导精度下降,红外制导工作无法正常进行。

图像恢复是采取技术手段尽可能的恢复模糊图像的本来面目^[6]。由于退化原因不一,运动模糊图像的恢复方法也有很多。在已知图像退化机理的前提下,设计滤波器便可对图像进行恢复,如维纳滤波法^[7]、卡尔曼滤波法、等功率谱均衡法^[8]、小波变换法等;然而退化图像更多的是退化机理未知,此时可通过对图像盲反卷积进行恢复,主要包括点扩散函数^[9](PSF)预估计方法和联合辨识方法,较为常见的方法是以点扩散函数已知为前提的^[10]。对PSF的估计主要在频域和空域^[11]进行,但是这些算法有其局限性,难以满足制导信息的实时性要求。文中结合红外制导拍摄到的目标图像,在运动参数未知的情况下,借助于点扩展函数,利用Roberts边缘检测算子估计出点扩散函数的运动方向,然后利用自相关的方法确定尺度参数,最后采用有约束的最小二乘滤波来进行图像恢复,为后续的目标识别与跟踪,提高制导精度打下了较好的基础。

1 图像恢复算法分析

1.1 退化模糊图像分析

图像恢复与图像退化可以看做是一对互逆的过程,其恢复程度主要取决于对图像退化过程的先验知识掌握的精确程度。红外成像制导在搜索目标时,由于与目标间的相对运动,不可避免的产生运动模糊图像,在当前已发展到第四代红外成像探测器成像时,可近似认为弹目之间是匀速直线运动,其相对运动方向和速度一般是不变的,图像运动退化的一般模型如图1所示。

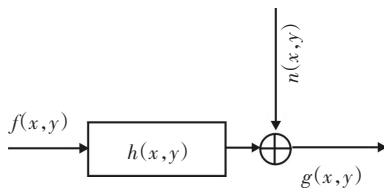


图1 退化模型结构图

运动模糊退化模型如下式

$$g(x,y)=f(x,y)\times h(x,y)+n(x,y) \quad (1)$$

对其进行卷积处理,则其频域表达式为

$$G(u,v)=F(u,v)\cdot H(u,v)+N(u,v) \quad (2)$$

其中, $g(x,y)$ 为退化后的图像; $f(x,y)$ 为原始图像; $h(x,y)$ 表示PSF函数; $n(x,y)$ 为噪声函数,即退化图像为原始图像与PSF的卷积并且作用了随机噪声,其物理意义为图像中的每一个像点因受到同一操作的影响(即经成像系统)而扩展成同心圆。图2为拍摄到的一幅制导模糊退化图像。



图2 制导退化模糊图像

退化后图像的典型特点是模糊,在位置退化机理的前提下,其恢复过程就是根据退化模型及原始图像的知识,通过设计恢复系统对模糊图像进行处理,获得未退化图像的一个最优估计。借助于PSF的图像恢复技术,运动方向和模糊尺度是其最重要的两个参数,通过对退化模糊图像进行分析,进而确定这两个参数,经退化模型逆过程计算,即可较为有效的得到真实图像,恢复图像信息。

1.2 清晰度评价函数

作为图像处理中常用的检测算子,Roberts边缘检测算子通过计算任一相互垂直方向上的差分来近似作为梯度,某一像素点的Roberts算子可表示为

$$g(x,y)=\{[\sqrt{f(x,y)}-\sqrt{f(x+1,y+1)}]^2 + [\sqrt{f(x+1,y)}-\sqrt{f(x,y+1)}]^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

其中, $f(x,y)$ 是输入图像; $g(x,y)$ 是梯度,表示点 (x,y) 处边缘能量的大小。对图像中所有点的梯度求和,即可得到整幅图像的清晰度。

2 模糊参数估计及实验

针对采集到的运动模糊图像,在运动参数未知的情况下,借助于点扩展函数进行图像恢复,关键在于模糊运动方向和尺度参数的估计。

2.1 模糊运动方向的估计

根据Roberts边缘检测算子清晰度评价函数,针

对图像而言,不同方向上的差分所求得的清晰度不同,由于运动模糊,势必造成图像中目标边缘在某一方向上空间位置的变化,进而引起梯度的改变,利用这一点可以对退化模糊图像的运动方向进行估计计算。对于一幅退化模糊图像而言,不同方向上其清晰度评价函数值大小不一,通过计算可得到其峰值点坐标为 (θ, N) ,其中 θ 即为所需确定的PSF的运动方向参数。

2.2 模糊尺度参数的估计

对于匀速直线运动,在任意方向上移动长度为 d 的运动模糊,均可认为是该方向上的水平运动,根据估算的运动方向角度旋转图像,保持模糊方向平行于某一方向轴,据此可将二维问题转化为一维问题,即有下式

$$h(x,y) = \begin{cases} \frac{1}{d}, y=0, 0 \leq x \leq d \\ 0, y \neq 0, -\infty \leq x \leq \infty \end{cases} \quad (4)$$

此时图像中只有水平方向上的直线段可能是模糊造成的点扩散结果,而垂直方向上都不可能是点扩散形成的。对图像作垂直方向的梯度检测,以消除背景与目标的区域相关性。

假设选取的图像区域为 i ,搜索区域为 j ,根据对目标相对位移的估计,确定 i, j, d 的大小,计算各行水平方向的自相关函数 $s(x,y)$,将 $s(x,y)$ 各列求平均。其结果往往表现为在水平方向上相关中心左右两侧分别出现一个最小值,且这两个点到中心的距离相等,该距离即为模糊尺度参数。

2.3 图像恢复

在明确了运动模糊参数的基础上,考虑到逆向滤波器的病态特征,在图像恢复过程中可使用有约束的最小二乘法。图像恢复的目的是在对噪声无先验知识的前提下,寻求图像 f 的一个最优估计 \hat{f} ,使得 \hat{f} 在最小均方误差准则下,最接近退化图像 g ,使噪声 n 的范数最小,即确保 $\|n\|^2 = \|g - h\hat{f}\|^2$ 最小。假设 Q 是 f 的线性算子,则最小二乘恢复问题可以看做是函数 Qf 在约束条件 $\|n\|^2 = \|g - h\hat{f}\|^2$ 下最小问题。此类问题可根据拉格朗日准则,求取一个 \hat{f} ,使以下函数是最小的,有下式

$$W(\hat{f}) = \|Q\hat{f}\|^2 + \lambda \|g - h\hat{f}\|^2 - \|n\|^2 \quad (5)$$

根据不同的 Q ,可得到不同的恢复效果。

此时最优问题传递函数的滤波器为

$$\hat{F}(u,v) = \frac{1}{H(u,v)} \cdot \frac{|H(u,v)|^2}{|H(u,v)|^2 + \gamma |P(u,v)|^2} \cdot G(u,v) \quad (6)$$

2.4 仿真实验

为验证文中方法的有效性,对设定不同运动参数仿真生成的运动模糊图像进行处理,结果如图3所示。其中,(a1)(a2)(a3)为运动模糊图像,(b1)(b2)(b3)为恢复图像,具体参数见表1。

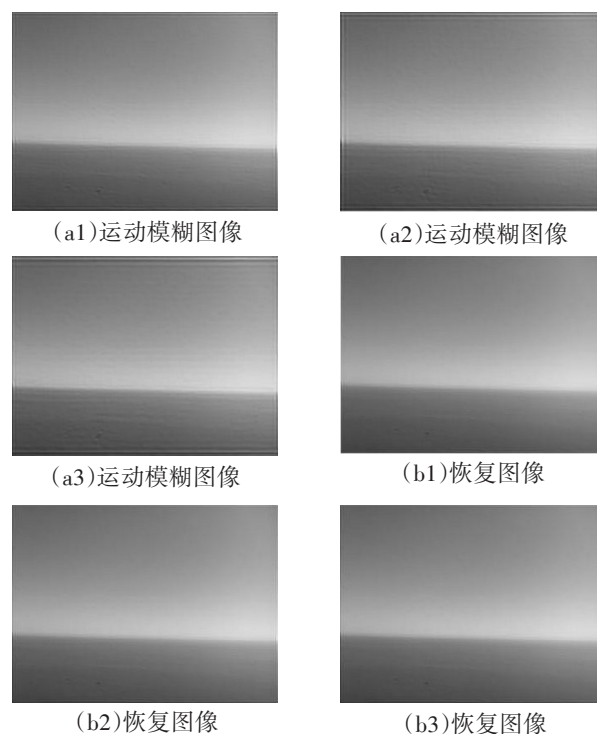


图3 运动模糊仿真图像及其恢复图

表1 仿真处理预测参数

运动模糊 角度	预测得到 角度	运动模糊长度 (像素)	预测得到长度 (像素)
45	44	5	4.82
45	44	7	6.87
60	58	7	6.67

可以看出,对于运动模糊引起的图像退化,文中方法都能够较好地对图像进行恢复,由于在红外
(下转第21页)

- [5] Jung Y, Jeong Y, Brambilla G, et al. Adiabatically tapered splice for selective excitation of the fundamental mode in a multimode fiber[J]. *Opt. Lett.*, 2009, 34: 2369-2371.
- [6] Case W B, Tomandl M, Deachapunya S. Realization of optical carpets in the Talbot and Talbot-Lau configurations[J]. *Opt. Express*, 2009, 17: 20966-20974.
- [7] Elkin N N, Napartovich A P, Roshchieva V N T, et al. Mode competition in multi-core fiber amplifier[J]. *Optics Communications*, 2007, 277: 390-396.
- [8] Vysotsky D V, Elkin N N, Napartovich A P. Selection of optical modes in multichannel fibre lasers[J]. *Quantum Electronics*, 2006, 36: 73-75.
- [9] Talbot H F. Facts relating to optical science[J]. *Philos. Mag.*, 1836, 9: 40-41.
- [10] Leger J R. Lateral mode control of an AlGaAs laser array in a Talbot cavity[J]. *Applied Physics Letters*, 1989, 55: 334-336.
- [11] Zhu X, Scholzgen A, Li H. Single-transverse-mode output from a fiber laser based on multimode interference[J]. *Opt. Lett.*, 2008, 33: 908-910.
- [12] 巩玲仙,付建梅,田竹梅,等. 七芯光纤光束质量的研究[J]. *光电技术应用*, 2016, 31(3):33-36.

(上接第17页)

成像制导过程中,为满足制导信息的实时性,成像采集时间较短,通常不会引起较大像素的运动模糊长度。因此,仿真图像设定的运动模糊长度限定在较小像素值,通过结果数值比较,此方法对PSF的两个重要参数的估算较为准确,可解决由相对运动引起的图像模糊退化的恢复问题。

3 结论

运动模糊是红外成像制导系统不可避免的问题,由于成像系统与目标间的相对快速运动,造成制导系统采集到的图像产生运动模糊,对后续目标识别与跟踪造成一定的误差,尤其是在目标距离较远,纹理形状模糊的情况下,影响更加严重。比较广泛使用的图像恢复技术是建立在估计退化函数的基础上,针对PSF的两个重要参数,采用Roberts边缘检测算子进行清晰度函数确定运动模糊方向,然后使用自相关函数确定运动模糊尺度参数,进而利用计算得到运动方向和模糊尺度确定PSF参数,最后使用有约束的最小二乘滤波方法对模糊图像进行恢复。仿真结果表明,文中算法对运动模糊图像恢复取得不错的效果,为红外成像制导目标识别与跟踪奠定基础。

参考文献

- [1] 侯洁,辛云宏. 基于小波变换与图像增强技术的红外小

目标检测[J]. *激光与红外*, 2013, 43(6):683-688.

- [2] 王莹莹,何莘,魏彤,等. 二维信息熵的红外图像分割算法[J]. *空军工程大学学报(自然科学版)*, 2015, 16(1):77-80.
- [3] 洪汉玉,张天序. 基于各向异性和非线性正则化的湍流退化图像复原[J]. *宇航学报*, 2004, 25(1):5-12.
- [4] 杨树谦. 精确制导技术发展现状与展望[J]. *航天控制*, 2009, 22(4).
- [5] 吴文怡,罗子娟. 基于最小一乘和遗传算法的红外弱小目标检测[J]. *系统工程与电子技术*, 2009, 31(3):575-578.
- [6] 范群贞. 运动模糊图像复原方法的研究[J]. *电子测量技术*, 2013, 36(6):73-76.
- [7] 肖锋,周明全,耿国华. 基于维纳滤波的图像恢复理论分析与实现[J]. *中山大学学报*, 2006, 45(6):260-262.
- [8] 杨旭海,郑兴武. 等功率谱滤波法进行图像恢复的测定[J]. *天文学报*, 2001(2):206-214.
- [9] 高梅. 运动模糊的点扩展函数及图像恢复研究[D]. 太原:中北大学, 2004.
- [10] 曾志高,谭骏珊. 匀速直线运动模糊图像的恢复技术研究[J]. *陕西理工学院学报*, 2006, 22(2):72-74.
- [11] Yitzhaky Y, Kopeika N S. Evaluation of the blur parameters from motion blurred images[J]. *IEEE Press*, 1996: 216-219.
- [12] 宋庆峰,吕绪良,隋学序,等. 一种基于小波变换的图像增强方法[J]. *光电技术应用*, 2014, 29(6):39-42.
- [13] 吕俊伟,陈玉华,宋庆善. 基于图像处理的红外成像设备非均匀检测方法[J]. *光电技术应用*, 2015, 30(4):31-38.