

# 运动模糊图像恢复技术在恒星导航图像 预处理过程中的应用

亓文永, 郭少军

(海军91868部队, 海南 三亚 572016)

**摘要:** 在恒星导航的过程中, 无论是利用可见光 CCD 阵列成像还是利用新兴的近红外探测望远镜进行对星空的拍摄, 由于成像面的一个持续曝光时间, 在这个过程中飞行器的快速运动都会造成星空图像拍摄的运动拖影模糊, 这就给恒星导航系统后续的图像识别和导航定位造成过大误差, 使定位精度受到严重影响。为解决这个问题, 以星敏感器拍摄到的图像为依据, 利用维纳滤波和 radon 变换对运动模糊图像进行了模糊程度判断和模糊修正的研究, 达到了较好的效果, 为后续导航工作奠定了较好的基础。

**关键词:** 维纳滤波; radon 变换; 点扩散函数; 模糊估计; 模糊修正

**中图分类号:** V447      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2012)05-0098-04

## Application of Motion-blur Image Restoration Technology in Star Navigation Image Preprocessing

QI Wen-yong, GUO Shao-jun

(Unit 91868 of PLA Navy, Sanya 572016, China)

**Abstract:** During the process of star navigation, CCD imaging device or infrared imaging device is often used to detect the sky. Due to the continuance exposure time, the star image is always much blur for the fast motion of aircraft, which will cause great error for image identification and navigation. For solving the problem, Wiener filter and Radon transform was used to judge and resume the blur image. Good effects were obtained, which provide sound base further star navigation.

**Key words:** wiener filter; radon transform; PSF; blur estimation; blur revise

如果飞行器快速运动或与拍摄目标具有较大的相对运动时, 会造成拍摄图像的运动模糊, 在运动模糊严重的情况下对图像进一步应用就会造成很大的误差。

运动图像点扩散函数(PSF)的估计是图像模糊修正的关键步骤, 如何有效地进行运动模糊点扩散函数的估计是图像恢复的基础, 贺卫国等<sup>[1]</sup>介绍了匀速直线运动过程中的点扩散函数估计, 但是这一方

收稿日期: 2012-07-06

作者简介: 亓文永(1982—)男, 山东莱芜人, 工程师, 主要从事制导工程、装备技术保障工作。

法只能在水平方向上进行很好的检测,且在噪声较大的情况下效果不理想。寻找一个任意角度发生模糊扩散函数估计的方法将有效解决模糊恢复这一问题,由于成像面CCD或者近红外成像面的曝光时间不是很长,可以说极短,在这个曝光时间段内可以近似认为飞行器是匀速运动,因此只需要考虑匀速运动中的点扩散函数恢复即可。另外,恒星导航拍摄的图像中目标距离较远,飞行器飞行速度较慢时和恒星相对速度不大造成轻微拖影模糊或者可以忽略模糊时不能进行类似处理,在自动处理图像恢复的过程时进行自适应判断,判断图像是否需要点进行点扩散函数估计和模糊恢复,将有效节约不必要的耗时间,增强了导航定位系统的实时性和快速性。

## 1 算法分析

假设曝光时间为 $t$ ,则运动模糊退化模型如下所示:

$$g(x,y)=\int_0^{t_{\max}} f(x-x_0(t),y-y_0(t))dt+n(x,y) \quad (1)$$

式中: $g(x,y)$ 为退化后的图像; $f(x,y)$ 为原始图像; $n(x,y)$ 为噪声函数。将式(1)进行傅立叶变换可得:

$$G(u,v)=\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\left[\int_0^{t_{\max}} f(x-x_0(t),y-y_0(t))dt\right]\cdot \exp[-j2\pi(ux+vy)]dx dy \quad (2)$$

$$G(u,v)=F(u,v)\int_0^{t_{\max}} \exp[-j2\pi(ux+vy)]dt \quad (3)$$

$$H(u,v)=\int_0^{t_{\max}} \exp[-j2\pi(ux+vy)]dt \quad (4)$$

式中: $H(u,v)$ 为点扩散函数的傅立叶变换函数。

假设在成像面上得到的图像正在以一定速度和角度进行模糊退化,可假设它的水平速度为 $a$ ,垂直方向为 $b$ ,由于在运动模糊中水平和垂直模糊具有一定的相关性,所以不能分成两步进行讨论。针对这一情况李宇成等<sup>[4]</sup>给出综合性的分析,但是文献[4]在达到一定效果的同时没能实现模糊的有效判断,对于一幅拍得的图像是否需要这一复杂的运算没有给出一个准则,使它的实时性和实用性打了折扣。因此文中提出了一个对模糊判断的新方法,验证后取得了较好的效果。

假设两个方向的速度后,点扩散函数变形为:

$$H(u,v)=\frac{t_{\max}}{\pi(ua+vb)}\sin(\pi(ua+vb))\cdot \exp[-j2\pi(ux+vy)] \quad (5)$$

图像处理时数据是离散形式,假设图像大小为 $M\times N$ ,将式(5)转换为离散形式如下:

$$H(u,v)=\frac{t_{\max}}{\pi(\frac{ua}{N}+\frac{vb}{M})}\sin(\pi(\frac{ua}{N}+\frac{vb}{M}))\cdot \exp[-j2\pi(\frac{ux}{N}+\frac{vy}{M})] \quad (6)$$

式中: $u$ 取值0到 $(N-1)$ ; $v$ 取值0到 $(M-1)$ 。

$$|G(u,v)|=|F(u,v)\times H(u,v)|=$$

$$\left|\frac{t_{\max}}{\pi(\frac{ua}{N}+\frac{vb}{M})}\sin[\pi(\frac{ua}{N}+\frac{vb}{M})]\right|\times|F(u,v)| \quad (7)$$

由式(7)可以看出, $H(u,v)$ 在 $(\frac{ua}{N}+\frac{vb}{M})=0$ 的时候取最大值 $t_{\max}$ ,而当 $(\frac{ua}{N}+\frac{vb}{M})$ 为其他整数时取值为0,从而 $G(u,v)=0$ 。

$H(u,v)$ 的取值变化规律可以推导出 $G(u,v)$ 的图像在满足 $(\frac{ua}{N}+\frac{vb}{M})$ 非零整数的线上显示为黑色条纹(黑色为低灰度,白色为高灰度),即使 $(\frac{ua}{N}+\frac{vb}{M})$ 无法取到整数,也会因为三角函数的变换规律而呈现出明暗交替的条纹<sup>[5]</sup>。退化图像频谱条纹中的角度 $\alpha$ 即为直线 $(\frac{ua}{N}+\frac{vb}{M})=n$ 的倾斜角度,可由公式表示为:

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} \frac{M}{N} \quad (8)$$

设 $\beta$ 为运动模糊方向对应的角度,则有:

$$\tan \beta = \tan\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) \frac{M}{N} \quad (9)$$

确定好运动模糊方向后通常将频谱图像 $u=v=0$ 的点人为移动到中心位置,通过点到直线距离公式可得 $(0,0)$ 点到 $(\frac{ua}{N}+\frac{vb}{M})=1$ 的距离公式为:

$$d = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{a}{N}\right)^2 + \left(\frac{b}{M}\right)^2}} \quad (10)$$

根据图像的对称性可得到两个暗条纹间的距离为 $2d$ ,设图像模糊长度为 $l$ ,则 $a=l \sin \beta$ , $b=l \cos \beta$ 。

令  $N = \sigma M$ , 有:

$$D = \frac{2N}{l \sqrt{(\cos \beta)^2 + (\sigma \sin \beta)^2}} \quad (11)$$

$$l = \frac{2N}{D \sqrt{(\cos \beta)^2 + (\sigma \sin \beta)^2}} \quad (12)$$

于是,通过逆向计算就能进行图像的复原。

## 2 模糊参数估计

由于成像阵面曝光时间极短,在这极短的时间内可认为图像相对运动的方向和速度恒定不变,于是可认为图像模糊主要是向某一个方向模糊。用 radon 函数计算沿着制定方向上的投影。一个二维函数  $f(x, y)$  的投影为一个特定方向的线性积分,例如  $f(x, y)$  在  $x$  轴方向上的线性积分对应  $y$  上的投影,如图 1 所示。

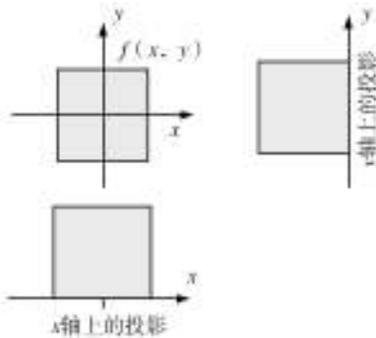


图1 radon函数的计算

Fig. 1 Radon function calculation

图像  $f(x, y)$  在任意角度  $\theta$  上的 radon 投影变换定义为:

$$R_{\theta}(x') = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy' \quad (13)$$

其中,  $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ 。

通过 radon 投影的特点可以看出,运动模糊图像的傅立叶变换矩阵进行 radon 变换必然会出现明暗条纹,在主要模糊方向上的 radon 投影最大,这样就可以通过找它的 radon 变换最大值确定模糊角度。获得模糊角度后还需要找到模糊长度,而从 radon 变换角度投影特性可以看出,在模糊角方向上的 radon 变换两个极小值之间的距离就是傅立叶变换图像相

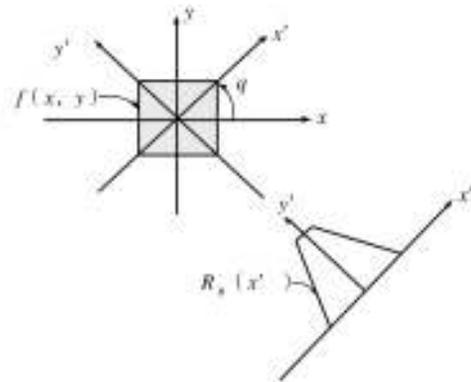


图2 radon变换几何关系

Fig. 2 Radon transforms geometric relationship

邻暗条纹之间的距离,为了减少误差可以多利用几条相邻暗条纹间的距离进行模糊长度计算。如图 3 所示,发生了运动模糊退化。

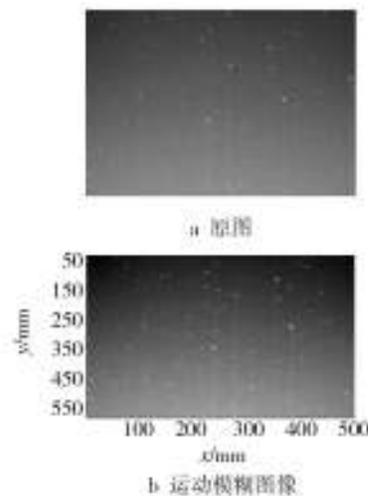


图3 原图与运动模糊图像

Fig. 3 The original and the motion blurred images

通过图 4 可以发现,发生模糊的图像 radon 曲线会周期性出现最小值,中间主峰两侧的最小值之差即是  $D$  的取值。

## 3 恒星导航中的应用

对图像的模糊判别与模糊恢复算法可以通过以下几个步骤进行:1) 对读取的图像进行傅立叶变换;2) 将傅立叶变换零点移动到图像中央,做加强对比度处理,例如进行对数变换;3) 对得到的傅立叶图像进行 radon 变换;4) 找到 radon 变换中最大值

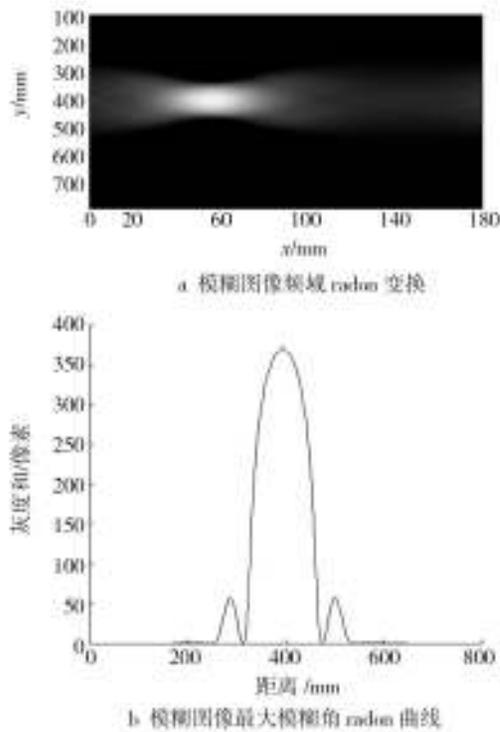


图4 运动模糊相关处理

Fig. 4 Motion fuzzy correlation diagram

点,确定最大模糊角度;5) 获得最大模糊角度下图像的radon变换曲线,计算曲线主峰两侧谷底的差值进行 $D$ 值计算;6) 利用 $D$ 值计算出模糊长度;7) 利用计算得到模糊长度和角度,采用维纳滤波方法对模糊图像进行恢复;8) 恢复得到的图像不会像原图一样清晰,为减弱振铃现象,还需要对恢复后图像进行除振铃处理;9) 对处理后的图像进行阈值分割,可以得到大部分恒星的分布图像;10) 利用得到的星点分布图像可以进行恒星导航过程中的另一个关键性操作——求取恒星质心。

下面验证文中介绍的方法在模糊星图恢复处理的应用。

图像判定和恢复的效果,采用MATLAB7.0进行编程仿真,对第2节的运动模糊图像进行恢复,恢复图像后进行振铃效应去除,仿真结果如图5所示。

从图5中对比发现,利用维纳滤波恢复处理后的图像会丢失很多较弱星星(即星等较高)的星点,而在恒星导航过程中需要的星点并不多,一般只利用星等较低的恒星进行导航;同时,减少了星点数量对后续质心的求取,星图匹配降低了极大的负担,进一步增强了导航的实时性。

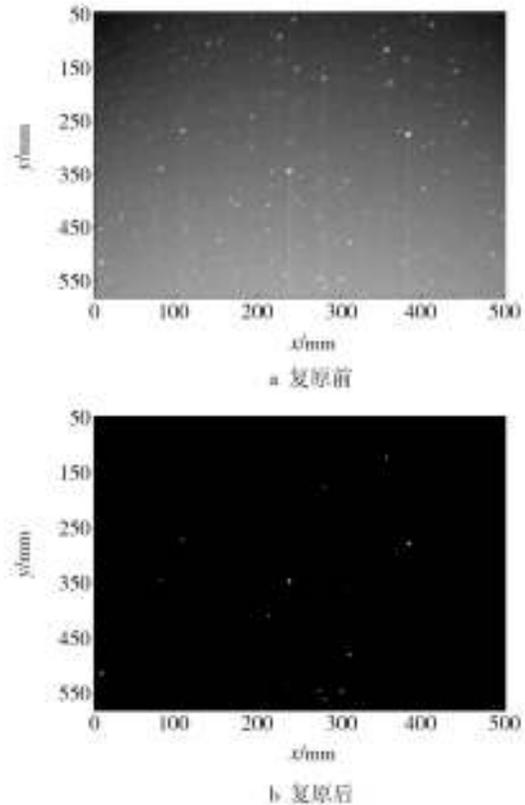


图5 二值化处理前后对比

Fig. 5 Comparison before and after binary image processing

针对运动模糊图像进行导航的情况,文中方法直接减少了清晰图像中要去除星等较高星点的操作,具有较高的实用性。预测效果见表1。

表1 仿真结果

Table 1 The simulation results

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
60	59	7	7.47
30	28	16	18.37

## 4 结论

介绍了点扩散函数的估计和模糊参数估计方法,为实际星图识别运行提供了一个对模糊图像处理的方法,利用对运动模糊参数的估计,恢复退化图像并进行了处理以方便后续系统工作,引入了radon变换的角度特性,利用这个特性通过图像处

(下转第117页)

方面仍需进一步开展更深入的研究工作。

#### 参考文献:

- [1] 原艳斌,李晓钢. 高加速应力筛选试验技术研究[J]. 装备环境工程, 2005, 2(2): 22—27.
- [2] 李根成. 环境应力筛选与应力激发试验[J]. 装备环境工程, 2005, 2(4): 23—27.
- [3] 苏恺伦,郑建明. 电路板环境应力筛选方法效能分析[J]. 装备环境工程, 2010, 7(6): 157—159.
- [4] 王国忠. 电子封装 SnPb 钎料焊点可靠性研究[D]. 上海: 中国科学院上海冶金研究所, 1999.
- [5] BARKER Donald B, DASGUPTA Abhijit, PECHT Michael G. PWB Solder Joint Life Calculations Under Thermal and Vibrational Loading[J]. Journal of the IES, 1992, 35(1):

17—25.

- [6] 元鑫. 多芯片组件焊点可靠性的有限元模拟与寿命的预测[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [7] WONG T E, PALMIERI F W, REED B A, et al. Durability/Reliability of BGA Solder Joints under Vibration Environment[C]// Electronic Components and Technology Conference, 2000: 1083—1088.
- [8] 陈颖,康锐. PBGA 封装焊点寿命影响因素的有限元分析[J]. 半导体技术, 2008, 33(7): 563—566.
- [9] 许杨剑. 球栅阵列尺寸封装的有限元模拟及焊点的寿命预测分析[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2001.
- [10] 褚卫华. 模块级电子产品可靠性强化试验方法研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2003.

(上接第 66 页)

- 能影响研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2010, 33(3): 41—43.
- [6] 张静,张琦,马会平,等. G827 /5224 和 G803 /5224 碳纤维增强环氧树脂湿热老化的研究[J]. 装备环境工程, 2008, 5(3): 16—20.
- [7] 田莉莉,刘道新,张广来,等. 温度和应力对碳纤维环氧复合材料吸湿行为的影响[J]. 玻璃钢/复合材料, 2006(3): 14—17.
- [8] 张玲玲,张陵,马建勋. 海洋环境下碳纤维增强复合材料片材的耐久性[J]. 建筑材料学报, 2008, 11(6): 732—735.
- [9] ACHEABACH J D, ZHU H. Effect of Interfacial Zone on Mechanical Behavior and Failure of Fiber-reinforced Composites[J]. Mech Phys Solid, 1989, 37(3): 381—393.

- [10] 贾普荣,矫桂琼. 模型复合材料弹塑性界面应力分析[J]. 应用力学学报, 1999, 16(4): 40—45.
- [11] 肖万伸,周建平,刘又文. 粘弹塑性界面的断裂特性[J]. 固体火箭技术, 2004, 27(2): 133—135.
- [12] 邹国发,龙国荣,万建平,等. NY9200 树脂基复合材料老化性能研究[J]. 洪都科技, 2005(1): 24—28.
- [13] 王琦,檀琳琳,王洁. 碳纤维环氧复合材料盐雾老化试验研究[J]. 装备环境工程, 2011, 8(5): 39—42.
- [14] 罗漪,王全凤,杨勇新,等. 华东自然环境浸润树脂耐久性对 CFRP 片材耐久性的影响[J]. 华侨大学学报, 2009, 30(6): 691—693.
- [15] 张颖军,朱锡,梅志远,等. 海洋环境玻璃纤维增强复合材料自然老化试验[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(3): 14—17.

(上接第 101 页)

理的方法获得退化图像的模糊长度和模糊角度,从而能够很好很方便地对图像进行恢复。

#### 参考文献:

- [1] 贺卫国,黎绍发. 匀速直线运动模糊长度的精确估计[J]. 计算机应用, 2005, 25(6): 1316—1320.
- [2] TANAKA Masayuki, YONEJI Kenichi, OKUTOMI Masatoshi. Motion Blur Parameter Identification from a Linearly Blurred Image[C]// International Conference on Consumer

Electronics Digest of Technical Papers, 2007: 1—2.

- [3] 周玉,彭召意. 运动模糊图像的维纳滤波复原研究[J]. 计算机与工程应用, 2009, 45(19): 181—183.
- [4] 李宇成,贾宝华,杨光明. 运动模糊图像的参数估计与恢复[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(19): 4247—4249.
- [5] 王晓红,赵荣椿. 任意方向运动模糊的消除[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(6): 525—529.
- [6] 王明军,李应乐. 基于形态滤波遗传算法对目标红外图像特征检测[J]. 装备环境工程, 2009, 6(1): 5—9.