

文章编号: 1005-5630(2019)02-0017-06

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5630.2019.02.004

运动模糊角度检测的两种改进方法

周 军¹, 韩 森^{1,2}

(1. 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093;
2. 苏州慧利仪器有限责任公司, 江苏 苏州 215123)

摘要: 运动模糊图像复原的关键点在于模糊角度和模糊长度的获取, 针对运动模糊图像频谱图中十字亮线影响模糊角度检测精度的问题, 提出了两种改进方法。在 Radon 变换的基础上, 通过对模糊图像频谱图进行非中心化和二次傅里叶变换细化条纹信息, 来减小十字亮线对模糊角度检测精度的影响。对比实验表明, 改进的两种方法能提高 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 的模糊角度检测精度。

关键词: 运动模糊; Radon 变换; 模糊角度; 十字亮线

中图分类号: TP301 **文献标志码:** A

Comparison of two improved methods for detecting motion blur angle

ZHOU Jun¹, HAN Sen^{1,2}

(1. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;
2. Suzhou H&L Instruments LLC., Suzhou 215123, China)

Abstract: The key points of the motion blur image restoration are the acquisition of the blur angle and length. This paper proposes two methods for improving detection accuracy of the cross bright line impact angle in the spectrum image of the motion blur image. On the basis of Radon transform, the effect of cross bright line pair detection accuracy is reduced by decentralizing the spectrum of the blurred image, and performing secondary Fourier transform to refine the fringe information. After comparative experiments, it was found that the two methods could improve the detection accuracy by about 1° to 3° .

Keywords: motion blur; Radon transform; fuzzy angle; cross bright line

收稿日期: 2018-05-02

作者简介: 周 军 (1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为数字图像处理。E-mail: zhoujunzjack@qq.com

通信作者: 韩 森 (1961—), 男, 教授, 研究方向为精密光学检测技术及仪器。E-mail: senhanemail@126.com

引 言

随着科学技术的发展,各种摄影设备在我们的日常生活中被广泛应用,例如智能手机、各种相机以及各种监控设备,使我们获取图像的手段越来越多。由于在获取图像的时候会受到气流扰动、机身震动、运动速度、器材设定等因素的影响,实际获得的图像会产生模糊以致影响图像的识别效果。尤其是对运动物体进行图像识别时,更需要将模糊的数字图像复原成清晰的图像。

图像复原的关键点就在于点扩散函数的估计 (PSF),因其直接关系到图像复原的效果。对于 PSF 的估计,国内外学者提出了很多的方法。文献 [1-3] 分析了模糊图像频谱图条纹的规律信息,给出了相应的检测算法,如 Hough 变换和 EM 算法。文献 [4] 用拉氏算子对模糊图像进行无方向性的二阶微分,且利用了微分图像的自相关结果,但计算量大,抗干扰能力不强。文献 [5] 对图像频谱的暗条纹直接进行 Radon 变换计算其方向角度,但此方法对条纹不清晰、对比度较小的频谱图像检测精度差,抗干扰能力不强。文献 [6] 采用频谱块与边缘检测相结合的方法,虽然能避免中心十字亮线,但是也裁剪了很多有用的信息。因此,对于运动模糊图像频谱图中的十字亮线影响模糊角度检测的问题,本文提出了两种改进方法。

1 运动模糊模型

通常一幅退化图像 (即模糊图像) 可以看成是一幅清晰图像与退化函数的卷积,考虑噪声干扰的影响 (一般假设噪声是加性的),则这个图像的退化过程 (模糊过程) 可以用数学表达式表示为

$$g(x,y) = f(x,y) \otimes h(x,y) + \eta(x,y) \quad (1)$$

式中: $g(x,y)$ 为退化的图像; $h(x,y)$ 为退化函数,也就是点扩散函数 (PSF); $f(x,y)$ 为原图像; $\eta(x,y)$ 为加性噪声; \otimes 为卷积运算符。图像一般都由二维离散的数据组成,在实际应用中,退化模型写成如下形式:

$$g(x,y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n)h(x-m,y-n) + \eta(x,y) \quad (2)$$

式中: M 、 N 分别为图像的长和宽。

在没有噪声干扰的情况下,即

$$\eta(x,y) = 0 \quad (3)$$

则

$$g(x,y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n)h(x-m,y-n) \quad (4)$$

空域中的卷积关系对应于频域中的相乘关系,所以可以得到频域模型

$$G(u,v) = F(u,v) \cdot H(u,v) + N(u,v) \quad (5)$$

式中: $G(u,v)$ 、 $F(u,v)$ 、 $H(u,v)$ 、 $N(u,v)$ 分别是 $g(x,y)$ 、 $f(x,y)$ 、 $h(x,y)$ 、 $\eta(x,y)$ 的频域。

假设原图像 $f(x,y)$ 做直线运动, $x(t)$ 和 $y(t)$ 分别是 x 轴和 y 轴方向上的运动时间变化分量,并且假设曝光时间为 T ,噪声为 0,则有

$$g(x,y) = \int_0^T f[x-x(t),y-y(t)]dt \quad (6)$$

$g(x,y)$ 表示运动模糊后的图像,若将表达式两边分别进行频域变换,则可以求出其频域表达式如下:

$$G(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_0^T f(x-x(t),y-y(t))dt \right] \times e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy = F(u,v) \int_0^T e^{-j2\pi(ux(t)+vy(t))} dt \quad (7)$$

其中, $H(u,v) = \int_0^T e^{-j2\pi(ux(t)+vy(t))} dt$ 为 $h(x,y)$ 的频域形式。

若令模糊长度为 L ,模糊角度为 θ ,则该模糊图像的点扩散函数为

$$h(x,y) = \frac{1}{L} \prod_L (x \cos \theta + y \sin \theta) \quad (8)$$

根据上式可以看出,复原模糊图像的关键点在于点扩散函数的求解,而点扩散函数的求解关键在于模糊长度 L 和模糊角度 θ 的求解。

2 模糊角度估计

2.1 模糊图像频谱非中心化检测模糊角度

王琳等^[7]采用频谱块与边缘检测相结合的方法,该方法将模糊图像频谱图分块,裁剪去中心十字亮线部分,如图 1 所示。

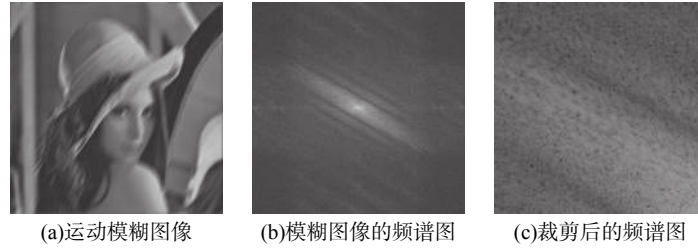


图1 运动模糊图及其频谱图和裁剪图

Fig. 1 Image of motion blur and its spectrum with and without magnification

可见裁剪过后, 虽然去掉了十字亮线, 但也裁剪掉了很多有用的信息, 如图1(c)所示, 导致检测精度不高。

针对十字亮线问题, 本文提出了提高 Radon 变换检测模糊角度的一种改进方法(改进方法一), 其具体方法为: 将模糊图像的频谱图非中心化, 则十字亮线被分散到四个角落里, 再进行裁剪,

这样既保留了原图的主要信息, 又剪去了十字亮线; 接着用 Canny 算子进行边缘检测, 从而提高了 Radon 变换的检测精度, 改进结果如图2所示; 随后对图2(d)进行 Radon 变换, 求模糊角度, 如图3所示(图中 R_i 表示灰度值叠加求和, χ' 表示矩阵 R 相对应的坐标位置, α 表示旋转角即 Radon 变换中对图像进行投影的方向)。

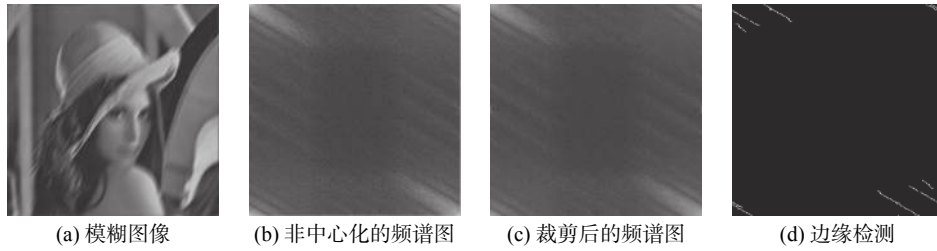


图2 改进方法一图

Fig. 2 Image obtained by method 1

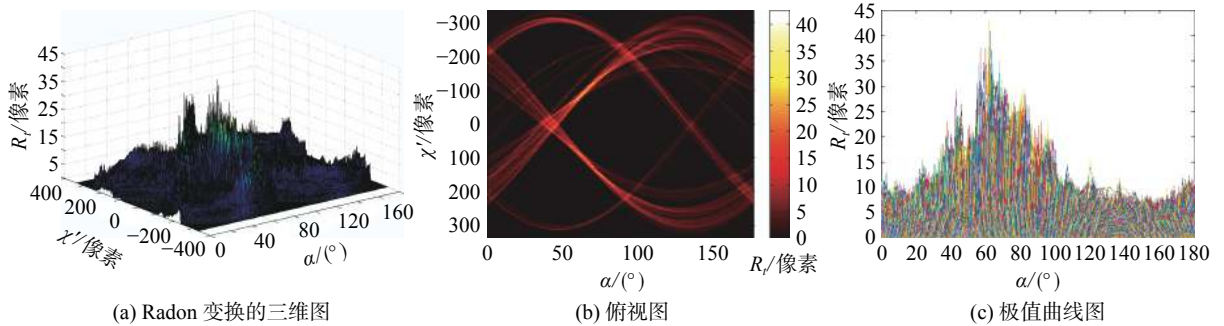


图3 Radon 变换一

Fig. 3 Method 1 after Radon transformation

根据上述分析, 我们的改进方法一步骤如下:

(1) 对模糊图像 $g(x, y)$ 进行二维离散傅里叶变换得到频谱图 $G(u, v)$, 为了增强其频谱图条纹的清晰度, 我们取其频谱图谱再进行对数运算 $G'(u, v) = |\lg(|G(u, v)| + 1)|$ 。

(2) 将 $G'(u, v)$ 非中心化, 则得到一个新的频谱图 $B(u, v)$ 。

(3) 对新的频谱图 $B(u, v)$ 进行裁剪, 得到 $D(u, v)$ (将四个边角上的十字亮线裁剪掉, 裁剪掉了干扰信息, 大大减少了十字亮线对 Radon 变换的影响)。

(4) 对裁剪后的图像进行 Canny 边缘检测, 得到一个有白色线条的图像 $E(u, v)$ 。

(5) 将图像 $E(u, v)$ 进行 Radon 变换, 得到一个

矩阵 R ，然后将这个矩阵 R 和旋转角 α 画一个极值曲线，求出其最大值，最大值对应的横坐标就是其旋转的角度，则该角度 α 就是我们所求的运动模糊角度 θ ， θ 的取值范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

2.2 用模糊图像的二次傅里叶变换检测模糊角度

上述方法是对模糊图像做一次傅里叶变换，用 Canny 算子检测其明暗相间的条纹信息，但 Canny 算子只是在图像中找出具有局部最大梯度幅值的像素点，而对于频谱图中明暗相间条纹模糊且梯度较小的时候，其边缘检测和 Radon 变换的误差将会非常大，如图 4 所示。

图 4(c) 边缘检测图显示不出明暗相间条纹的边缘信息，且中心十字亮线对检测精度影响较大，以致 Radon 变换检测误差较大。

针对这样的问题，我们对该模糊图像进行二次离散傅里叶变换(改进方法二)，以此来细化条纹，然后进行边缘检测。从图 5 可以发现，中心十字亮线的干扰很严重，且二次傅里叶变换的频谱图主要信息分布在中心地带(见图 5(c))。通过裁剪该频谱图的中心部分，(见图 5(e))，可以减少中心十字亮线的干扰，提高 Radon 变换的检测精度，对图 5(e) 进行 Radon 变换后即可求得模糊角度，如图 6 所示。

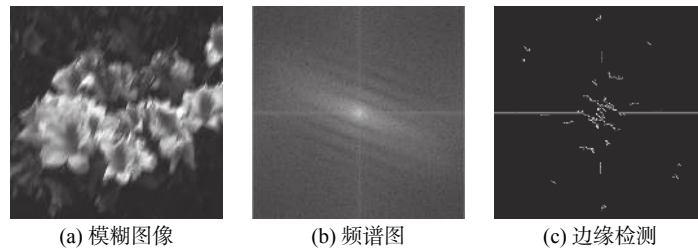


图 4 模糊图像、频谱图及其边缘检测

Fig. 4 Blur image, spectrum and edge detection

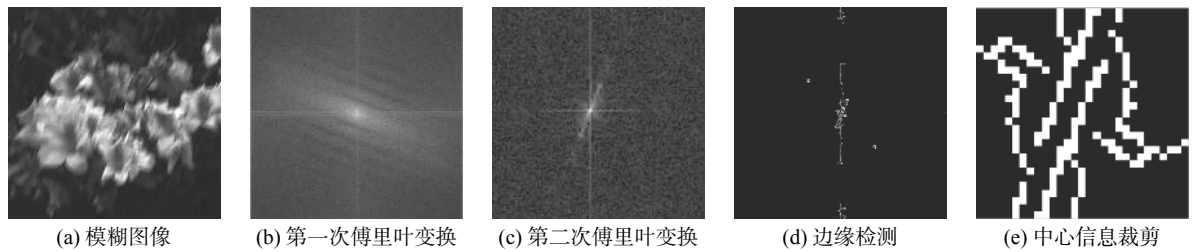


图 5 改进方法二图

Fig. 5 Image obtained by method 2

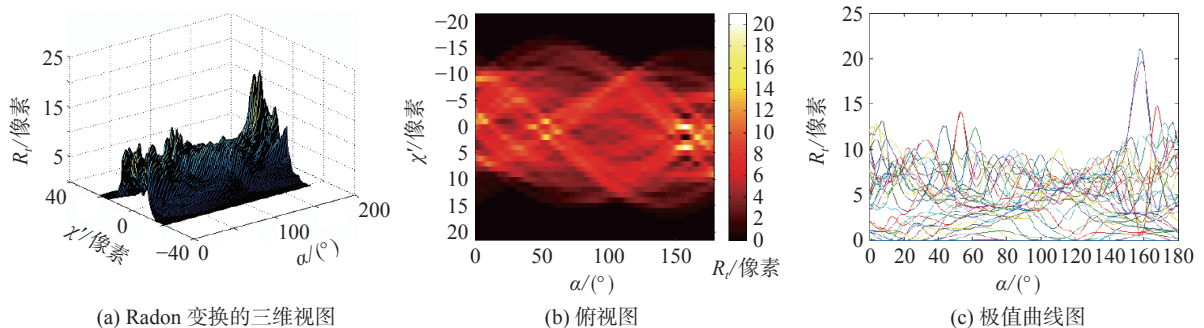


图 6 Radon 变换二

Fig. 6 Method 2 after Radon transformation

根据上述分析，我们的改进方法二步骤如下：

(1) 求模糊图像 $g(x, y)$ 的二次傅里叶频谱图。

先 $g(x, y) \xrightarrow{\text{DFT}} G(u, v)$ ，其中为了增强条纹清晰度和压缩灰度范围，使 $G'(u, v) = |g(1 + |G(u, v)|)|$ ，再

次傅里叶变换 $G'(u, v) \xrightarrow{\text{DFT}} C(j, k)$, 其中 $C'(j, k) = |\lg(|C(j, k)| + 1)|$ 。

(2) 对 $C'(j, k)$ 进行 Canny 算子边缘检测, 得到一个二值图像 $D(j, k)$ 。

(3) 将上述二值图像进行裁剪, 保留其中心信息, 裁剪去多余的十字亮线部分, 得到 $E(j, k)$ 。

(4) 对 $E(j, k)$ 进行 Radon 变换, 得到一个矩阵 P , 根据矩阵 P 和旋转角 α 画一个极值曲线, 求出其最大值, 最大值对应的横坐标就是其旋转的角度, 再根据换算关系, 得到所求模糊角度与旋转角的关系

$$\theta = \begin{cases} \alpha + 90^\circ & \alpha < 90^\circ \\ \alpha - 90^\circ & \alpha \geq 90^\circ \end{cases} \quad (9)$$

式中 α 的取值范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

3 实验数据与分析

为了分析和验证上述两种改进方法的可靠性, 我们分别对不同模糊角度的两幅图 (如图 7、图 8 所示) 进行对比实验, 模糊角度和模糊长度由计算机仿真所得, 所以可以有真实角度提供对比。

模糊角度 θ 为 $0^\circ \sim 180^\circ$ (每 20° 选取一个角度), 模糊长度 L 为 $10 \sim 50$ (每 10 个像素单位选取一个长度), 表 1、表 2 为实验结果, 表中“直接\分块\改进一\改进二”分别表示直接对频谱图

进行 Radon 变换、将频谱图分块进行 Radon 变换、经改进方法一、经改进方法二后所得检测角度与真实角度差的绝对值。

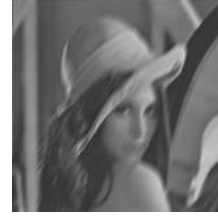


图 7 Lena (频谱图条纹清晰)

Fig. 7 Lena image (clear fringes in the spectrum)



图 8 Bridge (频谱图条纹不清晰)

Fig. 8 Bridge image (blur fringes in the spectrum)

表 1 数据表明: 在频谱图条纹清晰的时候 (图 7), 直接对模糊图像的频谱图进行 Radon 变换可以大致检测出角度, 但检测精度不高, 且模糊长度越小, 其检测误差越大; 分块频谱图可以提高精度, 但是相对于我们改进的方法一和方法二, 误差比较大, 检测精度没有我们改进后的高, 方法一相对于方法二精度较高。

表 1 运动模糊图像 (图 7) 模糊角度检测误差对比结果

Tab. 1 Errors of the motion blur angle in Fig. 7

真实角度 θ	直接\分块\改进一\改进二				
	$L=10$	$L=20$	$L=30$	$L=40$	$L=50$
0°	$1^\circ 1' 1'' 1^\circ$	$1^\circ 1' 1'' 1^\circ$	$1^\circ 1' 2'' 1^\circ$	$1^\circ 1' 0'' 0^\circ$	$1^\circ 1' 0'' 0^\circ$
20°	$61^\circ 7' 2'' 0^\circ$	$1^\circ 2' 0'' 0^\circ$	$0^\circ 0' 1'' 0^\circ$	$1^\circ 2' 0'' 0^\circ$	$0^\circ 0' 1'' 0^\circ$
40°	$6^\circ 8' 0'' 3^\circ$	$4^\circ 3' 2'' 0^\circ$	$2^\circ 2' 0'' 0^\circ$	$3^\circ 1' 2'' 0^\circ$	$1^\circ 1' 0'' 0^\circ$
60°	$4^\circ 6' 1'' 1^\circ$	$4^\circ 1' 0'' 0^\circ$	$6^\circ 0' 0'' 0^\circ$	$3^\circ 2' 1'' 1^\circ$	$2^\circ 1' 0'' 0^\circ$
80°	$16^\circ 3' 0'' 3^\circ$	$6^\circ 7' 0'' 3^\circ$	$1^\circ 1' 0'' 3^\circ$	$7^\circ 5' 0'' 10^\circ$	$9^\circ 9' 0'' 1^\circ$
100°	$11^\circ 11' 1'' 0^\circ$	$1^\circ 1' 1'' 9^\circ$	$1^\circ 1' 0'' 8^\circ$	$8^\circ 9' 1'' 1^\circ$	$9^\circ 10' 0'' 8^\circ$
120°	$6^\circ 3' 1'' 2^\circ$	$6^\circ 5' 1'' 0^\circ$	$6^\circ 3' 2'' 0^\circ$	$1^\circ 3' 0'' 12^\circ$	$0^\circ 0' 0'' 0^\circ$
140°	$13^\circ 3' 1'' 1^\circ$	$3^\circ 2' 1'' 0^\circ$	$1^\circ 2' 1'' 3^\circ$	$2^\circ 3' 1'' 4^\circ$	$1^\circ 1' 1'' 1^\circ$
160°	$3^\circ 5' 3'' 6^\circ$	$6^\circ 1' 1'' 0^\circ$	$6^\circ 3' 1'' 1^\circ$	$3^\circ 1' 1'' 1^\circ$	$1^\circ 1' 0'' 0^\circ$

表 2 运动模糊图像(图 8)模糊角度检测误差对比结果
Tab. 2 Errors of the motion blur angle in Fig. 8

真实角度 θ	直接\分块\改进一\改进二				
	$L=10$	$L=20$	$L=30$	$L=40$	$L=50$
0°	1°\1°\1°	1°\1°\0°\2°	1°\1°\0°\0°	1°\1°\0°\0°	0°\0°\0°\0°
20°	4°\2°\3°\1°	2°\2°\2°\1°	2°\2°\0°\1°	1°\1°\0°\0°	1°\1°\0°\1°
40°	6°\3°\1°\0°	4°\3°\4°\1°	2°\2°\0°\0°	2°\1°\0°\0°	1°\1°\0°\0°
60°	16°\8°\2°\1°	16°\6°\6°\1°	19°\6°\6°\0°	22°\2°\0°\0°\0°	1°\0°\0°\0°
80°	11°\3°\0°\0°	8°\1°\8°\0°	8°\5°\5°\1°	1°\1°\0°\0°	8°\8°\5°\0°
100°	9°\7°\11°\1°	12°\10°\10°\1°	1°\1°\1°\0°	9°\9°\10°\0°	1°\1°\1°\0°
120°	5°\5°\2°\0°	22°\12°\10°\1°	22°\2°\22°\0°	1°\12°\2°\1°	12°\1°\2°\0°
140°	4°\5°\1°\1°	1°\1°\1°\1°	0°\0°\0°\1°	1°\11°\0°\0°	14°\11°\1°\1°
160°	13°\15°\10°\1°	5°\3°\6°\1°	1°\1°\0°\0°	11°\11°\16°\1°	1°\11°\0°\0°

表 2 数据表明：在频谱图条纹不清晰时(图 8)，直接对模糊图像的频谱图进行 Radon 变换和频谱图分块的方法误差较大，且改进方法一的检测误差也非常大，说明边缘检测检测不出模糊图像频谱图的明暗相间的条纹，同时将中心十字亮线检测了出来，所以很多数据都是接近 90°，而改进方法二的检测精度相对于其他的方法就很高。

对比表 1、表 2，我们可以发现：在频谱图条纹较清晰时，改进方法一的检测精度较高；在频谱图条纹较为模糊时改进方法一误差较大，而改进方法二的检测精度较高。

4 结 论

运动模糊图像的复原，其 PSF 的获得直接影响图像的复原效果，为了提高运动模糊图像的模糊角度检测精度，在其他学者研究的基础上，本文提出了两种不同的改进方法。针对不同的模糊图像频谱图，给出了不同的检测方法，检测精度得到了提高。但是本文也存在着一些不足，因为在运动模糊图像的获取中一般都会存在多方向、多尺度的模糊，并且在照明条件较差的时

候，也会存在大量的噪声，在后续的工作中，这些问题还有待进一步的解决。

参考文献：

- [1] YUEN H K, PRINCEN J, ILLINGWORTH J, et al. Comparative study of Hough transform methods for circle finding[J]. Image and Vision Computing, 1989, 8(1): 71 – 77.
- [2] ARASHLOO S R, AHMADYFARD A. Fine estimation of blur parameters for image restoration[C]//Proceedings of the 15th international conference on digital signal processing. Cardiff: IEEE, 2007: 427-430.
- [3] 陈前荣, 陆启生, 成礼智. 利用拉氏算子鉴别运动模糊方向[J]. 计算机应用, 2004, 24(9): 4 – 6.
- [4] 倪时金, 李星野, 吴婷婷. 运动模糊图像的 PSF 参数辨识[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(6): 152 – 155.
- [5] 贤光, 颜昌翔, 张新洁. 运动模糊图像点扩散函数的频谱估计法[J]. 液晶与显示, 2014, 29(5): 751 – 755.
- [6] 余成波. 数字图像处理及 MATLAB 实现[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2003.
- [7] 王琳, 师雪艳, 张少辉, 等. 基于 Radon 变换的遥感图像运动模糊参数精确估计[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(12): 3798 – 3800.

(编辑: 刘铁英)