

# 运动模糊图像的维纳滤波复原研究

周 玉<sup>1</sup>, 彭召意<sup>2</sup>

ZHOU Yu<sup>1</sup>, PENG Zhao-yi<sup>2</sup>

1.湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412008

2.湖南工业大学 计算机与通信工程学院, 湖南 株洲 412008

1.School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan 412008, China

2.School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan 412008, China

E-mail: zypzy8@163.com

**ZHOU Yu, PENG Zhao-yi. Study on Wiener filtering for restoration of motion blurred image. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(19): 181-183.**

**Abstract:** According to the characteristics of image blurring caused by motion, analyzed detailedly the degradation model and the recovery model of blurred image causing by uniform linear motion, made up the algorithm of point spread function which is directly set up in the moving direction, and used the improved Hough transform to detect point spread parameters. This paper uses secondary Wiener filtering method to recover blurring image. Experiments show that the means enhance the noise immunity and stability of recovered images, as well as effectively preserved image detail at the request of a priori conditions without adding any circumstances.

**Key words:** motion-blurred image; image restoration; point spread function; Hough transform improved algorithm; quadratic Wiener filter

**摘 要:** 根据运动造成图像模糊的特点详细分析了匀速直线运动模糊图像的退化模型和恢复模型, 提出直接在运动方向上建立点扩展函数的算法, 并利用改进的霍夫变换检测点扩散参数, 再利用二次维纳滤波的方法复原图像。通过实验表明在图像先验条件的要求没有增加的情况下, 该方法提高了像复原的抗噪性和稳定性, 并且有效的保持图像细节。

**关键词:** 运动模糊图像; 图像复原; 点扩展函数; 霍夫变换改进算法; 二次维纳滤波

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.19.056 **文章编号:** 1002-8331(2009)19-0181-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

造成图像模糊的原因有很多, 如相机和物体之间的相对运动、相机的聚焦不好以及噪声的影响等。本文讨论的是匀速直线运动模糊图像的复原问题, 在假设造成图像模糊的原因确切已知的情况下, 可以准确地计算噪声参数和点扩散参数, 利用多种方法进行图像的恢复, 例如逆滤波法、维纳滤波法、最小线性二乘法等<sup>[1]</sup>。但是在实际中造成图像模糊的原因是不可能完全知道的, 采用在运动方向上建立点扩展函数的算法, 利用霍夫变换确定模糊的方向, 再根据自相关计算模糊的长度, 进行一次维纳滤波方法求得原图像的初始估值, 然后利用该初始值求得原图像及噪声的谱密度估值, 进而利用这些新获得的信息构成改进的维纳滤波器对退化图像进行第二次滤波。

## 1 运动模糊图像模型

设  $f(x, y)$  是原始图像, 并设  $x_0(t)$  和  $y_0(t)$  是图像在  $x$  和  $y$  方向的运动分量,  $T$  为采集时间, 该时间段造成的模糊图像  $g(x, y)$  可以表示为<sup>[2]</sup>:

$$g(x, y) = \int_0^T [f(x - x_0(t), y - y_0(t))] dt \quad (1)$$

进行傅里叶变换, 则有:

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

令  $H(u, v) = \int_0^T e^{-j2\pi[u x_0(t) + v y_0(t)]} dt$ , 则有:

$$G(u, v) = H(u, v) F(u, v) \quad (3)$$

假设有图像在某一方向上做匀速直线运动, 即:  $\begin{cases} x_0(t) = at/T \\ y_0(t) = bt/T \end{cases}$ , 则

退化的传递函数为:

$$H(u, v) = \frac{T}{\pi(ua + vb)} \sin[\pi(ua + vb)] e^{-j\pi(ua + vb)} \quad (4)$$

考虑到图像的噪声, 由式(4)得:

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

式中,  $F(u, v)$ 、 $H(u, v)$ 、 $N(u, v)$ 、 $G(u, v)$  分别是失真图像、退化模型、模糊图像及噪声的傅里叶变换。

## 2 模糊图像的维纳滤波复原模型

维纳滤波是寻找一个滤波器, 使得复原图像  $\hat{f}(x, y)$  与原始

基金项目: 湖南省教育厅科学研究项目 (No. 07C233)。

作者简介: 周玉 (1974-), 女, 讲师, 主要研究领域为图像处理、计算机应用; 彭召意 (1968-), 男, 副教授, 主要研究领域为图像处理与模式识别。

收稿日期: 2009-03-30

修回日期: 2009-05-18

图像 $f(x, y)$ 的均方误差最小, 即 $E\left\{\left[\hat{f}(x, y)-f(x, y)\right]^2\right\}=\min$ , 由维纳滤波器得到的原图像估计为<sup>[2]</sup>:

$$\hat{F}(u, v)=\frac{1}{H(u, v)} * \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + s \frac{P_n(u, v)}{p_f(u, v)}} G(u, v) \quad (6)$$

$|H(u, v)|^2 = H^*(u, v)H(u, v)$ ,  $H^*(u, v)$ 是退化函数 $H(u, v)$ 的复共轭;  $P_n(u, v)$ 是噪声功率谱,  $P_f(u, v)$ 是原始图像功率谱。而在实际应用中 $P_n(u, v)$ 和 $P_f(u, v)$ 难以计算。

用下式来估算:

$$\hat{F}(u, v)=\frac{1}{H(u, v)} * \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + \tau} G(u, v) \quad (7)$$

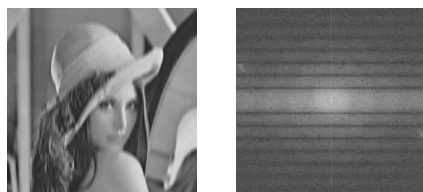
## 2.1 运动模糊角度参数的估计

对于匀速直线运动模糊图像来说, 点扩展函数可以描述为<sup>[3]</sup>:

$$h(x, y)=\begin{cases} 1/d & 0 \leq |x| \leq d \cos \phi, y=d \sin \phi \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

式中 $d$ 为点扩展函数PSF的尺度,  $\phi$ 为点扩展函数相对于水平方向的角度。模糊图像复原的关键就在于PSF参数准确估计, 利用霍夫变换来获取运动参数<sup>[3]</sup>。

从式(1)可看出, 只需要识别出运动模糊图像的模糊角度 $\phi$ 及模糊带宽 $d$ , 便可得出点扩展函数的具体形式。在大部分的研究中, 对运动模糊方向角度的识别都是基于图像的傅里叶频谱。对于信噪比较高的运动模糊图像, 能在傅里叶频谱上看到明显的平行黑线, 如图1(b)所示。



(a)  $d=15, \phi=90^\circ$  (b) 傅里叶频谱  
图1 运动模糊图像及相应的傅里叶频谱

可见, 对图像进行傅里叶变换后, 大多数的变换系数为0, 少数的非0系数构成条纹, 在其频谱上形成了一系列暗线, 暗线与 $x$ 轴正方向的夹角就是图像模糊运动的角度逆时针旋转 $90^\circ$ 得到的, 频谱上暗线的个数就是模糊长度, 通过霍夫变换检测这些暗线的位置信息, 即可估计出运动模糊的各项参数。传统的方法如文献[4]中所提的识别算法FBD, 其抗噪性能有待提高, 在此基础上, 对该算法加以改进并简化, 具体算法如下:

(1) 加强对含噪图像的去噪处理, 得到去噪后的模糊图像 $f'$ ;

(2) 计算图像 $f'$ 的傅里叶变换 $G(u, v)$ ;

(3) 对 $G(u, v)$ 进行取模, 之后应用平滑滤波;

(4) 对第(3)步中的结果进行二值图变换;

(5) 对第(4)步中得到的二值图使用霍夫变换并得到模糊角度。

## 2.2 运动模糊尺度参数的估计

有了模糊角度后, 就可以估计模糊尺度<sup>[5]</sup>, 对处理后的图像计算自相关, 并将自相关图像的各行数据相加得到鉴别曲线

(icorr), 通过曲线的信息得到模糊尺度。具体算法如下:

应用PSF的 $\phi$ , 将图像旋转到模糊方向上。选取区域 $i \times j$ , 搜索区域为 $(i+2d) \times (j+2d)$ , 根据对目标选取的图像区域设为 $i, j, d$ , 考虑到图像噪声的影响, 可以先对图像进行中值滤波。区域选择时, 尽可能选取傅里叶变换图中较为清晰的部分, 根据对目标相对位置的估计确定 $i, j, d$ , 然后计算各行的水平方向的自相关函数值 $S_{(x, y)}$ , 将 $S_{(x, y)}$ 各列求平均。其结果应该为在水平方向上相关中心点的左右两侧分别出现一个最低值点。这两点到中心的距离应相等, 而两点之间的距离就是模糊尺度。

## 3 $\tau$ 的估计

定义图像的信噪比为 $SNR=P_n(u, v)/P_f(u, v)$ , 实际应用中 $SNR$ 难以计算, 因此采用下述方法估算信噪比:

假设模糊图像是受到单一的加性噪声干扰, 如椒盐噪声, 那么先对 $g(x)$ 进行中值滤波, 得到去噪后的图像 $g'(x)$ , 然后, 估计信噪比为<sup>[6]</sup>:

$$SNR=10 \lg \left[ \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N g(i, j)^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [g(i, j)-g'(i, j)]^2} \right]^2 \quad (9)$$

$M$ 和 $N$ 分别是图像长度和宽度上的像素个数,  $g(i, j)$ 和 $g'(i, j)$ 分别是原图和去噪后的图像在点 $(i, j)$ 处的灰度值。当 $SNR$ 确定后, 计算 $\gamma=1/SNR$ 。

## 4 改进的维纳滤波

上面的维纳滤模糊图像的方法, 在要求不高的场合可得到基本满意的结果。但该方法未能充分利用图像和噪声本身的信息, 故难以得到高质量的图像复原效果。利用文献[7]的思想, 对模糊图像进行二次维纳滤波, 滤波器如下:

$$\hat{F}(u, v)=\frac{1}{H(u, v)} * \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + \sigma_n^2 / p_f(u, v)} G(u, v) \quad (10)$$

式中: $p_f(u, v)$ 为第一次维纳滤波后得到的原图像估计值的功率谱,  $\sigma_n^2$ 是噪声均方值, 可以根据第一次滤波恢复的结果 $f_1(x, y)$ 估计:

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{MN} \sum [g(x, y)-f_1(x, y)*h(x, y)]^2 \quad (11)$$

## 5 实验和结论

对lena图像按本文方法进行维纳滤波复原, 实验结果如图2、3。

由实验结果可知: 由于模糊图像存在有加性噪声, 尽管进行了去噪预处理, 但图像的傅里叶变换效果仍不是很理想, 如图3(a)所示。如果用传统的方法直接对图3(a)进行霍夫变换, 如图3(c)所示, 显然模糊角度误差很大, 将会严重影响图像复原的质量, 甚至无法还原图像。而采用本文的方法如图3(d)所示, 由于加强了对傅里叶变换图的预处理, 通过对二值图的霍夫变换可以很大程度提高模糊角度的准确估计, 提高图像复原的质量。图3(e)是自相关运算结果, 估算模糊尺度为20.2。图2(c)和图2(d)分别为第一次维纳滤波的图像和第二次维纳滤波的图像。图2(d)利用原图像的估计信息构成改进的维纳滤

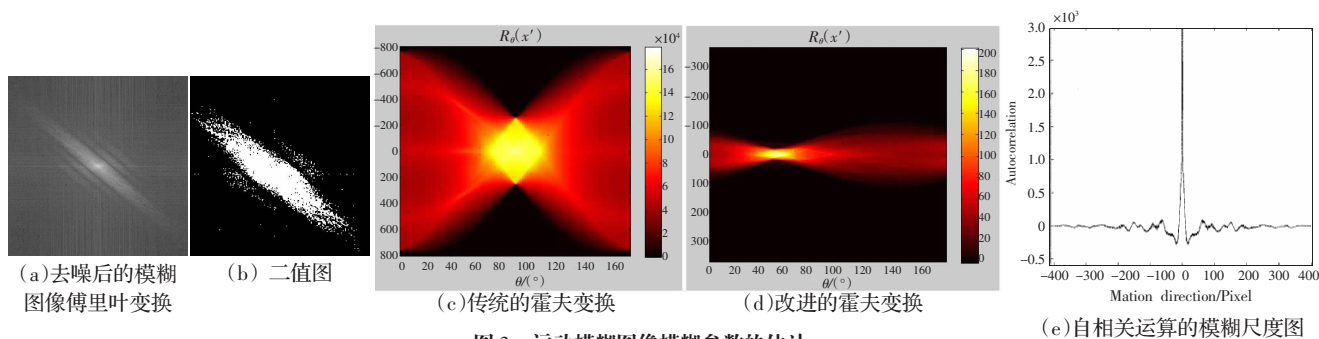


图3 运动模糊图像模糊参数的估计

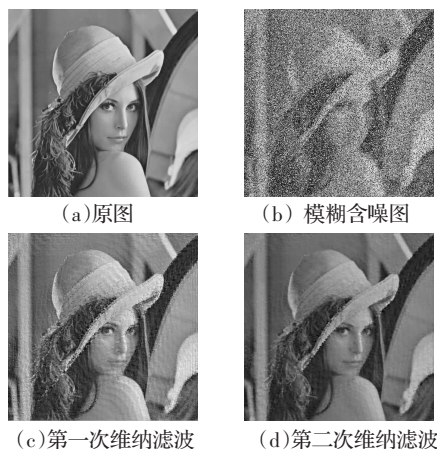


图2 运动模糊图像及维纳滤波复原结果

(模糊尺度=20,模糊角度=50,椒盐噪声0.4)

波器对退化图像进行第二次滤波,突出了图像的复原细节,提高了图像的整体质量。

## 6 结束语

对于匀速直线运动模糊造成的图像退化进行了详细阐述,说明点扩展函数的准确估计是影响图像恢复结果好坏的关键问题。采用了改进的基于频域中 Hough 变换的方法计算模糊角度,再将图像旋转,进行差分与统计,计算模糊模糊尺度。然

后利用二次维纳滤波对图像进行了还原。根据实验得到的证明,该方法在能够有效地消除含噪运动模糊的影响,提升图像还原的质量,并为后续处理提供较好的基础。

## 参考文献:

- [1] Gonzalez R C, Woods R E.数字图像处理[M].阮秋琦,译.2版.北京:电子工业出版社,2003:175-176.
- [2] 姚敏.数字图像处理[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [3] Kumar A, Goel N K, Vashey R K. Studies on a few mode fiber-optic strain sensor based on LP01-LP02 mode interference[J]. Journal of Lightwave Technology, 2001, 19(3): 358-362.
- [4] Lokhande R. Identification of parameters and restoration of motion blurred images[M]. Dijon: ACM Press, 2006.
- [5] Sharma P, Kumar A, Varshney R K. Studies on the Excitation of LP01 and LP02 modes in a few mode optical fiber for sensing applications[C]//Ray S K, Mathur B K, Das S. International Conference on Fiber Optics and Photonics, Proceeding of SPIE, 2001, 44(17): 506-512.
- [6] Moghaddam M E, Jamzad M. Motion blur identification in noisy images using fuzzy sets[J]. IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, 2005(5): 862-866.
- [7] 刘晓辉, 郭成安, 胡家升. 惯性约束聚变中穿孔编码图像恢复的改进维纳滤波方法[J]. 光学学报, 2004, 24(8): 1045-1050.

(上接 173 页)



图2 原始分水岭算法处理后的图像



图3 线性空间滤波后的图像



图4 利用本文算法处理后的图像

列举。根据此算法,无论是具有什么特征的图像,其区域函数式第一次导数趋于平滑时,即连续对应四个临界值的导数相近时,即可得到最佳分割。

## 3 结束语

算法的优点是不需考虑图内各区域的特征。该算法最大计算量是在计算区域函数式,经初步实验结果显示并不需计算所有的临界值,节省了计算量。该算法的关键是在找第一次出现区域函数式导数的平坦点,即连续4个导数在额定误差范围

内,如何设定误差范围是关键,由于判定是否为最佳分割,是以主观观察而得,因此如何对最佳分割做客观定量分析也是需要再深入探讨的地方。

## 参考文献:

- [1] 高丽,杨树元,李海强.一种基于标记的分水岭图像分割新算法[J].中国图象图形学报,2007,6(12):1025-1032.
- [2] 康维,欧阳成,王广志,等.基于分水岭变换的彩色细胞图形分割[J].清华大学学报:自然科学版,2006,3(46):414-417.
- [3] 肖助明,冯月亮,李涛,等.形态分水岭算法在重叠米粒图像分割中的应用[J].计算机工程与应用,2007,43(24):196-199.
- [4] 刘海滨,何系勤,刘向东.基于分水岭和区域合并的图像分割算法[J].计算机应用研究,2007,9(24):307-308.
- [5] 林小竹,王彦敏,杜天苍,等.基于分水岭变换的目标图像的分割与计数方法[J].计算机工程,2006,15(32):181-183.
- [6] 林开颜,吴军辉,徐立鸿.彩色图像分割方法综述[J].中国图象图形学报,2005,1(10):1-10.
- [7] 王晓鹏,罗进文.基于形态学梯度重建的分水岭分割[J].光电子·激光,2005,1(16):98-101.