

基于模糊函数估计和变分泛函数优化的含噪声模糊图像复原算法^①

张寒冰

(浙江东方职业技术学院 工程技术系, 温州 325011)

摘要: 针对摄影图像中常见的噪声和模糊同时退化图像的问题, 提出一种 Radon 变换估计模糊函数结合变分泛函数优化的图像复原算法. 算法首先利用方向滤波器对图像去噪, 然后利用 Radon 变换以去除方向滤波在模糊函数估计中引起的偏差, 再利用模糊函数通过去卷积操作去除模糊, 最后在去模糊的基础上利用 L0 梯度范数的变换泛函数的优化算法, 去除剩余噪声从而对图像进行复原. 实验表明, 该算法可以有效地恢复摄影图像中的场景.

关键词: 图像复原; 模糊; 噪声; 变分泛函数

Spread Point Function Estimation and Variational Function Based Image Restoration Algorithm for Blurring and Noisy Image

ZHANG Han-Bing

(Zhejiang Dongfang Vocational and Technological College, Wenzhou 325011, China)

Abstract: An image restoration based on Radon transform and minimizing variational function was proposed, in order to restore the blurring and noisy images by photography. The proposed algorithm firstly de-noised the blurring and noisy image by directional filter, then estimated the spread point function based on Radon transform which can eliminate error of the estimation due to the directional filter. Since then, the original image was de-blurred by de-convolution with the spread point function. Finally, the de-blurred image was further de-noised by the variational function with L0-norm regularization. By experiments, the proposed algorithm can restore blurring and noisy images.

Key words: image restoration; blur; noise; variational function

1 引言

实际的摄影成像过程中, 模糊和噪声是一种常见降低图像质量的现象. 通常情况下, 相机的光圈大、曝光时间长时, 噪声则非常小、图像主要问题则是模糊; 反之, 光圈小、曝光时间短时, 图像的主要问题则是噪声. 在这种情况下, 图像复原只需去模糊或去噪声. 但在某些情况下, 噪声与模糊常常同时存在, 因此需要图像复原算法既能去除模糊又能去除噪声.

图像复原是从被模糊、噪声等污染的退化图像中恢复原始图像的过程, 它是图像处理的一个重要的研究领域和研究热点. 近年来, 国内外针对图像的去模糊和去噪声分别做了大量的研究, 并在各研究方向上出现了许多优秀的算法. 例如, 在模糊图像的复原算

法^[1,2]中, 以分析模糊图像, 构建模糊函数(也称点扩散函数)的算法思想最为突出. 但此类算法的前提是不考虑噪声, 而当噪声存在时, 构建的模糊函数则会与实际产生不同程度的偏差, 从而导致图像不仅不能从模糊中复原, 而且可能使得噪声恶化. 同样, 在众多噪声图像的复原算法^[3-5,9]中, 变分泛函数的优化的算法^[3, 4]去除噪声同时也能保持图像边缘. 变分泛函数的优化算法通过变分泛函数中正则项区分边缘梯度和噪声的梯度, 从而达到既能保持边缘, 同时去除噪声, 但具有模糊退化效果的图像的的边缘失去了原有的梯度, 在一些情况下与噪声的梯度无法区分, 从而影响图像的复原.

由此, 本文针对噪声的模糊退化的图像, 在结合上述两类算法优点的基础上提出一个图像复原算法.

^① 收稿时间:2014-03-26;收到修改稿时间:2014-05-04

算法首先利用方向滤波器对图像去噪, 然后利用 Radon 变换以去除方向滤波在模糊函数估计中引起的偏差, 再利用模糊函数通过去卷积操作去除模糊, 最后在去模糊的基础上利用 L0 梯度范数的变换泛函的优化算法, 去除剩余噪声从而对图像进行复原. 此算法能在不受噪声影响下估计出图像的模糊函数, 并能利用变分泛函优化算法去除模糊和噪声, 复原图像.

2 图像复原模型

如上所述, 在噪声和模糊退化图像的复原中, 先去噪声则无法避免图像更加模糊, 以至于可能无法复原, 因而, 如果先在避免噪声影响下估计出模糊函数, 则可最终复原图像. 因此, 本文算法在参考文献[1, 6, 7]的启发下, 首先利用低通性质的方向滤波器去除需要复原图像的噪声用以估计模糊函数, 再利用 Radon 转换去除方向滤波器对模糊函数估计的影响, 在利用所得模糊函数对原始需要复原图像进行去卷积处理后, 利用基于 L0 梯度范数的变分函数的优化算法复原图像.

2.1 去噪模型

图像复原模型一般表示为:

$$I = B * h + N \quad (1)$$

式(1)中, I 为噪声和模糊退化图像, 即需要复原的图像, B 为原始理想图像, h 表示模糊函数, 也称为点扩散函数^[1](PSF, Point Spread Function), N 为加性噪声, $*$ 表示卷积操作. 用 B' 表示原始图像 B 在模糊函数 h 下的模糊退化图像, 即为 $B' = B * h$. 在此图像复原模型中, 如果模糊函数 h 已知, 则可以通过变分泛函的优化的方法(如式(2)所示), 去除噪声复原图像.

$$B = \operatorname{argmin} \left\{ \frac{1}{2} \| B' - I \|_2 + \lambda \beta(B') \right\} \quad (2)$$

式(2)中, $\frac{1}{2} \| B' - I \|_2$ 表示变分泛函的保真函数, 控制无噪模糊退化图像 B' 与退化图像 I 的相似程度, 实际为 I 与 B' 之间差的 l^2 范数, 具体如下:

$$\| B' - I \|_2 = \sum_p (B_p - I_p)^2 \quad (3)$$

式(3)中, p 表示图像像素的位置. 式(2)中, $\beta(B')$ 表示变分泛函的正则项, 控制去噪时对图像的理模糊程度. λ 表示正规化系数, 平衡最小化变分泛函时正则项和保真函数贡献, 通常取 $\lambda \geq 0$, 在本文的实验中取 0.005. 本文算法考虑去噪效果和计算的速度

的因素, 正则项由图像 B' 的梯度 L0 范数所得, 具体为:

$$\beta(B') = \| G(B') \|^0 = \# \{ p \mid |\partial_x B'_p| + |\partial_y B'_p| \neq 0 \} \quad (4)$$

式(4)中, $G(B')$ 表示图像 B' 的梯度, 通过计算 B' 的一阶偏导数所得, $\partial_x B'_p$ 和 $\partial_y B'_p$ 分别表示图像 B' 中 p 点像素在 x 轴和 y 轴方向的一阶偏导数, 符号 $\#$ 则表示一阶梯度的 L0 范数的非零值统计操作符.

2.2 模糊函数的估计

在模糊退化图像的复原中, 复原得的效果主要依赖于模糊类型和模糊函数的估计. 成像过程中图像的模糊主要来源于运动模糊和散焦模糊. 在无噪声的情况下, 目前有很多方法不仅可以辨识模糊的类型还可以估计出具体的模糊函数. 但在噪声影响下, 这些方法在模糊函数的估计时则面临两难的巨变, 不去噪会影响模糊函数估计得准确性, 经过低通滤波去噪后又模糊模糊函数, 如式(5)所示:

$$\begin{aligned} h_g &= \operatorname{argmin}_{h_c} \| I * g - B * h_g \|^2 \\ &= \operatorname{argmin}_{h_c} \| (B * h + N) * g - B * h_g \|^2 \\ &\approx \operatorname{argmin}_{h_c} \| B * (h * g - h_g) \|^2 = h * g \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)中, h 为上文所指原始图像的模糊函数, h_g 表示低通去噪后的模糊函数. 由于 g 低通函数, 由式(5)可见, 如果由模糊函数 h_g 复原图像, 则会丢失图像高频信息. 因此, 本文算法首先要选择一个适合的低通滤波器 g , 使得模糊函数的估计在某种空间不受其影响. 根据参考文献[1, 6, 7, 10]的研究基础上发现, 如果低通滤波器为方向滤波器, 在 Radon 转换时可以消除低通滤波的影响, 具体如下式所示:

$$R_{\theta'}(h_{\theta}) = R_{\theta'}(h * f_{\theta}) = R_{\theta'}(h) * R_{\theta'}(f_{\theta}) = R_{\theta'}(h) \quad (6)$$

式中, $R_{\theta'}(\bullet)$ 表示在 θ' (且 $\theta' = \theta + \frac{\pi}{2}$) 方向上的 Radon 转换, 具体计算如式(7)所示.

$$R_{\theta'}(h) = \iint h(x, y) \delta(\rho - x \cos(\theta') - y \sin(\theta')) dx dy \quad (7)$$

式中, $h(x, y)$ 表示模糊函数在坐标 (x, y) 上的值, Radon 变换是对二维信号沿着直线 $\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta)$ 方向进行积分得到一维信号. 另外, 作为去噪低通滤波器 g 的方向滤波器 f_{θ} 由下式所得:

$$I_p * f_{\theta} = \frac{1}{k} \int_{-\infty}^{\infty} w(t) I(p + tV_{\theta}) dt \quad (8)$$

式中, I 表示噪声和模糊退化的图像, p 表示图像像素位置, t 表示图像中某个像素到 p 位置的距离, $w(t)$ 表示高斯低通滤波器, 即 $w(t) = \exp(\frac{-t^2}{2\sigma^2})$, δ 控制滤波器窗口大小. 参数 k 是为了控制 $\int_{-\infty}^{\infty} w(t) dt = 1$, V_θ 表示 θ 方向的矢量, $V_\theta = (\cos\theta, \sin\theta)^T$. 最后, 由公式(5)和(8)得出式(9)以估计出模糊函数:

$$h_\theta = h * f_\theta \quad (9)$$

式(7)中, h_θ 表示模糊函数在 θ 方向的模糊函数. 此外, 根据式(8)中方向函数的定义, $R_\theta(f_\theta)$ 实质则为一维单位脉冲函数, 因而方向函数 f_θ 在 Radon 变换中不会影响垂直方向的模糊函数, 也就是说, 利用方向滤波器去除噪声后估计出的模糊函数与真实的模糊函数相同.

由如上分析, 本文算法的模糊函数估计处理部分先利用方向滤波器估计出模糊函数 h_θ , 再做 Radon 变换, 并根据公式(6)获得模糊函数 h 的 Radon 变换形式 $R_\theta(h_\theta)$ 后, 进行 Radon 变换的逆变换从而估计出模糊函数 h . 最后, 把模糊函数代入公式(2)中, 用基于 L0 梯度范数的变分泛函复原图像.

3 仿真试验

首先选用标准灰度图像“Lena”、“Man”和“Parrot”, 并利用参考文献[8]的方法仿真实际摄影所得的加性噪声和运动模糊退化的图像, 且运动模糊的路线为随机产生. 图 1 给出“Lena”退化图像(见图 1 各子图的左图)和复原效果图(如图 1 各子图的右图所示). 其中, 退化图像的噪声为 5%, 表征不同程度运动模糊的曝光时间 T 依次为 0.0625、0.25、0.5 和 1. 由于图 1 发现, 通过本文算法复原后都得到比较清晰的图像. 另外, 表 1 中用峰值信噪比(PSNR, Peak Signal Noise Ratio)和结构相似性指数(SSIM, Structure Similar Index Measure)值表示了图 1 中的复原效果. 通过复原前后的 PSNR 和 MSSIM 值发现, 复原图像的质量有很大程度的改善. 此外, 为了测试本文算法对其他图像的适用性, 图 2 和图 3 中分别给出“Man”和“Parrot”的复原效果. 由于图 2 和图 3 中的比较发现, 尽管其中的退化图像被噪声和模糊退化的比较严重, 但复原图像不仅复原了原始图像的主要纹理结构, 而且原始图像中的细节也一定程度上得到了恢复.



(a) 白噪 5%, 曝光时间 0.0625



(b) 白噪 5%, 曝光时间 0.25



(c) 白噪 5%, 曝光时间 0.5

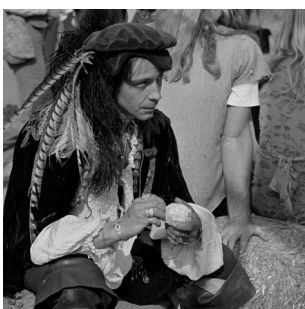


(d) 白噪 5%, 曝光时间 1.0

图 1 “Lena”:噪声和模糊退化图像(左)与本文算法复原图像(右)

表 1 图 1 中图像分别与原始图像的 PSNR 值和 MSSIM 值

	PSNR		MSSIM	
	退化图像	复原图像	退化图像	复原图像
(a)	67.6242	77.0460	0.2233	0.3124
(b)	69.6817	75.9497	0.3770	0.5638
(c)	68.5634	77.6776	0.4211	0.7113
(d)	70.1634	73.9890	0.5199	0.6515



(a) 原始图像



(b) 噪声与模糊退化图像



(c) 复原图像

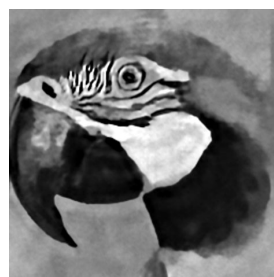
图 2 “Man”: 本文算法效果的比较



(a) 原始图像



(b) 噪声与模糊退化图像



(c) 复原图像

图 3 “Parrot”: 本文算法效果的比较

4 结语

本文针对任意大小和路线的运动模糊且含噪声的图像, 提出了一个图像复原算法. 算法首先利用方向滤波器在去除噪声的基础上估计模糊函数, 并对它进行 Radon 转换, 以避免方向滤波所对模糊函数估计产生的影响. 尽管以上的方法避免了模糊函数在噪声情况下的估计偏差, 但由于去模糊和去噪是截然相反的处理, 利用模糊函数去卷积不仅不能去噪还可能在一定程度上会放大噪声. 因此, 本文算法再利用基于 L0 梯度范数的变分泛函的方法去除噪声. 通过仿真实验发现, 本文算法基本针对含噪声模糊图像有较好的复原效果.

参考文献

- 1 Cho TS, Paris S, Horn BKP, et al. Blur kernel estimation using the radon transform. 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Cvpr). 2011. 241-248.
- 2 Cho S, Lee S. Fast motion deblurring. Acm Trans. on Graphics, 2009, 28(5).
- 3 Xu L, Lu C W, Xu Y, et al. Image smoothing via L-0 gradient minimization . Acm Trans. on Graphics, 2011, 30(6).
- 4 Dabov K, Foi A, Katkovnik V, et al. Image denoising by sparse 3-D transform-domain collaborative filtering. IEEE Trans. on Image Processing, 2007, 16(8): 2080-2095.
- 5 Kumar BKS. Image denoising based on gaussian/bilateral filter and its method noise thresholding . Signal Image and Video Processing, 2013, 7(6):1 159-1172.
- 6 Dobs M, Machala L, Furst T. Blurred image restoration: A fast method of finding the motion length and angle. Digital Signal Processing, 2010, 20(6): 1677-1686.
- 7 Paplinski AP. Directional filtering in edge detection. IEEE

- Trans Image Process, 1998, 7(4): 611–615.
- 8 Boracchi G, Foi A. Modeling the performance of image restoration from motion blur. IEEE Trans. on Image Processing, 2012, 21(8): 3502–3517.
- 9 Liu WH, Bai BD, Zhao XQ. Image restoration algorithm based on fusion with fuzzy similarity. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2013, 25(5): 616–621.
- 10 Deng CZ. Bivariate iterative shrinkage image restoration algorithm. Computer Engineering, 2013, 39 (10): 264–266.

www.c-s-a.org.cn

www.c-s-a.org.cn