

基于非迭代伪逆矩阵的快速图像去模糊算法

张桂宁

(陕西省行政学院, 陕西 宝鸡 710068)

摘要:针对当前的图像去模糊算法都是采用了迭代技术,使其时耗严重,且其复原质量受迭代预设阈值影响较大,难以兼顾高原质量与算法效率等不足,彻底避开迭代思想,通过引入伪逆矩阵,设计了基于非迭代伪逆矩阵的快速图像去模糊算法。通过将模糊图像分解为水平与垂直模糊,并定义测量数据间的最小距离视为附加矢量,借助伪逆矩阵与可分离的二维模糊方法,完成模糊消除。仿真结果表明:与当前基于迭代技术的去模糊算法相比,本研究算法的去模糊效率更高;模糊消除质量也较理想,其PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)值达到36.27 dB。

关键词:图像去模糊;非迭代复原;伪逆矩阵;可分离的二维模糊;PSNR

本文引用格式:张桂宁. 基于非迭代伪逆矩阵的快速图像去模糊算法[J]. 四川兵工学报, 2015(9): 111-113.

Citation format:ZHANG Gui-ning. Study on Fast Image Deblurring Algorithm Based on Non-Iteration Pseudoinverse Matrix [J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2015(9): 111-113.

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2015)09-0111-04

Study on Fast Image Deblurring Algorithm Based on Non-Iteration Pseudoinverse Matrix

ZHANG Gui-ning

(Shanxi Academy of Governance, Baoji 710068, China)

Abstract: For the defect of time-consuming serious and the restoration quality was influenced by the preset threshold iteration for resulting in difficult to give consideration to high recovery quality and algorithm efficiency in current image deblurring mechanism, the fast image deblurring algorithm based on non-iteration pseudoinverse matrix was proposed by introducing the pseudoinverse matrix and separable two-dimensional blur for the non-iteration. The blur was eliminated by decomposing the blur image into horizontal and vertical blur and defining the minimum distance between measurement data as additional vector. Simulation results showed that comparison with current image deblurring algorithm, this algorithm has higher deblurring efficiency and the deblurring quality is good with the PSNR 36.27 dB.

Key words: image delurring; non-iteration restoration; pseudoinverse matrix; separable two-dimensional blur; PSNR

随着计算机技术与各学科、各领域的不断交叉渗透,使得计算机技术应用范围日益变广。图像去模糊作为计算机技术的一个分支,在日常生活中占有重要地位,在国防、医疗以及商业以等领域中得到了广泛应用,已成为当前各学者的研究热点^[1-3]。但是,由于人为因素、摄像机以及光线等影响,导致相机实际输出图片的清晰度遭受破坏,表现为图像模糊、噪声污染等,继而丧失了许多视觉信息,给图像的信息提取与利用带来了较大的不利因素。其中,模糊就是图像常见的一种损坏方式。对此,为了能最大限度地还原图像,消除模糊,研究人员设计开发了相应的图像去模糊算法。去除模糊机制主要包含了:反卷积、全变分与多通道技术^[4-5]。如余恕梅等^[6]为了解决 Lucy-Ricardson(LR)算法修复后的重构图像残留一定的 Gibbs 效应与边缘振铃而导致复原质量不佳的不足,将一个函数嵌入到 LR 算法的复原图像迭代公式,并将其视为其系数,使得图像平滑区域与原来的 LR 算法的恢复方式相同,仿真测试结果显示其算法具有良好的去模糊效果,显著消除了复原图像中的伪影。徐梦娜等^[7]为了提高反卷积过程的时耗与存储空间,设计了基于循环边界和对称边界的图像分别采用离散傅里叶变换(DFT)和离散余弦变换(DCT)这两种快速算法替代传统卷积和反卷积的方法,通过利用矩阵对角化来显著降低反卷积算法的计算成本,避免了因模糊矩阵庞大且不易存储而造成的计算十分耗时的不足。B Hao 等^[8]为了提高图像复原效果,在正则化方法基础上考虑全变分,而且估算了全变分的正则化参数,并通过向前向后迭代分裂策略来实现去模糊,仿真结果表明该算法具有较好的去模糊效果,而且拥有较快的去模糊效率。邹丽琴等^[9]为了解决图像复原过程中存在的阶梯效应,引入四阶 LLT 模型与增广拉格朗日算法,并耦合多通道技术,设计了基于 LLT 模型的多通道图像复原算法,并通过实验验证了其算法的去模糊性能,结果显示该算法具有良好的去模糊性能。

尽管上述图像去模糊技术都可以达到较为理想的复原效果;但是优异的修复算法不但要具备可接受的复原质量,其修复速度也是其一个重要的参考指标,而这些算法的实质都是迭代复原,导致算法的时耗较大,而且修复质量受迭代预设阈值影响较大,使得这些迭代复原技术难以兼顾复原质量与算法效率。

为了提高图像去模糊算法的修复效率,本算法避开迭代思想,引入伪逆矩阵,借助可分离的二维模糊方法,设计了基于非迭代伪逆矩阵的快速图像去模糊算法。最后借助仿真平台,测试本文算法性能。

1 图像模糊过程模型

假设模糊函数为一个卷积核或者点扩散函数 $h(n_1, n_2)$, 则图像修复方法可被描述为线性空间恒定修复滤波。假设图像的统计属性(平均和相关函数)在空间不发生改变;则在这些条件下,可以借助一个点扩散函数(PSF)在空间上不变

的线性滤波均值来完成图像去模糊。假设不包括任何的模糊或噪声的理想空间离散图像为 $f(n_1, n_2)$, 则采集图像 $g(n_1, n_2)$ 的模型定义如下

$$g(n_1, n_2) = h(n_1, n_2) * f(n_1, n_2) = \sum_{k_1=0}^{N-1} \sum_{k_2=0}^{M-1} h(k_1, k_2) * f(n_1 - k_1, n_2 - k_2) \quad (1)$$

则根据模型(1)可知,图像去模糊的目的就是在只存在模糊图像 $g(n_1, n_2)$ 与模糊函数 $h(n_1, n_2)$ 的状况下获取理想图像 $f(n_1, n_2)$ 的估计值。则去模糊问题可被描述为:令 H 为 $m \times n$ 的实时矩阵,将模型(1)演变为

$$g = Hf, g \in \mathbf{R}^m; f \in \mathbf{R}^n; H \in \mathbf{R}^{m \times n} \quad (2)$$

也就是描述一个含有 m 个联立方程(矢量 g 的每个元素)和 $n = m + l - 1$ 未知数(矢量 f 的每个元素)的欠定系统。这里的 l 表示像素点的水平线性运动模糊。图像修复的问题由线性运动引起的模糊,通常是相机移动或者目标物移动太快造成的,通过求解欠定系统(2)得到的一些列的解。模糊图像可表示如下

$$\begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ \vdots \\ g_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & \cdots & h_l & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_1 & \cdots & h_l & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_1 & \cdots & h_l & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_1 & \cdots & h_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

矩阵 H 的元素定义为: $h_i = 1/l, i = 1, 2, \dots, l$ 。

根据模型(3)可知,其目的是估算原始行中的 f (包含在矢量 f^T)。给一个模糊 g 的每一行(包含在矢量 g^T)和退化现象的先验知识 H 。则可以将矩阵 F 定义为最终的原始图像,其像素为 $F_{ij}, i = 1, \dots, r, j = 1, \dots, n$, 则模拟模糊矩阵 G 的计算模型如下

$$G_{ij} = \frac{1}{l} \sum_{k=0}^{l-1} F_{i, j+k}, i = 1, \dots, r, j = 1, \dots, m \quad (4)$$

其中: $n = m + l - 1$; l 为像素点中的线性水平运动模糊。

模型(4)演变为水平模糊过程的矩阵形式

$$G = (HF^T)^T = FH^T \quad (5)$$

由于满足 $g = Hf$ 或者 $G = HF^T$ 方程的 f 或者 F , 使其有无限个精确解。因此,需要定义一个能够找到尖锐复原矩阵的附加标准。

给定垂直运动模糊的形式

$$g = Hf, g \in \mathbf{R}^m; f \in \mathbf{R}^n; H \in \mathbf{R}^{m \times n} \quad (6)$$

其中: $n = m + l - 1$; l 为像素点中的线性垂直运动模糊。则矩阵 H 为模型(3)中的 Toeplitz 矩阵。

那么图像垂直模糊过程的矩阵形式为

$$G = HF, G \in \mathbf{R}^{m \times n}; H \in \mathbf{R}^{m \times r}; F \in \mathbf{R}^{r \times n} \quad (7)$$

考虑到图像中列模糊是行可分离二维模糊是独立的模糊。则在此条件下,存在两个矩阵 H_c 和 H_r , 使得初始图像与模糊头像存在以下关系:

$$G = H_c F H_r^T, G \in \mathbf{R}^{m_1 \times m_2}; H_c \in \mathbf{R}^{m_1 \times r}; F \in \mathbf{R}^{r \times n}, H_r \in \mathbf{R}^{m_2 \times n} \quad (8)$$

其中: $n = m_2 + l_1 - 1$; $r = m_1 + l_2 - 1$; l_1 为像素点水平运动模

糊; l_2 为像素点垂直运动模糊。

2 图像去模糊方法

根据文献[10], 设 $T \in \mathbf{R}^{m \times n}$, $b \in \mathbf{R}^m$, $b \notin R(T)$, 由关系式 $Tx = b$, 得出 $T^\circ b = u$, T° 为 T 的伪逆矩阵。

由于式(2)对 f 有无穷个解, 为了找到图像去模糊时所需的矢量条件, 本研究定义了一个标准, 也就是测量数据间的最小距离

$$\min(\|\hat{f} - g\|) \quad (9)$$

其中 \hat{f} 为未知图像 f 的第 m 个元素。

为完成修复 f 需要满足如下约束

$$\|Hf - g\| = 0 \quad (10)$$

根据以上关系, 对 $g = Hf$ 最小范数 $\|Hf - g\|$ 只有唯一解。

如果这个解为 \hat{f} , 则

$$\hat{f} = H^\circ g \quad (11)$$

考虑水平模糊式(2)和式(5)的关系, 对于修复图像, 式(11)的解如下

$$\hat{F} = G(H^\circ) = G(H^\circ)^\top \quad (12)$$

在这种情况下, 对于复原图像, 其垂直模糊解的过程可由式(6)、式(7)、式(11)获得

$$\hat{F} = H^\circ G \quad (13)$$

当使用可分离的二维模糊过程时, 模糊消除图像可表示为

$$\hat{F} = H_c^\circ G(H_r^\circ)^\top \quad (14)$$

3 仿真结果与分析

通过 Matlab 工具执行本算法机制的性能测试。为了体现本算法去模糊的效率与质量, 将文献[11]中迭代 Tikhonov Equations、文献[12]中的复原技术视为对照组, 分别为: A、B。将图 1(a) 视为理想, 大小为 227×227 , 图 1(b) 为模糊图像; 在利用本算法去模糊机制与对照组技术对其执行复原。

图 1 是 3 种模糊消除技术修复图 1(b) 获取的测试结果。依图可见, 3 种模糊消除技术的视觉质量都较为理想, 不存在振铃效应, 较好地消除了线性运动退化图像的模糊, 但是 A、B 两技术的模糊消除质量要优于本算法机制, 如图 1(c) ~ 图 1(e) 所示。为了具量化这些模糊消除技术之间的差异, 本研究借助 PSNR 来评估, 其计算模型为^[13]

$$PSNR = 10 \log \frac{MN(255 \times 255)}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [S_1(i, j) - S_2(i, j)]^2} \quad (15)$$

其中: $PSNR$ 代表模糊消除图像的峰值信噪比; MN 代表图像大小; $S_1(i, j)$ 代表理想图像位于坐标 (i, j) 的灰度值; $S_2(i, j)$ 代表模糊消除图像位于坐标 (i, j) 的灰度值。

3 种技术的输出 $PSNR$ 值见图 1(f)。从其中可知, 3 种去模糊技术得到 $PSNR$ 值比较接近, 其中, A、B 算法的 $PSNR$

值要略大于本算法机制, 分别为 38.17、38.82、36.27 dB。但是, 从图 1(e) 也可以看到, 本算法的去模糊效率是最高的, 在很短的时间内, 其 $PSNR$ 值就达到了稳定状态, 是时耗约为 0.47 s; 而 A、B 算法的去模糊时耗较为严重, 分别使用了 2.35 s、2.84 s。主要原因是本算法借助伪逆矩阵, 将模糊分解为水平与垂直方向, 无需反复迭代就可完成去模糊, 是一种非迭代复原技术; 而 A、B 算法是迭代复原机制, 需要借助大量的迭代运算, 来获取较为理想的结果, 导致其时耗严重。

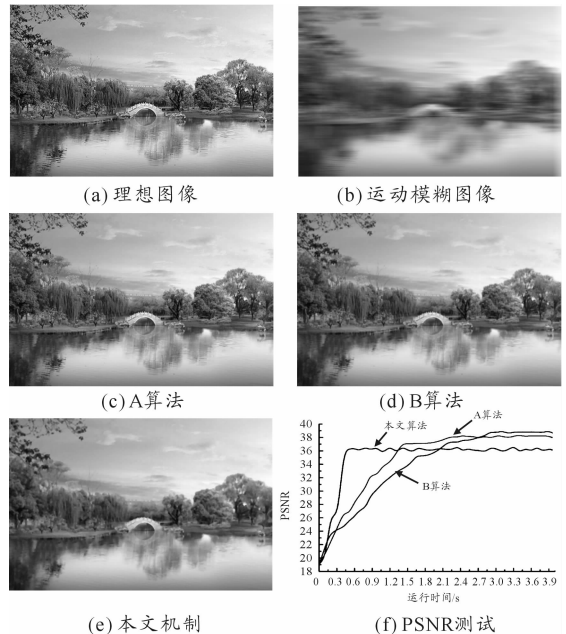


图 1 不同去模糊机制的复原质量与 $PSNR$ 值

4 结论

为了提高图像去模糊的效率, 并兼顾较好的模糊消除效果, 本研究彻底避开迭代思想, 通过引入伪逆矩阵, 设计了基于非迭代伪逆矩阵的快速图像去模糊算法。通过将模糊图像分解为水平与垂直模糊, 并定义测量数据间的最小距离视为附加矢量, 借助伪逆矩阵, 完成模糊消除。对比测试数据表明: 当前基于迭代技术的去模糊算法相比, 本算法的去模糊效率更高; 而且模糊消除质量也较理想, 其 $PSNR$ 值达到 36.27 dB。

参考文献:

- [1] Zhong L, Cho S, Metaxas D. Handling noise in single image deblurring using directional filters[J]. Computer Vision and Pattern Recognition, 2013, 12(8): 612-619.
- [2] O'Connor D, Vandenberghe L. Primal-Dual Decomposition by Operator Splitting and Applications to Image Deblurring [J]. SIAM Journal on Imaging Sciences, 2014, 7(3): 1724-1754.

在保持引信所要求的探测视场前提下,压缩发射光束光斑截面尺寸,以增强目标回波功率、减小烟雾等气溶胶后向散射干扰,从而提升信噪比。通过仿真计算表明:激光发射光束从泛光照明改为离散化照明后,烟雾气溶胶后向散射干扰明显减小,同时目标回波功率也有一定的提升,信噪比得到提升,从而可以提高激光引信抗烟雾等气溶胶干扰的能力。

参考文献:

- [1] 史春波,马献华. 探测视场对激光引信作用距离影响分析[J]. 红外与激光工程,2007(11):636-639.
- [2] 刘斌. 激光引信目标识别及抗干扰设计[J]. 探测与控制学报,2005,27(3):20-22.
- [3] 陶敏,王卓,白修宇. 激光引信光束布局方式的选择与分析[J]. 弹箭与制导学报,2007,27(2):162-165.

- [4] Zhang Z, Yang M, Xu S. Analysis of FOV configuration in laser proximity fuze[J]. Infrared and Laser Engineering, 2006,35(6):700.
- [5] 甘霖,张合,张祥金. 激光引信新型光学大视场接收技术研究[J]. 光子学报,2013,42(12):1514-1518.
- [6] 孙志慧,邓甲昊,王昌. 三维成像激光雷达线阵探测模式分析[J]. 激光与红外,2011(4):381-385.
- [7] 杨雨川,龙超,谭碧涛,等. 大气后向散射对主动探测激光脉冲的影响[J]. 激光与红外,2013,43(5):482-485.
- [8] 冯继青,高春清,刘义东,等. 激光对于烟雾的穿透特性分析[J]. 光学技术,2007,32(6):883-885.
- [9] 宋正方. 应用大气光学基础:光波在大气中的传输与遥感应用[M]. 北京:气象出版社,1990.

(责任编辑 杨继森)

(上接第 113 页)

- [3] 冯莹莹,周红志,邓明. 基于微分压缩感知的图像去模糊技术研究[J]. 计算机应用研究,2013,30(5):1582-1585.
- [4] Xiang S, eng G, Wang Y. Image Deblurring with Coupled Dictionary Learning[J]. International Journal of Computer Vision,2014,8(10):1562-1568.
- [5] Huang J, Donatelli M, Chan R. Nonstationary Iterated Thresholding Algorithms for Image Deblurring[J]. Inverse Problems and Imaging,2013,22(13):1-21.
- [6] 余恕梅,檀结庆,王明珠. 运动模糊图像复原结果中伪像的消除[J]. 计算机工程与应用,2013,49(5):163-165.
- [7] 徐梦娜,蔡信,全文清. 基于循环和对称边界的图像反卷积快速算法[J]. 计算机工程与设计,2014,35(2):552-556.
- [8] Hao B, Zhu J, Hao Y. Iterative Total Variation Image Deblurring with Varying Regularized Parameter[J]. Intelligent

Human-Machine System,2014,8(1):249-252.

- [9] 邹丽琴. 基于 LLT 模型的多通道图像复原算法[D]. 长沙:湖南大学,2012,15-46.
- [10] Spiros Chountasis, Vasilions N. Application of the Moore-penrose Inverse in Digital Image Restoration[J]. Mathematical Problems in Engineering,2009,18(12):1224-1227.
- [11] Donatelli M, Hanke M. Fast nonstationary preconditioned iterative methods for ill-posed problems, with application to image deblurring[J]. Inverse Problems,2013,29(9):672-683.
- [12] Huang J, Huang T Z, Zhao X L. Two soft-thresholding based iterative algorithms for image deblurring[J]. Information Sciences,2014,271(1):179-195.
- [13] 王静,吕科,何宁,等. 基于分裂 Bregman 方法的全变差图像去模糊[J]. 电子学报,2012,29(5):278-282.

(责任编辑 杨继森)