

利用加权预测的图像迭代盲解卷积

邸 男¹, 付东辉¹, 王毅楠²

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 长春轨道客车股份有限公司, 吉林 长春 130062)

摘要:为解决大气湍流造成的图像退化问题,本文鉴于现有的盲解卷积算法收敛性不稳定,计算量大等特点,提出了一种基于加权预测的迭代盲解卷积算法。对目前性能优秀的用迭代实现盲解卷积的 L-R 算法进行优化,在每次迭代结束后通过加权方法求出预测值,根据预测值计算方向加速算子,从而大大提高算法的收敛速度。实验表明:该算法不仅可对模糊退化图像进行很好的复原,同时与 L-R 算法相比收敛速度提高约 43.8 倍,其迭代速度快的特点决定了算法具有较高的工程实用价值。

关键词:迭代盲解卷积;加权预测;L-R 算法

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

Iterative blind deconvolution of image with weighted prediction

DI Nan¹, FU Dong-hui¹, WANG Yi-nan²

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., Changchun 130062, China*)

Abstract: To modify the image degradation caused by atmospheric turbulence, this paper proposes a new algorithm based on the iterative blind deconvolution with weighted prediction to solve the problems on instability convergence and huge complexity from traditional blind deconvolution methods. By optimizing an existing iterative blind deconvolution L-R algorithm, the proposed algorithm uses the weighting to obtain predicted values at the end of every iterative step, it then calculates the acceleration operators according to the predicted values to improve its convergence speed. Experiments show that the algorithm is capable of restoring the turbulence degraded image and the convergence have speeded about 43.8 times as compared with that of L-R algorithm. The algorithm's fast convergence shows its great practical value.

Key words: iterative blind deconvolution; weighted prediction; L-R algorithm

1 引言

天文望远镜诞生 400 年以来,已从小型手控的光学器材发展到由计算机控制的庞大复杂仪器。其间,有两个参数极其重要,即望远镜的口径(聚光能力)和角分辨率(图像的清晰度)。为了提高图像的角分辨率,光测设备的口径不断增大,然而,口径的增大,带来了大气湍流对成像质量影响的增强^[1,2],并成为制约该领域发展的主要问题。为了解决大气湍流造成的图像退化问题,国内外很多专家学者提出了卡尔曼滤波、逆滤波、维纳滤波等方法^[3],这些方法应用的前提是点扩展函数已知,而大多数情况下,由于大气湍流的高度随机性,建立一个准确的数学模型完备地描述大气湍流很困难。目前,在点扩展函数未知的情况下,盲解卷积^[4,5]技术成为解决该问题的关键技术。

盲解卷积是从目标的模糊图像中确定目标的成像特性和系统点扩散函数(PSF)的一种方法,该方法能够在没有任何目标属性和大气湍流先验知识的情况下,利用单帧或多帧模糊图像估计出 PSF 和真实图像,具有高质量的恢复能力。目前盲解卷积方法主要有:基于马尔随机场的迭代盲解卷积^[6]、多重约束迭代盲卷积^[7]、模拟退火方法以及最大熵方法^[8]等。前两种方法都需要对点扩展函数的支持域进行较紧的约束,而且收敛性不够好。模拟退火方法具有全局收敛性,但该方法计算量太大,难于实际应用。

本文提出一种基于加权预测的迭代盲解卷积算法,对目前性能优秀的用迭代实现盲卷积的 L-R(Lucy-Richarson)算法^[9]进行优化,在每次迭代结束后通过加权方法求出预测值,根据预测值计算方向加速算子,大大提高了算法的收敛速度。实验表明:该算法不仅对模糊退化图像进行了很好的复原,同时收敛速度快,具有较高的工程实用价值。

2 盲解卷积图像恢复原理

图像的退化主要来源于大气湍流,目标的运

动,对焦不准确等因素的影响,盲解卷积算法使用点扩散函数来描绘这些影响。假设图像的退化模型为

$$g = h \otimes f + n, \quad (1)$$

式中: g 为采集到的模糊图像, h 为点扩散函数, f 为目标的真实图像, n 为干扰噪声, \otimes 为卷积运算符。

由于干扰噪声的随机性,假设 n 服从参数为 0 的泊松分布,则 g 服从参数为 $h \otimes f$ 的泊松分布^[10]。由此可见该泊松分布是以点扩散函数和目标亮度函数为参数的函数。估计点扩散函数和目标亮度函数就等同于估计泊松分布的参数,至此问题转化为数理统计中常见的参数估计问题。

参数估计的方法有很多,由不完全数据求总体参数的估计主要是采用最大似然估计方法。但是,由于模型中不包含任何先验知识和约束条件,最大似然估计方法的无效结果会很多,很难得到确定的理想结果。为此,需要将尽可能多并且合理的先验知识和约束条件引入泊松分布的似然函数中,本文选择目标函数的亮度值和点扩散函数值非负作为约束条件。

由于似然函数形式复杂,需要运用迭代算法实现最大似然估计过程。L-R 算法是一种性能优秀的迭代算法,它使用 EM(期望最大化)方法对泊松分布的参数进行最大似然估计,从而求得参数的最优估计值(即点扩散函数和目标真实图像的最优估计值)。该迭代算法简洁表示如下:

$$\hat{f}_{k+1} = \hat{f}_k \cdot \left(h * \frac{g}{\hat{f}_k \otimes h} \right) \equiv \psi(\hat{f}_k), \quad (2)$$

式中: \hat{f}_k 为第 k 次迭代 f 的估计值, \cdot 为矩阵对应元素相乘运算符, $*$ 为互相关运算符, $\psi(\hat{f}_k)$ 为 L-R 函数。

3 基于加权预测的迭代盲解卷积原理

3.1 算法原理

本文对 L-R 算法进行优化,加快收敛速度。与以往的线性加速算法不同的是,本算法在每次迭代结束后通过当前迭代位置和前一个迭代位置计算迭代方向向量和加权值,然后使用加权方法求出预测值。根据预测值计算方向加速算子,可

以大大提高算法的收敛速度。优化后的 L-R 函数为:

$$\tilde{\psi}(\hat{f}_k, \hat{h}_k) \equiv \hat{f}_k \cdot (\hat{h}_k * \frac{g}{\hat{x}_k \otimes \hat{y}_k}), \quad (3)$$

式中: \hat{f}_k 为第 k 次迭代 f 的预测值, \hat{y}_k 为第 k 次迭代 y 的预测值, \hat{h}_k 为第 k 次迭代 h 的估计值。

3.2 算法实现

假设 n 为迭代次数, \hat{f}_k 的初值为采集的模糊图像, \hat{h}_k 的初值为 $m \times m$ 维矩阵, 所有元素都是 1。基于加权预测的迭代算法具体实现如下:

①计算第 k 次迭代预测的恢复图像为:

$$\hat{x}_k = \max[\hat{f}_k + \alpha_k(\hat{f}_k - \hat{f}_{k-1}), 0], \quad (4)$$

式中, α_k 为恢复图像加速算子。

预测的点扩散函数为:

$$\hat{y}_k = \max[\hat{h}_k + \beta_k(\hat{h}_k - \hat{h}_{k-1}), 0], \quad (5)$$

式中, β_k 为点扩散函数加速算子。

②计算第 $k+1$ 次迭代的恢复图像估计值为:

$$\hat{f}_{k+1} = \tilde{\psi}(\hat{x}_{kk}, \hat{h}_k). \quad (6)$$

以及点扩散函数的估计值:

$$\hat{h}_{k+1} = \tilde{\psi}(\hat{y}_k, \hat{f}_k). \quad (7)$$

③计算恢复图像方向算子:

$$p_k = \hat{f}_{k+1} - \hat{x}_k. \quad (8)$$

④计算点扩散函数的方向算子:

$$q_k = \hat{h}_{k+1} - \hat{y}_k. \quad (9)$$

⑤更新加速算子:

$$\alpha_{k+1} = \frac{p_k^T p_{k-1}}{p_{k-1}^T p_{k-1}}, \quad \beta_{k+1} = \frac{q_k^T q_{k-1}}{q_{k-1}^T q_{k-1}}. \quad (10)$$

⑥ $k++$:

如果 $k < n$ 执行步骤 1;

否则, 算法结束。 \hat{f}_n, \hat{h}_n 为最终估计的恢复图像和点扩散函数。

4 图像恢复实验

利用本文提出的算法和 L-R 算法对大量深空探测望远镜实拍退化图像进行了盲解卷积图像

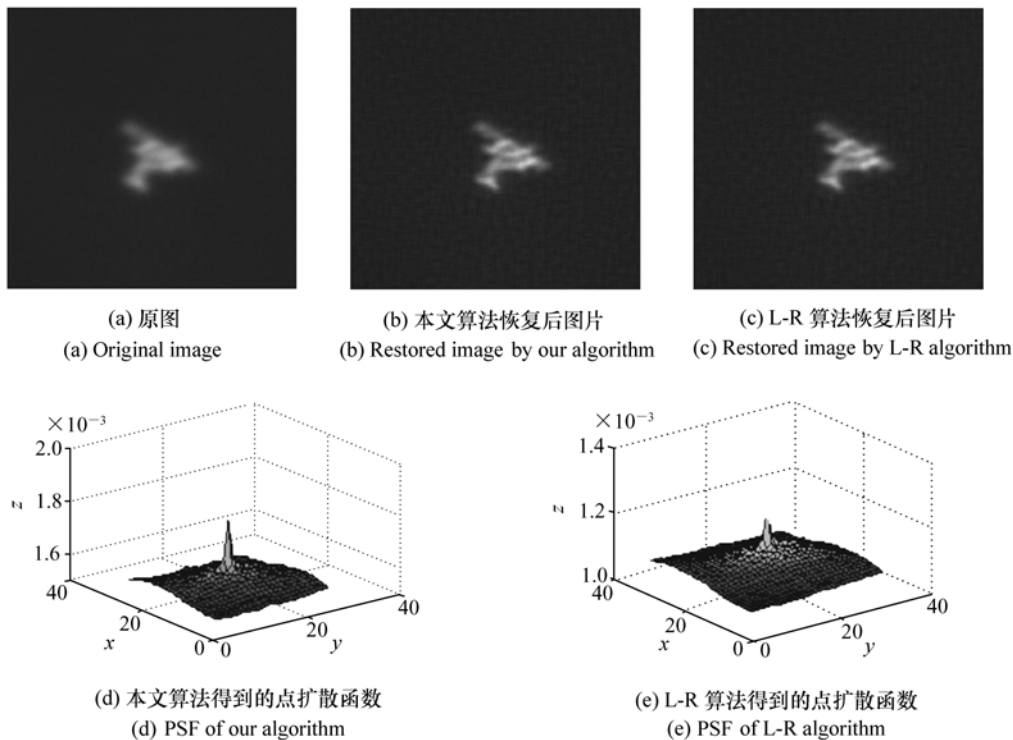


图1 盲解卷积图像恢复实验

Fig. 1 Restoration results of turbulence-degraded image

恢复实验,图1为对 128×128 大小图像的恢复结果。

可以看出,本文算法与L-R算法相比,达到了相近的恢复效果,证明本文算法的加速处理并没有影响图像恢复性能。

5 时间性能分析

采用L-R算法和本文算法对不同大小的图像进行图像恢复处理,在达到相近效果的情况下,对比了两种算法的迭代速度。如表1所示。

表1 L-R算法与本文算法的迭代次数比较

Tab.1 Comparison of times iterated for algorithms

图像大小	迭代次数	
	L-R算法	本文算法
64×64	495	46
128×128	9 875	225

由表1可以看出,对于 64×64 大小的图像,本文算法的迭代次数减少约 $495/46 = 10.7$ 倍,即运算速度提高约10.7倍;对于为 128×128 大小的图像,本文算法迭代次数减少约 $9\ 875/225 = 43.8$ 倍,即运算速度提高约43.8倍。由此可见,随着图像的增大,采用本文算法的计算速度提高更加明显。

6 结论

本文提出一种基于加权预测的迭代盲解卷积算法,对目前性能优秀的用迭代实现盲卷积的L-R算法进行优化,在每次迭代结束后通过加权方法求出预测值,根据预测值计算方向加速算子,从而大大提高了算法的收敛速度。实验表明:该算法不仅对模糊退化图像进行了很好的复原,同时收敛速度提高约43.8倍,具有较高的工程实用价值。

参考文献:

- [1] BANHAM M R, KATSAGELLOS A K. Digital image restoration[J]. *IEEE Signal Proc. Mag.*, 1997, 14:24-41.
- [2] FRIEDEN B R. An exact linear solution to the problem of imaging through turbulence[J]. *Opt. Commun.*, 1998, 150(1-6):15-21.
- [3] 余国亮, 张天序, 洪汉玉, 等. 基于贝叶斯理论的湍流退化图像复原方法研究[J]. *中国图象图形学报*, 2005, 10(9): 1171-1177.
YU G L, ZHANG T X, HONG H Y, et al. Investigation on restoration method for turbulence-degraded image using bayes theorem[J]. *J. Image and Graphics*, 2005, 10(9):1171-1177. (in Chinese)
- [4] 宋向, 袁红颖, 耿则勋, 等. 基于双树复数小波变换的多帧迭代盲解卷积算法[J]. *遥感信息理论研究*, 2011(2):14-19.
SONG X, YUAN H Y, GENG Z X, et al. Multi-frame IBD algorithm based on the dual-tree complex wavelet transform[J]. *Remote Sensing Information Theorem Res.*, 2011(2):14-19. (in Chinese)
- [5] 丁左红, 郭汉明, 高秀敏, 等. 基于维纳滤波的迭代盲解卷积[J]. *光学与光电技术*, 2010, 8(5):24-27.
DING Z H, GUO H M, GAO X M, et al. Iterative blind deconvolution based on wiener filtering[J]. *Opt. Optoelectronic Technol.*, 2010, 8(5):24-27. (in Chinese)
- [6] CHEN X B, YANG SH ZH, QIAO Y L. Fast multiplicative iterative blind deconvolution based on markov random field [J]. *Opto-Electronic Eng.*, 2009, 36(2):96-99.
- [7] 陈波, 程承旗, 郭仕德, 等. 自适应光学图像非对称图像迭代盲复原算法[J]. *强激光与粒子束*, 2011, 23(2):313-318.
CHEN B, CHENG CH Q, GUO SH D, et al. Unsymmetrical multi-limit iterative blind deconvolution algorithm for adaptive optics image restoration[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2011, 23(2):313-318. (in Chinese)
- [8] PINCHAS M, BOBROVSKY B Z. A maximum entropy approach for blind deconvolution[J]. *Signal Process.*, 2006, 86(10):2913-2931.
- [9] 陈云龙, 王平, 王鹏. 基于L-R非线性迭代的降质图像复原算法[J]. *计算机工程*, 2010, 36(4):202-204.

CHEN Y L, WANG P, WANG P. Degradation image restoration algorithm based on L-R nonlinear iteration[J]. *Computer Eng.*, 2010, 36(4):202-204. (in Chinese)

[10] CHAN T, WONG C. Convergence of the alternating mini-mization algorithm for blind deconvolution[J]. *Linear Algebra Appl.*, 2000, 316(3):259-285.

作者简介: 邸 男(1981—), 女, 吉林长春人, 博士, 副研究员, 主要从事图像匹配和目标自动识别方面的研究。

E-mail: dinan0620@yahoo.com.cn

《发光学报》

EI 收录中文核心期刊

《发光学报》是中国科学院长春光学精密机械与物理研究所与中国物理学会发光分会共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业研究方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊, 曾于1992年, 1996年, 2000年和2004年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”, 并于2000年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年; 美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)自2000年; 美国《剑桥科学文摘社网站》自2002年; 日本《科技文献速报》(CBST, JICST)自2003年已定期收录检索该刊论文; 2008年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”和“EI”确定为源期刊。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中, 《发光学报》被评为“双效期刊”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。2004年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。

本刊内容丰富、信息量大, 主要反映本学科专业领域的科研和技术成就, 及时报道国内外的学术动态, 开展学术讨论和交流, 为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》为双月刊, A4开本, 144页, 国内外公开发售。国内定价: 40元, 全年240元, 全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。

主管单位: 中国科学院

主办单位: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国物理学会发光分会

地 址: 长春市东南湖大路3888号 《发光学报》编辑部

邮 编: 130033

电 话: (0431)86176862, 84613407

E-mail: fgxbt@126.com

国内统一刊号: CN 22-1116/04

国际标准刊号: ISSN 1000-7032

国内邮发代号: 12-312

国外发行代号: 4863BM

http://www.fgxb.org