

改进的局部最大熵图象恢复方法

王学良 黄廉卿

(中国科学院长春光学精密机械研究所五室, 长春 130022)

摘要 首先讨论了图象退化过程和引起图象退化的因素及恢复方法, 并利用能量和图象局部统计特征, 对局部最大熵图象恢复方法进行了改进. 实验表明, 改进后的恢复方法不但具有与局部区域大小无关的特点, 而且在改善图象灰度均匀性和对比度的同时, 可人为控制图象的细节保持程度. 该算法运算量小、灵活.

关键词 退化图象 点扩散函数 局部最大熵 局部方差 局部均值

中图分类号: TN911.73 TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)07-0589-04

Image Restoration Method Based on Improved Local Maximum Entropy

WANG Xue-liang, HUANG Lian-qing

(Fifth Department, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract Firstly, this paper has briefly introduced the images degenerated model, elements and image restoration method. Secondly, it has improved the local maximum entropy algorithm by applying the statistic property and the characteristics of different type image region. Experiment has proved that the algorithm has independence with degeneration model and the size of local image region. It can keep the image details as well as improve the balance of gray and the contrast of image. The algorithm has a small computing cost and flexibility.

Keywords Degenerated image, Point spread function, Local maximum entropy, Local variance, Local mean

0 引言

图象在生成、传输和存储记录过程中, 不可避免地受到各种因素的影响, 如成象系统、传输介质和记录设备的不完善等, 从而造成图象质量下降, 称之为图象退化. 图象恢复的目的在于尽可能地复原图象, 降低各种因素对图象质量的影响.

图象恢复不同于图象增强, 图象增强是用以改善图象的主观质量, 而不一定追究图象的降质原因; 而图象恢复则需要找出图象降质的起因, 并尽可能消除, 以恢复图象的本来面目.

引起图象退化的因素是多方面的, 如大气的湍流效应, 传感器特性的非线性及几何失真, 光学系统的象差, 成象设备与物体间的相对运动等. 图象退化的典型表现为图象模糊、失真、有噪声等.

由于引起图象退化的原因是多方面的, 而且性质各不相同, 故不可能用统一的恢复方法, 而往往是根据不同的物理模型, 建立不同的退化模型, 采用不同的处理技巧和估计准则, 从而导出了不同的恢复方法. 本文提出的改进的局部最大熵图象恢复方法, 它是以图象局部统计特征为基础的图象恢复方法, 也是对文献[1]中提出的图象恢复方法的改进, 改进后的图象恢复方法在改善图象灰度分布均匀性和对比度的同时, 对图象细节也具有保持作用.

1 图象退化模型及恢复方法

对于线性位移不变成象系统, 图象退化过程可表示为^[2]

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

其中, $g(x, y)$ 为退化图象, $f(x, y)$ 为原始图象,

$h(x, y)$ 为系统点扩散函数, $n(x, y)$ 代表加性噪声, * 为卷积运算.

其退化模型如图 1 所示.

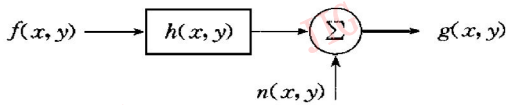


图1 图象退化模型

对式(1)两边分别作傅立叶变换得

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v) \quad (2)$$

其中, $G(u, v)$, $F(u, v)$ 和 $N(u, v)$ 分别为 $g(x, y)$ 、 $f(x, y)$ 和 $n(x, y)$ 的傅立叶变换, $H(u, v)$ 为系统转移函数.

根据式(2), 可得恢复图象的傅立叶变换 $\hat{F}(u, v)$

$$\hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)} = F(u, v) + \frac{N(u, v)}{H(u, v)} \quad (3)$$

再对式(3)作傅立叶逆变换, 得

$$\hat{f}(x, y) = f(x, y) + n'(x, y) \quad (4)$$

$$n'(x, y) = \mathcal{F}^{-1} \left| \frac{N(u, v)}{H(u, v)} \right| \quad (5)$$

其中, $\hat{f}(x, y)$ 、 $f(x, y)$ 和 $n'(x, y)$ 分别为 $\hat{F}(u, v)$ 、 $F(u, v)$ 和 $\frac{N(u, v)}{H(u, v)}$ 的傅立叶逆变换. 由式(4)可以看出恢复后的图象包含了希望得到的图象 $f(x, y)$ 和一个噪声项.

对于式(5), 当 $H(u, v)$ 很小或等于零, 而噪声不为零或不是对应很小时, 则噪声被放大, 这意味着退化图象中小的噪声干扰在 $H(u, v)$ 取小值的那些频谱上, 将对恢复后的图象产生很大影响, 从而使式(1)成为病态方程. 鉴于此, 一些研究者对于图象恢复问题提出了许多种改进方法^[3, 4], 如逆滤波恢复、Wiener 滤波恢复、功率谱均衡恢复、约束最小平方恢复、最大后验恢复和最大熵恢复等方法, 目的都是为了消除方程的病态性.

2 改进的局部最大熵图象恢复方法

Freiden 采用了最大熵图象间接恢复方法^[1], 并提出了基于局部最大熵的图象恢复方法, 其虽然改善了图象的对比度和灰度分布的不均匀性, 但在图象恢复处理过程中, 局部区域尺寸的选择对处理结果有很大的影响, 如尺寸选择过小, 图象灰度的连续性受到破坏, 因而对大范围图象灰度的不均匀处理

效果不十分理想, 而且增加了处理时间; 如区域尺寸选择过大, 则对图象的平滑作用加大, 这又使图象细节受到了一定的损失. 为此本文提出了改进的局部最大熵图象恢复方法, 在这种方法中, 首先假设图象函数具有非负值, 即

$$f(x, y) \geq 0 \quad (6)$$

对于一幅 $N \times N$ 大小的图象, 其总能量 E 是一个固定的数值, 即

$$E = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N f(x, y) \quad (7)$$

同时定义图象的熵 H_f

$$H_f = - \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N f(x, y) \ln f(x, y) \quad (8)$$

类似地定义噪声的熵 H_n , 考虑到图象中噪声值可正可负, 那么定义噪声为

$$n'(m, n) = n(m, n) + n_{\max} \quad (9)$$

这里, n_{\max} 为噪声的最大负值, 所以

$$H_n = - \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N n'(m, n) \ln n'(m, n) \quad (10)$$

另外, 为了尽可能减小最大熵恢复方法对图象的平滑作用, 又引入了图象局部方差变量 $\sigma^2(x, y)$ 和局部均值变量 $m_L(x, y)$, 于是有

$$\sigma^2(x, y) = |f(x, y) - m_L(x, y)|^2 \quad (11)$$

$$m_L(x, y) = \frac{1}{B} \sum_{m=x-i}^{x+i} \sum_{n=y-j}^{y+j} f(m, n) \quad (12)$$

其中, $m_L(x, y)$ 代表以 (x, y) 为中心, 大小为 $B = (2i+1) \times (2j+1)$ 局部图象像素的均值. 对于 $m_L(x, y)$ 的解释为: 在图象细节(边沿)比较丰富的区域, 局部均值与区域内的图象像素值具有很大的差异; 而在图象平坦的区域内, 图象变化缓慢, 此时 $m_L(x, y)$ 接近于图象的像素值. 对于 $\sigma^2(x, y)$ 而言, 在图象边沿处具有很大的值, 而处于图象平坦区域时, $\sigma^2(x, y)$ 值较小. 因此, 利用局部均值和局部方差可以反映出图象的边沿.

保持图象的细节, 也就是使局部图象的方差和 E_{σ^2} 在图象恢复前后保持不变, 即

$$\sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N \sigma^2(x, y) = E_{\sigma^2} \quad (13)$$

这种图象恢复方法, 就是在满足式(7)、式(13)和式(1)图象退化模型的约束条件下, 使恢复后的图象熵、噪声熵达到最大.

利用求条件极值的 LaGrange 乘法, 引入函数

$$\begin{aligned}
 R = & H_f + \rho H_n + \\
 & \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \lambda_{mn} \left| \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N h(m-x, n-y) f(x, y) + \right. \\
 & \left. n'(m, n) - n_{\max} - g(m, n) \right| + \\
 & \alpha \left| \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N |f(x, y) - m_L|^2 - E\sigma^2 \right| + \\
 & \beta \left| \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N f(x, y) - E \right| \quad (14)
 \end{aligned}$$

其中, λ_{mn} ($m, n = 1, 2, \dots, N$) 和 β 是 $(N^2 + 1)$ 个 LaGrange 乘子, ρ 是加权因子, 用来强调 H_f 和 H_n 相互之间的份量, α 为加权系数, 用来控制图象细节的保持程度.

设 $\hat{f}(x, y)$ 和 $\hat{n}(m, n)$ 分别代表 $f(x, y)$ 和 $n'(m, n)$ 的估计值, 则必须有

$$\left. \frac{\partial R}{\partial f(x, y)} \right|_{f=\hat{f}} = 0 \quad (15)$$

$$\left. \frac{\partial R}{\partial n'(m, n)} \right|_{n'=\hat{n}} = 0 \quad (16)$$

将式(14)代入式(15)、(16), 经运算和整理得

$$\hat{f}(x, y) = \exp \left\{ -1 + \beta + 2\alpha \left| \hat{f}(x, y) - m_L \right| + \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \lambda_{mn} h(m-x, n-y) \right\} \quad (17)$$

$$\hat{n}(m, n) = \exp \left\{ -1 + \frac{\lambda_{mn}}{\rho} \right\} \quad (18)$$

而且, $\hat{f}(x, y)$ 和 $\hat{n}(m, n)$ 满足下列约束条件

$$\sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N \hat{f}(x, y) = E \quad (19)$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N h(m-x, n-y) \hat{f}(x, y) + \\
 \hat{n}(m, n) - \beta = g(m, n) \quad (20) \\
 m, n = 1, 2, \dots, N
 \end{aligned}$$

$$\sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N \sigma^2(x, y) = E\sigma^2 \quad (21)$$

式(17)即为恢复的图象函数, 将式(17)、(18)代入式(19)、(20)和式(21)可得到联立方程组, 求得未知数 λ_{mn} ($m, n = 1, 2, \dots, N$) 和 β , 从而可逐点求得 $\hat{f}(x, y)$ 的值.

由式(17)~式(21)可知, 方程组是非常巨大的, 要求得 $(N^2 + 1)$ 个未知数, 是非常复杂和耗时的, 因而采用了文献[1]中提出的局部处理方法, 对计算公式进行了适当的简化, 于是有

$$\hat{f}(x, y) = \exp \left\{ -1 + \beta + 2\alpha \left| \hat{f}(x, y) - m_L \right| + \mu \lambda_{mn} \right\} \quad (22)$$

$$\hat{n}(m, n) = \exp \left\{ -1 + \frac{\lambda_{mn}}{\rho} \right\} \quad (23)$$

$$\mu \hat{f}(x, y) + \hat{n}(m, n) - \beta = g(x, y) \quad (24)$$

其中, μ 为图象局部冲激响应的幅值.

将式(23)、(24)代入式(22), 得

$$\hat{f}(x, y) = \exp \left\{ -1 + \beta + \mu\rho + 2\alpha \left| \hat{f}(x, y) - m_L \right| + \mu\rho \ln \left| g(x, y) + \beta - \mu \hat{f}(x, y) \right| \right\} \quad (25)$$

由此可以看出, 式(25)为迭代公式, 当 $\alpha = 0$ 时, 退化为局部最大熵恢复公式, 所以, 局部最大熵图象恢复方法是它的一个特例. 为了运算简便, 对式(25)进一步简化, 得

$$\hat{f}(x, y) = \exp \left\{ -1 + \beta + \mu\rho + \alpha \left| \hat{f}(x, y) - m_L \right| \times \exp \left\{ \mu\rho \ln \left| g(x, y) + \beta - \mu \hat{f}(x, y) \right| \right\} \right\} \quad (26)$$

3 实验及结论

为了验证改进的局部最大熵图象恢复方法的有效性, 用实际的遥感图象进行了实验. 图 2 是一幅合成孔径雷达图象, 细节比较丰富, 但存在一定的辐射失真, 实验中, 取局部区域大小为 32×32 象素, 分别利用局部最大熵图象恢复和改进的局部最大熵恢复

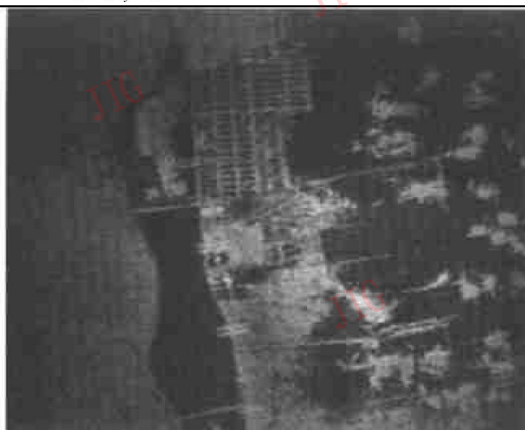


图 2 原始图象



图 3 局部最大熵恢复图象

方法,对图象进行了恢复处理.由图3可以看出,经文献[1]中提出的局部最大熵方法恢复的图象,虽然在图象灰度分布的均匀性和对比度方面有很大的改善,但是恢复后的图象细节受到了一定的损失,即减少了图象的信息量.

利用改进的局部最大熵图象恢复方法处理的结果如图4和图5所示,从图上可见,在改善了图象的灰度分布和图象对比度的同时,图象细节得到了充分的保持,而且可以通过改变 α ,在一定范围内调节图象细节的保持程度.如当 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 时,处理后的图象细节有很大的差别.



图4 改进的局部最大熵恢复图象($\alpha=0.01$)



图5 改进的局部最大熵恢复图象($\alpha=0.05$)

实验表明,改进的局部最大熵图象恢复方法具有以下特点:

- (1) 算法具有与成像模型的无关性;
- (2) 与文献[1]中提出的最大熵图象恢复方法相比,改进后的方法在改善了图象灰度分布均匀性和对比度的同时,图象细节也得到了充分的保持,且可人为控制;
- (3) 由于引入了局部均值和局部方差变量,使算法具有自适应性;
- (4) 算法运算量小、灵活,对于图象恢复是有效的和实用的.

参考文献

- 1 田金文等. 基于局部最大熵的辐射校正方法. 中国图象图形学报, 1999, 4(1A): 41~ 45.
- 2 荆仁杰等. 计算机图象处理. 杭州: 浙江大学出版社, 1990.
- 3 Christakis Charalambous *et al.* Two iterative image restoration algorithms with applications to nuclear medicine. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1992, 11(1): 2~ 8.
- 4 Nicolaos B Karayiannis, Anastasios N Venetsanopoulos. Regularization theory in image restoration— The stabilizing functional approach. IEEE Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, 1990, 38(7): 1155~ 1179.



王学良 1969年生,1992年7月毕业于长春光学精密机械学院电子工程系并获学士学位,1995年攻读长春光学精密机械研究所硕士学位,并于1997年提前攻读博士学位.主要从事计算机图象处理方面的研究工作.

黄廉卿 中国科学院长春光学精密机械研究所研究员,博士生导师.主要从事于遥感图象处理方面的研究工作,已在国内外刊物上发表论文30余篇.