

基于方向信息测度的运动模糊图像恢复

郝毫刚, 李艳玲, 黄春艳

(华北水利水电学院数学系, 郑州 450011)

摘要: 针对水平直线匀速运动引起的模糊图像产生过程, 在图像的空间域内, 利用含约束条件的最小二乘法、边缘信息逼近的能量差和 Lagrange 乘子法构成代价函数, 以求解复原图像, 并逐步推演出其求解公式。该算法实现简单, 不需要进行多次迭代运算和频域变换。实验结果证明, 处理后的图像质量良好, 能满足人们的视觉要求, 避免了频域恢复中出现的高频振铃现象。

关键词: 运动模糊; Lagrange 乘子; 方向信息测度; 图像恢复

Motion Blurred Image Restoration Based on Orientation Information Measure

HAO Hao-gang, LI Yan-ling, HUANG Chun-yan

(Department of Mathematics, North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450011)

【Abstract】 Aiming at the generation process of blurred image aroused by the straight and level constant velocity motion, this paper constructs cost function by using constrained least square method, energy differences of edge information approximation and the Lagrange multipliers in image spacial domain to solve the restored image and deduce its solution formula gradually. The algorithm is simple, does not need too many times iterative computations or frequency transformation. Experimental results indicate that the processed image has good quality, can satisfy peoples visual demands and avoid the high frequency deranging phenomenon in the frequency domain restoration.

【Key words】 motion blurred; Lagrange multiplier; orientation information measure; image restoration

1 概述

各种干扰、相对运动和聚焦等不良因素导致图像在实际获取和传输过程中引入了不同程度的模糊和噪声, 导致其质量下降。对降质图像的恢复在军事、遥感和医学等领域具有重要意义。图像复原是以最大保真度将降质图像恢复成能真实反映景物特征的图像。常用的图像恢复方法主要在空域和频域中进行。在频域中恢复图像时, 需要设置点扩展函数, 且无法避免振铃效应和鬼影效应。而在空域中处理由运动引起的图像模糊时, 难度较小并能克服振铃效应。传统的空域恢复方法通常没有考虑边缘保持问题。本文利用方向信息测度边缘提取特性、卷积特性和含约束的最小二乘法直接处理模糊图像。

2 退化模型

2.1 线性位移不变模型的建立

假定成像系统是线性位移不变系统(退化性质与图像的位置无关), 其点扩散函数用 $h(x, y)$ 表示, 则获取的图像 $g(x, y)$ 表示为

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y)$$

其中, $f(x, y)$ 是理想图像; $g(x, y)$ 是劣化图像。若受加性噪声 $n(x, y)$ 干扰, 则图像为

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

2.2 水平匀速运动模糊^[1]

通常在拍摄过程中, 相机或物体移动造成的运动模糊, 可以用一维均匀邻域像素灰度的平均值来表示。物体沿水平运动产生模糊, 即水平方向像素叠加, 相当于用一个向量与原图像 $F(i, j)$ 进行一维卷积, 结果就是模糊图 $G(i, j)$ 。假设

运动沿着水平方向进行, 速度 v 为常量, 除运动产生模糊外, 无其他噪声加入, 则 $G(i, j) = \frac{1}{n} \sum_{i=i}^{n-1} F(i, i+k)$ 。

从曝光时间 T 和物体运动速度 v 可求出 n 。

2.3 图像方向信息测度

图像方向信息测度如图 1 所示。

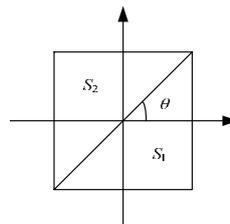


图 1 方向信息测度示意图

当前像素点坐标为 (i, j) , 其邻域为 $R = \{(m, n) \mid |m-i| \leq L, |n-j| \leq L\}$ 。 L 为邻域长度的一半。 l_θ 是过中心点角度为 θ 的一条直线, 将该邻域分成 S_1 和 S_2 。 x_{ij} 表示像素点 (i, j) 的灰度值, 方向信息测度 M_{ij} 定义^[2-3]如下:

$$M_{ij} = d_{\theta_{\max}} - d_{\theta_{\min}}$$
$$d_{\theta_{\max}} = \max_{0 < \theta < 180^\circ} (d_\theta)$$
$$d_{\theta_{\min}} = \min_{0 < \theta < 180^\circ} (d_\theta)$$

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究基金资助项目(2008B120004)

作者简介: 郝毫刚(1989 -), 男, 本科生, 主研方向: 信号处理; 李艳玲、黄春艳, 讲师、硕士

收稿日期: 2009-07-10 **E-mail:** hhwjx@yahoo.com.cn

$$d_\theta = |f_{s_1} - f_{s_2}|$$

$$f_{s_1} = \sum_{(i,j) \in s_1} x_{ij}, f_{s_2} = \sum_{(i,j) \in s_2} x_{ij}$$

由于边缘点具有方向性,因此当 l_θ 的方向沿边缘轨迹时, d_θ 取最大值,当 l_θ 的方向沿垂直于边缘轨迹时, d_θ 取最小值。由于边缘两侧像素灰度值有明显差异,因此 M_{ij} 的值较大。若当前点邻域属于平滑区,平滑区内像素灰度值基本相同,则无论 l_θ 取什么方向, d_θ 的值都较接近,因此, M_{ij} 值较小。无论观察尺度大或小,边缘点 M_{ij} 的值都较大,而平滑点 M_{ij} 值都较小。对于噪声,无论当前点在平滑区或边缘区,噪声都是随机的,不具有方向性,无论 l_θ 取什么方向,两边噪声的分布一致,因此,噪声对 M_{ij} 值的影响很小。

定义 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 这4个方向的测度算子,其窗口大小是 3×3 ,可以给出更多方向上和不同窗口大小的测度算子,用边缘信息逼近能量差表示为

$$\sum_{i=1}^n \|H_{s_i} \bar{g} - H_{s_i} H f\|^2$$

$$h_{s_1} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$h_{s_2} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$h_{s_3} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$h_{s_4} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

2.4 算法描述

设图像 G 和 F 的行向量分别为

$$g = [g_1, g_2, g_3, \dots, g_N]^T$$

$$f = [f_1, f_2, f_3, \dots, f_M]^T$$

其中, $M=N+n-1$ 。行向量 g 中任一像素点可以用 f 中若干像素点表示,即

$$g_j = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} f_{j+k}$$

上式可以展开成有 M 个未知数 N 个方程的线性方程 $H \cdot f = g$,需要引入约束条件,使向量 f 中前 N 个元素值最接近向量 g 中的对应元素。近似关系为

$$\sum_{k=1}^N (f_k - g_k)^2 = \|f' - g\|^2$$

约束条件可定义为选择合适的向量使向量 f' 间距离为最小。如果用矩阵 P 与向量 f 的乘积来表示 f' ,即 $f' = P \cdot f$, P 由一个 $N \times N$ 的单位矩阵和 $N \times (n-1)$ 的零矩阵组成,则该图像复原问题变为:在满足 $\|P \cdot f - g\|$ 为最小约束条件的情况下,求解方程 $H \cdot f = g$,该方程等价于 $\|H \cdot f - g\| = 0$ 。利用Lagrange乘子法,引入代价函数 C 和边缘信息逼近能量差,则有

$$C(f) = \lambda \cdot \|H \cdot f - g\|^2 + \|P \cdot f - g\|^2 + \sum_{i=1}^n \|H_{s_i} \cdot g - H_{s_i} \cdot H \cdot f\|^2$$

要使代价函数最小,需要满足:

$$\frac{\partial C(f)}{\partial f} = 0$$

$$f = (\lambda H^T H + P^T P + \sum_{i=1}^n H^T H_{s_i}^T H_{s_i} H)^{-1} \cdot (\lambda H^T + P^T + \sum_{i=1}^n H^T H_{s_i}^T H_{s_i}) g$$

f 即方程的解,在已知 H, P 和 g 的条件下,可以得到原图像的行向量 f 。进一步地,可以将上式扩展为输入输出矩阵,输入矩阵是模糊图像 $G(i, j)$,输出矩阵为 $F(i, j)$,其关系如下:

$$F = G \cdot (\lambda \cdot H^T + P^T + \sum_{i=1}^n H^T H_{s_i}^T H_{s_i}) \cdot inv(\lambda H^T H + P^T P + \sum_{i=1}^n H^T H_{s_i}^T H_{s_i} H)$$

其中, inv 表示求逆矩阵。

3 实验结果分析

3.1 实验仿真图像

原始图像为 256×256 的Lena图像,实验图像见图2。



(a)原始图像 (b)模糊图像 (c)维纳滤波图像 (d)本文方法图像

图2 实验图像

3.2 2种方法的比较与分析

以峰值信噪比 $^{[4-5]}$ 作为评价标准,即

$$PSNR = 10 \lg \frac{255^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (O(i, j) - G(i, j))^2}$$

其中, $G(i, j), O(i, j)$ 分别为处理后图像和原始图像的灰度值,可见, $PSNR$ 值越大,恢复图像越接近原始图像。

实验结果比较如表1所示。

表1 实验结果比较

滤波方法	维纳滤波	本文方法
PSNR/dB	66.664	75.774

在维纳滤波恢复中,当传递函数很小或等于零时,噪声将被放大,可能将信号湮没,严重影响了图像恢复质量,在频域进行时,无法避免振铃效应。本文空域恢复方法较好地保持了边缘信息,恢复效果满足人眼的视觉要求,客观上分析,其峰值信噪比也有一定改进。

4 结束语

图像方向信息测度能很好地衡量图像边缘信息,且对噪声不敏感。在图像平滑区加大平滑程度,可以减小噪声。在边缘区加大图像恢复程度,能增强边缘。因为模糊程度随空间变化,所以可以把边缘信息加入到原图像恢复方法中,使其能平滑噪声并保持边缘。该方法对空域中运动模糊图像的恢复效果很好,在一定程度上避免了空域恢复的缺点,对包含信息量小的图像边缘具有很好的保持作用。

参考文献

- [1] 黄莺. 在空域内实现运动模糊图像的恢复[J]. 实验室研究与探索, 2004, 23(5): 41-43.
- [2] 杨海军, 梁得群, 毕胜. 基于图像方向性信息测度的图像像素分类方法[J]. 中国图象图形学报, 2001, 31(5): 429-433.
- [3] 段立晶, 高汉宝, 梁得群, 等. 基于方向信息测度的约束最小二乘图像恢复方法[J]. 大连海事大学学报, 2005, 31(3): 94-96.
- [4] 王旭辉, 郭光亚. 二维匀速运动模糊图像的恢复问题的研究[J]. 计算机应用, 2002, 30(10): 25-28.
- [5] Castleman K R. Digital Image Processing[M]. [S. l.]: Prentice Hall, 1996.

编辑 陈晖