

文章编号: 1001 - 2486(2006)05 - 0123 - 03

基于自相关的匀速运动模糊尺度参数识别*

邸 慧, 于起峰

(国防科技大学 航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要:运动模糊图像复原主要取决于点扩散函数(PSF)的确定。对于匀速直线和匀速旋转运动模糊图像,运动方向和模糊尺度决定了 PSF,是重要参数。根据模糊图像的像素点具有高度相关的特性,采用差分 and 自相关等技术,精确确定模糊尺度,为图像复原提供必要参数。仿真实验验证了该方法的正确性和有效性。

关键词:运动模糊; 模糊尺度; 自相关; 图像复原

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

Autocorrelation Based Identification the Blur Extent of Uniform Motion Blurred Images

DI Hui, YU Qi-feng

(College of Aerospace and Material Engineering, National Univ. of defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: For uniform linear motion and uniform rotation blurred images, settling the blur function is the key point in image restoration. The motion direction and blur extent are the important parameters determining the blur function. For the pixels in blurred images have high correlation with the neighbors, the blur extent can be estimated by derivation and correlation methods. The simulation results demonstrate that the algorithm is right, effective and efficient.

Key words: motion blur; blur extent; autocorrelation; image restoration

图像复原是数字图像处理的重要组成部分,而运动模糊图像复原又是图像复原中的重要课题之一。运动模糊图像复原成功与否主要取决于点扩散函数(PSF)的确定。对于匀速直线运动模糊图像,运动方向和模糊尺度决定了 PSF 是重要参数。

辨识 PSF 的早期方法通过对模糊图像进行 FFT 变换,根据频谱图像中黑条纹估计模糊尺度和运动方向,然而该方法对噪声非常敏感。文献[1]根据模糊图像的像素点具有高度相关的特性,采用求导和自相关等技术,估计模糊尺度,但仅局限于水平直线运动模糊的尺度辨识。本文将该思路扩展为适用于任意方向直线运动模糊以及匀速旋转运动模糊的尺度识别。

1 理论分析

由于摄像机与物体之间存在相对运动,导致运动模糊。运动模糊可以理解为模糊路径上的一种线积分,模糊路径即为积分路径。而对于离散情况,模糊可以表示为模糊路径上各点的线性叠加。模糊尺度是在曝光时间内相机与物体之间的相对运动距离,即 PSF 的支持域。假设在曝光时间内,相机与物体之间的相对运动距离为 N 个像素,则模糊尺度为 N 。

假设运动方向已知。匀速运动模糊 PSF 在运动方向上是矩形函数(图 1),在支持域内部($0 \leq i < N$)其响应均为 $1/N$ 。将 PSF 在运动方向进行差分,导函数在支持域端点($i = 0, N - 1$)正负相反的两个冲激函数(图 2)。将导函数在运动方向进行自相关,在 $N - 1$ 和 $1 - N$ 处出现最小值(图 3),峰值明显。依据自相关函数的特性,可以通过搜索自相关曲线最小值点的位置确定模糊尺度。

* 收稿日期: 2006 - 02 - 28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10472133)

作者简介: 邸慧(1977—),女,博士生。

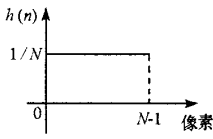


图1 匀速运动 PSF
Fig.1 Motion blur function

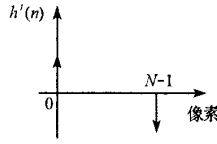


图2 PSF沿运动方向导函数
Fig.2 Derivation function

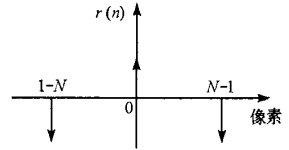


图3 导函数沿运动方向自相关
Fig.3 Autocorrelation of derivation

2 算法实现

2.1 特殊方向直线运动

对于沿 0°、90°、45°和 135°等特殊方向的匀速直线运动模糊,模糊尺度辨识的公式比较简单。以水平运动模糊为例推导公式,算法步骤如下:

(1) 对模糊图像 $g(x, y)$, 在列方向进行差分运算, $g(i, j)$ 代表像素点 (i, j) 的灰度值, $0 \leq i < M, 0 \leq j < N, M, N$ 分别为图像的行数和列数,

$$g_y(i, j) = g(i, j) - g(i, j - 1) \quad (1)$$

(2) 对(1)的结果,在行方向进行差分运算,

$$g_{yx}(i, j) = g_y(i, j) - g_y(i - 1, j) \quad (2)$$

(3) 对(2)的结果,逐行计算自相关函数,第 j 行含有 l 个像素的自相关函数为:

$$r(k) = \sum_{i=1}^{M-k-l} \sum_{m=-l}^l g(i+k+m, j)g(i+m, j) \quad k \in [-1, 1] \quad (3)$$

(4) 计算自相关函数的均值,画出自相关函数曲线,搜索最小值点,从而确定模糊尺度。

2.2 任意方向直线运动

对于沿任意方向 $\theta(0^\circ < \theta < 45^\circ, \text{当 } 45^\circ < \theta < 90^\circ \text{时})$,分析其余角的匀速直线运动,运动轨迹上的点一般不在整像素位置。如图4所示,在 x 方向移动 N 个采样点,则在 y 方向移动 $N \cdot \tan\theta$ 个采样点,一般不在正像素位置,需要通过线性插值确定该位置的灰度值。

垂直运动方向的差分为:

$$g_{\perp}(x, y) = g(i, j) - [q_2 \cdot g(i + 1, j - 1) + p_2 \cdot g(i + 1, j - 2)] \quad (4)$$

线性插值系数为 $p_2 = \tan\theta - 1, q_2 = 1 - p_2$ 。

平行运动方向的差分为:

$$g_{\parallel}(x, y) = g(i, j) - [q_1 \cdot g(i + 1, j) + p_1 \cdot g(i + 1, j + 1)] \quad (5)$$

线性插值系数为 $p_1 = \tan\theta, q_1 = 1 - p_1$ 。

第 j 行含有 l 个像素的自相关函数为:

$$r(k) = \sum_{i=1}^{M-k-l} \sum_{m=-l}^l g[i+k+m, j+(k+m)\tan\theta]g(i+m, j+m\tan\theta) \quad k \in [-1, 1] \quad (6)$$

计算自相关函数的均值,画出自相关函数曲线,搜索最小值点,从而确定模糊尺度。

2.3 匀速旋转运动

旋转运动模糊图像是一种空间可变模糊,离旋转轴心越远,模糊越厉害。然而这种空间可变模糊是沿模糊路径分布的,即位于同一个圆环上的模糊效果相同。沿圆环对模糊图像进行差分匀速,并对导函数进行自相关;对不同圆环的自相关值进行累加求均值,画出自相关函数曲线,搜索曲线的最小值点,其与中心点的距离即为旋转角度。

2.4 算法优化

上述算法的计算量比较大,下面以水平运动模糊为例进行分析。在对全图逐点进行 2 次差分运算

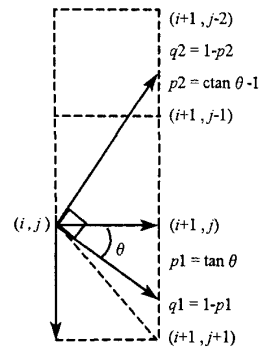


图4 沿任意方向直线运动
Fig.4 Arbitrary direction uniform motion

之后,对整幅图像逐行进行含有 l 个像素的自相关运算再求均值,在 $-Len \sim Len$ 搜索区间内进行搜索,需要 $2Len \cdot NM(2l + 1)$ 次乘法和同样次数的加法。对于任意方向运动模糊,还需要通过线性插值求非整像素位置的灰度值。为了提高运算速度,减少运算量,经过分析和仿真实验测试,可以采用以下措施对算法进行优化:(1) 由图 3 可以看出,自相关函数曲线是关于 y 轴对称的,只需要在 $0 \sim Len$ 范围内进行计算以及搜索最小值点的位置,计算量将减少 50%。(2) 对于整幅图像是一致运动模糊的情况,可以抽取一部分列或者行进行自相关计算;对于只有部分图像存在运动模糊的情况,只在包含运动模糊的区域内进行计算。(3) 由模糊图像预先估计模糊尺度,设定搜索区间,进一步缩小搜索范围。

3 实验结果

为验证算法的正确性,采用仿真实验。根据文献[3]的退化模型,对 cameraman、barbara 图像在 0° 、 30° 方向生成直线模糊图像,模糊尺度分别为 10、15 像素;根据文献[4]的退化模型,对 lena 图像生成旋转角度为 8° 的旋转模糊图像;分别添加标准差为 2 的高斯噪声,模糊图像的峰值信噪比(PSNR)分别为 42.47,41.77,47.80。图 5(a)为水平运动模糊退化图像的频谱图像,受噪声影响黑条纹不清晰,不能准确辨识模糊尺度。采用本文算法以及优化措施,得到自相关函数曲线图,如图 5(b)和图 6 所示,曲线的最小值点很明显,对应的距离分别为 10、15 像素及 8° ,准确地辨识了模糊尺度。

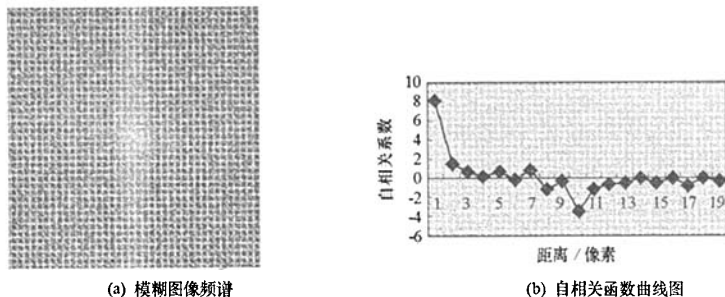


图 5 水平直线运动模糊尺度辨识比较

Fig.5 Comparison of horizontal motion blur extent estimation

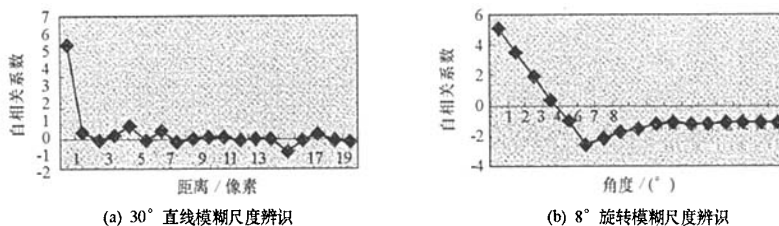


图 6 自相关函数曲线图

Fig.6 Autocorrelation curve

4 结论

根据模糊图像的像素点具有高度相关的特性,采用差分和自相关等技术,由单幅模糊图像辨识模糊尺度。由仿真实验验证了算法正确性和有效性,对于特殊方向和任意方向的直线运动模糊,以及匀速旋转运动模糊,均快速准确地得到了辨识结果。但是尺度辨识是在运动方向已知的前提下完成的。

参考文献:

[1] Yitzhaky Y, Kopeika N S. Identification of the Blur Extent from Motion Blurred Images[J]. SPIE, 1998,2470:2-11.
 [2] Yitzhaky Y, Kopeika N S. Evaluation of the Blur Parameters from Motion Blurred Images[J]. IEEE Conference, 1996:216-219.
 [3] 邸慧,于起峰. 基于 Z 变换的匀速直线运动模糊图像的快速恢复[J]. 光学技术, 2005, 31 (6): 884-886.
 [4] 邸慧,丁晓华,于起峰. 基于 Z 变换匀速旋转运动模糊图像的快速恢复[J]. 光学工程, 2006,33(4):89-92.
 [5] 于起峰,陆宏伟,刘肖琳. 基于图像的精密测量与运动测量[M]. 北京:科学技术出版社, 2002.

