

文章编号 1004-924X(2013)09-2430-09

匀速直线运动模糊图像的模糊参数鲁棒识别

赵 鹏^{1,2*}, 曹 军², 韦兴竹¹

- (1. 东北林业大学 信息与计算机工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;
2. 东北林业大学 机械工程博士后流动站, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:针对摄像机成像时经常产生匀速直线运动模糊,导致图像退化的现象,提出了恢复图像涉及的精确辨识运动模糊尺度的方法。由于利用 Radon 变换可以精确地识别运动模糊方向,通过图像旋转可以将运动模糊的方向旋转到水平轴,因此,只对水平方向的运动模糊图像进行研究。对于不带噪声的运动模糊图像,对其进行 Fourier 变换转化到频率域,使用 BP 神经网络检测运动模糊尺度;BP 神经网络的输入量为频谱图中央区域的幅度加和。对于带噪声的运动模糊图像,先对其进行双谱变换,再使用 BP 神经网络检测运动模糊尺度;双谱中每列的最大值为 BP 神经网络的输入量。最后通过仿真实验验证了本文方法的正确性和有效性。验证结果显示,当噪声图像的信噪比 $SNR \geq 23$ dB 时,本文方法的模糊参数辨识平均误差 $\leq 5\%$,优于传统的运动模糊参数辨识方法。

关键词:光学成像;运动模糊;噪声图像;图像识别;双谱

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20132109.2430

Identification of robust blur parameter for uniform linear motion blurred images

ZHAO Peng^{1,2*}, CAO Jun², WEI Xing-zhu¹

- (1. *Information and Computer Engineering College, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;*
2. *Postdoctoral Station of Mechanic Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)*

* *Corresponding author, E-mail: bit_zhao@aliyun.com*

Abstract: Uniform linear motion blur often occurs in the camera imaging, which results in image degradation seriously. Therefore, this paper proposes a method to identify the motion blur extent accurately. Since a motion blur angle could be identified accurately by Radon transform and the motion blur direction could be rotated to the horizontal, only the horizontal motion blurred images are needed to be researched. For a motion blurred image without noises, the Fourier transform is used to transform it to frequency domain, the motion blur length is estimated by the BP neural network and the input of BP network is the sum of the amplitudes in the central region of the spectrum. For a blurred image with noises, the bispectrum transform is applied, the motion blur length is estimated by BP neural network and the input of BP network is the maximum value of each column of bispectrum. The

收稿日期:2013-03-31; **修订日期:**2013-04-10.

基金项目:教育部中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(No. DL12DB06);教育部新世纪优秀人才支持计划专项资金资助项目(No. NCET-12-0809);中国博士后科学基金第 5 批特别资助项目(No. 2012T50318)

simulation experiments show that the proposed method in this paper is correct and efficient. When the SNR is larger or equal to 23 dB in noisy images, the mean error of blur parameter identification by proposed method is below 5%, which is superior to that of conventional schemes.

Key words: optical imaging; motion blur; noisy image; image identification; bispectrum

1 引言

数字图像恢复是数字图像处理的重要组成部分,在航空航天技术、生物医学工程、军事公安、机器人视觉等许多方面有广泛应用。图像恢复的一个重要课题是运动模糊图像的恢复。在图像拍摄过程中,由于景物与成像系统的相对运动会导致图像模糊,而匀速直线运动作为图像运动模糊的一种典型情况,得到了广泛的研究。在图像恢复过程中,点扩散函数(Point Spread Function, PSF)的估计精度会直接影响后续的图像恢复效果,因此 PSF 的精确估计是该研究的一项重要内容。匀速直线运动模糊图像的 PSF 估计涉及 2 个参数(运动模糊尺度和运动模糊角度)的识别问题,这正是本文要研究与解决的问题。

近几年,关于匀速直线运动模糊图像的 2 个参数辨识的研究取得了很大进展。参数辨识方法可分为 Fourier 频域处理法(包括对数分析法和 Radon 变换法)、倒频谱域处理法和空域处理法(包括图像微分处理法和像素相关性分析法)等^[1-2]。例如,He 等^[3]设计了一种自适应 Adaline Network 来估计运动模糊尺度,由于该方法需要原始清晰图像和模糊尺度的初始粗略估计值作为网络输入量,使其应用时具有一定局限性。Xu Ting-Fa 等^[4]研究了运动模糊与离焦模糊耦合情况下的运动模糊参数辨识问题,即通过运动模糊信息,使用 Image Matte 方法精确测量物体速度,从而排除了离焦模糊的干扰。郭永彩等^[5]提出了一种在倒频谱鉴别运动模糊参数的方法。李楠等^[6]根据导数矩阵自相关的曲线特征来估计模糊参数。

在实际匀速直线运动图像模糊处理中,由于成像系统噪声的广泛存在,对于有噪声污染的匀速直线运动图像的模糊参数辨识具有更实际的工程意义。Li 和 Yoshida^[7]使用统计自回归模型(Auto Regressive Model, ARM)研究了理想图像和噪声图像的运动模糊参数辨识算法,并探讨了该方法进行参数辨识所允许的噪声图像的最低

信噪比(SNR_{\min})。Cannon^[8]和 Bhaskar^[9]在处理噪声图像时,将原始图像划分成一些子图像区域,这在一定程度上减少了噪声干扰。Chang 等^[10]和 Mayntz 等^[11]使用双谱法(Bispectrum)和统计的自回归运动模型(Auto Regressive Moving Average Model, ARMA)进行运动模糊参数辨识。此外,Moghaddam 和 Jamzad 系统地研究了运动模糊参数辨识,使用 Radon 变换来检测运动模糊角度,同时应用 1D 功率谱和双谱来检测运动模糊尺度,待恢复的运动模糊图像所允许的噪声图像的 SNR_{\min} 为 25 dB^[12]。他们还使用了模糊集(Fuzzy Sets)方法进行参数辨识的研究,但是该方法误差较大,误差主要来源于模糊集图像主瓣宽度的测量误差^[13]。

现有的关于匀速直线运动模糊图像的运动模糊尺度又辨识方法尚存在一些问题,比如应用于有噪声污染的图像时识别结果的相对误差较大;或者只给出了绝对误差,但换算成相对误差后大于 6%。此外,所允许的噪声图像 SNR_{\min} 较高,应用时有一定局限性。上述问题的产生主要是求解运动模糊尺度时,这些方法一般都需要做数学变换(例如 Fourier 变换或者双谱变换等),然后在变换域中计算某些关键性参数(例如频域中的相邻暗条纹距离或者双谱域中的相邻 2 个谷底距离),而测量这些参数时经常会产生误差。由于运动模糊尺度与这些参数成反比关系,这样将产生误差传播作用,从而导致最终辨识结果产生较大的误差。

本文在频域或双谱域中,使用按列求和或者取最大值的方法进行特征提取,这样就避免了这些参数的计算和误差传播作用。特征提取会得到一个特征向量,该特征向量的各个元素分别是变换域中各列像素的灰度和或者最大值,因此,该特征向量整体上反映了变换域中各列像素灰度变化的周期性信息(亮暗相间的周期性条纹信息)。此外,本文尝试使用 BP 神经网络研究运动模糊尺度辨识。针对匀速直线运动模糊,分析了不带噪声与带高斯噪声 2 种情况下的不同处理方法。

BP 神经网络具有较强的自适应学习能力,相对于其它分类器,其结构比较简单,且容易实现。针对频域或者双谱域中得到的特征向量,它可以较好地完成信息的非线性映射和参数辨识任务,这种使用非线性映射来计算运动模糊尺度的方法具有更高的参数辨识精度。综上所述,该方法具有更小的相对误差和更低的 SNR_{\min} ,也具有更好的实际应用前景和抗噪性能。

2 不带噪声的匀速直线运动模糊图像

在空间域,图像特征不明显,不容易找出可用于识别运动模糊尺度的量。因此,需要将图像以某种形式转换到另外一些空间。对于不带噪声的匀速直线运动模糊图像,可以通过傅里叶变换将其转换到频率域再寻找图像特征。在频谱图中,呈现出亮暗相间的平行线条纹,这些条纹的方向与运动模糊方向垂直,而间距则与运动模糊尺度有关系。

2.1 运动模糊角度识别

为了把任意方向的匀速直线运动的模糊情况转化为水平方向,就需要识别出运动模糊角度,这可以利用 Radon 变换实现。图像的 Radon 变换即图像 $I(x, y)$ 在角度为 θ 、与原点的距离为 ρ ($\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta)$) 的直线上的投影。Radon 变换的定义式^[14]:

$$R(\rho, \theta) = \iint_{-\infty}^{\infty} I(x, y) \delta(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy. \quad (1)$$

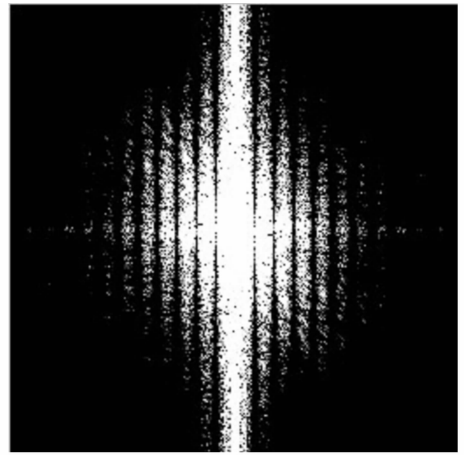
对于一幅图像,通过 Radon 变换可计算其在某一指定角度射线方向上的线积分。比如角度在 $0^\circ \sim 179^\circ$ 变化时,则可通过 Radon 变换计算出这个角度范围内沿着每一个角度射线方向的投影值。由于匀速直线运动模糊图像的频谱图中沿条纹方向的线积分值最大,所以最大投影值对应的角度即为运动模糊角度。

2.2 频率域特征提取

在匀速直线运动模糊图像的频谱图中平行暗条纹是等间距分布的,它们之间的距离与运动模糊尺度有关,所以,这个距离可以作为识别运动模糊尺度的特征,但间距不容易精确测定,这个问题

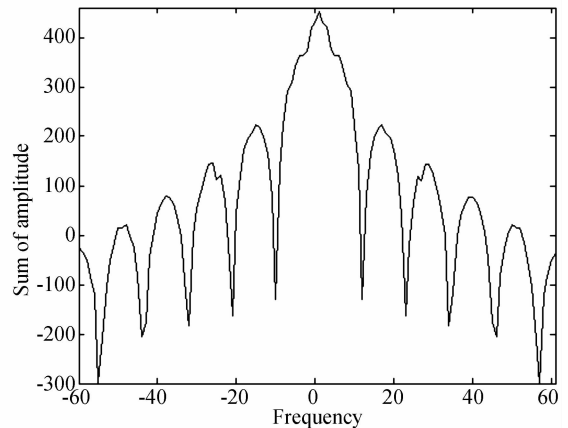
可以利用频谱图中的幅度和来解决。以水平方向匀速直线运动模糊图像为例(以下相同),在其频谱图中,平行暗条纹是竖直方向的,将频谱图中的幅度(这里的幅度指的是取对数之后的幅度,以下相同)逐列相加,得到一行值,这就得到了可以使用的一组图像特征。

为了提高训练和辨识精度,只需要对频谱图中央区域计算幅度和。因为周围区域的频谱幅度接近零值,而这些区域会给网络训练和参数辨识带来一定误差,因此计算每列幅度和不需要考虑这些区域,同时还可以降低相应的网络训练和参数辨识的计算量,从而提高网络训练和参数辨识的速度。



(a) 幅度谱 (Lena 图像, 无噪, $L=23$ pixel, $\theta=0^\circ$)

(a) Amplitude spectrum (Lena image, noise-free, $L=23$ pixel, $\theta=0^\circ$)



(b) 图 (a) 的中央区域按列相加求得的幅度和

(b) Sum of amplitudes by columns in the central region of spectrum for (a)

图 1 不带噪声的运动模糊图像的幅度谱及频谱图中央区域的幅度和

Fig. 1 Amplitude spectrum of motion blurred image without noise and sum of amplitudes in the central region of spectrum

在图 1 中,图 1(b)中的若干个极小值点分别对应图 1(a)中的数条竖直暗条纹,这是定义 L 和 θ 是匀速直线运动模糊的尺度和角度。

2.3 数据归一化

竖直方向幅度求和后,得到一组图像特征,但各组特征中的数据差别比较大,这就有可能导致识别结果不准确。为了改善这一状况,需要对数据进行归一化处理。

数据归一化是神经网络预测前对数据常做的一种处理方法。数据归一化处理把所有数据都转化为 $[0, 1]$ 内的数,其目的是取消各维数据间数量级的差别,从而避免因输入输出数据数量级差别较大而造成的较大网络预测误差。数据归一化的方法主要有以下 2 种。

(1)最大最小法。函数形式如下:

$$x_k = (x_k - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}). \quad (2)$$

式中, x_{\min} 为数据序列中的最小数; x_{\max} 为序列中的最大数。

(2)平均数方差法。函数形式如下:

$$x_k = (x_k - x_{\text{mean}}) / x_{\text{var}}, \quad (3)$$

式中, x_{mean} 为数据序列的均值, x_{var} 为数据的方差。本文采用第一种数据归一化方法。

2.4 运动模糊尺度识别

根据幅度和,利用 BP 神经网络可以识别出运动模糊尺度。BP 神经网络是一种多层网络的逆推学习算法。BP 神经网络采用有指导的学习方式进行训练和学习,即将一对学习模式提供给 BP 神经网络后,神经元的激活值就从输入层经各个隐含层向输出层传播,在输出层的各个神经元获得网络的实际输出响应。通过比较输出层各个神经元的实际输出与期望输出,获得二者之间的误差,然后按照减小误差的方向,从输出层经各个隐含层并逐层修正各个连接权值,最后回到输入层。这种“正向计算输出—反向传播误差”的过程不断重复进行,直至误差降至可以接受的范围,BP 神经网络的学习训练过程也就随之结束^[15]。BP 神经网络的结构如图 2 所示。

图 2 中, R 为输入量的个数, $a = f(WP + b)$, W 为权向量, P 为输入向量, b 为网络偏移量。将幅度和作为 BP 神经网络的输入量,经过训练,达到一定训练次数和精度后,用训练好的网络可以识别出运动模糊尺度。利用 Fourier 变换将原始

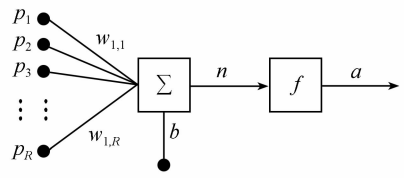


图 2 BP 神经网络结构图

Fig. 2 BP neural network structure

的匀速直线运动模糊图像转换到频域后,现有的主流算法例如文献[12]是先计算出相邻 2 条暗条纹(例如图 1(a)中的暗条纹)之间的距离 d ,然后应用公式 $L = N/d$ 求解运动模糊尺度(N 是图像尺寸)。但是,应用图像处理算法精确计算距离 d 存在较大困难,容易产生一定的测量误差 Δd ,从而给最终的运动模糊尺度计算带来较大误差。本文在频谱图中央区域按列计算幅度和,得到一个行向量,从而得到了一组可以使用的图像特征。这就避免了应用公式 $L = N/d$ 求解时, Δd 产生的误差传播作用,同时也保证了特征提取精度。

3 带噪声的匀速直线运动模糊图像

在包含噪声的情况下,匀速直线运动模糊图像的频谱图中,亮暗相间条纹变得不明显,甚至消失,因此,在频率域进行分析很困难。所以,对于带噪声的情况需要寻找抗噪声强的方法。双谱是高阶统计分析方法中的一种,最常用的高阶统计量是高阶累积量和高阶谱。在高阶谱中,双谱具有计算量小(与其它高阶谱相比)、抗噪声效果显著的特点,适合应用于处理带噪声的图像。

3.1 图像双谱的计算

假设图像退化模型为:

$$r(m, n) = \sum_{(i, j) \in S_h} h(i, j) s(m - i, n - j) + v(m, n), \quad (4)$$

其中, $r(m, n)$ 和 $s(m, n)$ 分别为退化图像和原始图像, $h(m, n)$ 为点扩散函数, S_h 为点扩散函数的定义域, $v(m, n)$ 为加性高斯噪声。对于具有高斯噪声的水平方向匀速运动的模糊图像,在计算双谱前,要先把图像转化为 N 个一维信号序列。每个信号序列的双谱计算方法为^[10]:

$$B_r^{(2)}(k, l; 0, 0) = R_i(k, l) R_i(0, 0) R_i^*(k, l). \quad (5)$$

其中, $R_i(k, l)$ 为退化图像的第 i 个序列的傅里叶变换。将图像转化为一维信号序列的方法为: 按行读取图像像素, 每 256 个像素为一个序列, 相邻序列之间有一个重复率(介于 0 到 1 之间, 比如重复率为 0.5, 则第 i 个序列和第 $i+1$ 个序列之间有 128 个像素是相同的), 从像素矩阵的第一行从左向右读取到末尾, 第二行从右向左读取到第二行开头, 第 i 行和第 $i+1$ 行像素的读取方向是相反的, 一直到最后一行。这样就避免了行与行之间像素的剧变。

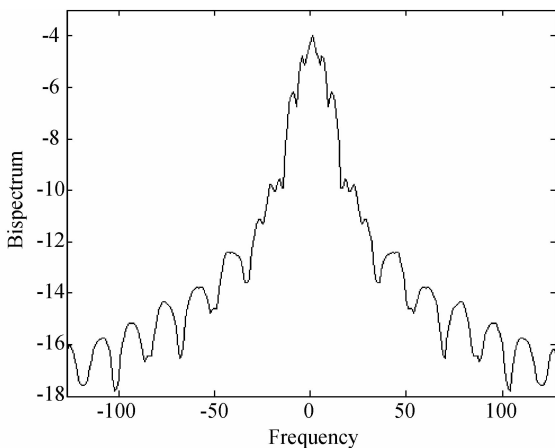
设共有 N 个序列, 计算图像双谱时取所有序列双谱的均值:

$$B_r(k, l; 0, 0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_r^{(i)}(k, l; 0, 0). \quad (6)$$

3.2 特征提取

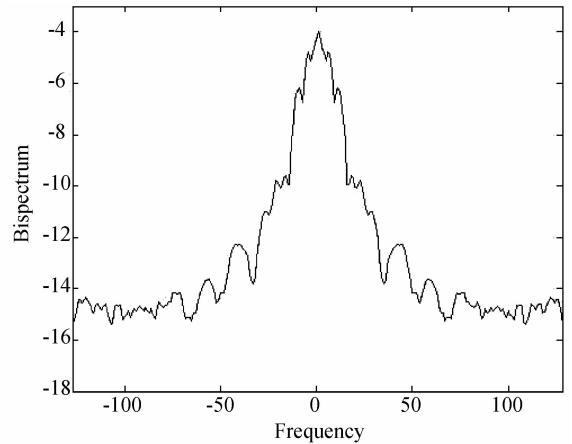
一幅图像的双谱数据量比较大, 但其中大部分数据对于识别运动模糊尺度是无效的, 因此, 为提高识别效率, 需要提取与运动模糊尺度相关度大的双谱值。本文对双谱的每一列取最大值, 然后取对数并归一化, 把得到的这组值作为神经网络的输入量。图 3 给出了 Lena 图像的双谱实例。

理论上, 为了计算含有高斯噪声的匀速直线运动模糊图像的模糊尺度, 也同样需要精确计算出双谱图中相邻 2 个谷底之间的距离 D , 然后应用公式 $L=N/D$ 求解出运动模糊尺度。类似的, 这种方法由于受噪声干扰, 也经常会产生一定的测量误差 ΔD , 从而给最终的运动模糊尺度计算带来较大误差。此外, Moghaddam 和 Jamzad^[12] 还应用统计回归方法提出了一种经验公式, 在此公式中 L 与 W_b 也是成反比关系, W_b 是双谱图中



(a) 双谱 (Lena, SNR=50 dB, $L=15$ pixel, $\theta=0^\circ$)

(a) Bispectrum(Lena, SNR=50 dB, $L=15$ pixel, $\theta=0^\circ$)



(b) 双谱 (Lena, SNR=25 dB, $L=15$ pixel, $\theta=0^\circ$)

(b) Bispectrum(Lena, SNR=25 dB, $L=15$ pixel, $\theta=0^\circ$)

图 3 带有不同信噪比高斯噪声的图像的双谱

Fig. 3 Bispectrum of images with different signal-to-noise ratios of Gaussian noise

的主瓣宽度。应用该方法求解 L 时, W_b 的测量误差 ΔW_b 也将对最终结果产生误差传播作用。因此, 本文对双谱的每一列取最大值, 然后取对数并归一化, 并把得到的这组值作为神经网络的输入量。这样再次避免了求解时 ΔD 或者 ΔW_b 产生的误差传播作用, 同时也保证了特征提取的精度。

4 仿真实验

4.1 运动模糊角度识别

含高斯噪声的匀速直线运动模糊图像的频谱图中, 大多数亮暗条纹都变淡或消失, 但是中央亮条纹还能看到, 至少方向还能辨别。所以含有噪声的情况也能利用 Radon 变换识别运动模糊角度。用 MATLAB 进行仿真实验, 利用 Radon 变换识别匀速直线运动模糊图像的运动模糊角度。被检测的图像为标准图像: Lena (256×256), Cameraman (256×256), Barbara (256×256)。

实验图像有不含噪声与含高斯噪声且信噪比为 20 dB 的情况, 运动模糊尺度与角度都选取了具有代表性的情况。如图 4 所示, 注意图中最亮的, 而且垂直方向不连续的条纹, 指向下面一个角度, 该角度就是运动模糊角度 θ 。对 Radon 变换图像各列的灰度值和使用峰值检测法, 能够计算出该角度 θ , 根据角度的计算值和真实值的比较,

可以看出,用 Radon 变换识别运动模糊角度效果比较理想。

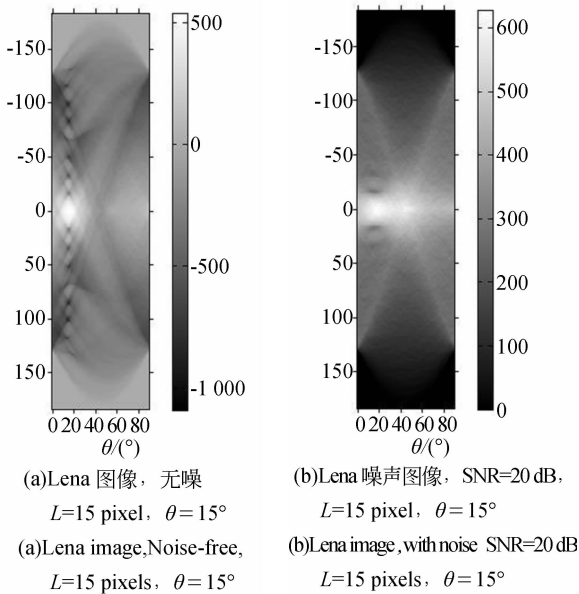


图 4 Lena 图像的模糊角度识别实例

Fig. 4 Instances of blur angle recognition for Lena image

4.2 不带噪声图像的运动模糊尺度识别

用 MATLAB 进行实验,对不含噪声的匀速直线运动模糊图像做傅里叶变换,利用 BP 神经网络检测运动模糊尺度。用于训练的图像为 3 幅标准图像: Airplane (256×256), Peppers (256×256), Couple (256×256); 被检测的图像为标准图像: Lena (256×256), Cameraman (256×256), Barbara (256×256)。运动模糊角度为 0° , 其它角度可以通过旋转图像坐标系转化为 0° 的情况。

为提高识别精度,对于 m 行 n 列的频谱图,选取中间 $(m/3) \times (n/3)$ 的部分来计算幅度,并用于网络训练和运动模糊尺度辨识。经过多次测试,发现当 BP 神经网络的隐层节点数设为 16 时,运动模糊尺度识别误差比较小,而且识别速度快。运动模糊尺度为 15~25,检测 33 幅图像,识别误差都在 6% 以下,最大误差为 3.84%,平均误差为 1.37%。具体的实验数据参见表 1,误差走势比较如图 5 所示。实验是针对 3 种标准图像: Lena 图像、Cameraman 图像和 Barbara 图像的 33 幅图像进行的。

所采用的 BP 神经网络隐层节点数的最优值为 20,网络的训练次数 $epochs=200$,使用的传递函数为 tansig 函数。此外,使用 Matlab 6.5 图像

处理工具箱中的 fspecial 函数创建出具有一定运动模糊尺度和角度的匀速直线运动模糊核函数,然后再应用 imfilter 函数对标准图像进行运动模糊化滤波处理,使用匀速直线运动模糊核函数进行相应的卷积操作。

表 1 不含噪声图像的运动模糊尺度辨识结果(误差为相对误差)

Tab. 1 Recognition results of motion blur scale for noise-free images (relative error)

最大误差	平均误差	误差低于 6% 的个数	33 个值的最大误差	33 个值的平均误差
0.038 4	0.015 8	11		
0.023 2	0.012 2	11	0.038 4 (3.84%)	0.013 7 (1.37%)
0.023 9	0.013 0	11		

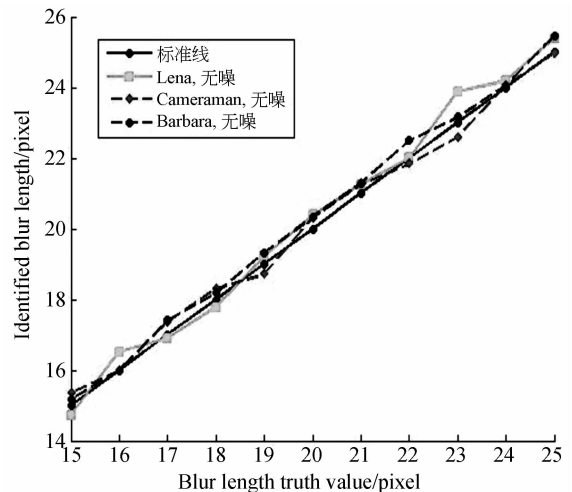


图 5 不含噪声图像的参数辨识误差趋势图

Fig. 5 Error chart of parameter identification for noise-free images

此外,为了验证本文的神经网络辨识方法的先进性,还将本文方法与其他 2 个运动模糊尺度辨识的典型方法^[12,16]做了比较。首先使用文献[12]方法进行辨识,对于 Lena 图像、Cameraman 图像和 Barbara 图像,检测的最大误差/平均误差分别为 4.10%/1.77%、3.35%/1.33%、3.14%/1.39%。应用文献[16]方法进行辨识,对于 Lena 图像、Cameraman 图像和 Barbara 图像,检测的最大误差/平均误差分别为 4.35%/1.85%、

3.43%/1.36%、3.33%/1.43%。可以看出,本文方法确实在辨识精度方面优先于这两种方法。

4.3 含高斯噪声图像的运动模糊尺度识别

用 MATLAB 进行实验,对含高斯噪声的匀速直线运动模糊图像做双谱运算,利用 BP 神经网络检测运动模糊尺度。用于训练的图像为 6 幅标准图像,被检测的图像为标准图像:Lena (256 × 256), Cameraman (256 × 256), Barbara (256 × 256)。运动模糊角度为 0°,其它角度可以通过旋转图像坐标系转化为 0°的情况。所采用的 BP 神经网络其隐层节点数的最优值为 6,网络的训练次数 $epochs = 200$,使用的传递函数为 tansig 函数。高斯噪声则是通过使用 imnoise 函数加入到标准图像中的。信噪比为 50 dB,运动模糊尺度为 15~25 时,检测了 33 幅图像,有 30 幅的识别误差在 6% 以下,最大误差为 8.96%,平均误差为 3.54%。信噪比为 25 dB;运动模糊尺度为 15~25 时,检测了 33 幅图像,有 26 幅的识别误差在 6% 以下,最大误差为 14.02%,平均误差为 4.50%。具体实验数据参见表 2 表 3,含有噪声图像的误差趋势比较如图 6 和图 7 所示。

表 2 含有噪声图像(50 dB)的运动模糊尺度辨识结果
Tab. 2 Recognition results of motion blur scale for images with noise(50 dB)

最大误差	平均误差	误差低于 6% 个数	33 个值的	
			最大误差	平均误差
0.066 3	0.037 9	10		
0.089 6	0.039 4	10	0.089 6 (8.96%)	0.035 4 (3.54%)
0.069 7	0.028 9	10		

同样,为了验证本文方法的抗噪性能,还将其与文献[12]、[16]所提方法作了比较。通过采用本文方法所进行的大量实验,得出 $SNR_{min} = 23$ dB,这里的 SNR_{min} 是指检测 Lena 图像、Cameraman 图像和 Barbara 图像的 3 个平均误差都小于等于 5% 时对应的最低信噪比。另外,通过利用文献[12],[16]所提 2 种方法所做的大量实验,得出文献[12]的 $SNR_{min} = 35$ dB;文献[16]的 $SNR_{min} = 43$ dB。可以看出,本文方法的抗噪声性能也优先于这两种方法,可适用于

信噪比较低、噪声污染较严重的退化图像。

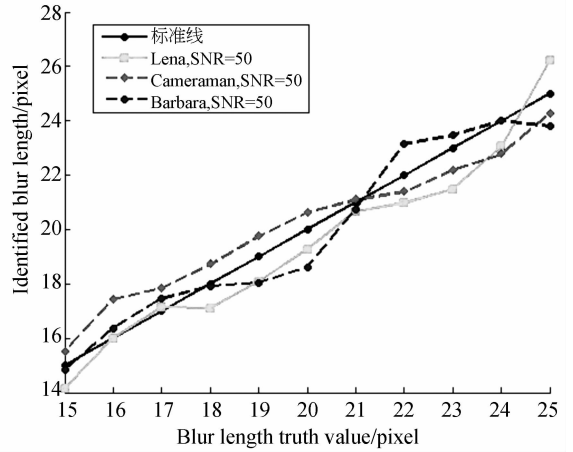


图 6 含有高斯噪声图像(50 dB)的参数辨识误差趋势图
Fig. 6 Error chart of parameter identification for image with Gaussian noise (50 dB)

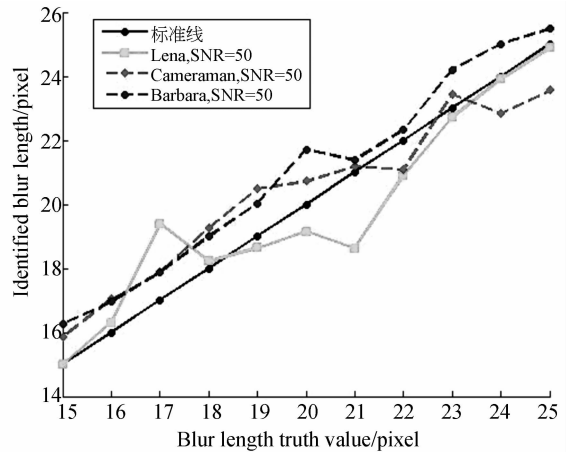


图 7 含有高斯噪声图像(25 dB)的参数辨识误差趋势图
Fig. 7 Error chart of parameter identification for image with Gaussian noise (25 dB)

表 3 含有噪声图像(25 dB)的运动模糊尺度辨识结果
Tab. 3 Recognition results of motion blur scale for images with noise(25 dB)

最大误差	平均误差	误差低于 6% 个数	33 个值的	
			最大误差	平均误差
0.140 2	0.037 9	9		
0.077 7	0.048 3	8	0.140 2 (14.02%)	0.045 0 (4.50%)
0.085 2	0.048 7	8		

5 结 论

本文重点解决了不含噪声和含高斯噪声的匀速直线运动模糊图像的模糊尺度识别问题,针对不同情况,将模糊图像变换到不同的空间(傅频域或双谱域)以提取有效的图像特征,进而将这些特征作为BP神经网络的输入量以识别运动模糊尺度,这也是本文的主要研究工作和创新点。

仿真实验表明,利用Radon变换对匀速直线运动模糊角度的检测效果理想。利用BP神经网络可以较好地识别匀速直线运动模糊尺度:在傅频域识别不含噪声的图像最大误差为3.84%,平均误差为1.37%;在双谱域识别含高斯噪声的情况,随着信噪比的下降,BP神经网络识别能力下

降。例如,在信噪比为25 dB时,绝大多数的识别误差仍在6%以下,平均误差不超过5%;不含噪声的识别效果明显好于含高斯噪声的情况。通过对标准图像Lena图像Cameraman图像和Barbara图像(图像尺寸为 256×256)的大量实验,发现当运动模糊尺度为是 $10 \leq L \leq 28$ 、噪声强度 $SNR \geq 23$ dB时,检测得到的这3幅图像的运动模糊尺度的3个平均误差都小于等于5%。

作者将利用BP神经网络开展以下研究工作:(1)在更大范围内的运动模糊尺度的识别;(2)运动模糊及离焦模糊耦合图像的参数辨识。此外,实际上双谱域变换方法只对高斯噪声适用,不适用于其他类型的噪声污染图像(例如颗粒噪声)。因此,研究各种类型噪声污染的图像的运动模糊参数辨识,也是作者以后将要解决的问题。

参考文献:

- [1] 梁炯,许廷发,石明珠,等.一种提高匀速直线运动参数辨识精度的方法[J].北京理工大学学报,2012,32(8):818-823.
LIANG J, XU T F, SHI M ZH, *et al.*. A method to improve accuracy of parameter identification for single image blurred by uniform linear motion [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2012, 32(8): 818-823. (in Chinese)
- [2] JUNSEONG P, MIN K, SOONKEUN C, *et al.*. Estimation of motion blur parameters using cepstrum analysis [C]. 2011 *IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)*, 2011, 406-409.
- [3] HE W G, LI S F, HU G W. Blur identification using an adaptive adaline network [C]. *Proceedings of 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2005,9: 5314-5317.
- [4] XU T F, PENG Z. Object's translational speed measurement using motion blur information [J]. *Measurement*, 2010, 43(9): 1173-1179.
- [5] 郭永彩,郭瑞瑞,高潮.运动模糊图像点扩展函数的参数鉴别[J].仪器仪表学报,2010,31(5):1052-1057.
GUO Y C, GUO R R, GAO C. Identification of blur parameters from motion blurred images [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010,31(5):1052-1057. (in Chinese)
- [6] 李楠,路小波.散焦和运动模糊复合模型及参数估计[J].仪器仪表学报,2011,32(11):2523-2529.
LI N, LU X B. Hybrid model and parameter estimation combining defocus and motion blur [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2011,32(11):2523-2529. (in Chinese)
- [7] LI Q, YOSHIDA Y. Parameter estimation and restoration for motion blurred images [J]. *IEICE The Institutes of Electronics, Information and Communication Engineers*, 1997, E80A(8):1430-1437.
- [8] CANNON M. Blind deconvolution of spatially invariant image blurs with phase [J]. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1976, 24(1), 58-63.
- [9] BHASKAR R, HITE J, PITTS D E. An iterative frequency-domain technique to reduce image degradation caused by lens defocus and linear motion blur [C]. *Proc. of IEEE IGARSS*, 1994, 4: 2522-2524.
- [10] CHANG M M, TEKALP A M, ERDEM A T. Blur identification using the bispectrum [J]. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 1991, 39(10):2323-2325.
- [11] MAYNTX C, AACH T, KUNZ D. Blur identification using a spectral inertial tensor and spectral

- zeros [C]. 1999 *International Conference on Image Processing*, 1999, 2:885-889.
- [12] MOGHADDAM M E, JAMZAD M. Motion blur identification in noisy images using mathematical models and statistical measures [J]. *Pattern Recognition*, 2007, 40(7), 1946-1957.
- [13] MOGHADDAM M E, JAMZAD M. Linear motion blur identification in noisy images using fuzzy sets [J]. *EURASIP Journal on Adv. Signal Process*, 2007, doi:10.1155/2007/68985.
- [14] TOFT P. *The Radon transform-theory and implementation* [D]. Denmark: Technical University, 1996.
- [15] 马锐. 人工神经网络原理[M]. 北京:机械工业出版社, 2010.
MA R. *Artificial Neural Network Theory* [M]. Beijing: China Machine Press, 2010. (in Chinese)
- [16] HUI J, CHAO Q L. Motion blur identification from image gradients [C]. *Proc. of IEEE CVPR*, 2008, Vol. 1, 1-8.

作者简介:



赵 鹏(1972—),男,黑龙江阿城人,工学博士,副教授,硕士生导师,1994年于中国海洋大学获得学士学位,2001年、2006年于哈尔滨工业大学分别获得硕士、博士学位,2010年于北京理工大学光学工程流动站博士后出站。主要研究方向是光学检测、视觉测量、数据融合及图像分析。E-mail impanefu@aliyun.com.cn; bit_zhao@aliyun.com.cn



韦兴竹(1989—),女,吉林长春人,硕士研究生,2012年于东北林业大学获得学士学位,主要研究方向是光学检测、模式识别及图像处理。E-mail 502340582@qq.com



曹 军(1956—),男,黑龙江哈尔滨人,工学博士,教授,博士生导师,1982年、1987年于哈尔滨工程大学分别获得学士、硕士学位,2000年于东北林业大学获得工学博士学位。主要研究方向是机电一体化、林业信息工程及自动化检测等。E-mail zdhcj@126.com

(版权所有 未经许可 不得转载)