

文章编号: 1002-0268 (2011) 03-0133-05

基于小波融合的车牌模糊图像复原算法

李楠¹, 路小波²

(1. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096; 2. 东南大学 自动化学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 为了更有效的实现交通信息采集, 提出了一种基于小波融合的车牌图像超分辨率方法。首先分析了低分辨率图像的降质原因, 主要降质因素包括: 图像的形变、模糊和欠采样, 根据这些降质因素建立了降质模型, 分析降质模型, 得出本文方法的理论模型。然后针对交通图像的特点, 对形变、模糊和欠采样 3 个问题进行探讨, 得出主要参数的估计方法。并对小波融合的规则进行了研究, 得到适合本文的小波融合规则。最后建立试验图像, 对单帧降质图像实施复原运算, 然后利用多幅复原后的单帧图像进行小波融合。试验表明, 该方法是有有效的, 相对于不考虑模糊影响的小波融合复原算法, 无论从视觉效果还是 PSNR, 本文方法都能取得较好的处理效果。

关键词: 智能运输系统; 复原; 小波融合; 车牌模糊图像; 散焦

中图分类号: U491

文献标识码: A

A Restoration Algorithm of Blurred Vehicle License Plate Image Based on Wavelet Fusion

LIN an¹, LU Xiaobo²

(1 School of Transportation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

(2 School of Automation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract In order to achieve traffic information collection effectively, a super-resolution method of vehicle license plate image based on wavelet fusion was proposed. First, the degradation reasons of low-resolution image were analyzed, the main factors include distortion, blurring and down-sampling. Then, the degradation model was constructed and analyzed accordingly, and the theoretical model of the proposed method was established. The distortion, blurring and down-sampling were discussed according to the character of traffic image, and the estimation method of main parameters was got. The suitable rule of wavelet fusion was researched and obtained. At last, the experiment image was set, the simple frame degraded image restoration was implemented, and the wavelet fusion was carried out based on the restored simple frame images. The experimental result indicates that the presented method is valid, and it is better in visual and PSNR compares to the method based on wavelet fusion with incomplete model.

Key words ITS; restoration; wavelet fusion; blurred vehicle license plate image; defocus

0 引言

图像复原的目的是要对降质图像进行复原。将原来不清晰的图像变得清晰或重建某些关键区域, 从而改善图像质量、丰富信息量, 加强图像判读和

识别效果。由于使用小波进行图像多尺度分析和处理十分直观、有效, 因而在图像多分辨率分析领域得到了广泛的应用^[1-3]。C. Ford^[4]等和 N. Nguyen^[5]等通过小波内插分别实现了一维和二维信号的小波复原算法, Chippman^[6]提出的基于小波的图像融合方

收稿日期: 2010-01-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2007BAK35B05)

作者简介: 李楠 (1982-), 男, 河南许昌人, 博士研究生, 从事交通信息和图像处理研究。(linan54336845@yahoo.com.cn)

法, 应用于英国军事领域的形态学金字塔的小波融合算法^[7]等, 分别利用基于小波融合的方法达到提高图像质量的目的。模糊是造成图像降质的重要问题, 如不对其考虑, 则图像复原的实际意义不大。然而, 目前基于小波的复原算法在图像降质模型分析过程中往往不考虑模糊的影响, 文献 [8-9] 将插值和小波融合相结合, 利用序列图像进行融合, 由于没有考虑模糊降质, 在图像比较模糊时, 处理效果比较有限。而受环境和拍摄设备影响, 交通图像有时比较模糊, 如果不考虑其影响, 难以取得较好的处理效果。

本文提出一种基于小波的车牌图像复原算法, 针对目前基于小波的复原算法模型不完整, 分析低分辨率图像的一般降质过程, 建立完整的降质模型, 将模糊复原算法、相关配准算法等同小波融合相结合, 实现车牌图像复原, 提高图像质量。

1 图像降质模型

目前基于小波的图像复原算法一般都不考虑模糊对图像降质的作用, 而实际图像的降质因素很多, 如摄像机传感器分辨率限制、光学散焦、景物相对运动和噪声等。可以用图 1 描述图像的降质过程。



图 1 第 r 幅观测图像的降质过程

Fig 1 Degradation process of the r th observation image

设有 N 个观测图像 $\{g_k\}_{k=1}^N$, 对于第 r 个观测图像 g_r , 在线性空间不变的成像系统下, 假设 D_r 是下采样过程, W_r 是几何形变过程, H_r 是模糊退化过程, 噪声为 n_r , $f(x, y)$ 为高分辨率图像。则降质成像过程可以描述为:

$$g_r(x, y) = H_r W_r D_r [f(x, y)] + n_r(x, y) \quad (1)$$

由式 (1) 可以看出, 如果能够根据每个过程的结果反推出此过程, 则可以推出原始图像。然而图像经过模糊、偏移等降质因素导致图像损失了很多高频信息, 而多个观测图像经反推得到的是多个原图像的估计, 求解高分辨率图像可以看作是缩小图像解空间进而确定优化解的过程。由此, 式 (1) 可以转化为:

$$g_r(x, y) = H_r W_r D_r [f_r(x, y)] + n_r(x, y) \quad (2)$$

其中, $f_r(x, y)$ 是由第 r 观测图像计算出的原图像估计, 将所有 N 幅观测图像代入式 (2), 可得式

(3):

$$\begin{cases} g_1(x, y) = H_1 W_1 D_1 f_1(x, y) + n_1(x, y), \\ g_2(x, y) = H_2 W_2 D_2 f_2(x, y) + n_2(x, y), \\ \vdots \\ g_N(x, y) = H_N W_N D_N f_N(x, y) + n_N(x, y). \end{cases} \quad (3)$$

通过计算, 可得一个 $f(x, y)$ 估计值的序列 $\{f_k(x, y)\}_{k=1}^N$, 此时, 可以按照一定的方法对 $\{f_k(x, y)\}_{k=1}^N$ 进行优化筛选从而得到最终的估计值 $f'(x, y)$ 。

2 图像复原算法

图 2 中, A, B, C, D 为 4 幅观测图像, 对每幅图像其进行单帧复原运算 (其中 D_n' 表示 D_n 的逆过程, W_n' 表示 W_n 的逆过程, H_n' 表示 H_n 的逆过程) 后变为 A', B', C', D' , 分别对其进行小波变换, 则每幅图分别被分解为一个下采样近似和 3 个方向 (水平、垂直和对角) 上的细节。根据一定的融合规则, 对不同图像分解所得的下采样近似进行融合, 对不同图像分解所得的各方向细节分别进行融合, 各下采样近似和各方向细节最后融合为一个下采样近似和 3 个方向 (水平、垂直和对角) 上的细节, 然后对其进行小波反变换得到最终的融合图像 E 。

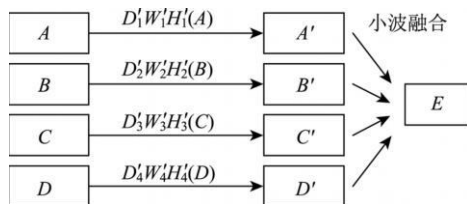


图 2 图像复原重建过程

Fig 2 Process of image restoration

高分辨率图像在经过降采样、模糊和几何形变后, 降质为低分辨率图像。根据式 (2) 描述的数学模型, 如果能够根据每个过程的结果反推出此过程, 则可以根据一个观测图像推出原始图像的一个估计。

2.1 下采样

低分辨率可以认为是图像的下采样。为简化运算, 本文采用双三次插值来补充图像的像素数目, 相对于最临近插值和双线性插值, 它能构造出更平滑的图像边缘。

2.2 形变

序列图像往往会发生相对形变。对于交通图像, 特别是车辆图像, 在车速没有过高的情况下, 一般认为前一帧与后一帧图像只在相对位移上发生变化, 可以通过配准的方法对序列图像进行矫正。文献

[10] 的基于特征的配准方法, 虽然运算量小, 但精度较差, 本文采用基于相关的图像配准方法, 由于只需计算位移, 运算速度较快, 并且相对于基于特征的配准方法, 具有更高的配准精度。

本文采用标准化协方差函数作为衡量相关的准则:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m [f(x_i, y_j) - f_m][g(x_i^*, y_j^*) - g_m]}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m [f(x_i, y_j) - f_m]^2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m [g(x_i^*, y_j^*) - g_m]^2}} \quad (4)$$

式中, $f(x_i, y_i)$ 为基准图像中点 (x_i, y_i) 灰度; $g(x_i^*, y_i^*)$ 为待配准图像中点 (x_i^*, y_i^*) 灰度; $f_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f(x_i, y_j)$ 为基准图像中车牌区域的平均灰度; $g_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m g(x_i^*, y_j^*)$ 为待配准图像中车牌区域的平均灰度值。

配准的思路是将待配准图像在事先设定的位移参数的取值范围内进行矫正, 然后与基准图像按照式 (4) 进行相关测试, 搜索不同的位移参数并不断进行相关测试, 相关性最大的位移即为搜索的结果。

2.3 模糊

模糊是造成图像降质的重要问题, 模糊的种类有很多, 本文主要针对由散焦引起的模糊, 而散焦复原的关键步骤是散焦尺度 (散焦半径) 参数估计。

散焦过程可以表示为原始图像与散焦降晰函数作用的结果:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + n(x, y), \quad (5)$$

式中, $g(x, y)$ 代表降质图像; $f(x, y)$ 代表原始图像; $h(x, y)$ 代表降晰函数; $n(x, y)$ 为噪声。

散焦降晰函数可以表示为:

$$h(m, n) = \begin{cases} \frac{1}{\pi R^2} & \text{若 } m^2 + n^2 \leq R^2, \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中, $h(m, n)$ 只与降晰尺度参数 R 有关, 因此 $h(m, n)$ 可以写成关于 R 的函数 $h(R)$ 。

本文采用基于特征曲线的方法^[11]对降晰尺度参数进行估计, 该方法处理速度较快, 能够应用于一般的交通实时, 在观测图像的信噪比较低、运动模糊长度较大时也可得到较好的估计效果, 相对于基于频谱的方法准确性更高。误差-参数分析法利用误差度量 E 估计参数 d , 估计步骤如下:

(1) 选定一个长度参数搜索范围, 用长度初始

值 d_0 、步长 Δd 和搜索步数 k 来表示。

(2) 由参数 d 产生点扩展函数 h , 实施复原算法, 依据 h 和观测图像 g 决定复原图像的估计值 f' 。计算复原误差 $e = \|g - f'h\|^2$ 或频域误差 $E = \|G - F'H\|^2$ 。

(3) 作出 $E-d$ 曲线, 曲线在 d 的真实值附近的变化率将显著变小, 由此估计点扩展函数的参数 d 值, 并获得相应点的扩展函数, 然后根据式 (5) 和 (6) 进行散焦复原。

2.4 小波融合算法

通过上述重建算法得到 $\{f_k(x, y)\}_{k=1}^N$ 序列后, 需要对 $\{f_k(x, y)\}_{k=1}^N$ 序列进行优化筛选, 筛选的目的是为了得到更佳的细节效果。图像高频分量对应图像的边缘细节, 模糊区域的高频分量的绝对值较小, 清晰区域的高频分量的绝对值较大, 因此, 我们取绝对值较大作为 3 个方向 (水平、垂直和对角) 细节的融合规则。低频部分决定轮廓, 文献 [12] 采用的加权平均法虽然能够保留大部分的轮廓信息, 但对于边缘信息的保存能力不强, 而灰度梯度信息可以很好的反映图像的边缘信息。一般来说, 边缘区域的梯度值较大, 反之梯度较小, 因此, 本文对低频部分采用结合梯度的融合规则:

$$K(A, p) = \sum_{q \in Q, Q \neq p} \left(\frac{C_J(A, q) - C_J(A, p)}{C_J(A, p)} \right)^2, \quad (7)$$

式中, Q 代表以点 p 为中心的邻域, 这里我们取邻域大小为 3×3 , $C_J(A, q)$ 代表此邻域中某点的灰度; $K(A, p)$ 实际计算的是图 A 中以 p 点为中心的邻域内各点灰度与 p 点 1 阶差分的归一化平方和。

$$KMAX = \max(K(A, p), K(B, p), K(C, p), K(D, p)),$$

$$C_J(E, p) = \begin{cases} C_J(A, p) & \text{若 } K(A, p) = KMAX, \\ C_J(B, p) & \text{若 } K(B, p) = KMAX, \\ C_J(C, p) & \text{若 } K(C, p) = KMAX, \\ C_J(D, p) & \text{若 } K(D, p) = KMAX. \end{cases} \quad (8)$$

以图 2 为例对融合规则做进一步说明, 如式 (8) 所示, 比较 A 、 B 、 C 、 D 各图小波变换后下采样近似中点 p 的 K 值, 选出 K 值最大的点的灰度作为融合后的下采样近似中点 p 的灰度, 以此计算出处理结果 E 中每个点的灰度值。

3 试验结果及分析

为验证本文方法有效性, 分别计算不考虑模糊的小波复原算法的结果和本文方法的结果, 并进行

了分析。

3.1 试验图像建立

首先构造试验图像。本文假设通过 4 幅观测图像进行图像复原, 选取尺寸为 173×65 的高分辨率车牌图像, 降采样后图像 A 的尺寸为 87×33 以 A 为基准图像, 按照表 1 进行位移, 得到 A 、 B 、 C 、 D 4 幅图像, 然后对上述处理后的所有图像增加半径为 2 的散焦模糊和均值为 0 方差为 0.001 的高斯噪声, 得到最终的低分辨率图像如图 3 所示。

表 1 观测图像实际位移

Tab. 1 Actual displacements of observation images				
图像	A	B	C	D
X 方向	-	0.5	0	0.5
Y 方向	-	0	0.5	0.5



图 3 试验图像
Fig. 3 Test images

3.2 试验结果及分析

首先引入一个公式, 以此来比较处理结果的优劣:

$$\begin{cases} MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x, y) - f'(x, y))^2, \\ PSNR = 10 \lg (1/MSE), \end{cases} \quad (9)$$

式中, $PSNR$ 为峰值信噪比, 一般来说 $PSNR$ 值越大, 表示处理结果越接近实际高分辨率图像; $f(x, y)$ 表示大小为 $M \times N$ 的高分辨率图像; $f'(x, y)$ 为处理后的图像。

首先对图像进行配准。采用相关配准方法, 搜索步长设定为 0.1 个像素, 位移计算结果见表 2。

表 2 低分辨率图像位移计算结果

Tab. 2 Result of displacement of low-resolution image				
	A	B	C	D
X 方向	-	0.5	0	0.5
Y 方向	-	0.1	0.5	0.5
相关系数	-	0.997 7	0.997 8	0.997 5

按照计算的位移值对 4 幅观测图像进行矫正, 然后进行去模糊处理。应用误差-参数法估计模糊半径, 由此估计模糊半径约为 2.1 个像素, 使用维纳滤波进行模糊复原, 然后通过双三次插值, 将 4 幅图像的尺寸变为 173×65 之后对每幅图像进行小

波变换, 对分解后的高频和低频分别进行融合, 最后通过小波反变换得到最终结果, 如图 4 所示。为进行对比, 将低分辨率图像进行插值得到图像图 4 (a), 图 4 (b) 为不考虑模糊的处理结果, 图 4 (c) 为按照实际模糊参数进行复原的结果, 图 4 (d) 为按照模糊参数估计值进行处理的结果。

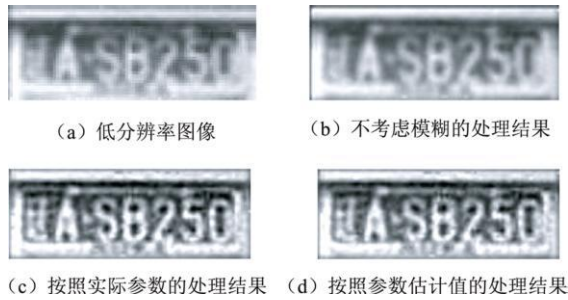


图 4 处理结果

Fig. 4 Processing result

试验结果表明, 不考虑模糊的小波复原算法虽然能一定程度上恢复图像的轮廓和细节信息, 并消除低分辨率图像由于上采样带来的锯齿模糊和噪声信息, 但由于不考虑模糊的影响, 处理效果有限, 本文方法由于考虑了模糊的影响, 使处理结果较为完整的反映了高分辨率图像的信息, 整体轮廓和细节都较前者清晰。处理过程中, 参数估计虽然不能和实际参数完全一致, 但使用估计参数的处理效果和实际参数的处理效果差别不大, 表明本文方法对于参数的鲁棒性较好。表 3 为按照 $PSNR$ 进行计算的结果。为了进一步检验本文方法的有效性, 对另外 3 幅低分辨率降质图像进行处理, 结果如图 5 所示。

表 3 $PSNR$ 结果

Tab. 3 PSNR result			
	实际模糊尺度 参数处理结果	估计模糊尺度 参数处理结果	不考虑模糊的 处理结果
$PSNR$	40.084 1	39.696 2	35.735 7

4 结论

目前基于小波的图像复原算法在降质模型中往往没有考虑模糊的影响, 本文针对这种问题, 建立了基于小波融合完整复原算法。针对降质模型中的图像形变、模糊和欠采样问题, 采用相应的方法求出主要参数, 建立模型复原出单帧高分辨率图像, 最后进行小波融合。试验结果表明:

- (1) 本文方法处理结果的整体轮廓和细节特征都较为清晰, 证明了本文方法的有效性。
- (2) 从视觉上或从 $PSNR$ 指标上, 相对于不考

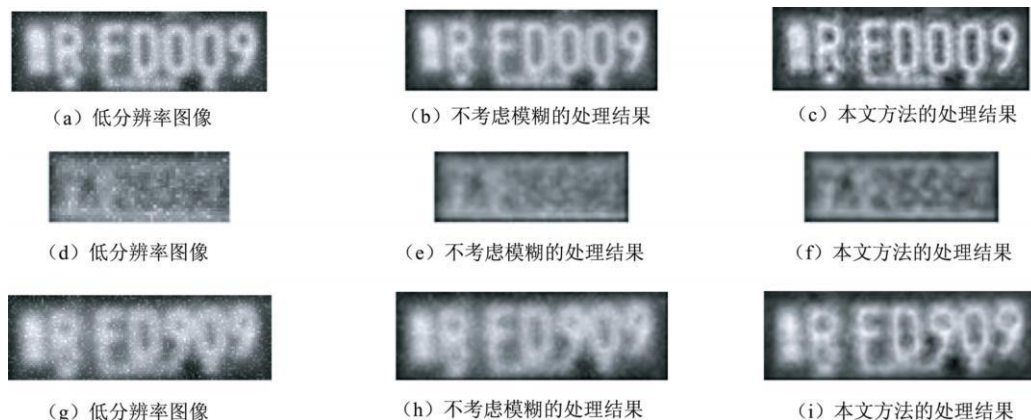


图 5 其他处理结果

Fig 5 Other processing results

虑模糊的小波复原算法, 本文方法都能取得较好的处理效果。

(3) 本文方法对于模糊尺度的求解具有一定的鲁棒性, 对整体处理结果影响较小。

参考文献:

References

- [1] WANG Yunxin, LIU Tiejun, JIANG Junfeng. Multi-resolution Wavelet Algorithm for Hand Vein Pattern Recognition [J]. Chinese Optics Letters, 2008, 9 (6): 657-660.
- [2] SONG Yu, LI Mantian, LI Qingling, et al. A New Wavelet Based Multifocus Image Fusion Scheme and Its Application on Optical Microscopy [C] // International Conference on Robotics and Biomimetics. Kunming: IEEE, 2006: 401-405.
- [3] ZAN J, SWAMY M N S, AHMAD M O. Wavelet Filters in Multiresolution Motion Estimation [C] // Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Toronto: IEEE, 2001: 1321-1326.
- [4] FORD C, ETTER D M. Wavelet Basis Reconstruction of Non Uniformly Sampled Data [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6 (12): 1646-1658.
- [5] NGUYEN N. Numerical Techniques for Image Super-resolution [D]. Stanford, CA: Stanford University, 2000.
- [6] LI Rui, ZHANG Yujin. Level Selection for Multiscale Fusion of Out of focus Image [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2005, 12 (9): 617-620.
- [7] PARK JH, KIM K O, YANG Y K. Image Fusion Using Multiresolution Analysis [C] // International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Sydney: IEEE, 2001: 864-886.
- [8] 冯温雅, 张彤, 韩传久. 结合小波融合和插值的多幅图像超分辨率复原 [J]. 计算机仿真, 2008, 25 (10): 187-189.
FENG Wenyu, ZHANG Tong, HAN Chuanjiu. Super-resolution Restoration of Images Based on Wavelet Fusion and Interpolation [J]. Computer Simulation, 2008, 25 (10): 187-189.
- [9] 袁小华, 刘纯平, 夏德深. 基于小波内插的遥感图像超分辨率增强 [J]. 计算机工程与应用, 2005, 41 (11): 53-69.
YUAN Xiaohua, LIU Chunping, XIA Deshen. Remote Sensing Image Super-resolution Enhancement Based on Wavelet Interpolation [J]. Computer Engineering and Applications, 2005, 41 (11): 53-69.
- [10] 王建文, 李青. 基于点和边缘相结合特征提取的图像配准算法 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 30 (4): 928-933.
WANG Jianwen, LI Qing. Image Registration Algorithm Based on Extraction of Feature Point and Edge [J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30 (4): 928-933.
- [11] ZOU Mouyan, UNBEHANEN R. An Iterative Method of Blur Identification and Image Restoration [C] // Proceedings of the International Conference on Image Processing. Lausanne: IEEE, 1996: 729-732.
- [12] 刘洪臣, 冯勇, 李林静. 基于小波融合的图像残差金字塔超分辨率研究 [J]. 光电子·激光, 2007, 18 (7): 847-849.
LIU Hongchen, FENG Yong, LI Linjing. The Research of Image Residual Pyramid Super-resolution Reconstruction Based on Wavelet Fusion [J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2007, 18 (7): 847-849.