

文章编号:1004-9037(2014)05-0809-06

一种基于小波变换和自适应滤波的图像拼接算法

张海滨¹ 孔凡让¹ 袁仲洲¹ 倪林²

(1. 中国科学技术大学精密机械与精密仪器系,合肥,230027;2. 中国科技大学电子工程与信息科学系,合肥,230027)

摘要:图像拼接技术其关键在于解决拼接图像配准问题,以及如何针对多幅相关图像,进行无缝接合形成连贯的没有拼接痕迹的图像。本文针对上述问题,提出了一种算法。首先对小波域的图像信息采用灰度相关法进行匹配搜索,使用RANSAC算法对匹配点进行提纯;然后在小波域生成自适应滤波器,并在图像的接缝处作滤波处理,得到拼接后的小波系数矩阵;对小波系数矩阵进行小波逆变换还原图像。实验结果表明:在小波域对图像进行拼接,而且在接缝处根据两幅图像的自身信息进行自适应滤波(即时改变滤波器形态),故它很好地平滑了拼接中出现的接缝。

关键词:图像拼接;小波变换;自适应滤波;灰度相关

中图分类号:TN911.73

文献标志码:A

Algorithm of Image Splice Based on Adaptive Filtering in Wavelet Domain

Zhang Haibin¹, Kong Fanrang¹, Yuan Zhongzhou¹, Ni Lin²

(1. Department of Precision Machinery and Precision Instrumentation, University of Science and Technology of China, Hefei, 230027, China;

2. Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei, 230027, China)

Abstract: Image mosaic in image processing is widely used. However, its key issue is image registration, and clear mosaic from several relevant images with no splicing trace. Therefore, an algorithm is put forward: firstly, gray correlation method is utilized for matching search with image information in wavelet domain, and random sample consensus (RANSAC) algorithm is used to work on match point; Secondly, adaptive filtering is established in the wavelet domain for image flat-fell, and the wavelet coefficient matrix is concluded; Finally, wavelet inverse transform on the wavelet coefficient matrix. Experimental results show that the proposed algorithm can finely smooth the seam-line on the mosaicking boundary thanks to image mosaic in wavelet domain and adaptive filtering (instant changing filter's form) according to the adjacent two images' own information.

Key words: image mosaic; wavelet transform; adaptive filtering; gray correlation

引 言

图像拼接技术是基于待拼接图像和参考图像在重叠区域对应像素的相似性,寻找两幅图像之间的某种特定关系,并确定拼接需要的具体转换模型,通过转换模型得到完整图像的过程^[1]。该技术

是计算机视觉领域的一个重要分支,目前图像拼接技术广泛应用于数字视频、虚拟现实技术、医学图像分析、遥感图像处理等领域^[2]。

目前国内外对于图像拼接中的关键技术图像匹配和融合已经进行了大量研究,但是大多数方法对于室外复杂场景图像的拼接效果不理想。文献[3]提出的自动图像配准算法,用于图像的高精度

配准,该算法在序贯相似度检测算法(Sequential similarity detection algorithm, SSDA)的基础上利用模拟退火算法(Simulated annealing, SA)在初始解的邻域内寻求最优解,使搜索速度提高了2~6倍,但该算法对噪声较为敏感;文献[4]提出了一种基于图像特征的配准和拼接算法,该算法采用角点检测算子进行特征点提取,使提取的精度达到了亚像素级,并运用稳健的随机抽样一致性(Random sample consensus, RANSAC)算法将伪匹配点集合划分为内点和外点,但对图像存在旋转和尺度缩放,特征点的匹配精度有待提高;文献[5]首次提出了一种非线性边缘检测的 SUSAN(Small univalue segment assimilating nucleus)算法,该算法用一个预定义的掩板对图像中的每个象素点进行局部的运算操作,给出相应的边缘响应,这个响应就作为输出得到图像的边缘;文献[6]将该方法用于二维投影的时频图像拼接;文献[7]提出了一种通过数学计算在图像上发现角度特征的一种算法,该方法被称为 Harris 角点检测算法。Harris 角点检测是一种直接基于灰度图像的角点提取算法,稳定性高,尤其对 L 形角点检测精度高,但由于采用高斯滤波,运算速度相对慢,角点信息有丢失和位置偏移的现象存在,而且角点提取有聚簇现象。

图像拼接痕迹消除的关键技术是图像融合,对接缝处做单一的滤波处理,会导致本来很多图片本身的细节信息被破坏。众多算法中基于多分辨率分析融合性能最优越,其融合是在图像的不同尺度、不同空间分辨率和不同分解层分别进行,使融合效果获得明显改善,但是目前的几种多分辨率分析方法除小波变换外计算都相对复杂,很难满足实际应用中的实时性需求^[8]。

1 图像的匹配和痕迹消除

在图像的匹配算法中,基于灰度的图像拼接算法直接利用整幅图像的灰度信息建立两幅图像之间的相似性度量,然后采用某种搜索方法寻找使相似性度量值最大或最小的变换模型。而基于特征的图像拼接算法是从图像中提取出来的某些特征作为匹配基元,通常为点、线、区域,或某些特殊的结构等,而不是直接采用图像灰度本身,然后以这些特征为模型进行特征配准。其中基于灰度的图像拼接算法的优点是不需要对图像做特征提取而是直接利用全部可用的图像灰度信息,因此能提高算法的精度和鲁棒性^[9]。所以本文通过对图像不

同位置的灰度相关性进行计算,判断相关性最大的位置,来对图像做特征匹配。

图像拼接之后的痕迹消除又是影响图像拼接效果的一个关键因素。本文利用小波多分辨率分析技术结合缝合线搜索,提出一种用于图像拼接痕迹消除的新方法:通过对结合线不同位置的像素分析,利用本文给出的一种新的得到不同像素位置所对应的自适应滤波器(滤波器参数和长度均由缝合线在不同位置的像素值所确定,已有的一些类似的方法中并未提出融合矩阵的参数具体计算方法^[10]),再对原图像的小波系数矩阵^[11-12]的低频和细节分量分别进行小波域的滤波处理,将滤波后的矩阵进行小波反变换得到所需要的拼接图像,整个算法流程如图 1 所示。

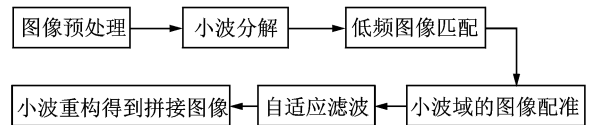


图 1 算法流程

Fig. 1 Flowchart of algorithm

2 算法原理

2.1 图像预处理

图像在采集过程中经常会受到如光照明暗程度以及设备性能的优劣等外界因素的影响,导致同一地点拍摄的图片也有灰度上的偏差。由于本文利用的基于图像灰度的拼接算法主要是利用图像灰度信息进行配准,所以需要直方图均衡化的方法来进行图像灰度调整。直方图均衡化就是通过原始图像的灰度非线性变换,使其直方图趋近于均匀分布,以增加图像灰度值的动态范围,从而达到增强图像整体对比度,使图像变得更清晰。

设 n 是待处理图中像素的总和, n_i 是灰度级为 r_i 的像素个数, $p(r_i)$ 为灰度级 r_i 的概率密度函数, s_k 为将输入图像中 r_i 的灰度级映射到输出图像中的灰度级数, L 为图像中可能的灰度级总数,可以依照下式进行直方图均衡化

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, L - 1 \quad (1)$$

2.2 基于灰度的图像匹配

用灰度相关法可以确定原图像与模板块最为相似的匹配块^[13],在本文中,通过对两幅图像的灰度值进行匹配计算。首先根据 Harris 算子提取在

第 1 幅图像上特征点的位置,以确定模板块的位置;然后在第 2 幅图像上进行由粗到精的模版匹配。在此利用互相关系数法来确定与模板块最为相似的匹配块

$$C = \frac{\sum_i^m \sum_j^n [f(x_i, y_j) - \bar{f}][g(x_i^*, y_j^*) - \bar{g}]}{\sqrt{\sum_i^m \sum_j^n [f(x_i, y_j) - \bar{f}]^2 + \sum_i^m \sum_j^n [g(x_i^*, y_j^*) - \bar{g}]^2}} \quad (2)$$

式中: $f(x_i, y_j)$ 为确定模版图像上点的灰度值, $g(x_i^*, y_j^*)$ 为待匹配模版图像上点的灰度值。且其中

$$\begin{cases} \bar{f} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i,j} f(x_i, y_j) \\ \bar{g} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i,j} g(x_i^*, y_j^*) \end{cases} \quad (3)$$

互相关系数 C 即为评判匹配特性的标准,完成相关运算之后,得到最大相关系数的部位作为目标图像匹配最佳位置。

2.3 自适应滤波处理

2.3.1 滤波矩阵

令待拼接的两幅图像经匹配处理后的小波系数矩阵低频分量分别为 AL 和 BL 。

选取两个初始的权值矩阵: α_1 和 α_2 。其中 $\alpha_1 = [1], \alpha_2 = [0]$, 两个矩阵的大小保持和 AL, BL 的维度一致, 比如分别为 $a \times b, a \times c$ (预处理和匹配后保持两矩阵的宽度一致), 然后将两个矩阵 $\alpha_1 = [1], \alpha_2 = [0]$ 合成一个整体 α , 得到一个维度为 $a \times (b+c)$ 的 $[1, 0]$ 矩阵, 如式(4)。下面将通过两幅图像低频分量的像素信息, 对矩阵 α 的中间 1 和 0 分界线附近的元素进行求解替换, 从而得到由两幅图像 A 和 B 的匹配边界来决定的滤波矩阵。

$$\alpha = \begin{matrix} & \begin{matrix} b \text{ 列}, b+1 \text{ 列} \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 & \cdots & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & \cdots & 1 & 0 & \cdots & 0 \end{matrix} \end{matrix} \quad (4)$$

(1) α 矩阵的第 b 列和第 $b+1$ 列元素

$$\alpha_{j,b} = \frac{b_{j1}}{a_{jb} + b_{j1}}, \alpha_{j,b+1} = \frac{a_{jb}}{a_{jb} + b_{j1}}, \text{ 此处的两列元素最终分别是作为待拼接矩阵边缘元素的权值, 由两幅图像边界灰度值所共同决定} \quad (5)$$

式中: $\alpha_{j,b}, \alpha_{j,b+1}$ 分别表示 α 矩阵的第 b 列和第 $b+$

1 列元素值, a_{jb}, b_{j1} 分别表示 AL 和 BL 的第 j 行第 b 列和第 j 行第 1 列元素值。

(2) α 矩阵每一行对应的有效滤波长度

α 矩阵边界做上述处理之后, 还需要确定矩阵分界处的滤波器有效长度, 以及每个滤波器的其他元素值。对于两幅图像, 当它们在某一拼接位置处, 二者的灰度值差别较大的时候, 需要进行较强的滤波平滑, 才能消除拼接带来的痕迹。所以这里选取的滤波器有效长度值 m 是根据两幅图像每个拼接点对应灰度值的差来确定, 不妨设定滤波器的最大长度为 $32+2$, 最小长度为 $2+2$, 对应的需要左右各沿行方向改变 α 矩阵元素个数为 16 和 1; 拼接点对应的灰度值差最大为 255, 最小为 0, 故选取 m 值的计算公式 (ceil 表示向上取整)

$$m_j = \text{ceil}((|a_{jb} - b_{j1}| + 1) / 16) \quad (6)$$

式中: m_j 为滤波器矩阵 α 第 j 行的滤波器有效长度。

(3) α 矩阵每一行的有效滤波器

求出 m 值后, 还要求解每行的滤波器对应的其他 $2m$ 个值。对于矩阵的第 j 行, 知道 $\alpha_{j,b}$ 和 $\alpha_{j,b+1}$ 的值, 而且向两边经过 m 次递增或衰减之后变到 1 和 0, 这里通过二次多项式拟合 (如图 2 所示) 得到滤波器其他部分的元素值。

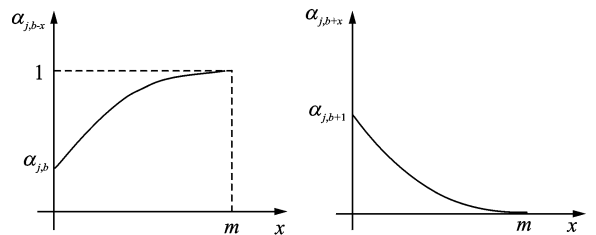


图 2 二次多项式拟合曲线

Fig. 2 Quadratic polynomial fitting curve

$$\begin{cases} \alpha'_{j,b-x} = -\frac{1 - \alpha_{j,b}}{m^2} (x - m)^2 + 1 \\ \alpha'_{j,b+x} = \frac{\alpha_{j,b+1}}{m^2} (x - m)^2 \end{cases} \quad (7)$$

式中: x 的取值范围为 $[0, m]$ 。

将得到的 $\alpha'_{j,b-x}, \alpha'_{j,b+x}$ 进行归一化处理, 可以得到

$$\begin{cases} \alpha_{j,b-x} = \frac{\alpha'_{j,b-x}}{\alpha_{j,b-x} + \alpha'_{j,b+x}} \\ \alpha_{j,b+x} = \frac{\alpha'_{j,b+x}}{\alpha_{j,b-x} + \alpha'_{j,b+x}} \end{cases} \quad (8)$$

综合式(4, 5, 6, 8), 就可以得到用于小波域平滑的滤波矩阵

$$\alpha = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 & \alpha_{1,b-m_1} & \cdots & \alpha_{1,b} & \alpha_{1,b+1} & \cdots & \alpha_{1,b+m_1} & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & \cdots & 1 & \alpha_{j,b-m_j} & \cdots & \alpha_{j,b} & \alpha_{j,b+1} & \cdots & \alpha_{j,b+m_j} & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & \cdots & 1 & \alpha_{a,b-m_a} & \cdots & \alpha_{a,b} & \alpha_{a,b+1} & \cdots & \alpha_{a,b+m_a} & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

可以看出,将 α_2 左右翻转得到 α_2' ,则有 $\alpha_1 = E - \alpha_2'$,其中 E 为全 1 矩阵。

2.3.2 小波域内的滤波处理

得到 α 矩阵之后,就可以利用该矩阵对图像小波域的信息进行处理。

首先将 α_1 与 AL 对应元素相乘得到 $AL1$, α_2 与 BL 对应元素相乘,将得到的矩阵左右翻转得 $BL1$,再将得到的两个矩阵相加,得到待组合的小波系数矩阵 $A1$ (式(10)中 rot 表示矩阵左右翻转)。

$$A1 = \alpha_1 \times AL + \text{rot}(\alpha_2 \times BL) \quad (10)$$

同理可以得到水平、垂直和对角分量的待组合小波系数 $A2, A3, A4$ 。

将 α 的 0 元素置 1, 1 元素置 0, 得到矩阵 $\beta = [\beta_1, \beta_2]$, 利用 β 矩阵对 A 和 B 的小波系数作式(10)同样的处理, 得到待组合的小波系数矩阵 ($B1, B2, B3, B4$)。

上述运算过程实际可以实现在拼缝附近

$$\begin{aligned} W_A &= \{(d_{A1}^1, d_{A2}^1, d_{A3}^1), (d_{A1}^2, d_{A2}^2, d_{A3}^2), \dots, \\ &\quad (d_{A1}^N, d_{A2}^N, d_{A3}^N), C_A^N\} \\ W_B &= \{(d_{B1}^1, d_{B2}^1, d_{B3}^1), (d_{B1}^2, d_{B2}^2, d_{B3}^2), \dots, \\ &\quad (d_{B1}^N, d_{B2}^N, d_{B3}^N), C_B^N\} \end{aligned}$$

$$d_i^j = \alpha d_{Ai}^j + (1 - \alpha) d_{Bi}^j \Rightarrow W = \{d_i^j\} \quad (11)$$

将两组小波系数矩阵直接拼接, 得到新的小波系数矩阵(式(12)), 进行小波反变换即得到相应的拼接图像。

$$W = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A1, B1 & A2, B2 \\ A3, B3 & A4, B4 \end{bmatrix} \quad (12)$$

3 实验模拟结果及分析

本文使用 Matlab 7.8.0 为开发环境进行上述算法的实验。实验中选取 Daubechies 小波中的 'db5' 作为分解小波, 对图像进行小波分解和重构。图 3 为待拼接的图像, 对两幅图像直接作简单的匹配处理后, 经过空域的单一滤波处理, 得到的拼接图像如图 4 所示; 在对两幅图像进行特征匹配后, 得到待匹配图像的小波系数矩阵, 如图 5 所示; 随

后利用本文所述方法, 在小波域进行自适应滤波, 再进行小波反变换得到的拼接图像如图 6 所示。

上述的实验结果中, 可以看出: 本文所述的小波域自适应滤波方法和现阶段常用在空域进行单一滤波器平滑滤波相比, 能够更大程度上地对拼缝进行平滑处理, 而且处理效果从视觉上更为理想。下面再计算两种方法的效果, 这里提出拼缝平

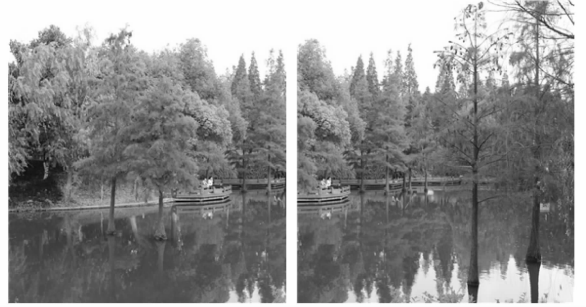


图 3 待拼接图像

Fig. 3 Images to be spliced



图 4 空域单一滤波拼接图像

Fig. 4 Spliced image after simple filtering in spatial-domain

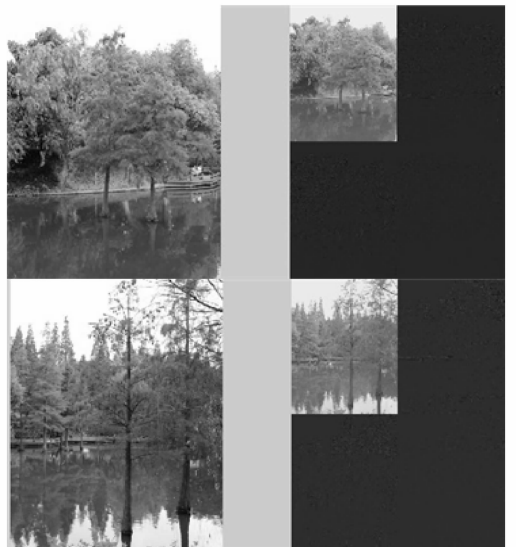


图 5 匹配后的小波域信息

Fig. 5 Information in wavelet-domain after matching



图6 小波域自适应滤波之后拼接图像

Fig. 6 Spliced image after adaptive filtering in wavelet-domain

均梯度和拼缝梯度标准差两个参量

$$AG = \sum_{i=1}^a |r_{1i} - r_{2i}| / a$$

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^a (|r_{1i} - r_{2i}| - AG)^2 / a} \quad (13)$$

式中:AG表示平均梯度,SD表示标准差, a 为图像平行于拼缝方向的宽度, r_{1i} , r_{2i} 分别表示拼缝左右的像素灰度值,经过计算得到的结果如表1所示。

表1 3种方法在拼缝处的平均梯度与标准差

Table 1 Average gradient and the standard deviation of juncture with three different methods

参数	直接拼接	空域平滑	小波域自适应滤波
平均梯度 AG	5.73	3.16	2.14
标准差 SD	408.40	168.57	117.47

从表1可以看出,在空域平滑处理之后,得到的图像在拼缝处的平均梯度和标准差要小于对两幅图像的直接拼接结果,说明这两个参数可以衡量在图像拼接时出现的拼缝显著程度,两个参数值越大,拼缝越明显;再比较本方法得到的结果,可以看出比空域平滑有着更好的结果,也就是拼缝能够得到更好的平滑,一定程度上说明了本文方法的可行性和优越性。

4 结束语

从本文的算法处理过程和最终的实验结果中可以看到,本文通过小波变换,在小波域内进行图像拼接,利用图像的灰度信息来确定使用的自适应滤波器的参数,能够得到较好的图像拼接效果。直接拼接的图像难免会出现较为明显的拼缝,而经过自适应滤波处理之后的拼接图像拼缝明显消失。从另一方面来看,无论是小波变换本身,还是自适

应滤波器的使用角度,都能对最终拼接结果的接缝处起到很好的平滑滤波效果。本文方法的处理结果能够在对图像的主观感觉上起到很好的优化作用,对于图像具体的细节信息恢复,还需要根据不同的图像作出进一步的处理。

参考文献:

- [1] 李波.一种基于小波和区域的图像拼接方法[J].电子科技,2005(4):49-52.
Li Bo. A wavelet and area based method for image Mosaic[J]. Electronic Technology,2005(4):49-52.
- [2] 张旭勃,王军锋,杨永永.基于小波变换的图像拼接算法[J].计算机仿真,2011,28(10):219-222.
Zhang Xubo, Wang Junfeng, Yang Yongyong. Image mosaic algorithm based on wavelet transform [J]. Computer Simulation,2011,28(10):219-222.
- [3] 陈庆芳,吴小俊.基于分块互信息和量子粒子群算法的图像配准[J].数据采集与处理,2011,26(4):473-477.
Chen Qingfang, Wu Xiaojun. Image registration based on block mutual information and quantum-behaved particle swarm optimization[J]. Journal of Data Acquisition and Processing,2011,26(4):473-477.
- [4] Stojmenovic I, Nayak A. Handbook of applied algorithms; Solving scientific, engineering, and practical problems[M]. Canada: University of Ottawa, 2007: 317-346.
- [5] Smith S M, Brady J M. SUSAN——A new approach to low level image processing[J]. International Journal of Computer Vision,1997,23(1):45-78.
- [6] 邹晓春,何明一,赵歆波.基于二维投影变换的视频全景图拼接算法[J].数据采集与处理,2012,27(5):528-534.
Zou Xiaochun, He Mingyi, Zhao Yinbo. Video panorama mosaic algorithm based on 2D projection transform[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2012,27(5):528-534.
- [7] Harris C, Stephen M. A combined corner and edge detector[C]//Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference. [S. l.]: Plessey Research Roke Manor, 1988:147-151.
- [8] 宋宝森,付永庆,宋海亮.一种消除图像拼接痕迹的新方法[J].计算机科学,2011,38(2):260-263.
Song Baosen, Fu Yongqing, Song Hailiang. New efficient image fusion algorithm for image mosaic [J]. Computer Science,2011,38(2):260-263.
- [9] 何颖,王玲.基于特征块与小波变换的图像拼接算法[J].计算机工程与设计,2010,31(9):1958-1960.
He Ying, Wang Ling. Image stitching algorithm based

- on feature block and wavelet transform[J]. Computer Engineering and Design, 2010, 31(9):1958-1960.
- [10] 王宇,王涌天,刘越. 基于 SIFT 和小波变换的图像拼接算法[J]. 北京理工大学学报, 2009, 29(5): 423-426.
Wang Yu, Wang Yongtian, Liu Yue. Image stitch algorithm based on SIFT and wavelet transform[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2009, 29(5): 423-426.
- [11] Zhongwei He, Wei Lu, Wei Sun. Digital image splicing detection based on Markov features in DCT and DWT domain[J]. Pattern Recognition, 2012, 45(12): 4292-4299.
- [12] Deng Liangjian, Huang Tingzhu, Zhao Xile. Wavelet-based two-level methods for image restoration[J]. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2012, 17(12): 5079-5087.
- [13] 黄卉. 基于小波变换的图像融合方法研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.
Huang Hui. Studies on image fusion based on wavelet transforms[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2005.

作者简介:张海滨(1989-),男,硕士研究生,研究方向:盲信号处理、故障诊断与监测、图像处理等, E-mail: zhbzhbyr@gmail.com; 孔凡让(1951-),男,教授,博士生导师,研究方向:智能信号处理、故障诊断、机器人识别技术等; 袁仲洲(1988-),男,硕士研究生,研究方向:智能信号处理、机器人视觉等; 倪林(1968-),男,博士,副教授,研究方向:图像和视频的编码、处理和理解,模式识别的理论和系统(算法)实现等。

