

文章编号:1007-2780(2016)09-0882-07

基于图像融合的木板表面缺陷检测研究

李漫丽, 赵 鹏*

(东北林业大学 信息与计算机工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:针对木板表面节子缺陷被染料染色后难以识别的问题,本文利用图像融合技术提出一种新的木板表面缺陷检测方法。该方法采集被染色木板的近红外图像和可见光图像,使用加权平均法、主成分分析(PCA)算法、小波变换、Laplacian 金字塔变换等不同的融合算法对采集的近红外图像和可见光图像进行融合,然后对不同算法融合后的图像仔细观察分析和比对并计算其信息熵。实验结果证实,融合后的图像能够明显地辨别出染色后的木板缺陷,并且基于 Laplacian 金字塔算法的融合效果最好。

关键词: 图像融合; 缺陷检测; 近红外图像; 可见光图像

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20163109.0882

Wood surface defect detection based on image fusion

LI Man-li, ZHAO Peng*

(*Information and Computer Engineering Institute, Northeast Forestry University
Harbin 150040, China*)

Abstract: This paper proposes a novel wood surface defect detection scheme based on image fusion to solve the detection of wood surface knots stained by colorants. This scheme picks up the infrared and visible images of the stained wood veneer. The weighted average scheme, PCA scheme, wavelet transform scheme and Laplacian pyramid scheme are used to fuse the original images. The fused images with different fusion schemes are compared and investigated carefully. Experiments indicate that fused images can identify the stained knots clearly, and the best outcomes are achieved by the Laplacian pyramid scheme.

Key words: image fusion; defect detection; infrared image; visible image

1 引言

近些年来,国内对木质材料的需求日益增长,对木质材料的检测定级是非常重要的一个环节。

木板是木材应用需求量最大的品种,木板表面缺陷是评定木板质量的重要指标之一。木板表面的虫洞、节子、裂缝等缺陷严重影响木板的质量,缩短木板的使用年限,所以在木板的加工使用过程中,对木板表面的缺陷识别尤为重要^[1]。待加工

收稿日期:2016-04-13; 修订日期:2016-06-03.

基金项目:国家自然科学基金面上项目(No.31670717);教育部中央高校基本科研业务费 E 类立项(No.2572014EB05)

Supported by Notional Natural Science Foundation of China(No.31670717);The E Project for the Fundamental Research Funds for the Central University(No.2572014EB05)

* 通信联系人, E-mail: impanefu@aliyun.com

生产的木板经常会有一部分表面带有节子,当这些木板表面的节子被相同或相近颜色的染料(例如油漆)覆盖时,肉眼很难直接判断是否为正常的板材。

针对这种情况,本文提出利用近红外和可见光图像融合的方法判断被染色的木板表面是否有节子缺陷。图像融合的原理是通过融合两幅同一拍摄背景但不同成像方式的图像,利用优势互补的方式,提高图像的分辨率和信息量以达到便于观察和处理的目的^[2]。图像融合技术在很多领域都已经得到了广泛的应用,包括军事、遥感、材料科学和医学等领域^[3]。目前国内外对于应用近红外和可见光融合技术进行木板表面缺陷识别的研究还很少,肖宾杰等提出了一种基于图像融合的木板表面缺陷特征提取方法,他主要是采集一系列多视角图像进行融合分析^[4]。而本文的研究首次使用多光谱相机采集木板的近红外光图像和可见光图像,将采集的两种源图像进行图像融合,再通过融合后的合成图像快速识别出表面有节子缺陷的木板。

2 图像融合算法

2.1 小波融合算法

基于小波变换的图像融合算法的本质是将源图像进行分解和重构,主要算法过程是将待融合的原始图像进行小波分解,得到源图像的一系列不同频段的多分辨率的子图像,这些分解后的子图像能很大程度上映射源图像的局部特征,然后对得到的子图像进行融合处理,使用逆变换得到最终的融合图像。和金字塔型结构融合算法相比,小波变换融合算法在分解过程中把源图像分解成了不同频域的图像,不仅可以有效的抑制噪声,同时还可以提取每个频域子图像的显著特征,而且小波分解在不同频域都保持很高的独立性,从而保证了融合后图像的信息量得到显著提高^[4]。小波变换融合的方式如公式(1)所示:

$$D = I^{-1} [W(I\{f_i\})], \quad (1)$$

式中: D 是近红外和可见光图像融合后得到的图像, I 为小波变换算子, I^{-1} 为小波变换逆算子, W 为融合算子, f_i 是第 i 幅图像。

2.2 PCA(主成分分析)法

基于主成分分析的图像融合方法的实质是降维,即将高维数据降为低维数据,使观察者能够更直观的看到数据的结构。它的特点是将图像的各个因素当作随机变量,求出协方差矩阵的本征向量,将本征向量重新组合,在这些重新组合的特征向量中取前几个分量图像进行融合,就能代表原始图像的有效信息^[5]。本文研究的是近红外图像和可见光图像的融合,其主要过程如图1所示。

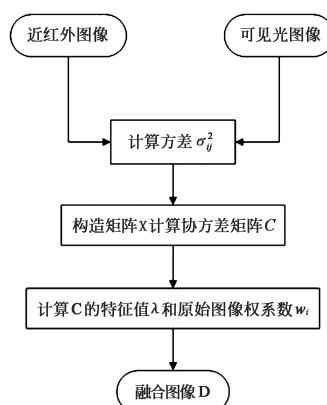


图1 PCA 算法流程图

Fig.1 PCA algorithm flow chart

2.3 加权融合算法

加权融合算法是像素级融合算法中最常用的一种融合方法,这种方法的融合过程比较简单,它是直接把两幅近红外和可见光图像中对应的像素点进行融合加工处理,成为一幅融合后的新图像。其融合过程如图2所示。图2中: $A(i, j)$ 为源图像 A 在 (i, j) 点的像素值, $B(i, j)$ 为源图像 B 在 (i, j) 点的像素值。 $D(i, j)$ 为融合后图像的像素值。普遍以 $W_1 + W_2 = 1$ 作为加权系数。图像的加权平均融合算法通常有如下3种情况:

① Average(平均算法)

当 $W_1 = W_2 = 0.5$ 时是一种特例,即为像素的平均算法。这种算法适用于两幅源图像非常相似的情况,它可以有效的抑制噪声,但当两幅源图像差异很大时,这种简单的融合就满足不了计算机的自动识别过程了。

② Select maximum

当 $D(i, j) = \max[A(i, j), B(i, j)]$ 时,即为取最大加权系数法,这种方法的融合过程是首先比较待融合的两幅源图像对应位置的像素点的

灰度值,然后选择较大值作为融合后的图像对应位置的像素灰度值,这种方法简单直观,原则上讲只是单纯的增强源图像的灰度值。

③Select minimum

当 $D(i, j) = \min[A(i, j), B(i, j)]$ 时,即为取最小加权系数法,这种方法的融合过程和取最大加权系数法类似,这种方法得到的融合图像灰度值较低,必须对图像灰度值进行增强才能做下一步处理。

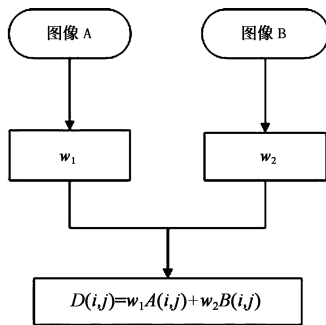


图 2 加权平均算法流程图

Fig.2 Flow chart of weighted average algorithm

2.4 金字塔融合算法

金字塔型结构的融合算法是一种基于变换域的融合算法,也是图像融合中最常使用的一种融合算法,这种算法的原理是提取参加融合的源图像在不同层次、不同空间分辨率上的特征点分别进行融合,最后逆变换得到融合图像^[6]。如图 3 所示是塔型结构算法的原理图,其中每一级的子图像都是输入图像,且它们的像素分辨率越来越低。这种结构的融合方法显著地展示了图像的特征像素信息,而且每一级的子图像对这些特征的表达越来越简略。

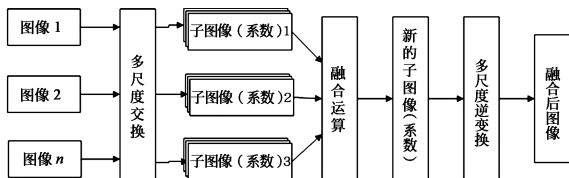


图 3 金字塔型图像融合的原理结构图

Fig.3 Principle chart of pyramid image fusion

金字塔结构融合算法的本质是采用一种从下往上的分解方法对源图像进行分解,分解后的各层图像相互关联,对每一层子图像进行特定的滤波处理就能得到下一层子图像,这种算法的一个

重要特点是能够根据不同的需求进行多种图像的融合实验。各层图像的相互关联形成了金字塔型结构,它是处理局部和全局联系的基础。根据金字塔融合算法中金字塔结构形成方式的不同,延伸为以下几种算法:

①Laplacian Pyramid(拉普拉斯金字塔图像融合方法)

基于 Laplacian Pyramid 结构的融合算法是在高斯金字塔融合的基础上演变而来的,它的本质是将源图像分解成多个不同空间分辨率、不同尺度的子图像,再构成一个塔型结构^[7]。

②Ratio Pyramid(对比度金字塔融合方法)

由于人眼部视觉神经系统不同部位对像素的敏感度有差别,又有人提出了一种基于对比度金字塔变换的融合方法^[8],这种算法能够较好地保留重要的图像细节。

③FSD Pyramid(梯度金字塔融合方法)

FSD Pyramid 算法是对图像的每一层进行梯度滤波处理,然后每一层都可以得到 4 个分解图像,包括水平、垂直以及对角线四个方向^[9]。所以,FSD Pyramid 融合图像与其他融合图像相比包含更多源图像的边缘信息。

④Morphological Pyramid(形态学金字塔融合方法)

Morphological Pyramid 算法是一种数学形态学和塔型结构变换结合在一起的方法^[10],其金字塔分解算法过程如下:

$$S_L = [(SL-1 \circ B) \cdot B]_2, \quad (2)$$

式中: B 为结构性元素, S_L 是第 L 层源图像。

3 实验与结果分析

3.1 实验材料与装置

实验以处理过的木板作为研究对象,共有 20 块被人为染色的木板样本,其中 10 块样本表面带有节子缺陷。使用多光谱相机采集测试样本的近红外图像和可见光图像,实验装置如图 4 所示。该系统采用了中国大恒图像公司的机器视觉平移运动实验平台,在支架安装了多光谱工业 CCD(JAI 的 AD080GE),匹配的工业镜头是 CBC 的 M0814 型号。它可以在近红外模式和可见光模式图像间进行切换,因此采集的两类模式图像不

再需要图像配准步骤,可以直接进入到图像融合过程。



图4 采集木板近红外和可见光图像的多光谱图像采集装置

Fig.4 Multispectral acquisition device of collecting near-infrared and visible images of wood

3.2 结果与分析

为了检验本文提出的木板表面节子检测是否可行,实验中采集了大量的被人为染色的缺陷图像,并使用了多种不同的图像融合方法进行近红外和可见光图像的融合实验,图像融合的结果如图5~12所示。

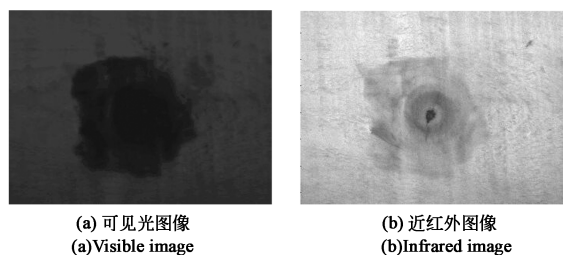


图5 木材节子缺陷的近红外图像和可见光图像
Fig.5 Near-infrared and visible light images of wood knot

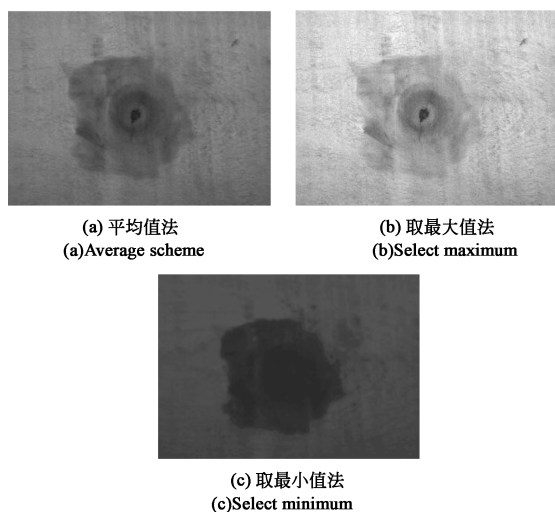


图6 加权平均融合图像
Fig.6 Fusion image of weighted average scheme

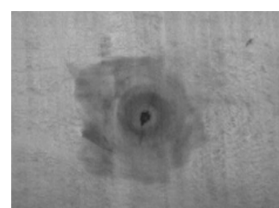


图7 PCA融合图像法
Fig.7 PCA image fusion scheme

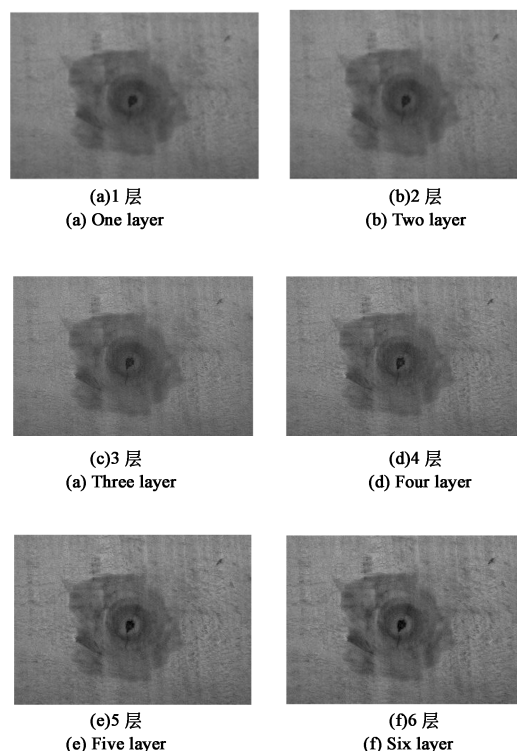
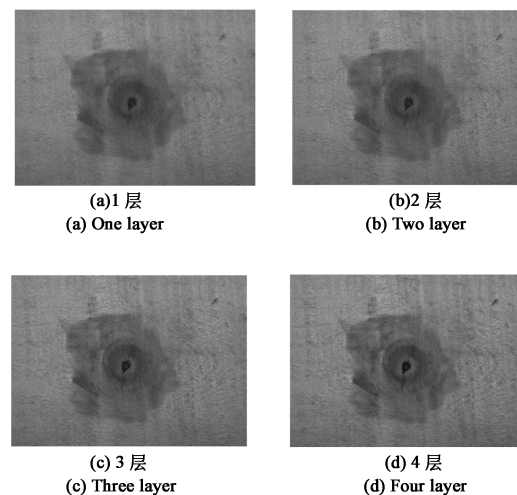


图8 不同分解层数下的小波变换融合图像比较
Fig. 8 Fusion image of different decomposition levels based on Wavelet transform



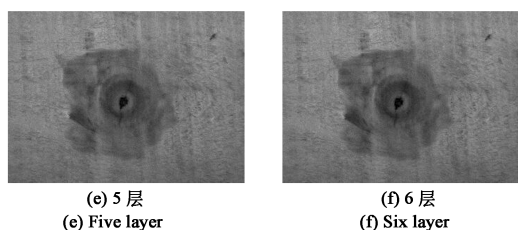


图 9 不同分解层数下的拉普拉斯金字塔融合图像比较
Fig.9 Fusion image of different decomposition levels based on Laplacian Pyramid

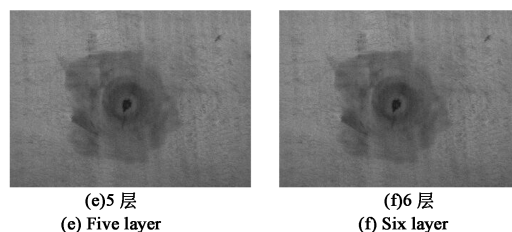


图 11 不同分解层数下的梯度金字塔融合图像比较
Fig.11 Fusion image of different decomposition levels based on FSD Pyramid

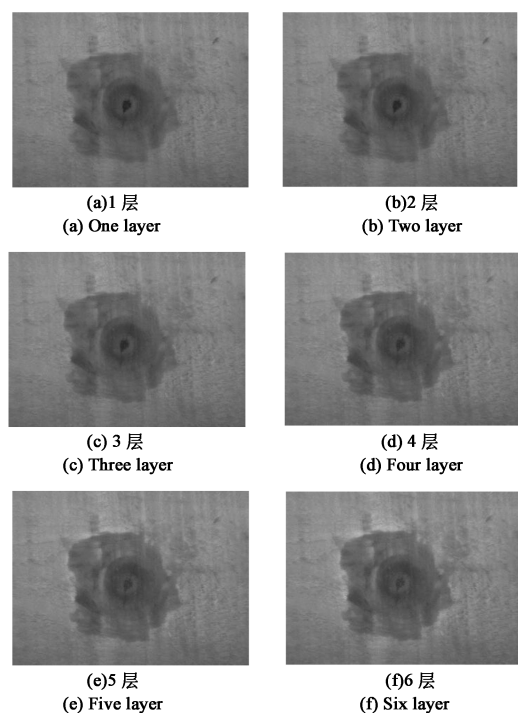


图 10 不同分解层数下的对比度金字塔融合图像比较
Fig.10 Fusion image of different decomposition levels based on Ratio Pyramid

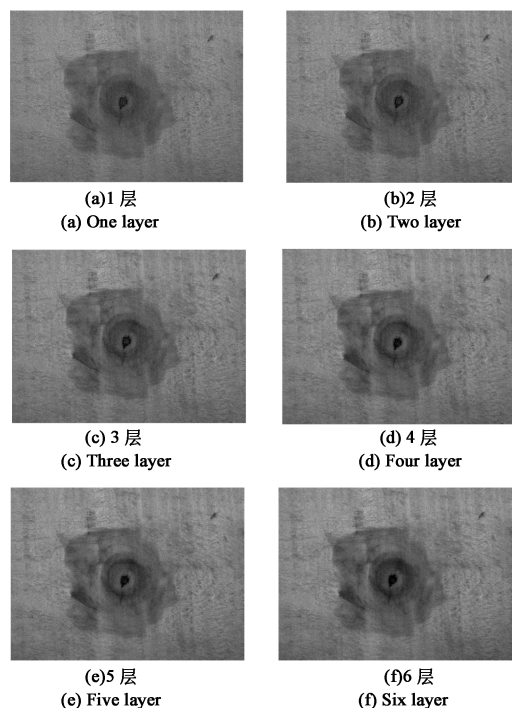
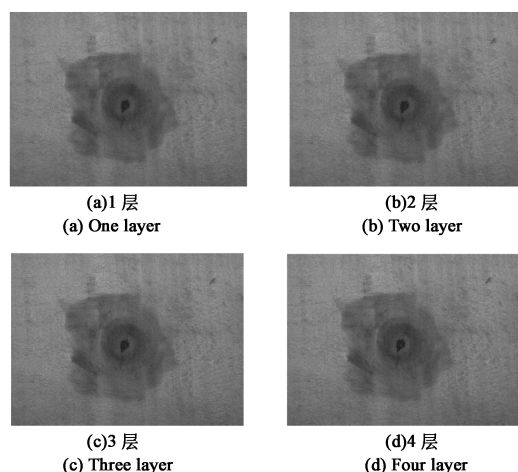


图 12 不同分解层数下的形态学金字塔融合图像比较
Fig.12 Fusion image of different decomposition levels based on Morphological Pyramid



融合后的图像表明:金字塔型结构变换和小波变换的融合效果相对来说比较好,而对于加权平均算法来说,由于近红外图像和可见光图像的像素差别较大,融合效果比较差,尤其是当像素灰度值取大和取小时,融合后的图像实际上就是融合前的源图像,所以对于这种源图像像素差异较大时不宜采用加权平均算法。使用 PCA 算法进行图像融合时,虽然增强了融合后图像的特征信息,但是图像的细节纹理不够清晰,这种方法比较适合相关因子较多的图像融合。

另外,融合后的图像需要进行质量评价,通常

使用主观评价和客观评价两种方法,主观的辨别结果一般与人们的视觉效果较符合,但为了验证主观辨别结果的准确性,本文计算出融合后图像的信息熵来比较各种融合算法的效果。由于图像的一维信息熵不能反映图像灰度分布的空间特征,所以本文使用了图像的二维信息熵。其算法定义如公式(3)所示:

$$H = - \sum_{i=0}^{255} P_i \log P_i, \quad (3)$$

$$P_i = D_i / D, \quad (4)$$

式中, D_i 表示灰度值为 i 的像素数量, D 表示图像中的总像素数量。对于金字塔和小波融合算法来说,相同融合规则下不同分解层次的融合图像信息熵相同,不同融合规则下的融合图像

的信息熵则有差异,但是差异较小。经过计算,原始近红外图像的信息熵为 0.778 15,融合后图像的信息熵如表 1 所示。表 1 中当高通滤波和低通滤波不同组合的融合规则下获得的融合图像的信息熵,综合主观分辨结果和融合图像的信息熵可以看出:融合后的图像比近红外图像的信息量大,且当低通滤波选择平均算法时融合图像中缺陷的纹理细节最清晰。虽然 Ratio Pyramid 算法融合后的图像的信息熵较大,但是主观来说不如 Laplacian Pyramid 算法的融合图像清晰,所以基于 Laplacian Pyramid 结构的融合算法的融合效果最好,更适用于本文提出的利用近红外和可见光图像融合的木材节子缺陷检测。

表 1 不同融合算法获得的融合图像的信息熵

Tab.1 Entropy of fusion image based on different algorithms

高通滤波 融合规则	低通滤波 融合规则	小波 变换	Laplacian Pyramid	Ratio Pyramid	FSD Pyramid	Morphological Pyramid	PCA	加权 平均
Choose max	选近红 外图像	0.954 24	0.820 45	0.954 24	0.954 24	0.887 35	0.759 09	0.845 10
	选可见 光图像	0.954 24	0.879 59	1.041 4	0.954 24	0.887 35		
	选均值	0.903 09	1.000 0	0.903 09	0.903 09	0.827 83		
Saliency/ match measure	选近红 外图像	0.954 24	0.820 45	1.041 4	0.954 24	0.887 35		
	选可见 光图像	0.954 24	0.879 59	1.041 4	0.954 24	0.887 35		
	选均值	0.903 09	1.000 0	0.903 09	0.903 09	0.827 83		

4 结 论

本文利用图像融合方法对提出的木板表面节

子缺陷检测进行了大量的实验和分析,使用了多种不同的融合算法进行试验和比对,最后实验结果证明基于拉普拉斯金字塔的融合算法对人为染色后存在节子的木板的识别效果最好。

参 考 文 献:

- [1] SIOMA A. Assessment of wood surface defects based on 3D image analysis [J]. *Wood Research*, 2015, 60(3): 339-350.
- [2] ZHANG X L, LI X F, FENG Y C. A new multifocus image fusion based on spectrum comparison [J]. *Signal Processing*, 2016, 123: 127-142.
- [3] 赵鹏, 浦昭邦, 张田文. 基于图像融合的动态轮廓线跟踪新方法[J]. *光学学报*, 2005, 25(6): 760-766.
ZHAO P, PU Z B, ZHANG T W. A new tracking method of dynamic contour based on image fusion [J]. *Acta Op-*

- tica Sinica*, 2005, 25(6): 760-766. (in Chinese)
- [4] 肖宾杰, 姜伟群. 基于图像融合的木板表面缺陷特征提取方法研究[J]. 计算机科学, 2011, 38(4): 282-285.
XIAO B J, SHU W Q. Research on feature extraction of defects on wood surfaces based on image fusion [J]. *Computer Science*, 2011, 38(4): 282-285. (in Chinese)
- [5] LI H, MANJUNATH B S, MITRA S K. Multisensor image fusion using the wavelet transform [J]. *Graphical Models and Image Processing*, 1995, 57(3): 235-245.
- [6] 贾永红. TM 和 SAR 影像主分量变换融合法[J]. 遥感技术与应用, 1998, 13(1): 46-49.
JIA Y H. Fusion of landsat TM and SAR images based on principal component analysis [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1998, 13(1): 46-49. (in Chinese)
- [7] 王宏, 敬忠良, 李建勋. 多分辨率图像融合的研究与发展[J]. 控制理论与应用, 2004, 21(1): 145-151.
WANG H, JING Z L, LI J X. Research and development of multiresolution image fusion [J]. *Control Theory & Applications*, 2004, 21(1): 145-151. (in Chinese)
- [8] BURT P, ADELSON E. The Laplacian pyramid as a compact image code [J]. *IEEE Transactions on Communications*, 1983, 31(4): 532-540.
- [9] TOET A. Multiscale contrast enhancement with applications to image fusion [J]. *Optical Engineering*, 1992, 31(5): 1026-1031.
- [10] PETROVIC V S, XYDEAS C S. Gradient-based multiresolution image fusion [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(2): 228-237.
- [11] 赵鹏, 浦昭邦. 基于形态学 4 子带分解金字塔的图像融合[J]. 光学学报, 2007, 27(1): 40-44.
ZHAO P, PU Z B. Image fusion based on morphological 4-subband decomposition pyramid [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(1): 40-44. (in Chinese)

作者简介: 李漫丽(1991—), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 主要从事模式识别与图像处理领域的研究。E-mail: 1126632264@qq.com

赵鹏(1972—), 男, 黑龙江阿城人, 教授, 博士生导师, 主要从事视觉检测、视觉跟踪、图像融合方面的研究。E-mail: impanefu@aliyun.com