

DOI: 10.12326/j.2096-9694.2021049

基于数字图像的木材缺陷识别研究进展

丁安宁¹, 贺春光¹, 多化琼¹, 秦彦平¹, 袁云梅²

(1. 内蒙古农业大学材料科学与艺术设计学院, 内蒙古呼和浩特 010018;

2. 山西应用科技学院信息工程系, 山西太原 030000)



摘要: 数字图像处理技术是在木材缺陷识别中应用最广泛的技术之一, 具有准确、快速、无损和成本低等优点。本文阐述基于数字图像的木材缺陷识别技术的研究现状, 分析图像预处理、分割、特征提取及融合、图像识别分类过程涉及的算法, 并对每种方法的特点以及局限性进行总结, 对未来研究的发展趋势进行展望。数字图像处理技术进一步走向自动化和智能化, 还需要更深入的研究。

关键词: 数字图像; 缺陷识别; 木材缺陷; 图像处理技术

中图分类号: S781.1; TP391; TS67

文献标识码: A

文章编号: 2096-9694 (2022) 01-0009-08

Research Review of Wood Defect Recognition Based on Digital Images

DING An-ning¹, HE Chun-guang¹, DUO Hua-qiong¹, QIN Yan-ping¹, YUAN Yun-mei²

(1. College of Material Science and Art Design, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, Inner Mongolia, China;

2. Department of Information Engineering Shanxi Institute of Applied Science and Technology, Taiyuan 030000, Shanxi, China)

Abstract: Digital image processing technology is one of the most widely used technologies in the identification of wood defects, which has the advantages of accuracy, rapidity, nondestructive, and low cost. With extensive literature research, this paper expounds the present status of studies on the wood defect recognition based on the digital image technology. The image preprocessing, segmentation, feature extraction and selection, and the algorithm involved in image recognition and classification process, were analyzed. The principles, characteristics, and existing limitations of each method were summarized. The trends of future research were discussed. Further study is needed on automation and artificial intelligent of digital image processing technology.

Key words: digital image; defect identification; wood defects; image processing technology

木材作为一种天然可再生、保温、隔热、易降解的材料, 长期以来一直被用作家具和建筑结构材料。树木生长过程难免形成各种木材缺陷, 缺陷影响木材的质量, 还加大木制品制造的难度。

虽然人工可以完成识别缺陷, 但受主观经验、视觉疲劳等因素影响识别效率低下。目前常用的木材缺陷识别方法有图像处理、超声波、应力波以及CT技术等, 不断推陈出新, 走向智能化。基于数字图像的木材缺陷识别, 不仅方法简单、计算量小、准确度高, 而且具有快速、无损、成本低等优点。因此, 基于数字图像的木材缺陷识别技术, 得到国内外专家学者广泛的研究。

数字图像处理技术是目前国内外对木材缺陷

收稿日期: 2021-04-22; 修改日期: 2021-04-30

基金项目: 国家自然科学基金“蒙古族传统家具纹样的数字化分类研究”(31760185)。

作者简介: 丁安宁 (1994—), 男, 硕士。Email: dinganning0926@163.com

通讯作者: 多化琼, 女, 教授。Email: duohuaqiong@163.com

识别最常用的方法，其完整的识别系统主要包含：图像降噪、增强等预处理，图像分割，图像特征提取与融合、图像识别分类。本文从此四个部分阐述基于数字图像的木材缺陷识别技术与方法。

1 木材缺陷图像的预处理

在数字图像采集过程中，由于设备或者环境因素可能会导致采集的图像出现低亮度、低对比度或夹杂噪声。预处理不仅能消除图像中无关信息、恢复有用信息，还能在一定程度上改善图像的质量，提高图像的可分析性和可理解性，因此预处理是图像处理过程中必不可少的一个过程^[1]。

1.1 木材缺陷图像的降噪

图像降噪主要是消除因不可避免的因素而造成的图像噪声，提高识别的效率和准确度。图像降噪算法种类繁多，经典方法有均值滤波、中值滤波、高斯滤波等。由于经典的降噪方法已不能满足实际需求，又发展了小波图像去噪、双边滤波等方法。这几种方法的适用范围与优缺点列于表1。针对传统小波阈值去噪算法的不足，从Lip指数阈值和构造新的小波阈值函数两个方面进行改进，通过仿真实验例证了改进后的算法相比传统方法可以更好地保留图像的细节信息，消除更多的噪声系数，使去噪后的图像更加接近真实值^[2]。

表1 图像降噪方法优缺点比较

Tab.1 Comparison of advantages and disadvantages of image noise reduction methods				
方法	适用噪声	优点	缺点	文献
中值滤波	椒盐噪声	抑制噪声的同时保护图像边缘信息,实时性强,算法简单,应用范围广	对原始像素和噪声像素的区分较弱,滤波中易改变像素点的真实值,破坏图像细节	3-4
均值滤波	高斯噪声	可以平滑图像,计算过程简单快速	无法去掉噪声,只能减弱,会导致部分信息丢失	5
高斯滤波	高斯噪声	图像能够获得好的去噪效果,通用性与性能都较好	导致像素移位,去噪的同时会虚化边缘	6
双边滤波	高斯噪声	滤除噪声,且会保留图像边缘信息,具有简单、非迭代、局部的特点	性能较差,不能有效去除彩色图像的高频噪声	7-8
非局部均值滤波	高斯白噪声	去噪效果好,可最大程度保留细节特征	计算时间长,运算速度慢	9-10
小波图像去噪	低信噪比信号	降噪性好,低畸性,多分辨性,灵活性高	计算时间长,运算速度慢	2,11

1.2 木材缺陷图像的增强

图像增强是将图像转换成更适合机器识别或者人眼观察的一种技术，目的在于提高图像信息的可读取性，有选择地突出图像感兴趣区域（region of interest，ROI）的特征或者抑制图像中不必要的特征。常采用的方法包括灰度变换增强、颜色空间变换、直方图均衡化、Gamma校正等。

灰度变换主要是针对图像中的像素点进行处理，通过改变单个像素的灰度值进行图像增强。灰度变换增强方式多种，其中用于图像灰度变化的函数主要有三种：线性函数、对数函数、幂律函数。牟洪波^[12]在木材无损检测过程中采用灰度变换增强的方法处理图像，处理后图像的对比度明显增强，方便了后续的特征提取工作。

颜色空间是进行颜色研究的理论基础，将颜色从人的主观感受量化为具体的表达方式，为计算机记录和表现颜色提供了有力的依据。颜色空间的表达形式多样，常见的有RGB、Lab、HSV、YCrCb、HSL等。在多种颜色通道中合理选择各组

合通道并利用马尔科夫随机场模型，可充分利用图像的统计特征，有效地实现木材缺陷的提取，但成本高、运算速度慢^[13]。如在提取红木类木材的纹理特征时，将预处理的RGB图像转换为YCrCb图像，然后在三维空间中将纹理和底色分离，可以得到清晰连续、提取率高的纹理特征^[14]。

直方图均衡化是一种简单高效的数字图像增强技术，将原始图像的直方图变换成像素值几乎均匀分布的形式，提高图像的对比度。王金聪对样本图像进行灰度变换后绘制直方图并进行直方均衡化，使得目标缺陷和背景的对比度更大，凸显出目标缺陷，为分割图像奠定了良好基础^[15]。

Gamma校正是对图像的Gamma曲线进行编辑，对图像进行非线性色彩编辑的一种方法，检出图像信号中深色部分和浅色部分，使两者比例增大，提高对比度。Inho等^[16]基于优化Gamma校正参数估计方法提出了一种微光图像增强算法，计算速度更快且性能增强，在一定程度上解决了图像受光线影响的问题。

2 木材缺陷图像的分割

木材图像分割是基于数字图像的木材缺陷识别基础，将目标或者感兴趣区域从图像中分离出来，得到相应的边缘，以便于后续的目标识别^[17]。木材图像分割的传统方法有阈值分割法、边缘检

测法、基于区域的图像分割法^[18]、基于特定理论的图像分割法。各种算法针对不同木材缺陷的分割性能、分割精度各有不同，表2列出了这些方法的优缺点。为了获得最佳的分割效果，应根据缺陷及木材种类的不同，灵活地选择分割方法。

表 2 木材缺陷图像的分割方法比较

Tab.2 Comparison of the segmentation method of wood defect images

常见方法	优点	缺点	文献
最大类间方差法	计算简单,效率较高	对噪声敏感,目标与背景大小比例悬殊时,处理效果不好、鲁棒性差	21, 26, 33-36
迭代阈值分割法	计算简单,效率较高	耗时长,背景复杂不能有效分割	26, 33, 36
局部阈值分割法	分割效果好	使用过程中局限性多,分割速度慢	22-23, 37
Roberts 算子	定位精度高,计算量小	噪声敏感度高,边缘局部效应明显	24, 34, 38
Prewitt 算子	有效抑制低频噪声,孤立高频噪声	易丢失部分边缘信息	24, 34, 38
Sobel 算子	受噪音影响小,对缺陷边缘定位准确	计算量大,边缘较粗	24, 34, 38
Canny 算子	不易受噪声影响,边缘检测性能好	易丢失部分边缘信息	24, 34, 38
区域生长法	收敛快,计算简单	需要选择生长点,耗时长,对噪声敏感,分割效果差	35, 39
区域分裂合并法	计算简单,效率较高	耗时长,复杂图形存在过分割问题,分割效果差	33
C-V 模型	具有全局优化性,能有效克服弱边缘	灰度不均匀图像不能准确分割	28-31, 40-41
LBF 模型	分割速度较快,可分割灰度不均图像	对弱边缘分割不敏感,过度分割	26, 32-33, 40

2.1 基于阈值分割的木材缺陷图像分割

阈值分割是利用图像背景和目标在灰度值上差异，通过计算得到的灰度阈值与图像像素点按灰度级进行分类，从而实现目标与背景的分离，这是图像分割中的经典方法。木材缺陷图像阈值分割常用的方法有最大类间方差法（OTSU）、迭代阈值分割法、局部阈值分割法等。阈值分割法在精确识别木材缺陷的应用上具有操作简单、计算量小、鲁棒性高的优点，被广泛地应用在多个领域，是最基本的分割技术之一。采用最大间类方差法与数学形态学结合的方法，对木材缺陷图像进行分割，可以得到清晰连贯的缺陷边缘，提高图像的准确性和可视性^[19]。Rahayu 等^[20]利用 YIQ 颜色空间和阈值分割方法对大黄杨木材图像进行分割，获得了较好的分割效果。然而，与其他全局阈值算法一样，OTSU 算法也有局限性。针对 OTSU 算法对噪声非常敏感，先对缺陷图像进行凸优化（convex optimization, CO）预处理后，再进行 OTSU 分割，对比未经预处理的图像具有更精确分割结果^[21]。WANG 等^[22]则提出了一种木材缺陷检测的新方法，先利用光谱残差法计算缺陷区域的显著性，对图像中缺陷区域进行粗略定位，然后通过 OTSU 阈值分割实现木材表面缺陷的精确定

位与分割，最后对二值图像进行数学形态学分析；试验结果表明，该方法能有效地解决现有基于阈值的分割方法存在的过分割问题。LUO 等^[23]针对全局和传统局部阈值分割算法不能有效地解决木材缺陷图像背景不均匀下的分割问题，提出了一种基于局部阈值算法的图像二值化优化算法，该算法能有效提高复杂背景下图像分割的能力。

2.2 基于边缘分割的木材缺陷图像分割

边缘部分集中了图像大部分的信息，边缘的确定和提取对整个图像的识别至关重要。边缘分割是图像分割的一种重要方式，根据图像边缘处的灰度值不连续，检测像素及邻域像素的灰度值变化，通过求导数来检测是否属于边缘点。经典的边缘分割算子包括：Sobel 边缘检测算子、Canny 边缘检测算子、Roberts 算子、Laplacian 算子、LoG 算子、DoG 算子等。利用 Roberts、Sobel、Canny、LoG 等多种不同边缘检测方法处理木材缺陷图像，可以加强感兴趣区域的纹理特征，有利于后续的特征提取^[24]。Wananda 等^[25]设计了一种检测系统，用 SUSAN 边缘检测方法对正常无缺陷木材和带有节子或裂纹的缺陷木材进行分类，研究共使用 350 张图像，正常和缺陷木材图像各 175 张，训练集采用 50 张图像（正常和缺陷木材图像各 25 张），测

试集采用300张图像(正常和缺陷木材图像各150张),检测准确度和检测用时分别为90.67%和2.5 s。

2.3 基于区域分割的木材缺陷图像分割

区域分割法是对图像区域进行分割的一类算法,该方法与边缘分割法类似,都利用了目标与背景的灰度分布的相似性。区域分割法有两种基本形式:一种是区域生长法,该方法的原理是在需要分割的木材缺陷图像区域找到一组能够代表目标区域的初始种子像素作为生长起点,并根据某种生长准则进行筛选,然后将种子像素周围邻域中符合条件的像素合并到种子像素所在的区域中,直到再没有满足条件的像素被合并为止;另一种是区域分裂合并法,相当于是区域生长的逆过程,该方法的原理是从整个木材缺陷图像出发,不断分裂成若干个互不相交的子区域,再按照某种一致性准则合并或者分裂区域,最后实现分割。但在实际应用中,区域分割法对背景纹理复杂的缺陷图像不能准确定位缺陷轮廓,存在过分分割问题,导致分割效果较差,尚需改进其不足^[26]。

2.4 基于特定理论的木材缺陷图像分割

随着木材缺陷图像分割技术的深入研究和不断改进,木材缺陷图像分割任务出现了很多特定理论和算法,为图像分割提供了新的思路^[27]。常用的分割理论方法有:遗传算法、形态学理论、活动轮廓模型等。由于特定理论的方法较多,本文仅介绍使用频率较高的两种方法。

1) C-V模型:由Chan和Vese等^[28]简化Mumford-Shah模型后得到的区域最优化分的图像分割模型的简称。该模型具备全局优化特点,不涉及梯度信息,假设目标与背景是各自同质区域,通过计算全局能量函数最小化来演化边界线^[29],在面积项和长度项的共同影响下,使运动曲线接近目标区域的边缘^[30]。程玉柱等^[31]提出了一种分数阶C-V模型的图像分割算法,能有效提取木材缺陷目标,性能比传统模型更高。

2) LBF模型:是通过改进C-V模型得到的,由于C-V模型只适用于待分割目标区域与背景灰度值均匀的图像,而在日常应用中灰度值均匀的图像几乎不存在。为了更有效准确地分割图像,LI

等在2008年提出了局部二值拟合主动轮廓模型(LBF模型)^[32]。传统LBF模型存在弱边缘分割不理想的问题,有学者研究改进了传统LBF模型,应用传统LBF模型与改进算法对树木图像做分割试验,通过改进参数,并进行多组试验证明了改进LBF模型的优越性^[33]。

3 木材缺陷图像的特征提取与融合

完成木材缺陷图像分割后,要对提取出的缺陷部分进行特征描述,计算缺陷的特征描述,这对于提高缺陷识别分类的准确度十分重要。描述木材缺陷的特征有三类:颜色、几何形状、纹理特征。

3.1 基于颜色的木材缺陷图像特征提取

颜色特征是一种全局特征,可以描述木材缺陷图像所对应物体表面信息的特征。由于颜色特征对图像的方向、尺寸等变化不敏感,即使图像经过旋转和平移变换也不会影响特征的提取,因此常作为特征点,用于图像的分析。但由于颜色易受光源变化的影响及颜色特征不能很好地捕捉木材缺陷图像中的局部特征,该类方法的适用范围较小。常用的颜色模型有:HSV、RGB、HSI、LAB等;色彩特征描述方法有:颜色直方图、颜色集、颜色矩阵、颜色聚合向量和颜色相关图等。利用该方法,SONG等^[42]提出了一种基于图像块百分位数颜色直方图和特征向量纹理特征分类的木材表面缺陷自动检测方法,能有效地检测木材表面缺陷,尤其是节子缺陷。

3.2 基于几何形状的木材缺陷图像特征提取

几何形状特征是图像感兴趣区域(ROI)中以几何特征和形状特征为主的特征,大部分图像提取之前,首先要对其进行分割和二值化处理^[43]。常用的几何形状特征提取方法有:傅里叶描述子、方向梯度直方图(histogram of oriented gradient, HOG)特征、尺度不变特征变换(scale invariant feature transformation, SIFT)和Hu不变矩等。木材缺陷复杂多样且有些特征相似,使得缺陷的区分成为难点。苑玮琦等^[44]就此问题利用变尺度高斯拟合基本模型,将圆度和边缘直线度这两个几何特征以及高斯融合特征输入分类器训练,对不同

缺陷的识别准确度均有提高。赵乾^[45]在木材表面缺陷图像特征描述上提取了3个灰度特征、6个几何形状特征和7个矩特征，利用极限学习机并结合AdaBoost算法改进分类器，识别取得了较好的结果。加速稳健特征（speeded-up robust features, SURF）算法是对SIFT算法的改进，执行效率与实时计算能力均得到提高。针对木材表面的死节、孔洞、裂纹等缺陷的识别，有学者提出了一种基于词袋模型的木材表面缺陷检测方法，应用了SURF算法提取木材表面缺陷图像的特征，再通过聚类方法生成提取的特征，结果表明，用该方法提取的特征有较好的识别效果，平均识别率可达94%以上^[46]。

3.3 基于纹理的木材缺陷图像特征提取

纹理特征是一种全局特征，描述木材缺陷图像中所对应物体的表面性质。纹理特征具有旋转不变性，且具有较强的抗噪声能力，因此常用于木材缺陷图像的特征描述。常用的纹理特征的提取方法主要有灰度共生矩阵（Gray-level co-occurrence matrix, GLCM）、局部二值法（local binary picture, LBP）、马尔可夫随机场（Markov Field）模型、Tamura纹理等。

XIE等^[47]结合Tamura纹理和GLCM两种方法的优点，对由多种木材制作成的缺陷样本库进行识别：以Tamura纹理作为输入特征，最高识别率为90.67%；以GLCM作为输入特征，最高识别率为91.33%；当以混合特征参数作为输入特征，最高识别率为92.67%，算法的准确性和鲁棒性令人满意。ZHANG等^[48]提取图像的LBP纹理特征，采用BP神经网络对木材缺陷进行识别，识别率可达93%，表明LBP纹理算法提高了木材缺陷特征的提取精度。在对LBP的研究上，Rahiddin等^[49]以多种不同木材的缺陷作为分类样本，分别采用基本LBP和旋转不变LBP、均匀LBP和旋转不变均匀LBP作为输入特征，使用不同的分类器进行评估，试验数据显示均匀LBP在木材缺陷的分类中有最高的分类精度。GLCM也被不断地研究和改进，王清涛等^[50]改进灰度共生矩阵用于提取木材多重特征值对木材进行分类，与传统的GLCM相比，识别率平均提高了11%。Abdullah等^[51]通过大量的

研究，获得了能够高效分类木材缺陷的最优步距和灰度级量化参数：当采用步距为2，灰度级量化成128级的特征集分类精度最高；为了节省计算时间，灰度级量化成32级，此时的特征集在分类精度方面同样表现出良好的性能。

3.4 基于木材缺陷图像的特征融合

特征提取完成了从图像空间到特征空间的转变，但并不是所有提取的木材缺陷特征信息对识别分类都有用，特征信息过多造成特征维度增高，导致识别分类的精确度降低甚至发生“维度灾难”，这时就要进行特征融合。常用方法有主成分分析（principal component analysis, PCA）和线性判别分析（linear discriminant analysis, LDA）。以PCA为例，木材缺陷图像的特征融合过程如图1所示。

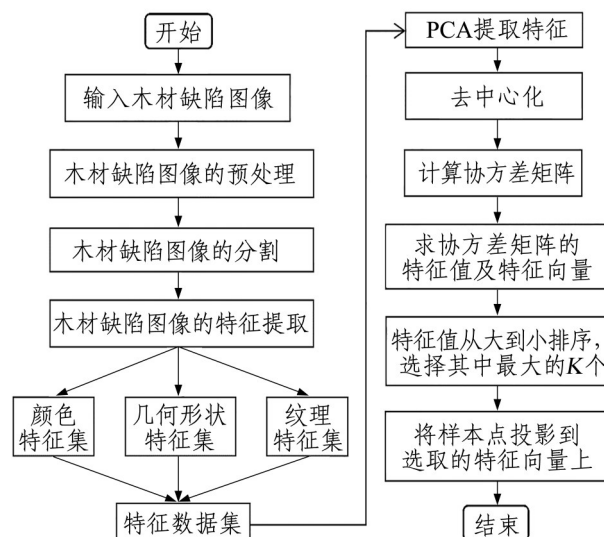


图1 PCA特征融合的流程

Fig.1 PCA of feature selection process

LI等^[52]首先用LDA对采集的木材图像中的缺陷特征信息进行降维处理，再利用设计压缩传感器对活节、死节和裂纹进行识别，特征融合和识别分类的平均时间为0.446 ms，识别分类的准确率为94%。徐梓敬等^[53]对数据进行PCA处理，提取出有用的数据，并利用GA优化SVM中的权值和阈值对木材缺陷进行识别，对木材孔洞、腐朽和节子的总体识别率达到94.55%。

为了提高整体的性能和后续识别的准确度，研究通常采用多种特征提取方法相结合的方式。

郭慧等^[54]针对刨花板表面纹理导致缺陷提取不准确问题,提出一种基于GLCM和分层聚类的特征提取方法;JI等^[55]在分类试验中采用了基于Hu不变矩、小波矩和BP神经网络的木材缺陷特征提取方法;罗薇等^[56]采用LBP和HOG特征融合的方式,

对融合特征降维后采用支持向量机进行分类。对于不同类型的缺陷进行针对性地特征提取,各种特征提取方法的特点汇总于表3。采用不同的特征提取方法相结合的方式,具有更高效、准确的识别性能。

表3 木材缺陷图像的特征提取和融合方法对比

Tab.3 Summary of extraction and selection methods of wood defect images

常见算法	优点	缺点	文献
颜色特征	不受图像平移和旋转的影响,快速检测有色目标	受光线影响大,不能很好捕捉局部特征	34, 42, 57-58
几何形状特征	计算量小,鲁棒性好	受光源影响大,对噪声敏感	34, 44-46
纹理特征	不受图像旋转影响,对噪声有较强抵抗能力	受图像的分辨率影响较大,受光源影响大	34, 47-51, 57-58
主成分分析(PCA)	计算简单、便于分析,可以提取主要信息,无参数限制	不适合对非高斯分布样本进行降维	36, 53, 57
线性判别分析(LDA)	简单易理解,还可用于分类	计算复杂,过度拟合数据,不适合对非高斯分布样本进行降维,降维效果差	52, 59

4 木材缺陷图像的识别分类

在图像识别分类中,机器学习分类器是木材缺陷分类最常用的一种方法,最常用的机器学习分类器有支持向量机(support vector machine, SVM)和神经网络(neural networks, NNs)。Cortes等^[60]首先提出将支持向量机方法用于手写字符的识别,研究成果一经发表得到了广大研究者的关注,为SVM的应用提供了广阔的前景。SVM是一种强大的机器学习工具,能解决分类和非线性函数逼近问题,并能很好地生成泛化不可见数据的模型,用于图像分类方面效果显著,但样本数据较多时,SVM的效率会大大降低,还存在训练速度慢和需要选择合适的核函数等缺点。SVM的识别流程如图2所示。

马旭^[61]等选择KPCA法对木材缺陷样本数据进行降维处理后,通过SVM进行分类识别,经过大量试验确定了参数,并得出多项式核是一个符合木材分类的核函数,并与BP-RBF混合神经网络、卷积神经网络等方法的对比结果显示,SVM在木材缺陷识别的方法应用中具有较高的精度且多次试验偏差极小。神经网络的基本原理就是把输入向量按照一定规则进行变换,得到输出向量,在输入数据与输出数据之间建立一种映射关系。他是一种模拟人脑运行和组织机制,实现人工智能的机器学习技术,具有自学、容错、并行等功能,且能充分逼近复杂的非线性关系,但也存在需要大量参数、训练时间长、泛化能力差以及识别率

低等缺点。常用的神经网络模型有BP神经网络、RBP神经网络和SOM等。虽然新的模式识别方法层出不穷,但神经网络在识别正确率和识别速度上仍然具有较高水平,可满足于实际生产^[36]。Kamal等^[62]利用BP神经网络作为分类器,对基于灰度共生矩阵和基于纹理能量度量的特征识别分类性能相比较,分别取得了90.5%和84.3%的识别效果。YU等^[63]选择落叶松(*Larix gmelinii*)作为试验材料,对活节、死节、孔洞和裂缝的光谱信息进行主成分分析得到主成分向量,利用BP神经网络模型进行判别,准确率达92.0%。

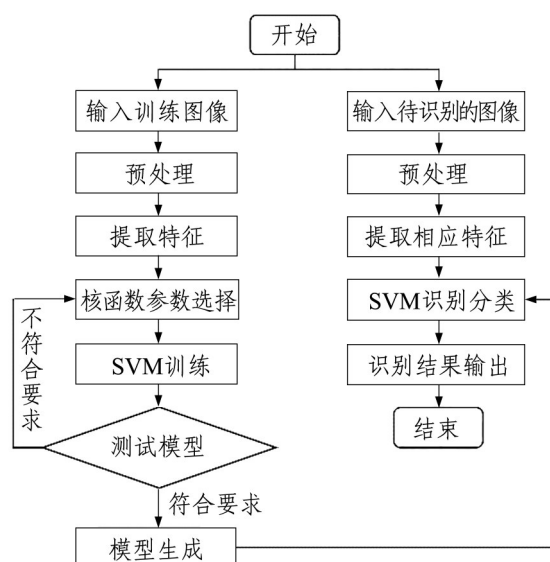


图2 SVM算法识别木材缺陷的流程

Fig.2 Process of identifying wood defects by SVM algorithm

5 结语

基于数字图像的木材缺陷识别在自动化与智能化生产中得到了越来越多的重视和应用, 与人工识别相比不仅具有快速、准确、成本低等优点, 而且能提高木材加工企业的经济效益和生产效率。数字图像处理技术必将是未来研究和发展的主要方向, 目前基于数字图像的木材缺陷识别在理论研究和工业实际应用等环节均有突破性的成果, 但仍存在问题和难点, 需在以下几方面加快发展。

1) 针对木材缺陷图像的采集, 现有的多数采集系统易受到光照、环境及噪声等多种因素影响, 造成图像的光量信息分布不均。构建一个稳定、可靠、鲁棒的木材缺陷检测系统, 提高采集木材图像的质量, 降低外界因素的干扰, 是木材缺陷识别的基础。

2) 木材缺陷的种类繁多且背景复杂, 给木材缺陷图像的分割和特征提取带来困难, 图像识别技术特别依赖图像的分割及特征的提取, 针对不同种类的缺陷及背景, 需要应用不同的分割提取算法。提高算法的泛化能力, 是木材缺陷识别技术的关键。

3) 在工业实际应用中, 需要收集大量的数据进行分析寻找规律, 大数据集无疑会为应用提供丰富的信息, 但也会导致冗余信息增多、特征空间维度升高。从海量特征数据中提取重要的缺陷特性, 同时避免丢失过多信息, 是实现木材缺陷准确识别的重点。

4) 当前的图像识别技术, 尽管许多优秀的算法不断出现, 识别的准确度仍然不满足实际需求。如何构建算法简单、识别率高、鲁棒性强的图像处理及分析算法, 解决准确度与实时性及模糊特征与准确识别之间的矛盾, 是未来研究要突破的难点。

参考文献:

- [1] 陈银星. 多图像去噪方法及应用[D]. 江门: 五邑大学, 2019.
- [2] 王旭, 李小舟, 雷庆锋, 等. 改进小波阈值法在木材图像缺陷处理中的应用[J]. 辽宁林业科技, 2017(5): 18-21, 33.
WANG X, LI X Z, LEI Q F, et al. Application of improved wavelet thresholding method in defect processing of timber image[J]. Liaoning Forestry Science and Technology, 2017(5): 18-21, 33.
- [3] 王香菊. 基于中值滤波和小波变换的图像去噪方法研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2008.
- [4] 孙丽萍, 宋文龙, 张冬妍, 等. 基于数字图像处理技术实现木材横纹压缩过程中构造学形态特征的研究[J]. 森林工程, 2000, 16(2): 15-18.
SUN L P, SONG W L, ZHANG D Y, et al. Study on the tectonic shape characteristics in the compress process of realizing wood grain by using digital image control techniques[J]. Forest Engineering, 2000, 16(2): 15-18.
- [5] 关新平, 赵立兴, 唐英干. 图像去噪混合滤波方法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(3): 332-337.
GUAN X P, ZHAO L X, TANG Y G. Mixed filter for image denoising[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(3): 332-337.
- [6] 孙海英. 图像高斯噪声及椒盐噪声去噪算法研究[D]. 上海: 复旦大学, 2012.
- [7] 石坤泉, 魏文国. 采用双边滤波的冷轧铝板表面缺陷图像去噪方法的研究[J]. 表面技术, 2018, 47(9): 317-323.
SHI K Q, WEI W G. Image denoising method of surface defect on cold rolled aluminum sheet by bilateral filtering[J]. Surface Technology, 2018, 47(9): 317-323.
- [8] 庄子龙, 刘英, 沈鹭翔, 等. 基于多层感知机的木材颜色分类[J]. 林业机械与木工设备, 2020, 48(6): 8-14.
ZHUANG Z L, LIU Y, SHEN L X, et al. Wood color classification based on multi-layer perception[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2020, 48(6): 8-14.
- [9] Buades A, Coll B, Morel J M. A review of image denoising algorithms, with a new one[J]. Multiscale Modeling & Simulation, 2005, 4(2): 490-530.
- [10] 易子麟, 尹东, 胡安洲, 等. 基于非局部均值滤波的SAR图像去噪[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(4): 950-955.
YI Z L, YIN D, HU A Z, et al. SAR image despeckling based on non-local means filter[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2012, 34(4): 950-955.
- [11] 吴振静. 基于小波和非局部均值的图像去噪算法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
- [12] 牟洪波. 基于BP和RBF神经网络的木材缺陷检测研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- [13] 张浩然, 张岱, 武登科, 等. 基于马尔科夫随机场的木材缺陷图像分割算法[J]. 林业机械与木工设备, 2019, 47(11): 38-42.
ZHANG H R, ZHANG D, WU D K, et al. Wood defect image segmentation of based on Markov random fields[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2019, 47(11): 38-42.
- [14] 林启招, 孙永科, 邱坚. 基于YCbCr颜色空间的木材纹理检测技术[J]. 信阳农林学院学报, 2020, 30(3): 100-103, 112.
LIN Q Z, SUN Y K, QIU J. Wood texture figure extraction algorithm based on YCbCr color space[J]. Journal of Xinyang Agriculture and Forestry University, 2020, 30(3): 100-103, 112.
- [15] 王金聪, 宋文龙, 张彭涛. 应用改进分水岭算法对木材表面缺陷图像分割试验[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(10): 93-97.
WANG J C, SONG W L, ZHANG P T. Image segmentation of wood surface defects with improved watershed algorithm[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2018, 46(10): 93-97.
- [16] Jeong I, Lee C. An optimization-based approach to gamma correction parameter estimation for low-light image enhancement[J]. Multimedia Tools and Applications, 2021, 80(12): 18027-18042.
- [17] 白雪冰, 王林. 基于空频变换的木材缺陷图像分割[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(8): 71-74.
BAI X B, WANG L. Image segmentation of wood defects based on space-frequency transformation[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(8): 71-74.
- [18] Funck J W, Zhong Y, Butler D A, et al. Image segmentation algorithms applied to wood defect detection[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2003, 41(1/2/3): 157-179.

- [19] 戴天虹, 吴以. 基于OTSU算法与数学形态学的木材缺陷图像分割[J]. 森林工程, 2014, 30(2): 52-55.
DAI T H, WU Y. Image segmentation of wood defect based OTSU algorithm and mathematical morphology[J]. Forest Engineering, 2014, 30(2): 52-55.
- [20] Rahayu S, Qhomariyah N, Purnama J J, et al. *Swietenia mahagoni* wood defects segmentation using YIQ color space and thresholding[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1641(1): 012071.
- [21] CHANG Z Y, CAO J, ZHANG Y Z. A novel image segmentation approach for wood plate surface defect classification through convex optimization[J]. Journal of Forestry Research, 2018, 29(6): 1789-1795.
- [22] WANG X J, WU S H, LIU Y P. Detecting wood surface defects with fusion algorithm of visual saliency and local threshold segmentation [C]//Proc SPIE 10615, Ninth International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP 2017), 2018, 10615: 529-537.
- [23] LUO W, SUN L P. An improved binarization algorithm of wood image defect segmentation based on non-uniform background[J]. Journal of Forestry Research, 2019, 30(4): 1527-1533.
- [24] Fahrurrozi A, Madenda S, Ernastuti, et al. Wood texture features extraction by using GLCM combined with various edge detection methods[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2016, 725: 012005.
- [25] Wananda P D, Novamizanti L, Atmaja R D. Sistem deteksi cacat kayu dengan metode deteksi tepi SUSAN Dan ekstraksi ciri statistik[J]. ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 2018, 6(1): 140.
- [26] 许景涛. 木材表面缺陷的图像分割方法研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017.
- [27] 郭景秋. 木材表面缺陷的图像分割算法研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015.
- [28] Chan T F, Vese L A. Active contours without edges[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(2): 266-277.
- [29] Jung M, Bresson X, Chan T F, et al. Nonlocal Mumford-Shah regularizers for color image restoration[J]. IEEE Transactions on Image Processing: a Publication of the IEEE Signal Processing Society, 2011, 20(6): 1583-1598.
- [30] 李永军. 基于C-V模型水平集方法的彩色图像分割研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2009.
- [31] 程玉柱, 蔡云飞. 基于分数阶CV模型的木材缺陷图像分割算法[J]. 林业机械与木工设备, 2018, 46(4): 44-47, 51.
CHENG Y Z, CAI Y F. Wood defect image segmentation algorithm based on fractional order CV model[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2018, 46(4): 44-47, 51.
- [32] LI C M, HUANG R, DING Z H, et al. A level set method for image segmentation in the presence of intensity inhomogeneities with application to MRI[J]. IEEE Transactions on Image Processing: a Publication of the IEEE Signal Processing Society, 2011, 20(7): 2007-2016.
- [33] 李润佳. 基于LBF算法的树木图像分割方法的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
- [34] 陈立君. 基于流形支持向量机的木材表面缺陷识别方法的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015.
- [35] 党文静. 图像区域分割算法的研究与应用[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2018.
- [36] 明晓杭. 基于图像特征的木材表面缺陷检测系统设计与研究[D]. 宜昌: 三峡大学, 2019.
- [37] 谢永华, 陈庆为. 木材缺陷的阈值分割算法研究[J]. 森林工程, 2014, 30(2): 38-42.
XIE Y H, CHEN Q W. Study on wood defect image threshold segmentation algorithms[J]. Forest Engineering, 2014, 30(2): 38-42.
- [38] 李伟, 岳德鹏. 基于机器视觉的立木树干边缘检测及边缘直线提取[J]. 林业资源管理, 2018(5): 113-122.
LI W, YUE D P. Edge detection and edge line extraction of standing tree trunk based on machine vision[J]. Forest Resources Management, 2018(5): 113-122.
- [39] 陈炜文. 基于机器视觉木材表面缺陷图像分割研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [40] 邓路娜. CV模型的改进及其在图像分割应用中的研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2019.
- [41] 马锐, 张新东, 杨思渊, 等. 基于改进C-V模型的图像分割方法[J]. 信息通信, 2020, 33(6): 75-77.
MA R, ZHANG X D, YANG S Y, et al. An improved image segmentation method based on C-V model[J]. Information & Communications, 2020, 33(6): 75-77.
- [42] SONG W W, CHEN T Y, GU Z H, et al. Wood materials defects detection using image block percentile color histogram and eigenvector texture feature[C]//Proceedings of the First International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy, Advances in Intelligent Systems Research, 2015: 5.
- [43] 柳青, 孟祥增, 冀翠萍. 图形形状特征提取前的重要工作[J]. 电脑知识与技术(学术交流), 2007, 3(16): 1115-1116.
LIU Q, MENG X Z, JI C P. The important works before abstracting graphics' characteristic of shape[J]. Computer Knowledge and Technology (Academic Exchange), 2007, 3(16): 1115-1116.
- [44] 苑玮琦, 李绍丽, 李德健. 基于子区域变尺度高斯拟合的木材表面缺陷识别[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(4): 879-886.
YUAN W Q, LI S L, LI D J. Wood surface defect recognition based on sub-region zoom Gaussian fitting[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(4): 879-886.
- [45] 赵乾. 基于极限学习机的实木板材缺陷检测算法研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2018.
- [46] DENG Z Y, WANG Y Z, ZHANG H R. Detection method of wood skin defects based on bag-of-words model[C]//RICAI 2020: Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Robotics, Intelligent Control and Artificial Intelligence, 2020: 125-130.
- [47] XIE Y H, WANG J C. Study on the identification of the wood surface defects based on texture features[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2015, 126(19): 2231-2235.
- [48] ZHANG Y X, ZHAO Y Q, LIU Y, et al. Identification of wood defects based on LBP features[C]//Technical Committee on Control Theory, Chinese Association of Automation & Systems Engineering Society of China. Chengdu, 2016: 835-838.
- [49] Rahiddin R N N, Hashim U R, Ismail N H, et al. Classification of wood defect images using local binary pattern variants[J]. International Journal of Advances in Intelligent Informatics, 2020, 6(1): 36.
- [50] 王清涛, 杨洁. 应用改进的灰度共生矩阵识别木材纹理多重特征值[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(3): 191-195.
WANG Q T, YANG J. Application of improved gray symbiosis matrix to identify the multiple characteristic values of wood texture[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(3): 191-195.
- [51] Abdullah N D, Hashim U R, Ahmad S, et al. Analysis of texture features for wood defect classification[J]. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 2020, 9(1): 121-128.
- [52] LI C, ZHANG Y Z, TU W J, et al. Soft measurement of wood defects based on LDA feature fusion and compressed sensor images[J]. Journal of Forestry Research, 2017, 28(6): 1285-1292.
- [53] 徐梓敬, 贾培, 吴楠, 等. GA-SVM在木材缺陷识别中的应用[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(9): 153-156.
XU Z J, JIA P, WU N, et al. Research on wood defect recognition technology based on GA-SVM[J]. Transducer and Microsystem (下转第28页)