

基于阈值分割的单板穿孔缺陷识别算法研究

李应果, 杨 洁*

(西南林业大学 机械与交通学院, 云南 昆明 650224)

摘 要: 单板穿孔缺陷会影响其胶合过程的质量, 是单板分选过程中主要的识别目标。基于图像处理技术的图像分割算法将穿孔缺陷区域与背景区域准确地分开是自动分选的重要前提。本研究提出一种基于阈值分割的单板穿孔缺陷识别方法, 首先基于彩色图像的 RGB 空间将采集的图像转换为灰度图并输出 R 分量灰度图, 采用二维中值滤波处理滤除非线性噪声, 最后采用阈值分割和连通域处理相结合的方法将背景与目标区域分离。结果表明, 遗传算法的最大熵阈值法选取的阈值和试验时间均优于其余 3 种(迭代阈值法、大津阈值法、最大熵阈值法)算法, 结合连通域处理方法可以有效提取单板中的穿孔区域。

关键词: 图像处理; 单板穿孔缺陷; 遗传算法; 阈值分割

中图分类号: S781.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2022)03-0199-06

Recognition Algorithm of Single Plate Perforation Defect Based on Threshold Segmentation

LI Ying-guo, YANG Jie*

(College of Mechanics and Transportation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: The perforation defect of veneer affects the quality of the bonding process and is the main identification target in veneer separation process. An image segmentation algorithm based on image processing technology can accurately separate the perforated defect area from the background area, which is an important prerequisite for automatic sorting. In this paper, a method based on threshold segmentation was proposed to identify the defects of veneer perforation. Firstly, the collected images were converted to grayscale images based on the RGB space of the color images, and the grayscale images of R components were output. Two-dimensional median filter was used to filter the non-linear noise. Finally, a method combining threshold segmentation and connected domain processing was used to separate the background and target region. The experimental results showed that the threshold value and experimental time selected by the maximum entropy threshold method of the genetic algorithm were better than the other three algorithms (iterative threshold method, Otsu threshold method, maximum entropy threshold method) in this study, and the connected domain processing method could effectively extract the perforated region in the veneers.

Key words: picture processing; veneer perforation defect; genetic algorithm; threshold segmentation

胶合板是我国目前产量最大的人造板之一, 它是通过由 PF 树脂或其他性能相当的胶黏剂胶合将旋切单板胶合形成。我国林业产业相对不发达, 旋切单板所需的大径木材供应匮乏^[1]。因此, 针对旋切单板质量的高效分选及高效利用就显得尤为重

要。美国、日本和德国等国家, 已将超声波、射线和微波等无损检测技术^[2]应用于木材检测中。但这些检测手段仍存在一定局限性。比如射线法设备成本较高, 检测工作过程中需要必要的保护措施; 微波法检测木材缺陷及物理性质时受到木材含水率的影响。

收稿日期: 2021-05-12 修回日期: 2021-07-07

基金项目: 国家自然科学基金(51968065); 云南省教育厅重点基金(501001)。

第一作者: 李应果。研究方向: 木材缺陷特征识别。E-mail: 710958663@qq.com

* 通信作者: 杨 洁, 博士, 副教授。研究方向: 木材处理及模式识别。E-mail: 351725623@qq.com

响^[3]。近几年,我国学者也在不断进行木材缺陷检测技术的研究,如基于改进 C-V 模型的木材缺陷彩色图像分割方法^[4];基于 OTSU 算法的木材缺陷图像分割^[5-6];基于空频变换的木材缺陷图像分割^[7];对木材试件进行试验模态分析^[8];基于权重系数的木材图像增强方法等^[9-10]。以上各种缺陷检测方法多是基于原木缺陷特征检测,很难满足单板分选过程的实际生产需求。目前,国内的单板生产过程在针对单板缺陷的识别中主要是通过人眼观察完成,人工识别不仅成本较高而且效率较低,还容易受到人为主观的影响。通过计算机图像处理技术可以提高单板缺陷的识别效率和准确性,该技术的一个重要环节就是如何基于图像处理技术的图像分割算法将穿孔缺陷的区域与背景区域准确地分开^[11]。

现如今,已经存在很多种图像分割方法,这些方法的使用范围和分割效果也各不相同,但是从核心技术上讲,这些方法大致可以划分为以下 3 类:基于边缘的图像分割方法;基于区域的图像分割方法;基于阈值的图像分割方法^[12]。阈值分割方法相比于

其他 2 种方法的优点是计算简单、运算效率较高,常被用于对运算效率要求较高的场合。本研究主要针对基于阈值的图像分割算法在单板缺陷图像分割的研究,通过模拟单板生产过程使用工业摄像机采集含有缺陷的木单板图片,采用 4 种分割阈值方法分离目标与背景区域,通过分割效果、阈值选取和运算速度三个方面评价 4 种方法的优劣,随后采用连通域标记的方法滤除对胶合过程没有影响的穿孔区域,为后续自动分选及自动修补工作提供有力的依据。

1 材料与方法

1.1 流程安排

单板穿孔缺陷的识别流程见图 1。采集图片过程中放置单板实验台模拟实际生产中木单板输送带底色为绿色(即穿孔缺陷区域显示为绿色),对采集的样本图像基于彩色图像的 RGB 空间分离输出第 1 个分量的灰度图。采用二维中值滤波方法去除非线性噪声;采用 4 种分割阈值方法做图像分割对比试验,将目标与背景区域分离。

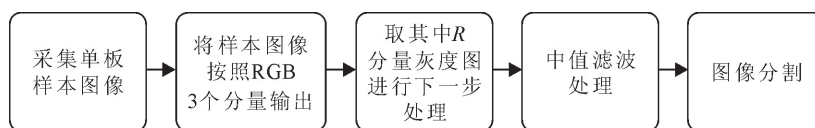


图 1 试验总体流程安排

Fig. 1 The overall process arrangement

1.2 单板图像采集

采用深圳云朗科技有限公司生产的型号为 MOKOSE UC30 的 CMOS 工业相机和承谷电子公司生产的型号为 WR63HW LED 环形光源连接 MATLAB2020b 平台实现图像采集。每张单板尺寸为 100 mm×60 mm×2 mm,图像尺寸为 1 920×1 080 像素。计算机使用配置为:64 位 Windows10 操作系统,处理器为 Intel(R)Core(TM)i5-8250U CPU @1.60 GHz 1.80 GHz,安装内存为 4.00 GB,硬盘容量为 1 000 GB。共采集 30 张(虫蛀样本、死节样本、裂口样本各 10 张)含缺陷木单板图像并保存。

1.3 图像预处理和图像分割

样本 3 个分量的灰度图中 R 分量灰度图的穿孔区域与背景区域灰度值差异最大,因此选用 R 分量灰度图进行下一步处理。针对单板加工环境中的灰尘等因素造成的黑点和不规则木质纹理等非线性噪声,对图像采用二维中值滤波的方法降噪^[13],为下一步图像分割处理作准备。

基于阈值的分割是一种求出最优灰度值作为阈值的分割方法。即在一幅图像中根据灰度分布特点先确定 1 个灰度值当做初始阈值,接下来对初始值

进行改进,直至选出最优的阈值,目的是能够有效地把占据不同区域、具有不同特性的目标从背景中分离出来^[14]。具体步骤:获取最优的分割阈值;将最优阈值与图像中的每一个像素灰度值进行比较;将比阈值小的像素设置为背景,比阈值大的像素设置为目标,实现图像二值化。

1.3.1 迭代阈值法 迭代阈值法是通过逼近方法不断用前值推出后值迭代过程。具体操作是预先设置全局均值作为初始阈值,使用该值将图像分成两部分,后续新的阈值为前一步中 2 个部分均值的平均值。不断重复以上步骤直到后续迭代中前后 2 个相邻阈值的差小于 0.5,取后值作为迭代阈值法得到的阈值。

1.3.2 最大类间方差阈值法 最大类间方差阈值法是由日本学者大津在 1979 年提出的,又被称为大津阈值法^[15]。该方法基本思想是一幅图像中档背景与目标区域之间类方差越大,说明构成图像两部分的差别越大。因此,类间方差最大的分割意味着错分概率最小。

设有一幅图像 f , 图像总的像素数为 n , n_q 表示灰度级为 q 的像素个数。灰度范围 $(0, L-1)$, 灰度级为 L 。 p_q 则表示像素级为 q 的像素出现的概率。即

$$p_q = \frac{n_q}{n} \quad q=0,1,2,3,\dots,L-1 \quad (1)$$

大津阈值法选择阈值 k , 使得 2 个集合 C_1 、 C_2 的发生概率 $P_1(k)$ 、 $P_2(k)$ 分别为

$$P_1(k) = \sum_{q=0}^k p_q \quad (2)$$

$$P_2(k) = \sum_{q=k+1}^{L-1} p_q = 1 - P_1(k) \quad (3)$$

其类间方差为:

$$\sigma^2(k) = P_1(k)[m_1 - m_G]^2 + P_2(k)[m_2 - m_G]^2 \quad (4)$$

式中: m_1 为集合 C_1 中的像素的平均值; m_2 为集合 C_2 中的像素的平均值。全局均值 m_G 的表示为

$$m_G = \sum_{q=0}^{L-1} q p_q \quad (5)$$

$\sigma^2(k)$ 为最大值对应的 k 值, 即为图像分割的最佳阈值点。

$$k = \arg \max \{ \sigma^2(k) \}, 0 \leq k \leq L-1 \quad (6)$$

1.3.3 最大熵阈值法 利用图像熵为准则进行图像分割是由 Kapuret 提出来的, 是目前使用较为广泛的一种图像熵分割方法。信息熵表示从信息源中可能获得的信息的大小。给定一个特定的阈值 q ($0 \leq q < L-1$), 对于该阈值所分割的 2 个图像区域 C_0 、 C_1 , 其估算的概率密度函数可表示为

$$C_0: \left(\frac{p(0)}{p_0(q)}, \frac{p(1)}{p_0(q)}, \frac{p(2)}{p_0(q)}, \dots, \frac{p(q)}{p_0(q)}, 0, \dots, 0 \right) \quad (7)$$

$$C_1: \left(0, \dots, 0, \frac{p(q+1)}{p_1(q)}, \frac{p(q+2)}{p_1(q)}, \frac{p(q+3)}{p_1(q)}, \dots, \frac{p(L-1)}{p_1(q)} \right) \quad (8)$$

$$p_0(q) = \sum_{i=1}^q p(i) = p(q) \quad (9)$$

$$p_1(q) = \sum_{i=q+1}^{L-1} p(i) = 1 - p(q) \quad (10)$$

$p_0(q)$ 和 $p_1(q)$ 分别表示的是 q 阈值分割的背景和前景像素的累计概率, 两者之和为 1。设图像大小为 $M \times N$

$$p(i) = \frac{n_i}{M \times N} \quad (11)$$

背景对应的熵表示为

$$H_0(q) = - \sum_{i=1}^q \frac{p(i)}{p_0(q)} \times \log \left(\frac{p(i)}{p_0(q)} \right) \quad (12)$$

前景对应的熵表示为

$$H_1(q) = - \sum_{i=q+1}^{L-1} \frac{p(i)}{p_1(q)} \times \log \left(\frac{p(i)}{p_1(q)} \right) \quad (13)$$

在阈值为 q 的情况下, 图像的总熵表示为

$$H(q) = H_0(q) + H_1(q) \quad (14)$$

图像的熵最大时的灰度值即分割阈值 q 为

$$q = \arg \max H(q) \quad (15)$$

1.3.4 遗传算法的最大熵阈值法 遗传算法 (genetic algorithm) 最早是由美国的 John holland 于 20 世纪 70 年代提出的。其思想是将所求问题每一种可能编码为一个个体, 然后通过多个个体组成群体再通过遗传算子一代代不断地进化, 保留好的个体去除差的个体。最终根据预定的适应度值求得问题的最优解^[16]。

1.3.4.1 采用 8 位二进制编码对个体进行编码, 在 0 到 255 随机生成 20 个的初始种群作为父代个体, 确定适应度函数最大熵函数。采用轮赌式的方法进行选择操作, 设置交叉率为 0.6, 变异概率为 0.03, 最大迭代步数为 100。

1.3.4.2 进行条件判断, 如果当适应度前后值之间差值小于 0.03 或者达到最大迭代次数, 则执行下一步; 否则对群体进行选择、交叉、变异等操作生成新群体, 然后将其作为下一次迭代计算的父代个体种群, 重复以上步骤直到条件符合。

1.3.4.3 采用输出的最高适应值所对应的阈值进行图像分割, 并退出程序 (图 2)。

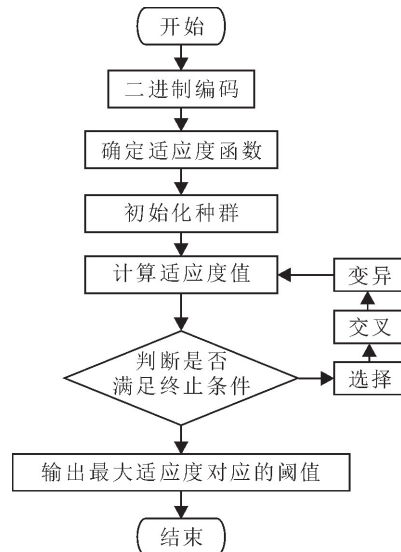


图 2 遗传算法的最大熵阈值分割算法流程

Fig. 2 Maximum entropy threshold segmentation algorithm flow chart of genetic algorithm

1.3.5 连通域处理 图像分割处理后, 图像中还存在一些孤立噪声点和非必须填补的穿孔区域, 如果不滤除这些小目标区域和噪声块, 会导致后期修补工序增加不必要的工作量。因此可以通过连通域分析法对这些小面积穿孔区域和噪声块进行滤除处理。二值连通域是指由图像中具有相同像素值且位置按照某种联通方式相邻的像素点所构成的集合区域。通常连通域标准可以分为 2 种 (图 3)。一种是 4 连通域, 指的是位于坐标 (x, y) 处的像素点 P 有 4 个水平和垂直 (即上、下、左、右) 的相邻像素; 另一种是 8 连通域, 指的是一个像素点和在其所有相邻位置的像

素点(即除了 4 连通所包含的 4 个像素外还包含 4 个对角位置的相邻像素)所组成的区域。

2 结果与分析

根据现行国家原木缺陷标准,木材缺陷分为节子、裂纹、干形缺陷、木材结构缺陷、真菌造成的缺陷、伤害 6 类^[17]。单板常见穿孔缺陷一般为径木中虫蛀、死节和单板整理环节外力损坏造成的裂口。本研究主要区分在机器视觉条件下单板的非穿孔类缺陷和穿孔类缺陷。选用有代表性的虫蛀、活节、死节和裂口缺陷样本与完整样本进行试验。所有图像

采集、图像预处理、图像分割、连通域处理等步骤均通过 MATLAB R2020b 环境下编程实现(本文中实际样本尺寸与所有试验图像比例尺为 1 : 6.25)。

2.1 图像采集及预处理

由图 4 可见,分别是 3 种缺陷样本的彩色图(其中绿色区域为模拟生产中输送带颜色)、基于 RGB 空间输出的 R 分量灰度图、二维中值滤波结果图。

在 RGB 彩色空间中, R 分量在缺陷区域贡献度最低(即灰度值最小),与背景区域灰度值差异最大。采用二维中值滤波操作可以滤除图像中的非线性噪声,有利于减少噪声对分割试验的影响。

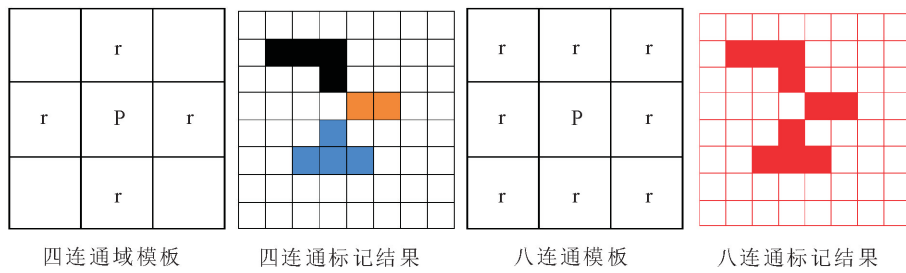


图 3 连通域模板及连通域标记方法

Fig. 3 Connected domain template and connected domain labeling method

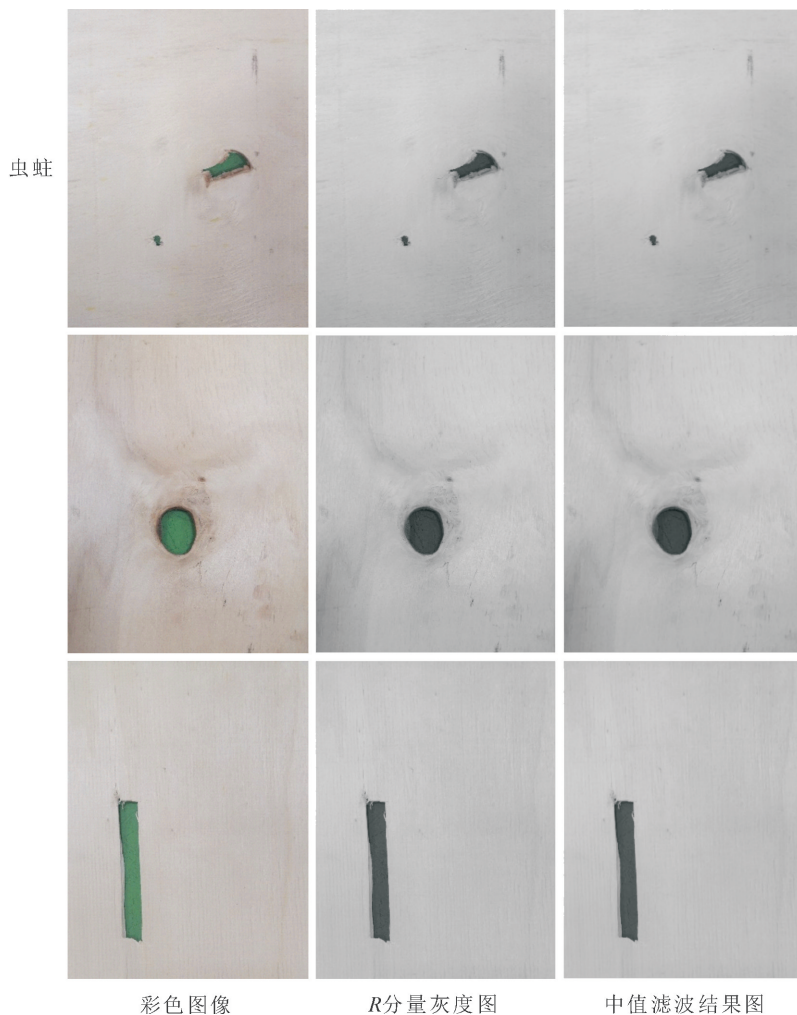


图 4 采集图像及预处理结果

Fig. 4 Acquisition of images and preprocessing results

2.2 图像分割及连通域处理

为了对比上述 4 种阈值分割方法的性能,分别将中值滤波后的 3 种图像缺陷作为样本对上述 4 种阈值分割后的效果图从目标缺陷区域分割的有效性和获取的阈值、运算时间方面进行对比。首先,通过目标缺陷区域分割的有效性来进行对比,分析图 5 可以得出迭代阈值法获取的阈值整体上分割质量也不够理想,特别是在虫蛀图中受背景噪声干扰严重,同时利用迭代阈值分割法提取的缺陷区域与实际缺陷相比存在一定程度的欠分割问题;大津阈值法获取的阈值分割图像虽然能够较好地排除背景区域的干扰,较完整地分割出目标区域,但与迭代阈值法一样,在虫蛀缺陷的提取中较实际缺陷存在一定程度的欠分割问题;最大熵阈值法能够较为完整分割出

目标区域,边缘连贯清晰。但是受到背景噪声影响较大,虽然能做到提取的缺陷区域与实际缺陷区域基本相同,但是在背景中出现多个大面积噪声块,整体分割效果较差;基于遗传算法的最大熵阈值法能够完整将目标缺陷区域从背景中分离出来,不仅能做到提取的缺陷区域与实际缺陷区域基本相同,而且对背景的噪声有较好的抑制作用,在背景中仅出现一些微小的噪声,有很好的分割效果,有利于后期目标缺陷属性的进一步提取,是一种适合本研究的分割方法。同时,由表 1 和图 6 得出引进遗传算法可以提高最大熵阈值分割方法的运算速度,并且能够优化阈值的选取。图 5 和图 7 结果表明采用阈值分割方法结合连通域处理的方法可以进一步滤除背景中的噪声块和过小的穿孔缺陷区域。

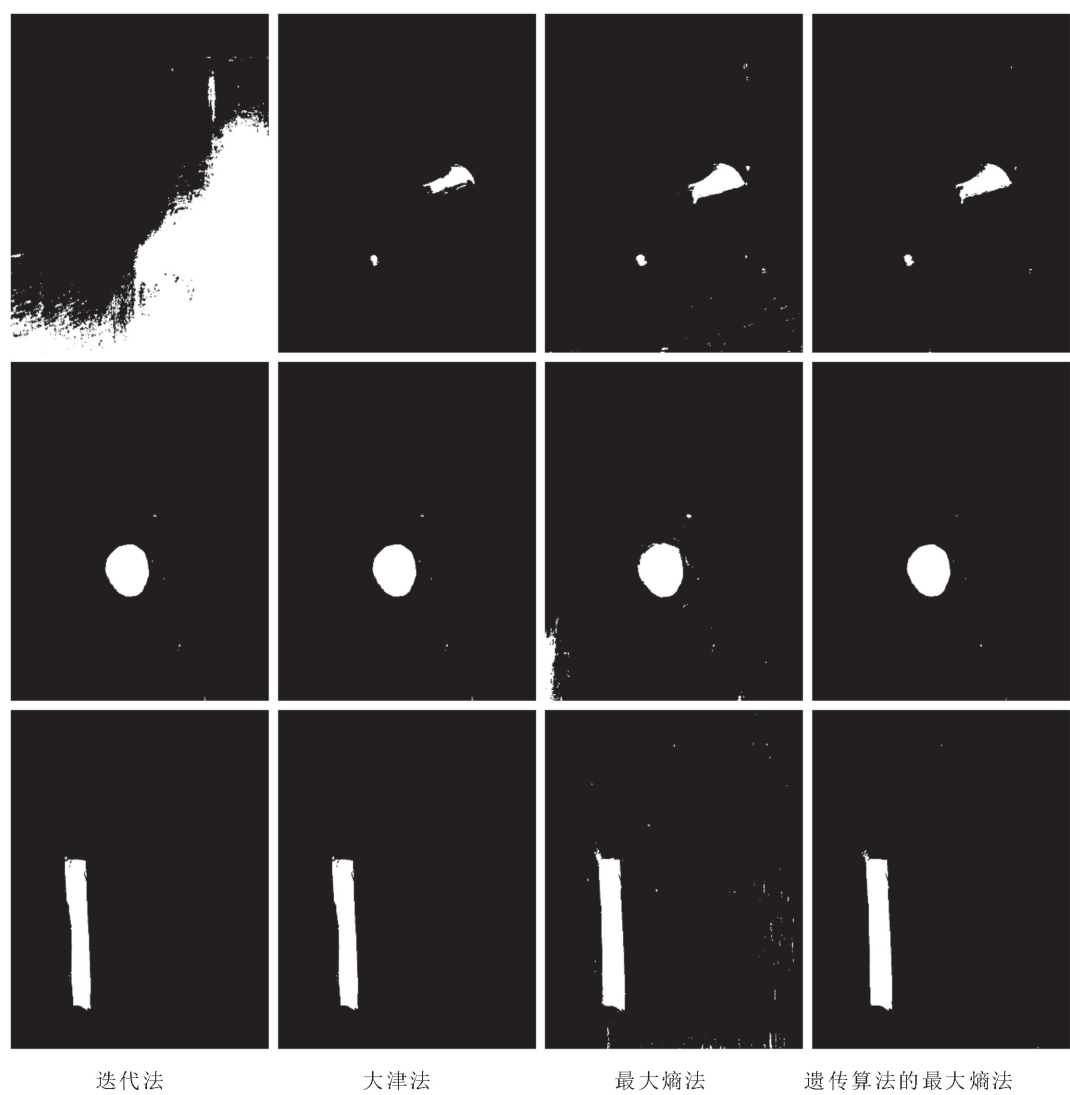


图 5 4 种阈值分割方法结果

Fig. 5 Results of four threshold segmentation methods

3 结论

采集的单板图像基于 RGB 彩色空间转化成灰

度图后,采用迭代阈值法、大津阈值法、最大熵阈值法和基于遗传算法的最大熵阈值法结合 4 种阈值分割算法的试验。结果表明,基于遗传算法的最大熵

表 1 4 种阈值分割法阈值与求取阈值平均时间

Table.1 Threshold values and average operation schedule of the four threshold segmentation methods

缺陷	迭代法		大津法		最大熵法		遗传算法的最大熵法	
	阈值(q)	时间/s	阈值(q)	时间/s	阈值(q)	时间/s	阈值(q)	时间/s
虫蛀	176	0.451	98	0.213	146	0.197	136	0.174
死节	118	0.563	117	0.255	135	0.206	111	0.184
裂口	125	0.531	126	0.235	165	0.198	157	0.181

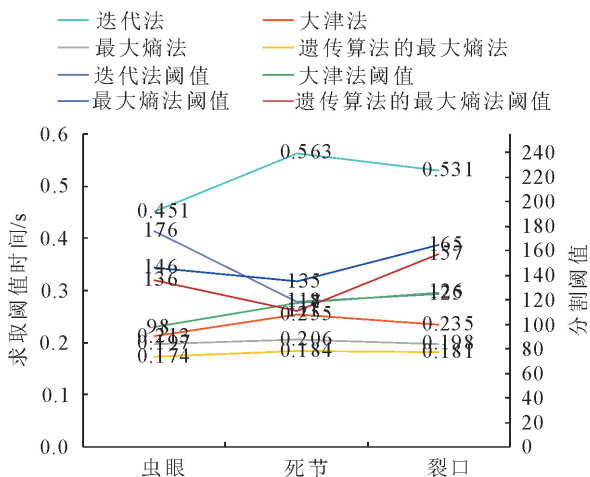


图 6 4 种阈值分割法阈值与求取阈值平均时间折线

Fig. 6 Line diagram of four threshold segmentation methods and the average time to obtain threshold values

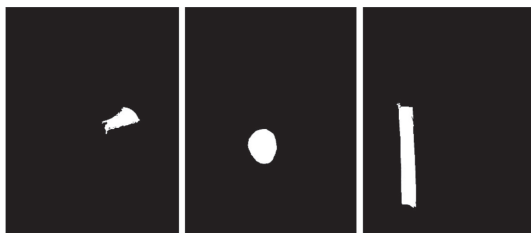


图 7 八连通标记处理结果

Fig. 7 8 connected mark processing result graph

阈值法相比于其他 3 种算法能够更准确地分割出目标区域,对背景噪声的抑制也是四者中最优。对比 4 种分割算法对所有样本处理的平均运行速度,基于遗传算法的最大熵阈值分割算法的平均运行速度优于其他 3 种。综上所述,基于遗传算法的最大熵阈值分割算法在本研究中优于其他 3 种算法,结合八连通域标记处理方法可以进行有效分割的同时滤除小穿孔区域,该方法对于提取单板中各种形状的虫蛀、死节、裂口缺陷有无差别的提取效果,能够为单板自动修补奠定基础。

参考文献:

- [1] 刘清伟,马岩.我国胶合板的发展模式及连续平压与多层压机生产线选型的初步分析[J].林业机械与木工设备,2020,48(4):18-21.
- LIU Q W,MA Y. Preliminary analysis of the development mode of plywood and the selection of production lines of continuous flat press and multilayer press in China[J]. Forestry Machinery &

Woodworking Equipment,2020,48(4):18-21. (in Chinese)

- [2] ROSS R J,BRASHAW B K,PELLERIN R F. Nondestructive evaluation of wood [J]. Forest Products Journal,1998,48(1):14-19.
- [3] 徐凯宏. 压阻式木材内部缺陷类无损检测理论与技术的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2004.
- [4] 王阿川,曹军,于琳瑛. 改进 C-V 模型的木材缺陷彩色图像分割研究[J]. 计算机工程与应用,2012(5):164-167.
- [5] 吴东洋,业宁,徐波,等. 基于 Otsu 算法的木材缺陷图像分割[J]. 计算机与数字工程,2012,40(10):116-118.
- WU D Y,YE N,XU B,et al. Wood defect image segmentation based Otsu[J]. Computer and Digital Engineering,2012,40(10):116-118. (in Chinese)
- [6] 高明宇,倪海明,张博洋,等. 一种基于 GoogLeNet 卷积神经网络的木节缺陷识别方法[J]. 森林工程,2021,37(4):66-70.
- [7] 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 defect based on space frequency transformation[J]. Northeast Forestry University,2010,38(8):71-74. (in Chinese)
- [8] 钟旻良,秦丽丽,刘镇波. 开裂缺陷对木材振动性能的影响[J]. 西北林学院学报,2016,31(5):261-266.
- ZHONG M L,QIN L L,LIU Z B. Influence of crack on vibration properties of wood [J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(5):261-266. (in Chinese)
- [9] 袁云梅,多化琼,马坤. 基于权重系数的木材图像增强及识别[J]. 西北林学院学报,2018,33(2):209-212.
- YUAN Y M,DUO H Q,MA K. Wood image enhancement and recognition based on weight coefficient[J]. Journal of Northwest Forestry University,2018,33(2):209-212. (in Chinese)
- [10] 张博洋,倪海明,胡馨月,等. 基于 U-Net 网络的林木图像分割研究[J]. 森林工程,2021,37(2):67-73.
- [11] 解滕. 基于形态学的单板彩色图像缺陷检测[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2014.
- [12] 周莉莉,姜枫. 图像分割方法综述研究[J]. 计算机应用研究,2017,34(7):1921-1928.
- ZHOU L L,JIANG F. Survey on image segmentation methods[J]. Application Research of Computers,2017,34(7):1921-1928. (in Chinese)
- [13] 张德丰. MATLAB 数字图像处理[M]. 北京:机械工业出版社,2009:190-192.
- [14] 谢鹏鹤. 图像阈值分割算法研究[D]. 湘潭:湘潭大学,2012.
- [15] 姚立平,潘中良. 使用遗传算法和 KSW 熵法相结合的 CT 图像分割[J]. 电视技术,2018,42(11):1-6.
- [16] 中国国家标准化管理委员会. 原木缺陷[S]. 北京:中国标准出版社,2017:12-13.