

## 木材径切面内部缺陷的应力波成像算法

郑泽宇<sup>1,2,3</sup>, 冯海林<sup>1,2,3</sup>, 杜晓晨<sup>1,2</sup>, 方益明<sup>1,2</sup>

(1. 浙江农林大学 信息工程学院, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江农林大学 浙江省林业智能监测与信息技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311300; 3. 浙江农林大学 林业感知技术与智能装备国家林业和草原局重点实验室, 浙江 杭州 311300)

**摘要:** 为了获得木材径切面上的缺陷形状、大小和位置, 提出一种木材径切面内部缺陷成像的方法。首先, 基于应力波在木材径切面上的传播规律, 提出一种木材径切面上的应力波速度修正方法。将应力波速度转换为径切面上的若干个预估点的值, 结合反距离加权插值(IDW)法提出一种速度修正插值(VCI)方法。最后, 使用VCI方法在不同树木样本上进行了木材径切面缺陷的二维成像实验。结果表明: ①VCI方法可以重建木材内部缺陷大小以及缺陷位置, 缺陷成像结果与真实的缺陷情况相吻合。②对比IDW方法的成像结果, VCI方法对缺陷的大小以及缺陷形状、位置的成像结果有较大提高。③利用混淆矩阵方法对VCI与IDW方法进行定量分析表明, VCI方法的平均准确率、平均精确度和平均查全率均高于IDW方法, 说明VCI方法成像效果的可行性和有效性。图6表5参17

**关键词:** 木材学; 应力波; 径切面成像; 缺陷检测; 速度修正插值法

中图分类号: S781.3 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2019)02-0211-08

## A stress wave tomography algorithm for internal defects in radial and longitudinal (RL) planes of wood

ZHENG Zeyu<sup>1,2,3</sup>, FENG Hailin<sup>1,2,3</sup>, DU Xiaochen<sup>1,2</sup>, FANG Yiming<sup>1,2</sup>

(1. School of Information Engineering, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Forestry Intelligent Monitoring and Information Technology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 3. Key Laboratory of Forestry Perception Technology and Intelligent Equipment of National Forestry and Grassland Administration, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** To generate and obtain the shape, size, and position of defects in the radial and longitudinal (RL) planes of wood, this study presented a new method for imaging defects on the RL planes in wood. First, based on the propagation law of stress waves for the RL planes of wood, a modified method of propagating the velocity of stress waves was proposed. Then the propagation velocity of the stress wave was converted into a value at estimated points. Finally, a velocity correction interpolation method (VCI) was proposed to reconstruct any defects in different tree samples. Imaged results were then compared to the inverse distance weighted (IDW) interpolation method and quantitatively analyzed using the method of confusion matrix. Experimental results showed that (1) the proposed method could reconstruct the size of the internal wood defects and their location with imaging results of the defects being basically consistent with real defects. (2) Compared to imaged results from IDW, the proposed method has higher accuracy rate when reconstructing the size, shape, and location of the defect. (3) The quantitative analyses showed that the proposed method improved in average accuracy, average precision, and the average recall. Thus, imaged results of defects with different shapes showed the effectiveness of the proposed method in reconstruction defects in RL planes of wood. [Ch, 6 fig. 5 tab. 17 ref.]

收稿日期: 2018-03-26; 修回日期: 2018-07-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61272313); 浙江省重大科技专项资助项目(2015C03008, 2018C02013)

作者简介: 郑泽宇, 从事木材无损检测研究。E-mail: 404625184@qq.com。通信作者: 冯海林, 教授, 博士, 从事智能信息处理、大数据、物联网等研究。E-mail: hlfeng@zafu.edu.cn

**Key words:** wood science; stress wave; tomography of radial and longitudinal planes; defect detection; velocity correction interpolation (VCI)

木材的内部缺陷会严重影响木材的质量。由于应力波的木材无损检测成本低、携带方便及对木材无损的特性,使得其越来越受到人们的青睐。国内外已开展了应力波速度与木材内部缺陷之间的相关研究。如WANG<sup>[1]</sup>通过应力波在缺陷木材中的传播规律,表明应力波在腐烂或劣化的木材中比在完好的木材中传播速度慢。徐华东等<sup>[2]</sup>以校园内的活立木作为样本,使用应力波检测仪器对校园树木进行二维成像,表明在活立木的断层横截面上,应力波横向的波速要小于径向的波速,且应力波在木材内部的波速受制于木材内部的缺陷情况。国内学者也对应力波无损检测仪器的可行性进行了研究。杨学春等<sup>[3]</sup>利用应力波检测仪器对原木内部腐朽进行了研究,结果表明:应力波测试仪能准确判断不同树种原木内部的腐朽程度,并且能够得到原木内部腐朽基本形状的二维图像。LIN等<sup>[4]</sup>运用应力波断层成像技术,对不同大小的樟树 *Cinnamomum camphora* 人造空洞进行了研究,表明应力波断层成像技术可以反映木材的空洞大小及位置,验证了应力波无损成像技术的可行性。以上研究主要针对应力波传播规律与成像技术的应用领域,但对应力波成像算法的研究不多。FENG等<sup>[5]</sup>提出了一种基于插值的图像重建算法,利用周围点的值估计未知点的速度情况,进而重建树木内部缺陷图像。DU等<sup>[6]</sup>提出了基于椭圆的空间插值以及速度补偿的方法对木材的横截面进行成像,能够准确地判定缺陷位置,并得到了良好的成像效果。国内外对于应力波在树木内部的传播规律做了大量的研究<sup>[8-10]</sup>,但是对于木材径切面传播规律和成像方法研究还比较少。翁翔等<sup>[7]</sup>利用无损检测仪器对木材的径切面进行测量,对应力波横向速度和径向速度的比值进行了回归,得到了应力波在木材径向上的传播速度模型,其结果的拟合度较高。但在木材径切面的缺陷成像方法研究较少。鉴于此,本研究基于应力波在木材径切面中沿直线上传播的假设,提出一种木材径切面内部缺陷的速度修正成像方法。

## 1 应力波木材径切面成像原理

### 1.1 树木径切面模型的建立

木材可以用圆柱体来近似的表示,那么木材的径切面可以被抽象成一个近似的矩形模型,将  $n$  个( $n$ 一般为12)传感器放置于被测树木两侧(传感器1至  $n/2$  位于同一侧)。每个传感器距离地面的高度(或者某一水平高度的距离)分别为( $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$ );  $S_1 \sim S_n$  表示应力波传感器,传感器按照从右向左,呈 U 字形进行放置;  $D$  表示树木直径;  $\theta_{jk}$  为每个传感器两两之间的相对角度。如图1所示:定义一个坐标系表示树木径切面。

令  $S_{n/2+1}$  所在的位置为原点坐标,建立传感器的坐标系。

$$S(X_i, Y_i) = \begin{cases} X_i = D/2, Y_i = H_i - H_{n/2+1}, & 1 \leq i \leq n/2 \\ Y_i = 0, Y_i = H_i - H_{n/2+1}, & n/2+1 \leq i \leq n \end{cases} \quad (1)$$

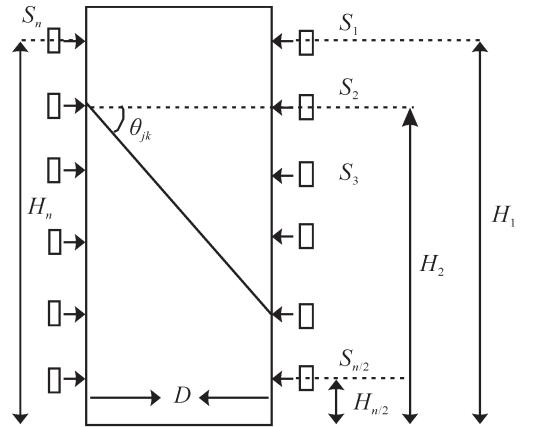


图1 木材径切面模型

Figure 1 Radial and longitudinal plane model of wood

式(1)中:有  $1 \leq i \leq n$ ,  $X_i$  表示传感器位置横坐标,  $Y_i$  表示传感器位置纵坐标。根据每个传感器的位置数据,可得到每个传感器两两之间的相对角度  $\theta_{jk}$  为:

$$\theta_{jk} = \begin{cases} \arctan\left(\frac{H_j - H_k}{D}\right) & H_j > H_k, H_k < H_{n/2+1} \\ \arctan\left(\frac{H_j - H_{(n/2+1)} - (H_k - H_{(n/2+1)})}{D}\right), & H_j > H_k, H_k < H_{n/2+1} \\ \arctan\left(\frac{H_k - H_j}{D}\right) & H_j < H_k \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中:  $1 \leq j \leq n/2$ ,  $n/2+1 \leq k \leq n$ 。

假定应力波在木材中是沿着直线传播的, 通过传感器间的距离和应力波传播的时间计算出传感器间应力波的传播速度<sup>[11]</sup>。

## 1.2 速度修正插值方法

为了预测木材离轴的单轴压缩强度, Hankinson 公式<sup>[12]</sup>给出一种数学模型。当应力波在木材径切面上传播时, 如果传播方向与垂直于木材纹理角方向所成的角度为  $\theta$ , 那么根据 Hankinson 公式可以推出如下公式:

$$V_\theta = \frac{V_l V_r}{V_l \sin^2 \theta + V_r \cos^2 \theta} \quad (3)$$

式(3)中:  $V_l$  表示平行于纹理方向上的应力波传播速度;  $V_r$  表示垂直于纹理方向上的应力波传播速度;  $\theta$  表示传播方向与木材纹理方向所形成的角度;  $V_\theta$  表示在角度为  $\theta$  时应力波在木材径切面上的传播速度。

翁翔等<sup>[7]</sup>通过计算得出:

$$\frac{V_\theta}{V_r} \approx 1 + \frac{V_l - V_r}{V_l} \times \theta^2 \quad (4)$$

式(4)中:  $\frac{V_l - V_r}{V_l}$  是常数。那么如图 2 所示: 假设在空洞木材中有 2 个对应角度  $\alpha$  和  $\beta$  的传播路径  $L_\alpha$  和  $L_\beta$ , 其中有  $\alpha > \beta$ 。 $L_\alpha$  经过缺陷区域, 其速度表示为  $V_\alpha$ 。 $L_\beta$  是经过正常区域的, 其速度表示为  $V_\beta$ 。同时假设在未产生空洞的同一木材中, 有  $L'_\alpha$  经过的是正常的区域, 其速度为  $V'_{\alpha 0}$ 。那么有:

$$V'_{\alpha 0} > V_\beta, \quad V'_{\alpha 0} > V_\alpha \quad (5)$$

根据式(5), 可以得出:

$$\frac{V'_{\alpha 0}}{1 + z \times \alpha^2} \approx \frac{V_\beta}{1 + z \times \beta^2} \approx V_r \quad (6)$$

式(6)中:  $z = \frac{V_l - V_r}{V_l}$ 。由式(5)和式(6)可以得出:

$$\frac{V_\alpha}{1 + z \times \alpha^2} < \frac{V_\beta}{1 + z \times \beta^2} \quad$$

就可以得出速度修正的公式:

$$V_{c(\theta_\alpha)} = \frac{V_{d(\theta_\alpha)}}{1 + z \times \theta_{jk}^2} \quad (7)$$

式(7)中:  $V_{c(\theta_\alpha)}$  表示修正后的速度;  $V_{d(\theta_\alpha)}$  表示为测量得到的应力波传播速度;  $k$  是常数;  $\theta_{jk}$  表示 2 个传感器间与垂直于木材方向纹理所成的角度。

因此经过缺陷区域的  $V_\alpha$  经过速度修正后, 就可以反映出应力波经过缺陷区域速度呈现出降低的现象, 有效地减少了由木材的各向异性<sup>[13]</sup>导致的应力波在木材不同方向上传播速度不一致现象的影响, 为木材内部缺陷成像提供更精确的数据。

将通过传感器之间的线速度  $V_L$  转换成木材径切面上交点的速度  $V_P$ :

$$V_P = \max(V_{L1}, V_{L2}, \dots, V_{Ln}) \quad (8)$$

式(8)中:  $V_{L1}$  至  $V_{Ln}$  分别表示每条经过该交点的应力波传播路径上修正后的线速度;  $(V_{L1}, V_{L2}, \dots, V_{Ln}) \in V_{c(\theta_\alpha)}$ 。

利用速度修正插值法对木材的径切面进行成像。每个已知点都对插值点具有一定影响, 即权重<sup>[14]</sup>。权重随着已知点和插值点之间距离的增加而减弱, 距离插值点越近的已知点的权重越大。而且当已知点在距离插值点一定范围以外时, 权重可以忽略不计。在任一待插值点的值是邻域内已知点权重之和。可以表示为:

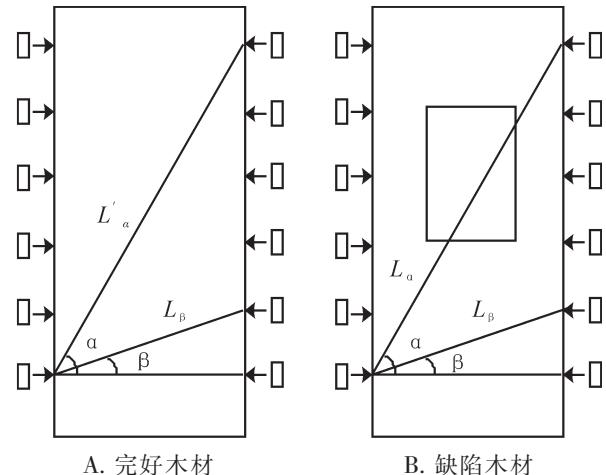


图 2 应力波在不同缺陷程度的木材中传播

Figure 2 Stress waves propagate in wood of different defect degree

$$V_{\text{q}} = \left( \sum_{i=1}^n \frac{\max\left(\frac{V'_{1i}}{1+z \times \theta_{1i}}, \frac{V'_{2i}}{1+z \times \theta_{2i}}, \dots, \frac{V'_{ni}}{1+z \times \theta_{ni}}\right)}{d_i^m} \right) / \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^m} \quad (9)$$

式(9)中:  $V_{\text{q}}$  为待插值点的预估值;  $V'_{li}$  为每条经过该交点的应力波传播路径上未修正的线速度,  $(V'_{1i}, V'_{2i}, \dots, V'_{ni}) \in V_{d(\theta_i)}$ ;  $\theta_{li}$  表示每条经过该交点的应力波传播路径与水平面的所成的夹角,  $(\theta_{1i}, \theta_{2i}, \dots, \theta_{ni}) \in \theta_{jk}$ ;  $d_i$  为第  $i$  个已知点与待插值点的距离;  $n$  表示邻域内参与插值计算的已知点的个数;  $m$  为常数。

成像算法步骤:

步骤 1: 初始化(建立木材径切面的模型, 输入传感器的坐标  $(x, y)$ , 计算传感器间的线速度  $V_{d(\theta_i)}$ ;

步骤 2: 利用式(7)求出修正后的线速度矩阵  $V_{c(\theta_i)}$ ;

步骤 3: 传感器两两连线的交点坐标  $(x_c, y_c)$ , 将邻域内已知属性值的交点的坐标以及每个交点对应的线速度  $V'_{li}$  代入式(8)计算  $V_p$  的属性值;

步骤 4: 通过将已知点的属性值代入式(9), 计算未知点的属性值;

步骤 5: 重复步骤 4, 直到计算出所有径切面上的每个点的属性值。

步骤 6: 将预估点根据属性值的不同进行不同颜色的赋值, 并生成二维图像。

## 2 实验材料与方法

实验用于采集木材应力波数据的仪器是 Fakopp。如图 3 所示: 将传感器分别放置在原木径切面两边, 每边 6 个传感器, 总共 12 个。实验过程中使用检测仪器自带的重锤以相同的力量, 垂直于传感器方向, 对各个传感器分别敲击 3~5 次, 采集总共 36~60 组数据。将数据用于下文的成像中。

本实验样本编号、样本种类、样本周长、样本测量高度等信息如表 1 所示。

对样本的空洞面积测量方法如下: 利用卷尺测量树木空洞的长和宽, 假设样本的长为  $L$ , 宽为  $W$ , 则对于长方形的空洞缺陷面积  $S_R$  计算公式为:

$$S_R = LW \quad (10)$$

假设梯形的空洞, 上底长度为  $A$ , 下底长度为  $B$ , 缺陷的高度为  $H$ , 梯形的空洞的面积  $S_T$  则用公式可以表示为:

$$S_T = \frac{(A+B)H}{2} \quad (11)$$

假设圆形的缺陷孔洞的直径为  $R$ , 那么缺陷的面积  $S_Y$  可以表示为:

$$S_Y = \pi R^2 \quad (12)$$

表 1 实验样本基本信息

Table 1 Experimental sample information

样本编号	样本种类	样本周长/cm	检测区域面积/cm <sup>2</sup>	缺陷面积/cm <sup>2</sup>
1	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	62.83	1 000	111.20
2	泡桐 <i>Paulownia fortunei</i>	73.83	1 175	427.50
3	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	60.95	940	314.15

## 3 结果与分析

### 3.1 速度修正插值法(VCI)与反距离加权插值法(IDW)成像结果对比

从图 4A 可以看出: 缺陷为人工挖掘并且形状为长方形。如图 4B 所示: 未修正的线图将经过缺陷区域的线段表示为黄色, 未正确区分缺陷区域。图 4C 表示的是修正后的线图, 将经过缺陷区域的线段



A. 应力波测量装置 B. 传感器布置

图 3 应力波测量装置与传感器的布置

Figure 3 Stress wave measuring device and sensor arrangement

(如 1 号和 7 号、2 号和 8 号等传感器之间的连线)错误地表示为缺陷颜色红色。从图 4D 可以看出: 使用 IDW 的成像结果, 只能粗略反映缺陷位置, 对于缺陷大小与形状都不能进行准确成像。对比 VCI 的成像结果图 4E, VCI 可以较好还原缺陷位置, 可以看出缺陷的位置是处于第 3 号、5 号与 8 号、10 号传感器之间, 与图 4A 所示的真实缺陷位置基本吻合。但是对于缺陷形状的成像不够准确。

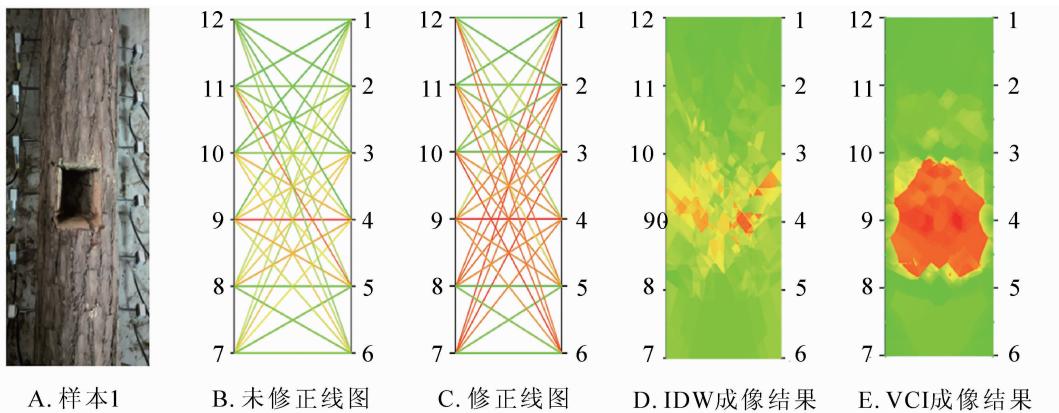


图 4 雪松样本实验结果

Figure 4 Sample experiment results of *Cedrus deodara* sample

从图 5A 可以看出: 样本缺陷位置处于右边 2 号至 5 号传感器的下面 3 cm, 以及左边 11 号传感器至 7 号传感器的下面 3 cm 的位置, 形状为矩形。从未修正线图(图 5B)可以看到: 仅有少部分经过缺陷区域的线段被表示为缺陷的红色, 大部分经过缺陷区域的线段被表示为非缺陷的绿色。修正后的线图(图 5C)较好地区分缺陷区域, 并以不同的颜色进行区分。可以看到 IDW 的成像结果虽然能够还原缺陷的位置(图 5D), 但对缺陷还原的准确度较低, 对缺陷位置和大小的还原参考价值较低。如图 5E 所示: VCI 的成像结果可以较好地反映缺陷位置, 但存在对缺陷区域成像结果比真实结果偏小的情况, 以及对缺陷边缘的重建不够平整, 对于样本的缺陷轮廓可以较好还原, 可以反映样本的缺陷特征。

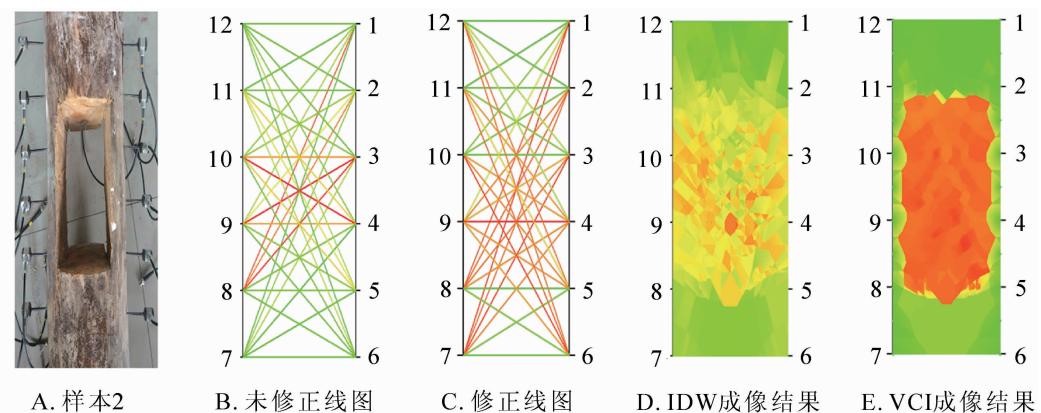


图 5 泡桐样本实验结果

Figure 5 Sample experiment results of *Paulownia fortunei* sample

从图 6A 可以看出: 树木的缺陷位置位于右边的 3 号和 4 号传感器之间, 以及左边的 9 号和 10 号传感器之间。对比图 6B 与图 6C 可以看到: 未修正的线图将经过缺陷区域的线段(如 7 号、1 号传感器线段以及 6 号、12 号传感器线段)错误地表示为经过正常区域的线段, 呈现绿色, 与真实情况不符。而修正后的线图, 能够较好区分缺陷部位。从 IDW 成像结果(图 6D)反映缺陷所处的低速度区域, 但对于缺陷的形状无法正确成像。缺陷成像结果呈现不规则的块状分布, 无法反映样本的缺陷特征。VCI 的成像结果(图 6E)显示: 缺陷形状呈现一个类似圆形的不规则形状, 与真实的缺陷形状较为接近。成像结果表明缺陷位于 3 号、4 号传感器与 9 号、10 号传感器之间, 与图 6A 的真实缺陷位置也基本相同。

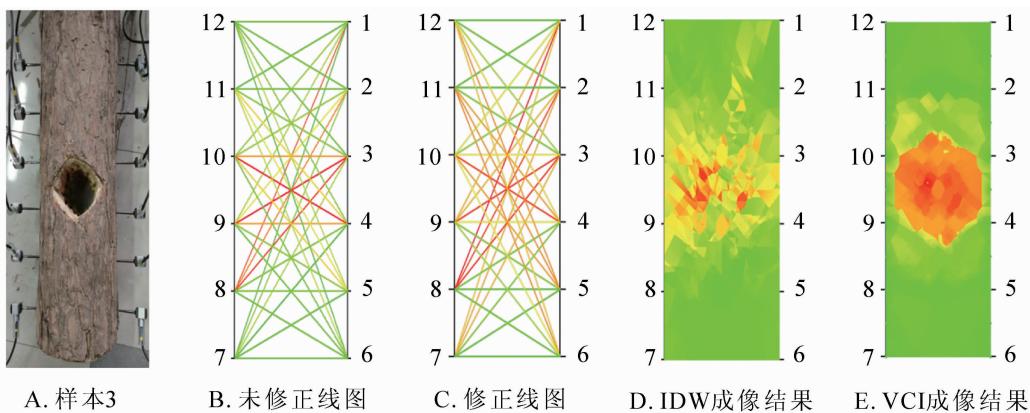


图 6 樟树样本实验结果

Figure 6 Sample experiment results of *Cinnamomum camphora* sample

表 2 缺陷与预测的 4 种组合

Table 2 Four combination of real defects and predict defects

类别	预测缺陷	预测完好
真实缺陷	被正确地预测为缺陷的面积 $C$	被错误地预测为完好的面积 $E$
真实完好	被错误地预测为缺陷的面积 $F$	被正确地预测为完好的面积 $W$

### 3.2 成像结果误差分析

使用混淆矩阵法对成像效果进行定量的误差分析, 混淆矩阵包含由分类系统完成的实际和预测的分类信息<sup>[15]</sup>。FAWCETT<sup>[16]</sup>描述了真、假分类系统中 4 种可能组合(表 2)。

从表 2 的矩阵可以推出的常用度量值<sup>[17]</sup>, 如准确率或者正确率( $A$ ), 精确度( $P$ )和查全率( $R$ )。

$$A = \frac{C+W}{C+E+F+W}; \quad (13)$$

$$P = \frac{C}{C+F}; \quad (14)$$

$$R = \frac{C}{C+E}. \quad (15)$$

式(13)~(15)中: 准确率  $A$  表示对木材状态预测正确的百分比; 精确度  $P$  表示对木材缺陷预测的可靠性水平高低; 查全率  $R$  表示对木材缺陷的预测能力高低;  $C$ ,  $W$ ,  $E$  和  $F$  所代表含义见表 2。

从表 3 可见: 3 个样本的准确率  $A$  为 72.32%~95.85%。使用 VCI 方法的 3 个样本的平均准确率为 93.34%, 使用 IDW 方法的 3 个样本平均准确率为 82.63%。IDW 方法在 1 号、2 号样本中的准确率均大于 85.00%, 其原因应该是 IDW 方法在成像结果中虽然不能很好地反映木材缺陷的特征, 但是对木材完好的部位成像结果较好, 所以得到较高的准确率。而 3 号样本只有 72.32% 的准确率, 对比真实缺陷可以看出: IDW 方法将部分正常木材错误地成像为缺陷木材, 所以导致准确率下降。IDW 和 VCI 的准确度标准差分别为 7.38% 和 2.04%。可见, VCI 在准确率上的标准差较小, 说明 VCI 方法在不同样本中的准确率结果更稳定, 准确率相较于 IDW 方法均有所提高。

从表 4 可见: 3 个样本的精确度  $P$  为 65.79%~88.35%。使用 VCI 方法的 3 个样本的平均精确度为 82.26%, 使用 IDW 方法的 3 个样本平均精确度为 70.19%。VCI 方法中 3 号样本的结果要好于其他样本, 其原因是 3 号样本中的预测缺陷大部分与真实缺陷重合, 且预测缺陷大部分落在真实缺陷上, 所以得到较高的精确度。IDW 和 VCI 方法的精确度标准差分别为 5.00% 和 4.70%。VCI 方法在准确度上

表 3 不同样本的准确率

Table 3 Accuracy of different samples

样本编号	准确率 $A/%$	
	IDW 方法	VCI 方法
1	89.20	95.85
2	86.36	93.30
3	72.32	90.86

表 4 不同样本的精确度

Table 4 Precision of different samples

样本编号	精确度 $P/%$	
	IDW 方法	VCI 方法
1	67.60	76.92
2	77.18	88.35
3	65.79	81.51

的标准差较小, VCI 方法在精确度的稳定性略高于 IDW 方法。同时 VCI 方法在不同样本上的精确度均好于 IDW 方法。

从表 5 可见: 3 个样本的查全率  $R$  为 17.98%~94.03%。使用 VCI 方法的 3 个样本的平均查全率为 92.65%, 使用 IDW 方法的 3 个样本平均查全率为 36.64%。VCI 方法中的查全率高于 IDW 方法。可见, VCI 方法可以较好地反映木材的真实缺陷结果, 且对木材的缺陷位置成像结果更好。在真实缺陷大小不变的情况下, 由于 VCI 方法可以更好地反映木材的缺陷情况, 因此得到了更高的查全率, 与真实的成像结果相吻合。IDW 和 VCI 方法的查全率标准差分别为: 15.59% 和 1.93%。说明 VCI 方法的查全率标准差要远小于 IDW 方法, 在查全率的稳定性上要好于 IDW 方法。

## 4 结论

本研究提出了一种应用于木材无损检测领域的, 基于应力波的木材径切面成像方法。通过与 IDW 的成像效果比较发现: 不论是在定量还是定性方面, VCI 方法对木材径切面的缺陷成像结果都好于 IDW 方法。与真实的缺陷进行对比得到较小的误差, 可以准确反映木材内部的真实缺陷情况, 具有较高的成像精度。利用传感器测量得到的不同应力波数据, 通过对不同缺陷的样本进行实验, 验证了该算法对于木材的径切面成像效果的可行性。利用混淆矩阵对成像结果进行了定量分析发现: VCI 方法的平均准确度为 93.34%, 平均精确度为 82.26%, 平均查全率为 92.65%, 均高于 IDW 方法, 但对于缺陷具体形状的成像结果, 其准确度有待进一步提高。

## 5 参考文献

- [1] WANG Xiping. Acoustic measurements on trees and logs: a review and analysis [J]. *Wood Sci Technol*, 2013, **47**(5): 965 – 975.
- [2] 徐华东, 王立海, 游祥飞, 等. 应力波在旱柳立木内的传播规律分析及其安全评价 [J]. 林业科学, 2010, **46**(8): 145 – 150.
- [3] XU Huadong, WANG Lihai, YOU Xiangfei, et al. Analysis of stress wave propagation in Hankow Willow standing trees and stability assessment [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, **46**(8): 145 – 150.
- [4] 杨学春, 王立海. 红松木材结构缺陷对应力波传播参数的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2005, **33**(1): 30 – 31.
- [5] YANG Xuechun, WANG Lihai. Impacts of structure defaults on propagation parameters of stress wave in wood of Korean pine [J]. *J Northeast For Univ*, 2005, **33**(1): 30 – 31.
- [6] LIN C J, CHANG T T, JUAN M Y, et al. Stress wave tomography for the quantification of artificial hole detection in camphor trees (*Cinnamomum camphora*) [J]. *Taiwan J For Sci*, 2011, **26**(1): 17 – 32.
- [7] FENG Hailin, LI Guanghui, FU Sheng, et al. Tomographic image reconstruction using an interpolation method for tree decay detection [J]. *Bioresources*, 2014, **9**(2): 3248 – 3263.
- [8] DU Xiaochen, LI Saozhi, LI Guanghui, et al. Stress wave tomography of wood internal defects using ellipse-based spatial interpolation and velocity compensation [J]. *Bioresources*, 2015, **10**(3): 3948 – 3962.
- [9] 翁翔, 李光辉, 冯海林, 等. 应力波在树木径切面内的传播速度模型 [J]. 林业科学, 2016, **52**(7): 104 – 112.
- [10] WENG Xiang, LI Guanghui, FENG Hailin, et al. Stress wave propagation velocity model in rl plane of standing trees [J]. *Sci Silv Sin*, 2016, **52**(7): 104 – 112.
- [11] 徐华东, 王立海. 杨木径切面准纵波传播路径追踪及速度变化试验研究 [J]. 声学学报, 2012(1): 62 – 67.
- [12] XU Huadong, WANG Lihai. Experiment study on the propagation path tracing and velocity change of quasi-P wave in the radial section of poplar wood [J]. *Acta Acust*, 2012(1): 62 – 67.
- [13] LI Guanghui, WANG Xiping, FENG Hailin, et al. Analysis of wave velocity patterns in black cherry trees and its effect on internal decay detection [J]. *Comput Electron Agric*, 2014, **104**(2): 32 – 39.
- [14] 冯海林, 李光辉, 方益明, 等. 应力波传播模型及其在木材检测中的应用 [J]. 系统仿真学报, 2010, **22**(6): 1490 – 1493.

表 5 不同样本的查全率

Table 5 Recall rate of different samples

样本编号	查全率 $R/$ %	
	IDW 方法	VCI 方法
1	17.98	89.92
2	56.14	94.03
3	35.80	94.00

- FENG Hailin, LI Guanghui, FANG Yiming, *et al.* Stress wave propagation modeling and application in wood testing [J]. *J Syst Simulation*, 2010, **22**(6): 1490 – 1493.
- [11] LI Li, WANG Xiping, WANG Lihai, *et al.* Acoustic tomography in relation to 2D ultrasonic velocity and hardness mappings [J]. *Wood Sci Technol*, 2012, **46**(1/3): 551 – 561.
- [12] HU Yingcheng, NAKAO T, NAKAI T, *et al.* Dynamic properties of three types of wood-based composites [J]. *J Wood Sci*, 2005, **51**(1): 7 – 12.
- [13] BRANCHERIAU L, ASHKAN G, GALLET P, *et al.* Application of ultrasonic tomography to characterize the mechanical state of standing trees (*Picea abies*) [J]. *J Phys Conf Ser*, 2012, **253**(1): 1 – 13.
- [14] 贾悦, 崔宁博, 魏新平, 等. 基于反距离权重法的长江流域参考作物蒸散量算法适用性评价[J]. 农业工程学报, 2016, **32**(6): 130 – 138.
- JIA Yue, CUI Ningbo, WEI Xinping, *et al.* Applicability evaluation of different algorithms for reference crop evapotranspiration in Yangtze River Basin based on inverse distance weighted method [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2016, **32**(6): 130 – 138.
- [15] SAMMUT C, WEBB G I. *Encyclopedia of Machine Learning* [M]. New York: Springer, 2010.
- [16] FAWCETT T. An introduction to ROC analysis [J]. *Pattern Recogn Lett*, 2006, **27**(8): 861 – 874.
- [17] POWERS D M W. Evaluation: from precision, recall and F-Factor to ROC, informedness, markedness & correlation [J]. *J Mach Learn Technol*, 2011, **2**(1): 37 – 63.

## 浙江农林大学首获国家重点研发计划项目

近日, 农业农村部科技发展中心下发关于国家重点研发计划“主要经济作物优质高产与产业提质增效科技创新”重点专项2018年度项目立项的通知, 浙江农林大学黄坚钦教授主持申报的“特色经济林重要性状形成与调控”获得国家重点研发计划专项资助, 项目总经费4781万元, 实施周期为5 a。这是浙江农林大学首个国家重点研发计划专项。

为突破中国主要经济作物产业发展的关键技术瓶颈, 提高经济作物产量、产品品质和经济效益, 促进农产品有效供给, 促进精准扶贫, 国家科技部专门设计了“主要经济作物优质高产与产业提质增效科技创新”重点专项。黄坚钦教授团队对接该重点专项, 联合了国内30家特色经济林研究领域的高等院校和科研机构共同申报了“特色经济林重要性状形成与调控”项目。该项目主要针对中国特色经济林产量品质等重要经济性状形成及调控等重大基础研究薄弱、优质丰产与提质增效理论和技术创新不足, 直接导致产量不高、品质不稳、栽培适应性差等问题, 将聚焦茶、桑、油茶、核桃、板栗、枣、柿、杏、枸杞、花椒、油橄榄等特色经济林产量品质重要性状形成等关键科学问题, 开展基础应用研究, 为特色经济林高效育种和栽培调控提供理论和技术支撑。

近年来, 浙江农林大学高度重视科学的研究的顶层设计, 引导广大教师聚焦重点领域, 凝练科研主攻方向, 提前谋划、主动设计了一批重大项目。“特色经济林重要性状形成与调控”项目的获批与实施, 有助于推进浙江省重点建设高校、博士点以及国家重点实验室的建设, 对于浙江农林大学提升科技创新水平, 扩大科技影响力都具有重要意义。

(夏国华 张慧玲)