

## 基于傅里叶变换和独立成分分析的木材 显微图像特征提取与识别

方益明<sup>1</sup>, 郑红平<sup>2</sup>, 冯海林<sup>1</sup>

(1. 浙江农林大学 信息工程学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 天目学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 正确识别木材对木材科学和木材产业具有重要意义。提出一种提取木材显微图像特征并进行识别的新方法。首先进行傅里叶变换得到木材显微图像的傅里叶变换功率谱图, 然后进行独立成分分解得到功率谱图的独立基, 所提取的特征就是木材显微图像的功率谱图在独立基上的投影系数, 最后利用支持向量机对待识别图像在独立基上的投影系数进行分类, 实现木材识别。在 200 幅木材显微图像库上进行小样本实验, 取得了较高的识别率。实验结果表明, 该方法具有较大应用潜力。图 4 参 12

**关键词:** 林业工程; 木材显微图像; 快速傅里叶变换; 独立成分分析; 特征提取; 木材识别

**中图分类号:** S781.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-5692(2010)06-0826-05

## Feature extraction and recognition of wood micrograph based on FFT and ICA

FANG Yi-ming<sup>1</sup>, ZHENG Hong-ping<sup>2</sup>, FENG Hai-lin<sup>1</sup>

(1. School of Information Engineering, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China;

2. Tianmu College, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Wood recognition plays an important role in wood science and industry. A new method for wood micrograph feature extraction and wood recognition is proposed. The fast Fourier transform (FFT) is firstly used to get power spectrum of wood micrograph, then the independent component analysis algorithm is performed to extract feature which is the coefficient of wood micrograph projecting to the independent components. Finally the wood can be recognized by classifying the coefficients using support vector machines. A small sample experiment using 200 wood micrographs indicates a high recognition rate and effectiveness of the method. [Ch, 4 fig. 12 ref.]

**Key words:** forest engineering; wood micrograph; fast Fourier transform (FFT); independent component analysis (ICA); feature extraction; wood recognition

每种木材的细胞排列、几何形态等特征都具有区别于其他树种的独立性, 可以通过采集横切面显微图像的特征参数建立数学模型来识别木材。目前, 国内外学者已开展了大量开创性的研究工作<sup>[1-3]</sup>。快速傅里叶变换(fast Fourier transform, FFT)是一种较常用的方法, 它将木材显微图像从空间域转换到频率域, 进行特征提取、分类与识别等。由 FFT 得到的功率谱图具有周期性和平移不变性, 能有效克服图像采集位置不同给木材识别带来的困难。日本学者早就利用傅立叶变换研究了日本针叶材和阔叶材横切面细胞的排列<sup>[4-5]</sup>; 东北林业大学通过构建木材解剖特征 FFT 图谱, 得出对木材横切面解

---

收稿日期: 2010-02-03; 修回日期: 2010-03-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60903144); 浙江省教育厅资助项目(20060687); 浙江省自然科学基金资助项目(Y3080457)

作者简介: 方益明, 讲师, 硕士, 从事计算机视觉、检测技术及智能控制装置等研究。E-mail: 54fym@163.com

剖图像进行特征参数提取、量化细胞排列的方向性和周期性的方法<sup>[6]</sup>; 多化琼等<sup>[7]</sup>利用傅立叶变换分析了垂柳 *Salix babylonica*, 闽楠 *Phoebe bournei* 的细胞排列, 得出其能量角度分布, 为数字化识别木材提供了新依据。独立成分分析(independent component analysis, ICA)是一种基于高阶统计特性的分析方法, 具有较好的局部表征能力, 而且在应用中以非高斯分布为前提, 更符合自然数据的分布, 能更加全面地揭示图像的本质结构<sup>[8-10]</sup>。笔者采用得到广泛应用的 FastICA 算法, 提取木材显微图像 FFT 功率谱图特征, 并结合多类别支持向量机(support vector machine, SVM)实现木材识别。

## 1 木材显微图像的傅里叶变换

令  $f(x, y)$  表示一幅大小为  $M \times N$  的木材显微图像,  $f(x, y)$  的离散傅里叶变换可表示为:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{m} + \frac{vy}{N})}, u = 0, 1, 2, \dots, M-1, v = 0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (1)$$

式(1)中:  $x, y$  是空间域中图像的横坐标和纵坐标;  $F(u, v)$  是频域图像谱, 通常  $F(u, v)$  是 2 个实频率变量  $u$  和  $v$  的复值函数, 频率  $u$  对应于  $x$  轴, 频率  $v$  对应于  $y$  轴。

变换后功率谱为:

$$P(u, v) = R^2(u, v) + I^2(u, v). \quad (2)$$

式(2)中:  $R(u, v), I(u, v)$  分别表示  $F(u, v)$  的实部和虚部。

木材横切面细胞排列具有显著的规律性和周期性, 图像在二维平面上作平移运算, 其功率谱  $P(u, v)$  具有不变性。图 1-a 是将枫香 *Liquidambar formosana* 的显微图像沿上下左右 4 个方向随机平移得到的图像, 图 1-b 是对应的 FFT 功率谱图。

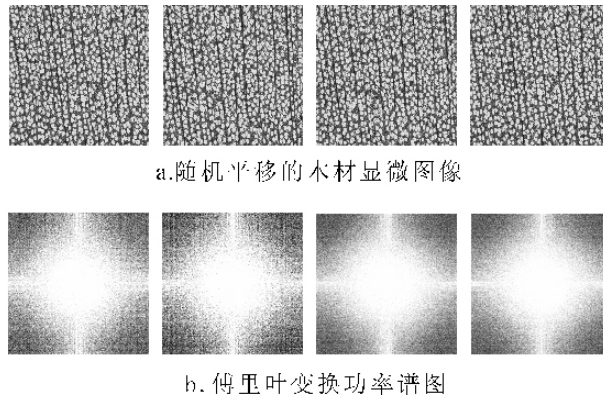


图 1 枫香显微图像的傅里叶变换功率谱图

Figure 1 FFT power spectrum of *Liquidambar formosana* micrograph

## 2 独立成分分析基本理论

设混合信号  $X = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$  是未知的、相互独立的源信号  $S = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_m(t)\}$  ( $m \leq n$ ) 的线性组合, 其模型描述为:

$$\begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \\ \vdots \\ s_m(t) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

式(3)中:  $a_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots$ ) 是未知的模型系数, 用矩阵形式描述为:

$$X = AS. \quad (4)$$

式(4)中:  $A$  是未知的满秩矩阵, 称为混合矩阵。当有  $k$  个采样数据时, 上式可进一步写为:

$$X = AS, X \in R^{m \times k}, S \in R^{n \times k}. \quad (5)$$

ICA 算法就是在  $S$  和  $A$  都未知的情况下, 寻找分离矩阵  $W^T = A^{-1}$ , 并从  $X$  中分离源信号, 使得分离后的信号最大程度独立。其中  $A^{-1}$  为  $A$  的逆矩阵, 即:

$$S = A^{-1}X = W^T X. \quad (6)$$

ICA 实际上是一种优化问题, 即如何使得分离出来的各独立分量尽可能逼近各独立源信号, 它主要包括建立优化判据(目标函数)和探寻优化算法。优化判据的目标函数是对所分离的各分量之间独立程度的度量, 目前常用的判据有基于非高斯性、互信息最小、极大相似估计。笔者采用 FastICA<sup>[11]</sup> 算法计算分离矩阵。该算法又称为快速不动点算法, 是一种快速的寻优迭代算法, 能同时从多路输入信号中分离出高斯源和亚高斯源。该算法所依据的判断是负熵最大化, 具有非常快的收敛速度。

选取柏木 *Cupressus funebris*, 檫木 *Sassafras tzumu*, 大叶冬青 *Ilex latifolia* 和大叶锥 *Castanopsis megaphylla* 等 4 种木材的显微图像作为源信号(图 2-a), 图 2-b 是它们的混合图像, 其混合矩阵为在  $(0, 1)$  范围内随机产生的  $4 \times 4$  矩阵:

$$\begin{pmatrix} 0.783 3 & 0.794 2 & 0.415 4 & 0.768 0 \\ 0.680 8 & 0.059 2 & 0.305 0 & 0.970 8 \\ 0.461 1 & 0.602 9 & 0.874 4 & 0.990 1 \\ 0.567 8 & 0.050 3 & 0.015 0 & 0.788 9 \end{pmatrix}.$$

分离结果见图 2-c。

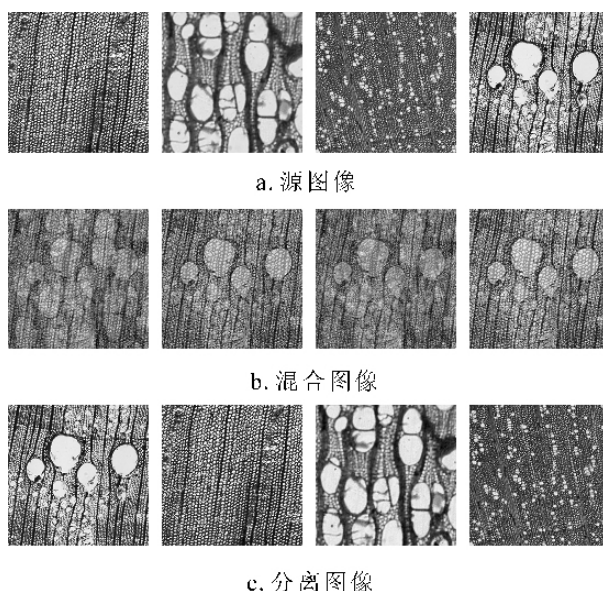


图 2 FastICA 算法测试结果

Figure 2 Performance of FastICA algorithm

### 3 基于 FFT-ICA 的木材显微图像识别方法

目前绝大多数 ICA 算法都是针对一维信号处理的, 为了将 ICA 用于木材显微图像识别, 首先将二维图像( $K$  行,  $L$  列)按行堆叠成  $N = K \times L$  维的行向量  $x_i$ ,  $x_i \in R^N$ , 则  $M$  幅图像构成一个  $M$  行  $N$  列的矩阵  $N = [x_1^T, x_2^T, \dots, x_M^T]^T$ 。假设这  $M$  幅图像也是由  $M$  幅统计独立的基图像线性组合而成的, 即:  $X = AS$ , 其中  $S$  的每一行都代表一幅大小为  $K \times L$  的基图像,  $A$  为混合矩阵, 用 FastICA 求出分离矩阵  $W$ , 使得输出  $Y = WX$  的行向量尽可能地相互独立, 即  $Y$  为  $S$  的近似。

由  $Y$  可以构成一个子空间, 将待识别图像投影到这个空间, 即用这组独立的基图像的线性组合来表示, 设  $f$  为待识别图像(列向量), 则有:

$$f = \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i \quad (7)$$

式(7)中： $\alpha_i$ 称为 $f$ 在基向量 $y_i$ 方向上的投影系数，根据这个投影系数就可以设计适当的分类器实现图像识别。经上述处理，将原来的 $K \times L$ 维的图像降到了 $M$ 维，实现了特征提取的功能，接着对降维后的图像进行分类。具体算法如下：第1步，将图库中的木材显微图像进行滤波，消除噪声干扰，然后将其归一化成 $K \times L$ 大小的图像；第2步，对归一化后的图像进行FFT变换，得到其FFT功率谱图；第3步，随机选取一定数量的FFT功率谱图作为训练样本，用上述的FastICA算法进行分解，产生一定数量的特征向量，并由此向量构成一子空间；第4步，将所有的木材显微图像FFT功率谱图投影到上述子空间中，并以投影系数代替原图像，实现特征提取；第5步，利用多类别支持向量机<sup>[12]</sup>对投影系数进行训练和识别。

### 4 实验结果

选择 20 种木材，在各种木材的不同切片位置采集 10 幅 256 灰度级、 $128 \times 128$  的显微图像，共 200 幅。图 3 所示为部分木材显微图像。为了验证算法性能，每种木材随机选择 5 幅作为训练样本，5 幅作为测试样本。

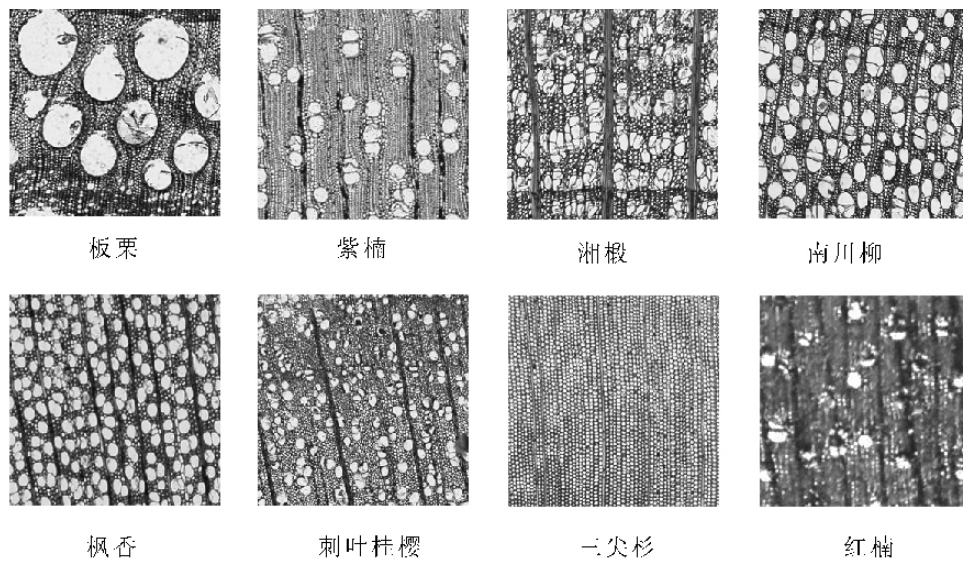


图 3 部分实验样本

Figure 3 Partial samples used in experiments

分类器中选择径向基内积函数作为核函数  $K(x, y) = \exp\left\{-\frac{|x-y|^2}{2\sigma^2}\right\}$ ，其中  $\sigma = 1$ 。实验结果如图 4 所示。

由图 4 可以看出，对于训练样本的平均识别率达到 100%，对未经过训练的测试样本，平均识别率也达到了 96% 左右。这说明笔者设计的木材识别方法具有较高识别率。随着参加识别的木材种类的变化，识别率出现小幅波动，但中心值基本保持不变。

### 5 结论

由实验结果可以看出，由独立成分分析(ICA)方法提取的快速傅里叶变换 (FFT)功率谱图特征具有较强描述能力，

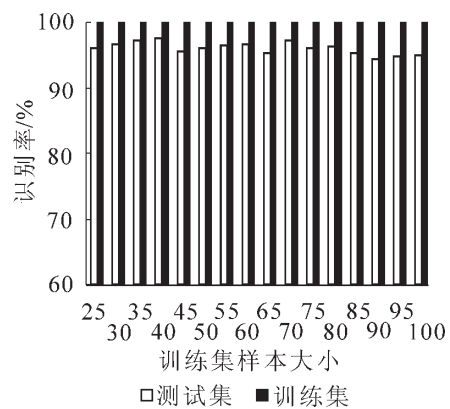


图 4 实验结果

Figure 4 Experiment results

结合分类能力强的多类别支持向量机,能有效识别木材种类。该方法的不足之处在于添加样本后,需要对样本集重新进行训练。进一步的研究工作将围绕显微图像预处理、大样本空间识别、独立基选择等方面展开。

#### 参考文献:

- [1] 汪杭军, 张广群, 祁亨年, 等. 木材识别方法研究综述[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26** (6): 896 - 902.  
WANG Hangjun, ZHANG Guangqun, QI Hengnian, *et al.* A review of research on wood recognition technology [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26** (6): 896 - 902.
- [2] 任洪娥, 徐海涛. 细胞特征参数计算机的提取理论[J]. 林业科学, 2007, **43** (9): 68 - 73.  
REN Hong'e, XU Haitao. The characteristic parameter extraction of cell in board assortment recognition technology [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, **43** (9): 68 - 73.
- [3] 刘镇波. 木材显微图像特征参数提取与树种判别方法研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.  
LIU Zhenbo. *The Research on the Extraction of Wood Micrograph Parameters and the Method of Wood Recognition* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2004.
- [4] DIAO X M, FURUNO T, UEHARA T. Analysis of cell arrangement in soft woods using two-dimensional fast Fourier transformation [J]. *Mokuzishi*, 1996, **42** (7): 634 - 641.
- [5] FUJITA M, OHYAMA M, SAIKI H. Characterization of vessel distribution by Fourier transform image analysis, recent fast fourier transforms [J]. *Wood Anat*, 1995, **34** (2): 36 - 44.
- [6] 李坚. 木材波谱学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 202 - 232.
- [7] 多化琼, 王喜明. 利用傅立叶变换研究阔叶材纤维细胞排列利用傅立叶变换研究阔叶材纤维细胞排列[J]. 西北林学院学报, 2009, **24** (2): 121 - 123.  
DUO Huaqiong, WANG Ximing. Analysis of cell arrangements in hardwood by Fourier transform [J]. *J Northwest For Univ*, 2009, **24** (2): 121 - 123.
- [8] 孔锐, 施泽生, 郭立, 等. 独立分量分析在图像特征提取中的应用[J]. 模式识别与人工智能, 2004, **17** (1): 114 - 118.  
KONG Rui, SHI Zesheng, GUO Li, *et al.* Application of independent component analysis in image features extracting [J]. *Pattern Recognition & Artif Intell*, 2004, **17** (1): 114 - 118.
- [9] 宦若虹, 杨汝良. 基于ICA和SVM的SAR图像特征提取与目标识别[J]. 计算机工程, 2008, **34** (13): 24 - 25, 28.  
HUAN Ruohong, YANG Ruliang. SAR Images feature extraction and target recognition based on ICA and SVM [J]. *Comput Eng*, 2008, **34** (13): 24 - 25, 28.
- [10] 丁佩律, 梅剑锋, 张立明, 等. 基于独立分量分析的人脸自动识别方法研究[J]. 红外与毫米波学报, 2001, **20** (5): 361 - 364.  
DING Peilu, MEI Jianfeng, ZHANG Liming, *et al.* Research of automatic face recognition on based on ICA [J]. *J Infrared Millim Wave*, 2001, **20** (5): 361 - 364.
- [11] HYVARINEN A, OJA E. A fast fixed-point algorithm for independent component analysis [J]. *Neural Comput*, 1997, **9** (7): 1483 - 1492.
- [12] 万九卿, 李行善. 基于串行支持向量分类器的模拟电路故障诊断[J]. 北京航空航天大学学报, 2003, **29** (9): 789 - 792.  
WAN Jiuling, LI Xingshan. Analog circuits fault diagnose based on serial support vector multi-classifier [J]. *J Beijing Univ Aeron Astronaut*, 2003, **29** (9): 789 - 792.