

## 木材识别方法研究综述

汪杭军, 张广群, 祁亨年, 李文珠

(浙江林学院 信息工程学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:**介绍了人工知识、对分检索和穿孔卡片检索等3种传统木材识别方法和数据库检索识别方法。指出基于计算机视觉的木材识别方法的优点,它将成为木材识别的一种趋势。根据识别过程将该方法按照给定木材的类型、识别的特征和分类器等3种方式进行分类,并给出了每种类型详细的分类和当前研究的进展。最后,对今后木材识别研究在语义特征提取、语义特征与纹理特征的结合、树种指纹挖掘、无切片识别和设备研制等5个方面提出了自己的看法。图1参40

**关键词:**林业工程;木材识别;传统识别方法;综述;计算机视觉;图像特征;分类器

中图分类号: S781.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2009)06-0896-07

## A review of research on wood recognition technology

WANG Hang-jun, ZHANG Guang-qun, QI Heng-nian, LI Wen-zhu

(School of Information Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Three traditional methods and database searching method of wood recognition were introduced. Then the advantages of the method of wood recognition based on computer vision were pointed out. According to the recognition process, this method was divided into three styles: type, feature and classifier. Finally, five aspects for future research in the semantic features extraction, combination of semantic features and texture features, tree species fingerprint search, non-slicing recognition and equipment development to identify were put forward. [Ch, 1 fig. 40 ref.]

**Key words:** forest engineering; wood recognition; traditional identification methods; review; computer vision; image features; classifier

木材识别主要是以木材构造特征为依据,对木材的树种进行识别。树种不同,木材的构造就不一样,材质有差异,因而用途也就不同。由于树木种类繁多,正确地识别木材的树种就显得特别重要,主要表现在:①根据各种木材具有的不同化学、物理和力学性质,按其材质特性,充分合理地使用木材资源;②使木材在流通中做到真材实料按质论价,这对于木材家具、家装产业的健康发展意义重大;③使木材进出口管理中防止非法木材交易和交易欺诈行为;④对考古和历史研究也具有重要意义,通过木材识别可以了解当时林木树种的生长、分布及利用情况,人们掌握材性和选材、用材的科学性等情况。正是由于这些原因,国内外很多学者都在木材的识别方法上进行了大量的研究。木材识别经历了从手工到计算机辅助识别的发展过程。随着图像处理和人工智能技术的不断发展,智能计算机辅助木材识别方法将是今后研究的重点。借助该方法,人们就能够在计算机的帮助下轻松完成以往只有专家才能完成的木材正确识别任务。

---

收稿日期: 2008-10-13; 修回日期: 2009-05-05

基金项目: 浙江省科学技术重点计划项目(2008C21087); 浙江省自然科学基金资助项目(Y3080457, Y3090061);  
浙江省林业科研成果推广项目(07A14)

作者简介: 汪杭军, 副教授, 从事模式识别和计算机视觉等研究。E-mail: whj@zjfc.edu.cn

## 1 传统木材识别方法

### 1.1 人工知识识别法

早期的材种识别方法主要靠人工经验和知识, 主要根据宏观特征和微观特征, 通过观察、比较和分析逐步鉴定识别木材。因此, 木材识别的准确性完全依赖于识别人所掌握木材树种知识, 对一些不熟悉的、稀少珍贵树种很容易出现不能识别或误判的情况。单纯凭经验识别木材, 是处于感性阶段的识别方式。在该阶段, 研究的主要目的是不断积累和丰富不同树种的各种特征, 找出有别于其他树种的识别特征。

### 1.2 对分式检索表

对分式检索表是按照木材特征的主次, 以相互排斥为条件, 成对对列。应用时根据木材的特征, 选择适合的一组特征, 直到识别出树种为止<sup>[1]</sup>。这种方法的优点是检索表收藏方便, 花费低廉, 在树种不多的情况下十分适用。但检索表的编制却十分费劲, 树种愈多, 困难愈大; 修改特征和增减树种都需作很大的改动; 检索时必须按既定程序和顺序逐项检索。这些缺点限制了对分式检索表在实际木材识别中的应用。

### 1.3 穿孔卡片检索表

穿孔卡片检索表在 1938 年由 Clark 首先采用, 它借鉴了传统图书馆的检索方法, 把木材全部特征分配在每个穿孔卡片的孔洞里, 每个树种制作一张卡片, 在每个树种所具有的特征位置上将其圆孔剪成“V”字型缺口。应用时通过钢针穿卡片上相应特征的圆孔, 逐次淘汰。最后几张时, 再与定名的木材切面对照, 确保鉴定结果的可靠性<sup>[2]</sup>。这种方法克服了对分法的诸多缺点, 早期在各国得到了普遍的采用。但是, 随着木材种类的大量增加, 卡片的厚度也不断增加, 人工穿孔检索已不能适应识别的需要。

## 2 数据库检索木材识别方法

对分式检索表和穿孔卡片检索法一定程度解决了依靠个人经验进行树种识别的问题, 但是通过手工查阅和使用检索表效率低下, 而且检索表容易破损。随着计算机的出现, 特别是数据库技术的广泛应用, 人们将木材树种名称及构造特征等数据存储在计算机中, 开发出木材识别计算机检索系统。它具有处理信息快, 运行效率高, 综合功能强等特点。

最早关于用计算机进行木材检索的报道是 1980 年 Miller 的 Program IDENT4。1981 年世界木材解剖学家协会 (IAWA, International Association of Wood Anatomists) 发表了适用于计算机识别的阔叶树材的标准特征表后, 各国纷纷开始了利用微机识别木材的工作, 其中以美国、澳大利亚、日本、德国等研究较多<sup>[3]</sup>。中国计算机检索识别木材的研究始于 1983 年, 张齐生利用 Z-80 微机进行阔叶树木材的检索。之后西北林学院、安徽农业大学、广西大学、东北林业大学、浙江林学院等单位学者也开发了不同数据库和树种的查询检索系统<sup>[4-5]</sup>。

由于计算机检索时输入的特征需要操作者凭印象进行主观的描述, 从而使得这种识别方法仍具有很大的主观性, 需要用户对木材构造特征的清晰认识, 这也限制了数据库识别方法的应用范围。

## 3 基于计算机视觉的识别方法

基于计算机视觉的识别方法是对木材图像、应用数字图像处理和模式识别技术, 自动进行识别树种的方法。这种方法克服了传统识别和检索识别方法按照人的主观描述特征的缺点, 它具有客观、准确、高效的特点, 因此, 它将成为木材识别的一种趋势。基于计算机视觉的识别方法的过程如图 1 所示。木材通过图像获取设备转换成原始的木材图像, 这一过程是数据获取阶段。图像预处理是去除噪声和复原退化, 使原始图像适合于计算机进行特征提取, 它包括图像转换、增强、恢复等操作。特征提取是从图像中提取可以反映不同木材本质的特征, 根据这些特征参数, 按照一定的规则进行分类决策, 把识别对象归为某一类别。

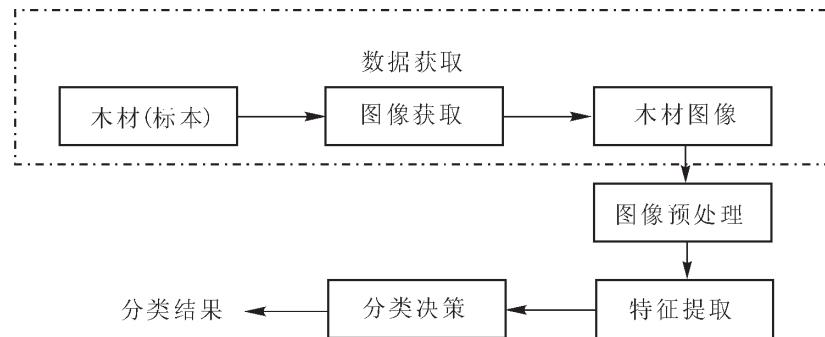


图1 图像识别方法的过程

Figure 1 Proceeding of recognizing image

随着数字图像处理、人工智能和模式识别等技术研究的深入，基于计算机视觉的识别技术得到了充分的发展，它已经广泛应用于文字识别、人脸识别和指纹识别等方面<sup>[6-8]</sup>。很多学者也结合木材学领域的特点，将这些方法和技术应用于木材识别上。这些方法可以按照给定木材的类型、识别的特征和分类器3种方式进行分类。

### 3.1 按照木材(标本)类型分类

人工识别木材可以通过宏观和微观2种方式观察木材，根据其相应的解剖特征来判定树种。类似地，基于图像的计算机木材识别是根据木材数据获取的对象不同，也分为基于宏观木材纹理和基于微观显微结构2种方法。祁亨年等<sup>[9]</sup>、管雪梅<sup>[10]</sup>、王秀华<sup>[11]</sup>、刘镇波<sup>[12]</sup>等是通过木材微观显微结构进行识别研究，而王克奇等<sup>[13]</sup>、白雪冰等<sup>[14]</sup>、于海鹏等<sup>[15]</sup>、任洪娥等<sup>[16]</sup>则是通过宏观纹理进行木材识别的研究。

### 3.2 按照识别特征分类

根据木材的识别特征可以分为语义特征和通用图像特征2类，它们的区别在于特征是否具有木材学意义(人们对木材客观属性的认识)。

**3.2.1 语义特征** 语义特征包括木材的各种不同组织细胞，如导管(管孔)、木射线和树脂道等。国外在20世纪80年代开始使用图像处理技术研究这些语义特征。McMillin<sup>[17]</sup>在1982年测量了木材细胞率、纤维长度、细胞腔面积和径向细胞腔直径。Ilic等<sup>[18]</sup>在1983年对细胞管腔面积及不同细胞类型所占面积比例等特征进行量化分析。Diao等<sup>[19-20]</sup>于1995年检测了针叶材横断面细胞排列及形状的周期性，测量了细胞的径弦向直径和径弦壁角度，并在1999年对针叶材横切面上的管胞形态学指标进行量化测定。Fujita等<sup>[21]</sup>在1995年分析了阔叶材横切面的导管分布。Kino等<sup>[22]</sup>在2004年测定了木材细胞壁厚度。任洪娥等<sup>[23]</sup>2007年利用链码技术提取针叶材细胞的边界轮廓信息，量化的参数有细胞周长、个数、面积、圆形度和重心等。王秀华<sup>[11]</sup>和刘镇波<sup>[12]</sup>基于东北林业大学木材学实验室购买的TDY-5.2彩色图像计算机分析软件包针对针叶材和阔叶材研究了细胞几何量参数(包括面积、周长、径向直径、弦向直径及细胞壁厚度和壁腔比等)，细胞形态量参数(包括圆度、椭圆度、矩形度和轮廓复杂度)，树脂道，木材组织比量参数(不同种类细胞的组织占木材体积百分比)、胞壁率(木材中所有细胞壁物质的总体积与木材总体积的百分比值)，构造分子分布密度(主要有管孔分布密度与木射线分布密度)。管雪梅<sup>[10]</sup>应用各种梯度算子和几何变型模型讨论了针叶材细胞分割问题。黄慧<sup>[4]</sup>采用数学形态学分割法研究了阔叶材中的管孔(形态因子、组织比量、尺寸因子、密度分布)，弦切面上木射线特征。李桂英<sup>[24]</sup>使用基于主动轮廓模型对细胞的形态进行分割处理，参数有：轮廓复杂度、延伸率、胞壁率、椭圆度、矩形度、圆形因子、径向直径、弦向直径、周长和面积等。祁亨年等<sup>[9]</sup>研究了阔叶材的导管特征。此外，日本学者如前川知之、藤田稔等也作了相关的研究<sup>[11]</sup>。

**3.2.2 通用图像特征** 通用图像特征是将木材图像看作一种纹理，因此也称作纹理特征，通过纹理分析中纹理特征提取研究木材识别。常用的纹理特征提取方法有：①结构法。利用纹理基元及其排列规律，从结构组成上探索其纹理规律<sup>[25]</sup>。这种方法应用于木材识别还未见报道。②统计法。它是纹理研

究最多最早的一类方法。统计分析方法通过统计图像的空间频率、边界频率以及空间灰度依赖关系等来分析纹理，代表性方法有灰度共生矩阵法、行程长度矩阵法等。③模型法。提供一个模型表达空间上相关随机变量之间的作用关系，代表性方法有分形、小波、马尔可夫随机场等。

王秀华<sup>[11]</sup>、刘镇波<sup>[12]</sup>采用空间灰度共生矩阵方法提取木材横切面显微图像的纹理特征参数，分析了纹理变化特征。于海鹏等<sup>[15,26]</sup>运用空间灰度共生矩阵、灰度行程长度矩阵分析了木材纹理像素灰度的二阶统计特性，得出能够表征纹理粗细均匀度、纹理对比度、纹理周期密度、纹理明度、纹理基元大小、纹理行程和灰度分布均匀性的特征参数。谢永华<sup>[27]</sup>将不变矩用到木材纹理的计算机视觉研究，提取木材纹理的不变矩参数，并以此参数对木材纹理进行了分类研究。白雪冰等<sup>[14]</sup>和王克奇等<sup>[28]</sup>也采用灰度共生矩阵，从 15 个特征参数中选用了 6 个。实验表明，生成灰度共生矩阵的最佳像素间距为 4，角二阶矩、相关和熵值最大的方向为纹理方向。

于海鹏等<sup>[26,29-30]</sup>基于木材纹理的分形特征计算了木材纹理的分形维数，并以之表征纹理的粗糙度和复杂度；使用快速傅里叶变换功率谱法和小波法分析了木材纹理的分频分尺度特性，提取出对应不同尺度、不同频率和不同纹理方向的小波能量分布和小波能量分布比重两类参数；同时在 2007 年根据木材纹理灰度变动的规律，基于 MATLAB 数学形态函数对木材纹理形状进行探测，然后应用 Radon 变换进行纹理方向检测，并对纹理周期、宽度及间距进行了检测。王克奇等<sup>[31]</sup>2006 年通过计算木材纹理图像样本的分形维数值对木材纹理按其粗糙程度进行大致分类，此方法可定性作为描述木材纹理粗糙度的一种度量。王晗等<sup>[32]</sup>2006 年将高斯-马尔可夫随机场引入木材纹理的研究，提取二阶和五阶 GMRF (Gaussian Markov random fields) 参数。结果表明二阶特征参数可以判断纹理的主方向，并能够区分开木材的弦切和径切纹理。于海鹏等<sup>[33]</sup>2005 年介绍了代表性的纹理算法，包括自相关函数、灰度共生矩阵、行程长度统计、快速傅里叶变换功率谱函数、小波、分形、自回归模型、Radon 函数变换等，并给出了它们之间的相互关系和算法的优缺点。

### 3.3 按照分类器分类

模式识别中的分类问题是根据待识别的对象所呈现的观察值，将它们分到某个类别中去。在  $n$  维特征空间已经确定的前提下，分类器是选择一个准则和方法，将已确定的  $n$  维特征空间划分成决策域。典型的分类器有：模板匹配、判别函数、神经网络和基于规则推理法等。

王秀华<sup>[11]</sup>、刘镇波<sup>[12]</sup>和于海鹏等<sup>[26,34]</sup>使用 11 项空间灰度共生矩阵特征参数，以最大相似原理建立基于图像特征参数的计算机树种识别匹配算法，该算法通过比较待识别树种与已知树种之间的相似系数来实现的。其中运用了最小差值参数判别法、树种综合特征闭值法、综合加权相似法等 3 种方式进行相似系数的计算。王克奇等<sup>[13]</sup>以颜色作为树种识别的特征量，用自组织竞争神经网络进行分类。谢永华<sup>[27]</sup>以不变矩参数作为输入，采用最近邻分类器，获得了较高的分类正确率。白雪冰等<sup>[14]</sup>和王晗等<sup>[35]</sup>以 6 个灰度共生矩阵特征参数，在 4 个方向的均值组成特征向量为输入，用竞争神经网络进行分类，达到了较好的效果。王晗等<sup>[32]</sup>将高斯-马尔可夫随机场五阶特征参数组成的特征向量输入给 BP (back propagation) 神经网络分类器，其分类识别率约为 85%。

## 4 总结与展望

从上面介绍的木材识别方法中可以看到，虽然基于计算机视觉的木材识别研究起步较晚，但是这种方法已经成为木材识别技术的研究热点，它的最大优点是能够消除人工因素的干扰，而且不依赖于人的经验，这使得木材识别的结果更加客观公正、准确可靠。我们认为，该方法的研究将在木材识别特征的选择和获取的质量、分类器的适用性、识别的实时性等方面进行扩展，并在以下几个方面展开：①更多语义特征的提取算法研究。目前的研究主要集中在横切面的导管特征，对于其他如木射线、轴向薄壁组织等重要语义特征(并且在弦切面和径切面上)研究较少，而这些特征对于传统手段的识别却具有相当重要的意义。②图像语义特征如细胞形态和图像纹理特征均具有不同程度的分类和识别能力，现有研究未将两类特征相结合进行木材识别，两者结合可从视觉感观和语义 2 个方面综合区分木材，可充分利用两者在分类和识别方面的互补性。③类似于人的生物认证，指纹、虹膜甚至掌

形、步态都可以确定一个人的身份<sup>[36]</sup>，如果有一个木材特征或特征组合可以唯一确定树种或在一个木材类别，我们称这样的特征为“树种指纹”。发现树种指纹对于木材识别科学来说将是一个重大突破，也使得这种木材识别的方法更加具有实用性。④无切片制作的木材识别技术研究。通过木材细胞模型的建立，对端面细胞实体检测图像的数字特征参数进行匹配的识别。马岩<sup>[37]</sup>和任洪娥等<sup>[38]</sup>对此已经开展研究，并取得了一些成效。⑤满足工业化需求的木材识别设备研究。工业化的木材识别需要无损、快速、方便和准确。上面第4点就是为了达到无损的要求，而第3点是为了到达准确的要求。快速和方便要求我们研制专用的木材识别设备，满足识别的实时性和携带方便的要求。郭继峰等<sup>[39]</sup>和付金霞等<sup>[40]</sup>通过嵌入式技术和数字信号处理(DSP, digital signal processing)技术作了相应地研究。

### 参考文献：

- [1] 成俊卿. 木材学[M]. 北京：中国林业出版社，1985.
- [2] 罗建举. 木材识别与鉴定[EB/OL]. 2007-04-01[2008-3-15]. [http://210.36.18.48/gxujingpin/mcx/mcxwlkc/kcol/chapter3\\_1\\_ch.html](http://210.36.18.48/gxujingpin/mcx/mcxwlkc/kcol/chapter3_1_ch.html).
- [3] 柯病凡, 江泽慧, 张述银, 等. 中国主要商品木材微机识别的研究 [J]. 安徽农业大学学报, 1990, **17** (2): 79 - 91.  
KE Bingfan, JIANG Zehui, ZHANG Shuyin. A study on the computerized identification of important commercial timbers for China [J]. *J Anhui Agric Univ*, 1990, **17** (2): 79 - 91.
- [4] 黄慧. 基于木材组织构造的数字图像处理系统研究[D]. 南京：南京林业大学，2006.  
HUANG Hui. *A Digital Image Processing System Based on Wood Tissue*[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2006.
- [5] 李文珠, 沈哲红, 张文标, 等. 浙江省主要用材树种数据库系统设计与实现[J]. 浙江林学院学报, 2004, **21** (3): 324 - 327.  
LI Wenzhu, SHEN Zhehong, ZHANG Wenbiao, et al. Design and realization of database system of main timber tree species in Zhejiang [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2004, **21** (3): 324 - 327.
- [6] TRIER Φ D, JAIN A K, TAXT T. Feature extraction methods for character recognition-a survey [J]. *Pattern Recognition*, 1996, **29** (4): 641 - 662.
- [7] ARIIZUMI R, KANEDA S, HAGA H. Energy saving of TV by face detection[C]// FILLIA M, LYNNE B. *Proceedings of the 1st International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. Petra: ACM Press, 2008: 282, 95.
- [8] BESBES F, TRICHLI H, SOLAIMAN B. Multimodal biometric system based on fingerprint identification and iris recognition [C]// SOLAIMAN B, ENST B. *Proceedings of the 3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications*. Damascus: IEEE Press, 2008: 1 - 5.
- [9] QI Hengnian, CHEN Fengnong, MA Lingfei. Pore feature segmentation based on mathematical morphology [C]// REN C L. *Proceedings of the 33rd Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Taipei: IEEE Press, 2007: 2474 - 2477.
- [10] 管雪梅. 基于计算机视觉技术的木材细胞图像分割的研究[D]. 哈尔滨：东北林业大学，2006.  
GUAN Xuemei. *Research on the Wood Cell Image Segmentation Based on Computer Vision* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2006.
- [11] 王秀华. 木材横切面构造特征计算机视觉分析与树种分类识别研究[D]. 哈尔滨：东北林业大学，2005.  
WANG Xiuhua. *Analysis of Wood Transverse Section Microstructure Based on Computer Vision and Research on Species Identification* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2005.
- [12] 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.
- [13] 王克奇, 王业琴, 白雪冰, 等. 板材图像识别中颜色特征参数的提取[J]. 东北林业大学学报, 2006, **34** (3): 104 - 105.  
WANG Keqi, WANG Yeqin, BAI Xuebing, et al. Acquisition of color feature parameters of wood image identification [J]. *J Northeast For Univ*, 2006, **34** (3): 104 - 105.

- [14] 白雪冰, 王克奇, 王辉. 基于灰度共生矩阵的木材纹理分类方法的研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, **37** (12): 1667 – 1670.  
BAI Xuebing, WANG Keqi, WANG Hui. Research on the classification of wood texture based on gray level co-occurrence matrix [J]. *J Harbin Inst Technol*, 2005, **37** (12): 1667 – 1670.
- [15] 于海鹏, 刘一星, 张斌, 等. 应用空间灰度共生矩阵定量分析木材表面纹理特征[J]. 林业科学, 2004, **40** (6): 121 – 129.  
YU Haipeng, LIU Yixing, ZHANG Bin, et al. Application of spatial gray level cooccurrence matrix in wood surface texture quantitative analysis [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40** (6): 121 – 129.
- [16] 任洪娥, 关明山, 马岩. 板材的纹理识别初探[J]. 木材加工机械, 2004, **15** (6): 5 – 8.  
REN Hong'e, GUAN Mingshan, MA Yan. Distinguish grain of board initial research [J]. *Wood Process Mach*, 2004, **15** (6): 5 – 8.
- [17] MCMILLIN C W. Application of automatic image analysis toward science [J]. *Wood Sci*, 1982, **14** (3): 97 – 105.
- [18] ILIC J, HILLIS W E. Video image processor for wood automical quantification [J]. *Holzforschung*, 1983, **37** (1): 47 – 50.
- [19] DIAO X M, FURUNO T, UEHARA T. Analysis of cell arrangement in softwood by image processing using two dimensional fast fouriwe transforms [J]. *Mokuzai Gakkaishi*, 1996, **42** (7): 634 – 641.
- [20] DIAO X M, FURUNO T, FUJITA M. Digital image analysis of cross-sectional tracheid shapes in Japanese softwoods using the circularity index and aspect ratio [J]. *J Wood Sci*, 1999, **45** (2): 98 – 105.
- [21] FUJITA M, OHYAMA M, SAIKI H. Characterization of vessel distribution by fourier transform image analysis, recent fast fourier transforms[J]. *Wood Anatomy*, 1995, **34** (2): 36 – 44.
- [22] KINO M, ISHIDA Y J, DOI M, et al. Experimental conditions for quantitative image snalysis of wood cell structure (III) Precise measurements of wall thickness [J]. *J Japan Wood Res Soci*, 2004, **50** (1): 1 – 9.
- [23] 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.
- [24] 李桂英. 木材细胞图像特征提取及图像数据库的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2005.  
LI Guiying. *Research of Wood Cell Image Feature Extraction and Image Databases* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2005.
- [25] AYALA G, DOMINGO J. Spatial size distributions: applications to shape and texture analysis [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001, **23** (12): 1430 – 1442.
- [26] 于海鹏. 基于数字图像处理学的木材纹理定量化研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2005.  
YU Haipeng. *Quantitation of Wood Texture by Digital Image Processing* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2005.
- [27] 谢永华. 基于不变矩特征木材纹理的研究[J]. 林业机械与木工设备, 2006, **34** (6): 29 – 30.  
XIE Yonghua. The research of wood texture based on invariant moments [J]. *For Mach & Woodwork Equip*, 2006, **34** (6): 29 – 30.
- [28] 王克奇, 陈立君, 王辉, 等. 基于空间灰度共生矩阵的木材纹理特征提取[J]. 森林工程, 2006, **22** (1): 24 – 26.  
WANG Keqi, CHEN Lijun, WANG Hui, et al. The extraction of wood texture features based on spatial GLCM [J]. *For Eng*, 2006, **22** (1): 24 – 26.
- [29] 于海鹏, 刘一星, 孙建平. 基于小波的木材纹理分频信息提取与分析[J]. 林业科学, 2005, **41** (2): 100 – 105.  
YU Haipeng, LIU Yixing, SUN Jianping. Separated frequency features extraction and analysis of wood texture based on wavelet [J]. *Sci Silv Sin*, 2005, **41** (2): 100 – 105.
- [30] 于海鹏, 刘一星, 刘镇波. 应用数字图像处理技术实现木材纹理特征检测[J]. 计算机应用研究, 2007, **24** (4): 173 – 175.  
YU Haipeng, LIU Yixing, LIU Zhenbo. Digital image processing in detecting wood textural features[J]. *Appl Res Comput*, 2007, **24** (4): 173 – 175.
- [31] 王克奇, 谢永华, 陈立君. 基于分形理论的木材纹理特征研究[J]. 林业机械与木工设备, 2006, **33** (7): 19 – 20.  
WANG Keqi, XIE Yonghua, CHEN Lijun. A study on the wood texture character based on fractal theory [J]. *For Mach & Woodwork Equip*, 2005, **33** (7): 19 – 20.

- [32] 王晗, 白雪冰, 王辉. 基于高斯-马尔可夫随机场木材纹理特征的研究[J]. 林业机械与木工设备, 2006, **34** (11): 25 - 27.  
WANG Han, BAI Xuebing, WANG Hui. The research on wood texture feature based on GMRF [J]. *For Mach & Wood-work Equip*, 2006, **34** (11): 25 - 27.
- [33] 于海鹏, 刘一星, 刘镇波. 木材纹理的量化算法探究[J]. 福建林学院学报, 2005, **25** (2): 157 - 162.  
YU Haipeng, LIU Yixing, LIU Zhenbo. Some idea and algorithms about quantification of wood texture [J]. *J Fujian Coll For*, 2005, **25** (2): 157 - 162.
- [34] 于海鹏, 刘一星, 刘镇波. 基于图像纹理特征的木材树种识别[J]. 林业科学, 2007, **43** (4): 77 - 83.  
YU Haipeng, LIU Yixing, LIU Zhenbo. Wood species retrieval on base of image textural features [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, **43** (4): 77 - 83.
- [35] 王晗, 白雪冰, 王辉. 基于灰度共生矩阵木材纹理分类识别的研究[J]. 森林工程, 2007, **23** (1): 32 - 36.  
WANG Han, BAI Xuebing, WANG Hui. Wood texture classification and recognition based on spatial GLCM [J]. *For Eng*, 2007, **23** (1): 32 - 36.
- [36] 卢官明, 李海波, 刘莉. 生物特征识别综述[J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2007, **27** (1): 81 - 88.  
LU Guanming, LI Haibo, LIU Li. A survey on biometrics [J]. *J Nanjing Univ Posts Telecommun Nat Sci*, 2007, **27** (1): 81 - 88.
- [37] 马岩. 木材横断面六棱规则细胞数学描述理论研究[J]. 生物数学学报, 2002, **17** (1): 64 - 68.  
MA Yan. Research on mathematical model of wood horizontal section hexagon standard cell [J]. *J Biomathem*, 2002, **17** (1): 64 - 68.
- [38] 高洁, 任洪娥, 马岩. 基于细胞数字特征的板材材种识别技术[J]. 林业机械与木工设备, 2006, **34** (1): 39 - 41.  
GAO Jie, REN Hong'e, MA Yan. The technique on distinguishing wood base on the digital characteristic of cell [J]. *For Mach & Woodwork Equip*, 2006, **34** (1): 39 - 41.
- [39] 郭继峰, 任洪娥. 基于嵌入式技术的板材材种识别系统平台设计[J]. 林业机械与木工设备, 2007, **35** (10): 39 - 40.  
GUO Jifeng, REN Hong'e. Embedded technology based recognition platform design for wood species [J]. *For Mach & Wood-work Equip*, 2007, **35** (10): 39 - 40.
- [40] 付金霞, 苏健民, 刘嘉新. 数字信号处理器(DSP)在树种识别系统图像处理中的应用[J]. 木材加工机械, 2006, **17** (6): 26 - 27.  
FU Jinxia, SU Jianmin, LIU Jiaxin. The application of DSP in the image processing of wood recognition system [J]. *Wood Process Mach*, 2006, **17** (6): 26 - 27.