

实木智能化 在线检测与分选

张怡卓 李超 曹军/著



科学出版社

实木智能化在线检测与分选

张怡卓 李 超 曹 军 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书系统地阐述了实木智能化在线检测与分选的技术方法,包括实木板材图像的获取、运动图像的预处理、缺陷和纹理的特征提取与分类器设计等。全书共 11 章,第 1 章是绪论,介绍研究背景和研究现状;第 2 章介绍板材图像预处理,是实木图像研究的前期准备;第 3~6 章介绍实木表面缺陷识别与分类方法;第 7~10 章介绍实木表面纹理识别与分类方法;第 11 章介绍板材表面多目标柔性分选技术。

本书可供高等院校模式识别与智能系统、控制科学与工程、电气工程及其自动化等相关专业的本科生、研究生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

实木智能化在线检测与分选/张治卓,李超,曹军著. —北京:科学出版社, 2015.7

ISBN 978-7-03-044580-3

I. ①实… II. ①张… ②李… ③曹… III. ①板材分选装置 IV. ①TG333.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 124844 号

责任编辑:姜 红 张 震/责任校对:鲁 素

责任印制:赵 博/封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 7 月第 一 版 开本:720 × 1000 1/16

2015 年 7 月第一次印刷 印张:15 1/2

字数:310 000

定价:96.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

木材因其具有的声学、光学特性和加工方便的优点被广泛应用于各个行业，如铁路、交通、建筑、化工、纺织、造纸、军事和宇航等，同时制造各种工具、农具、家具、工艺品、乐器等也都离不开木材。我们可以根据各种木材具有的化学、物理和力学性质对其进行识别，按其质量特性确定其用途，使木材在流通中做到真材实料、按质论价，充分合理地使用木材资源。

实木板材以物美价廉、环保耐用等优势获得了广阔的市场前景，然而其表面的缺陷与纹理严重影响了板材质量和等级。传统的以人工目测为主要手段的板材表面缺陷识别和纹理等级分选方法生产成本低、效率低，已经无法满足现代化生产的需求。实木智能化的在线检测与识别，自提出以来就得到了业界的密切关注，近年来应用图像处理解决缺陷与纹理识别的问题得到了空前的发展，为实木板材检测和等级分选提供了新的思路和方法。该技术可以在不损坏木材的前提下实现表面缺陷检测与纹理分类，拥有非常广阔的研究和应用价值。

本书以实木板材表面的缺陷和纹理为主要研究对象，结合作者的研究成果，在深入研究计算机视觉技术、图像处理算法、模式识别理论、人工智能理论的基础上，考虑到实木板材图像的特征及特点，根据应用中出现的不同问题，提出了相关的检测识别算法。在缺陷分割及识别方面，本书提出了采用梯度算子与 Otsu 阈值分割、形态学分割、区域生长与禁忌搜索方法，总结了 4 类 25 个特征（包括几何特征、区域特征、纹理特征以及不变矩特征），并研究了线性鉴别分析（linear discriminant analysis, LDA）算法等特征融合算法；在纹理识别方面，研究了灰度共生矩阵、Tamura 视觉特征、小波变换、曲波变换、双树复小波等纹理特征，提出相应的特征优选算法，如遗传算法、粒子群算法等；在分类器的选择和分析方面，详细介绍了自组织特征映射（self-organizing map, SOM）神经网络、误差反向传播（back propagation, BP）神经网络、压缩感知（compressed sensing, CS）、模糊分类器、支持向量机（support vector machine, SVM）等的具体应用。本书旨在帮助读者透彻理解和掌握实木板材在线检测与分选方法的基本原理和框架，了解图像处理技术和智能化算法在实木板材检测与分选领域中的应用，为进一步深入研究打下基础。

本书详细总结近年来的研究工作，提出的改进算法能够在提高检测识别准确率的同时，降低运算时间。这些新方法为智能检测分选系统提供了多种选择，解

决了智能化在线分选系统中亟待解决的问题，为实木智能化在线检测与分选系统提供了详尽的理论依据，同时为图像处理领域提供了一些有价值的参考。本书共 11 章，主要分为四部分。第一部分是第 1 章和第 2 章：实木在线检测与分选基本知识介绍和实木图像预处理，是全书的铺垫。第二部分是第 3~6 章：实木表面缺陷识别与分类方法介绍。第三部分是第 7~10 章：实木表面纹理识别与分类方法介绍。第四部分是第 11 章：介绍柔性分选技术以及缺陷与纹理协同分选算法。第 1~4 章为李超撰写，第 5~11 章为张怡卓撰写，曹军教授负责全书的章节设计及统稿。

本书的研究工作得到了国家林业局 948 项目（项目编号：2011-4-04）和国家林业公益性行业科研专项项目（项目编号：201304510）的资助，以及其他横向研究课题的支持，特此向支持和关心作者研究工作的所有单位及个人表示衷心的感谢。书中部分内容参考了国内外相关领域的文献和书籍，在此一并致谢。由于本书介绍的是前沿算法在实木检测领域中的应用，这给撰写本书增加了难度。同时作者水平有限，不妥之处在所难免，希望广大读者不吝赐教。

作 者

2014 年 12 月于哈尔滨

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 实木在线检测与分选的研究背景和意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 实木检测的概述	3
1.2.1 研究对象	3
1.2.2 实木板材检测的主要研究手段	5
1.2.3 基于图像处理的板材检测发展历程	7
1.3 国内外研究现状	7
1.3.1 国外研究现状	7
1.3.2 国内研究现状	8
1.4 本书的主要研究内容与结构	9
1.4.1 主要研究内容	9
1.4.2 本书结构	11
1.5 本章小结	12
第 2 章 板材图像预处理	13
2.1 图像灰度化	13
2.2 图像增强	15
2.2.1 直方图均衡化	15
2.2.2 图像灰度变换	16
2.3 图像平滑	18
2.3.1 邻域平均法	18
2.3.2 中值滤波法	19
2.3.3 图像平滑算法选择	20
2.4 图像锐化	21
2.4.1 微分锐化算法	21
2.4.2 拉氏锐化算法	22
2.4.3 Sobel 锐化算法	23

2.4.4 图像锐化及边缘检测实验	23
2.5 板材原始图像的剪切与预处理	25
2.6 本章小结	28
第3章 基于阈值融合的缺陷分割方法	29
3.1 基于灰度阈值的图像分割的原理	29
3.1.1 图像灰度阈值	29
3.1.2 传统的全局阈值处理算法	30
3.1.3 Otsu 阈值分割	31
3.2 板材图像的梯度分割基本原理	34
3.3 梯度算子与 Otsu 阈值分割	39
3.4 本章小结	42
第4章 基于形态学的板材缺陷分割与 SOM 分类	43
4.1 数学形态学的原理	43
4.1.1 数学形态学的基本概念	43
4.1.2 二值形态学基本操作	43
4.1.3 形态学重构	45
4.2 基于 R 分量的形态学分割方法	46
4.2.1 R 分量提取	46
4.2.2 数学形态学分割步骤	47
4.3 缺陷特征提取与分类器设计	48
4.3.1 缺陷特征表达及选取	48
4.3.2 特征提取步骤	52
4.3.3 基于 SOM 神经网络的缺陷分类	52
4.3.4 基于 BP-SOM 的缺陷分类	56
4.4 实验结果与分析	61
4.4.1 形态学分割结果	61
4.4.2 特征提取	62
4.4.3 SOM 神经网络设计	63
4.4.4 BP-SOM 混合神经网络分类的测试结果	65
4.5 本章小结	66
第5章 基于图像融合的缺陷分割方法	67
5.1 区域生长与禁忌搜索	67
5.1.1 区域生长算法	67
5.1.2 禁忌搜索	68

5.2 基于图像融合的缺陷分割方法与步骤	72
5.2.1 实木表面缺陷分割方法	72
5.2.2 实木表面缺陷分割步骤	76
5.3 缺陷特征选择与分类器设计	80
5.3.1 缺陷特征选择	80
5.3.2 分类器设计	81
5.4 实验结果与分析	85
5.4.1 实验步骤	85
5.4.2 噪声实验分析	86
5.4.3 分割时间分析	87
5.5 本章小结	88
第 6 章 基于 LDA 特征融合的压缩感知缺陷识别方法	89
6.1 基于 LDA 的缺陷特征降维	89
6.1.1 LDA 理论	89
6.1.2 Fisher 线性判别分析	90
6.1.3 实木板材缺陷特征的 LDA 融合	92
6.2 基于压缩感知理论的板材缺陷识别	94
6.2.1 压缩感知理论	94
6.2.2 信号的稀疏表示	95
6.2.3 观测矩阵的设计	96
6.2.4 信号重构	98
6.2.5 基于压缩感知的分类算法	99
6.3 基于压缩感知的缺陷识别步骤	100
6.4 实验结果及分析	101
6.4.1 缺陷识别实验过程	101
6.4.2 对比实验及结果分析	104
6.5 本章小结	106
第 7 章 基于灰度共生矩阵及模糊理论的纹理分类	108
7.1 纹理特征	108
7.1.1 纹理特征的定义	108
7.1.2 纹理特征的表达方法	109
7.1.3 木材图像纹理特征及分类	113
7.2 灰度共生矩阵及其纹理特征选择	115
7.2.1 灰度共生矩阵	115

7.2.2	灰度共生矩阵的主要特征值	117
7.2.3	木材图像灰度共生矩阵及特征	119
7.3	模糊理论及分类器设计	122
7.3.1	模糊集合的定义及特征	123
7.3.2	模糊距离度量	125
7.3.3	基于模糊理论的图像处理理论	127
7.4	板材纹理模糊分类器设计	128
7.5	实验结果及分析	137
7.6	本章小结	139
第 8 章	基于 PCA 与 SVM 的纹理分类方法	140
8.1	图像纹理特征的提取	140
8.1.1	图像基本统计量	140
8.1.2	Tamura 纹理特征	141
8.2	基于 PCA 特征融合算法及应用	143
8.2.1	PCA 的概念和原理	143
8.2.2	基于 PCA 的板材纹理特征融合	146
8.3	基于 SVM 的纹理特征分类	148
8.3.1	SVM	148
8.3.2	板材纹理 SVM 分类参数优化	153
8.4	分类结果与分析	156
8.5	本章小结	159
第 9 章	基于多尺度变换的特征提取与纹理分类	160
9.1	基于小波变换的特征提取与纹理识别	160
9.1.1	小波变换简介	160
9.1.2	小波的特征提取	167
9.2	基于曲波变换的特征提取及纹理识别	172
9.2.1	第一代曲波变换	172
9.2.2	第二代曲波变换	174
9.2.3	曲波的特征提取	177
9.3	基于双树复小波的特征提取与识别	180
9.3.1	双树复小波变换	180
9.3.2	双树复小波变换的性质	181
9.3.3	双树复小波的特征提取	182
9.3.4	仿真实验结果	183

9.4 本章小结	184
第 10 章 基于多尺度变换特征融合的纹理分类	185
10.1 基于小波曲波特征融合的纹理分类	185
10.1.1 特征融合的准备	185
10.1.2 基于遗传算法的特征融合	186
10.1.3 实验结果与分析	192
10.2 基于双树复小波特征融合的纹理分类	195
10.2.1 基于粒子群算法的特征优选	195
10.2.2 实验及分析	196
10.3 基于曲波与双树复小波的纹理分类	199
10.3.1 基于混沌粒子群的特征优选	199
10.3.2 实验结果与分析	204
10.4 板材表面缺陷、纹理协同分选方法	207
10.4.1 缺陷、纹理系统分选介绍	207
10.4.2 协同分选算法及实现	207
10.4.3 仿真实验	210
10.5 本章小结	213
第 11 章 板材表面多目标柔性分选技术	214
11.1 柔性分选技术	214
11.2 颜色分类算法	215
11.3 样本优选	222
11.4 实验结果及分析	228
11.4.1 实验材料及仿真环境	228
11.4.2 颜色特征分析	228
11.4.3 纹理样本优选	230
11.4.4 用户满意度实验	230
11.5 本章小结	231
参考文献	233

第 1 章 绪 论

1.1 实木在线检测与分选的研究背景和意义

1.1.1 研究背景

木材是一种珍贵的自然资源，也是人类使用的最古老的材料之一；它是再生材料，可以进行多次循环使用。自古以来就作为居住、工具和燃料使用。木材具有大自然赋予的美丽纹理、独特的色泽、质感以及优越的材料特性，尤其是经锯切或刨开后，这种纹理会显现出来并带着光泽，使材料的质感体现更加具体、形象。木材正是因为这种美妙的艺术特质，被广泛应用于室内住宅的装饰如衣柜、室内家具陈设、隔断屏风重点部位的造景及公共建筑的室内地板、天花板造型等生活环境之中。实木家具不但给人温馨的感觉，渲染一种亲切的气氛，表现了自然质朴的环境风貌，而且对于工作人员的视觉神经产生的刺激最小，从而能够为人类提供良好的视觉质感。

近几十年，世界很多地区的林产工业以优质天然林为原材料，生产大批量原木获得效益。对于很多林产品的生产国家，林业资源的可持续性保证了经济的发展。随着世界人口膨胀和生活水平的提高，人们对原木、工程木制材料的需求也在持续上升。例如，1998 年美国消费的原木达到了前所未有的高度，约为 5.05 亿立方米。世界范围内对木材的需求在过去 30 年也翻了一番，约为 35 亿立方米。尽管整个世界在为林业的可持续发展做努力，但供需之间的矛盾仍在不断恶化，到 2050 年估计世界对木材的需求会增加至 52 亿立方米。随着世界性木材资源的日益短缺，尤其是珍贵树种的逐渐枯竭，如何高效地利用木材资源便成了关系到一个国家可持续发展的大计。

目前，我国每年木材消耗量为 3.8 亿~4 亿立方米，而国内森林蓄积供给量约为 3.65 亿立方米（折合木材约为 2 亿立方米），且中、小幼龄林面积的比例大，树种结构不合理，短期内自给能力差，原木进口依存度达 50%。然而，随着国际木材市场价格的上涨及木材主要出口国的政策变化，我国进口木材付出的经济代价越来越高，难度越来越大。2009 年木材进口用汇为 2000 亿~3000 亿元，仅次于石油、钢铁用汇量；国内木材资源总量供应不足，木材供应结构矛盾突出，木材高效利用水平和综合利用率低。

板材是木材应用需求量最大的品种,而板材表面存在的各种缺陷,直接影响板材的利用价值和经济价值,因而板材表面缺陷是评价板材质量的重要指标之一。随着木材加工业向机械化、自动化的大规模生产发展,对板材进行分选成为木材加工过程中的一个十分重要的环节,直接影响木材的出材率和质量,人们对板材的加工质量,尤其是表面缺陷给予了越来越多的重视,因而表面缺陷检测技术变得越来越重要。此外,板材表面纹理也直接影响木材的等级、强度、使用价值以及经济价值。同时板材花纹美观与否,对一些板材及木制品也十分重要。因此,针对板材表面纹理进行分类的研究,一方面可以实现产品质量的工程目标,满足指接、拼板、家具、地板、装饰等木材加工行业各个领域多目标优选的分类要求,对木材进行高效节约并提高综合优化利用水平;另一方面为木材加工企业提供流程工业综合自动化的整体解决方案,提高产品质量、自动化程度、生产效率。

我国的木材生产领域,大部分生产还处在半机械甚至原始的人工生产状况,板材分选及产品分等主要依靠人工视觉与经验,对板材的颜色、纹理、色泽等特性进行评价。由于板材表面缺陷种类有多种,同类缺陷在大小和外观形态上也各有差异,这种检测方式一方面不可避免人为因素的干扰,无法避免漏检、误检等情况的发生,不能保证产品的高质量;另一方面浪费大量的人力财力,提高了成本,降低了竞争优势,还浪费了宝贵的林木资源。因此,运用科学有效的方法实现实木地板分选势在必行。

1.1.2 研究意义

我国是一个林业资源相对匮乏的国家,对木材资源的长期过量采伐、毁林开荒,使我国的森林生态环境受到了严重破坏,造成了木材短缺。特别是这些年我国经济迅速发展,木材供应压力巨大,木材供需矛盾更是不断加剧,每年有1亿~1.5亿立方米的木材资源都要依靠进口解决。木材作为珍贵的森林资源,必须合理地加以利用,这就要求在木材加工与生产工程中,既要节约木材,又能充分表现木材花纹的肌理及柔和自然的色泽这两大艺术特质。

木材资源供应不足制约了全行业的整体发展。据有关专题研究报告指出,我国在2000年与2010年最低的木材需求量分别为1.8亿立方米与2.1亿立方米。根据我国现有森林资源的日可供应量,2000年与2010年大约分别为1.2亿立方米与1.5亿立方米,供需缺口已高达6000万立方米,而原材料依赖进口日渐艰难。从某种意义上说,当前我国的林业生态建设任务客观上是对木材制品从质到量上都提出了更高、更严苛的要求。

我国拥有20万家木材加工企业,而且大多数企业生产规模较小;与发达国家相比,其产品质量与管理水平落后、装备与技术有待提高;原材料的综合利用率

与高效利用率都不高,初级产品较多,精加工产品较少。我国的木材贸易通常以进口原材料,出口中低档产品为主;拥有显著的加工贸易的特点,这是一种以低附加值产品为主的贸易方式。这种木材工艺技术上的落后,使得我国的木材行业处于整个价值链的底部,形成了在资源上大出大进,而生产效益低下的窘况。

林业产业的不合理结构,使木材产业在比例上失衡、多样性不高。缺乏龙头企业,产品地位不高,产业链条短;林种结构不合理,尚未形成多元化的发展;木材相关的服务组织与中介组织尚有待完善;经济林规模小,花卉、苗木生产基地建设缓慢,难以形成规模效应,不能满足当前的经济建设需求。

因此,应珍惜与爱护当前有限的森林资源,更要充分利用木材资源,合理使用木材资源。如何提高木材利用率,充分地利用好森林资源,更是我国林业科技工作人员需要认真面对的重要课题之一。木材产品的检测是能够提高木材利用率的一个非常重要的途径与手段。探索出快速、准确地对木材纹理与缺陷检测分级的方法尤为重要。

在对木材加工及应用时,首先要对木材纹理进行检测。在传统的检测工序中,一方面通过人工来检测和分类存在各种不可避免的人为因素的主观影响,导致结果的可靠性差;另一方面在这一操作中还浪费了人力等资源。这些主观影响大以及分类精度低等因素都已经成为木材分级自动化生产的一道薄弱的工序。随着现在科技水平的发展,对生产的要求在提高,对木材加工与优选等方面的自动化程度也提出了更高的要求。因此,找到一种有效的方法实现对木材表面纹理进行快速且准确的分类成为自动化领域研究中亟待解决的问题。

本书以实木表面缺陷及纹理自动检测分选为目标,以图像处理与模式识别为技术手段,通过对实木地板表面图像获取与转换、缺陷分割、缺陷特征提取与选择、缺陷识别等相关步骤的深入研究,构建分选系统软硬件系统,实现板材按等级要求的在线分选。本书的研究内容及提出的新算法对板材生产中的自动检测和分级技术改造与创新有重要意义。分选方法的采用和分选系统的实施将从节约降耗、增质增效等方面产生重大经济、社会效益,有助于降低企业生产成本、提升企业竞争力。该分选系统不仅适用于实木地板分选行业,而且对指接、拼板、家具、装饰等木材加工行业的缺陷在线检测有借鉴意义。

1.2 实木检测的概述

1.2.1 研究对象

1) 木材缺陷

国家标准对木材缺陷有着明确的定义:凡是能够降低木材质量或影响木材使用的各类缺点均视为木材缺陷。国家标准将木材缺陷分成十类:节子、虫害、变

色、裂纹、腐朽、伤疤（损伤）、木材构造缺陷、树干形状缺陷、木材加工缺陷和变形。为了研究与讨论的方便，通常将木材缺陷分成三类：环境因素或树木生长特性而形成的木材缺陷，称为天然缺陷；木材干燥或加工不当所导致的木材缺陷，称为木材加工缺陷；由于生物原因对伐倒木、活力木或成材造成危害而形成的木材缺陷，称为生物危害缺陷。部分木材缺陷样本如图 1-1 所示。

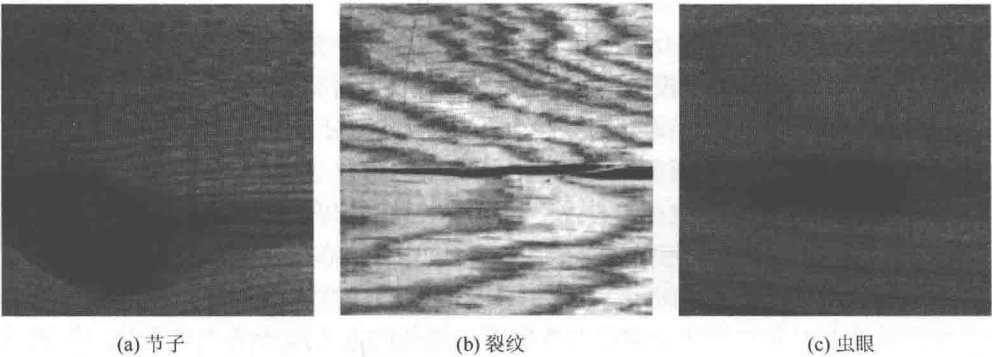


图 1-1 部分木材缺陷样本

（1）天然缺陷：采伐前产生的缺陷是生长过程中由于生长和环境等在木材内部产生的缺陷。节子、裂纹以及木材构造缺陷是天然缺陷的主要组成部分。

（2）木材加工缺陷：木材在加工过程中所造成的木材表面损伤称为木材加工缺陷。木材加工缺陷包括锯割缺陷和干燥缺陷，又可以细分为钝棱、变形等。

（3）生物危害缺陷：主要是虫子、微生物等寄生在木材、砍伐的原木或未砍伐的活树上，并对它们造成危害而形成的缺陷。腐朽、虫眼和变色是三种主要的生物危害缺陷。当木材遭到自然界中各种生物的危害时，其材质会受到不同程度的影响，从而使木材的实用价值降低。生物危害对木材价值的影响程度主要取决于缺陷的外形、破坏的程度和缺陷分布情况。

实木地板国家标准（GB/T 15036—2001），根据产品的外观质量、物理力学性能将实木地板分为优等品、一等品和合格品。实木地板的外观分级标准如表 1-1 所示（只列出本研究所涉及的部分）。

表 1-1 实木地板的外观分级标准

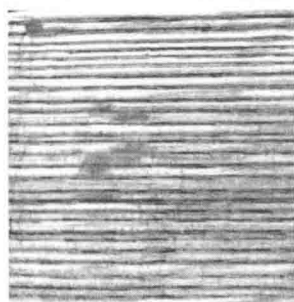
名称	表面			背面
	优等品	一等品	合格品	
活节	直径≤5mm 长度≤500mm 个数≤2 个 长度>500mm 个数≤4 个	5mm<直径<15mm 长度≤500mm 个数≤2 个 长度>500mm 个数≤4 个	直径≤20mm 个数不限	尺寸与个数不限

续表

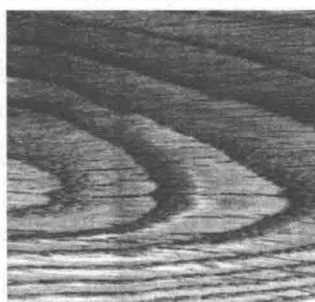
名称	表面			背面
	优等品	一等品	合格品	
死节	不许有	直径 $\leq 2\text{mm}$ 长度 $\leq 500\text{mm}$ 个数 ≤ 1 个 长度 $> 500\text{mm}$ 个数 ≤ 3 个	直径 $\leq 4\text{mm}$ 个数 ≤ 5 个	直径 $\leq 20\text{mm}$ 个数不限
蛀孔	不许有	直径 $\leq 5\text{mm}$ 个数 ≤ 5 个	直径 $\leq 2\text{mm}$ 个数 ≤ 5 个	直径 $\leq 20\text{mm}$ 个数不限
裂纹	不许有	不许有	宽 $\leq 0.1\text{mm}$ 长 $\leq 15\text{mm}$ 数量 ≤ 2 条	宽 $\leq 0.3\text{mm}$ 长 $\leq 50\text{mm}$ 条数不限

2) 木材纹理

木材纹理是指木材表面上因结构、生长轮、木射线、轴向薄壁细胞、导管、木纤维及色素物质、木节或锯切方向等因素所产生的自然图案。这种自然图案美观与否,直接关系着木制品的感观效果和经济效益。在本书中将纹理分为直纹、抛物纹和乱纹三种效果的纹理。部分木材纹理样本如图 1-2 所示。



(a) 直纹



(b) 抛物纹



(c) 乱纹

图 1-2 部分木材纹理样本

树木的生长情况、加工切割方式不同,得到的纹理也不尽相同。径切板一般得到的是直纹,弦切板通常是抛物纹,其他情况的纹理统称为乱纹。

实木的种类较多,应用也颇为广泛。本书针对实木的智能化检测与分选方法,以实木地板为例进行缺陷、纹理的研究和实验。

1.2.2 实木板材检测的主要研究手段

缺陷检测的方法主要有 X 射线检测法、超声波检测法、核磁共振法、微波检

测法等。

X 射线检测法：当木材密度和材质不同时，射线的吸收和衰减效应也会发生变化。我们可以根据感光底片上黑白程度不同的图像来推断木材的内部密度变化，进而确定板材内缺陷的类型、位置、大小和形状。虽然 X 射线技术在木材无损检测中已经很成熟，但是这种设备成本高、需要保护设施，在实际应用中还不是特别广泛。

超声波检测法的主要原理是根据超声波在板材中传播时会发生一定的反射、衍射与散射等能量衰减特性，当超声波经过木材缺陷时，由于传播路径质地发生了很大的变化，这种能量衰减特性也会不同，通过测试折射出的超声波波速、波形等并经过一定的电路处理来判断木材缺陷的类型、形状、大小和位置等信息。虽然超声波检测法应用广泛，但由于其处理参数本身的局限性，在缺陷定量和定性方面的灵敏度并不是很高，所以目前这种方法也主要处于实验室的研究阶段。

核磁共振法是利用水分子可以使核磁信号在胶片上显示的原理，获得了比较精确的木材缺陷边界，使原木锯切之前便检测出节疤等缺陷，核磁共振检测技术具有快速、易于计算机处理等优点，但由于这种能发出磁振信号的设备成本也比较高，而且与 X 射线检测法一样需要保护设施，所以目前也主要处于实验室研究阶段。

微波检测法利用微波在不同的传导介质中其衰减速度和传播速度的不同，检测木材内部的缺陷。虽然目前这种方法已经比较成熟，但由于用这种测试仪通过微波检测法检验时受到多种因素的制约，所以目前微波检测法大多用于板材性质检测。

对于纹理特征的分析方法一般可分为：统计法、模型法和频谱法。

统计法中最常用的方法为灰度共生矩阵。王克奇等（2006）采用灰度共生矩阵，提取出适用于描述木材纹理的特征参数。由于灰度共生矩阵需要对整幅图像信息进行统计分析，所以难以实现在线分选的速度要求。

模型法中常用的有分形法和马尔可夫随机场法。任宁等（2007）采用分形法分析了 20 种典型的木材弦向与径向纹理图像；王晗等（2007）选用高斯-马尔可夫随机场的方法，通过判断纹理的主方向对其进行区分。分形理论与马尔可夫随机场法相对复杂，计算时间长，不适合在线检测与分选。

在频谱法的分析中，近年来小波变换引起了广泛注意。王亚超等（2012）采用实数 9/7 小波变换对木材纹理进行了多尺度分解，提取纹理“小波能量分布比例和 EHL/ELH 值”表达木材纹理的规律特征和方向性；杨福刚等（2006）选用了二进正交小波基的变换方法对木材纹理图像进行多层分解，利用 SVM 分类器对木材纹理样本进行训练和识别分类。尽管小波变换具有快速分类的特点，但是

由于小波变换缺少方向性,所以对复杂纹理分类精度不高。

1.2.3 基于图像处理的板材检测发展历程

自 20 世纪 70 年代以来,国内外学者相继开展了关于木材表面视觉物理量的研究,并取得了一定的进展。

(1) 着眼于缺陷检测的研究:研究集中在特征选择和缺陷识别方法。在特征选择方面,Pham 等(1999)总结了 4 类共 32 个特征向量,然后利用神经网络分类器对 4 类特征进行分析。Estcevez 等(1999)提出了缺陷分类特征选择方法,实验表明遗传算法效果最好。Estcevez 等(2003)应用遗传算法对板材 10 类的缺陷进行了特征选择。在缺陷识别方法上,Kauppinen 等(1999)提出了运用自组织网络对板材表面缺陷分类,由于该方法需要设计人机接口来完成同类缺陷认知,过程仍需要改进以完成缺陷的自动辨识。Castellani 等(2009)提出运用遗传算法与神经网络相结合的方法对装饰板材进行分类,运用遗传算法优化神经网络结构,并对网络训练;该方法对板材单一缺陷的辨识比较理想。Irene 等(2008)提出运用 SVM 对板材表面 4 种缺陷进行分类,运用 B 样条找到缺陷边界,选用缺陷面积、缺陷内部颜色、缺陷边缘颜色及外部颜色为特征量对缺陷区域进行分类,但该方法需要找到缺陷区域,此外,基于 B 样条的边界界定缺乏准确性,因此,辨识速度、精度会受到影响。

(2) 着眼于纹理分类的研究:在纹理分析和分类的研究方面,国内外学者建立了一些基于数字图像处理的纹理算法。Li 等(2003)提出了简单的多分类思想,运用离散小波框架变换(discrete wavelet frame transform, DWFT)为特征提取器,通过定义 3 个高斯变量,构造了 3 个 SVM 分类器,通过分类器的融合提高了辨识精度。王克奇等(2006)运用灰度共生矩阵法提取纹理特征参数;杨福刚等(2006)选用小波基进行特征选择,并利用 SVM 分类器对纹理分类;谢永华等(2010)应用不变矩为特征参数,应用最近邻分类器对板材纹理进行分类;Sengur(2008)采用模糊神经网络对彩色图像纹理进行分类。Avci 等(2009)提出了纹理特征优化的方法,运用遗传算法优化小波基和信息熵,运用神经网络为分类器完成了纹理的分类。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 国外研究现状

1) 缺陷检测国外研究现状

Qi 等(2010)提出了结合 Hopfield 神经网络与数学形态学,检测木材缺陷边缘在 X 射线下的木材成像,通过这种方法可以获得一个生动和无声的缺陷边缘的