

学 位 論 文 題 名

Extraction and Recognition of Wood Porosity Features
Based on Wood Microscopic Images

(顕微鏡画像に基づく木材管孔性特徴の抽出と認識)

学位論文内容の要旨

Intelligent systems for recognition of wood species have been developed to identify woods according to some features, particularly wood anatomy features such as vessels, perforation plates, parenchyma and other features. It is expected that such a process can be done automatically by a computer without any manual intervention.

Some of the latest intelligent recognition systems are based on macroscopic features such as color and texture in macroscopic images. The advantage of these systems is due to the simple process. Nevertheless, information obtainable from macroscopic images is limited and is not sufficient for identifying a wide range of woods. Therefore, information from microscopic features is necessary for accurate classification of species in a wide range of woods. This study is the first trail to process such microscopic images for automatic wood species classification.

The International Association of Wood Anatomists (IAWA) published a list of microscopic features for hardwood identification. From the list published by IAWA, we can find over 100 features that are used to identify hard wood. This list is widely used in wood species recognition. However, all these features are useful not for computers but for human inspectors. Many of them are difficult to be handled by computers directly. On the other hand, a computer may give a satisfactory classification performance with few of these features, so that feature selection becomes one of key techniques. Feature selection also helps to reduce time and labor for measuring the values of the features. We therefore focus first on investigation of the most important features according to the domain knowledge.

One of most promising features is vessels. The vessels of hard wood appear as pores in a cross section of wood slide. The size, distribution, combination and arrangement of pores are important to recognize the species of hard wood, and the pore distribution in particular contributes most to recognition.

In this dissertation, three different sets of features about pore have been examined in detail: the first one is based on diameter change of pores, the second one is based on nearest pore pairs and the last one is based on size information. Three different classifiers of support vector machine (SVM), Naive Bayes and C4.5 decision tree were also compared in classification performance with the three feature sets. The acceptable recognition results were obtained by some combination and the possibility to improve was discussed. There are eight chapters in the dissertation. Chapter 1 gives a simple introduction of this research; the background can be found in Chapter 2; the images and the database used in the research are introduced in Chapter 3; Chapter 4 explains how to segment pores from wood microscopic images; after segmentation, the algorithms about feature extraction and wood species recognition are introduced in Chapter 5 and Chapter 6 respectively. Chapter 7 gives an other effective feature set and its performance with different classifiers. Finally, the conclusion is given in Chapter 8.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 工 藤 峰 一
副 査 教 授 金 子 俊 一
副 査 教 授 今 井 英 幸

学 位 論 文 題 名

Extraction and Recognition of Wood Porosity Features Based on Wood Microscopic Images

(顕微鏡画像に基づく木材管孔性特徴の抽出と認識)

情報科学的方法論はこれまでも様々な工学的問題に対して多くの貢献をしてきた。なかでもパターン認識は、文字や音声の認識から始まり現在では土地利用分類やテキスト分類などあらゆる識別問題でその効果を示している。しかし、それでも依然、未開拓な工学的問題は多く、本研究はその一つである木材分類を扱った研究である。

木材は大きくは針葉樹 (soft wood) と広葉樹 (hard wood) の二つに分けられ、さらに細かく分類され最終的に数百種に及ぶ。木材の認識はこれまで主に専門家により行われており、表面や切断面の文様を手掛かりとしていた。一方、近代化の波や跡継ぎ問題から自動化への要望は高まってきており、既に幾つかの自動化手法が提案されている。しかし、それらは肉眼で観察できるマクロレベルの特徴を利用しているため細分類には足りない。そのため、本研究では世界で初めて、顕微鏡により観察されるミクロレベルの特徴を利用した分類方式を検討した。実際には、細分類の前分類となる管孔性 (porosity) 分類を行った。

木材を分類するための特徴 (指標) は IAWA (The International Association of Wood Anatomists) がまとめたものでも百を超す。それらの大部分は知識のある専門家のみが利用できる類のものであり、自動化に利用できるものは少ない。そこで、本研究ではまず、どのような特徴が抽出しやすくまた識別に有効かを検討した。結果として、季節の変化により生じる二つの年輪 (growth ring) の間には水を運搬する管孔 (pore) があり、管孔の大きさや個数、そして分布が重要な手がかりになることに気付いた。また、顕微鏡写真から管孔を抽出することはそれほど難しい問題でないと予想された。そこで、三種類の管孔性: Ring, Semi-ring, Diffuse, の分類問題を扱った。

本論文では、第1章で問題背景を述べ、これまでの研究動向を第2章でまとめている。第3章で材料を説明した後、第4章で色々な組織が混在する顕微鏡写真から管孔のみを取り出す処理 (セグメンテーション) に関して従来手法の性能を凌ぐ新しい方法を示している。数学的モフォロジーと呼ばれる、雑音を除き、わずかにつながっている線を繋げる画像処理技術を利用する。円盤状のマスクを用いて数学的モフォロジーで管孔を抽出するものの、画像により孔の大きさがまちまちのため固定サイズのマスクでは成功しない。そこで、マスクサイズを画像に適応させる方式を考案し、人手により処理と遜色ない結果を得ることに成功している。第5章では、管孔性識別のための特徴量を考察している。管孔性は定義より、孔の抽出ができ年輪の抽出ができればそれほど難しくはない。しかし、材木の種類によっては年輪がほとんど見えない場合もあり、年輪の抽出は孔の抽出と比べて難しい。また、画像全体が傾いている場合には方向の補正も必要となる。そこで本研究では、大きめの孔

の個数を基に、射影後のエントロピーが最も小さくなる射影軸を見つけて画像の方向を修正している。さらに、補正後の画像を縦方向に 30 程度に細分し、孔の (平均的な) 大きさの順に並び替えることで、年輪に沿った並び方と等価な並び替えができることを示し、最終的に、ヒストグラム特徴量を抽出する方式を提案している。第 6 章ではこのヒストグラム特徴量を用いて、よく知られた三種類の識別器により識別実験を行っている。その結果、どの識別器もほぼ同等の性能を示し、交差検定法で約 82% の識別率を得ている。専門家でも識別が難しい例があることを考慮すると、これはある程度満足 of いく結果と言える。さらに決定木の代表的な方法である C4.5 の分類基準が管孔性の定義と整合性が高いことを示している。

本論文による成果は以下にまとめられる。

1. 木材の詳細な分類への足掛かりとして、顕微鏡写真における管孔性の分類問題を解くことの有効性を論証し、世界で初となる一連の手続きを提案した。
2. 幾つかの技術的な提案を行った。他の組織が混在する多くの画像から大きさの違う孔を適切に取り出す適応的な手法を提案しその効果を確認した。また、年輪を特定せずに等価なモデルを得る方法に加え傾き補正の方法を新たに提案した。これは、木材分類に限らず、孔状の組織に着目するいかなる分類にも効果があると期待される。
3. 管孔性に関する現段階の識別率は 80% 程度であるものの、今後、他の指標との組み合わせにより詳細で確実な木材分類を行える可能性を示した。

これを要するに、著者は、木材分類への工学的応用として、適切な問題設定を行うとともに必要なパターン認識技術を開発し、世界で初めて顕微鏡特徴による三つの管孔性の自動分類に成功した。よって著者は、北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。