

技術資料

USB カメラを用いた画像処理による竹編み針の軟質部検出

絹谷 裕司^{*1)}

Detection of Soft Regions in Bamboo Knitting Needles Using USB Camera-Based Image Processing

KINUTANI Yuji^{*1)}

竹材は維管束分布の違いにより硬質部と軟質部が存在し、軟質部では維管束密度が低いという特徴を有する。本研究では、竹編み針のレーザ刻印工程における品質向上を目的として、画像処理による軟質部検出手法を提案する。本手法は、画像中の維管束領域を抽出し、設定した基準点から各領域の重心に向かうベクトルを算出する。その平均ベクトルの方向を維管束が密な方向とみなし、その逆方向を軟質部と定義することで、軟質部方向を推定する。複数の画像を用いて検証を行った結果、提案手法により軟質部方向の推定が可能であることを確認した。

1. 緒言

近年、製造業における画像処理技術の導入は急速に進展しているが、中小企業の現場においては照明条件の変動や設備制約の影響により、安定した検出性能を確保することが困難である。特に天然材料を対象とする場合、個体差や内部構造の不均一性が画像特徴に大きく影響するため、信頼性の高い解析を実現するためには、撮像環境およびアルゴリズムの適切な設計が重要である。

竹編み針の製造工程では、レーザ刻印によってサイズ情報等が付与されるが、竹材の硬質部に刻印を施すと不明瞭となり、外観品質の低下を招くという課題がある。そのため、刻印に適した軟質部を事前に同定する技術が求められている。軟質部刻印と硬質部刻印の比較を図1に示す。

竹材は維管束の分布密度により硬質部と軟質部が構成されており、軟質部では維管束の密度が低いという特徴を有する。本研究ではこの構造的特徴に着目し、画像中の維管束領域の分布に基づき、各領域の重心に対して基準点から算出したベクトルの平均により軟質部方向を推定する手法を提案する。



図1 軟質部刻印と硬質部刻印の比較

2. 画像処理手法

2.1 基本原理

竹材には維管束が分布しており、その分布密度は位置によって異なる。一般に、硬質部では維管束が密に分布し、軟質部ではその密度が低い傾向がある。このような構造的特徴は画像上の輝度やテクスチャの差として観測されるため、画像処理により維管束の分布特性を抽出することが可能である。

本研究では、この維管束分布の偏りに着目し、その分布特性を利用して軟質部の位置推定を行う。

なお、本研究では製造工程上の制約により、撮像は竹編み針の軸方向（先端の円錐頂点側）から行っている（図2）。この場合においても、維管束分布に起因する輝度およびテクスチャの不均一性が画像上に現れるため、その分布特性を利用した軟質部推定が可能である。



図2 竹編み針軸方向（先端円錐頂点側）からの画像

2.2 アルゴリズム

本研究では、入力画像から竹編み針の軟質部方向を推定するために、一般的な画像処理手法（エッジ抽出、二値化、領域解析など）を用いて、以下の手順により画像処理を行

^{*1)} デジタル技術支援科（現：機械・電気・情報グループ）

うり、

まず、入力画像に対してグレースケール変換を行った後、Hough 変換を用いて編み針断面に対応する円領域を検出し、対象領域を特定する。

続いて、Sobel フィルタによりエッジ強調を行い、その結果に対して大津の二値化法を適用することで特徴領域（維管束相当）を抽出する。さらに、細線化処理を施すことで構造を簡略化し、特徴の位置情報を明確化する。

その後、検出された円領域内にマスクを適用し、背景領域の影響を除去する。抽出された特徴領域に対して連結成分解析を適用し、各連結成分を取得した後、面積が所定の閾値未満の連結成分をノイズとみなして除去する。

最後に、各連結成分の重心を算出し、それらの平均位置を求める。対象領域の中心座標 (x_c, y_c) を、第 i 特徴領域の重心を (x_i, y_i) 、有効な特徴領域数を N とすると、平均位置 $(\bar{x}, \bar{y})$ は以下のように表される。

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

このとき、対象中心から平均位置へ向かうベクトル $\mathbf{v}$ は以下で定義される。

$$\mathbf{v} = (\bar{x} - x_c, \bar{y} - y_c)$$

得られたベクトルを正規化した単位ベクトル $\mathbf{u}$ を求め、その逆方向を軟質部の方向として定義する。すなわち、

$$\mathbf{u} = \frac{\mathbf{v}}{\|\mathbf{v}\|}, \mathbf{u}_{soft} = -\mathbf{u}$$

とすることで、軟質部の方向推定を行う。

本手法は、個々の特徴点ではなく対象領域内における維管束の分布傾向を利用するため、局所的なばらつきやノイズの影響を受けにくい特徴を有する。また、ベクトルは連結成分の重心分布に基づいて算出されるため、維管束分布の偏り方向を示す。

図3に、本手法により推定された軟質部方向を示す。矢印は推定された軟質部方向を示す。

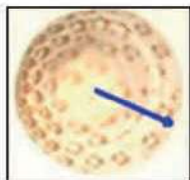


図3 軟質部方向推定結果

3. 実験方法

3.1 撮像条件

撮像は一般的な室内環境において実施した。カメラは編み針先端から約100mmの位置に固定し、天井のLED照明および窓からの自然光を併用した条件下で撮像を行った。なお、暗室や専用照明装置は使用していない。カメラの仕様を表1に示す。

表1 使用したカメラの仕様

機種	ELP-USBGS1200P01-UFV
カメラ種別	USB カメラ
解像度	最大 200 万画素 (1920×1200)
レンズ	マニュアルフォーカス／ズーム (5–50 mm)
フレームレート	最大 90 fps

3.2 評価方法

編み針は径6mmおよび7mmのものをそれぞれ4本ずつ、合計8本使用した。各編み針について4方向から撮像を行い、合計32方向で評価を実施した。軟質部方向の推定結果については、算出された方向（矢印）が維管束の少ない領域を指している場合を正解と判定した（図4）。

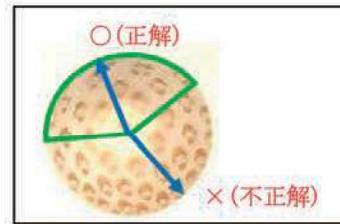


図4 軟質部方向推定評価方法の例

4. 結果

本手法を用いて軟質部方向の推定を行った結果、合計32条件すべてにおいて正しい方向推定が得られた。

図5に代表的な結果例を示す。図に示すように、推定された方向は維管束の分布が疎な領域と一致していることが確認できる。

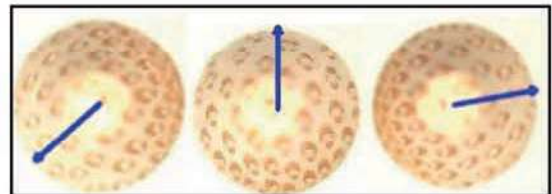


図5 軟質部方向推定結果例

5. 考察

本研究においては、合計32条件すべてにおいて正しい方向推定が得られた。これは、維管束分布の空間的な偏り

に着目し、領域全体の分布傾向をベクトルとして評価する手法を採用したことによるものと考えられる。すなわち、個々の特徴点ではなく複数の領域の重心分布を用いることで、局所的なばらつきやノイズの影響を低減できたことが、高い推定精度に寄与したと考えられる。

また、本研究では天井照明および自然光を併用した一般的な室内環境において撮像を行っているが、そのような照明条件の変動が存在する環境下においても安定した結果が得られた。このことから、本手法は特別な撮像環境を必要とせず、実際の製造現場への適用可能性が高いと考えられる。

本研究では、径 6 mm および 7 mm の編み針を対象として評価を行っており、この範囲においては安定した性能が確認された。今後は、さらなる適用範囲の拡張を目的として、異なる径や色、撮像条件に対する検証を進める必要がある。また、本手法は維管束分布の偏りを利用するため、その分布特性が不明瞭な場合における挙動についても検討する余地がある。

6. 結言

本研究では、竹編み針のレーザ刻印工程における品質向上を目的として、画像処理による軟質部方向推定手法を提案した。提案手法では、維管束領域の分布に基づいて各領域の重心を算出し、基準点から各重心に向かうベクトルの平均により軟質部の方向を推定した。

実験の結果、本手法は一般的な室内環境下においても安定して軟質部方向を推定可能であり、評価した全条件において正しい推定結果が得られた。

以上より、本手法は簡易な撮像条件においても適用可能であり、製造現場における実用的な手法として有効であることが示された。

謝辞

本試料の提供に関しては、近畿編針株式会社にご協力いただきました。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 奥水大和, 青木義満, 明石卓也, 大橋剛介, 片岡裕雄, 杉本麻樹, 竹内渉, 戸田真志, 中嶋航大, 門馬英一郎, 山田亮佑, 画像センシングのしくみと開発がしっかりわかる教科書, 技術評論社 (2023).