

画像処理装置を用いた木材径/径分布の自動測定システムの開発

Development of automatic measurement system for the diameter/diameter distribution of logs using image processing

○ 湯川 俊浩*、村井 敦*、萩原 義裕*

○ T. Yukawa*, A. Murai*, Y. Hagihara*

*岩手大学工学部機械システム工学科

*Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Iwate University

キーワード：木材生産 (Log Production), 自動測定システム(Automatic Measurement System),
画像処理 (Image Processing)

連絡先：〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学工学部機械システム工学科 湯川 俊浩
TEL:019-621-6403, FAX:019-621-6403, E-mail:yukawat@iwate-u.ac.jp

1. 緒言

木材の加工流通業界では、木材の種類、品質、長さ、太さなどにより、その価格が決定される。公正な取引をおこなうための作業の一つとして、木材の直径を正確に測定する作業が加工流通段階でおこなわれる。木材の直径を測定する方法は、現場で人の目視によるものが主流である。その方法とは、まず目視で最小となる直径部分を見つけ出し、ノギスや定規などを使って、何回か測定し、最小の直径の値をその木材の直径として決定することである。この労力のかかる方法では、測定者によってばらつきが生じ、測定基準が曖昧となっていた。多数の木材を測定するため、測定に長時間を要し、また人件費がかかるといった問題があった。

本研究では、デジタルカメラと画像処理装置を用い、木材の写真を現場で数枚撮影し、画像処理アルゴリズムにより、複数の写真を合成して、木材の本数と直径を検出するシステムを開発する。このシステムを用いることで、従来の方法よりも短時間で計測できるようになり、人の負担が少なくなり、人件費も抑えられるようになる。測定方法の一元化により、加工流通における公正化にもつながる。

具体的な画像処理手法は、木材の撮影画像から、木材群の集合領域を抽出し、Sobel フィルターによるフィルタリングや、Canny エッジ検出によるエッジ処理を施した後、抽出された木

材群の輪郭に対して、最小二乗法を用いて楕円近似処理をおこない、木材単体の領域に分割して、木材の本数を検出し、つぎに、円近似により各木材の最小直径を求めることである。

2. 自動測定システム

作業者がデジタルカメラで木材を撮影する際 (Fig.1), 現場では木材は数十から数百本が積み重ねてあるので、一枚の画像だけではすべての木材を撮影することができないため、被写体である木材を重ねて撮影しながら複数枚の画像を得る。得られた画像から画像処理装置を用いて一つの木材群全体画像が生成される。そして、最終的には、木材の全本数と各々の直径が正しく集計されるシステムを構築することが目標である。

2-1 画像処理装置

画像処理装置は、PC,

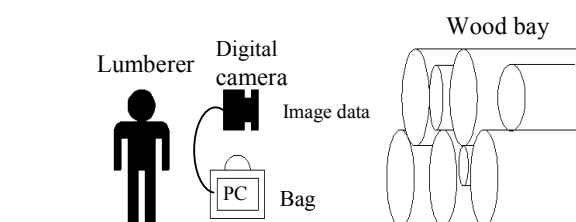
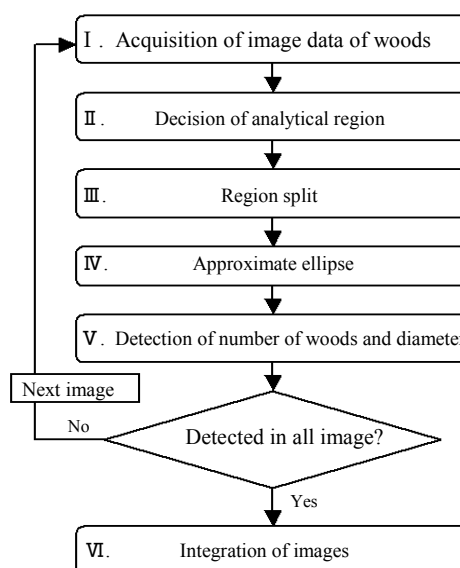


Fig. 1 Acquisition of the image data

Fig. 2 Overall flow chart of the recognition algorithm

画像処理ボード，および画像処理ソフトウェア (HALCON) からなる． HALCON は二値化処理，しきい値処理，エッジ処理，ノイズ除去，およびテンプレートマッチングなどの処理をおこなうことができるソフトウェアである⁽¹⁾．

2-2 画像処理アルゴリズム 画像処理システムのフローチャートを Fig.2 に示す．以下の行程 I ～ VI の処理をおこなっている．

- I. デジタルカメラで木材画像データを取得する．
- II. 画像から木材群を抽出する．
- III. 各木材領域に分割する．
- IV. 木材直径の測定のための楕円近似をおこなう．
- V. 木材の本数検出と直径測定をおこなう．
- VI. 画像を連結する．

木材断面画像の例を Fig.3 に示す．各々の木材は断面形状，直径がそれぞれ異なっており，置き方についても，長手方向の端面の位置や角度が異なっている．行程 I ～ VI (Fig.2)について，詳細な処理を Fig.4 に示し，主な処理を次に説明する．

II-i) ノイズ除去 画像データにエッジ処理やしきい値処理を施す際，原画像の鮮明なデータでは，エッジを誤認識する可能性が高いため，平滑化オペレータを用いる．

この処理は，anisotropic 拡散を用いた平滑化処理を繰り返しておこなうオペレータで，エッジを保護しながら平滑化処理をおこなうものである．このオペレータにより，木材の大きなエッジは保持され，ノイズや年輪のような微小なエッジといった不要な成分をカットすることができる．

II-ii) 木材群と木材群以外の分割 原画像データは RGB (Red, Green, Blue) 形式で



Fig. 3 The image of cross-section of piled log

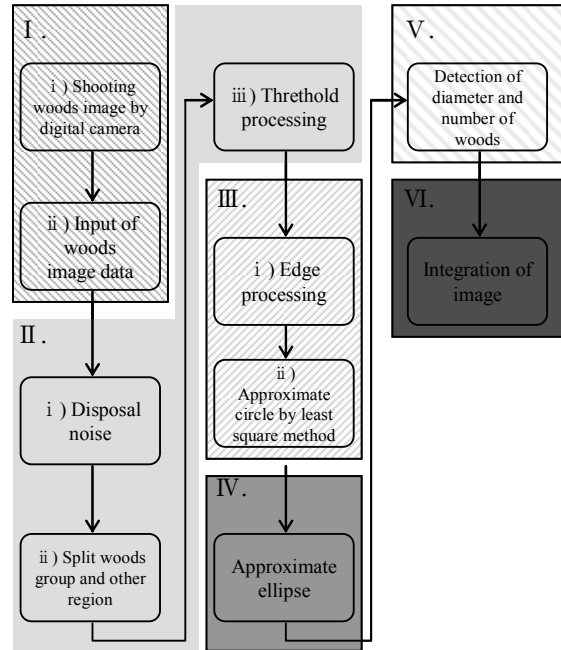


Fig. 4 Flow chart of image processing

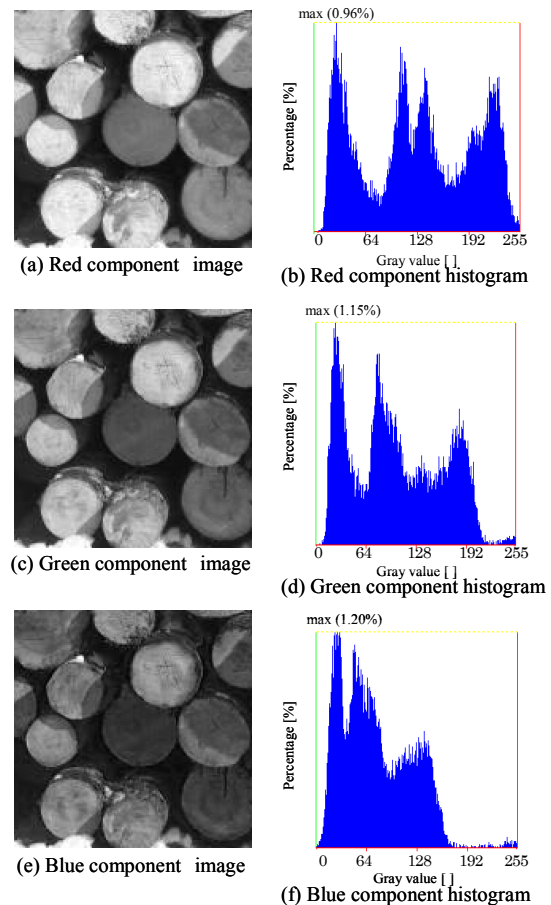


Fig.5 Example of RGB image and histogram

表現されている. 例として, Fig.3 の画像から R, G, B の成分画像に分解した画像と, その各画像のヒストグラムを Fig.5 に示す.

Fig.5 より, 各成分のヒストグラムは分散度がばらばらで複数の山が存在しており, どこが木材領域を示しているのかが判断できない. また, 木材断面に影が存在する場合, しきい値処理によって画像から木材群の抽出をおこなうと, 影の部分と周囲の木材群とのグレイ値に差が生じるため, 画像から木材群を正確に抽出することが困難となる.

この理由は, 原画像 (Fig.3) において影になっている部分は, 色が暗く(黒く)になっているが, RGB の各成分に分離すると, 黒の成分が RGB の各成分に分解されてしまうからである.

そこで, 新たに RGB 形式の画像を HIS (Hue:色相, Saturation:彩度, Intensity:明度) 形式の画像に変換する. この HSI 形式表現と RGB 形式表現との関係は, 以下の式で表される⁽²⁾.

$$\begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{\sqrt{6}} & \frac{-1}{\sqrt{6}} & \frac{-1}{\sqrt{6}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$H = \tan^{-1} \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (2)$$

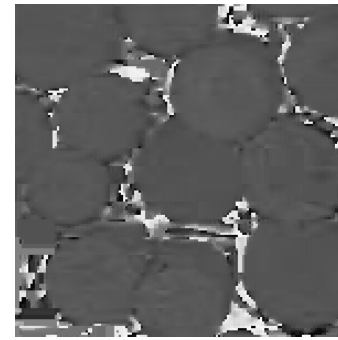
$$S = \sqrt{\sqrt{M_1^2 + M_2^2}} \quad (3)$$

$$I = \sqrt{3}M_3 \quad (4)$$

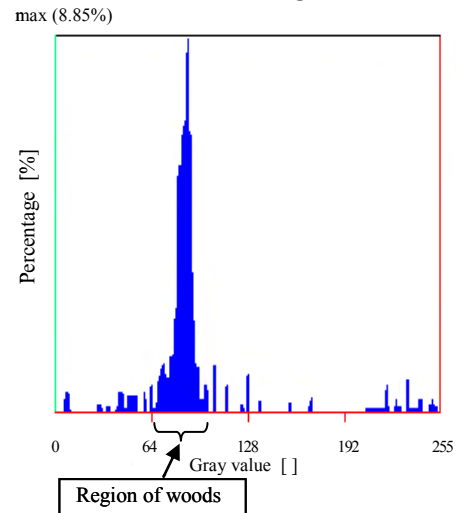
ここで, R, G, B は RGB 形式画像の各成分の値であり H, S, I は変換後の HSI 形式画像の各成分の値である.

原画像 (Fig.3) を HSI 画像に変換した後, 成分の一つである H 成分の画像とそのヒストグラムを Fig.6(a), (b) に示す. Fig.6(a)では, 影になっている部分と周囲の木材部とのグレイ値に大きな差が見られず, 木材部がほぼ同一のグレイ値になっていることがわかる. Fig.6(b) に示した H 成分のヒストグラムでは, R, G, B 成分のヒストグラムで複数箇所存在していた山 (Fig.5 (b), (d), (f)) に対して, ピークが一箇所に集中して存在しており, その部分が木材群を示していると判断できる. このことから, 木材群の抽出には H 成分画像を用いることにした.

II-iii) しきい値処理 木材群を抽出するためのしきい値の決定法として, Fig.6(b)の



(a) Hue image



(b) The decision of the region of woods while putting 1% border line on the hue image histogram

Fig.6 Hue image and hue histogram



(a) Original image (b) Image after processing

Fig.7 Extracted contour for a wood



(a) Original image (b) Image after processing

Fig.8 Extracted contour for plural woods

ヒストグラムに示すように、1%以上のグレイ値の領域をしきい値範囲とし、しきい値の上限と下限の間のグレイ値領域を木材群として抽出し、上限しきい値以上、または下限しきい値以下のグレイ値はその他の領域とした。

III-i) エッジ処理 木材群から木材単体に分割するために、エッジ抽出により木材群の輪郭抽出をおこなう。木材断面には年輪やひびなどが存在するため、エッジ処理をおこなうと輪郭だけでなくそれらも検出してしまうことから、平滑化をおこない、余分なエッジを除去した後、輪郭のみを抽出する。

エッジ処理には Sobel フィルターや Canny エッジ検出器など複数の手法があるが、これらの手法を検証した結果、今回は Canny エッジ検出器が最も適切であると判断した。Canny エッジ検出の処理では、第一段階でノイズ低減と微分、第二段階で勾配の最大位置の検出、第三段階でしきい値処理をおこなっている。(ノイズ低減はすでに II-i でもおこなっている)。

Canny エッジ検出の第一段階では、画像データ内の x 方向に対して一次微分した二次元ガウス関数を用いることにより、 x 方向の微分値が求められる。つぎに y 方向でも同様に一次微分した二次元ガウス関数により、 y 方向の微分値が求められる。第二段階では、より正確なエッジを求めるために、注目位置の八近傍の点において、各々の勾配方向に対して勾配の大きさを推定し、推定された値と第一段階で算出した勾配との比較をおこない、最大位置の選択をおこなう。第三段階では、第二段階で求めた勾配の最大位置を用いてエッジ検出をおこなう。しきい値を設定し、その値以上でエッジとみなすと、エッジが途切れ途切れになることがあった。そこで、上限、下限の二つのしきい値を用いて処理をおこなう。上限のしきい値よりも勾配が大きいときはその位置をエッジとして検出し、下限のしきい値よりも勾配が小さいときはその位置はエッジではないと仮定する。上限のしきい値と下限のしきい値の間に勾配の差がある場合は、エッジとして検出した画素に隣接するものだけエッジとみなす。

Fig.7, Fig.8 に、原画像と、エッジ処理によって木材の輪郭を抽出した結果を示す。Fig.7 は一本の木材の画像を用いた場合、Fig.8 は複数本の木材の画像を用いた場合である。Fig.8 では、一本の木材の輪郭を完全に抽出しているものもあるが、周囲の木材よりも暗くなっている木材や影になっている部分では、エッジを誤検出し、途切れている木材もある。木材と木材

の間のエッジが不鮮明であり二本の木材を一つの輪郭として検出しているものもあり、木材単体として、完全に領域を分割できていないことがわかる。

III-ii) 木材領域を楕円近似するための木材断面の円近似

木材と木材の間のエッジが不明瞭となる場合、エッジ処理だけでは完全に領域を分割することができなかった。そこで、抽出した木材領域の輪郭が円弧で構成されているものと仮定し、最小二乗法による円近似⁽³⁾をおこなう。そして、円の中心座標、半径を計算し、各木材の中心位置、半径を推定し、各木材ごとの領域に分割する。

まず、領域の輪郭を構成するピクセルの座標を算出するため、画像のピクセル数を n 、ピクセルの座標を (x_i, y_i) ($i = 1, 2, \dots, n$) とし、近似円の中心座標を (a, b) 、半径を r とする。円の方程式 $(x-a)^2+(y-b)^2=r^2$ を利用し、

$$\sum_{i=1}^n \{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - r^2\}^2 = 0 \quad (5)$$

とする。つぎに、(5)式を展開して、

$$f = \sum_{i=1}^n \{x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C\}^2 = 0 \quad (6)$$

が得られる。ただし、 $A = -2a$ 、 $B = -2b$ 、 $C = a^2 + b^2 - r^2$ である。

(6)式を変数 A 、 B 、 C で偏微分すると、

$$\frac{\partial f}{\partial A} = A \sum_{i=1}^n x_i^2 + B \sum_{i=1}^n x_i y_i + C \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n x_i^3 + \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial f}{\partial B} = A \sum_{i=1}^n x_i y_i + B \sum_{i=1}^n y_i^2 + C \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i + \sum_{i=1}^n y_i^3 = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial f}{\partial C} = A \sum_{i=1}^n x_i + B \sum_{i=1}^n y_i + C \sum_{i=1}^n 1 + \sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n y_i^2 = 0 \quad (9)$$

となる。(7)~(9)式を行列で表すと、

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n y_i^2 & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sum_{i=1}^n (x_i^3 + x_i y_i^2) \\ -\sum_{i=1}^n (x_i^2 y_i + y_i^3) \\ -\sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) \end{pmatrix} \quad (10)$$

となる。つぎに、(10)式を変形して、



(a) One wood



(b) Plural woods

Fig.9 Approximation ellipsoid of extracted contour



Fig.10 Maximum inscribed circle

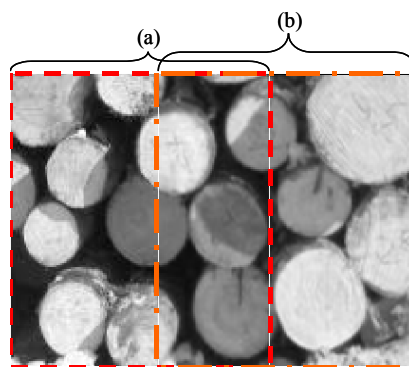
$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n y_i^2 & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -\sum_{i=1}^n (x_i^3 + x_i y_i^2) \\ -\sum_{i=1}^n (x_i^2 y_i + y_i^3) \\ -\sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) \end{pmatrix} \quad (11)$$

が得られ、この式により、変数 A , B , C を求めることができる。つまり、(6)式より、中心座標 (a, b) と半径 r が導かれる。求めた中心座標 (a, b) を中心として、半径 $r + \Delta r$ ($\Delta r = 1 \sim 10$ [pixel]) の少し大きな円を描き、その円の領域を各木材の楕円近似に用いる領域とする⁽⁴⁾。一本の木材画像および複数本から抽出した



(a) Image sample A

(b) Image sample B



(c) The integrated image

Fig.11 The integration of images

輪郭から求めた近似円の結果を Fig.9(a), Fig.9(b)に示す。一本の場合では、おおよそ木材の輪郭を検出できているが、複数本の場合では、正しい輪郭を検出できていないことがわかる。

IV) 木材の直径測定のための楕円近似

木材の直径を測定するための楕円近似は、III - ii の最小二乗法による円近似で求めた各木材領域に対しておこなう。楕円の中心座標、長軸半径、短軸半径、傾きをそれぞれ変化させ、最も適合したものを近似楕円とする。ここで、楕円の中心座標は円の中心座標周りに変化させる。つぎに、最も適合した近似楕円の短軸半径を求め、それを木材の直径とみなす。Fig.10に、木材が一本の場合の木材最小直径（円近似直径）の検出結果を示す。

V) 木材の本数検出と直径測定

撮影した各画像において、II ~ IV (Fig.4) の処理をおこなうことで、画像からはみ出していない木材のみについて、木材の本数を検出し、各木材の直径を求めることができる。つぎに、木材群全体の本数、直径を把握するため、各画像を連結して、全ての測定データをひとつにまとめることを試みる。

VI) 画像の連結

前述した様に、木材は複数本が積み重ねられており、一枚だけの画像

では積まれているすべての木材を撮影できない。そこで、複数枚画像を撮影し、各画像ごとにⅡ～Ⅴ (Fig.4) の処理をおこない、木材群の本数を検出し、一本一本の木材の直径を測定した後で、テンプレートマッチングを用いて画像の連結をおこなう。(最終的には、木材全体の画像から、すべての木材の本数と各木材の直径のデータを整理することが本研究の目的である)。

複数の木材が写った画像に対して、高さ方向に十等分、幅方向に十等分し、全体で百等分のセグメントに分解したものを各テンプレートとして使用し、セグメント毎の小領域におけるテンプレートマッチング⁽⁵⁾をおこなう。

テンプレートマッチングでは、片方の画像をテンプレートとし、もう一方の画像を用いてマッチングをおこなう。画像どうしが重なり合う部分にはマッチングした領域が多く検出され、それ以外には、誤検出のセグメント領域が複数検出される。重なり合う領域はマッチングした領域が隣接し集中して存在していると考えられるため、それ以外の領域を誤検出領域として取り除く。その後で正しいマッチング領域から二つの画像の位置関係を求め、アフィン変換により画像を移動させることで連結画像を生成させる(Fig.11)。今回の木材画像におけるテンプレートマッチングの成功率は約 70%であった。

3. 結言

本論文では、画像処理法を用いて、木材の本数検出、直径測定に関する一つの手法を提案した。そして、画像処理システムを構築する上で、画像処理アルゴリズムの構築とプログラム開発をおこなった。

今回、木材と木材の間のエッジが不明瞭な場合、エッジ処理では、各木材毎に完全に分割することは困難であった。また、エッジを鮮明にするために、高解像度で撮影した画像の処理をおこなうと、処理時間が大幅に増加するという問題が生じた。複数の木材を一つの輪郭として抽出した後で、各木材の輪郭を抽出する際の円近似の方法では、誤認識する場合があった。

今後、各木材ごとの領域に高精度に分割するための新たな手法の開発と、楕円近似、およびテンプレートマッチングのさらなる精度向上、そして全体の画像処理プログラムの処理速度の向上を図る必要がある。

参考文献

(1) “リンクス:HALCON developer’s Kit”, 株式会

社リンクスコーポレーション.(online), available from<<http://www.Linx.jp>>, (accessed 2009-01-15).

- (2) 株式会社リンクスコーポレーション: HALCON オペレーターリファレンス
- (3) “一般式による最小二乗法(円の最小二乗法)”, 画像処理ソリューション.(online), available from <<http://imaging-solution.blog107.fc2.com/blog-entry-16.html>>, (accessed 2010-01-21)
- (4) Lars Petersson, Luke Fletcher Alexander Zelinsky, Nick Barnes, Fredrik Arnell, Towards Safer Roads by Integration of Road Scene Monitoring and Vehicle Control, *The international Journal of Robotics Research*, Vol.25, No.1, (2006-1), pp.53-72
- (5) 江尻正員 ほか: デジタル画像処理, 画像情報教育振興協会(2004) pp.202-207