画像処理を用いた経編ニット製品の糸切れ欠陥検出の自動化

小 屋 裕太郎*・包 躍**
中 田 崇 行***・荒 木 貢****

Vision Inspection Automation for Yarn Breakage of Warp Knitted Fabric

Yutaro KOYA*, Yue BAO**,
Takayuki NAKATA*** and Mitsugu ARAKI****

The factories to manufacture the cloth textile products need an automatic defect detection system to improve efficiency. However, the warp knitted fabric often used for sports etc. uniforms has a complicated structure. Therefore, the defects of warp knitted fabric cannot be detected by the existing methods such as the methods using a laser beam. We had proposed a method to detect the defects of warp knitted fabric by using block division and two different filters. This method needs a number of parameters, such as coordinates of perspective transformation, the width of block division, and a revision value of the threshold value at the time of judgment. Therefore, it has the problem that a number of parameters needs to be set manually. This paper proposed an inspection method using the block division and two kinds of filters which does not need the manual setting before inspection. The procedure is as follows: 1. The angle of the texture pattern is calculated from the image of cloth captured by a camera. This captured image is rotated based on this calculated angle. 2. The suitable block width is determined by calculating the cycle of a cloth pattern of transformed image. 3. The existence of a defect is detected without setting the threshold value manually by comparing the tendency of distribution of the filters output with a normal distribution. Based on the experimental results, it was confirmed that the defects of different types of cloth were correctly detectable from the image captured by a camera attached to a weaving machine placed in factory by using the proposal method.

Key Words: textile products, defective detection, image processing, divided block, automation

1. 緒 論

製品を製造する際には欠陥品を除外するために製品検査を行なう必要がある。布のような織物製品は、製造時に欠陥が発生すると布織り機を停止して人の手で糸の状態を元に戻さない限り連続して発生し続けるため、夜間などに無人操業を行なう際には製造された織物製品全体を監視し欠陥発生時に布織り機を即座に停止する自動検査システムが必要である。

本研究では、スポーツのユニホームなどで多用される、経編ニットという布を欠陥検出の対象とし、その中でも生産現場から提示されたサンプルの中から模様が布全体で均一かつ欠陥の現れ方の傾向が似ている3種類を検査対象とした。対象となる布織物製品は、生産量がもっとも多い等間隔に布の生地が薄い丸い模様が存在する布と、格子状の模様が存在する布の2種類で、製造される製品の横幅の長さは約4mである。これらの布地は市場での需要量が多く、生産現場から問題解決の要望が強い。布織物製品には糸抜け、破れ、模様のずれ、毛玉の発生などの欠陥が考えられるが、本研究では発生率が最も高い糸切れの欠陥を対象とする。

経編ニットの特徴として、蒸散作用などを狙った複雑な立体構造をもち、糸切れが発生しても布に穴が開かない場合がある。そのため、複雑な立体構造に対応できないレーザ光を用いた方法^{1), 2)}や厚みの変化を検知できない光やパルス式の赤外線を照射して調べる方法^{3)~5)}では検出ができなかった。また、1枚あたり約5.7秒の処理時間がかかるウェーブレット変換を用いた方法⁶⁾では織り機から逐次送り出される広い横幅をもつ製品の検査には対応できず、高速処理が可能な画像処理による方法^{7)~10)}も布の厚さの薄い部分から布の

* 東京都市大学総合研究所 東京都世田谷区等々力 8-15-1

** 東京都市大学大学院工学研究科
東京都世田谷区玉堤 1-28-1

*** 富山県立大学工学部 射水市黒河 5180

**** 城西ニット(有) 南砺市千福 111

* Advanced Research Laboratories, Tokyo City University, 8-15-1 Todoroki, Setagaya-ku, Tokyo

** Graduate School of Engineering, Tokyo City University, 1-28-1 Tamazutsumi, Setagaya-ku, Tokyo

*** Faculty of Engineering, TOYAMA Prefectural University, 5180 Kurokawa, Imizu

**** JHOSAI KNIT CO., LTD., 111 Senpuku, Nanto

(Received November 16, 2015)

(Revised July 20, 2016)

向かい側が透過して見えることから欠陥のみの検出が困難であった。

著者らは、織り機から逐次送り出される経編ニット製品の全体を検査するための自動欠陥検出方法として、撮影画像を一定間隔の長方形のブロックに分割し、ブロック内の輝度値を使用し、2 種類の逆の性質をもつフィルタを用いることにより欠陥部分を検出する方法¹¹⁾を提案した。しかし、カメラを傾けて撮影した布の画像を透視変換で補正を行なう際の 4 点の座標、ブロックの分割幅、フィルタ出力値の閾値の補正パラメータを人の手によって事前に適切な数値を調べた上で検査システム使用前にあらかじめ手動で設定しなければならない。そのため、検査対象となる布織物製品の種類が増えた場合にこれらの設定の最適値を再び調査しなければならない。検査前の準備に大幅な時間と手間がかかるという問題があり、実用化の障害になっていた。

本研究では、撮影画像のブロック分割と 2 種類のフィルタを用いる欠陥検出方法について、検査前の手動設定が不要な検出方法を提案する。撮影画像の布の模様の角度を算出することで撮影画像の傾き補正を行なう。また、傾き補正後の画像で布模様の周期を算出することで、適切なブロック幅を算出する。そして、連続して撮影された複数枚の画像データから得られたフィルタ出力値の分布の傾向を正規分布と比較することで、手動による閾値設定を行わずに欠陥の有無を判断する。工場の布織り機に設置したカメラで撮影した画像を用いた実験の結果、布の欠陥を正確に検出することが確認された。

2. 検査対象と従来方法

本研究での検査対象となる 3 種類の布織物製品を Fig. 1 に、2 種類の布の糸抜け欠陥のサンプルを Fig. 2 に示す。糸抜けの欠陥は布織り機で製造する際に織り機に取り込まれる糸が切れて糸が不足した状態で織られることにより発生し、欠陥部位は布が送り出される方向に一直線に発生する。欠陥部位が一度発生すると抜けた糸を元の状態に修復するまで欠

陥が連続して発生し続け、欠陥が一定長さ以上発生した布織物製品はそれまでの正常に織られた部位を含めてすべて破棄しなければならない。そのため、欠陥が現れた際には直ちに織り機を止めて糸の状態を復旧させる必要がある。

検査対象の布は複数のレイヤーによって構成されており、一様の模様となる布の上に模様を構成するレイヤーが重なっている。そのため、欠陥の現れ方は切れた糸の場所によって 2 種類存在する。一様の模様となる布の糸が切れると Fig. 2(a) のように布に穴が開くような大きな欠陥が現れ、模様を構成するレイヤーの糸が切れると Fig. 2(b) のように生地が厚さが薄い部分が広がるような欠陥となる。

同じ布またはレイヤーに属する糸であればどの位置の糸が切れても Fig. 2 に示した 2 種類のいずれかの同じ傾向の欠陥が現れる。また、穴が開くような大きな欠陥と比べて生地の厚さが薄い部分が広がるような欠陥は欠陥部の見え方がはっきりせず、検出難度が高い。そのため、欠陥を検出する際には Fig. 2(b) のような生地の厚さが薄い部分が広がるような欠陥を検出できるように設計すればよい。

既存の方法としてレーザを照射して布に反射した光または布の隙間を通過した光の有無で欠陥を調べる方法などがあるが、蒸散作用などを狙った複雑な立体構造をもつ経編ニットのような織物では欠陥検出が全くできないという問題があった。著者らは、経編ニットの欠陥検出の方法として、撮影画像を一定間隔の長方形のブロックに分割し、ブロック内の輝度値を使用し、2 種類の逆の性質をもつフィルタを用いることにより欠陥部分を検出する方法を提案している。

この方法では、欠陥部分とそれ以外の部分で輝度の差を明確にするためにカメラを布に対して斜めの方向から撮影し、撮影画像を布の正面から見たときと同様になるように透視変換を行なっている。変換後の画像は Fig. 3 のように布の進行方向に沿った方向に長くなるように布の模様の周期と同じ幅のブロックに分割し、ブロック内の平均輝度値に対して Fig. 4 のような特性が異なる 2 種類の 1 次元フィルタを適用してい

Fig. 1 The cloth textile product to inspect

(a) The defect of large hole

(b) The defect of thin thickness

Fig. 2 The sample of a defect

Fig. 3 The division method of a block

Fig. 4 Filter details

る。そして、両方のフィルタが反応した場合に、そのブロックに欠陥が存在すると判断している。フィルタの閾値は、フィルタの出力値の絶対値が大きい値を上から数個除外した上で算出している。フィルタの出力値の絶対値の平均値を Ave 、フィルタの出力値の絶対値の標準偏差を SD 、補正倍率を α としたとき、フィルタの閾値 Th は、

$$Th = -(Ave + SD\alpha) \quad (1)$$

としている。最後に、現在のフレームから数フレーム前までの検出結果を参照し、一定数以上のフレームで欠陥が検出された場合、その布に欠陥が存在すると判断している。

3. 提案方法

従来方法では、撮影画像の傾きを補正するための透視変換を行なう際の4点の座標とブロック幅の設定値については事前にシステムを用いて画像を撮影して人の手で調べなければならず、欠陥検出処理におけるパラメータであるフィルタの閾値 Th を算出する際の補正倍率 α と算出対象から外すブロック数、および複数フレームによる欠陥の有無の判断における閾値についても事前の実験で値を算出しなければならなかった。そのため、検査する布織物製品の種類が変わるたびにこれらのパラメータを算出し直さなければならず、システムの実用化の障害となっていた。

そこで、撮影画像から自動でパラメータを算出し、手動設定による閾値設定が不要な方法を提案する。

提案手法の処理の流れを Fig. 5 に示す。撮影画像はグレースケール画像とする。

3.1 画像の回転角度の算出

ブロック幅を算出する際に撮影した布が画像に対してカメラ光軸方向に傾いていると正確なブロック幅を算出することができない。カメラ光軸方向の傾きを精度よく補正するには透視変換を行なう必要があるが、逐次処理を行なうことを考えると変換に用いる4点の算出および変換処理に時間がかか

Fig. 5 The flow chart of the proposal method

Fig. 6 A method to calculate angle of the rotation

るという問題がある。そこで、縦編ニットの模様は布織り機から送り出される方向に一直線となっていることを利用し、布の模様から角度を算出し、画像を回転させることで、高速に傾きの近似補正を行なう。

回転角度の算出手順を Fig. 6 に示す。まず、角度算出のた

Fig. 7 Enlarged images of binary images

めの直線検出の準備として、撮影画像について大津の方法によって閾値を算出してから画像の二値化を行なう。つぎに、二値化画像を用いてハフ変換による直線検出を行なう。このとき、画像端部の輝度が暗くなっている部分の影響を減らすために、画像中心を基準として画像の縦幅と横幅をそれぞれ半分とした領域の中の情報のみを使用する。

このとき、布の模様によっては布の進行方向から大きく外れた角度の直線が検出される可能性がある。そのため、カメラは布の進行方向が縦方向に揃うように設置することを前提とし、画像の縦方向の直線を 0 度としたとき、検出する直線の角度は ± 10 度の範囲内に限定する。これによって検出された直線群を用いて画像の回転角度 D_r を求める。このとき、布の種類によって輝度値の分布傾向が大きく異なることから検出される直線群の傾向が異なり、1 つの角度決定方法だけでは正確な角度を決定することができない場合がある。そこで、布の種類に対応させるために下記 2 種類の方法を考案した。

(a) 布の種類対応法 1 (最多算出角度を用いる方法)

円形などの穴で模様が構成されている布は、二値化を行なうと Fig. 7(a) のように穴の部分である大きな点が一列に並んだ線として現れる。しかし、二値化により抽出される布の模様は輪郭に歪みが発生していることが多く、1 本の直線から回転角度を算出すると、模様の凸部分に反応することにより実際の模様の角度とは異なる値となる可能性がある。この場合、1 本の直線の検出結果だけではなく画像内の複数の位置の検出結果を用いれば、模様の凸状の歪みによる影響を低減することができる。また、その際に検出直線の角度の平均値を使用すると、模様の歪みの影響により大きく外れた値が平均値に含まれてしまうため、正確な角度が算出されない可能性がある。そこで、円形などの穴で模様が構成されている布の場合は、検出された直線の中で最も出現頻度が多かった角度を回転角度とする。

(b) 布の種類対応法 2 (θ - ρ 平面上の点の重複数を用いる方法)

格子模様の布のように模様が線状になっている布は、二値化を行なうと Fig. 7(b) のように細かい点で構成された断続的な線として模様が現れる。しかし、布の模様を示す直線の近傍にも多数の細かい点が存在しているため、検出直線の角度の頻度から回転角度を算出すると近傍の点を含めた直線も多数含まれてしまい、実際の模様の角度とは異なる値となる可能性がある。この場合、最も反応の強い検出直線を用いれば、近傍の点を巻き込む影響を低減することができる。そこで、格子模様の布のように模様が線状になっている布の場合

は、 θ - ρ 平面上で最も点の重複数が多い場所の x - y 平面上の直線の角度を回転角度とする。

角度決定方法の選択については検査対象の布に応じてシステムのユーザが決定する。そのため、ユーザには角度決定方法の選択を行なう作業が残るが、値の調査に手間と時間を要していた補正に用いる詳細の数値を自動で求めることができる。

3.2 ブロック幅の自動算出

撮影画像を回転させた画像について、適切なブロック幅を算出する。まず、ブロック幅算出の準備として、布の模様を明確にするために撮影画像に対してヒストグラム平坦化の処理を行なう。そして、ヒストグラム平坦化処理を施した画像に対して横方向の 1 次元離散フーリエ変換を行ない、パワースペクトルを算出することで最適なブロック幅を求める。

画像の横幅を N 、画像の横方向の分割数を k (k は実数)、画像列の位置を x 、画像列におけるすべての画素の平均輝度値を $Ave(x)$ とする。ブロックの開始点を画像左端としたとき、ブロック幅 B_k とパワースペクトル S_k は以下の式で求める。

$$B_k = \frac{N}{k} \quad (2)$$

$$S_k = \sqrt{R_k^2 + I_k^2} \quad (3)$$

ただし、(3) 式の離散フーリエ変換後の係数の実部 R_k と虚部 I_k は以下の式で求める。

$$R_k = \frac{1}{W_B} \sum_{x=0}^{W_B-1} Ave(x) \cos\left(2\pi \frac{x}{B_k}\right) \quad (4)$$

$$I_k = \frac{1}{W_B} \sum_{x=0}^{W_B-1} Ave(x) \sin\left(2\pi \frac{x}{B_k}\right) \quad (5)$$

(4) 式と (5) 式の W_B は画像の横幅 N の範囲内で重なりを許さずにブロック幅 B_k のブロックを最大数とした場合のブロックの総横幅を示す。 W_B は (6) 式によって求められる。

$$W_B = B_k \lfloor N/B_k \rfloor \quad (6)$$

k の値を徐々に増加させてそれぞれの B_k と S_k を求めているとき、 S_k の値が最大となったときの B_k をその画像のブロック幅とする。このとき、 N と k の値によっては B_k の値は小数を含む値となるが、布の模様の周期は整数値であるとは限らないため、小数点以下の値はそのまま保存する。

3.3 フィルタリング

回転後の撮影画像を縦長のブロックで分割し、ブロック内の合計輝度値を算出し、Fig. 4 の 2 種類のフィルタを適用する。ブロックの大きさは、ブロック幅は前節で求めた値、ブロック高さは画像の高さと同じとする。このとき、ブロック幅の値が小数を含んでいる場合は、ブロックの境界の位置によって輝度値を左右のブロックに分配する。分配の方法を Fig. 8 に示す。ブロック内の平均輝度値を算出する際に、境界に位置する画素列の輝度値を合計し、境界部の座標の小数以下の値を分配割合として、画素列の輝度合計値に割合を掛け合わ

Fig. 8 Distribution of the pixel value in a block boundary

せた値を左右のブロックの輝度合計値に加算する。

3.4 複数枚のデータを用いた判定

フィルタの出力値の中から欠陥部を示す絶対値が大きな負の値の存在を調べる方法について手動の閾値設定が不要な方法として、出力値の出現頻度の傾向を正規分布モデルと比較することで判定を行なう。その際に1枚の画像データだけではデータ数が少なく精度が安定しないため、複数枚の画像の出力値データを統合して使用する。

まず、複数枚の画像から得られたフィルタ出力値をすべて取得する。このとき、同じブロックから得られた3ブロックフィルタの出力値 F_3 と5ブロックフィルタの出力値 F_5 は1つの組データとして取り扱う。そして、 F_3 と F_5 のそれぞれの値について、符号を保存したまま値の絶対値を0から1の間に正規化を行なう。これにより、欠陥がある画像の場合は欠陥部のデータのみが絶対値が大きな値となるために欠陥部の出力値の絶対値は1に近くなり、それ以外の部分の出力値の絶対値は0に近い値となる。一方、欠陥がない画像の場合は際立って大きな値が存在しないため、いずれの出力値も全体的にばらついた値となる。

そして、正規化されたフィルタ出力値の組データを2次元データとして取扱い、データの出現頻度を2次元の正規分布モデルと比較する。正規化後の3ブロックフィルタと5ブロックフィルタの出力値をそれぞれ x_F と y_F 、組データを (x_F, y_F) と表わしたとき、 $(0, 0)$ からの距離が1以内の範囲を正規分布における $\mu \pm 3\sigma$ の範囲とおき、 $(0, 0)$ からの距離が1/3以内の範囲を $\mu \pm 3\sigma$ の1/3の範囲である $\mu \pm \sigma$ の範囲とおく。欠陥がある場合と良品の場合のそれぞれの (x_F, y_F) の分布と正規分布における $\mu \pm \sigma$ の範囲との関係を表わしたモデルを Fig. 9 に示す。布に欠陥がある場合は、欠陥のない部分のブロックのデータは $\mu \pm \sigma$ の範囲内に値が集中して現れ、欠陥が含まれるブロックのデータは2つのフィルタがともに大きな負の値となるためグラフの左下に現れ、欠陥が含まれるブロックの前後のブロックのデータは正常部分よりもやや大きな正の値となるためグラフの右上に現れる。一方、布が良品の場合はグラフ全体に値がばらついた分布となり、 $\mu \pm \sigma$ の範囲内に含まれる値の割合は少なくなる。そこで、 $(0, 0)$ か

Fig. 9 The distribution model of a filter output

Fig. 10 The structure of prototype system

Fig. 11 Appearance of a weaving machine and a camera

らの距離が1/3の範囲内に含まれるフィルタ出力値のデータの割合 R_σ を算出し、正規分布における $\mu \pm \sigma$ 以内に発生する確率 $P_\sigma = 0.6826$ を閾値として欠陥の有無を判定する。 $R_\sigma \geq P_\sigma$ であれば、欠陥部を示す大きな出力値が存在すると判断し、欠陥があると判定する。一方、 $R_\sigma < P_\sigma$ であれば、出力値が全体的にばらついていると判断し、欠陥がないと判定する。

使用する組データは、時系列が連続した一定数のフレーム画像からのデータのみを常に使用する。新しいフレーム画像からの組データを保存した後に、最も古いフレーム画像からの組データを削除することで逐次更新を行なう。

4. 実験

提案手法の有効性を確認するために、実際の工場の布織り機で撮影したサンプル画像を用いて検出実験を行なった。

撮影に用いた試作システムの構成を Fig. 10 に、布織り機とカメラのようすを Fig. 11 に、使用した機器の仕様を Table 1 に示す。布織り機に取り付けられたアームに接続され

Table 1 The detail of prototype system

OS		Windows 7
CPU		Intel Core i7 3.40GHz
Memory		8.00GB
The resolution of camera		640 x 480 pixel
Sensor		CCD ICX098BL, Monochrome, Progressive scan
Shutter speed		1/1000 s
Lens	Focus distance	6mm
	Angle of view	33°24' × 25°22'
	Smallest photography range	69 × 52mm

Fig. 12 Sample image 1

たカメラがレールとモーターによって布の幅方向に平行に移動し、布織り機の両端を往復しながら撮影を行なう。また、カメラのレンズ周辺にはリングライトが取り付けられている。

布の生地が薄い丸い模様が等間隔に存在する布の撮影画像 (Sample image 1) を **Fig. 12** に、格子状の模様が存在する布の撮影画像 (Sample image 2) を **Fig. 13** に、穴の模様の中に薄い糸の生地が存在する布の撮影画像 (Sample image 3) の一部を **Fig. 14** に示す。Sample image 1 と Sample image 2 は同一の欠陥を撮影した画像が 3 枚 1 組と良品部分の画像が 2 枚 1 組、Sample image 3 は同一の欠陥を撮影した画像と良品部分の画像がいずれも 3 枚 1 組となっている。欠陥を撮影した画像については、Sample image 1 の Defect 1 と Defect 2, Sample image 2 の Defect 1 と Defect 2, Sample image 3 の Defect 1 から Defect 3 は布に穴が開く欠陥の画像であり、Sample image 1 の Defect 3, Sample image 2 の Defect 3 と Defect 4, Sample image 3 の Defect 4 から Defect 7 は布の生地が薄くなる欠陥の画像である。実験ではそれぞれの画像の組ごとに提案手法による欠陥検出を実施す

Fig. 13 Sample image 2 **Fig. 14** Sample image 3

る。角度の算出に用いた直線検出の本数は最大で 1000 本とし、算出角度の分解能については度数法における小数第一位までとする。また、ブロック幅の算出における分割数 k の値の増加量は、フィルタの最小使用ブロック数である 10 個のときにブロック幅の増加量が 0.1 以下となる値として、 $1/64$ に設定した。

実験結果について、Sample image 1 に対する検出結果を

Table 2 The experimental results for sample image 1

Image		Rotation angle D_r (degree)			Block width B_k (pixel)			Ratio of value near the center R_σ	Judgment result
		Ideal Value (pixel)	Calculation Value (pixel)	Error Value (pixel)	Ideal Value (pixel)	Calculation Value (pixel)	Error Value (pixel)		
Defect 1	a	3.8	2.4	-1.4	15.89	15.81	-0.08	0.8557	Defect
	b	3.6	3.3	-0.3	15.82	15.88	0.07		
	c	3.7	2.6	-1.1	15.97	15.94	-0.03		
Defect 2	a	3.1	2.4	-0.7	16.43	16.45	0.02	0.8710	Defect
	b	3.0	2.8	-0.2	16.56	16.51	-0.04		
	c	3.3	3.1	-0.2	16.50	16.43	-0.07		
Defect 3	a	2.3	2.4	0.1	17.17	16.85	-0.31	0.7556	Defect
	b	2.1	2.2	0.1	17.20	16.99	-0.21		
	c	2.3	2.1	-0.2	17.17	17.03	-0.14		
Conforming article	a	3.8	3.5	-0.3	15.92	15.91	-0.01	0.6190	Conforming article
	b	3.6	3.1	-0.5	16.19	15.88	-0.31		

Table 3 The experimental results for sample image 2

Image		Rotation angle D_r (degree)			Block width B_k (pixel)			Ratio of value near the center R_σ	Judgment result
		Ideal Value (pixel)	Calculation Value (pixel)	Error Value (pixel)	Ideal Value (pixel)	Calculation Value (pixel)	Error Value (pixel)		
Defect 1	a	-2.1	-2.3	-0.2	17.82	17.88	0.06	0.7791	Defect
	b	-2.0	-1.8	0.2	17.68	17.84	0.16		
	c	-2.4	-1.8	0.6	17.50	17.79	0.29		
Defect 2	a	-0.7	-0.5	0.2	18.09	18.14	0.05	0.8889	Defect
	b	-0.5	-0.7	-0.2	18.06	18.24	0.18		
	c	-0.5	-0.5	0.0	18.27	18.28	0.00		
Defect 3	a	-0.2	0.2	0.0	17.91	18.20	0.29	0.7253	Defect
	b	-0.2	-0.7	-0.5	17.94	18.08	0.14		
	c	-0.2	0	0.2	17.91	18.10	0.19		
Defect 4	a	-0.1	0	0.1	17.34	17.56	0.22	0.8229	Defect
	b	-0.4	-0.2	0.2	17.37	17.42	0.05		
	c	-0.1	-0.2	-0.1	17.31	17.49	0.18		
Conforming article	a	-0.6	-0.5	0.1	17.91	17.96	0.05	0.6066	Conforming article
	b	-1.8	-1.2	0.6	16.97	17.14	0.17		

Table 2 に, Sample image 2 に対する検出結果を **Table 3** に, Sample image 3 に対する検出結果を **Table 4** に示す. 理想値の算出方法はいずれも人間の手作業による計測によるもので, 回転角の値は画像の幅方向の中心付近で布の模様に沿って直線を引いた場合の角度, ブロック幅の値は画像の高さ方向の中心付近で布の模様に沿って引いた直線の長さを模様の数で割った値である. そして, 誤差量は理想値から算出値を引いた値である. また, Fig. 12 の布撮影画像における正規化後の組データの値の分布を示したグラフを **Fig. 15** に, Fig. 13 の布撮影画像における正規化後の組データの値の分布を示したグラフを **Fig. 16** に示す. 布に穴が開く欠陥については, いずれの画像も R_σ の値が P_σ を大幅に超えていることから, 欠陥として正しく判定することができた. また, 布の生地が薄くなる欠陥については, いずれの画像も R_σ の値が閾値 P_σ に近い値になっているものの R_σ の値が P_σ を超えていることから, 欠陥として判定することができている. 良品画像については, Sample image 3 の Conforming article 4 についてのみ R_σ が P_σ を上回ったため良品を欠陥ありと認識する過検出が発生したが, それ以外の画像については R_σ が P_σ を下回っていることから, 良品として判定された.

また, 提案手法による回転角とブロック幅の算出が有効であるかどうかを確認するために, 実験で求めたすべての布の種類の数値と理想値についてケンドールの一致係数による検定を行ない, 値の相関を調べた. それぞれのデータの値はケンドールの一致係数を算出するために数値の小さい順に割り振った順位番号に対して検定を行なった. 検定に用いる X_r^2 の値を算出した結果, 回転角は $X_r^2 = 116.500$, ブロック幅は $X_r^2 = 104.325$ となった. また, $X_{0.05}^2$ の値はデータ総数が 67 個であることから, $X_{0.05}^2 = 85.965$ である. この結果から, 回転角とブロック幅はともに $X_r^2 > X_{0.05}^2$ であることから, 算出値と理想値に相関があるという検定結果が得られた. したがって, 提案手法による回転角とブロック幅の算出は有効であると考えられる.

回転角の誤差については, Sample image 3 の Defect 1(c) のときに最大で 2.1 度, ブロック幅の誤差は Sample image 3 の Conforming article 5(b) のときに最大で 2.79 pixel となった. しかし, いずれの場合も判定において正確な結果を得られていることから, 回転角とブロック幅の算出は判定に必要な算出精度を有していると考えられる.

過検出の発生については, Sample image 3 の Conforming

Table 4 The experimental results for sample image 3

Image		Rotation angle D_r (degree)			Block width B_k (pixel)			Ratio of value near the center R_σ	Judgment result
		Ideal Value (pixel)	Calculation Value (pixel)	Error Value (pixel)	Ideal Value (pixel)	Calculation Value (pixel)	Error Value (pixel)		
Defect 1	a	3.9	3.3	-0.6	16.69	17.81	1.12	0.8556	Defect
	b	4.2	3.7	-0.5	16.81	18.09	1.28		
	c	4.2	2.1	-2.1	16.56	15.05	-1.51		
Defect 2	a	4.3	4.4	0.1	16.94	18.72	1.78	0.8375	Defect
	b	4.2	3.9	-0.3	17.03	17.53	0.50		
	c	3.9	3.7	-0.2	16.88	17.84	0.96		
Defect 3	a	2.1	1.1	-1.1	16.47	16.16	-0.31	0.8652	Defect
	b	2.3	2.1	-0.2	16.82	17.76	0.93		
	c	2.1	2.1	0.0	16.53	18.84	2.31		
Defect 4	a	3.1	1.9	-1.2	17.19	16.03	-1.16	0.8438	Defect
	b	3.0	1.9	-1.0	17.22	16.25	-0.97		
	c	3.2	2.1	-1.1	17.06	16.74	-0.33		
Defect 5	a	2.9	1.8	-1.1	17.09	15.84	-1.26	0.8600	Defect
	b	3.1	1.9	-1.2	17.22	16.44	-0.78		
	c	3.0	2.3	-0.7	17.00	15.23	-1.77		
Defect 6	a	2.9	1.4	-1.5	17.09	15.84	-1.25	0.8725	Defect
	b	3.0	1.8	-1.2	16.94	15.89	-1.05		
	c	2.9	1.6	-1.3	16.91	15.38	-1.53		
Defect 7	a	0.8	0.5	-0.8	15.95	15.00	-0.95	0.8544	Defect
	b	0.7	0.5	-0.4	16.03	17.02	1.00		
	c	0.7	0.4	-0.5	15.89	16.62	0.73		
Conforming article 1	a	3.6	2.5	-1.1	16.74	16.60	-0.14	0.6210	Conforming article
	b	3.5	2.5	-1.0	16.65	16.31	-0.34		
	c	3.6	2.3	-1.3	16.50	16.03	-0.47		
Conforming article 2	a	6.5	5.6	-0.9	16.47	15.56	-0.91	0.5824	Conforming article
	b	6.3	4.6	-1.7	16.47	15.00	-1.47		
	c	6.4	5.4	-1.0	16.63	15.90	-0.73		
Conforming article 3	a	3.3	1.8	-1.6	17.06	15.84	-1.23	0.5106	Conforming article
	b	3.0	2.1	-0.9	17.19	17.26	0.08		
	c	3.2	2.1	-1.1	16.97	16.63	-0.34		
Conforming article 4	a	3.1	1.4	-1.7	16.97	15.86	-1.11	0.8065	Defect
	b	3.0	2.3	-0.7	17.13	17.03	-0.10		
	c	2.7	2.3	-0.5	17.31	17.51	0.20		
Conforming article 5	a	2.7	1.8	-1.0	16.91	17.29	0.38	0.4300	Conforming article
	b	2.7	1.2	-1.5	17.03	14.24	-2.79		
	c	2.9	1.9	-0.9	17.09	16.50	-0.59		
Conforming article 6	a	2.5	1.2	-1.3	16.68	15.51	-1.16	0.5784	Conforming article
	b	2.3	1.4	-0.9	16.76	15.71	-1.06		
	c	2.3	1.4	-0.9	16.62	16.40	-0.21		
Conforming article 7	a	1.3	0.0	-0.8	15.97	15.32	-0.65	0.5377	Conforming article
	b	1.3	0.4	-0.8	16.14	15.69	-0.45		
	c	1.3	0.2	-1.0	16.14	16.08	-0.06		

article 4 の正規化後の組データの値の分布を示したグラフである **Fig. 17** を見ると、グラフの右上にノイズが原因と考えられる正の大きな値が 1 点のみ存在しており、そのほかの値が相対的に中心寄りに分布したことが原因である。そのため、フィルタ出力値は欠陥がある場合は負の大きな値が出力されることから、正規化の基準値となる最大値の選定を負の値に限定することで精度が向上すると考えられる。

また、布の生地が薄くなる欠陥で R_σ の値が閾値 P_σ に近い値になっている点については、**Fig. 15** と **Fig. 16** を見ると布の生地が薄くなる欠陥の画像では (x_F, y_F) の組データが $\mu \pm \sigma$ の範囲の外側の周辺である 0.4 から 0.6 の間に多く分布していることから、 $\mu \pm \sigma$ の範囲内に含まれるデータが少なくなっていることが原因であると考えられる。このような分

布になっているのは、撮影画像の明るさが一様でないことが原因であると考えられる。今回の実験の撮影画像は画像の中心が明るく、端に向かうにつれて徐々に暗くなっていることから、ブロックごとの輝度値の合計値を算出すると **Fig. 18** のような山型の推移になる。フィルタは画像全体の明るさが一様であることを前提に設計しているため、**Fig. 18** のような山型の勾配の緩い分布に対してフィルタを適用すると、全体的に平部よりも大きく欠陥部よりも小さい値が出力されてしまう。この反応が $\mu \pm \sigma$ の範囲の外側の周辺に分布していると考えられる。このことから、布を撮影する際に画像内の明るさの分布が一様になるように撮影を行なう、もしくは画像の中心付近が明るく外側が暗いことを利用して画像中心からの距離に基づいて画素の輝度値を上げる補正を行なうことで

Fig. 15 The distribution map of sample image 1

Fig. 16 The distribution map of sample image 2

輝度分布を平坦にすることにより、フィルタ出力値の分布が安定し、欠陥認識の精度がさらに向上すると考えられる。

プログラムの処理時間については、10回の試行の平均値を

Fig. 17 The distribution map of sample image 3 (Conforming article 4)

Fig. 18 Graph of the total brightness value in a block

算出した結果、角度算出が画像1枚につき0.354秒、ブロック幅算出が画像1枚につき0.297秒、画像3枚を用いた判定が1組につき0.100秒となった。逐次処理が必須である判定処理については毎秒10枚に対して処理を行なうことが可能であり、実用性のある速度を有しているといえる。一方、角度算出とブロック幅算出についてはすべてのフレーム画像に対して処理を行なうことを考えると速度が遅いが、数フレームに1度のキャリブレーションに用いることを想定すれば利用可能な速度であると考えられる。また、実験で使用した試作プログラムは処理速度の最適化を行っていないため、アルゴリズムの最適化などを施すことにより処理時間が短縮され、より実用的な速度になると考えられる。

5. 結 論

撮影画像のブロック分割と2種類のフィルタを用いた布織物製品の検査システムについて、検査前の手動設定が不要な欠陥検出方法を提案した。撮影画像から布の模様の角度を求めて画像を回転させることで、撮影画像の傾き補正を自動で行なう。そして、画像から布の模様の周期を求めることでブロック幅を自動で設定する。最後に、複数枚の画像のフィルタ出力値を統合し、正規化されたフィルタ出力値の分布を正規分布の確率と比較することで、手動による閾値設定を行わずに自動で欠陥の有無を判断する。提案手法の利点は以下のとおりである。

(1) 撮影画像の布の模様の角度を算出して撮影画像の傾き補正を行なうことで、画像の位置合わせを自動で行なうことが

できる。

(2) 布模様の周期を 1 次元離散フーリエ変換により実数精度で算出することで、布模様に合った適切なブロック幅を自動で設定できる。

(3) 欠陥有無の判断の閾値に正規分布における発生確率を導入することで、検査前に手動による閾値の設定を行わずに欠陥の有無を判断できる。

従来の検査システムでは検査前に撮影画像の傾き補正のための透視変換の 4 点座標の位置の調査、ブロック幅の調査、2 つのフィルタの閾値の適切な補正值の調査、複数フレームの欠陥判定におけるフレーム使用数と閾値の最適値の調査をユーザが行なう必要があった。提案手法による自動化後は設定値の調査については一切不要で、ユーザが行なう作業は撮影画像の傾き補正の方法の選択のみとなり、検査システムの稼働前の事前準備を大幅に減らして検査を行なうことを可能とした。

また、生産現場で使用されている布織り機に組み込んだ検査システムを使用して撮影した布の画像を用いて検査実験を行なった。その結果、欠陥を 100% 正確に識別することができ、良品については低い誤判定率を得ることができた。

謝辞 本研究は、東京都市大学、富山県立大学、城西ニット有限会社、株式会社ロゼフテクノロジーの共同研究として、富山県新世紀産業機構の助成により実施したものです。生産現場での課題を解決するために助成をいただいたことに感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 辻, 吉田: スペクトルモーメントを用いた布地画像の欠陥検出, 1997 年電子情報通信学会総合大会, 220 (1997)
- 2) ドイツ, プロテクナー社: SCANNER 5390, <http://www.protechna.de/english/for-warping--machines/scanner/index.html>
- 3) 戸田, 三宅, 伊藤, 尾崎, 安藤: 検反装置, 公開特許公報, 1993-189784 (1993)
- 4) 安藤, 伊藤, 尾崎, 三宅: 検反装置, 公開特許公報, 1994-102198 (1994)
- 5) 川瀬, 宮垣: 編地の編み傷検出装置, 公開特許公報, 1993-25761 (1993)
- 6) 藤原, 章, 八田, 奥水: 併進不変ウェーブレット縮退を用いた織物表面検査, 電気学会論文誌 D, **126-1**, 25/34 (2006)
- 7) 田村, 山根, 森川, 渡辺: ガウス混合モデルによる織物の毛玉状欠陥検出, 映像情報メディア学会技術報告, **26-83**, 61/65 (2002)
- 8) 山根, 田淵, 森川: 正規化カイ 2 乗混合モデルの学習に基づく自動目視検査, 電子情報通信学会論文誌 A, **J92-A-4**, 234/242 (2009)
- 9) 三木, 松尾, 石澤, 松本, 西松, 鳥羽: レーザスペクルによる織物構造と欠陥の計測, Journal of Textile Engineering, **52-2**, 81/86 (2006)
- 10) 板谷, 小池: 編織物地のキズ検出方法, 公開特許公報, 1986-242844 (1986)
- 11) 小屋, 中田, 包, 荒木: 画像処理を用いた経編ニット製品の欠陥検出, 計測自動制御学会論文集, **49-8**, 737/746 (2013)

[著 者 紹 介]

小 屋 裕太郎

2010 年, 武蔵工業大学 (現東京都市大学) 大学院工学研究科博士前期課程システム情報工学専攻修了。2013 年, 東京都市大学大学院工学研究科博士後期課程システム情報工学専攻修了。同年, 同大学特別研究員。画像処理による工業製品の欠陥検出, 立体ディスプレイなどの研究に従事。

包 躍 (正会員)

1996 年, 金沢大学大学院博士課程修了。同年同大学助手, 横浜国立大学講師, 助教授を経て 2004 年武蔵工業大学 (現東京都市大学) 教授。立体ディスプレイ, 画像処理・表示, 移動ロボットなどの研究に従事。

中 田 崇 行 (正会員)

2002 年, 横浜国立大学大学院環境情報学府特別研究生。2004 年, 金沢大学大学院博士後期課程システム創成科学専攻修了。同年, 富山県立大学助手。同大学講師を経て, 現在, 同大学准教授。3 次元物体認識, 3 次元画像表示, ヒューマンインターフェースに関する研究に従事。博士 (工学)。

荒 木 貢

現在, 城西ニット (有) 社長。編機のセンシングによる生産効率化に強い興味をもち, 現在は経編ニット機械の自動制御, および画像処理による傷認識の研究に従事。編機技術の海外企業への技術指導なども行なう。