編地分析および設計支援システムの開発

(第1報) 画像分析による平編ニットの密度計測

近藤 幹也*, 高寺 政行**, 清水 義雄**

Analyzing and Design Supporting System for Knit Fabrics

Part 1 : Density Measurement of Plane Knit Fabrics Using Image Processing

Mikiya Kondo*, Masayuki Takatera**, Yoshio Shimizu**

Abstract

A measurement system was developed to measure the density of knit fabrics automatically without destruction, and the applicability was discussed. The density of knit fabrics is concerned greatly with the appearance of the finish, so the measurement is very important for the design and reproduction. Computer image processing and information analysis were implemented in the system to measure the density. The surface images of knit fabrics were scanned by an image scanner and saved to disk on a computer. The threshold processing and histogram processing were performed to determine the positions of courses and wales. Then, the system counted the number of stitches in a course. The density, the number of courses and wales per the unit length, were measured for some plane stitch knit fabrics. The density measurement was successful for relatively coarse fabrics such as five gauges and was good for gauge of less than or equal to 12, but was sometimes incorrect for fine fabrics such as 20 gauge. This is caused by the resolution of the image scanner. If the resolution of the image increase, the measurements become successful. This system can be used instead of the current manual measurement using a textile analysis glass.

(Received Oct. 28, 1997)

(Accepted for Publication Sept. 4, 1998)

1. 緒 言

編地の設計工程では、新規の編地を設計する上でも、設計データのない既存の編地を参考とするためにも、比較対照とする編地の分析により編糸の番手数、編目密度、編地組織などの計測が必要である。これらの編地の分析は、熟練作業者の経験と高度な視覚、触覚機能に依存しているのが現場である。この熟練作業者の経験は、工業用手動横編機の経験に基づいていることが多い。しかしながら、最近では、編機のコンピュータ制御化の進展に伴い、工業用手動横編機の経験が豊富な熟練作業者が減少してい

る。その結果、精度良く効率的に編地分析を行える熟練作業者が少なくなっていることから、編地分析の自動化が強く求められている。

織物に対しては、同様の理由から織物分析の自動化に関する研究が試みられている。織物の欠点検出については、渋谷ら¹⁾がその自動化について検討し、Shimizu ら²⁾は、パターン認識と推論機構を組合せた検反エキスパートシステムを開発した。織物組織の分析については、太田ら^{3,4)}が画像処理手法により、糸心線を推定し、織り密度の測定を行った。さらに、太田ら^{5,6)}は視認性の検討から先染め織物デザインの視覚的特徴について考察し、フーリエ変換に

* 会員, Member, 東京都立繊維工学試験場江東分場, Koto Branch Tokyo Metropolitan Textile Research Institute, 東京都黒田区本所, Honjyo, Sumida-ku, Tokyo

** 会員, Member, 信州大学繊維学部, Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, 上田市常田, Ueda, Nagano

より先染め織物の設計情報の抽出をおこなった。西松⁹⁾は画像処理により織物のたて糸とよこ糸の位置関係を決定し、モザイク処理により織物組織図との一致について検討した。織物の構成要素の計測について今岡⁸⁾はフーリエ変換と平行格子法を用いて織り密度を計測した。Akiyama ら⁹⁾は高速フーリエ変換を行うことによって、織物の凹凸構造の繰り返しパターンを検出した。木下¹⁰⁾は、フーリエ変換パターンから織物組織の認識を試みた。

これらの研究はたて糸よこ糸という構成要素を持つ織物について検討されたものであり、構成要素がループ状の編目である編地に対してはまったくなされていない。

編地に対しては、山田¹¹⁾は、紐の状態表現の手法を用いて、図形の幾何学的移動と遺伝的アルゴリズムに基づく変換処理により、手編記号から編目模様を生成するシステムを開発し、宮崎¹²⁾は、同様の手法に基づき、模式的な手編みの編地画像から手編記号を生成するシステムを作成した。しかし、工業用編機で編まれた編地に対して、コース数、ウェール数、編目数の計測についての試みはなされていない。

本研究では、画像情報解析手法を用いて、編地上の編目の位置決め、コースの位置決め、コース数、ウェール数、編目数の計測を行う方法について考察を行った。

2. 画像処理および計測手法

2.1 システムの概要と開発環境

編地の設計値を非破壊で計測することを目的とするため、編地の表面画像をコンピュータに入力し、ソフトウェアにより画像処理、計測処理を行うものとした。

システムは、島精機スーパーマイクロ SDS 原稿固定型 CCD イメージスキャナ、エンジニアリング・ワークステーション SUN4/40EC などの機器から構成される。画像処理の解析は、エンジニアリング・ワークステーションのウィンドウシステムに画像を表示する解析ソフトを C 言語で制作した^{13, 14)}。また、データ解析の一部には統計解析用言語パッケージの S 言語^{15, 16)}を使用した。

2.2 編地画像の入力

測定対象は平編地とし、表目側をイメージスキャ

ナによりスキャンする。編地を無荷重状態で平らにイメージスキャナの上に乗せ、外乱光の影響を受けないように原稿台よりも大きな黒色紙を編地の上に置き、カバーをして、内蔵光源による反射光で読み取り、エンジニアリング・ワークステーションの磁気ディスクにラスタ形式のファイルとして輝度数値で記録し、以後の処理に用いる。

2.3 2 値化による編目の検出

代表的な平編地表面画像を図 1 に示す。平編地の特徴として、図 2 に示すニードルループとシンカーループによる編地の穴がある。この穴の部分は画像として背景色になるため、2 値化によりこの穴の部分が開領域として抽出できれば、編目の位置が検出できる。この平編地表目画像のデータを輝度階調を等

Fig. 1 Surface image of plane knit fabric.

Fig. 2 Geometry of plane stitch.

Fig. 3 Plot of isodensity line of a plane knit fabric image.

高線で表示すると、図3のように編目の穴の低輝度階調部分の等高線が閉領域をつくる。実際の編地と比べてみると、編目の穴の部分が編地画像の低輝度部に対応しており2値化による編目の穴の部分の検出の可能性を示している。

そこで、イメージスキャナから読み込まれた画像上の編目位置の検出を行うために、編地画像の輝度分布を調べ、階調ごとの出現頻度をヒストグラムにし、編地の穴の部分が抽出できるようなしきい値を定めて2値化処理を行うものとする。編目画像のヒストグラムは一般にピークが高輝度側にあり、裾を引いた分布形となり、判別分布などにより手続きのしきい値を定めるのが困難であった。そこでしきい値は操作者が以下の手順により定めるものとした。

画像の x 方向をコース方向、 y 方向をウェール方向とする。各画素の輝度 p 、輝度のしきい値 T 、画素の2値化値を d とし、 $p < T$ のとき、 $d=1$ とし、 $p \geq T$ のとき、 $d=0$ として、編地画像の各画素をしきい値 T を境に2値化する¹⁷⁾。なお、2値化処理は、後のコースおよびウェールの認識において、単一のしきい値を用いる場合よりも認識率を向上させるためにコース方向判別用の x 方向輝度しきい値 T_{px} とウェール方向判別用の y 方向輝度しきい値 T_{py} を独立した値に設定できるようにした。

操作者は2値化前のヒストグラムから仮の T_{px} 、 T_{py} を定める。これらのしきい値をもとに、システムは、まず x 方向(コース方向)に1ラインずつ走査して、 d_x を累計する。つまり、輝度のしきい値 T_{px} より小さい輝度の画素の出現頻度を各 y 座標ごとに累計し、ヒストグラム化する。次に y 方向について、もう一度、新たなしきい値 T_{py} を境に2値化処理を

Fig. 4 Binary image of plane knit fabric.

行い、 y 方向(ウェール方向)に1ラインずつ走査して、画素の2値化値 d_y を累計する。輝度のしきい値 T_{py} より小さい輝度の画素の出現頻度を各 x 座標ごとに累計し、ヒストグラム化し、操作者はこのヒストグラムをもとにしきい値を補正する。このときの基準は、後述するコース・ウェール位置の検出に適したものとする。

2.4 編目領域の抽出と領域サイズの計測

得られた2つのしきい値により1つの入力画像から2つの2値化画像が得られるが、それぞれの2値化画像は編地部分が高輝度(白)、背景部が(黒)の画像となる。これを白黒反転したものの例を図4に示す。画像上で白く表示される編目の穴の位置が編目の位置関係を反映したものと考え、この出現位置の情報からコース、ウェールごとの編目の計数を行う。まず、2つの2値化画像を用いて編地の穴の部分抽出後、穴の部分を開領域としてとらえその位置を定める。しきい値 T_{px} を用いた2値化画像に対して、 x 方向に1ラインごとに同一画素値が連続する区間の開始、終了位置を検出し、連続する領域を検出する。次に、しきい値 T_{py} を用いた2値化画像に対して y 方向についても同様に連続区間を検出する。さらに、 x 、 y 方向のそれぞれの連続区間が重なる位置を検出することにより閉領域を検出する。図5に示すように各閉領域を構成する連続区間の幅のもっとも大きい値を、その閉領域の最大幅として x 方向の w_x と、 y 方向の幅 w_y をそれぞれ求めメモリに記録する。検出した閉領域の内部を2値化前の画

Fig. 5 Outline of detection of stitch region.

像の輝度で重み付けをして、その重心位置座標を求め、編目領域の位置座標とする。各編目領域には、領域番号を付け、各重心位置座標と x , y 各方向の領域幅をメモリ内に記録する。この重心位置座標を中心として、 x 方向の幅、 y 方向の幅 w , で囲まれた矩形の領域を編目領域として取り扱う。

2.5 コース、ウェール位置の検出

得られた編目の穴の重心位置座標からウェール数およびコース数を求める。その際、編組織自動分析等への応用を考え、よこ編の場合、編成順序であるコースごとに情報を得ておく必要があると考えた。まずコース位置を決定し、次に、同一コース内の編目数をウェール数として算出する。

横編地の元画像を画素の輝度階調値を用いて、 x 軸、 y 軸方向のそれぞれの特定しきい値 T_{ps} , T_{py} 未満の画素の頻度を行、列ごとに求めたグラフを図6に示す。

先に述べたしきい値 T_{ps} , T_{py} を適当に定めることによりグラフのピークは比較的規則的な間隔で発生する。このピーク位置を、編地の編目の位置関係を反映したものと考え、この情報からウェール数・コース数を求めることを試みた。その際、編地設計に利用するためには、よこ編の場合、コースごとに情報を得る必要があると考え、まずコース位置を決定し、次に、同一コース内の編目数をウェール数として算出することとした。

実際の処理は以下のような手順で行った。

Fig. 6 Histogram corresponding to scan lines of course and wale directions of a knit fabric image.

編目領域の抽出プログラムにより、抽出した全閉領域で y 軸方向の最大の領域サイズ R_{max} を検出する。次に、しきい値処理と各軸方向へ出現頻度のヒストグラム化を行う。さらに、 y 軸方向へヒストグラム化した出現頻度に対して、一定の頻度以下の部分を0とするハイパスフィルターによる低頻度部分の消去処理を行う。出現頻度のピーク位置の決定は、出現頻度が増加から減少に転じる位置を求めることにより決定する。

各閉領域が、同一コースであるかどうかの判定

Fig. 7 Outline of detection of courses of knit fabric.

は、出現頻度のピーク位置を中心にして閉領域の重心位置が最大領域サイズ内にある場合は同一コースと判定した。すなわち、各閉領域の重心位置の y 座標を y_w とすると、 y_w が出現頻度のピーク位置 y_i より最大領域サイズ $R_{\max}$ の2分の1下側の位置から y_i より $R_{\max}$ の2分の1上側の位置までの範囲、 $y_i - R_{\max}/2 < y_w < y_i + R_{\max}/2$ にある場合を同一コースとした。

2.6 コース数・ウェール数の計算

コース数は、前頁でコース位置と判定したピークの数コース数とした。ウェール数については、最大領域サイズ内にニードルループとシンカーループの重心が存在し、同一コースと判定された閉領域の数はそれぞれのループ個数の総和となるので、素の総和の1/2を持ってウェール数とした。

編目密度は、編地画像作成時のイメージスキャナの解像度と画像の画素数から、2.54cm当たりのコース数・ウェール数を換算して求めた。

この手順に基づいて、コース数・ウェール数、編目密度を求めるプログラムを作成した。全体の流れを図8に示す。

なお、ヒストグラム化する際のしきい値および低頻度部分の消去処理でのしきい値は、操作者が編目領域の抽出およびコース位置の決定処理の結果を見て試料ごとに設定できるようにした。

3. 実験および考察

提案した手法の適用範囲を検討するために実験を行った。実験には、ゲージ数および糸の色の異なる

Fig. 8 Flow of developed system to measure the density of knit fabrics.

市販の編地の他、当场で編成した編地、編地サンプル集¹⁸⁾の編地を用いた。試料の概要を表1に示す。イメージスキャナでの画像入力時の解像度は2.54 cmあたり200画素とし、輝度階調は白黒256階調で1024×1024画素の範囲を読み込んだ。計測部分を

Table. 1 Details of samples and results of stitch count.

Samples	Gauge	Materials	Color	JIS L1018 method		Scanner	Developed system		Results
				course	wale	resolution	course	wale	
				(count/2.54cm)	(count/2.54cm)	(dot/2.54cm)	(count/2.54cm)	(count/2.54cm)	
(1)	5G	wool	white	11.6	7.2	200	11.0	7.0	◎
(2)	5G	wool	yellow	11.2	7.0	200	11.0	7.0	◎
(3)	5G	wool	red	11.0	7.2	200	11.0	7.0	◎
(4)	5G	wool	blue	11.8	7.2	200	12.0	7.0	◎
(5)	7G	wool	white	17.0	9.8	200	19.0	9.0	○
(6)	7G	wool	red	18.0	10.0	200	19.0	10.0	○
(7)	7G	wool	blue	17.2	9.6	200	18.0	9.0	○
(8)	10G	wool	white	17.8	11.8	200	19.0	11.0	○
(9)	10G	wool	green	19.2	12.0	200	19.0	11.5	◎
(10)	12G	wool	white	20.6	17.0	200	22.0	16.0	○
(11)	14G	wool	white	25.2	20.2	200	17.0	18.0	×
(12)	20G	cotton	white	35.4	34.2	200	10.0	9.0	×
(13)	20G	cotton	white	35.4	34.2	1000	35.0	27.5	○

(1)~(11):knited by flat needle bed machine.
(12),(13):knited by tubular needle bed machine.

200×200画素の四角形領域として抜き取り，処理に用いた．なお，画像に対応する試料寸法は2.54cm四方となる．これはJIS法（JIS-L1018）に準拠したものである．

試料に対する計測値の結果を表1に示す．システムによる計測値は，編地画像をヒストグラム化する場合のしきい値とヒストグラムの低頻度部分の消去処理時のしきい値を，操作者が編目領域の抽出およびコース位置の決定処理の結果を見て試料ごとに設定して得た値である．なお，JIS-L1018による方法では5回の測定平均であるが，システムによる計測で得られる値は，コース数は1画像で1データ，ウェール数は各コースで計数したウェール数の平均値である．なお，表中の○はJIS法とシステムによる計測結果から，JIS-L1018の度目（（コース数+ウェール数）/2）の値をそれぞれについて決め，素の差が10%以内のものである．◎は，○のもので，コース数，ウェール数両者のJIS法とシステムによる計測値との差が1目以内でかつその差の絶対値の我が1目以内のものである．

一般にJIS法による目視計測での誤差は通常10%程度である．このことを考慮すると，表に示したように，12Gより粗い編み目の編地に対してはJIS法による測定結果と同様の結果が得られるものといえる．また，20Gの編目では複数の編目が1つに計数されてしまうため，精度の悪いものであった．No. (12)の試料に対して，より高解像度（1000dpi）のイメージスキャナを用いた場合は同様の処理によりコース数35.0，ウェール数27.5となりJIS法に近い結果が得られた．このことから，編目の計数におい

ては画像入力時の解像度が重要となる．数段階の解像度での入力の結果，一般に編目の穴の部分の閉領域の大きさが1目当たり3画素×3画素程度の解像度があれば，計数可能であった．また，編目が細かい場合，画像当たりの編目数の増加に伴い，編地の斜光の影響により，コース，ウェール位置の検出に失敗する場合が見られた．これに対処するためにはJIS法のように編目の大きさによらず同じ面積内の編目数を数えるのではなく，編目の相対的大きさに従って編目を計数する面積を調整することが有効と考えられる．色の影響は無地であればあまり大きくないが，一般に明るい色の試料の方が編目の穴の部分と編地部分とのコントラストが大きくなるため良い計数結果が得られる．また，本表の結果では用いてないが，濃色の試料に対してはカラー画像として取り込み，輝度分布の幅の大きなRGBのいずれかの成分を用いることにより同様の処理が可能であった．黒色の試料に対しては透過光による入力が有効であった．

4. 結 言

非破壊で編地の密度を測定するための測定システムを開発し，素の適用性を検討した．編地の表面イメージを，コンピュータにイメージ・スキャナで読み込み，コースとウェールの位置を決めるためにしきい値処理とヒストグラム処理を行い，コース数およびコース内の編目数を計数する手法を開発した．平編地の密度測定を行い，JIS法による目視測定と比較した結果，12G以下の比較的粗い木地に対して密度は正しく測定された．しかし20Gのようなファ

インゲージの生地では不正確な場合があった。これはイメージスキャナの現像度および編地画像の取り込み範囲の調製により改善された。本手法は、しきい値の設定や、試料の斜行の判断等に操作者の介入が必要であるが、分解鏡による目視測定に比較して操作が容易であり、これを置き換える方法として一定の有効性を持つものといえる。

参考文献

- 1) 渋谷淳夫, 相坂 登; 繊維工学, 29, No. 9, 1976
- 2) Y. Shimizu, T. Ishikawa, T. Furuta, N. Kayama, E. Toba, and A. Konda; Sen-I Gakkaishi, 46, No. 10 (1990)
- 3) 太田健一, 坂上勝彦, 田村秀行; 繊維誌, 36, No. 10 (1983)
- 4) 太田健一, 高橋邦彦, 佐伯光哉; 繊維誌, 41, No. 8 (1988)
- 5) 太田健一, 坂上勝彦, 小迫秀夫; 電子情報通信学会論文誌 D-II J74-D-II, No. 11 (1991)
- 6) 太田健一, 坂上勝彦, 小迫秀夫, 高岡 昭; 電子情報通信学会論文誌 D-II J74-D-II, No. 11 (1991)
- 7) 西松豊典; 繊維誌, 44, No. 6 (1991)
- 8) 今岡春樹, 乾 滋, 庭屋晴夫, 渋谷淳夫; 繊維誌, 44, p. 463 (1988)
- 9) R. Akiyama, T. Iguro and S. Utiyama; Sen-I Gakkaishi, 42, No. 10 (1986)
- 10) 木下瑞穂, 橋本義忠, 秋山隆一, 内山 生; 繊維誌, 40, p. 463 (1986)
- 11) 山田雅之, 伊藤裕一郎, 世木博久, 伊藤英則; 情報処理学会論文誌, 36, No. 11 (1995)
- 12) 宮崎剛, 山田雅之, 島尻優香, 世木博久, 伊藤英則; 情報処理学会論文誌, 36, No. 11 (1995)
- 13) 安居院猛, 中嶋正之, 木見尻秀子, 「C 言語による画像処理」, 昭晃堂 (1990)
- 14) 森下 茂, 安積克之, 「XView プログラミング入門」, スペック (1990)
- 15) 渋谷 政昭, 柴田里程, 「S によるデータ解析」, 共立出版 (1992)
- 16) R. A. ベッカー, J. M. チェンバース, A. R. ウィルクス著, 渋谷政昭, 渋谷里程 訳, 「S 言語」 I, II, 共立出版 (1991)
- 17) 岩崎謙次, 村井 中, 小泉幸乃, 都織工試験報, 第37号, p. 33~36 (1989)
- 18) 伊藤栄三郎, 「JAKDA ニットブック①サンプル張」, 日本ニットウェアデザイン協会 (1986)