Analyzing and Design Supporting System for Knit Fabrics Part 2 : Discrimination of Knit Stitch in Plain Knitted Fabrics Using Template Matching

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

*Koto Branch, Tokyo Metropolitan Textile Research Institute Honjyo, Sumida-ku, Tokyo, 130-0004, Japan

**Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, Ueda, Nagano, 386-0018, Japan

Abstract

An non-destructive analyzing system was developed automatically, and the applicability of this system was discussed. The discrimination of the stitch shapes is very important for analysis of the stitch construction of knitted fabrics. To discriminate the stitch shapes, a computer image processing and a pattern recognition were used in the system. The surface image of knitted fabrics was captured with an image scanner. A threshold processing and a histogram processing were used to determine the locations of knit stitches. After detection of stitch regions, the stitch shapes was discriminated using a template matching method. For knitted fabrics in which both back and face loops are used such as links-links and transfer stitches, this system presented in this study can be applied to the analysis of the discrimination of stitch shapes.

Key Words : Discrimination of Knit Stitch, Non-destructive Analyzing System, Computer Image Processing, Pattern Recognition, Template Matching

(Received May 17, 1999)

(Accepted for Publication March 10, 2000)

編地分析・設計支援システムの開発

(第2報) テンプレートマッチングによる平編地の編目形状の判別

近藤 幹也*, 高寺 政行**, 清水 義雄**

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再製造する場合の参考とするためにも、比較対照とする編地の分析が必要である。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状である。最近では、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¹⁻⁶⁾。そ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、山田ら⁷⁾は手編記号から編目模様

*会員, 東京都立繊維工業試験場江東分場, 東京都墨田区本所3-15-5, TEL. 03-3624-3731, FAX. 03-3626-5295

**会員, 信州大学繊維学部, 上田市常田3-15-1

を生成するシステムを開発し、伊藤ら⁹⁾は、家庭用編機および手編みによる編物の編み上がり模様をコンピュータディスプレイに表示するシステムを作成した。さらに、宮崎ら⁹⁾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み記号を生成するシステムを作成した。

しかし、今日まで、工業用編機で編まれた編地に対してテンプレートマッチングなどの画像認識手法を用いて編目形状を自動的に判別する試みは報告されていない。

前報¹⁰⁾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。

本報告では、編組織の自動分析技術の開発に資するため、前報で用いた編目の位置決めと編目領域の決定処理を用いて編目領域を抽出し、抽出した編目領域に対して、テンプレートマッチングによるパターン認識を行うことによって、編目形状の判別を試みた。

編地は非常に種類も多く、生地表面の状態は多岐にわたるため、本報告では、比較的平坦な表目、裏目からなるリンクス編および1目の寄せ目の編地を平編系編地とし、主にこれらの編地で色が黒色以外の無地のものを実験対象とした。そのため、表裏で組織構造の異なるゴム編系組織の編地や立体的な表面形態をとる縄柄など組織柄の編地に対しては今後の課題とし、表裏の組織構造に同一性のある平編系編組織の編目形状の判別を中心に検討を行った。

また、編地の分析においては、すべて表目、すべて裏目といった同一編目で構成されている編地の場合は、作業者によって容易に判別できるため、複数の種類の編目が混在している編地の編目種類の判別と判別した編目の配置を調べる作業が重要となる。そこで、このような異種編目が混在した編地中の編目の判別を試みた。

2. 画像処理および判別手法

2.1 システムの概要

編地の編目形状を非破壊で分析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および分析処理を行うものとした。

システムは、前報¹⁰⁾と同じ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 SUN 4/40EC などの機器から構成される。画像情報の解析は、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^{11,12)}。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^{13,14)}を使用した。

2.2 編地画像の入力

編地画像は、編地をイメージスキャナによりスキャンすることで作成した。平編系の編地はカールしやすいため、表面が平坦になる程度に四辺を伸張してテープで台紙に固定してイメージスキャナの上の原稿台に乗せ、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 編地画像の2値化処理と編目領域の抽出

編地の特徴として、編地表面にはニードルループとシンカーループによる編目の穴が存在する。この穴の部分は画像として背景色になるため、2値化処理によりこの穴の部分が閉領域として抽出できれば、編目の位置が検出できる。前報¹⁰⁾では、この編目の穴の位置を検出し、さらに編目の穴部分の閉領域の大きさを用いて各編目の領域を矩形で設定し、コース位置の検出が可能であることを報告した。

編地画像の2値化処理においては、編地の種類によって異なる2値化画像が得られる。平編表目の編地画像を図1(a)に、編目構造の模式図を図1(b)に、2値化画像の例を図1(c)に示す。表目の画像では、模式図に示すニードルループとシンカーループのループの穴部分が規則正しく並んだ2値化画像が得られる。平編裏目の例を図2に示す。平編表目を裏返しただけの平編裏目では、ループの穴の部分のみが画像として得られるのであれば、表目とはほぼ同様の画像となるはずであるが、実際には表目と異なる画像となる。これは、裏目では編成時に作られるループがオールドループに対して裏目側から表目側に押し込まれていく形となり、図2(b)の模式図に示すオールドループの頂点部分の円弧が常に裏目側に並ぶため、2値化画像においてもオールドループの頂点部分の円弧が波形に並び図2(c)のよ

うな画像が得られる。

さらに、寄せ目の例を図3に示す。寄せ目では、編目を寄せたことによって生じる空隙部分が大きな閉領域を構成するとともに、寄せ目周辺の編目が変形し特徴的な編目形状を有することがわかる。

このように、編地の画像処理では、単にループの穴の形状を反映するのみならず編成糸の立体的な位置関係も反映されるため、編目の種類により異なる画像の特徴が得られる。本報告では、このことを利用して、編目の穴部分の閉領域周辺の形状から編目種類の判別を試みた。編目の穴部分の位置決めおよび編目領域の抽出は、前報¹⁰⁾と同様に行うものとした。すなわち、イメージスキャナで読み込んだ画像上の編目の穴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

ム化し、編地の穴の部分が抽出できるようなしきい値を操作者が定めて2値化処理を行った。

編目画像のヒストグラムは一般にピークが右側にあり、左側に裾を引いた分布形となり、判別分析などにより手続き的に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と、 x 方向、 y 方向それぞれ異なるしきい値 T_{px} 、 T_{py} を用いてそれぞれの方向に走査して得られた2つの2値化画像を作成し、それぞれの方向に連続する領域が2つの2値化画像で重なる部分を、抽出し編目領域とした¹⁰⁾。さら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

(a) Surface image of front stitch.

(b) Geometry of front stitch.

(c) Binary image of front stitch.

Fig. 1 Front stitch.

(a) Surface image of back stitch.

(b) Geometry of back stitch.

(c) Binary image of back stitch.

Fig. 2 Back stitch.

(a) Surface image of transfer stitch.

(b) Geometry of transfer stitch.

(c) Binary image of transfer stitch.

Fig. 3 Transfer stitch.

の最大幅として x 方向の幅 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 w_x , y 方向の幅 w_y で囲まれた矩形の領域を編目領域として取り扱う.

2.4 テンプレートの作成

編目領域を構成する閉領域の形状に対して手書き文字の認識など用いられるテンプレートマッチング法による画像判別手法を適用して編目形状の判別を試みた. テンプレートマッチング法はテンプレートと入力画像を照合し, 画像の類似性から画像の種類を判別する手法である.

照合用テンプレート画像は, 編目種類が既知の編地をシステムに入力し, 編目領域の抽出を行い得られた編目領域画像に対して操作者が編目種類の記号を定めてテンプレートとした. 作成したテンプレート画像の例を図4に示す.

2.5 テンプレートマッチングによる判別処理

抽出した編目領域とあらかじめ記録しておいたテンプレートとの比較は, 画素の輝度階調値の差分 D を求めて行った.

抽出した編目領域を入力画像として, テンプレートとの重なり具合を, 両者の画素の輝度階調値に差分 D を求めて比較し, 入力画像と最も近いテンプレートを決定する処理プログラムを作成した.

なお, 入力画像の画素数は抽出した抽出された編目領域の大きさとし, この大きさがテンプレートよりも大きい場合には中心位置であわせて, テンプレートの大きさに照合を行うこととした. 入力画像の大きさがテンプレートよりも小さい場合のテンプレートとの照合は, 中心位置であわせて入力画像の大きさで行った.

j 番目の編目領域の差分 D_j は次式により算出した.

Fig. 4 Example of template image.

$$D_j = \sum_{i=1}^n (M_i - I_i)^2$$

ここで n は照合に用いる領域の大きさで、テンプレートと入力画像を比較して小さい方の領域の画素数である。縦横16画素の画像の場合は256となる、 i は照合に用いる領域内の画素の番号である。 M_i はテンプレートの輝度階調値、 I_i は入力画像の輝度階調値である。

作成したプログラムでは、まず1つのテンプレート a に対して、入力画像との差分 D_{ja} を求める。

テンプレートと入力画像の照合を中心位置座標であわせて行うため、画像の大きさが偶数画素の場合などの量子化の誤差を考慮して編目領域の抽出処理で抽出した編目領域とその位置から x, y 方向に ± 1 画素ずつずらして抽出した8つの領域を加えて合計9領域をその編目領域の入力画像として扱った。この ± 1 画素ずつずらして抽出した8つの領域を加えた合計9領域の番号を $k (= 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)$ とすると、テンプレート a との差分 D_{jak} を順に求め、最も小さい値となった差分 D_{jak} を j 番目の編目領域とテンプレート a の差分 D_{ja} とした。

次に、テンプレート $b, c, d, \dots$ とテンプレートを入れ替えてすべてのテンプレートに対して差分 D_j を求め、最も小さい値となるテンプレートを決定する。

さらに、この一連の処理を、抽出した全編目領域に対して行い、編目形状の判別処理とした。

作成した編目形状判別システムの処理の流れを図5に示す。

3. 実験方法

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、当场で編成した編地および編地サンプル集¹⁵⁾の編地を用いた。判別実験用編地試料の概要を表1に示す。

編地画像の作成は前報¹⁰⁾と同様に、イメージスキャナでの画像入力時の解像度は200dpiで輝度階調は白黒256階調とし、1024×1024画素で読みこみ、供試部分を200×200画素の四角形領域として抜き取り、処理に用いた。

編組織が既知の各種編地サンプルの編目画像をシステムに入力し照合用テンプレートを作成し判別処理に用いた。編成上は表目、裏目であっても、隣接編目との関係により編目形状が異なるので、平編の表目、裏目に囲まれた表目、パール編中の表目など

Fig. 5 Flow of the experiment system.

いくつかの特徴的な形状の編目ごとにテンプレートを作成した。編目種類ごとに作成したテンプレート数を表2に示す。

実験用編地の画像をシステムに入力して判別できた編目数を記録した。ただし、実験用のサンプルの素材、色、ゲージ等の条件は、テンプレート作成に用いた編地に含まれる範囲のものとした。実験用に用いた編地画像の例を図6に示す。

4. 結果および考察

判別処理の結果を表3に示す。一致率は目視による編目の判別とシステムによる判別が一致した編目数が全編目数に占める割合である。

表目の中に裏目が点在するあるいは裏目の中に表目が点在しているリンクス編の試料1, 2, 3, 4では一致率は95%~98%と良好であった。裏目の中に表目が2目存在するリンクス編である試料4 (図6(b))の出力例を図7に示す。全編目数110目中、目視判別と一致した編目は107目で一致率は97%であった。

裏目の中に表目が矩形の領域で存在するリンクス編の試料5 (図6(c))の出力例を図8(a)に示す。全編目数120目中、目視判別と一致した編目は87目で一致率は72%であった。目視による判別と一致しなかった部分は表目の矩形領域の周辺部に多く、主に表目裏目の接する部分の編目であった。

表目の中に裏目の矩形の領域が存在する試料6も

Table. 1 Outline of samples

No.	Pattern	Guage	Material	Color	Outline of knit stitches contents
1	Links	5G	wool	white	Back stitch in Front stitches
2	Links	7G	wool	white	Back stitch in Front stitches
3	Links	5G	wool	white	Front stitch in Back stitches
4	Links	7G	wool	white	Front stitch in Back stitches
5	Links	7G	wool	white	Front stitch area in Back stitches
6	Links	7G	wool	white	Back stitch area in Front stitches
7	Transfer	5G	wool	white	Front transfer stitch in Front stitches
8	Transfer	7G	wool	white	Front transfer stitch in Front stitches
9	Transfer	5G	wool	white	Back transfer stitch in Back stitches
10	Transfer	7G	wool	white	Back transfer stitch in Back stitches
11	Transfer	7G	wool	white	Front transfer stitch in Back stitches
12	Transfer	7G	wool	white	Back transfer stitch in Front stitches
13	Mix	7G	wool	white	Front Trasfer stitch and Back stitch in Front stitches
14	Mix	7G	wool	white	Back Trasfer stitch and Front stitch in Back stitches
15	Purl	7G	wool	white	Front stitch and Back stitch
16	1X1 Rib	7G	wool	white	Front stitch and Back stitch

Table. 2 Outline of templates

No.	Stitch pattern	Number of templates
1	Front stitch (Front stitch in Front stitches)	288
2	Front stitch (Front stitch in Back stitches)	208
3	Back stitch (Back stitch in Back stitches)	288
4	Back stitch (Back stitch in Front stitches)	208
5	Purl stitch (Front stitch and Back stitches)	64
6	Transfer stitch (Front transfer stitctch in Front stitches)	110
7	Transfer stitch (Front transfer stitctch in Back stitches)	36
8	Transfer stitch (Back transfer stitctch in Front stitches)	110
9	Transfer stitch (Back transfer stitctch in Back stitches)	36
10	etc	232
Total		1580

一致率は73%となり、不一致部は試料5と同様に表目、裏目の境界部分に多く発生していた。

寄せ目では、図6 (e) (試料8) のように寄せ目が点在している試料7, 8, 9, 10, 11, 12のサンプルでは93%~96%と比較的良好な一致率が得られた。これは、寄せ目は表目、裏目の形状よりも編目の穴が大きく図形的な特徴を有しているためと考えられる。寄せ目のある編地で目視による判別との不一致は、複数の寄せ目が接近して配置された場合の不規則に変形した編目に多く見られた。

表目の中に裏目のリンクス編と表目の寄せ目が混在する試料13 (図6 (f)) について実験を行ったところ、84%の一致率が得られた。さらに裏目の中に表目のリンクス編と裏目の寄せ目が混在する試料14

では85%の一致率であった。これら各種編目が混在する編地では、リンクス編の矩形領域の周辺部に接する編目に失敗がみられた。

試料15のパール編では65%、試料16の1×1針抜きゴム編は67%と、リンクス編、寄せ目より低い一致率であった。

パール編は図6 (g)に示すように表目裏目がウェール方向に交互に連続しているため、すべての編目が表目裏目の隣接する構造となっている。1×1針抜きゴム編も図6 (h)に示すように表目裏目がコース方向に交互に連続しているため、すべての編目が表目裏目の隣接する構造となっている。

リンクス編の場合も、表目の中に裏目の矩形の領域が存在するあるいは裏目の中に表目の矩形領域が

Fig. 6 Examples of experiment knit fabric image.

Table. 3 Result of discrimination of knit stitch shapes by template matching.

Sample No.	Correct stitch / Whole stitch*	Agreement ratio
1	71 / 72	98%
2	106 / 111	95%
3	72 / 73	98%
4	107 / 110	97%
5	87 / 120	72%
6	88 / 120	73%
7	68 / 71	95%
8	99 / 104	95%
9	67 / 72	93%
10	101 / 106	95%
11	99 / 105	94%
12	100 / 104	96%
13	88 / 104	84%
14	90 / 105	85%
15	66 / 101	65%
16	62 / 92	67%

*:Whole stitches was determind by hand-operation.

(a)Input Image (b)Output of template matching.
Fig. 7 Example of output by experiment system for links pattern knit fabric.

存在する試料の判別結果では、表目の中に裏目が点在するあるいは裏目の中に表目が点在している試料よりも一致率が低かった。その際、判別に失敗した部分はリンクス編の矩形領域の周辺部の表目裏目の隣接する部分付近に多く発生していた。

編地表側に凸状に出る表目と編地裏側に凹状にへこむ裏目が隣接する表目と裏目の境界部分では、編目が立体的になるため、糸の太さや撚りなどの影響により編目の穴の形状が不均一となるため判別精度が低下するものと考える。

そこで、目視による判別と一致しなかった主に表目と裏目の境界部分の変形の著しい編目について目視判別の結果をもとに数種の編地からテンプレートを作成し、一致率が75%以下となった試料番号

5, 6, 15, 16の編地について、再度判別処理を行った。その結果を表4に示す。

裏目の中に表目が矩形の領域で存在するリンクス編の試料5（図6(c)）の当初の出力例（図8(a)）での一致率は72%であったが、テンプレート作成を行い、再度判別処理したところ判別可能となった編目が増加した。その出力例を図8(b)に示す。テンプレートを調整し直して得られた図8(b)の出力例では、全編目数120目中目視判別と一致した編目は104目で一致率は86%となった。他の試料についても、表目の中に裏目が矩形の領域で存在するリンクス編の試料6（図6(d)）の当初の一致率は72%であったが、テンプレートを調整し直したところ、全編目数120目中目視判別と一致した編目は105目で一

Fig. 8 Change of output by system after tuning template for Sample No. 5.

Table. 4 Result of discrimination of knit stitch shapes after tuning template.

Sample No.	Correct stitch / Whole stitch*	Agreement ratio
5	104 / 120	86%
6	105 / 120	87%
15	74 / 101	73%
16	72 / 92	78%

*: Whole stitches was determind by hand-operation.

致率は87%となった。試料番号15のパール編 (図6 (g)) の一致率は73%, 試料番号16の1×1リブ (図6 (h)) の一致率は78%となり, 向上が見られた。

以上の結果から, テンプレートマッチングによる編目形状の判別処理は, 比較的変形の少ない表目, 裏目を持つ編地においては目視判別に近い精度の判別ができた。しかし, 表目と裏目が切り替わる境界部分が広い領域にわたる場合, 境界付近の編目については編目の変形が大きく, 変形の少ない編目をテンプレートとした判別処理では誤りが多く発生した。これを改善するために, 境界部分の変形した編目もテンプレートに含めることにより一致率の向上がみられた。

このことから, 判別用のテンプレートのデータを増やし, 作業者による簡便なテンプレートの調整機能などを付加することにより, 多種の編目を判別可能で, より使いやすい実用システムとなるものと考ええる。

5. 結 言

非破壊で編地の編目形状を判別するシステムを開発し, その有用性を検討した。開発したシステムは, 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, 得られた編地画像に対して, 2値化処理を用いた閉領域の抽出処理を行うことによって編目位置の検出と編目領域の抽出を行い, 抽出した編目領域に対してテンプレートマッチングによる画像認識手法を用いて編目形状の判別を行う。

本システムの出力と目視判別の一一致率においては, 表目の中に裏目が点在するあるいは裏目の中に表目が点在するリンクス編で95%~98%, 寄せ編で93%~96%と比較的良好な結果が得られた。

また, 一致率の低かった変形の著しい編目を含む試料に対しては, テンプレートを再調整することにより, 一致率の向上がみられた。このことから, テンプレートの再調整などの操作者の介入を簡便に行う機構を付加することなどにより, 一層実用性の高

いシステムが実現可能であるとの知見が得られた。

本手法では、編地の表面画像を用いて解析しているため、平編系編地を主に実験を行った。裏側の組織が存在するゴム編系組織に適用するためには、裏面画像の解析を併用することなどの改良が必要と考える。また、立体的な編柄のある編地の分析には、複数の編目の情報を用いて判別するなどより高次の判別機能が必要となると考える

参考文献

- 1) 太田健一, 坂上勝彦, 田村秀行; 繊維誌, Vol. 36, No. 10 (1983)
- 2) 太田健一, 高橋邦彦, 佐伯光哉; 繊維誌, Vol. 41, No. 8 (1988)
- 3) 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 Vol. J74 - D - II, No. 11 (1991)
- 4) 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 Vol. J74 - D - II, No. 11 (1991)
- 5) 西松豊典; 繊維誌, Vol. 44, No. 6 (1991)
- 6) 木下瑞穂, 橋本善忠, 秋山隆一, 内山 生; 繊維誌, 40, p. 463 (1986)
- 7) 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, Vol. 36 No. 11 (1995)
- 8) 伊藤裕一郎, 山田雅之, 世木博久, 伊藤英則; 情報処理学会論文誌, Vol. 39 No. 1 (1998)
- 9) 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, Vol. 36 No. 11 (1995)
- 10) 近藤幹也, 高寺政行, 清水義雄; 繊維誌, 51, No. 10 (1998)
- 11) 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)
- 12) 森下 茂, 安積 克之, 「XView プログラミング入門」, スペック (1990)
- 13) 渋谷 政昭, 柴田 里程, 「S によるデータ解析」, 共立出版 (1992)
- 14) 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, 柴田 里程 訳, 「S 言語」I, II, 共立出版 (1991)
- 15) 伊藤 栄三郎, 「JAKDA ネットブック①サンプル帳」, 日本ニットウェアデザイン協会 (1986)