(昭和62年3月30日受理)

織密度自動計測の試み

繊維高分子材料研究所 今岡 春樹・乾 滋
庭屋 晴夫・渋谷 惇夫

TRIAL ON AUTOMATIC MEASUREMENT OF THE DENSITY

By Haruki Imaoka, Shigeru Inui, Haruo Niwaya and Atsuo Shibuya

(Research Institute for Polymers and Textiles,
1-1-4, Higashi, Tukuba, Ibaraki, 305, Japan)

There are many kinds of methods to measure the density, i.e. the number of warp and weft existing in the unit length of fabric. One of the methods to measure the density is to count the number of warp and weft yarns by ravelling the sample or by inspecting with textile analysis glass. Another method is a recognition of the pattern of cloths. The measurement by densi meter is an example of such pattern methods.

While all these methods need the judgement by person, we developed a device to measure the density automatically by nondestructive inspection. Two methods, Fourier method and grille method, are proposed to analyze the optical images obtained by the device. The percentage of correct measurement varies according to the weave of the samples. More than 80% of the plain weave samples are measured correctly. Performance of the grille method is almost equal to that of the Fourier method.

(Received March 30, 1987)

1. 緒 言

生地の形態的特性の一つである織密度、すなわち、生地の単位長さ当たりのたて方向及びよこ方向の糸の本数の測定については、種々の方法が行われている。例えば、生地をほぐし、糸を1本ずつ取り出し、その本数を測定する方法、単位視野内をレンズ系を用いて拡大して観察し、目で数える方法、デンシメータ、すなわち、細かいピッチで平行なたて縞が順次間隔を変えて刻んであるガラス板を用い、生地面上に重ね合わせ、そこに生じるモアレ縞から織密度を測る方法などがある。

これらの方法のうち、生地をほぐして糸の本数を数える方法は、確実な方法であるが、結果を出すまでに時間がかかり、かつ生地の一部を切り取る破壊検査法である。また、レンズ系で拡大して測定する方法は、非破壊検査法であるが、生地をほぐして測定する方法と同様に、試験する生地の数が多い場合、非常に多くの時間と労力

を必要とする。デンシメータを用いる方法は、非破壊検査法であり、前記の二つの方法に比べると非常に短時間で測定することができる。また、拡大法とデンシメータを合わせた織密度測定装置も開発されている¹⁾。

しかしながら、これらの方法はいずれも判定には人間が介在し、自動測定とは言い難い。自動測定をめざした装置の開発を進めている例も見いだすことができる^{2,3)}。我々も、生地を非破壊で、しかも密度測定に人間の判断を入れない自動測定装置を試作した。前記の装置は、糸を1本1本数えるカウンタ方式であり、ローカルなボタン処理の累積により織密度を求めている。これに対し、本試作装置は、ある区間内の信号のボタンを見る方式であり、よりグローバルなボタンにより織密度を求めている。グローバルなボタンによる方式は一般にノイズに強く、ライティングの外乱による変動等に対して安定な測定ができると思われる。

本論文では、自動計測するための試作装置の概要につ

いて述べ、装置の性能を評価する実験結果について報告する。さらに、織密度を算出するために考案した、フーリエ法と、デンシメータをモデルにした、平行な格子と布とのモアレ縞を利用した方法(以後平行格子法と呼ぶ)の二つのグローバルなパターンによる方法を、比較検討する。最後に装置の改良点について考察を加える。

2. 試作装置

2.1 概要

本装置は、処理部、照明部、テレビカメラ、カメラスタンド、及びモニタテレビから成っている。本装置を図1、図2に示す。試料を照明部の上に載せ、照明部に内蔵されたライトで下から照らし、真上からテレビカメラで撮影する。照明部のライトを消し、外部より別のライトで照射することにより、透過光でなく反射光による測定も可能である。今回の実験では、すべて透過光を用いた。

2.2 データの取り込み

モニタテレビの画面中央の長方形の枠内が、データを取り込む部分である。この枠は、試料上でたて0.375 mm

Fig. 1. Construction of device for automatic measurement of the density.

A: Processing unit D: TV camera
B: Lighting unit E: Camera stand
C: Specimen F: Monitor TV

Fig. 2. The appearance of the device for automatic measurement of the density.

よこ 12.5 mm に相当する。この枠内をよこ方向に 256 等分し、各部分の明暗レベルをデジタル化したものを生データとする。各部分はそれぞれたて方向に 8 つのピクセルを持ち、各ピクセルは 8 ビットの分解能を持っている。各部分のデータは、8 つのピクセルの総和である。この生データの明暗を数えることにより、枠内の糸の本数を推定することができる。これを図 3 に示す。

また得られた生データを、RS-232C により外部計算機に転送することができる。この生データを用いて、外部計算機上で、織密度を算出するための様々なアルゴリズムを、比較検討することができる。

2.3 データ処理法

本装置は内部にグローバルなパターンによる方法の一つであるフーリエ法によるデータ処理部(ワンボードマイコン)を持っている。

フーリエ法は、生データの明暗をフーリエ変換を用いて数え、枠内の糸の本数を推定する方法である。すなわち、256 個の生データをフーリエ変換し、得られた 1 次～128 次のフーリエ係数の二乗振幅を求め、最も二乗振幅の高い次数を、枠内の糸の本数と推定するものである。

試作装置のデータ処理部では、17 次～80 次までのフーリエ係数を用いて推定を行う。得られた二乗振幅のうち、大きなものから 2 番目まで取り出し $x(n_1)$, $x(n_2)$ ($17 \leq n_1$, $n_2 \leq 80$) とする。 $n_2 = n_1 \pm 1$ の場合は、 $(n_1 + n_2)/2$

Fig. 3. Data sampling window.

Density is measured in the range of the window B. Lightness in each window cell is quantized.

A: Monitor TV
B: Sampling window
C: Magnified figure of sampling window
D: Window cell

を推定値とする。それ以外の場合には、 n_1 を推定値とする。本装置では、データ取り込みの幅を、1.25 cmとしているため、得られた推定値を1.25で割った値が、推定織密度(本/cm)となる。このようにして得られた推定織密度は、パネルに表示される。また、17次～80次までのフーリエ係数を用いているため、本装置の織密度の測定範囲は、13.6～64.0(本/cm)である。また、精度は基本的には0.8本となる。

3. 試作装置の性能評価実験

今回の実験は、装置全体の性能評価を行うため、生データの取り方を前章で述べたように固定して行った。

3.1 使用した試料

装置の評価のために用いた全試料は、165種類の布である。素材は、綿系統39(試料No.100番台)、毛系統42(200番台)、麻系統27(300番台)、レーヨン系統5(400番台)、合繊系統39(500番台)、絹系統13(600番台)である。組織による分類を表1に示す。生データとして、明暗が等間隔に並んでいるものが理想的であり、生地という、すき間のある平織を標準対象としているため、たて糸、よこ糸の交錯の仕方により測定に差が生じると考えられる。

これら165種類の試料について、たてよこ各方向ごとく場所を変えて5回ずつ測定を行い、手で数えて数えた実測値との比較を行った。

Table 1. Classification of samples according to their weave or stitch.

Foundation weave	Plain	102
	Twill	23
	Satin	1
Derivative of foundation weave	Plain	7
	Twill	6
	Satin	1
Special weave	Crepe	2
	Imitation gauze	1
Double cloth		9
Doup weave		1
Knitting	Plain	2
	Tricot	1
Combination weave		1
Pile fabric		2
Unknown		6
Total		165

3.2 実験結果

165種類の試料のたてよこ両方向に対して、実測値が装置の測定範囲内にあるものは、全体の87%であった。この範囲内のものに対して、実測値との比較を行った結果を表2に示す。実測値 ± 1 の範囲に入るものは49%であり、 ± 2 の範囲に入るものは70%であった。たてよこ方向に関しては、一般によこ糸の方が正答率が高い。また、組織別に見てみると、平織、斜文織、その他の組織の順に正答率が悪くなっている。その他の組織の中では、重ね組織の正答率が良い。以上の結果は、絶対的評価においても、相対的評価においても同じ傾向を示す。

図4、図5に平織、斜文織のたて糸に関する相対誤差のヒストグラムを示す。平織に関しては、実測値の1/2の付近に目立った山が見られる。 $\pm 2.5\%$ 以内でその8%がこの山の中に入る。これらの布は、糸間のすき間のないものであり、明暗のそれぞれに糸が対応し、結果として実際の1/2の値を示すと考えられる。斜文織に関しては、実測値の1/3、2/3の付近に目立った山が見られる。これらの傾向は、よこ糸に関しては、ほとんど見られなかった。

Table 2. Performance evaluation of the device. Every sample is measured five times in warp and weft directions.

- The distribution of difference between true value and measured value of density
- Percentage of samples satisfying $|\text{true value} - \text{measured value}| \leq 2$.
- Number of samples within the limits of measurement.
- Number of samples out of the limits of measurement.

	Plain		Twill		The others	
	Warp	Weft	Warp	Weft	Warp	Weft
a) > 3	7	6	0	1	4	6
3~2	5	18	0	0	0	8
2~1	18	22	8	12	0	5
1~0	70	101	6	11	0	17
0~-1	181	234	12	23	15	25
-1~-2	103	84	5	25	5	24
-2~-3	11	18	0	3	6	9
-3<	65	2	53	15	115	71
b)	81%	91%	38%	79%	14%	43%
c)	460	485	85	90	145	165
	945		175		310	
d)	75		55		90	
Total	1020		230		400

Fig. 4. Histogram showing relative error of density. (Plain weave)

Fig. 5. Histogram showing relative error of density. (Twill weave)

Table 3. Density of warp measured by Fourier method.

a) By Fourier method. (Measured five times)
b) By ravelling the cloth. (Average of five times)

unit : number of yarns/cm

Sample No.	Weave	Density ^{a)}					Density ^{b)}
114	Plain	47.2	24.0	23.2	24.0	47.2	49.0
133	Plain	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	39.0
136	Plain	27.2	27.2	27.2	28.0	28.0	55.0
204	Twill	16.0	20.0	22.4	18.4	19.2	27.0
209	Derivative plain	16.8	16.8	16.0	19.2	13.6	7.0
238	Derivative plain	21.6	21.6	21.6	13.6	21.6	25.0
502	Plain	39.2	39.2	39.2	39.2	39.2	40.0
510	Plain	19.2	13.6	18.4	20.0	18.4	86.0
519	Plain	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	14.0
525	Twill	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	55.0
536	Twill	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	35.0
609	Imitation gauze	25.6	26.4	25.6	25.6	25.6	54.4

4. グローバルなボタンによる方法の比較実験

4.1 フーリエ法による実験と結果

試作装置の評価実験から、特徴的と思われる 11 種類の試料を選び出し、くわしい解析を行った。解析にあたっては、装置を生データ取り込み専用用い、外部計算機としてミニコンを使用した。

表 3 は、試作装置による、たて糸の 5 回ずつの測定結果である。No. 209, No. 510 は測定範囲外と考えられる試料である。No. 133, No. 502 は正答を示したと考えられる試料である。No. 204, No. 238 は誤差の大きい試料で、それぞれ糸が見づらい、糸の太さが一様でないという特徴を有している。No. 136, No. 609 は、正答の 1/2 の値を出す布で、それぞれ糸間のすき間がない、2 本 1 組の模し織という特徴がある。No. 525, No. 536 は正答の 1/3, 2/3 を出す斜文織で、前者はすき間がないものである。No. 144 は測定場所により正答を出したり、その 1/2 を出したりする例である。

図 6 は、ミニコンで処理したモニタ像、生データ、フーリエ乗振幅図を例示したものである。No. 209 は装置の測定範囲外であるが、全フーリエ振幅を見ると正答の位置 (7.2 本/cm) に高いピークを見ることができる。No. 502 は理想的な生データであり、39.2 本/cm の正答位置に高いピークが生じている。No. 204 は生データが乱雑な周期を示し、フーリエ振幅にきわだったピークが認められない。No. 136 は生データがきれいであり、27.2 本/cm の位置に高いピークがみられる。しかしモニタ像からも明らかなように糸間にすき間がないため正答の 1/2 の値を示している。No. 536 は生データの明暗の感度がわるいが、斜文織に時々見られる、正答の 2/3 の位置 (22.4 本/cm) にピークがある。

4.2 平行格子法の理論

平行格子法は、グローバルなボタンによる方法の一つでデンシメータをモデルとして考え出したものである。

デンシメータは、ガラス板上に平行格子線を少しずつピッチを変えながら印刷したものである。これを布に重ねるとモアレ縞が現われる。モアレ縞は平行格子線のピッチが糸の間隔に近づくにつれて太くなり、一致する部分には現われない。デンシメータはこのように目視によって簡単に織密度を求めるものである¹⁾。

今、一定のピッチが印刷された 2 枚のガラス板を重ね合わせた時に生じるモア

Fig. 6. Typical samples, observed lightness pattern and their Fourier spectra.

レ縞について考える。ピッチをそれぞれ P_1 , P_2 として, P_1 と P_2 はほぼ等しいとする。この時生じるモアレ縞の間隔 P_m は

$$1/P_m = |1/P_2 - 1/P_1| \quad (1)$$

と表わすことができる。モアレ縞と類似の現象として, うなりがある。うなりとは, 2 個の音源から出た振動数がわずかに異なる音を同時に聞いた時に, 音の強さが時間的に変化する現象である。いま 2 つの音を

$$y_1 = A \sin(2\pi\nu_1 t) \quad (2)$$

$$y_2 = A \sin(2\pi\nu_2 t) \quad (3)$$

とする。これを合成すると式(4)が求まる。

$$y = 2A \sin[\pi(\nu_1 + \nu_2)t] \times \cos[\pi(\nu_1 - \nu_2)t] \quad (4)$$

これは平均振動数が $1/2(\nu_1 + \nu_2)$ の音であり, その振幅が時間とともに(5)式に従って変化することを示している。

$$A(t) = 2A \cos[\pi(\nu_1 - \nu_2)t] \quad (5)$$

うなりの波形の節から節までの距離を λ_b とおき, これを 2 つの音の波長 λ_1 , λ_2 によって表わすと(6)式となる。

$$1/\lambda_b = |1/\lambda_2 - 1/\lambda_1| \quad (6)$$

このように(1)式と同じ形式で表現できる。モアレ縞とうなりは原理的には同一の現象とみなせる。平行格子法は, この原理を応用して織密度の自動計測を実現しようとするものである。

音波では重ね合わせが成立する。一方, 格子線は明暗 2 値の信号から構成されており, 重ね合わせは成立しない。モアレ縞は, 明暗の密度分布の変化によって現われる。本実験で得られる生データは明暗のレベルをデジタル化したデータである。このデータを計算機内で仮想的な基準格子線と合成するが, 明暗の信号であるため本来重ね合わせは成立しない。しかし, (1)式と(6)式が形式的に一致することから計算機内部では, 生データを重ね合わせの成立するよこ波であると見做して処理を行う。

デンスイメータでは約 17 cm の幅に平行格子線のピッチを少しずつ変化させて印刷してあるために, 1 枚で広い測定範囲をカバーすることができる。一方, 本実験で用いる生データは布の幅にして 12.5 cm についてのデータであるため, 計算機内でデンスイメータと同様にピッチを変化させることはできない。そのためピッチが一定の基準格子線を計算機内にいくつか用意し, それを次々と重

Fig. 7. Formation of wave envelope in grille method.

A: Observed value of lightness.

B: Sine wave signal generated by computer.

C: Two signal A and B are summed up, and the beat pattern appears.

Fig. 8. An example of the analysis by grille method.

ねる手法を用いる。基準格子線にはデンシメータのように明暗2値の信号ではなく正弦波を用い、滑らかなうなりの波形を求める。

次に波の合成により得られた256点のモアレ波形から極大値 $f(i)$ を包絡線上の点として抽出し、その偏差

$$\sum_i (f(i) - \bar{f})^2 \quad (\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_i f(i); n \text{ は } f(i) \text{ の点数})$$

を求める。基準格子のピッチが糸の間隔に近くなるに従ってしだいに偏差は大きくなり、一致する付近で最大となった後、減少する。ピッチが完全に一致すると、うなりはなくなり、偏差もゼロとなる。そこで実際には偏差が最小になる時のピッチを織密度とする。本実験では計算時間節約のため2段階の探索を行っている。最初に偏差の最大値をもとめ、次にピッチの変化分を小さくした基準格子を、最大値のピッチ付近について用意して、2回目の探索を行う。この時に偏差が最小になったピッチを織密度とする。例えば図7、8に示すようなプロセスを経て織密度が得られる。

4.3 平行格子法による実験結果

表3に示した11種類の試料について、平行格子法で実験を行った。その結果を表4に示す。

試作装置で測定範囲外であったNo.209, No.510に関しては、正答を出す可能性があることが確認できた。その他の試料に関しては、傾向、予測値ともにフーリエ法と同様の結果が得られた。以上の結果から、本手法は、フーリエ法より優れているとの結論は出なかった。しかし、正答値の近辺で精度を上げるために用いることができると考えられる。

5. 改良点に関する考察

改良点としては、まず測定範囲の拡大があげられる。実際全試料の13%は、測定範囲外であった。次に、フーリエ法以外に、より有力な方法がないかを、検討することも重要である。また、実測値に比例した値を出すものに対して、他の情報を用いて、正しい値を推論することが可能かを検討する必要がある。

装置の測定範囲の拡大に関しては、4.1節の結果から、糸の本数が少ないものに対して可能であると言える。しかし、フーリエ振幅図から明らかなように、低次の振幅は、光の透過が一樣でないため、高い値を示し、あまりに低い次数を範囲に入れると誤った推定値を出す可能性がある。糸の本数の多いものに対しては、

Table 4. Density of warp measured by grille method.

a) By grille method. (Measured five times)
b) By ravelling the cloth. (Average of five times)

unit : number of yarns/cm								
Sample No.	Weave	Density ^{a)}					Density ^{b)}	
114	Plain	45.2	25.3	47.1	47.1	23.5	49.0	
133	Plain	38.7	38.8	38.5	38.7	38.5	39.0	
136	Plain	26.6	26.5	26.4	26.4	27.0	55.0	
204	Twill	68.2	14.7	67.0	75.2	13.7	27.0	
209	Derivative plain	5.4	11.7	7.8	8.0	79.3	7.0	
238	Derivative plain	68.2	21.2	14.2	21.0	21.1	25.0	
502	Plain	39.1	38.9	38.9	39.2	39.1	40.0	
510	Plain	81.9	86.7	15.3	90.6	91.0	86.0	
519	Plain	13.0	13.3	10.1	13.6	12.8	14.0	
525	Twill	17.8	17.8	17.8	17.8	17.9	55.0	
536	Twill	21.9	22.2	68.3	22.7	27.3	35.0	
609	Imitation gauze	25.9	51.2	25.6	26.0	26.1	54.4	

正答位置に目だったピークが見られなかったため、生データのサンプル点数を増やす必要があると考えられる。

4.3節の結果から、平行格子法はフーリエ法に比べて、およその値が分かっている場合の局所的推定に適していると言える。しかし、一般的には、アルゴリズムの単純なフーリエ法のほうが分かり易く利用し易いと思われる。

平織のたて糸に関しては、糸と糸のすき間がない場合、明暗のそれぞれに糸が対応し、その結果正答の1/2の値を示すことが実験により示された。糸が密な布と粗な布とが区別できれば、この点に関しては、改良の余地がある。そこで、フーリエ法のピーク値における、二乗振幅の絶対値を区別のための測度とすることを考えた。密な布ほど明暗の差が小さく、その結果として二乗振幅値が小さくなると予測できる。

測定位置によらず正答値を示す18種類の試料と、正答の1/2の値を示す12種類の試料について二乗振幅値

のみで分類が可能であるか調べた。その結果、境界領域で誤分類されるものが出て来た。

糸の太さがあまり変化しないと仮定すると、織密度が大きい布ほど二乗振幅値が小さくなると予想できる。図9に二乗振幅値と推定織密度との2次元プロットを示す。この図から、正答を示す布とその1/2を示す布との分類が可能であることが分かった。

6. 総括

良好な生データを得るためには、測定部の大きさと分解能、ライティング等を、測定範囲、精度に合わせて、考慮する必要がある。2章で述べた条件で実験を行った結果、試作装置は、測定範囲内で、70%の正答率(±2本の誤差範囲)を示した。織組織の基本である平織に関しては、85%の正答率を示した。

組織、たて糸、よこ糸によって正答率が異なり、一般によこ糸がたて糸より高い正答率を示し、平織、重ね組織、斜文織、変化組織の順に正答率が悪くなった。

平織、斜文織のたて糸については、正答に比例した値を推定値として示す場合があった。これに対しては、織組織、フーリエ二乗振幅値、推定織密度を利用すれば、正しい値を推論することが可能であることを平織について示した。この結果、平織の正答率を90%にすることが可能となった。

データ処理法については、フーリエ法と平行格子法をグローバルなボタンによる方法として提案し、比較検討した。フーリエ法は、生データを、それに含まれている周期信号に分解する方法であり、平行格子法は、生データとそれに近い信号とを比較する方法である。実験により、両者はほぼ同様の推定能力があることを示した。

文 献

- 1) И.С. Марголин, Н. М. Емельянов, Текстильная Промышленность, **7**, 74 (1975)
- 2) Н.И. Пятигорец, А.П. Храпливый; Текстильная Промышленность, **10**, 50 (1981)
- 3) 坪井弘司, 織工試研究報告, **74**, 61 (1965)
- 4) 篠原 昭, 繊維工学, **37**, 253 (1984)

Fig. 9. Discrimination of density by squared amplitude.

a) Measured by Fourier method.

- Measured value is a half of the true value.
- Measured value is equal to the true value.