画像処理による不織布のむらの評価技術

岐阜県繊維試験場 遠 藤 善 道 (会員)
岐阜県繊維試験場 加 藤 博 一

Evaluation Method of Thickness irregularity Nonwoven Fabric with Image Processing.

Yoshimitsu Endou, Hirokazu Kato

Gifu Prefectural Textile Research Institute

Abstract

Thickness irregularity ("Mura") is an important factor in the quality inspection of nonwoven fabric, and in the factory, it is evaluated by human sight-check. Human sight-check, however, involves some problems in objectivity and reliability. It is therefore desirable to develop an automatic inspection machine.

In this report, the relation between the value of human sight check and statistics of image processing for nonwoven fabric was investigated and the regression equation of this relation was obtained. The equation had a high multiple correlation coefficient of 0.94 and should be useful in developing an automatic inspection machine.

(Received February 10, 1995)

(Accepted for Publication May 14, 1996)

摘 要

目的 不織布の品質検査では、「むら」の評価を官能検査で行っている。この「むら」の検査を画像処理を用いて行う場合の処理方法について検討する。

成果 (1) 現在提案されている画像処理統計量は、共線性が高いものが多く、多変量解析に用いることのできる統計量は数種類である。

(2) 多変量解析を行い、変動係数・歪度・自己相関特徴の統計量を利用することで、官能検査値と重相関係数0.94という高い相関を持つ回帰式を作ることができた。

(平成7年2月10日受理)

(平成8年5月14日審査終了)

1. 結 言

不織布は紳士服の芯地の他、自動車の内装、カーペット、スエードの下地など幅広く利用されている。この不織布の品質管理項目はいくつかあるが、不織布の「むら」が重要とされている。現在「むら」の管理に関しては、製造工程の最終段階で目視検査を実施している。目視検査では、客観性・定量性に問題を抱えており、この検査工程の自動化が望まれている。「むら」の検査には、製品を裁断して、各素片の重量を量り分布をみるという方法もあるが、画

像処理による方法が、オンライン・非破壊で検査できるため、この方法の確立が望まれている。

「むら」に関する画像処理については、スライバのむらの評価について近田¹⁾が研究を重ねているほか、画像処理機器メーカーもいくつかの機器を発表している²⁾。画像処理装置による「むら」の定量的評価は、2値化画像を利用しているが、2値化の閾値の合理的な決定方法や、算出される数値の意味付けなどに問題がある。このほか、製紙の分野でも「むら」の検査に関して、同様の問題を抱えており、いくつかの研究がなされている。特に内藤³⁾が積極的に

この問題について研究している。しかし、紙は不織布に比べるとはるかに均一であることから、内藤らの手法が、不織布に関しても有効かどうかは明らかでない。

本報告では、画像処理の手法を利用することで、作業者の目視による官能検査を代替し、不織布の品質検査に客観性と定量性を持たせるための手法を検討する。

2. 実験

現在目視検査では、不織布の背後から光を当てて、むらを見やすくして検査している。本報告でも不織布の透過光画像を取得し、その画像をもとに、各種の画像統計量を計算する。これからの統計量と、官能検査との相関関係を調べる。さらに、単一の統計量のみでは相関係数が小さい場合は、多変量解析を行い、重相手関係数の大きな回帰式を作る。

画像から集計される統計量によって、官能検査が代替できるかどうか、また、どのような統計量が検査に有効であるか検討する。

2.1 画像統計量

画像から様々な統計量を算出する試みは、画像認識・画像理解などの分野、また、テキストチャ分類・解析の分野で盛んに行われている。

不織布の透過画像は、CCDカメラで撮影した時点で、1画素ごとの輝度の情報に交換される。この画像は2次元的な広がりを持つが、この画像の輝度の分布状態を集計することで様々な統計量が考えられている^{4,5)}。本報告では、画像の統計量を算出する方法として、表1に示すような統計量を用いた。統計量は1次統計量として標準偏差、分散、歪度、尖度、変動係数、2次統計量としてフラクタル次元⁶⁾、面積変動曲線⁹⁾、同時生起行列⁹⁾、差分統計量⁹⁾、自己相関特徴^{4,5)}、高次統計量としてランレングス行列⁹⁾を利用した。

これらの統計量のうち、2次統計量やランレングス行列には、図1に示すように画像を集計するときの変位 $\delta(r, \theta)$ が定義されている。画像は前述のように1画素ごとに量子化されているために、変位 $\delta(r, \theta)$ の取ることのできる値には制限がある。また、2点 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) があるとき、 r を(1)式のように定義する。

$$r = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|) \quad (1)$$

$|x|$ は x の絶対値、 $\max(x, y)$ は x, y のうち大き

い方

本研究では、集計する方向を 0° 、 45° 、 90° 、 135° の4方向とした。また、 r に関しては、1~50とし、変位 $\delta(r, \theta)$ のときに求められる統計量と、 r の値を変化させたときの統計量の変化をそれぞれ求めた。ランレングス行列については、画像を集計する方向が定義されており、集計する方向は、2次統計量と同じ、4方向とした。ランレングス行列など、輝度の解像度(諧調)によって値が大きく変わると考えられる統計量があるために、輝度の解像度を256、128、64、32、16階調と5段階に変えた。

表1に基本となる統計量29種に、変位・方向・輝度の解像度などのバリエーションを上記のように与え、多数の統計処理を行う。

本研究では画像統計量と官能検査値の単回帰分析を行う。このとき、相関係数であり大きいものが得られない場合、重回帰分析を行い、相関係数が大きくなるかどうかを調べる。統計量の中には、相関関係が強いものが含まれている。相関関係が強い統計量同士は、多重相関をとるときに用いることができないので、あらかじめ除去する。重回帰分析にはステップワイズ法を用いる。

2.2 画像の取得と前処理

画像は(株)PIAS製の画像処理装置PIAS LA-525を使用して取得した。本装置は、有効画素 512×480 Pixel、白黒8ビットで標準的な機能を備えた画像処理装置である。不織布の透過光画像をCCDカメラで撮影し、ノイズ除去のために平滑化処理(8近傍単純平均処理)、照明やCCD素子の特性の面内不均一性を是正するためにシェーディング補正を施しファイルに保存する。照明には1kHzの高周波蛍光灯を用いた。その後自作プログラムで、必要に応じ原画像のデータを処理して輝度の解像度を変更するとともに、統計量を集計した。フラクタル次元などのように、いくつかの統計量を集計するに当たって、取り扱う画像の大きさが制限されているものがある。このため統計量を集計する画像の範囲はすべての統計量で共通になるように、 480×480 Pixelとした。

現場の官能検査では、不織布の全体を見渡して検査することから、なるべく広い視野を得たいが、本研究で用いた装置では、 $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ が最大視野であることから、 $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ とした。集計する画像の範囲が 480×480 Pixelであるから、画

Table 1 Image processing amount of statistics

No.	Kind	
(1)	Primary amount of statistics	Stadard deviation
(2)		Skewness
(3)		Kurtosis
(4)		Coefficient of variance
(5)	Flactal dimension ⁷⁾	
(6)	Area-change curve ⁸⁾	
(7)	Quadratic amount of statistics ⁴⁾ co-occurrence matrix	Angular second moment
(8)		Contrast
(9)		Correlation
(10)		Sum of square
(11)		Inverce difference moment
(12)		Sum average
(13)		Sum variance
(14)		sum entropy
(15)		Entropy
(16)		Difference variance
(17)		Difference entropy
(18)		Information measure of correlation#1
(19)		Information measure of correlation#2
(20)	Difference amount of statistics ⁴⁾	Contrast
(21)		Angular second moment
(22)		Entropy
(23)		Mean
(24)	Own correlation characteristic ⁵⁾⁶⁾	
(25)	Higher-order amount of statistics ⁴⁾ run-length matrix	Short runs emphasis
(26)		Long runs emphasis
(27)		Gray level nonuniformity
(28)		Run length nonuniformity
(29)		Run percent

$r = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|)$
in this fig. $\delta = \delta(2, 45^\circ)$

Fig. 1 Definition $\delta(r, \theta)$

像の解像度はやく 60 dpi となる。図 2 に実験装置の概略を示す。

2.3 試料と官能検査

ポリエステル 10 D, 繊維長 40 mm, 灰色の材料を使用して, 様々なむらの不織布を制作した。この不織布を, 現場の熟練検査員が, 目視検査により, 10 点満点で 6.5 点というように点数を付けた。不織布とその官能検査値の例を図 3 に示す。

画像処理によって求めた統計量を説明変数, 現場

Fig. 2 Experimental equipment

(a) sight-check value=3.6

(b) sight-check value=8.4

Fig. 3 Sample of nonwoven clothes

の検査員の付けた点数を目的変数として多重相関を取り、有効な変数と相関式を求める。

3. 結果と考察

本研究で評価したいいろいろな統計量と官能検査値との関係の一例として、図4に標準偏差との関係を図5にフラクタル次元との関係を示す。また、 $\delta(r)$,

Fig. 4 Example of statistical amount

Fig. 5 Example of statistical amount

θ) の r を変化したときの例として、同時生起行列のコントラストと r との関係を図6に示す。統計量の値はその種類・輝度の解像度・集計する変位・方向によって大きく違ってくる。

統計量の中には、例えば、図4の標準偏差のように、官能検査値と0.8以上の大きな相関係数を持つものもあった。本研究ではさらに大きな相関を持つ回帰式を作るために重回帰分析を行った。

相関が強い統計量を多数使ったのでは重回帰分析はできないので本研究では、重回帰分析を行う前に統計量相互の相関関係を調べた。

この統計量相互の相関関係のうち、表2に2次統

Fig. 6 Example of statistical amount

計量の変位 δ (1, 0°), ランレングス行列の方向 = 0°, 輝度の分解能 256 階調の統計量の相関関係の一部を示す。また、表 3 に 2 次統計量の変位 δ (50, 0°) の統計量の相関関係の一部を示す。

表中番号は、表 1 の統計量の種類に対応する。また表中の相関係数の値は絶対値である。統計量相互で相関係数が 0.8 以上とかなり高い相関関係を示すものが多くある。本研究ではそのほか変位 δ や集計

方向、輝度の解像度などを変えて統計量相互の相関関係を評価したが、高い相関関係を示すものが多数存在した。相関が強い統計量を多数使ったのでは重回帰分析はできないので、本研究では、相関係数が 0.8 以上のものを共線性があるとして、説明変数から除去し、表 4 に示すような 5 つの変数を残した。

これらの変数を用いステップワイズ法で重回帰分析を行ったときの、偏回帰係数と標準片回帰係数を表 4 に、回帰式を(2)式に示す。

$$Sv = 6.39 * Sk - 0.334 * Cv + 0.000379 * Co + 8.55 \quad (2)$$

Sv : 官能検査値 Sk : 歪度
Cv : 変動係数 Co : 自己相関特徴

この回帰式による値と、官能検査値との関係を図 7 に示す。

この重回帰式の重相関係数は 0.94 (寄与率 = 0.89, 危険率 0.01) であり、かなり大きく信頼できる値であると考ええる。

表 4 の標準偏回帰係数のなかでは、変動係数に関する値が -0.982 と他の標準偏回帰係数に比べて大きい。このことから、変動係数の値が(2)式にいちばん大きい影響を与えているといえる。変動係数はもとともサンプルのばらつき具合を示す統計量であり、歪度は正規分布の形の歪み具合を測る指標であるので、大きな係数になったと考えられる。

Table 2 Example of correlation coefficient

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0															
1	0.86														
2	0.18	0.06													
3	0.67	0.62	0.67												
4	0.88	0.98	0.12	0.55											
5	0.62	0.54	0.05	0.44	0.60										
6	0.68	0.87	0.21	0.42	0.85	0.56									
7	0.35	0.82	0.03	0.51	0.79	0.26	0.71								
8	0.67	0.77	0.04	0.49	0.75	0.04	0.46	0.82							
9	0.57	0.89	0.19	0.48	0.89	0.75	0.95	0.67	0.44						
10	0.85	0.99	0.05	0.63	0.98	0.53	0.85	0.78	0.77	0.87					
11	0.41	0.48	0.16	0.32	0.45	0.15	0.22	0.75	0.85	0.17	0.44				
12	0.20	0.01	0.38	0.33	0.18	0.29	0.01	0.12	0.67	0.08	0.02	0.10			
13	0.85	0.99	0.05	0.63	0.97	0.54	0.85	0.79	0.77	0.87	0.99	0.43	0.01		
14	0.86	0.99	0.00	0.63	0.97	0.56	0.87	0.86	0.77	0.89	0.97	0.53	0.03	0.97	
15	0.83	0.96	0.03	0.62	0.93	0.41	0.76	0.91	0.89	0.77	0.94	0.69	0.07	0.93	0.97

(0) = sight-check value (another number) = same as table 1
 $\delta(r, \theta) = (1, 0^\circ)$ absolute value

Table 3 Example of correlation coefficient

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
7	0.41	0.52	0.12	0.32	0.45	0.17	0.47								
8	0.84	0.93	0.03	0.66	0.92	0.46	0.69	0.47							
9	0.19	0.40	0.15	0.11	0.36	0.25	0.63	0.34	0.06						
10	0.85	0.98	0.06	0.71	0.95	0.51	0.81	0.51	0.95	0.35					
11	0.77	0.76	0.17	0.62	0.75	0.33	0.50	0.45	0.86	0.09	0.78				
12	0.31	0.15	0.49	0.33	0.32	0.38	0.17	0.20	0.12	0.04	0.06	0.12			
13	0.80	0.97	0.01	0.66	0.94	0.51	0.85	0.51	0.86	0.53	0.98	0.67	0.06		
14	0.83	0.98	0.02	0.66	0.95	0.55	0.88	0.57	0.89	0.48	0.97	0.74	0.06	0.97	
15	0.86	0.98	0.07	0.69	0.95	0.53	0.81	0.56	0.95	0.30	0.98	0.82	0.07	0.93	0.98

(0) = sight-check value (another number) = same as table 1
 $\delta(r, \theta) = (50, 0^\circ)$ absolute value

Table 4 Multiple regression analysis (level of significance 0.01)

Amount	Partial regression coefficient	Standard partial regression coefficient	
Constant	8.55		
Skewness	6.39	0.354	$\Sigma(x_i - \mu)^3 / (N * \sigma^3)$
Kurtosis	0.0	0.0	$\Sigma(x_i - \mu)^4 / (N * \sigma^4)$
Coefficient of variance	-0.334	-0.982	$\sigma / \mu * 100$
Fractal dimension	0.0	0.0	Nakayama's method ⁷⁾
Own Correlation	0.000379	0.186	Kurita's method ⁸⁾
Multiple correlatin	0.94		
Contribution rate	0.89

Fig. 7 Multiple regression analysis

官能検査値と回帰式による値にこのような高い相関があることから、回帰式による値を、官能検査値

に代えて使うことができる。
ここで、(2)式に使用している指標は、画像全体について何らかの和を求めている。例えば歪み度は、 $\Sigma(x_i - \mu)^3 / (N * \sigma^3)$ (x_i は座標 (x, y) における輝度) のように、輝度の偏差の3乗を画面全体について集計している。このため、画像処理領域に対して十分に小さい領域で、薄い部分や厚い部分、異物の混入などあり、その部分の領域の輝度が他に比べてかなり違っても、その領域は(2)式にほとんど影響与えないことがあるかもしれない。不織布の製造上、破れや異物混入はあまりないかもしれないが留意する必要がある。
画像ファイルから(2)式で用いる3つの統計量を求め、回帰式を使って計算値を算出する時間は、CPUに486DX (25MHz, FPU内蔵, 内部倍クロック) を使用して約5secであった。本報告では、200 mm × 200 mm と狭い領域を扱い、処理時間も5sec かったが、プロセッサが高速化していること、本報

告で用いた画像処理統計量の計算方法から、複数のカメラ・プロセッサで大きな領域を並列処理することが可能であること、計算方法が単純でハードウェア化が可能であることから、計算時間・視野に関する問題はいずれ解決できると考えられる。

4. 結 言

本報告では、不織布の官能検査を画像処理で代用することを目的として、現在提案されている様々な画像統計量を、不織布の画像に摘要し以下の点を明らかにした。

- 1) 現在提案されている画像統計量は、共線性が高いものが多く、多変量解析に用いることのできる統計量は数種類である。
- 2) 多変量解析を行い、変動係数・歪み度・自己相関特徴の統計量を利用することで、官能検査値と重相関係数 0.94 という高い相関を持つ換気式を作ることができた。回帰式のうち変動係数が一番のウェイトを占めている。

不織布のむらを画像処理を利用して定量的に評価するための基礎的な技術を明らかにすることができた。

本報告で明らかにした画像処理手法は、異物の混入や、色柄物の検査には向いていない。また、処理範囲が 200 mm×200 mm と狭く、処理時間も 5sec と長い、今後これらの問題を解決していき、不織布の検査の自動化のために努力していきたい。

参考文献

- 1) 近田, 岡村ほか; 繊維誌, 45, T172(1992)
- 2) 東洋紡, 画像解析装置
- 3) 内藤, 山崎; 紙パルプ研究会発表要旨集, vol. 57, p. 24 (1990)
- 4) 高木ほか; “画像解析ハンドブック”, p. 517, 東京大学出版会(1992)
- 5) 堀川; “ランダム変動の解析”, p. 106, 共立出版(1983)
- 6) 栗田, 加藤ほか; 情報処理学会論文誌, 33, p. 1373(1992)
- 7) 高木ほか; “画像解析ハンドブック”, p. 528, 東京大学出版会(1992)