技術報文

(昭和57年1月9日受理)

織物欠点検出機構とその基本的性能^{*1}

台北工業專科學校 賴 鈇 平
渡辺測器株式会社 畝 迫 宗 能
東京工業大学 久 世 栄 一

SIGNAL TRANSDUCER OF FABRIC DEFECTS AND ITS PERFORMANCES^{*1}

By Lai Tsu-ping^{*2}, Muneyoshi Sezako^{*3} and Eiichi Kuze^{*4}

^{*2} (National Taipei Institute of Technology, Shin-Sheng
South Road, Taipei, Taiwan, Republic of China)

^{*3} (Watanabe Instrument Co., Nishi-Shinagawa,
Shinagawa-ku, Tokyo, Japan)

^{*4} (Tokyo Institute of Technology, Ookayama, Meguro-ku,
Tokyo, Japan)

In scanning the surface of fabrics with a light spot, we can get the power of the reflection or transparency that periodically changes according to disposition, diameter or bend of the threads. Then, on application of a digital computer, a digital pattern of fabric is represented by a two-dimensional array of points showing the reflection and transparency distributions of fabrics by a suitable scanning light spot.

On detecting the defects by the reflection or transparency from fabrics, it is necessary to design the size and shape of the scanning light spot at the fabrics in consideration of the some kinds of defects and the inherent noises being due to the normal fabric structures, also the frequency band determined by the resolving power and the scanning speed that are suitable to the electric amplifier system.

In general, the spaces between the threads in fabrics are much smaller than the thread diameters. When width of the scanning light spot is smaller than the thread diameter, we can detect the characters of the thread and thread interval in every each warp direction. When length of the scanning light spot is a little larger than the thread diameter, average characters of a few threads will be detected, eliminating the noises caused by the twists and fluffes of the threads. In our experiments, the width of the scanning light spot was set 0.2 mm and length 5 mm in consideration of practical usefulness.

Moreover, the frequency band f needed to design of the electro-optical amplifier is given by

$$f = V/2b$$

where V is scanning speed of the light spot, 240×10^3 mm/sec, and b is resolving power, 0.2 mm.

Confirmation of the size and shape of the light spot, transient properties and frequency responses of the signal transducer was discussed with the some experimental equipments.

(Received January 9, 1982)

^{*1} この報文を「自動検反システムの試作研究(第1報), Studies on the Development of A New Automatic Fabric Defect Inspection System (Part 1)とする。

1. 結 言

近年生産機械や検査機械による自動化、省力化が進み、フィルム・板などの自動検査も実用に供されるようになってきたが、織物についてはまだ目視検査に頼っているのが現状である。しかし目視検査では検査者の心理状態や疲労などで検査レベルが不安定になるので、機械的な自動検査の実現が望まれている。

目視検査は、織物のもっている光学的情報にもとづいて行なわれることを考えれば、自動検査も同様の光学的情報をアナログあるいはディジタル的に画像処理して実行される妥当性のあることは当然であるが、得られる光学的情報には、反射と屈折による幾何光学的情報と、光波の干渉・回折、複屈折などによる波動光学的情報とが含まれる。

著者の1人はこのような観点から、これまで円形の光点を一定速度で織物面に走査する光電走査法¹⁾ 光の回折²⁾、ホログラフィ³⁾などを応用し、織物構造と欠点構造の特徴を抽出するための光情報処理について一連の基礎的研究を行ない、その内容を発表してきた。その結果、糸の配列と屈曲構造でつくられる3次元構造を特徴とする織物の光学的情報を抽出するには、適当な形状の光点を織物面上に走査しながら、これによって得られる2次元走査パターンを構成する連続的電気信号の変動を、定量的に観測する幾何光学的手法がもっとも適切であるとの結論に達した。

今回これらの基礎的研究結果にもとづいて、織物欠点の信号を正常な織物構造自体の複雑な信号から分離して検出し、従属接続される電子計算機への入力信号を大幅に減少させてデータ処理能力を向上した実用性の高い自動検反装置を試作したので、その構成、性能などについて一連の報告をすることとし、本報ではまず本装置に採用した欠点信号検出システムの構成と性能について報告する。

2. 走査光点の形状設計と基礎実験

織物の表面には正常な構造であっても、大は糸の交錯や糸間隔から、小は糸の撚りや毛羽に至るまでの、形態上の多種多様の情報が含まれている。したがって反射と透過で織物欠点情報を検出する場合、走査光点の大きさと形状は、欠点信号と織物固有の糸の撚りや毛羽で生ずる雑音信号との比であるS/N比、ならびに欠点の大きさ、形状、色に対して検出可能限界を与える分解能、さらには糸配列と糸の屈曲の周期性にもとづいて、走査速度と分解能で決まる信号変化の周波数帯が光電変換増幅系の設計に大きな影響を与えることなど、各分野の要因

を考慮して最適な内容をもつように設計されねばならない。

2.1 形状設計

微小な糸の屈曲や配列の不揃い、あるいは汚れなどで生ずるいくつかの欠点の光情報は、正常な織物の糸の交錯構造と糸間隔にもとづく周期的光情報の、振幅と位相の乱れの程度から検出できるものと考えられる。したがって欠点の特徴を抽出するには、まず糸の撚りと毛羽による雑音情報を取りのぞいた周期的光情報のみを正確に検出する必要がある。

別報¹⁾で報告したようにS/N比を無視して、微小な欠点検出分解能のみを高めようとして円形走査光点を織物を構成する糸の太さよりも小さくすると、反射と透過で得られる光電変換検出信号は図1に示すような、撚りと毛羽によって激しく変動する複雑な波形を含んでS/N比がすこぶる悪くなるだけでなく、糸軸に対する走査角度の変動による影響も重なって単純な情報処理では欠点信号が検出できなくなるからである。

以上の観点から、たて糸方向にこれと直交するよこ糸数本程度に跨がる長さの光点にすれば、1本1本の糸にある撚りや毛羽による微小な変動情報は、信号の平均化によって除けるものと考えた。しかし平均化の効果を高めるために光点の長さをあまり大きくすると、1本1本の糸方向に関連して生ずる微小な欠点情報も消失するおそれがあるので、長さの決定はたて・よこ糸の撚りや毛羽の多少と、次に前べる欠点検出分解能を考慮して行なう必要がある。

一方どの位小さな欠点まで検出できるかの尺度が分解能で、これは走査光点の幅で与えられる。糸自体の欠点、配列糸間隔の不揃い、糸張力の不安定、異物の付着混入、汚れなどで生ずる織物の欠点の多くは1本1本のたて糸方向に関連して生ずるといふ、織物の基本的な特性を考慮すれば、光点の幅である分解能がたて糸の直径よりも小さければ、各たて糸方向における糸ならびに糸間隔の特徴を検出できるものと考えた。

Fig. 1 Electro-optical detecting wave of a fabric by reflection of scanning round light spot smaller than thread diameter.
Scanning light spot diameter = 0.2 thread diameter

以上の考えから、良好な S/N 比と高い分解能を実現するには、走査光点の形状を図 2 に示すように、たて糸方向に長く、走査方向であるよこ糸方向に微小な幅をもつ長方形とし、長さ a をよこ糸の太さまたは糸間隔 y より、幅 b をたて糸の太さまたは糸間隔 x より、次式

$$\left. \begin{aligned} a &= k_1 y \\ b &= x/k_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

で決めればよいと考えた。ただし k_1, k_2 は走査光点の大きさを与える係数で、 k_1 の値は毛羽などによる雑音信号を除去するための平均化の効果、すなわち S/N 比を考慮して定まるので織物の種類との関係から、また k_2 の値は欠点検出の分解能から決まるので欠点の形状、大きさならびにその種類との関係から、それぞれ実験的に求めるようにした。

さらに、走査光点の幅 b は欠点の検出分解能だけでなく、後述する走査速度 V と関連して織物からの周期的に変化する反射光と透過光の空間周波数 f を決定する。 f の値は次式

$$f = V/2b \quad (2)$$

で与えられるが、これは反射光と透過光を光電変換増幅する受光部の周波数特性に影響を与え、特性が悪いと折角高い分解能で検出された欠点信号も受光部で消滅するおそれも生ずる。したがって増幅系を含む受光部の空間周波数特性も考慮して b の値を決定しなければならない。

2.2 基礎実験

(1) 式に示した走査光点の形状係数 k_1, k_2 を検討するため、固定したいくつかの織物表面に長方形光点を低速度で走査する実験を行なった。試作システムの高速度走査による動特性については後述する。

光源には走査光点の広がりや極力さけるため、波長 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ の He-Ne レーザを使用した。

図 3 は糸表面が比較的滑らかで、たて糸間およびよこ

Fig. 2 Construction of fabric and shape of light spot.

Fig. 3 Electro-optical detecting wave of a fabric defect by using of rectangular light spot.

糸間の隙間の小さいフィラメント織物に対し、図 2 に示した走査光点の形状係数をそれぞれ $k_1=4, k_2=3$ としてその反射光を光電変換する実験の結果で、太いたて糸が 1 本入っている資料の場合である。図 1 のような糸の撚りや毛羽にもとづくと考えられる激しい変動はなくなり、測定された糸間隔の分布を示す図 4 から明らかなように、たて糸の間隔変動の分布を容易に求め得るとともに、糸の太さの微小な変動を十分検出できることが理解される。ただし図 4 の糸間隔は基準を 100% として示してある。しかしながらたて糸間の隙間のきわめて小さいフィラメント織物の場合は、図 5 に示すように糸抜けのような大きな間隔の乱れは検出できるが、微小な凹凸に

Fig. 4 Distribution of thread intervals in the specimen of Fig. 3. The mean value of thread interval is 100%.

Fig. 5 Electro-optical detecting wave of fabric with a missing warp.

よるため糸間隔の測定が困難で、このような結果は毛羽が糸間隔の情報を埋没してしまうような、毛羽の多い織物の場合にもしばしば見られた。これを解決するには、情報の増幅を期待して走査光点の長さ a をより大きくするため、 $k_1 > 6$ にすれば糸間隔の情報が得られるよ

うになることが確かめられた。しかしながらしみのような、1本1本の糸にのっている微小な欠点情報は埋れてしまって検出ができなかった。

以上の観測結果から、走査光点のS/N比を決める長さ a と、分解能を支配する幅 b の決定には、多くの種類の織物の、多くの欠点についての実験が必要であり、換言すれば a と b との大きさと検出可能な欠点の範囲がおのずから決まることが明らかになった。

3. 試作検反システムの光学系

図6は試作した織物欠点検出機構の光学系を示したものである。

走査光点は固定した織物について行なう前述のような多くの基礎実験から、代表的な織物の検反実績を考慮して、 $a = 5.0 \text{ mm}$ 、 $b = 0.2 \text{ mm}$ と設定した。

また光点の走査速度 V は、 30 m/min の織物送り速度と 60 cm の走査幅を設定するとともに、毎回の走査で走査面に隙間ができないように、光点の長さ a の $1/2$ ずつをオーバーラップさせるようにし、かつ信号処理伝達時間を考慮して、織物の幅方向に $V = 240 \times 10^3 \text{ mm/sec}$ とした。したがって1走査に要する時間は、

$$600 \text{ mm} / (240 \times 10^3) \text{ mm/sec} = 2.5 \text{ ms}$$

となる。

Fig. 6 Schematic drawing of optical equipment for fabric defect detector.

3.1 走査光点の発生法と形状測定

走査光点の形状のうち幅 b は走査方向の分解能を決める要素として重要な数値である。したがってその発生を厳密に実現するとともに、形状測定による検討がきわめて重要な課題となる。

長方形の走査光点は、図6のレーザ装置からの平行ビームをエキスパンダで所定の大きさの円形スポットにひろげたのち、円柱レンズで幅方向に収束させてその焦点面で光点幅 b を 0.2 mm にするレンズ系、および光点の長さ a を 5 mm にするためのスリットによりつくられる。被検査織物面は収束レンズの焦点面におかれるが、前述の走査速度 V を実現するために 12 面体の回転ミラーを使用しているため、これからのビームの光学距離(光路長)が織物面の各位置で一走査中に変化する。この変化を防いで常に一定強度の光点を織物面につくるために、放物柱鏡からの反射ビームを織物面に照射するようにした。

走査光点の長さ a はかなり大きいので、その方向の光の強度分布はほぼ一様と考えられるとともに、長さの観測は容易であるが、レンズで収束されて実現される微小な 0.2 mm の幅 b の観測はかなり面倒である。すなわち収束された微小な幅方向の光の強度は通常ガウス型の分布をしていると考えられるからで、図7に示す測定方法で厳密な観測を行なった。

図7のラインセンサ(Line Sensor)は、受光ピーク間隔が 25μ の光電素子で構成されており、これに走査を停止した光ビームを照射し、ラインセンサの各素子を電気的に走査して図8に示すような光強度分布のオシログラムを求め、その半値幅を測定した結果、 $b = 0.2\text{ mm}$ を満足していることが確認された。

3.2 受光部の構成と性能

図6において、織物からの反射光と透過光を入力光として光電変換する受光部は、織物面に対してもっとも良好な感度を実現する角度 θ で設置され、一たんスリガラスで拡散された入力光をPMT (Photomultiplier Tube) 部と前置増幅器(Preamplifier)とで変換増幅するように構成されている。

Fig. 7 Schematic drawing of light spot size measuring method.

Fig. 8 Measuring result of light spot size.
Each pulse interval is 25μ .
Pulses are detected by line sensor.

また一走査中の感度を一様にするための調整は、走査幅が広いと光をレンズ系を用いて1個のPMTに集めるような方法では困難なので、各々の感度が独立に調整可能な10個のPMTを1列に並べるとともに、外光を遮断するために受光部全体を暗箱で囲う構造にした。

受光部の性能は、一般に走査幅全体に対するPMT部の感度の均一性と、入力光の空間周波数に対するPMT部と前置増幅器の応答特性で定まるものと考えられる。

まず感度の均一性について実験的に考察してみた。欠点のない織物からの反射光および透過光を受光したときの受光部の光電出力が図9Aのように均一であれば、そのヒストグラムは図10A'のようにシャープになり、もし欠点があれば異常レベルを示す受光入力のために例えばA'のような山を示すはずである。しかし図9B, Cのように不均一な光電出力の場合のヒストグラムは、図10のB', C'のように広がるため欠点検出感度が悪くなる。そこで織物を除去し、受光部に走査光点を直接照射した場合と、半透明プラスチック・フィルムであるマイラー紙に照射し、その反射光を受光した場合の、図11に示す回路をもつ受光部のそれぞれの感度分布の測定結果を図12に示す。10個のPMTの感度特性がほぼ均一

Fig. 9 Explanatory drawing of electro-optical detecting output.
A is uniform and B, C are not uniform electro-optical output.

Fig. 10 Histogram of output showing in Fig. 9. A', B', and C' are histograms corresponding with A, B, and C in Fig. 9, respectively, and A'' is histogram corresponding with fabric defects.

Fig. 11 Electro-optical circuit of detecting part.

であるとともに、マイラー紙による反射光感度分布が $\pm 5\%$ 以内に収まっており、かなり良い結果が得られた。なおヒストグラム作成法とそれによる欠点の識別手法については、次報で詳細報告する。

またどの位小さな欠点まで検出できるかは、走査光点の形状寸法のほかに、パルス状または周期的に変化する

入力光を、図 11 に示す回路の PMT 部と前置増幅器より構成される受光部が、アナログ信号 2 次変換する際の過渡特性と周波数特性によっても支配されることは、前述した通りである。

図 13(a) は種々の大きさや形状の欠点を想定して作ったテストパターンで、半透明フィルムに 6 種類の幅の長方形黒線を縦横に交互に配列してマークしてある。このテストパターンの横方向に、前述したように幅が 0.2 mm、長さが 5 mm の長方形光点を走査速度 240×10^8 mm/sec で 1 回走査し、受光部出力として得られたのが同図 (b) に示すオシログラムで、これによって受光部の過渡応答を知ることができる。透過光、反射光とも受光部の光電出力を、極性を反転してオシログラフに入力してあるので、各オシログラムの鋭いピークが走査光点と

Fig. 13 Transient response of electro-optical detecting part.
(a) test pattern, (b) oscillogram

Fig. 12 Measuring result of sensitivity distribution for 10 PMTs.
Scanning range = 600 mm

縦方向の黒線とが一致したところであり、横長の黒線との重なりのところでは、光点のかんりの部分が黒鉛から外れるので低い山形の曲線となる。どの応答曲線にもある程度のおくれが見られるが、本研究の目的である欠点検出には十分な特性をもつことが理解される。また反射による動的光電出力を、図 14 (a) に示すようなマイラー紙にマーク・スペース t を 1:1 にしたテストパターンで観測した結果を同図 (b) に示す。マーク幅 t が 1mm 以下では t の減少とともに出力が低下するが、対象とする欠点の大きさに対して十分な出力が得られるものと考えた。

一方試作装置では走査光点の分解能を 0.2 mm、走査速度を 240×10^8 mm/sec に設定したので、(2) 式より検出可能な最大周波数は 600 kHz となる。図 15 は前置増幅器の周波数特性を求めるため図示の回路で実験した結果であるが、ほぼ 1 MHz までのゲインが一定であり、600 kHz の信号増幅の要求が十分カバーされることが確認された。

Fig. 14 Response characteristics of electro-optical detecting part.

Scanning time per unit length
($2.5\text{ms}/600\text{mm} = 4\text{ }\mu\text{s}/\text{mm}$)

Fig. 15 Gain characteristics of preamplifier.

4. 結 び

今回は試作した自動検反システムの、織物欠点検出機構の構成とその基本的な各種性能についての研究結果を報告した。その要点をまとめれば次のようになる。

(1) 従来の研究で開発された光学装置では、目視可能な織物の欠点でも光学的情報として取りだせないいくつかのものがあつた。これらを詳細に検討した結果、走査光点の形状を従来の円形に近いものから、幅と長さの比の大きい長方形のものに設計する必要性を見だし、その効果を詳細に検討した。その結果織物の欠点に無関係にかつその検出を妨害すると思われる、糸の撚りや毛羽による情報を除去し、糸の微小な屈曲や間隔の不揃いや汚れによる重要な欠点の多くを検出できることを確認した。

(2) 走査光点の形状が欠点検出の分解能を支配するので、試作システムにおける走査光点の発生方法と形状検定を厳重かつ慎重に行なった。

(3) 試作システムの光点の走査速度がきわめて大きいので、受光部で得られる 2 次変換信号の過渡特性と周波数特性を、特別に設計したテストパターンで慎重に検討した結果、良好な性能をもつことが確認された。

本研究は昭和 51 年度より 3 年間にわたって中小企業振興事業団が行なった技術開発事業に関連して行なった基礎研究であつて、昭和 56 年米国 North Carolina 州 Raleigh で行なわれた 1981 Annual Textile Industries Conference Cosponsored by the ASME Textile Industries Division and the Society of Fiber Science and Technology, Japan で発表した。なお研究に協力された東京工業大学名誉教授、粟屋潔先生、渡辺

測器株式会社社長、渡辺健二氏に深く感謝する。

(1976)

文 献

2) 秋山隆一, 久世栄一, 織学誌, **33**, T-439

(1977)

1) 古田好治, 久世栄一, 織学誌, **29**, T-224
(1973)

3) 秋山隆一, 久世栄一, 織学誌, **35**, T-202

(1979)

久世栄一, 西出照雄, 織学誌, **32**, T-178