狭帯域除去型空間フィルタとメリヤス地のオンライン傷検出†

田 承 桓*・大 山 真 司*
小 林 彬*・山 浦 富 雄**

The Narrow Band Eliminating Spatial Filter and Its Application to On-Line Defect Detection of Knitted Fabrics

Seung-Hwan JUN*, Shinji OHYAMA*,
Akira KOBAYASHI* and Tomio YAMAURA**

A new spatial filtering method is proposed for a narrow band elimination of spatial frequency spectrum. The spatial filter is an array of solar cells which consists of same sized parallel slits manufactured by lithography technique on a single silicon wafer.

Output signals from each solar cell are electrically weighted through the external dc amplifiers to realize the weighting distribution so that the weighting value of the center-cell is equal to the sum of the weighting values of the other cells. This spatial weighting gives a characteristics of a narrow band spectrum elimination.

It is expected to apply this spatial filter to the defect detection of knitted fabrics which originally have a narrow spatial frequency spectrum yielded by the periodic knitting. To examine the effectiveness of this spatial filtering method, the experiments are performed to detect some typical defects occurred in the knitted fabrics. And the designing parameters are discussed for the total number of slits, the pitch and the width of slits to realize the better filtering characteristics matched to the individual defect spectrum.

As the results, it is found out that this narrow band elimination spatial filtering method can be applicable to the on-line defect detection of knitted fabrics, e. g. underwears and stockings.

Key Words : spatial filter, defect detection, on-line detection

1. ま え が き

空間フィルタ法とは、2次元のあるいは3次元的に分布するある物理量に対してその重み付積分を空間的並列処理により求めた出力信号を利用して、必要な情報を得る信号処理手法である。たとえば移動速度計測¹⁾の場合、対象の表面パターンがもつ不規則なむらを、スリット列で構成された空間フィルタで観察すると、対象の速度に比例した周波数成分をもつ信号が得られる。これはス

リット列のピッチに対応して選択する空間周波数が決まる「狭帯域通過特性」をもつ空間フィルタが構成されるからである。

本研究では、この「狭帯域通過特性」と相反する特性として「狭帯域除去特性」を考え、対象のもっている特定な空間周波数成分を除去することのできる狭帯域除去型空間フィルタを提案する。また、その応用として、対象が周期的空間パターンを本来もっているとき、この空間周波数成分を除去し、対象に傷が生じたときのみ出力信号を得ることにより傷検出を行う方法について検討する。

従来、対象表面に生じる傷の検出について多くの研究がなされ、種々の方法が開発されてきた^{2)~5)}。特に、オンライン化に有効なレーザなどの光を利用した方法では、対象面にレーザ光を照射して生じる回折像を、光の強度分布として空間フィルタで検出し、表面の傷を検出する

† 第34回自動制御連合講演会で発表(1991・11)

* 東京工業大学工学部 東京都目黒区大岡山2-12-1

** 東京工科大学工学部 八王子市片倉町1404-1

* Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Meguro-ku, Tokyo

** Faculty of Engineering, Tokyo Engineering University, Hachioji

(Received May 19, 1992)

(Revised December 25, 1992)

方法が提案されている²⁾。この方法では、対象表面の傷の性質によって光の回折像がそれぞれ異なるため、基準となる傷の評価方法を決めるのが難しいという問題点がある。別の方法として、回転ポリゴン鏡を利用して測定対象面を走査しながら傷を検出する方法³⁾、またはスペクルノイズを減らすためにシリンドリカルレンズやフレネルレンズを使った傷検出法⁴⁾などが提案されているが、いずれにしても検出系が複雑となる。また、上で述べた傷検出法においてはその前提として、測定対象面には特定な空間パターンが存在せず、均一な面であることが必要である。

本研究では、測定対象が編物のように周期的なパターンを本来もっている場合に生じる傷の検出について扱う。対象の表面に傷が生じたとき、たとえば、糸と糸との間が広くなったり、また糸が切れて小さな穴ができたりして発生した傷の場合、従来の方法では、測定対象が本来もっている周期的パターンによる信号と傷による信号とを効率よく分離して、傷を判別することは難しいといえる。この場合、編物が本来もっている空間パターンの空間周波数成分を除去するような空間フィルタを用いれば、傷が生じたときのみ出力信号を得ることができ、効率よい傷検出法が可能となる。

ここでは、実際の応用として周期的空間パターンをもつ対象としてメリヤス地を取り上げ、メリヤス地に生じた傷を効率よく検出する方法について述べ、またオンライン傷検出法についても触れる。

2. 狭帯域除去型空間フィルタの原理

2.1 フィルタの構成

Fig. 1 に示すように、同一の大きさのスリットを平行かつ周期的に配列し、各スリット出力に一定な荷重を電

Fig. 1 Configuration of narrow band eliminating spatial filter

氣的にかける。このような構成によるフィルタリング特性はよく知られたように、スリット列のピッチによって決まる特定の空間周波数だけを通過させる特性となる。つぎに真中の単スリットにはスリット列の荷重総和値と同じ大きさの電氣的荷重をかける。この単スリットは広帯域に渡る低域通過フィルタリング特性となる。この単スリットとスリット列の差動構成により狭帯域除去型空間フィルタを実現することができる。また、正負両方の総和荷重値が等しいため直流成分が除去された信号が得られる。Fig. 2 に狭帯域除去型空間的荷重関数を示す。

2.2 フィルタリングの原理

狭帯域除去型空間フィルタの特性について検討する。荷重関数を $h(x, y)$ で表わすと、この荷重関数は(1)式のように書ける。

$$h(x, y) = h_x(x) \cdot h_y(y) \quad (1)$$

ここで、 x 方向の空間的荷重値 $h_x(x)$ を(2)式で、 y 方向の空間的荷重値 $h_y(y)$ を(3)式で表わす。

$$h_x(x) = \begin{cases} -1 \left(nP - \frac{W}{2} \leq x \leq nP + \frac{W}{2} \right), \\ n = -\frac{N-1}{2}, \dots, -1, 0, 1, \dots, \frac{N-1}{2} \\ N \left(-\frac{W}{2} \leq x \leq \frac{W}{2} \right) \\ 0 \text{ (otherwise)} \end{cases} \quad (2)$$

$$h_y(y) = \begin{cases} 1 \text{ (} 0 \leq y \leq L \text{)} \\ 0 \text{ (otherwise)} \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 N :スリット総個数で奇数、 P :スリットのピッチ、 W :スリット幅、 L :スリット長さである。

$h(x, y)$ の空間領域での 2 次元フーリエ変換 $H(\mu, \nu)$ は、

$$H(\mu, \nu) = \int_0^L dy \int_0^x dx \cdot h(x, y) \cdot \exp(-j2\pi(\mu x + \nu y)) \quad (4)$$

Fig. 2 Weighting function of narrow band eliminating spatial filter

で与えられ、ここで、

$$\text{sinc}(kx) = \frac{\sin(kx)}{kx} \quad (5)$$

とすると、

$$\begin{aligned} H(\mu, \nu) = & LW \cdot \text{sinc}(\pi\nu L) \cdot \exp(-j\pi\nu L) \\ & \cdot \text{sinc}(\pi\mu W) \\ & \cdot \left\{ N - \exp(j\pi\mu p(N-1)) \right. \\ & \cdot \left. \frac{1 - \exp(-j2\pi\mu pN)}{1 - \exp(-j2\pi\mu p)} \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

となる。

ただし、 μ, ν はそれぞれ x, y 方向についての空間周波数である。(6)式の絶対値の2乗をとると、

$$\begin{aligned} |H(\mu, \nu)|^2 = & (LW)^2 \cdot \{\text{sinc}(\pi\nu L)\}^2 \cdot \{\text{sinc}(\pi\mu W)\}^2 \\ & \cdot \left\{ 1 - \frac{\sin(\pi\mu PN)}{N \sin(\pi\mu P)} \right\}^2 \end{aligned} \quad (7)$$

である。

ここで、 L がある程度以上大きいときは、 $\nu=0$ の付近でのみ、(7)式の2番目の項が顕著な値をとり、ほかでは小さい値をとるので¹⁾ (7)式は次式のように書き直せる。

$$\begin{aligned} |\tilde{H}(\mu)|^2 = & L(NW)^2 \cdot \{\text{sinc}(\pi\mu W)\}^2 \\ & \cdot \left\{ 1 - \frac{\sin(\pi\mu PN)}{N \sin(\pi\mu P)} \right\}^2 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} = & LW^2 \cdot \{\text{sinc}(\pi\mu W)\}^2 \\ & \cdot \left\{ \sum_{n=0}^{N-1} 2(1 - \cos(2\pi\mu Pn)) \right\}^2 \end{aligned} \quad (9)$$

以上より、狭帯域除去型空間フィルタのフィルタリング特性は(8)式または(9)式で表わせる。

2.3 フィルタリング特性

フィルタリング特性に関し、(8)式の各成分について、

その特性をグラフで示したのが **Fig. 3** である。1番目の成分は定数で、2番目は曲線①に示すように低域通過型フィルタの特性をもち、その帯域の広がりにはスリットの幅に逆比例する。3番目の成分の後の項は狭帯域通過型フィルタの特性をもち、スリットの個数 N と通過帯域の広がりには逆比例する。この狭帯域通過型フィルタの特性を1から引いたあと低域通過型フィルタの特性を掛けのが曲線②で、狭帯域除去型フィルタの特性を表わしている。この特性を決定するパラメータはスリット長さ L 、スリットの総個数 N 、スリットのピッチ P 、スリット幅 W の4種類となる。これらのパラメータがフィルタリング特性に及ぼす影響については文献1)に詳しく述べられているので、ここでは省略する。**Fig. 4** は、 $|\tilde{H}(\mu)|^2/L(NW)^2$ をパラメータ N と W を変えながらグラフに表わしたものである。

これらの各パラメータは、測定対象に固有の性質に応じて決める必要がある。たとえば、測定対象がメリヤス地で、そこに生じた傷を検出する場合、メリヤス地が本来もっている空間周波数成分を除去して傷の空間周波数

Fig. 3 Filtering characteristics of $|\tilde{H}(\nu)|^2/L(NW)^2$

Fig. 4 Filtering characteristics of $|\tilde{H}(\nu)|^2/L(NW)^2$

成分のみを検出する必要がある。しかし、メリヤス地の編目の間隔がわずかながら不規則的に変動している場合は、測定対象がもっている空間周波数成分も、ある程度幅のある周波数帯域に分布していると考えられるので、空間フィルタにより除去される周波数帯域が狭すぎても都合が悪いといえる。また逆に広すぎても傷のもっている周波数成分が部分的に除去されてしまう。この点を考慮に入れて適切に各パラメータを決める必要がある。

2.4 狭帯域除去型空間フィルタの特性改善

空間フィルタ法では、目的に応じて最も質の高い信号が得られるように空間的荷重関数を設計することが望ましい。たとえば、狭帯域通過型空間フィルタの場合、「空間荷重の最適値は、スリット列の中央から荷重関数の包絡線が対称的に段々小さくなるような荷重である⁶⁾」ということが知られている。狭帯域除去型空間フィルタは、前述のように単スリットとスリット列との差動構成で実現されることを考えると、スリット列が上記の包絡線と同じような荷重値をもつように設計すると狭帯域除去型空間フィルタのフィルタリング特性が向上することが期待できる。このことを実現する関数としてはいくつか考えられるが、ここではハミング窓関数⁷⁾を狭帯域除去型フィルタのスリット列の荷重関数として用いることにする。そして、単スリットの荷重値はスリット列の荷重値の総和とする。これらの荷重関数を式で表わすとつぎのようになる。

$$h_x(x) = \begin{cases} -\left\{0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)\right\} \\ \quad \left(nP - \frac{W}{2} \leq x \leq nP + \frac{W}{2}\right) \\ \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \left\{0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)\right\} \\ \quad \left(-\frac{W}{2} \leq x \leq \frac{W}{2}\right) \\ 0 \quad (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (10)$$

ただし、 $n = -(N-1)/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, (N-1)/2$ で N はスリットの総個数である。

(12)式を(1)式に代入して、(4)式よりフィルタリング特性を求めるとつぎのようになる。ただし、スリット長さ L に関する係数部分は省略してある。ここで、

$$M(n) = 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \quad (11)$$

とおくと、

$$\begin{aligned} \hat{H}(\mu) = & \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \int_{nP-\frac{W}{2}}^{nP+\frac{W}{2}} dx \{-M(n) \cdot \exp(-j2\pi\mu x)\} \\ & + \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \int_{-\frac{W}{2}}^{\frac{W}{2}} dx \{M(n) \cdot \exp(-j2\pi\mu x)\} \end{aligned} \quad (12)$$

(a) $W = 0.1P$

(b) $W = 0.3P$

(c) $W = 0.6P$

Fig. 5 Filtering characteristics of $|\hat{H}(\mu)|^2/L(QW)^2$ ($N=21, P=1$)

となるので、

$$\begin{aligned} |\hat{H}(\mu)|^2 = & W^2 \{\text{sinc}(\pi\mu W)\}^2 \\ & \cdot \left\{ \sum_{n=0}^{\frac{N-1}{2}} M(n) \cdot 2(1 - \cos(2\pi\mu Pn)) \right\}^2 \end{aligned} \quad (13)$$

となる。パラメータ W を変えて、 $|\hat{H}(\mu)|^2/L(QW)^2$ をグラフに表わしたのが Fig. 5 である。

ただし、

$$Q = \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} M(n) \quad (14)$$

である。

同図と Fig. 4 とを比較すると、 $1/P$ のところを含めてその付近では狭帯域除去特性についてはほとんど同じ特性となっているが、そのほかの帯域ではハミング窓関数を用いたほうがリップルが少なくなり、狭帯域除去型空間フィルタとしての特性が改善されていることがわかる。

3. 編物の傷検出

3.1 メリヤス地の傷パターンの種類

メリヤス地の傷パターンにはいくつかの種類がある。ここでは、その中から代表的な 4 種類の傷について簡単に述べる。

- ・傷 A：編針や編機の釜溝の異常により、編目がほかの編目溝に比べ大きくあるいは小さくなり、その状態が縦方向に連続して発生して、1本の縦線に見え

るもの。

- ・傷B：編針のフック部が何らかの原因で損失することにより、編目を編成できず縦筋に見えるもの。
- ・傷C：糸の強度不足などにより、編目を編成したのち糸が切断して生地に穴があき、長円形に広がったもの。
- ・傷D：編針のペラ部が動作不良を起こし、編目に断続的に欠陥を生じたもの。

これらの傷の例を Photo. 1 に示す。

3.2 傷パターンのスペクトル分析と傷検出方法

(a) "Defect A"

(b) "Defect B"

(c) "Defect C"

(d) "Defect D"

Photo. 1 The typical defects of the knitted fabric (underwear)

検出対象がメリヤス地の場合、メリヤス地がもつ固有の空間周波数成分を除去して傷のみによる空間周波数成分を検出する必要がある。傷パターンは、編目の間隔より大きい部分をもつ形で現れるので、傷により生じる空間周波数成分には検出対象がもつ固有の空間周波数より低い空間周波数成分があるといえる。一方、メリヤス地の編目の間隔はわずかながら不規則に変化するので対象がもっている空間周波数成分のピークは、ある程度の広がり幅をもっていると考えられる。以上の点を考慮すると傷検出用空間フィルタとしては、まず検出対象がもっている固有の空間周波数より低い周波数成分を選択的に検出し、かつ $1/P$ のところを含めてその付近の帯域が除去されるようにそのフィルタリング特性を設計する必要がある。

また、前節で述べたように、傷パターンにはいくつかの種類があり、また同一種類の傷でも大きさが違うと、そのパワースペクトルも異なる。したがって、いろいろな傷に対して共通に有効な狭帯域除去型空間フィルタを設計するためには、各傷パターンのもっているスペクトルをあらかじめ分析する必要がある。これは、傷のもっている空間周波数成分と狭帯域除去型空間フィルタのフィルタリング特性をできるだけ整合させたほうがより有効な傷検出効果が期待できると考えられるからである。

狭帯域除去型空間フィルタを利用するため、検出対象の周期的パターンに由来する信号は必然的に除去されるので、ここでは傷パターンのみのスペクトルに注目する。

(1) 傷A・傷Bのスペクトル分析

傷Aの傷パターンにより得られる信号波形は Fig. 6(a-i)に示すようなパルス波的信号であると考えられる。傷が大きくなるほどパルス波の幅も大きくなる。この信号をフーリエ変換してパワースペクトルを求めたものが Fig. 6(a-ii)である。図でわかるように、傷が小さいほど高周波帯域までスペクトルが分布している。傷Bの分析結果を Fig. 6(b-i, ii)に示すが傷Aとほとんど同様の傾向がみられる。

(2) 傷C・傷Dのスペクトル分析

傷Cおよび傷Dに対する傷パターンにより得られる信号をここではガウス型関数で近似し、それらのパワースペクトルを求めた。その結果を Fig. 6(c-i, ii)に示す。図からわかるように、この場合も低周波帯域に主なるスペクトルが分布していることがわかる。

このように、いずれの場合も低周波帯域から高周波帯域に行くほどパワースペクトルが減衰している。したがって、傷検出のためには低い周波数成分を選択的に抽出するフィルタリング特性が望ましい。

4. シミュレーションによる空間フィルタのパラメータの設計

まずはじめに、メリヤス地の生地が実際どのようなスペクトルをもっているのかを編目の間隔より十分に細い単スリット(幅: 約 0.2 mm, 長さ: 20 mm)を用いて実験により調べた。実験系の構成については後述する。

まず、メリヤス地の編目パターンを Fig. 7(i) に示す。メリヤス地は、編機の上部で回転しながら編まれ、編目が垂直の状態では回転しながら下方に移動し、同一回転数で水平に回転する巻取り棒に巻き取られ、正常な状態ではメリヤス地の編目が斜めになることはない。また傷が生じた場合、それが小規模な傷の範囲であれば、編物の性格上、編目の斜めになる部分が生じてそれは傷周辺の局所的な範囲にとどまっている。図のように、編目のピッチが一定でも一方の編目の模様と隣の編目の模様と少し異なるパターンが連続している。このような編方により一方の編目を通る光量と隣の編目を通る光量は等しくない。その結果検出される時系列信号は Fig. 7(ii) に示すように、交互に山の高さが異なる信号が繰り返している。これらの信号のパワースペクトルを Fig. 7(iii) に示す。図で示すように、パワースペクトルに二つの鋭いピークが現れている。したがって、狭帯域除去型空間フィルタのピッチを最初のピークとなる空間周波数成分が除去されるように設定する必要がある、このことにより 2 番目のピークについても同時に除去できることになる。

つぎに、傷検出のために適切なスリットの数と幅の設定について計算機シミュレーションにより検討を行った。検出される信号の瞬時値を $s(x)$ 、空間フィルタ上に結像される光強度を $i(x)$ 、空間的荷重関数を $h_x(x)$ とす

Fig. 7 Signal analysis of the knitted fabric (underwear)

ると、信号の瞬時値 $s(x)$ はつぎのようなコンボリューション積分で書ける⁸⁾。

$$s(x) = \int_0^X i(\xi) \cdot h_x(x - \xi) d\xi \quad (15)$$

ただし、 X は、 x 軸方向の空間フィルタの全長である。

周波数領域で考えれば、 $s(x)$ 、 $i(x)$ および $h_x(x)$ のフーリエ変換をそれぞれ $S(\mu)$ 、 $I(\mu)$ および $H_x(\mu)$ とすると、

$$S(\mu) = I(\mu) \cdot H_x(\mu) \quad (16)$$

となる。

ところで、光強度 $i(x)$ としては、上述の単スリットを用いて実験的に得た信号を用い、計算機上で空間フィルタのスリットの個数と幅を変えて、(15)式によりシミュレーションを行った。Fig. 8(a)～(c)はそれぞれスリット幅 $W=0.1P, 0.5P, 0.9P$ の場合の結果であり、図に示すようにメリヤス地がもっている二つの鋭いピークが除去されていることがわかる。またスリット幅 W が大きくなればなるほどリップルが減少していることがわかる。これは一般的にスリット幅が大きくなるほど高周波成分が減衰し、低周波成分が通過する特性となるからである。さらに差動構成により直流成分も除去されていることがわかる。

ここでスリット幅 W とリップル成分の大きさとの関係調べるためにスリット幅 W を変えてシミュレーションを行い、リップルの標準偏差を調べた結果を Fig. 9 に示す。図に示されているようにある程度 W が大きくなると、それ以上リップルが減少しないことがわかる。またスリットの個数について $N=5 \sim 9$ ぐらいまでが

リップルが顕著に減少することがわかった。

つぎに、傷のあるメリヤス地を単スリットで観測して得られた信号を用いて、同上のシミュレーションを行った。スリット幅が大きくなるほどリップル分は減少するが、 $W=0.9P$ と大きくなりすぎると、傷信号のピーク値も減ってしまうことがわかる。この様子を Fig. 10 に示す。

ここで SN 比として、傷信号のピーク値とリップルの標準偏差の値との比 (SNR) を考えることにする。各種の傷信号についてスリット幅 W と SNR との関係をシミュレーションにより調べた。その結果を Fig. 11. (a)～(c) に示す。図からわかるように一般に傷が大きくなるほど適切なスリットの幅も大きな値となるが、全般的には幅が $0.6P$ ぐらいがよい SNR を与えるといえる。

またスリットの個数については、一般的には多いほどよいといえるが、メリヤス地の傷検出においては 5～9 素子で十分であるといえる。

Fig. 9 Noise distribution according to the slit's width W and the slit's number N where $P=1$ [mm]

(a) $W=0.1P$

(b) $W=0.5P$

(c) $W=0.9P$

Fig. 8 Effects of the slit's width W of the narrow band eliminating spatial filter ($N=5, P=1$) without detects

(a) $W=0.1P$

(b) $W=0.5P$

(c) $W=0.9P$

Fig. 10 Effects of the slit's width when "Defect A" is detected by the narrow band eliminating spatial filter, where $N=5, P=1$ [mm]

(i) $w=0.8$ [mm] (ii) $w=1.0$ [mm]Fig. 11. (a) Relationships between the SNR and the slit's width W for "Defect A" of which w is 0.8 or 1.0[mm] (i) $w=1.0$ [mm] (ii) $w=1.6$ [mm]Fig. 11. (b) Relationships between the SNR and the slit's width W for "Defect C" of which diameter d is 1.0 or 1.6[mm] (i) $a \times b = 1.0 \times 2.5$ [mm] (ii) $a \times b = 1.3 \times 5.0$ [mm]Fig. 11. (c) Relationships between the SNR and the slit's width W for "Defect D" of which a and b are 1.0, 2.5[mm] or 1.3, 5.0[mm]

Fig. 12 Configuration of the experimental defect detecting system

5. 実験および結果

5.1 実験系の構成

本研究で提案した原理に基づいて狭帯域除去型空間フィルタを試作し、実験のための傷検出装置を製作した。まず、実際の工場でのオンライン傷検出を模した編機シミュレータを製作した。Fig. 12 に示すように、編機シ

(a) Spatial filter

(b) Experimenting defect detecting system

Photo. 2 Spatial filter and experimental defect detecting system

ミュレータの内部には直流点灯された白色光源を入れその周りに検出対象であるメリヤス地をかぶせた構造となっている。メリヤス地の取付け枠はモータにより一定速度で回転する。

実際の編機では図の点線で示したように編まれたメリヤス地が回転しつつ下方へ螺旋的に移動して行く構造となっているので、1カ所を検出器で観測すればメリヤス地全面をつぎつぎと観測することができる。

対象の正面に狭帯域除去型空間フィルタ検出器を設置し、傷検出を行った。光学系の倍率は1.0である。実験に用いた空間フィルタのスリットの個数は4章のシミュレーション結果に基づき、5素子とした。スリット列のピッチは1.0 mm、スリット幅は0.45 mmである。狭帯域除去型空間フィルタの外観を **Photo. 2** に示す。なお写真に示す空間フィルタは9素子用のもの(スリット列のピッチ0.5 mm、スリット幅0.45 mm)であるが、ここでは1個おきに用いることによりスリット列のピッチ1.0 mmの5素子用空間フィルタとして利用している。

5.2 実験結果

3種類の傷(傷A, 傷C, 傷D)に対して実験を行った。傷Bは試料が入手しにくく、また人工的にも作るのが困難であるため、本実験では取り扱っていない。ただし、基本的には傷Aと類似する性格をもつものと考えてい

(a) "Defect A" signal

(b) "Defect C" signal

(c) "Defect D" signal

Photo. 3 Observed waveforms of the typical defects

る。得られた傷信号を **Photo. 3** に示す。写真に示されているようにメリヤス地に生じた傷が検出されていることがわかる。また、空間フィルタのスリットが縦に長い長方形となっているので、縦方向に長い傷のほうが信号レベルが高く検出しやすいことが観察される。

本実験で用いた傷の場合、傷Aに関しては、定常の編目の間隔が $w=0.5$ mmに対して、 $w=0.7\sim 1.5$ mmの大きさを用いた。編目のゆらぎなどを考えると、最小で0.7 mmの傷が本実験で検出できることがわかった。

傷Dに関しては、編機の糸にはあらかじめある程度のテンションが加わっているため、糸が切れると穴が大きくなり、現実には最小でも数mm程度の穴に広がってしまう。実験では傷Dの大きさが 1.0×1.0 mmから 5.0×7.0 mmまでを扱った。

なお、実際の傷検出を考えると、傷に伴う検出パルスについて適当なスレッショールドレベルを設け、傷の大きさを弁別することも可能と考えられる。

6. おわりに

速度計測に用いる狭帯域通過型の特性とは逆の特性をもつ狭帯域除去型空間フィルタを構成し、それを応用した傷検出法を提案した。フィルタのパラメータがフィルタリング特性に及ぼす影響を調べ、さらに単スリットにより得られた生データを用いて計算機シミュレーションを行い、傷検出に最適なスリットの総個数と幅について検討した。この結果に基づいて狭帯域除去型空間フィルタを試作し、メリヤ生地を例とした傷のオンライン検出の実験を行い、その有効性を確かめた。

本論文では、狭帯域除去型空間フィルタとそれを用いた編物の傷検出法を中心に議論をすすめた。しかし、編物に生じる傷にはいくつかの種類があり、また同一種類でもその大きさが異なるのが普通であろう。特に、編機の故障により生じる傷は連続して発生するので、生地全体に傷が及んでしまう。このような傷が検出されたら、その時点でただちに製造工程を停止し適切な対応措置をとる必要がある。一般的にいって、傷の種類によって対処策が異なるので、傷の検出と同時に種類判別ができれば非常に都合がよいといえる。したがって、傷の種類と大きさの判別が今後の課題となろう。

最後に本研究に関し、いろいろご支援いただきました(株)応用計測研究所の中山鳩夫氏にお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 内藤, 狼, 小林: 空間フィルタによる速度計測, 計測と制御, 7-11, 761/772(1968)
- 2) 川田, 岡井, 小林: 空間フィルターを用いた表面粗さ計測, 理研シンポジウム予稿集「新しい光応用技術—空間フィルターによる画像計測—」, 19/22(1987)
- 3) P. Cielo and G. Vaudreuil: Optical Inspection of Sheet Material for Pinhole or Defects by Speckle-Averaging Techniques, ISA, 863/874(1988)
- 4) P. Cielo and M. Dufour: Optical Inspection in Hostile Industrial Environments—Single Sensor vs. Imaging

Methods—, SPIE, 959, Optomechanical and Electro-Optical Design of Industrial Systems, 87/116(1988)

- 5) P. Cielo and G. Vaudreuil: Optical Inspection of Industrial Materials by Unidimensional Fourier Transform, APPLIED OPTICS, 27-22, 4645/4652(1988)
- 6) 小林, 内藤: 計測のための狭帯域通過型最適空間フィルタ, 計測自動制御学会論文集, 5-2, 142/149(1969)
- 7) 谷萩隆嗣: デジタル信号処理の理論 1, 78/80(1985)
- 8) Y. Amari and I. Masuda: Velocity Sense Detection Based on the Spatial Filter Method, IEEE Trans., Instrumentation and Measurement, 39-4, 649/652(1990)

[著 者 紹 介]

田 承 桓 (正会員)

1983 年, 韓国海洋大学修士課程(海洋学専攻)修了。81 年, 同大学助教。87 年, 同講師。87 年 1 月来日, 92 年 9 月東京工業大学大学院博士後期課程(制御工学専攻)修了。現在, 韓国海洋大学校勤務。空間フィルタ法や欠陥計測などの研究に従事。

大 山 真 司 (正会員)

(Vol. 29, No. 2 参照)

小 林 彬 (正会員)

(Vol. 29, No. 2 参照)

山 浦 富 雄 (正会員)

1971 年, 東京工業大学大学院修士課程(制御工学専攻)修了。75 年, 東京工業大学工学部助手。89 年, 東京工科大学工学部講師, 92 年より助教授。工業計測, 最適制御の応用理論に関する研究に従事(工学博士)。