表面むら抽出のためのフーリエ変換を用いた画像処理手法の開発

原 靖彦*, 田中 宏卓*, 白井 健二*, 滝沢 義信**, 菅野 純一**

Proposal of Image Processing Method for Extraction of Surface Thin Stains Using Fourier Transform

Yasuhiko HARA*, Hirotaka TANAKA*, Kenji SHIRAI*, Shigenobu TAKIZAWA**, and Junichi SUGANO**

* 日本大学工学部情報工学科 (〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定中河原 1)

** ヴィスコ・テクノロジーズ株式会社 (〒105-0022 東京都港区海岸 1-11-1)

*Department of Computer Science, College of Engineering, Nihon University (1 Nakagawara, Tokusada, Tamura-machi, Koriyama City, Fukushima 963-8642)

**Visco Technologies Corporation (1-11-1 Kaigan, Minato-ku, Tokyo 105-0022)

概要 本研究では、「濃度むら」を画像処理により抽出する手法について報告する。

背景が梨地のようにノイズな画像の場合、むらのみを抽出することは困難である。本研究ではフーリエ変換を用いたむらの抽出手法を提案する。フーリエ変換面で正規分布形の低周波数透過フィルタを適用して梨地テクスチャにある濃度むらを対象として周波数フィルタリング実験を行った。その結果、周波数帯域に対応した明暗変化からなる良好な画像を得ることができた。さらに円環状周波数透過フィルタを試行した。同フィルタの周波数帯域を低周波から高周波に順次変えることにより、おのおのの周波数帯域に相当する大きさのむらを選択的に抽出することができた。

Abstract

In this article, image-processing methods to extract thin stains on the surface of industrial products are described. When an image background is noisy, as with satin finished surfaces, it is difficult to extract stains exclusively. In this article, Fourier transform image processing methods to accomplish extraction of thin stains are presented. A low frequency transmitting filter, which has normal distribution transmission characteristics, was applied on a Fourier-transformed plane. Then, experiment to extracted thin stains on satin finished surfaces was performed by changing the bandwidth of the filter. The experiment produced good reconstructed images. It is shown that the light and dark distribution of the images corresponds appropriately to the frequency characteristics of the applied filter.

A torus frequency-transmitting filter to extract thin stains is proposed. Experiment is performed by changing the bandwidth of the torus filter. The torus filter demonstrated the ability to extract thin stains over a range of sizes which correspond to the frequency characteristics of the applied torus filter.

Key Words: Extraction of Surface Thin Stains, Fourier Transform, Inspection, Aoi, Image Processing

1. はじめに

工業製品の表面にできる「むら」は製品の価値を下げ、また信頼性を低下させる恐れがあることから、これを検知することは古くからの課題となっており、種々の研究がなされている。「むら」とは淡い濃淡変化を意味するが、大きさや形状は線状、円形状などさまざまである。本研究はこのうち、ゆるやかな濃淡変化を含めて比較的大きなむらの抽出を目的とする。

むらがノイズのない均一な明るさを持つ背景画像の中に存在する場合は、2値化の閾値を適正に設定することにより、むらを抽出することができる。しかし背景が例えば梨地のようなノイズな画像の場合、あるいは、ゆるやかな明暗変化がある場合、2値化によりむら部分のみを抽出することは困難である。本研究はこのような通常的手法では抽出が困難なむらを対象としている。

以下、従来のむら抽出手法に関する研究例を示す。

(1) 人によるむらの感覚的評価

ディスプレイの輝度むらや色むらを観察した場合、人による感覚的な評価とむらの強度および形状との関係についての分析的な研究がなされている^{1)~4)}。

(2) 高周波成分除去により背景輝度を推定するむら抽出法
むら情報を含まない緩やかに変化する背景画像の輝度を推定することができれば、これを基準値(2値化閾値)とすることにより、むらを抽出することができる⁵⁾。このためにウェーブレットを用いて高周波ノイズを除去することにより背景輝度を推定する研究が行われている⁶⁾。また直接実空間で輝度分布の形状を検知することにより高周波変化成分を除去することができる^{7),8)}。これらは、高周波成分を含んでいる小さなむらを抽出するためには有効な手法であるが、大きなむらに対しては有効ではない。

(3) 周囲の輝度から背景輝度を推定するむら抽出法
むら周囲の輝度値を計測して、これから背景画像の輝度を推定する。これにより緩やかに変化する背景輝度分布を

除去することにより、むらによる輝度変化を顕在化させることができる。例えば、メディアンフィルタの機能を拡張した原理で背景輝度を推定する手法がある⁹⁾。

(4) 輝度値の変化からむらを抽出する手法

むらは空間的に輝度に変化している部分であるので、微分的な手法により、むらを検知することができる。この場合は、むらの境界線部分を抽出することになる。微分的手法は緩やかに変化する輝度の影響を受けずにむらを抽出することができる^{10)~12)}。

周辺輝度値との比較を柔軟に行うことにより、むらを抽出する研究がある。画像をブロックで分割し、個々のブロック内の平均輝度値を求めて、注目ブロック（画素）の輝度値と他のブロック（画素）の輝度値を比較することにより異常値（むら）を検知する。ブロックの境にむらがかかることがあるので、ブロックの位置（位相）を変化させ、またブロックサイズを変化させながら評価を行う¹³⁾。

以上、評価値として輝度を用いた場合を説明したが、むらの種類によって輝度ではなく輝度の分散、濃度の出現確率などの画像特徴量を使うことが有効な場合がある^{14),15)}。また、むらの形状を認識する手法が研究されている⁸⁾。

本研究では、比較的大きなむらの抽出を目的とし、オーソドックスな手法であるフーリエ変換を適用したむら抽出手法を提案する。フーリエ変換を適用するにあたって対象画像領域を拡張し、また正規分布形の低周波透過フィルタを用いた。これにより従来のフーリエ変換手法の欠点を低減して緩やかに変化する明暗変化の抽出を可能とした。さらに円環状透過フィルタを試行した。このフィルタは、透過率がゆるやかに立ち上がり、ある周波数でピークを持つ。フィルタの周波数帯域を変えることにより、おのおのの周波数帯域に相当する大きさのむらを選択的に抽出することができた。

2. フーリエ変換を用いた低周波数透過フィルタリング手法

2.1 フーリエ変換を用いた従来の低周波数透過フィルタリング手法

フーリエ変換を利用することにより、画像をフーリエ変換面上の空間周波数成分に変換することができる。フーリエ変換面で周波数成分をフィルタリングすることにより、任意の周波数成分を透過（あるいは遮断）することができる。従来用いられる周波数フィルタは、例えば画像のフー

リエ変換面（空間周波数面）において、Fig. 1に示す高周波成分を遮断する低周波透過フィルタをかける。同図に示すフィルタは、式(1)に示す周波数 ω_0 以上で透過率 $T=0$ 、それ以外で $T=1$ となり低周波成分を透過する。 ω_0 は正の定数、 ω は空間周波数を表す変数である。

$$T = 1 \quad \text{for } 0 \leq |\omega| < \omega_0,$$

$$T = 0 \quad \text{else.}$$

ここで、 $\omega = (\omega_x, \omega_y)$ (1)

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_{x0}^2 + \omega_{y0}^2}$$

フーリエ変換を用いた空間周波数フィルタリング手法の処理過程をFig. 2に示す。同図に示すように、画像をフーリエ変換して得られた周波数成分にフィルタを適用した結果得られた周波数成分をフーリエ逆変換することにより画像を再構成することができる。Fig. 1に示す低周波数透過フィルタを適用した場合は、ゆるやかに変化する明暗変化画像を得ることができる。

Fig. 1に示す従来手法を用いて、ゆるやかな明暗変化を抽出する実験を行った¹⁶⁾。結果をFig. 3に示す。Fig. 3(a)は、ゆるやかな明暗変化があるむらを有する画像Image1である。左上に水平方向の筋状のむらがある。Image1から低周波成分のみの画像が抽出できたとする。このときImage1から低周波成分画像を差し引けば、高周波成分のみの画像が得られるはずである。同図(b)は、後述する改良手法を用いて抽出した低周波成分画像「Image1_ $\sigma^2=10$ 」を示す。同図(c)は、Image1からImage1_ $\sigma^2=10$ を差し引いた画像「SA_Image1_ $\sigma^2=10$ 」を示す。同図(c)は、Image1の低周波成分が正しく取り除かれており、全面ではほぼ一様な明るさの画像となっている。高周波成分画像（筋状のむら）は左上に残っている。

Fig. 1 Usual low frequency transmitting filter on Fourier-transformed plane

Fig. 2 Image reconstruction process by Fourier transform, frequency filtering and reversal Fourier- transform

Fig. 3 (a) Original image1, (b) Image applied proposed low frequency transmitting filter, (c) Subtracted image (a)-(b), and (d) (e) Subtracted images between (a) and images applied usual low frequency transmitting filter

Fig. 4 Process of reconstruction of image when applied usual low frequency transmitting filter, and resulting intensity profile

同図 (d) は、画像 Image1 に Fig. 1 に示す従来の低周波透過フィルタをかけて得た低周波画像から Image1 との差を取った画像「SA_Image1_ $\omega_0=3$ 」を示す。フィルタの半径は $\omega_0=3$ (画素単位) である。同図 (e) は $\omega_0=1$ として同様にして得た画像「SA_Image1_ $\omega_0=1$ 」を示す。同図 (d) および同図 (e) を見ると、正しく低周波成分を抽出した画像を用いた結果同図 (c) と比べて、明るさが一様ではない。同図 (d) では特に左上および右下に明るい部分があり、同図 (e) では周期的な濃淡変化が見られる。このように Fig. 1 に示す従来の低周波透過フィルタでは正しく低周波成分を抽出することができないことが分かった。この原因は、フーリエ変換は本来無限に広がった画像を使うべきであるのに有限の画像を使っていること。また、透過率が急に变化する周波数透過フィルタを使った場合、急に周波数成分が打ち切られるために、再構成画像に Fig. 4 に示すようなリングング (干渉縞パターン) ができるためと考えられ

る。これは、光学的なアナロジーでは物体を可干渉光により照明することにより観察する像にリングングができることに相当する。

2.2 フーリエ変換を用いた空間周波数フィルタリング手法の改良

(1) 画像領域の拡張

Fig. 5 に示すように 512×512 画素の原画像を $1,024 \times 1,024$ 画素の画像に領域を拡張した。その際、 512×512 画素の原画像を 4 分割して、分割した画像を反転して画像の接続部で明るさの不連続が生じないようにした。これにより Fig. 5(b) 示す中央部にある 512×512 画素原画像の端部においても画像の連続性を保った条件で画像処理が可能となる。画像処理の後、中央部の 512×512 画素を切り取って結果の画像とする。

(2) 低周波透過フィルタの改良

フィルタの透過率が Fig. 6(a) に示すように急に变化する

場合は、周波数成分が急に遮断されるのでリングングを起こす。同図 (b) に示すように正規分布にすることにより、リングングを避けることができる。

Fig. 5 Method of extending image domain

Fig. 7(a) は、Fig. 3(a) に示した画像 Image1 である。Image1 (512×512 画素) を、1,024×1,024 画素の画像に領域拡張した。この画像をフーリエ変換して幅 σ の正規分布型の低周波透過フィルタリングを行い、その結果をフーリエ逆変換した。 σ の値は、 $\sigma^2 = 10$ とした。その結果を Fig. 7(b) に示す。同図 (b) は、逆変換して再構成した画像 (1,024×1,024 画素) の中央部 512×512 画素を切り取ったものである。

高周波数成分が除かれて、ゆるやかな明暗変化部分が抽出されている。Fig. 7(c) は、原画像同図 (a) のパワースペクトルを示す。同図 (d) は改良後の低周波フィルタを適用した同図 (b) の画像のパワースペクトルを示す。両図 (c) (d) を比較すると、(d) では中心部のみに周波数成分が集中しており、高周波成分が除去されていることが分かる。

Fig. 6 Characteristics of usual low frequency transmitting filter (a) and that of proposed low frequency transmitting filter (b)

Fig. 7 (a) Original image1, (b) Reconstructed image applied proposed low frequency transmitting filter, (c) Power spectrum of (a), and (d) Power spectrum of (b)

3. 改良された手法による低周波透過フィルタ適用実験結果

3.1 実験に用いたむら画像

以下、改良された低周波透過フィルタを用いたむら抽出実験結果を示す。

Fig. 8(a)は梨地テクスチャ画像「Image_texture」を示す。同図(b)は2値化画像である。細かな梨地が2値化されてノイズ状になって見える。また梨地画像は様な明るさではなく、左下が暗く、右上に行くにしたがって明るくなっている。同図(c)は、実験に用いたむら画像「Image2」を示す。この画像は、同図(a)に示す梨地テクスチャ上に式(2)に示すピーク濃度15階調の正規分布むら(輝度I)を、広がり ρ を増やししながら左上から右下にかけて 3×3 個作成したものである。

画像の最大輝度値は255である。 ρ の値は順次 $\rho^2 = 100, 200, 400, 800, 1,600, 3,200, 6,400, 12,800, 25,600$ (画素単位)と変化させてむらを作った。

$$I = 15 \times e^{-\frac{x^2 + y^2}{\rho^2}} \quad (2)$$

Fig. 8(d)は、同図(c)に示すむら画像「Image2」を2値化した結果を示す。これを見ると梨地テクスチャ、背景のゆるやかな明暗変化および、むらが混在して2値化されていることが分かる。むら部分のみの抽出はできていない。

同図(e)は、均一な明るさの画像にむらを作成した画像「Image_stain_uniform background」である。この画像には同図(a)に示す梨地テクスチャ画像「Image_texture」にある緩やかな明暗変化はなく明るさは均一である。この画像を2値化した画像を同図(f)に示す。梨地状のテクスチャはないので2値化によりむらが抽出されている。Fig. 8(g)は、同図(a)に示す梨地テクスチャ画像上の線A-A'に沿った輝度プロファイルを示す。同図(h)は、同図(c)に示すむら画像の輝度プロファイルを示す。梨地テクスチャに基づく細かな明暗変化が見られる。同図(i)は、同図(e)に示す均一な明るさの画像に作成したむら画像の輝度プロファイルを示す。同図(i)には、むらに基づく明暗変化が明確に見える。同図(h)は、梨地テクスチャに基づく細かな明暗変化(g)と同図(i)に示すむらの明暗変化が重ね合わされたものである。むらに対応する個所でわずかな明暗変化が見られるが、むらに基づく明暗変化は梨地テクスチャによる明暗変化に埋もれており、2値化によりむらのみを抽出できないことが分かる。

3.2 実験結果

実験は、正規分布型の低周波成分透過フィルタの幅 σ^2 を次第に大きくしながら、むら抽出特性を調べた。フィルタの帯域が狭いときは、ゆるやかに変化する低周波数の明暗変化を抽出し、フィルタの帯域が広くなるにしたがって小さなむらも含めて見えるようになり、原画像に近づいた画

像を得た。以下、4つの周波数帯域について結果を示す。

Fig. 9の(a)列は、低周波成分透過フィルタをかけた結果の画像を示す。(b)列は画像のパワースペクトルを示す。(c)列は、画像の2値化結果を示す。

- (1) Fig. 9の(1)行の(b)列にむらを有する原画像Image2のパワースペクトルを示す。Image2の細かな梨地テクスチャは高周波成分を含むのでパワースペクトルは広い範囲に分布している。
- (2) Fig. 9の(2)行は、 $\sigma^2 = 10$ として抽出した低周波画

Fig. 8 (a) Texture image used as background image, (b) Binarized image of (a), (c) Original image2, (d) Binarized image of (c), (e) Uniform intensity image with stains, (f) Binarized image of (e), (g) (h) Intensity profiles of (a) (c) and (e) on lines A-A'

	(a) Image2	(b) Power spectrum	(c) binarized image th=228
(1) Original image, Image2
(2) Reconstructed image applied proposed low frequency filter ($\sigma^2=10$)
(3) Reconstructed image applied proposed low frequency filter ($\sigma^2=80$)
(4) Reconstructed image applied proposed low frequency filter ($\sigma^2=320$)
(5) Reconstructed image applied proposed low frequency filter ($\sigma^2=5120$)

Fig. 9 Reconstructed images applied proposed low frequency transmitting filters, power spectra and binarized images

像である。高周波成分が除かれて、ゆるやかに変化する明暗変化が得られている。上段にある小さな孤立むらは全く消えている。同行(c)列は2値化した画像である。左下の暗い部分が2値化されている。

- (3) Fig. 9の(3)行は、 $\sigma^2 = 80$ として抽出した低周波画像である。中段の孤立したむらが見えている。上段にある小さなむらは見えない。2値化画像を同行(c)列に示す。中段部のむらと下方のむらが2値化されている。
- (4) Fig. 9の(4)行は、 $\sigma^2 = 320$ として抽出した低周波画像である。中段の孤立したむらが、より分離して見えている。2値化画像を同行(c)列に示す。中段部のむらが、さらに明確に2値化されている。
- (5) Fig. 9の(5)行は、 $\sigma^2 = 5120$ として抽出した画像で

ある。細かなテクスチャがノイズとして抽出されている。上段の小さなむらが明確に見える。同行(c)列は2値化画像を示す。むらと共に梨地テクスチャが2値化されている。

- (6) 低周波成分透過フィルタの幅は、(2)行、(3)行…の順に広がっている。Fig. 9の(b)列に示すパワースペクトルを見ると、この順に次第にパワースペクトル分布が広がっており、次第に高周波成分が透過していることが分かる。

以上示したように、改良された手法により低周波成分透過フィルタの幅 σ^2 を次第に大きくすることにより、次第に高周波成分が透過するようになり、周波数帯域に対応した適切な低周波成分画像が得ることができた。本手法はとくにゆるやかに変化する明暗変化を抽出するために有効であ

り、照明むらの除去やシェーディングの除去に適用できる。

4. 円環状周波数透過フィルタを用いたむらの抽出

4.1 円環状周波数透過フィルタ効果の実現手法

前章で述べた低周波透過フィルタを用いることにより、ゆるやかに変化する明暗むらを抽出することができた。本フィルタの特性を高周波数まで通すように帯域を広げると、次第に細かなむらを抽出できるようになるが、常に低周波成分を通すので、ある特定範囲の大きさのむらのみを抽出することはできない。そこで、ある特定範囲の大きさのむらを抽出することを試みた。このためにはフィルタによってある特定帯域の空間周波数成分を透過させる必要がある。このために次に示す手法で円環状周波数透過フィルタの効果を実現した。

Fig. 10 に示すフィルタ A と B は、透過帯域特性が異なり、A は B よりも低い周波数を透過する。提案手法では、まずフィルタ B を用いてぼけ画像を得る。つづいてフィルタ A を用いてぼけ画像を得る。次に、両ぼけ画像の差を取る。これにより結果的に同図の C に示す円環状の周波数透過フィルタをかけた効果を得ることができる。

画像差をとると、2つの画像間の濃淡差は小さいので得られる画像の階調は低くなる。このために差画像の階調を10倍し、フィルタを透過する周波数の逆数（波長）に比例した大きさのガウス型の平均化フィルタ（大きさ B_k ）を適用して濃度を内挿してなだらかな階調変化のある画像を得た。

4.2 円環状周波数透過フィルタを用いたむら抽出実験結果

上記した円環状周波数透過フィルタを用いたむら抽出実験を行った。円環状周波数透過フィルタを生成するフィルタ A および B の σ^2 を σ_A^2 および σ_B^2 と記す。Fig. 11 の (1) は $\sigma_A^2 = 10, \sigma_B^2 = 20$, (2) は $\sigma_A^2 = 20, \sigma_B^2 = 40$, (3) は $\sigma_A^2 = 40, \sigma_B^2 = 80$, と順次 10, 20, 40, 80, ..., 2560, 5120, 10240 と変えながら円環状周波数透過フィルタをかけた実験を行った。Fig. 11 の (a) 列と (c) 列は、円環状周波数透過フィルタをかけた結果の画像を示す。同図の (b) 列と (d) 列は、各々の画像の2値化結果を示す。

- (1) Fig. 11(1) は、 $\sigma_A^2 = 10, \sigma_B^2 = 20$ として得た結果を示す。(b) 列に2値化画像を示す。

Fig. 10 Characteristics of proposed low frequency transmitting filter A and B, and that of proposed torus frequency transmitting filter C

下段にある低周波むらが抽出されている。

- (2) Fig. 11(2) は、 $\sigma_A^2 = 20, \sigma_B^2 = 40$ として得た結果を示す。(d) 列に2値化画像を示す。

下段にある大きなむらと中段右側にあるむらが抽出されている。

- (3) Fig. 11(3) は、 $\sigma_A^2 = 40, \sigma_B^2 = 80$ として得た結果を示す。(b) 列に2値化画像を示す。

中段にあるむら3つと下段左側にある大きなむらが抽出されている。

- (4) Fig. 11(4) は、 $\sigma_A^2 = 80, \sigma_B^2 = 160$ として得た結果を示す。(d) 列に2値化画像を示す。

中段部にある中間的な大きさのむら3つと上段右側にある小さなむらを抽出した。

- (5) Fig. 11(5) は、 $\sigma_A^2 = 160, \sigma_B^2 = 320$ として得た結果を示す。(b) 列に2値化画像を示す。

中段左側から上段右側にある小さなむらを抽出した。

- (6) Fig. 11(6) は、 $\sigma_A^2 = 320, \sigma_B^2 = 640$ として得た結果を示す。(d) 列に2値化画像を示す。

中段左側のむらと上段2つのむらを抽出した。

- (7) Fig. 11(7) は、 $\sigma_A^2 = 640, \sigma_B^2 = 1280$ として得た結果を示す。(b) 列に2値化画像を示す。

上段にある小さなむら2つを抽出した。

- (8) Fig. 11(8) は、 $\sigma_A^2 = 1280, \sigma_B^2 = 2560$ として得た結果を示す。(d) 列に2値化画像を示す。

上段にある小さなむら3つを抽出した。

- (9) Fig. 11(9) は、 $\sigma_A^2 = 2560, \sigma_B^2 = 5120$ として得た結果を示す。(b) 列に2値化画像を示す。

上段にある小さなむらと共に梨地テクスチャが抽出されている。

- (10) Fig. 11(10) は、 $\sigma_A^2 = 5120, \sigma_B^2 = 10240$ として得た結果を示す。(d) 列に2値化画像を示す。

背景にある小さな梨地テクスチャが抽出されている。

以上に示したように円環状周波数透過フィルタの波数帯域を次第に高周波に移すにしたがって、画像の下方にある大きいむらから次第に中段のむら、そして上段の小さいむらが抽出されるようになり、最後は細かな梨地テクスチャが抽出されることが分かった。すなわち、おのおのの周波数帯域に対応した大きさのむらを選択的に抽出することができた。

Fig. 12 は、円環状周波数透過フィルタの効果を示すものである。同図は、Fig. 11(9) の画像のパワースペクトルを示しており、円環状周波数透過フィルタによって円環状に周波数成分が選択されていることが分かる。

円環状周波数透過フィルタを用いたむら抽出実験結果からむらの2値化画像を合成した。Fig. 13(a) は、Fig. 11 のむら2値化画像(1)から(8)の論理積をとった画像を示す。同図(b)は、一様な明るさの背景画像にむらを作成した結果を2値化した画像を示す(Fig. 8(f))。中段から上段にかけて

Filtering params.	(a) Reconstructed Image2	(b) Binarized image	Filtering params.	(c) Reconstructed Image2	(d) Binarized image
(1) $\sigma_A^2=10$, $\sigma_B^2=20$, Bk=60		 th=105	(2) $\sigma_A^2=20$, $\sigma_B^2=40$, Bk=50		 th=109
(3) $\sigma_A^2=40$, $\sigma_B^2=80$, Bk=40		 th=110	(4) $\sigma_A^2=80$, $\sigma_B^2=160$, Bk=30		 th=103
(5) $\sigma_A^2=160$, $\sigma_B^2=320$, Bk=30		 th=116	(6) $\sigma_A^2=320$, $\sigma_B^2=640$, Bk=20		 th=95
(7) $\sigma_A^2=640$, $\sigma_B^2=1280$, Bk=16		 th=97	(8) $\sigma_A^2=1280$, $\sigma_B^2=2560$, Bk=10		 th=97
(9) $\sigma_A^2=2560$, $\sigma_B^2=5120$, Bk=10		 th=92	(10) $\sigma_A^2=5120$, $\sigma_B^2=10240$, Bk=6		 th=80

Fig. 11 Reconstructed images when applied proposed torus frequency transmitting filters and binarized images

Fig. 12 Power spectrum of image (9) of Fig. 11, applied proposed torus filter ($\sigma_A^2 = 2,560$, $\sigma_B^2 = 5,120$)

のむら抽出結果については、両者はかなり類似している。下段のおおきなむらに関しては両者の2値化形状には違いがある。この一つの原因としては、Fig. 13(a)に示す Image2_th_synthesized は右上から左下にかけて次第に暗く

Fig. 13 Binarized original image2_th synthesized from binarized images (1)~(8) in Fig. 11, and binarized stain image in uniform background (Fig. 8(f))

なっている背景テクスチャ画像 (Fig. 8(a)) にむらを作成したのに対して、Fig. 13(b) は一様な明るさの背景画像にむらを作成した画像であることが考えられる。本研究の目的は、周波数透過フィルタの特性を明らかにすることにあ

り、むらの形状を正確に抽出するためにはさらなる追究が必要とされる。

5. 結 論

フーリエ変換を適用したむら抽出手法を提案した。

- (1) 画像をフーリエ変換後、空間周波数面で低周波成分を透過するフィルタを適用し、得られた周波数成分をフーリエ逆変換することにより画像から高周波成分を除去することができる。これに従来のフィルタを用いると、もとの画像にはない不正な明暗変化のある画像となる。従来手法の欠点を低減するために改良手法を試みた。
- (2) 改良手法は、まず対象画像の領域を拡張した。この画像をフーリエ変換し、空間周波数面で正規分布形の周波数透過フィルタを用いて周波数成分抽出し、これをフーリエ逆変換して低域周波数からなる画像を再構成した。
- (3) 対象むら画像として、梨地テクスチャ上に大きさを変えた正規分布状の濃度むらを作成した画像を使った。周波数透過フィルタの帯域を次第に広くしながら画像を再構成して、むら抽出特性を調べた。その結果、不正な明暗変化のない周波数帯域に対応した低周波成分からなる画像を得ることができた。
- (4) さらに円環状周波数透過フィルタを試行した。このフィルタは、周波数0から透過率がゆるやかに立ち上がり、ある周波数でピークを持つ円環状の周波数透過フィルタである。円環状フィルタの周波数特性を低周波から高周波に順次変えることにより、おのおのの周波数帯域に相当する大きさのむらを選択的に抽出することができた。
- (5) (4)に記したむらの2値化画像を合成した。この合成2値化画像と一樣な明るさの背景画像に作成したむらを抽出した2値化画像とを比較すると両者は類似しており本手法の有効性が認められる。しかし低周波部分で相違が認められる部分があり、むらの抽出手法のさらなる追究が必要である。

(2014.8.19-受理)

文 献

- 1) 秦 清治：“色ムラやシミを人のように評価する外観検査技術,” O plus E, Vol. **32**, No. 6, pp. 689–694, 2010
- 2) 近藤孝洋, 高木勇治, 前田俊二, 浅野敏郎：“視覚特性を考慮した電子ディスプレイの色むら定量評価,” 精密工学会誌, Vol. **79**, No. 11, pp. 1096–1101, 2013
- 3) 森 由美, 田村 徹, 吉武良治, 森口喜代, 棚橋高成, 辻智：“認識限界コントラストに基づいた輝度ムラの定量化手法,” 映像情報メディア学会誌, Vol. **58**, No. 11, pp. 1837–1840

- 4) 岡本陽介：“官能検査アルゴリズムの高度化,” 東芝レビュー, Vol. **63**, No. 12, pp. 60–61, 2008
- 5) 藤原孝幸, 奥水大和：“2つの特徴抽出手法による欠陥検出,” 精密工学会画像応用技術専門委員会 ViEW2002 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, p. 206, 2002
- 6) 中野宏毅, 森 由美：“マルチウェーブレットを用いた低コントラスト欠陥の定量的評価手法,” 精密工学会画像応用技術専門委員会 ViEW2004 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, pp. 44–47, 2004
- 7) 斎藤 等：“不特定形状の傷の検査,” 精密工学会画像応用技術専門委員会 ViEW2005 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, p. 308, 2005
- 8) 青木公也, 吉田祐樹, 菅 泰雄：“背景差分法および領域拡大法によるX線フィルム中の不明瞭溶接欠陥像の抽出,” 日本機械学会論文集, Vol. **65**, No. 634, C編, pp. 401–407, 1999-6
- 9) 水谷泰代, 青木公也：“背景輝度値差分による不特定形状の傷の検査,” 精密工学会画像応用技術専門委員会 ViEW2005 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, p. 320, 2005
- 10) 藪中智也, 濱田徳亜：“画素ずらし差分処理を用いた斑状欠陥検査,” 精密工学会画像応用技術専門委員会報告, Vol. **19**, No. 4, p. 15, 2005
- 11) 劉 偉, 北 英樹, 岩澤 剣, 三谷洋之：“FPD点灯検査用画像処理システムの開発,” 株式会社ファースト Web Page: <http://www.fast-corp.co.jp/upload/thesis/0010/3.pdf>, 2013.11
- 12) 荒井隆宏：“ラベリング領域統合による不特定特徴の傷の検査,” 精密工学会画像応用技術専門委員会 ViEW2005 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, p. 321, 2005
- 13) 青木公也, 船橋琢磨, 奥水大和, 三和田靖彦：“周辺視と個視微動に学ぶ「傷の気付き」アルゴリズム,” 精密工学会誌, Vol. **79**, No. 11, pp. 1045–1149, 2013
- 14) 菅野純一：“濃度値の出現確率に着目した欠陥検出手法,” 精密工学会画像応用技術専門委員会 ViEW2008 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, p. 397, 2008
- 15) 安孫子恒樹, 満倉靖恵：“ヒストグラムとフーリエ変換を用いた欠陥検出,” 精密工学会画像応用技術専門委員会 ViEW2008 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, p. 401, 2008
- 16) 井上誠善：“C言語で学ぶ実践画像処理,” 第11章周波数で処理する, オーム社, 2000

著者紹介

原 靖彦 (はら やすひこ)
 田中宏卓 (たなか ひろたか)
 白井健二 (しらい けんじ)
 滝沢義信 (たきざわ しげのぶ)
 菅野純一 (すがの じゅんいち)