

218 部品の色むら検出への Wavelet 解析の適用

Application to Color Uneven Area Defects Inspection on Machine Parts by Using Wavelet Transform

正 綿貫 啓一(埼玉大・工)
正 大滝 英征(埼玉大・工)

○ 学 遠藤 新(埼玉大・院)

Keiichi WATANUKI, Saitama University, 255 Shimo-okubo, Urawa, Saitama 338-8570
Shin ENDO, Saitama University
Hideyuki OHTAKI, Saitama University

Recently, industries cannot survive worldwide competition unless they introduce new products with better quality, at lower cost, and with shorter lead time in the production processes. But in the testing process it has not been automated, and the improvement is required. However, it is difficult to attempt the automation for manifold parts in the testing process, and to detect the color uneven area by the simple image processing. Therefore, the inspection is mainly carried out by the visual observation. The automation of the testing process is important thing in view of improvement of the inspection accuracy and shorter lead time. Then, this paper proposes new feature extraction and defects inspection method for slight defects and color uneven area of machine parts by using Wavelet transform. Using this method, the feature extraction filter and defects inspection system for color uneven area of machine parts are developed, and the color uneven area on the black rubber piece is detected. Our experiments have confirmed that the proposed methods are useful for color uneven area defects inspection for machine parts.

Key words: Wavelet transform, Color uneven area, Defects inspection, Machine parts

1. 緒言

近年、生産現場において低コスト化、迅速化が求められており、自動化が遅れていた検査工程においても改善が要求されるようになってきている。検査工程においては、多種多様な部品に対して自動化を図るのは困難であり、色むらなどのような欠陥については単純な画像処理では検出困難であるため、目視検査が主流となっている。しかし、検査工程の自動化は検査精度の均一化や迅速化等の面からも重要性が高い。

そこで本研究では、目視検査で行われてきた機械部品のわずかな傷や色むら等の欠陥検出をするため、Wavelet 変換による特徴抽出および欠陥解析法を提案する。本手法による機械部品の色むらの特徴抽出フィルタおよび欠陥検出システムを構築し、それを用いて黒色ゴム片上に存在する色むら欠陥の検出に適用し、本手法の有用性を検討する。

2. DCT/DWT による画像解析

画像については、画像の濃淡変化の回数より周波数として考えることができ、信号解析で用いられている離散コサイン変換(DCT)と離散 Wavelet 変換(DWT)を利用し、画像解析を行うことができる。DCT については、画像 $f(m, n)$, $m, n = 0, 1, \dots, N$ より、式(1)~(3)で定義される。

$$F(u, v) = \frac{1}{N^2} C(u)C(v) \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) \cos \left[\frac{\pi}{N} \left\{ u \left(m + \frac{1}{2} \right) \right\} \right] \cdot \cos \left[\frac{\pi}{N} \left\{ v \left(n + \frac{1}{2} \right) \right\} \right] \quad (1)$$

$$f(m, n) = 4 \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u)C(v) F(u, v) \cos \left[\frac{\pi}{N} \left\{ u \left(m + \frac{1}{2} \right) \right\} \right] \cdot \cos \left[\frac{\pi}{N} \left\{ v \left(n + \frac{1}{2} \right) \right\} \right] \quad (2)$$

$$C(0) = \frac{1}{\sqrt{2}}, C(\omega) = 1 (\omega = 1, 2, \dots, N-1) \quad (3)$$

式(1)により、画像の DCT 処理から DCT 係数群が得られる。係数には画像の特徴情報が含まれると考えられ、この操作により画像の特徴抽出が行えるものと考えられる。

また、Wavelet 変換は Wavelet 関数 ψ のスケーリングおよびシフトしたものを信号に乗算し、時間領域全体にわたる和として、次のような式(4)で定義される。

$$C(\text{scale}, \text{position}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi(\text{scale}, \text{position}, t) dt \quad (4)$$

これにより Wavelet 係数 C が求められる。しかし、計算上可能な全スケールで Wavelet 係数を計算するのは大変な労力とデータが必要となる。そこで、2のべき乗を基準にスケールと位置を選択し計算(2進分割)することで、より効率的で精度の高い解析を実現しようというのが DWT である。画像 $f(m, n)$ の DWT は、画像の水平方向、垂直方向の順に DWT を施す。 $a_{mn}^{(j,h)}$ は垂直方向に、 $a_{mn}^{(j,v)}$ は水平方向に、 $a_{mn}^{(j,d)}$ は水平・垂直方向に Wavelet を行った係数で、変換後には図1に示されるように係数が分布することとなる。

3. 色むら欠陥検出実験

3.1 実験装置

画像処理による色むらの特徴抽出と欠陥検出を行うことを目的とし、実験を行う。また、画像処理結果からその有効性を検証する。実験装置としては CCD カメラ、照明装置、コンピュータおよび本研究で試作した解析システム(図3)により構成されている。また、実験試料としては図2に示すような黒色ゴム片を用いた。

撮影された画像サンプルは図4のようなものを用いて、色むらの特徴抽出を試みた。画像処理結果に対し、本研究で提案する独自の評価基準に従い、色むらの検出精度を評価、検出の有効性を検証する。

3.2 画像処理内容と方法

(1) 輝度画像/モノクロ画像への変換

以下のように処理を施すことで画像を得る。

モノクロ画像

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

輝度画像

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.1686 & -0.3311 & 0.4997 \\ 0.4998 & -0.4185 & -0.0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

(2) 二値化処理

RGB 値と輝度 Y 値から内部アルゴリズムにより定められた閾値に従い、R・G・B・Y のそれぞれについて二値化処理を行う。

(3) 離散コサイン変換

周波数上位と下位のそれぞれの DCT 係数を画像の総画素数の約 5%, 10%, 25%, 50% と制限し、再変換を行うことにより色むらの特徴抽出を試みる。

(4) 離散 Wavelet 変換

Daubechies Wavelet 基底の数を 2, 3, 4, 6, 8, 10 の種類、近似レベルを Lv1~6 の6種類用意する。

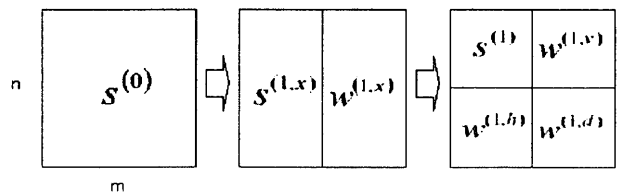


図1 $s_{mn}^{(j,x)}$ と $a_{mn}^{(j,x)}$ の分布

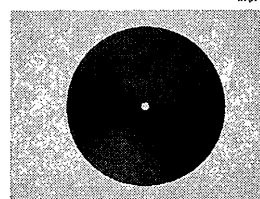


図2 黒色ゴム片

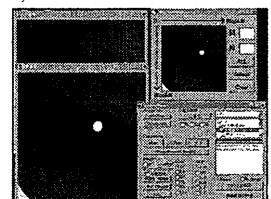


図3 解析システム概観

種類に応じて2次元 DWT により得られた係数に、以下の操作を施し再構成することで色むらの特徴抽出を試みる。

1. $s_{m,n}^{(1,x)}$ のみを省略
2. $\omega_{m,n}^{(j+1,h)}$ のみを省略
3. $\omega_{m,n}^{(j+1,v)}$ のみを省略
4. $\omega_{m,n}^{(j+1,d)}$ のみを省略
5. $\omega_{m,n}^{(j+1,h)}$, $\omega_{m,n}^{(j+1,v)}$ を省略
6. $\omega_{m,n}^{(j+1,h)}$, $\omega_{m,n}^{(j+1,v)}$, $\omega_{m,n}^{(j+1,d)}$ を省略

3.3 評価基準

画像サンプルの色むらと思われる領域を被験者 10 人に選択させる(図4,5)。そのとき、被験者の 50%以上が色むらと判断された領域(図6)を「有効領域」とし、領域内の最多存在階調を主構成要素と考える。その階調の画素を「色むら」とし、むらと判断された画素を含むブロックを「むら領域」と定義する(図7)。選択領域への集中度と選択領域内の占有率から求められる評価値を「検出率」と定義する。

3.4 実験結果

表1に各手法による評価結果を示す。二値化処理は、むら検出において高い有効性を示した。DCT は、低い検出率のものが多く、平均でも低い検出率となった。周波数上位と下位の結果に違いがみられ、図8より周波数上位の係数には特徴情報があまり含まれないことがわかる。周波数下位の係数では 25%で検出率が急激に上昇し、25%付近の係数に多くの特徴量が含まれると考えられる。DWT は全体的に高い検出率を示し、全検出率の最高値はむら・領域検出率ともに DWT の結果から 85%であった。Lv3 付近で検出率の低下が見受けられた(図9,10)。主に操作内容が検出率に影響を及ぼし、Wavelet 係数すべてを省略した場合が高い検出率を示した。これは、スケーリング係数にむらの特徴が集中していることを示している。

4. 結言

本研究では、Wavelet による部品の色むらを解析するシステムを構築し、特徴抽出および欠陥検出を行った。その結果、DWT では検出率も平均して高く、Lv3までの操作内容が色むら検出で高い有効性を示すことが確認された。

参考文献

- [1] 新島耕一, ウェーブレット画像解析, 科学技術出版, (2000).
- [2] G. ストラング・T. グエン共著, ウェーブレット解析とフィルタバンク I・II, 培風館, (1999).
- [3] 棚澤 信, 鈴木俊彦, 下菌裕明: 液晶表示素子の表示むら評価技術の開発, 精密工学会誌 Vol.66, No.1, pp.152-156, (2000).
- [4] 斉藤文彦: 多重解像度解析を用いた液晶ディスプレイ輝度むら欠陥検出, 精密工学会誌, Vol.63, No.5, pp.647-651, (1997).
- [5] 中野宏毅・山本鎮男・吉田靖夫: ウェーブレットによる信号処理と画像処理, 共立出版, (1999).

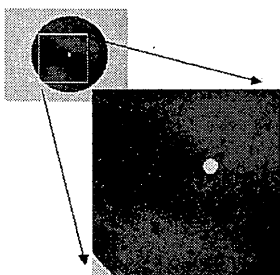


図4 画像サンプル

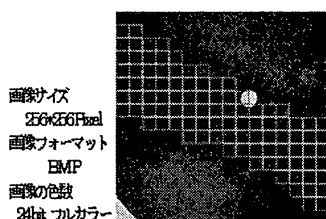


図5 選択された領域

画像サイズ
256x256Pixel
画像フォーマット
BMP
画像の色数
24bit カラー

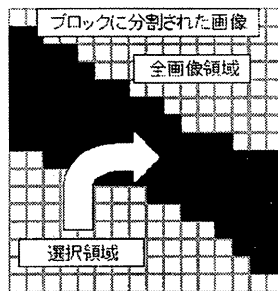


図6 選択された領域とブロック

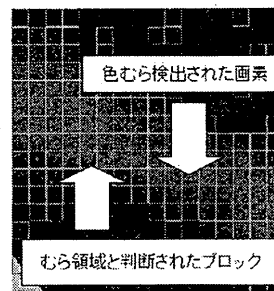


図7 色むらとむら領域

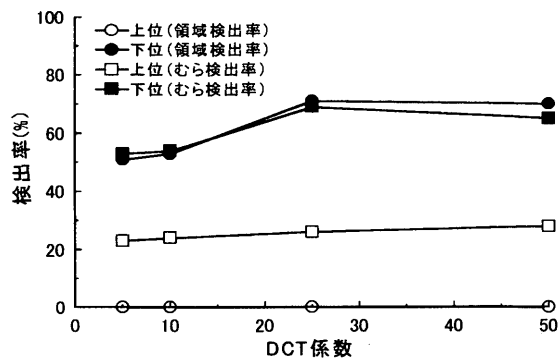


図8 離散コサイン変換

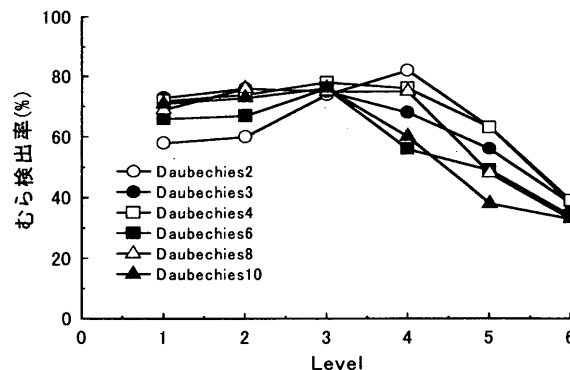


図9 離散 Wavelet 解析処理 ($\omega(j,v)$)

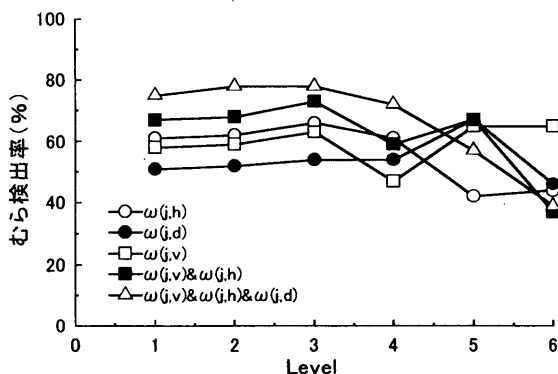


図10 離散 Wavelet 解析処理 (Daubechies3)

表1 各処理における検出率の平均値

処理内容	単位(%)					
	むら検出率 a1	領域検出率 b1	むら欠陥検出 a2	領域欠陥検出 b2	a2 b2	a2 && b2
原画像	28.0	66.0	0.0	100.0	100.0	0.0
モノクロ画像	44.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0
輝度画像	47.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0
二値化	75.0	15.0	100.0	0.0	100.0	0.0
DCT	43.0	30.0	50.0	50.0	50.0	50.0
DWT	59.0	57.0	77.0	73.2	62.6	90.0