

309 色むら欠陥検出におけるウェーブレット係数操作の最適化

Optimization of Wavelet Coefficient Operation in Inspection of Color Uneven Area Defect of Machine Part

正 綿貫 啓一(埼玉大・工)

○ 学 遠藤 新(埼玉大・院)

Keiichi WATANUKI, Saitama University, 255 Shimo-okubo, Saitama-shi, Saitama 338-8570
Shin ENDO, Saitama University

Key words : Wavelet transform, Color uneven area, Optimization, Coefficient, Daubechies wavelet

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。しかし、検査工程では多種多様な部品に対応した自動化は難しく、単純な画像処理では色むらなどの欠陥を検出することはできない。そのため、多くの生産現場では現在でも目視検査が主流となっている。しかし、検査工程の完全自動化は検査精度の均一化等の面からも重要性が高く、近年の製造業における重要な要因の一つとなっている。

そこで本研究では、従来から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への欠陥検出のため、ウェーブレット変換を用いた特徴抽出および欠陥解析システム、そしてそれらに有効なウェーブレット係数操作法を提案する。本論文では一例として、表面に色むらを有する黒色ゴム片に対して本手法を適用し、その有用性を検討する。

2. ウェーブレット変換による画像解析

2.1 離散ウェーブレット変換

ウェーブレット変換はウェーブレット関数 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(1)で定義される。

$$C(\text{scale}, \text{position}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi(\text{scale}, \text{position}, t) dt \quad (1)$$

これによりウェーブレット係数 C が求められる。しかし、計算上可能な全スケールでウェーブレット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て計算(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離散ウェーブレット変換である。

2.1 画像解析への適用

本研究では、画像の濃淡変化を周波数としてとらえることによって、離散ウェーブレット変換を利用した画像解析を行う。画像 $f(m, n)$ へのウェーブレット解析の適用は、画像の水平方向、垂直方向の順に1次元離散ウェーブレット変換を施すことによって行われる。 $\omega_{m,n}^{(j+1,h)}$ は垂直方向に、 $\omega_{m,n}^{(j+1,v)}$ は水平方向に、 $\omega_{m,n}^{(j+1,d)}$ は水平・垂直方向にウェーブレット変換を行った係数で、変換後には図1に示されるように係数が分布する。これらの係数には、各々の方向の特徴成分が含まれていると考えられる。

3. 色むら欠陥検出実験

3.1 実験装置と手順

本実験で使用する実験装置は、図2に示すように CCD カメラ、照明装置、汎用コンピュータおよび本研究で試作した解析システムより構成されている。また、実験試料としては図3に示すような黒色ゴム片を用いる。また、本実験は、離散ウェーブレット変換による係数操作と色むらの特徴抽出および欠陥検出との関係を調べることを目的として、以下のように行われる。

1. 欠陥検出を行う試料表面の画像サンプルを撮影する。
2. 図4(a)に示すような画像サンプルを用いて、離散ウェーブレット変換における係数操作により色むらの特徴抽出を試みる。
3. 処理結果に対して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して欠陥検出に対する処理内容の有用性を検討する。

3.2 評価基準と方法

実験で使った画像サンプル(図4(a))について、事前に10人の被験者によって評価試験を行った。ここで得られた色むらへの評価結果を本実験における評価基準とした。評価試験は10人の被験者に対して行い、256のブロックで分割された画像サンプルの中で色むらと感じた箇所をブロック単位で選択させる方法を用いた(図4(b))。そのとき、被験者の50%以上が色むらと判断した領域を「有効領域」とする。そして、有効領域内に最も多く存在している階調を色むらの主構成要素と仮定する。その階調の画素を「色むら」、むらと判断された画素を含むブロックを「むら領域」と定義して、「色むら」や「むら領域」の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」と定義した。

3.3 離散ウェーブレット変換による係数操作

6種類のドベシウェーブレット基底を用いて2次元離散ウェーブレット変換を行い、レベル1~6の各近似レベルで生成されたウェーブレット係数およびスケーリング係数への操作を行う。本実験では、生成された各々の係数に以下の操作を施した後、再構成することによって色むらの特徴抽出を試みる。

処理1.各レベルにおいて $s_{m,n}^{(1,x)}$ のみを省略

処理2.各レベルにおいて $\omega_{m,n}^{(j+1,h)}$ のみを省略

処理3.各レベルにおいて $\omega_{m,n}^{(j+1,v)}$ のみを省略

処理4.各レベルにおいて $\omega_{m,n}^{(j+1,d)}$ のみを省略

処理5.処理1~4の評価結果を用いて、むら検出率と領域検出率それぞれにおいて検出率50%以上を示した色むら欠陥検出に対して有用性の高い係数操作をすべてのドベシウェーブレット基底で複合して実行する

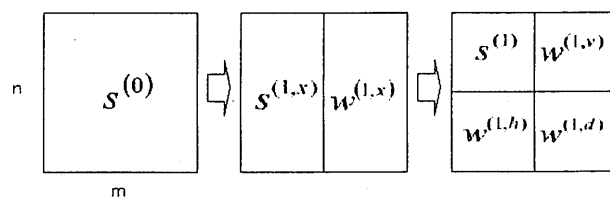


Fig.1 Distribution of $s_{m,n}^{(j,x)}$ and $\omega_{m,n}^{(j,x)}$

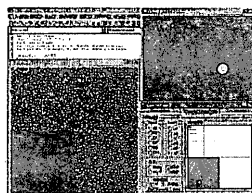


Fig.2 Analysis system

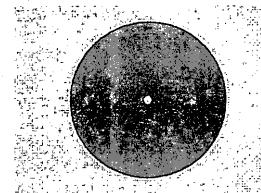


Fig.3 Black rubber disk

3.4 実験結果

本実験における評価結果を処理1~4については図5に、処理5については表1に示した。本実験では、離散ウェーブレット変換を用いたウェーブレット係数ならびにスケーリング係数への操作を行い、各係数操作と色むら欠陥検出との関係を評価した。実験結果より、個々のウェーブレット係数が持つ特徴ならびに色むら欠陥検出に及ぼす影響が明らかになった。個別の係数操作は、ドベシウェーブレット基底ならびに近似レベルによって検出率が多様に変化しており、特定の係数操作がすべての場合におい

て効果的に作用するものではないことがわかった。しかし、全体の傾向として近似レベル 3~4 においてスケーリング係数以外のほぼすべてのウェーブレット係数への操作は色むら欠陥検出に対して有用であることがわかった。また、表1に示されるように有用だった個々の係数操作を組み合わせることで処理した場合に検出精度が高まることがわかった。そして、むら検出率において有用であると判断された係数操作を組合せた場合、検出精度を最も高められることがわかった。

4. 結 言

本研究では、試作した解析システムを用いて離散ウェーブレット変換による係数操作と色むらの特徴抽出および欠陥検出との関係を調べる実験を行った。その結果、むら検出率において有用だと判断された個々の係数操作を組合せた場合に色むら欠陥検出において高い有用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).

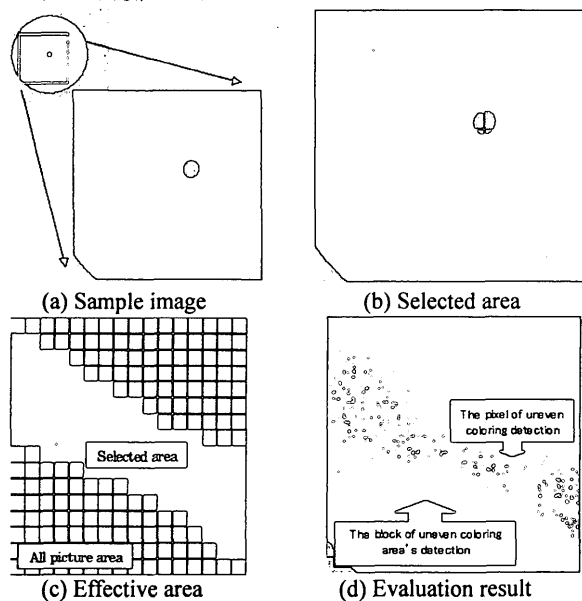
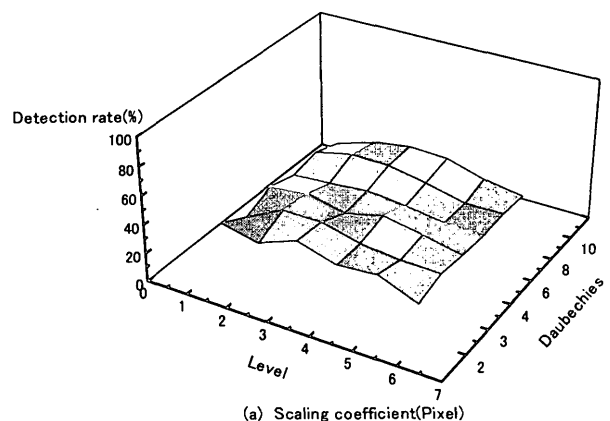


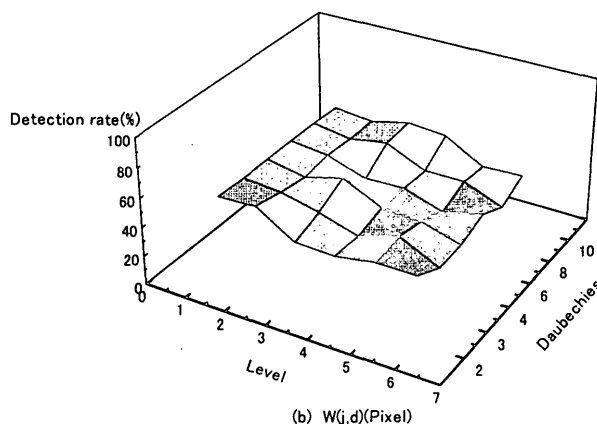
Fig.4 Sample image and its evaluation result

Table1 Detection rate in each processing

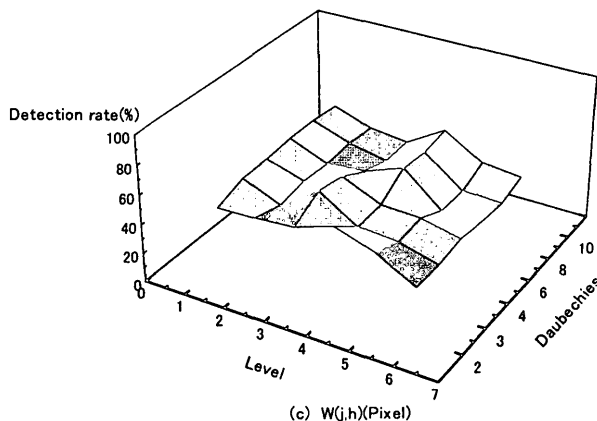
Image Processing	Unit(%)	
	Pixel detection	Block detection
Original Picture	28	66
Daubechies 2(Pixel)	61	51
Daubechies 3(Pixel)	59	81
Daubechies 4(Pixel)	65	78
Daubechies 6(Pixel)	33	83
Daubechies 8(Pixel)	40	83
Daubechies10(Pixel)	54	64
Daubechies 2(Block)	41	33
Daubechies 3(Block)	43	51
Daubechies 4(Block)	58	59
Daubechies 6(Block)	34	45
Daubechies 8(Block)	29	34
Daubechies10(Block)	60	72



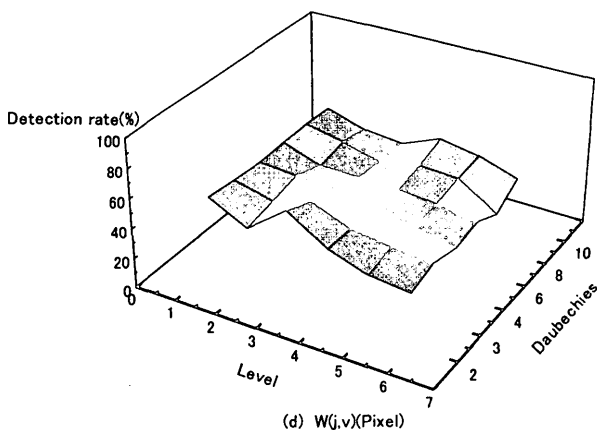
(a) Scaling coefficient(Pixel)



(b) W(j,d)(Pixel)



(c) W(j,h)(Pixel)



(d) W(j,v)(Pixel)

Fig.5 Experimental results (Process1~4)