

氏 名	まつお ただし 松 尾 直 志
学位(専攻分野)	博 士 ( 学 術 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 4 2 3 号
学 位 授 与 の 日 付	平成 18 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規程第 3 条第 3 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 论 文 題 目	ウェーブレット変換の方向性とシフト依存性の改善に関する研究 (主査)
審 査 委 員	教授 中森伸行 教授 中山純一 教授 遠藤久満 名誉教授 吉田靖夫

## 論文内容の要旨

本論文は、ウェーブレット解析が持つ問題点の解決方法を示した論文である。

離散ウェーブレット解析は、局所周波数解析が可能なため、信号処理や画像処理の分野で近年多用されるようになって来た手法である。しかし、離散ウェーブレット解析には、①2次元、3次元などの多次元信号へ単純に拡張した場合に得られる出力が空間内の方向と対応せず、方向性が欠如している、②原信号の平行移動(シフト)によって出力が大きく変化する性質(分析時シフト依存性)が強い、③出力可能な波形が位置に依存して異なる性質(合成時シフト依存性)が強い、という欠点が指摘されていた。方向性の欠如は、画像処理で特徴抽出を行う際に、45度方向と135度方向という直交しあう角度を区別することができず、エッジの方向等の重要な情報を抽出するのが難しくなるという問題を引き起こす。また、分析時シフト依存性が強いと入力信号の波形が同じであっても、位置で特徴の検出精度が変わってしまい、画像では一様に続いているエッジが不連続な形でしか検出できないといった問題につながる。逆に、信号の合成時にシフト依存性が強いと、出力位置で出力信号の強度が変化し、画像では、ある位置にあるエッジは強調できても別の位置にあるエッジは強調できないといった問題が生じる。

本論文では、下記の章に従いこれらの問題の改善法についての研究を行った結果について報告している。

まず、第1章は序論で、ウェーブレット解析の現状と問題点をまとめ、本論文の研究背景と目的を述べている。

第2章では2次元離散ウェーブレット解析の方向性欠如改善に関する方法について述べている。提案法では、新しく45度方向と135度方向とを分離する方向分離フィルタを構成し、それを通常の2次元ウェーブレット分解フィルタに追加することで方向性を付加するものである。著者は、方向分離フィルタを既存の離散ウェーブレットフィルタから構成できることを示し、具体的な方向分離フィルタを提案した。この方向分離フィルタを画像に適用し、4方向、または6方向に対応した成分を出力出来ることを検証し、画像処理に有用なことを示した。

第3章では、分析時シフト依存性について述べ、その強さを数値的に評価する尺度を提案している。提案する尺度は入力信号のシフトによって生じる出力波形の変化の内で、最良の線形システムを用い

ても除去できない成分の大きさを評価尺度として定義した。この尺度が実際の分析時シフト依存性の傾向と一致し評価尺度として適當であることを計算機実験で確認している。

第4章では、合成時シフト依存性の概念について述べ、その強さの数値的評価尺度を提案した。この尺度は出力可能な信号の内、シフトした出力可能信号を最もよく近似するものを考え、そのときの近似誤差で定義した。いくつかの離散ウェーブレット解析についてこの尺度を計算し、評価尺度が合成時のシフト依存性の大きさを評価す指標として適當であることを示している。

第5章では分析時、合成時シフト依存性の評価尺度から両シフト依存性の性質を検討している。この検討から、具体的にフィルタ後信号の周波数特性が集中しているほどシフト依存性は弱く、逆にフィルタ後信号の帯域幅が広いほどシフト依存性は強くなることを示している。また、有限長フィルタを用いた場合、合成時シフト依存性の改善限界についても論じている。

第6章では、第5章での考察からシフト依存性の弱い複素離散ウェーブレットを提案している。フィルタに正の周波数成分のみを通すという帯域制限を施せばシフト依存性が弱まることを示し、通常の離散ウェーブレットの高周波フィルタに正の周波数のみを通す複素フィルタを追加したシフト依存性の弱い複素離散ウェーブレットを構成した。提案した離散ウェーブレットは実離散ウェーブレットやFernandesが提案した複素離散ウェーブレットよりもシフト依存性が弱く、原信号の位置変化にほとんど依存しない安定な出力が得られることを示している。また、提案した離散ウェーブレットでは2次元において水平、垂直成分を直接含む4方向への分解またはKingsburyが提案した離散ウェーブレットと同様な6方向への分解とを自由に選択でき、画像の方向成分を分離できるフィルタであることを、実例で示した。

第7章で、本研究の成果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、離散ウェーブレット解析を画像処理などに適用した際問題となっている、方向性の欠如や信号の分解・合成時に生じるシフト依存性の問題を検討し、申請者独自の考えに基づきこれらの問題点を解決する新規の手法を提案したものである。まず申請者は、通常の2次元ウェーブレットを画像に操作したとき、45度方向と135度方向を分離できない問題に対し、分離フィルタおよびそれに対応した合成フィルタの構成法を提案した。また、具体的な方向分離フィルタおよび合成フィルタを構成し、実際の画像で45度方向と135度方向の信号成分の分離・合成が、画像処理に有効であることを示した。次に、ウェーブレットのシフト依存性の問題について検討している。離散ウェーブレットでは情報の冗長度を避けるため、分解時に標本点の間引き(ダウンサンプリング)や合成時に標本点の挿入(アップサンプリング)の操作が行われる。そのため、ウェーブレット分解の処理結果や、逆ウェーブレット変換での合成信号や合成画像の結果が、信号や画像データの処理の位置で異なるといった問題が生じる。申請者は、信号とウェーブレットの特性がシフトに対する依存性にどのように影響を及ぼすかを解析し、それを評価する指標を提案した。この評価法を用いると、解析信号に対し位置のシフト依存性の小さいウェーブレットを選択することが可能となり、安定した画像処理を行えることを示した。その際、正の周波数成分だけを通過させるといった新しい発想に基づく複素ウェーブレットを提案し、シフト依存性の小さい離散ウェーブレットを具体的に提案している。申請者の手法

は、今までの手法に比べ、画像処理での方向成分の分離を可能とし、位置によらずエッジが検出できる方法として高く評価できる。

本論文の内容は下記の通り審査のある学会誌に3編の学術論文として公表されている。これら3編の学術論文はとも申請者が筆頭著者である。

(学術論文)

1. 松尾直志, 吉田靖夫, 中森伸行 : 斜め方向に対応できる2次元ウェーブレットの構成, 電子情報通信学会和文論文誌A, 第87巻, 第4号, pp. 554–562 (2004)
2. Tadashi Matsuo, Yasuo Yoshida, Nobuyuki Nakamori : Proposal of Shift Insensitive Wavelet Decomposition for Stable Analysis, IEICE, E88-A, No. 8, pp. 2087–2099 (2005)
3. 松尾直志, 吉田靖夫, 中森伸行 : 間引き、補間を含むフィルタ処理におけるシフト依存性の評価法, 情報科学技術レターズ, 第4巻, pp. 29–32 (2005)

(参考論文)

1. 松尾直志, 吉田靖夫 : 角度方向に対称な配置をした完全再構成可能な2次元フィルタバンク、電子情報通信学会技術研究報告、Vol. 101, No. 234, pp. 55–60 (2001)
2. 松尾直志, 吉田靖夫, 中森伸行 : 4方向に分離可能な2次元ウェーブレット変換の提案、電子情報通信学会技術研究報告、Vol. 103, No. 325, pp. 69–74 (2003)
3. 松尾直志, 吉田靖夫, 中森伸行 : シフトに関して安定な間引きありウェーブレット変換の提案、電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 104, No. 306, pp. 31–36 (2004)
4. Tadashi Matsuo, Yasuo Yoshida, Nobuyuki Nakamori : Construction of 2-D wavelets with directionality, IEICE, Part III : Fundamental Electronic Science, 88, 8, pp. 1–10 (2005)  
(Wiley Periodicals Inc. から出版された学術論文1の英訳論文)

以上の結果から、本論文の内容には新規性、有用性を十分認めることができ、学術的価値が高いと判断した。