

冗長な方向性ウェーブレット変換を用いた 静止画像の雑音除去に関する一考察

A Study on Image Denoising Using Undecimated Directional Wavelet Transform

大茂 洋岳 †
Hirotake Ohshige

田中 章 †
Akira Tanaka

河口 万由香 †
Mayuka F. Kawaguchi

宮腰 政明 †
Masaaki Miyakoshi

1 序論

静止画像の雑音除去とは、静止画像中に存在する対象物の特徴を取り出し、その特徴を失うことなくそれ以外の情報、すなわち雑音を除去することである。

近年、ウェーブレット変換 [1] などを用いて時間-周波数分解を行った雑音除去手法が数多く提案されている。ウェーブレット変換によって静止画像のうち輝度値変化の大きな部分を捉えることにより輝度値変化の小さな雑音を除去できるというものである。しかし対象物を点によって捉えるため、静止画像本来の特徴を捉えているとは言えず、そのため雑音除去の応用においてはモザイク状のアーティファクトが現れる。このモザイク状のアーティファクトを抑制するために、静止画像本来の特徴であると考えられる“画像の輪郭線”に着眼した変換手法として、Finite Ridgelet 変換 [2](FRIT) や Curvelet 変換 [3] などが提案されている。これらはウェーブレット変換による多重解像度表現とラドン変換による方向分解を組み合わせた変換であり、直線を良く捉えることが可能である反面、雑音除去の応用においては直線状のアーティファクトが現れる。これらの手法の欠点である“アーティファクト”を抑制する手法として、Undecimated(Stationary) ウェーブレット変換 [4](UWT) が提案されている。方向分解性能としては全方向に分解する FRIT と比べ劣っているが、変換の冗長性を高めて元画像と雑音の情報を上手く分離可能であり、アーティファクトの発生を抑制できる。

本稿では、以上の固定変換の枠組みにおいて輪郭線を捉え、冗長性を持たせた変換による雑音除去手法を提案し、数値実験によりその有効性を検証する。なお、加法的雑音の除去のみを対象とし、当該雑音は白色であり、かつガウス性を有するものと仮定する。

2 従来手法

ここでは、本稿で提案する手法のビルディングブロックである UWT と Directional Filter Bank[5](DFB) について概括し、著者が過去に提案した手法 [1] について述べる。

2.1 Undecimated ウェーブレット変換 [4]

通常のウェーブレット変換はフィルタリングとデシメーションによって構成されるが、デシメーションを行わずに通常のウェーブレット変換と同じフィルタによるフィルタリングのみで構成された変換が UWT である (区別のため oUWT とする。図 1(a))。また、デシメーションについて考慮すると、 x -方向、 y -方向それぞれ 0 または 1 の巡回シフトを行い生成された 4 つの画像に対して、通常のウェーブレット変換を行ったものと等価である (同様に sUWT とする。図 1(b))。

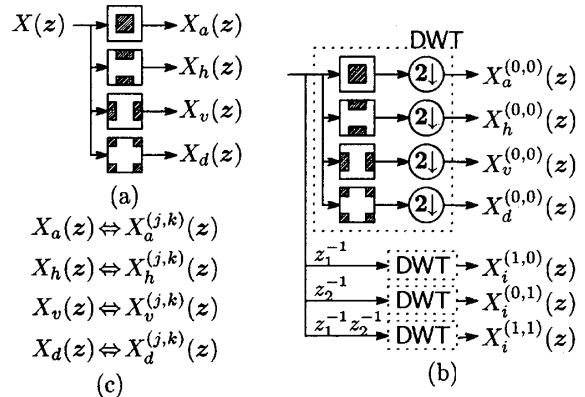


図 1 (a) oUWT の構成. (b) sUWT の構成. (c) oUWT と sUWT のサブバンドの関係.

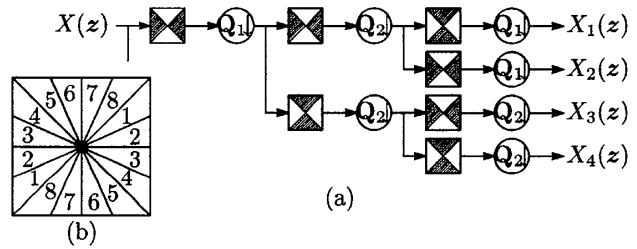


図 2 (a) 3 レベル DFB 分解の前半の構成. (b) 3 レベル DFB 分解後に $X_i(z)$ に対応する周波数.

2.2 Directional Filter Bank [5]

ラドン変換が全方向に方向分解を行うのに対して、周波数空間を楔状に 2^n 個の空間に分割するフィルタバンクが DFB であり、ファンフィルタとリサンプリングのカスケード接続によって実装される (図 2 参照)。

2.3 oUWT と DFB の接続 [1]

入力画像に oUWT を施し、得られたハイパスフィルタリング画像 3 枚に対して DFB による分解を行う。またローパスフィルタリング画像を入力画像とし、同じ操作を繰り返す (図 3(a) 参照)。ダウンサンプリング行わないことからエイリアシングについて考慮する必要はないが、それぞれのハイパスフィルタリング画像はハイパス領域全てに値を持つわけではないため、ハイパス領域全てに作用する DFB 分解は無駄な部分が多い。

3 提案手法

2.3 節で示した手法の欠点を克服するための 1 つの解決策は、UWT 後のハイパスフィルタリング画像を結合することである。ハイパスフィルタリング画像を結合する方法は複数考えられるが、ここでは sUWT 後にハイパスフィルタリング画像のみから逆変換を行い、冗長性を多くもたせる結合とする。こ

† 北海道大学大学院情報科学研究科 CS 専攻

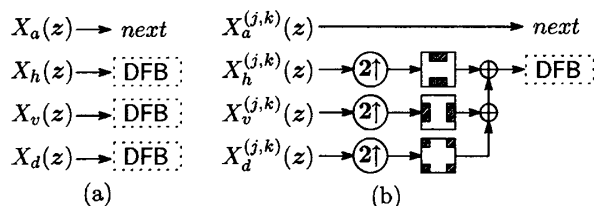


図3 (a) oUWTとDFBによる分解. (b) sUWTとDFBによる分解.

ここでウェーブレット変換の代わりに Laplacian Pyramid を利用すると, Contourlet 変換 [6] となる. 得られたハイパスフィルタリング画像 4 枚に対してそれぞれ DFB 分解を行い (図 3(b) 参照), 雑音除去のために係数を閾値 $\sigma\sqrt{2\log(MN)}$ により Hard-Thresholding し逆変換を行う. ここで DFB 再構成後のハイパスフィルタリング画像は係数操作によってローパス領域にも値を持ってしまふことから, ハイパスフィルタリングを行った後, sUWT のローパスフィルタリング画像と加算する.

n -レベルまで分解を行うと oUWT と DFB 分解の場合 $3n+1$ 倍の冗長性となるが, 提案手法では $4n+1$ 倍の冗長性となる.

4 数値実験

元画像 (一辺の大きさ $N = 256$) に白色雑音を付加したものを入力画像として雑音除去を行う. 比較手法は通常のウェーブレット変換, oUWT, Contourlet 変換, 提案手法とし, いずれの手法も閾値による Hard-Thresholding により雑音除去を行う. 雑音の標準偏差 σ は何らかの手法によって精度良く推定できるため既知として, 閾値を 2 種類設定した. 元画像は復元が難しい輝度値変化が大きな幾何的な静止画像とした (図 4 参照).

雑音除去結果の PSNR を図 5 に示す. Contourlet 変換以外はウェーブレット変換の影響により, ほぼ同じような結果となっている. また, 細部について図 6 に示す. いずれの画像もアーティファクトの影響が分かるように閾値を設定している. 図 6 から, 冗長性を持った変換がアーティファクトを抑制し, また方向分解の数が多いほど輪郭を良く捉えていることが分かる. アーティファクトの影響を考えると, 提案手法が他の手法と比べて優れている.

5 結論

本稿では, Undecimated ウェーブレット変換からローパスフィルタリング画像とハイパスフィルタリング画像を生成し, ハイパスフィルタリング画像に Directional Filter Bank による方向分解を行う変換を利用した静止画像の雑音除去手法を提案した. 数値実験においてその有効性を検証し, 従来手法と比べ Hard-Thresholding による Thresholding 手法においては良い結果が得られることを示した. 今後は Thresholding 手法を改良し, 高性能化を図り, より良い雑音除去結果が得られることを目指す.

参考文献

- [1] 大茂 洋岳, 田中 章, 河口 万由香, 宮腰 政明, “Undecimated ウェーブレット変換と Directional Filter Bank による画像の雑音除去,” 情報処理北海道シンポジウム 2004, 講演論文集 pp.105-106, 2004 年 5 月.
- [2] M. N. Do and M. Vetterli, “The Finite Ridgelet Transform for Image Representation,” *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 12, No. 1, pp. 16-28, January 2003.
- [3] J. L. Starck, E. J. Candès and D. L. Donoho, “The

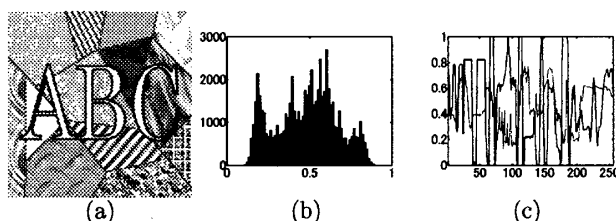


図4 (a) 元画像と (b) 輝度値のヒストグラム. (c) 元画像 (実線) と Lena 画像 (破線) の 1 行分の輝度値.

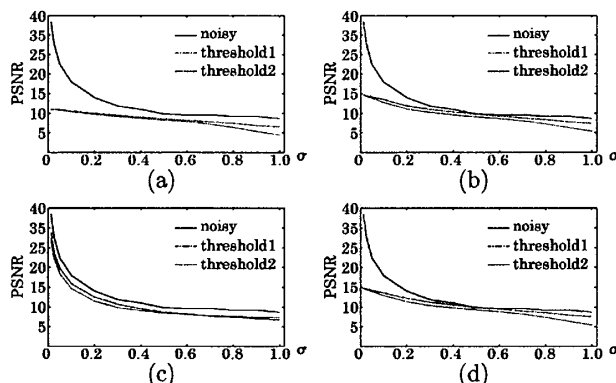


図5 (a) ウェーブレット変換. (b) oUWT. (c) Contourlet 変換. (d) 提案手法. 横軸は雑音の強度 (標準偏差 σ) であり, 縦軸は PSNR(dB) である.

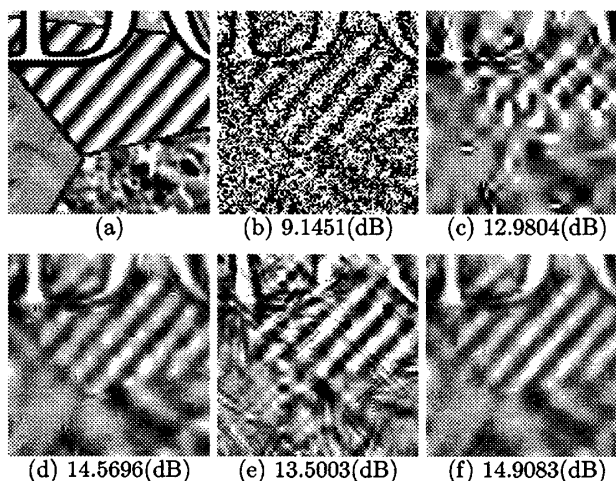


図6 (a) 元画像. (b) 雑音付加画像. (c) ウェーブレット変換. (d) oUWT. (e) Contourlet. (f) 提案手法. 各値は部分画像の PSNR(dB).

Curvelet Transform for Image Denoising,” *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 11, No. 6, pp 670-684, June 2002.

- [4] Haitao Guo, “Theory and Applications of the Shift-Invariant, Time-Varying and Undercimated Wavelet Transforms,” M.S. Thesis, ECE Dept., Rice University, May 1995.
- [5] R. H. Bamberger and M. J. T. Smith, “A Filter Bank for the Directional Decomposition of Images: Theory and Design,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 40, No. 4, pp. 882-893, April 1992.
- [6] M. N. Do and M. Vetterli, “Contourlets,” *Beyond Wavelets*, G. V. Welland ed., pp. 1-30, Academic Press, 2003.