

並列木複素ウェーブレット変換のブロック歪に関する考察

A Study on Blocking Artifacts in Block-based Dual-Tree Complex Wavelet Transform

石川 孝明*
Takaaki ISHIKAWA

渡辺 裕**
Hiroshi WATANABE

坂東 幸浩***
Yukihiro BANDO

高村 誠之***
Seishi TAKAMURA

上倉 一人***
Kazuto KAMIKURA

八島 由幸***
Yoshiyuki YASHIMA

* 早稲田大学 国際情報通信研究センター

* Graduate School of Global Information and Telecommunication Institute, WASEDA University

** 早稲田大学大学院 国際情報通信研究科

** Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, WASEDA University

*** 日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所

*** NTT Cyber Space Laboratories, NTT Corporation

1 まえがき

並列木複素ウェーブレット変換 (DTCWT) [1] の係数群に対して Noise Shaping [2] を適用することで、離散ウェーブレット変換 (DWT) を用いる画像符号化方式よりも高い符号化効率を実現する方式が示されている [3]。DTCWT は、ヒルベルト変換対をなす複数の DWT により構成される。そのため、入力画像を複数のブロックに分割して処理する場合には DWT のブロック処理と同様の境界歪が生じると考えられる。本検討では、ブロック単位での DTCWT について、Noise Shaping の影響とブロック歪の関係を考察する。

2 DTCWT におけるブロック歪の発生

Kingsbury らが提案する DTCWT は、複数の DWT の出力から複素係数を構成し、6 種類の方向分離特性やシフト不変性などの特徴を有する。各 DWT は、レベル 1 の分割処理とレベル $n (> 1)$ の分割処理において異なるフィルタを用い、前者は奇数タップの双直交フィルタ、後者は偶数タップの直交フィルタである。

ブロック歪は、入力信号にどのような周期性を与えるかに依存して変化するため、利用するフィルタの性質に応じた適切な信号拡張を行う必要がある。DTCWT では各フィルタバンクにおいて循環周期拡張を行うことで完全再構成が保証されるが、ブロック歪は避けられない。一方で、対称信号拡張を行う場合、直交フィルタが近似的な線形位相フィルタであるために完全再構成を保証しないが、視覚的に目立ちにくいブロック境界となる。

• 線形量子化によるブロック歪

図 1 に、DTCWT 係数を線形量子化した再構成画像を示す。図 1-(a) は入力画像、(b) はブロック分割せずに量子化した画像、(c) および (d) は入力画像を中心において左右にブロック分割し独立に量子化した画像である。(c) は、各フィルタバンクで対称信号拡張法を用い、(d) は、循環周期拡張を利用した。図 1-(d) では、強いブロック境界が生じていることがわかる。また、(c) についても

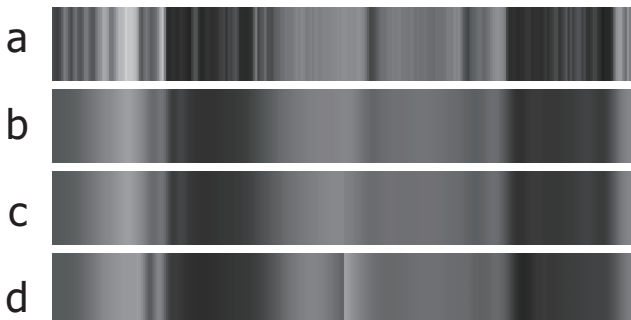


図 1 線形量子化によるブロック歪

知覚可能なレベルでの境界が存在している。なお、図 1 は、Lena (512 × 512 [pel] のグレースケール) の 350 番目の水平ラインを垂直方向に複製することで生成した。また、DWT のフィルタには、13-19 タップの双直交フィルタおよび 18 タップの直交フィルタを利用した [1]。

• Noise Shaping によるブロック歪

一般の入力画像に対する DTCWT 係数は基本的に零係数を含まず、符号化対象となる係数が DWT と比較して 4 倍に増加する。増加した係数群に対して、Noise Shaping を行うことにより、DTCWT 係数は少数の非零係数と多数の零係数に変化する。これは、係数量子化により零係数が生成されることと等価な処理である。そのため、DTCWT と Noise Shaping を組み合わせる方式においては、Noise Shaping もブロック歪の原因と考えられる。実験により、図 1 に示した量子化による出力と同等のブロック歪が生じることを確認した。ただし、Noise Shaping における反復処理では係数の量子化を行わず閾値による切り捨て処理のみを行った。

3 係数エネルギー分布の変動

前章において、線形量子化と Noise Shaping のどちらを用いてもブロック歪が発生することを確認した。本章では、両手法について再構成画像の品質に影響するパラメータを変化させ、ブロック境界周辺での係数エネルギー分布を比較する。品質を制御するパラメータとして、線形量子化では量子化幅、Noise Shaping では繰り返し回数を用いる。図 2 に実験で用いたテストチャートを示す。これは画素値が 0 から 255 の範囲を滑らかに推移する画像である。生成した係数群は、図 2 にある Left (左 1/8 の領域)、Center (中央 1/4 の領域)、Right (右 1/8 の領域)、Other (その他の領域) に区分して係数エネルギーを算出する。また、ブロック分割はテストチャートの中心で行い、左および右ブロックの 2 つに分割した。領域の区分は、左および右ブロックについてそれぞれのスケールにおいて同様に行った。DTCWT は前章と同じフィルタを用い、レベル 4 まで分割を行った。入力信号が垂直方向に変化しないため、DTCWT 係数は、+15、-15 の方向情報を持つサブバンドに生じる。そのため実験では、パラメータ変化に応じて +15、-15 のサブバンドの係数エネルギーを各区分で計測した。なお、各フィルタバンクにおいて循環周期拡張を利用した。

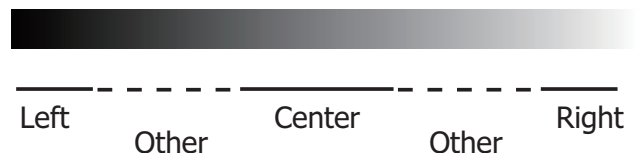


図 2 テストチャート

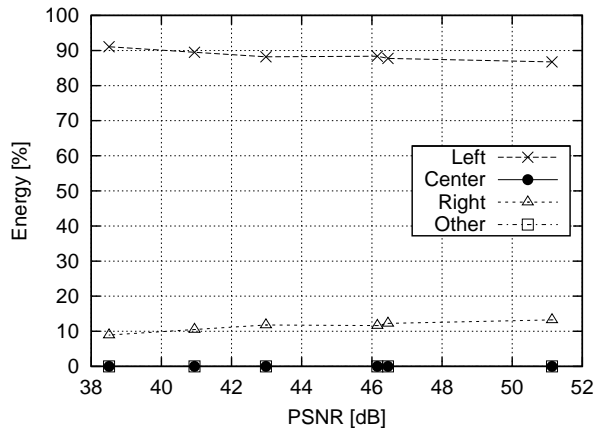


図 3 線形量子化によるエネルギー変動 (境界なし)

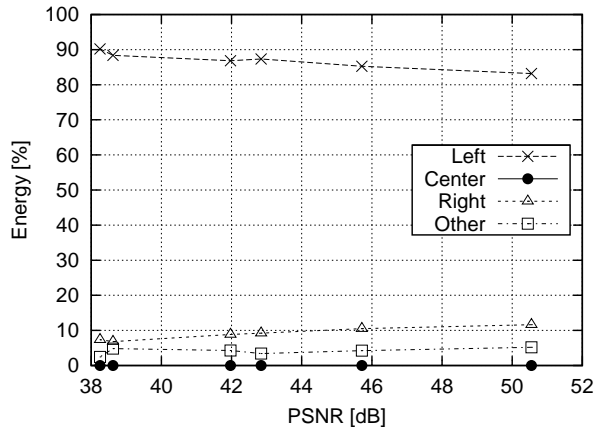


図 4 線形量子化によるエネルギー変動 (左ブロック)

図 3 に分割前のテストチャートを線形量子化し、量子化幅を変化させた結果を示す。各プロット点は、量子化幅に対応している。図 3 より、PSNR 値が減少すると、Left 部分にエネルギーが集中することがわかる。これは、量子化により Left 部分以外に存在する係数が零係数に変化したためと考えられる。

図 4 に、分割後の信号を独立に量子化した左ブロックの結果を示す。エネルギーの分布は分割を行う前と同様に変化していることがわかる。右ブロックについても同等の結果が得られるため、両ブロックを接続した分割前のスケールにおけるエネルギー分布は、Left 部分と Center 部分に係数エネルギーが集中する。分割を行わない処理では、図 3 に示したように Center 部分に非零係数が存在しないため、Center 部分への係数エネルギー集中はブロック歪の発生を意味する。

最後に、図 5 に Noise Shaping を用いた左ブロックの結果を示す。各プロット点は繰り返し回数に対応している。量子化による処理と同様に、PSNR が低下するにつれ Left 部分にエネルギーが集中することがわかる。ただし、Noise Shaping の閾値については、初期閾値を 256、繰り返しごとの閾値の減少を 1 とした [3]。なお、対称信号拡張を利用した同様の実験においても境界へのエネルギー集中を確認したが、実験で用いたテストチャートではブロック歪は発生しなかった。

4 考察

図 4 と図 5 を比較すると、同等の PSNR 値において Noise Shaping を用いる方が Left 部分へのエネルギー集中の割合が高いことがわかる。また、図 4 では約 38[dB] に対応する係数群においても Left 部分以外の領域に非零係数が存在しているが、図 5 では存在していないことが確認できる。このことから、Noise Shaping を用いる

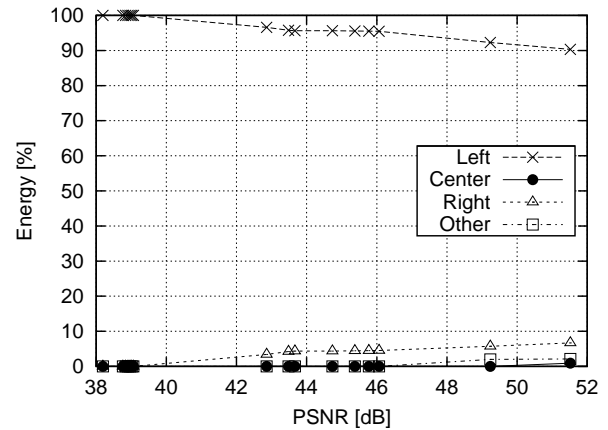


図 5 Noise Shaping によるエネルギー変動 (左ブロック)

と非零のハイパス係数が境界部分に集中し、よりエッジを強調すると考えられる。Noise Shaping は、入力信号におけるエッジなどの大きなエネルギーを持つ係数を保存する処理であり、本来のエッジではない境界エッジについても同様であると考えられる。すなわち、DTCWT と Noise Shaping の組み合わせにおけるブロック歪は、Noise Shaping の初期係数の特性に依存すると考えられる。

これを、疎表現を求める交互射影法において考察する。DTCWT のアフィン集合上の初期解 (入力画像に疑似逆行行列をかけた元) は周期性を含む入力画像の性質に依存している。初期解においてエネルギーの大きな係数は、エッジなどの特異点の情報も忠実に保存しており、循環周期拡張における境界エッジもこれに含まれる。疎表現となる空間への射影では、境界エッジを示す係数は大きなエネルギーを持つため、それらが優先的に選択されることになる。そのため最適解では境界エッジが保存され、ブロック歪の原因となると考えられる。

以上から、DTCWT における Noise Shaping とブロック歪の関係は、入力とする有限長信号をどのように定義するかに依存していると考えられる。符号化の観点から述べるならば、疎表現の係数群について不要なブロック境界を表す係数を除外すれば、同じ個数の DTCWT 係数を用いてより精度の高い再構成画像を取得できると言える。

5 むすび

並列木複素ウェーブレット変換を用いた画像のブロック変換における視覚的劣化の原因を考察した。DTCWT と Noise Shaping を組み合わせる場合、入力信号を循環周期拡張すると、ブロック境界を表す係数が強調され歪みの原因となることを示した。

参考文献

- [1] I. W. Selesnick, R. G. Baraniuk and N. G. Kingsbury, "The Dual-Tree Complex Wavelet Transform," IEEE Signal Proc. Mag., pp.123-151, Nov. 2005.
- [2] T. H. Reeves and N. G. Kingsbury, "Overcomplete Image Coding Using Iterative Projection-Based Noise Shaping," IEEE ICIP, vol.3, pp.597-600, June 2002.
- [3] J. Yang, Y. Wang, W. Xu and Q. Dai, "Image Coding Using Dual-Tree Discrete Wavelet Transform," IEEE Trans. on Image Proc., vol.17, no.9, pp.1555-1569, Sep. 2008.