

J_010

ウェーブレット変換を用いた動画像のブロックひずみ低減手法 A Deblocking Method using Wavelet Transform for Moving Pictures

後藤 富朗[†]

Tomio Goto

山崎 達也[†]

Tatsuya Yamazaki

桜井 優[†]

Masaru Sakurai

北村 正[†]

Tadashi Kitamura

1. はじめに

パソコンやデジタルカメラ等によって様々な画像データが扱われ、保存、伝送される機会が増加している。静止画像や動画は容量が大きいため、一般に圧縮されて保存されることが多い。画像データの圧縮には国際標準規格である JPEG[1] や MPEG[2] が広く用いられており、これらには変換符号化に DCT (Discrete Cosine Transform) が採用されている。DCT は符号化効率が高く、パタフライ演算によって高速に計算できることから広く用いられている。しかし、JPEG や MPEG では画像を 8×8 点毎のブロックに分割し、ブロック毎に DCT を行うことから、圧縮率を高めるにつれブロックひずみが発生してしまうことが問題となっている。

また、過去に撮影された静止画や動画、Web や携帯電話で配信されるデータなどには、容量や解像度の制限から高圧縮され、ブロックひずみの含まれたものが数多く存在する。さらにディスプレイの大型化や高精細化に伴い、比較的低圧縮・高解像度の画像データであっても、画像を拡大することでブロックひずみが見えやすくなるという問題がある。

近年、変換基底に DCT ではなくウェーブレット変換を用いた画像圧縮を行う手法として、JPEG2000 や Motion-JPEG2000 等が提案されている [3]。ウェーブレット変換を用いた画像圧縮手法は画像をブロック毎に分割しないため、ブロックひずみが発生しない。しかしこれらの手法では、既に JPEG や MPEG 形式で圧縮・保存され、ブロックひずみが混入している画像データに対して再度符号化処理を行ってもブロックひずみを解消することはできない。

そこで本研究では、MPEG の DCT 係数をウェーブレット係数に変換し、逆ウェーブレット変換を用いて復号することでブロックひずみを低減するウェーブレット復号法を提案する。 8×8 点 DCT は、画像全体を 8×8 の周波数帯域に分割したサブバンド表現で表すことができ、行列演算を施すことでウェーブレット係数に変換することができる。提案法ではこの操作によって MPEG の DCT 係数を逆ウェーブレット変換を用いて復号する。これにより低域成分に発生していたブロック間の不連続が解消され、ブロックひずみの軽減された高品位な画像を得ることが可能となる。

本稿では、提案法の評価として、原画像と復号画像の類似度を測定する PSNR を用いて評価するとともに画像中に含まれるブロックひずみ成分を測定する指標である GBIM (Generalized Block-edge Impairment Metric) [4] を用いた客観評価により、その有効性を検討する。また、視覚的評価である主観評価においても有効性を確認する。

2. ブロックひずみの低減

ブロックひずみ低減手法は、古くから様々なものが提案されている [5]-[7]。本稿では、MPEG-I フォーマットにより圧縮された画像を対象とし、ITU-T H.263-ANNEX J- [8] において定義されている DEF を従来法とする。

2.1 DEF (Deblocking Edge Filter)

DEF は復号後の画像データに対し、ブロックひずみが問題となる 8×8 画素のブロック境界の両側 2 画素ずつに平滑化フィルタを施す。DEF の適用範囲の例を図 1 に示す。DEF は画像全体の縦方向、横方向の全ブロック境界に圧縮率に応じたフィルタ処理を施すことで、ブロックひずみの低減を行っている。

2.2 提案法

N 点 DCT は N 分割フィルタバンクと解釈することができる。例えば画像に対し 4×4 点 DCT を施した図 2(a) を並び替えると、同図 (b) のようになる。これは画像全体を 4×4 分割フィルタバンクによって帯域分割したものと等しい。また、 8×8 点 DCT 係数は行列演算によって 2×2 点 DCT 係数へと変換することができる。この 2×2 点 DCT 係数を同様に並び替えると、画像全体を 4 つの帯域に分割したサブバンド表現となり、1 階層のウェーブレット係数と等価になる [9]。

そこで提案法では JPEG や MPEG の DCT 係数をこの手法で変換し、逆ウェーブレット変換によって復号を行う。このとき $5/3$ フィルタを用いて復号を行うと低域成分へのローパスフィルタと同様の作用が働き、ブロックひずみが低減される。また Haar フィルタを用いると、ブロックひずみ低減処理が行われずに通常の逆 DCT として可逆に復号化される。

一般に画像圧縮において帯域分割フィルタおよび合成フィルタが異なると完全再構成条件を満たさなくなることが知られている。本研究において逆ウェーブレット変換に $5/3$ フィルタを用いた場合、この条件を満足しない。しかし、本研究で対象とする動画は、すでに MPEG 形式で高圧縮されたものであり、ブロックひずみによる著しい画質劣化が起こったものであるため、完全再構成条件を満足させる必要はない。提案法の流れを図 3 に示す。

復号フィルタとして $5/3$ フィルタのみを用いると、ブロックひずみ低減効果は大きい画像がぼやけてしまう。そのためブロックひずみが顕著となるブロック境界部分のみを $5/3$ フィルタで復号し、それ以外の部分については Haar フィルタを用いて復号を行う (図 4 参照)。これにより画像の鮮明さを保ったまま、ブロックひずみ低減処理を行うことが可能となる。

マスキング処理

提案法では高圧縮時にブロックひずみ低減効果が十分でない場合がある。そこで高圧縮時にはブロックひずみ

[†]名古屋工業大学 情報工学専攻

をより低減させるため、復号前にローパスフィルタ処理を行う。ブロックひずみは低域成分の不連続が原因となっているため、ウェーブレット係数の低域成分のみを対象とし、そのブロック境界部分にローパスフィルタを施す。しかし低域成分の全ブロック境界に処理を行うとエッジ部分がぼやけてしまうため、マスクング処理を用いる。

画像のエッジ部分では、ウェーブレット係数の高域成分に大きな値を持つ。そのため高域成分に一定の値を持つ部分はエッジ部分であると判断することができる。そこで図5のように3つの高域成分に閾値 τ を設けてエッジ部分を推定し、エッジ部分を除いたブロック境界のみにローパスフィルタを施すことでエッジ成分は保持しつつブロックひずみの除去を行うことが可能となる。

様々な画像を用いて閾値 τ を変化させ、復号画像を視覚的に評価したところ、 $\tau=3$ とすることで復号画像の画質が最良となった。そこで本研究では、閾値 $\tau=3$ として実験を行う。また、ブロック境界へのローパスフィルタの有無を表1に示す。ここでローパスフィルタには3タップの移動平均フィルタを用いている。

フレーム処理

MPEG では静止画同様に圧縮を行う I フレーム、前フレームから予測を行う P フレーム、そして前後のフレームから予測を行う B フレームを持つ (図6)。

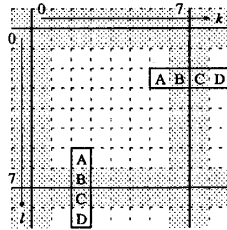


図1: DEF の適用範囲

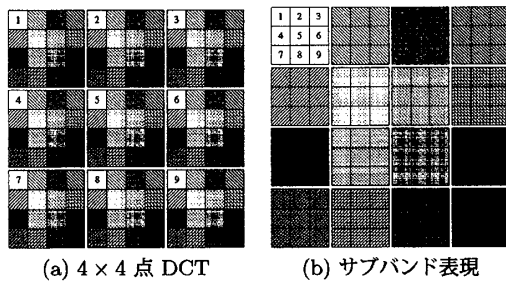


図2: DCT のサブバンド表現

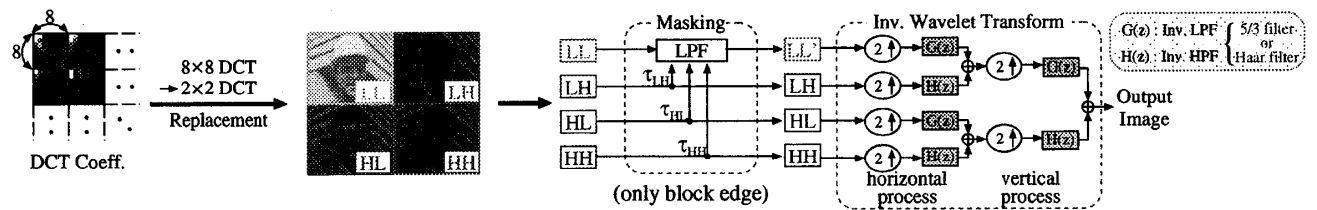


図3: 提案法のながれ

ここで量子化操作はフレームによって異なり、特に B フレームにおいてはブロックひずみがあまり発生しない。そのためマスクング処理を他のフレーム同様に行ってしまうとフレーム間の差が増加し、動画像にちらつきとして現れてしまう。そこで本研究では B フレームにおけるマスクングの閾値を半分にすることで変化を抑え、動画像のちらつきを抑制する。

3. 実験

3.1 実験条件

実験画像として 352 × 288 ピクセル, 300 フレームの Foreman, Container, Hall monitor 画像および 352 × 240 ピクセル, 300 フレームの Mobile & Calendar 画像を用いる。

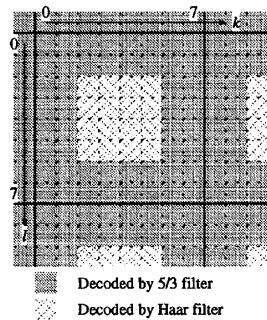


図4: 復号フィルタの違い

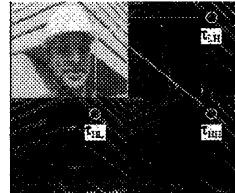


図5: エッジの判定

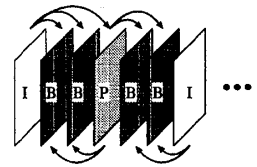


図6: フレーム間予測

表1: マスキングによるフィルタ処理

閾値 (設定値)			低域成分への ローパスフィルタ
τ_{LH} (3)	τ_{HL} (3)	τ_{HH} (3)	
×	×	×	縦横方向
×	○	×	横方向
○	×	×	縦方向
○	○	×	なし
—	—	○	

○ : 低域成分が閾値以上 — : 閾値に関係なし

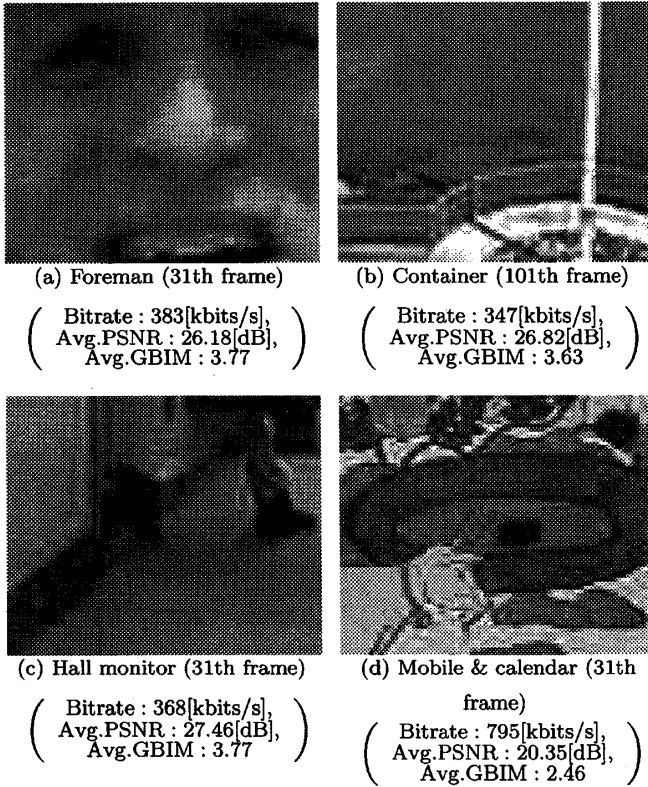


図 7: 圧縮画像の一部

それぞれの画像を MPEG-I によって様々なビットレートで圧縮したのに対して DEF および提案法によってブロックひずみ低減処理を行い、結果を比較する。MPEG-I による圧縮画像を図 7 に示す。

3.2 評価指標

PSNR

画質評価の一般的な指標には PSNR があり、これは原画像と復号画像の画素値の差を累積したものである。PSNR は値が大きいほど原画像との類似度が高く、画質が良いことを表す。しかし単純に原画像との画素値の差を比較しているため、ブロックひずみ混入に伴う画質の劣化を評価する指標としてはあまり適していない。

GBIM

画像中に含まれるブロックひずみ量を定義する指標の一つとして、GBIM がある [4]。GBIM は隣接する 2 ブロックを基本単位とし、各ブロック内の平均や分散を用いてブロックひずみ量を定義する。GBIM は値が小さいほど含まれるブロックひずみ量が少なく、画質が良いことを表す。

3.3 実験結果

実験結果を図 8 に示す。図より、どの画像においても低圧縮時の PSNR については、提案法は MPEG, DEF による結果より若干劣っているが、ブロックひずみ量を表す指標である GBIM についてはどのビットレートに

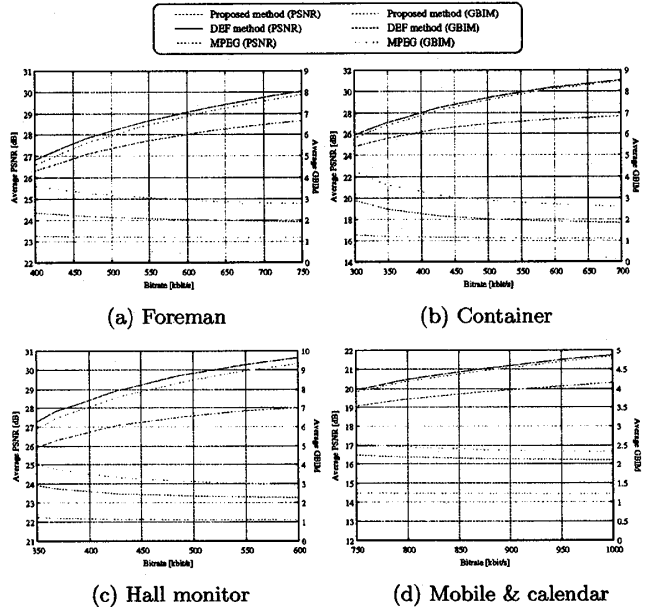


図 8: PSNR・GBIM とビットレートの関係

おいても最も優れていることが分かる。

次に復号画像の比較を行った。ビットレートが 383 kbps のときの Foreman 画像の復号画像を図 9 に、347 kbps のときの Container 画像の復号画像を図 10 に、368 kbps のときの Hall monitor 画像の復号画像を図 11 に、347 kbps のときの Container 画像の復号画像を図 12 に示す。提案法では MPEG や DEF による復号画像と同等の PSNR を持ち、GBIM については最も低くなっている。また見た目からも、MPEG に発生したブロックひずみを DEF よりも低減できていることが確認できる。さらに画像のエッジ成分は DEF と同等の鮮明さを保っており、高品位な復号画像が得られることが確認できた。

実験では様々な動画像についても実験を行い、他の画像でも同様の結果が得られることを確認した。

4. むすび

本研究では MPEG の DCT 係数を 1 階層のウェーブレット係数へと変換し、逆ウェーブレット変換を用いて復号を行うことでブロックひずみを低減するウェーブレット復号法を提案した。MPEG に用いられている 8×8 点の DCT 係数は行列演算により 2×2 点の DCT 係数に変換することができ、さらに並び替えを行うことで画像全体を 2×2 の帯域に分割したサブバンド表現で表すことができる。これは 1 階層のウェーブレット変換と等価な形となり、これを逆ウェーブレット変換によって復号することでブロックひずみを低減することができる。

実験では、MPEG-I によって圧縮を行った画像に対して DEF および提案法によってブロックひずみ低減処理を行い、比較を行った。また、客観評価指標として PSNR およびブロックひずみ量を定義する指標である GBIM を用いて評価を行い、提案法の有効性を確認した。さらに復号画像の比較からも、提案法による画像がブロックひずみが低減された良好なものであることを確認した。

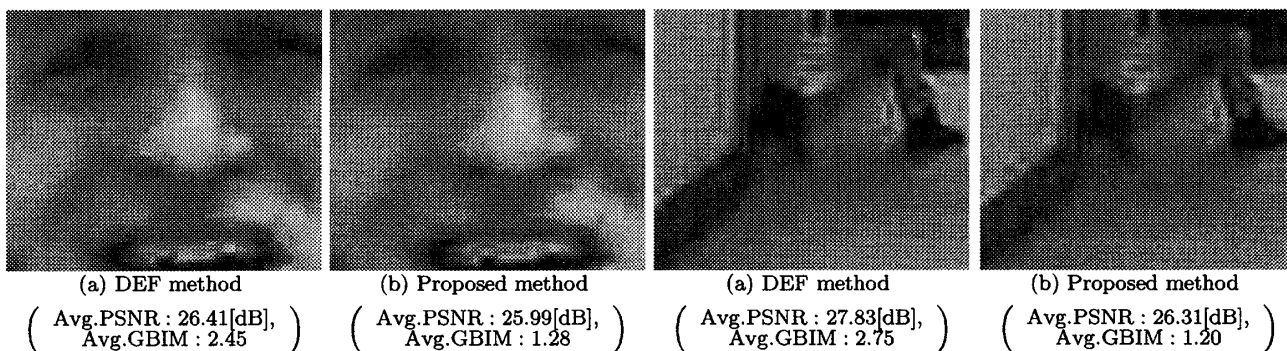


図 9: 復号画像 (Foreman, 383 [kbits/s])

図 11: 復号画像 (Hall monitor, 368 [kbits/s])

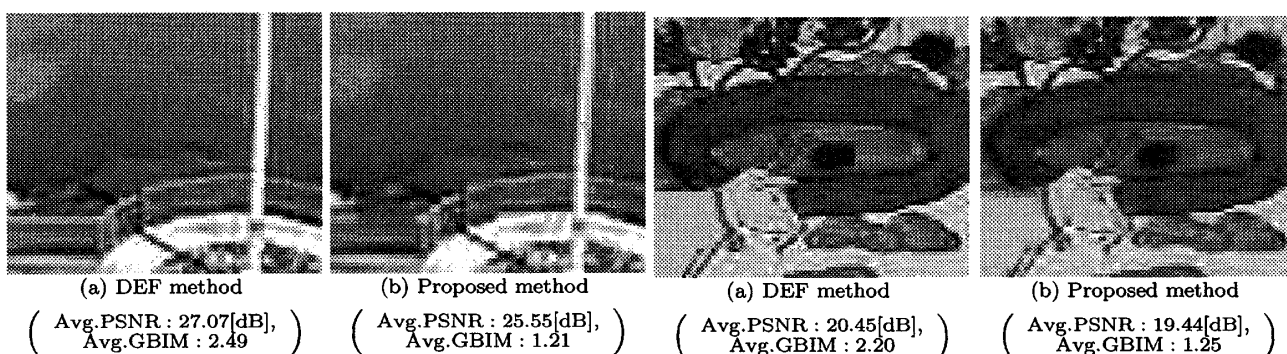


図 10: 復号画像 (Container, 347 [kbits/s])

図 12: 復号画像 (Mobile & calendar, 795 [kbits/s])

提案法では高圧縮の場合、ローパスフィルタ処理を施すことによりブロックひずみを低減することができる。しかし低圧縮の場合には可逆処理ではないために、かえって画質を劣化させてしまい、PSNR が低下してしまう。そのため今後の課題として、画像の圧縮率に応じて復号フィルタを選択することでこの問題を解決することが挙げられる。また JPEG や MPEG の DCT 係数をウェーブレット係数の形に変換できることを利用し、ブロックひずみの発生した既存の JPEG・MPEG 画像を JPEG2000・MotionJPEG2000 等の形式に変換するシステムを実際に構築し、検討を行うことが挙げられる。

参考文献

- [1] Wallace, G.K., "The JPEG still picture compression standard", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.38, Issue 1, pp. 18-34, Feb. 1992.
- [2] ISO/IEC 11172-2, "Information technology - Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s - Part 2: Video", International Standard, 1993.
- [3] ISO/IEC 15444-1, "Information technology - JPEG 2000 image coding system - Part 1: Core coding system", International Standard, 2004.
- [4] H.R.Wu, M.Yuen, "A generalized block-edge impairment metric for video coding", IEEE Signal Processing Letters, Vol.4, No.11, pp.317-320, Nov. 1997.
- [5] Tai-Chiu Hsung, Pak-Kong Lun D., Wan-Chi Siu, "A Deblocking Technique for Block-Transform Compressed Image Using Wavelet Transform Modulus Maxima", IEEE Trans. on Image Processing, Vol.7, No.10, pp.1488-1496, Oct. 1998.
- [6] Liew A.W.-C., Hong Yan, "Blocking artifacts suppression in block-coded images using overcomplete wavelet representation", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.14, No.4, pp.450-461, Apr. 2004
- [7] Alter F., Durand S. Y., Froment J., "Deblocking DCT-based compressed images with weighted total variation", IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, (ICASSP '04), Vol.3, pp.221-224, May 2004.
- [8] Draft ITU-T Recommendation H.263 Version 2, "Video coding for low bit rate communication", 1998.
- [9] 小島一浩, 貴家仁志, "8点逆DCTを用いる画像解像度変換法の一般化", 信学論(A), Vol.J82-A, No.5, pp.599-608, May. 1999.