

フリッカー抑制条件に基づく Motion JPEG2000 ポスト量子化制御法の検討

仲地孝之* アサナシオス レオンタリス** 外村喜秀*
NTT 未来ねっと研究所* カリフォルニア大学サンディエゴ校**

E-mail: nakachi.takayuki@lab.ntt.co.jp

あらまし Motion JPEG2000 は、従来の DCT ベースの JPEG より符号化効率が高くブロックノイズが生じない利点を有するとともに、空間・SNR スケーラビリティ機能を有し、編集・加工が容易であるなど優れた特徴がある。しかしながら、Motion JPEG2000 には、フリッカー雑音と呼ばれる固有の雑音が生じることが確認されている。これは、復号画像で知覚される細かいリング状の雑音である。本研究では、フリッカー雑音を低減し得る Motion JPEG2000 のポスト量子化制御法について検討し、その有効性をシミュレーションによって検証した。

A Study on Post Quantization Control for Flicker Artifact Reduction in Motion JPEG2000

Takayuki Nakachi* Athanasios Leontaris** Yoshihide Tonomura*
NTT Network Innovation Laboratories* University of California, San Diego**

E-mail: nakachi.takayuki@lab.ntt.co.jp

Abstract Motion JPEG2000 has various features such as high coding performance compared with DCT-based JPEG standard, ease of editing, resolution and SNR scalability. However, video sequences encoded with JPEG2000 exhibit flicker artifact. This artifact is not perceivable in still images. In this work, we propose a rate-allocation scheme that ensures uniform error energy distribution and improves perceptual quality. Experimental results show that our algorithm suppresses the flicker artifact without sacrificing good PSNR performance.

1 まえがき

フレーム毎に独立に符号化を行うフレーム内符号化は、MPEG4[1]、H.264[2] など時間方向の相関を利用したフレーム間符号化と比較して符号化効率は劣るものの、編集・加工が容易、ランダムアクセスが容易、エラー伝播が小さい、演算量が少ないなどの利点を有する。代表的なフレーム内符号化である Motion JPEG2000[3] は、これらフレーム内符号化の特性に加え、ブロックノイズ歪みが生じない、空間・SNR スケーラビリティ機能など Motion JPEG2000 固有の優れた特徴を持つ。ハリウッドの7大メジャースタジオにより構成される DCI(Digital Cinema Initiatives, LLC)[4] は、デジタルシネマの符号化方式として Motion JPEG2000 を採用している。

しかしながら、Motion JPEG2000 には、フリッカー雑音と呼ばれる固有の雑音が生じることが確認されている [5]-[9]。これは、復号画像で知覚される細かいリング状の雑音である。この歪みは、静止画では目立たないが、動画ではその大きさと位置がフレーム毎に変化するため、時間方向の歪みが発生し、視覚的に検知し易くなる。このフリッカー雑音の発生要因として、以下の2つの点が指摘されている。

- (a) 高周波数帯域ウェーブレット係数の量子化に伴うエリアジング雑音 [5]
- (b) EBCOT(Embedded Block Coding with Optimized Truncation) ポスト量子化による誤差分布の空間的変動 [6]

(a) はウェーブレット変換固有の性質に起因するもので、サブバンド分割・合成において、高域分割領域で発生した量子化ノイズが、低域分割領域に折り返すことによるエリアジング雑音の一種である。動画では、発生するエリアジング信号の位相がフレーム毎に変化するため、視覚的に検知し易くなる。特に、物体が移動する際のエッジ付近で視覚的に検知し易くなる。この歪みの低減に関しては、人間の視覚感度特性 CSF(Contrast Sensitivity Function) によるウェーブレット係数の補正が有効であることが JPEG2000 の WG1 のコア実験において確認されている。

一方、(b) は EBCOT のポスト量子化に起因するものである。EBCOT では、ポスト量子化を MSE 最小化規範で行うのが一般的であるが、この規範によれば MSE は最小となるが、ポスト量子化によるレート制御ではコードブロックごとに符号化された符号化パスの数の開きが生じ、空間的な画質変動を伴い主観画質を低下させる。この歪みは (a) とは逆に、静止領域においてよく検知される。文献 [6] では、(a) と (b) の比較検討を行い、ポスト量子化の方がフリッカー雑音へ与える影響が大きいと報告されている。この (b) タイプのフリッカー雑音抑制手法として、大別して符号器で補正を行う手法 [7], [9] と復号器で補正を行う手法 [8] が提案されている。符号器で補正を行う文献 [7] では、時間方向の輝度値の変化を抑制するために、前後のフレームで係数を比較し、異なる場合には係数値を一致させる方法を提案している。しかし、この方法では原画の輝度値の変化に追従できず、かつ画像が持つ特性を変えてしまう可能性がある。文献 [8] では、原

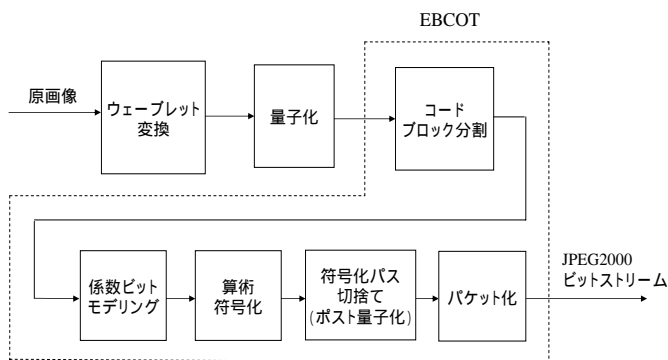


図 1: JPEG2000 符号器のシステム構成図

画像の輝度値の変化に追従できるよう文献 [7] を改良した方法を提案している。この方法は SNR 的にも優れ、フリッカー雑音抑制を可能としている。しかしながら、JPEG2000 の汎用復号器とは互換性がなく、係数値の補正処理を専用復号器で行う必要がある。また復号器の処理付加が高くなる欠点があり、符号量制御については検討がなされていない。

先に著者は、(b) タイプのフリッカー雑音を低減するために、同一サブバンド内において空間方向ならびに時間方向に隣接するコードブロックの符号化パス切捨て数を一定として符号量割当てを行うポスト量子化制御法を提案した [9]。この方法は、(b) タイプのフリッカー雑音が発生する根本的原因を解決するとともに、Motion JPEG2000 完全互換であり、前処理やポスト処理などを必要としない特徴を有する。しかしながら文献 [9] の手法は、符号化パス切捨て点の制約により EBCOT と比較して PSNR が低下し、主観的には粒状的な雑音が若干増加したように知覚された。さらに、レート制御が粗くなってしまいう欠点を有する。本研究では、これらの問題を解決するために、サブバンドとフリッカー雑音の関係に注目し、高い PSNR ならびに主観画質を保持したままフリッカー雑音を抑制するポスト量子化法について検討した。

最初に 2. で JPEG2000 の概要について述べる。3. では提案法のベースである文献 [9] について述べ、4. では提案法について記述する。5. においてシミュレーションによる有効性を検証し、6. でまとめと今後の課題について述べる。

2 JPEG2000 概要

Motion JPEG2000 の各フレームは、JPEG2000[10] より構成されている。本節では、JPEG2000 の符号化システム構成と、本研究において重要な JPEG2000 レート制御法とフリッカー雑音の関係について概説する。

2.1 符号化システム構成

図 1 に JPEG2000 符号化器のシステム構成図を示す。JPEG2000 では、低ビットレートでの画質保持、解

像度スケーラビリティ実現の容易さからウェーブレット変換を用いる。分割方法は、1 次元ウェーブレット変換を画像の縦横各方向に独立に施すことで画像を 4 つのサブバンドに帯域分割し、最低周波数帯域を再帰的に 4 バンドに分割する Mallat 分割を用いる。ウェーブレット変換では、低域から高域へ順次復号する過程で解像度の異なる画像を容易に得ることができる。

次にウェーブレット係数は必要に応じて量子化され、EBCOT(Embedded Block Coding with Optimized Truncation) アルゴリズムにより符号化される。EBCOT アルゴリズムは、各サブバンドをコードブロックと呼ばれる正方形のブロック (例えば、 64×64) に分割する。これらのコードブロックは、それぞれ独立に符号化される。各コードブロックでは、ウェーブレット係数のビットプレーンに基づく係数ビットモデリングを行ない、MSB から LSB までのすべてのビットプレーンは、それぞれコンテキストに応じて 3 つの符号化パスに分解される。次に係数モデリングにより生成されたエンベデッド符号列に対して、算術符号化を施す。全体のビットレート制御は、符号化パスの切捨て、すなわちポスト量子化により行われる。また、必要に応じてレイヤという単位にグループ分けされる。最後に、ヘッダ情報などを付加したものが、JPEG2000 ビットストリームとなる。

2.2 JPEG2000 レート制御法とフリッカー雑音

JPEG2000 ではビットレート制御を、1) ウェーブレット係数の量子化、2) ポスト量子化の 2 箇所で行っている。フリッカー雑音はこれらのビットレート制御手法と密接な関係がある。以下それぞれについて説明する。

1) ウェーブレット係数の量子化
ウェーブレット係数は、次式により量子化される。

$$q_b(u, v) = \text{sign}(a_b(u, v)) \left\lfloor \frac{|a_b(u, v)|}{\Delta_b} \right\rfloor \quad (1)$$

ここで、 b はサブバンド、 (u, v) は座標、 $a_b(u, v)$ は量子化前のウェーブレット係数、 $q_b(u, v)$ は量子化後のウェーブレット係数、 Δ_b は量子化ステップサイズ、 $\text{sign}(\cdot)$ は符号演算子を表す。量子化ステップサイズの決定方法には Implicit と Explicit の 2 種類がある。ここでは詳細は省略する。この量子化に伴うフリッカー雑音は、サブバンド分割・合成において、高域分割領域で発生した量子化ノイズが、低域分割領域に折り返すことによるもので、エリアジグ雑音の一種である。この歪みの低減に関しては、人間の視覚感度特性 CSF によるウェーブレット係数の補正が有効であることが JPEG2000 の WG1 のコア実験において確認されている。

2) ポスト量子化
ポスト量子化では、コードブロックごとに生成された算術符号化のそれぞれ一部を切捨てることによりレ

ト制御を行う。切捨ての基準に関しては詳細が定められておらず符号器に依存するが、EBCOTではMSE最小化規範で行うのが一般的である。この規範によればMSEは最小となるが、コードブロックごとに符号化された符号化パスの数に開きが生じ、これが2のべき乗のオーダーで量子化誤差に反映される結果、空間的な画質変動を伴い主観画質を低下させる。

図2(a)には、サーキュラー・ゾーンプレート(CZP)と呼ばれる画像を示してある。CZPは低域から高域までの周波数成分を一樣に持つ画像で、次式により算出される。

$$C(x, y) = A \sin \left\{ \frac{\pi}{2} \left(\frac{(x-a)^2}{\alpha} + \frac{(x-b)^2}{\beta} \right) + \theta \right\} + B$$

ここでは、EBCOTによる空間的な誤差分布の状態を調べるために、図2(b)にEBCOTで符号化した際の復号画像を示してある。図2(b)より、EBCOTによる復号画像は空間的な画質が一樣ではないことが確認できる。さらに動画像に対する特性を調べるために、下半分を右側から左側へ等速に移動させて主観評価を行った。時間変化に対しては、その画質の空間的な不均一さ(空間的な誤差分布)がフレーム毎に変化することが観測され、さらに劣化した印象を受けた。特に静止領域において、フリッカー雑音が顕著に知覚された。これは、Motion JPEG2000ではフレームごと独立に符号化を行うために、連続するフレーム間で空間的に同じ位置にあっても符号化パスの切捨て数が異なった結果、空間的な画質変動が生じたためだと考えられる。

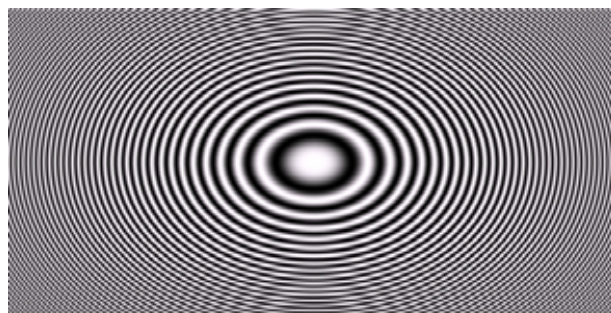
3 フリッカー抑制を抑制し得るポスト量子化法 TRUNC[9]

先に著者らは、EBCOTポスト量子化に起因するフリッカー雑音を低減するために、同一サブバンド内において空間方向ならびに時間方向に隣接するコードブロックの符号化パス切捨て数を一定として符号量割当てを行うポスト量子化制御法を提案した[9]。本稿で提案する方法は、この文献[9]の手法をベースとしている。本節では、その概要について述べる。

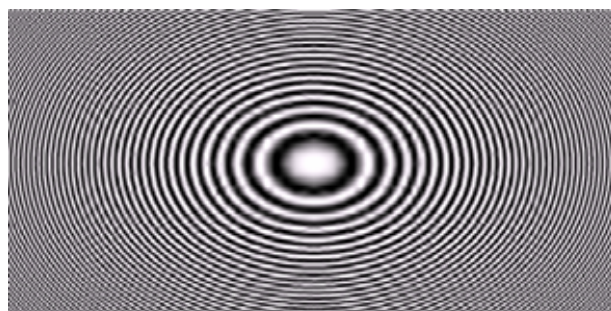
3.1 空間的な画質変動の抑制法

空間的な画質変動を抑制する方式として文献[11]が提案されている。この方法では、空間的な画質変動を抑制するために符号化パスの切捨て数をすべてのコードブロックにおいて一定としている。すなわち、隣接するコードブロック間で空間的な誤差のパラツキが抑制されることになる。著者らはこの方式を拡張して、同一サブバンド内では符号化パスの切捨て数を一定としつつ、解像度レベル、ウェーブレットカーネル、コンポーネントなどの違いにより復号画像の誤差エネルギーが異なることを考慮して、サブバンド間では符号化パスの切捨て数を異なるように設計した。

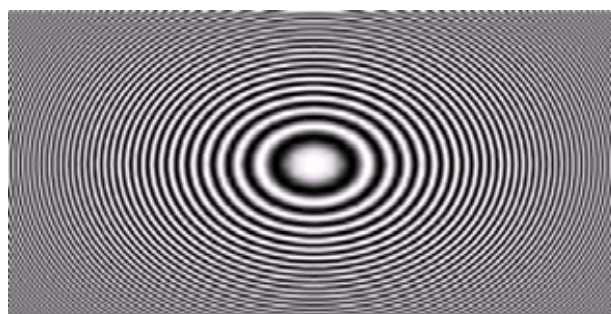
サブバンド s 、解像度レベル r 、コンポーネント c



(a) 原画像



(b) EBCOT



(b) TRUNC

図 2: サークュラー・ゾーンプレートを EBCOT、TRUNC[9] で符号化した際の復号画像 (ビットレート = 0.40 [bpp])

のコードブロックにおいて、LSBから l 番目のビットプレーンまで破棄したときの復号画像の誤差エネルギーを $e_{r,s,c}(l)$ と定義する。このとき、破棄するビットプレーン数をサブバンド間で変化させ、誤差エネルギーが一致する組み合わせを見つける。ここでは、Kakaduソフトウェア[12]を用いてそれぞれ0-30の各ビットプレーンに対して計算を行った。その際に、CSF、周波数重み、ウェーブレットフィルタゲインを考慮に入れて計算した。得られた結果はテーブルに保存し、符号化の際に参照する。ここでは、以下の手順で組み合わせを探索し、テーブルを作成した。

ステップ 1)

初期値を $b = 0$ と設定する。

ステップ 2)

コンポーネント 0、解像度レベル 1、サブバンド LL のコードブロックに関して、誤差エネルギー $e_{LL,1,0}(b)$ を計算する。

ステップ3) 与えられたすべての (r, s, c) パラメータの組合わせに対して、 $\hat{b}=0$ (least significant), $1, 2, \dots$, と変化させ、 $|e_{r,s,c}(\hat{b}) - e_{LL,1,0}(\hat{b})|$ が最小となる \hat{b} を見つける。
 ステップ4) b の値を1つ増加させ、 $b \in \{0, \dots, 30\}$ のすべてのビットプレーンについて処理が終了するまでステップ2および3の処理を繰り返す。

以上の計算により、 $b \in \{0, \dots, 30\}$ の各ビットプレーンに対する (r, s, c) の組合わせが得られる。この計算はオフラインで行い、テーブルとして保存し符号化時に参照する。これらの組合わせパターンは、画像の特性に依存せず、解像度レベル、ウェーブレットカーネル、カラー変換係数、CSF 関数のみに依存する。符号化の際には、EBCOT と同様に3つの符号化パス単位で符号化を行う。各サブバンドの切捨てビットプレーンは、テーブルを参照して求める。この手法を「非一様ビットプレーン制御法」と定義する。

3.2 インターフレーム拡張

インターフレーム拡張では、前節で述べた空間的な画質変動を抑制する方法をフリッカー雑音を抑制すべく時間方向へ拡張する。画像の特性は連続するフレーム間で異なることから、必要なビット割当量も変化する。ここでは、以下の2つの条件を満たすとき、現フレームの符号化パスの切捨て数を前フレームと同じ値に設定し、符号化する。

$$\begin{aligned} \text{条件1: } & |r_n^p - t_n| < \delta t_n \\ \text{条件2: } & |r_n^p - r_{n-1}^p| < 2\delta t_n \end{aligned}$$

ここで、 n は現フレーム番号、 t_n は現フレームの所望ビットレート、 p は前フレームの符号化パスの切捨て数、 r_n^p は p を現フレームに適用した際のビットレートを表す。 δ は条件の許容幅を設定するパラメータであり、シーケンスごとに最適化できるが本研究では0.1と設定している。条件1は、所望ビットレートが大きく変化した場合を表している。条件2は連続するフレーム間で画像特性が大きく変化した場合を表しており、わずかなビットレートの変動は許容している。上記2つの条件を満たさない場合には、前フレームとは独立に「非一様ビットプレーン制御法」を用いて符号化する。以後、このインターフレームへ拡張したJPEG2000 レート制御法を TRUNC と定義する。

図2(c)には、CZPをTRUNCにより符号化した際の復号画像を示してある。EBCOTと比較して空間的な誤差分布の変動が抑制されていることがわかる。時間変化に対しては、その画質の空間的な不均一さ(空間的な誤差分布)がフレーム毎に抑制されていることが観測され、フリッカー雑音が低減されていることを確認した。特に静止領域において、顕著に改善効果が観測された。

しかしながら、TRUNCには符号化パス切捨て点の制約によりEBCOTと比較してPSNRが低下する欠

点があり、主観的には粒状的な雑音が若干増加したように知覚された。TRUNCによるPSNRの低下は、図2(b)においては高周波帯域でのエリアジングとして確認できる。さらに、TRUNCはレート制御が粗くなってしまう問題がある。

4 フリッカー雑音とサブバンドの相関を考慮したレート配分法

本節では、TRUNCが持つ2つの欠点、1)フリッカー以外の画質が低下(PSNRの低下と粒状的雑音の増加)する点と、2)レート制御が粗くなってしまふ点、を改良するために、TRUNCとEBCOTを組合わせた方法について検討する。なお先に著者らは、これらの問題を解決するために、TRUNCを提案した同じ文献[9]において、静止領域はTRUNC、動領域はEBCOTによって符号化するHYBRID符号化法も検討している。本稿では、アプローチを変え、サブバンドとフリッカー雑音の関係に注目した方法を提案する。なお、今回検討する方法は、上記HYBRID符号化法と相容れないものではなく、同時に実現できる。

4.1 予備実験

主観評価実験により、フリッカー雑音とサブバンドの相関について調査した。対象画像として、デジタルシネマの画質評価画像StEM (4096×1714 [pixels], 12 [bits/pixel], 24 [frames/sec]) [4]を用いた。実験はNTTデジタルシネマ評価実験室で行い、プロジェクタはSONY製4KプロジェクタSXRDを用いた。解像度レベルを $i (i = 1, 2, \dots, L)$ (L はウェーブレット分割レベル)とし、対応するサブバンドを (HLi, LH_i, HH_i) と定義する。また $i = 1$ のときのみLLを含み、対応サブバンドを (LL_0, HL_1, LH_1, HH_1) とする。ここで、1つのサブバンド (HL_i, LH_i, HH_i) のみEBCOTで符号化し、それ以外はTRUNCで符号化したときの画質を評価した。図3には、ウェーブレット分割レベルが3の場合に解像度レベル2のみにEBCOTを適用した例を示した。

実際の評価実験では、ウェーブレット分解レベルを5とし、 $i = 1$ から $i = 5$ までそれぞれについて評価を行った。ビットレートは、 0.113 [bpp]とした。主観

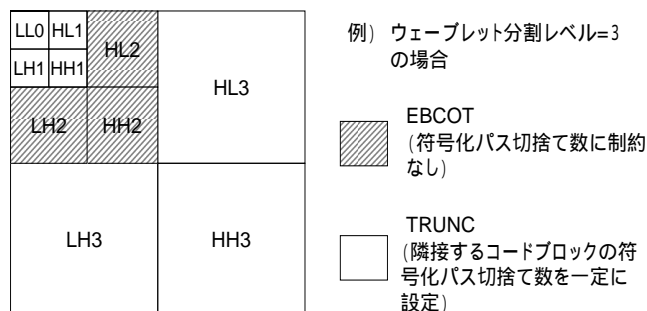


図3: 予備実験でのEBCOTとTRUNCの適用例

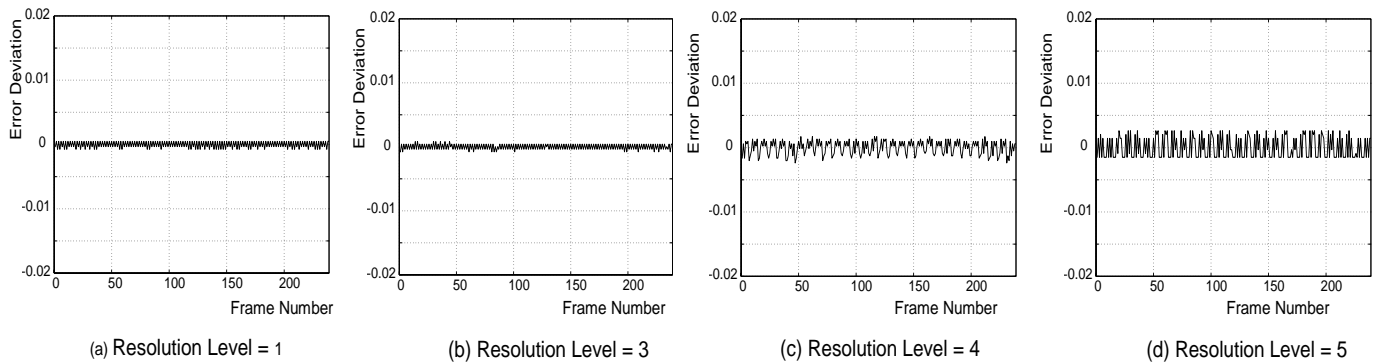


図 4: CZP の静止領域における誤差変動値 (指定の解像度レベルのみ EBCOT で符号化)

評価実験の結果、解像度レベル 4 ならびに 5 をそれぞれ EBCOT で符号化したときに、フリッカー雑音が知覚された。すなわち、高周波数帯域側の 2 つの解像度レベルがフリッカー雑音に影響を与えている。

図 2 の CZP に対して、同様な実験を行った。ビットレートは、0.185[bpp] とした。主観評価の結果、CZP に対しても、StEM と同様に解像度レベル 4 ならびに 5 がフリッカー雑音との相関が強いことが確認できた。さらに、CZP の静止領域に対して、時間方向の誤差変動値を求めた。これは、フリッカー雑音の大きさを表す一つの客観評価尺度と考えられる。図 4 に測定結果を示す。同図より、解像度レベル 4 ならびに 5 を EBCOT で符号化した際に誤差の変動が確認され、主観評価結果を裏付けるものとなっている。

4.2 符号化アルゴリズム

予備実験の結果を踏まえ、高周波数帯域側の 2 つの解像度レベルを TRUNC で符号化し、それ以外の帯域は EBCOT で符号化するハイブリッド符号化について検討する。図 5 には、ウェーブレット分割レベル = 2 のときの例を示してある。すなわち、フリッカー雑音に大きな影響を及ぼす中高周波数帯域のサブバンドのみ符号化パス切捨て数を一定とする。その結果、フリッカー雑音を抑制しつつ画質の向上と詳細なビットレート制御が実現できる。符号化手順を以下に示す。

ステップ 1)

第 1 フレームは、「非一様ビットプレーン制御法」により符号化する。ステップ 5 に移動。

ステップ 2)

すべてのコードブロックに対して TRUNC を適用する。得られた符号化パスの切捨て数 p を保存する。

ステップ 3)

すべてのコードブロックに対して EBCOT を適用する。得られた最適な RD 曲線閾値 s を保存する。

ステップ 4)

ステップ 2 および 3 で得られた符号化パスの切捨て数 p と最適な RD 曲線閾値 s を用いて、EBCOT で符号化する低周波数帯域と TRUNC で符号化する中高周波数帯域をそれぞれ符号化する。

ステップ 5)

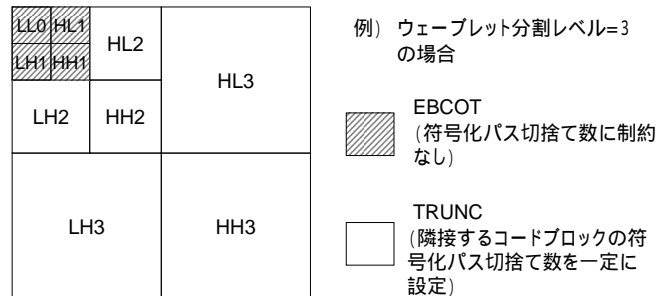


図 5: MH-TRUNC 符号化

符号化するフレームがある場合には、ステップ 2 へ移動。全フレームを符号化した場合は終了。

今回の手法では、TRUNC の符号化パスの切捨て数と EBCOT の RD 曲線閾値を独立に最適化している。グローバルな最適解を得るには同時最適化が必要となるが、独立に最適化した際に低下する符号化効率の割合はそれほど大きくないと考えられる。以後、この EBCOT と TRUNC を組合わせた手法を MH-TRUNC と定義する。

5 シミュレーション結果

提案手法の有効性を検証するために、TRUNC、MH-TRUNC を Kakadu ソフトウェア [12] に実装してシミュレーションを行った。ブロックサイズは、 32×32 とした。テスト画像として、以下の 2 つのシーケンス (それぞれ 10 秒) を用いた。

(a) Standard Evaluation Material (StEM)

画像サイズが 4096×1714 [pixels]、ビット数が 12[bits/pixel] の DCI によるデジタルシネマの画質評価画像。35mm フィルムをデジタル化された画像であり、グレイノイズが多く含まれる。

(b) “CZP” シーケンス

図 2 に示す合成画像サーキュラー・ゾーンプレート。すべての周波数成分を持つ。ここでは動画像に対する特性を検証するために、下半分を右側から左側へ移動させている。画像サイズは 512×256 [pixels]、ビット数は 8[bits/pixel]。

表 1: StEM を EBCOT, TRUNC, MH-TRUNC によって符号化した際の PSNR 値 [dB] (240 フレームの平均)

bits/pixel	0.113	0.250	0.738	1.000	1.127
EBCOT R	30.23	32.16	34.32	34.85	35.06
EBCOT G	32.31	34.10	36.36	36.94	37.12
EBCOT B	27.45	28.30	29.67	30.35	30.66
TRUNC R	29.97	31.99	34.29	34.81	35.32
TRUNC G	32.01	33.93	36.34	36.87	37.17
TRUNC B	27.39	28.22	29.54	29.96	30.46
MH-TR R	29.97	32.17	34.36	34.92	35.42
MH-TR G	32.09	34.10	36.41	36.92	37.24
MH-TR B	27.33	28.27	29.60	30.00	30.52

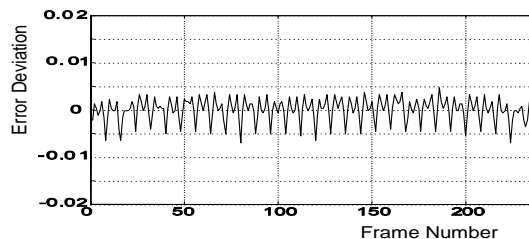
主観評価実験は、NTT デジタルシネマ評価実験室で行った。プロジェクトは、SONY 製 4K プロジェクト SXR を用いた。まず StEM のオープニング 10 秒のシーンを、TRUNC、MH-TRUNC、EBCOT により 0.113, 0.250, 0.738, 1.000, 1.127 [bpp] で符号化した。その結果、TRUNC ならびに MH-TRUNC により、低ビットレートではフリッカー雑音が低減されていることが確認できた。また、TRUNC と比較して MH-TRUNC では粒状の雑音が低下していることが観察された。表 1 には、PSNR 値 [dB] を示した。MH-TRUNC は TRUNC と比較して、主観評価結果ほどの顕著な効果は得られていないものの、若干 PSNR が向上していることがわかる。

CZP に対しては、TRUNC、MH-TRUNC は画像全体的にかなり良好にフリッカー雑音が抑制されていることが確認できた。EBCOT に関しては、特に静止領域において顕著にフリッカー雑音が観測され、視覚的に目立つものとなっている。PSNR 値では、MH-TRUNC は TRUNC に対して、2[dB] 程度の向上 (0.70[bpp] で符号化時) が見られた。また、図 5 には静止領域における各フレームの誤差変動値を示してある。MH-TRUNC は、TRUNC と同じく、誤差の変動がかなり小さく、良好な主観評価結果を裏付けるものであると言える。EBCOT はフレームごとに誤差変動値がかなり変動していることがわかる。

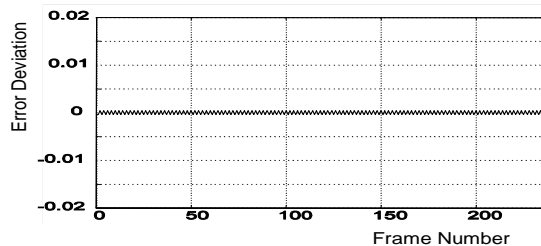
6 まとめと今後の課題

本稿では、フリッカー雑音を低減し得る Motion JPEG2000 のポスト量子化手法を提案した。提案法は、ポスト量子化においてフリッカー雑音に大きな影響を及ぼす高中周波数帯域のみ符号化パス切捨て数を一定とすることにより、フリッカー雑音を抑制しつつ、1) 粒状の雑音の抑制、2) 詳細なビットレート制御、を可能とした。提案法の特筆すべき優れた特徴としては、Motion JPEG2000 完全互換であり、前処理やポスト処理などを必要としない点が挙げられる。

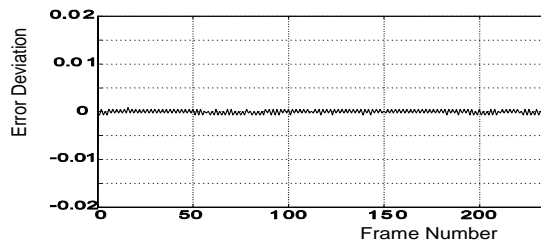
今後は、1) ポスト量子化におけるグローバルな RD 最適化、2) デコーダでの制御によるフリッカー雑音抑制法、について検討して行きたい。



(a) EBCOT



(b) TRUNC



(c) MH-TRUNC

図 6: サークュラー・ゾーンプレートを符号化 (0.185[bpp]) した際の静止領域の誤差変動

参考文献

- [1] 三木弼一 編著, “MPEG 4 のすべて,” 工業調査会.
- [2] 角野真也, 菊池義浩, 鈴木輝彦, 大久保 榮, “H.264/AVC 教科書,” インプレス.
- [3] ISO/IEC 15444-3, “Information technology - JPEG2000 image coding system - part 3: Motion JPEG 2000,” 2002.
- [4] Digital Cinema Initiatives, LLC, <<http://www.dcinovies.com>>.
- [5] 久下哲郎, “Wavelet 画像符号化の視覚的歪に関する考察,” 映像情報メディア学会技術報告, vol. 25, no. 79, pp. 33-38, HIR2001-97, Nov. 2001.
- [6] 加藤徹洋, 田邊集, 渡辺裕, 富永英義, “Motion JPEG2000 におけるフリッカー雑音と量子化誤差の関係について,” FIT2003, J-039, Sep. 2003.
- [7] A. Becker, W. Chan, and D. Poulouin, “Flicker reduction in intraframe codecs,” Proc. IEEE data compression conference, Mar. 2004, pp. 252-261.
- [8] 石川孝明, 渡辺裕, “デジタルシネマのフリッカー低減を目的とした符号化手法,” 画像符号化シンポジウム PCSJ2005, P-2.17, Nov. 2005.
- [9] 仲地孝之, アサナシオス レオンタリス, 外村喜秀, “Flicker Artifact を軽減し得る Motion JPEG2000 レート制御技術の検討,” 第 20 回信号処理シンポジウム, C7-2, Nov. 2005.
- [10] ISO/IEC 15444-1, “Information technology - JPEG2000 image coding system - part 1: Core coding system,” 2002.
- [11] S. Naito, A. Koike, and S. Matsumoto, “Optimal JPEG2000 encoder mechanism for low delay and efficient distribution of HDTV programs,” IEEE ICASSP2004, vol. V, pp. 81-84, May 2004.
- [12] Kakadu software, <<http://www.kakadusoftware.com>>