

Motion JPEG2000 におけるフリッカー雑音と タイリングの関係について

加藤 徹洋[†] 石川 孝明[†] 渡辺 裕[†]

[†] 早稲田大学 大学院 国際情報通信研究科
〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10

E-mail: †tetsu@tom.comm.waseda.ac.jp

あらまし 超高精細映像であるデジタルシネマに対する符号化方式として、Motion JPEG2000 が有力である。しかし、Motion JPEG2000 の問題点として、復号画像中に“Flicker Artifact”と呼ばれる歪みが生じることが報告されている。動画においてこの歪みは、その大きさと位置がフレーム毎に変化するため、視覚的に大きなちらつきを伴う画質劣化として検知される。本研究では、Flicker Artifact の削減を目的とし、プログレッションの順番の異なる符号化ストリームに対して truncation を行い、発生する歪みの違いを調査した。そして、タイリングを用いることによる Flicker Artifact の削減に関する検討を行った。

キーワード Motion JPEG2000, Flicker Artifact, プログレッション, タイリング

On a Relation Between Flicker Artifacts and Tiling for Motion JPEG2000

Tetsuhiro KATO[†], Takaaki ISHIKAWA[†], and Hiroshi WATANABE[†]

[†] Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University
Nishiwaseda 1-3-10, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 Japan

E-mail: †tetsu@tom.comm.waseda.ac.jp

Abstract Motion JPEG2000 is the most promising coding system for ultra-high resolution image, such as Digital Cinema. However, it is reported that there is some noise called “Flicker Artifacts” in the decoded image. In the video sequence, this noise is visually detected as large flicker deterioration because scale and position change for each frame. We aim to reduction of “Flicker Artifacts.” In this paper, we investigate “Flicker Artifacts” when we truncate coding streams in different progression order. In consideration of this result, “Flicker Artifacts” can be reduced using tiling in Motion JPEG2000.

Key words Motion JPEG2000, Flicker Artifact, progression, tiling

1. はじめに

現在、デジタルシネマの実用化に向けて、超高精細映像システムの評価やそれに対する技術の標準化が進められている。デジタルシネマに対する符号化方式として、画像符号化の国際標準方式である JPEG2000 が有力である。これは、デジタルシネマで要求される解像度や階調へ対応しているためである。同方式では、動画像符号化方式を Motion JPEG2000 として定めている [1] [2] [3]。

JPEG2000 の利点としては、

- 画質や解像度を階層化して符号化する「プログレッシブ機能」を持つ
- 従来の DCT ベースの JPEG より符号量の点で大幅に削減することが出来る
- 画像全体に対して変換処理を行うため、ブロックノイズを生じない
- 任意の圧縮率の符号ストリームを容易に実現できる
- 伝送誤り耐性が非常に優れている

などが挙げられる。更に Motion JPEG2000 は、MPEG のようにフレーム間の相関を利用する動き予測を行わずフレーム単位で独立に符号化されるため、ランダムアクセスが可能であり、映像コンテンツの編集・加工処理の容易さの点で優れている。

このように、多くの優れた機能を持つ Motion JPEG2000 であるが、Motion JPEG2000 で符号化された画像には、復号画像中に“Flicker Artifact”と呼ばれる歪みが生じることが報告されており、削減が必要である [4]。

そこで、本研究では、Flicker Artifact の削減を目的とし、プログレッションの順番の違いによる同歪みを調査し、タイリングを用いて低減させるための問題点に関する検討を行った。

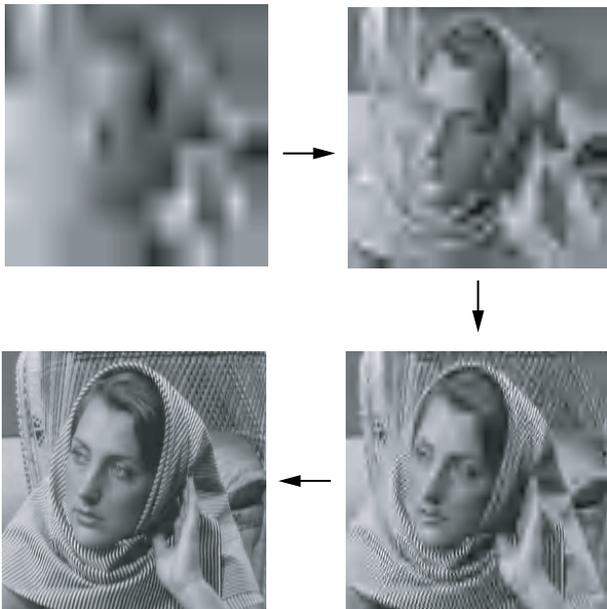


図 1 LRCP の復号画像

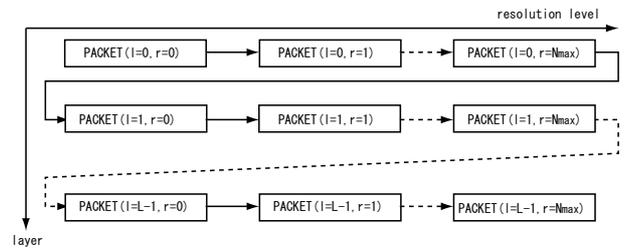


図 2 LRCP プログレッションにおけるパケットの順番

2. プログレッション

レート制御後の JPEG2000 の符号化ストリームは「パケット」と呼ばれる符号化列 (バイト単位) にまとめられる。パケットは、特定のレイヤ、コンポーネント、解像度レベル、プレシントからの画像再生への寄与情報を担っている。画像再生は、符号ストリームの先頭から順番にパケットを復号して行われるため、パケットを符号ストリーム内で並べ替えることによって、品質 (SNR)、解像度、空間領域 (位置)、コンポーネントを任意に制御できる。この際のパケットを並べる順番は、プログレッションの順番と呼ばれる。プログレッションの順番を決定する因子としては、レイヤ、コンポーネント、解像度レベル、プレシントの 4 種類がある。

プログレッションの順番としては、以下で述べる 5 つの異なるタイプが実現される。

この中で最も使用頻度が高いと考えられるのが、LRCP と RLCP である [5]。

2.1 LRCP プログレッション

LRCP (Layer-resolution level-component-position) プログレッションにおけるパケットの順番を図 2 に示す。ここで、 L はレイヤ数、 N_{max} はタイルコンポーネントで使用される分解レベル N_L の最大数である。ただし、コンポーネントと位置は固定としている。

LRCP は図 1 に示すように、品質の段階的改善を目的としており、解像度はそのまま画質が徐々に向上していくプログレッション復号を可能にする。低ビットレートのサンプル精度を重視する場合には有効である。

2.2 RLCP プログレッション

RLCP (Resolution level-layer-component-position) プログレッションは図 3 に示すように、主に解像度の段階的改善を目的としており、低解像度レベルの全画像コンポーネントが最初に必要となる場合に有用である。従って、受信端末が携帯電話や PDA などのように小さな画面の場合には、全画面の解像度の画像を復号する代わりに、受信端末に最も近い解像度に相当する符号化ストリームのみを復号すればよく、非常に効率的である。

2.3 RPCL プログレッション

RPCL (Resolution level-position-component-layer) プログレッションは、特定の空間位置における全ての画像コンポーネントの低解像度レベルが最初に必要となる場合に有用である。

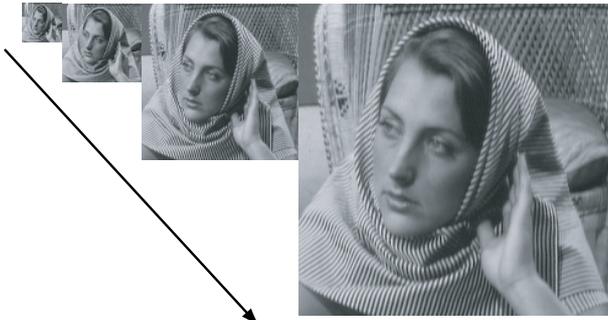


図 3 RLCP の復号画像

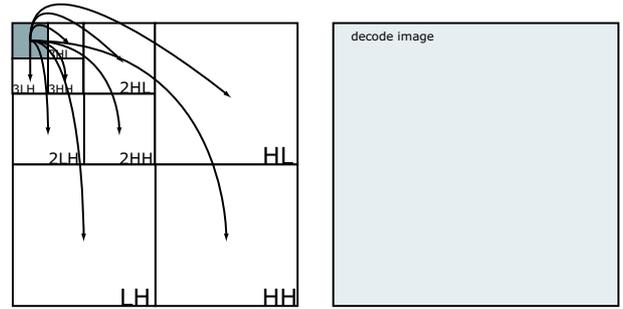


図 4 低域成分の歪みの広がり

2.4 PCRL プログレッション

PCRL(Position-component-resolution level-layer) プログレッションは主に、空間位置による段階的改善を目的としており、全てのコンポーネント内の特定の空間位置に対して高いサンプル精度を与える場合に有用である。

2.5 CPRL プログレッション

CPRL(Component-position-resolution level-layer) プログレッションは、主にコンポーネントによる段階的改善を目的としており、特定の画像コンポーネント内の特定の空間位置に対して高い精度を与える場合に有用である。

3. Flicker Artifact

Motion JPEG2000 特有のノイズとして、Flicker Artifact と呼ばれるものが存在する。これは復号画像上に細かいリング状のノイズとして現れる。

この歪みは、静止画の場合には、さほど目立たない。しかし連続フレームの動画像として観察する際には、その大きさと位置がフレーム毎に変化する。この時間軸方向のノイズ成分が、視覚的には、大きなちらつきを伴う画質劣化として検知される。高ビットレートの場合にも検知されうるが、低ビットレートの場合には、視覚的に更に顕著である。

また、このノイズは静止画でさほど目立たないという性質から、PSNR や MSE のような定量的尺度で評価、比較が困難である [6]。同じビットレートの Motion JPEG2000 の映像と、Motion JPEG の映像を比べた場合は Motion JPEG2000 の方が画質はよく、SNR も高い値である。しかし、同程度の SNR を持つ映像を比べた場合、主観的には Motion JPEG2000 の方が画質が悪い。

3.1 Visual Weighting

Flicker Artifact の軽減手法としては、Visual Weighting という手法が有効であると考えられている [7]。

Wavelet 符号化は、低域に相当するフィルタほど基底長が長くなる。例えば、5tap のフィルタで 5 回 Wavelet 分割を行うと、最低域に相当する基底の tap 長は、125tap にもなる。このため、図 4 に示すように低域成分の歪みは、復号画像領域中で広範囲に及ぶことになる。

Visual Weighting は、Flicker Artifact の原因が低域分割領域で発生した量子化ノイズが画面全体に折

り返すことであるとし、重み付けされた量子化マトリクスを用いることにより低域分割領域ほど高精度に量子化するという手法である。Visual Weighting により、量子化誤差の空間的分布が、エッジや線分など輝度成分が急激に変化する部分に局在化して集中する。その結果、低域成分の誤差より高域成分の誤差に鈍感であるという人間の視覚特性を利用して、視覚的歪みを低減させることができる。

しかし、Visual Weighting は Flicker Artifact を目立たなくさせることは可能であるが、Flicker Artifact 自体の軽減手法とは言えず、高画質が要求されるデジタルシネマなどでは、高周波領域の誤差も無視できず、全周波数領域での誤差の削減が必要である。

3.2 現在までの成果

我々は現在までに、Flicker Artifact の原因を調査してきた [8] [9]。図 5 に JPEG2000 符号化処理の構成を示す。JPEG2000 において、Flicker Artifact の発生する原因として、

- Wavelet 変換におけるエリアシング雑音
- レート制御

の二つの影響が考えられる。このうち Wavelet フィルタをかけた際のエリアシング雑音と Flicker Artifact の関係は薄いと考えられる [8]。

また、JPEG2000 ではレート制御を、Wavelet 係数の量子化と、いわゆるポスト量子化と呼ばれている Code truncation の二ヶ所で行えるが、ポスト量子化が Flicker Artifact により大きな影響を及ぼしていることが分かっている [9]。

しかし、文献 [9] においては、プログレッションの順番が LRCP の場合、つまりレイヤ - 解像度レベルの順で truncation を行った場合の Flicker Artifact へ及ぼす影響しか調査していない。

そこで、今回はプログレッションの順番が LRCP と RLCP の場合の Flicker Artifact へ及ぼす影響を調査し比較を行った。

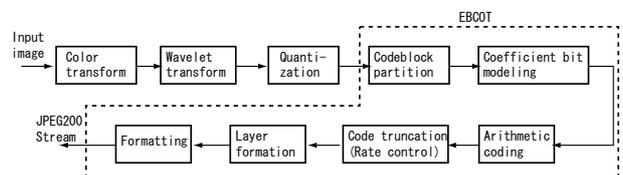


図 5 JPEG2000 符号化

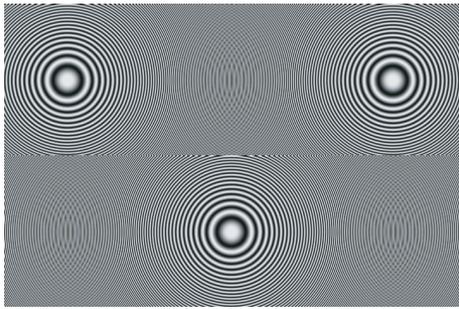


図 6 実験画像

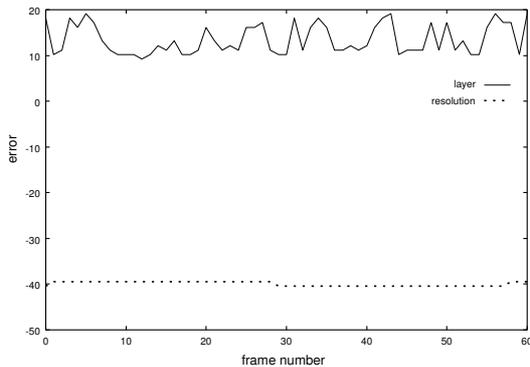


図 7 誤差の時間推移 (静止領域の高周波成分)

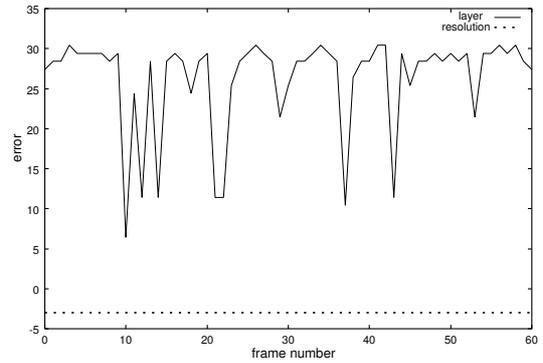


図 8 誤差の時間推移 (静止領域の低周波成分)

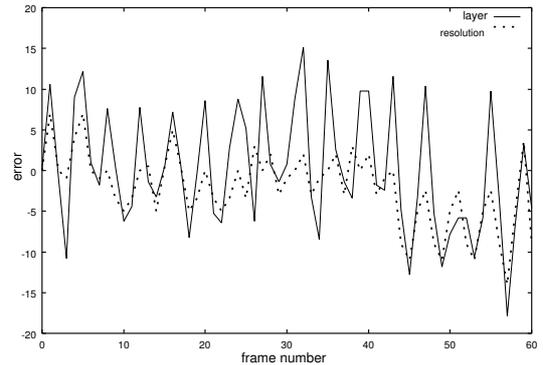


図 9 誤差の時間推移 (動領域の低周波成分)

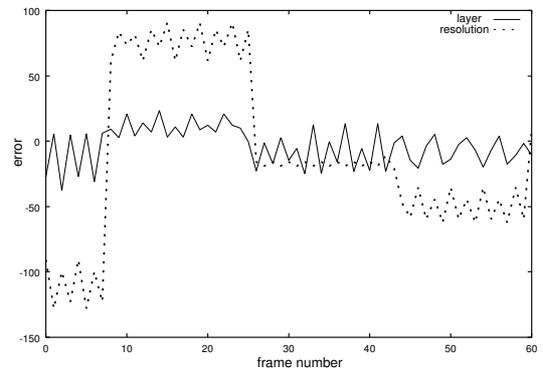


図 10 誤差の時間推移 (動領域の高周波成分)

4. 実験結果

今回、JPEG2000 のエンコーダ・デコーダとして JJ2000 を用いる。

また、実験画像 (720 × 480[pe]) の 15 フレーム目を図 6 に示す。下半分に静止領域が、上半分に水平方向に動領域 (1 フレーム当たり 9pel ずつ移動) が存在するサーキュラゾンプレートの映像を用いる。これは動領域の歪みが静止領域にも影響を与えることを考慮したためである。一般的にゾンプレートにおいて、同心円の中心が低周波、中心から離れるにつれて高周波成分となっている。

まず lossless 符号化を行い、プログレッションの順番が LRCP と RLCP の二種類の符号ストリームを作る。そして、それらをデコーダ側でそれぞれ truncation を行い、復号する。LRCP は、レイヤ - 解像度レベルの順で、RLCP は、解像度レベル - レイヤの順で truncation を行う。

ビットレートが 1.0(bpp), 3.0(bpp) の場合について、元画像との PSNR の平均値をそれぞれ表 1 に示す。また、1.0(bpp) の場合の静止領域の高周波成分 (画像の左上を原点として (180[pe],360[pe])) における元画像との誤差の時間推移を図 7 に、低周波成分 (340,390) におけるものを図 8 に示す。動領域における測定点は、移動するゾンプレートに沿うように 1 フレーム当たり 9pel ずつ平行移動させた。15 フレーム目の座標で表すと、低周波成分 (136,120)、高周波成分 (315,180) を測定点として用い、元画像との誤差の時間推移を図 9, 10 にそれぞれ示した。更に、それぞれの点における誤差の平均変化値 (時間微分値) を表 2 に示す。

表 1 に示すように、PSNR で比較した場合は、プログレッションの順番を LRCP にした場合の方が RLCP に比べ優れている。

また、本来静止領域においては誤差の変動はないはずである。しかし、図 7, 図 8 より、LRCP では高

表 1 プログレッションの順番の違いによる PSNR

PSNR [dB]	1.0bpp		3.0bpp	
	LRCP	RLCP	LRCP	RLCP
	24.24	12.20	38.39	19.90

表 2 誤差の平均変化値

	動領域		静止領域	
	(1,120)	(180,180)	(180,360)	(340,390)
LRCP	9.65	20.71	3.82	8.09
RLCP	4.60	33.88	0.451	0.00

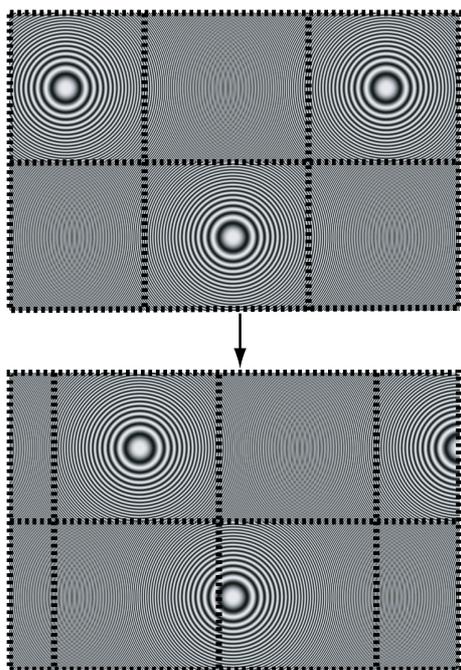


図 11 フレーム毎のタイリング分割

周波成分においても，低周波成分においても誤差の変動が見られた．一方，RLCP では，高周波，低周波成分どちらの場合も誤差の変動はほとんど見られなかった．

また表 2 より，動領域も静止領域も存在する映像を符号化する場合，解像度レベル - レイヤの順で truncation を行うと，静止領域には Flicker Artifact は生じにくい．しかし，動領域においては，誤差の時間的変動の振幅が大きくなる．一方レイヤ - 解像度レベルの順で truncation を行うと動領域では，解像度レベル - レイヤの順で truncation を行った場合と比べて，低周波成分においては誤差の時間的変動は僅かであるが大きい，高周波成分においては小さくなっている．これは，解像度レベル - レイヤの順で truncation を行う場合は，高周波部分から切り捨てを行っているためと考えられる．

上記の結果より，プログレッションの順番を変えた場合，Flicker Artifact と PSNR の問題はトレードオフの関係にあると考えられる．

5. 考 察

4 節までの結果を考慮に入れた上で，Flicker Artifact に対処する手法としてタイリングを用いることが考えられる．図 11 に示すように，各フレームにおいて動領域におけるオブジェクトに合わせてタイリングを行うことにより，Wavelet 変換のサンプリングポイントを固定できるため動領域においては Flicker Artifact を削減できると想定される．

しかし，この手法にも注意点がいくつか存在すると思われる．

静止領域においては，図 11 に示すように Wavelet 変換のサンプリングポイントがフレーム毎に移動するため，逆に Flicker Artifact が発生する可能性がある．

また，フレーム毎に含まれる全情報量は異なる．つまり，各フレームにおけるオブジェクトが含まれるタイルの占める情報量の割合が異なるのである．従って，Flicker Artifact を削減するためには，オブジェクトを含むタイルに割り振られる符号量を固定しなければならない．

更に，タイル毎に truncation の方法を指定しなければならない．今回の調査実験より，動領域におけるタイルではレイヤ - 解像度レベルの順で，静止領域では解像度レベル - レイヤの順で truncation を行えばより良い結果が得られるものと考えられる．しかし，truncation の違いによるタイル境界も問題となるのではないかと想定される．

そして，現在想定されるデジタルシネマのシステムでは，あらかじめ受信側で要求さるであろうフォーマットをいくつか用意し配信することが考えられている．従って，エンコーダ依存の問題となってしまうが，今回のようにデコーダ側で truncation するのではなく，エンコーダ側でタイル毎に truncation の方法を指定し truncation を行えるようにする必要がある．

6. ま と め

本稿では，プログレッションの順番の違う符号化ストリームに対して truncation を行い Flicker Artifact の違いを調査した．

そして，この結果を元にタイリングを用いることにより Flicker Artifact を低減させる手法について考察を述べた．

謝辞

この研究は，TAO 委託研究課題“通信ネットワーク利用放送技術の研究開発”のサポートによる．

文 献

- [1] ISO/IEC FCD 15444-1, “JPEG 2000 Part Final Committee Draft Version 1.0,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG1, N1646R, Mar.2000.
- [2] Takahiro Fukuhara, David Singer, “Motion JPEG2000 Final Committee Draft 1.0,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG1, N2117, Mar.2001.
- [3] Majid Rabbani, Rajan Joshi, “An overview of the JPEG2000 still image compression standard,” Signal Processing: image Communication 17, 2002, pp 3-48.
- [4] 久下, “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 ITE Technical Report Vol.25, No.79, pp.33-38, Nov.2001.
- [5] “JPEG2000/Motion-JPEG2000 の技術概要と応用,” Interface11 月号, CQ 出版社, pp.131-142, Nov.2002
- [6] 田邊, 加藤, 渡辺, 富永, “wavelet 変換符号化における量子化歪について,” 画像符号化シンポジウム資料 (PCSJ2002), p-3.02, pp55-56, Nov.2002
- [7] 木村, 荒木, 福原, “Motion JPEG2000 における Visual weighting を用いた画質改善の検討,” 画像符号化シンポジウム資料 (PCSJ2001), p-5.02, pp75-76, Nov.2001.
- [8] 加藤, 田邊, 渡辺, 富永, “Wavelet 符号化を動画に適用した際の視覚的歪みに関する検討,” 電子情報通信学会 2003 年総大会講演論文集, Mar.2003.
- [9] 加藤, 田邊, 渡辺, 富永, “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,” 情報科学技術フォーラム 2003 講演論文集, Sep.2003.