

複数の圧縮画像を用いた量子化誤差低減効果および主観画質向上の検証

板垣 秀星[†] 鈴木 惇也[†] 境田 慎一[‡] 井口 和久[‡] 甲藤 二郎[†]

[†]早稲田大学基幹理工学研究科 〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 55N-06-09B

[‡]NHK 放送技術研究所 〒157-8510 世田谷区砧 1-10-11

E-mail: [†]{junya, itagaki, katto}@katto.comm.waseda.ac.jp, [‡]{sakaida.s-gq, iguchi.k-eq}@nhk.or.jp

あらまし 近年, MDC(Multiple Description Coding)[1]やDSC(Distributed Source Coding)[2]といった新しい画像符号化の研究が進められている. 筆者らはMDCの考えに基づき, 画像を複数の手法で圧縮し, それらを合成することによりPSNRが向上することを示す. また本稿では, 圧縮画像の新しい合成手法を提案すると共に, 主観評価実験によって, 提案方式の画質改善効果の検証を行う.

キーワード MDC, 画質改善, 量子化誤差

Quantization Error Reduction using Multiple Compressed Images and Verification of its Subjective Quality Improvement

Shusei ITAGAKI[†] Junya SUZUKI[†] Shimichi SAKAIDA[‡] Kazuhisa IGUCHI[‡] Jiro KATTO[†]

[†]Fundamental Science and Engineering, Waseda University 55N-06-09B 3-4-1 Okubo, Shinjyuku-ku, 169-8555 Japan

[‡]NHK Science & Technical Research Laboratories 1-10-11 Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, Japan 157-8510

E-mail: [†]{junya, itagaki, katto}@katto.comm.waseda.ac.jp, [‡]{sakaida.s-gq, iguchi.k-cq}@nhk.or.jp

Abstract Recently, researches on new image encoding techniques such as MDC (Multiple Description Coding) and DSC (Distributed Source Coding) are advanced. We show that PSNR values are improved by synthesizing multiple compressed images based on the MDC technique. Furthermore, in this paper, we propose a new synthetic technique of compressed images and verify an effect of image quality improvement of the proposal method by subjective evaluation experiments.

Keyword MDC, Image quality improvement, Quantization error

1. はじめに

近年, 画像の符号化においてMDC (Multiple Description Coding)[1] や分散映像符号化(DVC: Distributed Video Coding)[2]の様に, 付加情報や複数の圧縮画像の活用によってデコーダ側で復号画像の画質改善を行う手法に関する研究が盛んに行われている. 筆者らもまた, 一枚の画像を互いに独立に圧縮符号化し, その復号画像を重ね合わせることで量子化誤差を低減する手法を提案し, 動画画像符号化への拡張を含めて, 検討を進めている[4].

本稿では, 特に異なる圧縮アルゴリズムを適用した複数枚の画像合成に関して, PSNRの改善効果と主観評価を用いた画質の改善効果について報告を行う. 2章では, 画像合成による量子化誤差低減効果の処理の概要とPSNR評価について述べ, JPEG

圧縮のみを用いた場合の実験結果と, JPEG 圧縮とJPEG 2000圧縮を用いて画像合成を行った場合の実験結果を示す. 3章では, 画質評価に主観評価を使用し, 画像合成の際に視覚特性を考慮した合成方式の提案を行うと共に, 各種の画像合成方式に対する主観評価の実験結果を報告する.

2. 関連研究

MDC[1]は, 一つの情報を複数の手法(記述)で符号化し, 受信側ではすべて, もしくは一部の記述を用いて復号する, という方式である. 特にネットワーク応用が想定されており, 複数の記述をマルチパスで伝送し, 受信者は必要な記述のみ受信することで, 環境に合わせた柔軟なビットレート配信が可能になる.

[3]ではこのMDCの原理に倣い、複数系統による伝送を前提にしたMPEG-2の映像符号化・伝送方式が提案されている。この方式では、入力映像に対して時間方向の予測構造と空間方向のブロック位置を変化させ、受信側で平均化することでPSNRが改善されることが示されている。また、特に2系統の場合について、PSNRの改善効果に関する理論式も導かれている。また[7]でも同様に、画像を複数の符号化方式で圧縮・送信し、異なる圧縮ストリームを受信した場合に画質の改善が図れる不確定性符号化と呼ばれる方式が提案されている。

一方、JPEG圧縮やMPEG圧縮では画像を8×8ブロックに分割し、DCT変換を行っていることから、ブロックひずみが発生する。このブロックひずみの緩和を切り口とする研究が各種行われており、まず[8]では、JPEG圧縮を対象に、復号側で画素シフトした複数枚の再圧縮画像を重ね合わせることで、ブロックひずみが緩和されるだけでなく、復号画像のPSNRも改善される効果が報告されている。また[9]では、Motion JPEGにおいて、フレーム毎に画素をシフトして圧縮し、復号画像を非線形フィルタ処理して平均化することで、ブロックひずみとPSNRが改善されることが報告されている。[10]もまたMotion JPEGを対象とし、隣接する3フレーム間で動き補償を行い、変換領域の雑音解析に応じて平均化を行うことでPSNRの改善を図る方式が提案されている。

筆者らも、MDC、ならびに雑音除去(denoising)としての観点から、互いに異なる圧縮方式を適用した復号画像の重ね合わせによる量子化誤差低減手法に関する検討を行い、動画符号化への拡張も検討を進めている[4][11][12]。本稿では特に、互いに異なる圧縮アルゴリズムを用いた場合の実験結果と、合成画像の主観評価実験に関する評価結果に関する報告を行う。

3. 画像合成による量子化誤差低減効果

3.1. 処理の流れ

図3.1に処理の流れを示す。

(1)原画像から画素シフトを行った複数の画像をサブ画像として切り出す。

(2)サブ画像において各々画像圧縮伸張を行う。

(3)画素位置を合わせて合成する(重み加算する)。このとき、画素シフトは縦8シフト分、横8シフト分となるため、計64枚の画像を切り出す。これはJPEG圧縮において8×8ブロックで行っている事に由来する。一枚の画像では量子化誤差がそのまま現れるが、複数の画像を合成することにより、誤差が

平均化される(低減される)効果が期待される。

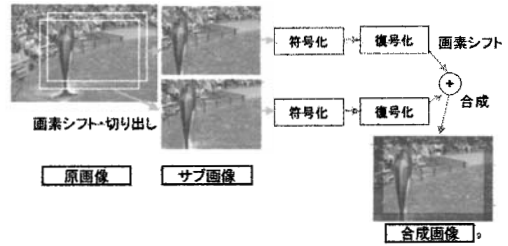


図 3.1 画像合成実験の処理の流れ

3.2. 量子化誤差低減効果の定式化

文献[11]の定式化に、量子化誤差間の相関を反映した結果を以下に示す。 x を真の画素値、 $q(k)$ を k 番目の圧縮方式の量子化誤差($k=1,2,\dots,K$)、 $w(k)$ を重み係数、 \bar{x} を推測画素値とすると、量子化誤差の分散は次式で与えられる。

$$E[(x-\bar{x})^2] = E\left[\left(\sum_{k=1}^K w(k)q(k)\right)^2\right] \quad (1)$$

ここで $\mathbf{q} = (q(1), q(2), \dots, q(K))^T$ 、 $\mathbf{w} = (w(1), w(2), \dots, w(K))^T$

$$\mathbf{R} = E[\mathbf{q}\mathbf{q}^T] = \begin{bmatrix} E[q(1)^2] & E[q(1)q(2)] & \dots & E[q(1)q(K)] \\ E[q(2)q(1)] & E[q(2)^2] & & E[q(2)q(K)] \\ \vdots & & \ddots & \\ E[q(K)q(1)] & E[q(K)q(2)] & & E[q(K)^2] \end{bmatrix}$$

$\mathbf{u} = (1, 1, \dots, 1)^T$ とすると、(1)式を最小化する重み係数は

$$\mathbf{w}_{opt} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{R}^{-1} \mathbf{u} \quad (2)$$

量子化誤差分散の最小値は

$$\sigma_{q,min}^2 = \mathbf{C}^2 \cdot \mathbf{u}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{u} \quad (3)$$

で与えられる。ただし、 $\mathbf{C} = 1/\text{sum}(\mathbf{R}^{-1}\mathbf{u})$ である。直感的に明らかなように、異なる圧縮方式の量子化誤差の相関が小さいほど、重ね合わせによる量子化誤差の低減効果は大きくなる。

3.3. JPEG 評価実験

評価実験では、標準静止画像よりEiffel, Chromakey, Tulipの三枚を用いた。これらの画像から複数枚のサブ画像を切り出し、JPEG圧縮し、1枚(合成無し)から64枚まで合成する。このときの画像の合成枚数とPSNRの向上の効果関係を図2.2に示す。この結果、少ない合成枚数であってもPSNRの向上が確

認められた。また、画像によらず量子化誤差が低減されている事が確認できる。

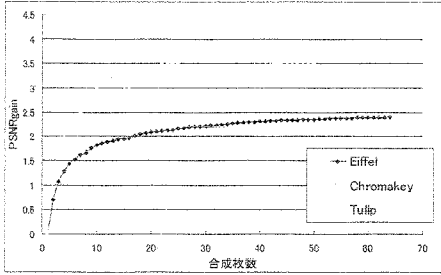


図 2.2 JPEG 画像の合成枚数と PSNR [11]

3.4 JPEG/JPEG-2000 混合評価実験

ここでは JPEG 2000 圧縮も使用し、重ね合わせによる PSNR の改善効果を検証する。具体的には、PSNR をほぼ同じ値にそろえて二枚の画像を圧縮・伸張・合成し、どの程度 PSNR が向上するかを確認する。実験に用いた画像は高周波成分を多く含む画像 (ITE 標準動画像 No.38: “Green_Leaves”) と、ほとんど含まない画像 (No.36: “Skyscrapers”) の二種類である。この二種類の画像をそれぞれ PSNR がほぼ同じ値になるように JPEG と JPEG 2000 で圧縮を行い、圧縮画像を得る。

図 3.3 に画像合成における PSNR の向上値の結果を示す。この実験結果より、低周波成分の多い画像では、JPEG 同士や JPEG 2000 同士で合成を行った場合より、圧縮手法の異なる画像を合成したほうが 1dB 以上、PSNR が向上する事が確認された。また、高周波成分を多く含む画像においても、低周波成分を多く含む画像よりは向上値は小さいものの、JPEG 同士で合成するよりも異なる圧縮方式である JPEG 2000 を合成に用いる事により PSNR が向上することが確認できる。

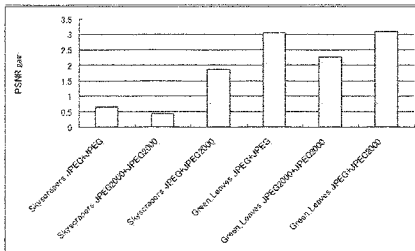


図 3.3 JPEG/JPEG-2000 混合合成画像と PSNR [4]

この結果については、[4]において、圧縮した画像

の重ね合わせの際に生じる量子化誤差の特性と、MDC 的な考えに基づく複数の圧縮手法で圧縮した二枚の画像の合成による PSNR 改善効果について検討を行なっている。

4.重み付け合成と主観評価実験

3 章では合成結果の品質指標として PSNR を用いてきた。しかし、この合成手法では PSNR は改善されるが、ブロックノイズなどの主観的に目立つ劣化が残る。そこで、主観評価による画質の劣化について考察を行う。JPEG 圧縮ではブロックノイズやモスキートノイズなど高周波成分が支配的な主観的なひずみが表われる。ブロックノイズはマッハ効果などにより画像の低周波成分を多く含む領域において顕著になる傾向がある。逆に JPEG 2000 圧縮ではインクをにじませたような低周波成分に主観的なひずみが表われる。このひずみは画像の高周波成分を多く含む領域において顕著になる傾向がある。このように、実際に量子化誤差が生じる周波数成分と、視覚的な劣化の生じる周波数成分は異なると考えられる。3 章では画像全体に対し、JPEG と JPEG 2000 圧縮画像の単純平均合成を行っていた。そこで本章では上記の符号化劣化についての考察を反映して画像を合成する手法を提案する。

4.1.提案手法

提案手法では、二枚の画像を合成する際に低周波を多く含む領域と高周波を多く含む領域に分割し、低周波成分を多く含む領域では JPEG 2000 に重みを置き、高周波成分を多く含む領域では JPEG に重みを置いて合成する。提案手法は、画像を 8×8 のブロックに分割し、それぞれのブロックの二次元 DFT の絶対値和で重みを決定する。各々のブロックの出力値 $Y(i,j)$ を以下の式で表す。

$$Y(i,j) = \left(\frac{x}{16320}\right)^w \text{JPEG}_{(i,j)} + \left\{1 - \left(\frac{x}{16320}\right)^w\right\} \text{JPEG2000}_{(i,j)}$$

ここで x はブロックの DFT 絶対値を 0~255 に正規化した値の和であり、大きいほど高周波成分を多く含むこととなる。16320 はすべての係数が 255 の場合に相当し ($16320=255 \times 8 \times 8$)、また w は重み付け定数であり、 $0 \sim \infty$ の値をとる。

4.2.主観評価実験

評価実験は、ITE 標準動画像 No.38(Skyscrapers) の 1 フレーム (図 4.1) 及び、ITE 標準静止画像から Eiffel, Chromakey, Tulip を用いた。Skyscrapers は空の部分では低周波成分を多く含み、ビルの部分では高

周波成分を多く含む。この画像を JPEG と JPEG 2000 でそれぞれ圧縮し、合成する。このとき、各々の画像の圧縮の条件として JPEG 圧縮と JPEG 2000 圧縮の PSNR をおおよそ揃えている。ただし、圧縮方式ごとに PSNR を揃えているのみで、異なる画像間においても PSNR を揃えているわけではない。

単純に二枚の画像の平均をとった結果の拡大図を図 4.2 に示す。また、本手法で $w=1/8$ で合成した結果の拡大図を図 4.3 に示す。尚、図 4.2 及び図 4.3 では違いが分かるようコントラストを調整してある。また、Skyscrapers では 38 人の被験者を用い、Eiffel, Chromakey, Tulip の実験においては 24 人の被験者を用いた。評価方法は原画像と処理画像を同時に見せ、画質を 5 段階(1:非常に悪い,2:劣化がかなり邪魔,3:劣化が少し邪魔である,4:原画像と区別がつくが気にならない,5:原画像と殆ど区別がつかない)で評価を行った。この評価方法は、被験者に原画像がどちらかを知らせる点と、5 段階で評価する点において ITU-R BT.500[5]で定められている DSIS (Double-Stimulus Impairment Scale, 二重刺激劣化尺度)と共通している。評価実験の結果の平均スコアを図 4.4 に示す。図 4.2 では空の部分に JPEG 圧縮時に発生したブロックノイズが残っている。図 4.3 では、空の平坦な部分では JPEG 2000 に重みをおいて合成を行っているため、空のブロックノイズが消えている。ビルのディテールなど高周波領域においてはあまり変化が見られなかった。



図 4.1 Skyscrapers の 1 フレーム

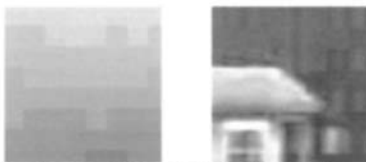


図 4.2 単純平均における結果

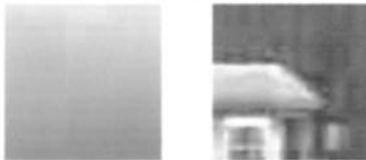


図 4.3 提案手法による結果

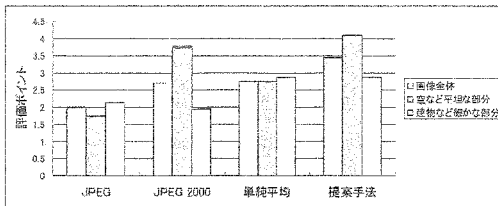


図 4.4 Skyscrapers の主観評価実験の平均スコア

Eiffel, Chromakey, Tulip の実験においては、JPEG, JPEG 2000 の他に H.264 のイントラモードでの比較も用いた。評価実験の結果を図 4.5, 4.6, 4.7 に示す。

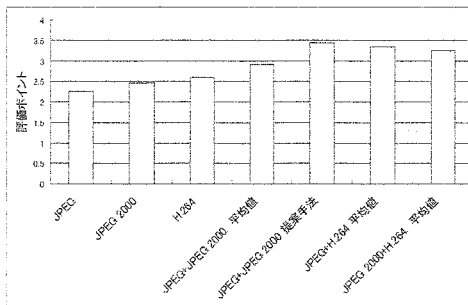


図 4.5 Eiffel の主観評価実験の平均スコア

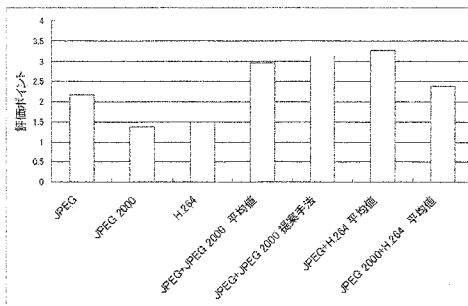


図 4.6 Chromakey の主観評価実験の平均スコア

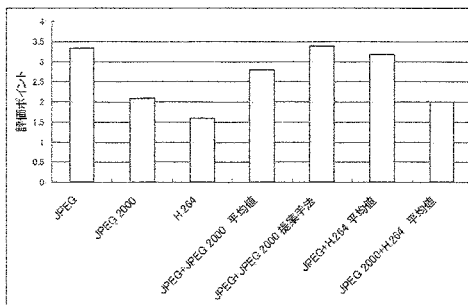


図 4.7 Tulip の主観評価実験の平均スコア

Eiffel では Skyscrapers 同様、低周波領域と高周波領域が同程度存在する。そのため、主観評価のポイントにおいても、Skyscrapers と同様の傾向が見られ、提案手法が一番高い。Chromakey は画像全体において低周波領域が占める割合が大きい、人物の顔が重要な情報を持つため、顔部分に劣化が現れている JPEG 2000 及び H.264 Intra において評価が低くなっている。また、図 4.8 に示すように JPEG 2000 圧縮の方が顔部分の劣化が激しいため、画像合成時における評価が JPEG 2000 を用いた提案手法よりも JPEG と H.264 Intra の単純平均の方が高いという結果となった。一方、Tulip は画像全体において高周波成分が占めるため、JPEG 圧縮におけるブロックノイズやモスキートノイズが目立たない。そのため、JPEG 圧縮のみでの評価が提案手法と同程度の高さを得た。



図 4.8 Chromakey における顔部分の拡大図 (左:JPEG 2000 圧縮 右:H.264 Intra 圧縮)

図 4.9 には、図 4.5~4.7 の主観評価に用いた画像の Y 成分の PSNR を示す。ここでは JPEG 圧縮画像を基準とし、それに対する PSNR 値の増減をプロットしている。また、凡例の括弧中に示した値は、各 JPEG 圧縮画像の PSNR 値である。提案する重み合成方式は PSNR 値としては下がっているものの、主観評価結果としては良好なスコアを獲得している。

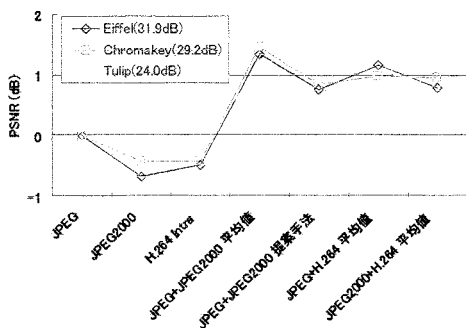


図 4.9 主観評価実験に用いた画像の PSNR 値

6.まとめと今後の課題

本稿では JPEG 圧縮された画像と JPEG 2000 圧縮された画像を重み付けして合成することにより主観的に画質が改善されることを示した。また、H.264 での圧縮についても同様の実験を行い、効果を検証した。今後の検討として、重み係数 w の決定法や SSIM (Structural SIMilarity) [6]での評価があげられる。また、本検討の実際の圧縮応用として、偶数・奇数フレームや空間サブサンプリング画像毎に圧縮方式を切り替える符号化応用の検討を進めていく予定である。

文 献

- [1]B.Girod et al, "Distributed Video Coding," Proc. of the IEEE, Jan.2005..
- [2]V.K.Goyal, "Multiple Description Coding: Compression Meets the Network," IEEE Signal Proc. Magazine, Sep.2001.
- [3]川田亮一, 松本修一, "フラットマルチスケーラブル高効率高信頼度映像伝送方式", 信学論 (B), vol.J84-B, no.3, pp.621-631, Mar. 2003.
- [4]板垣他: "複数の圧縮画像の合成時における PSNR 改善効果の一検討", PCSJ2007, P-2.09, Nov.2007.
- [5]Rec. ITU-R BT.500-11: "Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures", 2002.
- [6]Zhou Wang: "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 4, Apr. 2004.
- [7]石川, 渡辺: "画像の不確定性符号化について", PCSJ2006, P-3.02, Nov.2006.
- [8]A.Nosratinia: "Denoising JPEG Images by Re-Application of JPEG", Proc. of IEEE Multimedia Signal Processing, Dec.1998.
- [9]伊山, 荒川: "非線形デジタルフィルタと画面シフトを用いた Motion JPEG の画質改善", 信学技報, SIS2006-2, Jun.2006.
- [10]D.T.Vo and T.Q.Nguyen: "Quality Enhancement for Motion JPEG using Temporal Redundancies," IEEE ICIP 2007, Sep.2007.
- [11]鈴木他: "動き検出を用いた量子化誤差低減に基づく分散映像符号化", 情報処理学会 AVIM 研究会, AVIM-58-5, Sep.2007.
- [12]鈴木他: "付加情報を用いた符号化画質改善手法に関する検討", 情報処理学会 AVIM 研究会, AVIM-59-9, Dec.2007