

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

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

[†]早稲田大学 理工学術院 情報理工学専攻 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

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

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

あらまし 近年検討の盛んな分散映像符号化 (DVC: Distributed Video Coding) の枠組みの元に、画素の重ね合せによって PSNR の改善を実現する動画像符号化方式を提案する。まず、一枚の画像を互いに独立した符号化方式で圧縮し、それらの復号画像を重ね合わせることで、量子化誤差を統計的に低減できる効果を示す。次に、この効果に基づき、主に復号側の処理として、動き検出と画素シフトを活用した動画像符号化方式の検討を行う。最後に、実画像を用いた実験結果として、提案方式に基づく Motion JPEG 拡張方式と H.263+ 拡張方式の PSNR 改善効果を示す。

キーワード 分散映像符号化、量子化誤差、動き検出、画素シフト

Distributed Video Coding based on Quantization Error Reduction using Motion Estimation

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

[†]Dept. of Computer Science, Waseda University 3-4-1 Okubo, Shinjuku, Tokyo 169-8555, Japan

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

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

Abstract This paper presents new video coding methods which improve PSNR of decoded pictures by mixing corresponding pixels of neighboring frames based on the distributed video coding framework. Firstly, we show that we can statistically reduce quantization errors by mixing distorted pixels in the same image which are independently compressed. Secondly, based on this principle, we propose new video coding methods which exploit motion estimation and intentional pixel shift mainly at a decoder side. Finally, we show several experimental results using Motion JPEG and H.263 extensions to actual image sequences and validate effectiveness of our proposed methods.

Keyword Distributed Video Coding, Quantization Errors, Motion Estimation, Pixel Shift

1. はじめに

近年、分散映像符号化 (DVC: Distributed Video Coding) や MDC (Multiple Description Coding) などの新たな画像符号化方式に関する検討が盛んに進められている。分散映像符号化 (ならびに分散情報源符号化) では、Wyner-Ziv の原理に基づき、互いに相関のある情報源の圧縮ストリームをジョイント復号することによって復号品質の改善を試みる[1,2]。検討例の多い方式は、送信側では、数枚毎のキーフレームをフレーム内符号化し、間のフレームはヒント情報 (主に誤り訂正符号) のみを送信する。受信側では、キーフレームを復号し、間のフレームは、キーフレーム間の動き内挿画像とヒント情報を用いて復号を試みる。分散映像符号化ではまた、動き検出のような重い処理の復号側へのシフトも利点として強調される。また MDC では、映像情報源は複数の "記述" に分割されて送信され、

受信側では、その中のいくつかの記述を受信することで現情報の復元を試みる[3]。このとき、受信する記述数が多いほど、復号画質は改善される。あるいはまた、類似する研究例として、超解像 (Super-Resolution) の検討が盛んに行われている[4]。これは主に、異なる視点から撮影した複数枚の低解像画像に対して、画像間の対応点探索や動き検出などを適用・活用して、(空間的に) より高解像度の画像を作成する手法である。

一方、ブロック歪みやフリッカ雑音に代表される圧縮画像の雑音除去 (ポストフィルタ) 方式としても多種多様な検討が行われおり、本稿に関連する研究例としては以下が挙げられる。まず[5]では、JPEG 圧縮画像を対象に、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、圧縮画像の画質改善が図れる効果が報告されている。また[6]では、Motion JPEG 圧縮画像を対象に、フレーム毎に画素をシフトし、復

号画像を非線形フィルタ処理することで画質改善が図れる効果が報告されている。ただし、これらの方式はブロック歪みの低減を目的としたもので、画像全体としての量子化誤差の低減、すなわち PSNR の改善を目的とするものではなかった。次に、[7]と[8]では、Wavelet 変換に基づく Motion JPEG 2000 画像におけるフリッカ雑音の低減方式が検討されている。ここでは隣接フレーム間で静動領域判定を行い、特に静領域と判定された領域で、同一位置の画素の加重平均を取ることでフリッカ雑音を低減できることが示されている。ただし、これらの方式もまた、フリッカ雑音の低減を目的としたもので、画像全体の量子化雑音の低減効果に言及したのではなかった。最後に[9]は、MDC 的なメカニズムを想定し、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を図れる不確定性符号化と呼ばれる方式を提案している。この方式は、特定の圧縮歪みに特化せず、画像全体の PSNR の改善効果に言及している点で、本稿と同様の目標を指向している。ただし、本稿とは異なり、定常的な圧縮効率の改善を実現するものではなかった。

本稿では、以上の研究背景の下に、主に復号側の操作として、隣接するフレーム間に存在する相関を活用した新たな動画画像符号化方式の検討を行う。提案方式は、まず分散映像符号化として、ジョイント復号によって PSNR を改善するための、符号器の独立性の活用を試みる。これは、後述するように、隣接フレーム間で対応する画素に対して互いに異なる圧縮を施し、量子化歪みを含む復号画素を重ね合わせる(厳密には重み付き加算を施す)ことで実現される。この操作は、超解像として見れば量子化方向の高解像度化であり、また MDC としては、各フレームを複数の”記述”とみなしていることになる(理想的には、活用フレーム数の増加と共に PSNR の改善効果も増大する)。

具体的には以下の報告を行う。2 章では、一枚の画像から複数枚の小画像を切り出し、それらを圧縮・復号後、重ね合わせることで、量子化誤差を統計的に低減できる効果を示す[10]。3 章では、2 章に述べた原理を動画画像符号化に適用し、まず Motion JPEG 等のフレーム間予測を用いない方式を対象に、受信側の動き検出と、送受信側双方の画素シフトを活用する新たな動画画像符号化方式を提案する。次に、H.263+等のフレーム間予測を用いる方式を対象に、受信側において、送信側で使用していない予測方向の動き検出を活用する新たな動画画像符号化方式を提案する。4 章では、3 章に述べた二方式に対して、実画像を用いたシミュレーション実験結果を示し、提案方式の有効性を実証する。最後に 5 章では、本稿のまとめを述べる。

2. 画素重ね合せに基づく量子化誤差低減効果

2.1. 原理と予備実験

分散映像符号化(ならびに分散情報源符号化)の根幹を成す Wyner-Ziv の定理に従えば、互いに相関のある情報源 X と Y を独立に符号化する場合、ジョイント復号を前提に、ある量子化歪みを許容する最小符号量は、それぞれの情報源の許容量子化歪みを実現する最

小符号量よりも小さくできることが保証されている(特にガウス情報源の場合は、 Y が既知とした場合の X のレート歪み限界まで圧縮できる)[1,2]。これは、別の見方をすれば、互いに相関のある複数の情報源を符号化した場合、ジョイント復号によって、歪みの低減(量子化誤差の低減)が図れることを示唆している。この効果を確認するために、図 1 に示す実験を行った。

図 1 では、一枚の静止画像を入力とし、これから画素位置をシフトした複数枚の小画像を切り出し、それぞれの小画像を圧縮・復号し、画素位置を元に戻して重ね合わせることで再構成画像を作成する。具体的な圧縮手段としては、DCT ベースの JPEG と Wavelet ベースの JPEG 2000 を使用し、それぞれ 8×8 のブロックを単位に符号化が行われることから、重ね合わせる小画像の個数は最大 64 個 (8×8 個)とした (Wavelet ベースの JPEG 2000 の場合も、量子化とエントロピー符号化は 8×8 ブロックを単位に行われる)。このとき、画素シフトの効果によって、それぞれの 8×8 ブロックは、互いに独立した圧縮方式が適用されたものと考えることができる。

図 2 は、1 枚の静止画像として圧縮した場合の PSNR に対して、最大 64 枚の小画像を重ね合わせた場合の PSNR の改善効果を示している。この図から、(a) JPEG、JPEG 2000 共に PSNR の改善効果が認められること、(b) 1、2 枚の画像を重ね合わせることで急激な PSNR の改善が確認できる一方で、最大 64 枚の重ね合わせを行っても PSNR の改善量は 3dB 弱に留まること、などがわかる。このほか、画像に応じて、偶数個の画素シフトのときに PSNR の改善効果が大きくなる現象を確認しており、その理由の検討を進めている。

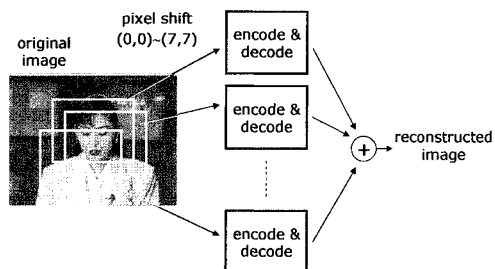


図 1: 画素シフトと最大 64 枚の小画像の重ね合せ

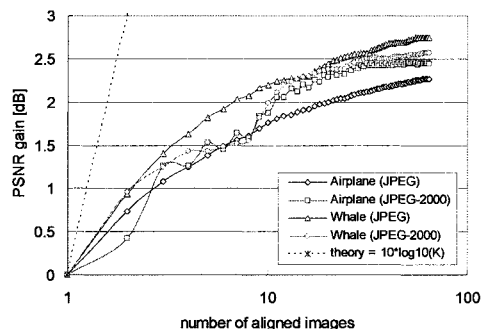


図 2: 画素重ね合せに基づく量子化誤差低減効果

2.2. 簡易な理論基盤

2.1 節の結果の簡単な理由付けについて検討を行う。まず x を真の画素値、 $\hat{x}(k)$ を k 番目の圧縮方式を施した場合の復号画素値、 $q(k)$ をその量子化誤差、とする。すなわち、

$$\hat{x}(k) = x + q(k) \quad (1)$$

次に、 K 個の復号画素値 $\hat{x}(k)$ の重み付き加算和を求める。

$$\tilde{x} = \sum_{k=1}^K w(k) \hat{x}(k) = x + \sum_{k=1}^K w(k) q(k) \quad (2)$$

ここで、 \tilde{x} は推測画素値、 $w(k)$ は重み係数であり、

$$\sum_{k=1}^K w(k) = 1 \quad (3)$$

が成立する。

ここで、以下の量子化誤差分散の最小化問題を考える：(3)式の拘束条件下における量子化誤差分散

$$E[(x - \tilde{x})^2] = E\left[\left(\sum_{k=1}^K w(k) q(k)\right)^2\right] \quad (4)$$

の最小化。この解は、Lagrange の未定乗数法を用いることで容易に求めることができ、 K 個の量子化誤差が完全に無関係な場合、すなわち

$$E[q(k)q(l)] = 0 \quad (k \neq l) \quad (5)$$

が成立する場合は、重み係数の最適解が

$$w_{opt}(k) = \frac{1}{\sigma_{q(k)}^2 \cdot \sum_{l=1}^K \frac{1}{\sigma_{q(l)}^2}} \quad (6)$$

で与えられ、かつ、量子化誤差分散の最小値は

$$\sigma_{q(k),min}^2 = \frac{1}{\sum_{k=1}^K \frac{1}{\sigma_{q(k)}^2}} \quad (7)$$

で与えられる。ここで、 $\sigma_{q(k)}^2$ は k 番目の量子化誤差の分散を表す。(6)式において、 k 個の量子化誤差分散が等しい場合は、重み係数の最適解は $1/K$ で与えられ、これは 2.1 節の平均化処理に相当する。一方、次章に述べるフレーム間相関の場合のように、 k 個の量子化誤差分散にフレーム間距離に応じた偏りが見られる場合は、(6)式に従って、その偏りに応じた適切な重みを適用する必要がある。一方、 K 個の量子化誤差が完全に一致する場合、すなわち同じ K 個の圧縮器の出力を合成した場合は、重み係数の値に関わらず、量子化誤差分散は $\sigma_{q(k)}^2$ のままである(重ね合せの効果がない)。

一方、(7)式に従えば、 K 個の量子化誤差が完全に無相関で、かつその分散が等しい場合、 K 枚重ね合わせることで量子化誤差分散は $1/K$ になり、PSNR は $10 \log_{10} K$ dB (2枚で 3dB、64枚で 18dB) 改善されることになるが、図 2 において、そこまでの改善効果は観測されていない。これはすなわち、(5)式で相互相関を 0 (完全独立: 図 2 中の理論曲線)、あるいは 1 (完全依存: 図 2 中のゲイン 0 の x 軸) としない定式化が必要であることを示唆するが、この問題については、本稿では今後の検討課題とする。

3. 提案方式

本章では、前章に述べた画素重ね合わせによる量子化誤差の低減効果を活用した動画像符号化方式について報告を行う。はじめに、符号器の独立性を実現しやすいフレーム内符号化系 (Motion JPEG、Motion JPEG 2000 等) の検討を行い、続いてフレーム間符号化系 (H.263+、H.264/AVC 等) の検討を行う。

3.1. Motion JPEG 拡張

前章に述べた量子化誤差の低減効果は、画素のシフトが、画素単位に互いに独立した圧縮方式を適用したことに等価になることを基礎にしている。そこで、フレーム内符号化 (Motion JPEG 等) ベースの動画像符号化で同様の効果 (符号器の独立性の効果) を得るために、以下の二方式の適用が考えられる。

- 受信側での動き検出
- 送受信協調による強制的画素シフト

図 2(a)は、受信側における動き検出の適用例を示している。ここで、実線は順方向の動き検出、点線は逆方向の動き検出を示す。また、参照フレーム数は、順方向、逆方向とも最大 2 フレームの場合を示している (もちろん制限はない)。受信側における動き検出の利点として、動領域については、動き検出により異なるフレーム内の画素が正確に整列 (アラインメント) できる場合には、実質的に画素シフトを適用したとみなせるため、量子化誤差の低減効果が期待できる。その一方で、静止領域では、まったく同じ符号化方式を適用したと考えられるため、量子化誤差の低減効果は期待できないことが予想される。また、前章の結果から、片方向検出よりも、より多くの参照ブロック (小画像に相当) を活用できる両方向検出の方が、量子化誤差低減効果が大きいことが予想される。

図 2(b)は、強制的な画素シフトの適用例を示している。動き検出が受信側のみでの処理で実現できるのに対して、画素シフトは送信側と受信側の協調動作が必要になる。処理自体は非常に簡単で、送信側で (m,n) 画素のシフトを行った場合には、受信側ではそのシフトを元に戻す操作を実行する。この画素シフトは、前述の動き検出の静領域に対する弱点を緩和する効果が期待される。すなわち、画素をシフトした後に符号化を施すことで、全く静止した画像においても量子化誤差の分布が分散し、重ね合わせによる量子化誤差の低減効果が期待される (もちろん、運悪くシフト量が動き量に一致した場合には効果は期待できない)。また、受信側の動き検出のため、ゼロベクトル以外の動きの発生による符号量の増加の問題もない。その一方で、画素シフトは送信側の協力が必要になることから、既存の Motion JPEG ストリームへの適用は不可能になり、また、画素シフトに伴う画像周辺部の情報廃棄も不可避になる (環状シフトの適用も考えられるが、多くの画像で圧縮効率の劣化が予想される)。

図 2(c)は、動き検出と強制的画素シフトの組み合わせによる Motion JPEG 拡張の送受信構成を示している。送信側では、画素シフトを施した後に JPEG 圧縮を実行する。受信側では、JPEG 復号の後に画素シフトと

動き検出を実行し、画素を整理した後に重ね合わせを行う。本稿では、実現の容易性から、動き検出は 16x16 の半画素ブロックマッチングを行い、重ね合わせ処理はマクロブロック単位に判断・実施している。

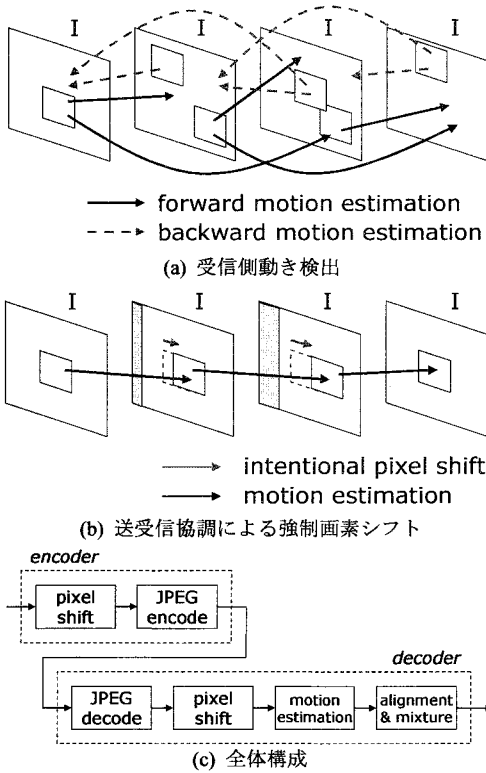


図 2: Motion JPEG 拡張

ただし、動き検出が必ず成功するとは限らず、逆にその検出が外れた場合は大きな画質劣化を引き起こすこともあり得る。このため、重ね合わせの実行判断に際しては、次の拘束条件を課している。

$$\sum_{macroblock} |I_j(n) - I_j(n-1)| \leq \alpha \cdot quant(n) \quad (8)$$

ここで、 $I_j(n)$ は第 n フレーム第 j マクロブロックの輝度値を、 $quant(n)$ は圧縮ストリームから得られる第 n フレームの直流成分の量子化ステップサイズを示す。また、 α は実行対象を拘束する定数で、以下の実験では 2 (量子化ステップサイズの 2 倍のレンジ) としている。ただし、今回の実験では、動き検出実行時のイントラインター判定も併用しているため、その時点である程度の誤差回避は図られており、画像とレート設定によっては、 α を大きく設定した方が PSNR の改善効果が大きくなることもある。

3.2. H.263+拡張

フレーム間符号化 (H.263+等) ベースの動画画像符号化では、符号化で用いるフレーム間相関の活用自体が符号化器間の依存性を高める操作であるため、前節の

フレーム内符号化ほどの PSNR の改善効果は期待できない。実際、フレーム間の予測構造として IPP 構造を想定し、送信側 (符号化側) から与えられる動きベクトルを用いて画素のアライメントと重ね合わせを行った場合は、量子化誤差の低減効果が全く得られない (図 7 参照)。そこで、図 3 に示すように、符号化側で使用していない方向の動き検出の利用について検討を行なった (図 3 で、実線は順方向ベクトル、点線は逆方向ベクトルを示す)。この場合、順方向ベクトルと逆方向ベクトルが完全に一致した場合は量子化誤差の低減効果は期待できないが、順方向ベクトルと異なる逆方向ベクトルを検出した場合は量子化誤差の低減効果が期待される。

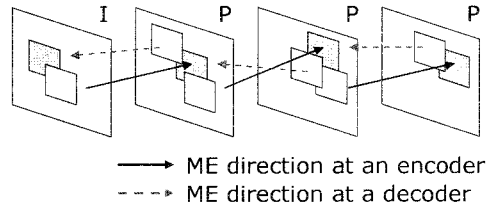


図 3: H.263+拡張 (受信側の逆方向動き検出)

4. 実験結果

本章では、実画像を用いたシミュレーション結果について報告を行う。実験では 9 種類の CIF サイズ動画画像 (Akiyo, Children, Coastguard, Container, Flower Garden, Mobile & Calendar, News, Sean, Weather)、及び 4 種類の 720x480 サイズ動画画像 (Cognac & Fruit, Intersection, Whale Show, Swinging) を使用した。また、JPEG 圧縮は jpeglib を、H.263+圧縮は TMN8 をベースとし、それぞれに提案する処理を追加した。

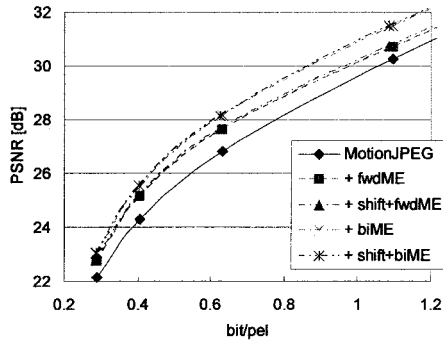
4.1. Motion JPEG 拡張

4.1.1. 動き検出と強制画素シフトの効果

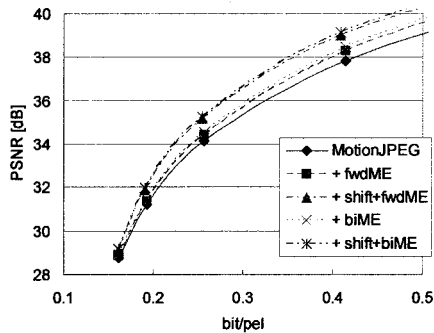
図 4 に、参照フレームを片方向 1 枚 (過去フレーム 1 枚)、ならびに両方向 1 枚 (過去・未来フレーム 1 枚ずつ) とした場合の、受信側の動き検出と、送受信協調による画素シフトの PSNR の改善効果を示す。図中で、fwdME は片方向動き検出、biME は両方向動き検出、shift は強制画素シフトを示す。また、画素の重ね合わせに用いる重み係数は、片方向動き検出の場合は (0.5, 0.5)、両方向動き検出の場合は (0.25, 0.5, 0.25) とし (0.5 が現在のフレームの重み係数)、画素のシフト量は、偶数フレームはシフト無し、奇数フレームは右に 4 画素とした。また、動き検出は、TMN8 の 16x16 半画素ブロックマッチングをそのまま流用した。

特に特徴的な結果として、図 4(a) に Flower Garden の結果を、図 4(b) に Cognac & Fruit の結果を示す。Flower Garden は画面全体がパニングしている画像であり、画面全体を動領域とみなすことができ、動き検出の効果が期待される。一方、Cognac & Fruit は、室内の静止背景の前で女性がゆっくりと動いている画像であり、画像の大部分を静領域とみなせることから、画素シフトの効果が期待される。これらの予想通り、Flower

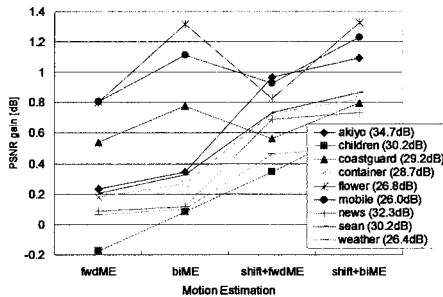
Garden では両方向動き検出が、Cognac & Fruit では画素シフトが、それぞれ良好な PSNR の改善結果をもたらしている。図 4(c)には 9 個の CIF 動画像に対して、片方向動き検出、両方向動き検出、ならびに両者に強制画素シフトを組み合わせた場合の PSNR の改善結果をまとめる (jpeglib の品質パラメータで quality=10 とした場合)。個々の動画像の特徴の説明は省略するが、それぞれの結果は、動領域が多いか (動き検出が有効)、静領域が多いか (強制画素シフトが有効) に応じた結果になっている。また、両方向予測と強制画素シフトの組み合わせは、比較した 4 通りの方式の中で常に最良の結果を示している。



(a) Flower Garden の場合



(b) Cognac & Fruit の場合



(c) CIF 動画像の実験結果 (quality=10)

図 4: 動き検出と強制画素シフトの効果

4.1.2. 拘束パラメータ α の影響

図 5 に、Flower Garden に対して、重ね合せ処理として前節の両方向動き検出と画素シフトの組合せ方式を適用し、(8)式のパラメータ α を変化させた場合の実験結果を示す (前節の実験では $\alpha=2$)。ここで quality は jpeglib の圧縮品質を制御するパラメータであり、1 が最低画質、100 が最高画質になる。図に示すように、高品質圧縮の場合にはパラメータ α の影響が顕著になる。これは、 α を小さくし過ぎると重ね合せ処理の実行頻度が下がり、PSNR の改善効果も小さくなり、逆に α を大きくし過ぎると、重ね合せに有効でないマクロブロックが処理に含まれてしまうためである。一方、低品質圧縮の場合は α に敏感でなくなり、ほぼ一定の PSNR の改善効果が得られている。個々の画像の実験結果は省略するが、画像と品質パラメータの設定に応じて最適な α の値は変動する一方で、おおよそ $\alpha=2 \sim 4$ 程度の値が安定した効果を実現している。

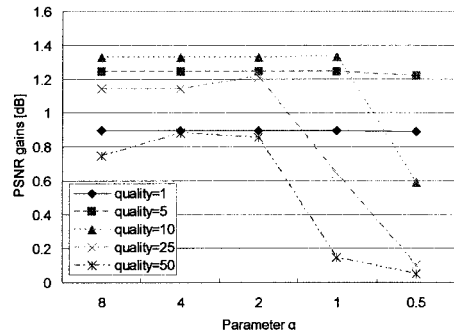


図 5: パラメータ α の影響 (Flower Garden)

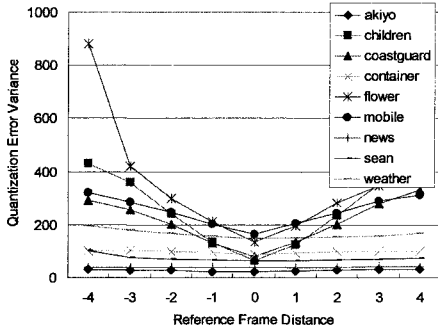
4.1.3. 参照フレーム数とシフトパターンの影響

本節では、参照フレーム数を増やした場合、ならびに画素シフトのパターンを変えた場合の実験結果を報告する。4.1.1 節では、参照フレームの重み係数をヒューリスティックに決定したが、参照フレーム数の増加と共に対応が困難になる。そこで、本節では事前に画像毎の量子化誤差分散の統計量を測定し、(6)式に従って画像毎の重み係数を決定する。さらに、画素シフトのパターンを 3 通り用意し、それらの効果を検証する。具体的には、フレーム番号に対して、(a) 2 の剰余*4、(b) 4 の剰余*2、(c) 8 の剰余*1、を計算してシフト量を決定する。このとき、(a) 2 の剰余*4 の方式は、4.1.1 節のシフトパターンに対応する。

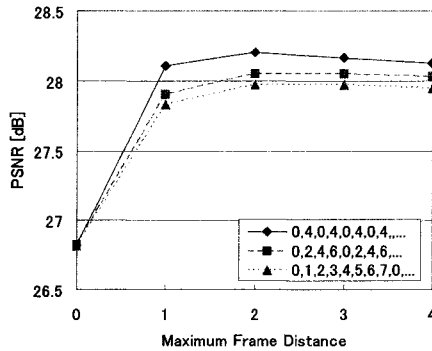
まず図 6(a)は、画像ごとに、現画像に対して、圧縮画像 (参照フレームの場合は動き検出後の動き補償予測画像) の量子化誤差分散を、フレーム間距離をパラメータとして実測した結果である。ここで 0 は現フレームを表し、 $-n$ は過去フレームとの距離、 $+n$ は未来フレームとの距離を表す (この実験では $n=1,2,3,4$)。概して、動きの大きい画像ほどフレーム間距離と共に量子化誤差分散が増大する。

このようにして求めた量子化誤差分散を(6)式に代入し、画像毎に参照フレームの重み係数を決定する。図 6(b)は Flower Garden の結果を、図 6(c)は Akiyo の結

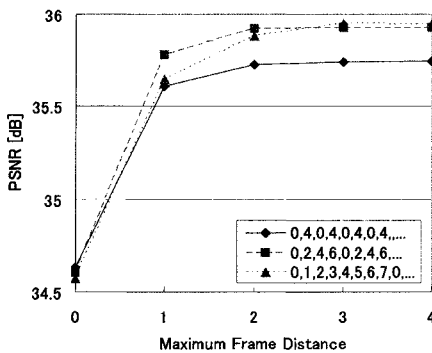
果を示す。横軸は参照フレームとの最大距離を示し、これが n の場合は過去・未来フレームを n 枚ずつ使用する。この結果から、 $n=1$ の場合の改善量が顕著であること、 n を増やしても PSNR が減少することがあること、などがわかる。ただし、現状の方式検討は決して十分とは言えず、性能改善の余地は多い。



(a) フレーム間距離と量子化誤差分散



(b) Flower Garden の場合 (quality=10)



(c) Akiyo の場合 (quality=10)

図 6: 参照フレーム数とシフトパターンの影響

4.2. H.263+拡張

図 7 には、H.263+拡張方式の実験結果を示す。ここで、fwdME(org)は送信側の順方向動き検出結果を用いる方式(参照用)、fwdME は復号側で順方向動き検出を

行う方式、bwdME は復号側で逆方向動き検出を行う方式(図 3 の方式)、biME は復号側で両方向動き検出を行う方式(fwdME と bwdME の組合せ)である。順方向動き検出はすでに送信側で実施されており、符号器の独立性に寄与しない(ゲインが無い)ことが確認できる一方、逆方向動き検出は有効に機能し、複数の物体が左右から中央に向かって動いてくる Coastguard のような画像では、顕著な PSNR の改善を確認できる。

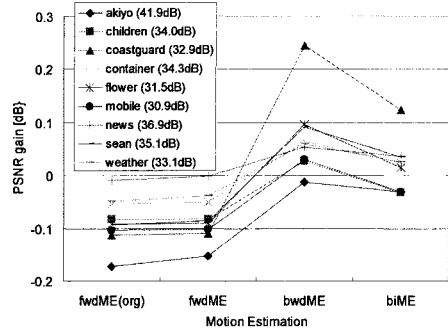


図 7: H.263+拡張の実験結果

5. おわりに

本稿では符号器の独立性に基づく量子化誤差低減効果を活用した動画像符号化方式の検討を行い、Motion JPEG、H.263+それぞれについて PSNR の改善効果を確認した。今後は、画素単位の判定や動き検出アルゴリズムの工夫を含め、さらなる性能改善を探っていく。

文 献

- [1] B.Girod et al.: "Distributed Video Coding," Proc. of the IEEE, Vol.93, No.1, pp.71-83, Jan.2005.
- [2] 高村: "Distributed Video Coding: 古くて新しい符号化原理に基づく動画像符号化", 映像メディア学会誌, Apr.2007.
- [3] V.K.Goyal, "Multiple Description Coding: Compression Meets the Network," IEEE Signal Proc. Magazine, Vol.18, No.5, pp.74-94, Sep.2001.
- [4] S.H.Park et al.: "Super-Resolution Image Reconstruction: A Technical Overview," IEEE Signal Proc. Magazine, Vol.20, No.3, pp.21-36, May.2003.
- [5] A.Nosratinia: "Denoising JPEG Images by Re-Application of JPEG", Proc. of IEEE Multimedia Signal Proc., Dec.1998.
- [6] 栢山, 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.
- [7] 伊谷, 渡辺: "Motion JPEG 2000 における静動領域判定に基づくフリッカー低減手法の検討", 情処研報, 2004-AVM-49(14), Jul.2005.
- [8] 村田, 菊池, 村松: "ウェーブレット変換符号化動画像における視覚歪みの低減", 情処研報, 2007-AVM-57(6), Jul.2007.
- [9] 石川, 渡辺: "画像の不確定性符号化について", PCSJ2006, P-3.02, Nov.2006.
- [10] 板垣他: "複数の圧縮画像を用いた量子化誤差低減方式", 2007 春季信学全大, A-4-44, Mar.2007.