

## 付加情報を用いた符号化画質改善手法に関する検討

鈴木 惇也<sup>†</sup> 板垣 秀星<sup>†</sup> 境田 慎一<sup>‡</sup> 井口 和久<sup>‡</sup> 甲藤 二郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup>早稲田大学基幹理工学研究所 〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 55N-06-09B

<sup>‡</sup>NHK 放送技術研究所 〒157-8510 世田谷区砧 1-10-11

E-mail: <sup>†</sup>{junya, itagaki, katto}@katto.comm.waseda.ac.jp, <sup>‡</sup>{sakaida.s-gq, jiguchi.k-eq}@nhk.or.jp

あらまし 本稿では、デコーダに付加情報を与えて復号画像の画質改善を行う動画像符号化方式に関する検討を行なう。はじめに、一枚の静止画像を互いに独立に符号化し、その復号画像を重ね合わせることによる量子化誤差の低減効果を示し、次に、その効果の動画像符号化への応用として、デコーダに補助情報として符号化規格を超える精度の動きベクトルを与えることによる符号化画質改善手法を提案する。さらに、エンコーダでのベクトル検出条件と動き補償・合成の参照画像について改善を加えた動画像符号化方式を提案し、画質改善効果と圧縮効率の向上を ITE 標準動画像を用いた実験によって示す。

キーワード 画質改善, 量子化誤差, スケーラブル符号化

## A Study on Picture Quality Enhancement using Additional Information

Junya SUZUKI<sup>†</sup> Shusei ITAGAKI<sup>†</sup> Shinichi SAKAIDA<sup>‡</sup> Kazuhisa IGUCHI<sup>‡</sup> Jiro KATTO<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Fundamental Science and Engineering, Waseda University 55N-06-09B 3-4-1 Okubo, Shinjyuku-ku, 169-8555 Japan

<sup>‡</sup>NHK Science & Technical Research Laboratories 1-10-11 Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, Japan 157-8510

E-mail: <sup>†</sup>{junya, itagaki, katto}@katto.comm.waseda.ac.jp, <sup>‡</sup>{sakaida.s-gq, jiguchi.k-eq}@nhk.or.jp

**Abstract** This paper presents a new video coding method which improves PSNR of decoded pictures by using additional information. Firstly, we show a pixel shift effect which brings PSNR improvement by composing multiple compressed images extracted from an original image and, as an application of the pixel shift effect, we then propose a video coding method which sends higher precision motion vectors to a decoder as additional information. We especially focus on how to select effective motion vectors at an encoder and how to decide mixture of decoded pictures for improving PSNR. Finally, we show experimental results that present improving R-D characteristics of H.263+.

**Keyword** Picture Quality Enhancement, Quantization Errors, Scalable Video Coding

### 1. はじめに

近年、画像の符号化において分散映像符号化(DVC: Distributed Video Coding)[1]やMDC(Multiple Description 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。我々も同様に、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により量子化誤差を低減する効果を示すと共に[3,6,7]、この効果を利用した動画像符号化方式として、デコーダに付加情報として符号化規格を超える精度の動きベクトルを与える画質改善手法[4]の検討を進めている。この方式は、[5]で提案されている、画像を複数の符号化形式で圧縮・送信し、異なる圧縮画像を受信・合成した場合に画質

改善が図れる不確定性符号化方式と目標を同じくする。本稿ではさらに、[4]の手法について更なる画質改善及び圧縮効率向上を目指し、改善した動画像符号化方式の提案・検討を行う。

### 2. 画像合成による量子化誤差低減効果

はじめに、画素シフトと合成による量子化誤差の低減効果を示す[3,6,7]。これは、一枚の静止画像から位置をずらした複数枚のサブ画像を切り出し、互いに独立に符号化し、その復号画像を重ね合わせることによって量子化誤差を低減できる(PSNRを改善できる)効果である。特に[6]ではJPEG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。

### 2.1. 処理の流れ

図 2.1 に処理の流れを示す。まず、原画像から画素シフトを行った複数の画像を切り出し、それらの画像において各々画像圧縮伸張を行い、画素位置を合わせて合成する(重み加算する)。切り出され圧縮された画像は圧縮時の量子化誤差により、原画像の真値に対し±方向に画素値のずれが生じている。一枚の画像ではこの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。

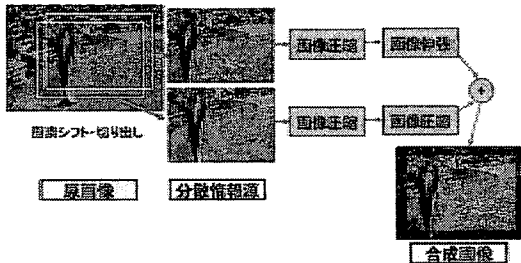


図 2.1 画像合成実験

### 2.2. JPEG 評価実験

評価実験では、高周波成分を多く含む画像(ITE 標準動画画像 No16:”Whale Show”)と、ほとんど含まない画像(No.36:”Airplane”)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。結果、少ない合成枚数であってもある程度の PSNR の向上が確認された。また、画像によらず量子化誤差が低減されている。

### 2.3. JPEG/JPEG-2000 混合評価実験

2.2 節では JPEG 圧縮のみを用いたが、ここでは JPEG 2000 圧縮も使用し、重ね合せによる PSNR の改善効果を検証した。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・復号・合成し、どの程度 PSNR が向上するかを確認した。実験に用いた原画像は高周波成分をほとんど含まない画像(No.36)と高周波成分を多く含む画像(No.16)の二種類である。

図 2.3 は合成結果の PSNR 向上値の結果である。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 JPEG 2000 (異なる圧縮方式) 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。

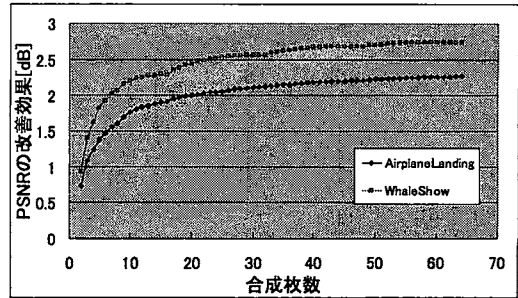


図 2.2 画像合成枚数と PSNR の向上効果

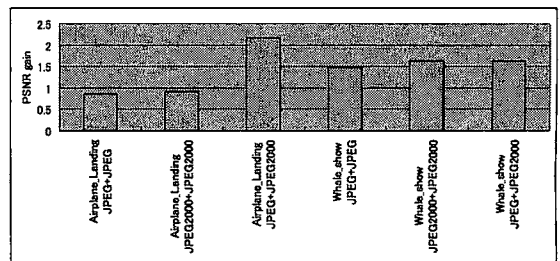


図 2.3 JPEG/JPEG-2000 混合合成と PSNR の向上値

### 3. 付加情報を用いた符号化画質改善(I)

前章に示した量子化誤差低減効果の動画画像符号化への応用例として、筆者らは、(付加情報を使用せずに)デコーダ側の動き検出によって画質改善を図る手法と[7]、エンコーダ側の付加情報の添付によって画質改善を図る手法[4]の検討を並行して進めている。本章では文献[4]で提案した、付加情報の利用による動画画像の符号化画質改善手法を以下に示す。

全体の流れを図 3.1 に示す。エンコーダで原画像 F を符号化する際に、符号化規格の画素精度よりも高精度な動きベクトル探索を同時に行う。この高精度動きベクトル探索は次のようにして行っている。

F 中の連続した 2 フレームの画像  $F_m, F_{m-1}$  について、 $F_m$  をブロック分割し、各ブロックについて符号化ストリーム中の動きベクトル値(本研究では H.263+ を採用しているため 1/2pel 精度)を中心として、更に高精度(本研究では  $\pm 1/4pel$ )に MSE を最小とする高精度動きベクトルを探索する。この時、イントラフレームについてはストリーム中にベクトルがないため、復号画像 I 中の連続した 2 フレームの画像  $I_m, I_{m-1}$  を用いて一旦動きベクトル探索を行い、これをストリーム中のベクトル値とみなして上記の高精度動きベクトル探索を行う。次に、探索した高精度動きベクトルを使用して合成処理を行い、PSNR の改善効果を判定する。PSNR が改善する場合は、高精度動きベクトル  $v_m$  とストリーム中の動きベクトルの差分ベクトル(3bit)を伝

送する。また、各ブロックについて合成の有無を示す情報(1bit)を付加情報として伝送する。

デコーダではこれらの付加情報を利用して復号画像  $I$  をフレーム間合成することで復号画像の画質を改善する。2つのフレーム内のブロックを高精度動きベクトルで動き補償合成することで、2章における画素シフトと同様の量子化誤差低減効果が期待できる。

各フレームにおける合成処理を図3.2に示す。 $I_m$  をブロック分割し、付加情報により合成を行うブロック(A)に対して、対応する高精度動きベクトルを用いて  $I_{m-1}$  から動き補償したブロック(B)を用意する。ここで、高精度動きベクトルはストリーム中のベクトル値に付加情報として受け取った差分ベクトル値を加えて生成する。ただし、イントラフレームではストリーム中にベクトル値が存在しないため、エンコーダと同様に復号画像を用いて動きベクトル探索を行い、ストリーム中のベクトル値の代用とする。この2つのブロックについて、合成ブロック(C)を  $C = (\text{ブロック A} + \text{ブロック B}) / 2$  として生成する。

このように、デコーダではPSNRが向上するブロックのみ合成が行われ、画質改善したフレーム画像  $G_m$  及び動画像  $G$  を得る。以降、この手法を手法1と呼ぶ。

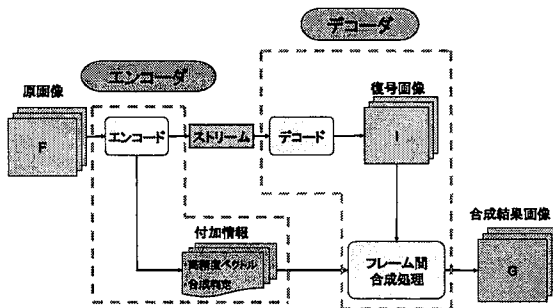


図3.1 手法全体の流れ

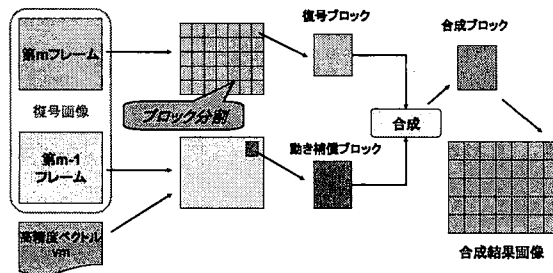


図3.2 各フレームにおける処理概要

手法1による改善結果を図3.3に示す。

図における Decoded Image は復号画像の R-D 曲線、Improved Image は手法1によって改善した画像の R-D 曲線である。画像は、ITE標準動画像の No.11: "Buildings along the canal" を QCIF に縮小して使用した。これにより、手法1はビットレートが高い程有効であることが分かる。

次章では、圧縮効率の更なる改善を目指し、手法1における付加情報であるベクトルの選出方法、及びその利用方法の改善を提案する。

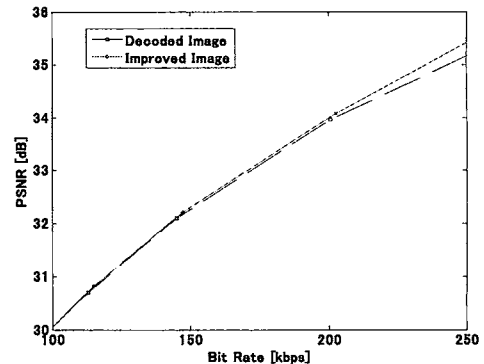


図3.3 手法1による画質改善効果

## 4. 付加情報を用いた符号化画質改善(II)

### 4.1. エンコーダでのベクトル検出条件の改善

手法1ではMSEが最小となる高精度動きベクトル探索を行った後にPSNR向上の判定を行った。しかし、MSEが最小でなくともPSNRを向上させる高精度動きベクトルが存在する可能性はある。手法1ではこのような動きベクトルを活かす事が出来なかった。

そこで、ブロック間のMSEが最小になるものを探索するのではなく、合成によってPSNRが最大となる動きベクトルを探索する。また、探索範囲もある程度広げる。これにより、デコーダへと送る情報量は増える(本研究では±1pixelとしたので差分ベクトル分が6bitとなる)が、手法1の動きベクトル探索より効果的なベクトルの探索を行うことが可能になる。一方、PSNRを向上するベクトルをすべて伝送すると付加情報量が増大し、R-D特性が悪化する可能性がある。そこで、合成した際にPSNRの向上が閾値以上となるベクトルのみを採用する。これらの改善により、PSNRの改善効果が高く、かつ適度な量の付加情報が送信可能になる。

### 4.2. 動き補償・合成の参照画像の変更

手法1では  $m$  フレーム目の復号画像  $I_m$  を改善するための合成に用いるブロックは、 $m-1$  フレーム目の復号画像  $I_{m-1}$  から動き補償していた(図4.1)。これに対して、本稿では  $I_{m-1}$  ではなく、画質改善を行った復号画像  $G_{m-1}$  を参照画像として使用する。改善した動き補償・合成が図4.2である。

動き補償・合成に画質改善した復号画像  $G_{m-1}$  を用いる理由は、単純にPSNRの高い画像を用いて合成を行うことによって合成後の  $G_m$  のPSNRを上げることが目的ではなく、画質改善の対象となる画像と合成に用いる画像との関係性を小さくするという目的がある。これは、前述したようにフレーム間の合成によるPSNRの向上が、画像の符号化による量子化誤差の低減[3,6,7]に基づくためである。つまり、合成に用いられる画像は、2章の画素シフトで得られた画像のよ

うに、それぞれが独立した符号化によって発生した独立した量子化誤差を含んでいることが望ましい。しかし、H.263のようなフレーム間符号化では連続する画像の相関が高く、量子化誤差も似通った値を持ってしまう。そこで、復号画像  $I_{m-1}$  ではなく、フレーム間合成により次のフレーム画像と関係性の小さくなった画像  $G_{m-1}$  を合成に用いる事が有効と考えられる。

また、この変更により、それまでの全てのフレームの情報が次のフレームへと引き継がれるため、ブロックによっては過去の全てのフレームのブロックとの合成が行われる場合もある。2章で示した合成枚数が多い方が画質改善効果が高いという結果から、合成枚数の増加による画質改善効果の向上も期待できる。

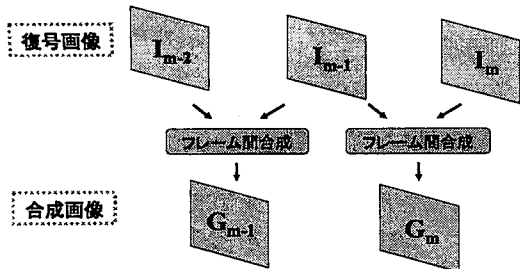


図 4.1 手法 1 における合成処理

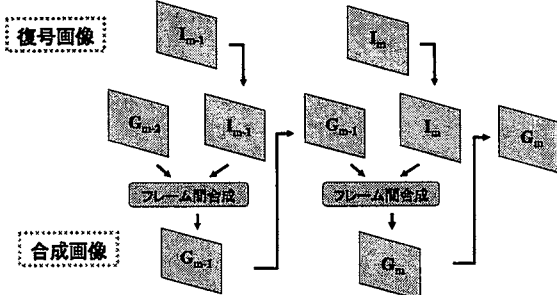


図 4.2 提案手法における合成処理

## 5. 実験

提案手法の画質改善効果を確認するために符号化実験を行った。実験に使用した画像は ITE 標準動画の No.01:"Cognac and Fruit", No.03:"Woman with Bird Cage", No.06:"Intersection", No.08:"Walk through the Square", No.11:"Buildings along the canal", No.16:"Whale Show", No.19:"Opening Ceremony"をそれぞれ QCIF に縮小したものである。また、動画画像符号化には[4]と同様に H.263+を使用し、付加情報の高精度ベクトルは 1/4pel 精度、ベクトルの探索範囲は動き補償された箇所から  $\pm 1$ pixel 以内とした。

ここで、手法 1 に加え 4.1 節の選出条件の改善を施したものを手法 A、それに更に 4.2 節の改善を行ったものを手法 B とする。

### 5.1. 手法 A における閾値の効果

標準動画画像 No.11 を手法 A で符号化した結果を図 5.1、

図 5.2 に示す。図 5.1 は手法 A における合成ブロックの採用に用いる PSNR 改善の閾値  $Th$  を、0、0.2、0.6、1.0(dB)と変化させた結果であり、図 5.2 は図 5.1 の一部分を拡大させたものである。Decoded Image とは、提案手法を適用せずに H.263 で符号化した結果である。図より、閾値を 0.2 とした場合に最も改善効果が高い事が見て取れる。これは採用されるブロックが多ければ多いほど良い PSNR の向上と、逆に少ない方が良い結果となる付加情報量の増加とのトレードオフの関係によって生じたものである。この関係は画像に依存するものであるため、今回の 0.2 という値が他の画像に対しても最適なものとはいえない。今後、閾値を 0 とした際の PSNR の向上の度合い等から、各画像に最適な閾値を選出する手法についての検討が必要である。

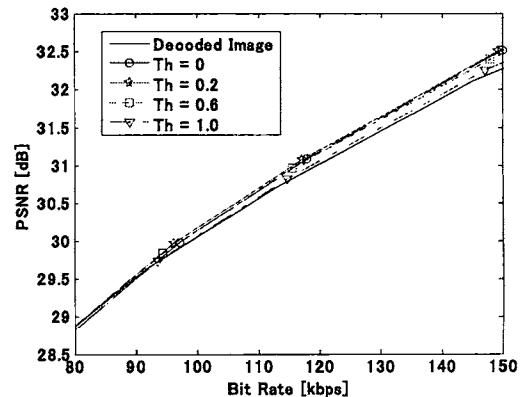


図 5.1 手法 A で閾値を変化させた場合の R-D 特性

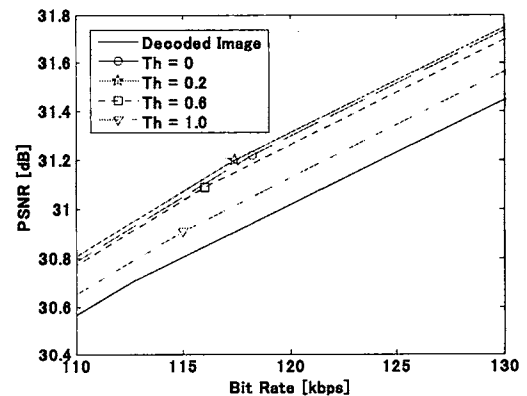


図 5.2 図 5.1 の一部拡大表示

### 5.2. 手法 B による改善効果

5.1 節と同様に、画像 (No.11) に対し、手法 B の閾値  $Th$  を 0、0.2、0.6、1.0(dB)と変化させた結果を図 5.3、図 5.4 に示す。閾値 0.2 が最も良くな

り、それより大きな閾値である 0.6、1.0 では閾値 0 より悪くなるという 5.1 節とほぼ同じ傾向が表れた。これにより、手法 B においても閾値による判定が有効であることが確認できた。

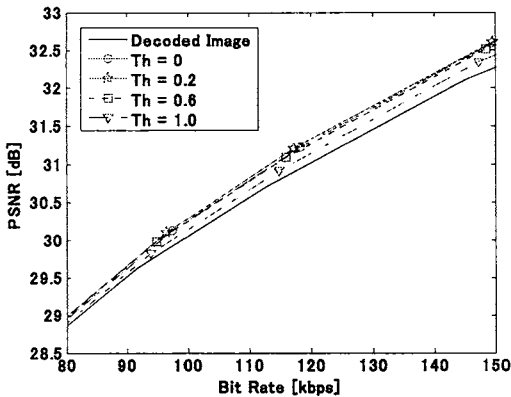


図 5.3 手法 B で閾値を変化させた際の R-D 特性

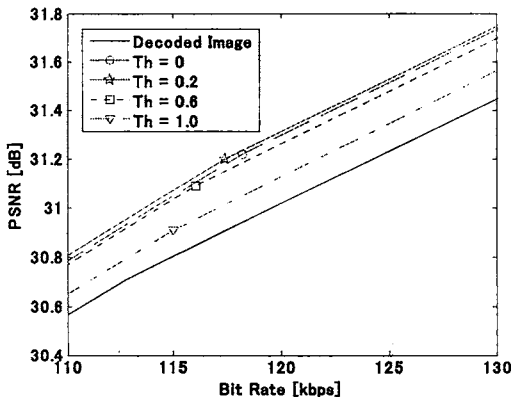


図 5.4 図 5.3 の一部拡大表示

ここで、5.1 節及び上図から閾値 0.2 とした手法 A、手法 B について手法 1 との比較を行った（原画像は No.11）。図 5.5 は QP12 で符号化した画像中から連続する 7 フレームを抜き出して、その PSNR を比較したものである。図において 2 番目のフレームの改善の度合いが大きくなっているが、これは 2 番目のフレームがイントラフレームだからである（他は全てインターフレーム）。イントラフレームでは前のフレームからの動き補償を行っておらず、インターフレームは独立した符号化を行っている。2 章で示したように、互いに独立して符号化された復号画像を合成する場合に、量子化誤差の低減効果が高くなるため、イントラフレームとインターフレームの間で合成を行う 2 番目のフレームで画質改善効果が大きくなるのである。

図 5.6 は各手法の R-D 特性を示したものであるが、

ほぼ全ての Bit Rate で手法 B が最も優れた結果を示している。これによって、本稿で提案した改善手法により、手法 1 に比べ、幅広いビットレートでの大きな改善が可能であることが示された。

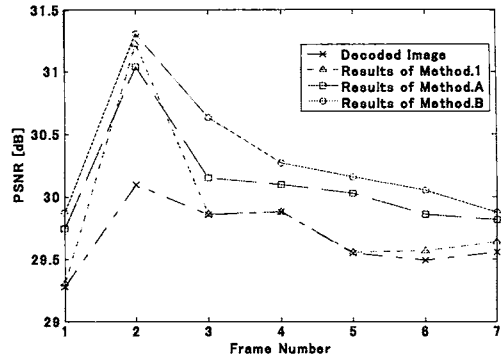


図 5.5 各手法における画質改善効果の比較

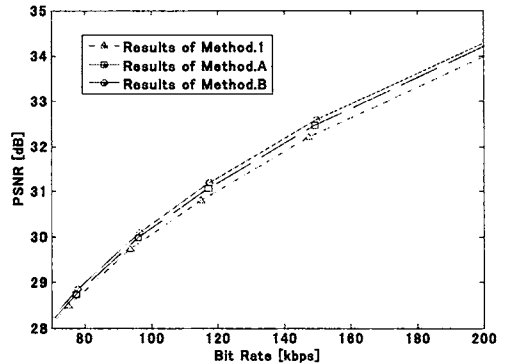


図 5.6 各手法における R-D 特性の比較

図 5.7、図 5.8 に、他の画像 (No.1、No.3、No.6、No.8、No.16、No.19) に対して手法 B を使用した際の結果 (R-D 特性) を示す。No.6 を除いて概ね良好な結果が得られているといえる。No.6 の画像は、静止した背景の前を、さほど大きくない物体(自動車)が高速で向きを変えながらフレームイン・アウトを繰り返している。次節で確認実験の結果を示すが、本手法が最も有効であると考えられるのは画面全体が一方方向にシフトしていくような画像である。これは、動き補償によって、フレーム間でほぼ同じ画像を合成出来た場合、実質的に 2 章における同一画像内で画素シフト及び独立した符号化を適用させたとみなせるためである。完全に静止している領域では量子化誤差の低減効果が無く、動きが複雑で正しい動きベクトルの検出が困難な場合は改善効果は小さくなる。そのため、No.6 のような画像では提案手法による画質改善効果が小さくなり R-D 特性が悪化したと考えられる。

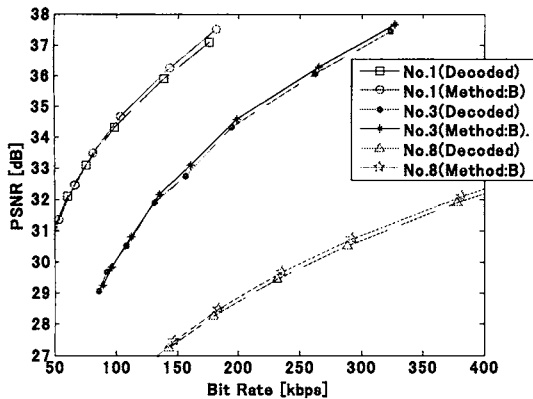


図 5.7 様々な画像への手法 B の適用結果①

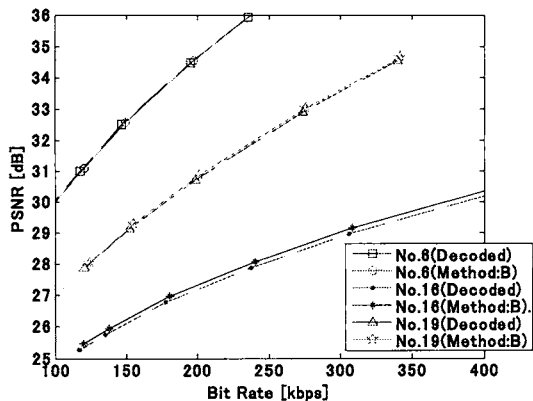


図 5.8 様々な画像への手法 B の適用結果②

### 5.3. 画質が改善されたブロックについての検討

手法 B を適用した画像について、合成処理を行なったブロックの確認を行った。図 5.9、図 5.10、図 5.11 の輝度が落ちていない部分が合成の対象となった(画質が改善した)ブロックである。これらの結果より、変形を伴わずにゆっくりと平行移動している領域で合成処理が適用され、カバード・アンカバード領域、物体が激しく動いている領域等では処理が行われておらず、5.2 節の考察通りの結果が得られていることが確認できた。

### 6. おわりに

本稿では[4]で提案した手法 1 に対して、符号化方式の独立性に基づく量子化誤差低減効果[3,6,7]を活用した改善手法を提案し、実験によりその効果を確認した。

### 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] 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.  
 [4] 鈴木他 "高精度動きベクトルを用いた複合画像の画質改善", 2007 春季信学全大, A-4-43, Mar.2007.  
 [5] 石川, 渡辺: "画像の不確定性符号化について", PCSJ2006, P-3.02, Nov. 2006.  
 [6] 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.  
 [7] 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", AVM 研究会, Sep.2007.



図 5.9 No.11 中の改善処理を行われた箇所



図 5.10 No.8 中の改善処理を行われた箇所

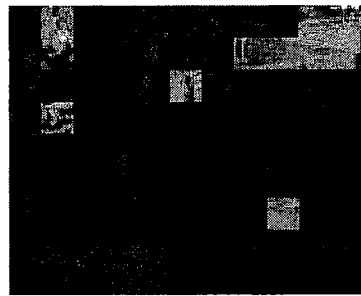


図 5.11 No.16 中の改善処理を行われた箇所