

## フレーム内及びフレーム間における画質変動を考慮した適応型 プレフィルタの検討

三反崎 暁経<sup>†</sup> 小野 尚紀<sup>†</sup> 上倉 一人<sup>†</sup> 八島 由幸<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所

〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

E-mail: <sup>†</sup> mitasaki.tokinobu@lab.ntt.co.jp

あらまし 映像符号化処理において高効率化、雑音除去を目的に、前処理としてプレフィルタがしばしば用いられる。そこでプレフィルタ後の客観的画質を全フレームに対し同程度とするフレーム単位適応型プレフィルタについて提案した。しかし本フィルタではフレーム内の全領域に対し同一の帯域幅を用いていたため、各領域において周波数成分が異なる場合、各領域で画質も異なり主観的画質の劣化を招いた。また動きのある領域、例えば水撒き領域やカメラパンが早い領域などにおける高周波成分は、静止領域の高周波成分に比べ視覚的劣化が目立ちにくく、符号化効率にも顕著に影響を及ぼすにもかかわらず、これまでのフィルタ処理では動きの有無に関係なく客観的画質のみを指標とした帯域幅を用いていた。フレーム間における動き情報を考慮し、動領域の高周波数成分に対する帯域幅を静止領域のものに比べ小さくすることにより、動き情報を考慮しない場合と比較し、主観的画質は同程度とする一方、符号化効率は向上させることができると考えられる。本稿ではフレーム内の主観的画質及び符号化効率の向上を目的とし、フレーム内、フレーム間の画質変動に対応した適応型プレフィルタについて提案する。また本手法と従来手法との比較実験を行い、各手法によるフィルタ処理画像の主観的画質を同程度とする条件化で、符号化効率が向上することを検証する。

キーワード フィルタ、帯域、周波数、動き、フレーム内、フレーム間

## Adaptive Pre-filter for Image Quality Fluctuation of Intra-frame and Inter-frame

Tokinobu MITASAKI<sup>†</sup> Naoki ONO<sup>†</sup> Kazuto KAMIKURA<sup>†</sup> Yoshiyuki YASHIMA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> NTT CyberSpace Laboratories, NTT Corporation

1-1 Hikarinooka, Yokosuka, Kanagawa, 239-0847, JAPAN

E-mail: <sup>†</sup> mitasaki.tokinobu@lab.ntt.co.jp

**Abstract** In video coding processing, a pre-filter is often used for a high efficiency coding and a noise rejection as a pre-processing. We proposed an adaptive frame-by-frame pre-filter that made comparable objective image quality for every frame after pre-filtering. If a frequency for each region in frame was different, the image quality was also different and deteriorated subjectively because the same bandwidth was used for all regions in the frame. Even though the high-frequency components in the region with fast motion, such as watering and camera panning, is less remarkable than the one with stasis as the image quality deterioration and has influence on the encoding efficiency, existing our filter used the same bandwidth which is determined by only the objective image quality regardless of motion. By considering the motion information and cutting off the bandwidth for the high frequency component in the region with the motion wider than the one with the stasis, we can improve the encoding efficiency while the subjective image quality with motion information is equal to the one without motion information. In this report, we propose an adaptive pre-filter for image quality fluctuation of intra-frame and inter-frame to improve the subjective image quality and the encoding efficiency. By the experiment for comparing the new method and existing method, we show that the encoding efficiency is improved while the subjective quality of images filtered by these methods are almost same.

**Keyword** Filter, Bandwidth, Frequency, Motion, Intra-frame, Inter-frame

## 1. はじめに

インターネットやモバイルネットワークの普及を背景に、低ビットレート環境で映像の送受信を実現する映像圧縮技術の重要性が高まっている。近年では、H.263 や MPEG-4 をベースとしたソフトウェアエンコーダの登場により、インターネットやモバイルによる映像通信・配信サービスがごく当たり前に見られるようになった。しかしこれらのサービスで流通している映像には、ブロックひずみ、モスキートノイズ、不自然なフレームスキップなどのデジタル符号化特有のひずみが見られることが多く、その品質は必ずしも十分とはいえない。映像符号化の前処理としてしばしば使用されるプレフィルタは、このようなひずみを緩和し主観的な画質を高める効果があることが知られている[1][2][3]。適用するプレフィルタの通過帯域幅(以下帯域幅)を制限することにより原画像に含まれるノイズを除去し符号化効率を向上させるものである。

そこでこれまでに、プレフィルタ後の客観的画質を全フレームに対し同程度とするフレーム単位適応型プレフィルタについて提案した[4]。しかしフレーム内の各領域において周波数成分が異なる場合、高周波成分を多く含む領域では画質の劣化が目立ち、低周波成分を多く含む領域では劣化が目立ちにくいという画質の点における問題が生じた。また動きのある領域での高周波成分、例えば水撒き領域やカメラパンが早い領域などの高周波成分は、静止領域の高周波成分に比べ視覚的劣化が目立ちにくく、符号化効率にも顕著な影響を及ぼすにもかかわらず、これまでのフィルタ処理では動きの有無に関係なく全ての高周波成分に対して同じ帯域幅を用いていた。フレーム間における動き情報を考慮し、動領域の高周波成分に対する帯域幅を静止領域のものに比べ小さくすることにより、動き情報を考慮しない場合と主観的画質を同程度とする一方、符号化効率を向上させることができると考えられる。

本稿ではフレーム内の主観的画質及び符号化効率の向上を目的とし、フレーム内、フレーム間の画質変動に対応した適応型プレフィルタについて提案する。また本手法と従来手法を用いた実験を行い、各手法によるフィルタ処理画像の主観的画質が同程度の場合、符号化効率が向上することを検証する。

## 2. 従来の適応型プレフィルタ

まず従来の適応型プレフィルタについて説明する。図1に従来のプレフィルタ後の客観的画質が全フレームに対し同程度のとするフレーム単位適応型プレフィルタの処理フローを示す。まず第一帯域幅決定部に原画像データ  $B(1)$ 及び原画像サイズ( $V$ とする)を入力し、

第一帯域幅決定部に前もって与えられた1つの第一帯

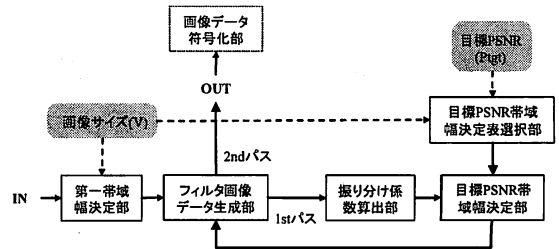


図1 フレーム単位適応型プレフィルタの処理フロー

表1 第一帯域幅決定表例

画像サイズ(V)	第一帯域幅( $r_{1}$ )
(4096 × 2048)	C1
(1920 × 1080)	0.5
(1280 × 720)	C3
(720 × 480)	C4
(640 × 480)	C5
(352 × 288)	C6
(176 × 144)	C7
.	.
.	.

表2 目標 PSNR 帯域幅決定表例

振り分け係数(X)	目標PSNR帯域幅( $r_{2}$ )
$X < 0.5$	0.5
$0.5 \leq X < 0.8$	0.55
$0.8 \leq X < 1.2$	0.6
.	.
.	.
$2.6 \leq X < 2.8$	0.9
$2.8 \leq X < 3.0$	0.95
$X \geq 3.0$	0.99

域幅決定表から、入力した原画像サイズ  $V(V_x \times V_y)$ に対応する第一帯域幅  $r_{1}$ (第一パス用)を決定する。第一帯域幅決定表の例を表1に示す。なお帯域幅  $r_{i}$ とは各画像の持つ全周波数成分の水平垂直方向の通過帯域幅であり、例えば  $r_{i} = 0.9$  とすると画像の全周波数成分を水平垂直方向に対し高周波側を10%カットすることを意味する。フィルタ画像データ生成部において、決定した第一帯域幅を用いて原画像データ  $B(1)$ に対しフィルタ処理を行い、第一フィルタ画像データ  $B(r_1)$ へ変換し、振り分け係数算出部において、 $B(r_1)$ と  $B(1)$ とを比較し、第一フィルタ画像のPSNR(Peak Signal to

Noise Ratio)である  $P(r1)$ を算出する. なお PSNR は次式で与えられる.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[ 255^2 / \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \{f(x, y) - f'(x, y)\}^2 \right] \dots \textcircled{1}$$

ただし,  $N$  は原画像及び帯域制限画像のピクセル数,  $f(x, y)$  は原画像のピクセル値,  $f'(x, y)$  は帯域制限画像のピクセル値を表している. 255 は両画像のピクセルの最大振幅 (輝度値) となる. 算出された  $P(r1)$  を用いて目標客観的画質帯域幅の振り分け係数  $X$  を次式より求める.

$$X = 51.2 / P(r_1) \dots \textcircled{2}$$

ここで目標客観的画質帯域幅とはフィルタ画像を目標とする客観的画質 (例えば PSNR) にするための帯域幅 (以下目標 PSNR 帯域幅) である. 上記までの処理と同時またはその後, 画像サイズ  $V$  及び目標 PSNR (Ptgt とする) を目標 PSNR 帯域幅決定表選択部へ入力し, 同部に前もって与えられた複数の目標 PSNR 帯域幅決定表の中から  $V$  及び Ptgt に対応する同表を選択する. 次に目標 PSNR 帯域幅決定部において, 選択した目標 PSNR 決定表より, ②より求めた  $X$  に対応する目標 PSNR 帯域幅  $r_2$  (第二パス用) を決定する. 表 2 に目標 PSNR 帯域幅決定表の例を示す. この目標 PSNR 帯域幅  $r_2$  を用い, フィルタ画像データ生成部において再度フィルタ処理を行い, 目標 PSNR フィルタ画像データ  $B(r_2)$  を生成する. 以上より, 目標 PSNR となるフィルタ画像データ  $B(r_2)$  を得ることができる.

しかし本手法はフレーム単位で行われるものであり, フレーム内の領域毎に周波数特性が異なる場合, フレーム内で主観的及び客観的画質も異なることとなり, 主観的な画質劣化が生じた. また高周波成分は映像符号化効率に顕著な影響を及ぼすため, 帯域幅をできる限り小さくすることが望ましいが, 主観的劣化は

顕著なものとなる. しかし動領域の高周波成分は大幅に制限しても主観的画質にあまり影響しないため動領域, 静止領域を判別し, 各々の場合に応じた帯域幅で処理することにより, 符号化効率の向上が期待できる.

### 3. フレーム内及びフレーム間の画質変動を考慮した適応型プレフィルタ

#### 3.1. フレーム内処理

図 2 に本稿で提案する適応型プレフィルタの処理フローを示す. まずフレーム内処理について説明する. まず原画像データ  $B(1)_{all}$  を入力し, 画像分割部において, 与えられる所望の画素単位 (ブロック) サイズ ( $D = Dx \times Dy$ ) (または分割 (ブロック) 数 ( $E = Ex \times Ey$ )) を基に画像を分割し, 原画像のブロック画像データ  $B(1)$  とする. なおブロックの形状は任意である. このブロック画像データ  $B(1)$  に対し, 図 1 と同様の処理を行い, 目標主観的帯域幅 (以下目標帯域幅) 第一決定部において目標帯域幅  $r_2$  を決定する. ここで目標帯域幅とはフィルタ画像が目標とする主観的画質を得るための帯域幅であり, 目標帯域幅決定表は 2.1 における目標 PSNR 帯域幅決定表に代わるものであり, 目標 PSNR の代わりに主観的画質評価値を用いることにより選択される. 表 1 に目標帯域幅決定表の例を示す. 次に目標帯域幅比較部において, 対象ブロックで用いた目標帯域幅と, 対象ブロックの周辺ブロックで用いた目標帯域幅を比較し, 差分をとる. この差分が, 前もって目標帯域幅比較部に与えられたある閾値  $Sth$  ( $0 \leq Sth < 1$ ) より大きい場合, 目標帯域幅第一調整部において目標帯域幅  $r_2$  を  $r_3$  へと再調整する. 一方, 閾値より小さい場合には  $r_2$  をそのまま目標帯域幅として用いる. 以下で目標帯域幅の第一調整について具体例を用いて説明する.

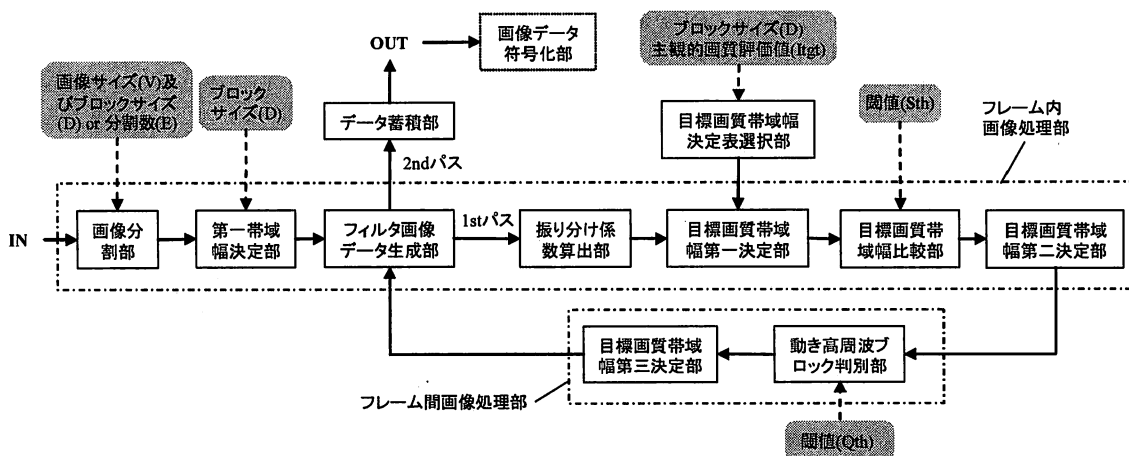


図 2 提案するプレフィルタの処理フロー

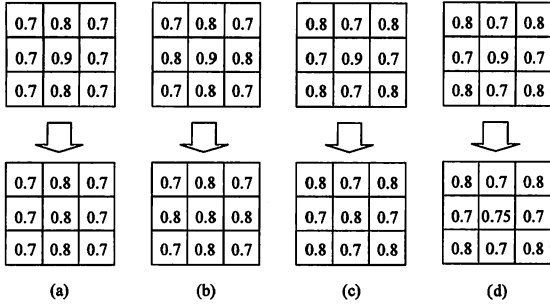


図3 目標帯域幅第一調整例

図3に8つの周辺ブロックの目標帯域幅を用いた目標帯域幅第一調整の例を示す。ここで調整対象ブロックは中央ブロックであり、その目標帯域幅  $r_2$  は 0.9 閾値  $S_{th} = 0.1$ , その目標帯域幅は目標帯域幅の調整幅は目標帯域幅第一調整部において、閾値より大きい場合にはその差分を小さくするように  $r_2$  から  $r_3$  へと再度調整を例えば調整対象とするブロックを中央のものとする、図 3(a)に示すように対象ブロック上下のブロック帯域幅と同じまたは平均または  $\pm\beta$  ( $0 < \beta < 1$ )、図 3(b)に示すように対象ブロック左右のブロック帯域幅と同じまたは平均または  $\pm\beta$ , 図 3(c)に示すように対象ブロック斜めのブロック帯域幅と同じまたは平均または  $\pm\beta$ , 図 3(d)に示すように対象ブロック周辺 8 ブロックの平均または  $\pm\beta$  などとすることが可能である。この調整を行うことにより、ブロックでのフィルタ処理で生じるブロック境界を低減し、境界が視覚的に不可視なものとなるようにする。

### 3.2. フレーム間処理

次にフレーム間処理について説明する。図2における動き高周波ブロック判別部において、対象フレーム番号  $N$ , ブロック番号  $M_{xy}$  の平均画素値  $Q(N, M_{xy})$  及びその前フレームの空間的に同じ位置にあるブロックの平均画素値  $Q(N-1, M_{xy})$  を算出し、それらの差  $|Q(N, M_{xy}) - Q(N-1, M_{xy})|$  を算出する。算出した  $|Q(N, M_{xy}) - Q(N-1, M_{xy})|$  を閾値  $Q_{th}$  と比較し、次式

$$|Q(N, M_{xy}) - Q(N-1, M_{xy})| > Q_{th} \cdots \textcircled{3}$$

を満たす場合、目標帯域幅再々調整において、目標帯域幅に対し重み付け係数  $W$  ( $0 < W < 1$ ) を用い重み付けし、 $r_2$  (または  $r_3$ , ただし以下では省略のため  $r_2$  のみ表記) から  $r_4$  へ再々調整する。ここでブロック番号  $M_{xy}$  とは画像の左上を原点とし、水平方向の  $x$  番目、垂直方向の  $y$  番目にあるブロックを指す。一方、 $\textcircled{3}$ 式を満たさない場合は、 $r_2$  をそのまま目標帯域幅として用いる。ここで、図2における目標帯域幅再調整部以下の処理について具体例を用いて説明する。

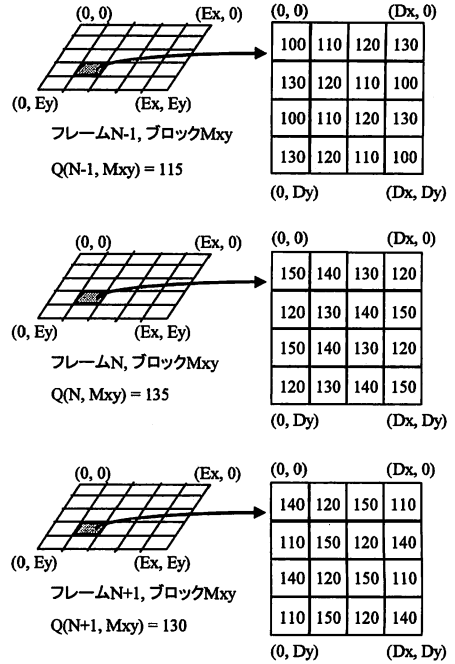


図4 ブロックにおける画素値

図4にブロック分割数  $Ex$  及び  $Ey$  を 5,  $Dx, Dy$  を 4 とする画像の画素値例を示す。目標帯域幅再調整部までに得られている目標帯域幅  $r_2$  を 0.9 とし、動き高周波ブロック判別部には  $Q_{th} = 10$  が、目標帯域幅再々調整部には重み付け係数  $W = 0.8$  がそれぞれ与えられているとする。ここで対象とするフレーム番号を  $N (= 5)$ , ブロック番号  $M_{xy}$  は 11 とする。図4の場合、 $Q(5, 11) = 135$ ,  $Q(4, 11) = 115$  となり、 $\textcircled{3}$ 式  $|Q(5, 11) - Q(4, 11)| = 20 > 10$  を満たすため、目標帯域幅  $r_4$  は  $r_2$  に重み付け係数を乗じたもの ( $r_2 \times W$ ) となり、 $0.9 \times 0.8 = 0.72$  となる。次に対象フレームを  $N+1 (= 6)$  とした場合を考える。この場合、 $Q(6, 11) = 130$ ,  $Q(5, 11) = 135$ ,  $|Q(6, 11) - Q(5, 11)| = 5 < 10$  となり  $\textcircled{3}$ 式を満たさないため、 $r_4 = r_2$  とし、目標帯域幅として 0.9 をそのまま用いることとなる。

本手法を用いることにより、3.1 で説明したフレーム間処理のみの場合と比較し、客観的画質は低下するが、動領域の高周波成分のみを大きく制限することが可能であるため、主観的画質劣化を生じることなく符号化効率を高めることが可能となる。

### 4. 比較実験

本手法の効果を検証するため、従来の客観的画質と同程度とするフレーム単位フィルタ (従来フィルタ) と、提案した主観的画質と同程度とするブロック単位

表 3 実験映像の特徴

	高周波成分	動領域	カメラパン
seq16	多	多	有(早)
seq19	多	少	無
seq20	多	少	有(早)
seq26	少	少	有(遅)
seq46	多	多	無

表 4 映像パラメータ

	映像サイズ	ブロックサイズ	ブロック数
インターレース (プログレッシブ)	1920×540 (1920×1080)	32×9 (32×18)	60×60

表 5 実験パラメータ

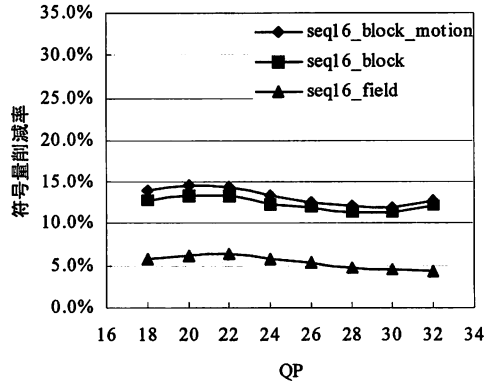
閾値 Sth	調整パターン	閾値 Qth	重み付け係数 (Wx, Wy)
0.15	図 3(b)	15	(0.6, 0.8)

フィルタを用いた比較実験を行った。映像は ITE HDTV 標準動画のシーケンス番号 16 (シャチのジャンプ), 19 (閉会式), 20 (サッカー), 26 (琴) 及び 46 (水まき) の 5 つを用いた。各映像の特徴を表 3 に示す。また映像サイズ, ブロックサイズ(Dx×Dy)及びブロック分割数(Ex×Ey)を表 4 に, 閾値などの実験パラメータを表 5 にそれぞれ示す。

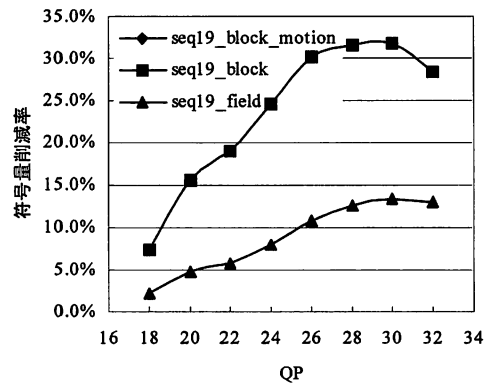
まず上記 5 つの映像に対し各フィルタ処理を行った。従来フィルタにより作成した映像はフィールド単位の PSNR を 46[dB]程度とし, 提案手法による映像はそれと主観的に同程度とした。なおフィルタ処理は輝度成分のみに対して行い, 46[dB]という値は原画像と比較しても主観的画質劣化をほとんど感じない程度である。次に原画像, 従来フィルタ画像, 提案ブロック単位フィルタ(動き無視)画像及び提案ブロック単位フィルタ(動き考慮)画像の 4 パターンに対し, H.264/AVC の参照ソフトウェア JM(ver.10.1)を用い 8 つの量子化パラメータ (QP) に対して符号化を行った。なお符号化条件は全て同一である。

図 5 に原画像の符号化で得られた符号量に対する各フィルタ画像の符号化で得られた符号量削減率を示す。また平均符号量削減率を表 6 に示す。まず従来フィルタ(図中 seq\*\*\_field)と動きを無視した提案フィルタ(図中 seq\*\*\_block)に対する考察を行う。提案フィルタを用いることにより, 各シーケンスとも削減率は QP で異なるものの, seq16, seq19, seq20, seq26 及び seq46 で 6.9%, 14.8%, 8.1%, 3.3%及び 7.3%それぞれ平均削減率が向上した。seq26 では効果が小さかったが, これは表 3 に示す通り, seq26 が高周波成分をほとんど含まないシーケンスであり, 本実験において低周波成分に対する調整が不足していたためと考えられる。次

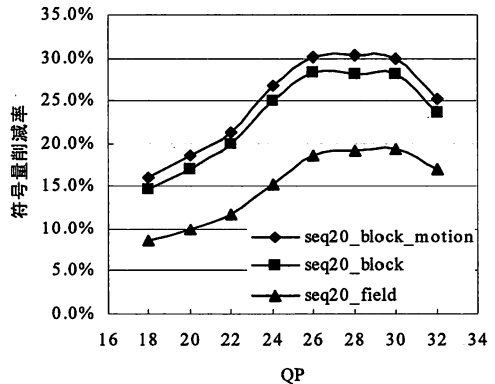
に提案フィルタの動き無視 (seq\*\*\_block) と提案フィルタの動き考慮 (seq\*\*\_block\_motion) に対する考察を行う。動きを考慮することにより, seq16, seq20 及び seq46 では平均でそれぞれ 0.9%, 1.7%及び 5.6%削減率が向上した。一方 seq19, 26 では効果が得られなかったが, これは seq19 では動領域がほとんどないため



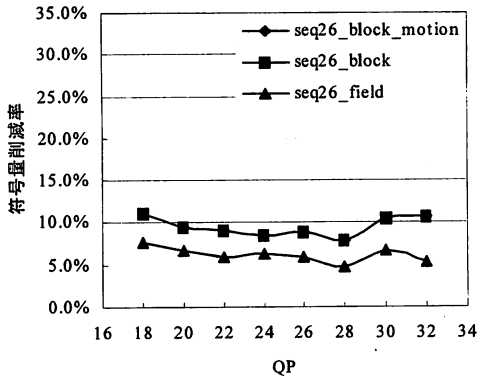
(a) seq16 (シャチのジャンプ)



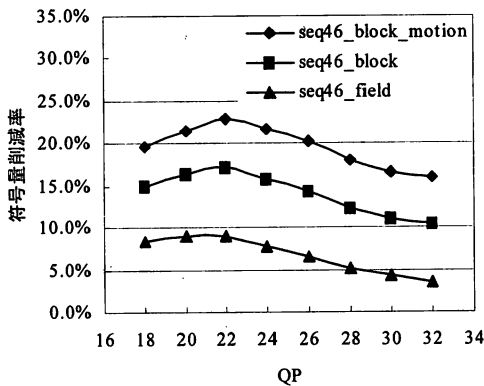
(b) seq19 (閉会式)



(c) seq20 (サッカー)



(d) seq26 (琴)



(e) seq46 (水まき)

図 5 符号量削減率

表 6 平均削減率

シーケンス	従来	動き無視	動き考慮
16	5.4%	12.3%	13.2%
19	8.9%	23.7%	23.7%
20	15.0%	23.1%	24.8%
26	6.2%	9.5%	9.5%
46	6.7%	14.0%	19.6%

あり, seq26 ではカメラの引きはあるものの速度は遅く, 動領域と判定されなかったためであり予測通りの結果である. なお今回, 動きの誤検出を低減し画質劣化を防ぐため閾値  $Q_{th}$  を高めに設定し, 精度の高い調整を行っていないが, 調整を厳密に行うことによりさらなる高性能化が可能である. またブロックサイズを小さくするにつれ動領域判定精度は向上する一方, 帯域幅調整精度は低下する. 例えばブロックサイズを  $8 \times 8$  とした場合, 水平垂直方向とも 8 段階しか調整段階をもつことができない. 以上よりブロックサイズの変化についても検討する必要がある. また今回, 目標主観的画質として PSNR46[dB]相当としたが, 具体

的な主観的評価値, 例えば MOS 値 (Mean Opinion Score) などを用いることについても検討し, 汎用性を高める必要がある.

## 5. まとめ

本稿では, フレーム内, フレーム間の画質変動を考慮した適応型フィルタについて提案した. ブロック単位で帯域幅を適応的に変更することにより, 主観的画質を低下させることなく符号量削減率, 即ち符号化効率を高めることが可能となった. また動きの有無を判定し, 動領域の高周波成分を大幅に制限することにより, 動領域高周波成分を多く含む映像に対しさらに効率を高めることができた.

今後, 動領域判定精度と帯域幅調整精度間におけるトレードオフの問題について, ブロックサイズを変化させるなど検討し, さらなる改善を図る.

## 文 献

- [1] 内田顕貴, 田中清, 砂押貴之, 河尻寛之, “伝送符号量削減を目的とする適応型プレフィルタ,” 画像電子学会誌, vol.32, no.5, pp.589-600, May.2003.
- [2] 滝嶋康弘, 和田正裕, “可変プリフィルタによる動画像符号化の画質制御方式,” 信学技報, CS, vol.92, no.388, pp.47-54, Jun.2005.
- [3] Jungwoo, “Automatic prefilter control by video encoder statistics,” Electronics letters, vol.38, no.11, pp.503-505, May, 2002.
- [4] 三反崎暁経, 上倉一人, 八島由幸, “画質変動を考慮した適応型フィルタの検討,” MoMuC 研究会, pp. 20-25, July. 2006.