

## 適応内挿フィルタを用いた非整数画素精度動き補償

Motion Compensation with Fractional-Pel Accuracy Using Adaptive Interpolation

白沢 博之\*

松田 一朗\*

伊東 晋\*

Hiroyuki SHIRASAWA

Ichiro MATSUDA

Susumu ITOH

## 1. はじめに

高能率な動画符号化を実現するためには、動き補償 (MC) の性能向上が不可欠である。半画素精度 MC は動ベクトルの水平・垂直成分の表現精度を倍にすることで MC の性能を改善する手法であり、予測画像の雑音低減を狙ったループ内フィルタを置き換える技術として MPEG 等の国際標準方式に広く採用されている。また、次世代の動画符号化方式である H.26L では  $1/4$ 、 $1/8$  画素精度といった、より高精度な MC 手法の導入が検討されている [1]。これらの非整数画素精度 MC では、動ベクトルが画素の存在しない点を参照した際に、周囲の画素からの内挿処理によって予測値を算出する必要がある。この処理は一般に周囲 4 画素を用いた共一次内挿や各位相毎に用意された固定の内挿フィルタによって行われる。これに対し、Wedi らは  $1/4$  画素精度の MC を前提として水平・垂直方向の一次元内挿フィルタをフレーム毎に最適設計する手法を提案している [2]。本稿では、より自由度の高い 2 次元非分離型の内挿フィルタを採用するものとし、フレーム毎の MC 誤差電力が最小となるように各フィルタと動ベクトルを交互に最適化する方式について検討する。

## 2. 非整数画素精度 MC と内挿フィルタ

共一次内挿に基づいた半画素精度 MC では、動ベクトルが画素の存在しない点を参照する場合、図 1 に示す線形演算によって予測値の算出を行っている。これは、図中の A, E, F, G に対応した予測値を求める際に、画素 A を中心とする  $3 \times 3$  の画素に対して図 2 に示す 4 種類の 2 次元フィルタをそれぞれ適用することに対応している。すなわち半画素精度 MC の処理は、整数画素精度で動ベクトルを検出した後、図 2 に示す内挿フィルタ (一種のループ内フィルタ) をマクロブロック単位で適応選択す

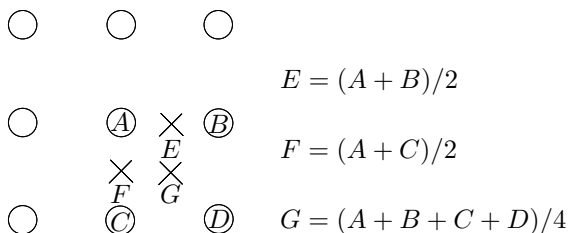


図 1 半画素精度 MC と内挿処理

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.5 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | .25 | .25 |
| 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | .25 | .25 |

図 2 半画素精度 MC に対応した内挿フィルタの例

ることと本質的に等価である。また、 $1/4$ 、 $1/8$  画素精度といった高精度な MC は、予測値の算出に用いる内挿フィルタの種類を増加させていることに相当する。このような考えに基づき、本稿では複数の 2 次元内挿フィルタと各動ベクトルをフレーム毎に最適化する手法を提案する。

## 3. 内挿フィルタと動ベクトルの最適化

ここでは内挿フィルタとして図 3 に示す  $3 \times 3$  の 2 次元非分離型フィルタを考え、また内挿フィルタの種類は 4 つまでとする。各フレームにおける内挿フィルタと動ベクトルの最適化手順を以下に示す。

- (1) 各フィルタの初期値を設定する。本稿では図 2 に示す 4 種類のフィルタをそれぞれの初期値とする。
- (2) 参照フレーム全体に各フィルタを適用し、それぞれの出力で構成される 4 枚の画像を作成する。
- (3) 上記の 4 枚の画像をそれぞれ参照フレームとみなしてブロックマッチングを実行し、マクロブロック ( $B_k$ ) 毎に MC 誤差電力 (MSE) を最小とする動ベクトル  $v_k$  とフィルタ (参照画像) の組み合わせを決定する。
- (4) 同一のフィルタを選択したマクロブロックの集合  $M_i$  を対象として、次式の  $J$  に関する最小 2 乗法を適用し、領域  $M_i$  内の MSE を最小とするフィルタ係数  $a_0 \sim a_8$  を決定する。

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| $a_8$ | $a_1$ | $a_2$ |
| $a_7$ | $a_0$ | $a_3$ |
| $a_6$ | $a_5$ | $a_4$ |

図 3 フィルタ係数

\*東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科

$$J = \sum_{B_k \in M} \sum_{p \in B_k} \left( f(p) - \sum_{j=0}^8 a_j \cdot g(p + v_k + d_j) \right)^2 \quad (1)$$

但し  $f(p)$ ,  $g(p)$  はそれぞれ画素  $p$  における現フレームおよび参照フレームの輝度値,  $d_j$  は注目画素の周辺 8 近傍を参照する変位ベクトル (添字と画素の関係は図 3 の通り) である.

(5) (2) ~ (4) の手順を収束するまで繰り返す.

最終的なフィルタ係数  $a_0 \sim a_8$  は,  $-0.5 \sim 1.5$  の範囲で 9 bit 精度の線形量子化を適用後, 等長符号化している. 従って提案方式ではフレーム毎に (フィルタの種類  $\times 9 \times 9$ ) bit の付加情報が必要となる. また, 動ベクトルの符号化には整数画素精度 MC 用の可変長符号を使用し, それとは別に内挿フィルタの選択状況としてマクロブロック毎に 2 bit を伝送している.

#### 4. 特性評価

標準動画 Foreman, Carphone (CIF, 1 ~ 11 フレーム, Y 信号のみ) を対象として符号化シミュレーションを実施した. 図 4 は再生画像の符号化レートと SN 比の関係を示す. 但し, フレームレートは 30 Hz とし, MC 残差信号に対しては MPEG-2 準拠の DCT 符号化を適用した. また, グラフ上の各点は量子化特性値 (QP) を固定して求めた符号化結果を表している. 図中の「半画素精度」は, 共一次内挿に基づいた半画素精度 MC を採用した方式であり, 本方式において図 2 に示す固定フィルタを使用した場合に相当する. 同図より, 提案方式は, 一般的な半画素精度 MC を用いる方式に比べ画像 Carphone で 0.2 ~ 0.5 dB, Foreman では約 1.0 dB それぞれ高い SN 比を達成している様子が確認できる. 図 5(b) は同図 (a) に示すフレームにおける 4 種類のフィルタの選択状況を示したものである. この画像はカメラの手ぶれによって背景部分に同一の動きを有するブロックが多数存在するが, それらのブロックでは同一のフィルタが選択される傾向が認められる. このことから, 提案方式では背景の動きに特化した内挿フィルタが求められた結果, より高精度な MC を行った時と同等な効果をより少ない付加情報で達成できたものと考えられる.

#### 5. まとめ

本稿では, 非整数画素精度 MC を内挿フィルタの適応選択と等価な処理であると考え, 内挿フィルタと動ベクトルを画面全体の MC 誤差が最小となるように繰り返し最適化する手法を提案した. 今後は, フィルタのサイズ, 種類, 係数の量子化精度等のパラメータと符号化性能の

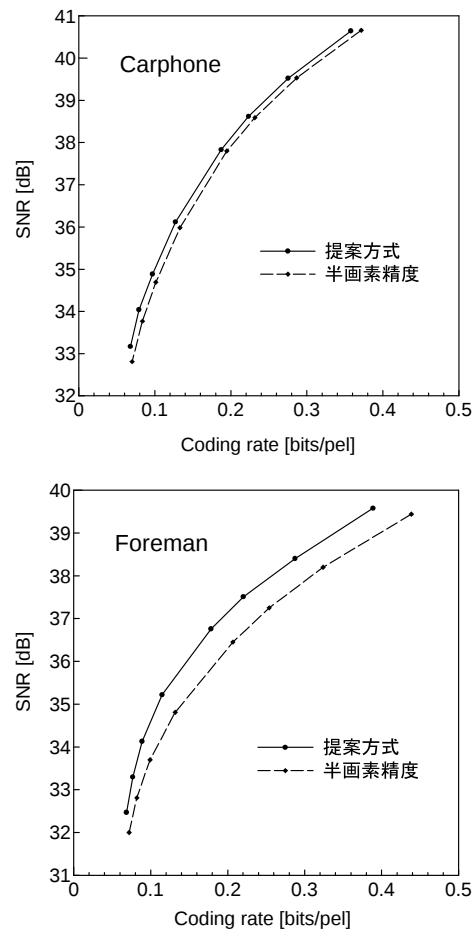


図 4 符号化特性

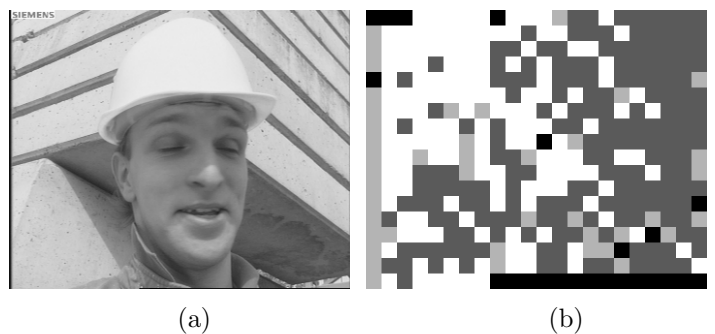


図 5 フィルタの選択状況 (Foreman)

関係について調査すると共に, 演算量の低減に関しても検討を加える予定である.

#### 【参考文献】

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, H.26L Test Model Long Term Number 8 (TML-8) draft0.
- [2] Thomas Wedi, " Adaptive Interpolation Filter for Motion Compensated Hybrid Video Coding ", Proc. of PCS-2001, pp.49-52, April 2001.