

# J-76 動き補償における改良型適応内挿フィルタの検討 Modified Adaptive Interpolation Filter in Motion Compensation

蝶野 慶一 宮本 義弘  
Kei-ichi Chono Yoshihiro Miyamoto

NEC マルチメディア研究所  
Multimedia Research Laboratories, NEC Corporation

## 1. あらまし

ITU-T 次世代動画像符号化標準草案 H.264 JM2[1]は、固定係数の内挿フィルタを用いた 1/4 画素精度の動き補償を採用し、予測効率を大幅に向上している。

しかし、以下に示す2つ理由により、固定係数の内挿フィルタによる 1/4 画素精度の補間画像では必ずしも最適な動き予測ができない。

1. 原画像にはエリアシングが生じている
  2. 動きベクトル精度は補間画像の精度により限られる
- 文献[2]は、エリアシングによって生じる誤差を補償することで、1. の問題を解決する予測誤差最小適応内挿フィルタを提案している。この方式は、フレーム単位で予測誤差パワーを最小にするフィルタ係数を推定し、そのフィルタ係数を伝送する。しかし、動きベクトルの精度は固定であるため、2. の問題は解決できない。

一方、文献[3]は、不適切な動きベクトル精度で動き予測を行った場合、大きな予測誤差が発生することを述べている。しかし、動きベクトルの精度を上げて、2. の問題を解決しようとするデコーダの演算量が飛躍的に増加する。

著者らは、従来の適応内挿フィルタ[2]に、補間画像の位相を任意にずらすフィルタを加えることで、固定の動きベクトル精度で2. の問題を解決し、符号化効率をさらに改善する方法を提案する。

提案する改良型方式は、複数の内挿フィルタの係数をフレーム単位で推定し、この複数の内挿フィルタの中から最適な内挿フィルタをMB単位で選択する。

以下2節で適応内挿フィルタの原理(従来方式)、3節で提案する改良型方式、4節では実験結果、最後に5節でまとめを述べる。

## 2. 適応内挿フィルタ

### 2.1 高精度動き補償における課題

図1は、H.264 JM2 エンコーダの構成例である(但しループフィルタは省略)。エンコーダは、入力画像の時間軸の情報量を削減するために、入力画像  $s(t)$  を、直前に符号化した参照画像  $s'(t-1)$  から内挿フィルタと動き補償によって生成した予測画像  $p(t)$  によって予測する。予測誤差  $e(t) = s(t) - p(t)$  は、4x4 直交変換と量子化を経て、可変長符号化される。

効果的な動き補償には、正確な動きベクトルの検出が必要である。このため、H.264 は6タップのWienerフィルタを用いて画素内挿を行い、高精度な1/4画素単位の補間画像を生成する。

しかし、以下に示す2つの理由によって、固定係数の内挿では効果的な動き補償ができないことがある。

1. 因果律によって理想フィルタを設計できないため、原画像には、非理想フィルタを用いたサンプリングによって、エリアシングが含まれる

2. 補間画像の解像度は限られているため、原画像の動きの精度が、動きベクトルの精度を上回る場合、正確な動きベクトルが検出できない(1/4画素精度の動き補償では1/8ベクトルが検出できない)

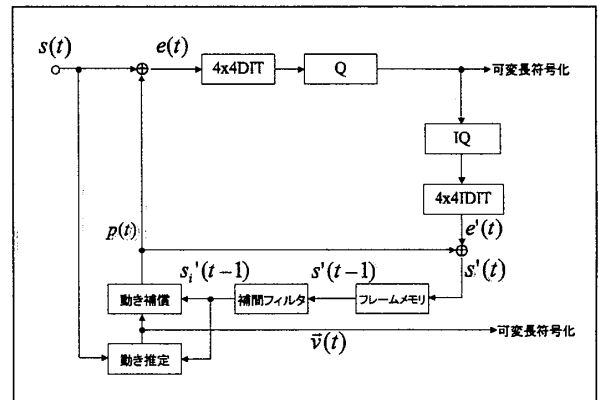


図1 H.264 エンコーダ

### 2.2 従来方式

予測誤差最小適応内挿フィルタ[2]は、予測誤差パワーを最小にするフィルタ係数をフレーム単位で推定し、エリアシングによって生じる誤差を補償する。具体的には、参照画像にエリアシングやノイズが多く混入している場合に内挿フィルタの高域特性を狭くし、それらが少なく高精細成分が多く含まれる場合に、内挿フィルタの高域特性を広くする(図2)。

このフィルタ特性の適応化による動き補償の改善は、符号化効率の改善に繋がる。

しかし、この方式では第2の問題点を解決できない。なぜなら、動きベクトルの精度を超える動きに対応できないからである。

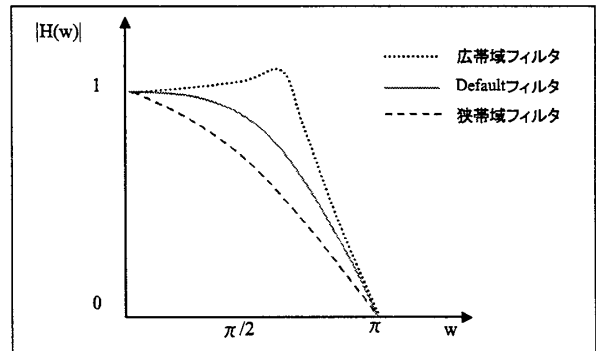


図2 適応内挿フィルタの振幅特性

### 3. 改良型適応内挿フィルタ

改良型適応内挿フィルタは、参照画像の帯域特性への適応フィルタ(従来方式)と、前記第2の問題を解決するフレーム間の動きに適応した内挿フィルタ(動き適応内挿フィルタ)を統合した方式である。

#### 3.1 動き適応内挿フィルタ

動き適応内挿フィルタは、補間画像の位相を任意にずらすことによって、限られた補間画像の精度内で動き予測の効果を高める。これによって、動きベクトルの精度を超える動きに対応できるので、画像が高精細成分を多く含み、かつ動きが緩やかな場合に、動き予測を大きく改善する。

例えば、1/4画素精度の動き補償で補間画像の位相を1/8画素ずらすには、故意に1/2画素位置へ1/4または3/4画素を補間し、更に1/4画素位置に隣接1/2画素位置から双一次内挿する。1/2画素位置への補間時の位相を任意にずらすことで、任意の精度の内挿画像を作り出せる(図3)。

エンコーダ/デコーダは、予めフレーム単位で複数のフィルタ係数(以後フィルタセットと呼ぶ)を用意し、その中からMB単位で最適なフィルタを選択する。MB単位で内挿フィルタを切り替えるだけなので、1/8画素精度の動き補償よりも、提案方式のデコーダ演算量は圧倒的に小さい。

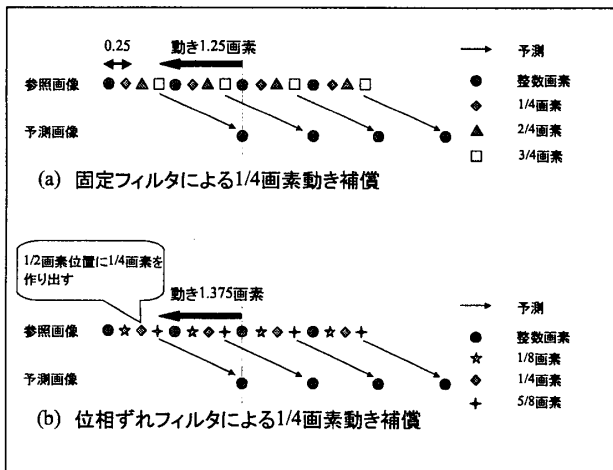


図3 位相ずれフィルタによる内挿

#### 3.2 内挿フィルタの推定と符号化

以下の5つのステップによって内挿フィルタを推定する。

- ステップ1 MB毎に最適な整数画素動きベクトルを検出する。
- ステップ2 フィルタセット別に、小数画素動きベクトルと予測誤差を求める。
- ステップ3 予測誤差を最小にするフィルタセットを、そのMBの最適なフィルタとする。以後のステップのために、最適フィルタセットに対応する動きベクトルも覚えておく。
- ステップ4 ステップ3で選択されたフィルタセットに応じてフレームを分割する。分割領域毎に、ステップ3の動きベクトルを用いて、予測誤差パワーを最小にするフィルタセットの係数を推定する。

ステップ5 現フレームを、ステップ3の動きベクトルとステップ4のフィルタ係数を用いて、動き予測する

改良型方式のビットストリームをデコードするには、フレーム毎のフィルタセットとMB毎のフィルタ選択情報が必要である。フィルタセットは、前フレームのフィルタセットとの差分を、選択したフィルタ番号はUVLC[1]によって符号化した。

### 4. 実験結果

数値実験では、CIF解像度の5つのシーケンスを、固定Q、M=1(IPPPP構造)、30fpsで符号化した。従来方式をAIFF、改良型方式をMAIF(6-tapと8-tapの2種)として各方式の平均ゲインを表1に示す。またH.264の1/8画素精度動き補償(non-normative)とも比較した。

表1 各方式の符号化ゲインの比較

シーケンス	符号化方式ごとのH.26Lに対する符号量削減率[%]			
	AIFF 6-tap	MAIF 6-tap	MAIF 8-tap	1/8MC 8-tap
Container	9.2	10.3	13.4	11.5
Flower	4.0	7.1	7.5	9.2
Foreman	6.5	3.5	5.3	0.1
Mobile	6.4	11.8	17.9	18.6
Tempete	2.3	5.6	8.7	8.9
平均	5.7	7.7	10.6	9.6
最大	9.2	11.8	17.9	18.6
最小	2.3	3.5	5.3	0.1

改良型方式によって、フレーム全体に動きがあるシーケンスに大きな符号化効率の改善が見られる。特に8-tapフィルタはより少ない演算量にも関わらず、1/8画素精度の動き補償と同等の符号化効率を有する。なおForemanでは後半のパンが高速なため動き適応内挿フィルタの効果が小さく、MB毎のオーバーヘッドによってロスが生じている。

### 5. まとめ

本稿では、改良型適応内挿フィルタのアルゴリズムと符号化ゲインを述べた。改良型適応内挿フィルタは、フレーム毎に内挿フィルタ係数の推定を行い、MB毎に最も符号化効率のよいフィルタセットを選択する。改良型方式によって、最大で18%の符号化ゲインが得られた。

#### 参考文献

- [1] Thomas Wiegand, "Working Draft Number 2, Revision 4 (WD-2 rev 5)", JVT-B118r7, DRAFT ISO/IEC 14496-10, Feb. 2002.
- [2] Thomas Wedi, "Adaptive Interpolation Filter for Motion Compensated Hybrid Video Coding", Proc. Picture Coding Symposium (PCS 2001), Seoul, Korea, April 2001.
- [3] Jordi Ribas-Corbera and David L. Neuhoff, "Optimizing motion-vector accuracy in block-based video coding", IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 11, pp497-511, April 2001