

拡張適応補間フィルタを用いた動き補償予測

Extended Adaptive Interpolation Filter for Motion Compensated Prediction

安田 豪毅†
Goki Yasuda

中條 健†
Takeshi Chujoh

1. まえがき

動画像符号化に用いられている技術に小数画素精度の動きベクトルを用いた動き補償予測がある。小数画素精度の動きベクトルを用いる場合、小数画素位置には参照画像の画素がないため、フィルタを用いて画素の補間を行う。補間した参照画像と符号化画像を用いて動き推定を行い、動き補償予測を行う。

MPEG-2, MPEG-4, H.264 等の動画像符号化の国際標準では、小数画素の補間に用いるフィルタは符号化する画像によらず、常に同じものを用いる方法が採用されている。このように固定したフィルタ（以下、固定補間フィルタ）を用いる方法では、画像の統計的性質の変化に合わせて補間を行うことができない。このため、画像の統計的性質の変化に合わせて、適応的に設計されたフィルタ（以下、適応補間フィルタ）を用いる方法が提案されている[1][2]。適応補間フィルタ[1]は、補間された画素と符号化画像の画素の平均二乗誤差が最小になるように設計される。適応補間フィルタを用いる場合、符号化器はフィルタ係数の情報を復号器に送る必要があるが、固定フィルタと比較して動き補償予測の予測誤差が減少するため、符号化効率を向上させることができる。適応補間フィルタでは、画像の統計的性質の変化に合わせてフィルタが設計されるが、フェードイン・フェードアウトの画像に含まれる輝度変化等の画素値の変化を考慮した予測は行われていない。

本稿では、画素値の変化を考慮した予測を行う適応補間フィルタ(以下、拡張適応補間フィルタ)を提案する。更に実験により、拡張適応補間フィルタは、適応補間フィルタ[1]に比べ符号化効率の点で優れていることを示す。

2. 補間フィルタ

小数画素精度の動きベクトルを用いた動き補償では、はじめにフィルタで参照画像の小数画素を補間し、補間された参照画像と符号化画像から動きベクトルが求められる。動きベクトルが小数画素を指していた場合 ($v_l(x)=\pm 0.5, \pm 1.5, \dots$)、参照画像の補間された画素が符号化画像の画素の予測に用いられる。画素は次式で予測される。

$$\hat{S}_t(x) = \sum_{l=-L}^{L-1} h_l(l) S_{t-1}(x + \lfloor v_l(x) \rfloor + l). \quad (1)$$

ただし、ここでは説明を一次元、1/2 画素精度の場合に限定し、 x を画像上の座標、 $h_l(l)$ ($l=-L, -L+1, \dots, L-1$)をフィルタ係数、 $S_{t-1}(x)$ を参照画像信号、 $v_l(x)$ を動きベクトルとし、 $\lfloor c \rfloor$ は定数 c 以下の最大整数とする。

動きベクトルが整数画素を指していた場合 ($v_l(x)=0, \pm 1, \pm 2, \dots$)、動きベクトルの指す整数画素が予測に用いられる。画素は次式で予測される。

$$\hat{S}_t(x) = S_{t-1}(x + v_l(x)). \quad (2)$$

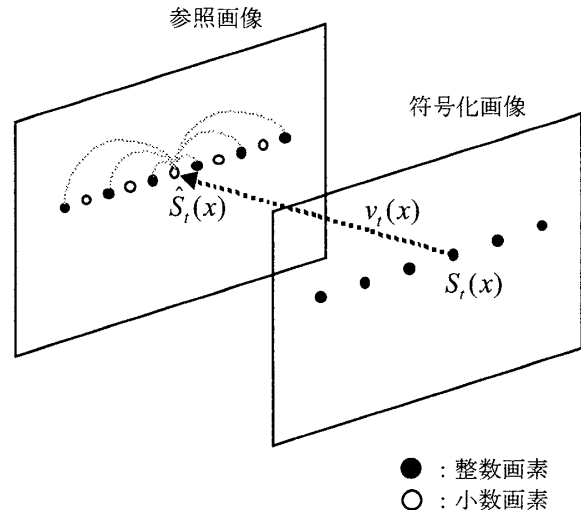


図1 動きベクトルが小数画素を指したときの予測

動きベクトルが整数画素を指していた場合 ($v_l(x)=0, \pm 1, \pm 2, \dots$)、動きベクトルの指す整数画素が予測に用いられる。画素は次式で予測される。

$$\hat{S}_t(x) = S_{t-1}(x + v_l(x)). \quad (2)$$

従来の動画像符号化の国際標準では固定補間フィルタが用いられている。例えば、H.264 では 1/2 画素を補間する際にフィルタ係数(1, -5, 20, 20, -5, 1)/32 の6タップの固定フィルタが用いられている。

3. 適応補間フィルタ [1]

適応補間フィルタ[1]では、符号化画像の画素値 $S_t(x)$ と予測値 $\hat{S}_t(x)$ との平均二乗誤差が最小となるフィルタ係数の組 $H_t = \{ h_t(-L), h_t(-L+1), \dots, h_t(L-1) \}$ を決定する。決定されたフィルタ係数を用いて動き補償予測が行われる。

適応補間フィルタでは、フィルタ係数を符号化する画像に合わせて適応的に決定することができるが、式(1)による予測ではフェードイン・フェードアウトの画像に含まれる輝度変化等の画素値の変化を考慮できない。

†株式会社 東芝 研究開発センター
〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1

4. 拡張適応補間フィルタ

拡張適応補間フィルタは、画素値の変化を考慮して小数画素を補間する。動きベクトルが小数画素を指していた場合の予測は次式で行われる。

$$\hat{S}_i(x) = \sum_{l=-L}^{L-1} h_l(l) S_{i-1}(x + \lfloor v_i(x) \rfloor + l) + a. \quad (3)$$

式(3)の定数 a により画素値の変化を考慮している。

動きベクトルが整数画素を指していた場合は、式(2)により予測を行う。

拡張適応補間フィルタでは符号化画像の画素値 $S_i(x)$ と予測値 $\hat{S}_i(x)$ との平均二乗誤差が最小となる係数と画素値の変化を表す定数の組 $H_i^{(EX)*} = \{h_l(-L), h_l(-L+1), \dots, h_l(L-1), a\}$ を決定する。係数と定数の組は次式で表される。

$$H_i^{(EX)*} = \arg \min_{H_i^{(EX)*}} \sum_{x \in X_{frac}} (S_i(x) - \hat{S}_i(x))^2. \quad (4)$$

ただし、

$$X_{frac} = \{x \mid v_i(x) = \pm 0.5, 1.5, \dots\}, \quad (5)$$

とする。

拡張適応補間フィルタを用いた動き補償は以下の手順で行われる。

(手順 1) はじめに、フィルタを用いて参照画像の小数画素を補間する。この補間された参照画像は、動きベクトルを求めるための仮の参照画像である。補間に用いるフィルタは予め決めておくものとする。

(手順 2) 補間された参照画像と符号化画像から動きベクトルを求める。

(手順 3) 手順 2 で求められた動きベクトルを用いて、予測値の平均二乗誤差を最小にする係数と定数の組、つまり式(4)を満たす係数と定数の組を求める。

(手順 4) 手順 3 で求められた係数と定数の組を用いて参照画像の補間を行い、補間された参照画像を用いて動き補償予測を行う。動きベクトルが小数画素を指していた場合は、決定された係数と定数の組を用いて補間された小数画素を用いて、式(3)で予測が行われる。整数画素を指していた場合は式(2)により予測が行われる。

5. 実験による評価

5.1 実験内容

拡張適応補間フィルタを評価するため、以下の2種類の実験を行った。

<実験 1> 輝度変化のある映像について評価するため、QCIF サイズの 2 種類の映像を入力とし、適応補間フィルタおよび拡張適応補間フィルタそれぞれを用いて符号化した。2 種類の映像は黒い画像からのフェードイン(以下黒フェードイン)と白い画像からのフェードイン(以下白フェードイン)である。

<実験 2> 一般の映像について評価するため、QVGA サイズの 45 種類の映像を入力とし、適応補間フィルタおよび拡張適応補間フィルタそれぞれを用いて符号化した。

実験 1, 実験 2 ともに符号量削減率および PSNR 増加量 [3]で評価を行う。

本稿の実験は、拡張適応補間フィルタ、適応補間フィルタを H.264 エンコーダに適用して行った。画素の補間については、はじめに 1/2 画素を補間し、その補間画像を用いて 1/4 画素を補間する方法を用いた。1/2 画素を補間する際に適応補間フィルタまたは拡張適応補間フィルタを用い、1/4 画素を補間する際に(1, 1)/2 の 2 タップフィルタを用いた。

5.2 実験結果

実験 1 の結果を以下の表 I に示す。

表 I 実験 1 の結果

	符号量 削減率[%]	PSNR 増加量[dB]
黒フェードイン	3.05	0.12
白フェードイン	18.60	0.90

実験 1 により、画素値の変化のある映像について拡張適応補間フィルタを用いた場合、適応補間フィルタを用いた場合よりさらに符号化効率が向上することを確認できる。白フェードインでは大きく符号化効率が向上している。

実験 2 の各映像の符号量削減率、PSNR 増加量から求めた 45 種類の平均符号量削減率、平均 PSNR 増加量はそれぞれ 1.96%、0.09dB であった。一般の映像については、平均してみると符号化効率の大きな向上は見られない。ただし、各映像を個別にみると最大符号量削減率、最大 PSNR 増加量はそれぞれ、12.88%、0.60dB であった。カメラのパンを含む映像について符号化効率の大きな向上が見られた。

6. むすび

本稿では、フェードイン、フェードアウトの映像に含まれる輝度変化等の画素値の変化を考慮した拡張適応補間フィルタを提案した。拡張適応補間フィルタと適応補間フィルタを H.264 エンコーダに適用し、両者を比較する実験を行い、拡張適応補間フィルタが適応補間フィルタに比べて符号化効率が向上することが確認された。

参考文献

- [1] T. Wedi, "Adaptive Interpolation Filter for Motion Compensated Prediction," Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, Sept. 2002.
- [2] T. Wedi, and H. G. Musmann, "Motion- and Aliasing-Compensated Prediction for Hybrid Video Coding," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol.13, pp577-586, July, 2003.
- [3] G. Bjontegaard, "Calculation of Average PSNR Difference between RD-Curves," VCEG-M33, ITU-T VCEG Meeting, April. 2001.