

# HEVC 技術解説[ループ内フィルタ処理]

## HEVC Technical Description on In-Loop Filter Processing

蝶野 慶一  
Keiichi Chono

### 1. まえがき

本稿では、HEVC のループ内フィルタを解説する。ループ内フィルタとは、符号化ループ内の量子化処理によって発生する符号化歪み(ブロック歪み、リングング歪みなど)を低減する技術である。HEVC のループ内フィルタは、ブロック歪みを低減するデブロッキング・フィルタとリングング歪みを低減するサンプル・アダプティブ・オフセットによって構成される。以下では、2つのループ内フィルタを解説し、シミュレーションで符号化効率の改善効果を示す。

### 2. デブロッキング・フィルタ

#### 2.1 概要

HEVC は、AVC と同様に、ブロック単位の動き補償予測と DCT に基づいたハイブリッド符号化方式である [1]。デブロッキング・フィルタは、予測処理および DCT 処理のブロック境界を適応的に平滑化することで、DCT 係数の量子化やブロック境界での動きベクトルずれに起因するブロック状の歪みを緩和できる [2]。

HEVC のデブロッキング・フィルタは AVC 方式と類似しているが、以下の二つが大きな特徴となっている。

- 4x4 画素よりも大きな、8x8 画素単位のブロック境界を平滑化: 処理対象となる画素数が AVC 方式の約半分
- 水平方向と垂直方向のフィルタ処理をブロックごとに独立に実行可: 画面内のすべての垂直ブロック境界(もしくは水平ブロック境界)を並列処理可

これらの特徴は、実装の観点で、HEVC の重要な用途である 4K や 8K などの超高精細映像の高能率符号化に極めて重要である。

以下の小節では、HEVC におけるブロック境界強度の導出、輝度フィルタ処理の選択、輝度フィルタ処理、および色差フィルタ処理について述べる。

#### 2.2 ブロック境界強度の導出

図 1 に示すようなブロック境界を挟むブロック P と Q の符号化情報に基づいて、平滑化処理の強さを示すブロック境界強度  $B_s$  を決定する。少なくとも一方のブロックがイントラ予測の場合、 $B_s$  値を 2 に設定する。両方のブロックがインター予測であり、尚且つ、少なくとも以下の一つの条件を満たす場合、 $B_s$  値を 1 に設定する。その他の場合、 $B_s$  値を 0 に設定する。

- 少なくとも一方のブロックが有意な DCT 係数を含む
- 両ブロックの動きベクトル(MV)の差分が 1 画素以上
- 両ブロックの MV の本数あるいは参照画像が異なる

$B_s$  値が 0 の場合、該ブロック境界にブロック歪なしと判断して、後述するフィルタ処理を適用しない。 $B_s$  値が 1 以上の場合、該ブロック境界がエッジ領域であるか否かを判断する。以降では、図 1 に示す垂直ブロック境界を例にして説明をする。

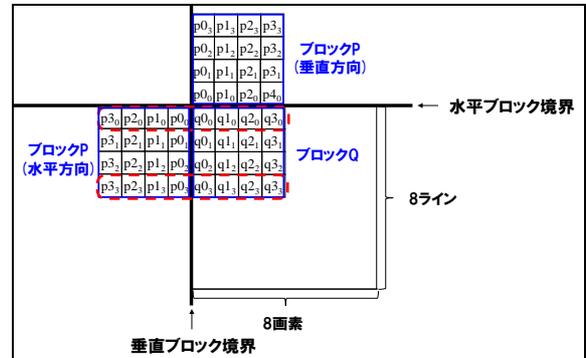


図 1 ブロック境界図

図 1 において破線領域の輝度成分の画素値  $pk_i$  および  $qk_i$  ( $k=0..2, i=0..3$ ) を用いて、式(1)および式(2)に基づいて、ブロック境界領域の画素変動  $dp_i$  および  $dq_i$  ( $i=0,3$ ) を導出する。

$$dp_i = |p2_i - 2 \times p1_i + p0_i| \quad (1)$$

$$dq_i = |q2_i - 2 \times q1_i + q0_i| \quad (2)$$

得られた画素変動の総和がしきい値以上 ( $dp_0 + dp_3 + dq_0 + dq_3 \geq \beta$ ) であれば、該ブロック境界をエッジ領域と判断し、後述するフィルタ処理を適用しない。

なお、上記  $\beta$  および後述する  $t_c$  の値は、隣接するブロック P とブロック Q の量子化パラメータの平均値  $Q_{AVE}$  に連動し、大きな  $Q_{AVE}$  になるほど、フィルタ処理がかかりやすく、平滑化効果が強くなるように設定される。

#### 2.3 輝度フィルタ処理の選択

AVC 方式と同様に、強フィルタ処理と弱フィルタ処理の 2 種類のフィルタ処理を、ブロック境界の画素値のアクティビティなどに応じて切り替える。

ブロック境界の  $pk_i$  および  $qk_i$  ( $k=0..3, i=0,3$ ) について、以下の全ての条件が成立する場合、ブロック境界の全行の輝度成分の画素値に対して、後述する強フィルタ処理を適用する。その他の場合、ブロック境界の各行の輝度成分の画素値に対して、条件付きで、後述する弱フィルタ処理を適用する。

- 画素値のアクティビティが低い:  $2 \times (dp_i + dq_i) < (\beta / 4)$
- 境界が平坦:  $|p3_i - p0_i| + |q0_i - q3_i| < (\beta / 8)$
- 境界の差分が閾値未満:  $|p0_i - q0_i| < (5 \times t_c + 1) / 2$

#### 2.4 輝度強フィルタ処理

ブロック Q の画素  $qk_i$  ( $k=0..2, i=0,3$ ) に対する本フィルタ処理は、以下の式で定義される。

$$q'0_i = (p1_i + 2 \times p0_i + 2 \times q0_i + 2 \times q1_i + q2_i + 4) / 8 \quad (3)$$

$$q'1_i = (p0_i + q0_i + q1_i + q2_i + 2) / 4 \quad (4)$$

$$q'2_i = (p0_i + q0_i + q1_i + 3 \times q2_i + 2 \times q3_i + 4) / 8 \quad (5)$$

ただし、過剰な平滑化とならないように、上記で得られた  $q'k_i$  は  $qk_i \pm 2 \times t_c$  の値域にクリッピングされる。

なお、ブロック P の  $pk_i$  ( $k=0..2, i=0,3$ ) に対する処理はブロック Q と同様である。

## 2.5 輝度弱フィルタ処理

本フィルタ処理は、式(6)で定義される、ブロック境界の画素変動  $\Delta_i$  が  $10 \times tc$  未満となる行に対して適用される。

$$\Delta_i = (9 \times (q0_i - p0_i) - 3 \times (q1_i - p1_i) + 8) / 16 \quad (6)$$

ブロック Q の  $q0_i$  に対して式(7)の平滑化処理を適用する。

$$q'0_i = q0_i - \Delta_i \quad (7)$$

ただし、過剰な平滑化とならないように、上記で得られた  $q'0_i$  は  $q0_i \pm tc$  の値域にクリッピングされる。

さらに、ブロック境界のアクティビティが低い場合 ( $dq_0 + dq_3 < (\beta + (\beta/2))/8$ )、ブロック境界から 1 画素離れた  $q1_i$  に対して、式(8)の平滑化処理を適用する。

$$q'1_i = q1_i + \Delta q_i \quad (8)$$

$$\Delta q_i = \text{Clip3}(-tc/2, tc/2, ((q2_i + q0_i + 1)/2 - q1_i - \Delta_i)/2) \quad (9)$$

ここで、上記  $\text{Clip3}(a,b,c)$  は、入力  $c$  を  $[a,b]$  の値域にクリッピングする関数である。

なお、ブロック P の  $pk_i$  ( $k=0,1, i=0..3$ ) に対する処理はブロック Q とほぼ同様となる。

## 2.6 色差フィルタ処理

$Bs$  値が 2 の場合、ブロック境界の色差成分の画素値  $p0_i$  および  $q0_i$  に対して以下の式の平滑化処理を適用する。

$$p'0_i = p0_i + \Delta c_i \quad (10)$$

$$q'0_i = q0_i - \Delta c_i \quad (11)$$

$$\Delta c_i = \text{Clip3}(-tc, tc, (4 \times (q0_i - p0_i) + p1_i - q1_i + 4) / 8) \quad (12)$$

## 3. サンプル・アダプティブ・オフセット

### 3.1 概要

サンプル・アダプティブ・オフセットは、エッジ・オフセット処理とバンド・オフセット処理で構成される。エッジ・オフセット処理は、エッジ周辺の変動を抑圧し、リングング歪みを緩和できる。一方、バンド・オフセット処理は、特定の連続する階調を補正し、グラデーション劣化を緩和できる。いずれの処理も、符号化ツリー(CTU)の再構築画像に対して適応的にオフセット値を足しこむことによって、符号化劣化を低減する[3]。

サンプル・アダプティブ・オフセットの制御情報は各 CTU ヘッダで輝度および色差毎に伝送されるが、上もしくは左の CTU の情報をそのままコピーして使うことも可能である。隣接 CTU で制御情報が同じ場合、制御情報を大幅に削減するためである。

以下の小節では、エッジ・オフセット処理とバンド・オフセット処理について詳細を述べる。

### 3.2 エッジ・オフセット処理

本処理は、処理対象画素とその隣接 2 画素の画素値の相対関係に応じて、処理対象画素にオフセット値を加える。隣接 2 画素の配置は、図 2 の(a)に示す 4 つのクラスがある。選択したクラスに対して、画素値の相対関係を算出し、図 2 の(b)に示すいずれかのカテゴリに分類される。カテゴリ 1~4 のいずれかに分類された場合、図 2 の(c)に示すように、そのカテゴリ番号に基づいてオフセット値を導出し、処理対象画素に加える。

エッジ・オフセットの制御情報としては、各カテゴリの 4 つのオフセット値の絶対値  $\text{edgeOffset}$  のみが伝送される。図 2 の(b)の矢印の方向に画素値を修正することが定義されているため、正負の符号が不要だからである。

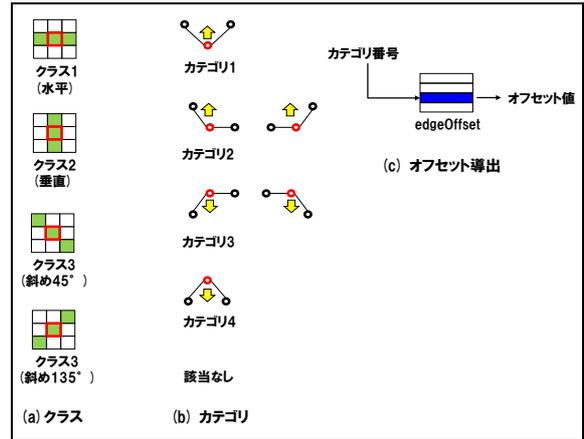


図 2 エッジ・オフセット処理のクラス、カテゴリ、処理フロー

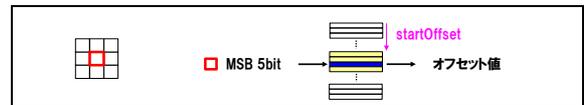


図 3 バンド・オフセット処理フロー

## 3.3 バンド・オフセット

本処理は、画素値のレンジを均等に 32 個のバンドに分割し、その中から連続する 4 個のバンドに属する画素値に対して、オフセット値を加える(図 3)。

バンド・オフセットの制御情報としては、連続 4 バンドのオフセット値  $\text{bandOffset}$  とその最初のバンドの位置  $\text{startOffset}$  が伝送される。

## 4. 性能評価

HD および WVGA 解像度のテストシーケンスに対する、リファレンスソフトウェア HM-11.0 を用いた、ランダムアクセス GOP 構造での共通符号化実験の結果を表 1 に示す。ここで、w/o SAO の列は、サンプル・アダプティブ・オフセットを無効化することによる平均符号量増加率を示す。w/o SAO+DBK の列は、さらにデブロッキング・フィルタを無効化することによる平均符号量増加率を示す。表 1 より、ループ内フィルタ処理が、HEVC の符号化効率改善にも大きく寄与していることが分かる。

表 1 同一 PSNR での平均符号量増加率 %

	w/o SAO	w/o SAO+DBK
HD	1.77	6.03
WVGA	1.26	3.95

## 5. まとめ

本稿では、HEVC のループ内フィルタ処理について解説した。ループ内フィルタ処理は、符号化歪みの低減による主観画質の改善効果のみならず、符号化効率の改善効果があることを示した。今後 HEVC が広く普及し、ループフィルタが有効活用されることを強く願いたい。

## 参考文献

- [1] G.J. Sullivan et al.: "Overview of the High Efficiency...", IEEE Trans. CSVT, 22(12), pp. 1649-1668, Dec. 2012.
- [2] A. Norkin et al., "HEVC Deblocking Filter," IEEE Trans. CSVT, 22(12), pp.1746-1754, Dec. 2012.
- [3] C.-M. Fu et al., "Sample Adaptive Offset ..." IEEE Trans. CSVT, 22(12), pp.1755-1764, Dec. 2012.