1 HEVC (MPEG-H/ITU-T H.265) 技術解説

1-4

可変長符号化

福島 茂[†]

キーワード 動きベクトル予測, マージ, 変換係数, スキャン, 符号ビット隠蔽

1 動き情報符号化

HEVCの動き情報符号化について説明する。HEVCでは、差分動きベクトルを送信する適応動きベクトル予測符号化と差分動きベクトルを送信しないマージ符号化の2種類の動き情報符号化モードを切替えることにより、効率的な動き情報符号化を実現している。適応動きベクトル予測符号化、マージ符号化ともに、複数の候補を生成して選択した候補のインデックスを送信することが最大の特徴である。適応動きベクトル予測符号化およびマージ符号化で用いられるシンタックスエレメントを図1に示す。

1.1 適応動きベクトル予測符号化

二つの予測動きベクトル候補から予測動きベクトルを選択して用いることができる。予測動きベクトルは、差分動きベクトル、参照画像インデックスとともに、いずれかの予測動きベクトルを示すインデックスとして参照画像リスト (L0/L1) 毎に符号化される。

予測動きベクトル候補は、空間予測動きベクトル候補、時間予測動きベクトル候補、ゼロ予測動きベクトル候補の優先順に二つ導出される。時間予測動きベクトル候補の導出有無は、SPS (Sequence Parameter Set) / スライスヘッダにおいて設定可能である。

(1) 空間予測動きベクトル候補

空間予測動きベクトル候補は、図2のように符号化対象PUの左側に隣接するブロック群 (A0, A1) と、上側に隣接するブロック群 (B0, B1, B2) からそれぞれ予測動きベクトルを導出する。

空間予測動きベクトル候補は、それぞれ $A0 \gg A1$ および $B0 \gg B1 \gg B2$ の優先順位でスキャンし、符号化対象PUの参照画像と同一の参照画像に対する動きベクトルを有する隣接ブロックが、予測動きベクトル候補として優先される。符号化対象PUの参照画像と異なる参照画像に対する動きベクトルを予測動きベクトルとする場合、符号化対象PUの参照画像と隣接ブロックの参照画像との参照画像間距離

モード	参照画像リスト	参照画像インデックス	差分動きベクトル	インデックス
適応動きベクトル予測符号化	○	○	○	○ (予測動きベクトル)
マージ符号化	×	×	×	○ (マージ)

図1 動き情報符号化シンタックスエレメント

図2 空間予測動きベクトル候補

に基づいて、隣接ブロックの動きベクトルをスケーリングして予測動きベクトル候補とする。ただし、空間予測動きベクトル候補生成中にスケーリングが必要となる予測動きベクトルを一つに制限するために、符号化対象PUの左側に隣接するブロック群 (A0, A1) から予測動きベクトルが導出される場合、上側に隣接するブロック群 (B0, B1, B2) からはスケーリングが必要となる動きベクトルは予測動きベクトルとしない。各ブロック群で同一の予測動きベクトル候補が導出された場合には、予測動きベクトル候補の冗長性を削減するために、先方の予測動きベクトル候補を残して他方を削除する。

(2) 時間予測動きベクトル候補

時間動きベクトル候補は、符号化対象ピクチャと異なる時間のピクチャ (ColPic) の持つ動きベクトルを参照して導出される。H.264/AVCのColPicは参照画像リストL1の参照画像インデックス0のピクチャに固定されていたが、

[†] 株式会社JVCケンウッド

"Variable Length Coding" by Shigeru Fukushima (JVC KENWOOD Corporation, Yokosuka)

図3 時間予測動きベクトル候補

HEVCではスライスヘッダで指定可能になった。

時間動きベクトル候補は、図3に示すように、ColPic上で右下に隣接するブロック（H）の動きベクトルが利用できる場合はHを候補とし、Hが利用できない場合は、ColPic上で符号化対象PUと同一位置にあるブロック内センター右下ブロック（C3）を候補とする。ただし、縦方向のLCU境界では、HがインターブロックであってもHの動きベクトルは利用できない。さらに、メモリー量およびメモリーアクセス量を削減するために、動き情報は 16×16 ブロック単位で縦横それぞれ1/4に間引かれ、左上 4×4 ブロックの動き情報のみ参照される。時間予測動きベクトル候補は、隣接ブロックの参照画像が異なる場合の空間予測動きベクトル候補導出と同様に、ColPicとColPicが参照する参照画像との参照画像間距離に基づいてスケールリングして導出される。なお、ColPicの動き情報が双方向予測である場合、符号化対象ピクチャの両参照画像リストに未来方向参照画像が含まれていない場合には、各参照画像リストの時間予測動きベクトル候補はColPic上の同じ参照画像リストから時間予測動きベクトルを生成し、参照画像リストに未来方向参照画像が含まれている場合には、双方向予測が内挿予測になり易いようにColPicとして指定していない方の参照画像リストから時間予測動きベクトルを生成する。

(3) ゼロ予測動きベクトル候補

ゼロ動きベクトル候補の予測動きベクトルは $(0, 0)$ であり、空間予測動きベクトル候補、時間予測動きベクトル候補の合計数が2に満たない場合に追加される。

(4) 一つの差分動きベクトルによる双方向予測

双方向予測を用いる場合に、参照画像リストL1における差分動きベクトルを伝送せず、予測動きベクトルをそのまま動きベクトルとして用いることもできる。これにより、参照画像リストL0のみ差分動きベクトルを伝送すればよい。ため、より少ない動き情報符号量で双方向予測が可能となる。参照画像リストL1で差分動きベクトルを伝送しないモードは、Bスライスのスライスヘッダで設定できる。

(5) 小ブロック双方向予測制限

動き補償時に参照画像メモリーから予測画像を取得する際のメモリーバンド幅削減のために、小ブロック $(8 \times 4/4 \times$

8PU)の双方向予測を禁止している。適応動きベクトル予測符号化では、双方向予測の指定を禁止することで小ブロックの双方向予測を制限する。また、後述するマージ符号化においては、導出したマージ候補が双方向予測モードの場合には、参照画像リストL1の動き情報を無視することにより、片方向予測への動き情報変換が行われる。

1.2 マージ符号化

H.264/AVCのダイレクトモードに代わり、HEVCではマージ符号化が採用された。マージ符号化は動きベクトルおよび参照画像インデックス等を符号化せず、マージインデックスを用いて動き情報を符号化するモードである。マージ候補数は最大5であり、スライスヘッダにて1～5の範囲で設定できる。

(1) スキップモード

スキップモードはCU単位で指定でき、スキップモードの動き情報導出とマージ符号化の動き情報導出は同一である。スキップモードはCU内のすべての変換係数が暗黙的に0となる。

(2) マージ候補リスト構築

マージ候補リスト構築について説明する。マージ候補リストには、空間マージ候補、時間マージ候補、結合双予測候補、ゼロマージ候補の順に追加される。マージ候補を導出するために参照するブロックは、図2および図3に示した動きベクトル予測で用いた隣接ブロックと同一である。空間マージ候補はA1、B1、B0、A0、B2の順に登録する。ただし、すでに登録されている動き情報と同一の動き情報を持つ候補がマージ候補リストに登録されにくくするために、B1がA1と同一動き情報である場合、B0がB1と同一動き情報である場合、A0がA1と同一動き情報である場合、B2がA1またはB1と同一動き情報である場合には、それぞれ先方のマージ候補を残して他方のマージ候補を削除する。

次に、空間マージ候補の導出総数が4以下である場合、時間マージ候補を導出する。時間マージ候補の動きベクトル導出手順は、適応動きベクトル予測符号化における時間予測動きベクトル導出手順と同一である。時間マージ候補の参照画像インデックスは0である。また、Bスライスの場合、時間マージ候補は常に双方向予測となる。

さらに、Bスライスの場合には、参照画像リストL0と参照画像リストL1の各動き情報を組合せた結合双予測候補をマージ候補リストに追加する。結合双予測候補は、一方の参照画像リストの動き情報を、他方の参照画像リストの他のマージインデックスの持つ動き情報と結合させることで生成する。この際に、L0とL1の動き情報が同一になり実質片方向予測にならないように候補を生成する。結合双予測候補は最大二つ追加される。

最後に、空間マージ候補、時間マージ候補、結合双予測候補の総数が5に満たない場合、ゼロマージ候補をマージ候補リストに追加する。ゼロマージ候補の動きベクトルは

図4 CU内部マージ候補参照禁止

(0, 0)であり、参照画像インデックスは0から順に割当てられる。また、Bスライスの場合、ゼロマージ候補は双方向予測となる。

(3) CU内部マージ候補参照禁止

CUを二つのPUに分割する場合、一つ目のPUの動き情報に依存せず、二つ目のPUのマージ候補リストを構築できるように、CU内部の隣接ブロックはマージ候補の生成から排除される。図4のように、 $N \times 2N$ の二つ目のPUでは、A1の動き情報が排除され、 $2N \times N$ の二つ目のPUでは、B1の動き情報が排除される。参照禁止されるブロックを×印で示す。

(4) パラレルマージ&シングルマージ候補リスト

前述したPU内部マージ候補参照禁止に加えて、更なるマージ符号化モードの並列処理を可能にする枠組みとして、マージ符号化の並列処理可能単位をPPS (Picture Parameter Set) で明示的に指定するパラレルマージ技術が導入された。パラレルマージで並列処理可能単位を指定した場合には、図5のように、指定サイズ内の空間マージ候補は強制的に利用不可能になる。参照禁止されるブロックを×印で示す。パラレルマージの並列処理単位は $8 \times 8 \sim 64 \times 64$ の範囲で指定可能である。また、パラレルマージを使用する場合は、シングルマージ候補リスト構築が連動して適用される。シングルマージ候補リスト構築では、 $8 \times 4/4 \times 8$ PUのマージ候補リスト構築を 8×8 PUのマージ候補リスト構築と同一にすることで、マージ候補リスト構築の処理量を削減している。

2 変換係数符号化

HEVCの変換係数符号化では、Zigzag スキャンに代わり、Up-right Diagonal スキャンが採用されている。また、符号の一部を暗黙的に決定し、符号ビットの情報量を削減する Sign Data Hiding 技術が採用されている。

(1) Up-right Diagonal スキャン

HEVCでは、変換係数符号化の際に、従来のZigzag スキャンに代わって、図6のように、Up-right Diagonal スキャ

図5 パラレルマージ指定領域内マージ候補参照禁止

図6 up-right diagonalスキャン

ンを基本スキャンとして採用している。変換係数は、TUサイズに拘わらず、Up-right Diagonal スキャンの逆順に 4×4 変換係数グループをスキャンする。また、 4×4 変換係数グループ内の変換係数スキャンにおいても同様に、Up-right Diagonal 逆スキャンが用いられる。ただし、 8×8 イントラおよび 4×4 イントラTUについては、イントラ予測モードに応じて、水平方向スキャン、垂直方向スキャンを用いる場合がある。

(2) 変換係数シンタックスエレメント

HEVCの変換係数に関するシンタックスエレメントを図7に示す。

HEVCでは、変換係数のシンタックスエレメントを細分化することで符号化効率向上を実現する一方、CABACのスループットを向上させる工夫がなされている。相関性を利用する効果の低いシンタックスエレメントに対しては、2

処理単位	シンタックス	セマンティクス	コンテキスト
TU	last_significant_coeff_x_prefix	TU内最後の係数位置 x 座標	○
	last_significant_coeff_y_prefix	TU内最後の係数位置 y 座標	○
	last_significant_coeff_x_suffix	TU内最後の係数位置 x 座標	×
	last_significant_coeff_y_suffix	TU内最後の係数位置 y 座標	×
4×4	coded_sub_block_flag	4×4 係数グループ内係数の有無	○
係数	significant_coeff_flag	係数レベルが0かどうか	○
	coeff_abs_level_greater1_flag	係数絶対レベルが1かどうか	○
	coeff_abs_level_greater2_flag	係数絶対レベルが2かどうか	○
	coeff_sign_flag	係数の符号	×
	coeff_abs_level_remaining	係数絶対レベルの残り	×

図7 変換係数シンタックスエレメント

値化されたシンタックスエレメントをそのまま算術符号化するバイパスモードを多く適用している。バイパスモードではコンテキストを用いた状態更新が不要である。また、コンテキストモードとバイパスモードのシンタックスエレメントをそれぞれグルーピングして符号化し、モード切替え回数を削減している。このスループット向上技術は変換係数に限らず、差分動きベクトル等の他のシンタックスエレメントにも適用されている。また、CABACに用いられるコンテキスト総数は、H.264/AVCと比較してCABACの符号化効率を低下させることなくおよそ半減されており、コンテキスト変数を保持するメモリー量を削減している。

(3) 符号ビット隠蔽

情報を圧縮しにくい変換係数の符号情報の符号量を削減するために、4×4変換係数グループ内の変換係数が特定の条件を満たした場合、0でない最初の変換係数の符号ビットを伝送せず、暗黙的に符号を決定するSign Data Hiding技術が採用されている。Sign Data Hidingの使用有無はPPSで設定できる。

Sign Data Hidingは、4×4変換係数グループ内にある0

でない最初の変換係数と、0でない最後の変換係数のスキャン順の差が4以上の時に作用し、変換係数絶対値の総和が偶数か奇数かに応じて、0でない最初の変換係数の符号を、偶数である場合には正、奇数である場合には負であると暗黙的に決定する。符号ビットが暗黙的に決定されることにより、表現したい符号ビットと逆転してしまう場合には、変換係数量子化時のRoundingには自由度があることを利用して、エンコーダ側で変換係数を変更することで暗黙的に決定される符号ビットを表現したい符号ビットに調整することが可能である。

(2013年3月29日受付)

〔文 献〕

- 1) B. Bross, et al: "High Efficiency Video Coding text specification for FDIS and Consent", JCTVC-L1003 (2013)

ふくしま しげお
福島 茂 2000年、千葉大学工学部電気電子工学科卒業。2002年、同大学院自然科学研究科電子機械科学専攻修了。2002年、日本ビクター（株）（現（株）JVCケンウッド）入社。現在、動画像符号化アルゴリズム開発に従事。