

動きベクトル差分を用いた高速スキップベクトル判定に関する検討 A Study on Fast Skip Vector Decision Using Differential Motion Vector

工藤忍[†]
Shinobu Kudo

北原正樹[†]
Masaki Kitahara

清水淳[†]
Atsushi Shimizu

1. はじめに

H.265/HEVC では隣接ブロックから作成する動きベクトルリスト (マージリスト) の中から動き情報をコピーして符号化するスキップモードが規定されている。スキップモードは選択される確率が高く符号化効率に大きく寄与する重要な予測モードであるが、動きベクトル (以降スキップベクトルと呼ぶ) を最大 5 つの候補から選択するため、全てのスキップベクトル候補についてモード判定処理を行うと演算量が増大する。従来から様々なモード判定に関する高速化が提案されているが、スキップベクトルの高速決定方法に関する検討は少ない。本稿ではインター予測モードの動きベクトル (以降インターベクトルと呼ぶ) とスキップベクトルの動きベクトル差分について最適スキップベクトルとの関係を分析し、動きベクトル差分を用いた高速スキップベクトル判定手法を提案する。評価実験により本手法の有効性を示す。

2. HEVC の予測モードと従来高速化手法

映像符号化ではフレームをブロックに分割し、予測処理による差分信号に対して変換及び量子化を施し、エントロピー符号化を行う。予測モードとして対象ブロックの隣接画素から予測を行う画面内予測モードと符号化済みフレームから予測を行う画面間予測モードがある。以下では、画面間予測モードについて説明する。

2.1. HEVC の画面間予測モード

HEVC の画面間予測モードは動きベクトル情報の符号化方法によって 3 つに分類できる。1 つ目を本稿ではインター予測モードと定義する。このモードは符号化対象ブロックの周囲或いは符号化済みフレームの符号化済みブロックから取得した予測動きベクトルとの差分、予測動きベクトルインデックス、参照フレームインデックス、予測方向情報 (片方向 or 双方向) を符号化する。2 つ目及び 3 つ目をスキップモード、マージモードとそれぞれ定義する。この 2 つのモードは動き情報について周囲或いは符号化済みフレームの符号化済みブロックから最大 5 つの候補から成るマージリストを作成し、インデックスのみを符号化する。また、スキップモードとマージモードでは前記動きベクトルで動き補償した際の予測残差を符号化するか否かの違いがあり、スキップモードは残差を符号化せず、マージモードは符号化する。このようにスキップモードとマージモードはそれぞれ最大 5 つの候補から選択することができるため、全てのスキップベクトル候補について最適な予測モードであるか否かを判定すると、予測モード判定処理に要する演算量が増大する。

2.2. 従来の予測モード判定高速化手法

予測モード判定高速化手法として、ブロックサイズ判定による手法 [1][2][3] や打ち切り判定による手法 [4][5] が報告されている。

ブロックサイズ判定による手法は予測モード判定に用いるブロックサイズを制限し、不要なブロックサイズの処理を削減することで高速化を図る方針で、周囲の分割状況やパラメータから対象ブロックを分割するか否かを推定する手法や [1][2] 対象ブロックの最適モードがスキップモードであった場合は、対象ブロックよりも小さいブロック分割は行わない手法 [3] が提案されている。これらはいずれも 1 つのブロック内の処理に関して、処理時間は削減されない。

打ち切り判定による手法は特定の条件を満たした場合に処理を打ち切り、それ以降の予測モードを省略することで高速化を図る方針で、輝度信号と色差信号の `coded_block_flag` (CBF) が共にゼロとなった場合に打ち切る手法 [4] や更にインター予測モードの MVD がゼロであるかを加えた手法 [5] が提案されている。これらの手法は 1 つのブロック内に関して、不要な予測モードを省略することで高速化を行っているが、スキップモードは必ず実行される。

上記のように様々な高速化手法が提案されているが、スキップモードの処理自体を高速化する手法は提案されていない。また、上記の手法を組み合わせることで高速化を行った場合には、スキップモードの処理が占める割合は相対的に高くなる。よって、スキップモードの処理を高速化することによる演算量削減効果は高いと考えられる。本稿ではスキップモードの処理に関して、最適なスキップベクトルを選択することによって高速化を実現する。

3. 提案法

本章では、提案する高速スキップベクトル判定手法について述べる。

3.1. 着眼点

動き探索で求まる動きベクトルは動きベクトルコストを考慮しなければ対象ブロックの予測誤差が最小となる点を表していると考えられるため、インターベクトルと同じスキップベクトルが存在すれば、動き情報の符号量が小さいスキップモードが最適な予測モードとなる可能性が高い。また、同じスキップベクトルでなくとも、一般的に予測誤差は最小点から離れるほど大きくなることから、インターベクトルとスキップベクトルの差分が小さければ、スキップモードが最適な予測モードとなる可能性は高くなると考えられる。逆に言えば、動きベクトル差分が大きければスキップモー

[†]日本電信電話株式会社, メディアインテリジェンス研究所

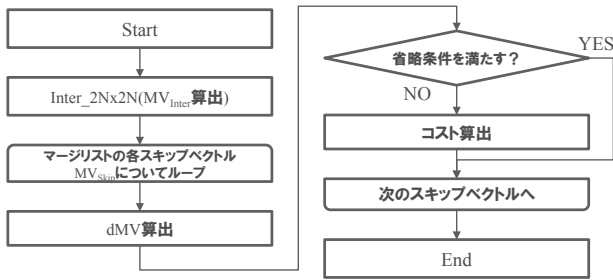


図1 提案法の概要

ドが最適な予測モードになる可能性は低くなる。そこで、本提案手法ではスキップモードの処理を行う前に動き探索を行い、求めたインターベクトルに対してマージリストの各スキップベクトルとの動きベクトル差分を計算し、差分が設定した条件を満たす場合にはそのスキップベクトルを省略することで高速化を実現する。以下に詳細なアルゴリズムを述べる。

3.2. 動きベクトル差分を用いた高速スキップベクトル判定アルゴリズム

図1及び以下に提案法の概要を示す。

Step 1 対象ブロックのインターベクトル MV_{Inter} を算出

Step 2 マージリストの各スキップベクトル $MV_{Skip}(i)$ ($i \in 1, 2, \dots, 5$) に対して動きベクトル差分 dMV を算出

Step 3 条件判定 ((2) 又は (3) 式)

Step 4 条件を満たすスキップベクトルのコスト算出を省略

dMV の算出方法は様々な方法が考えられるが、本提案手法では以下のユークリッド距離を用いる。

$$dMV = \|MV_{Inter} - MV_{Skip}\| \quad (1)$$

なお、動きベクトルの予測方向が異なる場合について、一方が片方向でもう一方が双方向の場合は片方向のみ計算し、両方が双方向の場合はそれぞれの方向について dMV を計算し、それらの平均とする。また、参照画像が異なっている場合は本提案手法の対象外 (省略を行わない) とする。

以下に Step3 で用いる省略条件を示す。

$$\text{条件 1} \quad dMV > Th \quad (2)$$

$$\text{条件 2} \quad dMV \neq \min\{dMV(k) : k \in 1, \dots, 5\} \quad (3)$$

条件 1 は dMV が閾値 Th 以上であった場合にそのスキップベクトルをコスト算出から省略し、条件 2 はマージリスト中の最小 dMV となるスキップベクトルのみをコスト算出の対象とする (複数あった場合はマージインデックスの最も小さい候補を対象)。条件 1 は複数のスキップベクトルがコスト算出の対象として残る

可能性があるが、条件 2 の場合は必ず 1 つに絞られることになり処理時間短縮の効果が期待できる。

3.3. 閾値の設定

条件 1 で用いる閾値は符号化時のパラメータによって異なると考えられる。そこで、 Th の値とスキップモードが選ばれる確率の関係を以下のパラメータについて解析した。

- 量子化パラメータ (QP)
- ブロックサイズ (BS)
- 予測方向組み合わせ (DIR)

予測方向組み合わせは、 MV_{Inter} と MV_{Skip} の予測方向がそれぞれ片方向 (Uni) または双方向 (Bi) の全 4 通りある。解析には HM16.3[6] を使用し、符号化条件は表 1 を用いた。

シーケンス BlowingBubbles に対する解析結果を図 2 に示す。図 2 の縦軸は設定した Th の値に対して条件 1 ((2) 式) を満たした時に実際にインター予測モードの RD コストよりもスキップモードの RD コストが小さかった頻度を表している。例えば 5 つのスキップベクトルがあった時に、その内 2 つが条件 1 を満たし、更にその 2 つの内 1 つのスキップベクトルを用いた時の RD コストがインター予測モードの RD コストよりも小さくなった場合は $1/2=0.5$ としてプロットする。これを全ブロックに対して算出している。

図 2 より、 Th が大きくなるほどスキップモードが選ばれなくなることが分かる。また、QP 及びブロックサイズは Th と単調増加の関係があると考えられる。QP に関しては、QP が大きくなるほどブロックの予測残差がゼロになる確率が高まり、RD コストが小さくなったため、動き情報の符号量の小さいスキップモードが選ばれやすくなったと考えられる。また、ブロックサイズに関しては、ブロックサイズが大きいほど動きベクトルの移動量に対する予測残差が大きくなるため、同じ動きベクトル差分であっても大きいブロックサイズの方がスキップモードが選ばれにくくなったと考えられる。予測方向組み合わせに関しては、Bi-Uni, Uni-Uni, Uni-Bi の順でスキップモードが選ばれにくい傾向がある。これはそれぞれ以下のように考えられる。

- Bi-Uni と Uni-Uni の比較

Bi-Uni は MV_{Inter} に双方向が選ばれているにも関わらず MV_{Skip} は片方向であるため、スキップモードは最適な予測画像が得られない、つまり動きベクトル差分が小さくてもスキップモードが選ばれにくいと予想される。対して Uni-Uni は MV_{Inter} も片方向であるので動きベクトル差分が小さければスキップモードが選ばれる可能性がある。よって、判定条件の閾値は Bi-Uni Uni-Uni とするのが有効であると考えられる。

- Uni-Uni と Uni-Bi の比較

Uni-Bi は Uni-Uni と比較してスキップモードの予測画像が 2 つの動きベクトルそれぞれの動き補償

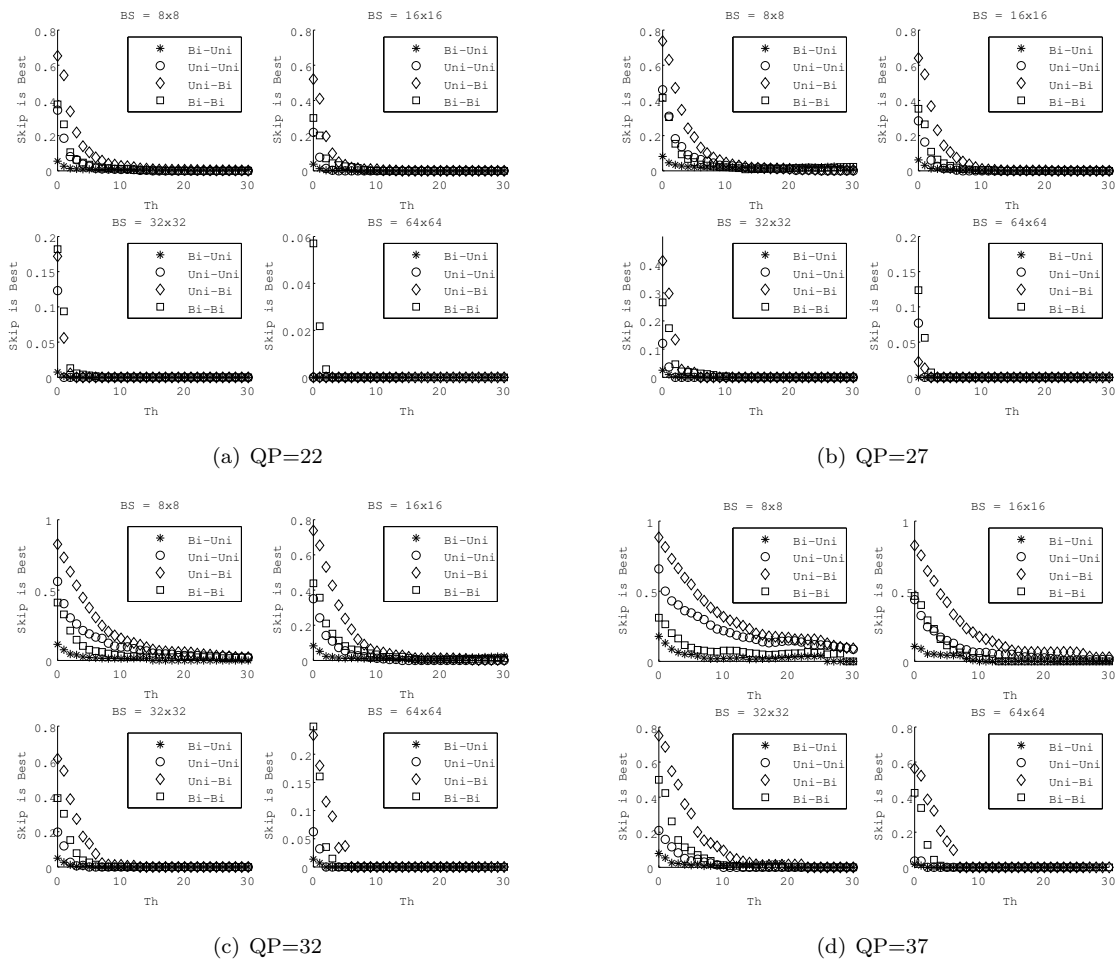


図 2 各パラメータと Th の関係 (Blowing Bubbles)

画像の平均となるため、片方の動きベクトルが動いた時の誤差増加量は半分になると考えられる。すなわち、同じ動きベクトルのずれに対する誤差が Uni-Uni よりも Uni-Bi の方が小さくなるため、同じ動きベクトル差分であった場合は、Uni-Uni よりも Uni-Bi の方がスキップモードが選ばれやすい。よって、判定条件の閾値は Uni-Uni Uni-Bi とするのが有効であると考えられる。

従って、閾値 Th はパラメータによって法則性があり、それらを考慮して閾値を設定する必要があると考えられる。本提案手法では QP, BS, DIR の組み合わせに対してそれぞれ閾値 Th を設定する。

4. 評価実験

本章では、提案する高速スキップベクトル判定手法の有効性を示すために、シミュレーション実験を行う。

4.1. 実験条件

本提案手法を HEVC の参照モデルである HM16.3[6] に実装した。実験条件は標準化共通条件 [7] に従い、HD(1920x1080), WVGA(832x480) 及び WQVGA(416x240) 映像を用いた。提案手法は条件 1

表 1 符号化条件

シーケンス	HD : 2 種類 WVGA : 4 種類 WQVGA : 4 種類
フレーム数	先頭 100 フレーム
テスト条件	RA(ランダムアクセス), Main Profile
QP	22, 27, 32, 37

(2) 式), 条件 2 ((3) 式) について行い, 条件 1 で用いる閾値はスキップモードが選ばれる確率が 0.2 以下となる値を全シーケンスに対して予め算出し, それらを平均した値を用いた。また, 比較手法としてスキップベクトルをマージンデックス = 0 とした場合との比較を行った。表 1 に符号化条件を示す。

4.2. 結果及び考察

表 2 及び表 3, 表 4 に比較手法と各提案法の符号化効率 (BDBR-Y) 及び全体の処理時間比率とスキップ

表 2 比較手法の符号化効率と処理時間比率

Sequence		BDBR -Y[%]	EncTime (All)[%]	EncTime (Skip)[%]
HD	BasketballDrive	1.3	99.8	10.7
	BQTerrace	1.1	99.9	7.3
WVGA	BasketballDrill	1.1	100.5	11.8
	BQMall	1.0	100.6	12.0
	PartyScene	0.8	101.2	12.1
	RaceHorses	0.7	100.9	15.4
WQVGA	BasketballPass	1.5	102.8	11.0
	BQSquare	1.0	102.6	8.4
	BlowingBubbles	1.1	102.8	11.4
	RaceHorses	0.9	101.0	16.7
Overall[%]		1.1	101.2	11.7

表 4 提案手法 (条件 2) の符号化効率と処理時間比率

Sequence		BDBR -Y[%]	EncTime (All)[%]	EncTime (Skip)[%]
HD	BasketballDrive	1.3	99.7	15.9
	BQTerrace	1.4	100.3	13.5
WVGA	BasketballDrill	1.0	99.5	17.6
	BQMall	0.8	99.5	17.9
	PartyScene	0.5	100.0	18.1
	RaceHorses	0.5	99.7	19.9
WQVGA	BasketballPass	1.1	99.3	18.7
	BQSquare	0.8	100.0	16.7
	BlowingBubbles	0.7	99.5	20.0
	RaceHorses	0.7	99.4	19.9
Overall[%]		0.9	99.7	17.8

表 3 提案手法 (条件 1) の符号化効率と処理時間比率

Sequence		BDBR -Y[%]	EncTime (All)[%]	EncTime (Skip)[%]
HD	BasketballDrive	0.9	100.0	44.5
	BQTerrace	1.0	100.2	51.1
WVGA	BasketballDrill	0.6	99.8	55.0
	BQMall	0.5	99.6	52.9
	PartyScene	0.3	100.1	59.1
	RaceHorses	0.2	99.7	36.9
WQVGA	BasketballPass	0.7	99.8	49.8
	BQSquare	0.4	100.2	66.1
	BlowingBubbles	0.3	99.6	67.1
	RaceHorses	0.5	99.5	37.7
Overall[%]		0.5	99.8	52.0

モードの処理時間比率の平均をそれぞれ示す。なお、本結果のアンカーは HM16.3 オリジナルの結果である。

条件 1 を用いた提案手法は比較手法よりもスキップモードの処理時間削減率が小さいが、符号化効率は平均で 0.6% 改善した。しかし、今回用いた閾値は最適な値とは言えないため改善の余地はあり、設定方法が今後の課題である。条件 2 では比較手法と同程度の処理時間削減率を実現しつつ比較手法よりも符号化効率を抑えられているが、符号化効率の改善は比較手法と比べて平均で 0.2% であった。よって、符号化効率を重視する場合は条件 1、処理速度を重視する場合は条件 2 が良いと考えられるが、符号化効率と処理時間削減率を両立するには条件 1 と条件 2 を組み合わせるなどの検討が必要である。提案手法はスキップモードの処理時間を削減するため、他の高速化手法との組み合わせが可能で、特に 2.2 節で述べたような打ち切り判定による手法との相性が良く、組み合わせることで更なる処理速度削減の効果を得られると考えられる。

5. まとめ

本稿では動きベクトル差分を用いた高速スキップベクトル判定手法を提案した。評価実験により条件 1 の閾値判定では平均で 0.5% の符号化効率低下でスキップモードの処理時間を平均 48.0% 削減し、条件 2 の最小判定では 0.9% の符号化効率低下でスキップモードの処理時間を平均 82.2% 削減した。今後は、マージモードに

関する同様の検討や条件 1 と条件 2 の組み合わせの検証、その他のパラメータによる閾値の設定及び他の高速化手法と組み合わせさせた場合のシミュレーション実験を行う予定である。

謝辞

本稿で用いた映像の一部は NTT ドコモ様の許諾を得て使用したものです。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] X. Shen, L. Yu, and J. Chen, "Fast Coding Unit Size Selection for HEVC based on Bayesian Decision Rule," Picture Coding Symposium (PCS) 2012, pp. 453-456, May 2012.
- [2] L. Shen, Z. Liu, X. Zhang, W. Zhao, and Z. Zhang, "An Effective CU Size Decision Method for HEVC Encoders," IEEE Trans. Multimedia, Vol. 15, No. 2, pp. 465-470, Feb. 2013.
- [3] K. Choi, S. H. Park, and E. S. Jang, "Coding tree pruning based CU early termination," JCTVC-F092, Torino, IT, July 2011.
- [4] R. H. Gweon, J. L. Lee, and J. Lim, "Early Termination of CU Encoding to Reduce HEVC Complexity," JCTVC-F045, Torino, IT, July 2011.
- [5] J. Kim, J. Yang, K. Won, and B. Jeon, "Early Determination of Mode Decision for HEVC," Picture Coding Symposium (PCS) 2012, pp. 449-452, May 2012.
- [6] HM software 16.3, <https://hevc.hhi.fraunhofer.de/trac/hevc/browser/tags/HM-16.3>.
- [7] F. Bossen, "Common HM test conditions and software reference configurations," JCTVC-L1100, 12th Meeting Geneva, CH 14-23 January 2013.