

拡張テンプレート複数併用法と探索区域予測を組み合わせた H.264 対応 の高効率動き検出法

菅谷 知大[†] 佐々木敬泰[†] 大野 和彦[†] 近藤 利夫[†]

[†] 三重大学大学院工学研究科 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577

E-mail: †sugaya@arch.info.mie-u.ac.jp

あらまし 動画像符号化規格 H.264/AVC は従来の MPEG-2 に比べ高画質化、高圧縮化に成功しているものの、処理量は膨大になっている。その元凶である動き検出処理に対しては、すでに様々な演算量低減手法が提案されてきた。筆者らも拡張テンプレート複数併用 (MET) する階層型動き探索法を提案し MPEG-2 において全探索並みの精度で大幅な演算量の低減が可能であることを示してきた。本稿では、その MET に探索区域予測を組み合わせ、その予測ベクトルとの一致状況を基に二次探索部の再探索を省略したり、探索範囲を制限したりすることで、探索効率と探索精度向上を両立する新たな MET を提案した。また、これを H.264/AVC のソフトウェアエンコーダに実装しその性能評価を行い、既存の EPZS に対し、画質の低下なく 2 倍程度の高速度が実現できることを示した。

キーワード H.264, Motion Estimation, 拡張テンプレート複数併用法, MET

Efficient Motion Estimation using Multiple Extended Templates and search area prediction for H.264/AVC

Tomohiro SUGAYA[†], Takahiro SASAKI[†], Kazuhiko OHNO[†], and Toshio KONDO[†]

[†] Graduate School of Engineering, Mie University, 1577 Kurimamatiya, Tsu city, Mie, 514-8507 Japan

E-mail: †sugaya@arch.info.mie-u.ac.jp

Abstract The video coding standard H.264/AVC succeeds in providing both high quality and high compression efficiency with the widely used MPEG-2, but it requires large amount of computational power mainly consumed motion estimation. Many method has been proposed for the motion estimation. We also proposed a new method using Multiple Expanded Templates (MET) based on the hierarchical motion search with both high speed motion estimation capability and search accuracy quality as well as Full Search for MPEG-2. In this paper, we here proposed the new MET algorithm that uses a search area prediction, which provide more efficient motion search with high accuracy quality by limiting a search area when the MET motion vector is similar to the median predictor. We also implemented this method to a software encoder of H.264/AVC, and evaluated it by using several test sequencies. As a result, it is shown that proposed method is about 2 times faster than EPZS in spite of no degradation of the video quality.

Key words H.264, Motion Estimation, Multiple Extended Templates, MET

1. はじめに

近年の映像デジタル化の進展の中で、様々な映像メディアに対応する動画像符号化規格である H.264/AVC (以下、H.264) が 2003 年に国際標準化された。この符号化規格は従来広く用いられてきた MPEG-2 と比べ高画質かつ高圧縮な符号化に成功しており、HDTV 対応のビデオカメラやワンセグ、また Blu-ray の映像コーデックなどに広く採用されている。しかし、H.264

は符号化における演算量が大幅に増大している。特に動き検出処理は高度の動き補償技術の導入により、符号化全体処理量の 80% をも占めるため、大幅な演算量の低減が必須となっている。

この動き検出に広く用いられ、演算量増加の主因となっているのがブロックマッチングアルゴリズム (BMA) である。符号化対象画像 X と参照画像 Y との $N \times N$ ブロックごとの SAD (差分絶対値和) を計算し (式 (1)), その値が最小となる箇所を最も類似度が高い箇所とする手法であり、この検出箇所と符号化対

象ブロック位置との差分ベクトルを動きベクトル (MV[Motion Vector]) と呼ぶ。

$$SAD(X, Y) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |X(i, j) - Y(i, j)| \quad (1)$$

MBAの基本となる全探索(以下, FS[Full Search])は探索範囲内の全点に対しこのSADを求める手法である。網羅的に最適マッチング箇所を追求するため, 高い探索精度を誇るものの, 探索点数の多さからその演算量は非常に膨大なものになってしまう。

これに対し筆者らは, 新たな低演算量動き検出手法として拡張テンプレート複数併用法(以下, MET[Multiple Extended Templates]と略す)を提案し, MPEG-2においてFSと同等の精度で演算量を大幅に低減させることに成功している。[3]

本稿では, このMETに探索区域予測を組み合わせる手法を新たに提案する。従来のMETの課題は複数の拡張テンプレートにより得られる複数の動きベクトル(以下, MV[Motion Vector])を利用することで二次探索の演算量が増加してしまう欠点があったのに対し, 探索区域予測の予測MVとMETのMVとの一致状況に基づく二次探索内再探索排除や探索範囲制限により解決を試みた結果, H.264においても従来法を凌ぐ高効率と高精度を両立できることが明らかになったので報告する。

2. 従来手法

2.1 探索パターンを用いる低演算量アルゴリズム

これまで多くの低演算量の動き検出手法が提案されているが, その多くは膨大なマッチング回数を, すなわちSADの算出回数を減らすことを基本としている。

例えば近年注目されているダイヤモンドサーチ(DS)やヘキサゴナルサーチ(HEXBS)などではあらかじめ探索パターンを定義し, このパターンから外れた点は探索対象から除外し限られた点のみを探索することで高速化を図っている。探索開始点のSADと探索パターンに含まれる周囲の点のSADとを比較し, SAD最小箇所を新たな中心としてさらに周囲の点との比較を行い, 中心点のSADが最小になったとき, その点を最適マッチング箇所とすることで探索点数の最小化と精度向上の両立を図っている。

この方式では, 多くの探索点を省いている上に, 探索開始点に大きく依存するため, 適切でない箇所を中心とした場合にその周囲の局所的なSAD最小点を検出してしまうことがある。[1]

符号化対象ブロックのMVが周辺ブロックのそれと類似している可能性が非常に高いという特徴を利用して, 周辺ブロックのMVから予測するMV(以下, 予測ベクトル)を探索開始点とすることで探索効率を改善する手法が組み込まれているものの, 一旦誤検出に至るとその結果を次々と参照していくために動き検出の破綻が生じる可能性がある。[2]

2.2 EPZS

予測区域探索手法の代表的なものにEPZS(Enhanced Predictive Zonal Search)がある。[4]

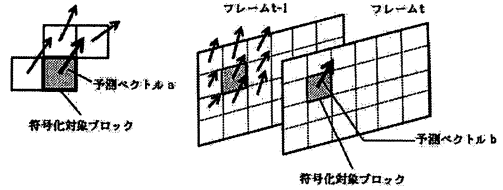


図1 予測に用いる隣接ブロックMV

EPZSでは, フレーム内の隣接ブロックのMV(図1左)に加え, 前フレームの同位置のブロックのMV, さらにその周囲のMV(図1右)といった多くの予測候補の中から最適な予測MVを選ぶことで予測精度を高める方法である。最初に図1の左に示した3つの予測MVのメディアン(以下メディアン予測ベクトル), 残りの予測ベクトル全てを最適で早期終了可能かどうか評価し, 最適でなかった場合は残りの予測ベクトルを含めた最小コストのMVを探索開始点として, ダイヤモンドやスクエアのサーチパターンを使った探索を行う。

この手法は探索精度は全探索並であり演算量低減率も非常に大きいものの, 検出精度低下防止のために早期の探索打ち切りが行いにくいことが演算量を一層低減する上でのネックとなっている。

筆者らはEPZSにおける予測ベクトルの正解率と探索が行われる割合, さらには最終的に検出したMVが予測段階で検出されていた割合を実際にEPZSで複数の画像シーケンスをエンコードし検証を行った。

テストシーケンスにはITE標準画像の中から激しい動きのあるIce_Hockey, Horse_Rase, 広いフィールドの中で選手が動くBaseball, Soccer_Action, 固定カメラで一部の物体が動くIntersection, 複数の異なる動きが含まれるBronze_with_creditsといった6種類を選び, 720x480サイズのプログレッシブ画像, 100フレーム目からの20フレームをM=0(Bピクチャなし), 探索範囲±16の条件でエンコードを行い全探索に対する予測MVの正解率を求めた。表1はその結果をまとめたものである。ここで, 予測MVの正解率はFSのMVとの一致を正解としている。

表1 EPZSにおける終了の割合

Sequence	予測MVの正解率	探索まで実行	予測MV選択割合
ice	52.86%	63.91%	80.17%
horse	56.53%	77.55%	73.89%
baseball	97.46%	76.67%	96.02%
soccer	93.29%	99.85%	95.27%
inter	93.79%	92.85%	94.84%
bronze	75.56%	97.93%	88.82%

例えばSoccerに注目すると, 検出されるMVの95.27%が予測で得られたものであるにもかかわらず, そこで終了することなく99.85%の割合で探索まで行われる。予測MVの正解率

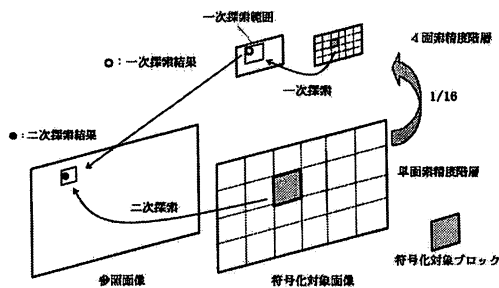


図2 階層型探索の概略

も93.29%と高いことから、この画像に関しては探索を行う必要はほとんどないと言える。他の画像では正解率が低いものや探索まで実行される割合が低いものもあるが、概ね、同様の事が言える。

筆者らは章3.で説明するようにMETに探索区域予測を組み合わせ、不要な探索を省くことにより演算量の低減を図る。

2.3 階層型探索手法

ここで、METのベースとして用いている階層型探索手法についてまとめる。まず解像度を小さくしたサブサンプリング画像を用いて粗探索を行い、大きな演算量を必要とする単画素精度階層の探索では一次探索結果周辺の狭い範囲を探索区域として探索を行うことで低演算量化を図る手法である。(図2参照)

例えば水平、垂直方向の画素数をそれぞれ1/4にした4画素精度画像はサイズが1/16となり、探索範囲が±16画素の場合は±4点まで減らすことができる。またブロックサイズも縦横1/4になるため、SAD算出式は式2で表される通りである。

$$SAD(X, Y) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |X(i, j) - Y(i, j)| \quad (2)$$

この式からSAD算出のための計算量は一回のマッチングで通常の1/16にまで抑えられることが分かり、さらに探索範囲も1/16となり実質1/256程度の演算量しか必要としない。

さらにこの手法で用いるサブサンプリング画像とは、複数画素の平均を取って一つの画素にすることで、画像本来の特徴は残しつつ画素密度を小さくした画像である。そのため章2.1で述べたサーチパターン探索とは異なり粗い探索とはいえ探索区域内の全点を探索対象としているため、予測区域探索で生じる動き探索の破綻とは無縁である。

3. 拡張テンプレート複数併用法 (MET)

階層型探索の一次探索の目的は単画素精度での詳細な探索の前に大まかに位置を絞り込むことが目的のため、探索精度自体はあまり高くない。これは先にも述べた通り4画素精度画像ではブロックサイズが4×4にまで下がってしまうためにプロ

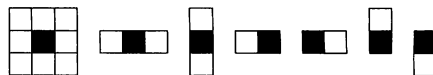


図3 3×3拡張テンプレート形状

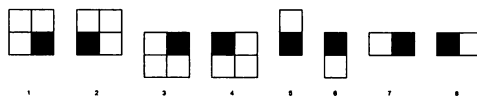


図4 2×2拡張テンプレート形状

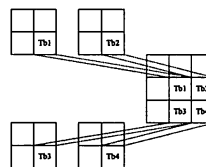


図5 隣接ブロックとの関係



図6 隣接ブロックとの共有による拡張テンプレート形状

ク本来の持つ情報量が欠如し、その結果類似箇所を誤検出してしまふためである。これに対し、従来、ブロック単位で行っていたマッチングを隣接ブロックを組み合わせて拡張した拡張テンプレート単位で行うようにすれば、構成画素数が増える分、誤検出に至る可能性を減らすことができる。この場合、単に周囲のブロックと組み合わせて大きくしただけでは細かい動きや複雑な動きに対応できない。そこで、筆者らは図3のような複数の組み合わせ方で拡張し、それらを用いて一次探索の精度を向上させるMETを提案した。

このMETをMPEG-2に適用したところ、大幅に演算量を低減させながらFS並の精度を得ることに成功している。

ここで、複数種類のテンプレートを用いることによる演算量増加は、隣接ブロック間でSADを共有することで回避でき、その共有効率のさらなる改善のために図4に示す拡張テンプレートを新たに提案した。

図5より明らかなように、Tb1に対する図4の8種類の拡張テンプレートは、Tb2、Tb3、Tb4に対する図6のテンプレート形状と重複する。従って図6に示される形状の拡張テンプレートで探索するだけで済む。また、Tb1~Tb4の2×2のブロックについて、3種類の拡張テンプレートの動き検出をするのに、上下、左右方向に片側1ブロック分だけ余分の3×3ブロック分のSADを求めればよいことになる。図3の3×3拡張の場合には両側1ブロック分の余分が必要であったことを考慮するとSADの演算効率は大いに改善される。[5]

4. 提案手法

METの一次探索は各テンプレート間でSADを共有することにより単画素精度探索に比べ無視できるほどの演算量ながら、複数のテンプレート探索のそれぞれで検出されるMVの適切な

絞り込みができないと一つの探索点で複数の単面素精度探索を行うことになりかえって演算量増加の原因になってしまう。

この問題を解決するため、MET に EPZS をベースとした予測区域探索を組み合わせる。節 2.2 で述べた通り、従来の EPZS で予測ベクトル評価段階での探索打ち切り条件がうまく機能していないために起こる不要な二次探索を MET での検出 MV との一致状況により大幅に省くことを試みる。

4.1 16x16 ブロックに関して

従来の MET の通り、1/16 のサブサンプリング画像で8種類のテンプレートによる一次探索を一括して行う。

これにより得られる MV のうち図 4 のタイプ 1~4 のメディア (以下、med22) とタイプ 5~8 のテンプレートの MV 4 つのメディア (以下、med21) を求め、その 2 つの MV を用いて探索範囲、探索中心点を設定する。メディアは各値の中央値だが、ここでの 4 つの MV のメディアは最初に 4 つの中から最も値の外れたものを排除し、残りの 3 つの中から中央値のものを選んでいる。ここで、med22 と med21、EPZS の予測ベクトルの正解率を表 2, 3 に示す。これは表 1 の時と同じ条件で評価したものである。4 画素精度画像は 4 x 4 の画素を一つにまとめたものであるため、検出 MV が示す箇所は単面素精度画像に戻したとき ±2 の範囲の 25 点を指し示すことになる。今回はこの ±2 だけでなく、±3、±5 の範囲に FS の MV が含まれる割合を算出した。

med22 と med21 の両者とも、±5 まで範囲を広げるとその中に正解ベクトルが含まれる可能性がかなり高くなる。これは予測ベクトルがこの範囲に含まれる場合、それを正解ベクトルであるとの判定に利用できることを意味する。

表 2 MET タイプ 1~4 のメディア

Sequence	med22			EPZS predictor
	±2	±3	±5	
ice	35.6%	48.4%	59.3%	52.9%
horse	47.6%	50.8%	53.4%	56.5%
baseball	85.7%	86.9%	87.1%	97.5%
soccer	83.7%	84.5%	85.5%	93.3%
inter	81.1%	82.8%	86.0%	93.8%
bronze	69.4%	78.1%	85.7%	75.6%

表 3 MET タイプ 5~8 のメディア

Sequence	med21			EPZS predictor
	±2	±3	±5	
ice	36.2%	48.6%	59.1%	52.9%
horse	47.4%	50.6%	52.9%	56.5%
baseball	85.8%	86.9%	87.1%	97.5%
soccer	83.8%	84.7%	85.5%	93.3%
inter	74.9%	76.7%	83.8%	93.8%
bronze	72.8%	81.0%	85.8%	75.6%

16 x 16 のブロックサイズにおける提案手法のフローチャートを図 7 に示す。図の右側が従来の EPZS 処理部分であり、各処理段階に上記の med22 や med21、予測ベクトルの一致状況

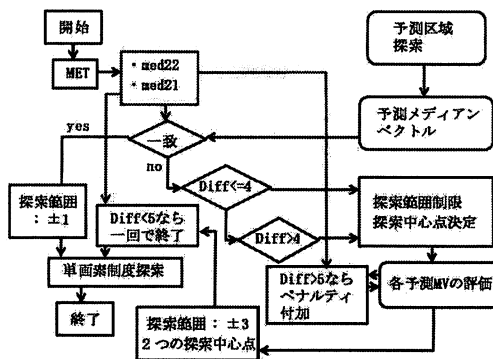


図 7 16 x 16 ブロックサイズにおける提案手法の流れ

による探索制限処理を加えている。

ただし、この一致度を用いて探索処理そのものを排除といった単純な打ち切り処理を行った実験では当然演算量は大幅に削減されたものの、その精度の低下が無視できないほど大きくなったため、以下の通り探索範囲を細かく制限することで演算量の低減を図ることにした。

- med22 や med21 が完全一致した場合、その検出点に正解がある可能性が非常に高く、単面素精度での二次探索は探索範囲を ±1 と制限する。
- med22 と med21 の差が 1 以上あるとき、med22 と med21 とで良い方を予測区域探索の判定基準や探索中心に用いる。探索範囲は ±3 とする。
- さらに差が 4 より大きいときは、大きい拡張による med22 を予測区域探索での判定基準ベクトルに用いる。探索範囲は上と同じ ±3 とする。

予測区域探索は基本的に EPZS と全く同様の手順で行う。最初に図 1 参照の左側に示している隣接ブロック MV のメディアについてマッチングし、終了条件を満たすか否かを判定する。満たさないと判定された場合は残りの全ての予測ベクトルに対してもマッチングを行う。ここで予測ベクトルが先に定義した判定基準ベクトルや MET のタイプ 1~4 の MV など全てに対して差が 4 より大きい場合は不適切なベクトルと判断するが、単に評価対象外と切り捨てることによる正解ベクトルの取りこぼしを防ぐため、ここではペナルティとして 1.03 倍という重みを予測ベクトルの評価コストに乗ずる程度にとどめている。

ここまで行ってなお終了条件を満たさない場合、現時点での最適 MV を第一候補、先に定義した判定基準ベクトルを第二候補としてそれぞれの候補を中心に探索する。ただし、ここでは判定基準ベクトルと 5 以上の差があるものは評価対象外とし探索は行わない。逆に 4 以下の場合には二次探索は一回限りとして再探索は行わない。これは表 2, 表 3 から med22, med21 の ±5 以内に正解ベクトルが含まれ ±5 を超えると正解ベクトルが含まれる可能性が下がることを考慮したものである。

このように探索範囲の制限、候補ベクトルの排除により単面素精度探索における探索を必要最小限に抑え低演算量化を

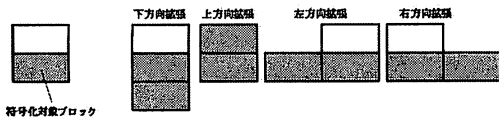


図 8 16×16 ブロックサイズにおける提案手法の流れ

図った。

4.2 16x8, 8x16 ブロックに関して

MET を H.264 に適用する場合、可変ブロックサイズへの対応が問題となる。情報量欠如を補うためのテンプレートの拡張が、16×16 よりも小さいサブブロックの動き検出で必要となる細部の動きを見逃す可能性が高まるからである。この問題を緩和するため、16×8 の上側、8×16 の左側についてはテンプレート拡張を利用しない。16×8 の下側と 8×16 の右側についてはテンプレートタイプ 5~8 の一方向拡張のもののみを使うなどの工夫をしている。

例として図??に 16×8 に対する拡張を示すが、拡張方向によっては単に 16×16 と同様のものになってしまうため、このサイズでは 3つの拡張テンプレートのメジアンを用いる。ただし、予測区域探索前の探索範囲などの制限には 16×16 での検出 MV(以下、MV16)を用いる。16×8 などのブロックは 16×16 の一部であるため、16×16 と類似する動きを持つ可能性が高いからである。これとメジアン予測ベクトル(以下、予測 med)との一致度により以下のような設定をする。基本的には 16×16 と同様の処理である。

- 予測 med と MV16 が完全一致した場合、二次探索はその±1の範囲で探索を行う。
- 差が2未満の場合、探索範囲を±3とする。
- これらの条件に当てはまらない場合は、探索範囲を±8(通常は±16)とする予測区域探索を二次探索とする。

これらの設定は実験的に求めた結果であるが、今後の実験によりさらに最適なものが見つかる可能性がある。

5. 実験と考察

提案手法を H.264 の参照ソフトウェアに実装し、全探索、EPZS のシミュレーション結果の比較を行った。

エンコード条件は表 4 に示す通りである。テストシーケンスは節 2.2 での実験に用いた 6 種類であり、右の数字は(フレームの開始番号-終了番号)である。I, P ピクチャの量子化パラメータ QP_I, QP_P は QP に等しい。ここで、今回の提案手法では高精細画像での効果の小さい 8×8 以下のサブブロックは用いないこととしたため、16×16, 16×8, 8×16 のサブブロックサイズを許す条件でシミュレーションを行った。これにより得られた FS に対する EPZS と提案手法の BD-PSNR を表 5 に示す。ただし、今回比較対象として用いる FS は参照ソフトウェアに標準搭載されており、探索の早期打ち切りなどの高速化処理が備わっている。各手法におけるのブロックマッチング回数は表 6 に示す。これは 1 フレームあたりの最悪マッ

表 4 エンコード条件

項目	内容
入力画像	Ice_Hockey (331-350)
	Horse_Race (371-390)
	Baseball (331-350)
	Soccer_Action (181-200)
	Intersection (083-102)
	Bronze_with_credits (331-350)
入力画像サイズ	720*480,60fps
フレーム数	20
動き探索範囲	±16
量子化パラメータ QP	28,32,36,40
エンコーダ	JM10.1
シーケンス構成	M=1 (IPPPP...)
ブロックサイズ	16×16, 16×8, 8×16

ング回数値であり、MET を用いた 4 画素精度探索は章 3. で述べたように各テンプレートは SAD 値を共有することにより探索を省略できると仮定し、今回は図 4 のタイプ 1 の回数のみを考慮した。さらに 4 画素精度探索では SAD 算出が式 2 のように 1/16 の計算量になるためマッチング回数/16 を 4 画素精度探索のマッチング回数とした。また 16×8 と 8×16 での探索は構成画素数が 16×16 の半分であるため一回のマッチングでの SAD 算出コストが 1/2 である。よって 16×8 と 8×16 ブロックはマッチング回数に 1/2 をかけた値を真のマッチング回数としている。マッチング回数に関しては QP=40 のときのみ算出した。

表 5 EPZS と提案手法の FS に対する BD-PSNR[dB]

Sequence	BD-PSNR	
	EPZS	Proposed
ice	-0.016	-0.129
horse	-0.088	-0.083
baseball	-0.008	-0.023
soccer	-0.003	-0.016
inter	-0.006	-0.060
bronze	-0.027	-0.090

提案手法は EPZS に対し探索をかなり省いているものの、最も画質劣化の激しい最悪フレームでの PSNR 低下量も Ice_Hockey で 1.3[dB] 程度で、それ以外は 1[dB] 以下に保つことができた。ここで表 6 の Ice_Hockey の項目を見てみると、FS に対して 30 倍以上の高速化を達成している。この画像に関しては高速化のための条件が必要な探索まで省略してしまったために画質の低下が起こってしまったと推測できる。総じて高速化率が高いものは画質の低下が生じってしまうと言えるが、Baseball や Soccer_Action に関しては全探索からの PSNR 低下量がほんのわずかながら高速化率は FS の 10 倍以上、EPZS に対しても 2 倍以上を達成している。

ここで Intersection と Bronze_with_credits に関しての各ブロックサイズの EPZS に対する高速化率の内訳を表 7 に示す。Bronze_with_credits は全体の高速化率があまり良くなかった

表 6 FS, EPZS, 提案手法の探索回数比較 (QP=40)

Sequence	Method	マッチング回数	FS 比高速化
ice	FS	1834023	-
	EPZS	85559	21.44
	Proposed	53707	34.15
horse	FS	1761228	-
	EPZS	131060	13.44
	Proposed	68928	25.55
baseball	FS	528079	-
	EPZS	88432	5.97
	Proposed	45683	11.56
soccer	FS	613850	-
	EPZS	123248	4.98
	Proposed	51511	11.92
inter	FS	332487	-
	EPZS	110181	3.02
	Proposed	52078	6.38
bronze	FS	410561	-
	EPZS	93906	4.37
	Proposed	59932	6.85

表 7 各ブロックにおける提案手法の EPZS に対する高速化率 (Bronze, QP=40)

Sequence	Proposed		
	16 × 16	16 × 8	8 × 16
inter	3.36	1.45	1.47
bronze	2.28	1.34	1.31

ものだが、この結果から分かる通り 16 × 16 に関しては 2 倍以上の高速化を達成しており、Intersection に至っては 3 倍以上である。つまり範囲の制限などが 16 × 16 ほど効果的ではないことが伺える。

しかし全体として、提案手法は画像によっては探索区域予測と MET での 4 画素精度探索といったほとんど演算量のかからないものを用いても単画素精度探索並の精度を実現することができることが明らかになった。

6. おわりに

本論文では、MET に予測区域探索を組み合わせた低演算量の動き探索手法を提案した。MET での検出 MV と予測ベクトルとの一致状況により二次探索の探索範囲を細かく制限することで、必要最小限な探索のみを行う低演算量の動き検出法を実現した。

H.264 の参照ソフトウェアに実装して評価を行ったところ、演算量に関しては FS と比べて概ね 1/10 程度、最大で 1/30 以下に SAD 算出回数を削減することに成功した。演算量の少ない EPZS と比較しても概ね 1/2 以下である。またその際の精度も PSNR 低下量は 0.1[dB] 以下に抑えられている。この結果から MET に予測区域探索を組み合わせる手法は探索精度維持と演算量低減を両立するのに効果を発揮したと言える。

しかし、16 × 16 のブロックに対しては提案手法の演算量低

減効果は大きかったものの、5. で明らかにしたように、未だ 16 × 8 と 8 × 16 の探索には 16 × 16 ほどの高速化が実現できてない。今後の課題は、これらのサブブロックに対しても効果の高い演算量低減手法を見出して行くことである。

文 献

- [1] T.Song and T.Shimamoto, "Motion Area Estimated Motion Estimation with Triplet Search Pattern for H.264/AVC", Proc. International Journal of Signal Processing Volume 4, pp.67-761, Nob., 2008.
- [2] I.Werda,H.Chaouch,A.Samet,M.Ali Ben Ayed,N.Masmoudi, "Optimal DSP-Based Motion Estimation Tools Implement For H.264/AVC Baseline Encoder", Proc. International Journal of Computer Science and Network Security VOL.7, No.5, pp.141-150, May, 2007.
- [3] 近藤, 小林, 平松, 佐々木, 大野, "照合用拡張テンプレートを複数併用する階層型動き探索方式", Proc. 電子情報通信学会総大会論文集, pp.22, March, 2005.
- [4] Alexis M. Tourapis, "Enhanced Predictive Zonal Search for Single and Multiple Frame Motion Estimation", Proc. Visual Communications and Image Processing, pp.1069-1079, Jan., 2002.
- [5] 片野, 上念, 佐々木, 大野, 近藤, "拡張テンプレート動き検出用 4 画素精度ビット切り詰め型探索ユニットの設計", Proc. Technical report of IEICE ICD Vol 107, pp.71-76, Dec., 2007.