

卒業論文

題目

近傍の動きベクトルの分散に応じ
て拡大量を制御する
拡大ダイヤモンド探索法

指導教員

近藤 利夫 教授

2017年

三重大学 工学部 情報工学科
コンピュータアーキテクチャ研究室

伊藤 寛隆 (413807)

内容梗概

近年、4Kテレビの登場やスーパーハイビジョンの試験放送開始など高精細のテレビ技術の開発が進んでいる。その一つが動画像のデータ量の増大と、符号化に必要な演算量の増加に対応するための動画像の高効率圧縮符号化であり、その高効率化の要である動き検出処理は、圧縮処理の大半を占めることから、演算量低減が強く求められている。符号化規格H.265/HEVCが採用しているTZSearchは、高検出精度と演算量低減を両立する点で定評があるものの、局所最適解に陥ることを回避するために、遠隔点を疎らに探索する割合の高い拡大ダイヤモンド探索を繰り返すことから、演算量低減やデータの再利用性向上の要求を十分には満たせていない。そこで本研究では、符号化対象ブロックの近傍の動きのばらつきを利用した探索点の削減や、ブロックマッチングの演算に用いる画素数を削減することで、高探索効率、低演算量、参照画像データの高再利用率の3つ要求を満たす動き検出アルゴリズムを提案する。実験の結果、この提案法を用いることで従来のTZSearchと比べAD演算量を約90%低減できることを明らかにした。

Abstract

In recent years, high-definition television technology developments are proceeding such as the appearance of 4K television and the start of test-broadcasting of Super Hi-Vision. One of the technologies is high-efficiency compression coding of moving pictures to cope with an increase in the amount of data of moving pictures and an increase in the amount of computation required for encoding. The motion detection processing, which is a key to achieving high efficiency, occupies the majority of the compression processing, so reduction of calculation amount is strongly demanded. TZSearch that is utilized in Video Coding Standard, which is called H.265/HEVC, has established reputation for compatible with high detection accuracy and low complexity. However it can not meet the requirement of reduction complexity and improving the reusability of data. Because it repeat an expanding diamond search that has many remote search points and these are sparse to avoid capture of local optimal solution. Therefore, this study shows a motion detection algorithm that satisfies three requirements: high search efficiency, low computational amount, and high reusability of reference image data, by reducing the number of search points using variations of motion in the vicinity of the block to be coded and by reducing the number of pixels used for block matching computation. Experimental results showed that this proposed method can reduce about 90% AD calculation compared to TZSearch.

目次

1	まえがき	1
1.1	背景	1
1.2	研究目的	2
2	動き検出とその高効率処理の課題	3
2.1	SAD 演算	3
2.2	動き検出	3
2.3	予測ベクトル	4
2.4	H.265/HEVC	4
2.5	代表的な手法	7
2.6	TZSearch	8
3	従来のアルゴリズムの調査と問題点	12
3.1	予測ベクトルとの誤差	12
3.2	問題点	13
4	提案手法	14
4.1	方針	14
4.2	近傍符号化済み動きベクトルの分散を用いた手法	15
4.3	サブサンプリング	16
5	性能評価	18
5.1	評価	18
5.2	考察	22
6	あとがき	23
	謝辞	24
	参考文献	24
A	プログラムリスト	26
B	評価用データ	26

目 次

2.1	H.264/AVC でのブロックサイズ	5
2.2	H.265/HEVC でのブロックサイズ	6
2.3	H.265/HEVC でのブロック割り当て	6
2.4	拡大ダイヤモンド探索の探索点	10
2.5	2点探索の探索点	10
2.6	ラスタ探索の探索点	11
3.7	分散値毎の距離 1 以内で検出される割合	13
4.8	分散値を用いた探索範囲縮小のフローチャート	16
4.9	2画素精度サブサンプリング	17
4.10	4画素精度サブサンプリング	18

表 目 次

5.1	テストシーケンス	19
5.2	エンコード条件	19
5.3	キャッシュメモリ仕様	19
5.4	TZSearch の結果	20
5.5	提案手法の結果	21
5.6	TZSearch との性能比較	21

1 まえがき

1.1 背景

近年，4K テレビの登場やスーパーハイビジョンの試験放送開始など高
精細のテレビ技術の開発が進んでいる．その一つが動画像のデータ量の
増大と，符号化に必要な演算量の増加に対応するための動画像の高効率
圧縮符号化であり，その高効率圧縮の要で符号化処理の大半を占める [1]
動き検出の処理効率改善の研究が継続的に行われている．しかし，演算
量の低減に加え，転送量の低減の要求までも満たす動き検出アルゴリズム
は実現されていない．2013 年に動画像圧縮国際基準として規格化され
た H.265/HEVC のテストモデルである HM ソフトウェアエンコーダで使
用されている TZSearch[2] は，高検出精度と低演算量を両立する数少ない
アルゴリズムながら，遠隔の疎らで参照画像の再利用率の低い探索点を
無駄に探索する割合が高く，そのことが，データ転送量と演算量増大を
まねき，高速化率改善の大きな障害となっている．

1.2 研究目的

高検出精度を維持しつつ，更なる演算量，データ転送量低減の要求に応えるためには，従来のアルゴリズムに加え更なる改良が必要である．そこで，本研究では符号化対象ブロックの近傍の動きのばらつきを利用した探索点の削減や，ブロックマッチングの演算に用いる画素数を削減することで，高探索効率，低演算量，参照画像データの高再利用率の3つの要求を満たす動き検出アルゴリズムの実現を目指した．提案アルゴリズムでは符号化対象ブロックの近傍の動きが一様な場合に，探索点の大幅な削減を図る．評価実験では提案手法と TZSearch に対する4種類の動画像のエンコードを行い，その結果を比較することで，提案アルゴリズムの有効性を明らかにする．

2 動き検出とその高効率処理の課題

2.1 SAD 演算

SAD(Sum of Absolute Differences) は、対象画像と参照画像の間のブロックマッチングにおいて類似度を評価する関数の一つであり、対応画素値間の差分絶対値和により求められる。符号化対象ブロックを X 、参照ブロックを Y としたとき、 $N \times M$ ブロックの SAD は (1) 式のように算出される。この値が小さいほどブロック間の類似度が高いと判定する。ブロックを構成する全ての画素で差分絶対値を計算することから、1 回の SAD 演算には $M \times N$ 回とブロックサイズに比例する AD 演算が必要である。

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

2.2 動き検出

動き検出は対象画像と参照画像間でブロックマッチングをする処理である。ブロックマッチングでは SAD 演算をすることで画像の類似度を計算し、最も類似度が高いブロックを検出する。これを予測ブロックとし、符号化対象ブロックから予測ブロックへ向かうベクトルを動きベクトルとして検出する。この動きベクトルと、符号化対象ブロックと予測ブロッ

クの差分を符号化対象とする動き補償により，情報量が低減され，圧縮効率が高められている．動き検出は高精度を得ようとする符号化処理の大半を占めるほどの膨大な演算量になるため，動画像の高精細化に向けて改良が必要不可欠となっている．

2.3 予測ベクトル

予測ベクトルは，符号化対象ブロックの近傍符号化済みブロックで検出された複数の動きベクトルの中から求められ，動き探索の開始点としても利用される．その周囲の動きベクトルの中から最もコストの低いものを採用して，符号化対象ブロックの位置から予測ベクトル分ずらした位置の参照ブロックを探索開始点とする [2]．コストは，動きベクトル分移動した先のブロックと符号化対象ブロックの SAD などによって求められる．これによって，動きをあらかじめ予測しておくことで探索効率を高めている．

2.4 H.265/HEVC

H.265/HEVC とは，ISO/IEC の MPEG と ITU-T の VCEG による研究開発チーム JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video) によって提案され，2013 年に規格化された次期動画像国際標準である．H.264/AVC

の約 2 倍の圧縮率を持ち，スーパーハイビジョンなど高解像度な映像や携帯端末向けのストリーミング用途に向けた規格である．H.265/HEVC と H.264/AVC での動き検出における仕様の大きな違いとして，ブロックサイズの多様化があげられる．H.264/AVC では図 2.1 に示すように大きさが 4×4 - 16×16 であったのに対し，H.265/HEVC では図 2.2 に示すように， 8×4 (4×8)- 64×64 へと変更されている．またブロックの形状についても，H.264/AVC では正方形と正方形を半分に分割した長方形のみ選択可能であったが，H.265/HEVC では正方形を 1:3 のように非対称に分割した長方形の選択も可能である．このような多様化により，動き補償の効果が高められている．しかし圧縮率の向上と引き替えに，従来の H.264/AVC と比べ処理の複雑性や演算量が増している．図 2.3 は実際に割り当てられるブロックの例を示す．

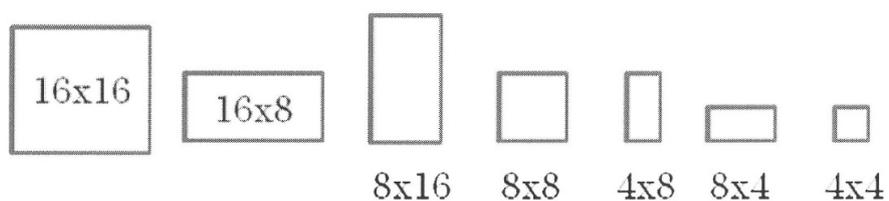


図 2.1: H.264/AVC でのブロックサイズ

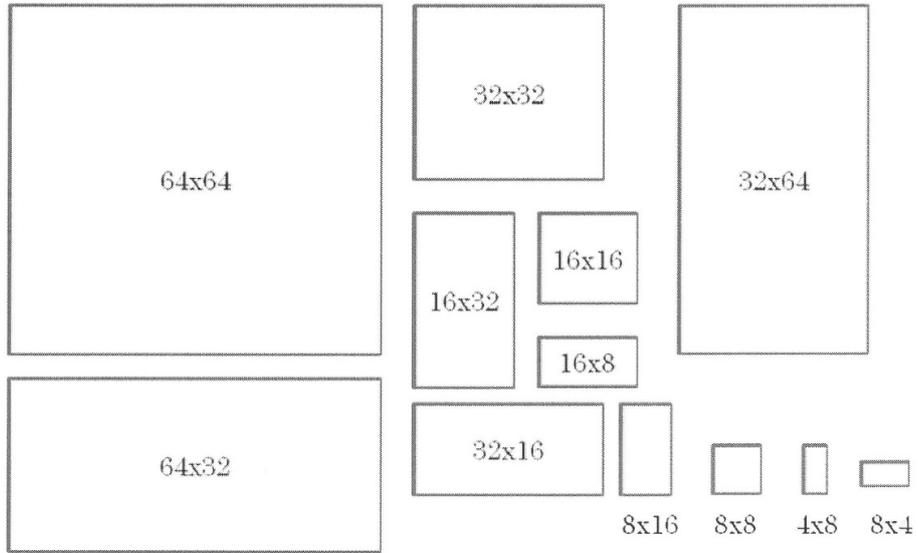


図 2.2: H.265/HEVC でのブロックサイズ

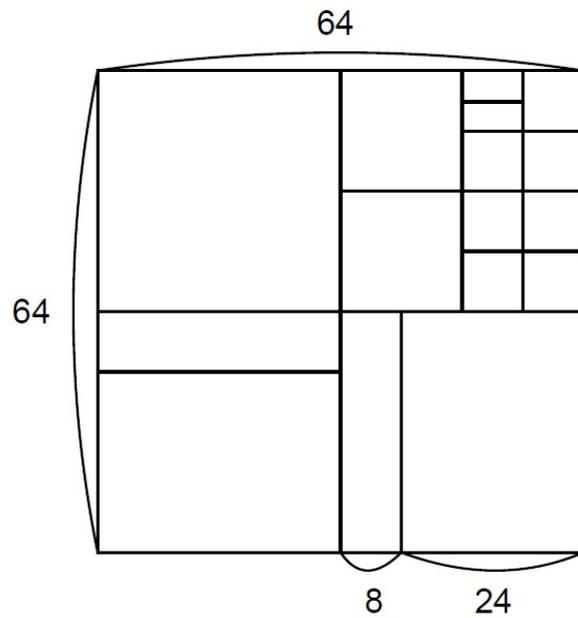


図 2.3: H.265/HEVC でのブロック割り当て

2.5 代表的な手法

探索範囲の全箇所を探索するような全探索では正確に動きを検出できる代わりに、演算量が膨大となってしまう問題点がある。この問題を解決するために高効率動き検出アルゴリズムが多数提案されている。例として、H.264/AVCの参照ソフトウェアであるJMで使われているUMHexagon(Uneven Multi Hexagon)[3]やEPZS[4]などが挙げられる。これらのアルゴリズムの共通点としては、予測ベクトルを用いて探索開始点を決定し、そこから追跡型の探索方法で動きを検出するという点である。この追跡型の探索というのは探索パタンの中の最良点に探索中心を移動し再び探索を行う方法で、現在主流となっている探索方法である。しかし予測ベクトルの近傍の探索には適しているものの、動きが速い場合などに遠隔点の探索がおろそかになり局所最適解に陥ってしまう可能性がある。この場合誤った動きベクトルを検出し続けてしまい、符号化効率および画質に影響が出てしまう。

粗密階層探索 [5] は最初に解像度を小さくしたサブサンプリング画像を用いて探索し、おおよその位置を絞ってから密な画像で狭い範囲のみを探索する手法である。密な画像で探索した場合に比べて、サブサンプリング画像で探索した方がより少ない演算量で探索を行うことが可能なの

で、演算量が低減できる。しかし、情報量を削ったサブサンプリング画像で探索しているため、探索精度が低下しやすいという問題がある。

このように様々な動き検出アルゴリズムが開発されているものの、演算量低減と画質や符号化効率の向上を図るのは非常に難しく、それらを両立しているアルゴリズムは数少ない。

2.6 TZSearch

TZSearch は、H.265/HEVC のテストモデルである HM ソフトウェアエンコーダで使用されている高検出精度と高効率を両立する動き探索アルゴリズムである。主な手法としては、予測ベクトルなどを用いて探索開始点を決定し、そこから 2 の累乗の距離の点を探索点とする拡大ダイヤモンド探索を行っている。図 2.4 に、この拡大ダイヤモンド探索において、距離 4 まで拡大後の探索点の例を示す。拡大後の探索点の中の最良点に探索中心を移動し、拡大ダイヤモンド探索を繰り返し行い、動きが存在する箇所を追跡することで局所最適解に陥ることを避けて高検出精度を確保している。

さらに探索中心から最良点までの距離が 1 の場合には、図 2.5 に示すような、探索を行っていない距離 2 の点を 2 箇所探索する 2 点探索を行って

いる．この2点探索により探索の早期打ち切りを行う．2点探索では拡大ダイヤモンド探索の探索中心から距離2の点を探索するので，検出がある程度終了に近づいていることから，打ち切りを行っても精度に影響は少ない上に演算量を低減できる．

また初回の拡大ダイヤモンド探索での最良点が探索中心から遠い場合には，再び拡大ダイヤモンド探索を行う前にラスタ探索を行っている．ラスタ探索では図2.6のように，探索範囲内を一定の間隔を開けてブロックマッチングを行っていく．これにより探索範囲全体を粗く探索することで動きが速い場合などの精度の維持を図っている．

このようにTZSearchでは，拡大ダイヤモンド探索，2点探索，ラスタ探索を組み合わせることで高効率と高検出精度を実現している．しかし拡大ダイヤモンド探索は，遠隔点まで繰り返し拡大を続けるため無駄な探索が多く，探索点が疎らになり参照画像データの再利用性が悪化する問題がある．またラスタ探索は探索範囲内の多くの点を探索するため探索精度は高いものの，SAD演算量と画像データ読み込み回数が増加するため，探索効率が低下する問題がある．

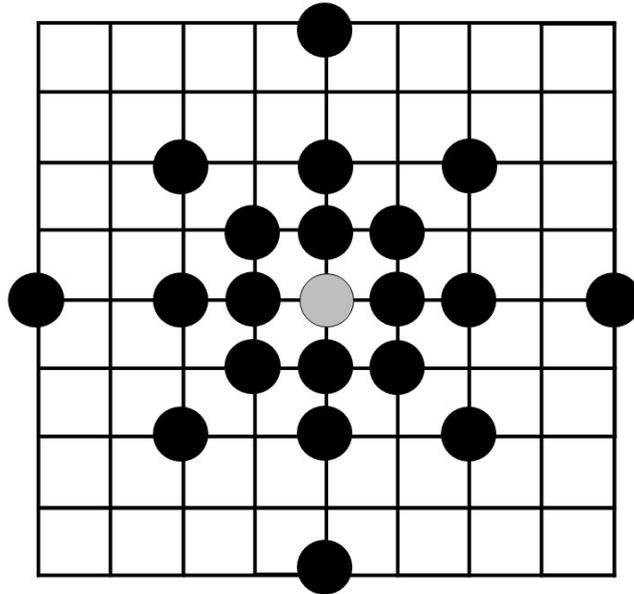


図 2.4: 拡大ダイヤモンド探索の探索点

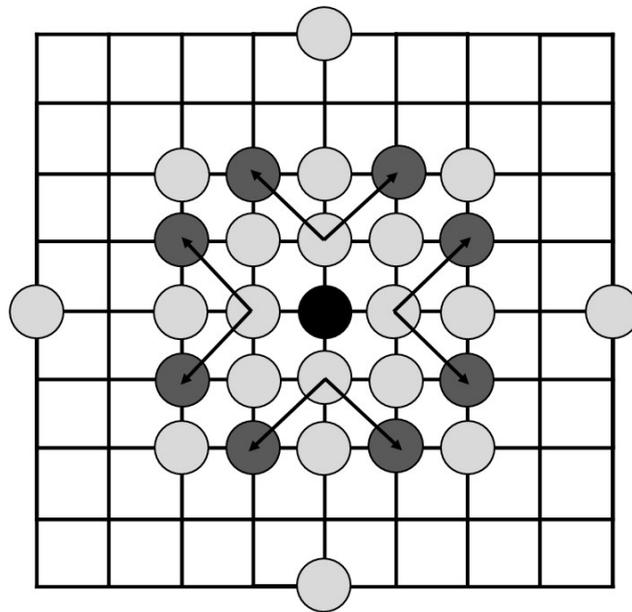


図 2.5: 2点探索の探索点

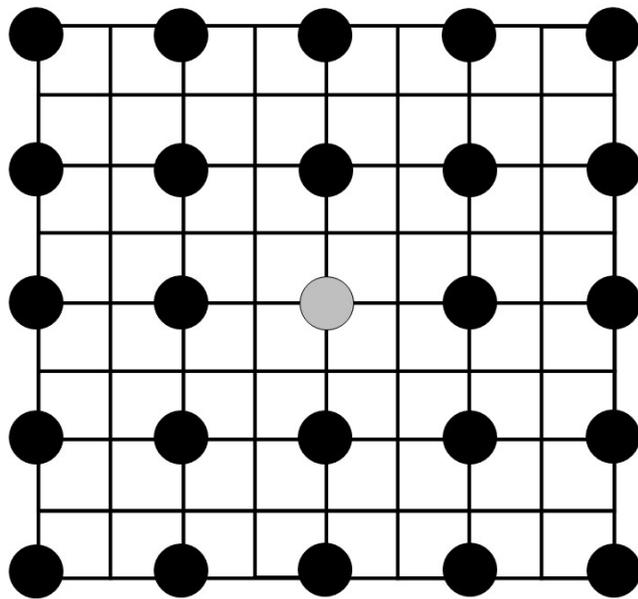


図 2.6: ラスタ探索の探索点

3 従来のアルゴリズムの調査と問題点

3.1 予測ベクトルとの誤差

TZSearch において予測ベクトルと検出される動きベクトルとの距離である予測誤差について、H.265/HEVC のテストモデルである HM ソフトウェアエンコーダの HM-10.0 でシミュレーションを行った。この予測誤差が小さければ小さいほど、最初の探索開始点の近傍で動きが検出されていることになる。

この結果、予測ベクトルで指定される点から遠く離れた点が検出される割合は少なく、誤差 4 以内に収まる割合が全体の約 70% を占め、予測ベクトルの精度が非常に高いことが明らかになった。

また符号化対象ブロックの上、左、時間的近傍ブロックで検出された 3 つの動きベクトルの水平・垂直成分それぞれの分散値を求め、分散値の大きさ毎の水平・垂直方向の予測誤差についても調査した。この分散値が小さいほど、3 つの動きベクトルは一様である。図 3.7 に、BasketballDrill から抜粋した 50 フレームをテストシーケンスとして調査を行ったものを示す。

この結果、水平・垂直成分どちらにおいても、符号化対象ブロックの近傍の符号化済み動きベクトルの分散値が小さければ小さいほど予測誤

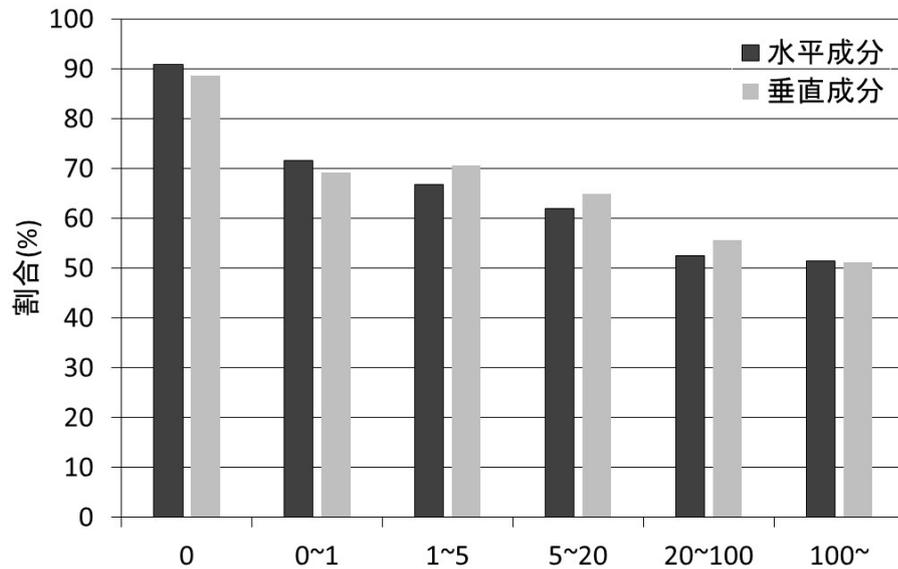


図 3.7: 分散値毎の距離 1 以内で検出される割合

差が小さくなり、誤差 1 以内で検出される割合は、分散値が小さい場合には約 90%を占め、予測ベクトルの精度がより高くなることが明らかになった。

3.2 問題点

TZSearch でシミュレートした結果、予測ベクトルの近傍で動きが検出される割合が高く、符号化対象ブロックの近傍の符号化済み動きベクトルの分散値が小さい場合には、その割合がさらに高くなることが明らかになった。しかし従来の TZSearch は拡大ダイヤモンド探索を用いるため

に，遠隔点を探索する割合が比較的高く，近傍の動きベクトルが一様な場合には予測ベクトルの近傍で検出されるという特性を活かせていない．これらから TZSearch での遠隔点を探索する割合を，近傍の動きベクトルの分散値によって低減することができ，それによって演算量を大幅に低減できると考えられる．

また TZSearch の遠隔点まで拡大を続ける拡大ダイヤモンド探索では，遠隔の探索点がまばらになるため，参照画像データの再利用性が悪化してしまう問題もあるが，この問題点についても遠隔の探索点を低減することで改善されると考えられる．

4 提案手法

4.1 方針

・3章で示した TZSearch の問題点をふまえ，予測ベクトルの近傍を効率的に探索できるようにする．また近傍ブロックの動きが一様な場合には予測ベクトルの精度が高くなるという特性を活かし，遠隔の不適切な探索点や演算を削減可能なアルゴリズムを提案する．符号化対象ブロックの時間的または空間的近傍の符号化済み動きベクトルの分散値を算出し，分散値が小さい場合に探索範囲を縮小することで，探索点の削減やデー

タの再利用性の向上を図る。また、ブロックサイズ別にサブサンプリングを行うことで演算量削減も図る。

4.2 近傍符号化済み動きベクトルの分散を用いた手法

近傍ブロックの動きが一様な場合には、予測ベクトルの予測精度が高くなる特性を活かして、無駄になる確率の高い探索点や演算を低減する方法を提案する。

この低減法は、符号化対象ブロックの時間的または空間的近傍ブロックにおける動きベクトルの水平・垂直成分それぞれについて分散値を計算し、分散値が小さい場合に探索範囲を縮小する手法である。ただし、縮小は水平成分の分散値が小さい場合には水平方向の探索範囲に対して、垂直成分の分散が小さい場合は垂直方向の探索範囲に対して、それぞれ行う。また分散値が小さいほど縮小率を高める。この探索範囲縮小法により遠隔の探索点が大幅に削減されるので、演算量が大幅に低減されると共に、参照画像データの再利用性を向上させることができる。図 4.8 にこの手法のフローチャートを示す。

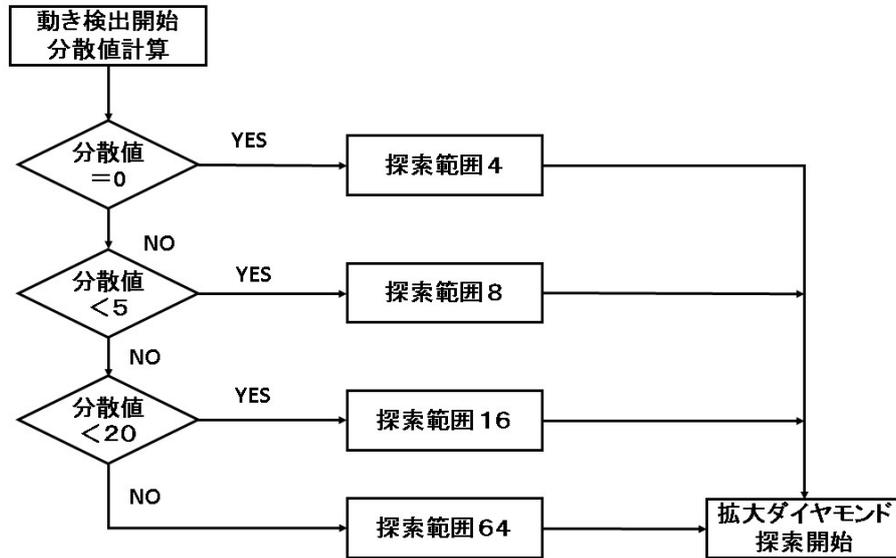


図 4.8: 分散値を用いた探索範囲縮小のフローチャート

4.3 サブサンプリング

SAD 演算を行う際の画素を間引くことで、探索精度の悪化を抑えつつ、演算量を低減するサブサンプリングを各サイズのブロック毎に適用する。ブロックサイズが大きい場合は構成画素が多いため、画素の間引き率を高めても動き検出に用いるだけの十分な構成画素が残る。しかしブロックサイズが小さい場合に間引き率を大きくすると構成画素が少なくなり過ぎるため、十分な動き検出能力を得られなくなる。そこで、図 4.9、図 4.10 に示すような 2 画素精度と 4 画素精度のサブサンプリングをブロックサイズに応じて適用する。ブロックサイズが 32x32 以上の大きいブロック

の場合には間引き率の高い4画素精度サブサンプリングを適用し、 32×32 未満の小さいブロックの場合は間引き率の低い2画素精度サブサンプリングを適用する。

このようにブロックサイズが大きいほど間引き率を高めることで探索精度の悪化を防ぎつつ演算量の低減を図っている。なお今回は簡単のため、縮小画像を生成せずにSAD演算において画素を間引いて計算を行った。

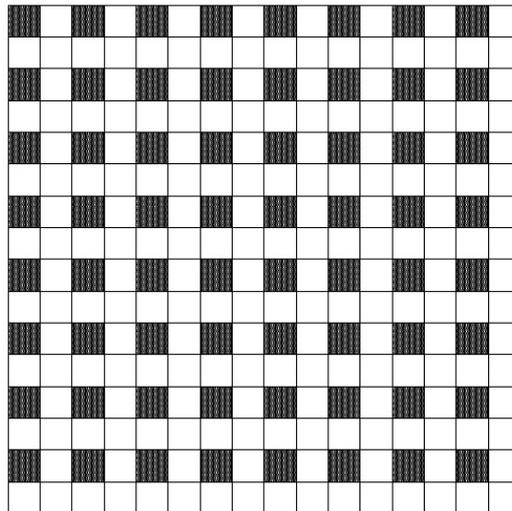


図 4.9: 2画素精度サブサンプリング

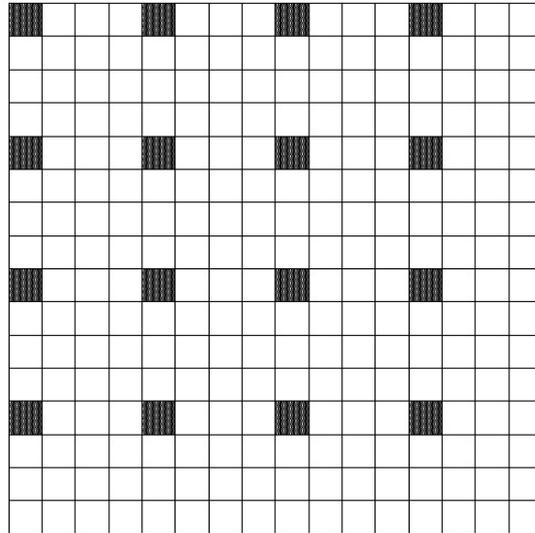


図 4.10: 4 画素精度サブサンプリング

5 性能評価

5.1 評価

H.265/HEVC のテストモデルである HM ソフトウェアエンコーダの HM10.0 に提案手法とキャッシュシミュレータを実装して評価を行った。評価に用いたテストシーケンスは表 5.1 に示す。エンコード条件は表 5.2 に示す。またキャッシュシミュレータに組み込んだキャッシュメモリの仕様を表 5.3 に示す。

表 5.1: テストシーケンス

画像名	解像度	フレーム数	フレームレート
BasketballDrill	832x480	500	50
BQMall	832x480	600	60
Kimono	1920x1080	240	24
ParkScene	1920x1080	240	24

表 5.2: エンコード条件

符号化構造	ランダムアクセス GOP Size = 8 (IBBBBBBBBBB...)
探索範囲	64
CU サイズ/深さ	64/4
QP	22, 27, 32, 37

表 5.3: キャッシュメモリ仕様

メモリ	容量	データ格納構造	レイテンシ
1次キャッシュ	32KB	4way Set-Associative	1cycle
2次キャッシュ	256KB	Direct Map	10cycle
主記憶	-	-	200cycle

評価はビットレート, YPSNR, AD 演算回数 (AD), 1ロードあたりのサイクル数 (LC) を従来のと比較し, ビットレートと PSNR から求められる同一画質でのビットレート増加率の BD-rate と AD 演算回数削減率 (ADRR), 1ロードあたりのサイクル数削減率 (LCRR) を算出して行う.

1 ロードあたりのサイクル数とは画像のロードにかかるサイクル数をロードの数で割ったものであり，キャッシュメモリに格納される画像データの再利用性が高いほど小さくなる．

従来の TZSarch での評価結果を表 5.4，提案手法での評価結果を表 5.5，提案手法での BD-rate，AD 演算回数削減率，1 ロードあたりのサイクル数削減率を表 5.6 に示す．

表 5.4: TZSearch の結果

画像名	QP	ビットレート (kbps)	YPSNR(dB)	AD(*10 ¹¹ 回)	LC(cycle)
Basketball Drill	22	3616.78	40.50	8.01	2.07
	27	1755.93	37.40	7.33	2.01
	32	865.62	34.46	6.53	2.02
	37	459.20	31.94	5.70	1.99
BQMall	22	3831.91	40.23	6.32	2.03
	27	1823.89	37.74	5.68	2.09
	32	931.35	35.02	5.06	1.97
	37	498.61	32.28	4.52	1.91
Kimono	22	4732.49	41.60	20.33	5.10
	27	2159.37	39.73	17.80	4.74
	32	1053.09	37.42	15.43	4.45
	37	533.29	35.03	13.35	4.09
ParkScene	22	7406.56	40.05	9.82	3.51
	27	3179.04	37.52	8.85	3.34
	32	1450.09	34.91	8.01	3.31
	37	670.63	32.39	7.25	3.13

表 5.5: 提案手法の結果

画像名	QP	ビットレート (kbps)	YPSNR(dB)	AD(*10 ¹¹ 回)	LC(cycle)
Basketball Drill	22	3659.63	40.49	0.55	2.26
	27	1779.70	37.38	0.51	2.22
	32	879.58	34.44	0.47	2.24
	37	468.13	31.91	0.42	2.26
BQMall	22	3864.15	40.22	0.51	2.17
	27	1841.99	37.73	0.47	2.15
	32	940.52	34.99	0.43	2.11
	37	503.21	32.24	0.39	2.13
Kimono	22	4752.53	41.59	1.44	3.64
	27	2174.74	39.72	1.27	3.51
	32	1060.10	37.41	1.12	3.40
	37	537.46	35.01	0.99	3.21
ParkScene	22	7439.24	40.04	0.98	2.72
	27	3197.88	37.51	0.90	2.45
	32	1458.04	34.89	0.84	2.38
	37	675.25	32.37	0.78	2.34

表 5.6: TZSearch との性能比較

画像名	QP	ADRR(%)	LCRR(%)	BD-rate(%)
Basketball Drill	22	93.1	-9.1	1.8
	27	93.0	-10.4	
	32	92.8	-11.1	
	37	92.6	-13.9	
BQMall	22	91.9	-7.1	1.4
	27	91.8	-3.1	
	32	91.5	-7.0	
	37	91.2	-11.9	
Kimono	22	92.9	28.5	0.9
	27	92.9	25.9	
	32	92.7	23.5	
	37	92.5	21.4	
ParkScene	22	90.0	22.5	0.8
	27	89.8	26.5	
	32	89.5	28.0	
	37	89.1	25.1	

5.2 考察

表 5.6 の比較結果より標準の TZSearch と比べて、提案手法は BD-rate の増加を平均で 1.2% に抑えつつ、AD 演算回数を平均で 91.7%、1 ロードあたりのサイクル数を最大で 28.5% 削減できたことがわかる。

BD-rate が比較的大きく悪化してしまった BasketballDrill と BQMall の特徴としては、シーケンス全体で動きが不規則であるため、近傍の動きベクトルの分散が一様な場合でも遠隔点が最良点となる場合が比較的多く存在するので、探索範囲を縮小する提案手法では BD-rate が大きく悪化したと考えられる。また、AD 演算回数削減率は、どのシーケンスにおいても高い削減率を実現できている。1 ロードあたりのサイクル数は、解像度の低い BasketballDrill と BQMall では悪化している。解像度の低いシーケンスでは 1 次キャッシュのヒット率が高く、1 ロードあたりのサイクル数が低いため、サブサンプリングによる探索精度の悪化によるロード回数の増加などによって、1 ロードあたりのサイクル数が悪化したと考えられる。しかし探索範囲の縮小によって遠隔点の探索を削減したことで、特にデータの再利用性が悪い高解像度の HD 画像において高い低減率を実現できているため、今後の動画像高精細化に向けて有効な手法だと考えられる。

6 あとがき

本研究は H.265/HEVC での動き探索法において、ブロックマッチングでブロックサイズ毎にサブサンプリングを適用し、近傍の動きベクトルが一樣な場合には予測ベクトルの近傍で検出される割合が高いという特性を活かして探索範囲を限定する手法を提案した。この手法を H.265/HEVC 参照ソフトウェア HM に実装し評価した結果、従来の TZSearch と比較して画質の悪化を抑えながら AD 演算量を 90%以上削減し、1 ロードあたりのサイクル数を最大で約 25%削減でき、データの再利用性の向上が可能であることを示した。しかし、動きが不規則なシーケンスでは不適切な探索点削減を行っている可能性があり、BD-rate が大きく悪化することと、低解像度画像では 1 ロードあたりのサイクル数が悪化することがわかった。

今後は、動きが不規則で予測が当たりにくいシーケンスでの不適切な探索点削減を抑えるために、単に探索範囲を分散値に比例させるだけではなく、近傍を重点的に探索しつつも、遠隔の有効な探索点も見逃さないアルゴリズムを見出して行く必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり，日頃から様々のご指導をいただきました近藤利夫教授，佐々木敬泰助教，深澤研究員に感謝いたします．また様々な面でお世話になった計算機アーキテクチャ研究室の皆様にも感謝いたします．

参考文献

- [1] J.Vanne , Marko Viitanen , Timo D.Hamalainen , Antti Hallapuro , "Comparative rate-distortion-complexity analysis of HEVC and AVC video codecs." , IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology , VOL.22 , NO.12 , December 2012.
- [2] 大久保 , 鈴木 , 高村 , 中條 , H.265/HEVC 教科書 , ISBN-978-4-8443-3468-2 , 2013 年 10 月.
- [3] Chen , Zhibo , et al . "Fast integer-pel and fractional-pel motion estimation for H. 264/AVC." Journal of Visual Communication and Image Representation 17.2(2006):264-290

- [4] Tourapis, Alexis M. "Enhanced predictive zonal search for single and multiple frame motion estimation." *Electronic Imaging 2002*. International Society for Optics and Photonics, 2002.
- [5] Barana, Daniel I., and Harvey F. Silverman. "A class of algorithms for fast digital image registration." *Computers, IEEE Transactions on* 100.2(1972):179-186

A プログラムリスト

H.265/HEVC のテストモデルである HM ソフトウェアエンコーダの HM-10.0 に提案手法を実装した .

B 評価用データ

BasketballDrill , BQMall , Kimono , ParkScene の 4 種のシーケンスを 評価用データとして用いた .