

卒業論文

題目

輝度値と動きベクトルの分散を用
いたH.265/HEVC符号化ブロック
限定法

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

亀山祐太郎 (414819)

内容梗概

画素数がフルハイビジョンの4倍の4Kテレビの販売本格化，2016年8月の8Kスーパーハイビジョンの試験放送開始など，近年，動画像の高精細化が進んでいる．それに伴う動画像データ量の増大や，符号化に必要な演算量の増加が要因となり，動画像の高効率符号化の要求が強まっている．この要求に応えるため，2013年に，従来の動画像符号化規格H.264/AVCの約2倍の圧縮率を持つH.265/HEVCが標準化された．しかし，大幅な処理量の増大により，符号化にかかる処理時間が過大となる問題が生じている．特にインター予測の適用可否判定処理は，高速化の大きな障害となっている．これに対して当研究室では，符号化対象ブロックの輝度値分散や，近傍の動きベクトルの分散を用いて符号化単位ブロックであるCU分割の早期打ち切り手法が提案されている．また代表的な評価シーケンスを用いたシミュレーションによりそれぞれ平均35.8%，26.2%実行時間が低減されることが示されている．しかし，一部のシーケンスでは，同一画質を実現した場合の符号量増加率を示すBD-rateの悪化や，十分にエンコード時間が低減できないなど、改良の余地がある．また，ほかの手法と組み合わせることでより一層高速化できる可能性も高い．そこで，本研究では，当研究室が提案している手法を組み合わせることで，BD-rateの悪化を1%程度に抑えて，演算量をさらに低減し，エンコード時間を低減するインター予測適用可否判定法のアルゴリズムを提案する．また，提案手法をH.265/HEVCの参照ソフトウェアであるHM-10.0に実装し，エンコード時間を平均で40%以上低減できることを示す．

Abstract

Recently, high-definition of video image has been greatly enhanced. For example, sales of 4K television is going into full swing and 8K Ultra HDTV experimental broadcasting is started. High efficiency video coding (HEVC) is strongly required because the amount of video image data and operation required for encoding increase. To meet these requirements, High efficiency video coding (HEVC) is standardized in 2013. However, the processing time required for encoding becomes extremely long due to the increase of operation amount. In particular, the inter prediction application propriety determination process becomes a bottleneck for efficient video image processing. To solve this problem, a method of early terminating the PU division by using the luminance value variance of encoding block or the variance of neighboring motion vectors has been proposed by our lab. Simulations that use a typical sequence shows that the average of execution time is reduced by 35.8 % by the method of using the luminance value variance of encoding block and 26.2 % by the method of using the variance of neighboring motion vectors. However, for some sequences, the BD-rate of indicating the rate of code amount increase has deteriorated and the encoding time cannot be sufficiently reduced when the same image quality is realized. In addition, the processing speed can be improved by combining the method proposed in previous work of our lab with other method. In this paper, we propose an algorithm called a inter prediction adoption propriety judgment method and combine it with the methods proposed in previous work of our lab. The proposed method further reduces the operation amount and encoding time although it with the deterioration of BD rate is suppressed to only 1 % . Finally, we evaluate the proposed method by implementing it in H.265/HEVC reference software HM-10.0, and the evaluation results shows that the execution time is reduced by 40 % or more on average

目次

1	はじめに	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的	1
2	H.265/HEVC 符号化技術と実装上の課題	3
2.1	H.265/HEVC	3
2.2	イントラ予測	3
2.3	インター予測	4
2.4	ブロック分割	4
2.5	問題点	6
3	先行研究とその問題点	7
3.1	先行研究	7
3.1.1	輝度値分散を用いた手法 [2]	7
3.1.2	近傍の動きベクトルの分散を用いた手法 [3]	9
3.2	先行研究の問題点	10
4	提案手法	11
4.1	方針	11
4.2	候補 PU を $2N \times 2N$ に限定する手法	11
4.3	縦方向の分割を候補 PU から除外する手法	12
5	性能評価	15
5.1	実装	15
5.2	評価	15
5.3	考察	17
6	おわりに	19
	謝辞	20
	参考文献	20

図 目 次

2.1	インター予測	4
2.2	PU の形状	5
3.3	輝度値分散	8
3.4	近傍ブロック	9
4.5	閾値	12
4.6	縦方向分割を除外	14
5.7	エンコード時間	17

表 目 次

5.1	テストシーケンス	16
5.2	実行結果	16

1 はじめに

1.1 研究背景

画素数がフルハイビジョンの4倍の4Kテレビの販売本格化，2016年8月に8Kスーパーハイビジョンの試験放送開始など，近年，動画像の高精細化が進んでいる．それに伴う動画像データ量の増大や，符号化に必要な演算量の増加が要因となり，動画像の高効率符号化の要求が強まっている．

1.2 研究目的

動画像の高効率符号化の要求に応えるため，2013年に，従来の動画像符号化規格H.264/AVCの約2倍の圧縮率を持つH.265/HEVCが規格化された．H.265/HEVCに新たに組み込まれた圧縮手法の中で，CTU(Coding Tree Unit)の適応的なブロック分割は，圧縮率向上の要の技術である．CTUとはH.265/HEVCにおける各ピクチャの正形状の分割単位であり，最大で64x64，最小で8x8画素に分割できる．CTUを再帰的に四分木分割した各節をCU(Coding Unit)と呼び，CUは更にインター予測やイントラ予測を行う際にPU(Prediction Unit)に分割される．また，CUは変換を行う際にTU(Transform Unit)にも分割される．これらのCTU，

CU, PU, TU の導入により, 符号化効率が向上し, 前規格の 2 倍の圧縮性能が実現された. しかし, 一方で大幅に処理量が増大し, エンコード時間が膨大となる問題が生じている. 特にインター予測が符号化処理中の 6 割~7 割を占めていると報告されている [1]. この問題に対して当研究室では, 適応的な CTU 分割の処理量増大の主因が, インター予測の適用可否判定処理を全ての候補 PU に対して繰り返し, 各 CU における最適な PU 分割形状とその予測モードを見つけ出すことにある点に着目し, 候補 PU の種類を限定することで処理時間を低減し, 評価シーケンスに対して実行時間の低減が実現されている. 具体的には符号化対象ブロックの輝度値分散に着目した手法と, 近傍の符号化済み動きベクトルの分散に着目した手法が提案されている. しかし一部の評価シーケンスでは, 同一画質を実現した場合の符号量増加率を示す BD-rate の悪化や, 十分にエンコード時間が低減できなかったりするなど, 改良の余地がある. そこで本研究では輝度値分散を用いた手法と動きベクトルの分散を用いた手法とを組み合わせることで, 演算量やエンコード時間のさらなる低減を目指す.

2 H.265/HEVC 符号化技術と実装上の課題

2.1 H.265/HEVC

H.265/HEVC は動画像符号化の国際標準規格であり，個々の要素の改良の積み重ねによって，H.264/AVC の約 2 倍の圧縮率を実現した．主な改良点として，H.264/AVC では符号化ブロックの基本単位は 16x16 画素の固定サイズであったのに対し，H.265/HEVC では最小 8x8，最大 64x64 画素に拡張されている．また，符号化の予測を行う PU では，H.264/AVC では正方ブロックを同じ面積の 2 つの長方形までしか分割していなかったが，H.265/HEVC では対称長方形分割以外に 1 対 3 の面積比で非対称な 2 つのブロックに分割する方法も採用されている．このブロック分割の多様化により効率的に領域分割し，最適な CU サイズを選択することができる．しかし，符号化ブロックの多様化を採用したことで，圧縮率の向上に繋がったものの，符号化処理量が増加してしまうという問題が生じている．

2.2 イントラ予測

イントラ予測では，符号化対象ブロックの近傍の復号済み画素を用いて予測画素を生成する．イントラ予測での PU サイズは， $2N \times 2N$ または

$N \times N$ の 2 つのサイズで発生符号量評価を試行する。

2.3 インター予測

インター予測では図 2.1 のように符号化対象ブロックと類似している箇所を参照画像の探索範囲内から探し (動き探索), 動き補償を行う。インター予測での PU サイズは, $2N \times 2N$ の正方形, $2N \times N$ と $N \times 2N$ の長方形, $nL \times 2N$, $nR \times 2N$, $2N \times nU$, $2N \times nD$ の非対称長方形のサイズで試行する。H.265/HEVC 参照ソフトウェア HM では, 符号化処理時間の内インター予測の適用可否判定処理が高速化の障害となっている。

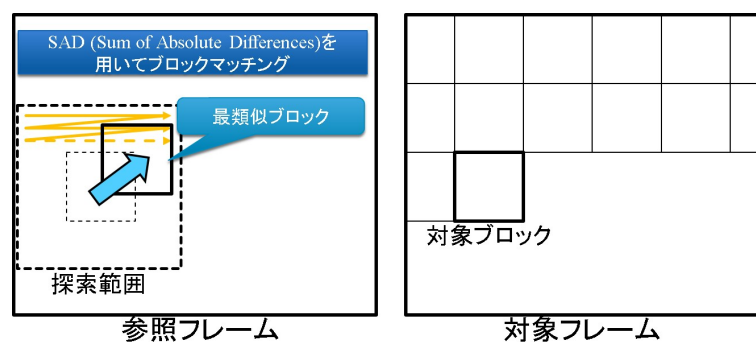


図 2.1: インター予測

2.4 ブロック分割

動画画像符号化では各画像がブロック単位で分割され, ブロック毎に処理される。H.265/HEVC におけるブロック分割では, H.264/AVC でのマク

ロブロックに代わり，固定サイズの CTU と呼ばれる最大 4 階層の符号化ブロックを四分木分割により階層的に分割する．CTU のサイズは 16×16 ， 32×32 ， 64×64 のいずれかであり，CTU を再帰的に四分木分割した節を CU と呼ぶ．CU のサイズは最小 8×8 ，最大 64×64 である．CU をさらに予測処理のために PU，変換処理のために TU に分割される．PU は図 2.2 に示すように $2N \times 2N$ ， $2N \times N$ ， $N \times 2N$ ， $N \times N$ ， $nL \times 2N$ ， $nR \times 2N$ ， $2N \times nU$ ， $2N \times nD$ といった多様な PU 候補に対し，インター予測やイントラ予測の符号発生量を評価している．

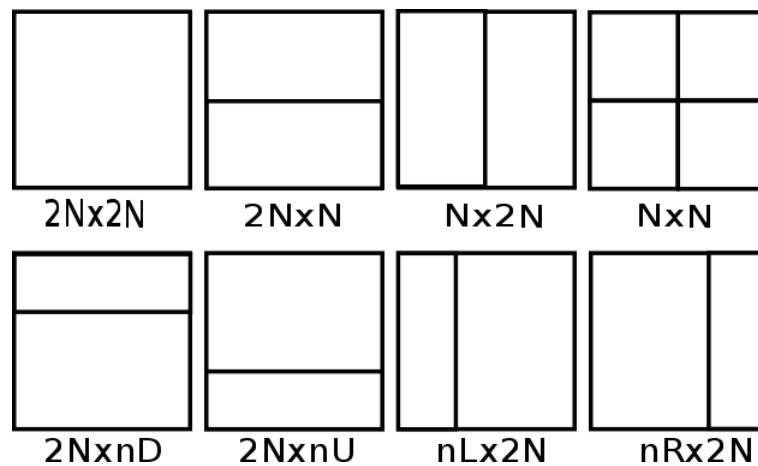


図 2.2: PU の形状

TU は CU をさらに四分木分割に基づき分割したものであり，サイズは最小 8×8 ，最大 32×32 である．

2.5 問題点

圧縮率の向上に伴い，CU，PU を選択するための演算量が増加し，符号化に必要な処理も増加している．最適な CU のサイズが大きい場合でもすべてのサイズや形状の CU，PU で試行を行なっているため無駄な試行が多い．画像の動きや模様などの特性を活かして，適応的に CTU の枝切りによる高速化や評価対象となる候補 PU を低減できれば演算量を大幅に減らせる．

3 先行研究とその問題点

3.1 先行研究

符号化の処理時間が膨大となっている問題に対して当研究室では，対象ブロックの輝度値分散や近傍の検出済み動きベクトルを用いて，画像の平坦さや動きの複雑さを予測し候補 PU を限定する手法が提案されている．

3.1.1 輝度値分散を用いた手法 [2]

対象ブロックを $2N \times 2N$ に分割した場合の画素の輝度値分散を計算し，その値が閾値以下であれば，PU の候補を $2N \times 2N$ に限定する．また同様に $2N \times N$ や $N \times 2N$ ，非対称 PU の場合も分散を計算し，閾値以上であれば候補 PU を一部限定する．これにより余計な計算を省き，実行時間を低減している．輝度値の分散は (1) の式により計算する．ただし n は構成画素数， ave は輝度値の平均値である．

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Luminance_i - ave)^2 \quad (1)$$

また，分散は図 3.3 のように CU を 16 分割し，ブロックでそれぞれ輝度値の二乗の平均と輝度値の平均を計算して，これらを組み合わせることにより様々な形状のブロックの分散値や分散値の分散を計算する．

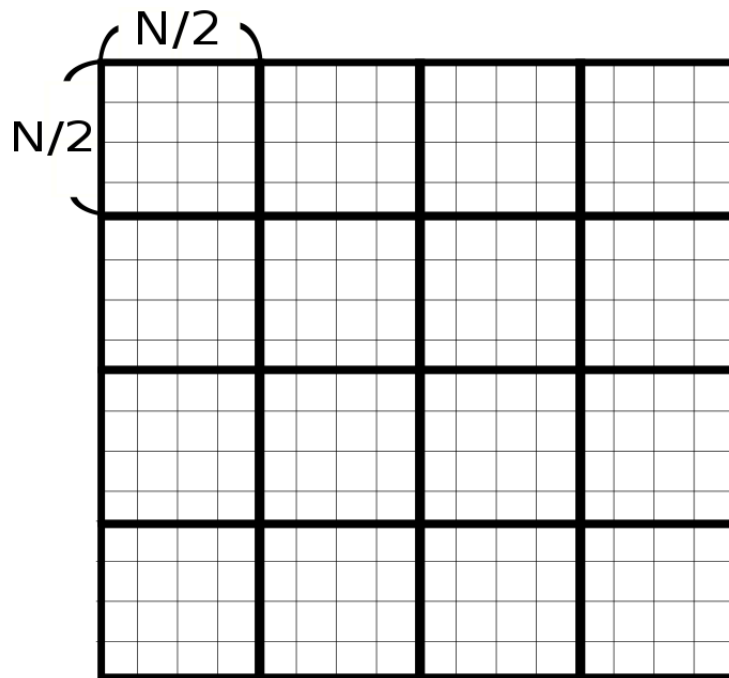


図 3.3: 輝度値分散

この手法では、BD-rate の悪化を平均 1 % に抑えつつ実行時間を平均で 35.8 % 低減できている。

この手法は参照箇所が対象ブロックのみのため計算コストが小さく実装も容易であり、背景などの輝度値が平坦な画像に対して効果的にエンコード時間を低減できる。一方で輝度値のみを参照しているため、色が統一的でない画像に対しては性能があまり伸びない。

3.1.2 近傍の動きベクトルの分散を用いた手法 [3]

近傍とは図 3.4 に示すように符号化対象ブロックの左上，上，右上，左の 4 つであり，この 4 つの動きベクトルを CU，PU のサイズや分割形状に応じて重み付けを行い分散値を計算することで動きの複雑性を推測する．分散値が閾値以下であればインター予測の候補 PU を $2N \times 2N$ に限定する．これにより被写体の動きの複雑性を推測して候補 PU を限定することで実行時間を低減している．



図 3.4: 近傍ブロック

この手法では，BD-rate の悪化を平均 0.8 % に抑えつつ実行時間を平均で 26.2 % 低減できている．

この手法は動きの複雑性を用いるため符号化ブロックの被写体そのも

のには影響されずに効果的にエンコード時間を低減できるが，被写体が複数あり，それぞれに動きがある場合に近傍ブロックにも動きが複数生じるため性能が低下してしまう．

3.2 先行研究の問題点

先行研究の手法によって実行時間の低減に成功した．しかし，符号化ブロック内で色が統一的ではない，近傍に異なる動きが複数ある等の複雑な動画像に対して十分に実行時間を低減できない，BD-rate が悪化してしまうなどの問題がある．

4 提案手法

4.1 方針

符号化対象ブロックの輝度値分散や近傍の検出済み動きベクトルの分散を用いて候補 PU を限定する手法が提案されている。これらはそれぞれ画像の平坦さと動きの複雑性という異なる特徴に着目している。また対象としているブロックも異なっている。したがってこれらを組み合わせることで、さらなる高速化が図れると考えられる。そこで対象ブロックの輝度値分散を用いた手法と近傍ブロックの検出済み動きベクトルを用いた手法を組み合わせることで候補 PU を限定する。

4.2 候補 PU を $2N \times 2N$ に限定する手法

先行研究で計算した分散にそれぞれ閾値を設定し、両方の閾値を下回ることを条件に演算の枝切りを行うと、BD-rate が悪化してしまう。また、BD-rate が悪化しない程度に閾値を小さくすると、実行時間を十分に低減することができない。そこで、それぞれ計算した分散に大小 2 つの閾値を設定し、片方の大きい値ともう片方の小さい値の両方が閾値以下、あるいは 2 つの分散の平均が閾値以下の場合に演算の枝切りを行う。図 4.5 は上記の条件を図的に表したものであり、横軸が輝度値分散、縦軸

が動きベクトル分散の値，斜線部が演算の枝切りを行う条件である．

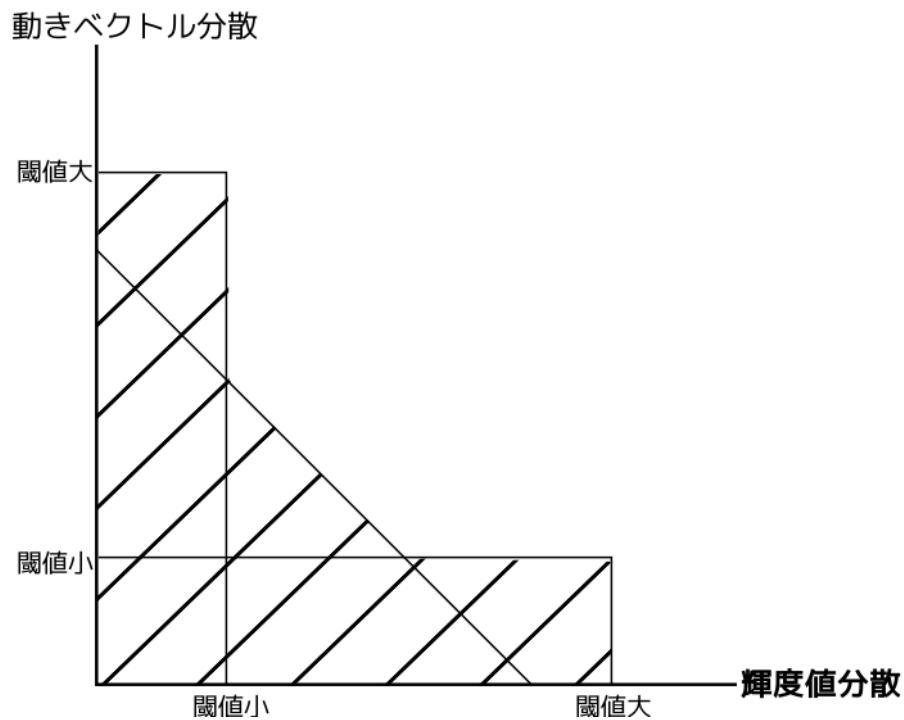


図 4.5: 閾値

またそれぞれの閾値を BD-rate の悪化がほとんど生じない上限の値に設定する．これにより，BD-rate の悪化を抑えながら，実行時間を低減できる．

4.3 縦方向の分割を候補 PU から除外する手法

さらに上記の条件で候補 PU を $2N \times 2N$ に限定できなかった場合別の形状の PU に対して計算した輝度値分散，または動きベクトルの分散を用い

て候補 PU を一部制限する．具体的には，近傍とは符号化済みブロックを用いるため，符号化対象ブロックの左上，上，右上，左の4つであり，動きベクトルの分散が小さい場合，符号化ブロックは水平方向に平坦であると推測できる．そのため縦方向分割ではなく横方向に分割される可能性が高い．そこで，図 4.6 のように横方向に分割された場合の輝度値と動きベクトルの分散を計算し閾値以下であれば $N \times 2N$ と縦方向分割の非対称 PU をインター予測の候補 PU から除外する．

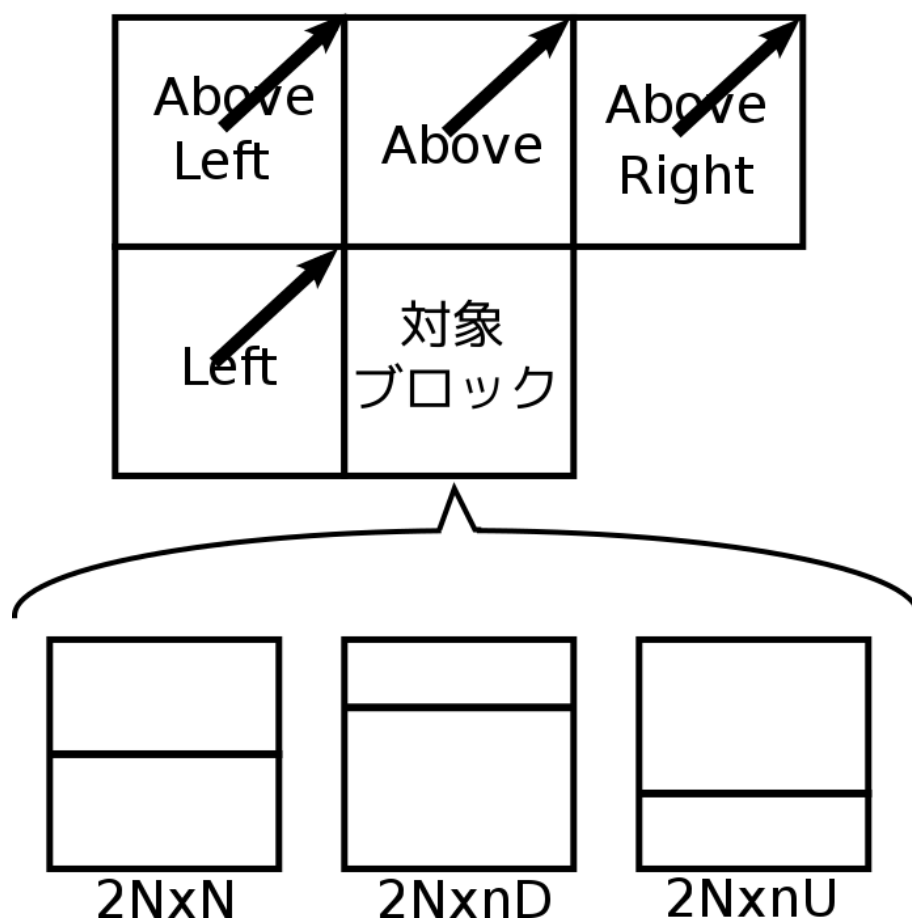


図 4.6: 縦方向分割を除外

5 性能評価

5.1 実装

4 章で述べた提案手法を H.265/HEVC の参照ソフトウェアである HM-10.0 に実装した．符号化の方式としては，Random Access 符号化を用いている．Random Access 符号化は，過去のフレームからだけでなく未来のフレームも参照することができる．そのため，高い符号化効率を得ることのできる符号化方式である．

5.2 評価

評価は，BD-rate(同一画質を実現した場合の符号量増加率) とエンコード時間低減率を表す ETRR(EncodingTime Reduction Rate) を標準の HM と比較した．なお ETRR は式 (2) より算出する．

$$ETRR = (1 - \frac{T_{Propose}}{T_{HM}}) \times 100 \quad (2)$$

評価は，HEVC 共通試験に用いられるシーケンスの中から BasketballDrill(Basket)，BQMall，Kimono，ParkScene(Park) を選択し，それぞれの連続する 25 フレームをエンコードすることで行った．使用する画像の解像度，フレームレートを表 5.1 に示す．

表 5.1: テストシーケンス

シーケンス	解像度	フレームレート
basket	832x480	50
BQMall	832x480	60
kimono	1920x1080	24
Park	1920x1080	24

実行結果を表 5.2 に示す．Quantization Parameter(QP) は量子化の値
のことであり，この値が高いほど画像が粗くなる．

表 5.2: 実行結果

シーケンス	QP	ETRR	BD-rate
basket	22	34.59	0.9
	27	37.14	
	32	39.88	
	37	41.14	
BQMall	22	29.96	1.5
	27	32.58	
	32	34.26	
	37	35.14	
Kimono	22	41.64	0.7
	27	44.48	
	32	45.87	
	37	47.69	
Park	22	42.48	1.0
	27	45.64	
	32	48.73	
	37	49.43	
Ave		40.67	1.02

また，先行研究と比較したグラフを図 5.7 に示す．グラフの縦軸はエン
コード時間低減率を示している．棒グラフは各テストシーケンスにおけ
るそれぞれの実行時間低減率であり，左から順に輝度値を用いた手法，動

きベクトルを用いた手法，提案手法の結果を示している．

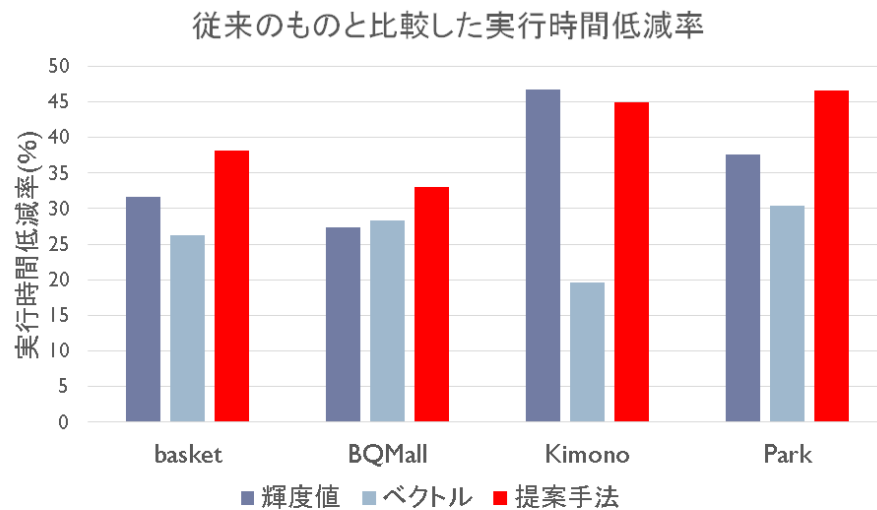


図 5.7: エンコード時間

5.3 考察

先行研究と比較するとほぼすべてのシーケンスで ETRR は向上しており，BD-rate を平均で 1 % に抑える条件で実行時間を平均で 40 % 低減に成功している．しかし，Kimono では輝度値分散を用いた手法のほうが実行時間低減率が高い．これは実行時間の低減性能は上がっているが，画質に応じた閾値設定ができないことが原因であり，閾値を動的に決定するなどの改良により解決できると考えられる．また BQMall では BD-rate

が1.5 %と他のシーケンスと比べて悪化している．BQMall は先行研究の
どちらでも性能が他のシーケンスと比べて低く，両方を組み合わせても
あまり性能を伸ばすことができなかったと考えられる．

6 おわりに

本研究では，符号化対象ブロックの輝度値分散を用いる手法と近傍ブロックの動きベクトルの分散を用いる手法を組み合わせることで PU の候補を制限する手法を提案した．また，シミュレーション評価により BD-rate を平均で約 1 % に抑えながら，実行時間を平均で 40 % 以上低減できることを示した．このことから画像の平坦さと動きの複雑さから候補 PU を推測し限定できていることがわかる．今後は，両方の分散を用いるのではなく，閾値やどちらの手法を用いるかを適応的に切り替えたり，近傍ブロックの輝度値部分散のような別の特徴を用いることでさらなる処理時間の低減が図られる必要がある．

謝辞

本論文の執筆にあたりご指導を頂いた近藤利夫教授，佐々木敬泰助教，
深澤祐樹研究員に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Vanne Jarno, et al. "Comparative rate-distortion-complexity analysis of HEVC and AVC video codecs. " Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on 22. 12 (2012): 1885-1898.
- [2] 西村 隆太郎, " H.265/HEVC におけるインター予測モード選択処理低減法の研究 ", 修士論文, 2017
- [3] 飯田拓真, " H.265/HEVC 符号化単位高速決定法の研究 ", 卒業論文, 2017