

小サイズ符号化ユニットに非冗長符号テーブルを用いる省メモリ帯域 HEVC コーデック

Memory-bandwidth conscious HEVC codec
with non-redundant code table for small-size coding unit

先崎 健太 蝶野 慶一 仙田 裕三
Kenta SENZAKI Keiichi CHONO Yuzo SENDA

1. はじめに

H.264/MPEG-4 AVC の次世代映像符号化方式として規格化が進められている HEVC [1]では、動き補償予測におけるメモリ帯域の増加が指摘されている。筆者らは、小サイズの動き補償予測ブロックの使用を制約することでメモリ帯域の最大値を削減する手法を提案した[2]。この制約を用いて 8x8 より小さな動き補償予測ブロックの使用を禁止する時、符号化性能の低下を約 1%に抑制しつつ、メモリ帯域の最大値を約 60%削減できる。本稿では、文献[2]の制約で予測モードと予測形状を示す符号語が冗長となる時、非冗長な符号テーブルを用いて符号化性能を改善する手法を提案する。

2. 従来法とその改善余地

文献[2]の手法を説明する。HEVC Test Model (HM) [3]では図 1の 4 パターンが予測ユニット (Prediction Unit, PU) の予測形状として定義されており、符号化ユニット (Coding Unit, CU) の画素値の予測に適した形状が選択される。なお、画面内予測では 2Nx2N と NxN の形状のみが使用される。文献[2]では以下のように PU の予測形状を制約する。なお、符号化対象 CU の 1 辺の長さを m 、最小動き補償予測ブロックの 1 辺の長さを m_{\min} とする。

1. $m > m_{\min}$ のとき、すべての予測形状が使用できる。
2. $m = m_{\min}$ のとき、2Nx2N の予測形状のみが使用できる。
3. $m < m_{\min}$ のとき、動き補償予測は使用できない。

この制約により、 $m_{\min} \times m_{\min}$ より小さな動き補償予測ブロックは出現しなくなる。表 1に HM の動き補償予測において、 N タップのフィルタを水平垂直両方向に用いて、 $W \times H$ 予測ブロックの画素を 1 画素生成するために必要な平均参照画素数を示す。表より、 $m_{\min} = 8$ とするとき、HM-1.0 の 12 タップフィルタの最大参照画素数は 14.1 から 5.6 となるため、メモリ帯域の最大値は約 60%削減される。同様に、HM-3.0 の 8 タップフィルタの場合、メモリ帯域の最大値は約 54%削減される。

ところで、HM は、動き補償予測を使用できる B-スライスにおいて、CU の予測モードと PU の予測形状を示す符号テーブルに表 2を用いる。従来法を用いると、 $m_{\min} \times m_{\min}$ より小さな動き補償予測ブロックが出現しない。このため、 $m \leq m_{\min}$ の時、動き補償予測を示す符号語の一部は不要となり、画面内予測を示す符号語が冗長となる。例えば、 $m = m_{\min}$ のとき、動き補償予測の 2NxN、Nx2N、NxN の予測形状を表す符号語は不要であり、画面内予測の 2Nx2N と NxN の予測形状を表す符号語は冗長となる。

3. 提案法

CU の予測モード及び PU の予測形状を示す符号語の割り当てを CU のサイズに基づいて変更することで、発生する符号量を削減する手法を提案する。提案法では、以下

日本電気株式会社, NEC

のように符号語の割り当てを変更する。

1. $m > m_{\min}$ のとき、制約は生じないため、HM と同じ符号テーブルを用いる。
2. $m = m_{\min}$ のとき、動き補償予測の 2NxN、Nx2N、NxN を示す符号語を削除し、画面内予測の 2Nx2N と NxN に短い符号語を割り当てる。なお、各予測モードと予測形状の発生確率から、符号長は動き補償予測の 2Nx2N が最小となるように設定する。
3. $m < m_{\min}$ のとき、動き補償予測の符号語を削除し、画面内予測に短い符号語を割り当てる。

本稿では各条件を満たす表 3の符号テーブルを用いる。表より、画面内予測の予測形状を示す符号量を、 $m = m_{\min}$ のとき 60%、 $m < m_{\min}$ のとき 80%削減できる。これにより、従来法と比較して、所定のサイズ以下の CU の画面内予測の符号化効率が改善する。提案法のメモリ帯域の最大値削減効果は従来法と同じである。また、符号化の複雑度についても、対象 CU における符号テーブルの切り替えのみであるため、従来法と比較してほとんど変化しない。

4. 実験

4.1 実験条件

提案法と従来法の符号化性能を比較する。基準データであるオリジナルの HM (以下、Anchor) と各手法を比較し、符号化効率と複雑度を評価する。評価尺度は以下を用いる。

- 符号化効率：輝度信号の同 PSNR における正規化ビットレート変動量 (BD-Rate) [4,5]
 - 複雑度：エンコード及びデコードの実行時間
- 実験条件は HEVC 共通テスト条件[6]を参考に設定する。テストシーケンスは解像度 2560x1600 を 4 種、1920x1080 を 5 種用いる。シーケンス先頭の 3 秒間を符号化する。符号化パターンは以下の 2 つである。
- Random Access (RA)：約 1 秒単位でイントラスライスを挿入し、双方向予測が使用可能。
 - Low Delay (LD)：先頭フレームのみイントラスライスで符号化し、残りのフレームの符号化では前方向予測のみ使用可能。

なお、本稿ではバージョン 1.0 の HM を用い、これに提案法と従来法を実装する。提案法、従来法ともに、8x8 より小さな動き補償予測ブロックの使用を禁止する。

4.2 実験結果

表 4に Anchor に対する提案法と従来法の輝度 BD-Rate を示す。なお、BD-Rate が正のとき、Anchor と比べて符号化効率が低下したことを示す。表より、提案法は従来法よりも符号化効率の低下を、RA で 0.08%、LD で 0.13%抑制できることが確認できる。次に、表 5は全 9 種のシーケンスの 8x8 CU における各予測モードと予測形状の使用率を示す。Skip とは、動きベクトルや周波数変換係数を符

号化しないモードである。なお、8x8 CU が使用された面積は、従来法と提案法でほとんど変わらず、RA で約 5%、LD で約 6%であった。表より、8x8 CU における画面内予測の使用率は従来法と比較して、RA、LD とともに約 1%増加した。これは、符号語の割り当て変更によって画面内予測の符号化効率が改善し、選択されやすくなったためである。しかし、8x8 CU において画面内予測が使用されるのは、提案法も従来法も RA で約 15%、LD で約 10%程度であり、大部分は動き補償予測や Skip モードが使用されるため、符号化効率改善の割合は小さかった。表 6 に Anchor に対するエンコード・デコード実行時間の変動率を示す。エンコード・デコード時間は提案法と従来法で同等であり、符号テーブル切り替えが複雑度に与える影響は無視できる程度であることが確認できる。Anchor と比較して提案法と従来法のエンコード時間が減少しているのは、動き補償予測において、4x4、8x4、4x8 の探索パターンがなくなったためである。

5. おわりに

小サイズ符号化ユニットに非冗長符号テーブルを用いる省メモリ帯域 HEVC コーデックを提案した。提案法が、従来法と同程度の複雑度であること、従来法より符号化効率で優れていることを実験結果から確認した。

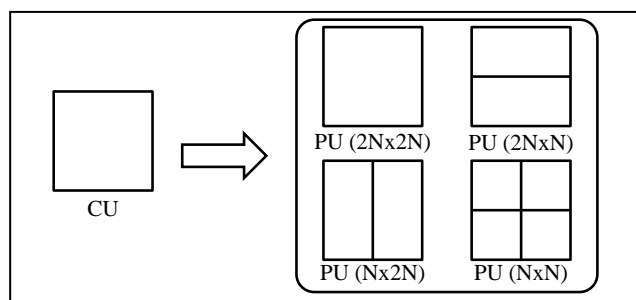


図 1 HM の予測形状

表 1 HM の各ブロックサイズの動き補償予測において、予測画面素を 1 画面生成するために必要な参照画面素数

| W | H | N | |
|----|----|------|-----|
| | | 12 | 8 |
| 64 | 64 | 1.4 | 1.2 |
| 64 | 32 | 1.6 | 1.4 |
| : | : | : | : |
| 8 | 8 | 5.6 | 3.5 |
| 8 | 4 | 8.9 | 5.2 |
| 4 | 4 | 14.1 | 7.6 |

表 2 HM の B-スライスにおける CU の予測モードと PU の予測形状を示す符号テーブル

| 予測モード | 予測形状 | 符号語 |
|--------|-------|-------|
| 動き補償予測 | 2Nx2N | 1 |
| | 2NxN | 01 |
| | Nx2N | 001 |
| | NxN | 0001 |
| 画面内予測 | 2Nx2N | 00000 |
| | NxN | 00001 |

表 3 提案手法の B-スライスにおける CU の予測モードと PU の予測形状を示す符号テーブル

| 予測モード | 予測形状 | 符号語 | | |
|--------|-------|---------------|---------------|---------------|
| | | $m > m_{min}$ | $m = m_{min}$ | $m < m_{min}$ |
| 動き補償予測 | 2Nx2N | 1 | 1 | |
| | 2NxN | 01 | | |
| | Nx2N | 001 | | |
| | NxN | 0001 | | |
| 画面内予測 | 2Nx2N | 00000 | 00 | 0 |
| | NxN | 00001 | 01 | 1 |

表 4 各符号化パターンの輝度 BD-Rate[%]

| 解像度 | Random Access | | Low Delay | |
|-----------|---------------|------|-----------|------|
| | 従来法 | 提案法 | 従来法 | 提案法 |
| 2560x1600 | 0.44 | 0.33 | 0.58 | 0.47 |
| 1920x1080 | 0.38 | 0.31 | 0.45 | 0.31 |
| All | 0.40 | 0.32 | 0.51 | 0.38 |

表 5 8x8 CU における各予測モードの使用率[%]

| | Random Access | | Low Delay | |
|------------|---------------|------|-----------|------|
| | 従来法 | 提案法 | 従来法 | 提案法 |
| 動き補償予測 8x8 | 38.8 | 37.8 | 49.5 | 48.5 |
| Skip 8x8 | 47.6 | 47.3 | 41.5 | 41.3 |
| 画面内予測 8x8 | 10.2 | 11.2 | 7.3 | 8.1 |
| 画面内予測 4x4 | 3.4 | 3.7 | 1.7 | 2.1 |

表 6 各符号化パターンの実行時間変動率[%]

| | Random Access | | Low Delay | |
|-------|---------------|-------|-----------|-------|
| | 従来法 | 提案法 | 従来法 | 提案法 |
| エンコード | 83.6 | 85.0 | 83.0 | 84.2 |
| デコード | 100.4 | 102.5 | 101.2 | 102.2 |

参考文献

[1] JCT-VC, "WD1: Working Draft 1 of High-Efficiency Video Coding," JCTVC-C403, 3rd. JCT-VC Meeting, Guangzhou, CN, October 2010.
 [2] 先崎 健太, "小サイズインター予測ブロックの使用制約による省メモリ帯域型 HEVC エンコーディング," 映像情報メディア学会技術報告 Vol. 35, No. 21, BCT2011-43, June 2011.
 [3] HEVC Test Model Version 3.0, <https://hevc.kw.bbc.co.uk/svn/jctvc-tmuc/tags/HM-3.0/>
 [4] G. Bjontegaard, "Calculation of Average PSNR Differences between RD curves," ITU-T SG16/Q6, 13th VCEG meeting, Austin, Texas, USA, April 2001, Doc. VCEG-M33.
 [5] G. Bjontegaard, "Improvements of the BD-PSNR model," ITU-T SG16/Q6, 35th VCEG meeting, Berlin, Germany, July 2008, Doc. VCEG-A111.
 [6] F. Bossen, "Common test conditions and software reference configurations," JCTVC-C500, 3rd. JCT-VC Meeting, Guangzhou, CN, October 2010.