

4K 対応 HEVC リアルタイムソフトウェアデコーダの開発 HEVC Real-time Software Decoder supporting 4K Video

服部 亮史† 井須 芳美† 関口 俊一† 市ヶ谷 敦郎‡ 杉藤 泰子‡
Ryoji Hattori Yoshimi Isu Shunichi Sekiguchi Atsuro Ichigaya Yasuko Sugito

1. はじめに

撮像機器・表示機器の性能向上に伴い、HD を超える空間解像度を持つ超高精細動画コンテンツ活用機会の増加が予想される。HD の 4 倍の解像度である 4K 動画像については、業務用カメラや民生向けの対応ディスプレイが発売されており、普及への道筋が見えつつある。4K の 4 倍の解像度を持つスーパーハイビジョン(SHV)を含む Ultra High Definition TV (UHDTV)の信号フォーマットも国際標準化活動が進められており[1]、今後も高解像度化の流れは進んでいくことが予想される。これらの超高精細動画コンテンツは、そのデータ量が膨大なため、蓄積や伝送のためには高効率な圧縮符号化が不可欠である。

High Efficiency Video Coding (HEVC)は、ISO と ITU の共同チーム(JCT-VC)により標準化が進められている次期映像符号化方式である[2]。HEVC は H.264/AVC と比較して 2 倍の圧縮性能を実現する見込みであり、また処理の複雑性は規格運用開始時点での計算機・H/W 性能で実現可能なレベルに抑えられるとされている。HEVC は超高精細動画にも適した圧縮方式として期待されている。

今回、超高精細動画への HEVC の適用可能性を確認するため、4K 動画像のリアルタイム復号を目指した HEVC ソフトウェアデコーダを開発した。以下、2 章では開発したデコーダの概要を述べ、3 章では性能評価結果を示す。

2. HEVC リアルタイムソフトウェアデコーダ

2.1. HEVC 概要

HEVC は H.264/AVC と同様に、動き補償予測、残差変換符号化、エントロピー符号化に基づくハイブリッド符号化方式である。H.264/AVC との主な相違点として、再帰的な四分木分割により処理単位ブロックサイズを柔軟に決定可能な Coded Tree Block (CTB)、デブロッキングフィルタ後の各画素に適応的なオフセットを施すループフィルタである Sample Adaptive Offset (SAO)、並列処理のための画面分割単位である Tile の導入などが挙げられる。

表 1は、HEVC 規格ドラフト第 4 版[3]対応のテストモデル(HM-4.0)のデコーダで、表 2に示す仕様の 4K ストリームを復号した処理時間をプロファイラで取得した結果である。ストリームは、符号化ツールを Main profile (CD 策定時)[4]のツールセットに制限した HM-4.0 エンコーダで作成している。なお Main profile ではループフィルタとしてデブロッキングフィルタおよび SAO が用いられている。また、SHV の放送用レートを 100Mbps と想定し[5]、評価用ストリームのレートは 4K30P のシーケンスを同等の画質で符号化した場合の 15-17Mbps 程度と定めた。

復号時間の内訳としては、動き補償予測の負荷が大き

表 1. 復号時間内訳

エントロピー復号	9.9%
動き補償予測	37.8%
イントラ予測	9.4%
逆量子化・逆変換	4.2%
ループフィルタ	21.5%
その他	17.2%

表 2. 評価用ストリーム仕様

参照構造	階層 B ピクチャ
解像度	3840*2160 (4K)
フレームレート	30fps
ビットレート	15~17Mbps
エンコーダ	HM-4
符号化ツール	Main profile (CD 発行時)相当

く 40%近くを占めている。次にループフィルタ処理が 20%程度、イントラ予測およびエントロピー復号が 10%程度となっている。

2.2. リアルタイムソフトウェアデコーダの実装

今回、HEVC 規格ドラフト第 4 版に準拠したソフトウェアデコーダを開発した。図 1に開発したデコーダの処理シーケンスを示す。本デコーダでは、リアルタイム復号を実現するため、マルチコア CPU および GPU を用いて処理を並列化している。

最も処理負荷の高い動き補償予測処理に加え、エントロピー復号、残差復号、イントラ予測処理など CTB 単位に実施される処理をマルチコア CPU で並列処理している。具体的には、入力画像をサブピクチャに分割し、図 1に示されるようにサブピクチャ毎に異なる CPU コアを割り当てることで、各サブピクチャの復号を並列化している。

2 番目に負荷の高い処理であるループフィルタは、サブピクチャに分割して処理すると主観的な影響が大きいため、ピクチャ単位に GPU 上で処理している。ループフィルタは単純な演算の繰り返しであるため GPU 上での処理に適している。また、図 1に示すように、GPU 上でのループフィルタ処理を、CPU の処理と並列に実行することができる。具体的には、ループフィルタ処理後のピクチャは参照ピクチャとして用いられるが、参照ピクチャの情報を必要とするのは動き補償予測処理(MC)であるため、MC の前段で実施されるエントロピー復号逆量子化/逆変換処理のタイミングでは、直前のピクチャのループフィルタ処理が完了している必要はない。よって、あるピクチャのエントロピー復号/逆量子化/逆変換と直前のピクチャのループフィルタ処理を並列して実行している。CPU のエントロピー復号/逆量子化/逆変換に要する時間が、GPU のループフィルタ

† 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所

‡ NHK 放送技術研究所

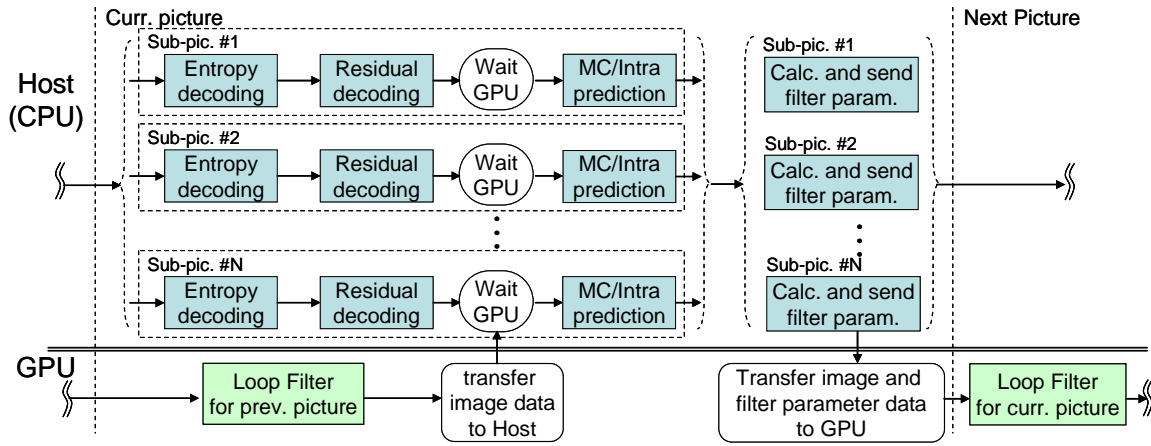


図 1. 復号処理シーケンス

表 3. デコーダ動作環境諸元

OS	Windows 7 Professional
CPU	XEON X5690 3.47GHz 6 コア 2 基 (計 12 コア)
メモリ	24GB
GPU ボード(表示用)	ATI FirePro V8800
GPU ボード(演算用)	NVIDIA Tesla C1060

処理に要する時間よりも長い場合、ループフィルタの処理時間を隠ぺいすることができる。

3. 復号性能検証

3.1. デコーダ動作環境

表 3 に本デコーダの動作環境の諸元を示す。本デコーダは、上述の通り複数の CPU コアおよび GPU を必要とするため、マルチコア CPU およびループフィルタ演算用の GPU ボードを搭載した 1 台のワークステーション上で動作する。4K 動画画像を再生表示するため、4K 動画画像の出力に対応した表示用 GPU ボードも別途搭載している。

3.2. 性能評価実験

表 4 は、上記の動作環境における本デコーダの復号速度を、表 2 に示すストリームを用いて評価した結果である。表の値は、デコーダソフトウェアの実行時間のピクチャあたりの平均値である。表 4 の D) がマルチコア並列で動作する本デコーダの結果を示し、比較対象として A) HM-4.0 デコーダ、B) 本デコーダのマルチコア並列機能およびループフィルタ(LF)の GPU 処理機能を OFF にしたデコーダ、C) B からマルチコア並列機能のみを ON にしたデコーダの結果も示す。ピクチャあたりの復号時間はループフィルタ以外の処理とループフィルタ処理で個別に取得している。また A, B, C ではループフィルタは CPU で処理している。

HM-4.0 デコーダでは、1 ピクチャあたりの復号に 293.1msec を要しているが、開発したデコーダでマルチコア並列およびループフィルタの GPU 処理機能を用いた場合、1 ピクチャあたり 30.3msec で復号処理を実行できる。D の結果では平均フレームレートが 33fps となるため、各フレームの復号速度のばらつきを吸収する制御により、30fps である評価用ストリームのリアルタイム再生が実現できた。個別の高速化機能の性能としては、B と C を比較

表 4. 復号速度評価結果

	ピクチャあたりの復号時間[msec]		
	LF 以外	LF	合計
A. HM-4.0	230.8	62.3	293.1
B. マルチコア並列なし GPU 処理なし	217.6	53.9	271.5
C. マルチコア並列あり GPU 処理なし	28.8	55.4	84.2
D. マルチコア並列あり GPU 処理あり	27.3	3.1	30.3

すると、マルチコア並列によりループフィルタ以外の処理時間が約 1/7 まで減少している。D のループフィルタの処理時間の値は、並列動作している CPU の処理時間に隠ぺいされていない処理時間を示しており、C との比較から、GPU によるループフィルタ処理の高速化および CPU との並列動作により、処理時間が大幅に削減されたことが分かる。

4. まとめ

HEVC 規格ドラフトに準拠した、4K 動画画像のリアルタイム復号が可能なソフトウェアデコーダを開発した。サブピクチャ単位のマルチコア並列処理、および GPU を用いたループフィルタ処理の高速化により、4K/30fps の HEVC ストリームのリアルタイム再生を実現した。今後はより粒度の細かい並列化や GPU 実装の最適化など、さらなる高速化に向けた検討を行う。

参考文献

- [1] ITU-R BT. 1769: "Parameter values for an expanded hierarchy of LSDI image formats for production and international programme exchange", (2006)
- [2] Gary J. Sullivan, Jens-Rainer Ohm, "Meeting report of the first meeting of the Joint Collaborative Team on Video Coding (JCTVC)", JCTVC-A200 (2010)
- [3] JCTVC-F803, "Working Draft 4 of High-Efficiency Video Coding", (2011)
- [4] JCTVC-H1003, "High efficiency video coding (HEVC) text specification draft 6", (2012)
- [5] T. Misu, Y. Matsuo, S. Sakaida, Y. Shishikui, "Motion-Adaptive Sub-Nyquist Sampling Technique for Multi-Frame Super-Resolution", in Proc. Picture Coding Symposium (PCS), May 2012.