1

HEVC (MPEG-H/ITU-T H.265) 技術解説

1-7

HEVC プロファイル・レベルと拡張作業

[正会員] 山本 智幸†

キーワード JCT-VC, HEVC, SHVC, 映像符号化, プロファイル・レベル, スケーラブル映像符号化

1 ま え が き

HEVCは、H.264/AVCに較べて高い符号化効率を有するだけでなく、国際標準として幅広い用途での活用を考慮して、高い互換性と拡張性を備えている。HEVCでは、映像を取り扱う多様な機器・サービス間での互換性を実現するために、H.264/AVCと同様にプロファイル・レベルの仕組みが採用されている。HEVCデコーダは、プロファイル・レベルを参照して、特定のHEVCビットストリームを復号可能かどうかを知ることができる。また、HEVCは、高品位映像のサポートやスケーラブル符号化対応など多彩な拡張を念頭に設計されており、HEVCの策定を担うJCT-VCでは2013年1月のHEVCバージョン1¹⁾の策定完了後もさまざまな拡張が進められている。本稿では、HEVCで現在規定されているプロファイル・レベルの詳細、および、進行中のHEVC拡張のプロジェクトを紹介する。

2 プロファイル

2.1 HEVC プロファイルの概要

HEVCでは、特定の符号化ツールやアルゴリズムのセットを規定し、プロファイルと呼ぶ。プロファイルは、特定のアプリケーションやサービスを念頭に、好ましい符号化効率や複雑度で符号化や復号が行えるよう設計されている。HEVCでは、現在、Main, Main 10, Main Still Pictureと呼ばれる3種のプロファイルが規定されている。プロファイル間の特徴の違いの概略を表1にまとめる。

Main プロファイルは、4:2:0/8ビットの映像を取り扱うアプリケーションやサービス（例えば、放送、インターネット配信、テレビ会議等）での利用を想定している。いわゆる映像を対象とするためイントラ符号化・インタ符号化の双方が可能である。HEVC策定作業において、他のプロファイルに較べて重点的に審議されたプロファイルであり、HEVCにおける最も基礎的なプロファイルと位置付け

表1 HEVC プロファイルの概要比較

プロファイル	対 象	色フォー マット	ビット深度	イントラ 符号化	インタ 符号化
Main	映 像	4:2:0	8ビット	○	○
Main 10			8~10ビット	○	○
Main Still Picture	静止画		8ビット	○	×

ることができる。

Main 10 プロファイルは、Main プロファイルのビット深度を10ビットに拡張したプロファイルである。すなわち、4:2:0/8~10ビットの映像を対象として設計されている。コンシューマレベルでの高品位映像の利用拡大を背景に、多数の参加者からの要望があり作成された。なお、「Main」10という名前からも類推できるように、Main 10 プロファイルに含まれている符号化ツールは基本的にMain プロファイルのものと同一であり、違いは10ビットの映像を対象とする演算へ対応している点にある。そのため、Main プロファイルとMain10プロファイルの間には互換性があり、Main10プロファイルに適合するデコーダは、Main プロファイルのビットストリームを復号できる。

Main Still Picture プロファイルは、Main プロファイルにおいて対象を1ピクチャ、すなわち、静止画に制限したプロファイルである。ビットストリーム内に1ピクチャのみが含まれるという制約が規定されているため、イントラ予測のみが実質プロファイルに含まれる。例えば、カメラで撮影した映像から一つのピクチャを切りだして保存する用途が想定されている。既存の静止画符号化方式に対する利点として、高い符号化性能²⁾と、動画と静止画の符号化・復号処理で実装を共有可能な点が挙げられる。Main プロファイルに適合するデコーダは、Main Still Picture プロファイルのビットストリームを復号できる。

上記のように、Main プロファイルは他の2プロファイルの基礎と言える。そこで、次項では、Main プロファイルの詳細を説明する。

2.2 Main プロファイル詳細

Main プロファイルに含まれる符号化ツールは、本特集の他の記事で紹介された各種の符号化ツール（階層ブロック

† シャープ株式会社 研究開発本部 先端通信・映像技術研究所
"HEVC Profile/level and Extensions" by Tomoyuki Yamamoto
(Telecommunication & Image Technology Laboratories, Corporate
Research & Development Group, SHARP Corporation, Chiba)

表2 レベル概要

レベル	代表的なピクチャサイズとフレームレート	最大ピクチャサイズ [Samples]	最大CPBサイズ (Mainティア) [1,000bits]	最大CPBサイズ (Highティア) [1,000bits]	最大スライス数	最大タイル数 [縦(横)]
1	176×144 (QCIF)@15fps	36,864	350	-	16	1
2/2.1	352×288 (CIF)@30/60fps	122,880/245,760	1,500/3,000	-	16/20	1
3/3.1	960×540 (QHD)@30/60fps	552,960/983,040	6,000/10,000	-	30/40	2/3
4/4.1	2160×1080@30/60fps	2,228,224	12,000/20,000	30,000/50,000	75	5
5/5.1/5.2	4096×2160@30/60/120fps	8,912,896	25,000/40,000/60,000	100,000/160,000/240,000	200	11 (10)
6/6.1/6.2	8192×4320@30/60/120fps	35,651,584	60,000/120,000/240,000	240,000/480,000/800,000	600	22 (20)

構成、フレーム内予測、フレーム間予測、量子化・変換、ループ内フィルタ等)である。それに加え、下記制約が規定されている。

- (1) CTU (Coding Tree Unit) サイズ：16×16, 32×32, 64×64のいずれか。
- (2) ハイレベル並列化処理ツール：タイルまたはウェーブフロントの一方のみ適用可能。
- (3) タイルサイズ：最小幅は256画素、最小高は64画素。
- (4) ICTUの符号量：元の符号量の3/5以下。元の符号量は、8ビット映像の場合は、8ビットとICTU内の画素数の積。

上記の各制約を加えることで、Mainプロファイルに適合するビットストリームを復号するデコーダの実装負荷を抑えることができる。

Mainプロファイルに適合するビットストリームには、加えて、次節で説明するレベル制約が課される。

3 レベル

3.1 レベル概要

レベルはデコーダ能力に基づいてビットストリームに課される制約である。例えば、あるデコーダが特定解像度・フレームレートの映像を符号化したビットストリームを復号できるかどうかは、その解像度・フレームレートに対応するレベルへの適合有無により決まる。レベルの概念はH.264/AVCでも存在したが、HEVCでは、ビットレートや符号化ピクチャバッファ (CPB: Coded Picture Buffer) に係る能力の差異に対応するため、ティア (tier) と呼ばれる概念も追加されている。

HEVC (バージョン1) で規定されているレベルの概要を表2に示す。最小のレベル1は、QCIF/15fps相当の映像に対応している。最大のレベル6.2は、いわゆる8K (8192×4320)/120fps相当の映像に対応している。レベル4以上のレベルに対しては、MainティアとHighティアが設定されている。Mainティアはコンシューマレベルで広く利用されるデコーダを想定してCPBサイズが定められている。一方、Highティアはプロダクション用途を代表とするより高品質の映像を扱うデコーダを想定してCPBサイズが定められている。特定のレベル・ティアに対応するデコーダは、

表3 最大DPB数とピクチャサイズの関係

輝度画素数の範囲	[0, (1/4)*A]	(A/4, A/2]	(A/2, 3A/4]	(3A/4, A]
最大DPB数	16	12	8	6

*A:最大輝度画素数 (MasLumaPs)

そのレベル・ティア以下のレベル・ティアに適合するビットストリームも復号できる。

3.2 レベルによる制約

レベル毎に規定されるパラメータに基づいて、以下の各種制約が課される。

- (1) ピクチャサイズ：輝度ピクチャサンプル数の最大値 (MaxLumaPs) がレベル毎に規定される。加えて、極端に一辺が長い形状のピクチャを避けるため、輝度ピクチャの縦・横の長さは、 $\sqrt{\text{MaxLumaPs} \times 8}$ 以下に制限される。
- (2) 復号ピクチャバッファ (DPB: Decoded Picture Buffer)：HEVCのDPBは、メモリーサイズではなくピクチャ数 (最大DPB数) で規定される。最大DPB数は、表3に示すように、最大輝度画素数と輝度画素数の関係により規定される。各レベルがサポートする最大の解像度では最大DPB数は6であり、解像度が小さいほど最大DPB数が増加する。
- (3) CTUサイズ：レベル5以上では、CTUサイズは32×32または64×64に制限される。つまり、5未満のレベルで利用可能な16×16が利用不可となる。
- (4) 参照ピクチャ数：特定のピクチャから参照可能なDPB上のピクチャ数は8以下。
- (5) スライス数：ピクチャ内のスライスの最大数がレベル毎に制限される (表2参照)。
- (6) タイル数：縦方向、横方向のタイル数の上限がレベル毎に制限される (表2参照)。
- (7) 符号化ピクチャバッファ (CPB)：レベルにおける最大ビットレートのビットストリーム約1秒分が最大CPBサイズとして既定されている。
- (8) ビットレート：レベル毎の最大ビットレートが規定されている。レベル2～6.2の最大ビットレートは表2の最大CPBサイズと一致する。

図1 SHVCのアプリケーション例

- (9) その他：CPBからのビットストリーム読出しタイミング、DPBからの復号ピクチャ出力タイミング、NALユニットのサイズに係る制約が規定されている。

4 プロファイル・レベルの伝送

ビットストリームが適合するプロファイル・レベルは、ビットストリームに含まれるパラメータセット（VPS（Video Parameter Set）とSPS（Sequence Parameter Set））に含まれる。パラメータセットに含まれるプロファイル識別子とレベル識別子により、ビットストリームに適合するプロファイル・レベルが指定される。なお、識別子による表現に加え、32個のフラグの組合せによりプロファイル間の互換性を表現する仕組みが新たに取り入れられている。

デコーダは、プロファイル・レベル識別子や互換性フラグを参照することで、ビットストリームの復号可能性を判定できる。

また、HEVCでは、サブレイヤと呼ばれる、ビットストリームの時間的な階層構造（時間スケラビリティ）を表現する仕組みも採用されている。サブレイヤ毎に異なるプロファイル・レベルを指定することもできる。

5 HEVC拡張作業

2013年1月にHEVC（バージョン1）の策定作業を終えたJCT-VCでは、HEVC拡張の策定が引き続き活発に進められている。以下では、各拡張作業の概略を紹介する。なお、下記以外の拡張として、HEVCの3D・マルチビュー拡張がJCT-3Vで検討されているが、本特集の第2章にて紹介があるため、本稿での説明は省略する。

5.1 Range Extension

MainプロファイルやMain10プロファイルでサポートされない高品位映像に対応するためのプロファイルであり、4:2:2や4:4:4といった色フォーマットや、10ビットより大きいビット深度の映像をサポートする。委員会での策定完了（FDAM: Final Draft Amendment発行）は、2014年1月が予定されている。現在の委員会草案³⁾では、基本的な符号化ツールはMainプロファイルと共通であるが、高品位映像に対応するために一部符号化ツールが変更されてい

る。例えば、4:2:2の色フォーマットでは、正方形の輝度領域に対して長方形の色差領域が対応するため、イントラ予測画像の生成方法に工夫が加えられている。

5.2 SHVC（Scalable HEVC）

H.264/AVCにおけるSVC（Scalable Video Coding）と同様に、一つのビットストリームから複数の解像度や品質に対応する映像を復号する仕組みを提供するための拡張である。2014年7月の委員会レベルでの策定完了を目指して策定作業中であり、2012年7月に提案募集への応答の評価が行われ、2013年1月の会合では委員会草案⁴⁾が作成された。

図1にSHVCのアプリケーション例を示す。SHVCエンコーダにより4KとHDの映像が階層的に符号化されたSHVCビットストリームを生成できる。ビットストリームからは、SHVCデコーダにより4K映像を復号できる一方で、ベースレイヤと呼ばれる部分をHEVCデコーダで復号してHD映像を再生することもできる。SHVCでは、ベースレイヤの情報を利用して、拡張レイヤ（図1の例では4KとHDの差分に相当する情報）を符号化することで、高い符号化効率を実現している。なお、HEVCに限らず、H.264/AVCやMPEG-2等のビットストリームをベースレイヤとする方式も検討対象となっている。

SHVCデコーダは、NALユニットヘッダに含まれるレイヤ識別子を参照して、特定レイヤの復号画像を再生できる。なお、VPSと呼ばれるパラメータセットを用いて、各レイヤのスケラビリティの種類（例えば、解像度の拡張か、画質の拡張か）やレイヤ間の依存関係も伝送できる。

現在議論されている符号化ツールには、ベースレイヤの復号画像を予測画像とするレイヤ間テクスチャ予測、ベースレイヤのシンタックス（動きベクトルやイントラ予測モード）を拡張レイヤの予測に使うレイヤ間シンタックス予測、適応アップサンプリングフィルタ、拡張レイヤの動き情報とベースレイヤの復号ピクチャを利用して予測残差を推定する一般化残差予測等がある。

なお、レイヤ間テクスチャ予測のシグナル方式として、MVC（Multiview Video Coding）同様、インタ予測で用いられる参照画像の仕組みを利用する方式（refIdx方式）と、SVC同様にフラグを用いる方式（TextureRL方式）の2方式

が検討されている。

3D・マルチビュー拡張を含む各種スケーラブル拡張間でパラメータセットに代表される規格の一部を共通化することも重要視されており、規格案が作成されている⁵⁾。

5.3 その他の拡張

JCT-VCの親組織であるMPEGでは、さらなるHEVC拡張として、下記が検討されている。

- (1) Still Picture プロファイル拡張：既存のMain Still Picture プロファイルでは4:2:0/8ビットの画像が対象であるため、より高品位の画像を対象とする拡張の検討が、静止画標準化組織であるJPEGと協力して進められている⁶⁾。
- (2) スクリーンコンテンツ符号化：カメラで撮影した映像が自然画像と呼ばれるのに対し、HTML文書、地図、スライド、CG等の撮影以外の方法で生成された動画はスクリーンコンテンツと呼ばれている。スクリーンコンテンツには、一般的に文字や図面を多く含むため重要なエッジが多く、また、色数が比較的少ないという特徴がある。インターネットの普及により、スクリーンコンテンツは増加しており、前記特徴を活用した符号化ツールによる圧縮率・主観画質向上の検討が進められている⁷⁾。
- (3) インタレース映像符号化：HEVCではインタレース映像を符号化できるが、H.264/AVCにあったようなインタレース映像に適した符号化ツールが含まれていないわけではない。そのため、インタレースのレガシーコンテンツ活用を意図して、インタレース用符号化ツール導入の是非が議論されている⁸⁾。

6 む す び

本稿では、HEVCにおいて互換性を実現する仕組みであるプロファイル・レベルを紹介した。インターネットでの映像配信やスマートフォン・タブレットの普及が急速に拡大している昨今では、多種多様な映像の再生環境が存在している。そのため、特定のビットストリームがどのような機器・ソフトウェアで復号可能かが明確に定められていることは非常に重要といえる。HEVCのプロファイル・レベルは、策定作業においてエンコーダ・デコーダを提供する

メーカーが活発に議論して決められており、十分な互換性を提供するものと期待される。なお、逆説的には、プロファイル・レベルを理解することで、エンコーダやデコーダの実装上の困難を知ることもできるため、その点から本稿が映像符号化技術発展の一助となれば幸いである。

本稿では、また、HEVCの各種拡張作業について紹介した。H.264/AVCの場合も多数の拡張が標準として策定された。HEVCでは、H.264/AVCでの経験を踏まえて、将来の拡張が容易となるよう設計されている。実際、3Dやスケーラブル拡張がHEVCの策定と並行して検討されたため、3Dやスケーラブル拡張が容易となるようレイヤ識別子を送る仕組みやパラメータセットを拡張する仕組みがHEVCには組込まれている。今後も、現在検討中の拡張に加えて、さまざまな拡張が標準として策定されることが期待される。

(2013年3月29日受付)

〔文 献〕

- 1) "Text of ISO/IEC FDIS 23008-2 High Efficiency Video Coding", ISO/IEC JCT 1/SC 29/WG 11/N13333, Geneva (Jan. 2013)
- 2) P. Hanhart et al: "AhG4: Subjective evaluation of HEVC intra coding for still image compression", Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) JCTVC-L0380, Geneva (Jan. 2013)
- 3) "HEVC Range Extensions Draft 2", Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC), JCTVC-L1005, Geneva (Jan. 2013)
- 4) "SHVC Working Draft 1", Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC), JCTVC-L1008, Geneva (Jan. 2013)
- 5) M.M. Hannuksela et al: "Common specification text for scalable and multi-view extensions (revision of JCTVC-L0188 straw-man text)", Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC), JCTVC-L0452, Geneva (Jan. 2013)
- 6) "Draft requirements for still image coding Using HEVC", ISO/IEC JCT 1/SC 29/WG 11/N13424, Geneva (Jan. 2013)
- 7) "AHG8: More investigation on screen content coding", Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC), JCTVC-M0320, Incheon (July 2013)
- 8) "Requirements and Use Cases on Interlaced Video under Consideration", ISO/IEC JCT 1/SC 29/WG 11/N13423, Geneva (Jan. 2013)

やまもと とちゆき
山本 智幸 2004年、東京大学大学院情報理工学系研究科修士課程修了。同年、シャープ(株)入社。主に、映像符号化技術の研究・開発に従事。関連する標準化活動にも取組み、近年では、ISO/IECとITU-TによるHEVCの策定作業に参加。正会員。