Technical
Survey

技術解説

最新動画像符号化規格 (HEVC) の拡張動向

笹井 寿郎[†]

2014年に第2版の規格化が完了した最新の動画像符号化 (HEVC: High Efficiency Video Coding) の拡張規格について解説する。この拡張規格は、2013年に規格化完了したHEVC規格 (第1版) を、高品位化、高スケーラビリティ、多視点映像対応の観点で拡張したものであり、本稿ではその拡張内容について説明する。

キーワード：動画像符号化, HEVC, H.265, MPEG, 階層符号化, 多視点符号化

1. まえがき

デジタル映像の新しい動画像符号化規格として、H.264/AVC (ITU-T Rec. H.264, ISO/IEC 14496-10) の2倍の符号化効率を実現するHEVC (High Efficiency Video Coding) が2013年に策定された¹⁾。HEVCの標準化活動は、国際標準化団体であるITU-T SG16/WP3/Q.6 (VCEG) とISO/IEC JTC1/SC29/WG11 (MPEG) の協力により設立された新たな組織JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding) により行われた。HEVCの拡張規格として、高品位拡張 (Range extension: RExt), スケーラブル拡張 (Scalability extension: SHVC), 多視点拡張 (Multi-view extension: MV-HEVC) が検討されており、高品位拡張, スケーラブル拡張の標準化活動はHEVCと同様にJCT-VCにおいて、多視点拡張の標準化活動は、同じ二つの親団体により設立された別組織JCT-3V (Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extension) によって行われ、HEVCの第2版に追加される形で策定された²⁾。現在は、スクリーンコンテンツ拡張 (Screen Content Coding: SCC), 3D拡張 (3D High Efficiency Video Coding: 3D-HEVC) の標準化活動が続けられている。図1に標準化スケジュールを示す。

本稿では、まず拡張規格の基盤となるHEVC (第1版) の技術概要を説明、次に第2版で追加された拡張規格の技術概要を説明し、さらに今後の拡張動向について紹介する。

2. HEVC 第1版

HEVC拡張規格の基本となるHEVC第1版 (以下、ベース規格) の技術概要を説明する。ベース規格では、広く使われるデジタル画像フォーマットとして4:2:0の色信号

図1 標準化スケジュール

フォーマット、8ビットおよび10ビットの画像信号を対象とし、モバイル用途から4K・8K等のUHDTVの解像度の画像に対し、高い符号化効率を実現するための技術が採用された。また、H.264/AVCにおいて、その実装困難性が実用化の課題とされた経験を活かし、HEVCでは、並列演算性や演算量も技術選定の主要素として考慮された。このため、HEVCはH.264/AVCと比較して早期の実用化、多様な用途での普及が期待されている^{3) 4)}。

HEVCは従来の多くの動画像符号化規格と同様に、動き補償と直交変換のハイブリッド符号化方式をベースとしており、図2に示す一般的な符号化装置の構成で表現することができる。HEVCでは、大きく4種類の適応処理・高度化により高い符号化効率を実現している。

- (1) 処理・符号化の単位の適応化：画像の特徴に応じて、入力画像を $8 \times 8 \sim 64 \times 64$ のブロックサイズに階層的に分割し、予測誤差信号を $4 \times 4 \sim 32 \times 32$ のブロックサイズで変換処理する。これにより、均一な画素分布をもつ領域では大きなブロックサイズを選択することで情報量を削減でき、細かいオブジェクトを含む領域では小さなブロックサイズで予測、変換することで予測誤差を削減できる。

[†] パナソニック株式会社 AVC ネットワークス社 技術本部
"Extension of High-Efficiency Video Coding Standard (HEVC)" by Hisao Sasai (R&D Division, AVC Networks Company, Panasonic Corporation, Osaka)

図2 符号化装置の概要

- (2) 予測の高度化：画面内予測（イントラ予測）において、周囲画素からの予測方向を33方向、2種類の平面予測パターンから適応選択することや、動き補償予測において高性能内挿フィルタによる1/4画素精度の動き予測を高精度化することにより、予測誤差を削減する。また、画面内予測での予測モード情報、動き補償予測での動きベクトル情報を適応的に予測・選択することで、予測情報量を削減できる。
- (3) 信号処理：ブロック境界の歪み除去フィルタと、画素パターン毎に選択的にオフセット値を加える処理により符号化歪みを低減する。また、図3に示すように、変換処理において、DCT (Discrete Cosine Transform) ベースの整数変換処理に加え、DST (Discrete Sine Transform) ベースの整数変換処理や、変換処理をスキップする仕組みにより、符号化するデータを削減できる。
- (4) エントロピー符号化の高度化：可変長符号化として、コンテキスト適応算術符号化 (CABAC: Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding) が用いられる。H.264/AVCから採用された技術であるが、図4に示すようにコンテキスト選択、内部状態更新に

図4 算術復号処理の概要

ビット単位での処理が必要となるため、並列処理のボトルネックとなっていた。HEVCでは、コンテキスト選択部分で、周囲の符号との依存関係を減らす工夫により、並列処理との親和性が高められた。

これらの技術によりHEVCは、主観画質でH.264/AVCと同等画質を半分のビットレートで実現できることが報告されている⁵⁾⁶⁾。

3. HEVC拡張規格概要

HEVC規格の拡張として、①高品位な映像伝送のための拡張であるRExt (Range extension)、②スケーラビリティを高める拡張であるSHVC (Scalability extension)、③複数視点の映像伝送のための拡張であるMV-HEVC (Multi-view extension) が議論、検討された⁷⁾。なお、HEVC第2版としてまとめるにあたり、SHVC、MV-HEVCは、データ構造を階層的にするという点で共通化され、共通部分は“Multi-layer extension”として扱われる。

図5にHEVCのベース規格と各拡張規格の技術関係の概念を示す。このように拡張規格はベース規格の技術を包含する形で決められている。また、具体的なプロファイル (仕様セット) の一覧を表1に示す。

以降、第2版で規格化された技術内容を説明する。

3.1 高品位拡張

HEVCの高品位拡張符号化方式RExtは、H.264/AVCの

図3 変換処理の概要

表1 HEVCで規定されているプロファイル(A:利用可能の意味)

	プロファイル	色信号フォーマット	ビット深度	制約	RExt-新規技術	高精度演算	色信号量子化制御
RExt	Monochrome	4:0:0	8				
	Monochrome 12	4:0:0	8~12				
	Monochrome 16	4:0:0	16		A	A	
第1版	Main	4:2:0	8				
	Main 10	4:2:0	8~10				
RExt	Main 12	4:0:0/4:2:0	8~12				
	Main 4:2:2 10	4:0:0/4:2:0/4:2:2	8~10				A
	Main 4:2:2 12	4:0:0/4:2:0/4:2:2	8~12				A
	Main 4:4:4	4:4:4	8		A		A
	Main 4:4:4 10	4:4:4	8~10		A		A
	Main 4:4:4 12	4:4:4	8~12		A		A
RExt	Main Intra	4:0:0/4:2:0	8	Intra only			
	Main 10 Intra	4:0:0/4:2:0	8~10	Intra only			
	Main 12 Intra	4:0:0/4:2:0	8~12	Intra only			
	Main 4:2:2 10 Intra	4:0:0/4:2:0/4:2:2	8~10	Intra only			A
	Main 4:2:2 12 Intra	4:0:0/4:2:0/4:2:2	8~12	Intra only			A
	Main 4:4:4 Intra	4:4:4	8	Intra only	A		A
	Main 4:4:4 10 Intra	4:4:4	8~10	Intra only	A		A
	Main 4:4:4 12 Intra	4:4:4	8~12	Intra only	A		A
	Main 4:4:4 16 Intra	4:4:4	16	Intra only	A	A	A
第1版	Main Still Picture	4:2:0	8	1 frame			
RExt	Main 4:4:4 Still Picture	4:4:4	8	1 frame	A		A
	Main 4:4:4 16 Still Picture	4:4:4	16	1 frame	A	A	A
MV-HEVC	Multiview Main	4:2:0	8				
SHVC	Scalable Main	4:2:0 (base)	8 (base)				
	Scalable Main10	4:2:0 (base)	8~10 (base)				
RExt	High Throughput 4:4:4 16 Intra	4:4:4	16	Intra only	A	A	A

図5 HEVC拡張規格の相関図

拡張規格である Fidelity Range Extension (FRExt), H.264/AVC High Profile と同様の位置付けの拡張符号化方式である。

高品位拡張符号化は、ベース規格でカバーされる色信号

フォーマット(4:2:0)、ビット深度(8ビット、10ビット)以外の画像信号を取り扱う高品質が要求される業務用、民生用途での活用が想定されている。具体的には、4:4:4、4:2:2、4:0:0の色信号フォーマット、10ビット超から16ビットまでのビット深度、特殊構造(画面間予測の禁止)等を組合せたプロファイルが規定されている(表1)。

技術的な特徴としては、上記の色信号フォーマット、ビット深度拡張に伴う高精度演算処理に加え、符号化効率を向上するための幾つかの符号化技術や高速処理を可能にする技術が採用されている。代表的なものをここで紹介する。

- (1) 色信号フォーマット拡張処理：色信号フォーマット毎の処理の違いに関して図6で紹介する。HEVCでは、色信号の処理は輝度信号に付随する形で規定されているが、面内予測モードは別に伝送され、輝度よりもパターン数は少なく、輝度と同じ角度の予測が定義されている。4:2:2信号では、色信号の画像データが長方形の形状であり、同様に輝度と対応する形で分割されるが、変換処理のみ上下に分割し、正方形の形状で処理される。また、予測方向も角度を補正することで、正しい予測を行うように考慮される。一方、4:4:4信号は輝度と同じサイズの正方形の形状のため、特別な処理はない。なお、RGB信号を扱う場合もYCbCr信号と同様に扱う。

図6 色信号フォーマット拡張処理

(2) 符号化効率向上技術: RExtでは、符号化効率向上のための新しい技術が採用されている。予測誤差信号をさらに予測し、差分を演算することで符号量を削減する方式として、残差DPCM、色成分間残差予測や、変換スキップ時の処理の拡張が代表的なものである。

残差DPCMは変換スキップの場合の変換ブロック単位での処理であり、図7に示すように、予測誤差信号をさらに画素単位で隣接差分演算し、信号レベルを低減する方法である。特に面内予測の場合、その方向に沿って同一の画素値が並びやすいため、その方向に差分を取ることで大幅に信号レベルを低減できる⁸⁾⁹⁾。

色成分間残差予測は、図8に示すように、変換ブロック単位で輝度信号にスケール値を掛けた値を画

素単位に差分演算し、信号レベルを低減する方法である。特に4:4:4の信号としてYCbCr信号ではなく、RGB信号を扱った場合、色間の相関が高いため、符号化効率に大きく寄与することが知られている。

変換スキップの拡張としては、図3で示したように、4×4サイズ以外への拡張、量子化係数の並びを回転、量子化係数の符号化方法を変更するという拡張が採用された。

大きなブロックでも変換スキップを使う拡張により、コンピュータ画像に対してさらに効率を向上できる¹⁰⁾。

また、係数位置を回転することで変換スキップの特性に合った量子化係数の符号化を可能とする技術が採用されている。HEVCの量子化係数の符号化は、周波数変換後の係数分布に合わせて、左上に低周波成分、右下に高周波成分を並べた場合の圧縮率が高くなるように設計されている。一方、周波数変換を行っていない変換スキップの場合、特に面内予測の際には、図3左上と同様に左上の周辺画素に近い部分の信号が小さく、遠い右下部分の信号が大きくなる傾向にあるため、設計とは逆の傾向となってしまう。係数位置を回転することでこの問題を解決し符号化効率を向上させることが可能となった¹¹⁾。

また、周波数変換されたことが前提で設計されていたCABACの2値化/多値化、コンテキスト選択(図4)を予測誤差の分布に合わせる設計変更が行われた¹²⁾。

これらの技術により、変換スキップ利用時の符号化効率を高めることができる。

[図7補足式]

符号化時(縦, 横方向)

$$r_{x,y} = r_{x,y} - r_{x,y-1}, r_{x,y} = r_{x,y} - r_{x-1,y}$$

復号時(縦, 横方向)

$$r_{x,y} = r_{x,y} + r_{x,y-1}, r_{x,y} = r_{x,y} + r_{x-1,y}$$

図7 残差DPCMの概要

図8 色成分間残差予測の概要

[図8補足式]

符号化時

$$r_{x,y,C} = r_{x,y,C} - Scale \times r_{x,y,Y}$$

復号時

$$r_{x,y,C} = r_{x,y,C} + Scale \times r_{x,y,Y}$$

(3) 高速処理化技術：非常に高品質な画像が必要な場合、超高符号化レートが用いられる。その場合、リアルタイム処理を実現するためには、短時間に非常に大きなデータを処理する能力が必要となる。しかし、CABACは図4で示したように、1ビット単位での処理が必要であるため、高符号化レートのように短時間に多くのビットを処理することが困難である。

一方で、CABACには、コンテキストを使わずに確率50%で符号化するバイパス符号化モードがあり、特に大きなデータ値を符号化する際に使われている。ただし、従来はバイパス符号化モードであっても、図4に示す内部状態更新は1ビットずつの処理が必要であった。そこで、特に高符号化レート向けに対して、CABACの内部状態を一時的に固定化し、複数のバイパス符号を一度に処理する技術が採用された¹³⁾。

3.2 スケーラブル拡張

HEVCのスケラブル符号化方式SHVCは、H.264/AVCの拡張規格であるSVC (Scalable Video Coding) と同様の位置付けの拡張符号化方式である。

スケラブル符号化は、ベース層部分と、上位層部分にストリームを分割することができる特徴である。ベース層部分は上位層がなくても復号できるように設計されており、例えば、伝送路の問題により上位層のデータがなくなるとベース層部分は正しく復号できる。この特徴により、送信側でスケラブル符号化しておくことで、受信側の能力に応じてベース層部分だけ復号する、ベース層と上位層両方を復号する、という柔軟なシステム設計を可能とする。

なお、HEVCでのスケラビリティとしては、ベース規格で時間解像度スケラビリティを実現することが可能のように設計されており、SHVCでは、SNRスケラビリティ、ビット深度スケラビリティ、空間解像度スケラビリティ、色域スケラビリティの拡張を扱っている。SHVCの基本構造は、図9に示すような複数レイヤの構造をもち、上位層の符号化時に、ベース層の復号済み画像を

図9 階層符号化の基本構造

予測に用いることで上位層の符号量を削減することができる。なお、SHVCの特徴の一つとして、ベース層のストリームとして他の画像符号化方式（例えば、H.264/AVC）を用いることも想定されている。

技術的には、レイヤ間の制御部分に特徴があり、レイヤ間の予測精度向上のため、上位層画像に合わせた高度な解像度変換や色域変換、ビット深度拡張を行う制御や、上位層の予測情報量削減のため、ベース層の予測情報を上位層の解像度に合わせてリサンプリングする処理がある¹⁴⁾。

3.3 多視点拡張

HEVCの多視点符号化方式MV-HEVCは、H.264/AVCの拡張規格であるMVC (Multi-view Video Coding) と同様の位置付けの拡張符号化方式である。

多視点符号化は、複数視点の映像（ステレオ画像等の3D画像）の伝送を目的とした符号化方式である。技術的な特徴は、動き補償予測の参照画像として、同一時刻の別視点の画像を扱えるようにする点が特徴である。これは、参照フレームの構造の変更だけであり、内部の符号化方法はベース規格と同じである。これはMVCと同じ構造であり、HEVCのベース規格からの変更が少なく、特にLSI等のハードウェアの部分ベース規格と共通化が容易になることを想定されて設計されている。

基本構成はSHVCと共通して決められており、ベース層を基本視点の画像、異なる視点画像を上位層として構成したものと同様である。なお、第2版では、8ビットのステレオ（2視点）プロファイルのみが規定されており、10ビット信号の扱いでベース規格を含まない形となっている。

なお、MV-HEVCでは、補助ピクチャとして奥行情報を同時に伝送する仕組みにも対応している¹⁵⁾。

4. 今後の展開

さらなる拡張規格として、コンピュータグラフィックスやプレゼンテーションのような映像伝送に向けた拡張であるSCC、深度情報を含むさらに高符号化効率を目指した拡張である3D-HEVCが継続して議論されている。

技術的にも興味深い技術が審議されており、例を挙げると、SCCに関しては、イントラブロックコピー（図10）、パレット符号化（図11）があり、3D-HEVCに関しては、色変換切替、視点間動きベクトル予測、照度補償といった技術が議論されている^{16)~19)}。

図10 イントラブロックコピーの概念図

図 11 パレット符号化の概念図

5. むすび

本稿では、HEVCの拡張規格について説明した。JCT-VC, JCT-3Vでは、さらなる拡張規格も審議されており、今後の動向が注目される。HEVC規格としては、ベース規格に加え基本的な拡張規格が策定され、ますます実用化が進むことが予想される。今後、さらなるデジタル映像メディアの発展に貢献することを期待する。

(2014年11月30日受付)

〔文 献〕

- 1) ITU-T H.265 | ISO/IEC 23008-2 High efficiency video coding (Apr. 2013)
- 2) ITU-T H.265 | ISO/IEC 23008-2 High efficiency video coding version 2 (Oct. 2014)
- 3) 杉本, 蝶野, 鈴木, 福島, 中條, 西, 山本, 志水, 石川, 福原: "新しい画像符号化技術", 映像学誌, 67, 7, pp.528-562 (2013)
- 4) 大久保, 鈴木, 高村, 中條: "H.265/HEVC教科書", インプレスジャパン (2013)
- 5) P. Hanhart, M. Rerabek, F.D. Simone and T. Ebrahimi: "Subjective quality evaluation of the upcoming HEVC video compression standard", Proc. SPIE 8499, Applications of Digital Image Processing XXXV, 84990 V (Oct. 2012)
- 6) J.-R. Ohm, G.J. Sullivan, H. Schwarz, T.K. Tan and T. Wiegand: "Comparison of the Coding Efficiency of Video Coding Standards - Including High Efficiency Video Coding (HEVC)", IEEE Trans. Circuits and Systems for Video technology, 22, 12, pp.1669-1684 (Dec. 2012)
- 7) G.J. Sullivan, J.M. Boyce, Y. Chen, J.-R. Ohm C.A. Segall and A. Vetro: "Standardized Extensions of High Efficiency Video Coding (HEVC)", IEEE Journal of Selected Topics in Signal Proc. 7, 6 (Dec. 2013)
- 8) S. Lee, I. Koo and C. Kim: "RDPCM for HEVC lossless coding", ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCTVC-M0079 (Apr. 2013)
- 9) M. Naccari, A. Gabrielli, M. Mrak, S. Blasi and E. Izquierdo: "Inter-prediction RDPCM", ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCTVC-M0442 (Apr. 2013)

- 10) W. Pu, W.-S. Kim, J. Chen, K. Rapaka, L. Guo, J. Sole and M. Karczewicz: "Non RCE1: Inter color component residual prediction", ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCTVC-N0266 (Aug. 2013)
- 11) D. He, J. Wang and G. Martin-Cocher: "Rotation of Residual Block for Transform Skipping", ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCTVC-J0093 (July 2012)
- 12) M. Karczewicz, L. Guo, J. Sole and R. Joshi: "RCE2: Results of Test 1 on Rice Parameter Initialization", ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCTVC-P0199 (Jan. 2014)
- 13) K. Sharman, N. Saunders and J. Gamei: "AHG5 and AHG18: Entropy Coding Throughput for High Bit Depths", ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCTVC-O0046 (Oct. 2013)
- 14) J. Chen, J. Boyce, Y. Ye, M.M. hannuksela, G.J. Sullivan and Y.-K. Wang: "High efficiency video coding (HEVC) scalable extension Draft 7", ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCTVC-R1008 (June 2014)
- 15) G. Tech, K. Wegner, Y. Chen, M. Hannuksela and J. Boyce: "MV-HEVC Draft Text 9", ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCT3 V-I1002 (July 2014)
- 16) D.-K. Kwon and M. Budagavi: "Fast intra Block Copy (IntraBC) search for HEVC screen content coding", IEEE International Symposium on Circuits and Systems, pp.9-12 (2014)
- 17) W. Zhu, O.C. Au, W. Dai, H. Yang, R. Ma, L.J. Zeng and P. Wan: "Palette-based Compound Image Compression in HEVC by Exploiting Non-Local Spatial Correlation", IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing, pp.7348-7352 (2014)
- 18) R. Joshi and J. Xu: "HEVC Screen Content Coding Draft Text 2", "3D-HEVC Draft Text 6", ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCTVC-S1005 (Oct. 2014)
- 19) G. Tech, K. Wegner, Y. Chen and S. Yea: "3D-HEVC Draft Text 6", ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCT3 V-J1001 (Oct. 2014)

はせがわ しゅんろう 2001年, 京都大学大学院エネルギー科学研究科修士課程修了。同年, パナソニック(株)に入社。2005年～2008年, Panasonic Hollywood Laboratory 出向。2006年～2008年, カリフォルニア大学ロサンゼルス校客員研究員。2010年より, HEVC標準化に参加。画像符号化やメディア処理に関する研究開発に従事。