

次世代標準規格に向けた映像符号化技術

杉本和夫*
関口俊一*

Video Coding Technologies towards Next Generation Video Coding Standard

Kazuo Sugimoto, Shun-ichi Sekiguchi

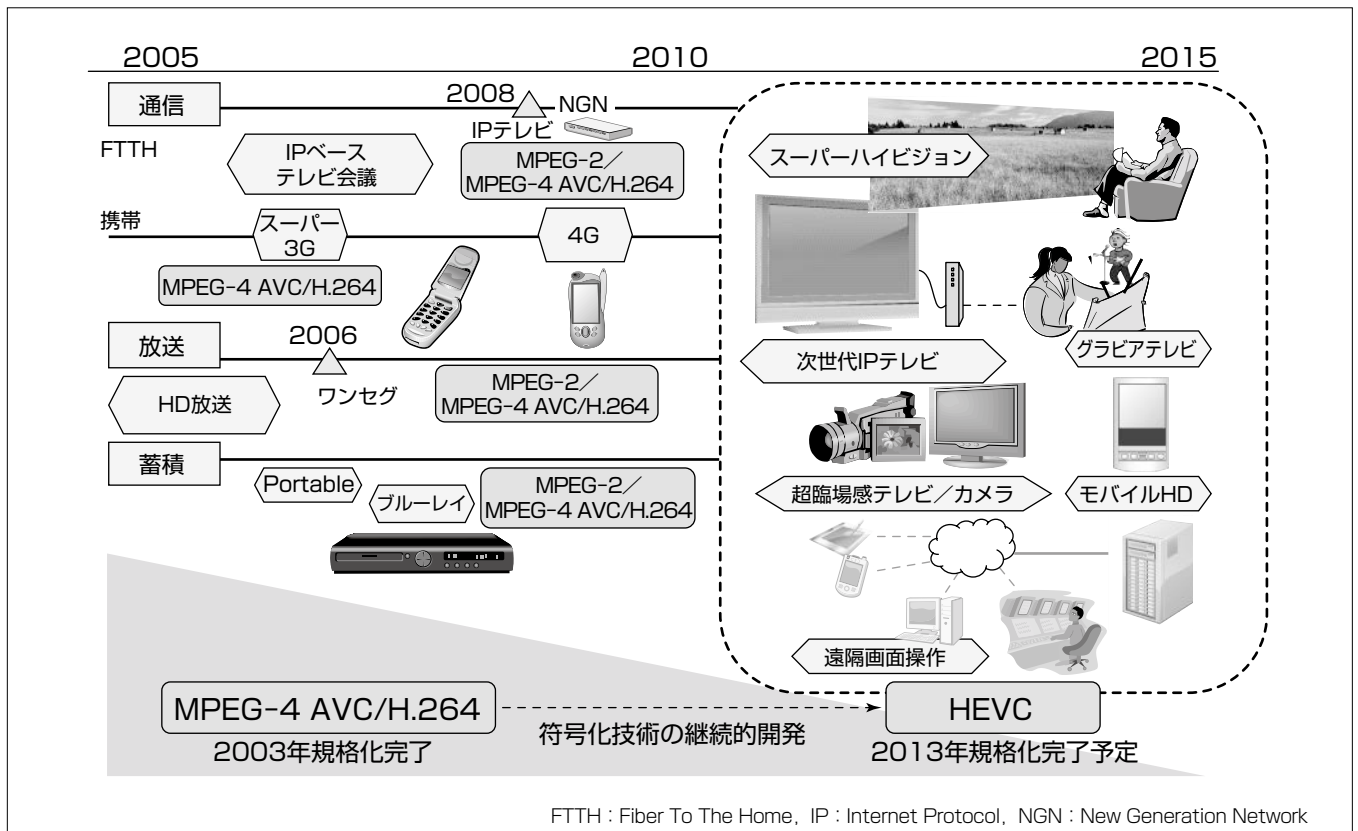
要旨

デジタル放送やパーソナルビデオカメラなどの民生AV (Audio Visual) 機器ではHD(High Definition)映像を扱うことが一般的となり、スマートフォンの普及に伴って、モバイルの領域にもHD映像コンテンツが広がりつつある。今後の映像サービス・アプリケーションではスーパーハイビジョンや裸眼3D・自由視点テレビ等によるさらなる高臨場感の追求が進むと考えられる。これによって、放送、通信、パッケージ等のメディアを介して流通する映像データ量が大幅に増大するため、映像コンテンツを円滑に流通させるためには、優れた圧縮性能を持つ映像符号化方式が不可欠となる。

このような背景の下、ISO/IEC JCT1/SC29/WG11(通称MPEG: Moving Picture Experts Group)ならびにITU-T/SG16 Q.6(通称VCEG: Video Coding Experts Group)

は、2013年初頭の規格化完了を目標に、次世代映像符号化方式HEVC(High Efficiency Video Coding)の標準化を進めている。HEVCでは、現行標準方式としては最高性能を持つAVC(Advanced Video Coding)/H.264に比べて2倍の圧縮効率の実現を目指しており、ワンセグなどで用いる低解像度の映像からスーパーハイビジョンを含む超高精細映像までの幅広い範囲の映像信号をサポートする。

三菱電機は、将来の新しい高臨場映像サービス・アプリケーションへの対応、社会インフラにおける映像情報の利活用促進に向け、長年にわたる映像符号化技術開発の蓄積を基盤としてHEVC標準化への技術貢献を積極的に進めている。本稿では、HEVC標準化の最新動向と、この標準化活動に向けた当社の技術開発状況について述べる。また、HEVC標準化の今後の展望についても述べる。



次世代映像符号化技術

HEVCは従来のAVC/H.264に比べて2倍の圧縮性能を目標として2013年規格化完了を目指して作業が進められている。符号化性能に優れた次世代映像符号化方式であるHEVCの普及によって、モバイルから大画面に至るあらゆるシーンでの高臨場感映像サービスを楽しむことができる。

1. ま え が き

デジタル放送やパーソナルビデオカメラなどの民生AV機器ではHD映像を扱うことが一般的となり、モバイルの領域にもHD映像コンテンツが広がりつつある。今後の映像サービス・アプリケーションではスーパーハイビジョンや裸眼3D・自由視点テレビ等によるさらなる高臨場感の追求が進むと考えられる⁽¹⁾。これらによって、流通する映像データ量が大幅に増大するため、映像コンテンツを円滑に流通させるためには、優れた圧縮性能を持つ映像符号化方式が不可欠となる。

このような背景の下、ISO/IEC JCT1/SC29/WG11とITU-T/SG16 Q.6は、2010年1月に共同作業部会JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding)を立ち上げ、次世代映像符号化方式の標準化に着手した。これにはHEVCというプロジェクト名がつけられ、2013年初頭の規格化完了を目標に作業が進められている。

本稿では、HEVC標準化の最新動向と、この標準化活動に向けた当社の技術開発状況について述べる。また、HEVC標準化の今後の展望についても述べる。

2. HEVC標準化の最新動向

2.1 HEVCの技術要件

HEVC標準の目標は、既存国際標準方式として最高の圧縮性能を実現するAVC/H.264の圧縮効率を十分に上回ることであり⁽²⁾、許容する演算量に応じて目標とするレベルが2つの方向に分かれている。一つは、圧縮性能を追求すること(AVC/H.264の2倍の圧縮効率)で、この場合の許容演算量は、対応製品が市場に出回り始めるころのハードウェア化技術のトレンドが許容するレベルとしている。もう一つは、AVC/H.264に対して有意に性能を改善しつつも大幅な演算量削減(AVC/H.264比50%の演算量)を図ること、が挙げられている。

HEVC標準でサポート対象とする映像信号は、空間解像度としてはワンセグサービスで使われている低解像度の信号からスーパーハイビジョンで使われる超高精細の信号まで広い範囲にわたる。画像フォーマットとしてはプログレッシブ信号を主対象として検討が進められているが、60fps(frames per second)を超える高フレームレート、色密度拡張フォーマット、高階調映像等の高品位映像信号もサポートする予定である。

2.2 HEVCテストモデルを構成する主要技術

HEVCテストモデルはHEVC規格の作業ドラフト(Working Draft: WD)⁽⁴⁾を実装する参照ソフトウェアモデルであり、HM(HEVC test Model)と呼ばれる。標準化に提案される技術のうち性能・演算量の両側面から検証し有効であると認められたものがテストモデルに実装される。現状、HM

はAVC/H.264同様、ブロック単位に予測・直交変換を適用する符号化モデルとなっているが、圧縮効率改善のために種々の新しい改善技術が採用されている。次に、2011年7月に作成された第4版となるHM-4の構成概要を述べる⁽⁵⁾。

2.2.1 符号化ブロックの拡張と階層化

HM-4では、画面をLargest Coding Unit (LCU)と呼ぶ正方形ブロックに分割し、LCUごとに符号化処理が行われる。LCUは絵柄や動きに合わせて四分木形式で階層的に符号化処理の単位となるCoding Unit (CU)と呼ぶブロックに分割される。それ以上細かい分割が行われない最小のCUに対してイントラ予測(フレーム内予測)とインター予測(フレーム間動き補償予測)が行われる。これら予測処理単位はCUをさらに複数形状に分割するPrediction Unit (PU)と呼ぶ単位で行われる。予測誤差信号には直交変換が適用されるが、その処理単位をTransform Unit (TU)と呼び、CUを起点として四分木階層分割が可能であり、予測誤差電力の分布に応じて変換処理のブロックサイズを可変にすることができる。図1にCU, PU, TUの関係の例を示す。この技術によって、局所的に特性が変動する映像信号に追従した効率のよい符号配分が可能となり、高精細映像信号に対する圧縮性能改善に大きく寄与することが確認されている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

2.2.2 フレーム内符号化

フレーム内(イントラ)符号化には、空間的に隣接する画素値を予測参照値とし、複数の方向性を持つ空間予測モードを切り替えて予測画像を生成するイントラ方向性予測が採用されている。コンセプトとしてはAVC/H.264のイントラ予測と同様の技術であるが、PUのサイズ(4×4~64×64)ごとに最大33種類の方向性予測モードと、予測に用いる参照画素の平均値を予測画像とする平均値予測モード、平坦なグラデーション領域の予測に有効なPlanar予測モードを備え、AVC/H.264に比べ画像信号の局所的な変化に対する予測性能が向上している。また、参照画素に事前に適応平滑化フィルタを適用してノイズ除去を行う技術や、色差信号の予測値を輝度成分復号画素から線形変換して生成する技術などが採用されている。予測誤差信号は、イントラ予測モードの方向に応じて離散コサイン変換(DCT)と離散サ

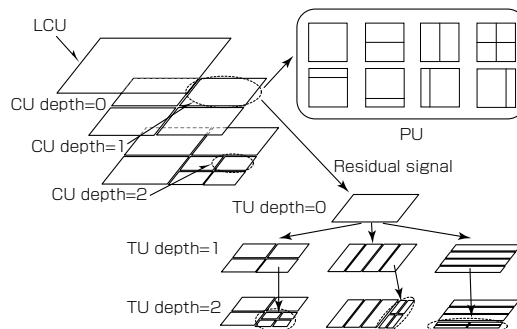


図1. HMにおける階層ブロック構造

イン変換(DST)の組合せを信号特性に応じて切り替えて変換・量子化が行われることによって圧縮性能が向上している。

2.2.3 動き補償予測

動き補償予測は、符号化ブロックの木構造化による予測ブロックサイズの拡張・適応化に加えて、動きパラメータの情報を効率的に符号化する技術が採用されている。映像中で動きパラメータを精密に記述すべき箇所と動き記述を省ける箇所の配分自由度が従来の映像符号化技術に比べて大幅に高められている。動き補償予測で選択可能な動き予測モードを図2に示す。CU内を均等のサイズのPUに矩形(くけい)分割してそれぞれに動き予測を行うモードのほか、水平または垂直に1対3の割合で非対称に分割するモードも利用可能である。なお、CUを水平または垂直にPU分割する際、予測誤差信号の直交変換には非正方形形状の変換基底を用いる。動きベクトルの表現精度は最高で1/4画素精度であり、仮想画素を生成するための内挿フィルタはDCTの基底を利用して設計された8タップ線形フィルタが採用されている。

2.2.4 ループフィルタ

AVC/H.264にはDCTに特有のブロックノイズを低減するフィルタ(ループフィルタ)が必須要素として採用されているが、HM-4でも、ループフィルタとして3種のフィルタ①ブロックノイズ低減フィルタ、②画素適応オフセット、③適応Wienerフィルタがカスケード接続される構成を採用している。ブロックノイズ低減フィルタはAVC/H.264と同様、直交変換ブロックの境界に発生するブロックノイズを低減する。画素適応オフセットは、エンコード時に参照可能な原信号と、符号化歪(ひず)みの重畳された(局所)復号画像との間の差異を、画素レベルで局所的な信号特性に応じて適応的にオフセットを付与することで補償する技術である。また、適応Wienerフィルタは、図3に示すとおり、原信号と画素適応オフセットの出力との間の平均二乗誤差

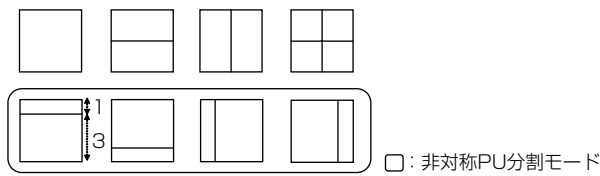


図2. 動き補償予測におけるPU分割モード

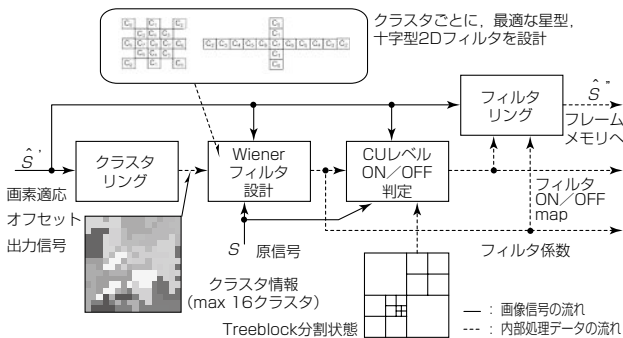


図3. 適応Wienerフィルタ

を最小化するWienerフィルタを逐次設計し、フィルタ係数を直接符号化・伝送する機構をループフィルタとして取り込むことによって、レート歪み性能を改善する。

3. HEVC標準化に向けた当社開発技術

当社では、映像高能率符号化技術とその商用化開発の長年にわたる蓄積を活かし、2003年のAVC/H.264規格化完了後も継続して高能率符号化アルゴリズムの開発を進めて来た。以下、HEVC標準化への主な提案技術について述べる。

3.1 イントラ予測画像平滑化技術

イントラ予測では、予測対象ブロックに隣接する画素やこの隣接画素から生成した補間画素の輝度値を予測値として予測方向に沿って繰り返すことで予測画像を生成する。したがって、予測方向が予測対象ブロック内のエッジの方向と一致していても、予測方向に輝度値の変化がある場合には精度よく予測することができない。そこで当社は、DC予測モードに対しては、予測画像と参照画素の境界に垂直方向の適応平滑化フィルタを施すことによって予測効率を改善する手法を開発した。また、方向性予測の一部である垂直方向予測及び水平方向予測に対しても、予測画像に対して参照画素の予測方向への輝度変化量に比例した値を加えることで、参照画素と同様の輝度変化を予測値に与えることによって予測画像と参照画素が隣接するブロックを平滑化し、予測効率を改善する(図4)⁽⁸⁾。これらは合わせて1%程度の符号化効率改善効果があり、DC予測モードの平滑化手法はHM-4に既に採用されており、水平方向及び垂直方向予測の平滑化手法についてもHMへの採否を判定する公式実験項目として、性能検証が行われている状況である。

3.2 復号器連携型動き予測技術

フレーム間の動きを表現する動きベクトルを直接符号化する代わりに、復号器側で保持しておいた動きベクトル情報で代用するダイレクトモードがある。AVC/H.264では隣接ブロックの動きベクトルの平均値を常にダイレクト動きベクトルとして用いる。これに対し当社は、予測対象ブロックの近傍にある複数のブロックの動きベクトルを候補とし、符号化器と復号器が連動して最も信頼できる候補を適応的にダイレクト動きベクトルとして選択する手法を開発した。この技術によって、動きベクトル自体のみならず選択候補の中から選ばれた動きベクトルを識別する情報の符号化も不要となり、1~2%の符号量削減が確認されている⁽⁹⁾。

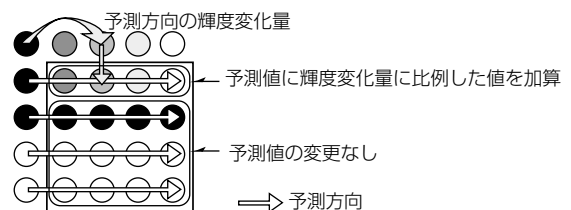


図4. 水平予測におけるイントラ予測画像平滑化

3.3 高効率固定長符号化技術

当社は固定長符号でありながら高いロスレス圧縮性能を実現するエントロピー符号化手法としてPIPE/V2F (Probability Interval Partitioning Entropy Codes/Variable length to Fixed length)を開発した⁽¹⁰⁾。符号化の対象となるシンボルの生起確率が既知である場合、所定の確率区間で複数のシンボルをまとめて符号化することによってエントロピー限界に近い固定長符号化器を設計することができる。

この手法では、図5に示すように確率区間を複数に分割し、それぞれの確率区間に対して最適となる固定長符号化器を設計し、入力されるシンボルの生起確率に基づいて固定長符号化器を適応的に切り換えるとともに、シンボルの生起確率を発生シンボルに応じて学習させ更新していくことによって、高い符号化効率を実現した。ビットストリームを8ビットの固定長符号のみで構成することによって、ビット単位の符号同定処理が不要となりビットストリームへのアクセスがバイト単位のみで実現できるため、復号処理を少ない演算量で行うことができる。さらにそれぞれの固定長符号化器、固定長復号器は並列動作させることができるため、符号化・復号処理をさらに高速化することができる。HM-4に採用されている学習型適応ハフマン符号化 (Context Adaptive Variable Length Coding: CAVLC) に比べて今回の手法では3~4%の符号化効率改善が確認されており、HM-5での採用に向けて公式実験での性能検証が進められている。

4. 今後の展望

HM-4はAVC/H.264までの従来の符号化アーキテクチャを踏襲しながらも、レート歪み性能で40%を超える圧縮効率改善が得られることが本稿執筆時点で確認されている。今後も公式実験に基づく技術評価によって、HM仕様を更新しながら性能・演算量バランスの改善が続けられ、2012年初頭の委員会原案 (Committee Draft: CD) による基本仕様凍結、2013年初頭の規格化完了といったマイルストーンに向けて標準化作業が進められる。

また、パソコンのデスクトップ画面など、カメラで撮影された自然動画とは性質の異なるスクリーンコンテンツ映像に特化した符号化ツールや、多様な解像度の映像を単一ビットストリーム表現するためのスケーラブル符号化、3D・自由視点映像等に向けた多視点符号化への対応の議論も始まっている。これらの拡張方式についても今後規格化に向けた議論が活発化するものと考えられる。

5. むすび

将来の映像アプリケーションに対する高圧縮技術として期待される次世代映像符号化方式HEVCの標準化最新動向を述べるとともに、同標準化活動に向けた当社の技術開発

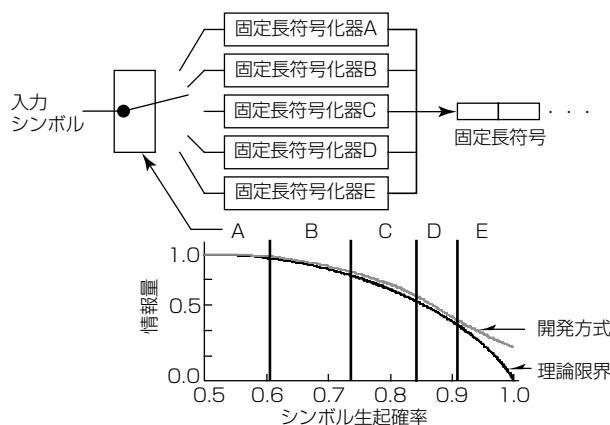


図5. PIPE/V2F符号化の概念図

の取り込みについて述べた。HEVCは次世代の高品位映像コンテンツの流通のカギとなる技術であり、2013年の規格化完了に向けて技術要件に掲げた項目を満たすために今後も技術貢献をしていく。

参考文献

- (1) Murakami, T.: The Development and Standardization of Ultra High Definition Video Technology, High-Quality Visual Experience, Signals and Communication Technology, Springer, Chapter 4, 81~135 (2010)
- (2) ISO/IEC 14496-10: Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding (2003)
- (3) Vision, Applications and Requirements for High Efficiency Video Coding (HEVC), ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N12036 (2011)
- (4) McCann, K., et al.: HM4: HEVC Test Model 4 Encoder Description, JCTVC-F802 (2011)
- (5) Bross, B., et al.: WD4: Working Draft 4 of High Efficiency Video Coding, JCTVC-F803 (2011)
- (6) Sekiguchi, S., et al.: A novel video coding scheme for Super Hi-Vision, Proc. PCS2010, 03-4, 322~325 (2010)
- (7) Asai, K., et al.: New Video Coding Scheme optimized for High Resolution Video Sources, IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 5, No.7, 1290~1297 (2011)
- (8) 峯澤 彰, ほか: 予測方向への輝度変化を考慮したイントラ垂直・水平方向予測, FIT2011, I-059 (2011)
- (9) 伊谷裕介, ほか: 復号器における動きベクトル推定を用いた適応ダイレクト予測手法, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J94-D, No.12, 1946~1948 (2011)
- (10) Sugimoto, K., et al.: A novel high efficiency fixed length coding for video compression based on symbol probability estimation, VCIP2011, 1~4 (2011)