

最新映像符号化技術と スーパーハイビジョンエンコーダ

坂手寛治*
井對貴之*
本山信明*

New Video Coding Technology and Super High Vision Encoder

Hiroharu Sakate, Takayuki Itsui, Nobuaki Motoyama

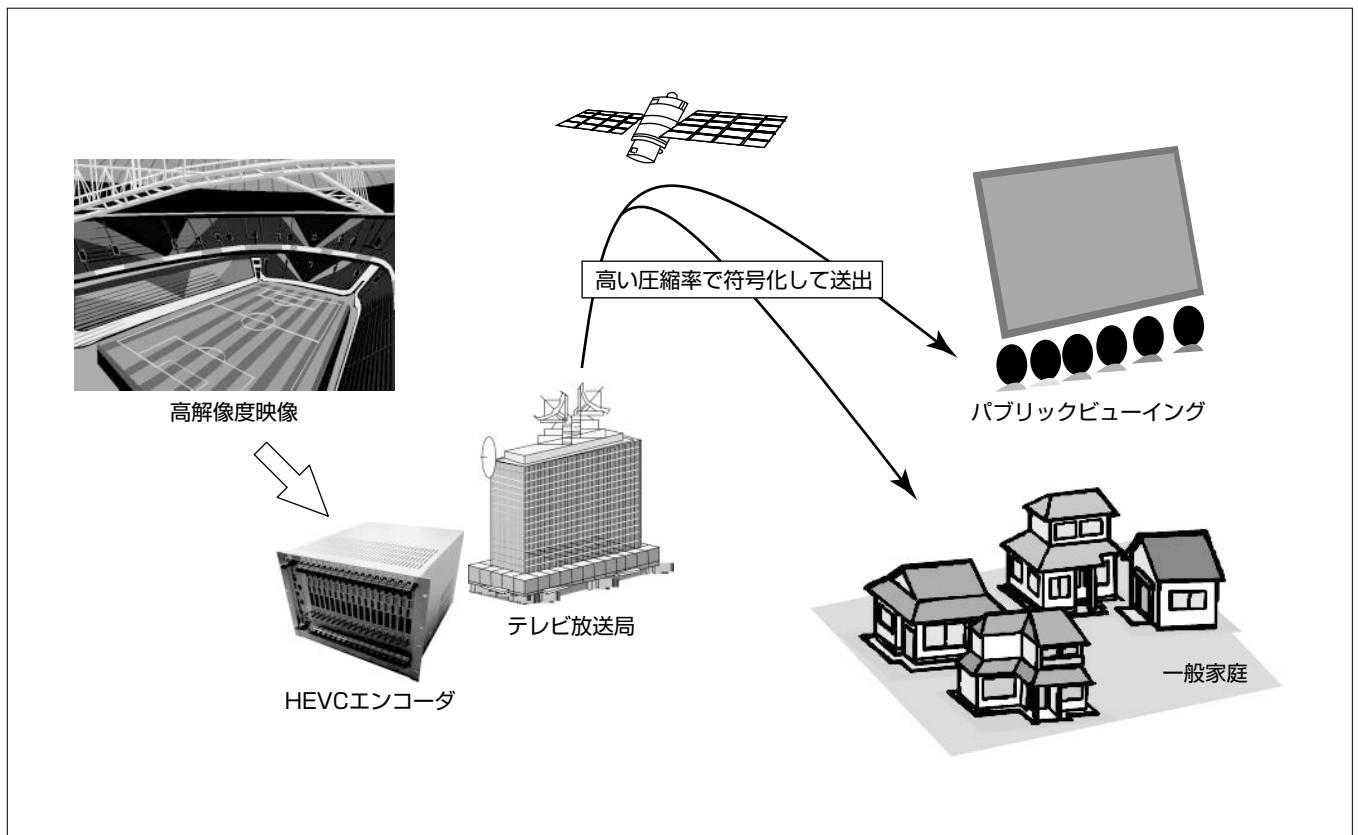
要 旨

映像符号化技術HEVC (High Efficiency Video Coding) が2013年に新たな国際標準として誕生した。HEVCは、従来方式H.264/AVC (Advanced Video Coding) の2倍の圧縮性能を持っており、次世代テレビ放送などの新たなサービスを実現するための基盤技術として期待されている。三菱電機は標準化作業に参画し、技術・運営の両面から貢献してきた。

HEVCの大きな特徴として、4K/8Kなどの高解像度映像への対応が挙げられる。当社は日本放送協会(NHK)と共同で、HEVCを用いたスーパーハイビジョンエンコーダを開発した。この装置は、8K解像度のスーパーハイビジョン映像をリアルタイムに符号化する能力を持つ。17枚の基板による並列処理構成を採用し、それぞれの基板で分割さ

れた映像の符号化処理を行う。このとき、基板間で画像データや符号化パラメータを共有可能なアーキテクチャとすることで、画面分割に伴う符号化制約を少なくし、圧縮性能の低下を防いでいる。さらに、符号化アルゴリズムについては、HEVCの構成要素のうち、有用なものだけを選別することで軽量化を図った。これによって、符号化全体の演算量をH.264/AVCの2倍程度に抑えることに成功した。ハードウェア実装面でも、回路規模やメモリ転送帯域をデバイス間で平滑化する工夫や、データ転送負荷を基板ごとに分散させる工夫を行い、装置サイズを小さく抑えている。

この映像符号化技術とその実装技術によって、今後の様々な映像情報サービスの実現に貢献する。



HEVC符号化技術による次世代テレビ放送

従来方式の2倍の圧縮性能を持つHEVCは、既存システムの高性能・高品質化や新たなサービスを実現する基盤技術である。実用化に向けた準備が進められている次世代テレビ放送では、衛星回線など伝送帯域が限られた通信路で情報量が膨大な4K/8K解像度の映像を送出するために必要不可欠な技術となる。

1. ま え が き

映像符号化方式HEVCが2013年に新たな国際標準として誕生した⁽¹⁾。HEVCは、AV(Audio Visual)機器や監視システム等で広く用いられているH.264/AVC方式の2倍の圧縮性能を持っており、既存の映像システムの高性能・高品質化や、新たなサービスを創出する基盤技術として期待されている。当社は、HEVCの標準化作業に参画し、技術・運営の両面から貢献してきた。

HEVCの活用が期待される新しい映像サービスの一例が次世代テレビ放送である。2014年内にHDTV(High Definition TeleVision)の4倍の4K解像度での放送が始まり、さらに2020年には4倍の8K解像度での放送が計画されている。HEVCは、次世代放送サービスの実現に欠かせない主要技術の1つと考えられている。

本稿では、HEVC符号化技術の概要を述べるとともに、NHKと共同で開発したスーパーハイビジョンエンコーダについて述べる。

2. HEVC符号化技術の概要

2.1 HEVC規格の範囲

HEVCは、これまでMPEG(Moving Picture Experts Group)規格を策定してきたISO/IEC(International Electrotechnical Commission)とH.26x規格を策定してきたITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector)の2つの機関で標準化されている。規格名は、ISO/IECではMPEG-H(ISO/IEC 23008)、ITU-TではH.265であるが、両者ともHigh Efficiency Video Codingが規格書のタイトルとなっている。

HEVC規格で定義されているのは、H.264/AVCなどの従来の方式と同様、ビデオストリームのデータ構造とその復号方法が主である。符号化のアルゴリズムや符号化/復号装置(コーデック)の実装方法については厳密な記述はなく、多くは開発者の裁量に委ねられている。例えば、低速デバイスで処理させるために低演算量のアルゴリズムを用いたり、リアルタイム性を実現するためにパイプライン処理による装置構成を採用したりするなど、開発者が用途や開発条件に合わせて実現方法を決めれば良い。

表1にHEVCの適用範囲を示す。4K/8K解像度が含ま

表1. HEVCの適用範囲

解像度	QVGA~4K, 8K
色密度	4:2:0, 4:2:2, 4:4:4 ※メインプロファイルは4:2:0だけ
ビット階調	8~14ビット/pixel ※メインプロファイルは8ビット, メイン10プロファイルは8~10ビット
フレームレート	静止画~60frame/s(以上)

QVGA: Quater Video Graphics Array

れていることが大きな特徴である。H.264/AVCなどの従来の方式は、主としてSDTV(Standard Definition Television)サイズ以下の映像を用いて評価を行いながら規格化されたものであるため、高解像度映像に対して良好な性能が得られる保証はなかった。それに対して、HEVCは4K/8K解像度が方式検討段階から含まれており、高解像度映像でも最適な性能が得られるようになっている。

色密度やビット階調等も将来の高精細映像サービスを見据えた仕様となっている。現在定義されているメインプロファイルやメイン10プロファイルでは、色密度は4:2:0だけ、階調は10ビットまでであるが、HEVC規格自体は、高色密度・高ビット階調にも対応できる形式となっている。静止画が対象として含まれているが、HEVCは静止画用符号化方式として高い性能を誇るJPEG(Joint Photographic Experts Group)2000よりも圧縮率が高いとの実験結果が報告されている⁽²⁾。デジタルスチルカメラや医療システム等の用途でも活用が期待される。

2.2 拡張規格と関連技術

2013年のメインプロファイルの規格化完了を受け、HEVCの拡張規格の標準化が進められ、2014年4月に、放送設備などを主用途とする高色密度・高ビット階調対応の拡張プロファイルが成立した。そのほか、スケーラブル符号化や多視点映像向けの符号化方式も検討が進められている。また、パソコンの画面や医療、衛星センサ画像等の非自然画像に対して、画質を主観的ロスレス状態に保ったまま符号化する方式も検討されている。

HEVCを活用した映像システムに関連して、MMT(MPEG Media Transport)と呼ばれる新たな伝送プロトコルの国際標準が2013年に誕生している。ビデオストリームの伝送には、1994年に標準化されたMPEG-2 System規格が長らく使われてきた。MMTは今般の通信ネットワーク形態に合わせて、映像情報をより柔軟に伝送できるように策定されたものである。例えば、ビデオストリームやメタデータを放送網と通信網といった複数の異なる伝送路で配信することが容易となる。MMTは放送・通信連携サービスであるハイブリッドキャストなどで利用される。

2.3 処理の複雑度

HEVCは、圧縮性能が高い反面、従来方式よりも処理の複雑度が増加している。表2は符号化方式の仕様を比較したものである。MPEG-2やH.264/AVCと比べ、予測や直交変換処理のブロックサイズの大きさや予測モード数が増加している。また、SAO(Sample Adaptive Offset)などの新たな機能が追加されている。

一般的には、H.264/AVCと比較し、符号化処理で約2~5倍、復号処理で約1~3倍の演算量が必要と言われている。ただし、アルゴリズムや実装方法の工夫次第で低演算量化が可能である。当社は、2012年度に総務省から受託

表 2. 符号化方式の仕様比較

	予測ブロック サイズ	動きベクトル 精度	参照ピクチャ数	イントラ予測	直交変換 ブロックサイズ	エントロピー 符号化	ループフィルタ
MPEG-2	16×16	半画素	2以下	DC予測	8×8	2D-VLC	—
H.264	4×4~16×16 & H/V shape	1/4画素 (6tap)	5	9モード 空間予測	4×4, 8×8 整数変換	CABAC CAVLC	デブロッキング フィルタ
HEVC	4×4~64×64 & H/V shape & AMP	1/4画素 (8&7tap)	5	35モード 空間予測	4×4~32×32 整数変換	CABAC	デブロッキング フィルタ, SAO

DC: Direct Current, 2D-VLC: 2 Dimensional-Variable Length Coding, H/V: Horizontal/Vertical, CABAC: Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding, CAVLC: Context-based Adaptive Variable Length Coding, AMP: Asymmetric Motion Partitions

した研究開発で、標準化作業段階にあったHEVCエンコーダを実験装置の1つとしていち早く試作した⁽³⁾。演算量が参照ソフトウェア⁽⁴⁾の1/2以下となる軽量の符号化アルゴリズムを開発し、233×220mmサイズの基板1枚でHDTV映像のリアルタイム符号化を実現した。

3. スーパーハイビジョンエンコーダ

2020年の東京オリンピックに合わせて、スーパーハイビジョン放送が計画されている。スーパーハイビジョン放送は、HDTVの16倍の8K映像による次世代の放送サービスであり、視聴者がある場にいると錯覚するほどの超高臨場感を実現する⁽⁵⁾。

情報量が膨大なスーパーハイビジョン映像を、現在の地上デジタル放送と同等の通信方式で伝送するには、映像情報の圧縮率を6倍(圧縮率:約1/600)近くまで高める必要がある。その実現の基本方式としてHEVCが期待されている。当社はNHKと共同で、スーパーハイビジョン放送の今後の実用化研究の基盤として活用するため、世界初^(注1)となるスーパーハイビジョン向けHEVCリアルタイムエンコーダを開発した。

リアルタイム処理を実現するためには、ハードウェア構成、実装技術に加え、符号化の処理量低減も必須である。以降、開発したエンコーダの構成と、実装技術を述べる。

(注1) 2013年5月9日現在、当社調べ

3.1 エンコーダの構成

表3にスーパーハイビジョンエンコーダの諸元を示す。図1には装置を示す。1枚の制御CPU基板と17枚の符号化基板で構成されている。図2に符号化基板を示す。

図3に示すように、7680×4320画素のスーパーハイビジョン映像を短冊状に17分割し、17枚の符号化基板によって並列に符号化する。各基板が独立に動作するのではなく、分割の境界付近の画像データや符号化パラメータを基板間で相互に転送できるアーキテクチャとなっている。これによって、動き補償予測やデブロッキングフィルタなどの符号化処理を、基板を跨(また)いで実行することが可能となり、分割による圧縮性能の低下を防いでいる。

制御CPU基板は、外部端末からビットレートなどの符号化条件を受信するなどユーザーインタフェースの機能を持つほか、17枚の符号化基板で生成されたビデオストリー

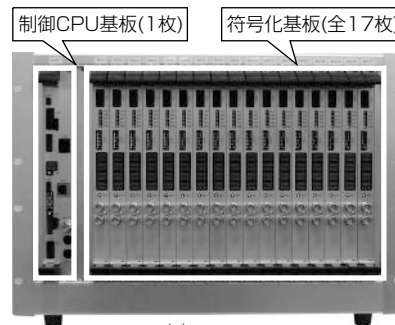
表 3. 装置諸元

映像フォーマット	7680×4320画素, 60frame/s
入力インタフェース	3G-SDI(SMPTE425M)を17本
符号化方式	HEVC メイン10プロファイル
ビット階調・色密度	10ビット, 4:2:0
ビデオレート	最大340Mbps
装置サイズ	480(H)×370(V)×545(D)(mm)

3G-SDI: 3GB/s Signal/Data Serial Interface
SMPTE: Society of Motion Picture and Television Engineers



(a) 全体



(b) 正面

図 1. スーパーハイビジョンエンコーダ

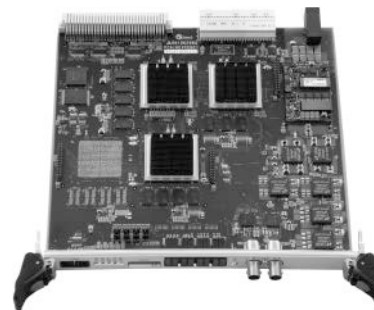


図 2. 符号化基板

ムを1本に束ねて装置外部へ出力する機能を持つ。また、分割画面間で映像の複雑度に偏りがあった場合に、基板ごとに画質の差が生じないように、各基板のビットレートを動的に補正する制御も行う。

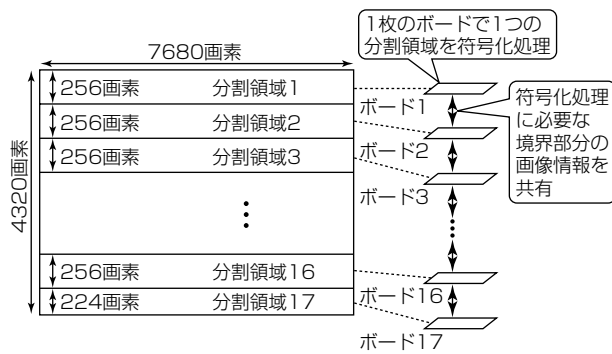


図3. 画面分割構成

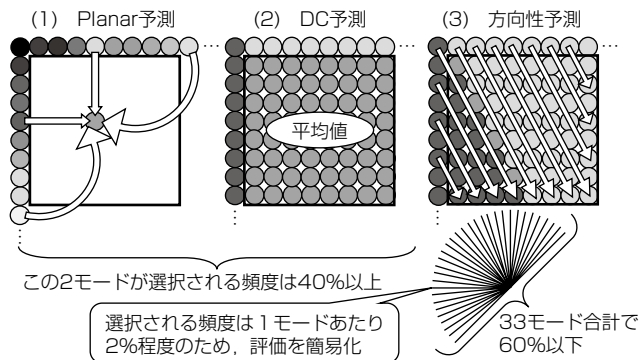


図4. イントラ予測モード選択の軽量化の例

3.2 実装技術

3.2.1 符号化アルゴリズムの軽量化

複雑度の高いHEVC符号化処理をリアルタイムに実現するためには、符号化アルゴリズムの軽量化が必須である。スーパーハイビジョンエンコーダを開発するに当たり、HEVCを構成する個々の要素の有効性を評価し、HEVCの性能を発揮するために真に必要な要素の選別を行った。

例えば、イントラ予測は、処理単位を 4×4 画素、 8×8 画素、 16×16 画素、 32×32 画素、 64×64 画素の5種類の中から選択することができ、また処理ブロックごとに35種類の予測モードが定義されている。スーパーハイビジョン映像で1フレーム当たり8,160個存在する全処理ブロックについて、処理単位と予測モードの最適な組合せを5種類 \times 35モードの中から逐一選択していくと演算量は非常に膨大となる。しかし、実際に選択される予測モードを調べると、図4に例示するように偏りがある。この傾向を利用し、方向性予測として評価するモード数を絞り、処理を簡易化することで演算量を削減している。

イントラ予測以外に、例えばスーパーハイビジョン映像では効果が低い小さいブロックサイズでの予測や変換処理を省略している。こうした削減によって、符号化全体の演算量をH.264/AVCの2倍程度に抑えることができた。これによってリアルタイム処理に必要な基本的なハードウェアの小規模化を実現した。

3.2.2 ハードウェア構成の最適化

スーパーハイビジョンエンコーダを現実的な装置サイズ

表4. FPGA実装時の機能分割

		回路規模	メモリ転送帯域
FPGA1	インター予測系	大	大
FPGA2	イントラ予測系	中	小
	インター予測画生成	小	大
FPGA3	変換・量子化系	中	小
	エントロピー符号化系	小	中

で実現するために、ハードウェア構成も最適化している。HEVCの処理を機能的に分割し、基板あたり3石のFPGA (Field Programmable Gate Array) に実装している。回路規模とメモリ転送帯域がFPGAごとに平滑化されるように、各FPGAに実装する機能を表4のように配置している。

2.1節に示した基板間でのデータ転送では、データ転送タイミングを基板ごとにずらし、装置全体の負荷を分散させている。これによって、バス転送量やメモリ転送量の瞬間的なピークを下げ、部品点数や回路規模を削減している。

4. むすび

高い圧縮性能を持つHEVCの登場によって、今後新しい映像サービスが生み出される可能性がある。本稿で取り上げたスーパーハイビジョン放送はその一例であるが、それ以外に例えば、過去に敷設した狭帯域回線を用いた高品質な映像サービスや、可視光など伝送帯域に制限がある媒体による映像伝送等が挙げられる。HEVCは、HDTV以下の解像度でも高い圧縮性能を発揮する。伝送帯域の制約によってこれまで映像を送ることができなかった通信路でも、HEVCを使えば映像伝送を実現できる可能性がある。映像符号化技術が更に進歩し、圧縮率が上昇していけば、世界中のありとあらゆる視覚情報を記録し、共有するようなサービスが生まれる可能性もある。今後の新しいサービスの創出と、それを実現する技術や製品の開発を通じて社会の発展に貢献していきたい。

参考文献

- (1) Gary J. Sullivan, et al.: Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard, IEEE Trans. Circ. Syst. for Video Techn., **22**, No.12 (2012)
- (2) K. Ugur, et al.: AHG4: Performance evaluation of HEVC on still picture coding, JCTVC-L0041 (2013)
- (3) 山田悦久, ほか: 新しい高性能映像符号化技術“HEVC”, 三菱電機技報, **87**, No.5, 289~292 (2013)
- (4) High Efficiency Video Coding Test Model, Available (2013)
https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/tags/HM-12.0/
- (5) NHK放送研究所: 高質感・空間再現メディアの実現 <http://www.nhk.or.jp/strl/vision/vision01/>