

動画像符号化技術動向

西 敬
中川 聡

徳満 昌之
山崎 貴宏

ITU-T, ISO/IECなどで行われている動画像符号化の国際標準化活動は、開始から約20年たった現在も精力的に行われている。両標準化団体が共同で策定した最新の動画像符号化方式MPEG-4 AVC/H.264の圧縮率は、従来の方式と比較して飛躍的に向上し、2003年の規格化完了後も進化を続け、現在高解像度、高品質な映像に対しての符号化方式もMPEG-4 AVC/H.264の拡張方式として規格化されている。

MPEG-4 AVC/H.264は圧縮率が高いことにより、さまざまな映像アプリケーションに利用されるとともに、新たな映像アプリケーションの創出に寄与している。たとえば、携帯端末向けのTV放送「ワンセグ」（低解像度、低ビットレート）に代表されるサービスから、次世代蓄積メディア（高解像度、高ビットレート）に代表されるサービスまで、幅広い分野で採用されている符号化方式である。

沖電気もさまざまな映像関連製品を開発し、提供を続けており、MPEG-4 AVC/H.264をサポートしたソフトウェアCODECも開発済みである。そのソフトウェアCODECのさらなる高速化にも取り組み、現在では汎用PC上で現行TV放送と同等品質を有するD1（720×486）クラスの画像をリアルタイムに圧縮復元できる性能を実現している。またMPEG-4 AVC/H.264の拡張方式もサポートしている。

本稿では、まずMPEG-4 AVC/H.264の拡張方式の概要と当社の取り組みについて紹介し、続いて、現在の標準化作業状況、将来の動画像符号化技術について説明する。

最終規格草案、翌年、国際標準として成立した。この章では、主にこのFRExt規格に関して説明する。

(1) 新たなプロファイルを追加

従来のBaseline, Main, Extendedに加え、後述するカラーフォーマットや画素階調ごとに新たなプロファイル（High, High 10, High 4:2:2, High 4:4:4^{*1)}）が設けられた。図1に示すように、Main Profileを中心に次々と包含する形となっている。

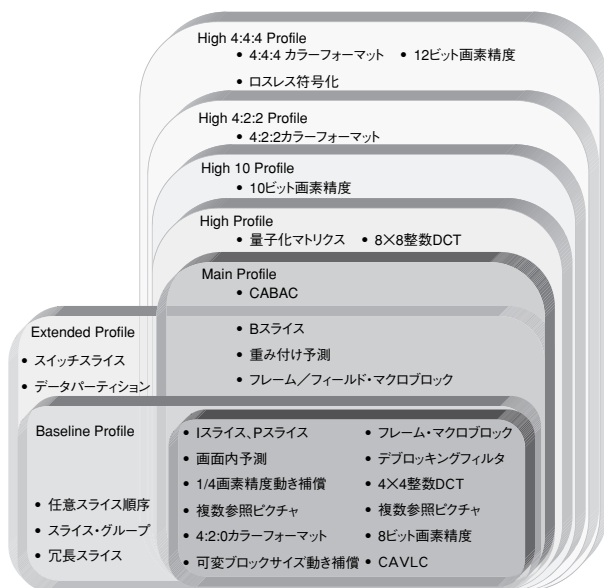


図1 プロファイルとツールの関係

MPEG-4 AVC/H.264の拡張方式(FRExt)の概要

MPEG-4 AVC/H.264は従来の符号化方式（MPEG-2など）の2倍の圧縮率を目指し規格化が進められ、2003年3月に最終規格草案が作成され、同年、国際標準として成立した。その後MPEG-4 AVC/H.264の拡張方式として、高解像度画像の圧縮効率向上や主に業務用途の高品質化を実現するFRExt規格¹⁾（Fidelity Range Extensions, 高忠実度化規格）の策定作業が開始され、2004年7月に

*1) High 4:4:4は拡張4:4:4として再規格化中です。

(2) カラーフォーマットの拡張

4:2:0と呼ばれるカラーフォーマットに加えて、主に業務用途で活用されている4:2:2, 4:4:4へ拡張している。また、4:0:0（モノクロ画像）モードもサポートしている。4:2:0では輝度信号4画素に対し色差信号がそれぞれ1画素で表現されるが、4:2:2は輝度信号4画素に対し色差信号がそれぞれ2画素、4:4:4ではそれぞれ4画素で表現され、より色の再現性が良くなる。

(3) 画素階調の拡張

DVDやデジタル放送など、我々にとって身近な映像アプリケーションでは、1画素8bit（256階調）で表現するが、拡張方式では、主に業務用途として活用されている10bit（1,024階調）や12bit（4,096階調）へサポートする範囲を拡張している。

(4) 符号化効率向上のためのツールの追加

HDTVなどの高解像度映像に対してさらなる符号化効率向上のために、新たな符号化ツールの追加も行われた。以下では主なツールを説明する。

●8×8イントラ（フレーム内）予測符号化

従来のMPEG-4 AVC/H.264では、イントラ予測符号化モードとして、16×16イントラ予測、4×4イントラ予測をサポートしていた。FRExtでは新たに8×8イントラ予測を追加した。予測方法も4×4イントラ予測と同様9type用意し、従来よりも、いっそう多くの選択肢から符号化方法を選択することが可能となった。これら選択肢の増加は圧縮率向上に寄与している。

●8×8直交変換

従来のMPEG-4 AVC/H.264では、DCT変換に相当する変換を整数精度の4×4直交変換により行っている。FRExtでは新たに整数精度の8×8直交変換を追加している。整数精度としたことで、8×8直交変換も4×4直交変換と同様、逆変換によるミスマッチが発生せず、またハードウェアで実現が容易となった。これは、上述した8×8イントラ予測に用いるだけでなく、インター（フレーム間）予測にも利用可能となっている。そのことにより、インター予測も従来よりも、いっそう多くの選択肢から符号化方法を選択することが可能となり、圧縮効率向上に寄与している。

●量子化マトリクス

FRExtでは、直交変換の周波数成分ごとに重み付けを変更することが可能となった。この方法は、MPEG-1/2でも採用されていた方式で、たとえば人間の目の特性を利用し、画質劣化が目立ちやすい低周波成分は細かく、目立ちにくい高周波成分は粗く量子化することが可能である。

これらのツールを入れることで、圧縮率は高くなるが、その反面処理量が増加するという課題がある。

沖MPEG-4 AVC/H.264 CODECの特長

既に報告した²⁾ように、我々はMPEG-4 AVC/H.264準拠のソフトウェアCODECを開発し、OKI MediaServerTM*2)に搭載している。その後も、ライブ配信などに有効な“低遅延でかつリアルタイムにおける伝送レートの安定化”を保ちつつ、さらなる高速化、FRExt対応による高機能化に着手し、主に次のような開発を行った。

(1) 汎用PCによるリアルタイム処理の実現

以前我々は、高性能PCによるリアルタイム処理の実現を報告した²⁾。今回は、さらに高速化の工夫を随所で行うことにより、汎用PCにおいても標準TV品質相当（D1@30fps）の画像をリアルタイムに処理できる性能を実現した。これによりエンドユーザーを含む幅広い層での利用が可能となっている。

また、Baseline Profileだけでなく、さらなる圧縮効率向上の実現が期待できるMain Profileでもリアルタイム処理を実現している。Main ProfileでサポートしているBピクチャ（2枚の画像を参照可能）は、Iピクチャ（イントラ予測）、Pピクチャ（1枚の画像を参照可能）よりも符号化効率向上への寄与が期待される半面、通常多くの処理時間がかかることが知られているが、我々のEncoderでは符号化効率の向上とともにそれに必要な演算量も削減し、リアルタイム処理を実現している。

(2) 高解像度画像に適した標準符号化方式に対応

Baseline Profile、Main Profileに加えてHigh Profileにも対応した。これは、HDTVなど高解像度の画像などに対して符号化効率を向上することが期待できる符号化方式である。この方式に対応しただけでなく、同時に高速化処理の工夫も行い、高速なHigh Profile対応Encoderを開発した。

(3) 幅広い要求に対応

従来のMPEG-4 AVC/H.264の方式はカラーフォーマットとして、4:2:0に対応していた。前述したH.264/AVCの拡張方式は、4:2:2にも対応している。我々は、主にConsumer向けの4:2:0だけではなく、主にProfessional向けの4:2:2にも対応したことにより、より幅広いニーズに対応が可能となっている。

*2) OKI MediaServer は沖電気工業株式会社の汎用映像配信システムの商標です。

現在の標準化作業状況

現在標準化団体での議論では高圧縮な符号化技術だけでなく、スケーラビリティを実現する符号化Scalable Video Coding (SVC) と3次元映像の符号化Multiview Video Coding (MVC) などの高機能化にも注目が集まっている。これらの符号化方式はMPEG-4 AVC/H.264の新たな拡張方式として規格化が予定され、現在方式に関する議論が活発に行われている。この章では、SVCおよびMVCについて説明する。

(1) Scalable Video Coding (SVC)³⁾

この方式は、以前にも増して多様化してきているネットワーク環境や端末の能力などに応じた映像品質を、一つのストリームで提供できる符号化方式である。このことにより、インターネットの回線容量に応じた映像配信や、端末の能力に応じて解像度や画像品質を選択することが可能となる。

SVCでは、時間、空間、SNRのスケーラビリティを検討し、それらに関するさまざまな提案、議論が活発になされているが、ここでは、後述するMVCの基本方式としても議論がなされている階層Bピクチャ (hierarchical B pictures) を利用して実現される、時間スケーラビリティに関して説明する。

図2、図3 ([]内の数字は表示順を表す) は階層Bピクチャを用いた時間スケーラビリティの一例である。階層Bピクチャの特徴は、図2に示すようにBピクチャを参照画像として用いた上で参照構造が階層的になるよう制限していることである。階層構造を時間解像度のレベルに合わせることで、時間スケーラビリティを実現している。なお、この仕組みはMPEG-4 AVC/H.264ならではの新しい機能 (画像の種類によらず参照画像とすることが可能、参照画像も複数保存可能、順番も任意に変更可能) を利用することで実現できている。図3では図2のような参照構造を用いた階層Bピクチャにより、複数 (この場合は4通り) のフレームレートを実現できることを示した。

この方式は、MPEG-4 AVC/H.264の拡張規格として2007年1月に最終規格草案の完成に向けて議論されている。

(2) Multiview Video Coding (MVC)⁴⁾

将来の映像アプリケーションとして、自由視点テレビ (Free Viewpoint Video) や3次元テレビが挙げられ、複数の視点位置から撮影された映像を効率的に符号化する方式として規格化作業が行われている。

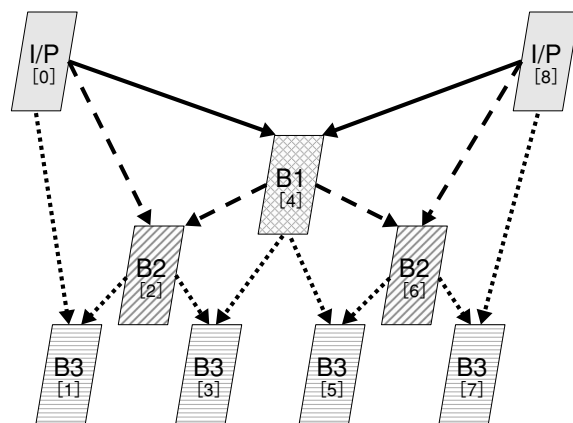


図2 時間スケーラビリティ符号化の参照構造例

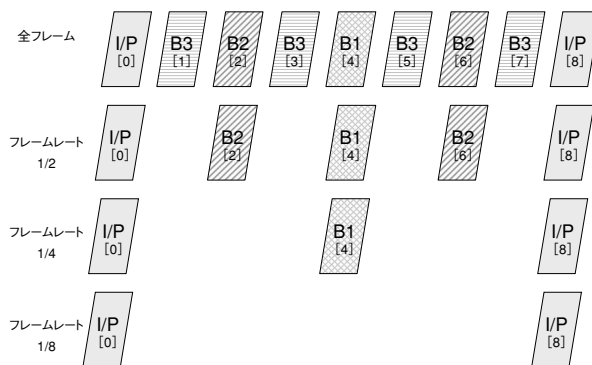


図3 時間スケーラビリティ符号化の表示例

MVCの方式は、SVCの時間方向のスケーラビリティを実現する際に用いられた、階層Bピクチャなどを基本方式とし、現在さまざまな提案がなされ、活発に議論されている。

この方式は、MPEG-4 AVC/H.264の拡張規格として2008年1月に最終規格草案の完成に向けて議論されている。

将来の動画像符号化技術

動画像符号化方式の主流となっている、動き補償と直交変換を組み合わせたハイブリッド符号化方式としては、MPEG-4 AVC/H.264の規格化により成熟の域に達しつつあるとも言われているため、MPEGでは“Future Video Coding Workshop”というWorkshopを開催するなど、一層の圧縮性能の向上を目指した新たな技術の検討が行われている。一方、ITU-Tでは、新規格であるH.265の策定に向けた活動を行っているが、必ずしも活発とは言えない状況である。

その中で、全く新しい符号化方式として、Distributed Video Coding (DVC)⁵⁾ が注目を浴びつつある。この章ではDVCの紹介をする。

DVCは上述したMPEGのWorkshopなどでも紹介された新しい技術で、相関を有する二つのデータを独立に符号化しても、参照して符号化したときと同様に効率的に圧縮できるという理論（Slepian-Wolf理論、Wyner-Ziv理論）を動画像符号化に応用した方式である。

一般の動画像符号化方式は、フレーム間符号化（過去の画像との差分を符号化）を行うことで高い符号化効率を実現している。この方式の大きな特徴である動き補償技術は、符号化効率には大きく貢献するが、その一方で、そのために画像の動きを調べる動きベクトル探索を行う必要があるために多くの計算量を必要としてしまう。

一方DVCの符号化の特徴は、誤り訂正符号化を用いているところにあり、キーフレームと非キーフレームは異なる符号化方式で符号化する（図4参照）。キーフレームは、たとえば従来から利用されているフレーム内符号化を行う。一方、非キーフレームに対しては誤り訂正符号化を行い、その結果計算された検査ビットのみをDecoderに送る。Decoderでは次フレームの画像を予め推測し（たとえば過去2フレームの画像から推測する）、その推測画像と次フレームの画像との差分（推測誤り）を送られてきた検査ビットで検査および訂正することで次フレームの画像を得ることができる。このようにDVCはEncoderでは動きベクトル探索は行わずに符号化するため、一般の符号化方式と比較して、少ない計算量で符号化できる。

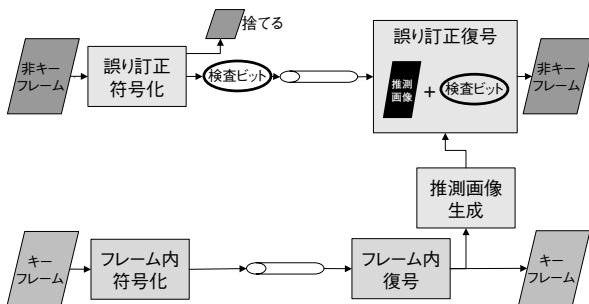


図4 DVCの符号化方式の一例

DVCは、符号化効率という面で従来の動画像符号化方式との差はまだ大きいですが、Encoderの負荷を大きく下げることが可能となることから、今までとは全く異なる映像アプリケーションが期待できる。特に、ワイヤレス環境での映像装置、携帯電話などを用いたテレビ電話などを考えると、消費電力や小型軽量化の実現が大きな課題

となってくるが、DVCは一般の符号化方式より少ない計算量で符号化できるので、従来のEncoderより消費電力を少なくすることが可能となり、装置の小型軽量化を実現する可能性が高くなる。

ま と め

現在の標準動画像符号化方式を、沖電気のCODEC開発と合わせて紹介した。また現在規格化中の技術および全く新しい動画像符号化技術についても説明した。

動画像符号化技術は圧縮の観点では成熟したとの声もある。しかし、画素数7,680×4,320などの超高解像度映像にも注目が集まっていることから、高解像度映像により適した、より符号化効率の高い符号化方式は期待されるであろう。その一方で自由視点テレビや超低負荷のEncoderの実現なども注目され、さまざまな角度から動画像符号化技術に対して期待が高まると予想できる。我々も、市場の要求を考慮しつつ、これら新しい技術に取り組んで行きたいと考えている。 ◆◆

参考文献

- 1) ISO/IEC 14496-10:2005, Advanced Video Coding (Third edition), December, 2005
- 2) 呉 志雄 他：沖テクニカルレビュー200号, Vol.71 No.4, 「次世代動画像符号化技術 MPEG4-AVC/H.264の開発」, pp.50-53, 2004年10月
- 3) J.Reichel,H.Schwarz and M.Wien: "Joint Scalable Video Model JSVM-6," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, N8015,Montreux,April,2006
- 4) "Description of Core Experiments in MVC," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, W8019, Montreux, April, 2006
- 5) B.Girod, et al. : " Distributed video coding," Proceedings of the IEEE, Special Issue on Video Coding and Delivery, vol.93, no.1, pp.71-83, January 2005, Invited paper.

筆者紹介

西敬：Takashi Nishi. 研究開発本部 ユビキタスシステムラボラトリ
 徳満昌之：Masayuki Tokumitsu. 研究開発本部 ユビキタスシステムラボラトリ
 中川聡：Satoshi Nakagawa. 研究開発本部 ユビキタスシステムラボラトリ
 山崎貴宏：Takahiro Yamasaki. 研究開発本部 ユビキタスシステムラボラトリ