

動画像符号化技術の発展と将来への展望

Development of Video Coding Technology and Future Prospects

中條 健

■ CHUJJOH Takeshi

動画像符号化技術の発展は、1980年代半ばからの国際標準化の歴史でもある。東芝は、これまで国際標準化に貢献するとともに、これらの技術を用いた製品の開発を行ってきた。MPEG-4 (Moving Picture Experts Group-phase 4)、特に誤り耐性技術は、今後の更なる飛躍が期待され、また、H.264/MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding) は、最新の国際標準で注目を集めている。現在も新しい標準化が進行しており、動画像符号化のいっそうの発展が期待される。

The history of the development of video coding technology is also the history of international standardization since the mid-1980s. Toshiba has contributed to these international standardization activities and developed a large number of products using these technologies. MPEG-4 is a standard in which future development (especially that pertaining to error resilience tools) is expected, and H.264/MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding) is an important recent standard. New standardization activities are currently progressing and there are expectations for the further development of video coding technology.

1 まえがき

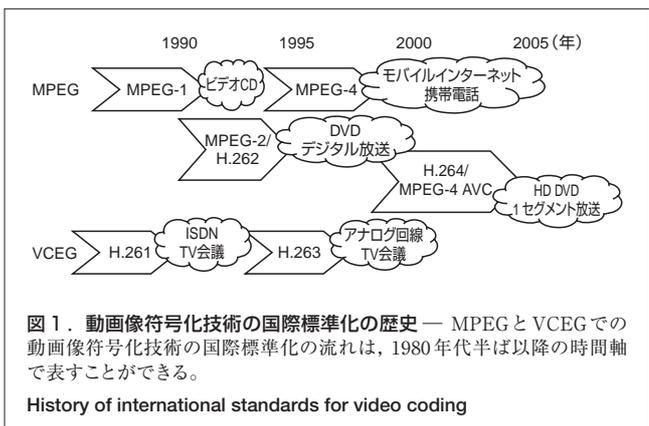
デジタル化された動画像情報は膨大なデータ量となることから、動画像符号化技術は、デジタルカメラ、DVDプレーヤ、テレビ(TV)、パソコン(PC)、携帯電話などのデジタル映像機器を支えるキー技術の一つである。ここでは、これまでの動画像符号化技術の発展と東芝の技術開発の歴史を国際標準化の観点から検証し、今後のこの分野の将来を展望する。

2 動画像符号化技術の発展

動画像符号化技術の研究開発は、国際標準化と密接に関係している。それは、この技術が情報理論やデジタル信号処理の分野の多くの技術の集大成であり、多数の技術者の力を結集して初めて実現できるものだからである。また、統一の規格を作成することで幅広いアプリケーションへの適用が可能となる。

動画像符号化の国際標準化の歴史を作ってきたのは、ISO (国際標準化機構)とITU-T (国際電気通信連合-電気通信標準化部門)の二つの組織である。より具体的には、ISOのMPEGと呼ばれる組織と、ITU-TのVCEG (Video Coding Experts Group)と呼ばれる組織である。図1のようにMPEGは、通称MPEG-1, 2, 4と呼ばれる規格を作成してきており、VCEGは、H.261, 2, 3, 4と呼ばれる規格を作ってきた。ときにはMPEG-2/H.262のように、互いに協力して同一文書の規格を作成してきた。

方式的には、ITU-T H.261によって確立された動き補償



(MC: Motion Compensation), 離散コサイン変換 (DCT: Discrete Cosine Transform), スカラー量子化, エントロピー符号化を組み合わせた、いわゆるハイブリッド符号化のアーキテクチャを踏襲している。H.261の目的は、ISDN (Integrated Services Digital Network) 上でのTV会議システムやTV電話を実現することであったが、技術的には、その後の規格のベースとなった。表1に示すように、基本的には新しい規格ほど、より高度な符号化ツールへと進化している。当社は、H.261の規格策定作業に参加するとともに、1989年には規格検証実験のためのハードウェアコーデックを開発した。

H.261に続くMPEG-1では、ビデオCDという用途から、今までの通信系ではなかった時間遅延を許すような双方向予測 (B: Bi-prediction) という予測構造を取り入れることで、符号化効率を大幅に改善する可能性を見いだした。

MPEG-2は、もっとも成功した動画像符号化の国際標準で

表1. 符号化ツールの比較

Comparison of coding tools

符号化ツール	国際標準			
	H.261	MPEG-2 (MP@ML)	MPEG-4 (Simple Profile)	H.264/MPEG-4 AVC (High Profile)
変換	8×8DCT	8×8DCT	8×8DCT	・整数精度 4×4DCT ・整数精度 8×8DCT
量子化	ミッドレッド型一様量子化器	・デッドゾーン付きミッドレッド型一様量子化器 ・量子化マトリクス	ミッドレッド型一様量子化器	・ミッドレッド型一様量子化器 ・量子化スケールングリスト
イントラ予測	なし	DC係数予測	適応AC/DC予測	4×4単位で9通り、8×8単位で9通り、16×16単位で4通りの予測
予測構造	I, P	I, P, B	I, P	・I, P, B ・複数参照フレーム
動き補償ブロックサイズ	16×16画素単位	16×16画素単位	16×16, 8×8画素単位	16×16, 16×8, 8×16, 8×8, 8×4, 4×8, 4×4画素単位
動きベクトル精度	1画素精度	1/2画素精度	1/2画素精度	1/4画素精度
ループフィルタ	ローパスフィルタ	なし	なし	適応デブロッキングフィルタ
エントロピー符号化	二次元VLC	二次元VLC	三次元VLC	CAVLC, CABAC
インタレース対応	なし	・フレーム/フィールド適応動き補償/DCT ・Dual Prime予測	なし	マクロブロック適応フレーム/フィールド予測

DC : 変換係数の直流成分 AC : 変換係数の交流成分
VLC : 可変長符号 CAVLC : コンテキストベース適応可変長符号

あると言える。標準化の過程で多くのアイデアが出されたが、現在もっとも使われているメインプロファイル/メインレベル(MP@ML)及びメインプロファイル/ハイレベル(MP@HL)では、TVで用いられている飛び越し走査方式のインタレース信号への対応が重要なポイントとなっていた。ここで採用されたDual-prime予測は、時間的に過去からだけの予測において、二つのフィールド画像を用いて効率的にフレーム予測画像を作成する手法である⁽¹⁾。

当社は、規格策定作業に貢献するだけでなく、1994年にMPEG-2デコーダLSIの試作を発表し、また同じく1994年に、2パス可変ビットレート制御を実装したリアルタイムMPEG-2エンコーダを開発した。その後、製品化されたデコーダLSIは、1996年当社が世界で初めて発売したDVDプレーヤに搭載された。そして現在、MPEG-2は、デジタル放送、HDD&DVDレコーダ、AVノートPCなどに広く使われている。

MPEG-4では、誤り耐性、オブジェクト符号化、自然画像と人工画像(CG)との融合符号化など、単なる動画像符号化だけでなく、これまでになかった多くの機能を実現している⁽²⁾。その応用はまだまだ発展途上であると言えるが、現状ではPCやインターネットでの動画像のアプリケーション、それから、モバイル、特に第3世代携帯電話という新たな市場を作り出した功績は大きい。

当社は、MPEG-4の規格策定の初期の段階から標準化に貢献するとともに、1998年に世界初のMPEG-4コーデックLSIの試作に成功した⁽³⁾。その後、携帯情報機器向け低消費電力MPEG-4コーデックLSIとして製品化され、現在、モバイルターボシリーズとして符号化技術以外の周辺技術も取り込みながら発展し、多くの第3世代携帯電話に搭載されている。また、同じく1998年には、MPEG-4に対応したストリーミングソフトウェア群 MobileMotion™を発売した。MPEG-4は、モバイルインターネットの世界に映像を持ち込み、ユビキタス社会の実現に貢献している。

現在もその拡張が行われているH.264/MPEG-4 AVCは、符号化効率の面で飛躍的な性能向上を果たし、高精細TV(HDTV)の解像度の映画を1枚の光ディスクで再生・記録できる次世代DVDのHD DVDや、携帯電話でデジタルTV放送を楽しむことができる地上デジタル1セグメント放送などで使われることが期待されている。

3 MPEG-4の概要

3.1 低レート符号化

MPEG-4の基本的な符号化技術は、先行して標準化が行われたITU-T H.263の影響を強く受けている。H.263は、特に数十kビット/s程度の低いレートでの符号化において、ヘッダ情報やモード情報などのオーバーヘッドのビット量が無視できなくなることを注意深く考慮して設計されていた。MPEG-4は、H.263の基本部分に加えていくつかの符号化ツールを改良するような構成になっていて、最終的にはH.263との互換モードも含む仕様となっている。

MPEG-4には多くのプロファイルが存在するが、基本的な符号化技術に誤り耐性技術が加わったシンプルプロファイル(Simple Profile)がもっとも実用化が進んでいる。現状では、それに次いで、後から標準化されたアドバンスドシンプルプロファイル(ASP: Advanced Simple Profile)が普及していると言われている。

3.2 誤り耐性技術

第3世代の携帯電話サービスやインターネットをも含めた、グローバルなネットワークでの使用を考慮した場合の通信路は、誤り率が高いだけでなく、様々な状況が想定される。そこで、システム側で訂正しきれなかった各種の誤りパターンを想定し、このような環境の下でも映像品質を確保できるような、動画像符号化としての誤り耐性技術が採用されている。当社は、この分野の規格策定に貢献している⁽⁴⁾。

MPEG-4で採用されている誤り耐性技術を、符号化データの構造として図示すると図2のように表すことができる。規格として定義されるのは符号化の文法にかかわる部分となるため、イントラリフレッシュのような符号化のパラメータ

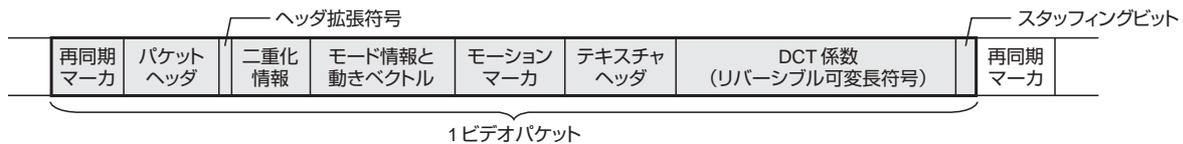


図2. MPEG-4の誤り耐性ツール — 誤り耐性ツールの組合せで1ビデオパケット単位のデータ構造を作ることによって、誤り耐性を実現している。

Error resilience tools for MPEG-4

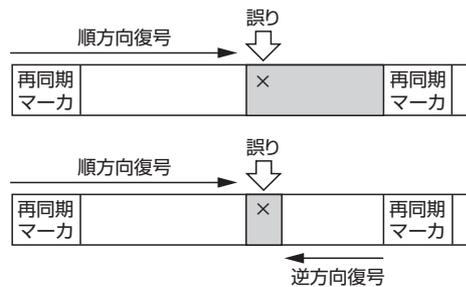


図3. 双方向復号 — リバーシブル可変長符号によって、次の再同期マーカから逆側に復号することで、これまで復号できなかった符号化データが復号できるようになる。

Bidirectional decoding

選択で実現できる技術や、復号側での誤り検出の方法などは、規格外の技術として定義される。

具体的には、誤り伝搬の対策としては、画面の単位より細かい単位で図2のようなビデオパケットと呼ばれる構造を作って同期を確保し、その後の情報を正しく復号することが可能となる再同期マーカ(Resynchronization Marker)と、双方向に復号可能なリバーシブル可変長符号(Reversible Variable Length Code)が採用されている。この符号は、誤りを検出した場合にも、次の再同期マーカから逆方向に復号することにより、図3のように復号できずに廃棄されてしまうビット数を減らすことができる。

また、重要情報の二重化は、図2のようにヘッダ拡張符号(Header Extension Code)というフラグを立てて、この後にヘッダに含まれる情報を二重化情報として付け加えることができる構造である。データパーティショニングは、ビデオパケット内のマクロブロックの符号化データをまとめて階層化することで情報の優先度をつけ、低優先度のデータに誤りが入って復号できない場合に、エラーコンシールメントが実現できる仕組みである。前記二つのツールは、誤りの修復がしやすくなるような技術と言える。

4 H.264/MPEG-4 AVCの概要

H.264/MPEG-4 AVCは、当初、VCEGのH.26Lプロジェクトがその始まりである。途中からMPEGと共同でJVT

(Joint Video Team)を組織して標準化された。したがって、双方の組織の規格名を合わせて持っている。この規格では、表1及び図4のように、多くの符号化ツールを目的に応じて組み合わせ、プロファイルを定義している。

MPEG-4では、多くの機能を実現することに努力を払ってきたのに対して、この規格の最大の狙いは、符号化効率の向上である。おおむねMPEG-2の2倍の符号化効率があると言われている。ちなみに、2倍の符号化効率とは、同じ画質で半分のデータ量に圧縮できるという意味を示している。H.264/MPEG-4 AVCでは、ハイブリッド符号化の考え方をより高度化し、表1と図4で示されるように多くのツール群の集合体となっている。

これだけ多くの符号化ツールを取り込むことができたのは、標準化の参照ソフトウェアにレート-ひずみ最適化の枠組みが実装され、それに基づいてツールの性能評価をしてきたという背景がある。一方、この最適化技術は、符号化効率

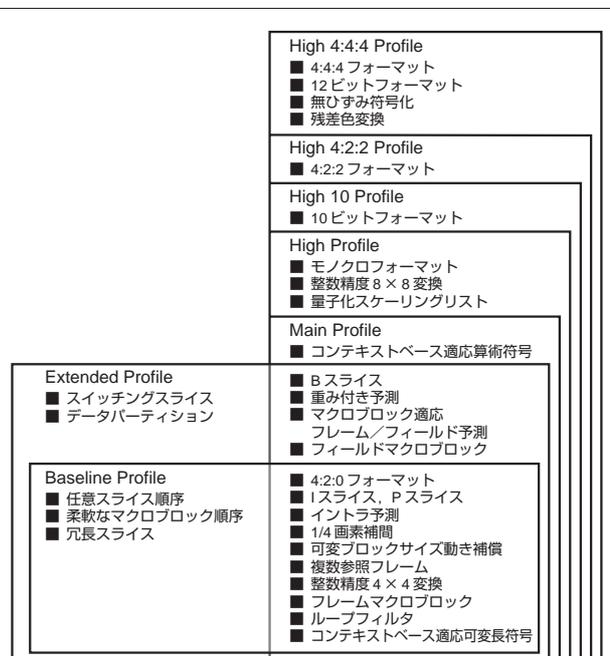


図4. H.264/MPEG-4 AVCのプロファイルとツールの関係 — H.264/MPEG-4 AVCの七つのプロファイルは、ツールの対応関係で図示できる。

Relationship between profiles and tools for H.264/MPEG-4 AVC

を稼ぐことができる反面、仮の符号化を繰り返してその結果を評価するため、演算量が多いという問題点がある。そのため、特にエンコーダの実装上においては、この規格の潜在能力をいかに維持しつつ、演算量を削減することができるかおおいに工夫の余地があり、当社は高速に予測モードを選択する手法を開発している⁽⁵⁾。

当初策定された三つのプロファイルのうち、ベースラインプロファイル(Baseline Profile)は、携帯電話やTV会議などの通信系でデコーダの演算量が少なくすむようなアプリケーションを想定している。一方、メインプロファイル(Main Profile)は放送蓄積メディアを想定している。メインでは、ベースラインの誤り耐性関係のツール以外と、Bスライス、重み付き予測(Weighted Prediction)、インタレース関係のツール、コンテキストベース適応算術符号化(CABAC: Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding)が追加される。この中で重み付き予測は、Pスライス、Bスライスの動き補償予測のときに用いられる手法で、通常は、過去に符号化した画像をそのまま予測に用いるのに対して、この手法は、画素信号値に重みを付けて予測する手法で、フェードやディゾルブといった映像表現で有効な手法である。当社はこの仕様の策定に関して標準化に貢献している⁽⁵⁾。

ハイプロファイル(High Profile)は、後からFRExt(Fidelity Range Extensions)として追加された四つのプロファイルの一つで、メインプロファイルに整数精度 8×8 変換や量子化スケールリングリストが追加されている。このプロファイルは、次世代DVDであるHD DVDに採用されているという点で重要である。

5 将来への展望

5.1 現在進行中の動画像符号化の規格

H.264/MPEG-4 AVCのFRExtの作業と平行して、スケーラブル符号化(SVC: Scalable Video Coding)の新しい標準化の動きが進んでいた。これは、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変更するといった拡張性(Scalability)を持った方式である。当初は、Wavelet符号化をベースに、MPEG-21 Part 13として標準化を目指していた。その後の主観テストの結果、H.264/MPEG-4 AVCベースに動き補償時間フィルタリング(MCTF: Motion Compensated Temporal Filtering)と呼ばれる技術を組み合わせた方式が性能面で上回ることがわかったので、再びMPEGとVCEGでJVTをつくり、ITU-TではH.264の拡張規格として、また、MPEGではMPEG-4 AVCの追加規格(Amendment)として標準化されることになった。2006年7月に最終規格草案(FDIS)の完成を目指している。

現在VCEGは、H.264の拡張と、2008年から2010年に次

のH.265の標準化を行うことを目標としている。H.264の拡張は、現在、JVTでスケーラビリティの面で実現が進行しているが、H.265に対しては、多くの関係者がより符号化効率の高い方式(現行の2倍程度の性能向上)を期待している。

5.2 動画像符号化技術にムーアの法則は成り立つか

半導体の世界では、集積密度(近年は性能向上)は18~24か月で倍増するという有名なムーアの法則という経験則が存在する。それでは、動画像符号化技術にもムーアの法則は成り立つのであろうか。これは、あるワークショップで発表者から聴衆に投げかけられた問いである。

H.264/MPEG-4 AVCをはじめとする近年の動画像符号化技術の性能は、MPEG-2の2倍以上の性能を出すことに対しては、多くの技術者が異論のないところである。この性能向上に貢献している技術が、これまで処理量がネックとなっていたものが多く含まれていることから、ムーアの法則に従って半導体の性能向上があれば、圧縮性能は今後も向上し続けるという予測は十分に説得力を持っている。一方、悲観的な見方に立つならば、動画像情報を扱うインフラ環境は十分に整うにつれて、これ以上の圧縮性能は必要ないという意見も常に存在する。

しかし、映像アプリケーションを取り巻くデバイスの進歩と、より高解像度で高品質な動画像を楽しみたいというユーザーの欲求を考えると、動画像符号化技術がその輝きを失うことはないであろう。

6 あとがき

国際標準化からみた動画像符号化技術の発展と当社の技術開発の歴史を振り返り、将来の技術動向を展望した。今後も、この分野の技術の更なる発展に貢献していきたい。

文献

- (1) 尾高敏則, ほか. インタレース対応動き補償予測方式 "Dual-prime". 情報処理学会研究報告「オーディオビジュアル複合情報処理」. **1994**, 53, 1994, p.17-24.
- (2) 渡邊敏明. MPEG-4の概要. 東芝レビュー. **57**, 6, 2002, p.2-5.
- (3) Takahashi, M., et al. A 60mW MPEG-4 Video Codec Using Clustered Voltage Scaling with Variable Supply-Voltage Scheme. IEEE Journal of Solid-State-Circuits. **33**, 11, 1998, p.1772-1780.
- (4) 中條 健, ほか. MPEG-4の誤り耐性技術. 東芝レビュー. **57**, 6, 2002, p.6-9.
- (5) 山影朋夫, ほか. HD DVDに用いる動画像符号化技術. 東芝レビュー. **60**, 1, 2005, p.17-20.



中條 健 CHUJOH Takeshi, D.Eng.

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務、工博。動画像符号化に関する研究・開発に従事。電子情報通信学会、映像情報メディア学会、IEEE会員。Multimedia Lab.