

モバイルマルチメディア最新技術

その4 ビデオ符号化技術の最新動向 – H.264/AVC 標準規格について–

MPEG-4に次ぐ、動画画像符号化の国際標準規格H.264/AVCが2003年3月末に完成した。この規格は、従来の動画画像符号化の規格をしのぐ性能をもっており、各業界から高く期待されている。ビデオ符号化の最新動向の紹介として、携帯端末での利用に焦点を当てて、H.264/AVC規格の技術や性能を解説すると同時に、H.264/AVCのプロファイルについて説明する。

ブン チュンセン

かとう さだあつ
加藤 禎篤

たけした あつし
竹下 敦

1. まえがき

2001年夏、ドコモがFOMA (Freedom Of Mobile multimedia Access) の本格サービスインに向けて準備を進めていた時期、国際標準化機構 (ISO: International Organization for Standardization) /国際電気標準会議 (IEC: International Electrotechnical Commission) の動画画像符号化の専門グループであるMPEG (Moving Picture Experts Group) は、既存の動画画像符号化標準規格の性能を上回る次世代符号化技術の提案を募集し、評価を行っていた。そして、MPEG-4を含む6つの方式の中で、国際電気通信連合・電気通信標準化部門 (ITU-T: International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector) で検討中のH.26Lの性能が最も優れているという結果を報告した[1]。

ITU-Tのビデオ符号化専門グループのVCEG (Video Coding Experts Group) は、1998年から新規技術を募り、H.263に次ぐ新しい勧告H.26Lを検討していた[2]。H.26LのLは、長期を意味するLong Termの頭文字である。図1に示すように、H.26Lの検討はMPEG-4パート2 (visual) の第1バージョンの終盤に始まり、1999年秋にMPEG-4パート2の第2バージョンとほぼ同時にH.26L第1作業案がまとまった。また、2000年に入り、MPEG-4の性能を上回ることを訴求する市販の符号化ソフトウェアが次々と発表されていた。この状況下で、MPEGも次世代の符号化方式の可能性を探るべく、冒頭に述べた新しい技術の提案を募集した。2001年7月の提案評価結果を受けて、MPEGとVCEGは2001年末に共同作業班JVT (Joint Video Team) を発足し、H.26Lをベースに次世代の動画画像符号化技術の標準化を共同で行うこととなった[3]。JVTで検討されてきた符号化方式は、2003年の春に最終規格案としてまとめられ、ITU-TではH.264、ISO/IECではMPEG-4パート10 (またはAVC (Advance Video Coding)) として誕生した。この最新の動画画像符号化規格を以降ではH.264/AVCと記す。

ドコモは、初期からH.264/AVCの標準化活動に積極的に参加し、提案活動を行ってきた。本稿では、ビデオ符号化の最新動向を紹介する目的で、携帯端末での利用に焦点を当ててH.264/AVC規格のベースライン・プロファイルの技術と性能を説明し、併せてその他のプロファイルについて簡単に紹介する。

2. H.264/AVCの要件

JVTに課せられたミッションは、広範囲のビットレートにおいて、H.263バージョン2およびMPEG-4バージョン2より2倍以上の性能向上であった。すなわち、TV電話からハイビジョンテレビまでのアプリケーションについて、半分以下のデータ量で同じ画質を実現すること、または、同じデータ量で倍以上の画質向上を実現することが必要となった[4]。

画像信号のように画素間の相関の高い信号は、周波数領域に変換することで信号の電力が低周波成分に集中する性質がある。この性質を利用して画像の空間方向の冗長さの削減が行われている。具体的には周波数領域に変換した後に、低周波成分を細かく、高周波成分を粗く量子化することにより符号量を減らす。また、分割したブロックごとの処理においては、同じ画像内にある隣接ブロックの画素値を利用して、処理の対象となるブロックの画素値を予測することによりデータ量を削減する「フレーム内予測」という方法が用いられる。このように、符号化対象以外の画像を参照せずに符号化する方法を「フレーム内符号化」という。

一方、動画像においては時間方向に隣接する画像の相関が高いため、隣接する画像間の類似性を利用して画像間の差分を求めた後、その差分のみを符号化することにより、時間方向の冗長性を削減する。符号化対象以外の画像を参照して符号化する方法を「フレーム間符号化」という。具体的には、処理の対象となるブロックに対して誤差の最も小さい予測信号を検出し、対象ブロックと予測信号との差分を符号化する。予測信号が対象ブロックに近いほど差分が小さくなり、圧縮率が高まることになる。予測信号を生成するために参照する画像を「参照画像」、誤差の最も小さい予測信号への変位を示す信号を「動きベクトル」という。検出された動きベクトルに基づき、参照画像の中から最適な予測信号を取得することを「フレーム間動き補償予測」という。

フレーム間符号化においては、送受信側での整合性を保証するために、圧縮された画像を一度復元し、フレームメモリに格納して参照画像として用いる。具体的には逆量子化・逆変換されたデータに予測信号を加算し、画像を復元する。復元された画像は、圧縮によるブロック歪を除去したうえで参照画像としてフレームメモリに格納され、次以降のフレームの予測信号生成に利用される。

符号化の最終段階として、量子化された係数に対し、出現頻度の高い信号に短い符号を割り当てるようにエントロピー符号化が施される。エントロピー符号化により、画像データがさらに圧縮されることになる。

以上のように、H.264/AVCの基本アルゴリズムは、従来の規格と大きく異なっていないが、図2に示すように多くの機能はMPEG-4を変更もしくは拡張したものである。表1は携帯電話で用いられるMPEG-4シンプル・プロファイルとH.264/AVCベースライン・プロファイルの要素技術を比較したものである。個々の要素技術は次節で紹介するが、H.264/AVCは主に下記の2つの手法により、性能向上が実現されている。

(1) 従来の技術に比べてより多くの予測モードを導入

複数の予測モードの中から、符号化データ量と圧縮による歪の組合せが最小となる最適な予測モードを選択するR-D最適化^{*1}の手法を用いて、符号化の性能を大きく引き伸ばした。

(2) 算術符号化を導入

従来の動画像符号化の規格では、ハフマン符号が広く用いられていたが、H.264/AVCでは、算術符号化を採用することにより、小数単位で符号を表現することができる。これにより、シンボルの出現確率に応じて、実際のエントロピーに近い符号化を行うことができるため、高い符号化効率を達成することが可能となった。

4.1 空間方向の冗長さ削減の性能向上

(1) フレーム内符号化における予測

MPEG-4では周波数領域に変換した係数を用いてフレーム内予測を行っている(表1)。これに対し、H.264/AVCでは同じ画像内にある隣接するブロックの画素値を

*1 R-D最適化：Rate-Distortion optimizationは、復号処理に影響を与えない符号化処理であり、任意の符号化方式(MPEG-2, MPEG-4, H.263など)に適用可能。

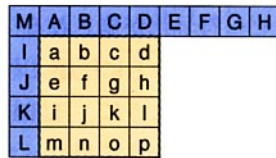
表1 H.264/AVCとMPEG-4パート2との比較

要素技術		MPEG-4 (Simple)	H.264/AVC (Baseline)
空間方向の冗長さ削減	フレーム内予測	変換係数の予測	画素値の予測
	変換方法	8×8画素単位の離散コサイン変換(DCT)	4×4画素単位の整数変換
時間方向の冗長さ削減	動き補償の単位	16×16画素のブロックと8×8画素のブロックの2種類	16×16画素のブロック～4×4画素のブロックの7種類
	動きベクトルの個数	1または4個	1, 2, 4, 8または16個
	動き補償の精度	1/2画素精度まで	1/4画素精度まで
	参照画像の枚数	1枚	4枚
	ループフィルタ	なし	あり
エントロピー符号化		ハフマン符号化	適応ハフマン符号化 [*]
エラー耐性ツール		組込み型	組込み型

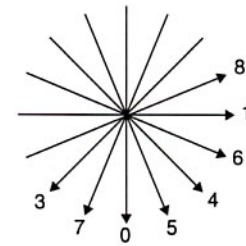
※ H.264/AVC Main プロファイルの場合算術符号化が含まれる

用いて予測を行っている。

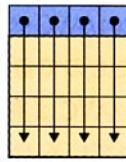
フレーム内予測は、4×4画素のブロックもしくは16×16画素のブロック単位で行われる。図3に示すように、4×4画素のブロック



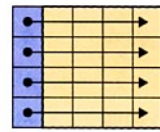
(a) 予測対象となる画素：a~p
隣接する周辺画素：A~M



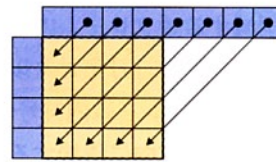
(b) フレーム内予測の傾きに応じたモード
モード2は周辺画素の平均値を予測値とする



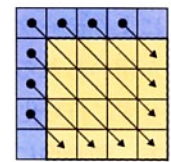
(c) モード0：垂直のエッジを近似



(d) モード1：水平のエッジを近似



(e) モード3：左下の斜めエッジを近似



(f) モード4：右下の斜めエッジを近似

図3 フレーム内予測モード

に対し9つの予測モード（モード0~8）、16×16画素のブロックに対し4つの予測モード（モード0~3）が設けられている。平坦なブロックを予測するには周辺の画素値の平均値を用いる（モード2）。残りの予測モードは、ブロック内にある各種の傾きのエッジを近似するために設けられている。周辺の画素値でエッジ部を近似し、符号化の対象となるブロックとの差分をとることにより、エッジ信号を抑圧することができ、高周波成分が少なくなるため、符号量を抑圧することができる。

詳細については文献[5]を参照されたい。

(2) 周波数領域変換

H.264/AVCでは、従来の符号化方式と同様に画像信号を周波数領域に変換するが、従来の8×8の離散コサイン変換（DCT：Discrete Cosine Transform）の代わりに、4×4の整数変換を採用している。この整数変換は4×4のDCTとほぼ同様の性質を持つ。

この場合、逆変換も整数演算で行われるため、加算とビットシフトだけで変換処理を行うことができ、また丸め誤差による mismatches の問題も生じないという利点がある。さらに、従来の8×8画素単位よりも、4×4画素単位で変換することにより、量子化によるブロック歪が目立たない効果がある。

4.2 時間方向の冗長度削減の性能向上

(1) フレーム間符号化における予測

MPEG-4では2種類の動き補償単位が用意されているが、H.264/AVCでは7つの予測モードが設けられている（表1）。図4はH.264/AVCのフレーム間符号化における予測モードを示し、7つの形のブロックで動き補償を行うことができる。図4(a)では16×16画素単位で動き補償することに対し、図4(g)では4×4画素単位で動き補償を行う。動き補償の単位が小さくなるほど、符号化の対象となる画像の動きを細かく表すことができ、精度の高い予測を行うことができる。

一方で、動き補償の単位ごとに1つの動きベクトルを必要とするため、動き補償の単位が小さくなるほど多くの動きベクトルが必要となる。MPEG-4では動きベクトルが最大4個であったのに対し、H.264/AVCでは16個になっている（表1）。図4に各動き補償予測モードに必要な動きベクトルの数を示している。16×16画素単位で動き補償を行う場合は1ブロック当たり1つの動きベクトルが必要であるが、4×4画素単位で動き補償を行う場合は16の

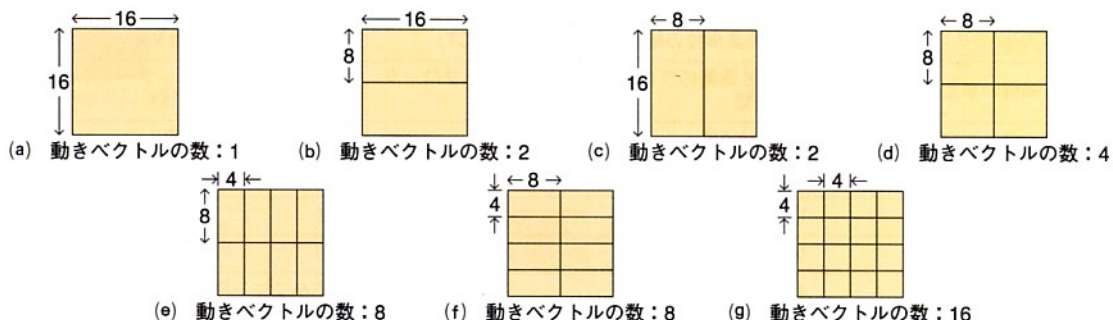


図4 フレーム間符号化における予測モード

動きベクトルが必要となる。また、動き補償の精度として MPEG-4では1/2画素であったのに対し、H.264/AVCでは1/4画素にまで対応している(表1)。細かい精度の動き補償により差分信号が低減されるが、それは同時に動きベクトルによるオーバーヘッドの増加にもつながる。また、動きベクトルの個数の増加は動き検出処理の演算量の増加をも意味するので、注意が必要である。

(2) 複数参照画像による予測

H.264/AVCでは、複数枚の参照画像を用いてフレーム間予測を行うことが可能である。図5に、複数参照画像による予測の概念図を示す。画像4の対象画像は、その直前にある画像3だけでなく、さらに過去の画像2や画像1をも参照することができる。図5から分かるように、1枚の参照画像しか用いることのできない従来の符号化方式に比べ、複数枚の画像を参照することにより、一度隠れた物体が再び現れる場合などにおいて、符号化の対象となるブロックにより近い予測信号を見つける可能性が高くなり、圧縮率をさらに向上させることができる*2。

その一方で、複数の参照画像を保持するためには、フレームメモリを増やさなければならない。例えば、FOMA端末に搭載されているMPEG-4と比べて、参照画像を4枚用いる場合はフレームメモリを少なくとも4倍に増設する必要がある(表1)。

(3) ループフィルタ

H.264/AVCのように画像をブロックに分割して符号化する方法では、ブロックの境界に不連続が生じ、いわゆるブロック歪として現れることが多い。このようなブロック歪は視覚的に好ましくないだけでなく、フレーム間予測においても、予測信号の不連続性による高周波成分が加わり、差分信号の抑圧を妨げることになる。

そこで、図2に示されるように、復元された画像をフレームメモリに格納する前に、ブロックの境界に高周波成分を遮断するローパスフィルタをかけてブロックノイズを低減している。このループフィルタは、隣接するブロック間の輝度値の段差や変換係数の量子化パラメータに応じて、適応的に強度が変化される。

4.3 エントロピー符号化

エントロピー符号化として、2つの方法が用意されている。第1のエントロピー符号化方法は、1つの汎用コードテーブル(Exp-Golomb code)を用いて、量子化係数以外のデータを符号化する方法である。この方法により、データの種類によって異なる可変長符号のテーブルを用意する必要がなくなる。量子化係数は、周囲にある符号化済みのデータに応じて可変長符号テーブルを適応的に切り替えて符号化される。このエントロピー符号化方法をCAVLC(Context-based Adaptive Variable Length Coding)という。

第2のエントロピー符号化方法では、算術符号化が用いられる。これは符号化済みのデータを用いて次に符号化される信号の確率分布を推定し、得られた確率分布に応じて確率モデルを切り替える方法である。この算術符号化を用いたエントロピー符号化方法をCABAC(Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding)という。CABACを利用することにより、非定常の信号に適応しながら、1ビット以下(小数ビット)で符号を表現することができ、より効率的にエントロピー符号化を行うことが可能となる。

CIF(Common Intermediate Format)(352×288画素)と

*2 複数の参照画像は符号化効率に応じて更新される。最も単純なやり方として1枚の画像が処理された時点で、参照画像の中から最も古い参照画像を消し、処理されたばかりの画像を参照画像群に加え、次以降の符号化・復号処理に用いる。参照画像が1枚の場合、参照画像が毎回更新されることになる。

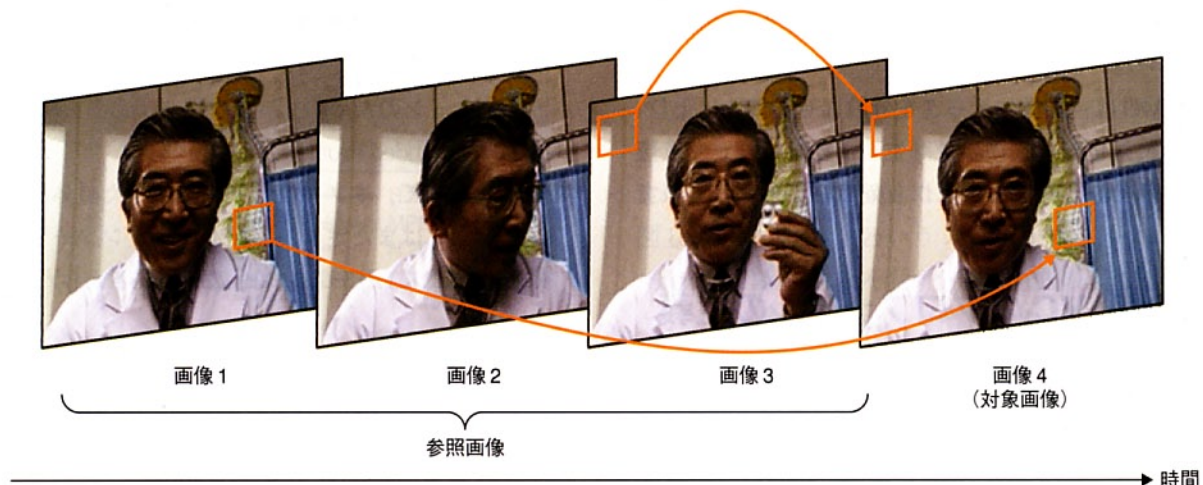


図5 複数参照画像による予測構造

QCIF (Quarter CIF) (176×144画素)の画像で実験した結果、CAVLCに比べてCABACを用いることにより、5～10%のデータ量削減が確認されている。

4.4 データの構造およびエラー耐性ツール

従来は、符号化された画像のブロックを走査線の順番でグループ化し、1つ以上の「スライス^{*3}」として伝送もしくは蓄積する手法がとられていた。ここでスライスとは、複数のブロックをまとめた符号化データの基本構成を意味し、自己完結で復号化処理を行うことができるものである。

一方、H.264/AVCでは、スライスを走査線の順序で伝送することは義務付けていない。例えば、画面の上半分を第1スライス、下半分を第2スライスとする場合、第2スライスを第1スライスより先に伝送し、受信側は第2スライスを先に復号化するようにしてもよい。これをASO (Arbitrary Slice Order) という。

また、スライス内にあるマクロブロックは、走査線の順序で並べられることは義務付けられていない。これにより、例えば図6に示すように、偶数番号のマクロブロックと奇数番号のマクロブロックを別のスライスグループとしてまとめて符号化することが可能である。図6のようなパターン以外に、任意のパターンでマクロブロックを並べ替えることも可能である。これをFMO (Flexible Macroblock Order) という。

ASOやFMOは、画像のデータを分散させることにより、伝送される符号化データに誤りが生じたときに、正しく復号できない部分を隠蔽することに有効であると報告されている[6]。

5. H.264/AVCのプロファイルの定義

プロファイルは、想定されるアプリケーションを実現するためのツール・セットを定義するものである。異なるアプリケーション間でも同じプロファイルをサポートすれ

*3 スライスの境界をまたがってループフィルタをかける場合、隣接する異なるスライスにある画素値を用いる必要がある。

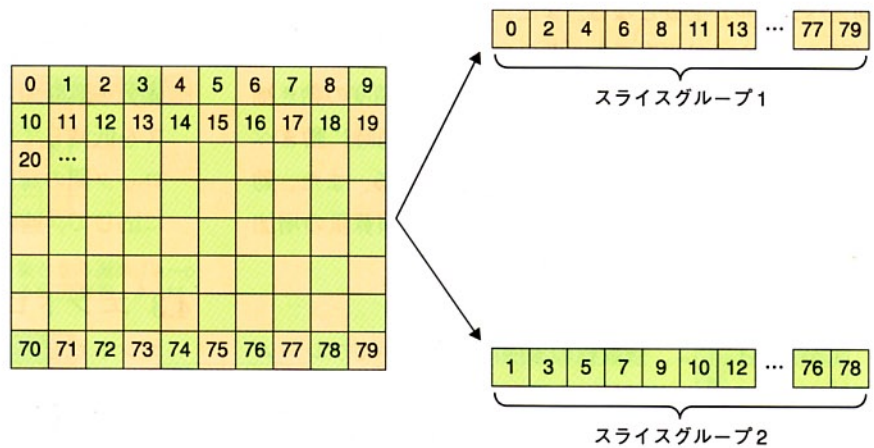


図6 Flexible Macroblock Order (FMO) の一例

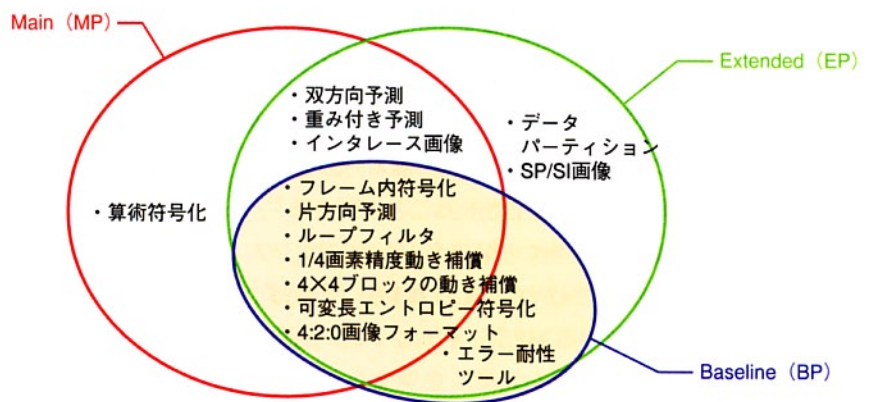


図7 プロファイル

ば、相互接続 (interoperability) が保証される。H.264/AVCでは、以下の3つのプロファイルが定義されている。

(1) BP (Baseline Profile)

TV電話・ビデオメールなどの通信アプリケーションのためのプロファイルであるが、移動体向けのデジタル放送に使われる

(2) MP (Main Profile)

ハイビジョン映像を含む次世代パッケージメディア (DVD, デジタルVTR) やデジタル放送などのアプリケーションのためのプロファイルである

(3) EP (Extended Profile)

現状として、本プロファイルを用いた具体的なアプリケーションはまだ定まっていない。インターネットにおける映像のストリーミングへの応用が考えられている。

図7はこの3つのプロファイルの関係を示している。5章で紹介したツールは、CABACを除き、BPに含まれている。MPは、BPのツール (エラー耐性ツールを除く) と今回紹介しなかった双方向予測やインタレース画像の符号化ツールによって構成される。EPには、CABACを除いたすべて

のツールが含まれている。

図7から分かるようにH.264/AVCでは、すべてのプロファイルが共有するコア（核）となるプロファイルが定義されていない。そのため、異なるプロファイルのデータを相互的に交換することが困難である。例えば、あるBPのエンコーダがエラー耐性ツールを使わずにデータを生成し、BPのラベルを付加したとする。このデータはMPのデコーダで再生できるはずであるが、BPのラベルが付加されているため、MPのデコーダは復号できるかどうか判断できない。

この問題を解決するため、H.264/AVCの仕様として、プロファイルの識別子に加え、データの相互交換性を示すためのBP/MP/EPに対応する3つのフラグが用意されている。3つのフラグがすべてセットされた場合、当該画像データはすべてのプロファイルのデコーダで復号できることを意味し、BPとMPに対応するフラグのみがセットされた場合、当該データはBPとMPのデコーダで復号できることを意味する。このように、H.264/AVCではプロファイルを用いてデコーダの機能を区別すると同時に、相互交換性フラグを用いてデータの互換性を確保している。

6. H.264/AVCの性能

H.264/AVCの性能についてはさまざまな報告がなされているが、比較結果はエンコーダの処理方法の違いにより必ずしも公平とはいえない。特にR-D最適化処理が実装されているかどうかによって比較結果の差が大きく異なる。そのため、有意義な比較を行うにはエンコーダ側の処理を合わせる必要がある。

例えば、ドイツのハインリッヒヘルツ研究所（HHI）では、比較対象となるエンコーダにR-D最適化処理を実装

し、客観的な性能比較を行った。その結果の一部を図8に掲載している（HHI提供）。図8から分かるように、H.264/AVCは常にMPEG-4 SPやH.263のベースラインの性能を上回り、平均してMPEG-4 SPから30%、H.263ベースラインから40%程度の性能向上が確認されている。

ドコモでも、H.264/AVCで符号化した映像の主観評価を独自に実施した。また、比較のためMPEG-4 SPおよび商用の符号化復号化（CODEC：COder DECoder）の2種類も合わせて評価を行った結果、H.264/AVCの優れた性能を確認している。

7. H.264/AVCの標準化に関連したドコモの活動

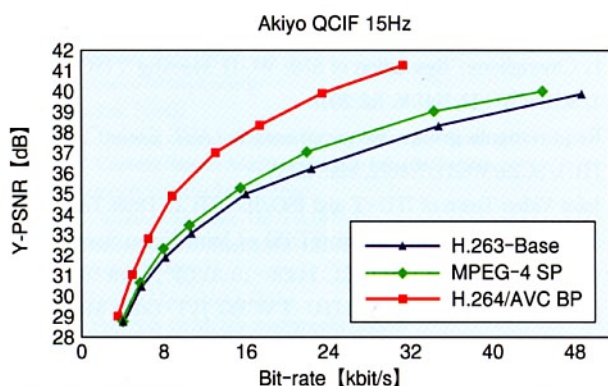
ドコモでは、H.264/AVC標準化の初期段階から活動に参加し、DoCoMo Communications Laboratories USA, Inc.（米国研究所）とともに積極的な技術提案を行ってきた。また、規格の完成度向上に向けて仕様書の作成・査読に協力し、H.264/AVCの性能を対外的に宣伝するための性能検証活動（verification test）の推進にも参加している。

一方で、H.264/AVCの性能改善の研究も引き続き行われている。本章では、当研究室で開発した任意形状動き補償（APMC：Arbitrary Partitioning Motion Compensation）技術[8]について紹介する。図9は本技術で採用したAPMCの各モードを示す。符号化対象となるマクロブロックは、自然画像の模様により近い形状で斜め方向に分割され、分割した形状単位で動き補償を行うことで、差分信号をさらに削減する。図4で説明したように、H.264/AVCでは細かい動きを表現するためにマクロブロックを複数の小ブロックに分割したが、動きベクトルによるオーバーヘッドが増加するという欠点があった。

本提案によれば、マクロブロックを斜め方向に2分割することで、低オーバーヘッドで差分信号を抑圧することが可能である。特に低ビットレートでは、図4(e)~(g)のモードに比べて動きベクトルによるオーバーヘッドが小さいため、任意形状動き補償のほうが効率的である。H.264/AVCに任意形状動き補償を適用した場合の性能改善を図10に示す。図10(a)は「Walk」というシーケンスの各フレームのSN（Signal to Noise）比を示す。提案方式のAPMCは、全シーケンスにわたりH.264よりも性能を上回ることが分かり、最大5%のビット量削減が確認されている（図10(b)）。

8. あとがき

H.264/AVCの標準化作業は実質的に2003年の3月末に完了し、同年5月のJVT会場では多少の仕様変更があったもの



Codec	MPEG-4 SP	H.263 Baseline
H.264/AVC Baseline	29.37%	40.59%
MPEG-4 SP	—	15.69%

By courtesy of Heinrich Hertz Institute Berlin, Germany

図8 H.264 Baseline Profileの客観的性能比較

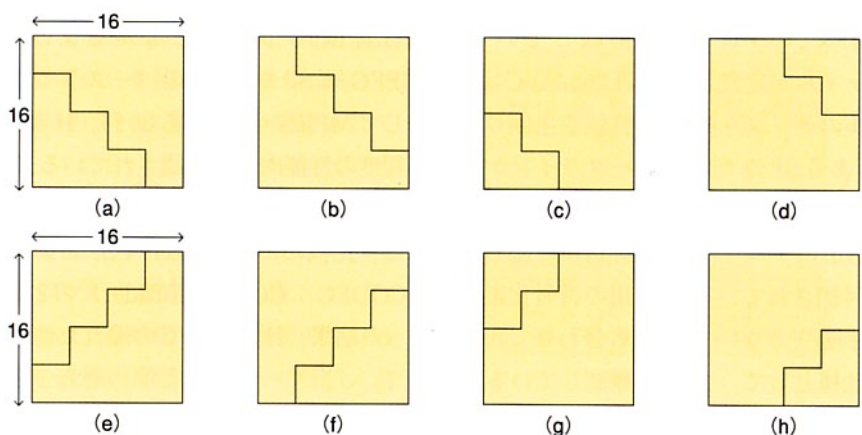
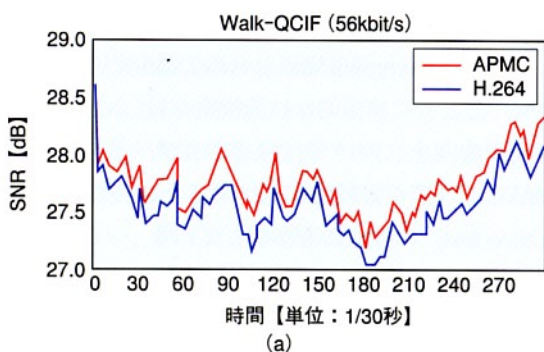


図9 任意形状動き補償



画像名	ビット量削減率 (%)
Walk.qcif	4.56
Friends.qcif	5.16
Doctor.qcif	2.63
Foreman.qcif	4.49
Mobile.cif	3.89
Flower.cif	4.03

任意形状動き補償による H.264/AVC からの符号化ビット量削減率 (b)

図10 任意形状動き補償の性能

の、バグ修正程度のものであった。一方、H.264/AVCの仕様をさらに拡張し、プロフェッショナル用の映像を制作するスタジオで利用するための標準化作業が進められている。この標準化作業は2004年の3月に完了する予定であり、JVTも同年3月に任務を完了し、解散すると見込まれている。

今後は、H.264/AVCを各アプリケーションで利用するための規格が続々と決定されていくと思われる。例えば、MP4ファイルフォーマットをH.264/AVCに対応するための拡張がなされており、仕様が確定されつつある。また、ITU-TではH.264のコードポイント[9]がすでに定義され、IETF (Internet Engineering Task Force) でもH.264/AVCのためのRTP (Real-time Transport Protocol) フォーマットが定義された。日本の地上波デジタル放送においては、移動体向けのデジタル放送用にH.264/AVCが1つの候補と

して検討されており、電波産業会 (ARIB: Association of Radio Industries and Businesses) 規格に導入される方向で作業が進められている。同様に、欧州のデジタル放送DVBでもH.264/AVCを規格に追加する方向で検討が行われている。さらに、3GPP (3rd Generation Partnership Project) のリリース6 (2004年3月完成予定) においてもH.264/AVCを定義する予定である。

その中で、H.264/AVCのライセンスに関する動きも本格的に始められ

ている。MPEG関連技術の特許管理会社である米MPEG LA (Licensing Association) は、必須特許の評価に着手しており、2003年6月末に第1回の会合を開催し、H.264/AVCのライセンスについて具体的な議論を開始した。

H.264/AVCは従来の符号化手法を一段と拡張し、より多くの符号化モードを提供している。これらのモードを最適に組み合わせることにより、従来の規格よりも大きな性能改善が期待できる一方で、エンコーダ側には高い演算量が要求される。また、使用条件 (実時間・非実時間) やハードウェアの制限により実現可能な性能が変動することが考えられる。H.264/AVCを利用する際の使用環境を考慮して、性能の検証を行うことが今後重要であろう。

文献

- [1] Video and Test Group: "Preliminary Results of Subjective Assessment of Responses to Video Call for New Tools to Further Improve Coding Efficiency", ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, N4240, Jul. 2001.
- [2] K. Hibi: "Report of the Ad Hoc Committee on H.26L Development", ITU-T Study Group 16, Q15-D-12, Apr. 1998.
- [3] L. Chiariglione: "Resolution of 57th WG11 Meeting", ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, N4136, Jul. 2001.
- [4] Requirements group: "Requirements for AVC Codec", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N4672, Mar. 2002.
- [5] Joint Video Team of ITU-T and ISO/IEC JTC1: "Draft Text of Final Draft International Standard (FDIS) of Joint Video Specification" (ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC)", Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, JVT-G050, March 2003.
- [6] http://reptar.grc.upv.es/~calafate/download/H.264_resilience.pdf
- [7] <http://www.dicas.de/>
- [8] S. Kato, S. Sekiguchi, S. Adachi and M. Etoh: "Low-overhead Segment-based Motion Compensation for H.26L", ICASSP' 02, Volume 4, May 2002.
- [9] Draft new H.241: "Extended Video Procedures and Control Signals for H.300 Series Terminals", ITU-T Study Group 16, TD 73 (PLEN), May 2003.

エントロピー符号化と算術符号化

動画画像符号化では、空間方向と時間方向の冗長度削減によって生成されたデータに効率の良い符号を割り当てることにより、さらに圧縮率を高める。図Aに示すように出現確率の高いシンボル（符号化の対象となる変換係数、動きベクトルなど）に短い符号を割り当て、出現確率の低いシンボルに長い符号を割り当てる符号体系を決めることにより、平均的にデータ全体の符号長を減らすことができる。この処理をエントロピー符号化または可変長符号化と呼ぶ。

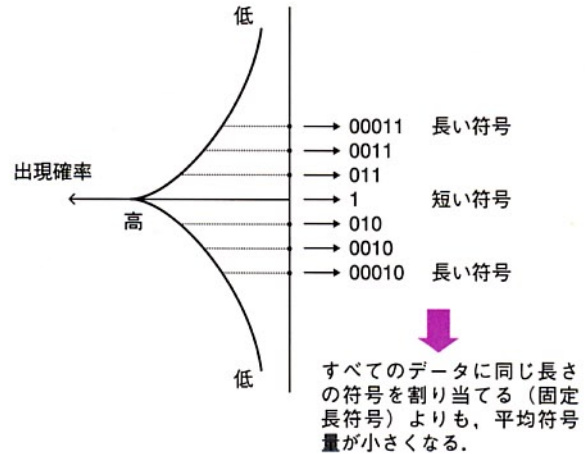
図Aに示すエントロピー符号化は、1つのシンボルに1つの符号語を割り当てるものであるが、符号化の対象となる複数のシンボルをなるべく多くまとめて符号化することによって、平均符号長をさらに小さく抑えることができる。

算術符号化は、データ全体を1つのシンボルとして取り扱い符号化を行うものである。シンボルの出現確率に応じて確率直線を再帰的に分割し、最後に分割された区間内の位置を2進小数値で表現することにより当該データの符号を割り当てる。

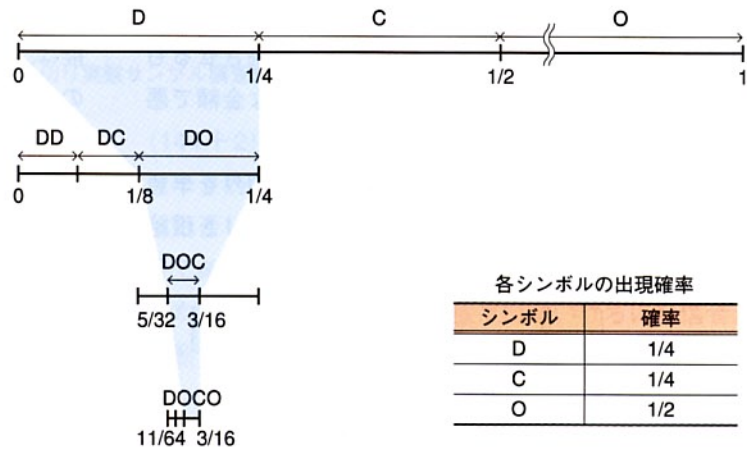
図Bは算術符号化方法の例を示す。この例では「DOCO」を算術符号化する場合を考える。最初に0から1までの区間をこれらのシンボルの出現確率に従って分割する。 $[0, 1/4]$ *は符号化の対象となるデータの第1シンボル「D」に対応する。次に、この区間を同じシンボルの出現確率に従ってさらに分割する。今度は、 $[1/8, 1/4]$ の区間が符号化の対象となるデータの第1と第2のシンボル「DO」に対応する。このように、最後のシンボルまで再帰的に区間分割を繰り返し符号化の対象となるデータに対応する区間を定める。この例では、「DOCO」は $[11/64, 6/32]$ に含まれており、この区間にある任意の1点に対応する2進小数値を符号値として「DOCO」を表す。

復号する場合、 $[11/64, 6/32]$ にある符号値は区間 $[0, 1/4]$ に含まれるので、最初のシンボルが「D」であることが分かる。次に、「D」の影響を符号値から除去し、次のシンボルに対応する区間を割り出すことにより、「O」を特定することができる。このように繰り返していき、最後のシンボルが特定された時点で復号が終了する。

* $[x, y]$ はx以上y未満の半開区間を示す。



図A エントロピー符号化



図B 算術符号化の例

用語一覧

3GPP : 3rd Generation Partnership Project
 APMC : Arbitrary Partitioning Motion Compensation (任意形状動き補償)
 ARIB : Association of Radio Industries and Businesses (社団法人電波産業会)
 ASO : Arbitrary Slice Order
 AVC : Advance Video Coding
 BP : Baseline Profile
 CABAC : Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding
 CAVLC : Context-based Adaptive Variable Length Coding
 CIF : Common Intermediate Format
 CODEC : COder DECoder (符号化復号化)
 DCT : Discrete Cosine Transform (離散コサイン変換)
 EP : Extended Profile
 FMO : Flexible Macroblock Order
 FOMA : Freedom Of Mobile multimedia Access
 HDTV : High Definition TeleVision

IEC : International Electrotechnical Commission (国際電気標準会議)
 IETF : Internet Engineering Task Force
 ISO : International Organization for Standardization (国際標準化機構)
 ITU-T : International Telecommunication Union - Telecommunication standardization sector (国際電気通信連合・電気通信標準化部門)
 JVT : Joint Video Team
 LA : Licence Association
 MMS : Multimedia Messaging Services (マルチメディア・メッセージ・サービス)
 MP : Main Profile
 MPEG : Moving Picture Experts Group
 QCIF : Quarter CIF
 RTP : Real-time Transport Protocol
 SN : Signal to Noise
 VCEG : Video Coding Experts Group