

次世代標準化に向けた動画像符号化技術

Video Coding Technologies toward Next-Generation Video Coding Standardization

中條 健 谷沢 昭行 和田 直史

■ CHUJOH Takeshi ■ TANIZAWA Akiyuki ■ WADA Naofumi

大容量のコンテンツをより少ないデータ量で効率よく伝送するための動画像符号化技術として、現在、H.264/AVC (Advanced Video Coding) を利用した製品の実用化が進められている。その一方で、圧縮性能の向上に対する要求も強く、H.264/AVCに続く新しい動画像符号化技術の開発も行われている。

東芝は、次世代の動画像符号化技術として、適応量子化マトリクス選択 (AQMS: Adaptive Quantization Matrix Selection) 方式、ブロック適応ループフィルタ (BALF: Block-based Adaptive Loop Filter)、及び内部画素ビット長拡張 (IBDI: Internal Bit Depth Increase) 方式を開発し、国際標準化に向けて、ITU-T (国際電気通信連合—電気通信標準化部門) のVCEG (Video Coding Experts Group) で提案活動を推進している。これらの技術は、次世代の規格策定に貢献することが期待されている。

Many applications using H.264/AVC (Advanced Video Coding), a standard for transmitting large volumes of contents efficiently with smaller data volume, have been realized in recent years. On the other hand, there is a strong need for improvements in compression performance and new video coding technologies are also being developed toward the post-H.264/AVC era.

Toshiba has developed the adaptive quantization matrix selection (AQMS) method, the block-based adaptive loop filter (BALF), and the internal bit depth increase (IBDI) method as new technologies, and has been promoting proposal activities to the Video Coding Experts Group (VCEG) of the International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) for next-generation video coding standardization. These technologies are expected to contribute to the next-generation standardization.

1 まえがき

近年、ネットワークの伝送速度と蓄積メディアの記憶容量の伸びは著しく、動画像データをこれ以上圧縮符号化する必要がないように思われるかもしれない。しかし、表示デバイスや撮像素子の性能向上に伴う高解像度化及び高フレームレート化が進み、動画像のデータ量も増加しており、圧縮性能の向上に対する潜在的な要求は依然として強い。一方、半導体の性能向上の経験則であるムーアの法則によれば、将来はより多くの計算パワーが動画像符号化技術に与えられるため、より複雑度の高い方式が実現できるようになると予測される。このような状況から、動画像符号化技術は更なる進展が可能であり、アプリケーションを構成する要素技術として、イノベーションを引き起こす能力を持ち続けていると言える。

現在、動画像符号化技術の標準化を行っている国際機関として、ISO/IEC (国際標準化機構/国際電気標準会議) のMPEG (Moving Picture Experts Group) とITU-TのVCEGが挙げられる。

MPEGは、次世代動画像符号化に関するワークショップを2005年に2回開催したが、新たなプロジェクトをスタートするには至らなかった。2008年になって再び機運が高まり、周辺

技術も含めた動画像符号化技術のサーベイを行うワークショップを10月に開催した。その結果、HDTV (High Definition Television) 以上の高解像度の映像に対して符号化効率を改善する動画像符号化技術の標準化を行うべきかを検討する、HVC (High-performance Video Coding) のプロジェクトをスタートさせている。

一方、VCEGは、次世代に向けた技術的な探索活動を2005年ころから継続的に行っていたが、2009年2月の会合で、既存の規格の拡張又は新しい規格H.265の作成を目標としたNGVC (Next Generation Video Coding) プロジェクトをスタートさせた。

ここでは、次世代の動画像符号化技術として、東芝がVCEGで標準化に向けて提案を行っている、AQMS方式、BALF、及びIBDI方式の三つの技術について、その特長と概要を述べる。

2 次世代動画像符号化技術の標準化の動向

ITU-TのVCEGでは、現行の規格であるH.264/AVCの拡張作業とは別に、独自の活動として、KTA (Key Technical Areas) と呼ばれる以下の二つのアドホックグループを編成し、

技術的な検討を行っている。

- (1) KTA#1: 符号化効率の改善
- (2) KTA#2: 計算量の削減

特に(1)の符号化効率に関しては、H.264/AVCを比較対象とする共通テスト条件を作成し、厳密にベンチマークを行うことで、有効な方式を評価、検証している。これまでに有効性が認められた符号化ツールは、H.264/AVCのリファレンスソフトウェアをベースとするコーデックソフトウェアに実装されている。このソフトウェアはKTAソフトウェアと呼ばれ、会合ごとに更新されている。当社はこの活動に参加し、技術提案を行うことで貢献している。

このような符号化ツールを統合していく考え方は、動画像符号化技術が単一の方式ではなく多くの技術の集合体である、という事実に基づいている。各符号化ツールが理想的に直列に接続されていると仮定すると、例えば、50%の符号量削減を達成するには、符号量を10%削減できるツールが7個あればよい ($0.9^7 < 0.5$ となることから)。同様の計算から、符号量が5%削減できるツールであれば14個必要になる。このことは、符号化効率の改善には、効果が大きい革新的な技術を開発することが重要ではあるが、効果が中程度の技術でも、ある程度数を集めることで全体として性能が改善できることを示している。もちろん、一般的には各符号化ツールが理想的に独立であることはなく、更に、その計算量も考慮されなければならない。

2008年12月に公開されたKTAソフトウェア Ver. 2.2に採用されている技術は、以下に示す符号化ツールである。

- (1) 適応補間フィルタ (Adaptive Interpolation Filter)
動き補償補間フィルタのフィルタ係数を入力画像に応じて予測誤差が最小となるように設計し、符号化データといっしょに送る方式。計算量を考慮して方向性フィルタを用いる方式やオフセット係数を追加する方式など、五つの異なる方式を採用
- (2) 高精度補間フィルタ (High Precision Interpolation Filter)
動き補償補間フィルタ処理の演算精度を上げることで符号化効率の改善を図る方式。補間画素部にオフセット値を追加し、複数のフィルタ係数を切り替える方式など、3種類の高精度補間フィルタを採用
- (3) 1/8画素精度動きベクトル解像度 (1/8-pel Motion Vector Resolution)
H.264/AVCの動きベクトルは1/4画素の精度まで選択できるが、1/8画素の精度までの動き補償を実現する方式
- (4) 動きベクトル競合 (Motion Vector Competitive)
動きベクトルの予測方法として、従来の空間方向だけでなく、時間方向にも予測候補を拡大してもっとも良いものを選択することで、主として動きベクトルの符号量削減を図る方式

- (5) 適応予測誤差符号化 (Adaptive Prediction Error Coding)
直交変換を行わず、直接予測誤差信号の量子化を行う方式と、従来の直交変換後に量子化を行う方式を、画素ブロック単位に適応的に切り替える方式
- (6) AQMS⁽²⁾
従来、画面単位でしか選択できなかった量子化マトリックスを、画素ブロックごとに選択できるようにした方式
- (7) BALF⁽³⁾
画像の復元を行うフィルタを符号化ループ内に適用する方式で、局所的にフィルタ処理のオン、オフを切り替える方式
- (8) ポストフィルタ (Post Filter)
符号化側で作成したポストフィルタ係数を符号化補助情報として送る方式で、周辺画素の性質に応じて複数のフィルタを切り替える方式
- (9) モード適応方向性変換 (Mode Dependent Directional Transform)
イントラ予測の方向に合わせた複数の変換手法を切り替える方式
- (10) IBDI⁽⁴⁾
入出力の画素ビット長よりも内部のデータビット長を長くすることで、内部処理の演算誤差を低減させて効率向上を図る方式

これらの中から、当社が技術的に特に貢献した、AQMS方式、BALF、及びIBDI方式の三つの技術について3章で述べる。

3 次世代の動画像符号化技術

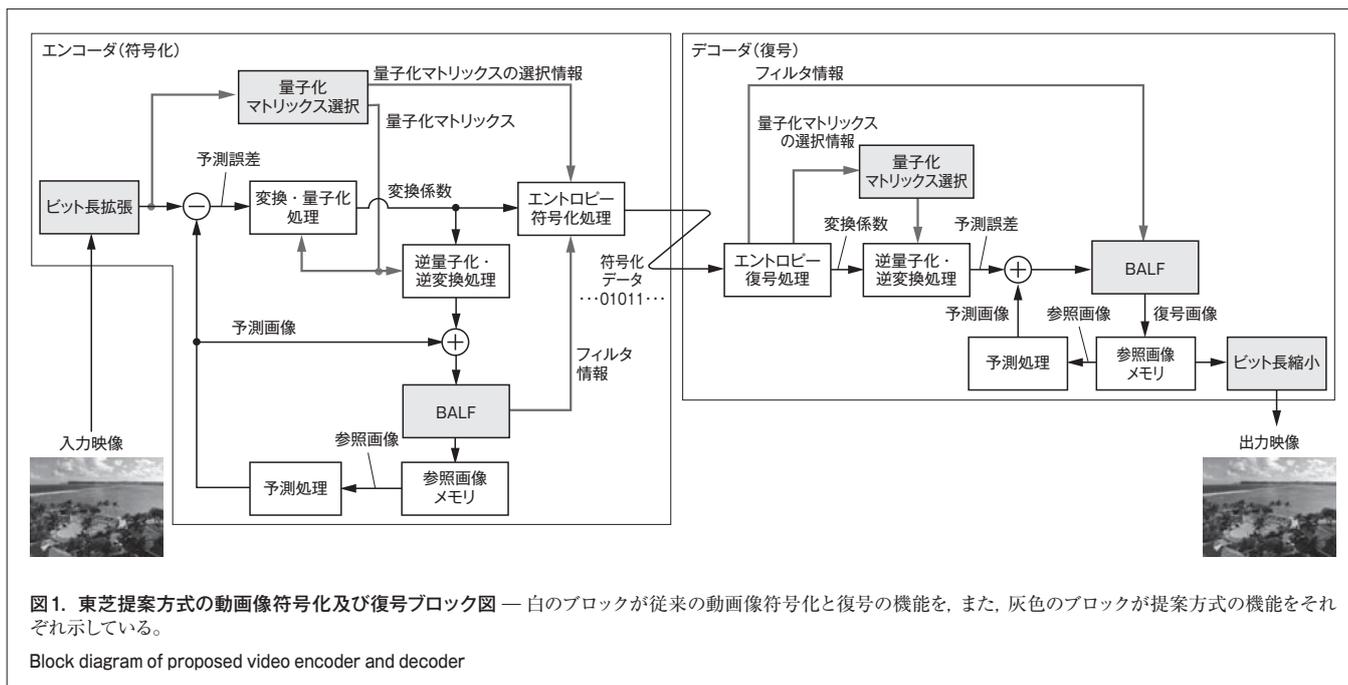
3.1 AQMS方式

動画像符号化における量子化処理は、画像の空間面での冗長度を削減するために直交変換処理などを施した変換係数に対し、量子化ステップサイズで除算した結果を整数値に丸める技術である。量子化処理によって、変換係数の符号量を制御できる。直交変換としては2次元DCT (離散コサイン変換) が一般的に用いられ、 4×4 画素ブロックに対する変換係数は 4×4 のマトリックスで表現される。

量子化マトリックスは、この変換係数マトリックスの各周波数成分に対応する重みを示している。この重みが大きい場合、その周波数成分の変換係数を粗く量子化することを意味する。このような量子化マトリックスは、主観画質の向上を目的として、MPEG-2、MPEG-4、及びH.264/AVCなどで導入されている。

AQMS方式は、従来は画面ごとでしか選択できなかった量子化マトリックスを、**図1**に示すように、画素ブロックごとに選択できるように拡張した方式である。

3.1.1 量子化マトリックスの選択 画像信号は、複雑な部分に高周波数成分を多く含み、平坦な部分には高周波数成分が少ない。人間の視覚は周波数によって感度が異なり、一般的に低周波数成分 (平坦な部分) に敏感である反



面、高周波数成分(複雑な部分)には鈍感であるという性質を持っている。量子化マトリックスは、周波数成分ごとの量子化の細かさを調整することができる。

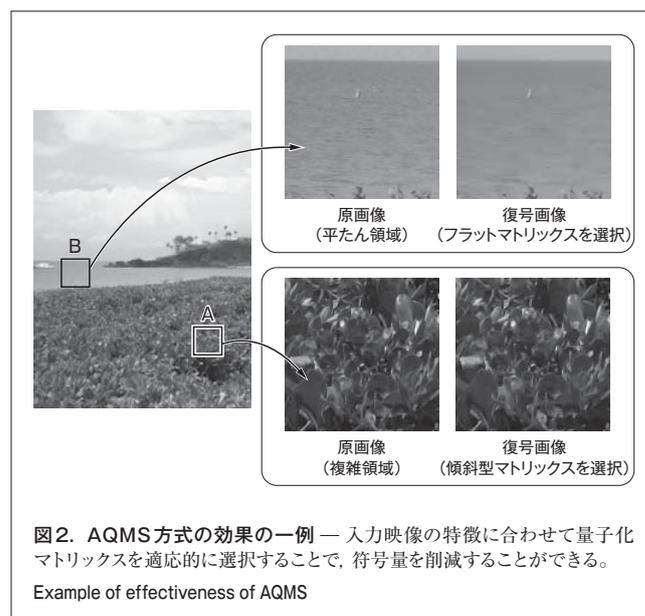
AQMS方式では、周波数成分を均等に量子化するフラットマトリックスと、低周波数成分と高周波数成分で重みのバランスを変更して量子化する傾斜型マトリックスの2種類を用意している。

従来は、量子化マトリックスを画面ごとでしか変更できなかったが、AQMS方式では、画像の局所的性質に応じて、画素ブロックごとに、一つのフラットマトリックスと三つの傾斜型マトリックスの合計4種類の中から一つを選択できるようにした。量子化マトリックスの選択は、画質と符号量のバランスを考慮して行われ、量子化マトリックスの選択情報が符号化される。

3.1.2 AQMS方式の効果 効果の一例を図2に示す。画像の複雑な領域Aでは高周波数成分が多く発生するため、低周波数成分を細かく高周波数成分を粗く量子化する傾斜型マトリックスを選択し、平たんな領域Bでは高周波数成分があまり発生しないため、フラットマトリックスを選択することで、画質を維持しながら符号量を削減することができる。

3.2 BALF方式

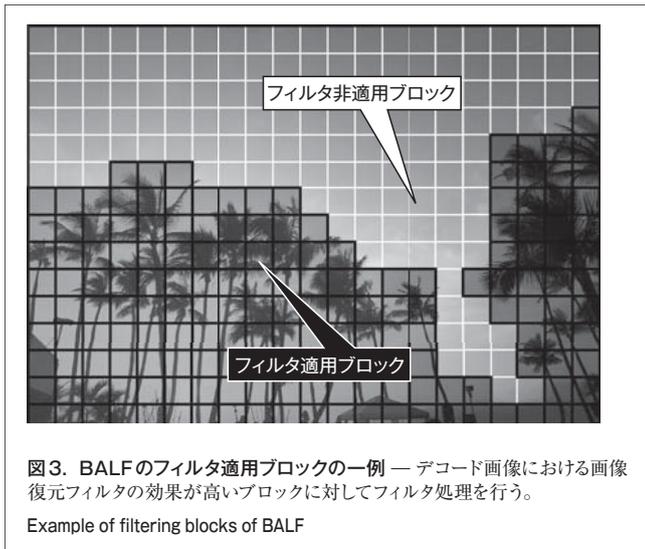
動画像符号化が静止画像符号化と大きく異なるのは、既に符号化済みの画像から次に符号化する画像を予測することができるということであり、それによって膨大な動画像の情報量を削減できる点である。入力画像を予測するため、図1の動画像符号化処理のブロック図に示すように、符号化済みの画像を参照画像として用いるループを形成しており、これを一般に



符号化ループと呼ぶ。ループフィルタの効果は、参照画像の画質を向上させることにより、次に符号化するフレームの予測誤差を低減することである。

BALF方式は、参照画像を原画像により近い画像に復元することで、この予測誤差を更に低減することを主な目的としたものである。

まず、符号化側で、ローカルデコード画像と入力原画像の2乗誤差を最小とする線形ウィナーフィルタを生成する。生成したウィナーフィルタを適用したローカルデコード画像は、適用前よりも入力原画像に近い画像となることが保証される。



次に、図3に示すように画面を矩(く)形ブロックに分割し、各ブロックにおいてフィルタリングを行うかどうかを判定する。これにより、画像復元効果が高い領域にだけフィルタを適用することができる。

以上の処理により生成したフィルタ係数とブロックごとの判定情報を符号化データに多重化することで、復号側でも同様のフィルタ処理を行うことができる。特に高解像度の画像で効果が高く、20%を超える符号量削減率が得られる場合がある。処理量の面では、フィルタ処理は画素ごとに独立して実行できるため、処理の並列化が容易であるというメリットもある。

3.3 IBDI方式

デジタル信号処理において、入出力のデータビット長よりも内部の演算精度を上げることで、デジタル化に伴う丸め誤差などが減少して性能が向上することが一般的に知られている。この考え方を動画像符号化技術に適用したのがIBDI方式である。

通常、デジタル映像データは8ビットの画素ビット長を用いている。これを符号化の入力段階で8ビットから12ビットに左シフトして入力し(ビット長拡張)、内部では12ビットのデータとして符号化し、復号後、出力された画素値を8ビットに丸める(ビット長縮小)。このとき、符号化内部のモード判定など誤差評価を、内部のデータビット長でなく出力の画素ビット長に合わせて8ビットに丸めて行うことで、性能を向上できる(図1)。

入力される情報量が増加することから、一見すると効率面で不利のようであるが、動き補償補間フィルタ及び、変換・量子化

処理部分の演算精度向上による誤差削減の効果が大きく上回っており、特に動き補償補間フィルタの効果が大きい解像度の高い映像では、10%を超える符号量を削減できることがある。

符号化及び復号の処理における演算精度や画素ビット長は、実装上の複雑さとの関係で決定されるべきであるが、特にメモリバンド幅で問題となるフレームメモリの入出力ビット長を制限した場合でも、符号量削減効果の減少は1%程度に抑えられることを確認している。

4 あとがき

動画像符号化技術の開発について、次世代の動画像符号化技術の国際標準化に向けた動向と、当社の取組みについて述べた。

ここで紹介した当社の技術が幅広く使われるように、方式の開発並びに標準化に向けた提案活動を引き続き推進していく。

文献

- (1) 中條 健. 次世代動画像符号化標準へのExploration. 映像情報メディア学会誌. 61, 4, 2007, p.431-434.
- (2) 谷沢昭行, ほか. 適応量子化マトリクス選択方式を用いた動画像符号化. 電子情報通信学会論文誌D-II. J91-D, 11, 2008, p.2647-2658.
- (3) Chujoh, T., et al. "Improvement of block-based adaptive loop filter". ITU-T SG16/Q.6. San Diego, 2008-10, VCEG-AJ13.
- (4) Chujoh, T., et al. "Internal bit depth increase for coding efficiency". ITU-T SG16/Q.6. Marrakech, 2007-01, VCEG-AE13.



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主任研究員、工博。動画像符号化技術に関する研究・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.



谷沢 昭行 TANIZAWA Akiyuki

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。画像信号処理及び動画像符号化処理に関する研究・開発に従事。映像情報メディア学会会員。Multimedia Lab.



和田 直史 WADA Naofumi

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。動画像符号化技術に関する研究・開発に従事。映像情報メディア学会会員。Multimedia Lab.