

MPEG-4 AVC のフレーム内符号化効率検討

Study of the coding performance of MPEG-4 AVC intra-coding

山田 悦久
Yoshihisa Yamada

加藤 嘉明
Yoshiaki Kato

浅井 光太郎
Kohtarō Asai

1. はじめに

動画信号に対する符号化方式として、これまでに ITU-T や ISO/IEC において複数の国際標準方式が成立しており、いずれの方式も『動き補償予測付きフレーム間予測符号化』を採用することによって大きな符号化効率を得ている。一方、フレーム間符号化を用いて符号化された映像は、任意のピクチャからの再生処理ができない、エラーに弱い、などの理由のため、例えば編集向けアプリケーションにおいては JPEG などの静止画像符号化方式が採用されていることが多い。ただしこのようなアプリケーションにおいても、最終利用者にコンテンツを流通する際には、低ビットレートで MPEG に再符号化される場合が多い。

静止画像符号化方式で採用されている『フレーム内符号化』は、動画符号化方式においても「ランダムアクセス」、「回線エラーからの復帰」などの目的のために採用されており、静止画像符号化方式特有の技術ではない。前述のようなビットレート変換を行う場合、JPEG から MPEG に変換するよりも、MPEG から MPEG に変換するほうが少ない変換劣化でかつ簡単に処理できる可能性があるため、MPEG のフレーム内符号化の効率が悪くないのであれば、JPEG ではなく MPEG のフレーム内符号化を利用する方がよい、と考えられる。

筆者らはフレーム内符号化だけを使用する MPEG (Intra-only MPEG) について、MPEG-2 に対する符号化効率の検証を行った[1][2]。本稿では昨年成立した新しい動画符号化方式である MPEG-4 AVC/H.264 に採用されているフレーム内符号化の効率について検証・報告を行う[3]。

2. MPEG-4 AVC のフレーム内符号化方式

これまでの MPEG-1/2/4 のフレーム内符号化ピクチャでは、DCT 後の変換係数に対する予測処理により符号化効率を高めていたが、MPEG-4 AVC では変換前の画素領域における予測処理を採用している。本章では MPEG-4 AVC のフレーム内符号化について簡単に説明する。

MPEG-4 AVC でもマクロブロックを単位に符号化処理を行う点は従来と同様であるが、隣接するマクロブロックの局部復号画像を用いて画素レベルでの予測処理を行う。これにより、処理量は大きくなるが、低ビットレートにおいてもそれなりの画像が得られるという特性が得られている。

輝度信号に対しては 16×16 のマクロブロックを単位とする予測処理と 4×4 のサブブロックを単位とする予測処理のいずれかをマクロブロック単位に選択できる。 16×16 予測が選択された場合には、図 1 に示す 4 方式のいずれかのモードを選択できる。予測値は、マクロブロックの周辺に位置する 33 個の画素の一部を用いて求められる。

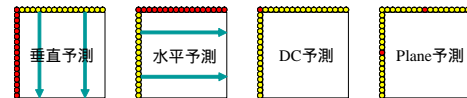


図 1 輝度信号に対する Intra 16×16 予測

4×4 予測が選択された場合には、図 2 に示す 9 方式のいずれかのモードがサブブロック単位に選択できる。

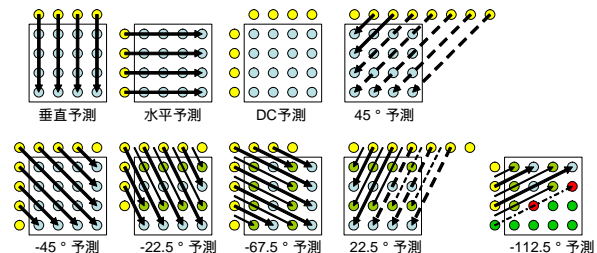


図 2 輝度信号に対する Intra 4×4 予測

モード情報はオーバーヘッドとなるが、隣接するブロックでは同じモードが選択される確率が高いことを利用して、適応予測処理によりモード情報の削減を図っている。

色差信号に対しては、輝度信号の 16×16 予測に類似した DC、垂直、水平、Plane の 4 つの予測モードを 8×8 ブロック単位に選択できる。

3. フレーム内符号化に対する各ツールの性能検証

映像信号の符号化方式の性能を比較検討するには、人間の目による主観評価と PSNR 値を用いる客観評価の二方式が一般的に用いられている。主観評価を高めるための符号化制御と客観評価を高めるための符号化制御は異なるものが多いが、これまでの研究では特に区別することなく混同したまま使用されている例も多い。本章では、JPEG、MPEG-2、MPEG-4 AVC で採用されている主観評価向上のための制御ツールや符号量削減のための符号化ツールが、PSNR 値にどの程度影響を及ぼしているのかを検証する。なお、実験には映像情報メディア学会監修の「標準テレビジョンシステム評価用動画」から No.7 の European Market と No.46 の Chromakey(Sprinkling)を使用した。いずれもプログレッシブ画像である。

3.1 量子化マトリックス

JPEG や MPEG-2 では 8×8 ブロック単位に DCT を行い、得られた変換係数を量子化することにより情報量を削減している。量子化は量子化ステップおよび量子化テーブルを用いて行われ、これらはエンコーダ側で所定の範囲内で自由に用意することが可能である。しかし JPEG では標準書の Annex K に記されている参考値が、MPEG-2 ではデフォルト値がそのまま用いられていることが多いようである。このテーブルを図 3 に示す。

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

8	16	19	22	26	27	29	34
16	16	22	24	27	29	34	37
19	22	22	26	27	29	34	38
22	22	26	27	29	34	37	40
22	26	27	29	32	35	40	48
26	27	29	32	35	40	48	58
26	27	29	34	38	46	56	69
27	29	35	38	46	56	69	83

図3 輝度用マトリックス (左: JPEG、右: MPEG)

この量子化マトリックスは主観評価を高めるために作成されたものであり、人間の視覚特性にあわせて低周波領域の係数を重視した作りになっている。この量子化マトリックスを使用している限り、たとえ多くの符号量を与えても高周波領域の係数は常に粗く量子化されるため、PSNR 値は上がらない。図3に示した量子化マトリックスを使用した場合と重みをつけない場合(64個全てを16とした場合)との比較結果を図4に示す。PSNR を用いて評価を下す場合には重み付けのない量子化マトリックスを使用することにより高いPSNR 値が得られることがわかる。

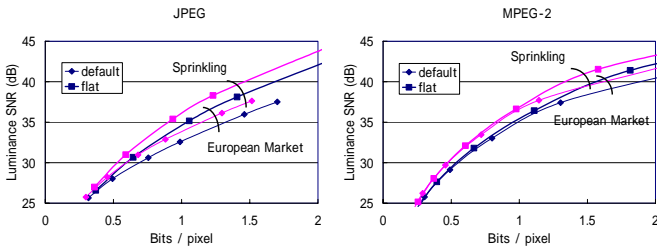


図4 量子化マトリックスの影響 (左: JPEG, 右: MPEG)

3.2 量子化デッドゾーン

量子化処理の際の小数点以下の値の丸め方には、切り捨て、四捨五入など様々な方法がエンコーダでは採用できる。例えば切り捨て処理を使用すると量子化のデッドゾーンが広くなり、±1.0未満の量子化係数は全て0となるため総符号量が削減できる。小さな係数は小さな変化を表現するため視覚特性上は重要ではないが、PSNR の観点では、あくまでも信号の再現性が重要であり、変化の大小は関係ない。そこで量子化のデッドゾーンを変化させたときの総符号量の変化を測定した。

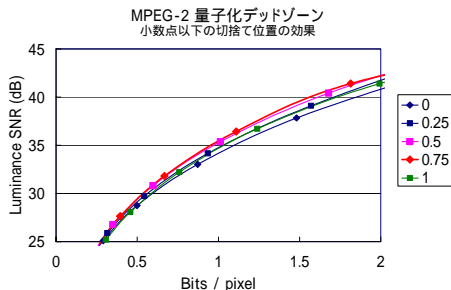


図5 量子化デッドゾーンの影響

結果より、量子化処理は四捨五入、もしくは MPEG-2 Test Model でも採用されている 0.74 捨 0.75 入が、高い PSNR 値が得られる、ということがわかる。

3.3 デブロッキングフィルタ

MPEG-4 AVCではデブロッキングフィルタが符号化ループ内に採用されている。マクロブロック境界や変換基底境界に対して、量子化スケール値や非ゼロの有効係数の有無などの条件により適応的にフィルタ処理を行い、主観画質の向上を図るものである。

このデブロッキングフィルタを on/off することによる PSNR の変化を測定した。符号量自体はまったく同じとなり、PSNR 値の方は 1.0bit/pixel を境にして低レートではフィルタありが、高レートではフィルタなしが良い結果が得られたが、その差はごくわずかであることが確認された。

4. 符号化方式間の性能検証

前章で記した主観評価向上のための符号化ツールの影響を除去した上で、フレーム内符号化に対する JPEG/MPEG-2/MPEG-4 AVC の3方式間の符号化性能の比較を行った。図6に3方式の符号化結果を示す。なお、MPEG-4 AVCとしては CAVLC を使用したものと、算術符号である CABAC を使用したものの2通りで測定を行った。

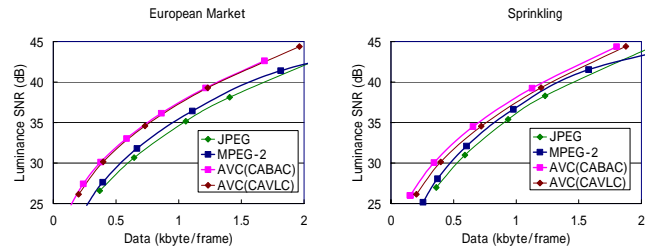


図6 各種方式におけるフレーム内符号化の効率

実験結果より、MPEG-4 AVC のフレーム内符号化では、シーンに抛らず JPEG や MPEG-2 よりも高い符号化効率を得られること、CAVLC と CABAC の符号化効率の差はシーンによってはあまり大きくないことがわかった。

5. まとめ

本稿では、MPEG-4 AVC のフレーム内符号化に対する効率について、客観評価 (PSNR 値) の観点から検証を行った。これに先立ち JPEG や MPEG-2 などのエンコーダに採用されている主観評価向上のための各種符号化ツールについて、PSNR 値の観点から検証を行った。主観評価向上のための符号化ツールを不使用とすることにより客観評価を向上できることが確認できた。

一方 MPEG-4 AVC のフレーム内符号化の符号化効率に関しては、JPEG に比べて同じ符号量で 1~2dB 程度、同じ画質であれば 0.05~0.1bit/pel 程度の符号量を削減できることが確認された。今後はこの結果をふまえ、MPEG-4 AVC Intra から MPEG-4 AVC への変換手法や効率について検討を進める予定である。

参考文献

- [1] MPEG-I (フレーム内符号化 MPEG) の符号化効率検証 (2004 信学総大 D-11-48)
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M10075 (Oct. 2003)
- [3] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M10320 (Dec. 2003)