

## MPEG2 量子化と符号化機構と IDCT ミスマッチ対策

片山泰男

グラフィックス・コミュニケーション・ラボラトリーズ

1994年6月24日

MPEG-2 Main プロファイル技術の量子化、符号化機構についてインターレース対応技術要素と、ハイクオリティ対応技術に分類して解説する。IDCT ミスマッチ対策については、IDCT ミスマッチの原因を示し、種々のミスマッチ対策方法の実験的比較を行ない、MPEG-2 に選択された新たなミスマッチ対策を示す。

### MPEG-2 Quantization, Coding Mechanism and IDCT mismatch control

Yasuo Katayama

Graphics Communication Laboratories,

Tohshin Bld. 6F, Yoyogi 4-36-19, Shibuya-ku, Tokyo, 151 Japan

This paper describes the quantization and coding techniques classified as interlace techniques and high quality techniques, in the MPEG-2 Main Profile techniques. About IDCT mismatch control, the cause of IDCT mismatch are shown, and mismatch protections are experimentally compared, and the mismatch control selected are shown in this paper.

## 1 はじめに

MPEG( Moving Picture Experts Group, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 の通称 ) では、現在 MPEG-2 というインターレース画像用の符号化の標準化がほぼ完了した。

本稿では、最も大多数の応用をカバーでき、互換性を保証するためのプロファイルである、Main プロファイルの基本的な技術を解説する。コンパティビリティ/スケーラビリティを確保する、階層符号化技術が高級なプロファイルには入っているが、ここでは解説しない。また、Main プロファイルの技術の中でも、高級予測については割愛する。

その量子化と符号化機構についてインターレース対応技術と、ハイクオリティ対応技術に分類して解説する。IDCT ミスマッチ対策についてはその原因から説明し、種々の IDCT ミスマッチ対策手法を実験的に比較し、MPEG に選択されたミスマッチ対策を紹介する。

表 1 に MPEG-2 Main プロファイルの技術要素を挙げる。これらはインターレース対応符号化技術と、ハイクオリティ対応技術に分類できる。

表 1 MPEG-2 Main プロファイルの技術要素

1. frame/field picture
2. frame/field 予測
3. frame/field DCT
4. Alternate scan
5. Alternate VLC
6. Dual prime 予測
7. DC 精度と AC 精度の向上
8. 非線形 MQUANT
9. IDCT ミスマッチ対策
10. Intra MV
11. 2/3 pull down
12. video windowing

## 2 インターレース対応技術

インターレース対応技術の例としては、符号化の仕組みにフィールドとフレームの矛盾を取り込んだといえる Frame/field picture, frame/field 予測と frame/field DCT である。インターレースの時空間の関係の考慮を MC - DCT に直接取り込んだものである。

### 2.1 Frame/field picture

インターレース画像にはフレームとフィールドの両方の画像がある。その両者とも画像としては不十分なもので、フレーム画像は時刻の異なる 2 つのフィールドの複合画像であり、フィールド画像はフレームの一本おきの部分画像でしかなく、縦方向分解能が不足している。そのため、MPEG-1 の Picture をフレームに適用したフレーム構造とフィールドに適用したフィールド構造という 2 つの基本的な方法が存在していた。

符号化が静止画的に難しいシーケンスにはフレーム構造がとくに優れ、動きの激しいために符号化の難しいシーケンスにはフィールド構造が若干優れていた。解決は並存になった。

つまり、MPEG-2 ではフレームを画像とすることもフィールドを画像とすることもともに許す。しかも、フレーム構造とフィールド構造は、どちらかを固定的に使用するのではなく、ピクチャごとにフレームピクチャと、フィールドピクチャのどちらも使える仕組みとした。

Picture layer にある 2 bit の "picture\_structure" が自分の画像が何かを示し、"11" は Frame picture, "01" は空間的な Top Field Picture, "10" は Bottom Field Picture とした。

これによって、さまざまな構造が可能になる。たとえば、I,P,B がすべて Frame 構造では、これらにすべて "11" を使う。B のみ field の構造、I-frame を分離して I-field と P-field にする構造、多少の制限があるが I,P,B すべてが field の構造も記述できる。

### 2.2 Frame/field 予測

フレームを画像とするときに選択できる予測として、マクロブロックにフラグが用意され、frame 予測か、field 予測か Dual prime かが示される。frame 予測では MPEG-1 と同じく、マクロブロックに 1 つの動きベクトル(MV)が使われ、field 予測では 2 つの MV がマクロブロック内の 2 つのフィールドにそれぞれ使われる(図 1)。

マクロブロック内の 2 つのフィールドとは、輝度 16x16、色差 8x8 とともに、インターレースとしたため、垂直の一本毎にフィールドが交代し、field 予測ではその一本おきの 16x8 画像部分それぞれに MV を使う。色差は MV の値を 1/2 にして使う。色差もインターレース画像であるので、field 予測のときは 8 x 4 の大きさで field 予測を Cb, Cr に行なう。

動きベクトルは frame 内のずれ量としての表現であ

る。frame 予測用と field 予測用の MV で、垂直方向の半画素の計算方法が異なる。frame の縦方向半画素では、MPEG-1 を frame に適用した場合と同じく、フレームの中で隣接する偶数フィールドと奇数フィールドの平均で作られる。それに対して、field の縦方向半画素は各フィールドの中の半画素が取られる。たとえば、偶数フィールド内 2 ラインの平均となる。

B-picture では field 予測は両 field について同じ方向(前、後、内挿)に制限する。このことにより、マクロブロックタイプは MPEG-1 のままにしておくことが可能となった。field 型予測が B-picture で使われるときは、マクロブロックに最大 4 つの MV が使われる。

Frame/field 予測のいずれを使うかのエンコーダ側の判断は MSE の判断で行ない、MSE が等しいときは Frame 優先とする。

### 2.3 Frame/field DCT

フレーム画像の符号化マクロブロックの予測誤差または Intra は、2 つの方法の輝度ブロック分割を指定できる。これを Frame/field DCT (DCT type) という。Coded マクロブロックに 1 bit が用意され、輝度のブロック配置を Frame DCT では MPEG-1 と同じ田字型に、Field DCT では楕形にする(図 2)。

これで、輝度にフィールド性が強いときにはフィールド型のブロック配置をとることで、符号化効率を上げることができる。色差の DCT は field 型というものは設けなかった。もし設けると、 $8 \times 4$  の DCT が必要になり、スキヤンと 2 次元 VLC に影響するからである。

Frame/field DCT のエンコーダ側の判別法は、つぎの通りである。Field DCT が用いられるのは  $Var1 \geq (Var2 + offset)$  のときで、 $offset = 4096$  (intra MB),  $0$  (inter MB)。

$$Var1 = \sum_{i=0}^{15} \sum_{j=0}^7 (X_{i,2j} - X_{i,2j+1})^2$$

$$Var2 = \sum_{i=0}^{15} \sum_{j=0}^3 ((X_{i,4j} - X_{i,4j+2})^2 + (X_{i,4j+1} - X_{i,4j+3})^2)$$

### 2.4 Alternate Scan

インターレースでは縦方向の相関が低いため、DCT 後の符号化の際の走査(スキヤン)を通常のジグザグでなく、より垂直にする、"Alternate scan" が採用され、インターレース画像のより効率的な符号化を行なうこと

が出来るようにしている(図 3)。インターレース画像ではこの Scan を使うことで SNR の向上が期待できる。Alternate scan は picture layer での切り替えである。

インターレース対応技術として、最後に Dual prime 予測と呼ぶ高級予測(インターレースの時空間関係の高度な利用をする予測)がある。これは  $M=1$  の通信用途に制限されているが MPEG-2 の予測技術の頂点を示すものである。

## 3 ハイクオリティ対応技術

MPEG-1 と比べてより、高ビットレート、高画質を求めるハイクオリティ符号化のための改良がされている。MPEG-1 では原画像に近い画質を与える領域では効率が低いとともに、そのための仕組みが基本的に不足していた。

ハイクオリティ対応技術としては、DCT 係数の符号化において DC 精度と AC 精度を向上させることができるようにした。MPEG-1 では DC 精度は 8 bit であった。これをまず、9,10,11 bit にできるようにする。

$\pm 255$  までの予測誤差を DCT すると、値は +2047 から -2048 までの 12 bit にはいる。その内、Intra DC は正のみで 8 で(丸め付きで)割って 0 から 255 の 8 bit 範囲になる。逆量子化が標準で規定され、8 をかけるだけの逆量子化である。

Intra DC 以外は run-level の 2 次元 VLC が用意されていたが、用意されていない run-level 対には escape + run + level の FLC をつかう。この量子化係数値である level は  $\pm 255$  に制限されていた。これでは、細かい量子化ステップがとれない。

Intra と Non intra で若干異なるが、 $2 * \text{量子化マトリックス値} * \text{MQQUANT} / 16$  がこの量子化ステップにあたり、高画質用途には、これを量子化なしに相当する 1 まで下げられる必要がある。この式では、量子化マトリックス値が 16 のときに  $\text{MQQUANT} = 0.5$  が量子化なしにあたる。

### 3.1 DC 係数精度

MPEG-1 では Intra DC の量子化ステップは 8 (DC 表現は 8 bit)となっていたが、それを、4, 2, 1 (9/10/11 bit)に拡張した。(ただし Main プロファイルは 10 bit まで。)

### 3.2 AC 係数精度

量子化 AC 係数 level は MPEG-1 では +/- 255 に制限されていたが、+2047 - -2048 (制限なし)とした。Escape + run + level の level が 12 bit になる。

### 3.3 非線形 MQUANT

また、非線形のテーブルを使った、非線形 MQUANT による符号化ができる。

MPEG-1 では、MQUANT は 1 - 31 の線形であったが、31 種を非線形に割り当てる Table 索引とを切り替えられるようになった(表 2)。[1,31] の制限を広げ、[0.5, 56]となっている。ただこれは高画質対応であり、普通の場合に使用すると量子化の変化の粗さのために SNR を低下させる。

表 2 非線形 MQUANT

	0	+1	+2	+3
0	禁止	0.5	1.0	1.5
4	2.0	2.5	3.0	3.5
8	4	5	6	7
12	8	9	10	11
16	12	14	16	18
20	20	22	24	26
24	28	32	36	40
28	44	48	52	56

### 3.4 Alternate VLC

もうひとつは、"Alternate VLC" という、Intra 符号化(予測誤差の符号化でなく、原画像のその画像だけからの符号化)に適した run-level 2 次元 VLC を用意して、Intra の効率的な符号化を可能にしている。高ビットレートの Intra では run が短く、level が大きい対が発生しやすい。そういう統計の変化に対応して、MPEG-1 の 113 の対について新たな VLC を構成したものである。

これは高ビットレートに限らず、Intra ではつねに使った方がよい効果をもつ。Alternate VLC は picture layer での切り替えである。

### 3.5 intra MV

また、エラー耐性を高めるための "intra MV" が用意された。Intra マクロブロックに動きベクトル MV を用意して、伝送エラーが発生したときには以前の P-picture

からの MC でエラーを隠し、それらしい絵を回復する方法である。

このためのベクトルをコンシールメントベクトルまたは Intra MV という。一つ下のスライスのマクロブロックの MV を保持しておく。

intra MV は、picture レイヤーで使用を指定する。フレームピクチャではフレーム予測、フィールドピクチャはフィールド予測と限定されている。

### 3.6 Pan-Scan

また、符号化画像の一部を動く窓として表示するパンスキャン(pan-scan)というビデオウィンドウ機能や、24 Hz - 60 Hz フィールドのための 2-3 プルダウンの仕組みも対応している。

ハイクオリティ対応技術としては最後に IDCT ミスマッチ対策がある。これについては詳しく、次項で発生原因と対策の性能比較まで論じたい。

## 4 IDCT ミスマッチ対策

標準が IDCT を使う符号化である場合、エンコーダとデコーダの間に不一致が発生することは極力避けなければならない。画像符号化標準で不一致の原因は唯一 IDCT だけであり、その精度を規定するとともにミスマッチ対策が施される。その基本的な原因は IDCT が浮動小数点計算であり、精度が問題になる一方、データが整数であることによる。

IDCT ミスマッチの主原因は  $X_{0,0}$ ,  $X_{0,4}$ ,  $X_{4,0}$ ,  $X_{4,4}$  の 4 つの DCT 係数の IDCT における係数が丁度 1/8 になることであつた。そのため、

$$X_{0,0} \pm X_{0,4} \pm X_{4,0} \pm X_{4,4}$$

が 4 の倍数であつて 8 の倍数でないときに IDCT 画素値が丁度、(整数 + 0.5) となり、標準がいかに IDCT の精度を規定してもミスマッチが起り、P-picture では蓄積されていくので問題となる。

H.261, MPEG-1 の IDCT ミスマッチ対策はすべての DCT 係数を個別に、0 に近付ける方向に奇数にするものであつた。MPEG-2 では高画質対応をする必要があり、この方法では総ての係数に操作が加わるため不十分と予想され、新たな対策が採られた。

### 4.1 IDCT ミスマッチの発生原因

$X_{k,l}$  を 2 次元 DCT 係数(整数)とし、 $w_{i,j}$  を実空間の値とすると、2 次元  $8 \times 8$  IDCT は、次のように定

義される。

$$x_{i,j} = \frac{1}{4} \sum_{k,l=0,0}^{7,7} C(k)C(l)X_{k,l} \cos\left(\frac{k(2i+1)\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{l(2j+1)\pi}{16}\right) \quad (1)$$

$$C(n) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & \text{if } (n=0) \\ 1 & \text{(else)} \end{cases}$$

これは次のように書くことができる。

$$x_{i,j} = \sum_{k,l=0,0}^{7,7} C_{i,j,k,l} X_{k,l} \quad (2)$$

$$C_{i,j,k,l} = \frac{1}{4} C(k)C(l) \cos\left(\frac{k(2i+1)\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{l(2j+1)\pi}{16}\right)$$

$k=0$  のときのみ、 $k(2i+1)$  が 0 となるので、 $C_{i,j,k,l}$  はさらに、つぎのように記述できる。

$$C_{i,j,k,l} = C_{k(2i+1)} C_{l(2j+1)} / 4 \quad (3)$$

$$C_n = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & \text{if } (n=0) \\ \cos(n\pi/16) & \text{(else)} \end{cases}$$

$C_n$  は 0 でない無理数であるが、2 次元 IDCT 計算にともなって、 $C_{i,j,k,l}$  には式 (3) のように、2 つの  $C_n$  の積が現われる。そのために例えば、 $C_{0,0,0,4} = C_0 C_4 / 4 = 1/8$  のように偶数を分母とする分数となり、 $X_{0,4} = \pm 4, \pm 12, \pm 20, \dots$  の値の時、 $x_{0,0}$  は正確に (整数 + 0.5) となる。

## 4.2 単独に発生する IDCT ミスマッチ

4 係数、 $X_{0,0}, X_{4,0}, X_{0,4}, X_{4,4}$  が画素値  $x_{i,j}$  にもたらす値は、 $C_0 = C_4 = 1/\sqrt{2}$  より、 $C_{i,j,k,l} = \pm 1/8 (k=0, 4, l=0, 4)$  である。(±の符号は  $i, j$  の値による。) そのためこれらの 4 係数は単独(1 つが非ゼロで、他の係数はすべてゼロであること)でも 4 の倍数であり 8 の倍数でないとき、すなわち  $8n+4$  ( $n = \text{整数}$ ) で表される場合に問題となる。その 4 係数以外の  $C_{i,j,k,l}$  はすべて 0 でない無理数であるため、単独では IDCT ミスマッチを引き起こさない。

## 4.3 4 係数の相互関係

4 係数は  $|C_{i,j,k,l}|$  が同じ値  $1/8$  をもつため相互関係があり、

$$x_{i,j} = (X_{0,0} \pm X_{4,0} \pm X_{0,4} \pm X_{4,4}) / 8 + \dots$$

と書くことができ、4 係数が IDCT ミスマッチを発生するかどうかは 4 係数を個別に判断することはできないことがわかる。

H.261, MPEG-1 で用いられた係数の個別奇数化は、非常に危うい統計的手法である。4 つの和を奇数にするのにそれぞれの値を奇数にした。2 つの奇数の和が  $8n+4$  になりうることは明らかである。またこれを許した "非ゼロ係数は少ない" という統計は高画質では成立しないと予想される。

実際には ± のすべての組合せは起こらず、4 種類しか発生しないが(参考文献 2)参照)、そのどれかの値が 4 の倍数で、8 の倍数でない場合に、それ以外の係数がすべて 0 のときに結果は正確に (整数 + 0.5) の値になって IDCT ミスマッチが起きる。

そこで、4 係数の和  $X_{0,0} + X_{4,0} + X_{0,4} + X_{4,4}$  を奇数に限定するような制限をいれると、上式のすべての ± の組合せの値も奇数になり、4 係数が原因の IDCT ミスマッチが防がれる。

さきに述べたように、4 係数以外は、単独で IDCT ミスマッチの原因になることはなく、むしろ 4 係数以外の単独の非ゼロ係数値は 4 係数を原因とする IDCT ミスマッチを防ぐ働きをもつ。

ただし次項で示すように 4 係数以外の 2 個以上の非ゼロ係数は IDCT ミスマッチ防御をしない場合があり、さらには IDCT ミスマッチの直接の原因となることがある。

## 4.4 2 係数一致による IDCT ミスマッチ

発生頻度は低いが無視できない現象として、2 つの係数の値が一致して IDCT を起こすことがある。この現象をここで係数のペアリングとよぶ。以下に頻度の高い例を 3 つ挙げて説明する。 $X_{1,3}$  と  $X_{3,1}$ 、 $X_{1,5}$  と  $X_{5,1}$  そして、 $X_{3,5}$  と  $-X_{5,3}$  がその例である。

( $C_{i,j,1,3} + C_{i,j,3,1}$ ) の値は  $(i,j)$  が  $(1,0)$  等の場合、正確に  $1/8$  になり、 $X_{1,3} = X_{3,1}$  が、 $8n+4$  ときに IDCT ミスマッチが現われる。

$$\begin{aligned} C_{1,0,1,3} + C_{1,0,3,1} &= (C_3 C_3 + C_9 C_1) / 4 \\ &= (C_3^2 - C_7 C_1) / 4 = 1/8 \end{aligned}$$

同じ理由で ( $C_{i,j,1,5} + C_{i,j,5,1}$ ) は  $(i,j)$  が  $(1,0)$  等で、正確に  $-1/8$  になり、 $X_{1,5} = -X_{5,1}$  が、 $8n+4$  ときに IDCT ミスマッチとなる。

$$\begin{aligned} C_{1,0,1,5} + C_{1,0,5,1} &= (C_3 C_5 + C_{15} C_1) / 4 \\ &= (C_3 C_5 - C_1^2) / 4 = -1/8 \end{aligned}$$

また、( $C_{i,j,3,5} - C_{i,j,5,3}$ ) は  $(i,j)$  が  $(3,0)$  等で、正確に  $-1/4$  となり  $X_{3,5} = -X_{5,3}$  が、偶数で 4 の倍数でない  $(4n+2)$  ときに IDCT ミスマッチとなる。

$$\begin{aligned} C_{3,0,3,5} + C_{3,0,5,3} &= (C_{21} C_5 - C_{35} C_3) / 4 \\ &= (-C_5^2 - C_3^2) / 4 = -1/4 \end{aligned}$$

2 係数の値が等しく、 $8n+4$  のときに発生する IDCT ミスマッチを起こす係数の組をペア係数と呼ぶと、ミスマッチは、つぎの 6 個の式のいずれかに関係して発生する。表 3 に 4 係数以外のペア係数を示す。2 個の添字は交換可能で、 $X_{k,l} : X_{m,n}$  とあれば、 $X_{l,k} : X_{n,m}$  もペア係数である。また、 $X_{k,l} : -X_{m,n}$  とあれば、 $X_{k,l} = -X_{m,n}$  であるときに発生することを表す。

$$\begin{aligned} C_6^2 + C_2C_6 &= 1/2, & C_2^2 - C_2C_6 &= 1/2 \\ C_7^2 + C_3C_5 &= 1/2, & C_1^2 - C_3C_5 &= 1/2 \\ C_5^2 + C_1C_7 &= 1/2, & C_3^2 - C_1C_7 &= 1/2 \end{aligned}$$

表 3. ペア係数

$X_{1,3}$	$X_{3,1}, X_{5,7}$
$X_{1,5}$	$X_{5,1}, -X_{3,7}$
$X_{3,7}$	$X_{7,3}$
$X_{5,7}$	$X_{7,5}$
$X_{1,1}$	$-X_{3,5}$
$X_{2,2}$	$\pm X_{2,6}$
$X_{3,3}$	$-X_{1,7}$
$X_{5,5}$	$X_{1,7}$
$X_{6,6}$	$\pm X_{2,6}$
$X_{7,7}$	$X_{3,5}$

表 4. 偶ペア係数

$X_{1,1}$	$X_{7,7}$
$X_{2,2}$	$X_{6,6}$
$X_{3,3}$	$X_{5,5}$
$X_{1,5}$	$X_{7,3}$
$X_{1,3}$	$-X_{7,5}$
$X_{1,7}$	$-X_{7,1}$
$X_{2,6}$	$-X_{6,2}$
$X_{3,5}$	$-X_{5,3}$

また、2 係数の値が等しく、 $4n+2$  のとき IDCT ミスマッチを起こす係数の組を偶ペア係数と呼ぶと、ミスマッチは、次の 3 個の式のいずれかに関係して発生する。4 係数間に関するものを除外したものを表 4 に示す。表 3 の場合と同じく、表 4 の 2 個の添字は交換可能である。

$$C_1^2 + C_7^2 = 1, \quad C_2^2 + C_6^2 = 1, \quad C_3^2 + C_5^2 = 1$$

### 4.5 3 係数以上の IDCT ミスマッチ

さらに 3 個以上の係数もやはり協力して IDCT ミスマッチの原因となり、その例は、 $X_{4,2} = -X_{5,3} = X_{5,5}$  や、 $X_{0,2} = -X_{1,3} = X_{1,5}$  等がある。また、4 つの係数が 2 組の正の偶ペア係数であるときは 2 つの一致した値が奇数でも IDCT ミスマッチが発生する。ただし、それらの発生頻度は低いので対策の必要性も低い。

## 5 IDCT ミスマッチの実験

実験条件:

- TM2, M=3, Frame 構造
- Frame/field 予測 と frame/field DCT

- レートコントロール: Step 3 を含む
- シーケンス(各 150 フレーム): Flower Garden, Mobile&Calendar, Bicycle, Football, Bus
- ビットレート: 4 Mb/s, 8 Mb/s, 16 Mb/s

### 5.1 IDCT ミスマッチの検出

IDCT 計算は倍精度(64 bit)演算を通して行なわれる。アルゴリズム原因の IDCT ミスマッチは次の不等式で検出される。少なくとも 1 つの IDCT 結果の画素値  $x_{i,j}$  が次の範囲にあるときミスマッチがあるブロックとする。

$$(integer + 0.5 - 10^{-10}) < x_{i,j} < (integer + 0.5 + 10^{-10})$$

この不等式は 4 Mb/s のミスマッチ対策なしの場合に、以下の不等式でも全く同じ結果をもたらすことによって正しくアルゴリズム原因のミスマッチを検出していると判断された。

$$(integer + 0.5 - 10^{-9}) < x_{i,j} < (integer + 0.5 + 10^{-9})$$

### 5.2 IDCT ミスマッチ対策

- (1) 対策なし。
- (2) DC だけの奇数化
- (3) 4 係数の個別奇数化
- (4) 全係数の個別奇数化 (従来対策)
- (5) 全係数の和を奇数にするよう DC を 1 だけ修正。
- (6) 4 係数の和を奇数にするよう DC を 1 だけ修正。
- (7) 4 係数の和に、さらに 2 つのペア係数 ( $X_{1,3} = X_{3,1}$  と  $X_{1,5} = X_{5,1}$ ) を防ぐためにつぎの比較と条件加算を和に含める。修正は DC を 1 だけ修正。

$$\begin{aligned} \text{if}(X_{1,3} == X_{3,1}) \text{ sum} &= \text{sum} + X_{1,3} \\ \text{if}(X_{1,5} == X_{5,1}) \text{ sum} &= \text{sum} + X_{1,5} \end{aligned}$$

### 5.3 実験結果

各シーケンス (150 フレーム) についてのミスマッチが検出されたブロック数を表 5 に示す。6 各フレームは  $44 \times 30 = 1320$  マクロブロックあり、6 ブロックが 1 マクロブロックであるため最大、 $150 \times 1320 \times 6$  ブロックあるが、その大半は非符号化ブロックであるため、これに対する比が発生確率ではない。) )

表 5. IDCT ミスマッチブロック数

表 5.a (4 Mb/s)

Methods	FG	MC	BC	FT	BS
(1)	2276	1516	6283	6957	4747
(2)	860	848	1481	687	885
(3)	361	298	620	1505	904
(4)	343	256	651	1507	851
(5)	4	8	2	2	4
(6)	1	11	1	1	2
(7)	0	0	0	0	0

表 5.b (8 Mb/s)

Methods	FG	MC	BC	FT	BS
(1)	6888	11447	9980	19835	10519
(2)	705	695	646	2478	1894
(3)	876	699	1147	2905	2206
(4)	914	719	1197	2963	2189
(5)	1	9	4	10	23
(6)	4	19	3	8	19
(7)	0	0	0	0	0

表 5.c (16 Mb/s)

Methods	FG	MC	BC	FT	BS
(1)	2975	3086	7359	2847	2875
(2)	1293	1785	1007	1817	2178
(3)	1311	1845	1174	1867	2060
(4)	1331	1836	1207	1848	2053
(5)	17	19	6	29	30
(6)	10	17	5	20	19
(7)	0	0	0	1	1

表 5 から概略読み取れることは次の通りである。

(3)と(4)、(5)と(6)はほとんど同程度の結果を与えている。(5)と(6)は(3)と(4)よりミスマッチ頻度を数十分の1とする優れた対策である。(7)はさらに、1桁ほどミスマッチ頻度が低い。

## 5.4 議論

実験結果から結論できる事として以下の事が挙げられる。

(5),(6)と(7)はブロックで最大1しか係数値を修正しない方法であり、そのMSE  $\leq 1/64$  である。

(5)と(6)は単純で効果的なIDCTミスマッチ対策であるが、いずれの方法が単純であるかはデータ処理のアーキテクチャに依存する。つまり、(5)の方法は総ての係数が逐次的に処理されるときは単純であり、1bitのレジスターと排他的論理和のみで実現できる。ま

た、(6)は総ての係数が並列的に処理される場合には単純であり、3つの排他的論理和で実現できる。

(6)は問題の本質に合致した対策であり、より性能が高いが複雑な(7)に拡張できる。

ミスマッチが発生しない同一のIDCTの場合、到達できる最大の輝度SNRを表6に示す。これは量子化なしの係数の完全再現の場合である。ミスマッチ対策はIDCTに掛ける前の係数の修正であるから、その影響をSNRで示すことができる。

方法(4)は最大SNRを約7-8dB下げている。方法(5)、(6)は最大SNRを若干下げる(-0.7dB)だけである。

表 6. 各対策の最大 SNR

Methods	FG	MC	FT
(1)No Protection	58.92	58.91	58.92
(4)All coeff odd	51.32	50.62	51.50
(5)sum of all	58.23	58.21	58.21
(6)sum of 4	58.23	58.23	58.21

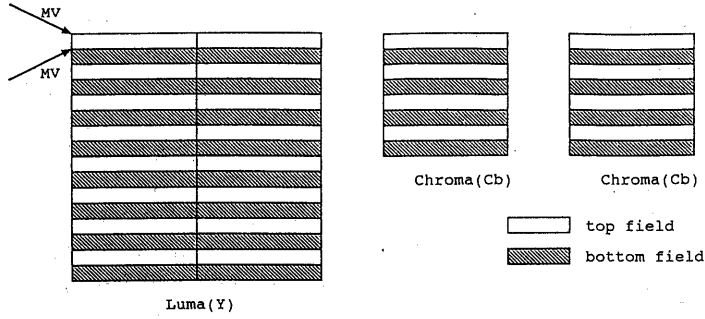
以上、実験は、アルゴリズムを原因とするIDCTミスマッチの発生頻度から対策を評価した。MPEGで選択されたIDCTミスマッチ対策は(5)に近いもので、修正される係数をDCでなく、 $X_{7,7}$ とするものである。

”ブロックのすべての係数の和を奇数にするように、それが偶数のとき、 $[-2047, -2048]$ のクリッピングの後に、64番目の係数の2の補数表現での最下位ビットを反転する。”

MPEG-2のIDCTミスマッチ対策は全係数の和を奇数にするものであるが4係数の和を奇数にするこの代用である。4.3で挙げた、”それ以外の係数がすべて0のときに”には4係数の和は全係数の和と一致する。

### 参考文献

- 1) INFORMATION TECHNOLOGY -  
GENERIC CODING OF MOVING PICTURES AND ASSOCIATED AUDIO  
Recommendation H.262  
ISO/IEC 13818-2  
Draft International Standard (25 March 1994)
- 2) Protection from IDCT Mismatch  
Yasuo Katayama, (GCT) (MPEG93/283)



Field prediction in frame picture  
(Two MVs for two fields in a Macroblock)

図 1. Frame Picture の Field 予測

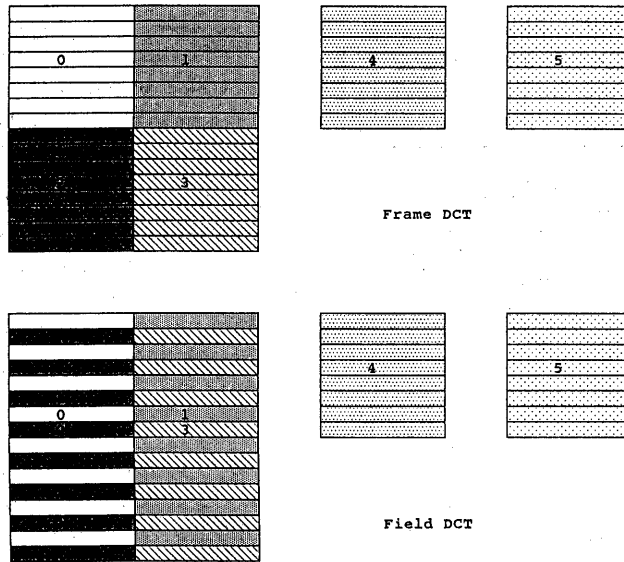


図 2. Frame/Field DCT(DCT type) の 2 種類の輝度ブロック配置

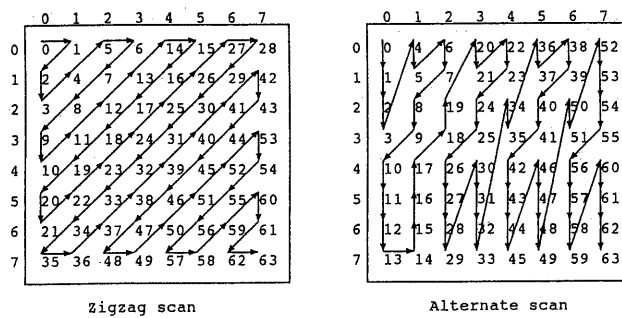


図 3. Zigzag Scan と Alternate Scan 順