

# DCT係数を操作するMPEG動画像電子透かし方式における 平行移動耐性解析

## Analysis of Pixel/Line Shift Effects on MPEG Video Watermarking

明堂 絵美† 高木 幸一† 酒澤 茂之† 滝嶋 康弘†  
Emi Myodo Koichi Takagi Shigeyuki Sakazawa Yasuhiro Takishima

### 1. まえがき

筆者らは以前、MPEG等の圧縮動画像に対し高速に検出が可能な電子透かし方式を提案した[1]。同方式では画像内の特定DCT係数に埋め込まれた電子透かしを圧縮動画像のDCT係数から直接検出するため、高速な検出を可能としている。一方、電子透かしの埋め込みは当該係数の基底信号を定数倍した値を加算することにより画素領域でも行うことができる。ところが、画素領域に電子透かしの埋め込み、平行移動した画像に対しMPEGエンコードを行うと、DCT変換後に特定DCT係数に透かしが集中するように埋め込んだ透かし信号のエネルギーが周囲のDCT係数に拡散してしまう。拡散した透かし信号はそれぞれが小さな値となるため、量子化により消滅してしまう可能性が高く、それをデコードし、平行移動を戻し、DCT変換を施しても透かし信号が検出できなくなる可能性がある。そこで本稿では、特定DCT係数に埋め込まれた電子透かし信号が平行移動と量子化によりどの程度残存するかについて解析する。

### 2. 動画像電子透かし方式における画素ずれ耐性

#### 2.1 埋め込み・検出法

本節では[1]の方式について概説する。なお、その前提として、本稿ではインターレース画像を対象とし、マクロブロック内のトップフィールドに対して埋め込みを行うこととする。また動画像圧縮はMPEG-2を用いることとする。

まず、埋め込みを行う前に埋め込みを行うマクロブロック位置を予めN箇所決めておく(Nは埋め込みビット数に相当)。これを埋め込みテンプレートと呼ぶ。この時、埋め込みを行うマクロブロック位置が隣接しないようにする。また、連続するフレームで同じ位置に埋め込みを行うと透かし信号が目立つため、複数の埋め込みテンプレートを用意し、隣接フレームでは異なる埋め込み位置となるようにフレームごとに埋め込みテンプレートを切り替えた上で埋め込みを行う。

埋め込みを行うマクロブロックには4つのサブブロックSB0,SB1,SB2,SB3があるが、前提で述べたとおり、透かし情報として'0'を埋め込む場合には左上サブブロックSB0の(1,1)DCT係数(以下(1,1)係数と書く)の絶対値をnだけ増加させる。一方、'1'を埋め込む場合は、右上のサブブロックSB1に対し同様の処理を行う。本稿では埋め込みを原画像に対して行うため、(1,1)係数の基底にnを乗じた値を原画の画素値に加算する。

検出側では、埋め込みの行われているマクロブロック中のサブブロックSB0とSB1のそれぞれの(1,1)DCT係数sb0, sb1の絶対値を比較する。複数のフレームを通じて、SB0とSB1の(1,1)係数絶対値の総和 $T_{SB0}=\sum|sb0|$ ,  $T_{SB1}=\sum|sb1|$ をとり、 $T_{SB0}-T_{SB1}>0$ ならば'0'が、 $T_{SB1}-T_{SB0}>0$ ならば'1'が埋め込まれていると判定する。

### 2.2 平行移動への耐性

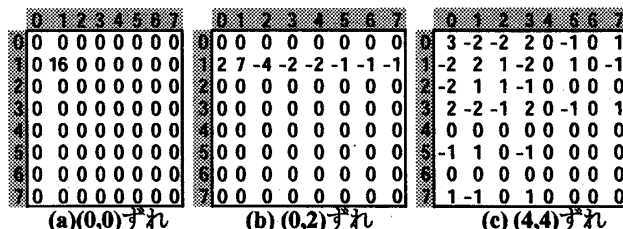
本節では、前節で述べた電子透かし埋め込みを行った直後に平行移動が適用される場合を想定する。また、透かし埋め込み時から画像符号化の間どのくらい平行移動したのかは何らかの手段により取得できるものとする。

つまり、埋め込み・検出のフローは以下ようになる。平行移動が起こらない場合は下記フローの処理2,4,5,6が不要となる。

[フロー]  
<埋め込み>  
1.画素領域に埋め込み→2.平行移動発生→3.MPEG-2エンコード(DCT変換, 量子化)  
<検出>  
4.MPEG-2デコード(逆量子化, 逆DCT変換)→5.平行移動を元に戻す→6.DCT変換→7.(1,1)係数より検出。

このフローにおいて、MPEG-2エンコードは画像の平行移動後に適用されているため、(1,1)係数に電子透かしとして埋め込まれた成分は別のDCT係数に拡散する。例として、'1'を埋め込む場合を想定し、平行移動が(垂直, 水平)=(0,0), (0,2), (4,4)

の場合、SB1の8x8DCT変換適用後の透かし成分がDCT係数上にどのように拡散するかを図1(a)(b)(c)にそれぞれ示す。同図において、埋め込み値はn=16を使用している。



【図1】平行移動量と(1,1)DCT係数拡散の関係

図1(a)の様にずれがない場合、埋め込んだ透かしが(1,1)DCT係数のみに表れる。平行移動が(0,x)もしくは(y,0) ( $1 \leq x, y \leq 8$ )の場合、図1(b)のように一行、または一列のみに透かし信号は拡散する。一方、平行移動が垂直、水平両方向に適用される場合は、図1(c)のようにDCT係数全体に透かし信号が拡散する。

ところで、処理3において、仮に量子化処理が適用されなければ、平行移動したとしても、それを補償することにより(1,1)係数のエネルギーはそのまま保存される。すなわち、図1(b)(c)の画素ずれによりエネルギーが拡散したとしても、処理4から6により画素ずれを補償し再度当該ブロックにDCT変換を適用することにより、埋め込み値nが(1,1)係数にそのまま表れる。

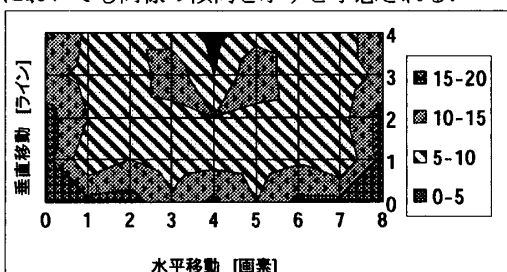
しかし、実際には処理3において量子化処理が適用されるため、(1,1)係数の透かし信号値は減少する。特に図1(c)のように、透かし信号が広範囲に拡散する場合、量子化によりほとんどの信号値が0になってしまうため、画像平行

† (株) KDDI 研究所 マルチメディア通信グループ

移動を補償することによりそのエネルギーを再度(1,1)係数に集約したとしても、係数の値が充分ではないため、検出が行えなくなるという問題が発生する。

そこで、処理1において埋め込んだ透かし信号  $n=16$  が処理2,3を介すことにより処理7でどの程度減少するかを計算する。ここでは数の多いP,Bマクロブロックを想定する。まず想定画像の全ての画素を0とする。つぎにDCT(1,1)基底信号を16倍した値を、埋め込むサブブロックSB1の画素にのみ加算する。埋め込みの行われた想定画像を水平に0~8画素、垂直に0~8ライン平行移動し、それぞれの場合で前節のフローにより検出を行う。量子化は  $Sq=8 \times S/(qs \times Q)$

により行われると仮定する。ここで、SはDCT係数、qsは量子化スケール、Qは量子化係数(ここでは16)であり、1ビット、1フレームのみの埋め込みを行うと仮定する。例えば透かし  $n=16$ 、 $qs=3$  の場合、平行移動量と最終的に検出される透かし信号 ( $T_{SB1}-T_{SB0}$ ) の関係は図2のようになる。図2では(4,4)に近づくにつれてエネルギーが減少している。nやqs値を変化させても同様の傾向となり、実際の画像においても同様の傾向を示すと予想される。



【図2】平行移動量と一つのマクロブロックの透かしエネルギー(理論値)の関係

### 3. 実験

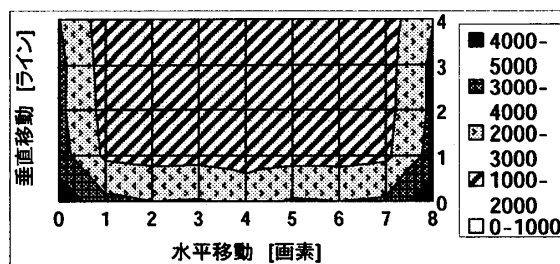
前節の解析結果の正当性を確認するため、実際に前節のフローを用いて電子透かしの埋め込み・検出を行った。SDサイズの素材3種類各10秒(300フレーム)に対し、電子透かしの埋め込んだ後、トップフィールド内で垂直0~±4、水平0~±8画素の範囲で平行移動を適用し、エンコードビットレート4,6,10MbpsでMPEG-2符号化を行った。以後前節フロー4~7に従い検出を行った。

はじめに、6Mbpsの場合に300フレームの総和から検出される透かしエネルギーの実測値と平行移動量(垂直0~±4、水平0~±8画素ずれ)の関係を図3に示す。同図より、図2同様、平行移動量が(4,4)に近づくに従いエネルギーが減少することがわかる。また、水平方向4画素移動を軸にほぼ線対称となっているため、平行移動量(0~4, 0~4)に対して結果を示せば他の結果は類推できることもわかる。

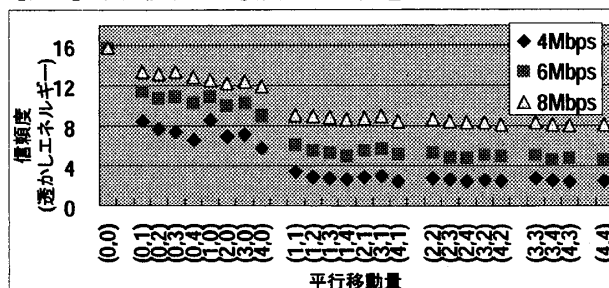
そこで、平行移動量(0~4, 0~4)の場合、前節フローにより検出される透かしエネルギー値を図4に示す。縦軸は300フレーム(10秒間)のsb0, sb1の絶対値の総和の差  $T_{SB1}-T_{SB0}$ 、つまり10秒間の総透かしエネルギーである。ただし、N=80ビットの総透かしエネルギーの平均を取っている。これは、透かしの残存度を意味することから信頼度と呼ぶこととする。同図から、平行移動が(0,x)もしくは(y,0) ( $1 \leq x, y \leq 8$ )の場合、透かし信号はあまり減少しない。これは前節の想定通りDCT係数の拡散が1行もしくは1列のみに留まるからだと考えられる。一方、平行移動が垂

直、水平両方向に適用される場合、透かし信号が大幅に減少するが、これも前節の想定通りDCT係数の拡散が大きく、量子化により透かしが消えやすいためであると考えられる。また、どちらか一方でも平行移動量が4となると、エネルギー減少が大きくなることも分かる。また、エンコードレートを下げるにつれて信頼度が下がることも分かる。これはビットレートが低くなるほど、量子化スケール値が大きくなり、拡散されたエネルギーが量子化により0になる可能性が高くなるためである。事実、画素ずれなしの残存透かしエネルギーと比較し、平行移動量(4,4)の場合の信頼度は10Mbpsエンコード時は約55%に、6Mbps時は約30%に、4Mbpsエンコード時は約15%となっている。

ところで、ここで求められた信頼度はN=80ビットの平均から求めている。平均値で図4の正数の信頼度があっても、個々のビットの信頼度にはばらつきがあるため、信頼度が著しく低く負の数となり、検出を誤るビットもあると考えられる。そこで、実際の検出を行った結果を確認したところ、4Mbps、平行移動量(-1,-4)で全80ビット中1ビットだけ誤りを生じたのみで、他は正しく検出できた。この結果から4Mbps以上のエンコードビットレートならば、信頼度は低くなるが、平行移動量に関わらず、量子化により透かしが検出できなくなる恐れは少ないと言える。



【図3】平行移動量と検出された総透かしエネルギー



【図4】ビットレートによる(y,x)画素ずらし時の信頼度

### 4. まとめ

画像の平行移動、量子化における埋め込んだDCT係数の変化を分析し、同方式の当該操作に対する耐性を評価した。画像の平行移動後に4Mbpsエンコードを行う場合、量子化によって透かし信号のエネルギーが最大15%に減少するが、平行移動分を検出直前に補償することにより、正しく検出できることを確認した。この結果から、4Mbps以上のエンコードビットレートならば、信頼度は低くなるが平行移動の量に関わらず透かし信号が残存し、検出できることを確認した。

#### 参考文献

- [1] S. Sakazawa, Y. Takishima, and M. Wada, "A Watermark Method Retrievable MPEG Compressed Stream", IEICE Trans. Vol.E85-A, No.11, pp.2489-2497, 2002.