

## 埋込選択性を考慮した動画電子透かしの実装と評価

藤原 士朗<sup>†</sup>      中沢 実<sup>†</sup>      服部 進実<sup>†</sup>

<sup>†</sup>金沢工業大学 工学研究科 情報工学専攻

〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1

Tel: 076-248-1100, E-mail: {shirou,nakazawa,hattori}@infor.kanazawa-it.ac.jp

近年動画コンテンツを対象とした電子透かしの研究が盛んに行われている。しかし多くの動画電子透かしでは対象動画のフォーマットが固定されているのが現状で、コンテンツ流通での実用を想定すると埋込方式は自由度が高いことが望まれる。そこで本論文では静止画への電子透かし方式を応用し、フォーマット非依存の動画電子透かしを実現する。しかしながらその反作用として動画フォーマットの特性に依存した埋込が行い難く、抽出率の低下が予想される。そこで埋込方式に適性の高い画像特性を調査し、動画の各フレームの画像中から埋込箇所を選択する。同時に誤り訂正符号を用いた情報復元によって、全体としての抽出率向上を図るシステムを構築した。

## An Implementation and Its Evaluation of the Video Watermarking with Embedding Selectivity

Shirou Fujiwara<sup>†</sup>      Minoru Nakazawa<sup>†</sup>      Shimmi Hattori<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Department of Information Engineering, Kanazawa Institute of Technology

7-1 Ogigaoka, Nonoichi, Ishikawagun, Ishikawa 921-8501, Japan.

Tel: 076-248-1100, E-mail: {shirou,nakazawa,hattori}@infor.kanazawa-it.ac.jp

Research of digital watermarking for video has been done briskly in recent years. However, the format of the digital video is fixed in conventional digital watermarking. As for the embedding method, it is hoped that degree of freedom is high when practical use in the contents distribution is assumed.

In this paper, the digital watermarking method to the still picture is applied, and a video watermarking with independence of the format has been realized. However, the embedding method using the characteristic of the video format is difficult to realize without decrease at the extraction rate. Therefore, the embedding method and the location with high aptitude to the image characteristic are selected from the image inside of each frame of video. At the same time, the system which improves the extraction rate as the whole is constructed by the information restoration which uses the error correcting code.

## 1. はじめに

近年、ブロードバンドなどのネットワーク環境の整備が進み、マルチメディアコンテンツの流通が増加している。しかし、このようなマルチメディアコンテンツはデジタルデータであるため、劣化なく何度でも複製することが可能であり、データの不正譲渡などの著作権問題をもたらしている。電子透かし技術は著作権問題に対して有効な解決手段になりうるとして、盛んに研究が行われている。動画への電子透かしとして MPEG フォーマットの動きベクトルを利用した方式[1][2]、静止画への埋込方法を応用し 1 ピクチャへ透かしを埋め込む方式[3][4]などがある。しかしながらこれらの動画電子透かしでは MPEG フォーマットに対象を絞っており、多種多様なフォーマットが存在する動画コンテンツ流通を想定すると、フォーマットに依存しにくいピクチャ層に埋め込む汎用的に利用可能な動画電子透かしが適していると考えられる。しかしフォーマットを限定しないピクチャ層への埋込は、動画圧縮による劣化の影響を受けやすく、埋込情報の欠損が大きな課題となる。このような圧縮による欠損への対応策として、誤り訂正符号を用いて欠損情報を復号するもの[5]や、動画特性に着目し電子透かしへの影響を調査したもの[6]がある。

そこで本論文では動画フォーマットに依存しない動画電子透かしを実現するため、動画を連続静止画とみなし、それぞれの静止画に対してビットプレーン、及び DCT 係数を用いて電子透かしを埋め込む。同時に連続静止画から画質特性を抽出し、その画質特性に合わせた電子透かしの方式、及び埋込フレームを選択することで検出率の向上を測る。また埋込情報に誤り訂正符号を付加し、抽出・復号時に検出率を回復させ、100%の検出率を目指す。

## 2. システム概要

本論文において実装したシステムは3つのプロセスで構成されている。

埋込ルール生成プロセス

画質特性より埋め込み箇所を決定する

透かし埋込・抽出プロセス

指定箇所に透かしを埋め込む・抽出する

欠損複合プロセス

連続情報から復号を行う

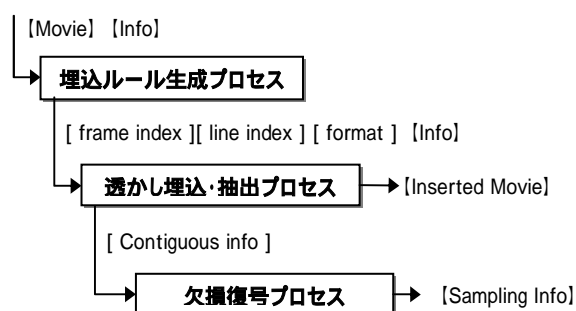


fig 1 システム概要図

本システムでの各プロセスの結合度は非常に低く、新しい透かし方式の実装を容易に実行でき、また埋込ルール生成プロセスでは、抽出・分析パラメータの追加のみで新しい透かし方式に対応することが可能である。

次章では、埋込ルール生成プロセスへの要件に影響を与える透かし埋込・抽出プロセスについて説明する。

## 3. 透かし埋込・抽出プロセス

本システムではビットプレーンによる画素置換方式と DCT 係数操作により実現する周波数領域変換方式の二つを実装している。以降、それぞれの埋込方式について解説する。

### 3.1. ビットプレーン埋込

ビットプレーンとは、画像の各 RGB 画素が  $n$  ビットの値を持つ多値画像の場合、RGB のいずれかをビット毎に分解して取り出し、 $n$  枚の 2 値画像の組とする考え方である。ビットプレーン埋込方式では、画像から求めたビットプレーン  $P$  を作成し、 $N \times N$  の大きさの重みマトリクス  $W$  と秘密鍵マトリクス  $S$  を用いて透かしを埋め込む。埋込容量は  $N \times N$  のサイズによって以下のように求められる。

$$r[\text{bit}] = \text{floor}(\log_2(N \times N + 1)) \dots (1)$$

floor : 引数に最も近い 2 つの整数の内小さい数を返す

重みマトリクスの各要素は  $1 \sim (2^r - 1)$  の整数値で構成され、各数値が必ず一度は出現するよう設計する。

$N \times N$  のビットプレーンが示す値は、ビットプレーンと重みマトリックスの内積値を埋込容量  $r$  で割った余りとなる。

$$b = \text{sum}(\text{PRODUCT}(\text{XOR}(B, S), W)) \% 2^r \quad \dots(2)$$

XOR()は排他的論理和，PRODUCT()は直積  
sum()は総和を示す関数

しかしながら、1画素単位のビットプレーン方式ではJPEG圧縮、及びMPEGなどの動画圧縮によってデータが多量に欠損してしまうことが検証実験により明らかになった。そこで $8 \times 8$ のブロックを一つのビットとし処理を行うブロック単位のビットプレーン方式を考案した。

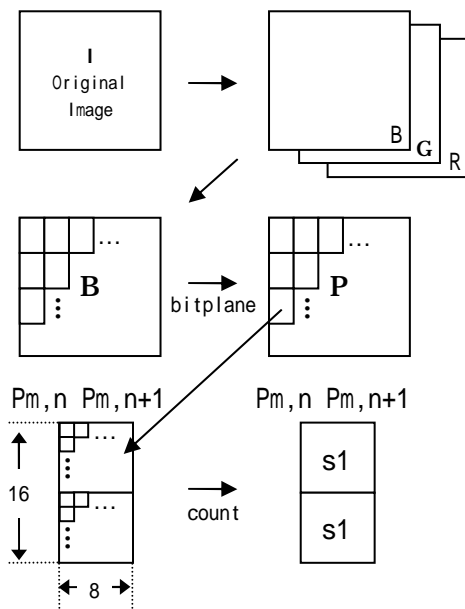


fig 2 . ブロック単位のビットプレーン方式

水平方向と垂直方向のブロック数をそれぞれ  $M, N (M=X/8, N=Y/8)$  とし、 $8 \times 8$  画素の各ブロックを  $P_{m,n}(i, j)$  で表す。ここで  $m, n (m=0, 1, \dots, M-1, n=0, 1, \dots, N-1)$  は原画像中でのブロックの開始位置を示し、 $i, j (1, 2, \dots, 7)$  は各ブロック内での座標を表す。 $P_{m,n}$  を一つの画素としてみるため、 $P_{m,n}(i, j)$  のそれぞれのビットプレーン情報を統合し、 $P_{m,n}$  の値とする。 $B_{m,n}(i, j)$  が 1 の個数を  $s1$  とすると、

$$\begin{aligned} s1 > 32 & \quad P_{m,n} = 1 \\ s1 \leq 32 & \quad P_{m,n} = 0 \end{aligned} \quad \dots(3)$$

この  $P_{m,n}$  に対して、ブロック単位のビットプレーン方式を用いて  $1 \times 2$  ブロック ( $8 \times 16$ ) に対し 1bit を埋め込む。

### 3.2. DCT 係数を用いた埋込

本研究では 256 階調グレースケール画像を対象とした「DCT を利用した静止画像の電子透かし法についての検討」[7] を参考に、カラー画像へ対応できるように改良を加えつつ実装を行い、動画への適性を検証した。

透かし埋込対象画像  $I (X \times Y$  画素、24 ビットカラー画像) を式(4)によって RGB 信号を輝度信号 ( $Y$  信号) に変換し、 $8 \times 8$  からなるブロックに分割する。

$$Y = 0.2989 \times R + 0.5866 \times G + 0.1145 \times B \quad \dots(4)$$

水平方向と垂直方向のブロック数をそれぞれ  $M, N (M=X/8, N=Y/8)$  とし、各ブロックを  $Y_{m,n}$  で表す。ここで  $m, n (m=0, 1, \dots, M-1, n=0, 1, \dots, N-1)$  は原画像中でのブロックの開始座標を示す。そして各ブロック  $Y_{m,n}$  に対し DCT を施し、その結果 DCT 係数  $C_{m,n}(i, j) (0, 1, \dots, 7)$  が求められる。

透かし情報の値によって埋込対象となるブロックの  $C_{m,n}(i, j)$  の値を指定される埋込箇所数だけ変更し、透かし情報を埋め込む。ここで、各ブロックに埋め込む透かし情報を  $W(m, n) (W(m, n) \in \{0, 1\})$  とする。

$$W(m, n) = 0$$

$$\begin{aligned} |C_{m,n}(i, j)| < T: \\ C'_{m,n}(i, j) &= \text{sign}(C_{m,n}(i, j)) \times T \quad \dots(5) \\ |C_{m,n}(i, j)| \geq T: \\ C'_{m,n}(i, j) &= C_{m,n}(i, j) \quad \dots(6) \end{aligned}$$

sign(v)...v の符号を返す

$$W(m, n) = 1$$

$$\begin{aligned} |C_{m,n}(i, j)| > T: \\ C'_{m,n}(i, j) &= C_{m,n}(i, j) \bmod T \quad \dots(7) \\ |C_{m,n}(i, j)| \leq T: \\ C'_{m,n}(i, j) &= C_{m,n}(i, j) \quad \dots(8) \end{aligned}$$

mod は剰余計算

抽出方法は、抽出対象画像 I を輝度信号 Y に変換し DCT 処理を行う。その後、埋込時に利用した埋込箇所数から DCT ブロック内の係数を抽出し、その値と耐性強度 T を比較し  $-T < C_{m,n}(i,j)$  ,  $T > C_{m,n}(i,j)$  であれば  $W(m,n) = 0$  ,  $-T < C_{m,n}(i,j) < T$  であれば  $W(m,n)$  となる。但し、埋込箇所数が 2 以上の場合は複数抽出された値から多数決判定を行い、 $W(m,n)$  を決定する。

#### 4. 埋込ルール生成プロセス

本プロセスでは 3 章で述べた 2 つの透かし方式について、その動画全体の画質特性から使用する方式を決定し、さらにその埋め込み方式に適した埋込箇所をパラメータとして抽出した画質特性によって選択する。また次節にて述べる誤り訂正符号を用いた復号時に必要となるエラー箇所の散在を実現する。

##### 4.1. パラメータ抽出

本論文では以下の 3 つのパラメータを使用する。

###### 複雑度

複雑度とは画像中の輪郭線の複雑さを数値化したもの [8] である。この値が高いほど画像が複雑であることを示し、以下の式によって表される。

$$= K / 2 \times 2^m (2^m - 1) \quad 0 < m < 1 \dots (9)$$

K は境界線の長さであり、 $2^m \times 2^m$  画素の 2 値化画像において、近傍の定義を 4 連結とする場合の色の変わり目を縦方向と横方向で足し合わせたものである。例えば白画素で囲まれた孤立した 1 個の黒がその境界線は 4 となる。

###### 色数

色数とはあるブロック中に含まれる色の数のことを示す。色数は人工的画像では比較的色彩数は少量であり、非人工的画像では多くの色数を持つ。概ね複雑度と同じ傾向を示すが、色と色の判別は 2 値化に比べ詳細に実行されるため、色数は複雑度よりもより細かく画像を見極めることができる。

###### 色合い

色合いとは、それぞれの色について赤緑青の強さによって色の強さを定義し、その強さがどのように変化しているかを表すものである。 [9]

#### 4.2. パラメータへの重み付け

4.1 節の 3 つのパラメータと各透かし方式に適した埋込箇所の関連性を用いて、各パラメータに重みを付加する。

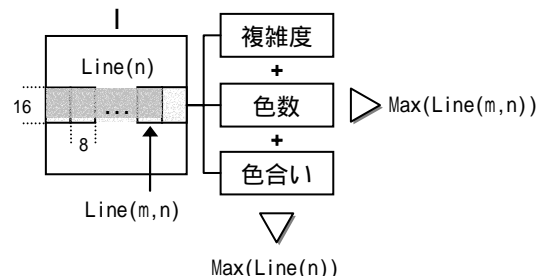


fig 3 埋込箇所選択アルゴリズム

$n, m$  の増加とともに  $x, y$  座標は各々 8, 16 づつ増加することになる

##### ビットプレーンによる埋込の重みの決定

ビットプレーン埋込では検証実験によって複雑度 = 低、色数 = 少、色合い = 黄色の特性を持つ画像に対する埋込が最も目立ち難いという結果を得た。この関連性に従い重みを設定する。なお重み値の計算は  $Line(m, n) (8 \times 16)$  ごとに行う。

###### 複雑度

複雑度 0.2 ごとに重みを設定

複雑度	0	~0.2	~0.4	~0.6	~1.0
重み	4	3	2	1	0

###### 色数

色数 25 ごとに重みを設定

色数	~25	~50	~75	~100	100~
重み	4	3	2	1	0

###### 色合い

色番号により重みを設定

色番	0	1	2	3	4	5	6	7
重み	0	1	4	3	4	2	1	0

色番	8	9	10	11	12	13	14
重み	0	2	4	3	3	2	1

##### DCT による埋込の重みの決定

複雑度 = 高、色数 = 多に従い重みを設定する。重み計算は  $Line(m, n)$  ごとに行う。

## 複雑度

複雑度 0.2 ごとに重みを設定

複雑度	0	~0.2	~0.4	~0.6	~1.0
重み	0	1	2	3	4

## 色数

色数 25 ごとに重みを設定

色数	~25	~50	~75	~100	100~
重み	0	1	2	3	4

それぞれのパラメータの重みを Line(n)ごとに集計し、重みの合計が最大値となる Line(n)を埋め込みに適した箇所と判断し、埋込ルールとして出力する。また Line(n)中の各 Line(m,n)における最大の Line(m,n)の m を Line(n)のパターン番号と呼ぶ。

### 4.3. 埋込情報の割当

埋込情報の分割容量は、Line(n)の横幅と電子透かし埋込方式によって決定される。

ビットプレーン方式では  $8 \times 16$  に 1bit、DCT 方式では  $8 \times 8$  に 1bit 埋込可能であり、Line(n)をこの単位ブロックで除算した値  $k$  が最大埋込容量となる。ただし、後述の欠損複合プロセスにおいて誤り訂正符号を付加するため、生成された送信符号が一つの塊として抽出可能であることが求められる。そのため、各 Line(n)の埋込容量が送信符号のビット数  $c$  の倍数にならなければならない。よって実質的最大埋込容量は  $k \geq c * n$  の範囲内での最大値  $c * n$  となる。

埋込情報に誤り訂正符号の符号化率を掛け合わせたビットサイズ  $s$  を  $c * n$  で除算した値が、分割情報のインデックス数  $i$  になり、動画のフレーム数  $f$  を  $i$  で除算したものが各分割情報の繰り返し回数  $t$  となる。分割された  $i$  個の情報を 4.2 節で求めたパターン  $m$  に対し、各パターンへの割当個数が  $t$  に近づくよう異なるパターンに均等に配分することで、情報欠損の箇所を散在させる。

## 5. 欠損復号プロセス

### 5.1. 誤り訂正符号

符号長  $n$  の符号後  $W=(W_0, W_1, \dots, W_{n-1})$  を考えるとき、 $W_0$  から  $W_{n-1}$  に対応して、次のように多項式を対応させる。

$$W(X) = W_0 + W_1X + W_2X^2 + \dots + W_{n-1}X^{n-1} \quad (10)$$

例えば  $W = (1001010)$  ならば、 $W(X) = 1 + X_3 + X_5$  となる。この符号後  $W$  に対応する  $W(X)$  を符号多項式と呼ぶ。

一般的な誤り訂正符号では、情報ビット  $I(X)$  に誤り訂正ビット  $R(X)$  を付け加えて  $I(X) + R(X)$  として誤り訂正可能な送信信号を発生させる。ただし、付加する  $R(X)$  は生成多項式  $G(X)$  符号で割り切れるものを  $I(X)$  ごとに計算する。受信側では、送信されてきた  $I(X)R(X)$  を生成多項式  $G(X)$  で割算し、その計算結果によって誤りを検出する。

- (A) 受信符号が  $G(X)$  で割り切れた 受信
- (B) 受信符号が  $G(X)$  で割り切れない 受信 ×
- (C) 割算した時の余りの符号から誤りビットの位置を訂正

ここで、 $I(X)$  を  $G(X)$  で割算したときの余りを  $Q(X)$  とすると、

$$I(X) = Q(X) \times G(X) + R(X) \quad \dots (11)$$

となる。この両辺に  $R(X)$  を加えると、

$$I(X) + R(X) = Q(X) \times G(X) + R(X) + R(X) \quad \dots (12)$$

+ は排他的論理和であるので、 $R(X) + R(X) = 0$  となるので、(12)式は

$$I(X) + R(X) = Q(X) \times G(X) \quad \dots (13)$$

となる。これを分数形式に書き直すと、

$$\frac{I(X) + R(X)}{G(X)} = Q(X) \quad \dots (14)$$

(14)式は、 $I(X)$  に  $R(X)$  を加えると、 $G(X)$  で割り切れるようになることを示している。つまり、 $I(X)$  を生成多項式  $G(X)$  を用いて割算し、その余り  $R(X)$  を  $I(X)$  に訂正ビットとして付け加えれば、 $G(X)$  で割り切れる送信信号を生成することができる。

以上のアルゴリズムを利用して、情報符号と誤り符号の組み合わせを求める。今回のシステムでは生成多項式  $Q(X) = X^3 + X + 1$  を使用して、ハミング距離が 3 になるよう設計された 1bit 誤り訂正可能なハミング (7,4) 符号を作成した。このハミング符号により、埋め込んだ元データを参照することなく、

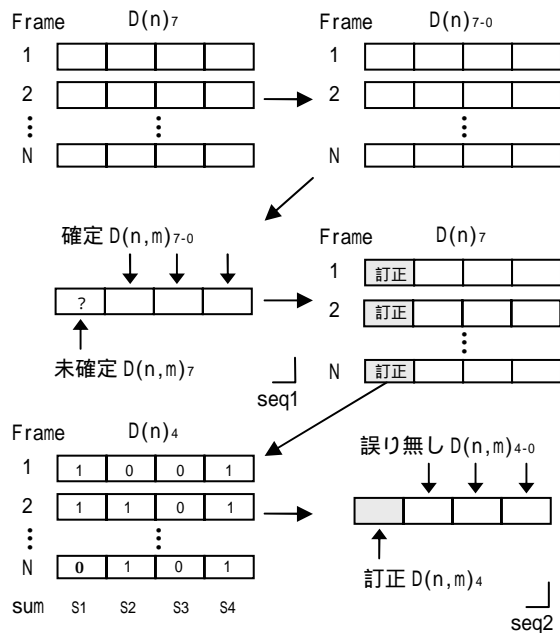


fig4. 欠損復号アルゴリズム

抽出された 7bit ごとのデータ (以下  $D_7$ ) についての成否を検証することが可能となる。

## 5.2. 重ね合わせ復号

はじめに、抽出された連続データ  $D(7 \times N \text{bit})$  から 7bit ごとのデータ  $D_7$  について誤り訂正符号による検証を行う。続いて各  $D_7$  を生成多項式  $Q(X)$  で除算し、余りが 0 となる  $D_{7-0}$  を求める。但し、ハミング (7,4) 符号のハミング距離は 3 であるため、3bit 以上のビット誤りが発生すると誤認識をしてしまう可能性がある。そこで、情報インデックスごとの  $D_{7-0}$  を多数決判定し、誤認識の低減を狙う。

透かし欠損率が低く、かつ埋込箇所選択アルゴリズムによる欠損箇所分散化の効果が良好であれば、 $D_{7-0}$  を結合する第一シーケンスにおいてデータ復号は完了する。しかしながらある  $D_7$  において  $D_{7-0}$  が存在しない場合が考えられる。そこで、第一シーケンスにおいて完了しなかった  $D_7$  について、動画中に複数個埋込まれている該当  $D_7$  の情報すべてに対し、ハミング符号による誤り訂正を施す。その後、複数個の  $D_7$  から多数決により、確からしいデータを求めることで復号を行う。これが第二シーケンスとなる。欠損復号プロセスではこの二つのシーケンスにより、動画圧縮によって欠損が発生したデータを復号する。

## 6. 実験結果

### 6.1. 実験条件

実験サンプルとなる動画は 320x240 24Bit DivX 5.x 30.00fps 1800frame のもの 4 種類を対象とした。mov1 は人物の映像を中心としたもの、mov2 は自然風景中心、mov3,4 はアニメ系の動画である。実装環境として DirectX8.0 に付属する DirectShow アーキテクチャを用い、フォーマットに依存しない再生と圧縮を可能とした。上述の 4 種類の動画に対して 496bit の情報を埋め込んだ場合のビットプレーン・DCT 埋込の抽出率と、埋込ルール・復号プロセスによる抽出率向上についての実験結果を次節以降にて述べる。なお次節からの実験結果におけるエラーブロックとは、 $D_7$  において 2bit 以上エラーが存在したブロックのことである。

### 6.2. 埋込ルールの効果

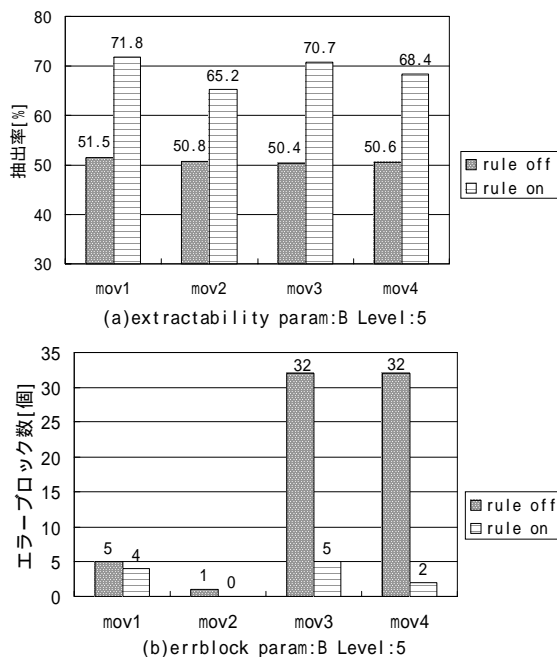


fig5. ビットプレーン埋込における埋込ルールの効果

fig5 では B 要素で第 5 番目のビットプレーン埋込に対し実験を行っている。ビットプレーン埋込単体での抽出率は fig 5(a) の rule off のケースが該当するが、その抽出率は平均 50% 程度に止まっている。しかしながら埋込ルール生成プロセスによ

って適応度の高いLine(n)への埋込を実行した場合、70%程度まで抽出率が向上する。また fig 5(b)のエラーブロック数も埋込ルールを適用することで激減しており、ビットプレーン埋込に対して強い効果を発揮していることがわかる。

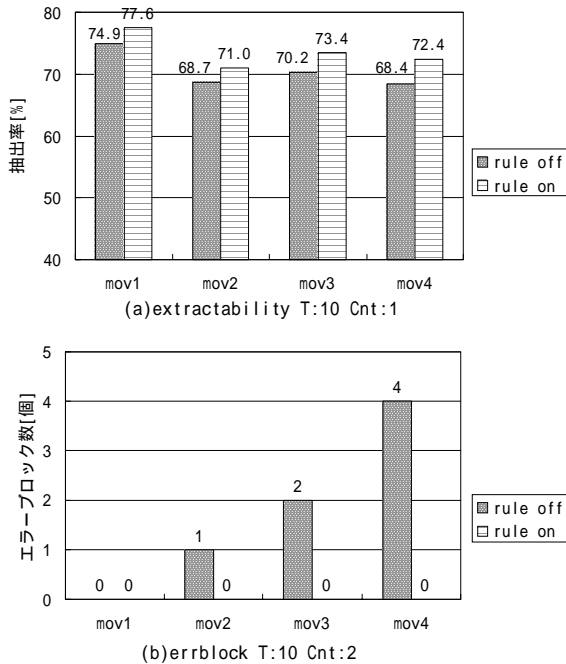


fig 6 DCT 埋込における埋込ルールの効果

DCT 埋込では耐性強度 T と埋込箇所数の二つを可変パラメータとして採用し、適宜、値を変更しながら実験を行った。

Fig 6(a)と fig 5(a)を比較すると、ビットプレーン埋込に比べ DCT 埋込の抽出率が 70%程度と、動画に対し強い耐性を持っていることがわかる。これは輝度情報と DCT 係数という JPEG 圧縮に親和性の高いパラメータに操作を加える方式によって得られた結果である。

埋込ルールを適用することで、微増ながらも抽出率は向上し、またエラーブロック数は全てのケースにおいて0個となり、DCT 埋込においても効果を発揮することが可能であった。

### 6.3. 欠損復号の効果

次に、欠損復号プロセスによる復号率を測定する。ビットプレーン埋込の抽出結果に対し、欠損復号を

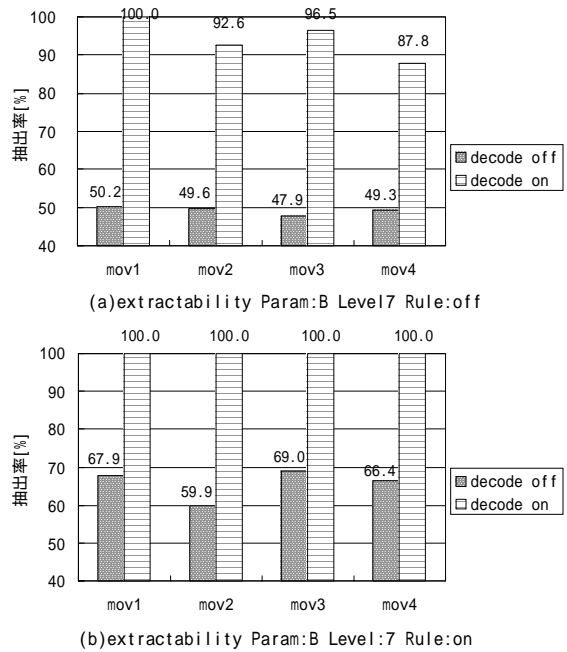


fig 7 ビットプレーン埋込における欠損復号の効果

試みた結果、fig 7(a)を見ると 50%程度であった抽出率が 90%程度まで回復することができた。また埋込ルールを適用しエラー箇所を散在させた場合の結果である fig 7(b)では、全ての動画で 100%まで抽出率を回復が成功した。またここに掲載した以外のパラメータにおいても、埋込ルールを適用した場合、全てにおいて 100%まで回復することができた。

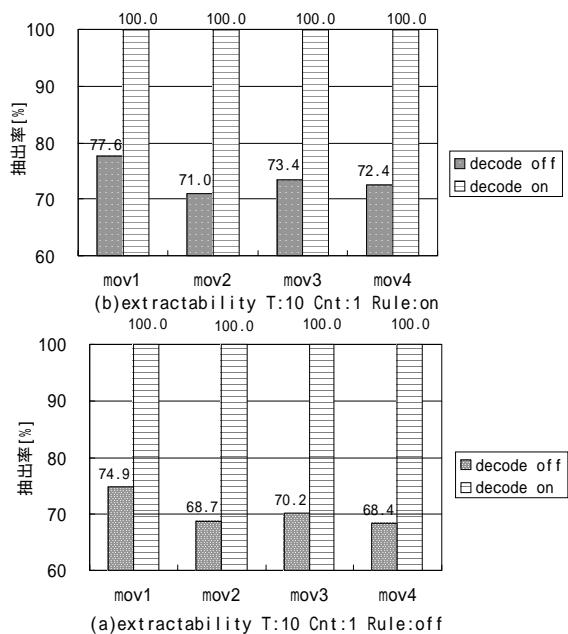


fig 8 DCT 埋込における欠損復号の効果

続いて DCT 埋込における欠損復号の効果では、埋込ルール適用・非適用に関わらず、fig 8(a)(b)の両実験結果ともに抽出率が 100%まで向上させることに成功した。

## 7. まとめ

本稿では欠損復号まで考慮した画質特性による埋込箇所選択の効果について述べてきた。そして、単体の抽出率では 50%台であったビットプレーン埋込方式を、埋込ルール生成プロセス、欠損復号プロセスを併用することで 100%の抽出率を持たせることに成功した。同様に DCT 埋込方式においてもシステム全体として 100%の抽出率を実現し、動画の持つ連続性に着目した情報分割、埋込箇所選択、誤り訂正符号と連続情報の重ね合わせによる効果を実証できた。また本システムでは、透かし方式を追加実装することが容易であり、またそれに合わせて埋込ルール生成プロセスではパラメータの追加、及び重み付けの変更をするのみでよく、システムとしての信頼性向上を考慮した設計を実現できた。

今後の課題として、本研究ではフォーマット変換に対する耐性は考慮をしているが、フレーム削除・挿入、情報の改変といった攻撃への耐性が弱く、そのような攻撃を考慮した耐性強化があげられる。また今回抽出したパラメータは静止画から得られる情報のみである。動画電子透かしとしての精度向上を図るためには、カメラスピードなど動画特性を表すパラメータにも着目した埋込ルール生成を考案する必要がある。

## 謝辞

本研究は、通信・放送機構の地域提案型研究開発制度の支援を受けて実施された。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

[1] 上野義人, 村上健自, 動きベクトル参照型動画画像電子透かし方式, 情報処理学会論文誌 Vol.43, No.8 2002,

[2] 安細康介, 吉浦裕, 越前功, 田口順一, 中野和典, 動き検出を用いて画質を維持する MPEG エンコー

ダー向け動画用電子透かし方式, 電子情報通信学会技術研究報告コミュニケーションクオリティ研究会, CQ-102, No.191 2000

[3] 貴家仁志, JPEG,MPEG 画像へのバイナリデータの埋込み法, 電子情報通信学会論文誌 Vol.J83-A, No.12, Page1349-1356 2000

[4] 松本康佑, 青木直史, 青木由直, ロスレス型電子透かしを用いたユーザー認証と動画への応用, 電子情報通信学会技術研究報告 ITS 研究会 Vol.102, No.632 2003

[5] 稲葉宏幸, 笠原正雄, 電子透かしの改変対策に関する二,三の考察, 電子情報通信学会技術報告, 情報理論研究会 Vol.99, No.704 2000

[6] 万本正信, 山田智広, 高嶋洋一, 動画コンテンツの特性に応じた電子透かし埋め込み制御方法の評価, 情報理論とその応用シンポジウム予稿集 Vol.26th, No.Vol.1 2003

[7] 安達文晴, 長谷川まどか, 加藤茂夫, DCT を利用した静止画像の電子透かし法についての検討, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol.99, No.384 1999

[8] 新見道治, 野田秀樹, 河口英二, "複雑さによる領域分割を利用した画像深層暗号化法", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D-II, No.6, pp.1132-1140, 1998.

[9] S. Cho, W. Shin, H. Lee, W. Kim, U. Choi, Enhancement of Robustness of Image Watermarks Image Watermark into Colored Image, Based on WT and DCT, International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'00), pp.483-489, 2000

[10] <http://www.ersdac.or.jp/Others/kyoiku/RSEDUCDR/GUIDE/GUIDE1.HTM>