

動きベクトル参照型動画像電子透かし方式

上野 義人[†] 村上 健自[†]

近年、デジタルメディアの認証や著作権保護を解決する方法として、電子透かし技術が注目されている。特に、デジタルビデオに対する電子透かしの研究開発が活発に行われている。本論文は、動画像における P -フレームの動きベクトルを利用して、この動きベクトルを検出した参照元の I -フレームの画素に透かし情報のフラグビットを埋め込む電子透かし方式を提案する。本方式は、動画像圧縮方式である MPEG フォーマットに適用できる。実験結果より、動きベクトル自身を半画素変化させて透かしを埋め込む方式よりも、透かし情報ビットを 3 倍多く埋め込むことができる。また、埋め込み後の動画像 S/N 比を約 39 db 以上と高い画像品質を持ち、かつ、透かし情報の抽出誤り率を 0% にすることができた。さらに、アタックに対する耐性について評価した。

A Digital Video Watermarking System by Associating with the Motion Estimation

YOSHITO UENO[†] and KENJI MURAKAMI[†]

Recently watermarking has become a major issue to solve authentication problems and copyright protection as major security demands in digital ages. A wide variety of digital video watermarking techniques have already been investigated. In this paper we propose a digital video watermarking by associating with motion vectors of P -frame and inserting flag pixels into I -frame. Our proposed methods can achieve the increase of watermark bits to be embedded so that these techniques will be applicable to MPEG format. Experimentally, our proposed methods are efficient in terms of increase of watermark bits by 3 times, also keeping the quality of watermarked picture with more than 39db and having the extracted watermark bits with no error. Therefore, these watermarking techniques are useful in digital video watermarking, especially, for MPEG encoder and also the robustness of malicious attacks have been evaluated.

1. はじめに

近年、デジタル電子透かし技術は、著作権保護に対する実用的なセキュリティ問題を解決する手法として脚光を浴びている。現在まで、多くの電子透かし技術が研究、開発されているが、デジタルビデオ品質の劣化を少なくし、悪意のあるユーザからのすべてのアタック耐性を持たせることは、非常に困難である。

これらデジタルビデオの電子透かし技術は、次の 3 手法に大別される^{1)~3)}。

- (1) Zhao-Koch アルゴリズムは、擬似ランダム的に選んだ符号化ブロックの 3 低周波数領域における量子化後の DCT 係数から、3 つの係数を選択して、透かし情報を埋め込む方法。
- (2) スプレッドスペクトラム方式を用いて、透かし

情報自身を拡散し、2 つの異なるシーケンス制御を行いながら、ビデオフレームに拡散させて透かし情報を埋め込む方法。

- (3) MPEG ビデオの B -ピクチャは、双方向動き補償を行っているので、これを用いて透かし情報を埋め込む方法。

また、デジタルビデオ電子透かし方式の基本的な性能として、次の 3 つの特性を最低限、備えておく必要がある。

- (1) 透かし情報の埋め込みによって、ビデオデータサイズを増加させないこと。
- (2) 埋め込まれた透かし情報を抽出するとき、埋め込み前の原画像を必要とせず、透かし情報を抽出できること。
- (3) 透かし情報の埋め込み処理は、遅延がなく、リアルタイムにデジタルビデオデータに埋め込み処理が実行できること。

上記 3 条件を満たす方式として、動きベクトルを検

[†] 創価大学工学研究科

Graduate School of Engineering, SOKA University

出し、動きベクトル自身を半画素変化させるデジタルビデオ電子透かし方式がある⁴⁾。

しかし、この方式は、動きベクトル自身を操作して埋め込み処理を行うため、透かし情報埋め込み後の画像品質劣化が大きいという欠点がある。

また、透かし情報をウェーブレット変換して、 I -および P -フレームの高周波成分に埋め込む方式がある⁵⁾。この方法は、透かし情報埋め込み後の画像品質の劣化が大きく、かつ、各種アタックに対する耐性が低く、スペクトラム拡散符号化などによって視覚的に雑音を低減させる方法を併用する必要がある。

これらの方式に対して、本論文は、動きベクトルの方向を利用して、動きベクトル検出に用いた参照 I -フレームの画素にフラグを埋め込む新しいデジタルビデオ電子透かし方式を提案する。

この動きベクトル参照型動画電子透かし方式について、2章で提案方式のブロック構成について説明し、透かし埋め込みの2つの手法について考案したので、次の3章および4章にそれぞれの方法について述べる。

2. 動きベクトル参照型動画電子透かし方式の構成

後述する透かし情報埋め込みアルゴリズムを実現する方式構成は、MPEG 符号化方式の構成図を一部変更して、図1のように構成できる。

動き補償回路で検出された動きベクトルを参照して、動きベクトルが存在する参照元 I -フレームのマクロブロックの画素に透かし情報を直接、画素の輝度成分 (Y) や色差成分 (C_b または C_r) に埋め込む。

透かし情報の埋め込み方法として、奇数、偶数値制御方式、すなわち、

- (1) 透かし情報が“1”のとき、たとえば、 I -フレームにおける動きベクトル参照元マクロブロックの画素の輝度信号レベル (Y) の値を偶数とする。

- (2) 透かし情報が“0”のとき、 I -フレームにおける動きベクトル参照元マクロブロックの画素の輝度信号レベル (Y) の値を奇数とする。

このような奇数、偶数値制御方式で、透かし情報の埋め込み制御を行うことができる。

また、透かし情報のフラグビット埋め込み場所として、図1の点線で示すように、どのような動画フレームにも必ず存在する DCT 変換後の量子化値の D.C 成分に透かし情報を埋め込むこともできる。もちろん、DCT 変換後の量子化値の低周波成分に埋め込む方法も考えられるが、どの低周波成分に埋め込むかを指定する情報が必要となり、回路構成が複雑になる。

このため、画素の輝度成分 (Y) と色差成分 (C_b または C_r) の DCT 変換後の量子化値の D.C 成分に透かし情報を奇数、偶数値制御方式を用いて埋め込むことができる。

したがって、透かし情報の埋め込み場所として、 I -フレームの動きベクトル参照元マクロブロックの画素の

- (1) 輝度成分 (Y)
- (2) 色差成分 (C_b または C_r)
- (3) 輝度成分 (Y) の量子化値の D.C 成分
- (4) 色差成分 (C_b または C_r) の量子化値の D.C 成分

などが採用できる。

このように、透かし埋め込み処理を行った I -フレームを I, B, B, P -バッファで埋め込み前の I -フレームと入れ替えた後、可変長符号化して出力符号化ストリームを得る方式が構成できる。これらの方法は、ソフトウェア的にリアルタイム処理が可能である。

3. チェインコードを用いた電子透かし法

3.1 方式アルゴリズム

動画における動きベクトルは、多くの方向を持っている。この動きベクトルの方向は、8, 16, 32 方向と増やして、透かし埋め込み情報ビット数を増やせるが、いまソフトウェア的にリアルタイム処理が容易に実現できる動きベクトルの方向として、8 方向を採用した。この8方向の動きベクトルは、3ビットのチェインコードで表現でき、3ビットの情報を割り当てることができる。

いま、図2に示すように、 P -フレームのマクロブロック B (16×16 pixel) の動きベクトルを基準に動きベクトルを検出した参照元 I -フレームのマクロブロック A (16×16 pixel) の画素領域を8つの領域に分割する。

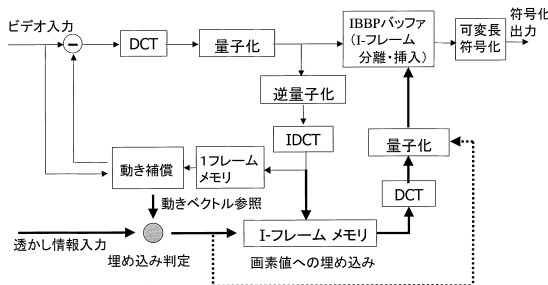


図1 動きベクトル参照型動画電子透かし方式の構成図

Fig.1 Block diagram of a digital video watermarking by associating with motion vectors.

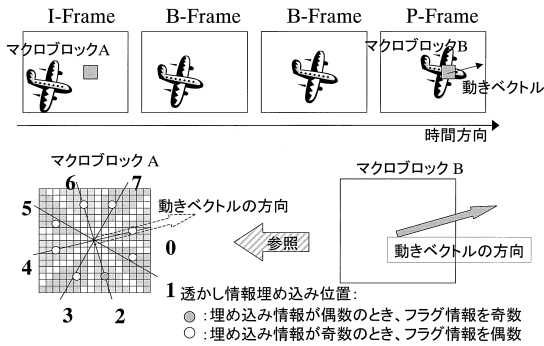


図2 透かし情報2(8進)のフラグビット埋め込み方法(チェーンコード法)

Fig. 2 Embedding a flag bit 2 by associating with the direction of motion vectors (Chain Code Method).

この動きベクトルを参照して、マクロブロックAの画素(輝度成分YやそのDCT変換後の量子化値)に透かし情報を埋め込む。

このとき、3ビットの透かし情報を埋め込むことができるが、8分割された領域のどの領域に埋め込まれたかを識別するフラグ情報をマクロブロックA内の特定の画素に埋め込む。

このような透かし情報埋め込みアルゴリズムを以下に示す。

- (1) まず、P-フレームのマクロブロックBで検出された動きベクトルの方向を基準として、I-フレームの動きベクトル参照元であるマクロブロックAの 16×16 画素領域を8つの領域に分割する。
- (2) この8分割した領域のいずれかに透かし情報を埋め込む。このとき、3ビットの透かし情報が埋め込まれる。また、透かし情報がどの領域に埋め込まれたかを知るためにフラグ情報を埋め込む。
- (3) この8分割された領域を動きベクトルの方向を基準として、時計回りに $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ のフラグビット埋め込み方向を求める。
- (4) いま、透かし情報系列が $W(i) = \{01011 \dots\}$ であるとすると、このマクロブロックAには、8進の3ビット埋め込み情報 $Wem = \{010\}$ で表現され、 Wem の10進数が2であるので、8分割された“2”の領域に Wem を埋め込む。
- (5) 透かし情報の埋め込み位置は、マクロブロックAの中心から一定の距離にある画素で、動きベクトルを基準とした8分割ライン上の最も近い画素を選択して透かし情報の埋め込み位置とする。

- (6) この選択された画素位置に、埋め込み情報が偶数のとき、奇数値のフラグビットを埋め込んでフラグ情報ビットの検出を正確に実行できるようにする。すなわち、“0”から“7”までの領域の選択された位置における埋め込み画素値を偶数値で初期化しておけばよい。すなわち、偶数・奇数値制御により、透かし情報を埋め込む。

次に、このように奇数値のフラグビットが埋め込まれた透かし情報の抽出アルゴリズムを以下に示す。

- (1) 動きベクトル参照元のI-フレームのマクロブロックAを動きベクトルの方向を基準として、その領域を8分割し、マクロブロックAの中心から一定の距離にある“0”から“7”までの方向に存在するフラグ情報の埋め込み位置を求める。
- (2) この8つの領域からすべてのフラグ情報ビットを抽出し、奇数値のフラグビットを探索する。
- (3) 動きベクトルの方向を基準として、奇数値のフラグビットが存在する領域が何番目の方向に相当するかを検出する(例では、“2”の領域)。
- (4) このフラグビットから、埋め込まれた透かし情報ビットを抽出する(例では、 $Wem = \{010\}$ が抽出される)。

このような動画像の動きベクトルの位置と方向は、符号化、復号化の過程では、変化しないため、埋め込み位置を正確に検出できる。

また、MPEG符号化では、I-フレームのマクロブロックは、DCT変換され、量子化される。動きベクトルが存在する参照元のI-フレームの量子化パラメータのD.C成分に偶数・奇数値制御、すなわち、埋め込み情報が偶数のとき、このD.C成分に奇数値のフラグビットを埋め込むことにより、透かし情報を埋め込むこともできる。

3.2 アタック耐性

動画像電子透かしに対する悪意のある攻撃に対して、静止画像電子透かしに対するアタック耐性と同様な定性的評価を行う。

すなわち、I-フレームに対する攻撃として、拡大縮小などの幾何変換、色相、明度、彩度、コントラスト補正などの階調変換、ぼかし、鮮鋭化などの空間フィルタリングによる空間周波数変換、画像の切り取りやトリミングなど多くのアタックがある⁶⁾。

このようなアフィン変換などの幾何変換や画像の切り取りなどのアタックに対する耐性については、すべての動きベクトルが存在する画像フレーム(I-フレーム)に透かし情報を埋め込んでいるので、すべての動

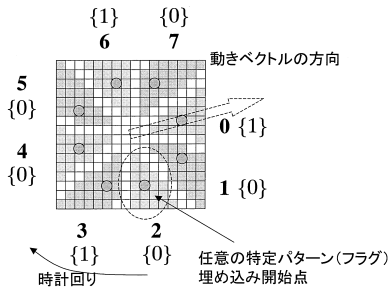


図3 任意の特定パターンによる透かし情報の埋め込み方法(チェーンコード法)

Fig. 3 Embedding a flag bit using a random pattern (Chain Code Method).

画像フレームをアタックすることになり、元の動画像が歪を受けたり、消失したりする。したがって、元の動画像を再利用することができないため、アタックしてもあまり意味がない。

また、動画像固有の攻撃として、

- (1) MPEG 復号、再符号化による攻撃が考えられるが、チェーンコード透かし方式の中で量子化パラメータの D.C 成分を変化して透かし情報を埋め込む方法は、直接、量子化テーブルを変更しない限り、透かし情報を改竄することはできない。
- (2) 動きベクトルを参照してフラグ情報ビットで埋め込まれた透かし情報は、フラグ情報に変換されて隠蔽されているため、直接アタックを受けても改竄されない。

しかし、フラグ情報ビットの埋め込みには、単純な偶数・奇数値制御を用いているので、秘匿性を高める方法として、“0”から“7”までの方向のフラグビット埋め込み位置を8ビットのランダムパターンで埋め込む方法が考えられる。

図3に示すように、あらかじめ決められた任意の特定パターン列 {01001010} を方向“2”の領域から順番に時計回りに各ビットを各方向の中心位置から一定の距離にある画素にフラグビットとして埋め込む。

ランダムパターンで埋め込んだ透かし情報の抽出方法は、フラグビット埋め込み位置の8ビットパターンを抽出する。事前に登録された特定のパターンと照合し、一致したパターンから、フラグビットパターン列の起点を求める。この起点の埋め込まれた領域の番号から透かし情報を復元する。このように、任意の特定パターンを用いたフラグ情報埋め込み方法は、高い秘匿性を持っている。

- (3) I-フレームの参照元マクロブロックに透かし情報を埋め込んでいるため、GOP

(GroupOfPicture) 構造を変更して、再符号化が行われると、透かし情報を検出できなくなる恐れがある。

このような攻撃に対しては、次の I-フレームから、正常に透かし情報を検出することができる。

- (4) その他、雑音付加などの画像処理による攻撃が想定されるが、通常、画像フレームの量子化パラメータの D.C 値は、大きな値であり、大きな雑音を加えない限り、正常に透かし情報を検出できる。

したがって、本方式による動画像電子透かしに対するアタック耐性は、動画像フレームを再生して、埋め込みアルゴリズムを盗用する攻撃以外は、比較的強いアタック耐性を持っている。

4. 2分木アルゴリズムを用いた電子透かし法

動画像の動きベクトルを参照して、透かし情報を埋め込む他の方法として、2分木アルゴリズムを用いる方法が考えられる。この方式アルゴリズムを以下に述べる。

動画像の P-フレームで最初に検出された動きベクトルが存在する参照元 I-フレームの始点マクロブロックを2分木の始点ノードとして、2分木を生成する。同様に、P-フレームで最後に検出された動きベクトルが存在する参照元 I-フレームの終点マクロブロックを2分木の終点リーフとする。

この2分木の始点(根)マクロブロックと終点(葉)マクロブロックを求める。次に、P-フレームに存在する多数の動きベクトルの方向を次のリーフマクロブロックとのなす角度の大小に応じて、“0”か“1”のフラグ情報ビットを判定し、これらのフラグビットを I-フレームのマクロブロックの画素に埋め込む。

このフラグ情報 (0, 1) の判定は、たとえば、動きベクトルの方向角度が小さいとき、“0”ビットのフラグ情報を割り当て、動きベクトルの方向角度が大きいとき、“1”ビットのフラグ情報を割り当てて、透かし情報を埋め込む。なお、このフラグビット (0, 1) を判定する角度のスレシホールドは、ヒューリスティックに決定する。

このような透かし情報を埋め込む2分木生成アルゴリズムを以下に示す。

- (1) 動きベクトルが存在する I-フレームのマクロブロックの中から、画面の左上から最も近いマクロブロックを選んで、2分木の始点(根)マクロブロックとする。
- (2) 動きベクトルが存在するマクロブロックの各ノード

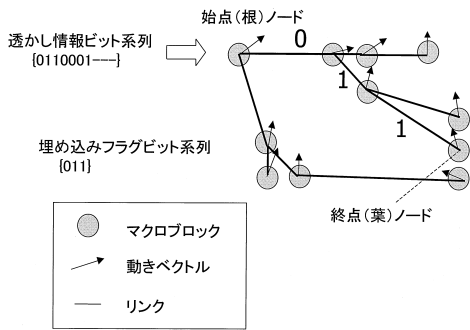


図4 2分木アルゴリズムを用いた電子透かし法(2分木法)
Fig. 4 Binary tree watermarking method by associating with motion vectors (Binary Tree Method).

- ド(葉)は、最も近いノードとリンクを張る。
- (3) 最も近いノードの探索は、2分木探索法を用いて、ノード(葉)をトレースしながら、順番にリンクを張っていく。
 - (4) 動きベクトルが存在するすべてのマクロブロックについて、各ノード間をリンクでつなく、最後に動きベクトルが存在するリーフノードを終点(葉)ノードとする。

このように生成された2分木にフラグ情報(0,1)を動きベクトルの方向の角度に応じて、埋め込んでいき、2分木の終点(葉)ノードを求める。

図4に2分木アルゴリズムを用いた電子透かし方法を示す。

いま、透かし情報のビット列を $W(i) = \{0110001 \dots\}$ とすると、 P -フレームの動きベクトルの方向がリンクとの角度が小さいとき、フラグ情報ビット“0”を埋め込む。また、動きベクトルの方向とリンクとの角度が大きいとき、フラグ情報ビット“1”を埋め込む。

したがって、透かし情報ビット列 $W(i)$ は、フラグ情報ビット列 $W_{em} = \{011\}$ として埋め込まれ、終点ノードが求まる。

この結果、2分木の始点マクロブロックと終点マクロブロックを示すフラグビットを I -フレーム内のそれぞれ相当するマクロブロックに埋め込む。

このような2分木透かし情報埋め込みアルゴリズムを以下に示す。

- (1) P -フレームの動きベクトルが存在するマクロブロックがあるとき、前述したように、参照元 I -フレームの各マクロブロックを順番にリンクを張りながら2分木を生成する。
- (2) 動きベクトルの方向とリンクとの角度を参照しながら、2分木のリンクを張り、終点ノードを求める。

- (3) 動きベクトルが存在する参照元 I -フレームのマクロブロックの画素に2分木の始点ノードと終点ノード間の各リンクに“0”または“1”のフラグビットを埋め込む。

次に、埋め込まれた透かし情報の抽出アルゴリズムを以下に示す。

- (1) I -フレームの各マクロブロックから、動きベクトルの方向を参照しながら、埋め込まれたフラグビットから2分木を生成する。
- (2) I -フレームにおいて、左上隅のマクロブロックから最初に検出された動きベクトルの参照元マクロブロック(ノード)を始点フラグビットとし、 I -フレームの右下隅で最後に検出された動きベクトルの参照元マクロブロック(リーフ)を終点フラグビットとする。
- (3) この抽出された始点フラグビットから、2分木のリンクをトレースしながら終点フラグビットまで探索する。
- (4) このようにして埋め込まれた透かし情報ビット列 $\{011\}$ を再生する。

このような2分木アルゴリズムを用いた電子透かし方法は、 I -フレームに多くの透かし情報を埋め込むことができる。さらに、2分木に複数の終点ノードを生成することにより、より多くの透かし情報を埋め込むことが可能となる。

しかし、この方式は、始点ノードと終点ノードに埋め込まれたフラグビットがアタックを受けると透かし情報が消失する欠点がある。

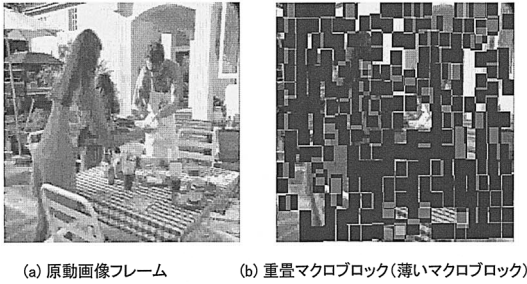
5. 実験結果

5.1 動きベクトルの重畳

動きベクトル検出法には、多くの方法が研究されている。これらの中で動きベクトルを検出する処理量が少ない特徴を持っているが、動きベクトル検出精度を多少犠牲にしたブロックマッチング法を採用した。このブロックマッチング法では、動きベクトルの探索範囲を ± 15 マクロブロックとした。

一方、本方式は、動きベクトルが存在する参照元 I -フレームのすべてのマクロブロックを正確に探索する必要があるため、 P -フレームにおけるすべての動きベクトルを参照して、 I -フレームのマクロブロックにおける特定の画素をフラグビットの埋め込み場所とすると、動きの多い動画像では、埋め込み対象マクロブロック領域が重なったマクロブロックを多く生ずる。

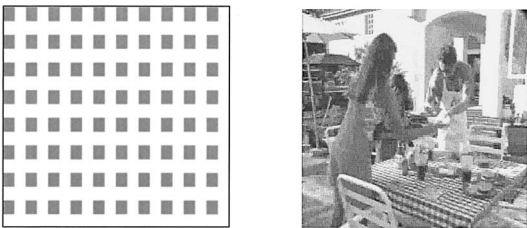
このため、埋め込み対象マクロブロックが重なる結果が生じる。



(a) 原動画像フレーム (b) 重畳マクロブロック(薄いマクロブロック)

図5 動きベクトル参照ブロックの重畳例

Fig. 5 The superposed macro-blocks by associating with motion vectors.



(a)間引きマクロブロック動きベクトル検出(1ブロック間隔) (b)透かし埋め込み動画像フレーム

図6 間引き動きベクトル検出による透かし埋め込み動画像

Fig. 6 Experimental result of watermarked video by the sparse motion vectors.

図5に動きベクトル参照マクロブロックが重畳した実験例を示す。

このマクロブロックの重畳を避ける方法として、動きベクトルを検出するマクロブロックを1マクロブロック置きに間隔を空けて動きベクトルを検出する方法が採用できる。

このとき、透かし情報を埋め込む情報量が減少するが、再生後のP-フレームから動きベクトルを参照して、I-フレームに埋め込まれた透かし情報を正確に抽出することができる。

図6に1マクロブロック間隔で動きベクトルを検出し、この動きベクトルを参照して、I-フレームに透かし情報を埋め込んだ動画像フレームの実験例を示す。

しかし、埋め込みマクロブロック領域が重なる場合でも、P-フレームの動きベクトルを参照して、フラグビットを埋め込んだマクロブロックを持つI-フレームのみに着目し、つねにこのフラグビットを検出すれば、埋め込まれた透かし情報を抽出することが可能である。このとき透かし情報の埋め込み情報量は、当然増大する。

なお、スポーツシーンなどの極端に動きの多い動画像における動きベクトルでも、後述する図7に示す“牛追い”の動画像フレームにおける動きベクトル数

と大差なく、1マクロブロック間隔で動きベクトルを検出して、I-フレームに透かし情報を埋め込んだ実験例で正確に透かし情報を抽出することができた。

一般に、MPEG方式では、GOP (Group Of Picture) の構成は、各種のI, P, B-フレーム構成を使用できるが、{IBBPBBIBBPBB}, {IPIPIPIPIPIPI}などのように、動きベクトル検出マクロブロック(P-フレーム)と埋め込み対象フレーム(I-フレーム)が多いGOP構成ほど、多くの透かし情報を埋め込むことができる。たとえば、動画像(320×240)が1GOP{IBBPBBBIBBPBB}(M=3, N=15)構成のビットストリームのとき、I-フレームを参照したP-フレームの動きベクトル検出数は、265であった。

したがって、1マクロブロック置きに間引いた動きベクトル検出法では、埋め込み可能な透かし情報量は、埋め込みフラグビットが3ビットであるため、69×3bitsとなる。

すべての動きベクトルを参照して、I-フレームのマクロブロックに埋め込み、参照マクロブロックの重畳を許容すると、埋め込み可能な情報量は、265×3bitsとなる。

一方、通常の動きベクトル自身に透かし情報を埋め込む方法の透かし情報量は、265bitsであるので、本方式は、従来方式と比較して3倍多くの透かし情報の埋め込みが可能である。

また、このGOP構成で、I, P, B-フレームにおけるすべての動きベクトル検出数は、B-フレームの双方向動きベクトルを含めると919であったので、動きベクトルを半画素変化させる従来手法で埋め込み可能な透かし情報量は、919bitsとなる。しかし、透かし情報埋め込み後の動画像品質の劣化が大きくなる欠点がある。

5.2 チェインコード電子透かし法

透かし情報を埋め込む動画像サンプルとして、30フレーム/sec, 320ライン×240画素, 24ビットカラー, 160フレーム長の動画像シーンを使用して1マクロブロック間引き動き検出法による埋め込み実験を行った。その結果を表1に示す。

また、MPEG-1符号化ストリームとして、29.97フレーム/sec, 1.2Mbpsのビデオストリーム(ビデオ、オーディオを含む)を採用した。

最初に、I-フレームにおける動きベクトル参照元のマクロブロックの画素の輝度成分(Y)および色差成分(Cb)への透かし埋め込み実験を行った。その結果、埋め込み後の各フレームの平均SNRは、38.25db以上と比較的良好であったが、透かし情報抽出誤り率

表 1 電子透かし埋め込み実験結果 (チェーンコード法)
Table 1 Results of watermarking into the macro-blocks
of I-frame using Chain Code Method.

埋め込み場所	埋め込み前 平均SNR	埋め込み後 平均SNR	透かし情報 抽出誤り率
Y成分への 埋め込み	40.21db	39.95db	約20%
Cb成分への 埋め込み	46.64db	44.51db	約20%
Y成分の量子化値 D.C成分への埋め込み	40.21db	39.58db	0%
Cb成分の量子化値 D.C成分への埋め込み	46.64db	44.52db	0%

が約 20%と、あまり良い結果が得られなかった。

ここに、透かし情報の抽出誤り率とは、埋め込み対象の動画像フレーム長における全透かし情報埋め込みビット数に対する透かし情報の抽出誤りビット数の割合を示す。すなわち、

透かし情報

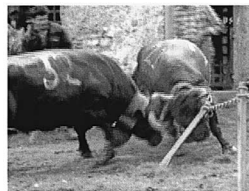
$$\text{抽出誤り率} = \frac{\text{抽出誤りビット数}}{\text{全埋め込みビット数}} \times 100\% \quad (1)$$

である。

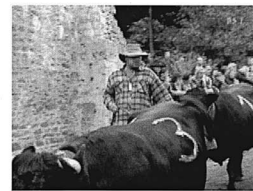
このとき、マクロブロックのフラグビット埋め込み対象画素の輝度成分 (Y) および色差成分 (Cb) への透かし情報抽出誤りが大きい原因は、動きベクトル検出法として、ブロックマッチング法を採用したため、動きベクトルの方向検出精度があまり高くなく、フラグビットの埋め込み位置精度が悪くなった原因と考えられる。さらに、埋め込まれたフラグビットの画素を特定する誤差が生じたため、透かし情報の抽出誤りが大きくなったものと考えられる。

この透かし情報抽出誤り率を改善する方法として、埋め込み対象のマクロブロックを DCT 変換した後、量子化値の D.C 成分にフラグビットを埋め込む方法を採用した。この D.C 成分は、どのような画像フレームでも存在することおよびマクロブロックを埋め込み対象として、フラグビットの埋め込み誤差を許容したため、確実にフラグビットの抽出が行われ、透かし情報の抽出誤り率を軽減することができる。

上述した実験結果に用いた動画像サンプルは、MPEG-1 符号化出力を使用した。あまり S/N 比が良くなかったので、図 7 に示すような S/N 比が良好な AVI (MPEG-1 ファイル編集形式) フォーマットの動画像サンプルを用いて、動きベクトル参照型電子透かし方式 (チェーンコード法) の実験を行った。なお、この動画像のフレーム数は、192 フレームで、画素、フレームレート、カラーのビット数などは、前述した MPEG-1 動画像サンプルと同じである。



(a) 第1フレーム埋め込み画像



(b) 第20フレーム埋め込み画像

図 7 動きベクトル参照型電子透かし埋め込み画像 (AVI フォーマット, 192 フレーム)

Fig. 7 The embedded watermark by associating with motion vectors (AVI format, 192 frames).

この実験結果より、I-フレームのマクロブロックを DCT 変換した後、量子化値の D.C 成分にフラグビットを埋め込めば、より正確なフラグビットの抽出が行われ、透かし情報の抽出誤り率が 0% となった。

したがって、MPEG 符号化における輝度信号、色差信号の各量子化パラメータ (D.C) への透かし情報の埋め込み方式は、透かし情報抽出誤り率が 0% となり、かつ、SN 比の劣化も比較的少なく、有効な動画像フレームへの透かし情報埋め込み方法であることが分かった。

5.3 2分木電子透かし法

チェーンコード電子透かし法と同様な実験結果が期待できるが、動きベクトルの検出精度が悪いと、2分木の始点マクロブロックと終点マクロブロックに誤差が生じ、2分木が正確に生成されない。その結果、動きベクトル検出法として、ブロックマッチング法より、動きベクトル検出精度の高い動き検出法を用いる必要があることが分かった。

また、動きの多い動画像のように、動きベクトルが多数存在するとき、2分木のリンクを張る最短距離のリーフノードが探索困難になり、2分木の生成誤差が生じる。その結果、2分木に埋め込まれたフラグ情報の抽出誤りが生じる。したがって、本方式は、リンクを張る最短距離にあるリーフノードの検出精度が透かし情報の抽出誤り率を左右する。

6. おわりに

動きベクトルを参照して、参照元のフレームに透かし情報を埋め込む 2 つの方法、すなわち、チェーンコード電子透かし法および 2 分木電子透かし法について述べた。チェーンコード法は、透かし埋め込み後の動画像品質は、原画像に比較して、ほとんど劣化がなく、他の動画像透かし方式に比較して、透かし情報抽出誤り率が 0% となる良好な結果が得られた⁷⁾。

すなわち、MPEG 圧縮された動画像への透かし埋

め込み方式として、MPEG 符号化回路の一部を変更することにより、比較的強いアタック耐性を持つ透かし情報の埋め込みが実現でき、MPEG 圧縮された動画の著作権保護方式として、有効な方法を提供できる。今後、多くのアタック、特に動画固有の攻撃に対する耐性について、さらに、定量的に評価する必要がある。

本方式により、著作権保護された電子商取引やモバイル商取引などのデジタル市場や分散されたビデオ編集、配信システムに適合したデジタルビデオ電子透かし技術の確立に寄与できる方式が実現できる。

参 考 文 献

- 1) Koch, E. and Zhao, J.: Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling, *Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing* (June 1995).
- 2) Dittman, J., et al.: Robust MPEG Video Watermarking technologies, *Proc. International Conf. of Multimedia* (Sept. 1998).
- 3) Bush, C., et al.: Digital Watermarking: From Concepts to Real-Time Video Applications, *IEEE Computer Graphics & Applications*, Jan./Feb., pp.25-35 (1999).
- 4) 角野英之, 稲葉宏幸, 笠原正雄: 改ざんを考慮した動画の電子透かしに関する二, 三の考察, 映像情報メディア学会誌, Vol.54, No.4, pp.593-600 (2000).
- 5) 荒木貴志, 宮崎明雄, 井上 尚: ウェブレット変換を用いた動画向け電子透かし方式, 映像情報メディア学会誌, Vol.54, Vol.11, pp.1606-1614 (2000).

- 6) Qiao, L. and Nahrstedt, K.: Watermarking Methods for MPEG Encoded Video: Towards Resolving Rightful Ownership, *Proc. International Multimedia Computing and Systems*, pp.276-285 (1998).
- 7) Ueno, Y. and Murakami, K.: A Digital Video Watermarking by associating with the Motion Estimation, *Proc. International Conf. on Signal Processing*, pp.429-435 (May 2001).

(平成 13 年 11 月 21 日受付)

(平成 14 年 6 月 4 日採録)



上野 義人 (正会員)

昭和 34 年早稲田大学第一理工学部電気通信学科卒業。日本電気(株)を経て、平成 3 年創価大学工学部情報システム学科教授、平成 5 年英国ストラスクライデ大学信号処理学科客員教授、マルチメディアシステム工学に関する研究に従事。



村上 健自 (学生会員)

平成 13 年創価大学大学院工学研究科博士課程前期修了。画像の電子透かしに関する研究に従事。