

動きベクトル参照型動画像電子透かし

上野 義人, 村上 健自

創価大学大学院工学研究科情報システム学専攻

動画像に対する電子透かし方式は、これまで、静止画像における電子透かし方法を拡張した I-フレームへの電子透かし方式と、動画像特有の情報である動きベクトルを利用した電子透かし方式がある。動画像に対する電子透かし方式は、静止画像での電子透かし方式における透かし情報抽出誤りやアタックへの耐性を考慮することに加え、方式の処理量にまで着目する必要がある。動画像は大量の処理をリアルタイムに実行する必要があり、全てのフレームに透かし情報を埋め込むことには処理的に厳しく、圧縮方式などを利用した電子透かし方式を考える必要がある。そこで、本論文では MPEG 方式に準拠した方法として、I-フレームの画素へ埋め込まれるフラグ情報と P-フレームにおける動きベクトルを参照することで透かし情報を抽出する電子透かし方式を提案する。

A Digital Video Watermarking by associating with the Motion Estimation

Yoshito Ueno, Kenji Murakami

Graduate School of Engineering, SOKA University

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 and also keeping the quality of watermarked picture very high. 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] まえがき

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小さくし、全ての悪意のあるユーザから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電子透かし技術は、次の3手法に大別される。[1], [2], [3].

- 1) Zhao-Koch アルゴリズムは、符号化ブロックを擬似ランダム的に量子化 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) CDMA 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れた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の性能は、次の3つの特性を最低限、満足する必要がある。

- 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、埋め込み前の元画像を必要とせずに、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、遅延が無く、リアルタイムにデジタルビデオデータに埋め込み処理を実行できること。
- 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。

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、[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合化などによる視覚雑音を低減する必要がある。

したがって、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つの手法について考案したので、次の2章および3章にそれぞれの方法について述べる。

2. チェインコードを用いた電子透かし法

動画像における動きベクトルは、多くの方向を持っているが、いま簡単に、動きベクトルの方向を8方向で代表する。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1に示すように、P-フレームのマクロブロック(16x16 pixel)Bの動きベクトルを基準にI-フレームのマクロブロックAの画素領域を8つの領域に分割する。

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係数)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のある特定の領域に埋め込む。

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. 動きベクトルが存在するI-フレームの領域を0として、時計回りに8進の番号を付与する。いま、透かし情報 $\omega(i) = \{01011---\}$ とすると、8進の3ビット埋め込み情報{010}で表現され、8分割された5の領域に埋め込まれる。このとき、埋め込み位置のピクセルは、8分割それぞれの領域の中で、領域中心から一定距離にある画素で、8分割した中心線上の一画素を選択して、透かし情報の埋め込み位置とする。

2. 次に、埋め込み情報が偶数のとき、フラグ情報として、埋め込み位置の画素値(Y成分または、そのDCT係数)を奇数とし、埋め込み情報が奇数のとき、埋め込み位置のフラグ情報を偶数とする。所謂、透かし情報の埋め込み制御方式として、偶数、奇数制御方式を適用する。ただし、このフラグ情報を検出するため、予め、0-7の埋め込み位置の画素値を一定の値(例えば、偶数値)で初期化しておく必要がある。

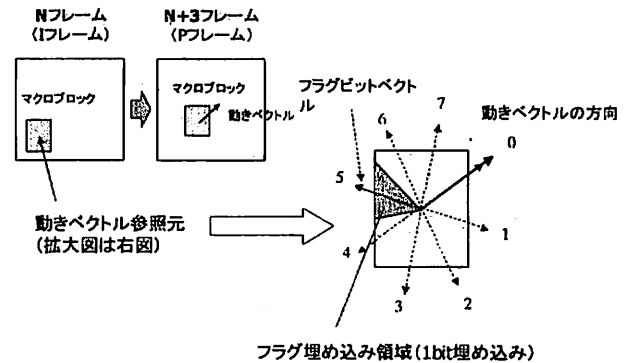


図1 透かし情報5(8進)の埋め込み方法(チェインコード法)

次に、透かし情報の抽出アルゴリズムを以下に示す。

1. 埋め込みアルゴリズムと同様に動きベクトルの方向を基準として、I-フレームのマクロブロックを8分割し、フラグ情報の埋め込み位置を求める。
2. 8つの領域から全てのフラグ情報を抽出し、奇数値を探索する。
3. 動きベクトルの方向を基準として、奇数値が存在する領域が何番目の領域に相当するかを調べる。
4. ステップ3で求めた番号から、埋め込まれた透かし情報ビットを抽出する。

このような動きベクトルの位置は、符号化、複合化の過程では、変化しないため、埋め込み位置は、正確に検出できる。

また、透かし情報は、フラグ情報に変換されて隠蔽されるため、アタックに強い耐性を持つ手いる。

このように、本方式は、動きベクトル自身は変更せず、動きベクトルの方向のみを利用して、そのため、画像品質への影響が少ない。

また、単純な奇数、偶数のみのフラグ情報を埋

め込むだけでなく、予め取り決めた任意のパターンをフラグ情報とすることにより、透かし情報の秘匿性を一層高めることができる。

一般に、動画像は多くの動きベクトルを持っており、P-フレームの動きベクトルの方向を参照して、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。

3. 2分木アルゴリズムを用いた電子透かし法

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手法が考えられる。この方法の原理を以下に説明する。

画面の最初に検出した動きベクトルが存在するI-フレームの始点マクロブロックを2分木のノードとして、2分木を生成する。同様に、画面の最後に検出した動きベクトルが存在するI-フレームの終点マクロブロックを2分木のリーフとする。

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、P-フレーム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に埋め込む。

フラグ情報(0, 1)の判定は、例えば、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ることにすれば、透かし情報を埋め込むことができる。なお、このフラグビット(0, 1)を判定するスレシホールドは、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マクロブロックのなかから、画面の左上から最も近いマクロブロックを選び、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(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分木探索により、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張る。最後に動きベクトルを検出したリーフノードを終点(葉)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2に2分木アルゴリズムを用いた電子透かし方法を示す。

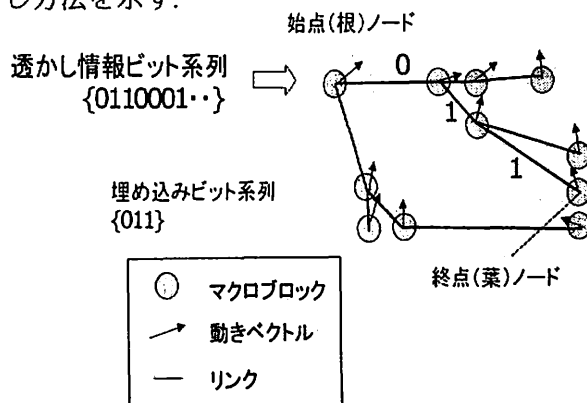


図2 2分木アルゴリズムを用いた電子透かし法

いま、透かし情報のビット列を

$\omega(i) = \{0110001\}$ 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 $\omega(i)$ は、フラグ情報ビット列 $\omega_{em} = \{011\}$ が埋め込まれ、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、I-フレームの各マクロブロックを参照しながら2分木を生成する。
2. 埋め込むべきフラグビット列から、2分木のリンクをトレースしながら、終点ノードを求める。

3. 動きベクトルが存在する I-フレームに 2 分木の始点マクロブロックと終点マクロブロックの各フラグビットを埋め込む。

また、埋め込まれた透かし情報の抽出アルゴリズムは、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、2 分木を生成する。始点フラグビットから終点フラグビットを探索し、2 分木のリンクをトレースしながら、透かし情報を再生する。

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。

4. 実験結果

4. 1 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サンプルとして、30 フレーム/sec、320 ライン X240 画素、24 ビットカラー、160 フレーム長の動画シーンを使用して埋め込み実験を行った。

また、MPEG 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。

透かし情報の埋め込み方法として、奇数、偶数制御方式、すなわち、

- 1) 透かし情報が"1" のとき、例えば、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のマクロブロックの輝度信号レベル(Y)の値を奇数とする。

このような奇数、偶数制御方式で、透かし情報の埋め込み制御を行った。

透かし情報のフラグビット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

1. 輝度成分(Y)
2. 色差成分 C_b
3. 輝度成分(Y)の量子化値の D.C 成分
4. 色差成分 C_bの量子化値の D.C 成分とした。

この結果、表 1 に示すような良好な電子透かし結果が得られた。

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%
C _b 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%
C _b 成分の量子化値 D.C成分への埋め込み	46.64db	44.52db	0%

表 1 電子透かし埋め込み実験結果
(チェインコード法)

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 C_b 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余り高くなく、フラグピクセルの埋め込み位置精度が悪くなったことによると考えられる。さらに、埋め込まれたフラグビットの画素特定する誤差が生じるため、透かし情報の抽出誤りが大きくなった。

このため、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。

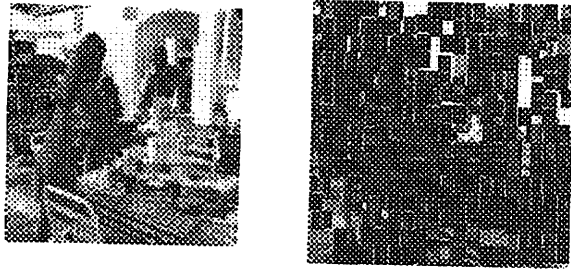
したがって、MPEG 符号化における輝度信号、色差信号の各量子化パラメータへの透かし情報の埋め込み方式は、透かし情報抽出誤り率が 0% となり、かつ、SN 比の劣化も比較的少なく、有効な動画フレームへの透かし情報埋め込み方法であることが分かった。

動きベクトル検出法は、多くの方法が研究されているが、この中で動きベクトルを検出する処理量が少ないが、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 I-フレームの全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-フレームにおける全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の特定のピクセル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。この結果、埋め込

み対象マクロブロックが重なることになる。

図3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。



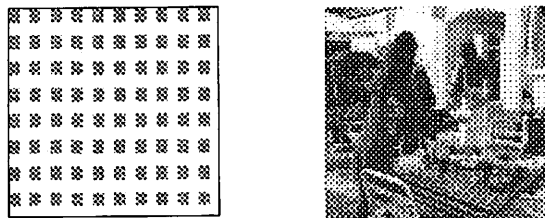
(a) 原動画像フレーム (b) 重畳マクロブロック(薄いマクロブロック)

図3 動きベクトル参照ブロックの重畳例

このマクロブロックの重畳を避けるため、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を採用した。

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-フレームから確実に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再生することができる。

図4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を示す。



(a) 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4 間引き動きベクトル検出による透かし埋め込み動画像

また、埋め込みブロック領域が重なる場合でも、I-フレームのみを常に着目すれば、埋め込み透かし情報を抽出することができる。このとき透かし情報の埋め込み情報量は、当然増大する。

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、参照ブロック(P-フレーム)と埋め込みフレーム(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。

例えば、動画像(320×240)が1GOP {IBBPBBIBBPBB} (M = 3, N = 15) 構成のビットストリームするとき、I-フレームを参照したP-フレームの動きベクトル数は、265である。

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、69×3 bitsとなる。

全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、265×3 bits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なので、本方式は大幅な透かし情報の埋め込みが可能である。

また、このGOP構成で、すべてのマクロブロック数は、919であったが、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、919 bitsとなるが、透かし情報埋め込み後の動画像品質の劣化が大きい。

上述した実験結果に用いた動画像サンプルは、AVI符号化出力を使用した。余りS/N比が良くないので、図5に示すようなS/N比が良好なAVI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。その結果を表1に示す。なお、この動画像のフレーム数は、192フレームであった。

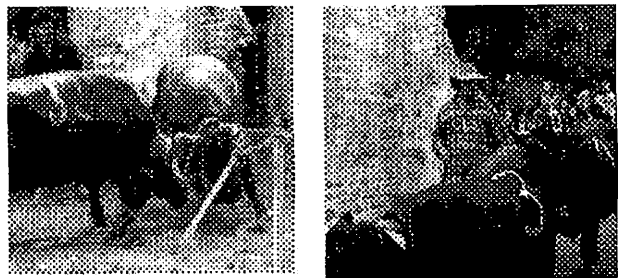


図5 動きベクトル参照型電子透かし実験例

この結果、図6に示す動きベクトル参照型電子透かし方式の構成図により、デジタルビデオ電子透かし方式が実現できる。

つぎに、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攻撃耐性と同様な評価が得られる。

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、MPEG圧縮など多くのアタックがある。[6]

これらのアタックの中で、動画特有なアタックとして、MPEG圧縮があり、このアタックに対する耐性を強くする必要がある。

この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。

現在、デジタル画像に対するアタック耐性テストとして、StirMark3.1が制定されているが、これは主に静止画像を対象としたアタック耐性試験項目である。

したがって、動画電子透かしに対するアタック耐性は、動画フレームを再生して、埋め込みアルゴリズムを盗用することができなければ、比較的強いアタック耐性をもっていると考えられる。

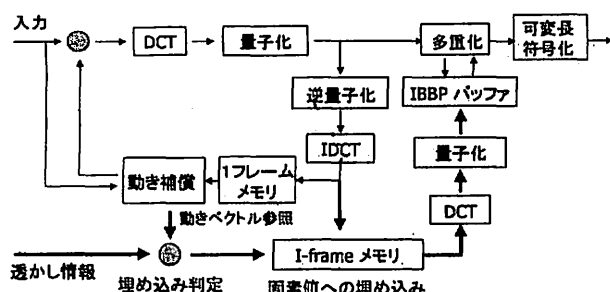


図6 動きベクトル参照型動画電子透かし構成図

4. 2 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。

また、動きの多い動画のように、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ビット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。

5. 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。これらの方法は、透かし埋め込み後の動画品質は、原画像に比較して、殆ど劣化が無く、他の動画透かし方式に比較して、良好な透かし情報抽出誤り率が得られた。

今後、多くのアタック、特に埋め込み画像の切り取りや拡大縮小に対する耐性について、さらに研究を進める。この方法により、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された。

参考文献：

- [1] E. Koch, J. Zhao: "Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling", Proc. of IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, June, 1995
- [2] J. Dittman, et al.: "Robust MPEG Video Watermarking technologies", Proc. of International Conf. of Multimedia, Sept. 1998
- [3] C. Bush, et al.: "Digital Watermarking: From Concepts to Real-Time Video Applications", IEEE Computer Graphics & Applications, Jan./Feb., 1999, pp. 25-35
- [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, 2000, pp. 593-600
- [5] 荒木貴志, 宮崎明雄, 井上尚: "ウェー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, 2000, pp. 1606-1614
- [6] L. Qiao, K. Nahrstedt: "Watermarking Methods for MPEG Encoded Video: Towards Resolving Rightful Ownership", Proc. Of International Multimedia Computing and Systems, 1998, pp.276-285