

動画電子透かしの耐性向上における正規化フレームサイズの有用性について*

3X-10

小川 宏 中村 高雄 富岡 淳樹 高嶋 洋一†

NTT サイバースペース研究所‡

1 はじめに

デジタルコンテンツの著作権を保護する方式として注目されている要素技術の一つに電子透かしがある。電子透かしは、コンテンツ自体の情報を人間には知覚できない程度の微小量だけ変更し、コンテンツ内に別の情報（透かし情報）を重畳する技術である。電子透かし技術を用いて、コンテンツに著作権に関する情報（著作者のIDや利用条件など）を埋め込み、著作権を保護するシステム^{[1][2]}が提案されているが、電子透かしに要求される条件はいずれも厳しく、1. 埋め込んだ情報を取り除くことが困難であること、2. 拡大・縮小、色補正その他の操作を受けた後も保持されること、3. 埋め込むことで著作物の品質が変わらない、すなわち人間に知覚されないこと、などを満たす必要がある^[3]。

画像に対する電子透かし方法は二つのアプローチに大別され、一つは標本値を直接変更する方法、もう一つは直交変換によって得られる周波数成分値を変更する方法である。一般に前者は画像の幾何学的変換に対する耐性に優れているが、非幾何学的変換に対する耐性が低く、後者は逆の特徴を持っているとされている^[4]。しかしながら、周波数成分値変更法で透かし情報を埋め込んだ画像に幾何学的改変を施された場合でも、施された幾何学的改変が予め分かっていたら補正により透かし情報を検出可能であることが報告されており^[5]、施された幾何学的改変に関する情報を如何に検出するかが透かし読み取りの鍵となってくる。

本稿では、周波数成分値の量子化に基づく電子透かし方法における、フレーム内変形処理に対する耐性向上の手法を提案し実験評価する。その原理は、上記幾何学的変換の補正による透かし読み取りに基づいており、透かし処理を常に一定のフレーム画像サイズで行なうことにより、フレーム内変形処理を施された画像から透かし読み取りを可能としている。ただし本提案では、フレーム内の一部分を切り出した部分フレームから再構成した動画像を対象としない。

2 フレーム拡大縮小に対する耐性向上手法

従来法^{[6][7]}では、動画像のフレームサイズと透かし処理単位には相関がなかったため、変形されたフレームを補正することは不能であった。しかしながら、動画像に対する編集処理はフレーム単位に行なわれることが多いことから、画像のフレームサイズに対する透かしの処理単位を一定にすることで、変形されたフレームの補正を実現する。以下に透かしの埋め込み及び読み取り処理の概要を説明する。

2.1 透かし埋め込み方法

画像サイズの変更処理が施された動画像から透かし読み取りを行なうために、電子透かし埋め込み処理は、常に決まった画像サイズに正規化したフレーム画像に対して行なわれる。入力画像のフレームサイズを $H \times V$ とすると、まずこれを $h \times v$ 画素画像に変形する。画像の変形処理は、例えば4点近傍による線形補間法¹などを用いて行なう。サイズ変形処理を施された画像に対し、文献^[6]の方法を用いて電子透かし埋め込み処理を行なう。

*Usefulness of normalized frame size on the improvement of the video watermarking robustness

†Hiroshi Ogawa, Takao Nakamura, Atsuki Tomioka, Y-ouchi Takashima

‡NTT Cyber Space Laboratories

$$d_{x,y} = (1-q) \cdot \{(1-p) \cdot d_{[x],[y]} + p \cdot d_{[x]+1,[y]}\} \\ + q \cdot \{(1-p) \cdot d_{[x],[y]+1} + p \cdot d_{[x]+1,[y]+1}\}$$

を用いて計算される。ただし、 $d_{x,y}$ は座標 (x,y) における画像の濃度値、 p, q は求める点に対する近傍点の距離の比、 $[x]$ は x を超えない最大の整数を表すものとする。

文献^[6]の透かし埋め込み方法は、フレーム画像を $a \times a$ サイズのブロック画像に分割し、それぞれに1ビットの情報を埋め込む。従来手法では、1枚のフレームに埋め込める透かしの情報量はフレームサイズに比例して大きくなっていったが、本手法では、透かしを埋め込むフレーム画像を $h \times v$ サイズに変形して処理するため、1フレームに埋め込める透かしの情報量は常に $[\frac{h}{a}] \cdot [\frac{v}{a}]$ ビットとなる。ただし、文献^[6]に記述している編集処理に応じた透かし量子化幅設定については、透かしを埋め込んだ画像の編集方法が予測できないことから本稿では採用しない。透かし埋め込み方法を簡単に説明すると、

Step E1. 透かし情報を疑似乱数系列を用いて拡散し、透かし系列を得る。

Step E2. 透かし埋め込み処理を行なうブロック画像の順序と各々の埋め込み帯域を選定する。

Step E3. フレーム画像をブロック画像に分割する。

Step E4. 透かし埋め込み対象となるブロック画像の局所的複雑度^[6]を計算する。

Step E5. ブロック画像を周波数成分行列に変換し、Step E2. で選んだ周波数成分値をブロック画像の複雑度に応じて量子化し、その値を制限することで、透かし系列の埋め込みを行なう。周波数成分行列を逆変換し、透かし埋め込み済みブロック画像を得、もとのブロック画像と置き換える。

透かし埋め込み処理を行なった $h \times v$ サイズのフレーム画像は、オリジナルの画像サイズ $H \times V$ サイズに変形される。ただし、 $H > h$ もしくは $V > v$ のときは、フレーム画像の変形処理によってフレーム画像の高周波帯域のエネルギーが減少するため、縮小処理によって落ちた情報を、透かし処理後の拡大したフレーム画像に加算することでこれを保存する。画像を縮小して透かし処理を行なう場合、透かしの処理単位を本来の画像サイズ $H \times V$ に換算すると $\frac{h}{H} \cdot a \times \frac{v}{V} \cdot a$ 程度となり、従来法^{[6][7]}に比べ、埋め込み可能な透かしの情報量は減少するが、透かしの処理単位が相対的に大きくなっているため、透かしの耐性は向上する可能性がある。透かしの埋め込み処理は正規化されたサイズのフレームに対して行なわれるため、画素当りの透かしのエネルギーは常に一定と考えられる。透かしの耐性と画質は透かしエネルギー量に関係することから、フレーム当たりの透かしエネルギー量を適切な値に設定することが重要となってくる。また、ブロック画像を直交変換する回数が減るため、透かしの処理時間が若干高速化する。また、文献^[6]の方法では画像の局所的複雑度に基づく透かし埋め込み処理を行なっているが、原画像に対して透かし処理の画像サイズが極端に小さい場合、ブロック画像の局所的複雑度が原画像における大域的複雑度となり、画像の複雑度を考慮した透かし埋め込みがうまく機能しない可能性もある。

2.2 透かし読み取り方法

透かし読み取り処理も透かし埋め込み処理と同様、画像サイズを正規化したフレーム画像に対して行なわれる。入力画像のフレーム画像サイズを $H \times V$ とすると、これを $h \times v$ 画素画像に変形する。サイズ変形処理を施された画像に対し、文献^[7]の方法を用いて電子透かし読み取り処理を行なう。透かし読み取り処理を簡単に説明すると、

Step D1. 透かし読み取り処理を行なうブロック画像の順序と埋め込み帯域を選定する。

Step D2. フレーム画像をブロック画像に分割し、それぞれ周波数成分行列に変換する。

Step D3. 透かしが埋め込まれている周波数成分値から透かし系列を読み取る。

Step D4. 統計的手法を用いて、透かし系列から透かし情報を再構成する。

透かし情報はその有無を含めて判定及び再構成処理を行なわれる。統計的に判定を行なっているため、偽陽/陰性の判定を行なう可能性もある。

3 実験

本提案手法の効果を調べるため、

1. 正規化のフレームサイズに対する透かしの耐性
2. フレーム拡大縮小処理に対する透かしの耐性

を評価する実験を行なった。ただし、2のフレーム拡大縮小処理は一般的に用いられる最近傍法²及び線形補間法を用いた。条件を示す。

- 実験画像: Bus, Mobile and calendar, MIT sequence(girl)
- 動画のフレームサイズ: 352×240 画素 (8bit 階調)
- 電子透かしの処理単位: 16×16 画素
- 透かし情報長: 1 bit
- 直交変換: DCT
- 抽出した透かしの信頼度: 99.99%

3.1 正規化フレームサイズと透かし耐性の関係

実験対象画像(入力画像のフレームサイズは固定)に対して、様々な正規化フレームサイズで透かし埋め込み処理を行なった動画(全100フレーム)をビットレート1.5Mbit/sでMPEG-1符号化(GOPサイズが15フレーム、Pフレームの間隔が3フレーム)し、透かしの耐性を測定した(表1)。以下、表の数値は、正しく透かし情報を抽出したフレーム数であり、それ以外のフレームは透かし無しと判定(透かしが消去)されたものである。ここで読み取れた透かしはすべて正しい情報であった。縦横の項目は、入力画像に対する正規化フレームのフレーム画像サイズ比を表している。

表1: 正規化のフレームサイズに対する透かしの耐性

$v/V : h/H$	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5
bus					
0.5	88	84	86	61	53
0.75	92	88	87	55	35
1.0	97	96	93	35	9
1.25	81	89	35	7	0
1.5	80	38	28	0	0
mbcl					
0.5	35	42	45	35	36
0.75	40	39	44	44	24
1.0	37	43	42	24	7
1.25	37	43	14	4	0
1.5	37	27	7	0	0
MITseq.					
0.5	96	96	82	63	87
0.75	95	94	96	86	68
1.0	78	96	98	56	35
1.25	97	92	59	0	0
1.5	92	71	44	0	0

表1の結果から、若干の例外もあるが、正規化フレームサイズは小さい方が透かしの耐性は比較的高いという結果が得られた。ただし、正規化フレームサイズ対入力画像のフレームサイズ比が縦横いずれも1.0以下のものについては、透かしの耐性に大差がなかった。これに関しては、透かしの耐性が透かし情報の埋め込み繰り返し回数(拡散率)に関係があることに起因すると思われる。これら二つの要素は反比例の関係にあり、透かしの処理単位の画素数や透かしの拡散率が十分でない場合には透かしの耐性に差が現れなかったと考えられる。本提案手法では、透かし処理を行なうフレーム画像のサイズが正規化フレームという形式で決まっているため、透かし処理単位であるブロック画像の個数も固定化

²ある画素の濃度値を求めるのに周辺4画素から最近傍点の画素を濃度値として選択する方法。

される。電子透かしの性能を考慮すると、透かし処理の正規化フレームサイズは一般的に用いられる動画のフレームサイズより小さく設定し、埋め込み繰り返し回数がある程度確保することが必須となってくる。よって、各フレームに埋め込める透かし情報量は制約される。

3.2 フレーム変形処理に対する透かし耐性

次に透かし埋め込みを行なった画像を $H' \times V'$ 画素サイズにフレーム変形処理し、透かしの耐性を測定した。フレーム変形処理として、表2に最近傍法を、表3に線形補間法を用いた場合の結果を示す。ただし、すべてのフレームから正しい透かしの抽出に成功した行は省略している。

表2: 最近傍法を用いたフレーム変形処理に対する透かしの耐性

$V'/V : H'/H$	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5
bus					
0.5	52	43	94	91	95
0.75	97	100	100	100	100
mbcl					
0.5	2	0	2	1	2
0.75	0	3	63	30	63
1.25	93	84	100	100	100
MITseq.					
0.5	66	53	100	96	100
0.75	97	94	100	100	100

表3: 線形補間法を用いたフレーム変形処理に対する透かしの耐性

$V'/V : H'/H$	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5
bus					
0.5	98	100	100	100	100
mbcl					
0.5	0	14	65	34	32
0.75	50	100	100	100	100
MITseq.					
0.5	99	100	100	100	100

表2, 3の結果において、画像毎に透かしの耐性が異なっているのは、画像の局所的複雑度に応じて透かしの埋め込み強度を変化させているためと考えられる。フレーム拡大処理に関しては、画像のエネルギーがほぼ保存されているため、ほとんどの場合ですべてのフレームから透かし読み取りに成功した。フレーム縮小処理に関して、線形補間法は最近傍法に比べ情報劣化が少なくなることから、より多くのフレームで透かし抽出に成功したと思われる。電子透かしとは、画像の劣化に伴い透かしの抽出率もしくは透かしの正当率が低くなっていくものであり、表2と3の違いは理に合った結果である。また本提案手法は、電子透かし処理内のフレーム変形処理に線形補間法を用いているため、非線形な歪みを加えられたフレーム画像(例えば Stirmark^[9]による処理画像)などからは透かしが読み取れない可能性が高い。

4 おわりに

量子化に基づく動画への電子透かし方法において、フレームの拡大縮小処理に対する耐性向上の一手法を提案し、実験により縦横いずれか1/2倍程度の縮小処理を除き、提案手法の有効性を確認した。ただし、本手法はフレーム内の切り取り処理を一切考慮していないため、改良が必要であると思われる。今後の課題として、本提案手法の様々な条件に対する耐性実験があげられる。

参考文献

- [1] 山本, 玉井, 三宅, "著作権保護を考慮した情報流通システム InfoProtect", NTT R&D, Vol.47, No.6, pp.115-120, 1998
- [2] 松井, 高峰, "電子透かしの応用: 一般利用者の協力に基づく海賊版データ検出方法", 1998 暗号と情報セキュリティシンポジウム講演論文集, SCIS'98-10.2.C, 1998
- [3] 松井, "デジタル透かし(技術解説)", 電学誌, vol.26, no.3, pp.266-274, 1997
- [4] 田中, 中嶋, "幾何学的変換に対する周波数変換利用型電子透かしの耐性強化手法", 情報研報, 98-CSEC-3-7, pp.37-42, 1998
- [5] 大西, 松井, 小澤, "ウェーブレット変換を利用したクリップ画像からの電子透かし隠匿", 映像メディア学会報, vol.21, no.42, MIP'97-55, pp.1-5, 1997
- [6] 小川, 中村, 富岡, 高峰, "画質を考慮した電子透かし埋め込み方法", 電子情報通信学会コミュニケーションオリティ研究会 CQ98-81, pp.19-24, 1999.
- [7] 小川, 中村, 富岡, 高峰, "信頼性に基づく動画電子透かし抽出方法", 1999 暗号と情報セキュリティシンポジウム Vol 1, pp.325-330, 1999.
- [8] Fabien A. P. Petitcolas, Ross J. Anderson, Markus G. Kuhn, "Attacks on copyright marking systems", Second Workshop Information Hiding, pp.218-238, 1998.