

幾何学的改変に対する周波数変換利用型電子透かしの耐性強化手法

田中 宏征, 中嶋 正臣

株式会社NTTデータ 技術開発本部 マルチメディア技術センタ

電子透かし埋め込み後の画像に対する拡大・縮小や一部切り出しなどの幾何学的改変は、透かし情報を無力化するための手段となることが知られている。DCTなどの周波数変換を利用した電子透かしは透かし情報埋め込み後も比較的高画質となる傾向にあるが、この種の攻撃に対して脆弱であり耐性強化が課題となっている。一方、輝度値などの標本値を操作する電子透かしは透かし情報埋め込み後の画質劣化が大きくなる傾向にあるが、幾何学的改変に対し強い耐性を持たせることが可能である。

本研究では、周波数変換利用型電子透かしに標本値操作型電子透かしを併用することで、透かし情報埋め込み後の画質劣化を抑えつつ一部切り出し攻撃に対して耐性を高めた電子透かしの一手法を提案する。

Improvement of Digital Watermarking under Frequency Domain For Enhancement of Resistance to Geometric Transformation Attacks

Hiroyuki TANAKA, Masaomi NAKAJIMA

Multimedia Technology Center, Research and Development Headquarters,
NTT DATA CORPORATION

Digital watermarks embedded to digital images are often invalidated by geometric transformation attacks as scaling and clipping. Digital watermarks that use methods of frequency analysis as DCT, FFT, and wavelet transformation tend to preserve quality of images after embedding digital watermarks, but usually can be invalidated by geometric transformation attacks. Other type of digital watermarks that is embedded by changing sampled value as brightness of pixel for the value which contains information of digital watermark tends to cause quality of images to be worse but usually has resistance to geometric transformation attacks.

We propose a digital watermarking method that is improved for enhancement of resistance to geometric transformation attacks and can preserve quality of image after embedding digital watermark by combination of digital watermarking method using DCT and another method which changes sampled value as brightness of pixel.

1. はじめに

電子透かしは、デジタルコンテンツ流通を行う際の著作権管理に有効な技術として期待されている。電子透かし技術に関して既に様々な研究成果が発表されているが、各種画像処理を用いて行われる透かし情報を無効化するための攻撃に対する耐性について何らかの課題を持っているのが現状である。

電子透かし埋め込み後の画像に対する拡大・縮小や一部切り出しなどの幾何学的改変は、透かし情報を無効化するための手段として知られている。DCT(離散コサイン変換)などの周波数変換を利用した電子透かしは透かし情報埋め込み後も比較的高画質となる傾向にあるが、この種の攻撃に対して脆弱であり耐性強化が課題となっている⁽¹⁾⁽²⁾。一方、輝度値などの標本値を操作する電子透かしには透かし情報埋め込み後の画質劣化は避けられないが、幾何学的改変に対し比較的強い耐性を持っているものが発表されている。

本研究では、周波数変換を利用する方式と標本値を操作する方式の2種類の電子透かしを併用して両者の長所を利用することで、透かし情報埋め込み後の画質劣化を抑えつつ一部切り出し攻撃に対して耐性を高めた電子透かしの一手法を提案する。

2. 耐性強化手法

2.1 電子透かし方式の選択

電子透かしの方式は、透かし情報の埋め込み先によって大きく2種類に分類できる。一つは輝度値などの標本値を操作することで透かし情報を埋め込む方式(以後、標本値操作型)、もう一つは DCT(離散コサイン変換)、ウェーブレット変換などによって得た周波数成分を操作することで透かし情報を埋め込む方式(以後、周波数変換型)である。本研究では、ユーザが必要とする情報(著作権者番号, 利用者番号など)を画像に埋め込むために用いる電子透かしの方式としては、周波数変換型を使用する。これは、

電子透かし埋め込み後の画質に関して、標本値操作型より周波数変換型の方が比較的良好な結果を得られる傾向があり、画像の広い領域にわたって電子透かしの埋め込みを行っても画質の劣化を少なく抑えられると判断したためである。図1に電子透かし埋め込み後画像の例を周波数変換型と標本値操作型の両方について示す。

周波数変換型は電子透かし埋め込み処理の際、周波数変換を行うために画像を微小領域に分割する必要がある。そして電子透かしの読み取りでは、埋め込み時と同様の状態に画像を微小領域に再分割しなければならない。この『再分割』は、電子透かしに対する無力化攻撃の一方法である幾何学的改変を行われた画像では困難な作業となる。それは、分割の際に用いる基準位置が電子透かし埋め込み時と読み出し時で変化してしまい、埋め込み時と同様に画像を分割できなくなるためと考えられる。このため、周波数変換を行って透かし情報を取り出そうとしても意味を成さない情報が取り出されることになる。

これに対し標本値操作型は幾何学的改変に対し比較的強い耐性性能を持つものが発表されている。表1に4種類の電子透かしを対象として幾何学的改変に関して行った耐性性能評価試験の結果を示す。実験で行う画像処理には Adobe PhotoShop を使用した。透かしの埋め込み強度は、各埋め込みソフトウ



(a)周波数変換型の例 (SN比 48.922dB) (b)標本値操作型の例 (SN比 42.476dB)

図1 電子透かし埋め込み後の画質比較

表1 各種電子透かしの幾何学的改変に対する耐性

電子透かし	基本方式	攻撃 (拡大)	攻撃 (縮小)	一部切り出し
A	標本値操作型	読み出し可	読み出し可	読み出し可
B	標本値操作型	読み出し可	読み出し可	読み出し可
C	周波数変換型	読み出し不可	読み出し不可	読み出し不可
D	周波数変換型	読み出し不可	読み出し不可	読み出し不可

ウェアのデフォルト値とした。攻撃方法は、拡大は画像サイズを原画像の 1.2 倍に、縮小は原画像の 0.8 倍に変更することで行った。一部切り出しは、透かしを埋め込んだ画像中のオブジェクトを切り出して全画素が輝度 255 の白色画像に貼り付けることで評価用画像とし、評価用画像から透かし情報が読み出せるかを調べた。表1から、幾何学的改変以外の耐性条件が各方式で異なるため厳密な比較とはいえないが、標本値操作型はある程度の幾何学的改変を行われても透かし情報が読み出せる事と、周波数変換型は幾何学的改変が行われると透かし情報が読み出せなくなる事がわかる。

しかし、図1に示したように標本値操作型を画像の広範囲に使用すると画質の劣化を引き起こす傾向がある。そこで、本手法では標本値操作型で埋め込む情報は電子透かしの埋め込まれた画像が幾何学的改変を受けた後も周波数変換型電子透かし読み出しの前処理である「画像の再分割」を行えるために必要な分割基準位置の情報のみとして標本

値操作型の使用を必要最小限に留めることで埋め込み後画質の劣化を抑える。

2.2 異なる方式の電子透かしの併用

2.1で述べたように、本手法では標本値操作型と周波数変換型の2種類の電子透かしを併用する。

本手法では、以下に述べる「コンテナ」を基本単位として情報の埋め込みを行う。「コンテナ」は、標本値操作型による「マーカ」1個と周波数変換型による「ユニット」複数個で構成される異なる種類の電子透かしの組み合わせ単位である。図2にコンテナの概要図を示す。マーカは、透かし情報読み出しの際に電子透かし読み出しソフトウェア(以後、デコーダ)に対してコンテナ位置を示すと共に、コンテナ内における基準位置を示す。埋め込まれる透かし情報は2進数化された後に特定の規則で分割され、各ユニットに分配される。ユニットは、分割された透かし情報の一部を DCT によって得られた周波数成分に埋め込まれることで保持する。コンテナの埋め込みは画像の全領域に対して行われる。

本手法における電子透かしの読み出しは次のように行われる。まず、デコーダは標本値操作型を用いて埋め込まれた「マーカ」を探索してマーカ位置を特定する。デコーダはマーカ位置を基準位置としたユニットの配置規則情報を保持しており、マーカ位置特定後はマーカ位置情報をもとにユニット位置を特定して DCT を行い、得られた周波数成分からユニットに埋め込まれた透かし情報の断片を取り出す。そしてコンテナ内の全ユニットから集めた透かし情報の断片を特定の規則で再構成して2進数化された透かし情報を復元し、元の透かし情報に変換する。

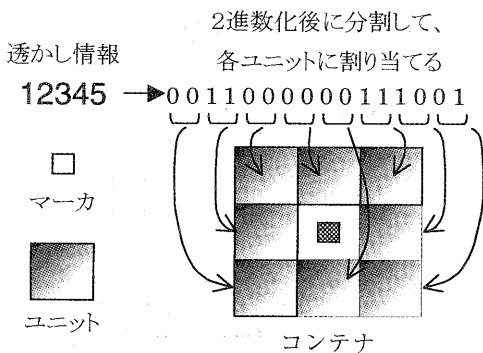


図2 コンテナの概要

2.3 透かし情報の埋め込み

2.3.1 標本値操作型電子透かし

本手法では、コンテナ構成要素のマーカの埋め込みに標本値操作型電子透かしを使用した。以下に使用した方式の基本操作について述べる。

電子透かしを埋め込む画像は輝度値範囲256階調の濃淡画像とする。カラー画像に埋め込む場合は、輝度信号 Y と色差信号 C_r と C_b からなる Y, C_r, C_b 表色系に画像を変換し⁽³⁾、輝度信号 Y を256階調にして濃淡画像を得る。この画像の各画素が持つ情報量は8ビットなので、図3のように8枚のビットプレーンに分割できる。この内の1枚を透かし情報を埋め込むプレーンに設定する。ここで、 4×4 画素からなるマーカパターンを用意し、透かし情報を埋め込むプレーンにおいてマーカ位置にある 4×4 画素領域の値をマーカパターンと置き換える。

マーカの埋め込みによって埋め込み位置の輝度値には変化が生じ、これが画像の劣化につながる。この劣化を抑えるために、マーカの埋め込みが行われた画素については埋め込んだ値に応じて図4のように透かし情報埋め込みプレーンより下位のプレーンを操作する。この処理は、埋め込む値(0または1)が埋め込み前の値と異なる画素について行う。値0の所に透かし情報1を埋め込んだ場合は、その下のビットを0にして残りの下位ビットを全て1に、値1の所に透かし情報0を埋め込んだ場合は、その下のビットを1にして残りの下位ビットを全て0にした。

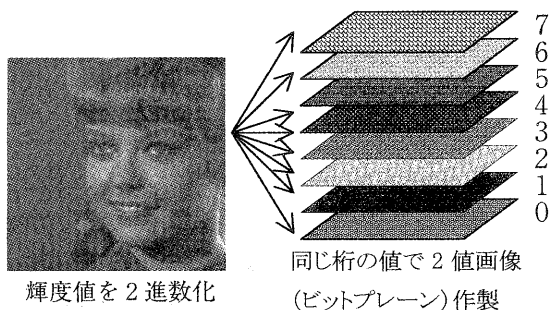


図3 ビットプレーンへの分割

2.3.2 周波数変換型電子透かし

本手法では、コンテナ構成要素のユニットの埋め込みに周波数変換型電子透かしを使用した。以下に使用した方式の基本操作について述べる。電子透かしを埋め込む画像を、縦 h 画素、横 w 画素、輝度値範囲256階調の濃淡画像とする。カラー画像に埋め込む場合は、2.3.1で述べたように Y, C_r, C_b 表色系に画像を変換し⁽³⁾、輝度信号 Y を256階調にして濃淡画像を得る。また、埋め込む情報量は一種類あたり最高16ビットとした。

まず、透かし情報を2進数化し、特定の規則で分割する。そして図2のように、透かし情報の分割数 n と同数のユニットが用意され、分割された透かし情報は特定の規則で各ユニットに分配される。

次に、マーカ位置を基準としてユニットを埋め込む 8×8 画素の領域 n ヶ所を特定の規則で決定する。これらの領域それぞれに式(1)でDCTを行い、 n 個の周波数成分行列(8×8 成分)を得る。

$$S(u, v) = \frac{1}{4} c(u) c(v) \sum_{j=0}^7 \sum_{i=0}^7 p(i, j) \cdot \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cdot \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} \quad (1)$$

$$\text{ただし、} c(u), c(v) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & u, v = 0 \\ 1 & u, v \neq 0 \end{cases}$$

次に、透かし情報埋め込み対象となる周波数成分 $S(u, v)$ を特定の規則で選択し、取り出した $S(u, v)$

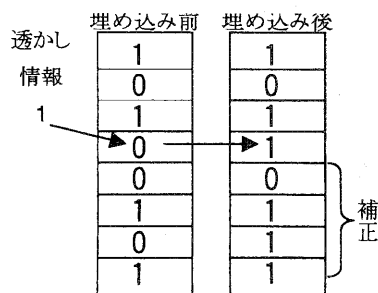


図4 透かし埋め込み後の補正

の値を埋め込む透かしビット b の値に応じて式(2)~(4)により $S(u, v)$ の値を $S'(u, v)$ に変更する。

$$S'(u, v) = \begin{cases} 0.0 & ; b=0 \\ \alpha \times \text{scale factor}(u, v) \times \beta & ; b=1 \end{cases} \quad (2)$$

$$\alpha = \begin{cases} 1.0 & S(u, v) \geq 0.0 \text{ の場合} \\ -1.0 & S(u, v) < 0.0 \text{ の場合} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{scale factor}(u, v) = \frac{t(u, v) \times \text{quality} + 50.0}{100.0} \quad (4)$$

式(2)の β は余裕係数、式(4)の $t(u, v)$ は推奨量子化マトリクスの値である。quality は 50 から 100 の範囲の値をとり、値が 50 に近くなるほど画質は良好になる。本研究における quality の値は Adobe Photoshop を用いて高圧縮率モードで JPEG 圧縮されても透かしが残る事を条件として設定した。

透かし情報埋め込み後、式(5)によって周波数成分行列から 8×8 画素の濃淡画像に復元する。

$$p(i, j) = \frac{1}{4} \sum_{v=0}^7 \sum_{u=0}^7 c(u)c(v)S(u, v) \cdot \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cdot \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} \quad (5)$$

$$\text{ただし、} c(u), c(v) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & u, v = 0 \\ 1 & u, v \neq 0 \end{cases}$$

以上の処理をコンテナ内の全ユニットに行うことで透かし情報一組分の埋め込み処理を終える。

透かし情報の読み出しは、デコーダが保持してい

るマーカとユニットの位置関係を示す情報とデコーダが探索したマーカ位置の情報からユニット位置を特定し、式(1)によって周波数成分を再計算する。そして透かし埋め込み時に用いた規則に従って透かし情報が埋め込まれた周波数成分 $S'(u, v)$ を取り出し、式(4)と(6)によって透かし情報検出用パラメータ p を算出し、式(7)によって透かし情報 b を得る。

$$p = \text{round} \{ |S'(u, v) / \text{scale factor}(u, v)| \} \quad (6)$$

ただし、 $|a|$ は a の絶対値

$\text{round}(a)$ は a を四捨五入して得た整数値

$$\begin{cases} p=0 & \text{ならば、} b=0 \\ p \neq 0 & \text{ならば、} b=1 \end{cases} \quad (7)$$

上記の透かし情報読み出し処理をコンテナ中の全てのユニットに対し行い、集められた透かし情報 b を透かし埋め込み時に用いた規則に従って再構成することで2進数化された透かし情報が復元される。

3. 手法の評価

3.1 実験方法

提案手法の効果を確認するために、一部切り出しを行われた電子透かし入り画像から透かし情報を取り出す実験を行った。図5(a), (b)に実験で使用した画像を示す。画像のサイズは(a), (b)共に 256×256 画素、色情報は RGB 各 256 階調である。実験は次のような手順で行った。まず、電子透かしを画像(a)



(a) 電子透かしの埋め込み先画像

(b) 切り取り部分の貼り付け先画像

(c) 切り取り部分

(d) 切り取り部分の貼り付け後

図5 実験に使用した画像

に埋め込んだ。次に、図5(c)に示した領域を切り出し、画像(b)に貼り付けた。切り出し領域貼り付け後の画像(b)を図5(d)に示す。貼り付け処理後、電子透かしの読み取りが可能か確認した。

上記の実験を、提案手法を含む複数の電子透かしについて行った。電子透かしの埋め込み強度は、埋め込みソフトウェアのデフォルト値を使用した。また、使用した電子透かしの透かし情報埋め込み後面質を比較した。比較は、図5(c)に示した領域について行った。まず、電子透かし入り画像から図5(c)に示した領域を切り出し、256×256画素で全画素が輝度値255の画像に貼り付けた。そして、この画像の信号対雑音比(SNR)を式(8)で算出した⁽³⁾。

$$SNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{\sum_{j=0}^{255} \sum_{i=0}^{255} (org_{i,j} - smp_{i,j})^2}} / (256)^2 \right) \quad (8)$$

3. 2 実験結果

実験結果を表2に示す。提案手法を用いた電子透かし E は一部切り出しを受けた後も透かし情報の読み出しが可能であった。信号対雑音比について比較すると、周波数変換型を用いた他の電子透かしに近い画質を維持しており、透かし情報埋め込み後の画質劣化を抑えつつ一部切り出しに対する耐性を持たせたことが示された。標本値操作型の電子透かし A と B は2.1で述べたように一部切り出しを行われても透かし情報が読み出せたのに対し、周波数変換型の電子透かし C と D は透かし情報を読み出すことはできなかった。

4. おわりに

周波数変換型電子透かしが持つ幾何学的改変に対する耐性強化という課題を解決するために、標本値操作型電子透かしを併用することで電子透かし読み取りの際に行う周波数変換で用いる基準位置情報を幾何学的改変後も保存する手法を提案した。また、提案手法を持ちいることで幾何学的改変の一種である一部切り出しを行った後も周波数変換電子透かしから透かし情報が取り出せることを確認した。しかし、拡大・縮小や回転などの幾何学的改変に対しては未対応であり、また、一部切り出し後に再度高圧縮率での JPEG 圧縮を受けると透かし情報の読み出しができなくなる場合があるという問題点を残している。今後の課題としてはこれらの問題点を解決するための本手法の改良が挙げられる。

参考文献

- (1) 中村高雄, 小川宏, 高嶋洋一, “デジタル画像の著作権保護のための周波数領域における電子透かし方式”, SCIS '97-26A, 1997
- (2) 崔潤基, 相澤清晴, 羽鳥光俊, “原画像を用いない DCT 領域での電子透かし法”, 映像メディア処理シンポジウム第3回シンポジウム資料, pp.77-78, 1998
- (3) 松井甲子男, “電子透かしの基礎”, 森北出版 1998

表2 実験結果

電子透かし	基本方式	攻撃後の透かし情報 (一部切り出し)	信号対雑音比 (dB)
A	標本値操作型	読み出し可	42.476
B	標本値操作型	読み出し可	35.863
C	周波数変換型	読み出し不可	48.922
D	周波数変換型	読み出し不可	44.429
E	提案手法	読み出し可	45.967