

# 電子透かしの既存ハードコピー対策技術の耐性についての調査と研究

2000MT028 石川 準  
指導教員 真野 芳久

2000MT109 安田 晃祐

## 1 はじめに

近年、デジタル技術のめざましい発展により電子メディアを誰でも容易に作成することが可能になり、インターネットの急速な普及拡大によって、誰でも電子メディアを発信することが可能となった。電子メディアはその性質上コピーを作成しても品質の劣化は起きないので、インターネットを介した電子メディアの公開は無許可のコピーを流布する結果を招いている [1][2]。

これらの対策の1つとして電子透かし技術がある。電子透かしとは文書や画像、音楽や動画などの電子メディアの中に著作権固有の識別符号を密かに埋め込むことで所有権などの所在を主張しようとするものである。しかし、電子透かしは完成された技術ではなく、課題を多く含んでおり、本研究で扱うハードコピー対策技術もその1つである [3]。

本研究では白黒の2値画像についてハードコピー対策をした電子透かしを埋め込み、DA-AD変換を行い各手法の耐性を調査研究する。埋め込み手法は [4] の2手法を参考にして、[5] と [6] の2値化の方法にも埋め込み方法を提案し、同様に調査した。

## 2 画像のDA-AD変換

本研究では電子メディアとして画像を扱っているため画像の観点からDA-AD変換を述べる。デジタル表現された画像データをプリンタを介し、写真としてハードコピーすることをDA変換、スキャナを用いて写真からデジタル画像にすることをAD変換と言う。DA変換したものをAD変換して再びデジタルの状態に戻すことをDA-AD変換と呼ぶ。

## 3 ハードコピー対策の考え方

電子メディアとして計算機上で画像データを扱う場合は、各ドットの配置や輝度データなどから、埋め込んだ透かしデータを識別することは容易である。しかし、プリンタなどによるハードコピーや、スキャナなどによる取り込みを1度でも行ってしまうと、識別が大変困難になる。また、プリンタのインクのにじみや汚れ、スキャナの解像度、またプリンタやスキャナによる入出力の際に生じるわずかな傾きなどによって電子透かしの識別は大変困難になる。さらに、2値画像では1ビットの変化で色が反転してしまうため、電子透かしを埋め込むためには埋め込む余地を作り出し、にじみ等に対する耐性を持たせられるような工夫が必要となる。

そこで、本研究では電子透かしを埋め込む際に、公開

画像と検証画像を作り、この2枚の画像を重ねることでロゴなどを浮かび上がらせる手法をとる (図1)。

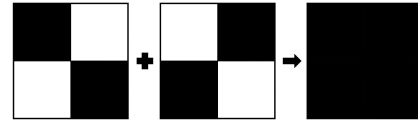


図1 重ね合わせの例

## 4 電子透かしの埋め込み方法

濃度パターン法 [4]、組織的ディザ法 [4]、ランダムディザ法、平均濃度近似法 [5]、誤差拡散法 [5]、ブロック誤差拡散法 [6] の6種の2値化手法にハードコピー対策を施した電子透かしの埋め込み方法を記す。

### 4.1 濃度パターン法

濃度パターン法とは濃淡画像を構成する1画素の輝度(明るさ)情報を、ある一定(本研究では $4 \times 4$ )の領域の密度情報に変換することで擬似的に濃淡を表現するものである。

まず、この方法で濃淡画像を2値化した画像(公開画像)を作成する。次に、作成した公開画像の透かしのある $4 \times 4$ 領域部分のみを黒ドットの重なりが最小となる領域内の黒ドットの密度が同じであるパターン(同値パターン)に置き換えた検証画像を作成する。

ここで、公開画像を作成する際に選ぶドットパターンを同値パターンの中からランダムに選ぶようにする [4]。

### 4.2 組織的ディザ法

あらかじめ決めておいた閾値マトリックスを用いて濃淡画像を2値画像に変換していくものである。閾値マトリックスは $4 \times 4$ の領域に0~15の数字が配置されている。

組織的ディザ法では、自然画像を閾値マトリックスを適用して2値化する対象として考えられている。そして、自然画像には隣接画素間に強い相関関係があるという大きな特徴がある。よって、閾値の差が大きい画素間において、輝度の大小が逆転するほどに輝度が大きく離れた画素が $4 \times 4$ の領域内という近い位置にある確率はきわめて低く、閾値の差が8以上ではほとんど存在していない。また、中間階調においては閾値の大きい画素が白で小さい画素が黒となる確率がきわめて高い。

前述の閾値マトリックスMをベイヤ型ディザマトリックスとし、それに対してその閾値の差が8である閾値の組を作り、入れ替えたマトリックスM'をつくる。図2はベイヤ型ディザマトリックスMとM'

である。

$$\begin{bmatrix} 0 & 8 & 2 & 10 \\ 12 & 4 & 14 & 6 \\ 3 & 11 & 1 & 9 \\ 15 & 7 & 13 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 8 & 0 & 10 & 2 \\ 4 & 12 & 6 & 14 \\ 11 & 3 & 9 & 1 \\ 7 & 15 & 5 & 13 \end{bmatrix}$$

図2 閾値マトリックス M(左),M'(右)

透かし部分では両方のマトリックスを用いて、それ以外の部分では、どちらか一方に統一することで、重ねると透かし部分のみ黒ドットの密度が大きくなるようにすることが可能である [4]。

#### 4.3 ランダムディザ法・平均濃度近似法・誤差拡散法

ランダムディザ法は2値化の際の閾値を各画素ごとに0~255の乱数を発生させ、その乱数を閾値として2値化する手法。平均濃度近似法は濃淡画像上の2値化する画素を基準とするある一定の領域内の画素の濃度に2値化する画素からの距離に基づいた重み付けを行い、領域内の重み付け平均濃度を求めることで2値化する手法。誤差拡散法は濃淡画像と出力画像との濃度の誤差が最小となるように、2値化した画素の誤差を隣接する周囲の画素に拡散しながら2値化する手法である。

まず、通常通りの2値化した2値画像Aを作成し、 $2 \times 2$ の領域に透かしの有無という情報を持たせるため、Aの透かしの埋め込む部分のみを、その領域内での黒ドットの数と同じになり黒ドットの重なりが最小となるドットパターンと置き換えた2値画像Bを作成する。次に、作成したA、Bを $2 \times 2$ の領域ごとにランダムに入れ替え、できた画像の1枚を公開画像、もう1枚を検証画像とする。

#### 4.4 ブロック誤差拡散法

誤差拡散法は1画素ごとに2値化し誤差を拡散させていくものであったが、ブロック誤差拡散法は原画像を $2 \times 2$ のブロックに分けて考え、ブロック外からの誤差の伝播とブロック内での誤差の伝播を加えたブロック内の合計輝度と原画像の同位置の領域の合計輝度の誤差が最小となるように2値化する。これを走査線方向に原画像全体について行うという手法である [6]。

まず、通常通りにブロック誤差拡散を行い2値化した2値画像Aと誤差を拡散した際のブロック単位でAの透かしの埋め込む部分のみ、その領域内での黒ドットの数と同じで重なりが最小となるドットパターンのうち、ブロック内の誤差の合計が最小となるものと置き換えた2値画像Bを作成する。次に、作成したA、Bをブロックごとにランダムに入れ替え、できた画像の1枚を公開画像、もう1枚を検証画像とする。

### 5 DA-AD変換前の実験・調査

各手法でハードコピー対策を施した電子透かしの埋め込んだ2値画像(公開画像と検証画像)を作り、その2枚の画像をDA-AD変換を行っていない状態で透かしを

プログラムで取り出す。ここで、埋め込んだ透かし画像の黒ドット部分の何割を検出することができたかを透かし検出率として調べる。

また、作成した公開画像と検証画像を計算機上で重ねた画像を作成し、透かし画像の黒ドット部分を埋め込んだ部分と白ドット部分を埋め込んだ部分を占める黒ドットの割合をそれぞれ求め、黒ドットの占める割合の差を求める。この割合の差が大きければ透かし画像の黒ドット部分とそうでない部分の密度の差(擬似的な輝度の差)が視覚的に確認できると考える。ただし、絶対的な評価ではなく埋め込む画像や埋め込む位置によっては参考にできないものもある。

図3は濃淡画像Lennaに誤差拡散法を用いて透かし画像を埋め込んだ場合の公開画像と検証画像、図4は取り出した透かし画像、重ね合わせた画像である。



図3 公開画像(左),検証画像(右)

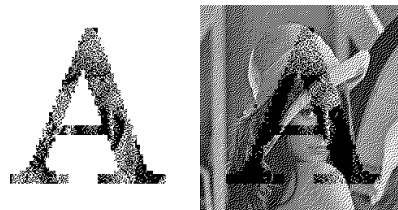


図4 取り出した透かし画像(左),重ね合わせた画像(右)

#### 5.1 手法からの考察

まず、透かし検出率について比べた結果、誤差拡散法が自然画像と人工画像の両方について最も良い結果が得られた。濃度パターン法についても誤差拡散法に比べると少し悪いが3つの画像に対して比較的良い結果が得られた。ランダムディザ法は人工画像では平均的な結果を得られたが、自然画像については最も悪い結果となった。組織的ディザ法ではこの手法が自然画像の性質を利用して2値化する手法であるためか、人工画像の透かし検出率が最も悪くなっている。また、平均濃度近似法は3つの画像について平均的な結果となった。

ランダムディザ法、平均濃度近似法、誤差拡散法はともに、濃度パターン法や組織的ディザ法の考え方から我々が実験的に試している手法であるが、平均濃度近似法と誤差拡散法については、見慣れると透かし部分に違和感を見つけることができる。よってその点を最も良い結果が得られた誤差拡散法からなくす方法はないかということから [6] で提案されているブロック誤差拡散法を用いることとした。

ブロック誤差拡散法は画像をブロックごとにわけて誤差拡散を行っていく。よって、その誤差拡散の単位であるブロックを崩さないようにブロックごとに埋め込みを行うことで違和感をなくせないかと考え試したものである。

結果として、ブロックごとに誤差の拡散を行うため、2 値化した画像が通常の誤差拡散法よりもぼやけた印象になる。そのためか、透かし検出率においては誤差拡散法より悪くなってしまったが、それ以外の手法と比較した場合は悪い結果ではない。特に自然画像においては誤差拡散法と同じく全手法中でも良い結果が得られた。また、透かし画像の黒ドット部分を埋め込んだ部分の違和感についても抑えることができた。

## 5.2 画像からの考察

画像ごとに透かしの検出率をみると、全ての手法に共通して Lenna の透かし検出率が高くなっていることが確認できる。これは、全ての手法において重ねたときに透かし画像の黒ドット部分の黒ドットの重なりが最小となるようにするという今回のハードコピー対策の考え方によるものであり、透かし画像の黒ドット部分を埋め込む部分の一定の埋め込み領域内における黒ドットの数と白ドットの数と同じに近いほど、重ねたときとの領域内の黒ドットの数が多い。そのような場合は 256 階調の輝度表現の中間において起こる。よって、Lenna では中間の輝度が多いため透かし検出率が高く、Girl は輝度値が 0 に近い輝度が集中しているため、透かしの検出率が低い。

次に画像ごとに透かしの見え具合をみると、Lenna と Girl については透かしの検出率と同様に Lenna の方が良い結果となっている。しかし、Girl は重ねたときの透かし画像の黒ドット部分を埋め込んだ部分での黒ドットの占める割合が 100 % に近い値となっている。これは、Lenna は透かし画像の黒ドット部分を埋め込む部分の一部に輝度 255 に近いところがあるため、途切れて見づらくなっているが、Girl には途切れる部分がないため、割合が高くなる。よって、Girl は割合の差と透かしの埋め込み部分の良さのバランスがよいため、数値以上に透かしの見え具合が良い。Sidba-Title については透かし画像の黒ドット部分の輝度が 255 に近い部分にあるため重ねた際に見え具合が低くなる。

## 5.3 実験のまとめ

結果として、これまでに述べたように手法ごとに特徴や問題点もあるが、DA-AD 変換を行わない状態ではどの手法についても公開画像と検証画像を重ねることで視覚的に確認する方法と、透かし情報をプログラムで取り出して確認する方法の両方法において埋め込んだ透かし情報を十分に確認することができた。

# 6 DA-AD 変換を伴う実験・調査

## 6.1 DA 変換後の透かしの検出

公開画像を紙に、検証画像を OHP シートに印刷し重ね合わせ、透かしを確認した。

ハードコピーし重ね合わせたものは、各手法共に 5 節で重ね合わせた結果と近いものが得られた。しかし、ハードコピーされた 2 枚の画像を重ねるこの実験は、人の手で 2 枚の画像を重ね合わせているため、結果は 5 節で重ね合わせたものと微妙に異なる。理由として、人の手では正確に重ね合わせできないだけでなく、2 枚の用紙が隙間なく密着することが困難であることが考えられる。

## 6.2 DA-AD 変換後の透かしの検出

6.1 節の印刷した公開画像をスキャナを用いて AD 変換し、再びデジタルデータ化し、透かしを検出する実験を行った。なお、スキャナの取り込み時の解像度は、400dpi とした。AD 変換を行う際に、黒部分のじみと、縦横比が変化するゆがみを確認できた。したがって検証を行う際に、検証画像を拡大し、公開画像の画像サイズに合わせることで縦横比の変化に対応し、画像のゆがみには、検出時に検証画像を 4 分割し重ね合わせることで対応した。図 5 は誤差拡散法を用いてハードコピー対応の電子透かしを埋め込み、DA-AD 変換した公開画像と検証画像であり、図 6 は図 5 の 2 枚を重ねたものと、2 枚から取り出した透かし画像である。



図 5 DA-AD 変換後の画像 (左), 検証画像 (右)

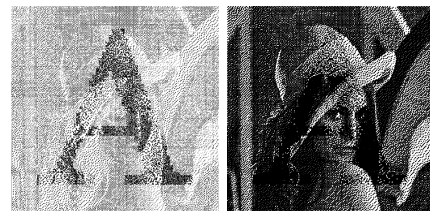


図 6 取り出した透かし画像 (左), 重ね合わせた画像 (右)

## 6.3 透かし検出率と透かしの見え具合

取り出した画像における透かし検出率は、透かしの黒部分と白部分の黒ドットの割合の差、すなわち濃度差から見る事ができる。DA-AD 変換により、Lenna ではその差は約 5 ~ 30 %、Girl では 12 ~ 17 %、Sidba-Title では 26 ~ 36 % となり、DA-AD 変換前より悪くなる。図 7 は濃度差約 22 % (左) と約 36 % (右) の取り出した画像である。濃度差が 20 % 未満の画像では透かしの視認は難しいものであったが、濃度差が大きくなるに従い、透かしは視認しやすくなる。

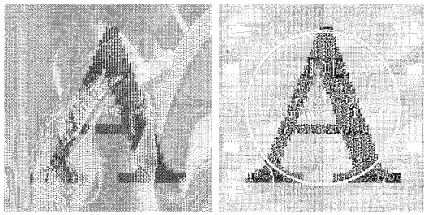


図7 濃度差による見え方の違い

また、重ね合わせた画像において、透かしの黒部分にあたる場所よりも、白部分にあたる場所の方が DA-AD 変換前後での黒ドットの増加は大きかった。したがって、透かしの黒部分と白部分にあたる場所の黒ドットの濃度は、変換前より小さくなっているため、透かしの見え具合は全手法・画像共に低下している。

#### 6.4 にじみによる影響

本研究では DA-AD 変換時の黒部分のにじみを、DA-AD 変換における画像の劣化ととらえ、にじみの影響について考察する。なお、透かし取り出しプログラムは、公開画像と検証画像を 1 ドットずつ比較している。

DA-AD 変換後の公開画像と検証画像から、透かしの取り出しと 2 枚を重ねての透かしの検出を行った。にじみによる黒ドットの拡大が与える影響で、埋め込んだ透かしの白ドットにあたる場所では、拡大した部分が取り出した画像においては白部分のノイズとなり、重ねた場合では DA-AD 変換前よりもにじみの分だけ黒ドットが増加し明るさが暗くなる結果を得た。図 8 は埋め込んだ透かしの白部分にあたる場所の一部で左から、DA-AD 変換後の公開画像、検証画像 (DA-AD 変換前の公開画像)、取り出した画像、重ね合わせた画像である。



図8 にじみの白ドット部分に与える影響

埋め込んだ透かしの黒ドットにあたる場所では、拡大した部分は白と重なった場合、透かしの視覚効果が上がると考えることができる。しかし、黒と重なると取り出し画像には白で出力されるため、5 節での結果と比較すると取り出した画像において黒部分の黒ドットの割合は 5~10% 低下している。重ねた場合ではにじみによる黒部分が増加すると考えたが、実験の結果では誤差程度の変化しか検出できなかった。したがって、にじみによる視覚効果の向上は少なく、1 ドットごとの比較による取り出しでは、逆に視覚効果が低下することが確認できた。図 9 は埋め込んだ透かしの黒部分にあたる場所の一部で、左から DA-AD 変換前の公開画像、DA-AD 変換後の公開画像、検証画像、取り出した画像、重ね合わせた画像である。



図9 にじみの黒ドット部分に与える影響

#### 6.5 画像の種類による比較

DA-AD 変換による画像の劣化を Lenna、Girl の自然画像 2 枚の特徴から考察する。

Lenna と Girl の違いは輝度の分布であり、Lenna は中間値に近い輝度が多い画像であり、Girl は低い輝度に集中している画像である。DA-AD 変換時の黒ドットの増加は、どの手法でも Lenna のほうが Girl よりも大きい結果を得た。これは、Lenna の方が中間付近の輝度に分布した画像であるため、2 値化した際に Girl よりも白ドットの数が多く、にじみを多く検出するためである。

#### 7 おわりに

2 値化する際の特徴を利用してハードコピー対策電子透かしを埋め込む手法は、濃度パターン法、組織的ディザ法、ランダムディザ法、ブロック誤差拡散法であるが、公開画像と検証画像の透かしの黒ドットにあたる部分に違和感を感じることは無い。

ランダムディザ法による埋め込みが、DA-AD 変換の劣化が小さい結果を得た。しかし、ランダムディザ法ではその性質から埋め込みの際に、輪郭部分などが崩れてしまうため、耐性は高いが実用的ではない。

本研究ではブロック誤差拡散法によるハードコピー対策電子透かしの埋め込みを提案したが、濃度パターン法、組織的ディザ法と同等の実験結果を得た。

透かしを埋めやすい画像は DA-AD 変換で劣化は大きく、DA-AD 変換の劣化が小さい手法は埋め込みの時点で画像に劣化を起こすことから、重要視する部分に適した埋め込み手法を選択する必要がある。

#### 参考文献

- [1] 電子透かし技術に関する調査報告書, 電子情報技術産業協会 (2001).
- [2] 小野東: 電子透かしとコンテンツ保護, オーム社 (2001).
- [3] 佐々木良一, 吉浦裕, 手塚悟, 三島久典: インターネット時代の情報セキュリティ - 暗号と電子透かし -, 共立出版 (2000).
- [4] 松井甲子雄: 電子透かしの基礎 - マルチメディアのニュープロテクト技術 -, 森北出版 (1998).
- [5] 小出晋也, 荻原剛志, 金田悠紀夫: 誤差拡散および平均濃度近似法を用いた画像深層暗号方式の提案, テレビジョン学会技術報告, Vol.20 No.5, pp.7-14 (1996).
- [6] 北村拓雄, 中静真: ブロック誤差拡散法による 2 値画像へのデータ埋め込み, 電子情報通信学会, Vol.31 No.4, pp.584-593 (2002.1).