

H-003

信号面積の多値化による電子透かし画像の情報量改善 Improving Amount of Embedded Information of Watermarking Images by Using Multi-Valued Area Signals

和田 真宏† 堀内 隆彦† 斎藤 了一† 富永 昌治†
Masahiro Wada Takahiko Horiuchi Ryoichi Saito Shoji Tominaga

1. まえがき

近年、ID情報の隠蔽された印刷画像を携帯電話のカメラで撮影することによって、画像から検出されたIDに対応するURLへユーザを導くアプリケーションが注目されている(図.1) [1]. 情報を埋め込む手段として、隣接ブロック間の階調差を利用する方法[2]や、情報を正弦波模様のテクスチャとして表現する方法[3]などが提案されてきた. 著者らは、画像の欠落などに対してロバストな周波数空間を利用した隠蔽手法[4]に着目した(以降本論文では周波数空間法と呼ぶ). 周波数空間法は、画像の周波数空間に情報を埋め込むことによって、ノイズに対して高いロバスト性を持ち、画像が部分的に欠落しても情報を安定に抽出できる長所をもっている. しかしながら、他手法と比べて埋め込み可能な情報量が少なく、文献[4]の方法では10,080通りである.

本稿では、周波数空間法の信号を多値化することによって、隠蔽情報量を大幅に改善できたので報告する. 一般に信号処理では、信号の多値化には信号強度の強弱を利用する方法が用いられる. しかしながら、画像信号への情報隠蔽においては、印刷環境や撮影環境などの影響により、信号強度を適切に設定することが難しく、安定した検出が困難である. 提案手法では、埋め込み信号の面積を利用して多値化を行うことによって、安定した検出を実現した. 実データを用いた検証実験により、提案手法の有効性が確認できた.



図.1 印刷物の電子透かしを用いたアプリケーション例

2. 周波数空間法

デジタルコンテンツを対象とした電子透かしと異なり、印刷画像を対象とした電子透かしの埋め込み、および検出プロセスには、図.2に図示されるようにD/A・A/D変換処理が含まれる. D/A変換は、画像の印刷過程で生じ、A/D変換はカメラの撮影過程で生じる. 周波数空間法は、画像の周波数空間上に情報を埋め込む[4]. 埋め込まれた情報は画像空間上で分散して分布するため、周波数空間法は、D/A・A/D変換で生じる部分的な画像の欠損やノイズに対してロバストである. 本章では、文献[4]で提案されている周波数空間法について概要を述べ、その問題点を明らかにする.

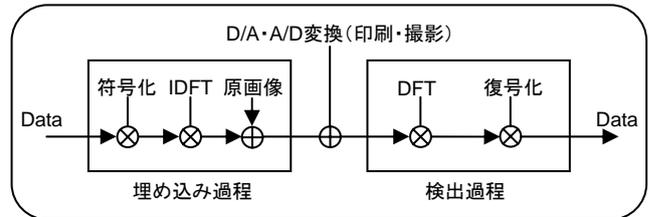


図.2 周波数空間法[4]の処理の流れ

2.1 埋め込み過程

(1) 信号パターンの作成

周波数空間法における情報埋め込み過程を図.3に示す. 周波数空間法では、埋め込む情報を周波数空間上の信号パターンとして表現する(図3-a). この信号パターンは、5つの同心円から成る. 各円周上に信号を並べ、信号の有無によって、情報を1と0の2値表現する. 5つの同心円において、半径の大きな2つの円は検出時の回転や位置あわせの補正に利用され、中心部の3つの円が情報表現に用いられる. 周波数空間法では、それぞれの円において、1と0のそれぞれの総数をあらかじめ定めている. 情報は各円周上の1と0の並び順で区別され、表すことのできる情報量は1と0の並び方の場合の数となる. 文献[4]で提案されている信号パターンで表すことのできる情報量は、10,080通りである.

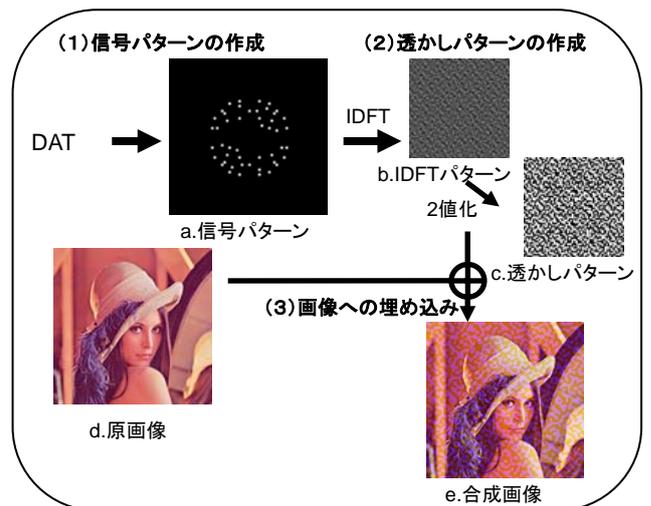


図.3 埋め込み過程

(2) 電子透かしの作成

周波数空間上の信号パターンを、逆離散フーリエ変換(IDFT)により画像空間上のIDFTパターンへと変換する(図3-b). このIDFTパターンは実数値で表現されるが、0を閾値として値 $-a$ と a へ2値化することによって、透かしパターンを作成する(図3-c). この2値化処理は、

†千葉大学大学院 Graduate School of Advanced Integration Science, Chiba University

A/D・D/A 変換を経ても、透かしパターンを読み取り精度を保つために用いられている。図.3 に示される IDFT パターンと透かしパターンは、8bit を越える値をとり得るが、オフセットを調節することによって画像化している。

(3) 画像への埋め込み

図 3-d に示される原画像の画素値に対して、透かしパターンの値を加算する。加算によって、計算結果が画像のレンジを超えてしまった場合には、クリッピング処理を行う。人間の視覚特性を考慮して、電子透かしは原画像の Blue チャンネルにのみ埋め込まれ、図 3-e に示される合成画像を得る。また、 a の値を調節することによって、埋め込み強度を変更することが出来る。 a の値が高いほど透かしパターンが視認され易くなるが、検出の精度が向上する効果がある。逆に、 a の値が低いほど透かしパターンは見え難くなるが、検出の精度は低下するというトレードオフの関係にある。

2.2 検出過程

(1) 信号パターンの復元

情報検出過程を図.4 に示す。信号パターンを復元するために、撮影画像 (図 4-a) に対して離散フーリエ変換 (DFT) を行う。周波数空間において、原画像の画像信号と電子透かしの信号とが重畳される (図 4-b)。このとき、一般に自然画像は低周波の領域に多くの成分を持ち、電子透かしの信号はその領域を避けるように分布しているため、信号パターンの検出が可能となる。

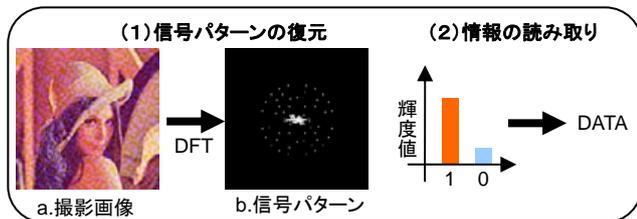


図.4 検出過程

(2) 情報の読み取り

復元された信号パターンから、補正用の円を用いることによって、信号の配置場所の情報を得る。信号の配置場所の輝度値を比較することによって、1 か 0 かを判断する。この 1 と 0 の並びを読み取ることによって、情報 ID が復号化される。

2.3 周波数空間法の問題点

文献[4]で提案されている周波数空間法では、表現することのできる情報量が 10,080 通りである。これは、他の手法 [2], [3] と比較して非常に少なく、情報量の増加が課題とされていた [1]。

3. 情報量改善方法の提案

周波数空間内で信号数を増やすことによって、情報量を増加することは可能である。しかしながら、信号パターン上において、信号を追加できる面積は限られており、信号数の増加だけでは、飛躍的な情報量の増加を望むことができない。そこで、本稿では、信号の多値化による情報量の改善方法を提案する。

3.1 信号強度の多値化

前章で述べたように、情報は信号の存在の有無を表す 1 と 0 の 2 値の並びで表されてきた。信号の多値化を用いることによって、1 箇所信号で複数の値を表すことができ、飛躍的な情報量の増加が可能である。通常、信号処理では、信号の多値化には異なる信号強度が用いられる。これは、周波数空間法では、信号パターン上の信号の輝度値の多値化に対応する。簡単のために、3 値化の場合について述べる。3 値パターンでは、輝度値 255 の信号 A、信号 A の輝度値 255 に対して X% の輝度値を持つ、圧縮率 X% の信号 B、輝度値 0 の信号 N (信号なし) を用いることができる。信号の区別は、輝度値を比較して行うため、復元時の信号 A と信号 B との輝度差 (AB 差)、復元時の信号 B と信号 N との輝度差 (BN 差) が十分にあることが、3 値の分類のために重要となる。

異なる 2 種類の原画像に対して、信号 B の圧縮率を変更した透かしを埋め込んだ場合の AB 差と BN 差の推移を図.5 に示す。AB 差と BN 差が共にバランスの良い箇所、すなわちグラフが交差する点の圧縮率に対応した輝度値を信号 B として設定すれば最適となる。図に示されるように、AB 差と BN 差の圧縮率の変化に対する輝度差の変化は急であり、これはわずかな圧縮率の変化で、検出精度が悪化することを意味している。ところが、図 5 に示されるように、最適な圧縮率は原画像に依存するため、この値を適切に定めることは困難である。加えて、印刷環境や撮影環境によっても最適な圧縮率が変化するため、信号強度を多値化した場合には、安定した検出精度が望めない。

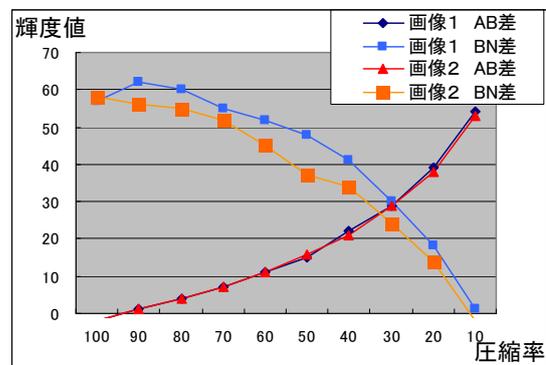


図.5 信号強度の圧縮率と輝度差の推移

3.2 信号面積の多値化

本論文で提案する信号面積に基づく多値化法を述べる。

3.2.1 3 値化信号パターンの作成

信号面積を多値化する例として、3 値パターンについて述べる。信号面積を利用した 3 値パターンでは、画素数 1 の信号 A、連結する複数画素からなる信号 B、画素数 0 の信号 N (信号なし) を用いる (図.6)。信号 B を構成する画素パターンは種々考えられるが、著者らの実験では 13~16 画素程度が適当であった。文献[4]で用いられている信号パターンを 3 値化すると、756,000 通りの情報を表すことが可能である。また、3 値パターンでは、信号 A、信号 B、信号 N の各々の数を同数にすると、信号数に対しての情報量が最も効率的になる。文献[4]の信号パターンに 6 個の信号を追加して、信号 A、信号 B、信号 N が同数になるように工夫した図.7 のパターンでは、18,711,000 通りまで情

報量を改善することができる。もし、この改善した信号パターンで2値表現しても、わずか55,440通りの情報量である。このように、提案手法は、信号数の増加に対して効率的に情報量を増加できる。

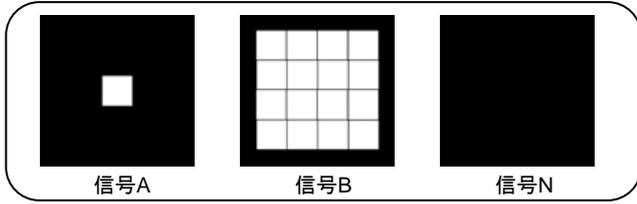


図.6 面積変化による多値化信号

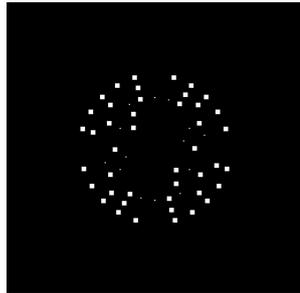


図.7 3値化信号パターン

3.2.2 3値化信号パターンからの情報の検出

3値化信号パターンを逆離散フーリエ変換することで、IDFTパターンが生成される。図.8に示されるように、面積の大きな信号ほど、IDFTパターンの値域は広がる。前章の埋め込み過程で述べたように、この値は0を閾値として a と $-a$ に2値化される。ここで、 a と $-a$ の値域は画像において表現可能な8bit以下の値域とするために $2a \leq 255$ である。この2値化処理において、8bit以上の値域を持つIDFTパターンの場合、レンジ圧縮が生じる。このとき、面積の大きな信号ほど高圧縮が必要となり、面積の小さな信号は圧縮の必要がない。図.8に示されるように、この圧縮は、離散フーリエ変換を行って再び復元した信号Bに、値の低下を生じさせる。この結果、信号Aと信号Bとの間に輝度値の差が生じ、信号の区別が可能となる。

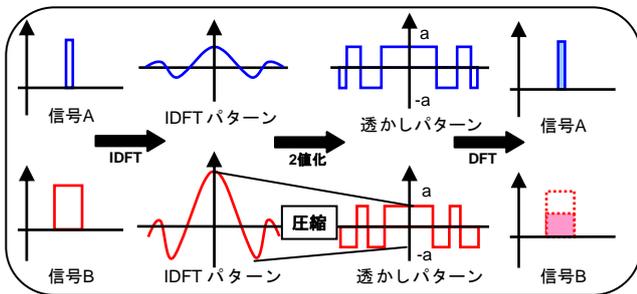


図.8 3値パターンの分類の原理

3.3 信号強度による多値化との併用

前節で提案した面積の多値化に加え、信号Bの信号強度に圧縮を加えることによって、より安定した検出が可能となる。図.9は、図.5で検証した2種類の画像を用いて、面積を多値化した後に、信号Bの圧縮率を変更した透かしを埋め込んだ場合のAB差とBN差の推移である。信号強度

のみを変更した図.5に比べ、信号面積を変更している図.9では、値の推移がなだらかであることがわかる。このことは、信号面積を多値化することによって、圧縮率の変化に対して分類に用いられる輝度差がロバストであることを意味している。

復元した3値化信号パターンでは、信号A、信号Bの、信号Nの順に高い値が得られる。提案手法においても、信号A、信号B、信号Nのそれぞれの総数を均等に定めている。そのため、仮にそれぞれの信号数をX個とすると、復元された信号をソートし、一番高い値を持つ信号からX番目の信号までを信号A、X+1番目から2X番目までの信号を信号B、残りを信号Nと判断することが可能である。信号判断のアルゴリズムの概略を図.10に示す。

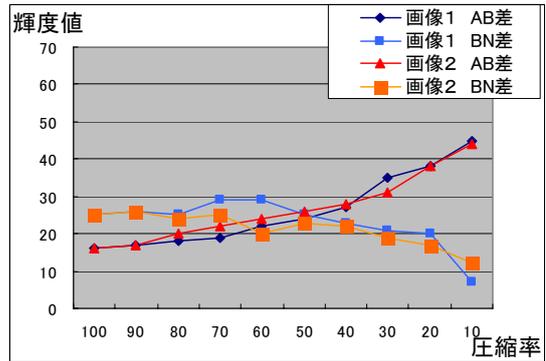


図.9 多値面積での圧縮率と輝度差の推移

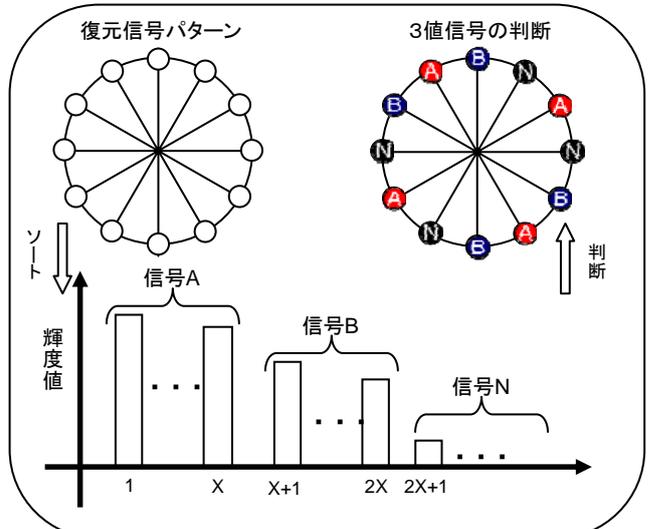


図.10 信号の種類判断のアルゴリズム

4. 検証実験

4.1 実験手順

実験には、図.11-aに示される信号パターンを用いた。実験では、信号Bの圧縮率Xを50%に設定した。IDFTと2値化処理により生成された透かしパターンを図.11-bに示す。実験に用いた原画像の例として、Lena画像(図.11-c)とBaboon画像(図.11-d)について示す。本実験では、透かしパターンは原画像のBlueチャンネルのみに $a=102$ で埋め込んでいる(図.11-e, 図.11-f)。この画像を印刷して、

携帯電話のカメラで撮影した画像を図 11-g および図 11-h にそれぞれ示す。実験では、壁に貼り付けた印刷紙に対して、画像の全体に大きな傾きがないことを意識して撮影した。照明環境は室内蛍光灯である。オートフォーカス機能を使用し、各画像につき 5 回ずつ撮影を行った。解像度は 352×288 であり、FFT 処理は 256×256 で行った。復元した信号パターンにおいて、前述の補正用の円から信号の配置場所の情報を獲得し、配置場所の画素を中心とした 5×5 サイズの範囲内 (図 11-i, 図 11-j 中の白い正方形内の領域) における最大の輝度値を測定した。また、同様の実験を信号の配置を変えた信号パターンを用いて行い、実験は計 20 枚の撮影画像に対して行った。

4.2 実験結果

信号パターンを復元した結果の一例を図 11-i, および図 11-j にそれぞれ示す。復元した信号パターン中の信号の種類を 3 つに分類し、正解である信号パターンと比較した。実験の結果, Lena 画像, Baboon 画像全ての場合において正しい信号の分類結果が得られた。表.1 は, Lena 画像の円ごとの, 信号 A と信号 B の輝度値の最小差 (表中の AB 差), および信号 B と信号 N の輝度値の最小差 (表中の BN 差) に関して, 平均値で表している。表.2 は Baboon 画像に対する結果である。表中の円番号は図 9-g, 図 9-i 中の番号と対応している。表中の値が大きいくほど信号の判断が行いやすく安定していることを意味している。いずれの実験でも, AB 差と BN 差に大きな偏りがなく, 3 値に安定して分類できる結果が得られた。Lena 画像と Baboon 画像を比較すると, Baboon 画像の値が若干大きい。色味や周波数特性など画像コンテンツに依存すると言える。また, Baboon 画像の結果では円番号 3 のみ値が低くなっている。これは, 透かしパターンの高周波部分が, 画像の高周波に埋もれたためと考えられる。

表.1 Lena 画像の信号間の輝度差の平均

	円番号 1	円番号 2	円番号 3
AB 差	19	8	4
BN 差	28	16	15

表.2 Baboon 画像の信号間の輝度差の平均

	円番号 1	円番号 2	円番号 3
AB 差	30	22	11
BN 差	27	21	16

5. むすび

空間周波数法の問題点であった埋め込み情報量を改善するために, 信号面積の多値化手法を提案した。実際に携帯電話のカメラを用いて 3 値信号に対する検証実験を行い, 信号の分類が可能であることを確認した。

今後は, より安定した検出を目指し, 最大信号値以外の特徴を利用した分類法を検討し, 画像コンテンツと適切な識別パターンの解析を続けたい。また, さらに情報量を改善するために, 4 値以上の分類方法について検討することも課題である。

参考文献

[1] 和田, 堀内, 斎藤, 富永, “カラー印刷画像への情報の隠蔽と検出”, 色彩シンポジウム・イン長野, pp.35-36, 2007.

[2] 野田, 師尾, 千葉, “印刷型ステガノグラフィ技術”, FUJITSU, vol.57, no.3, 2006.
 [3] T.Nakamura, A.Katayama, M.Yamamuro, N.Sonehara, “Fast Watermark Detection Scheme for Camera-equipped Cellular Phone”, Proc. MUM2004, 2004.
 [4] 共同印刷株式会社, “電子透かし検出システム及び電子透かし検出方法並びに情報提供システム及び情報提供方法”, 公開特許広報(A), 特開 2005-39603, 2005.



図 11 実験画像