

---

# 2値画像への電子透かし

## Digital Watermarking for Bi-Level Image

阿部 悌\*  
Yasushi ABE

井上 浩一\*  
Koichi INOUE

---

### 要 旨

2値画像を対象とした新しい電子透かし方式を提案し、その性能について報告する。2値画像は文書画像を中心として広く流通しており、そのセキュリティの必要性が高まっている。画像への電子透かし技術はデジタル画像データ内に非可視的に任意の情報を埋め込んでおくことで、著作権保護や改ざんの検知を行うことのできる非常に有効な手段である。情報の埋め込み方法として、埋め込み情報のビット値に対応した2次元ウィンドウパターンを予め定義しておき、これらのウィンドウパターンで適宜原画像を置き換えることで実現している。埋め込み処理を行っても原画像と位相的な変化がないようにエッジ部分に選択的に埋め込むようになっており、非可視性の高い方式となっている。また本方式は埋め込み情報に工夫を加えることで切り取り処理に対しても耐性を有しているのに加え、埋め込み情報の抽出の際には原画像を必要としないので、実用性が高い。アルゴリズムの詳細を説明するとともに、実験により本方式の有効性を検証する。

### ABSTRACT

A new digital watermarking algorithm for bi-level images is proposed. Bi-level images are mainly used for document images and the security system for them sometimes requires watermarking. Digital watermarking for images invisibly embeds information into the image and is effective for protecting copyrights and verifying integrity. The method of embedding information is to replace the original image with previously defined window patterns corresponding to bit 1 or bit 0. This method changes only the edge part of the images. Therefore, the embedded data are nearly invisible for naked eye. In addition, the original image is not required when extracting the embedded information from the encoded image. Details of the algorithm are explained and demonstrated on real images. Experimental results show that the proposed method can achieve very high image quality and robust cropping.

---

\* 画像システム事業本部 ソフトウェア研究所  
Software Research Center,  
Imaging System Business Group

# 1. はじめに

文書画像を中心として2値画像は広く流通しており、そのセキュリティの必要性が高まっている。2値画像は1画素を1ビット(即ち白/黒)のみで表現するため、データサイズが小さくて済む反面、画素値における情報の冗長性が極めて小さいため、非可視性を保ったままで情報の埋め込みを行うのは困難である。特に白或いは黒のベタ領域の画素値を変更すると位相が変化するために不自然さが目立ってしまい、情報の埋まっていることがすぐに第三者に知られてしまう。

2値画像に対する電子透かしの従来法としては、ファクシミリ画像などで用いられているランレングス符号に対して透かし情報を埋め込む方法が提案されている<sup>1)</sup>。これは例えばランレングスの偶数/奇数とビット値を対応させることで埋め込みを行うものである。この方法では例えば縦の直線などにジャギーが発生してしまい、画質の劣化が大きい。

また、文書画像に対する方法として、行間や文字間の距離、文字の回転角などに情報を持たせることで情報の埋め込みを実現する方法が提案されている<sup>1)</sup>。これはいずれも文字や行を単位としているために、埋め込みの前後でこれらの文字や行を画像全体から全く同一に切り出す必要がある。しかしながら埋め込みの前後で多少なりとも画像が変化することから必ずしも同じように文字或いは行が切り出されず、埋め込み情報の抽出に失敗する可能性があるという問題点を抱えている。

また多値画像を2値化する際に情報を埋め込む方法も提案されている<sup>2)</sup>。これは自然画などの多値画像を2値で疑似階調

表現する際に用いられる誤差拡散法をベースとした方法であり、その利用形態は自ずと制限されてしまう。

そこで本稿では2値画像の中からエッジ部分に対してのみ画素値を変更することで埋め込みを実現する方式を提案する<sup>3)</sup>。エッジ部分に対してのみ埋め込み処理をすることで画像の位相的な変化を生ずることがなく、非可視性が高い方式となっている。

即ち、2次元ウィンドウパターンからエッジを表わすパターンについてビット1或いはビット0に対してそれぞれ数個ずつ定義しておき、画像をウィンドウサイズでスキャンしながら埋め込む情報に応じてそのウィンドウパターンを変更することで埋め込み処理を行っている。

2値画像に対してはγ変換やエッジ強調・平滑化などのフィルター処理、JPEGに代表される不可逆圧縮などは通常行われないので、これらの処理に対する耐性は考慮していない。しかしながら、画像の一部が切り取られる可能性は高いので、この切り取り処理への耐性を持たせるために、埋め込み情報にパリティビットを加え、さらに画像全体を矩形分割して繰り返し埋め込み処理をしている。

# 2. 予備調査

## 2-1 ウィンドウパターン

ビット値に対応するウィンドウパターンを決定するために、文書画像における3×3の大きさのウィンドウパターンの出現頻度(比率)を調査した。ウィンドウパターンの種類は

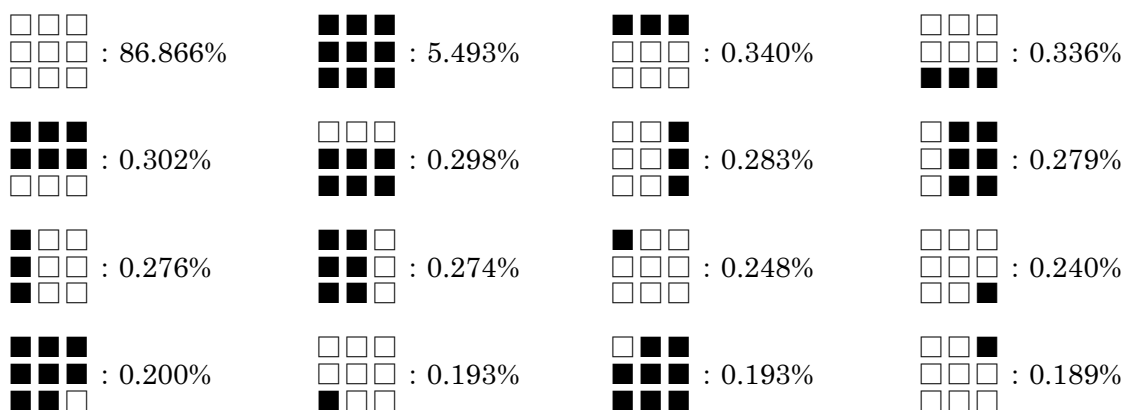


Fig.1 Ratio of 3x3 window patterns

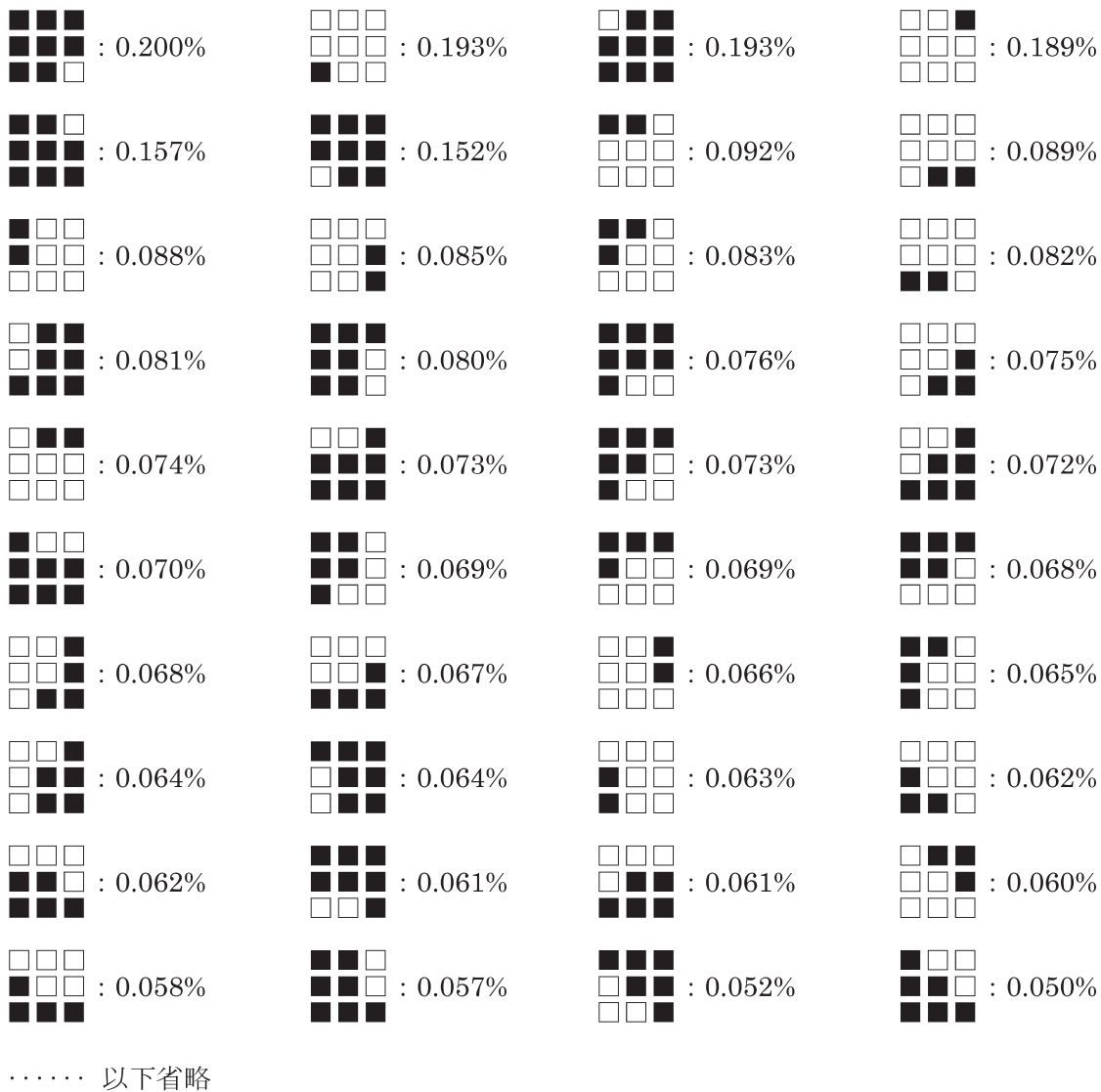


Fig.1(continued) Ratio of 3x3 window patterns

$2^{3^3}=512$ 通り存在する<sup>4)</sup>.

## 2-2 対象画像

スキャナ(300,400dpi)で取得した合計208枚の文書画像についてXY方向とも1画素ずつずらしながらウインドウパターンの頻度を計数し、比率も併せて算出した。

## 2-3 調査結果

Fig.1に512種類のパターンの中から出現頻度の高い順に上位52パターンについて出現比率と共に示す。Fig.1によると単純なパターンほど出現頻度が高いことがわかる。

## 3. 埋め込み(エンコード)方法

### 3-1 ビット値とウインドウパターン

まずFig.1を参考に出現頻度が高く、かつ互いに変更しても、その変更が目立たないパターンを選択することにする。このような基準で選択したビット1/0に対応するパターン各4種をFig.2及びFig.3に示す。



Fig.2 4 patterns represent bit 1



Fig.3 4 patterns represent bit 0

また、埋め込むビット数を十分に確保するために、Fig.2及びFig.3の計8種の他にFig.4に示す4種のパターンもエンコード対象とする。これら4種はそのパターンがビット値を表現するのではなく、前述のFig.2及びFig.3のいずれかに変更することでビット値を表現する。



Fig.4 Target 4 patterns

### 3-2 変更ルール

埋め込むビット値に応じたウインドウパターンの変更規則について述べる。画像を左上からラスタースキャン方向に3×3ウインドウで重なりなく走査していき、Fig.2～Fig.4に示すパターンが出現したら、Fig.6～Fig.8に示す変更ルールでウインドウパターン(より具体的には画素値)を変更する。

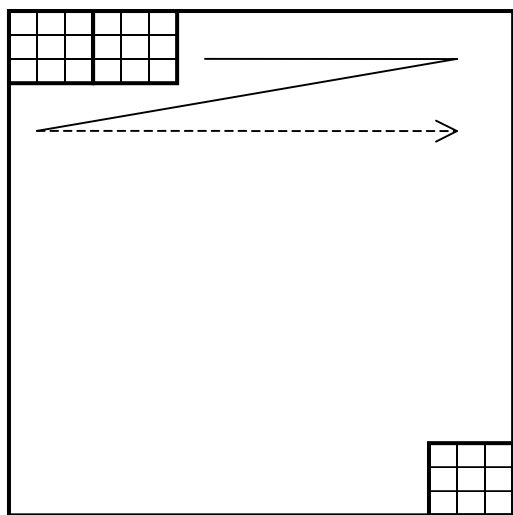


Fig.5 Scan order for window

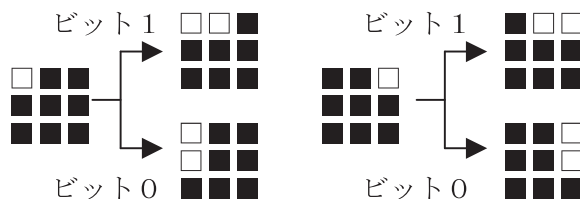


Fig.6 Encoding rule 1

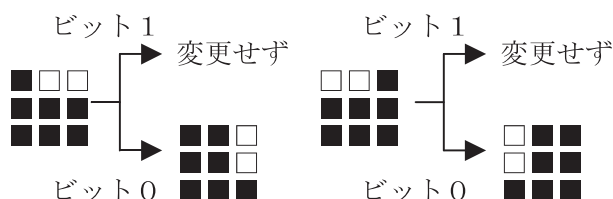
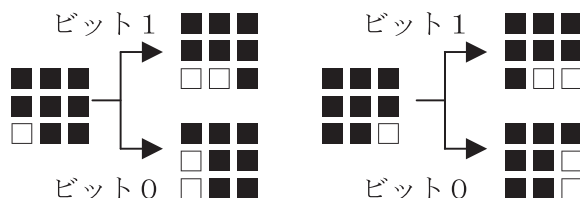


Fig.7 Encoding rule 2

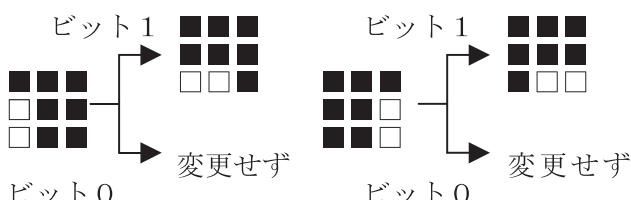
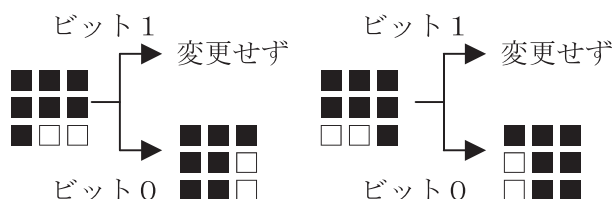


Fig.8 Encoding rule 3

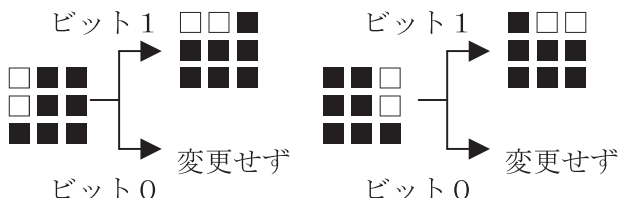


Fig.9に以上のルールで埋め込み処理を施した例を模式的に示す。この例ではまず埋め込むビット値列を“101”とし、左上からスキャンを開始する。最初の2つはFig.2～Fig.4のい

ずれでもないので何もしないが、右上のパターンがFig.4の1つと一致するのでFig.6に示す変更ルール1でビット1に対応するパターンに変更する。

次に中央のパターンがFig.2のビット1に対応するパターンなので、Fig.7に示す変更ルール2で今埋め込みたいビット値0に対応するパターンに変更する。同様にスキャンを継続し、左下のパターンがFig.2のビット1に対応するパターンなので、Fig.7に示す変更ルール2で変更する。ただし、このケースでは埋め込みたいビット値とパターンが一致しているので実際には画素値は変更しない。

以上の処理でビット値列“101”が埋め込まれたことになる。

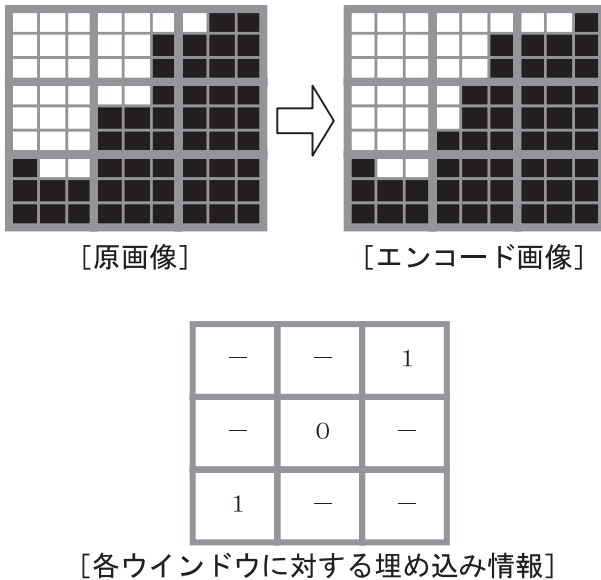


Fig.9 Illustration of encoding

### 3-3 矩形分割

画像全体を矩形(以後単位矩形という)に分割し、それぞれの単位矩形に同じ情報を繰り返し埋め込み処理を行う。エッジ部分にのみ埋め込みを行っているため、埋め込みのできる情報は画像に依存することになる。従って単位矩形によっては、白または黒の領域がほとんどで埋め込みに適さない場合も存在するが、その場合にも無視して次の単位矩形へ処理を移す。また、逆に単位矩形内の途中で透かし情報が全て埋められた場合には、同じ情報を繰り返し埋め込むこととする。

### 3-4 埋め込み情報

ユーザが埋め込む情報は任意のビット列とし、本システム内でそれに単位矩形位置の検知用にパリティビット、及び誤り訂正用の符号を付加して全体の埋め込み情報とする。

## 4. 抽出(デコード)方法

### 4-1 2次元ビット配列の取得

エンコード時と同様に3×3ウィンドウでスキャンしながらFig.2及びFig.3に示すパターンとマッチしたらそのパターンに対応するビット値を保存し、そうでなければそのウィンドウをスキップする。これを画像全体に対して行うとFig.10に示すような2次元のビット値の配列が得られる。Fig.10の1/0/-はそれぞれビット1/ビット0/それ以外に対応するウィンドウであることを示す。

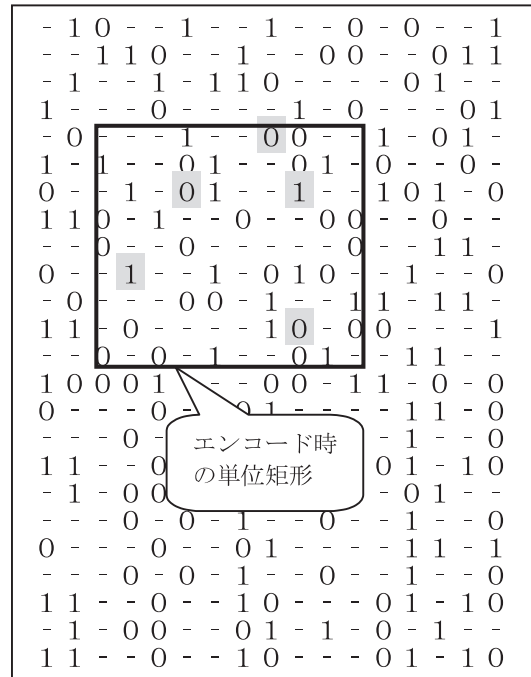


Fig.10 2-dimensional bit array

### 4-2 ビット列の取得

次に4-1節で得られた2次元ビット配列からエンコード時の単位矩形を見つけ出す。これは3-4節で述べたパリティ

(Fig.10の網のかかったビット)を手がかりとする。即ち単位矩形の大きさは既知であるから位置を仮定して、ビット値がパリティを満たすか否かを判定する。パリティを満たせば残りのビット列から誤り訂正符号を復号し、埋め込み時の情報を得る。満たさなければ位置を変えてパリティを判定する。

### 4-3 切り出し位置

4-1節及び4-2節で述べた処理は、エンコード画像に対して切り取り処理がなされていないか、または切り取り処理がちょうどウインドウ境界でなされた場合には良いが、そうでない場合(ウインドウ境界をまたいで切り取り処理が行われた場合には、エンコード時とはウインドウパターンが一致しなくなるので、デコード処理は成功しない。即ち、パリティを満たすことはない)ので、システムはリジェクトを返す。

その場合には、デコード開始点をXまたはY方向に1画素ずつずらしながら4-1節及び4-2節の処理を繰り返せば良い。このずらし量はXY方向とも最大2画素であり、最大9通りについて調べることになる。

## 5. 実験

### 5-1 実験環境

スキャナ(300,400,600dpi)及びデジタルカメラで取得した計472枚の画像に対してエンコード及びデコード処理を施し、画質とデコード率を測定した。

### 5-2 実験結果

#### 5-2-1 エンコード結果

3章に示したエンコード方法に従ってエンコードした結果をTable 1に示す(())内は実数)。

結果の定義は次の通りである。

- 成功 : 少なくとも一つの単位矩形に埋め込みが成功した
- 失敗 : (原画像にエッジが少なく)すべての単位矩形に埋め込みができなかった

Table 1 Result of encodes

成功	99.4% (469)
失敗	0.6% ( 3)
合計	100.0% (472)

単位矩形サイズを大きくすれば埋め込む対象パターン数が増加することからエンコードの失敗は減少するが、そうすると一方で切り取り処理に対する耐性が下がる(耐性を有する最小切り取りサイズが増大する)というトレードオフの関係にある。

また、全画像について原画像とエンコード画像とのSN比を算出し、その平均値を求めると29.6[dB]であった。

Fig.11(a)~(d)に原画像とエンコード画像の例とそれぞれの拡大を示す。Fig.11を見ると通常の大きさでは視覚的にはほとんどわからない。大きく拡大すると斜め部分などに多少不自然さが見られるものの、直線部分にはジャギーなどが発生せず、極めて判別しにくくなっている。

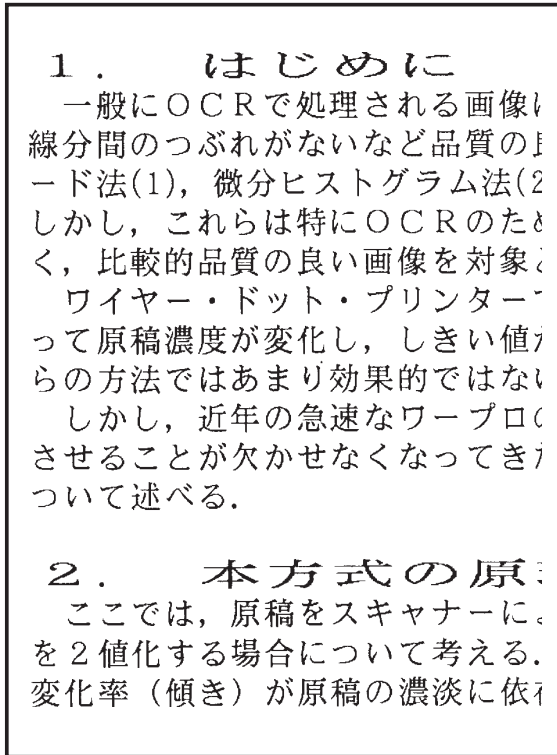
#### 5-2-2 デコード結果1(切り取り処理なし)

エンコードに成功した画像469枚に対してそのままデコードを試みた結果をTable 2に示す。

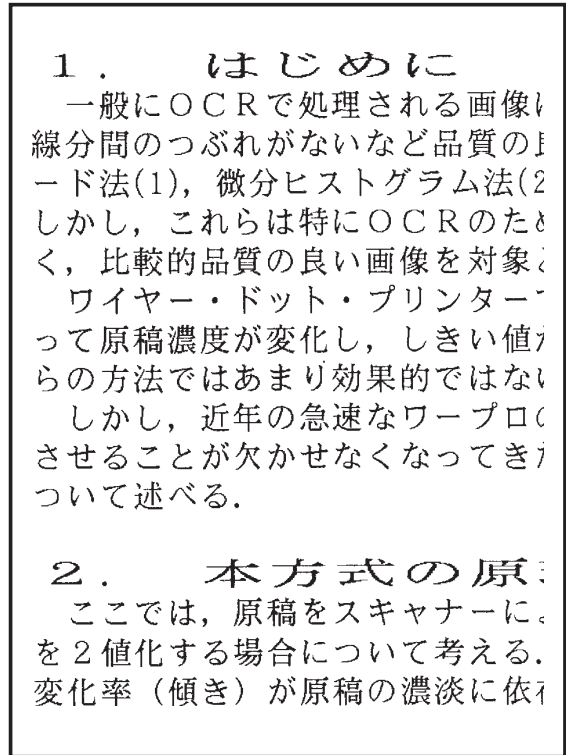
結果の定義は次の通りである。

- 正解 : 埋め込んだ情報が1ビットの誤りもなく抽出できた
- リジェクト : 埋め込んだ情報が抽出できず、その旨を出力した
- エラー : 埋め込んだ情報を1ビット以上の誤りを含んで抽出した

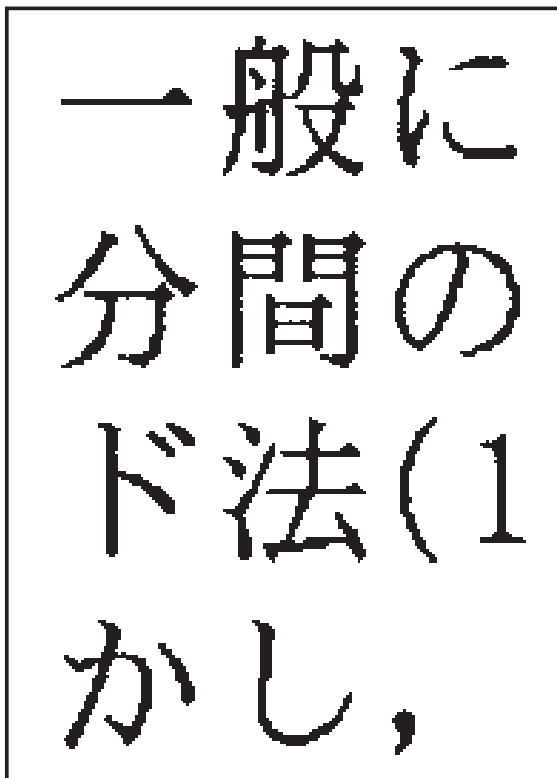
評価指標として抽出ビットの誤り率などは用いずに、1ビットでも誤りを含んで抽出した場合にエラーとしているが、これは埋め込み情報が例えばテキストデータの場合、1ビットの誤りがユーザにとっては致命的となる場合があることを考慮したためである。



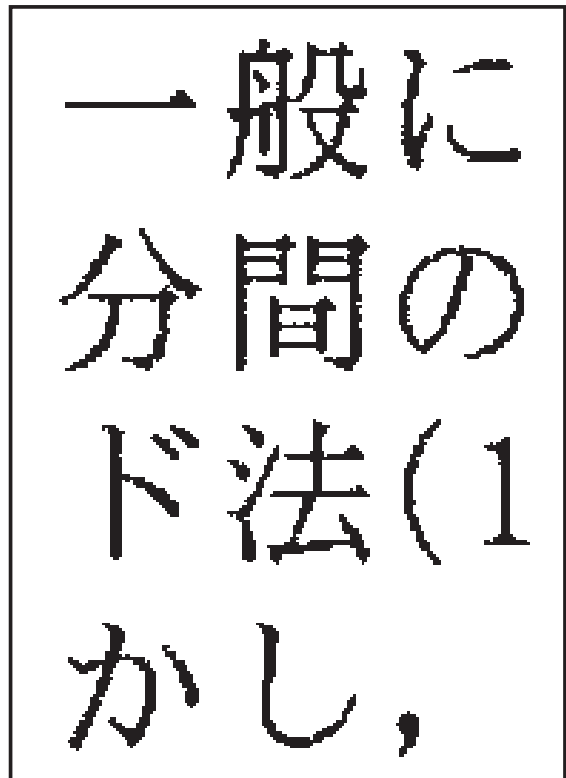
(a) Original image



(b) Encoded image



(c) Magnified view of (a)



(d) Magnified view of (b)

Fig.11 Example of original and encoded image

Table 2 Result of decodes [without crop]

正解	100.0% (469)
リジェクト	0.0% ( 0)
エラー	0.0% ( 0)
合計	100.0% (469)

Table 2を見ると全て正解となっており、エンコードした画像からは100%抽出に成功していることがわかる。

### 5-2-3 デコード結果2(切り取り処理あり)

エンコードに成功した画像から位置とサイズをランダム(一様分布)に切り取った画像に対してデコードを試みた結果をTable 3に示す。切り取り処理はエンコード画像1枚に対して10枚ずつ行い、最小切り取りサイズを単位矩形サイズの2倍-1とし、少なくとも一つの単位矩形を含むように切り取った。

Table 3 Result of decodes [with crop]

正解	85.3% (3999)
リジェクト	14.7% ( 691)
エラー	0.0% ( 0)
合計	100.0% (4690)

Table 3を見ると正解率が多少低くなっているが、これは位置をランダムに切り取ったため切り取った画像のうち文書画像の周囲の空白部分(埋め込みがなされない)がほとんどであるような画像も対象になっているためである。通常の文字や絵を含むように切り取られた場合にはデコードに成功している。

またエラーが0.0%となっており、これは本方式が埋め込み情報を誤って抽出しないことを示しており、信頼性が非常に高いと言える。

## 6. 応用

電子透かし技術は暗号化とは異なったセキュリティの実現方法として非常に注目されている。即ち、暗号化は電子情報を第三者に秘密にするのには非常に強力な手段であるが、

その内容を知覚するためには暗号を解かなければならない(復号)。そして、一旦復号された情報はコピーや改ざんに対して無防備である。そこで電子透かし技術によって、デジタルコンテンツ自体に不可分な形で情報を付加することで、著作権の保護や改ざんの検知を行うことができる。

電子透かし技術を適用する方法としては、ソフトウェアであってもよいし、また画像機器であってもよい。ソフトウェアでは例えば電子図書館や各種ホームページのように著作物を一般に公開しているような場面での、著作権の保護を目的とした利用が考えられる。また、スキャナやデジタルカメラといった画像機器に適用し、機器の機番情報を埋めておいて追跡するために用いたり、また改ざんを検証するための情報を埋めておくといった、非常に多様な利用形態が考えられる。

## 7. まとめ、考察

本稿では2値画像に対する、2次元のウィンドウパターンを用いた新しい電子透かし方式を提案し、実験によってその有効性を検証した。切り取り処理に対して耐性を有しており、また埋め込み情報を誤って抽出することのない実用性の高い方式となっている。

また本方式はウィンドウパターンを定義し、それらの間の変更ルールが即ち埋め込み方法となっており、画像の特性に合わせてこのウィンドウパターンを適宜選択することで、文書画像だけでなく様々な2値画像に対応できる。例えば疑似階調表現の一つであるディザ画像などへの応用も容易にできると思われる。さらにはこのウィンドウパターンを用いた方式は2値画像だけではなく、多階調画像やカラー画像にも展開しうるものである。特定のビットプレーンを2値画像とみなして本方式をそのまま適用しても良いし、或いは多値やカラー値のウィンドウパターンを定義しても良い。

## 8. 今後の課題

今後の課題としては、本方式を更に進め画質と埋め込み情報量を両立するようなパターンの選択がある。例えば、Fig.2とFig.3に示したパターンを全てビット1とし、Fig.4に示したパターンを全てビット0とすることもできる。こうすることで埋め込みによる画像の変化が減少し画質が向上すると思われる。



る。ウインドウサイズも本稿では3×3の大きさのウインドウを用いたが、これもまだ検討の余地がある。

さらに将来的な課題としては幾何学的な変換に対する耐性を持たせることが挙げられる。文書画像では傾きを補正するために回転処理を施すことがよくあるし、また画素密度変換なども日常的に行われる処理であり、これらへの耐性が望まれる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、大変有意義なご助言やディスカッションを頂きましたリコーシステム開発株式会社開発部第四開発グループの方々に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 松井 甲子雄：電子透かしの基礎，森北出版，1998
- 2) 荻原 剛志，金田 悠紀夫：画像の2値化過程で情報埋め込みを行う手法の改良について，SCIS99 T4-2.5，1999
- 3) 阿部 悌，井上 浩一，江尻 公一：2値画像への電子透かし，暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS)2000 C05，2000
- 4) 坂井 利之：情報基礎学，コロナ社，1982，pp.20-25