

改良エッジパターン法による文章画像の電子透かし

Digital Watermarking for Bi-level Image with Modified Edge Pattern Method

三浦 周平[†] 彌富 仁[†]
Shuhei Miura Hitoshi Iyatomi

1. まえがき

電子透かしは、人の目には認識できないほどの微小な変化をデジタルコンテンツに施すことで情報を埋め込み、必要に応じて埋め込まれた情報を検出する技術であり、主に著作権情報の保護や改ざんの検知を目的に利用される。

紙に印刷された文書は、OCR (Optical Character Reader) 技術を用いても誤認識が多く正確な再デジタル化が困難である。文書を印刷する際に、電子透かし技術を用いて文書と同じ情報や情報を保存した URL 等を、後に正確に読み取れるように適切に埋め込めれば、紙とデジタル情報の透過性が高まり非常に有意義な技術になりうる。文章データを 2 値画像とみなし、それに対する電子透かしの古典的な手法として、行間や文字間の間隔を調整することで情報を埋め込む行間調整法[1]や、文字間調整法[1]、また文書から抽出した特徴量を透かし情報として背景地紋に埋め込む背景地紋法[2]がある。これらの手法はいずれも埋め込める情報量が少なく、文字間調整法では読み取り時の文字区切りの位置の特定が難しい、また背景地紋法は情報が埋め込まれていることが一目見て明らか等の欠点がある。

こうした背景から阿部らは、文字のカーブのエッジ部分をわずかに変更することで、情報を埋め込むエッジパターン法[3]を提案している。この手法は、情報が埋め込まれていることの非可視性を保ったまま、これまでの古典的な手法よりも多くの情報を埋め込みが可能である。しかしながらこの手法は、文字のエッジを画素単位で微小に変更することで情報を埋め込むため、ノイズに弱く、読み取り位置の位置ずれ、文書の回転、拡大、縮小などに弱いという欠点がある。また埋め込める情報量も増えたとは言え制約がある。

そこで本研究では、エッジパターン法を改良し、情報読み取り時の位置ずれ、回転に対応する手法を提案する。また、定義するパターンの種類を増加させることで、情報埋め込みによる画像の劣化を抑えつつ、埋め込める情報の量を増加させた。

2. エッジパターン法

エッジパターン法[3]は、情報埋め込み時に 3×3 のウィンドウを画像中に重なりなくスキャンしていき、文字のエッジから検出した 3×3 のウィンドウパターンが予め定義された 12 個の内のパターンと一致した場合、それをある

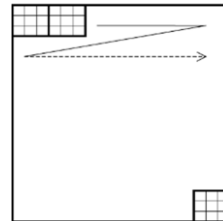


Fig.1 ウィンドウの動き

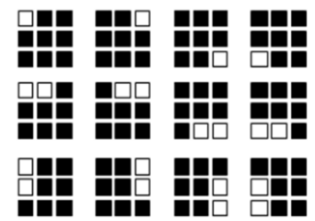


Fig.2 既存のパターン

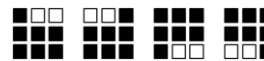


Fig.3 情報パターン bit1



Fig.4 情報パターン bit0

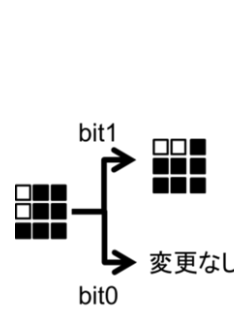


Fig.5 変更ルール

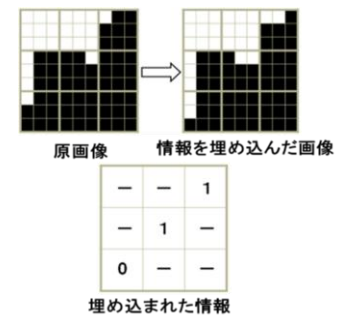


Fig.6 情報を埋め込んだ例

ルールに従って変更することで情報を埋め込んでいく。Fig.1 にはウィンドウパターンのスキャン時の動き、Fig.2 には定義された 12 個のウィンドウパターンを示す。

文書画像中のこれらのパターンを、Fig.3, Fig.4 で定義された「1」、「0」を表す情報パターンに変化させることで情報を埋め込む。bit 1 は、9 つの画素のうち横 2 画素が白くなるパターン、bit 0 は、縦 2 つが白くなるパターンで各 4 種定義されている。情報埋め込み時には Fig.5 のように、白黒反転する画素が一番少なくなるように選択され視覚的な劣化を最小限にとどめる。Fig.6 は、文章のエッジを変更して情報を埋め込んだ例である。文書画像中にある Fig.2 の定義パターン数を n とすると、最大 n bit の情報を埋め込めることになる。

3. 改良エッジパターン法

エッジパターン法は、文字のエッジを微小に変更し情報を埋め込むため、見た目の画像劣化を抑えながら、古典的な方法よりも多くの情報を埋め込める利点がある。しかし前述の通り画像をスキャンする際の位置ずれや傾き、拡大縮小、歪みに対してとても弱い、そこで本研究では、(1)埋め込める情報量をエッジ変化の非可視性をほぼ保ったまま増加させる。また(2)誤り訂正符号と位置補正用のマーカー

[†]法政大学大学院工学研究科 情報電子工学専攻

を導入することで画像中に文書読み取り時の拡大縮小、回転、これらによって引き起こされる位置ずれの解決を試みる。位置補正用マーカーの導入は、埋め込む情報の非可視性をやや損なうが、情報読み取りのロバスト性を重視した。

3.1. パターンの追加による埋め込み情報量の増加

埋め込む情報量を増やすために、定めるウィンドウパターンの種類を追加した。新しいパターンを選ぶ基準として、頻繁に出現し、3×3のウィンドウの中に黒が多く劣化が目立たないもの、エッジを変化させたときに違和感を与えないことが必要である。Fig.7のように文字の直線にあたる部分のエッジは頻度は大きい、情報埋め込み時に凹凸ができて大きな違和感が生じるため対象から除外した。

今回、予備実験を行いながら新たにこの中で特に視覚的に画像の劣化の少ないパターン 12 種を新たに選択し (Fig.8), Fig.2 に示した既存パターンと合わせた計 24 個を「推奨パターン」として定義した。また、見た目の劣化は増加するが、埋め込む情報量に重点を置く場合のパターンとして推奨パターンを含む計 56 個のパターンを「情報量重視パターン」として定義した。

情報埋め込み結果の例として Fig.9 に示す。A4 サイズの英文論文を 200dpi でスキャンし 2 値化した画像の一部を拡大したものを Fig.9(a)とし、(b)は既存の 12 個のパターン [2]を埋め込んだ画像、(c)は本研究での推奨パターン 24 種による埋め込んだ結果、(d)は情報重視パターン 56 種の埋め込んだ結果である。また、本稿末尾に Fig.11 として推奨パターンと、情報量重視パターンで情報を埋め込んだ結果を示す。情報重視パターンは、見た目の劣化がある程度感知できるが、推奨パターンでは劣化が気にならないレベルである。

本研究では全 9 ページの英文論文[‡]を 200dpi でスキャンして画像化し、情報の埋め込み試験を行った。埋め込み可能情報量の結果は Table 1 のようになった(9 ページ目は著者紹介のページで、文字は紙面の 1/3 程度)。推奨パターンを埋め込んだ場合で既存比約 2.8 倍、情報量重視パターンを埋め込んだ場合、既存パターンに対して平均で約 12 倍となり、他の原稿を対象にした場合でも同様の傾向が見られた。後述の(16,8)誤り訂正符号を用いて情報を埋め込んだ場合、埋め込む情報量は半分になるため、既存パターンでは英文半角で 816 文字、推奨パターンでは 2263 文字、情報量重視パターンでは 9808 文字分の情報を埋め込む計算になる。

文書に埋め込む情報量は、画像解像度の増加とともに増加でき、仮に 300dpi に設定した場合、既存パターン、推奨パターン、情報量重視パターンで埋め込む情報量はそれぞれ英文半角で 3226 文字、6124 文字、16957 文字分に増加する。しかしながら、解像度の増加は、情報読み取り時のロバスト性とのトレードオフとなる。

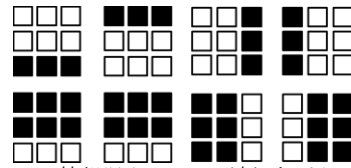


Fig.7 情報埋め込みに不適切なパターン

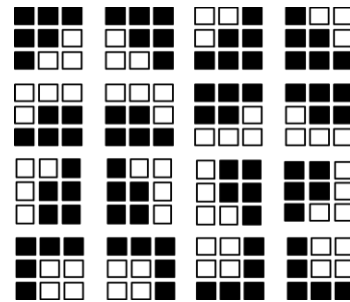


Fig.8 新たに追加した 12 パターン (Fig.2 と合わせ推奨パターン)

Adaptive

(a) 元画像

Adaptive

(b) 既存パターン[2](12種)を埋め込んだ場合

Adaptive

(c) 推奨パターン(24種)を埋め込んだ場合

Adaptive

(d) 情報量重視パターン(56種)を埋め込んだ場合

Fig.9 文字エッジに情報を埋め込んだ場合の比較

Table 1. 埋め込み可能な情報量の比較 (bit)

	既存手法の パターン[2] (12種)	推奨 パターン (24種)	情報量重視 パターン (56種)
1 ページ目	7273	13125	36885
2 ページ目	8401	15108	42299
3 ページ目	6274	11428	32275
4 ページ目	5902	10758	31129
5 ページ目	5641	10476	29938
6 ページ目	5902	10959	31012
7 ページ目	5886	11162	32500
8 ページ目	6345	11971	35280
9 ページ目	2975	5683	16095
合計	51624	94987	271318

[‡] Iyatomi et al. "Adaptive Fuzzy Inference Neural Network," *Pattern Recognition*, 37 (10) pp.2049-2057, 2004.

4. 誤り訂正符号を用いた位置ずれ補正

スキャンした際の位置ずれに対応する方法として、阿部らのエッジパターン法では、パリティ符号をつけて位置ずれを検出する方法を提案している。

エッジパターン法は、前述の通りノイズ、位置ずれに極めて弱いため、読み込み時に様々な理由で正確な位置が読み込めない恐れがある。そのため本研究では、より冗長さの高い誤り訂正符号である (16,8)符号を用い、情報の耐ノイズ性を高めると共に、位置ずれの検出にも利用する。(16,8)符号は、8 ビットの情報に 8 ビットの訂正符号を付加する符号で、ちょうど英字 1 文字の情報毎に訂正符号を付加することを意味し、文字情報の埋め込みとの親和性も高い。この符号は、16bit 中の 2bit までのランダム誤りおよび 3bit のバースト誤りの訂正ができるため、読み取り開始の位置推定には、読み取り開始位置候補の画素の近傍 3×3 の各画素を始点として復調を試み、誤りビット数の一番少ない位置を正確な読み取り開始位置として推定することができる。

5. 傾き検出と補正の試行的検討

エッジパターン法は、その特徴から文書の傾きも大きな影響を受けるため、適切に文書の傾きを検出し、修正をしなければならぬ。一般的な A4 縦サイズ書類を 200dpi でスキャンした場合、画像サイズは 1654×2239 ピクセルとなる。エッジパターン法は、厳密には 1 ピクセルでもずれると読み取りができなくなるため、許容できる回転角度の誤差は、 $\tan^{-1}(1/1654) = 0.035$ 度となる。このため少なくともこれ以上の精度で傾きを検出する必要がある。我々は、できるだけ情報埋め込みの隠匿性を保持する見地から、文書のみから角度を検出するために、(1)文字に対する dilation 処理を施し文頭と文末から得られる角度から傾きを検出する手法、(2)文書中の直線の傾きから角度を推定する等の手法を試みたが、200dpi の解像度では十分な精度が得ることができなかった。そこで本研究では、情報埋め込みの秘匿性のある程度犠牲にしても、埋め込まれた情報の読み取り実現を第一とし、画像上に可視情報となる目標物を加えた傾き検出の提案をする。Fig.10 に位置、傾き、拡大縮小補正のためのマーカーを追加した文書の例を示す。画像内の文章の四隅を囲むように、事前に定義した位置、大きさでそれぞれ直角のマーカーを配置する。画像の読み取り時には、これらを検出し、四つのうち二つのマーカーを検出することで、文書画像の回転角度および解像度を求める。こうして得られた情報を用いて、bi-linear 法や bi-cubic 法などを用いて回転、拡大、縮小処理を行う事で、情報埋め込み時の状態に近づける。今回の実験では、試験的にマーカーの長さを各 200 ピクセル、外周から 50 ピクセルの位置に追加し、印刷画像のスキャン時の文書の回転を想定した試行的な実験を行った。Table.1 に実際に求めた角度の検出結果を示す。前述の通り、傾きの許容誤差は 200dpi で 0.035 度のため、現時点でのマーカーの利用で文書の傾きが 1.0 度までの傾きを検出し、修正できる可能性が示唆された。現時点では実装の問題で、回転に対するマーカーの検出精度に課題があるため極めて角度の変化に厳しい結果となったが、マーカーの検出アルゴリズムの改善で、回転に対する検出能力の向上が期待できる。また拡大、縮小についても修正が可能になると考えられる。

Table.2 検出した傾きの角度と実際の角度との誤差

画像の傾き	検出された角度	実際の角度との誤差
1.5	1.44346	0.05654
1.0	0.96623	0.03377
0.5	0.47708	0.02291
0.1	0.08438	0.01562
0.0	0.00000	0.00000

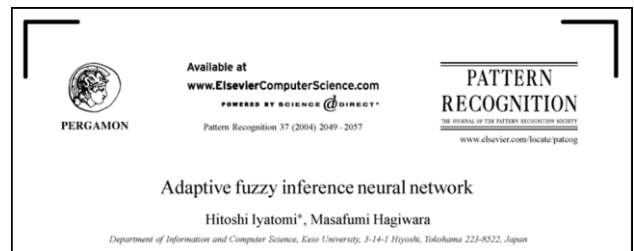


Fig.10 補正用マーカーを加えた画像の一部

6. まとめ

本研究では、従来のエッジパターン法に比べて(1)埋め込み情報量の増加、(2)誤り訂正符号を用いたスキャン位置の特定ならびに、ロバスト性の向上、さらに試験的ではあるが、(3)補正用マーカーの導入による画像回転への対応の考慮を行った。エッジパターン法は、埋め込んだ情報をいかに正確に読み出せるかのロバスト性に改善を要するが、埋め込める情報量や、紙面の劣化が少ない点など利点も多く適切な改善を施すことで役に立つ技術になると考えられる。今後、文書の拡大、縮小、回転についてより深い検討を行うとともに、実環境での試験を行い実用化に向けた研究を進めていく。

参考文献

- [1] Brassil J, Low S, Maxemchuk N, and O'Gorman L, Electronic marking and identification techniques to discourage document copying, IEEE J. Select. Areas Commun., 13, 1495, 1995.
- [2] 須崎 昌彦, 須藤 正之, “印刷文書への透かし埋込および検出方法”, 電子情報通信学会論文誌 A Vol.J87-A, No.6, pp.778-786, 2004.
- [3] 阿部 悌, 井上 浩一, “2 値画像下の電子透かし”, Ricoh technical report, (2000)

pattern classification but also meaningful fuzzy if-then rules creation; therefore, they can be put into practice for various applications. In the early stage of fuzzy neural network researches, Lin et al. [2] proposed one of the current prima models which decide the initial fuzzy model by Kohonen's self-organizing algorithm [8] and carry out parameter adjustment by back propagation algorithm. Also as a representative example, Jang et al. proposed ANFIS [9] in 1993. ANFIS applies a neural network in determination of the shape of membership functions and rule extraction. How-

(a) 現画像の拡大画像

pattern classification but also meaningful fuzzy if-then rules creation; therefore, they can be put into practice for various applications. In the early stage of fuzzy neural network researches, Lin et al. [2] proposed one of the current prima models which decide the initial fuzzy model by Kohonen's self-organizing algorithm [8] and carry out parameter adjustment by back propagation algorithm. Also as a representative example, Jang et al. proposed ANFIS [9] in 1993. ANFIS applies a neural network in determination of the shape of membership functions and rule extraction. How-

(b) 推奨パターンを使って埋め込みを行った画像

pattern classification but also meaningful fuzzy if-then rules creation; therefore, they can be put into practice for various applications. In the early stage of fuzzy neural network researches, Lin et al. [2] proposed one of the current prima models which decide the initial fuzzy model by Kohonen's self-organizing algorithm [8] and carry out parameter adjustment by back propagation algorithm. Also as a representative example, Jang et al. proposed ANFIS [9] in 1993. ANFIS applies a neural network in determination of the shape of membership functions and rule extraction. How-

(c) 情報量重視パターンを使って情報の埋め込みを行った画像

図 11 元画像および推奨パターン、情報量重視パターンにて情報を埋め込んだ画像の比較