

## 文書画像の入力ノイズに耐性のある電子透かし法の一検討

小西 一也 梅村 晃広 岩城 修  
(株)NTT データ 情報科学研究所

**あらまし** 文書画像の不正利用を抑止するために電子透かしを利用する場合、考慮すべき重要な二つの性質として、印刷された画像からも透かしとして埋め込まれた情報を読み出すことが可能であること、および、埋め込まれている情報を読み出す際に元の画像を必要としないことが挙げられる。本稿では、和文の文書画像を対象として、この二つの性質を満たすための条件を検討し、各文字の面積差に透かしとなる情報に対応付ける電子透かし手法を提案する。

**キーワード** 電子透かし、文書画像、入力ノイズ

## A Robust Digital Watermark for Document Image against Input Noise

Kazuya KONISHI Akihiro UMEMURA Osamu IWAKI  
Laboratory for Information Technology  
NTT DATA CORPORATION

**Abstract** When applying a digital watermarking method to document images in order to deter illegal uses of them, there are cases that the method should have the following two properties: 1) watermarks can be extracted even when images are printed, and 2) extraction process does not require an access to the original image. In this paper, we examine under which conditions the properties hold and propose a watermarking method that uses the difference of the size of characters as information carrier.

**Keywords** Digital Watermark, Document Image, Input Noise

### 1 はじめに

本稿では、重要文書を文書画像として扱い、電子透かしによってその不正利用を抑止する試みについて述べる。以下では、文献 [1] の用語法に従って、不正利用抑止の対象となる情報を主情報、電子透かしを利用して主情報に埋め込む別の情報を副情報と呼ぶ。文書画像の不正利用を抑止することを考えると、電子透かし手法には次の二つの性質が必要となる場合がある。

1. 主情報に印刷などの処理が施されても埋め込まれた副情報が維持される
2. 副情報を読み出す際に元の主情報を必要としない

実際、印刷や FAX 送信などにより紙媒体を経由した後の主情報について改ざん検証を行いたい、といったアプリケーション要求が存在し、この際には上記二つの条件が両者とも必要となる。改ざん検証という応用分野では、検証時に元の主情報が存在することは考えられないため、性質 2 は必須である。従来手法には、それぞれの条件について検討しているものはあるが、両者を同時に検討しているものは、知り得る範囲では存在しない。

そこで、本研究では、和文の文書画像を主情報とし、主情報に印刷などの処理が施されても埋め込まれた副情報が維持され、副情報を読み出す際に元の主情報を必要としない電子透かし手法について検討する。

以下、2章で従来手法の分析を行い、3章で提案手法を説明する。そして、4章で提案手法に対する評価実験の結果を示して考察を行い、最後に、5章で全体をまとめる。

## 2 従来手法の分析

本章では、主情報に印刷などの処理が施されても埋め込まれた副情報が維持される従来手法、および副情報を読み出す際に元の主情報を必要としない従来手法における、主情報と副情報の対応付けについて分析する。以下では、文献 [2] の用語法に従い、副情報を埋め込むために、主情報において何らかの属性値を変化させる単位をプリミティブと呼ぶ。また、印刷やスキャンニング、FAX 送受信処理により主情報に付加される汚れや掠れ、歪みなどのノイズを、以下では入力ノイズと呼ぶ。

### 2.1 入力ノイズの影響を受けにくいプリミティブ

主情報に印刷やスキャンニング、FAX 送受信処理が施されても、埋め込まれた副情報が維持される手法を実現するためには、主情報における、入力ノイズの影響を受けにくいプリミティブを選定しなければならない。これまでには、欧文文書における単語間のスペース [3] や、和文文書における文字の傾き [4] に関して、元の主情報との差分に副情報を対応付ける手法が検討されてきた。実験結果では、主情報に入力ノイズが付加されても、これらの差分はある程度維持されることが示されている。

以上より、文書画像における入力ノイズの影響を受けにくいプリミティブとしては、単語や文字などの文書構成要素の属性値が有効であると考えられる。

### 2.2 対象主情報に閉じたプリミティブの特徴量

副情報を読み出す際に元の主情報を必要としない手法を実現するためには、副情報に対応付けるプリミティブの特徴量を、対象である主情報に閉じたものにしなければならない。これまでには、対象である文書画像内の複数のラン間の相対関係 [5]、あるいは、対象画像内の各文字についての文字間隔の絶

対値 [2] などに、副情報を対応付ける手法が検討されてきた。これらの特徴量は、対象である主情報さえあれば検出可能であるため、元の主情報を必要としない副情報の読み出しが実現される。

以上より、対象である主情報に閉じたプリミティブの特徴量としては、対象となる文書画像中のプリミティブ同士の相対関係、あるいは、プリミティブの絶対値が有効であると考えられる。

## 3 文字サイズ変換法の提案

本章では、主情報に印刷などの処理が施されても埋め込まれた副情報が維持され、副情報を読み出す際に元の主情報を必要としない電子透かし手法を検討し、これらの性質を満たす手法を提案する。まず、従来手法の分析を踏まえ、副情報を対応付ける主情報の成分について検討する。次に、副情報埋め込み処理が視覚に及ぼす影響を抑制する方法を検討する。

### 3.1 隣接要素矩形の大小関係

従来手法の分析から、主情報に入力ノイズが付加されても埋め込まれた副情報が維持され、副情報を読み出す際に元の主情報を必要としない電子透かし手法を実現するためには、以下に示すプリミティブとその特徴量が有効であると考えられる。一つは、対象である主情報に含まれる複数の文書構成要素間の属性値の相対関係、一つは、対象である主情報に含まれる文書構成要素の属性値の絶対値である。後者については、対象主情報に入力ノイズが付加されることにより、絶対値が変化してしまうことが予想される。そこで、以下では対象主情報に含まれる複数の文書構成要素間の相対関係に副情報を対応付ける手法を検討する。

ここで、和文文書における各文字を囲む最小矩形に着目する。以下、この最小矩形を要素矩形と呼ぶ。プリミティブとして要素矩形、その特徴量として面積、相対関係として大小関係を選定することで、目的の手法を実現することができると考えられる。隣接する要素矩形間の面積の大小関係は、印刷などの処理が施されても維持されることが予想される。また、対象主情報に含まれる要素矩形同士の属性値の相対関係に副情報を対応付けることで、元の主情報を必要とせずに副情報を読み出すことも可能

になる。さらに、一部の例外を除き、和文文書の各文字に対応する要素矩形の面積に大きな差はないことから、副情報埋め込み処理として要素矩形の大きさを変換しても、画像変化が視覚に及ぼす影響は抑制することができると考えられる。文書に混在する記号文字や英数字などの半角文字に対応する要素矩形は、全角文字に対応する要素矩形との面積差が大きいため、副情報埋め込みおよび読み出し処理の際には、あらかじめ処理の対象から除外する。

### 3.2 隣接要素矩形と副情報の対応付け

隣接要素矩形の面積の大小関係に副情報を対応付ける場合、副情報埋め込み処理として、要素矩形の大きさを変換する画像処理が必要になる。これは、隣接する文字同士の大きさの相対関係を変化させることを意味する。そこで、この変化が視覚に及ぼす影響をできるだけ抑制することを考える。

まず、隣接要素矩形の面積の大小関係によって表される各パターンに、0 または 1 の 1 ビット副情報を対応付ける。そして、副情報埋め込み処理として、目的の副情報に対応付けられたパターンの中から、元の主情報と比較したときの変化量が最も少ないパターンを選択し、それに従って文字の大きさを変換する。あらかじめ隣接要素矩形のパターンを多く用意しておくことで、元の主情報におけるパターンと類似したパターンを選択できる確率が高くなり、以上の手順が有効になると考えられる。パターン数は隣接要素矩形の数を多くするほど多くなる。以下では、3つの隣接要素矩形のパターンに1ビット副情報を対応付ける方法について、具体的に考える。

なお、副情報量をできるだけ多くするために、主情報から3つの隣接要素矩形を1矩形ずつずらしながら順次選択し、副情報埋め込みおよび読み出し処理の対象とする。この結果、埋め込み可能な副情報量 (bit) は、主情報に含まれる全要素矩形数から2を引いた値になる。

3つの隣接要素矩形により表されるパターンは、各矩形の面積を折れ線グラフで表すと、山型、谷型、斜面型などに分類することができる。この分類と、各パターンに対して適当に副情報を対応付けた例を図1に示す。また、図2において、上段は元画像であり、下段は図1の対応付けに従って0と1を交互に繰り返す副情報を元画像に埋め込んだ結果で

ある。さらに、それぞれの画像における各要素矩形の面積を図3のグラフに示す。

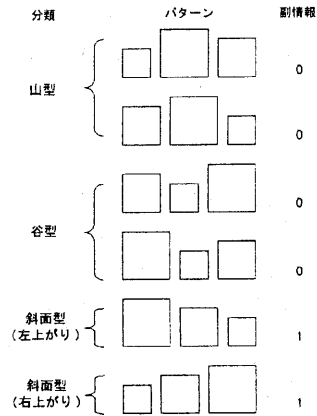


図 1: 隣接要素矩形パターンと対応副情報の例

### 電子透かしとは画像や 電子透かしとは画像や

図 2: 元画像および副情報埋め込み画像

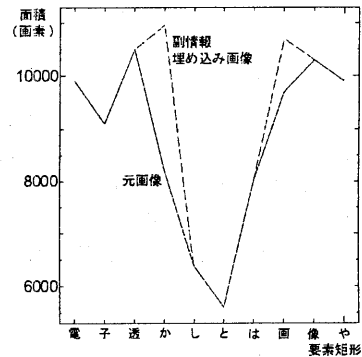


図 3: 要素矩形の面積

この結果、異なる分類のパターンに変換した部分に、視覚に大きな影響を及ぼす変化が生じることがわかった。具体的には、3～5文字目の「透かし」の部分で斜面型から山型に変換したことにより、視覚に違和感を感じさせる結果が生じている。

そこで、副情報埋め込み処理によってこのような変化が生じることを避けるために、0 または 1 の 1 ビット副情報が対応付けられたパターンが、山型や

谷型などの各分類に両方とも属するようにする。対応付けの例を表1に示す。A、B、Cは3つの隣接要素矩形のそれぞれの面積である。隣接要素矩形の大小関係は、面積差しきい値が考慮される。たとえば、 $A=900$ 、 $B=940$ 、 $C=980$ 、面積差しきい値 $=45$ のときは、隣接要素矩形の大小関係は $A=B$ 、 $B=C$ 、 $C>A$ となる。

表1: 隣接要素矩形と副情報の対応付け

| No. | パターン            | 分類     | 副情報 |
|-----|-----------------|--------|-----|
| 1   | $A=B, B=C, A=C$ | 平面     | 0   |
| 2   | $A=B, B=C, A>C$ | 左上がり斜面 | 0   |
| 3   | $A=B, B=C, C>A$ | 右上がり斜面 | 0   |
| 4   | $A=B, B>C, A=C$ | 山      | 0   |
| 5   | $A=B, B>C, A>C$ | 左上がり斜面 | 1   |
| 6   | $A=B, C>B, A=C$ | 谷      | 0   |
| 7   | $A=B, C>B, C>A$ | 右上がり斜面 | 1   |
| 8   | $A>B, B=C, A=C$ | 谷      | 0   |
| 9   | $A>B, B=C, A>C$ | 左上がり斜面 | 1   |
| 10  | $A>B, B>C, A>C$ | 左上がり斜面 | 0   |
| 11  | $A>B, C>B, A=C$ | 谷      | 1   |
| 12  | $A>B, C>B, A>C$ | 谷      | 0   |
| 13  | $A>B, C>B, C>A$ | 谷      | 0   |
| 14  | $B>A, B=C, A=C$ | 山      | 0   |
| 15  | $B>A, B=C, C>A$ | 右上がり斜面 | 1   |
| 16  | $B>A, B>C, A=C$ | 山      | 1   |
| 17  | $B>A, B>C, A>C$ | 山      | 0   |
| 18  | $B>A, B>C, C>A$ | 山      | 0   |
| 19  | $B>A, C>B, C>A$ | 右上がり斜面 | 0   |

複数の隣接要素矩形パターンに同じ1ビット副情報を対応付けることにより、副情報埋め込み処理の結果は複数得られる。そこで、元画像と結果との差異をできるだけ少なくするため、元画像における各要素矩形の面積と、副情報埋め込み結果の各要素矩形の面積との差を考え、差の2乗の総和が最小となるものを最終的な結果として選択する。全体的な差異が少なくても、局所的に大きな差があるような結果は視覚に大きな影響を及ぼすため、差の2乗を考慮した。

#### 4 提案手法による実験および考察

提案手法における、副情報埋め込み処理による画像変化が視覚に与える影響と、入力ノイズに対する副情報の耐性を評価するために、実験を行った。本章では、実験の概要を説明して結果を示し、提案手法を考察する。

#### 4.1 実験の概要

実験は、副情報埋め込み処理による画像変化が視覚に及ぼす影響を評価するための、文書の判読に対する違和感についてのアンケートと、入力ノイズに対する副情報の耐性を評価するための、副情報復号率の算出を行った。

実験で使用した文書画像は、画像幅1000pixel、高さ450pixel、解像度200pixel/inch、モノクロ2階調で、12ポイントの全角文字140字(MSゴシック)が内在する画像であり、10枚用意した。また、印刷は600dpi、スキャンニングは200dpi、FAX送受信はファインモードで行った。なお、作成した画像に含まれる全角漢字に対応する要素矩形の面積は、大半が $(30 \times 30 = 900)$ 画素であった。そこで、各実験は面積差しきい値を900画素の5%(45画素)、10%(90画素)、15%(135画素)、20%(180画素)に設定して行った。

実験に使用した画像の例を図4から図7に示す。上から順に、元画像、面積差しきい値を90に設定して副情報を埋め込んだ画像、副情報埋め込み画像に印刷・スキャンニング処理を施した画像、同様にFAX送受信処理を施した画像である。

#### 4.2 画像変化が視覚に及ぼす影響

副情報埋め込み処理による画像変化が視覚に及ぼす影響を評価するために、元画像や副情報埋め込み画像に印刷などの処理を施し、各画像の判読に対する違和感について、20人を対象にアンケートを行った。全く違和感を感じないものを1、非常に違和感を感じるものを5とする5段階評価を集計したところ、表2のような結果が得られた。

表2: 文書判読に対する違和感の度合い(5段階評価)

| 処理         | 元画像  | T=45 | T=90 | T=135 | T=180 |
|------------|------|------|------|-------|-------|
| 処理なし       | 1.00 | 3.11 | 3.95 | 3.58  | 4.18  |
| 印刷・スキャンニング | 1.26 | 3.55 | 3.00 | 4.00  | 3.95  |
| FAX送受信     | 1.34 | 3.54 | 3.54 | 3.78  | 4.00  |

表2において、各値は5段階評価の平均値である。Tは面積差しきい値を示し、それぞれの設定により副情報を埋め込んだ文書画像を意味する。

表2より、面積差しきい値に関わらず、提案手法

電子透かしとは、画像や音声などの主情報に全く別の副情報を埋め込む技術である。電子透かしには、大きな特徴が3つある。まず、副情報を埋め込んでも主情報はそのまま利用可能であること、次に、主情報のどこに副情報が埋め込まれているかを認識することは困難であること、そして、主情報に埋め込まれ

図 4: 元画像

電子透かしとは、画像や音声などの主情報に全く別の副情報を埋め込む技術である。電子透かしには、大きな特徴が3つある。まず、副情報を埋め込んでも主情報はそのまま利用可能であること、次に、主情報のどこに副情報が埋め込まれているかを認識することは困難であること、そして、主情報に埋め込まれ

図 5: 副情報埋め込み画像

電子透かしとは、画像や音声などの主情報に全く別の副情報を埋め込む技術である。電子透かしには、大きな特徴が3つある。まず、副情報を埋め込んでも主情報はそのまま利用可能であること、次に、主情報のどこに副情報が埋め込まれているかを認識することは困難であること、そして、主情報に埋め込まれ

図 6: 副情報埋め込み画像/印刷スキャンニング処理

電子透かしとは、画像や音声などの主情報に全く別の副情報を埋め込む技術である。電子透かしには、大きな特徴が3つある。まず、副情報を埋め込んでも主情報はそのまま利用可能であること、次に、主情報のどこに副情報が埋め込まれているかを認識することは困難であること、そして、主情報に埋め込まれ

図 7: 副情報埋め込み画像/FAX 送受信処理

の副情報埋め込み処理による画像変化は、視覚に大きな影響を及ぼしてしまうことがわかった。ただし、面積差しきい値を大きくするほど違和感が増大する傾向、副情報埋め込み画像に入力ノイズが付加されることによって違和感が軽減される傾向はあった。

### 4.3 入力ノイズに対する副情報の耐性

面積差しきい値を大きくとることにより、入力ノイズが多く付加されても、隣接要素矩形のパターンは維持されることが予想される。そこで、元画像や副情報埋め込み画像に印刷などの処理を施し、各画像から副情報を読み出して、復号率を算出した。ここでは、副情報そのものではなく、隣接要素矩形のパターンが維持されている確率を副情報復号率とし

た。実験の結果を表 3 に示す。

表 3 において、T は面積差しきい値を示し、それぞれの設定により副情報を埋め込んだ文書画像を意味する。実験結果からは、面積差しきい値を全角漢字の標準の大きさの 90% 以上に設定した場合、復号率に顕著な変化は見られなかった。また、FAX 送受信処理を施した画像よりも、印刷・スキャンニング処理を施した画像の復号率の方が高かった。

なお、文字の傾きに副情報を対応付ける従来手法において、副情報の識別率と視覚効果のバランスを最適にした場合の復号率は 85.0% である [4]。

表 3: 面積差しきい値による副情報復号率 (%)

| 処理         | T=45 | T=90 | T=135 | T=180 |
|------------|------|------|-------|-------|
| 印刷・スキャンニング | 59.9 | 82.7 | 85.5  | 84.8  |
| FAX 送受信    | 41.3 | 72.1 | 76.0  | 79.5  |

### 4.4 考察

実験の結果、提案手法は、副情報を読み出す際に元の主情報を必要とせず、印刷処理の施された主情報からの副情報復号率についても、文字の傾きに副情報を対応付けた従来手法と同等と言えることが示された。しかし、副情報埋め込み処理による画像変化が視覚に及ぼす影響、および印刷などの処理の施された主情報における副情報復号率について、問題も残った。

まず、副情報埋め込み処理による画像変化が、面積差しきい値に関わらず視覚に大きな影響を及ぼしてしまう問題がある。原因として、処理対象となる 3 つの隣接要素矩形を 1 矩形ずつずらしながら選択したため、元の主情報とは異なる分類の隣接要素矩形パターンへの変換を回避することができなかったことが考えられる。この処理を、3 つの隣接要素矩形を 3 矩形ずつずらしながら順次選択するように修正することで、副情報埋め込み処理による画像変化が視覚に及ぼす影響の抑制が期待できる。ただし、副情報量 (bit) は主情報に含まれる全要素矩形数の 3 分の 1 になる。

そして、面積差しきい値の設定を変更しても、復号率が向上しない問題がある。原因として、隣接する要素矩形の面積差が設定された面積差しきい値に非常に近い値であるとき、入力ノイズが付加される

ことにより、等号もしくは不等号で表される大小関係が変化してしまう状況が考えられる。この状況が発生する確率は、面積差しきい値の大小とは関係がない。解決策として、副情報埋め込み処理の際、隣接する要素矩形の面積差を等号関係に変換するときには面積差が0に近くなるようにし、不等号関係に変換するときには面積差が面積差しきい値を大きく上回るようにすることが考えられる。これにより、面積差しきい値の設定による副情報復号率の向上が期待できる。

また、実験では文字の線の太さが均一であるゴシック体で記述された文書画像を使用した。副情報埋め込み画像は、文字の拡張処理のために線の太さが不均一になる。これが、視覚に及ぼす影響を増大していることも考えられる。提案手法をより適確に評価するためには、他のフォントで記述された文書画像を対象とした実験も必要である。

## 5 まとめ

本稿では、和文の文書画像を主情報とし、主情報に印刷などの処理が施されても埋め込まれた副情報が維持され、かつ副情報を読み出す際に元の主情報を必要としない電子透かし手法を提案し、評価実験を行った。

従来手法の分析を踏まえ、目的の手法を実現するために、主情報における文書構成要素の相対関係に副情報を対応付ける手法を検討した。具体的には、文書画像に含まれる各文字を囲む最小矩形である要素矩形を考え、隣接する要素矩形の面積の大小関係に副情報を対応付けた。

実験の結果、提案手法は、副情報読み出す際に元の主情報を必要とせず、印刷処理の施された主情報からの副情報復号率についても、従来手法とほぼ同等であることが示された。

今後の課題としては、副情報埋め込み処理による画像変化が視覚に及ぼす影響の抑制、および印刷などの処理の施された主情報における副情報復号率の向上が挙げられる。これらについては、要素矩形の選択方法や隣接要素矩形の大小関係の変換方法を工夫することにより、問題の解決が期待できる。

## 参考文献

- [1] 中村, 小川, 高嶋: 画質を考慮した電子透かし, '97 信学会基礎・境界ソサイエティ大会, SA-7-3 (1997).
- [2] 天野, 平山: レイアウト構造を利用したページ記述への電子透かし埋め込み方法, 情報研報 98-CSEC-2 Vol.98, No.84, pp.45-50 (1998).
- [3] J.Brassil, et al.: *Hiding Information in Document Images*, Proceedings of the 1995 Conference on Information Sciences and Systems, pp.482-489 (1995).
- [4] 中村, 松井: 和文書へのシール画像による電子透かし, 情報処理学会論文誌 Vol.38, No.11, pp.2356-2361 (1997).
- [5] 田中, 中村, 松井: 情報の2重化伝送可能なMRファクシミリ符号化方式, 信学会論文誌 Vol.J72-B-I, No.4, pp.368-376 (1989).