

## 難視性パターンを用いた印刷文書に対する 情報付加手法の提案

金田 北 洋<sup>†1</sup> 平野 謙 二<sup>†1</sup> 藤井 雄 騎<sup>†1</sup>  
岩村 恵 市<sup>†1</sup> 半谷 精 一 郎<sup>†1</sup>

一般に、電子透かし技術は静止画像や動画・音声等といったコンテンツの特徴を用いてその中に他の情報を付加する技術である。印刷物に対しても、従来から印刷される画像や文字等のコンテンツの特徴を用いた電子透かし手法が提案されている。本研究では従来手法の課題であった文書品質の劣化、埋込み情報量のコンテンツ依存性、幾何変換に対する脆弱性を解決するための新たな手法として、印刷されるコンテンツではなく紙メディア自体をコンテンツとした難視性パターンを考案し、それを利用した印刷文書に対する新しい情報付加手法を提案する。本論文では、紙メディアの繊維パターン（ペーパーテクスチャ）を応用した難視性パターンの原理、プリンタを用いた難視性パターンの作成、高解像度スキャナを用いた難視性パターンの解析、それらに基づく抽出アルゴリズムの提案、3種類のプリンタ/2種類の紙メディアによる情報埋込み・抽出実験を行い、文書品質・印刷耐性・幾何変換耐性・機材非依存性に対するその優位性について報告する。

### Information Hiding Method Utilizing Artificial Fiber Pattern for Printed Document

KITAHIRO KANEDA,<sup>†1</sup> KENJI HIRANO,<sup>†1</sup> YUKI FUJII,<sup>†1</sup>  
KEIICHI IWAMURA<sup>†1</sup> and SEIICHIRO HANGAI<sup>†1</sup>

Digital watermarks provide the capability to add extra information to various media, such as still images, movies and audio, by utilizing features of its content. Several methods for printed document have already been proposed using features of the text or images. In this paper we treat the paper media itself as content and propose a new information hiding methodology which utilizes the fiber pattern of paper. The proposed method is expected to improve the quality and the geometric sensitivity of the watermarked documents. In this paper we show the principle of the low visible natural fiber pattern as a watermark then its advantages in terms of visual quality and robustness of geometric conversion / printer / paper media through several experiments.

### 1. 背 景

近年印字解像度の向上（1200 dpi, 2400 dpi 等）により、一般的に普及しているプリンタでも高品質の文字を形成することが可能となっている。また、光学技術、撮像素子の進歩で光学解像度 5000 dpi クラスのプロフェッショナルスキャナも登場している。それらハードウェアの進化に画像編集アプリケーションの高機能化も加わり、印刷物に対する不正コピーや改竄がより手軽に、巧妙に、実現できる環境になってきており、その抑止技術として印刷物への情報埋込み・抽出技術の重要性が増している。

一方、個人情報保護法の施行、日本版 SOX 法の適用等により情報漏洩に関する関心が高まっている。注目すべきは情報漏洩の経路として印刷物によるものが、全体の 40.4%にものぼり<sup>1)</sup>、大きな問題となっている。その観点からも印刷物への情報埋込み・抽出技術は大きな期待を寄せられている。

現状の印刷物への情報埋込み・抽出技術は大別すると電子透かしを埋め込む手法（不可視）、下地（たとえば、紙そのもの）にバーコードや特殊なパターン等を埋め込む手法（可視）の2つに分類される。これらはそれぞれ長所、短所があり、情報量・処理速度・精度・コストのすべての要求を満たす方式は今のところ存在しない。たとえば、下地に埋め込む手法は埋込み情報量が比較的多くコンテンツに左右されず安定しているが、視覚的な文書品質が劣化する。電子透かし方式は文書品質の劣化は小さいが、埋込み容量や幾何変換耐性等に問題がある。本研究においては印刷文書の下地に情報を埋め込む手法と紙メディア自体をコンテンツと考えた電子透かしの方法を融合させることにより、従来方式の課題を克服する新しい情報埋込み手法を提案することを目的とする。

本論文では、紙メディアの繊維パターン（ペーパーテクスチャ）を応用した難視性パターンによる情報付加手法の原理、プリンタを用いた難視性パターンの作成、高解像度スキャナを用いた難視性パターンの解析、それらに基づく抽出アルゴリズムの提案、3種類のプリンタ/2種類の紙メディアによる情報埋込み・抽出実験を行い、文書品質・印刷耐性・幾何変換耐性・機材非依存性に対するその優位性について報告する。

<sup>†1</sup> 東京理科大学  
Tokyo University of Science

## 2. 従来技術

文字あるいは図形といったコンテンツ（以下前景と呼ぶ）に情報を埋め込む電子透かし方式には、Bender らによる方式<sup>2)</sup>、藤井らによる方式<sup>3)</sup> 等がある。前者は単語間隔をずらすため、文書品質の劣化、埋込み情報量が単語量により左右される等の短所がある。

一方、後者は前景の輪郭パターンのうち視覚的違和感のないパターンを定量的に定義し（交差数）、そのパターンを置き換えて情報を埋め込む方式で、文書品質の劣化は抑えることが可能だが、埋込み情報量が前景パターンの量、質に左右されるという短所は依然として存在する。また印刷耐性の検証はなされていない。

これらに対し、下地に情報を埋め込む手法<sup>4)–8)</sup> は、コンテンツに直接左右されないため、情報量、文書品質という観点では有利である。たとえば、文献 4)、文献 5) では、 $\pm 45$  度傾けた微小な線分要素パターンを下地に印字しその傾き方向の違いにより情報を埋め込み・抽出する（図 1 参照）。

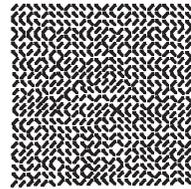


図 1  $\pm 45$  度の微小線分要素による情報埋込み手法  
Fig. 1 Conventional method using diagonal line element.

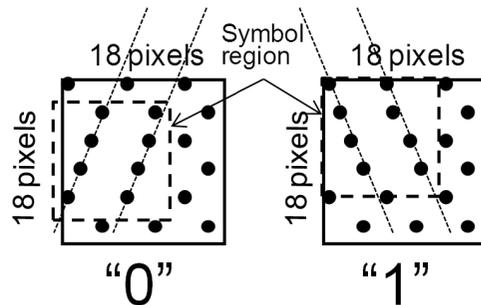


図 2 ドット傾きの違いによる情報埋込み手法  
Fig. 2 Conventional method using dot alignment.

文献 6) は、二値画像に対し所定の階調になるような 2 種類の太さの万線を使用した網点背景領域を形成、万線の組合せにより情報の埋込み・抽出を行う。

文献 7)、文献 8) では、 $18 \times 18$  ピクセルの領域に 18 ドットの傾きの異なるパターンを配置することにより情報を埋め込み・抽出する手法（図 2 参照）が提案されている。

いずれの下地に埋め込む手法も、線パターン、ドットパターンの大きさ、その方向性のため、

- (1) 文書品質的な違和感
  - (2) 幾何変形に弱い
- 等の課題があった。

## 3. 提案手法概要

### 3.1 難視性パターン

本研究では、背景に情報を埋め込む手法において従来の課題を克服するため、

- (1) 低視認性と印刷耐性の両立
- (2) 幾何変形に対する耐性確保

の要件を満たす紙の繊維パターンを応用した“難視性パターン”を提案する。

ブランク紙は一見何も見えない。しかし、ミクロ的に解析すると、紙の繊維が形成する凹凸パターンにより様々な周波数成分が存在する。図 3 (a) に業務用高解像度スキャナを使用し 2400 dpi でビジネスカットペーパーをスキャンした画像、(b) にその水平方向の空間周波

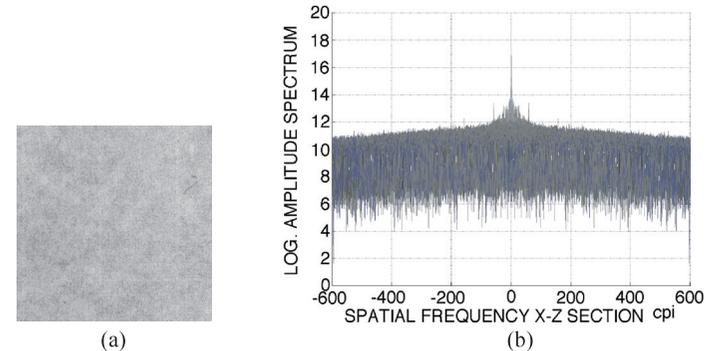


図 3 高解像度スキャンによる紙メディアの特性  
Fig. 3 Fiber pattern and its Fourier spectrum.

数成分を示す．空間周波数成分は紙繊維のランダム性により同心円状に分布し，どの方向で切っても同様であることを確認している．よって，図 3 では水平方向を例に説明したが実際には 2 次元的に扱っている．図 3 (b) を観察すると，紙メディア自体はそれほど高い空間周波数は含まれておらず，100 cpi ( cycle per inch ) 程度までであることが分かる．

今回定義する難視性パターンは，この紙の繊維が形成する凹凸パターンに着目したもので，具体的には高解像度スキャン画像の高周波成分のことである．

### 3.2 想定される効果

難視性パターンを利用することで次のような効果が期待できる．

#### (1) 低視認性による高画質化

前述のように紙メディアに元来含まれる繊維パターンをベースとしているため従来の人工的パターンに比べて主観的な違和感が少ない．

#### (2) 印刷耐性

難視性パターンは，元来持っている紙メディアの高周波成分であるので，それをオリジナル紙メディアに印刷することにより，ランダムなパターンに比べて，その輝度値が低くても周波数領域での変化の検出が容易となる．

#### (3) 幾何変形・紙形状変形耐性

方向性を持たない繊維パターンの周波数分布を利用しているので空間領域における紙メディアの変形，傾斜，回転に対して耐性を有する．

### 3.3 難視性パターンの生成手順

以下難視性パターンの生成手順を図 4 とともに示す．

- (1) ターゲットブランク紙をスキャンし画像化し，0.5 inch 四方のパターンを切り取る．これをオリジナルパターン  $o$  とする．
- (2) オリジナルパターン  $o$  に対し，ハイライト，シャドウ，ガンマのバランスを Photoshop の自動レベル補正で最適化し，紙繊維の凹凸を自然に観察できるようにする．この結果を以後基準パターン  $s$  とする．
- (3) 基準パターン  $s$  を二次元フーリエ変換し，結果を  $S$  とする．また，その直流成分を  $S_{dc}$  とする．
- (4)  $S$  の低周波数成分を円状にくり抜く，以後このカットオフ周波数を  $r$  cpi ( cycle per inch ) ，結果を  $S'$  とする．ここで， $r$  は情報 ( 1 , 0 ) に応じて  $r_1$  および  $r_0$  をとるものとする．残された  $S$  の交流成分を  $S_{ac}$  ( =  $S'$  ) とする．
- (5)  $S_{dc}$  を戻し，さらに難視性 ( 濃度 ) を調整する難視性調整係数  $\alpha$  ( 0 ~ 1 ) を  $S_{ac}$  に

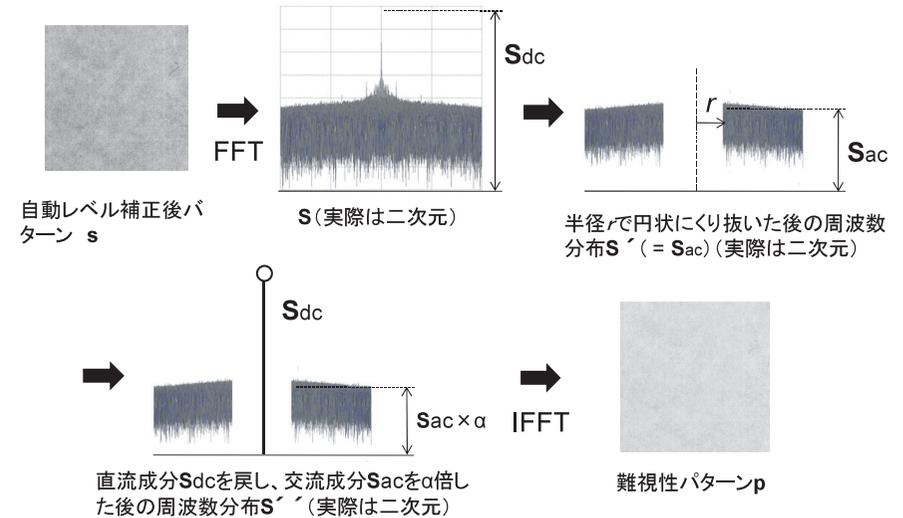


図 4 難視性パターン生成手順

Fig. 4 Low visible pattern generation process.

乗じる．この処理結果を  $S''$  とする．

- (6)  $S''$  を二次元逆フーリエ変換し，視性パターン  $p$  を求める．実際には ( 4 ) ， ( 5 ) のプロセスよりカットオフ周波数  $r_1$  および  $r_0$  に対応した  $S'$  ，  $S''$  が生成され，難視性パターンもそれに対応した  $p(r_1)$  ，  $p(r_0)$  が求められる．
- (7) ( 6 ) までのプロセスで得られた基準パターン  $s$  と難視性パターン  $p(r_1)$  ，  $p(r_0)$  を以後当該用紙の情報埋込み用パターンセットとし，情報に応じてターゲット用紙に印刷する．これらを用いた具体的な情報埋込み・抽出詳細に関しては 3.4 節，3.5 節で述べる．

通常の紙は反射率が 100% に近いので，スキャン後の濃度ヒストグラムがハイライト側に偏っている．そのため紙繊維本来の凹凸が狭い濃度レンジに分布し，周波数解析を正しく行うことが困難である．上記手順 ( 2 ) ではこれを克服するため，Photoshop の自動レベル補正で濃度を最適化 ( ハイライトからシャドウすべての濃度を使用するよう濃度を均一化 ) し，紙繊維の凹凸を自然に観察できるようにしている．今回は Photoshop を使用したが濃度ヒストグラムを計算し，そのピーク位置を適正化し，濃度分布を推定/補正する機能であれば自作・他の市販アプリを問わず代替可能である．

(5) で  $S$  の直流成分  $S_{dc}$  を戻しているのは、 $S_{ac}$  は直流成分が欠落しているためそのままでは空間領域に戻しても輝度信号として印刷できないためである。また、難視性調整係数  $\alpha$  を  $S_{ac}$  に乗じているのは、フーリエ変換の線形性により空間領域での輝度の交流成分を調整するためである。

### 3.4 難視性パターンの抽出手順

以下難視性パターンの抽出手順を示す。

- (1) 難視性パターン  $p$  (情報埋込み用、実際には  $p(r_1)$  と  $p(r_0)$ )、基準パターン  $s$  (情報抽出に必要、後述) が印刷された紙をスキャンし、画像化し、0.5 inch 四方に分割する。
- (2) (1) で得られたパターンに対し、3.3 節で述べた自動レベル補正を施し、この結果を  $p'$  および  $s'$  とする。
- (3)  $p'$  に二次元フーリエ変換を施し、その振幅スペクトルを  $P'$  とする。
- (4)  $s'$  に二次元フーリエ変換を施し、その振幅スペクトルを  $S'$  とする。
- (5)  $P'$  の  $S'$  に対する低周波成分減少度合いを定量的に評価するために強度比  $d(R)$  を以下のように定義する。

$$d(R) = \frac{\iint_0^R |P'(u, v)| dudv}{\iint_0^R |S'(u, v)| dudv}$$

ここで、二重積分は二次元空間周波数領域  $(u, v)$  内の半径  $R$  cpi (cycle per inch) の円内の振幅スペクトルの積分値を表す。

- (6) あらかじめ強度比に関連付けられたビット情報を埋込み情報として抽出。

ここで強度比  $d(R)$  は、難視性パターンのカットオフ周波数の違いを周波数領域で基準パターンにより正規化し、識別するための定量的指標で、読取りノイズ、紙間のばらつき、パターン間のばらつきの影響が抽出精度に与える影響を最小限にするために定義している。

### 3.5 実用的側面から見た難視性パターン

- (1) 情報埋込み・抽出

通常の印刷用紙は、漂白、柔軟化された長さ 1-2 mm、幅  $50 \mu\text{m}$  程度の広葉樹パルプに各種添加剤を加えて適切な濃度に調整されたパルプ懸濁液を原料としている。それをワイヤと呼ばれる土台上に均質な紙膜を形成するよう適切な濃度/速度/角度で噴出し、プレス、乾燥させてドラムリールに巻き取られ保存される。印刷用紙はその巨大な連続紙を所定サイズに断裁したものとなる。製造工程では、特に地合と呼ばれるムラ、繊維配向等が均質にな

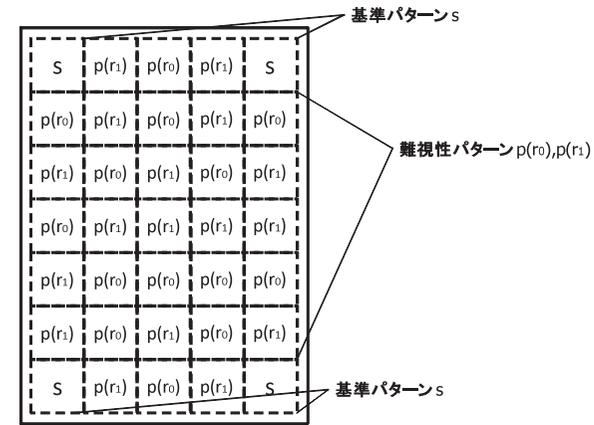


図 5 難視性パターンによる実際の情報埋込み

Fig. 5 Use case example of information hiding using artificial fiber pattern.

るよう厳しく品質管理されており、これらのことより同じ紙種であれば、繊維パターンはランダムであっても、全体を表す周波数分布は、どのページ、位置においてもほぼ同じであると考えられる。

本研究ではこの前提で視性パターン、基準パターンはそのつど作成するのではなく、紙メディアごとにあらかじめ作成したものを使用する。以下具体的に説明する。

3.3 節で述べた手順によりあらかじめターゲットとする紙メディアを使い、情報 0 と情報 1 に対応する難視性パターン  $p(r_0)$ 、 $p(r_1)$ 、および基準パターン  $s$  を電子的に作成しておく。この難視性パターンを埋込み情報に応じて所定の方向で、たとえば、左上から右下のように 1 パターン 1 bit でタイル状に配置された印刷データを作成し、それをターゲット紙メディアに印刷することにより情報を埋め込む。その際、所定位置に、たとえば四隅等、基準パターンも同時に印刷しておく。この場合強度比計算の基準パターンはそれらの平均値を用いることにより安定的な強度比を得ることが可能となる。図 5 はこれを模式的に表したものである。

抽出は紙をスキャンし、あらかじめ分かっているパターン群の配置に合わせて 3.4 節で述べた手法により情報を抽出する。

- (2) 情報量と解像度の関係

本提案の実験結果は基本的にすべて印刷・スキャン解像度 2400 dpi、 $s$  と  $p$  のパターン

サイズ 0.5 inch 四方において得られたものである。これを前提とした埋込み可能情報量は、たとえば、A4 ページで余白なしで考えると以下ようになる。

パターン埋込みエリアは、

縦方向 297 mm = 11.7 inch

横方向 210 mm = 8.3 inch

となり、これを 0.5 inch 四方 (1 bit 分) で割ると、388 bit の情報を埋め込むことが可能となる。この程度の情報量があれば ID や真贋性判定情報等には十分と考えられる。

s と p のパターンサイズの小型化は今後の課題の 1 つであるが、ビジネスカットペーパーの先行実験ではさらにパターンサイズ 0.25 inch 四方での埋込み・抽出が可能である感触も得ている (5.2 節で説明する総当たり識別評価, 900 パターン, で正解抽出率 93.3%)。この場合、埋込み可能情報量は 1554 bit となり、より多くの応用が期待できる。

現在の紙幣の偽造をはじめとした印刷物の偽造に関する問題はスキャナとプリンタの高性能化により実現されている。本研究は光学解像度 4800 dpi 程度の解像度を持つ高解像度スキャナ、あるいは高解像度デジタルカメラが広く出回ると考えられる 5 年~10 年先を想定している。現在でも民生用スキャナで光学解像度 4800 dpi クラスのものはあるが、読み取りエリア/速度等の制約が大きいのが実情である。たとえば、そのような制約のない光学解像度 4800 dpi のスキャナが低コストで入手できるようになれば、同じパターンサイズで現在の 4 倍以上の情報量を実用的に取り扱うことが可能となる。よって、スキャナの解像度が将来上がれば上がるほど多くの情報埋め込みが可能になってくる。

### (3) コスト比較

ここでは参考として従来方式 (参考文献 4), 5), および 7), 8)) とのコスト比較を単位面積あたりの濃度積分値により考察する。従来方式はすべて純黒ドット (濃度レベル 255) を打ち込むことを前提とする。参考文献から推定される必要ドット数は、

参考文献 4), 5) は、5 × 5 ピクセルあたり 3 ドット

参考文献 7), 8) は、18 × 18 ピクセルあたり 18 ドット

である。

一方本提案方式は、難視性調整係数  $\alpha = 1/2$  で 1 ドットあたりの平均濃度値が 37 レベル、 $\alpha = 1/4$  で 20 レベル必要である。

これらから単位面積 (90 × 90 ピクセル) あたりの濃度積分値を求めると、

・参考文献 4), 5): 247860 レベル

・参考文献 7), 8): 114750 レベル

・本方式

$\alpha = 1/2$ : 299700 レベル

$\alpha = 1/4$ : 162000 レベル

となる。

この結果から類推すると、インク・トナーの消耗度は  $\alpha = 1/2$  では、参考文献 4), 5) より約 20% 多く、 $\alpha = 1/4$  では、参考文献 4), 5) より約 35% 少なく、参考文献 7), 8) より約 40% 多いことが分かる。正確な比較は困難だが目安として、従来技術と比べて極端にコストが高いということはないと思われる。

## 4. 実 験

### 4.1 概 要

今回の実験では 3.1 節で提起した要件を実現するため、まずリファレンス機材として Canon 製プリンタ MP970/Kodak 製高解像度スキャナを用い、強度比  $d(R)$  (3.4 節 (5)) により、難視性パターンの基本パラメータであるカットオフ周波数  $r$  (3.3 節 (4))、難視性調整係数  $\alpha$  (3.3 節 (5))、および積分半径  $R$  (3.4 節 (5)) の同定を 2 種類の紙に対して行った。次に同定された情報埋込み・抽出のための基本パラメータの妥当性、普遍性、本手法の印刷耐性を検証するため、文書品質ならびに回転耐性の検証、さらに異なる 3 種類のプリンタ/2 種類の紙メディアを用い情報埋込み・抽出実験を行った。

### 4.2 機 材

#### (1) プリンタ

- ・Canon 製 MP970 (印刷解像度 9600 × 2400 dpi)
- ・EPSON 製 PM-A940 (印刷解像度 5760 × 1440 dpi)
- ・HP 製 Photosmart C8180 (印刷解像度 4800 × 1200 dpi)

#### (2) スキャナ

- ・Kodak 製 IQsmart2 (最大光学解像度 4300 dpi)

#### (3) 難視性/基準パターンサイズ

- ・0.5 inch 四方, 1200 × 1200 ピクセル

#### (4) 印刷条件

- ・カラー, 高画質, 2400 dpi

#### (5) 読取り条件

- ・8 bit グレー, デフォルト設定, 2400 dpi

(6) 紙メディア

- ・ビジネスカットペーパー
- ・コピー用上質紙

(7) 使用コンピュータ, およびソフト

- ・PC: lenovo AMD Athlon 64 × 2 Dual Core Processor 3800+ 2.01 GHz, 512 MB
- ・ソフト: MATLAB Ver7.5.0(R2007b), Adobe Photoshop CS2 Ver9.0

5. 結 果

5.1 基本パラメータ同定

ビジネスカットペーパーについて難視性調整係数  $\alpha$  を  $1/2$  に固定し, 強度比  $d$  が積分半径  $R$  とカットオフ周波数  $r$  に対しどのように変化するかを観察した. 図 6 は積分半径  $R$  を変化した場合のカットオフ周波数  $r$  と強度比  $d$  の関係である.

ここから強度比  $d$ , すなわち検出された振幅スペクトル  $P'$  (3.4 節 (3)) の積分値は, カットオフ周波数  $r$  にほぼ比例し, その傾向は積分半径  $R$  が大きいほど強いことが分かる.

本結果を用い, 積分半径  $R$ , 情報埋込みの  $r$  のペアを以下の観点から決定する.

- (1) ペアのパターン間の視覚的差分を抑え, かつパターンを確実に識別できる.
- (2) パワースペクトラムの目視変化と強度比  $d$  が適度に比例し, かつ強度比の差が適度に大きい.

以上より, 積分半径  $R = 10$ , 情報埋込みペアを  $r_1 = 2$ , および  $r_0 = 20$  と設定した.

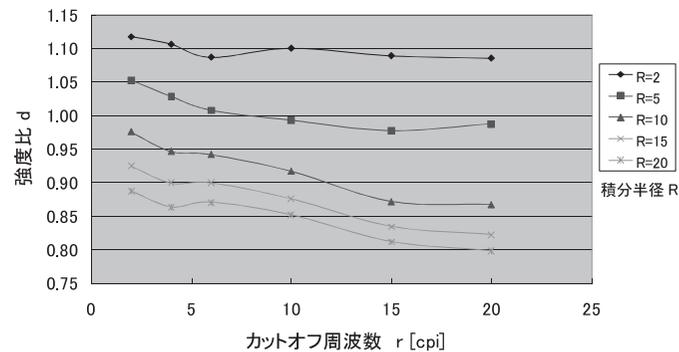


図 6 異なる積分半径  $R$  下でのカットオフ周波数  $r$  と強度比  $d$  の関係 ( $\alpha = 1/2$ )

Fig. 6 Intensity ratio  $d$  ( $\alpha = 1/2$ ) under different  $R$  and  $r$ .

表 1 は, ビジネスカットペーパーにおいて  $R = 10, r_1 = 2, r_0 = 20$  の条件の下, 難視性調整係数  $\alpha$  をそれぞれ  $1/2, 1/4, 1/8$  としたときの強度比  $d(10)$  とその差分値を表している. 難視性パターンを目立たなくするために  $\alpha$  は小さいほど良いが, 表 1 から  $1/8$  は識別に足る強度比  $d$  を得ることが難しいことが分かる.  $1/4$  は許容範囲と判断することも可能であるが, 今回はより解析を容易にするため  $1/2$  を採用した.

以上の検討より, 最終的な難視性パターンのパラメータを以下のように決定する.

$$R = 10, \quad \alpha = 1/2, \quad r_1 = 2, \quad r_0 = 20$$

ここでたとえば, 強度比  $d$  が  $0.9760$  と  $0.8676$  の中間値  $0.9218$  を識別閾値とし, それより大きい場合を情報 “1”, 小さい場合を情報 “0” とする.

上質紙の場合も, 同じプロセスで基本パラメータを同定した結果, ビジネスカットペーパーと同じ

$$R = 10, \quad \alpha = 1/2, \quad r_1 = 2, \quad r_0 = 20$$

となった. これより埋込み・抽出のための基本パラメータは少なくとも今回使用した 2 種類の紙メディアに対する依存性はないと考えられる. 本推論に関しては 5.4 節でその確認を行う.

5.2 文書品質

リファレンスプリンタにてビジネスカット紙と上質紙における基本パラメータを使用して生成された難視性パターン  $p(r_0), p(r_1)$  を図 7 および図 8 に示す.

埋込み情報の違いによる視性パターンの違いを識別するのは難しい. また, 図 1~2 の従来の例と比較しても, パターン自体の違和感がなく, その紙繊維由来の風合いにより自然な印象を与える.

参考として, 画質評価に関して以下の観点から定量的に把握することを試みたので結果を報告する.

(1) 従来手法<sup>7),8)</sup>との画質比較 (主観評価)

Canon 製プリンタ MP970 を用い, 5 枚のビジネスカットペーパーに難視性パターン  $p(r_0)$ ,

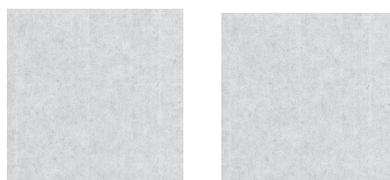
表 1 異なる  $\alpha$  下でのカットオフ周波数  $r$  と強度比  $d$

Table 1 Intensity ratio  $d$  under different  $\alpha$  and  $r$ .

	$\alpha$		
	1/2	1/4	1/8
$r_1 = 2$	0.9760	0.9631	0.9647
$r_0 = 20$	0.8676	0.8879	0.9570
差分値	0.1084	0.0752	0.0077



(a)  $p(r_1)$  (b)  $p(r_0)$   
 図7 ビジネスカット紙における難視性パターン  
 Fig. 7 Low visible pattern of business cut paper.



(a)  $p(r_1)$  (b)  $p(r_0)$   
 図8 上質紙における難視性パターン  
 Fig. 8 Low visible pattern of high quality copy paper.

$p(r_1)$  と図2に示す従来手法のパターン  $c(0)$ ,  $c(1)$  のペア4通り ( $p(r_0)c(0)$ ,  $p(r_0)c(1)$ ,  $p(r_1)c(0)$ ,  $p(r_1)c(1)$ ) をランダムに配置し、以下定義した評価語を用い、それぞれの方式の Mean Opinion Score (MOS 値) を計算した。被験者数は、画像の専門家でない 21 歳 ~ 44 歳の 11 名である。

- 5: パターン自体の違和感がまったく感じられない
- 4: パターン自体の違和感が感じられない
- 3: どちらともいえない
- 2: パターン自体の違和感が感じられる
- 1: パターン自体の違和感を強く感じる

結果は、

提案方式: 3.69

従来手法<sup>7),8)</sup>: 1.93

となり、少なくとも本評価手法による優位性を確認することができた。

表2 難視性パターン  $p(r_0)$ ,  $p(r_1)$  間の PSNR (dB)

Table 2 PSNR between  $p(r_0)$  and  $p(r_1)$ .

ビジネスカットペーパー		上質紙	
元データ	スキャン後	元データ	スキャン後
41.91	25.21	39.17	25.63

表3 オリジナル視性パターンに対するスキャン後の PSNR (dB)

Table 3 PSNR between original artificial fiber pattern and scanned pattern.

ビジネスカットペーパー		上質紙	
r0	r1	r0	r1
24.42	24.27	24.15	23.81

### (2) 難視性パターン $p(r_0)$ , $p(r_1)$ 間の比較 (主観評価)

Canon 製プリンタ MP970 を用い、5 枚のビジネスカットペーパーに難視性パターン  $p(r_0)$ ,  $p(r_1)$  のペア 4 通り ( $p(r_0)p(r_0)$ ,  $p(r_0)p(r_1)$ ,  $p(r_1)p(r_0)$ ,  $p(r_1)p(r_1)$ ) をランダムに配置し、各ペアに画質上の差があるか否かに関して聞き取り調査を行った。ただし同じペア ( $p(r_0)p(r_0)$ ,  $p(r_1)p(r_1)$ ) を同じと回答されたシートを有効回答とし、その中の ( $p(r_0)p(r_1)$ ,  $p(r_0)p(r_1)$ ) ペアに関して画質差の有無の回答数をカウントした。被験者数は、画像の専門家でない 21 歳 ~ 44 歳の 14 名、有効回答シートは 37 枚 (74 ペア) であった。結果は、 $p(r_0)$ ,  $p(r_1)$  間の画質の差が、

有: 65

無: 9

となった。

今回使用したサンプルシートは評価のしやすさを優先させたため (パターンサイズ/配置/二者択一方式等)、実使用状況での評価と比較すると不利になることが考えられる。それを考慮すると 14% の回答でその画質差がなかったという結果は十分意味を持つと考える。

### (3) 難視性パターン $p(r_0)$ , $p(r_1)$ 間の比較 (PSNR)

ビジネスカットペーパー、上質紙の難視性パターン  $p(r_0)$ ,  $p(r_1)$  間の PSNR、およびそれらを Canon 製プリンタ MP970/Kodak 製高解像度スキャナを用いて印刷/スキャンした後の難視性パターン間の PSNR を算出した。結果を表2に示す。これより元データに関しては一般的な基準 30 dB を大きく超えて、その画質差はほぼ無視できるといえる。

### (4) 視性パターンと印刷/スキャン後の視性パターンの画質比較 (PSNR)

表3にビジネスカットペーパーと上質紙の視性パターン  $p(r_0)$ ,  $p(r_1)$  に対するそれぞれの

2004 難視性パターンを用いた印刷文書に対する情報付加手法の提案

表 4 異なる回転角下でのカットオフ周波数  $r$  と強度比  $d$  の関係 (ビジネスカットペーパー)  
Table 4 Intensity ratio  $d$  under different rotation angle and  $r$  (Business cut paper).

	Rotation angle (degree)			
	0	+90	+180	+270
$r_1 = 2$	0.9760	0.9775	0.9649	0.9761
$r_0 = 20$	0.8676	0.8834	0.8695	0.8817
差分値	0.1084	0.0941	0.0954	0.0944

表 5 異なる回転角下でのカットオフ周波数  $r$  と強度比  $d$  の関係 (上質紙)  
Table 5 Intensity ratio  $d$  under different rotation angle and  $r$  (High quality copy paper).

	Rotation angle (degree)			
	0	+90	+180	+270
$r_1 = 2$	0.9474	0.9454	0.9643	0.9424
$r_0 = 20$	0.7963	0.8072	0.8183	0.8163
差分値	0.1511	0.1382	0.1460	0.1261

印刷/スキャン後の視性パターンの PSNR を示す。視性パターンはいったん印刷されて人間の目に入るわけだが、電子データとしての視性パターンと実際に印刷された視性パターンの画質上の差異はスキャンプロセスが入るため厳密には上記尺度では評価できない可能性があるため、あくまでその目安としてデータを提示する。

5.3 回転に対するロバスト性の検証

本提案方式のロバスト性の検証の 1 つとして回転に対する結果の不変性を検証した。表 4 は 5.1 節で同定した基本パラメータを用い、ビジネスカットペーパーにおいて、ある角度とそれに対して 90 度単位で 270 度まで時計回りに回転させた難視性パターンをスキャンした強度比  $d$  の比較結果、表 5 は上質紙の同様の結果であるが、回転後も同一閾値で問題なく情報抽出が可能であることが分かる。

5.4 機器依存性・印刷耐性

5.1 節で同定した情報埋込み・抽出のための基本パラメータ

$$R = 10, \quad \alpha = 1/2, \quad r_1 = 2, \quad r_0 = 20$$

を用い、4.2 節で述べた 3 種類のプリンタ/2 種類の紙メディアに対して情報埋込み・抽出実験を行った。以下その手順を説明する。

- (1)  $\alpha = 1/2, r_1 = 2, r_0 = 20$  のパラメータで Canon, HP, EPSON プリンタでそれぞれビジネスカットペーパー、上質紙に難視性パターンと基準パターンを印刷する。印刷は 10 枚ずつ行い、合計 60 サンプル作製する。
- (2) 高解像度スキャナで (1) で作成したサンプルをスキャンし、二次元フーリエ変換後

表 6 サンプルごとのカットオフ周波数  $r$  に対する強度比  $d$  と識別閾値 (Canon ビジネスカットペーパー)  
Table 6 Intensity ratio  $d$  under different sample (Canon business cut paper).

	サンプル No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r_1=2$	0.9604	0.9564	0.9847	0.9670	0.9759	0.9687	0.9755	0.9769	0.9618	0.9721
$r_0=20$	0.8639	0.8343	0.8861	0.8683	0.8785	0.8807	0.8631	0.8885	0.8655	0.8757
差分値	0.0965	0.1221	0.0986	0.0987	0.0974	0.088	0.1124	0.0884	0.0963	0.0964
閾値	0.9122	0.8953	0.9354	0.9177	0.9272	0.9247	0.9193	0.9327	0.9136	0.9239

表 7 サンプルごとのカットオフ周波数  $r$  に対する強度比  $d$  と識別閾値 (Canon 上質紙)  
Table 7 Intensity ratio  $d$  under different sample (Canon high quality copy paper).

	サンプル No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r_1=2$	0.9354	0.9325	0.9321	0.9079	0.9378	0.9360	0.9109	0.9278	0.9339	0.9121
$r_0=20$	0.8070	0.8254	0.8136	0.7967	0.7720	0.8112	0.7633	0.7986	0.7705	0.7518
差分値	0.1284	0.1071	0.1185	0.1112	0.1658	0.1248	0.1476	0.1292	0.1634	0.1603
閾値	0.8712	0.8790	0.8729	0.8523	0.8549	0.8736	0.8371	0.8632	0.8522	0.8319

表 8 サンプルごとのカットオフ周波数  $r$  に対する強度比  $d$  と識別閾値 (HP ビジネスカットペーパー)  
Table 8 Intensity ratio  $d$  under different sample (HP business cut paper).

	サンプル No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r_1=2$	1.064	1.079	1.093	1.067	1.079	1.078	1.087	1.067	1.074	1.067
$r_0=20$	0.9104	0.9279	0.9244	0.9102	0.9183	0.9094	0.9334	0.9221	0.9379	0.9311
差分値	0.1536	0.1511	0.1686	0.1568	0.1607	0.1686	0.1536	0.1449	0.1361	0.1359
閾値	0.9873	1.004	1.009	0.9887	0.9984	0.9937	1.010	0.9946	1.006	0.9988

積分半径  $R = 10$  にてカットオフ周波数  $r_1 = 2, r_0 = 20$  に対する強度比  $d$ , 閾値を計算する。

- (3) プリンタ・紙メディアの組合せごとに 10 サンプルの強度比  $d$  による総当たり識別評価を行う。

表 6, 表 7, 表 8, 表 9, 表 10, 表 11 に各組合せのサンプルごとのカットオフ周波数

2005 難視性パターンを用いた印刷文書に対する情報付加手法の提案

表 9 サンプルごとのカットオフ周波数  $r$  に対する強度比  $d$  と識別閾値 (HP 上質紙)  
Table 9 Intensity ratio  $d$  under different sample (HP high quality copy paper).

	サンプル No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r_1=2$	0.9909	1.011	1.015	1.068	1.040	1.028	1.018	1.019	1.022	1.029
$r_0=20$	0.8391	0.8150	0.8453	0.8780	0.8657	0.8683	0.8137	0.8526	0.8497	0.8737
差分値	0.1518	0.196	0.1697	0.1900	0.1743	0.1597	0.2043	0.1664	0.1723	0.1553
閾値	0.9150	0.9129	0.9300	0.9728	0.9527	0.9482	0.9156	0.9360	0.9359	0.9516

表 10 サンプルごとのカットオフ周波数  $r$  に対する強度比  $d$  と識別閾値 (EPSON ビジネスカットペーパー)  
Table 10 Intensity ratio  $d$  under different sample (EPSON business cut paper).

	サンプル No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r_1=2$	1.155	1.109	1.110	1.133	1.158	1.160	1.124	1.151	1.152	1.159
$r_0=20$	0.8339	0.8470	0.8351	0.8807	0.8929	0.8631	0.8742	0.8809	0.8343	0.8515
差分値	0.3211	0.2620	0.2749	0.2523	0.2651	0.2969	0.2498	0.2701	0.3177	0.3075
閾値	0.9944	0.9780	0.9724	1.007	1.025	1.011	0.9992	1.016	0.9931	1.005

表 11 サンプルごとのカットオフ周波数  $r$  に対する強度比  $d$  と識別閾値 (EPSON 上質紙)  
Table 11 Intensity ratio  $d$  under different sample (EPSON high quality copy paper).

	サンプル No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r_1=2$	1.109	1.107	1.088	1.097	1.109	1.129	1.089	1.089	1.102	1.130
$r_0=20$	0.7456	0.7928	0.7989	0.7710	0.7497	0.8050	0.7542	0.7564	0.7448	0.7989
差分値	0.3634	0.3142	0.2891	0.3260	0.3593	0.3240	0.3348	0.3326	0.3572	0.3311
閾値	0.9273	0.9500	0.9435	0.9340	0.9292	0.9667	0.9216	0.9225	0.9233	0.9646

$r_1 = 2, r_0 = 20$  に対する強度比  $d$ , その差分値, およびその中間値である識別閾値を示す. 総当たり識別評価は, たとえばサンプル No.1 の強度比  $d$  の閾値を使って, No.2~No.10 までの難視性パターンのカットオフ周波数の違いの識別可否を, 次に No.2 の閾値を使って, No.1 と No.3~No.10 のそれを判定する, というようにすべての閾値を使ってそれぞれ 9 回の判定を 10 回行う, これを 6 条件, 合計 540 回の判定を行うことになる.

以上よりプリンタと紙メディアの組合せごとに識別率を求めると以下のような結果となった.

Canon ビジネスカットペーパー	→	100%
Canon 上質紙	→	100%
HP ビジネスカットペーパー	→	100%
HP 上質紙	→	100%
EPSON ビジネスカットペーパー	→	100%
EPSON 上質紙	→	100%
合計	→	100%

この結果から分かるように, リファレンスプリンタ, 高解像度スキャナを用いて求められた難視性パターンから同定された情報埋込み・抽出のための基本パラメータを用いることにより, 今回検証した組合せごとの総当たり識別評価合計 540 パターンにおいて, すべての難視性パターンのカットオフ周波数の違いを識別することができた.

### 5.5 コピーに対するロバスト性の検証

コピー耐性の評価として, CanonMP970 でビジネスカットペーパー上に印刷された難視性パターン  $p(r_0), p(r_1)$ , 基準パターン  $s$  に対し, ゼロックス社製モノクロコピー機 DocuCentre-II3000 をオート設定でビジネスカットペーパー上にコピーしたサンプルにおいて,  $r_1 = 2, r_0 = 20$  の強度比を求めた.

結果は,

$$r_1 = 2 : 1.045$$

$$r_0 = 20 : 1.024$$

となり, これをたとえば同じ条件の表 6 の結果と比較するとどの閾値においても識別は不可能である.

今回の検証は, サンプル数, コピー機のバリエーション, 紙種等の観点から十分な検証量とはいえないが, この結果から, コピーにより, 特徴となる周波数成分が除去されて識別が困難になっていることが予想される. この推定が正しければ, この特性を活かして本提案手法を真贋性判定等に応用することも可能である.

### 6. 今後の課題

繊維パターンの周波数分布は 100 epi 以下に集中しているため, それをベースとしている

難視性パターンは、前景となる文字、図形等の高周波成分寄りの分布とは重ならないのでその影響が少ないことが予想される。したがって、この効果の検証を次のステップとしてまず行いたい。

さらに今後実用化を目指すためには、以下の検証が必要となる。

- (1) 埋込み情報量と抽出精度をバランスさせたパターンサイズの適正化
- (2) しわ/折り曲げ、水没、上書き、セロテープ、消しゴム、あるいは経年変化、等の攻撃に対するロバスト性の検証、およびコピー耐性の向上
- (3) 色インクを使用したより自然な難視性パターンによる情報埋込み・情報抽出実験

## 7. ま と め

本報告では、従来の印刷文書に対する情報付加方式の課題である、文書品質、幾何変換耐性を克服するために紙メディアの繊維パターンをベースとした難視性パターンを提案した。原理的に本方式は、

- ・低視認性による高画質化
- ・印刷耐性
- ・幾何変形耐性

を有することが推測されるため、その特徴を活かした情報埋込み・抽出手法として、難視性パターン作成時のカットオフ周波数の違いを周波数領域で基準パターンにより正規化し、識別する考え方を提唱した。

実際にそれに基づきリファレンス機材を使用して情報埋込み・抽出のための基本パラメータを同定し、文書品質・回転耐性の確認を行った。また同定されたパラメータに従って3種類のプリンタ/2種類の紙メディアを用い、540パターンの総当たり方式の抽出実験を行い、100%の抽出率を得ることができた。

これにより、

- ・難視性（高画質）
- ・回転耐性
- ・印刷耐性
- ・機材非依存性

を満たすことのできる情報埋込み・抽出の可能性を実証した。

今後は、6章に述べた実用化を目指すための実験検証に加え、今回主観的手法で評価したパターンの難視性の理論的な裏付けと有効性の検証を行ってゆきたい。

謝辞 本報告作成のためにご協力いただいた岩村研究室の皆様に、謹んで感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) NPO 日本ネットワークセキュリティ協会：2007 年度情報セキュリティインシデントに関する調査報告書。
- 2) Bender, W., Gruhl, D., Morimoto, N. and Lu, A.: Techniques for Data Hiding, *IBM Systems Journal*, Vol.35, No.3&4, pp.313-336 (1996).
- 3) 藤井康広, 中野和典, 越前 功, 吉浦 裕, 手塚 悟：局所特徴量を用いた二値画像用電子透かしの画質維持方式, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.8, pp.1872-1883 (2003).
- 4) Tow, R.F.: Methods and means for embedding machine readable digital data in halftone images, U.S. Patent 5 315 098, May 24 (1994).
- 5) <http://www.parc.com/research/projects/dataglyphs/techoverview.html>
- 6) 伊藤健介, 左右田宏之, 井原富士夫, 木村哲也, 布施マリオ：富士ゼロックステクニカルレポート, No.15, pp.32-41 (2005).
- 7) 須崎昌彦, 須藤正之：印刷文書への透かし埋込み及び検出方法, 信学論(A), Vol.J87-A, No.6, pp.778-786 (2004).
- 8) 前野蔵人, 須藤正之：情報漏えい対策に向く印刷文書用電子透かし方式, 信学論(D), Vol.J90-D, No.1, pp.30-39 (2007).

(平成 20 年 11 月 30 日受付)

(平成 21 年 6 月 4 日採録)



金田 北洋（正会員）

東京理科大学・昭和 59 年早稲田大学理工学部機械工学科卒業。昭和 61 年同大学院修士課程修了。同年キヤノン株式会社入社。平成 7 年米国デューク大学電気工学科修士課程修了。現在、キヤノン株式会社ソフトウェア応用技術開発センター。主に画像処理、文書画像解析/認識の研究・製品開発に従事。



平野 謙二  
平成 20 年東京理科大学卒業。



藤井 雄騎  
平成 21 年東京理科大学卒業。



岩村 恵市（正会員）  
東京理科大学・昭和 55 年九州大学工学部情報工学科卒業。昭和 57 年同大学大学院修士課程修了。同年キヤノン株式会社入社。平成 6 年東京理科大学工学博士。現在、東京理科大学工学部電気工学科教授。主に符号理論、並列処理、情報セキュリティ、電子透かしの研究に従事。情報処理学会コンピュータセキュリティ研究会幹事。電子情報通信学会、情報理論とその応用学会各会員。



半谷精一郎  
東京理科大学・昭和 50 年東京理科大学工学部電気工学科卒業，昭和 56 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了，工学博士。現在，東京理科大学工学部電気工学科教授，同大学情報科学教育センター長。画像認識，画質評価，音声認識，話者識別，バイオメトリクスセキュリティ等の研究に従事。電子情報通信学会基礎境界ソサイエティ英文論文誌編集幹事，同通信ソサイエティ・ユビキタスネットワーク社会におけるバイオメトリクスセキュリティ研究会委員長，イメージメディアクウォリティ研究会委員長を歴任。ISO/IEC JTC1 SC37/WG3 国内委員会委員。著書に、『コンピュータ概論』（コロナ社），『JPEG・MPEG 完全理解』（コロナ社）等がある。