

難視性パターンを用いた情報付加手法に おける前景耐性改善の提案

金田北洋[†] 鬼頭祐太^{††} 岩村恵市^{†††}

電子透かし技術は静止画像や動画像・音声など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。我々は従来手法の課題であった文書品質の劣化、埋込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に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している。本論文ではその前景耐性を向上させるため、従来の難視性パターン上にカラー難視性パターンで構成される数字を重ねて印刷する手法を提案し、情報埋込み・抽出実験によりその妥当性を検証する。

Proposal of the Robustness in Information Hiding based on the Artificial Fiber Pattern

KITAIHIRO KANEDA[†] YUTA KITOH^{††}
KEIICHI IWAMURA^{†††}

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. We treat the paper media itself as content and propose the Artificial Fiber Pattern to improve the quality of watermarked documents and the geometric sensitivity in the watermarked documents and a new information hiding methodology which utilizes the Artificial Fiber Pattern. In this paper, we propose the methodology for printing character such as the number composed of the color Artificial Fiber Pattern to improve the foreground robustness and verify the validity through several experiments.

1. 背景

近年印字解像度の向上（1200dpi,2400dpi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、実現できる環境にある。実際、最もインシデント件数が多い漏洩媒体・経路は印刷物で、全体の55.9%となっている。そのため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。（文献[1]）

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（例えば、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。

我々は従来手法の課題であった文書品質の劣化、埋込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に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している。（文献[2, 3]）

ただし、今までの成果は文字などを含まない白紙の状態に対するものである。そこで、紙に印刷される文字や、後から加えられる落書きなどを前景と呼び、前景が加えられたのものに対する難視線パターンの性能を検証することを本論文の目標とした。

本論文では、前景耐性を向上させるため、従来の難視性パターン上に異なる色で表現したカラー難視性パターンで構成される数字を重ねて印刷する手法を提案し、情報埋込み・抽出実験によりその妥当性を検証する。

2. 従来手法

2.1 難視性パターン

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。文字、あるいは図形といったコンテンツに情報を埋め込む電子透かし方式は、文書品質の劣化は小さいが、埋込み容量や幾何変換耐性などに課題がある。また、下地に埋め込む手法は埋込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、線パターン、ドットパターンによる視覚的な文書品質が劣化する。このような従来方式の課題を解決するために、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た「難視性パターン」を用いた新しい情報埋込手法がある。

難視性パターンは、紙をミクロ的に解析すると見える紙の繊維の凸凹の特長を活かしている。図1はそれぞれ、業務用高現像度スキャナを使用して紙を2400dpiでスキャンした画像と、その周波数分布を表したものである。これにより紙自体はそれほど高い空間周波数を持ってないことがわかる。難視性パターンを利用することで、低視

認性による高画質化, 印刷耐性, 幾何変形・紙形状変形耐性といった効果が期待できる。

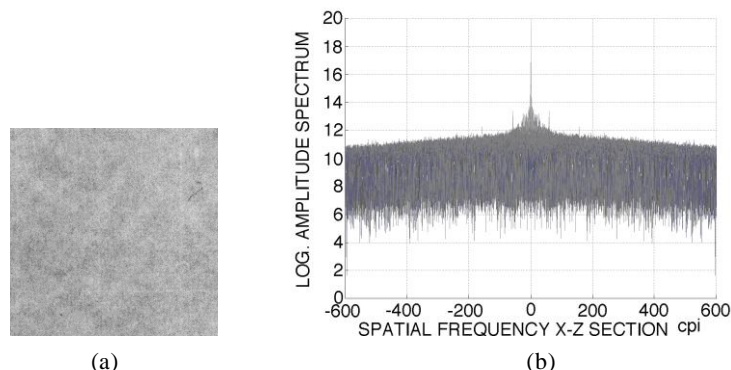


図 1 高解像度スキャンによる紙メディアの特性

2.2 難視性パターンの生成手順

図 2 と共に以下に難視性パターンの生成手順を示す。詳細は文献[2]を参照。

- (1) ターゲットブランク紙を 1inch 四方でスキャンし, 画像化し, 0.5inch 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, Photoshop cs2 の自動レベル補正を行う。この結果を s' とする。
- (3) 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(cycleperinch), 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 α (0~1) を S_{ac} に乗じる。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, 難視性パターン 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。

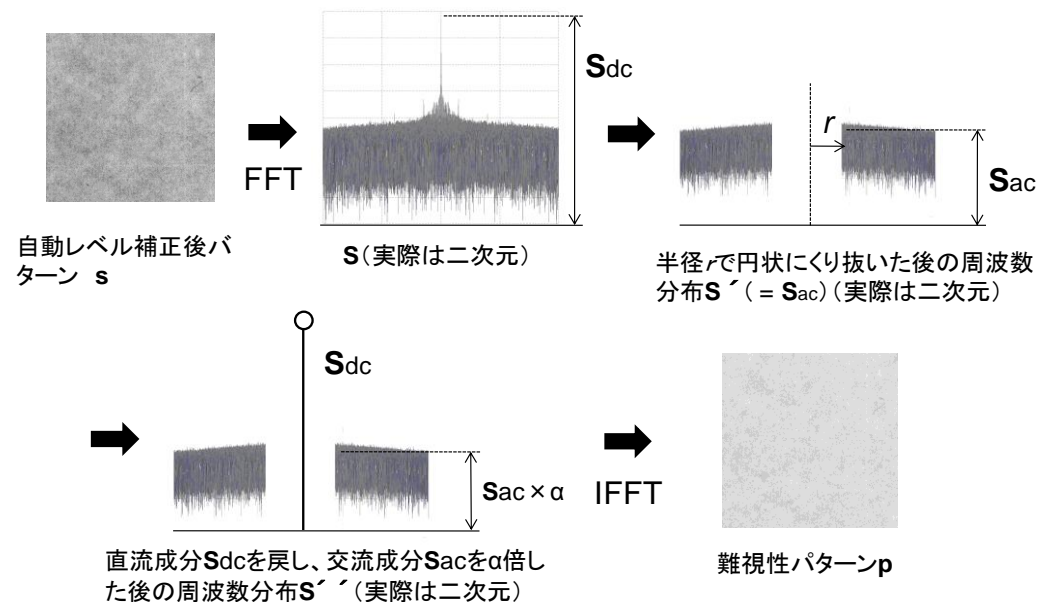


図 2 難視性パターン生成手順

2.3 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 $p(r_0)$) が印刷された紙を 1inch 四方でスキャンし, 画像化し, 0.5inch 四方に分割する。
- (2) 予め用意しておいたオリジナルパターン o に対し, Photoshop cs2 で色の置き換えを行い作成した基準パターン t' を用意する。
- (3) (1)で得られたパターンに対し, Photoshop cs2 で色の置き換えを施し, この結果を p' とする。
- (4) 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。
- (5) t' に二次元フーリエ変換を施し, その振幅スペクトルを T' とする。
- (6) P' の T' 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。

$$d(R) = \frac{\int_0^R \int_0^R |P'(u,v)| dudv}{\int_0^R \int_0^R |T'(u,v)| dudv}$$

ここで、二重積分は二次元空間周波数領域

(7) 予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。

2.4 輝度調整による難視性パターンの画像の正規化

カラー難視性パターンの濃度変化に対する不感性を持たせるため、輝度ヒストグラムの中心値に対して輝度が低い方（カラー難視性パターンがアドオンされて印刷濃度が濃い部分）のみを圧縮し、輝度が高い方（難視性パターン）の分布は保持するような γ カーブをスキャン後の難視性パターン画像に適用することにより、前景に依存せず情報を抽出できるのではないかと考えた。

今回は実際の γ ではなく、今述べた作用に近いフォトショップの色の置き換え機能を適用してみた。図3に色の置き換え前後の画像とその輝度ヒストグラムを示す。

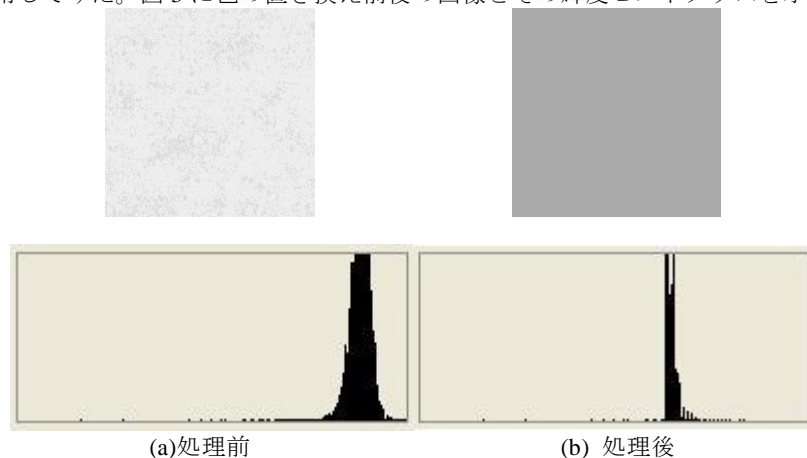


図3 色の置き換え前後の画像とその濃度ヒストグラム

3. 実験

3.1 実験の目的

本研究では、前景耐性を向上させるため、従来の難視性パターン上にカラー難視性

パターンで構成される数字を重ねて印刷する手法を提案し、情報埋め込み・抽出実験によりその妥当性を検証する。

3.2 使用機材

今回の実験で使用した機材は以下である。

- (1) プリンタ
 - ・ Canon 製 MP970 (印刷解像度 9600×2400dpi)
- (2) スキャナ
 - ・ Kodak 製 IQSmart2 (最大光学解像度 4300dpi)
- (3) 難視性/基準パターンサイズ
 - ・ 基準パターン (0.5inch 四方, 1200×1200 ピクセル)
 - ・ 難視性パターン (1inch 四方, 2400×2400 ピクセル)
- (4) 印刷条件
 - ・ カラー, 高画質, 2400dpi
- (5) 読取り条件
 - ・ 8bit グレー, デフォルト設定, 2400dpi
- (6) 紙メディア
 - ・ ビジネスカットペーパー
- (7) 使用コンピュータ, 及びソフト
 - ・ PC : HP xw8600Workstation Intel(R) Xeon(R) CPU E5420 @ 2.50GHz 2.50GHz
3.25GB RAM
 - ・ MATLAB Ver7.5.0(R2007b)
 - ・ Photoshop cs2 Ver9.0

3.3 基本パラメータ

基本パラメータであるカットオフ周波数 r , 難視性調整係数 α , 及び積分半径 R の設定は文献[2]で使用している $R=10$, $\alpha=1/2$, $r1=2$, $r0=20$ にする。

3.4 実験方法

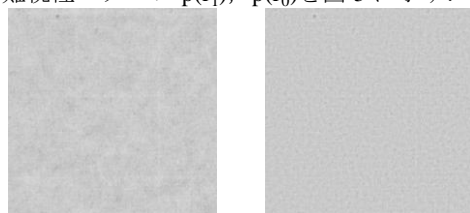
今回の実験はリファレンス機材として Canon 製プリンタ MP970=Kodak 製高解像度スキャナを用い、ビジネスカット紙に対して行った。そして 3.3 の基本パラメータを使用した従来の難視性パターン上にカラー難視性パターンで構成される数字を重ねて印刷し、抽出が可能かどうかの実験を行った。実験の手順は以下に述べる。

- (1) まず A4 ビジネスカット紙を Kodak 製 IQSmart2 を使ってグレーでスキャンする。そしてスキャンしたものに Photoshop cs2 の色の置き換えを使って基準パターン t' を生成する。基準パターン s を図4に示す。



図 4 基準パターン t'

- (2) スキャンしたものを 3.3 の基本パラメータを用い, 2.2 の手順で難視性パターン $p(r_1)$, $p(r_0)$ を生成する. 難視性パターン $p(r_1)$, $p(r_0)$ を図 5 に示す.



(a) $p(r_1)$

(b) $p(r_0)$

図 5 従来の難視性パターン

- (3) 次に Photoshop cs2 を使って, 濃度 100% のマゼンタ, シアンで難視性パターン $p(r_1)$, $p(r_0)$ に数字(フォントサイズ 400pt の 0~9)でそれぞれ色づけをする. それを図 6, 7 に示す.



(a) $p(r_1)$

(b) $p(r_0)$

図 6 色づけ (マゼンタ)



(a) $p(r_1)$

(b) $p(r_0)$

図 7 色づけ (シアン)

- (4) 色づけした難視性パターンを図 8 に示すように $p(r_1)$, $p(r_0)$, $p(r_1)$...の順に横に 3, 縦に 7 の計 21 個 ($p(r_1)$ が 11 個, $p(r_0)$ が 10 個) を貼り付ける. これをビジネスカッター紙に印刷する.
- (5) Kodak 製 IQSmart2 を使って, 各難視性パターンが埋め込まれている位置を 1inch 四方でグレーでスキャンしていく. その後は(1)で生成した基準パターン t' を用いて, 2.3 の手順で 21 個の強度比を算出する.

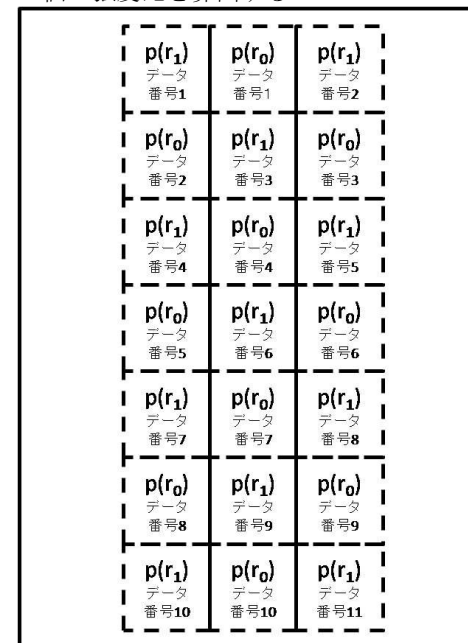


図 8 難視性パターンによる実際の情報埋め込み

4. 結果

図 9, 10 にマゼンタ, シアンの文字を前景としたカラー難視性パターンを抽出した結果をそれぞれ示す. 横軸のデータ番号は, 難視性パターン $p(r_1)$, $p(r_0)$ を貼り付けたものの左上から横に見ていってデータ番号 1 は上部に $r=2$, 下部に $r=20$, データ番号 2 も上部に $r=2$, 下部に $r=20$ の結果が描かれており, 以降同じ順で対応している. $p(r_1)$ が 11 個, $p(r_0)$ が 10 個のため $r=2$ のほうが 1 つ多くなっている. 図 10 のシアンの場合, 閾値を 1.099 と設けると, 難視性パターン $p(r_1)$, $p(r_0)$ の識別ができる. ただ図 9 のマゼンタの場合, $r=20$ のデータ番号 8 が他と比べて強度比が高かったりするので, 100% の識別はできないという結果になった.

また, 閾値を 1.099 と設けた時のマゼンタ, シアンのそれぞれの抽出率を表 1 に示す.

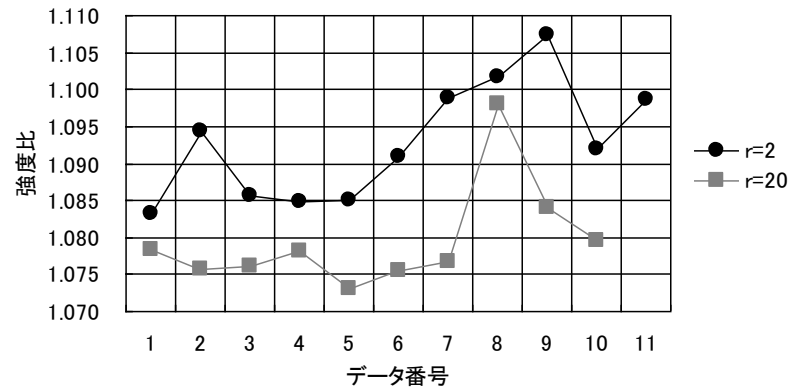


図 9 マゼンタの強度比

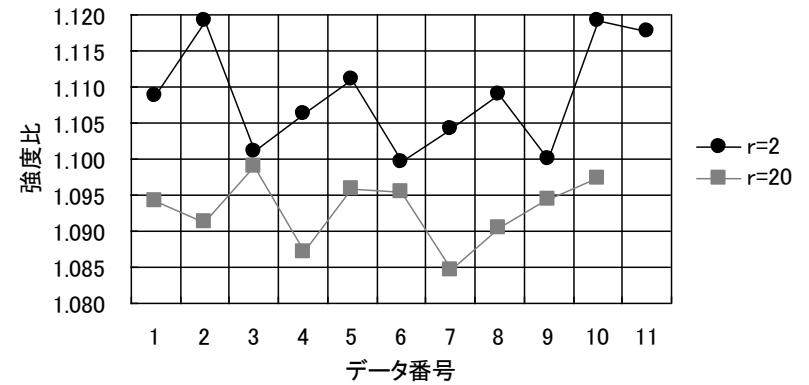


図 10 シアンの強度比

表 1 抽出率

データ番号	マゼンタ		シアン		
	強度比	判定	強度比	判定	
$p(r_1)$	1	1.0832	×	1.1087	○
$p(r_0)$		1.0784	○	1.0941	○
$p(r_1)$	2	1.0943	×	1.1192	○
$p(r_0)$		1.0757	○	1.0912	○
$p(r_1)$	3	1.0856	×	1.1011	○
$p(r_0)$		1.0761	○	1.0989	○
$p(r_1)$	4	1.0848	×	1.1063	○
$p(r_0)$		1.0782	○	1.0871	○
$p(r_1)$	5	1.0851	×	1.1110	○
$p(r_0)$		1.0730	○	1.0959	○
$p(r_1)$	6	1.0910	×	1.0995	○
$p(r_0)$		1.0754	○	1.0955	○
$p(r_1)$	7	1.0989	×	1.1041	○
$p(r_0)$		1.0767	○	1.0845	○
$p(r_1)$	8	1.1016	○	1.1090	○
$p(r_0)$		1.0980	○	1.0905	○
$p(r_1)$	9	1.1073	○	1.0999	○
$p(r_0)$		1.0841	○	1.0943	○
$p(r_1)$	10	1.0920	×	1.1191	○
$p(r_0)$		1.0796	○	1.0972	○
$p(r_1)$	11	1.0986	×	1.1178	○
抽出率[%]		57.14		100	

5. まとめ

本論文では、濃さ 100%のマゼンタ、シアンの文字を前景としたカラー難視性パターンを提案し、実際にビジネスカット紙に複数貼り付け印刷し、その抽出実験を行い、難視性パターンの実用性についての検証を行った。結果として、シアンでは 100%識別できるが、マゼンタでは 57.14%という結果になった。つまり、色が濃いほど抽出できるということになる。まだ課題が残るが、実用化に向けて検証実験を進めたい。

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

参考文献

- 1) NPO 日本ネットワークセキュリティ協会, "2008 年情報セキュリティインシデントに関する調査報告書"
- 2) 金田北洋, 平野謙二, 藤井雄騎, 岩村恵市, 半谷精一郎, "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" 情報処理学会論文誌, 論文誌ジャーナル/JIP 編集委員会, 2009 年 6
- 3) 金田北洋, 平野謙二, 岩村恵市, 半谷精一郎, "難視性パターンを用いた情報付加手法の印刷・回転耐性の実現" 信学技報, vol. 108, no. 162, ISEC2008-44, pp. 69-74, 2008 年 7 月.

著者紹介



金田北洋 (正会員)

東京理科大学

昭和 59 年早稲田大学工学部機械工学科卒業。昭和 61 年同大学院修士課程修了。同年キャノン株式会社入社。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、キャ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。



鬼頭祐太

平成 21 年東京理科大学卒業。

同年東京理科大学大学院入学。

現在、同大学院にて電子透かしの研究に従事。



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 年同大学院修士課程修了。同年キャノン株式会社入社。平成 6 年東京大学工学博士。

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、情報処理学会、情報理論とその応用学会各会員。