

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

金田 北洋[†] 平野 謙二[†] 岩村 恵市[†] 半谷 精一郎[†]

[†] 東京理科大学工学部電気工学科 〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-14-6

E-mail: [†] j4307703@ed.kagu.tus.ac.jp

あらまし 一般に、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。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研究する。本報告では、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、その抽出アルゴリズムの検討、実際のプリンタ・スキャナを用いた生成・抽出実験、文書品質の基本性能の検証、回転耐性・埋込情報量の検証を行い、従来手法に対する優位性、有効性について報告する。

キーワード 電子透かし、印刷文書、難視性パターン、ペーパーテクスチャ

Information Hiding Method utilizing Low Visible Natural Fiber Pattern for Printed Document

Kitahiro KANEDA[†] Kenji HIRANO[†] Keiichi IWAMURA[†] and Seiichiro HANGAI[†]

[†] Faculty of Engineering, Tokyo University of Science 1-14-6 Kudan-Kita, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0073 Japan

E-mail: [†] j4307703@ed.kagu.tus.ac.jp

Abstract 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 of watermarked documents and the geometric sensitivity in the watermarked documents. In this paper we show the principle of the low visible natural fiber pattern as a watermark, its possibility, advantages in terms of visual quality and geometric sensitivity.

Keyword Information hiding, Printed document, Low visible natural fiber pattern, Paper-like low visible pattern

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商品品質の文字を形成することが可能となっている。一方、光学技術、撮像素子の進歩で光学解像度5000dpi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。

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(不可視)、下地にバーコード、特殊なパターン等を埋込む手法(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。例えば、下地に埋込む手法は埋込情報量は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などに問題がある。

本研究は、筆者らにより2007年12月のCSEC研究

会にて提案された難視性パターンの原理[1]を用い、印刷文書の下地に情報を埋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的な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。

本報告では、その抽出アルゴリズムの検討、実際のプリンタ・スキャナを用いた生成・抽出実験、文書品質の基本性能の検証、回転耐性・埋込情報量の検証を行い、従来手法に対する優位性、有効性について報告する。

2. 従来技術

文献[2]、文献[3]は電子透かし方式で、文字領域に情報を埋込む手法である。文献[2]は単語間隔をずらす、文献[3]は文字形状を変形させるため、文書品質の劣化、埋込み情報量が文字量により左右される、等の短所がある。

一方下地に埋込む手法は、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だが、背景画像の劣化による全体的な文書品質の劣化という課題がある。

文献[4]、文献[5]、文献[6]は下地に埋込む手法である。文献[4]では、 ± 45 度傾けた微小な線分要素パターンを印字しその傾き方向の違いにより情報を埋込み・抽出する手法(図1(a)参照)、文献[5]と文献[6]では、 18×18 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込み・抽出する手法(図1(b)参照)が提案されている。いずれの手法も、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) 回転に弱い
- (3) 前景と重なった部分には情報を入れることができない

等の課題があった。

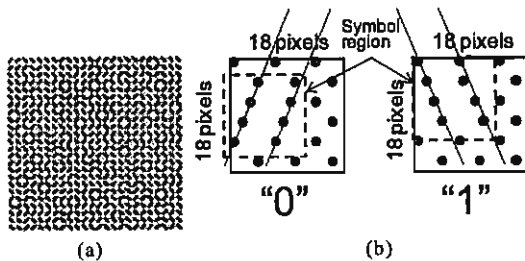


図1 背景に情報を埋込む従来手法

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) 各種幾何変換、特に従来方式の弱点である回転耐性の確保

の要件を満たすことを目的とした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とその周波数分布を観察することができる。図2(a)に業務用高解像度スキャナを使用し2400dpiでスキャンした画像、(b)にその周波数分布を示す。これを観察すると、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、MAX100dpi程度である。

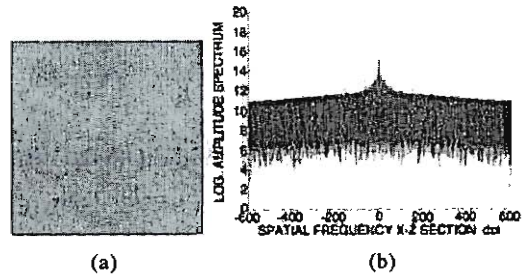


図2 背景に情報を埋込む従来手法

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から得られた画像の高周波成分のみを抜き出し、その空間成分を加工したものである。

3.2. 想定される効果

(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) 回転耐性

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傾斜、回転に対して不感性を有する。

3.3. 難視性パターンの埋込み手順

以下難視性パターンの埋込み手順を示す。

- (1) ターゲットブランク紙をスキャンし画像化。
- (2) (1)で得られた画像に前処理 (Photoshop の自動レベル補正機能) を施し、繊維パターンを強調させる。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。
- (4) S の低周波数成分を除去、以後このカットオフ周波数を r 、結果を S' とする。ここで、 r は情報 (1, 0) を埋込むために変化させるパラメータとなる。
- (5) S' を 2 次元逆フーリエ変換し、結果を輝度パターン l とする。
- (6) 以下のように輝度パターン l の交流成分を係数 n で圧縮した後、オフセット調整を行い、難視性パターン p を求める。

$$p = ACL \times n + OFFSET$$

ここで、

$ACL = 1$ の AC 成分

$OFFSET = (AVS + (255 - AVS) \times n / (n - 1))$

$AVS = s$ の平均値

- (7) 難視性パターン p を印刷。

図 3 は、各プロセスで発生するパターンを用いて上記流れを表したものである。

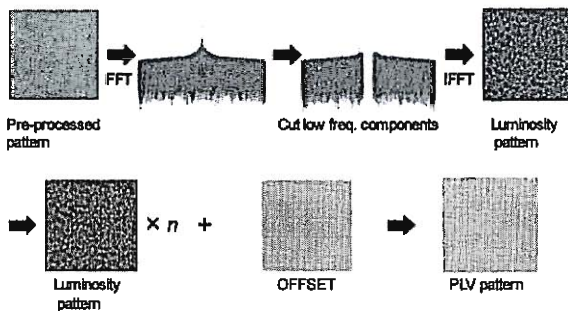


図 3 難視性パターン生成プロセス説明

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 が埋込まれた紙をスキャンし画像化。
- (2) (1)で得られた画像に前処理 (Photoshop の自動レベル補正機能) を施し、結果を p' とする。
- (3) p' に二次元フーリエ変換を施し、結果を P' とする。

- (4) 基準パターン s に対する低周波数成分減少度合いとして強度比 d を以下のように算出。

$$d = \log AS_P_R / \log AS_s_R$$

ここで、

$\log AS_P_R$ は、 P' の空間周波数 R dpi 以下の対数パワースペクトラムの積分値

$\log AS_s_R$ は、 s の空間周波数 R dpi 以下の対数パワースペクトラムの積分値

R は、対数パワースペクトラムの積分を計算するための積分半径

- (5) 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。

ここで、強度比 d は、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。

例えば、基準パターンを紙面の四隅に印刷、対象パターンとそれぞれの基準パターンに対する強度比 d を求め、上記(5)ではその平均値を用いる、あるいは、多数決で最終判断することにより、紙とパターン位置のばらつきの影響を抑えることが可能になる。

4. 実験

4.1. 概要

今回の実験では 3.1 節で提起した要件の検証を行うため、実際のプリンタ、スキャナを使用し、文書品質の観点から、強度比 d (3.4 節(4)) を使用し、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))、係数 n (3.3 節(6))、及び積分半径 R (3.4 節(4)) の同定を行った。またその同定方法を検証するために簡易的な回転不変性の検証を行った。次にこの手法で同定された基本パラメータを用い、2 種類の紙でその文書品質の優位性、印刷耐性、情報量の検証を行った。

4.2. 機材

- (1) プリンタ
 - ・ キヤノン社製 MP960 (印刷解像度 2400dpi)
- (2) スキャナ
 - ・ Kodak 社製 IQSmart2 (最大光学解像度 4300dpi)
- (3) 読取り条件
 - ・ 8bit グレー、デフォルト設定、読み取りエリア 0.5 インチ四方、1200×1200 ピクセル
- (4) 紙メディア
 - ・ ビジネスカットペーパー (大学生協製)
 - ・ 上質紙 (ゼロックス社製)
- (5) 使用コンピュータ、及びソフト
 - ・ PC : lenovo AMD Athlon 64x2 Dual Core

Processor 3800+ 2.01GHz, 512MB

・ソフト : MATLAB Ver7.5.0(R2007b), Photoshop cs2 Ver9.0

5. 結果

5.1. 基本パラメータ同定

まず倍率 n 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。

表1は積分半径 R を変化させ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 は、積分半径 R が大きいほどカットオフ周波数 r に比例することが分かる。また、積分半径 R が小さい場合は、パワースペクトラムのノイズの影響でカットオフ周波数 r と必ずしも比例しないが、例えばカットオフ周波数 r が2と20の差は大きくなる傾向になる。

表1 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 ($n = 1/2$)

	R					
	2	4	6	10	15	20
$r = 2$	0.9742	0.9286	0.9311	0.9709	0.9544	0.9039
$r = 5$	0.9832	0.9543	0.9398	0.9507	0.9622	0.9348
$r = 10$	0.9925	0.9863	0.9764	0.9670	0.9679	0.9539
$r = 15$	0.9957	0.9917	0.9919	0.9867	0.9777	0.9683
$r = 20$	1.0024	1.0003	1.0011	0.9984	0.9951	0.9755

本結果を用い、積分半径 R 、情報埋込みの r のペアを以下観点から同定する。

- (1) ペアのパターン間の視覚的の差分を抑え、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 $r = 2$ 、及び $r = 20$ と設定した。

表2は、 $R = 10$ 、 $r = 2, 20$ に固定し、倍率 n をそれぞれ $1/2, 1/4, 1/8$ とした時の強度比 d を表している。難視性パターンを目立たなくするためには n は小さいほうが良いが、表2から $1/4, 1/8$ 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。

表2 異なる係数 n とカットオフ周波数 r 下での強度比 d

	n		
	1/2	1/4	1/8
$r = 2$	0.9925	0.9705	0.9823
$r = 20$	0.9539	0.9650	0.9671

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同定する。

$$R = 10, n = 1/2, r = 2, r = 20$$

ここで、強度比 d が 0.9925 と 0.9539 の中間値 0.9732 より大きい場合ビット0, 小さい場合ビット1とする。

上質紙の場合は、同じプロセスで基本パラメータを同定した結果

$$R = 2, n = 1/2, r = 2, r = 20$$

とした。

5.2. 回転に対するロバスト性の検証

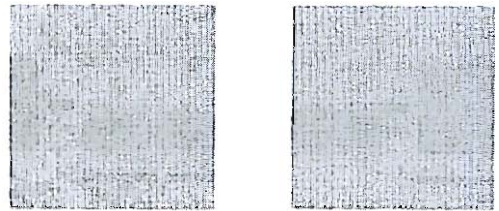
本提案方式を検証することを兼ねて回転に対する結果の不変性を検証した。表3は5.1で同定した基本パラメータにおいて、ある角度とそれに対して90度時計回りに回転させた難視性パターンをスキャンした強度比 d の比較結果であるが、回転後も問題なく情報抽出ができていることが分かる。

表3 異なる回転角とカットオフ周波数 r 下での強度比 d

	Rotation angle (degree)	
	0	+90
$r = 2$	0.9925	0.9981
$r = 20$	0.9539	0.9510

5.3. 文書品質

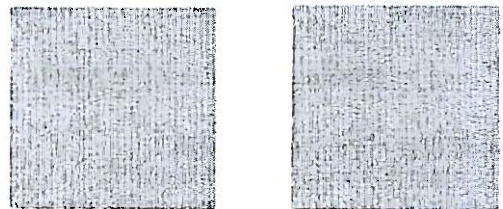
ビジネスカット紙と上質紙における基本パラメータを使用して生成された埋込情報が異なる難視性パターンを図4および図5に示す。



(a) $r = 2$

(b) $r = 20$

図4 ビジネスカット紙における難視性パターン



(a) $r = 2$

(b) $r = 20$

図5 上質紙における難視性パターン

埋込情報の違いによる難視性パターンの視覚上の

違いを認識するのが難しい。また、図1の従来の例と比較しても、パターン自体の違和感が無く、その紙繊維由来の風合いにより自然な印象な印象を与える。

5.4. 印刷耐性

印刷耐性、実用性を検証するため、我々は5.1で既定したビジネスカット紙、上質紙のパラメータを用い、それぞれ基準パターンを含む10ペアのA4サイズ・チェックシートを作成した。図6にチェックシート例を示す。

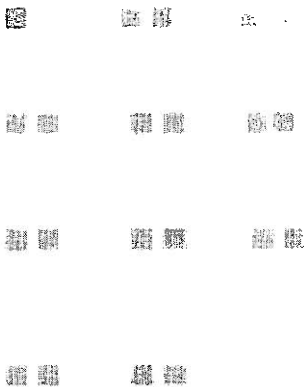


図6 印刷耐性チェックシート

それぞれ10枚のチェックシートを使用して、下記プロセスによって900の総当たりテストを行った。

- (1) あるシート中の10ペアのパターンの平均を出すことにより、「1」および「0」を決定するための強度比 d のしきい値を計算する。
- (2) 計算されたしきい値を残り9枚の90ペアのパターンに適用、「1」および「0」をチェックする。
- (3) しきい値を得るために(1)とは異なるシートを使用し、再び(2)のプロセスを繰り返す。
- (4) (1)-(3)を10回繰り返す、すなわち10の異なる閾値で90ペアのマッチングを繰り返す。

この総当たり試験の結果、

- ・ビジネスカット紙 → 100%
- ・上質紙 → 92.4%

の抽出率を得ることができた。これは今回の提案手法がある程度、印刷、紙とパターンの印刷位置に対するロバスト性があることを証明している。

5.5. 埋込情報量向上の可能性

理論的には、紙繊維の空間周波数は100dpiなので、200dpi以上の解像度で印刷すれば、例えば、2400dpi

のスキヤナであれば、約2ミリ四方毎に情報埋込が可能になる。

現状従来手法においては、例えば、[6][7]は、0.58平方mm(@600dpi)の印刷当たり1ビットを埋め込むことが、また、[4][5]は、6.2平方mm当たり1ビットを埋め込むことが可能である。

本提案方式の現実的な埋込み情報量向上を目指すため、我々は同一印刷・スキャン解像度(2400dpi)条件でより小さな領域($0.25 \times 0.25 = 0.0625$ 平方インチ)においてその読取り可能性を検証した。

結果として、5.4と同じ総当たり評価でビジネスカット紙において93.3%の抽出率を得ることができた。

次のステップでは、読取解像度を上げることにより、さらに微小な領域からの読取りを検討したい。理論的には2倍の解像度で読めば、さらに1/4の面積から同じ精度で抽出することが可能である。

6. 今後の課題

繊維パターンの周波数分布は100dpi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。従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、以下検証が必要となる。

- (1) 使用機材(紙メディア、プリンタ、スキヤナ)に関するロバスト性の検証
- (2) 難視性の定量評価手法
- (3) 回転以外の幾何変形に対するロバスト性
- (4) 色インクを使用したより自然な難視パターンの生成、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、情報量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、実際に難視性パターンを試作、難視性(高画質)と印刷耐性を両立可能な情報埋込み・抽出を実証し、その回転、印刷に対するロバスト性について検証を行った。結果として、難視性パターンを活用した印刷物への情報埋込・抽出の可能性を確認することができた。今後は原理的に有利な前景情報の耐性の確認をはじめ、実用化を目指すための検証実験を進めたい。

文 献

- [1] 金田北洋, 平野謙二, 岩村恵市, 半谷精一郎, “難

視性を用いた印刷物への情報付加に関する検討, "2007 (社) 情報処理学会, Vol.2007, No.126(20071214), pp.79-84, Dec.2007.

- [2] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, Techniques for Data Hiding, IBM Systems Journal 35, Nos. 3&4, pp. 313-336, 1996.
- [3] Yasuhiro Fujii, Kazunori Nakano, Isao Echizen, and Hiroshi Yoshiura, Method of watermarking for binary images, U.S. Patent 2005 0 025 333, Feb. 3, 2005.
- [4] Robert F. Tow, Methods and means for embedding machine readable digital data in halftone images, U.S. Patent 5 315 098, May 24, 1994.
- [5] <http://www.narc.com/research/projects/dataglyphs/techoverview.html>
- [6] 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, June 2004
- [7] 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, January 2007