

J_051

印刷テクスチャ画像を用いたステガノグラフィ

Steganography with Printed Texture Image

大鳥 浩史† 栗山 繁†
Hirofumi Otori Shigeru Kuriyama

1 序論

近年, QR コードの様に, 印刷された画像を携帯電話のカメラで撮影することで情報を取り出す手法が開発されている [1][2]. ステガノグラフィと呼ばれるこれらの手法は元画像に変換を施して情報を埋め込むため, 印刷や撮影に耐える埋め込み行くと, 見栄えを損なうような模様や汚れが生じてしまう.

本論文では, 画像データに変換を施して情報を埋め込むのではなく, グレースケールのテクスチャ画像を生成する際に情報を埋め込む方法を提案する. 画像の生成法には, Perlin のテクスチャ生成法 [3] を用い, Local Binary Pattern[4](以後, LBP) と呼ばれるテクスチャ画像に特化された特徴量に情報を埋め込み, 印刷や撮影に対する耐性を実現する.

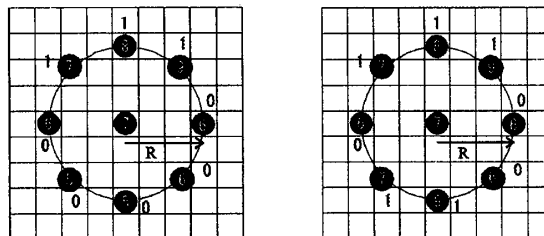
2 LBP を用いた特徴量の計算方法

LBP コードは, 画像中のある画素とその近傍の画素の色関係によって算出されるコードで, 画像の各画素で計算される. 本研究ではこのコードの出現確率を, 特徴量として用いる. 次に LBP コードの算出方法について説明する. まず図 1 の様に配置される中心画素と一定距離 R だけ離れて等間隔で並んでいる P 個の画素 (以後, 隣接画素) より, 周回コードを求める. この周回コードは, 中心画素と隣接画素の各画素対でグレースケール値を比較し, 中心画素値の方が大きい場合には 0 の値を, 隣接画素値の方が大きい場合には 1 の値を割り当て, 時計回りの順で並べた P ビットのデータである. そして, このコードの各ビットを周回的に走査して, 一周する間にその値が反転する回数が 1 以下のものをユニフォームパターンと呼ぶ (図 1(a)). LBP コードは,

$$LBP = \begin{cases} \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c) & : \text{if uniform pattern} \\ P+1 & : \text{if otherwise} \end{cases}$$

$$s(x) = \begin{cases} 1 & : \text{if } x \geq 0 \\ 0 & : \text{if } x < 0 \end{cases}$$

で表され, 周回コードがユニフォームパターンの時には 1 の値を有するビットの数を, 反転回数が 2 回以上の周回コードに対しては $P+1$ を LBP コードとする. ここで g_c は中心画素の画素値, g_p は隣接画素の画素値を表す. この LBP コードを画像データの全画素 (外周から R 以下の距離の画素は含まない) に対して計算する. その各コードの出現回数を全画素数で割った値を, そのコードの出現確率とする. 本手法では, この出現確率を埋め込



(a) ユニフォームパターン (周回コード:(11000001)₂) (b) ユニフォームパターンでない (周回コード:(11001101)₂)

図 1 ユニフォームパターン

み情報に従って操作する. また, P と R の大きさに関しては, 4 章のブロック画像の大きさを考慮して $P = 8$, $R = 8$ に定める.

3 テクスチャ画像の生成法

本埋め込み手法は, Perlin のテクスチャ生成法 [3] を用いる. この手法では, ノイズ関数 N によって生成された周波数の異なる複数の画像の加重和によりテクスチャ画像を生成する. 基本的な Perlin テクスチャの生成式を以下に示す.

$$M(x, y) = \sum_{b=bmin}^{bmax} W_b N(2^b x, 2^b y)$$

ここで W_b は周波数重み, x, y は画像の座標を表す. また, これを三角関数などを用いて加工した物も, Perlin のテクスチャ生成法と呼ばれる. 本論文では, これらの生成法の中で, 印刷と撮影の過程を経たときに LBP の出現確率の誤差が, 最も小さかった以下の式で表される生成法を用いる.

$$T(x, y) = 1 + \sin(k \times M(x, y))$$

そして, 雑音に対する余裕を広く取るために, この式の生成パラメータ k に対する出現確率の変化量が, 最大の部分に情報を埋め込む. LBP コードの中で出現確率の変化量が最大なコードは 4 であるため, このコードの出現確率に情報を埋め込む. k と埋め込む部分の出現確率の関係を図 2 に示す. この出現確率を 4 段階に分け, 1 段目に (00)₂, 2 段目に (01)₂, 3 段目に (10)₂, 4 段目に (11)₂ を割り当てることで, 2 bit の情報を埋め込む. ただし, 4 章で説明する各ブロック画像には, 個体差が

†豊橋技術科学大学, 情報工学系

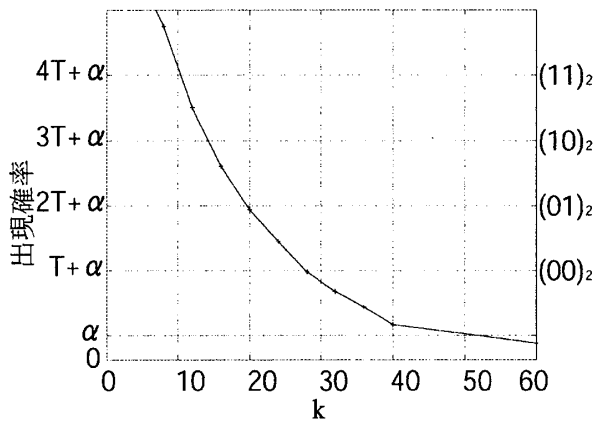


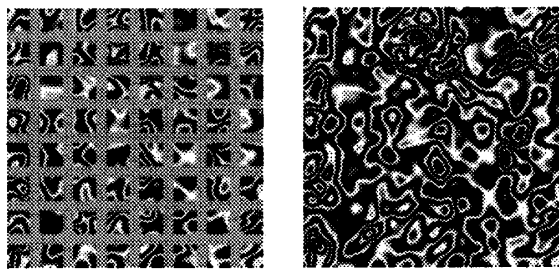
図2 生成パラメータ k と出現確率

あり、出現確率が T となる画像を作ることができないため、 α だけオフセットする。また図2は右肩下がりになるので、目標の出現確率に対応する k の値は、解析的手法を用いて求める。

本論文では、Perlinのテクスチャ生成法を使用した。別のテクスチャ生成法を用いることも可能である。

4 埋め込み画像の生成方法

まず埋め込む情報を2ビットごとに分け、その各2ビットデータに対応するブロック画像を3章の方法で生成し、2次元格子状に図3(a)の様に余白を設けて配置する。そして、ブロック画像間の余白部分の画像を、ブロック画像の生成パラメータを双二次線形補間して生成する(図3(b))。最後に検出用の外枠を付加することで埋め込み画像の生成を完了する。図3は、埋め込み画像の生成例で、縦64×横64画素のブロック画像が、64枚生成されており、16バイトの文字列 (<http://www.val.i>) が埋め込まれている。またブロック画像間の余白幅は、32画素である。



(a) ブロック画像生成

(b) 余白の補間

図3 埋め込み画像生成例 (画像サイズ 736 × 736 画素)

5 検出方法

デジタルカメラで撮影された埋め込み画像は、台形などに歪んでいるため、射影変換を用いて矩形領域の状態に戻す。そして、検出用の枠を除去し、各ブロック画像でLBPの特徴量を求め、変化量が最大の部分を見つける。この部分から各ブロック画像の2ビットの情報を

検出し、配置順に連結することで検出が完了する。

6 検証実験

検証実験として、図3(b)の埋め込み画像を印刷し、カメラ撮影された画像から埋め込み情報を検出した。まず埋め込み画像を、解像度1440×720dpiのインクジェットプリンタ(EPSON PM-800C)でA4用紙(スーパーファイン紙)に縦横それぞれ15.5cmの範囲に印刷した。その印刷物と三脚で固定されたデジタルカメラを距離が約80cmになるように平行に配置して、解像度を変えながら撮影した。また光源には蛍光灯を使用した。

実験結果は、カメラの解像度が高解像度(2272×1704画素)、中解像度(1024×768画素)では、ビット誤りは見られなかったが、低解像度(640×480画素)の解像度では、1ビットの誤りが生じた。中、低解像度では、埋め込み画像より撮影画像の方が、解像度が小さいにも関わらず、精度の高い検出結果が得られた。また、高解像度で撮影した画像のうち焦点の合わない撮影画像では、その割合によって0~17ビットの誤りが生じた。さらに、普通紙でも同様な実験をしたが、スーパーファイン紙の結果とほとんど差は生じなかった。

7 結論

本論文では、テクスチャ画像を生成する際に情報を埋め込む方法を提案した。この手法で生成した埋め込み画像は、印刷や撮影の過程を経ても、焦点が最適で、かつ撮影画像の解像度が埋め込み画像以上であれば、正しい検出結果を得られた。しかし、焦点がずれていたたり、極端に解像度が小さい場合には、誤りが生じる可能性があるため、RS符号[5]などの冗長符号を用いる必要がある。本研究では、WEBアドレスなどを埋め込むことを想定しているが、現時点では、最大でも128ビットしか埋め込めないため、埋め込み可能な情報量を増やせるように改善する必要がある。今後の課題として、情報埋め込み部分の改良、画像サイズの縮小、カラー画像への対応、携帯電話への実装等が挙げられる。

参考文献

- [1] 中村高雄, 小川宏, 富岡淳樹, 高嶋洋一, “電子透かし埋め込み方法及び電子透かし検出方法及び電子透かし埋め込み装置等”, 特開2000-287073, 2000.
- [2] “富士通ジャーナル 2005年6月号 Newテクノロジー(1)”, <http://jp.fujitsu.com/about/journal/281/newtechnology/>
- [3] Ken Perlin, “An Image Synthesizer”, In Proceedings of SIGGRAPH '85, pp.287-296, 1985.
- [4] Topi Maenpaa, Matti Pietikainen, “Texture analysis with local binary patterns.”, In: Chen CH & Wang PSP (eds) Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision 3rd ed, World Scientific, pp197-216, 2005.
- [5] 三谷政昭, “やり直しのための工業数学-情報通信と信号解析-暗号, 誤り訂正符号, 積分変換 TECHI (Vol.7)”, CQ出版, 2001.