

I-074

青色成分変調を用いた雑音体勢を有する情報埋め込み Noise Tolerant Information Hiding with Modulation of Blue Component

大鳥 浩史[†] 栗山 繁[†]
Hirofumi Otori Shigeru Kuriyama

1. はじめに

近年, QRコード[1]等の様に, 印刷物やモニタ等に表示された2次元画像を携帯端末等のカメラで撮影することで情報を取り出すことが可能なビジュアルタグ技術が盛んに研究されている. 本研究では, 自然画像の青色成分を変調することで情報埋め込むビジュアルタグ技術を提案する.

2. 青色成分と視覚

人間の視細胞には明るさを感じ取る桿体細胞と色を判別する錐体細胞がある. この錐体細胞はさらに赤, 緑, 青の波長の光にそれぞれ反応するL, M, S錐体に分類できる. この中でS錐体の数はL, Mと比べて大幅に少ないため, 青色成分に対する視力が低く, 図1に示すように極小領域において青色成分のみが異なる条件下では色を判別することは難しい.

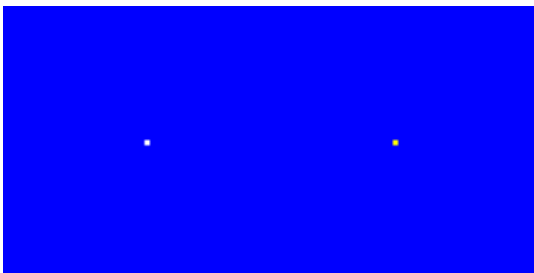


図1 青色成分の錯視(左:白, 右:黄色)

3. 埋め込み方法

提案手法では, 元画像(埋め込み対象)を $M \times N$ の格子状に分割し, その分割された各矩形ブロックにおける青色成分変調の有無に応じて, '1'または'0'の2値情報を埋め込む. 理論上は埋め込み情報量は $M \times N$ bitとなるが, 一般的に検出精度向上のために冗長に埋め込むので, さらに小さくなる.

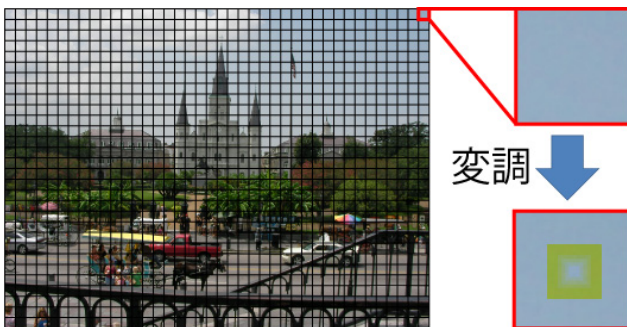
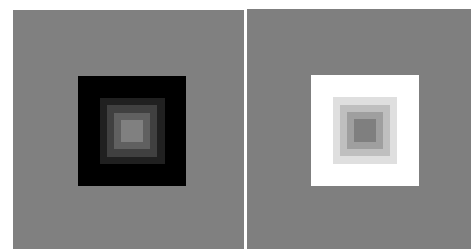


図2 埋め込みの流れ

3.1 青色成分変調

分割された矩形ブロック画像の青色成分に対して図3の変調テンプレートを畳み込むことで変調する. このテンプレートは2種類あるが, 矩形ブロック内の青色成分の画素平均の値が定義域の半分以上の場合には(a)を, 未満の場合には(b)を用いる. ただし, 図は灰色を0, 白を127, 黒を-128とする(8bitで表現した場合).



(a)マイナス変調 (b)プラス変調

図3 変調テンプレート

類似研究として, 青色成分を変調することで情報を埋め込む方法が野田ら[2]によって提案されているが, この手法では2ブロック間における青色成分の差分で情報を埋め込むため, 1bitを埋め込むのに2ブロック必要となる. 提案手法では, 青色成分の勾配を使って情報を埋め込むため, 1ブロックで1bitの情報を埋め込むことが可能である.

3.2 変調極小領域の大きさ

野田らの文献[2]では変調する極小領域の一辺の長さ α が0.8mm以下であれば人の目に分かりにくいと定めているが, この大きさは, 観測点と物体の距離 β に比例するもので, 比で表すのが適切である. 我々は図の画像を用いて, β を少しずつ離していき, 完全に周囲と判別できなくなる距離を計測したところ, α に対して β が約100倍あれば, 判別不可能になった. これは被験者の視力が1.0~2.0の平均的な人間に対する大まかな結果であり, それ以上に関しては, 視力に比例した補正が必要である.

3.3 埋め込み結果

図4に分割ブロック数 40×30 の埋め込み結果を示す. 図は可視化のために四方(上下左右)の隣り合うブロックの埋め込みデータが反転するように埋め込んである. 3.2節の条件を守ることで視覚的に分からなくなるが, 大域的に黄色や青色に色が変化して見える. これは変調部分の色が周囲にじむネオンカラー効果や水彩錯視[3]と同様な現象が生じたためと考えられる.

[†] 豊橋技術科学大学 Toyohashi University of Technology

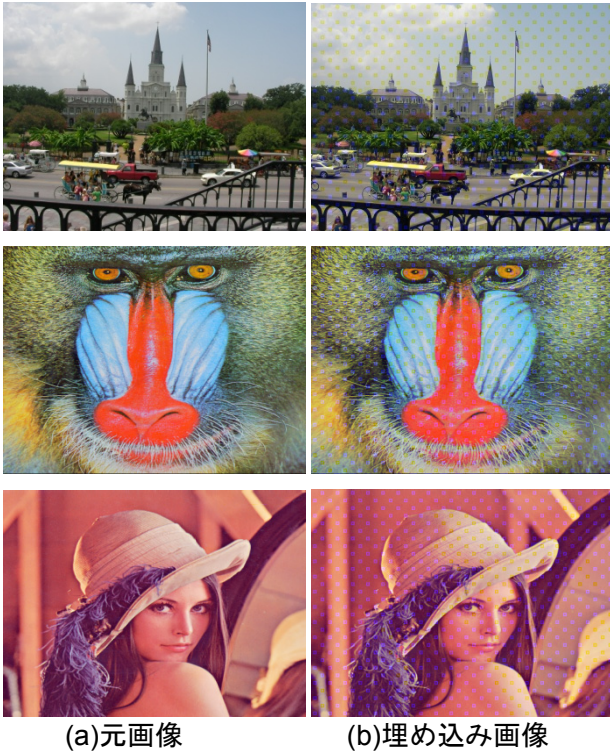


図4 埋め込み結果

4. 判別方法

撮影によって劣化した各ブロック画像から埋め込まれた情報を判別する方法について説明する。まず、各ブロック画像の R,G,B 成分ごとに 3×3 微分フィルタ (ラプラシアン) と次節で説明する青色変調検出フィルタを求め、それぞれの画素平均を求めることで 5 次元の特徴を抽出する。そして、あらかじめ学習用画像から線形判別分析で求めた判別関数を用いて 2 値情報を判別する。

ただし、カメラ画像からの埋め込み領域の検出する前処理については STA[4]を用いる。

4.1 青色変調検出フィルタ

このフィルタは変調された部分のみを検出することを目的としたフィルタである。自然画像のエッジ部分では、赤、緑、青色成分が変化には相関があることが多い。例えば、空と山のエッジ部分では、青色から緑色へ色が変わるが、色成分は青が小さくなり、緑が大きくなり、青と緑成分には負の相関がある。しかし、提案手法の変調では青色成分のみを変調しているため、変調前のブロック画像にエッジがなければ、青成分は他の成分とは独立になることを検出に利用する。座標 \mathbf{p} における青、赤色成分それぞれの微分フィルタ画像の画素値を $B(\mathbf{p})$, $R(\mathbf{p})$ で表すと、このフィルタ出力 $Y(\mathbf{p})$ は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} Y(\mathbf{p}) &= B(\mathbf{p}) \times W(\mathbf{p}) \\ W(\mathbf{p}) &= \exp(-R(\mathbf{p})^2 / 2\sigma^2) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $W(\mathbf{p})$ は減衰関数で $R(\mathbf{p})$ が大きいほど、 $B(\mathbf{p})$ を減衰させる。 σ は減衰を制御するパラメータで経験的に 0.25 を用いた。提案手法では図 3 の変調テンプレートをを用いる

ので、縦と横方向のエッジを区別したほうが検出精度が良かったため、ここで用いる微分フィルタには縦と横のソーベルフィルタを用いた。

ブロック画像内に大量の赤色成分のエッジが存在する場合、このフィルタは変調による青色成分の勾配も減衰してしまう。このような条件下ではこのフィルタだけでは判別できないので、他の特徴量と組み合わせて判別する方法を用いた。

4.2 判別係数の一般化

判別パラメータの一般化のために、4 種類の埋め込み画像、3 種類のカメラ、2 種類の表示媒体 (紙とディスプレイ) の撮影条件の組み合わせの計 28800 (4×3×2×M=40×N=30) 枚のブロック画像を学習用画像として用いた。ただし、表示媒体には 25.3×19cm² の大きさの埋め込み画像を配置し、カメラの解像度は 200 万画素を用いた。この線形判別分析により求めた判別関数を以下に示す。

$$z = a_1 d_R + a_2 d_G + a_3 d_B + a_4 b_h + a_5 b_v - c \quad (2)$$

ここで d_R, d_G, d_B は赤、緑、青色成分それぞれのラプラシアンフィルタの画素平均、 b_h, b_v は横、縦それぞれの青色変調検出フィルタの画素平均を示す。判別係数 a_{1-5} 及び c は表 1 に示す。この判別得点 z が $z \geq 0$ のとき '1', $z < 0$ のとき '0' の埋め込みデータに判別される。この係数を用いて、学習用画像を判別した結果、98.3%の判別率であった。

表 1: 判別係数

a_1	-0.06493356	a_4	0.06303975
a_2	-0.08537561	a_5	0.06664627
a_3	0.11252756	c	2.290407

5. まとめと今後の課題

極小領域の青色成分の勾配に用いて情報を埋め込む方法を提案した。また、青色変調領域のみを検出するフィルタについても提案した。この埋め込み方法の限界としては、変調領域の一辺の大きさに対して、表示媒体から観測点までの距離が 100 倍程度ないと変調部分が完全には隠れないことと、変調部分の色が周囲ににじむ現象により大域的に色が変わることが挙げられる。

今後の課題としては、変調テンプレートの形状や振幅についての検討、類似研究[2]との性能比較、様々な撮影条件での検出実験が挙げられる。また各ブロックの識別率は 98.3%であったため、この数値を参考に冗長符号についても今後検討する。

謝辞

本研究は科研費 (21・6759) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Denso WAVE, "QR コード", <http://www.qrcode.com/>
- [2] 野田嗣男ほか, "印刷型ステガノグラフィ技術", 富士通ジャーナル, Vol.57, No.3, p.320-324(2006)
- [3] B. Pinna, et.al "Surface color from boundaries: a new 'watercolor' illusion", Vision Research, 41, pp.2669-2676. (2001)
- [4] A. Katayama, et.al, "High-speed Frame Detection Method: Side Trace Algorithm (STA) for i-appli on Cellular Phones to Detect Watermarks", Proc. MUM2004, pp. 109-116 (2004)