

JPEG 画像に対する多重化した電子透かしの評価

Evaluation of multiplexed digital watermarking for JPEG image

玉井 悠揮[†]
Yuuki Tamai

川村 正樹[†]
Masaki Kawamura

1. はじめに

デジタル技術の急速な発達に伴い、画像データなどのデジタルコンテンツを容易にコピーできるようになった。そのため、不正コピーを行う利用者によって、著作権が侵害される問題が起きている。この問題の解決策として、情報の著作権情報や、シリアル番号などの副情報を、デジタル情報に秘密裏に埋め込む電子透かしが提案されている [1]。

電子透かしには様々な手法が扱われており、その手法の一つとしてスペクトラム拡散方式がある [2]。スペクトラム拡散方式を利用する電子透かしは、狭帯域な透かし情報を広帯域に拡散するため、拡散符号を秘密鍵として高い秘匿性を実現できる [3]。拡散符号の特徴は、同じ拡散符号の内積の和は系列の長さと同しくなり、異なる拡散符号の内積の和はほぼ 0 になることである。

透かし情報を多重化する手法として、音情報に対して、周波数分割を利用した変形離散コサイン変換を用いた手法がある [4]。また、画像に対しては符号分割である拡散符号を用いた多重化手法がある [5]。しかしながら、多重化数が多いときの影響を調べてはいない。

JPEG の圧縮方式は、最も基本的な方式である基本 DCT 方式とする。JPEG 圧縮の各操作は $N = 8 \times 8$ 画素のブロック単位で行われる。画像情報が損失するのは、量子化の操作を行うときである。本論文では、拡散符号を用いた電子透かしを多重化して埋め込む手法を JPEG 圧縮に適用した場合の攻撃耐性を評価する。また、透かし情報を多重化して埋め込むので、画質への影響を評価する必要がある。

2. 多重化電子透かし

JPEG 画像に対して透かし情報を埋め込む手順と、透かし情報の評価方法について説明する。本論文では、 256×256 のグレイスケール画像を考える。透かし情報の埋め込みは L 個のブロック間で全て同じ操作を行うため、1 個のブロック (8×8 画素) について埋め込む方法を説明する。 K ビットの透かし情報を 1 ブロックに埋め込む。各透かし情報はそれぞれ N 倍に拡散され、 K 重に重ねられてブロックに埋め込まれる。ただし、 $N = 64$ である。

2.1 透かし情報の埋め込み

拡散符号系列は 2 値のランダムな系列とする。また、第 i 番目に割り当てられる拡散符号は、 $\xi_i \in \{1, -1\}^N$ であるとする。すなわち、 ξ_i^μ は ± 1 の値を確率、

$$\Pr[\xi_i^\mu = \pm 1] = \frac{1}{2}, \quad \mu = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

でとる。各拡散符号系列は互いにほぼ直交する性質を持つ。この性質を利用すれば、透かし情報を多重化して埋め込んでも復号できる。

K ビットの透かし情報 $\mathbf{s} = (s_1, s_2, s_3, \dots, s_K)^T$ をそれぞれ長さ N の拡散符号 $\xi_i = (\xi_i^1, \xi_i^2, \dots, \xi_i^N)^T, i = 1, 2, \dots, K$ によって拡散する。これらを K 重に重ねて画素に埋め込むので、 μ 番目の画素に埋め込む情報 y^μ は、

$$y^\mu = \sum_{i=1}^K \xi_i^\mu s_i, \quad \mu = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

となる。元画像 I に埋め込み情報 $\mathbf{y} = (y^1, y^2, \dots, y^N)^T$ を加えた透かし入り JPEG 画像 X は、

$$X = F(I + \mathbf{y}), \quad (3)$$

で与えられる。ただし、関数 F は、JPEG 圧縮による変換を表す非線形関数である。この過程で、透かし情報の一部が失われている可能性がある。

2.2 復号

著作権者は元画像 I を知っている。したがって、透かし入り JPEG 画像 X から埋め込み情報を取り出す際に、元画像 I を引くことができる。非可逆圧縮である JPEG 圧縮を行ったため、圧縮の過程において透かし情報が失われている。ここでは、線形近似ができると仮定し、抽出情報 r^μ が、

$$r^\mu = X^\mu - I^\mu \simeq y^\mu + n^\mu, \quad (4)$$

で表されるとする。 n^μ は圧縮による歪みを表し、埋め込み情報 y^μ と元画像 I に対して独立なノイズと仮定する。 r^μ から i 番目の透かし情報を取り出すには、対応する拡散符号 ξ_i を乗算して、

$$h_i = \frac{1}{N} \sum_{\mu=1}^N \xi_i^\mu r^\mu, \quad (5)$$

で求めることができる。ノイズの影響を受けることを考慮すると、第 i 番目の推定透かし情報 \hat{s}_i は、符号関数 $\text{sgn}(h_i)$ を用いて、

$$\hat{s}_i = \text{sgn}(h_i) = \begin{cases} +1, & h_i \geq 0 \\ -1, & h_i < 0 \end{cases}, \quad (6)$$

と求めることができる。

2.3 性能評価

抽出情報 r^μ と埋め込み情報 y^μ の平均二乗誤差 ρ^2 は、

$$\rho^2 = \frac{1}{N} \sum_{\mu=1}^N (r^\mu - y^\mu)^2 = \frac{1}{N} \sum_{\mu=1}^N (n^\mu)^2, \quad (7)$$

[†]山口大学大学院 理工学研究科

となる。ノイズ n^μ の平均は 0 であると期待できるので、 ρ^2 はノイズ n^μ の分散になっている。透かし情報 s_i と推定透かし情報 \hat{s}_i との誤差はビット誤り率、

$$P_b = \frac{1-M}{2}, \quad M = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K s_i \hat{s}_i, \quad (8)$$

で評価できる。ここで、 $N, K \rightarrow \infty$ かつ、 $K/N \sim O(1)$ のとき、

$$M = \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{N}{2(K+\rho^2)}} \right), \quad (9)$$

で求められる。生画像の場合、 $\rho^2 \approx 0$ に対応する。

3. 計算機シミュレーション

K ビットの透かし情報を同じブロックに重ねて埋め込んでいるので、多重化数 K に対するビット誤り率を調べる必要がある。そこで、計算機シミュレーションを用いて、SIDBA の標準画像に対して透かし情報の検出を行い、本手法を評価する。性能評価の指標として、透かし情報は L 個のブロック間の平均ビット誤り率 $\langle P_b \rangle$ で評価し、画質は $PSNR$ で評価する。ここで、 $PSNR$ は、

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right), \quad (10)$$

で与えられる。 MSE は、元となる JPEG 画像と透かし入り JPEG 画像との平均二乗誤差である [6]。透かし情報のビット数 (多重化数) は $K = 1 \sim 128$ とする。

図 1 は様々な標準画像に対する JPEG 画像と透かし入り JPEG 画像との $PSNR$ である。縦軸を $PSNR$ として、横軸を多重化数 K とする。透かし情報を多重化して埋め込むと、画質は悪くなると考えられる。しかしながら、拡散された透かし情報の一部が量子化で損失するため、多重化しても十分な画質を維持できている。

図 2 は JPEG 画像と生画像に対して、提案手法で透かし情報を埋め込んだときの平均ビット誤り率 $\langle P_b \rangle$ の比較である。縦軸を平均ビット誤り率 $\langle P_b \rangle$ として、横軸を多重化数 K とする。画像には GIRL を用いた。生画像では、多重化数 K が大きくなるに従って平均ビット誤り率 $\langle P_b \rangle$ が大きくなっている。また、理論値 (9) とほぼ一致している。JPEG 画像では、多重化数 K が $K < 5$ の時に平均ビット誤り率 $\langle P_b \rangle$ が最も大きくなっている。これは、埋め込まれた透かし情報が少ないため、量子化の操作によって透かし情報が損失したためであると考えられる。JPEG 画像では多重化数 K が $K = 5 \sim 8$ のときに平均ビット誤り率 $\langle P_b \rangle$ が最も小さくなっている。また、JPEG 画像では理論値 (9) と一致しなかった。これは、(4) でノイズ n^μ が埋め込み情報 y^μ と元画像 I に対して独立であると仮定したが、ブロック単位で圧縮するため、実際は独立ではないからである。

4. むすび

本論文では、JPEG 画像に対して多重化した電子透かしを埋め込み、その性能を透かし情報のビット誤り率と

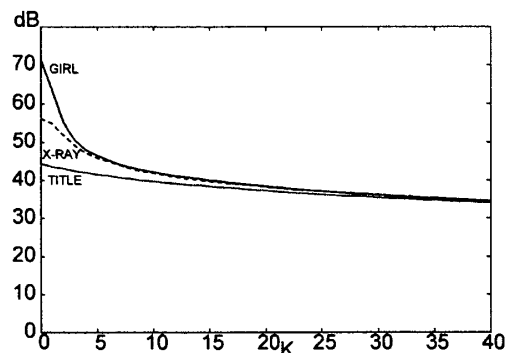


図 1: 様々な画像に対する K 重に透かしを埋め込んだときの $PSNR$ 。

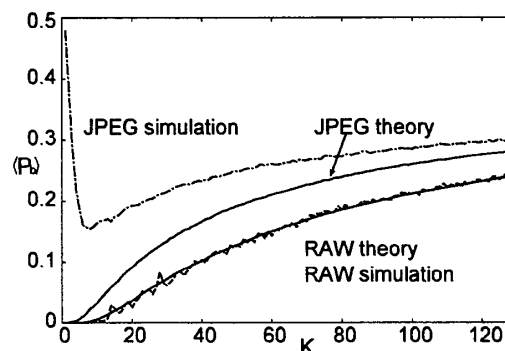


図 2: JPEG 画像と生画像に透かしを入れたときの多重化数 K に対する平均ビット誤り率 $\langle P_b \rangle$ 。

画質で評価した。その結果、性能は多重化数 K によって変化し、多重化しない ($K = 1$) よりも、 $K = 8$ 程度多重化して埋め込む方が有効であることがわかった。

参考文献

- [1] 小松尚久, 田中賢一, “電子透かし技術 デジタルコンテンツのセキュリティ,” 東京電機大学出版局, 2004.
- [2] 松尾憲一, “スペクトラム拡散技術のすべて CDMA から IMT-2000, Bluetooth まで,” 東京電機大学出版局, 2002.
- [3] 大西淳児, 松井甲子雄, “多重解像度解析と PN 系列を利用した電子透かし法,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J80-D-II, No.11, pp.3020-3028, 1997.
- [4] 岩切宗利, 松井甲子雄, “デジタル音楽への変形離散コサイン変換と差分拡散法による電子透かし,” 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.4, pp.1101-1110, 2003.
- [5] 犬飼悠, 棚田嘉博, 松元隆博, “画像への符号分割による多重型電子透かし,” 平成 16 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, pp.271, 2004.
- [6] 松井甲子雄, “電子透かしの基礎,” 森北出版, 1998.