

周波数成分の波形特徴に基づいた画像への副情報埋め込み手法

4M-9

田中 宏征, 中嶋 正臣, 家木 俊温, 中村 仁之輔

株式会社NTTデータ 技術開発本部 マルチメディア技術センタ

1. はじめに

デジタルコンテンツ流通を行う際の著作権管理に有効な技術として電子透かしが注目されている。電子透かしを行うためには、埋め込みたい情報（以後、副情報）を人間が知覚できないようにして人間が知覚している情報（以後、主情報）に紛れ込ませる手法が必要であり、様々な手法が提案されてきた^{1)~3)}。本研究では、離散コサイン変換（DCT）によって振幅値が得られる63種類の交流周波数成分それぞれが画素空間で形成する波形によって主情報の波形に与える変化の違いに着目して副情報埋め込み用周波数成分を選択することで画質変化を抑えた副情報埋め込み手法を提案する。

2. 提案手法

デジタル画像の離散コサイン変換（以後、DCT）は、画像を8×8画素のブロック群に分割して、そのそれぞれに対し式(1)を用いて行われることが多い。また、その逆変換（以後、逆DCT）は式(2)で行われ、結果として周波数空間の状態に応じた8×8画素の画像が得られる。

$$F(u, v) = \frac{1}{4} c(u) c(v) \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 f(i, j) \cdot \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cdot \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} \quad (1)$$

$$f(i, j) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 c(u) c(v) F(u, v) \cdot \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cdot \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} \quad (2)$$

$$\text{ただし、} c(u), c(v) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & u, v = 0 \\ 1 & u, v \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

式(1),(2),(4),(5)において $f(i,j)$ は画素の輝度値、 $F(u,v)$ は各周波数成分の振幅値（DCT 係数）であり、 $c(u), c(v)$ は式(3)で示されるものとする。

式(2)より、副情報埋め込み用として DCT 係数 $F(u_{wm}, v_{wm})$ を選択し、これを ΔF だけ操作した場合の輝度空間内座標 (i, j) における輝度変化は式(4)で表される。

$$\Delta f(u_{wm}, v_{wm}, i, j) = Wf(u_{wm}, v_{wm}, i, j) \cdot \Delta F$$

ただし、 $Wf(u, v, i, j) =$

$$\frac{1}{4} c(u) c(v) \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cdot \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} \quad (4)$$

また式(2)と式(4)より、DCT 係数 $F(u_{wm}, v_{wm})$ を ΔF だけ操作した後の主情報 f' は式(5)のように表せる。

$$f'(u_{wm}, v_{wm}, i, j) = f(i, j) + \Delta f(u_{wm}, v_{wm}, i, j) \quad (5)$$

式(4)と(5)より、 $Wf(u, v, i, j)$ をすべての u, v, i, j の組について求めておくことで、 ΔF を式(5)に与えれば逆DCTを行わずにDCT係数操作後の8×8画素の画像が予測できると考えられる。

輝度空間内で輝度値が作る曲面の座標 (i, j) における状態を次のようにして求めたベクトルで表す。

輝度空間の座標軸を x, y, z とし、 $z=f(i, j)$ とする。着目画素とその近傍8画素の輝度値と x, y 座標値を用いて、着目画素から各近傍画素へ向かう向きでノルム1のベクトル \mathbf{p}_n ($n=1\sim 8$) を求める。

次に、求めた8つのベクトル \mathbf{p}_n を xy 平面で見たとときに向きが正反対になるもの同士で4つの組に分け、それぞれの組でベクトルの和 \mathbf{c}_m ($m=1\sim 4$) とそのノルム $\|\mathbf{c}_m\|$ を求める。この後 \mathbf{c}_m のノルムには、 \mathbf{c}_m の z 成分が負であった場合のみ $\|\mathbf{c}_m\|$ に-1.0 を乗じて符号を変えた $\|\mathbf{c}_m\|'$ を用いる。

そして、 \mathbf{c}_m に式(6)のような操作を行い曲線の状態を表すベクトル $\mathbf{c}_{ext,m}$ を求める。 \mathbf{c}_m は着目画素1つにつき4種類求められているので、それぞれについて $\mathbf{c}_{ext,m}$ を求める。こうして求められた4つの $\mathbf{c}_{ext,m}$ を成分とするベクトル $\mathbf{S}(i, j)$ を本手法では面の状態と呼ぶことにする。

$$\mathbf{c}_{ext,m} = \begin{cases} (\|\mathbf{c}_m\| + 2.0) \cdot \mathbf{c}_m / \|\mathbf{c}_m\| & c_z \geq 0.0 \\ (\|\mathbf{c}_m\| + 2.0) \cdot (-\mathbf{c}_m) / \|\mathbf{c}_m\| & c_z < 0.0 \end{cases} \quad (6)$$

ただし、 c_z は \mathbf{c} のz成分値

\mathbf{c}_m を求める際にそのノルムが0になってしまう場合には、用いたベクトル $\mathbf{p}_a, \mathbf{p}_b$ のどちらかと、垂直なベクトル $\mathbf{p}_{a\perp 1}, \mathbf{p}_{a\perp 2}$ それぞれとの外積で得られた2つのベクトルの和を \mathbf{c}_m として用いる。

式(5)で得た画像から算出した面の状態を $S_{wm}(i,j)$ 、原画像から算出した面の状態を $S(i,j)$ とする。このとき、DCT係数の操作によって画像に生じた歪み $d(u_{wm}, v_{wm})$ を式(7)で定義する。

$$d(u_{wm}, v_{wm}) = \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^6 \|s(i,j) - s_{wm}(u_{wm}, v_{wm}, i, j)\| \quad (7)$$

$\|\mathbf{a}\|$ は、ベクトル \mathbf{a} のノルム。

信号対雑音比 (SNR) や相関係数が着目する点における情報から求めた値の累積であるのに対し、歪み $d(u_{wm}, v_{wm})$ は着目する点を中心とした面の形状から得られる情報から求めた値の累積であることから、SNR や相関係数には現れないような画像の変化を示すことができ、SNR や相関係数に差が現れない場合にこれを指標として加えることで DCT 係数を操作しても画質変化が抑えられる周波数成分の選択が行えると考えられる。

3. 検証実験

3.1 実験方法

DCT 係数を操作する周波数成分による歪み d の変化を確認するために次のような実験を行った。原画像として SIDBA の標準画像"girl"から無作為に選択した 8×8 画素領域内の輝度情報を用い、提案手法によって式(4)における ΔF を20.0とした場合に生じる63種類の周波数成分毎の歪み d を算出した。

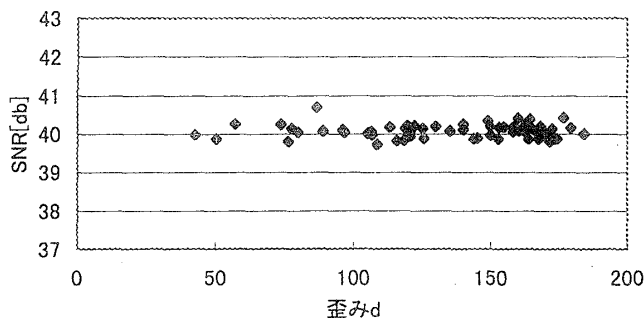


図1 実験結果例 (縦軸: SNR, 横軸: 歪み)

また SNR と相関係数を求め、操作した周波数成分毎の変化を調べた。

3.2 実験結果

図1に歪み d とSNR、図2に歪み d と相関係数を軸に取りプロットした結果の例を示す。

操作した周波数成分の違いによる値の変化は、SNR ではわずかであったが歪み d の値には幅が見られ、SNR では現れない画像の変化が示せたと考えられる。また、相関係数について今回示した例のように値に幅が無い場合でも、歪み d によって画像に生じた変化が示された。

4. おわりに

本研究では離散コサイン変換 (DCT) によって振幅値が得られる63種類の交流周波数成分それぞれが画素空間で形成する波形によって主情報の波形に与える変化の違いに着目して副情報埋め込み用周波数成分を選択することで画質変化を抑えた副情報埋め込み手法を提案した。今後は、本手法にセキュリティ面から考えられる問題点への対策を行い、電子透かし手法への拡張を行う予定である。

参考文献

- 1) 中村康弘, 松井甲子男, “離散的直交変換を用いた濃淡画像とテキストデータの合成符号化法”, 電子情報通信学会論文誌, vol.J72-D II, No.3, pp.363-368, 1996
- 2) 松井甲子男, 大西淳児, 中村康弘, “ウェーブレット変換における画像への署名データの埋込み”, 電子情報通信学会論文誌, vol.J79-D II, No.6, pp.1017-1024, 1996
- 3) 中村高雄, 小川宏, 高嶋洋一, “デジタル画像の著作権保護のための周波数領域における電子透かし方式”, SCIS'97-26A, 1997

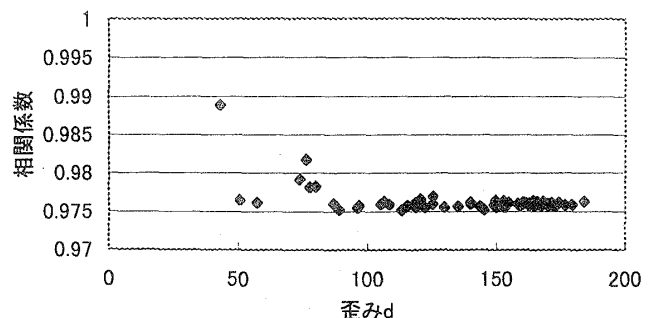


図2 実験結果例 (縦軸: 相関係数, 横軸: 歪み)