

ガボールフィルタを用いた人間の視覚特性に基づく 電子透かしの埋め込み強度の制御

Control of Watermark Strength Based on Human Visual System Using Gabor Filter

金谷 智雄†
Tomoo Kanaya

岩田 基†
Motoi Iwata

荻原 昭夫†
Akio Ogihara

汐崎 陽†
Akira Shiozaki

1. はじめに

画像や動画、音楽などのデジタルコンテンツは場所をとらず、繰り返しの使用による劣化が起こらないため幅広く利用されている。その一方、違法コピーやインターネットでの不正配信による著作権の侵害が深刻な問題になっている。このためデジタルコンテンツの著作権を保護するための技術として電子透かしが注目されている。電子透かしとは、デジタルコンテンツに人間が知覚できないように何らかの情報を埋め込む技術のことであり、埋め込む情報を透かしと呼ぶ [1]。

画像への電子透かしには、画像処理を施されても透かしが破壊されないことや、埋め込みによる画質の劣化を起こさないことが要求される。画質を維持しながら透かしの埋め込む方法の一つとして、人間の視覚心理特性を利用した方法が挙げられる。文献 [2] では、視覚特性を利用した色成分に対する埋め込み手法が提案されている。この手法では、埋め込み強度を制御して、画質の劣化が知覚されにくい画素に透かしの優先的に埋め込むことによって、人間によって知覚される画質の劣化を一定にしていた。

本発表では、文献 [2] の手法とは異なる埋め込み強度の制御法を提案する。文献 [2] の手法では、画像中のある点と、その周囲 4 近傍点の乱雑さを求めることにより埋め込み強度を制御していたのに対し、提案手法では、人間により、まとまって知覚される領域を分割し、特徴の異なる領域ごとに埋め込み強度を変更する。これにより、より人間の視覚特性に基づいた埋め込みが可能となる。本手法において、画像の領域分割にはガボールフィルタ [3] を用いる。ガボールフィルタとは特定の幅や方向のエッジを検出するフィルタであり、人間の脳視覚野で最初に行われる視覚情報処理に近い働きをする。ガボールフィルタに基づいて得られた領域ごとに、埋め込み強度を変更することにより、劣化が知覚されないように透かしの埋め込むため、画質の劣化を抑えることができる。

2. ガボールフィルタ

ガボールフィルタは実部と虚部を持ち、二次元ガウス平面にそれぞれ余弦波、正弦波を積算した形状である。フィルタの特性を表すパラメータとしてガウス関数の標準偏差 σ 、方向 θ 、周波数 f がある。ガボールフィルタを用いたフィルタ処理では、用いたフィルタの特性に類似する画像領域における応答の絶対値が大きくなる。

3. ガボールフィルタを用いた領域分割法

本章では、ガボールフィルタを用いた領域分割法を示す。領域分割には YCbCr 表色系の Y 成分を用いる。

Step. 1 幅 W 、高さ H の画像を YCbCr 表色系に変換し、位置 (x, y) における Y 成分を $Y(x, y)$ とする。

Step. 2 σ, f を定め、実部、虚部それぞれ 4 枚ずつのガボールフィルタを作成する。実部、虚部をそれぞれ $Rh_k(i, j), Jh_k(i, j)$ ($0 \leq k < 3$) とする。また、フィルタのサイズは $N \times N$ 画素とし、 $-(N-1)/2 \leq i \leq (N-1)/2, -(N-1)/2 \leq j \leq (N-1)/2$ である。

Step. 3 以下の式に従い、 $Rh_k(i, j)$ を用いたときの応答 $R_k(x, y)$ 、 $Jh_k(i, j)$ を用いたときの応答 $J_k(x, y)$ を求める。

$$R_k(x, y) = \sum_{i=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \sum_{j=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} Y(x-i, y-j) Rh_k(i, j) \quad (1)$$

$$J_k(x, y) = \sum_{i=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \sum_{j=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} Y(x-i, y-j) Jh_k(i, j) \quad (2)$$

Step. 4 $R_k(x, y), J_k(x, y)$ の 2 乗和の平方根をとり、さらに自然対数をとったものを、応答の総合値 $U(x, y)$ とする。

Step. 5 $U(x, y)$ の値を 0~255 に正規化し、その値を $U'(x, y)$ とする。その後、閾値 T を用い、 $U'(x, y) \geq T$ を満たす点の画素値を 255、それ以外の点の画素値を 0 とした 2 値画像 (以下、特徴画像) を作成する。特徴画像中では、 $U'(x, y) = 255$ のとき白画素、 $U'(x, y) = 0$ のとき黒画素になる。

以上の処理により、原画像中で周囲との輝度差が大きく、画素値が周期的に変動している位置に対応するような画素が特徴画像中の白画素となる。

4. 埋め込み法

本発表では、ガボールフィルタを用いた領域分割の結果に基づいて透かしの埋め込むことによって、透かし入り画像の画質が向上することを示す。そのため、透かしの埋め込みには、埋め込み強度を局所領域ごとに適応的に変化させることができる埋め込み法を用いる。

† 大阪府立大学大学院工学研究科

本発表における埋め込み法では、原画像のY成分に対して2階ウェーブレット変換により得られるLL₂成分に透かしを埋め込む。

幅 W 、高さ H の原画像 I に対して、表色系変換、2階ウェーブレット変換を施し、得られたLL₂成分に対して透かしを埋め込む手順を以下に示す。LL₂成分中の位置 (x, y) に埋め込む情報ビットを $w_{xy} \in \{0, 1\}$ と定義する。

Step. 1 原画像 I を YCbCr 表色系に変換する。Y成分に対し、2階ウェーブレット変換を施しLL₂成分を得る。位置 $(x, y) (0 \leq x < W/4, 0 \leq y < H/4)$ におけるLL₂成分を $LL(x, y)$ とする。

Step. 2 特徴画像を 4×4 画素のブロックに分割し、水平方向に x 番目、垂直方向に y 番目のブロックを B_{xy} とする。 B_{xy} 中で、画素値が255である画素の数 $n(x, y)$ を求め、式(3)に従い、特徴画像をLL₂成分と同サイズに縮小する。ここで、縮小後の画像の画素値を $V(x, y)$ とする。

$$V(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } n(x, y) \geq 8 \\ 0 & \text{if } n(x, y) < 8 \end{cases} \quad (3)$$

Step. 3 以下の式に従い、 $LL(x, y)$ を量子化値 $Q(x, y)$ で量子化し、量子化後のLL₂成分 $LL^Q(x, y)$ を得る。

$$LL^Q(x, y) = \lceil LL(x, y) / Q(x, y) \rceil \quad (4)$$

ここで、 $\lceil x \rceil$ は x を越えない最大の整数を表す。また、

$$Q(x, y) = \begin{cases} Q_{255} & \text{if } V(x, y) = 255 \\ Q_0 & \text{if } V(x, y) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

とする。 Q_{255}, Q_0 は任意の正の整数とする。

Step. 4 $LL(x, y)$ に対して情報ビット w_{xy} を埋め込む。式(6)、式(7)に従い、 $w_{xy} = 0$ のとき $LL^Q(x, y)$ が偶数、 $w_{xy} = 1$ のとき $LL^Q(x, y)$ が奇数になるように $LL(x, y)$ の値を変更する。

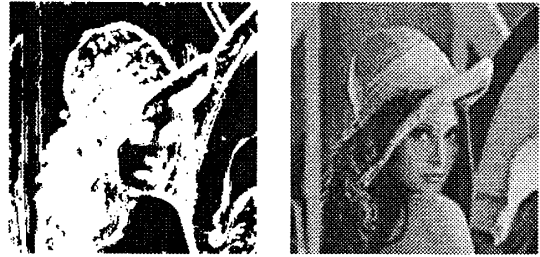
$$\bullet LL^Q(x, y) \bmod 2 = w_{xy}$$

$$LL'(x, y) = (LL^Q(x, y) + \frac{1}{2})Q(x, y) \quad (6)$$

$$\bullet LL^Q(x, y) \bmod 2 \neq w_{xy}$$

$$LL'(x, y) = \begin{cases} (LL^Q(x, y) + \frac{3}{2})Q(x, y) & \text{if } LL(x, y) > (LL^Q(x, y) + \frac{1}{2})Q(x, y) \\ (LL^Q(x, y) - \frac{1}{2})Q(x, y) & \text{if } LL(x, y) \leq (LL^Q(x, y) + \frac{1}{2})Q(x, y) \end{cases} \quad (7)$$

Step. 5 LL₂成分を $LL'(x, y)$ として逆ウェーブレット変換を施し、YCbCr表色系からRGB表色系に変換して、透かし入り画像 I' を得る。



(a) 特徴画像 (b) 透かし入り画像

図1 特徴画像と透かし入り画像

5. 実験と考察

RGB各256階調(256×256画素)の12枚の画像を、ガボールフィルタを用いて領域分割した。用いたパラメータはそれぞれ $\sigma = 2.0$, $f = 0.33333$, $N = 9$ とした。閾値 T は予備実験により、各画像で適切であると思われる値を用いた。2値の情報ビット w_{xy} は $C'(x, y)$ の偶奇が反転するものを用いた。各画像に対し、量子化値 $(Q_{255}, Q_0) = (4, 8), (8, 4)$ とした2つの透かし入り画像を作成した。画質の客観的評価にはPSNRを用いた。この2つの画像を比較した場合、ほとんどの画像において $(Q_{255}, Q_0) = (8, 4)$ の方が見た目の劣化が小さく、そうでない画像も、画質の違いは感じられなかった。特徴画像中では、周囲との輝度差が大きかったり、周囲の画素値が周期的に変化している領域が白画素となる。このため、そのような領域に透かしを強く埋め込んだ $(Q_{255}, Q_0) = (8, 4)$ のときの方が、画質の劣化が目立ちにくいのだと考えられる。

次に、各画像で $Q = 5, 6, 7$ と定数を用いた3枚の透かし入り画像から、 $(Q_{255}, Q_0) = (8, 4)$ のときのPSNRと最も近い値になっている画像を選び、 $(Q_{255}, Q_0) = (8, 4)$ のときとの画質の劣化を比較した。その結果、特徴画像中において白画素が極端に多い画像では画質の違いは感じられず、それ以外の画像では $(Q_{255}, Q_0) = (8, 4)$ のときの方が画質の劣化が抑えられていた。これは、 $(Q_{255}, Q_0) = (8, 4)$ のときの方が、画質の劣化が目立ちやすい画素に、透かしを弱く埋め込んでいるからである。以上の結果より、領域ごとに量子化値 $Q(x, y)$ を変更することにより、画質の劣化を軽減することができた。

6. おわりに

本発表では、ガボールフィルタを用いて画像を領域分割し、特徴の異なる領域ごとに埋め込み強度を変更することにより透かしを埋め込んだ。その結果、いくつかの画像で見た目の劣化を抑えることができた。今後の課題として、他の表色系への提案手法の適用、提案手法を用いた埋め込み法の検討が挙げられる。

参考文献

- [1] 松井甲子雄, “電子透かしの基礎,” 森北出版, 1998.
- [2] H. Yoshiura, I. Echizen, “Maintaining Picture Quality and Improving Robustness of Color Watermarking by Using Human Vision Models,” IEICE Trans. Inf. & Syst., vol. E89-D, no. 1, pp. 256–270 2006.
- [3] C. Sagiv, N. A. Sochen and Y. Y. Zeevi, “Integrated Active Contours for Texture Segmentation,” IEEE Trans. Image Process., vol. 15, no. 6, pp. 1633–1646, 2006.