座標変換に基づく情報ハイディング手法

新井 康平[○](佐賀大学), 瀬戸 要 (株式会社サインズ)

Information hiding method based on coordinate transformation

Kohei Arai, and Kaname Seto

ABSTRACT

A method for image hiding based on Multi-Resolution Analysis(MRA) with image coordinate transformation as a preprocessing is proposed. The method allows hide key images in the most efficient manner in terms of invisibility of the key images as well as information content point of view. Such efficiency is shown with the experimental images.

Keywords: Multi-Resolution Analysis, Multi-band imagery data, Coordinate transformation

1 まえがき

情報ハイディングは透かし技術やステガノグラフィ技術の総称であり、外に表れた情報は原データ（原画像）と呼ばれ、外には表れない情報は秘密データと呼ばれる。情報ハイディング手法^{1),2),3)}は、

- 原画像の実空間上において秘密データを埋め込む手法⁴⁾
- 原画像の周波数空間上において秘密データを埋め込む手法^{5),6)}

に大別できる。埋め込み後の流通用画像に対して圧縮等の処理を施されても原画像の比較的影響を受けにくい特定の周波数帯に秘密データを埋め込むことが可能であるという観点から、前者に比べ後者は秘密データの情報を隠蔽する能力がある。前者は、原画像のエッジ部分等を操作して秘密データを埋め込む工夫が必要となる⁴⁾。後者は、秘密データを埋め込むべき原画像の周波数帯の決定が必要となる^{5),6)}。また、RGB・カラーの原画像を用いた情報ハイディング手法も提案されている^{7),8)}。原画像の情報量の観点から、カラー原画像を用いた情報ハイディングは、非カラー原画像を用いた情報ハイディングに比べ秘密データの情報を隠蔽する能力がある。カラーの原画像を用いた情報ハイディングは、原画像のある成分に対して秘密データを埋め込む手法が用いられる。例えば、原画像のG成分に秘密データを埋め込む手法が採用される³⁾。したがって、原画像のG成分に秘密データを埋め込む場合、原画像のR成分およびB成分の情報は使用しないことになる。

本論文では、原画像である多バンド画像のいずれかのバンド画像に秘密データを埋め込む手法の欠点を克服する目的のため、主成分変換および座標変換を伴う多重解像度解析に基づく多バンド画像を用いた情報ハイディングを提案し、その提案手法の有効性を確認したので報告する。

2 直交座標表現と斜交座標表現

2次元空間における、直交座標表現と斜交座標表現とは

$$\begin{cases} W = X + Y \cos(\theta) \\ Z = Y \sin(\theta) \end{cases} \quad (1)$$

という関係がある。

3 提案手法

2次元信号に対してウェーブレット分解を行なうと4成分[1低周波成分(LL1成分)と3高周波成分(LH1成分・HL1成分・HH1成分)]が生成される。また、LL1成分に対してウェーブレット分解を行なうと4成分(LL2成分・LH2成分・HL2成分・HH2成分)がさらに生成される。双直交ウェーブレットを採用し、かつ、ウェーブレット分解後の4成分が存在すれば、誤差零で与えられた2次元信号は復元される。直交ウェーブレットは、双直交ウェーブレットの1種である。すなわち、双直交ウェーブレット変換は逆変換可能である。

多重解像度解析に基づく情報ハイディング手法の概要を示す。情報ハイディングは、

1. 多バンド原画像のいずれかのバンド画像に対してウェーブレット分解を行う
2. ウェーブレット分解後の高周波成分に秘密データを挿入する
3. ウェーブレット再構成により流通用画像を生成する

の手順で行われる。秘密データをHL1成分やHH1成分やHH2成分等に挿入することも可能である。秘密データを挿入する成分が変更可能であるということは、多重解像度解析に基づく情報ハイディングが秘密データの情報を保護する能力があるということである。

ここで問題となるのが、情報ハイディングの手順1の「多バンド原画像のいずれかのバンド画像に対して」という点である。提案手法は、多バンド原画像のエネルギー集中を実現する前処理として主成分変換が用いられ、秘密データを第1主成分画像にハイディングする。主成分変換は直交変換の1種であり、逆変換可能である。また、提案手法は、3バンドの原画像ではない場合にも適用可能である。換言すると、提案手法はハイディングによる画質劣化を抑えることを目的として、多バンド原画像に対して主成分変換を行い、その第1主成分画像に秘密データをハイディングする。その際、斜交座標変換を行う。さらに、秘密データの復号法を説明する。秘密データがハイディングされる前の多バンド原画像に主成分変換を行った際の係数を用いて、流通用画像に対して第1主成分画像を構成し、その第1主成分画像に対してウェーブレット分解を行うことにより実現される。提案手法による秘密データの復号は、鍵画像情報をハイディングする前の多バンド原画像に主成分変換を行った際の係数を知っている場合のみ復号可能である。すなわち、秘密データをハイディングする前の多バンド原画像により、主成分変換の係数は異なる。HSI 変換等の係数は、周知のものである。変換係数が周知である場合、第3者が秘密データの情報を入手する可能性がある。

4 数値実験

4.1 使用データ

本論文での使用データは、図1を原データ(多重分光画像)とし、図2を秘密データとする。すなわち、図2のデータを図1のデータにハイディングすることを行う。図3～図5は、図1の各波長帯域のデータである。図5より、図1のB成分は全て零であることがわかる。図6は、図1のR成分とG成分の散布を示す。図7は、図6に対して主成分変換を行った結果である。図7の縦軸は第1主成分軸であり、図7の横軸は第2主成分軸である。

4.2 実験方法

図8は、図7の散布をパラメータ θ により斜交座標変換を施した結果例である。図9は、図8(b)に秘密データをハイディングを行った結果である。すなわち、第3者は図9から秘密データを推定することになる。本実験の目的は、パラメータ θ により秘密データの保護が向上することを示すことである。したがって、図9の第1主成分画像からウェーブレット変換を用いて秘密データを推定することを試みる。なお、第3者は、原データの情報を知らないものとし、ウェーブレット基底および秘密データを埋め込んだ成分(例えば、HH1成分)の情報をなんらかの方法で知り得たものとする。すなわち、当事者が保有する固有ベクトル等の情報とパラメータ θ を第3者は未知とする。

図 1: RGB カラー原データ

図 2: 秘密データ

図 3: RGB カラー原データの R 成分

図 4: RGB カラー原データの G 成分

図 5: RGB カラー原データの B 成分

図 6: RGB カラー原データの R 成分と G 成分の散布

図 7: RGB カラー原データの R 成分と G 成分の散布の主成分変換の結果

図 6 の散布から図 7 の散布に変換を行うための平均ベクトルは、

$$(137.7724 \quad 129.2966) \quad (2)$$

であり、変換係数は

$$\begin{pmatrix} \xi_1^T \\ \xi_2^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8353 & 0.5496 \\ -0.5496 & 0.8353 \end{pmatrix} \quad (3)$$

である。ただし、 ξ_1 は第 1 固有ベクトルであり、 ξ_2 は第 2 固有ベクトルである。図 6 の散布から図 7 の散布に変換を行うための情報は、当事者のみが知り得るものである。

図 8: 斜交座標変換後の散布の例 ($\theta = 90^\circ, 110^\circ$)

図 9: 流通用データの例 ($\theta = 110^\circ$)

図 10: RGB カラー原データ

4.3 実験結果

パラメータ θ を変化させて秘密データを埋め込んだそれぞれの流通用データに対して、第3者が秘密データを流通用データから推定することを試みた場合の RMS 誤差を図 11 に示す。

図 11: パラメータ θ に対する RMS 誤差

5 考察

図 11 より、第3者が秘密データを流通用データから推定することを試みた場合の RMS 誤差はパラメータ θ に依存することがわかる。すなわち、パラメータ θ により秘密データの保護が向上することがわかる。また、原データの情報を保護することにより、秘密データの保護が可能となることがわかる。

6 あとがき

本論文では、多重分光画像を用いた情報ハイディング手法について検討した。すなわち、第3者が流通用データのみから秘密データを抽出することを試みた場合の検討を行った。本提案手法は、原データとなる多重分光画像の特性を知る当事者のみが秘密データを復元できるものである。すなわち、原データの情報を保護する必要がある。さらに、提案手法においては、固有ベクトルの存在および斜交座標変換により、秘密データの情報を保護する。すなわち、少なくとも真の原画像の情報を知らなければ、秘密情報を復元できない。主成分変換の係数は、原データ毎に異なり、原データの固有ベクトルにより構成される。3 バンド・カラー画像においては、HSI 変換等を伴う手法も考えられるが、HSI 変換等の変換係数は周知の係数である。秘密情報の保護の観点から、提案手法の有効性を確認した。本論文では、ウェーブレットとして Daubechies 基底を採用したが、双直交ウェーブレットであれば秘密情報を復元できる。双直交ウェーブレットとして何を採用するかを隠蔽することによっても秘密データを保護することができると考える。

参考文献

- [1] 松井甲子雄：“電子透かしの基礎”，森北出版，(2000)。
- [2] 川合淳郎：“透かし —本物の証・紙のすき入れ（透かし）—”，画像電子学会誌，Vol. 31, No. 2, (2002)，pp.253-260。
- [3] 河口英二・野田秀樹・新見道治：“ディジタル・ステガノグラフィ技術について”，画像電子学会誌，Vol. 31, No. 3, (2002)，pp.414-420。
- [4] 岡本晃宏・宮崎明雄：“モルフォロジカル信号処理を利用した電子透かし方式”，電子情報通信学会論文誌 A，Vol. J84-A, No. 8, (2001)，pp.1037-1044。
- [5] I. J. Cox, J. Killian, T. Leighton, and T. Shamoon：“Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia”，IEEE Trans. Image Process., Vol. 6, No. 12, (1997)，pp.1673-1687。
- [6] 井上尚・宮崎明雄・島津幹夫・桂卓史：“ウェーブレット変換を用いた画像信号に関する電子透かし方式”，映像情報メディア学会誌，Vol. 52, No. 12, (1998)，pp.1832-1839。
- [7] R. Ouellette, H. Noda, M. Niimi, and E. Kawaguchi：“Topological Ordered Color Table for BPCS Steganography Using Indexed Color Images”，IPSJ Journal, Vol. 42, No. 1, (2001)，pp.110-113。
- [8] 瀬戸英俊・森多雄司・姜錫・青木由直：“画像圧縮におけるフレネル変換を用いたカラー画像電子透かし法”，信学技報，(2000)，pp.43-48。
- [9] 新井 康平・瀬戸 要：“固有値展開による情報の偏りを利用した多重解像度解析に基づくデータ・ハイディング”，可視化情報学会。
- [10] 新井 康平・瀬戸 要：“ウェーブレット多重解像度解析に基づくデータ・ハイディング”，第 30 回 可視化情報シンポジウム講演論文集，(2002)。
- [11] 新井 康平・瀬戸 要：“スキャン方式を考慮した双直交ウェーブレット多重解像度解析に基づくデータ・ハイディング”，日本リモートセンシング学会 第 35 回 学術講演会論文集，(2003)。
- [12] 新井 康平・瀬戸 要：“主成分分析に基づく情報ハイディング手法”，日本リモートセンシング学会 第 37 回 学術講演会論文集，(2004)。
- [13] 新井康平：ウェーブレット解析の基礎理論，森北出版，(2000)。