

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：31303

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12029

研究課題名(和文) 3次元ヒストグラムを用いたデジタル画像と印刷物向け電子透かしの開発

研究課題名(英文) Development of digital watermark embedding method using three-dimensional histogram for digital images and printed matter

研究代表者

河野 公一 (Koichi, Kawano)

東北工業大学・工学部・准教授

研究者番号：70359553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：デジタル画像に電子透かしとして任意のデータを埋め込めるようにするため、3次元ヒストグラムを用いた電子透かしの埋め込み方法を開発した。また、電子透かしの強度評価を行うため、画質評価に用いられるピーク信号対雑音比(PSNR)と構造的類似性(SSIM)を乗じた劣化評価指数(DEI)を提案した。さらに、3次元ヒストグラムを用いた電子透かしの埋め込み方法を印刷物に応用した。グレースケール画像をウェーブレット変換して得られる4つの周波数成分のうち、高周波数側の3つの周波数成分を用いて3次元ヒストグラムを作成することにより、画像を印刷・スキャンした後に再構成した画像から電子透かしを検出することができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a digital watermark embedding method using three-dimensional histogram. In order to evaluate the strength of digital watermark, we proposed Deterioration Evaluation Index (DEI) multiplied by Peak signal-to-noise ratio (PSNR) and Structural similarity (SSIM). We applied the digital watermark embedding method to printed matter. We detected the digital watermark from an image reconstructed after scanning the printed matter by creating a three-dimensional histogram using three frequency components on the high frequency side among the four frequency components obtained by wavelet transform of the grayscale image.

研究分野：衛星リモートセンシング

キーワード：電子透かし 3次元ヒストグラム デジタル画像 印刷物 ウェーブレット変換 画質評価 特徴空間の可視化 公開鍵暗号方式

1. 研究開始当初の背景

近年、スマートフォンやタブレットの急速な普及やインターネットを通じたサービスの充実によって、音楽や画像といった様々な創作物がデジタル化され、配信されるようになった。デジタルコンテンツは、完全な複製をいくらかでも作成することができるが、一方で、この利便性によってデジタル化された創作物の不正コピーが増加し、著作権侵害が大きな問題となっている。その対策として、現在、デジタルコンテンツに著作権者や配布先などの属性情報を埋め込むことによって著作権保護や不正流出を抑制する電子透かしが不可欠になりつつある。

電子透かしとは、電子文書や画像、音楽などのデジタルコンテンツに、人間が知覚できないような微小な変更を加えることによって、利用者にわからないように情報を埋め込む技術である。デジタルコンテンツそのものに情報が埋め込まれているため、フォーマット変換といったコンテンツの本質が変わらない処理を施されても埋め込んだ情報が残るといった利点がある。電子透かしには、以下の3つの条件が求められる。第1に、電子透かしが埋め込まれたコンテンツの品質をなるべく損なわないことである。コンテンツの品質を損なうことは、その価値を下げることにつながるため、この条件は必須である。第2に、コンテンツの編集や圧縮、フォーマット変換などの各種変換を受けても電子透かしが失われないことである。デジタルコンテンツは加工や編集が容易であり、不正利用される際に様々な処理を加えられることも多いからである。第3に、電子透かしの読み出しは許可された者だけが行えることである。これは、一般に電子透かしの読み出しができれば、それを消去することもできるからである。以上の条件を満たす電子透かしが理想とされている。

デジタル画像に対する従来の電子透かしは、主に画像のカウント値に直接情報を埋め込む方法と周波数変換によって周波数領域に情報を埋め込む方法とに大別される。前者の方法は、カウント値に情報を直接埋め込んでいるため処理が高速であるが、一般に電子透かしが脆弱であるという問題がある。後者の方法は、周波数領域に対して情報を埋め込むため、透かしを埋め込む位置が限定され、埋め込み後の画像にブロックノイズを発生しやすく、画像の品質が劣化してしまう問題がある。埋め込む情報の量と画像の品質には、一般にトレードオフの関係があるが、従来法では不十分であり、なるべく高い品質を保ちながらより多くの情報を埋め込む方法が求められている。

このような背景から、研究代表者らは従来法のいずれにも属さない3次元ヒストグラムを用いた電子透かしの埋め込み方法を提案し、電子透かしの埋め込みが原理的に可能であることを示してきた。

2. 研究の目的

本研究では、3次元ヒストグラム上に自動的に電子透かしを埋め込む方法を開発し、デジタル画像や印刷物に埋め込んだ電子透かしの強度評価を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) デジタル画像から得られる3次元ヒストグラムに電子透かしとして任意のデータを埋め込めるようにするため、特徴空間である3次元ヒストグラム上に、電子透かしの点をユーザが指定する位置と頻度数で埋め込めるようにする。例えば頻度数 n の点を特徴空間上に新たに作成するためには、元のデジタル画像から得られる3次元ヒストグラムの点の中から、頻度数の合計が n となるように1つ以上の点を電子透かしの点の位置に移動する必要がある。移動には様々な方法が考えられるが、一般に特徴空間上での点の移動距離が短い方が画像の劣化が少なくなるため、本研究では電子透かしを構成する際に元の3次元ヒストグラム上の点の移動距離がなるべく短くなるように実装する。また電子透かしの埋め込みツールの他に、特徴空間を可視化するツールや任意のデータを埋め込むツールの開発も行う。

(2) デジタル画像に電子透かしを埋め込み、それを印刷・スキャンして埋め込んだ電子透かしを検出できるようにする。3次元ヒストグラムの3つの軸は任意の特徴量を割り当てることができるため、RGB以外の特徴量も利用できる。デジタル画像を印刷・スキャンすることによって、電子透かしの埋め込みと検出との間にD/A変換とA/D変換が入ることになり、画像が大きく劣化する。印刷・スキャンによる劣化に耐える特徴量を見つけ、埋め込んだ電子透かしの検出を試みる。

4. 研究成果

(1) Java言語を用いて電子透かしの埋め込みアプリケーションを開発した。図1はパンダのカラー画像に対して「工大」の文字を23点からなる図形として埋め込んだ場合の例である。図では電子透かしの各点の頻度数を30に設定してある。



図1 電子透かし埋め込み後の画像

図2は、図1のカラー画像のRGBをそれぞれ3次元ヒストグラムのX,Y,Z軸に割り当てて作成した図である。各点は頻度数を有しており、頻度数ごとに色分けしている。黒枠は埋め込んだ電子透かしの拡大図である。頻度数30で埋め込んだ「工大」の電子透かしが確認できる。

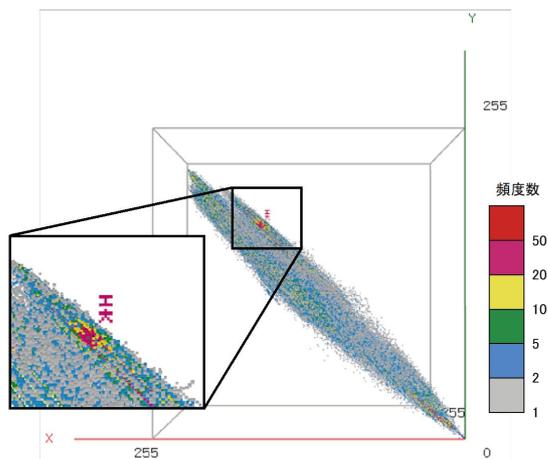


図2 図1の3次元ヒストグラム

本研究では、任意のデジタル画像に対して任意の電子透かしの埋め込みが可能なアプリケーションを開発した(主な発表論文等[11, 13, 18, 21])。電子透かしの各点はそれらの有無あるいは頻度数の違いによって0と1のビットと見なすことができる。本研究では電子透かしとして任意の情報を埋め込めることを確認できた(主な発表論文等[9, 19])。また、電子透かしの埋め込み方法において、画質評価に使用する新しい評価指標の提案を行った。画質評価にはPSNRとSSIMという指標が一般に用いられている。電子透かしの強度に相当する埋め込み頻度数を変化させて画質評価を行ったところ、頻度数が小さい領域ではPSNRの変化が大きく、反対に頻度数が大きい領域ではSSIMの変化が大きくなるため、画質評価の際には埋め込み頻度数に応じてこれらの指標を使い分けが必要であった。そこで本研究では、これら2つの指標を乗じた新たな指標を導入することによって、どの頻度数に対してもこの単一の指標だけで画質評価を行えるようにできた(主な発表論文等[8])。

(2) 開発した電子透かしの埋め込み方法の応用として印刷物への対応を行った。グレースケール画像に対してウェーブレット変換を行い、得られた4つの周波数成分について高周波側の3つの周波数成分の3次元ヒストグラムを作成することにより、画像を印刷・スキャンした後に再構成した画像から電子透かしを検出することができた(主な発表論文等[1])。図3は印刷・スキャン後に再構成した画像から作成した3次元ヒストグラムである。電子透かしとして「T」の形に頻度数20の5点で埋め込んだが、検出された電

子透かしは元の電子透かしのように1点にはならず、図のように特徴空間上の狭い範囲にばらつくことが分かった。電子透かしのばらつきを抑えるため、プリンタやスキャナのカラーマッチングを試みたが、ほとんど改善は見られなかった。このことから色そのもののずれよりも、元の画像の色空間とプリンタやスキャナが扱える色空間の違いの影響の方が大きいと考えられる。研究計画どおり、印刷物から電子透かしを検出することはできたが、検出された電子透かしには特徴空間上でのばらつきが見られ、実用化に向けては課題があることも分かった。今後は電子透かしを埋め込む際にプリンタとスキャナの色空間に共通して表現可能な色の画像領域に限定するなどのさらなる検討が必要であろう。

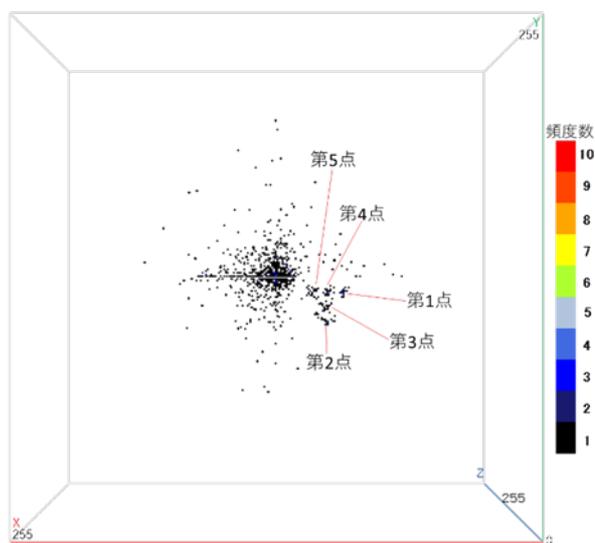


図3 印刷後画像の3次元ヒストグラム

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計 22 件)

- [1] 石山達也, 河野公一, 「印刷耐性を有する電子透かしの埋め込み方法の提案」, 平成30年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS30-3-2-3, pp.73-74, 東北学院大学大学・多賀城キャンパス, February 24, 2018.
- [2] 滝野澤佳史, 河野公一, 「印刷物を対象とした画像の類似度に関する検討」, 平成30年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS30-P-2-8, pp.177-178, 東北学院大学大学・多賀城キャンパス, February 24, 2018.
- [3] 小松哲也, 河野公一, 「3次元ヒストグラム同士の類似度の提案と濃度変換に対する評価」, 平成30年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS30-P-2-9, pp.179-180, 東北学院大学大学・多賀城キャンパス, February 24, 2018.

- [4] 沢水樹, 河野公一, 「電子透かし検出のためのアフィン変換による印刷画像の切り抜き処理の提案」, 平成 30 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS30-P-2-10, pp.181-182, 東北学院大学大学・多賀城キャンパス, February 24, 2018.
- [5] 鈴木亨平, 河野公一, 「印刷物に対するカラーマッチング処理の電子透かしに対する影響評価」, 平成 30 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS30-P-2-12, pp.185-186, 東北学院大学大学・多賀城キャンパス, February 24, 2018.
- [6] 青山皓, 河野公一, 「ウェーブレット変換を用いた電子透かしの線形変換に対する強度評価」, 平成 29 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS29-3-2-5, pp.93-94, 東北学院大学・多賀城キャンパス, March 4, 2017.
- [7] 村上まどか, 河野公一, 「グレースケール画像の印刷物に適した電子透かしの埋め込み方法の検討」, 平成 29 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS29-3-2-6, pp.95-96, 東北学院大学・多賀城キャンパス, March 4, 2017.
- [8] 佐藤駿平, 河野公一, 「PSNR と SSIM を用いた電子透かし向け画質評価指標 DEI の提案」, 平成 29 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS29-P-2-11, pp.171-172, 東北学院大学・多賀城キャンパス, March 4, 2017.
- [9] 鈴木洋介, 河野公一, 「公開鍵暗号方式を用いた 3 次元ヒストグラムによる電子透かしの埋め込み方法の提案」, 平成 29 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS29-3-2-5, pp.173-174, 東北学院大学・多賀城キャンパス, March 4, 2017.
- [10] 鈴木啓太, 河野公一, 「離散コサイン変換を軸とする 3 次元ヒストグラムを用いた電子透かしの画質評価」, 平成 29 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS29-3-2-5, pp.175-176, 東北学院大学・多賀城キャンパス, March 4, 2017.
- [11] 吉田拓人, 河野公一, 「JavaFX による 3 次元ヒストグラムを用いた電子透かし自動埋め込みアプリケーションの開発」, 平成 29 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS29-3-2-5, pp.177-178, 東北学院大学・多賀城キャンパス, March 4, 2017.
- [12] 藤田直昭, 河野公一, 「単色のグレースケール画像に対する印刷及びブスキャン時のノイズ特性評価」, 平成 29 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS29-3-2-5, pp.181-182, 東北学院大学・多賀城キャンパス, March 4, 2017.
- [13] 木下悠, 河野公一, 「Android による 3 次元ヒストグラムへの電子透かし埋め込み機能の実装」, 情報処理学会第 78 回全国大会 講演論文集 (分冊 1), 講演番号 3L-01, pp.591-592, 慶應義塾大学・矢上キャンパス, March 11, 2016.
- [14] 佐藤光, 河野公一, 「3 次元ヒストグラムによる電子透かしのための 3 軸に関する検討」, 情報処理学会第 78 回全国大会 講演論文集 (分冊 1), 講演番号 3L-02, pp.593-594, 慶應義塾大学・矢上キャンパス, March 11, 2016.
- [15] 佐藤勇弥, 河野公一, 「3 次元ヒストグラムによる電子透かし埋め込み方法の提案と画質評価」, 情報処理学会第 78 回全国大会 講演論文集 (分冊 1), 講演番号 3L-03, pp.595-596, 慶應義塾大学・矢上キャンパス, March 11, 2016.
- [16] 武田惇, 河野公一, 「3 次元ヒストグラムに対する任意データの埋め込みと評価」, 情報処理学会第 78 回全国大会 講演論文集 (分冊 1) 講演番号 3L-04, pp.597-598, 慶應義塾大学・矢上キャンパス, March 11, 2016.
- [17] 佐藤勇弥, 河野公一, 「3 次元ヒストグラムを用いた電子透かし移動方法の提案」, 平成 28 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS-14-A12, pp.23-24, 日本大学・工学部, March 1, 2016.
- [18] 木下悠, 河野公一, 「Android 向け電子透かし埋め込み機能の検討」, 平成 28 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS-14-P72, pp.323-324, 日本大学・工学部, March 1, 2016.
- [19] 武田惇, 河野公一, 「3 次元ヒストグラムを用いた電子透かしへの任意データ埋め込みのための基礎検討」, 平成 28 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS-14-P73, pp.325-326, 日本大学・工学部, March 1, 2016.
- [20] 佐藤光, 河野公一, 「離散コサイン変換を用いた電子透かし埋め込みのための 3 次元ヒストグラムの軸に関する検討」, 平成 28 年東北地区若手研究者研究発表会, 講演番号 YS-14-P74, pp.327-328, 日本大学・工学部, March 1, 2016.
- [21] 木下悠, 河野公一, 「電子透かし埋め込みのための Android による 3 次元ヒストグラム可視化機能の実装」, 平成 27 年度第 3 回芸術科学会東北支部研究会, 講演番号 [27-03-02], 東北工業大学・八木山キャンパス, November 28, 2015.
- [22] 佐藤勇弥, 河野公一, 「ウェーブレット変換を用いた 3 次元ヒストグラムによる電子透かし画像の画質評価」, 平成 27 年度第 3 回芸術科学会東北支部研究会, 講演番号 [27-03-03], 東北工業大学・八木山キャンパス, November 28, 2015.

〔その他〕
 ホームページ等
<https://www.sat.rsc.tohtech.ac.jp/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

河野 公一 (KAWANO, Koichi)
東北工業大学・工学部・准教授
研究者番号： 7 0 3 5 9 5 5 3