

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：21602

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26330152

研究課題名（和文）デジタル画像の撮影機器鑑定のための頑健な識別技術の確立

研究課題名（英文）Establishment of Robust Source Camera Identification Technologies for Digital Images

研究代表者

富岡 洋一（Tomioaka, Yoichi）

会津大学・コンピュータ理工学部・准教授

研究者番号：10574072

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では撮像素子の感度の違いから生じるPhoto Response Non-Uniformity (PRNU) Noiseをカメラの指紋として利用することでデジタル画像を撮影した機器を特定することを目的としている。研究期間では、カメラ識別精度の理論的評価手法を確立した。また、カメラ識別精度の向上のため、PRNUノイズ画像の画像特徴点のマッチングを利用した新しいカメラ識別手法、シーンコンテンツを考慮したPRNUノイズ推定手法、問合せ画像の拡大率推定手法を提案した。また、スキャナ識別において、画像枚数、紙面の色や経年変化が識別精度に及ぼす影響を調査し、識別手法の適用範囲を示した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we aim to establish source camera identification to identify a camera which took digital images using Photo Response Non-Uniformity (PRNU) Noise. We proposed a theoretical framework for accuracy evaluation of camera identification. To improve the accuracy of camera identification, we proposed a novel camera identification method based on the matching of image feature points on PRNU noise image, PRNU estimation method considering the effects of scene contents, and scaling factor estimation method for a resized image. Moreover, in scanner identification, we showed the effects of the number and background color of scanned images, and we also showed the effects of aged deterioration.

研究分野：監視映像の自動解析とそのFPGA実装, Image forensics

キーワード：カメラ識別 クラスタPRNUノイズ シーンコンテンツ 拡大率推定

1. 研究開始当初の背景

近年、デジタルカメラやスキャナといった撮影機器を用いた漫画等の著作物の不正コピーとインターネットへのアップロードによる被害が深刻な問題となっている。また、撮影機器が小型、軽量化したことで、盗撮の被害も年々増加している。このような犯罪の抑止力として、Photo Response Non-Uniformity (PRNU) ノイズを手掛かりに撮影カメラを特定する技術が有効と考えられる。PRNU ノイズは撮像素子の感度特性のばらつきにより撮影画像に生じるノイズである(図1)。PRNU ノイズはイメージセンサ毎に固有のパターンとなるため、デジタルカメラの指紋として利用できる。各カメラのPRNU ノイズは、青空等の一様なシーンを撮影した複数毎の画像から抽出したノイズを用いて推定する。この推定したPRNU ノイズと問合せ画像のノイズとの類似度が高ければ問合せ画像がそのカメラで撮影されたと特定できる。しかしながら、既存のカメラ識別手法では、デジタル画像中のPRNU ノイズがテクスチャ等のシーンコンテンツにより汚染され、カメラ特定の精度が低下することが問題となっている。信頼性の高い鑑定を行うためにはこのようなノイズ汚染に頑健なカメラ識別手法の確立が必要不可欠である。また、既存のカメラ識別では冤罪を生じないことを十分に保障できていない。False Acceptance Rate(FAR)は検査カメラで撮影した画像ではないにもかかわらず検査カメラで撮影したと判定してしまう確率である。実用化のためには十分に低いFARを保証しつつ、高い精度で撮影機器を特定することが必要である。

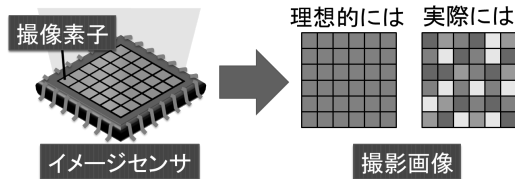


図1 Photo Response Non-Uniformity (PRNU) Noise.

2. 研究の目的

本研究では、デジタル(動)画像を悪用した犯罪の抑止、犯人検挙のために、下記の機能を実現する撮影機器鑑定技術確立することを目的としている。

(1) カメラ、スキャナ、スマートフォンといった様々な撮影機器により撮影された画像・動画画像を対象とし、それらの(動)画像を撮影した機器を特定できる。

(2) 拡大縮小、回転といった画像処理に頑健である。

(3) 冤罪防止のため10億枚に1枚未満しか誤判別しないことを保証する。

3. 研究の方法

(1) 研究代表者らは図2に示すようにPRNU ノイズの強度に基づきクラスタリングしたクラスタPRNU ノイズを用いることで、汚染されたノイズ中からPRNU ノイズを強調できることを示しており、クラスタPRNU ノイズのペアの大小関係を用いて撮影カメラを特定する手法を提案している。しかし、本手法に対する信頼性の高いFARモデルの推定手法が確立されておらず、低いFARの下でのカメラ識別精度を検証されていなかった。本研究では、各クラスタPRNU ノイズ値の確率密度分布がガウス分布で良く近似できることを示し、クラスタペアの大小関係の反転確率の計算手法を提案した。この反転確率を用いることで、実際のFAR曲線とよく一致する信頼性の高いFARの推定手法を実現した。

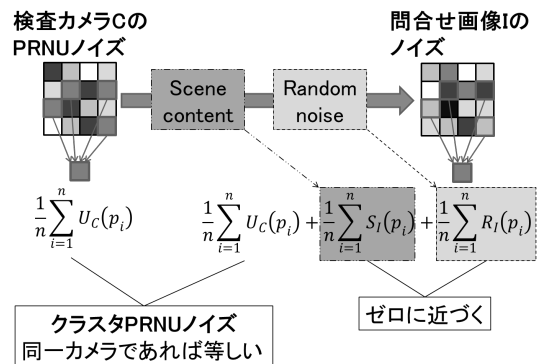


図2 クラスタPRNU ノイズ

(2) 各画素のノイズは輝度値と感度ばらつきの積にランダムノイズを加えた式で良くモデル化できることが知られている。このモデルに基づき、最尤推定を用いて複数毎の画像から感度ばらつきを求める手法が提案されているが、この手法では、画像中のテクスチャ等のシーンコンテンツを考慮していないため、シーンコンテンツを多く含む画像群に対しては感度ばらつきの推定精度が悪化する問題があった。本研究では、既存手法を拡張し、各画素の周辺領域の輝度値の分散によりシーンコンテンツの量を評価し、シーンコンテンツの少ない画像の輝度値を重視して感度ばらつきを推定する手法を提案した。

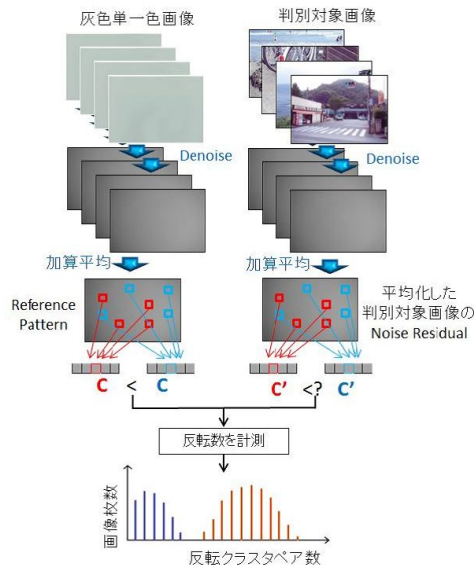


図 3 スキャナ識別手法の概要

(3) 図3のように提案のクラスタペアの大小関係に基づく撮影カメラ識別手法をスキャナに応用し、カメラ識別に用いるスキャン画像の枚数、スキャン原稿の紙の色、経年劣化の影響について調査した。

(4) 拡大縮小された問合せ画像の撮影カメラを特定するためには、カメラの PRNU ノイズと問い合わせ画像から抽出したノイズを正しく比較するために、問合せ画像の拡大率を推定する必要がある。画像を拡大したときには、元画像の標準化周期をその拡大率で引き延ばした周期的補間アーティファクトが観測できることが知られている。研究代表者らはこの周期的補間アーティファクトを利用した拡大率推定とクラスタペアの大小関係に基づくカメラ識別を組み合わせた手法を提案しているが、画像中には様々な周期的な信号が存在するため、その中から周期的補間アーティファクトの周波数を特定することが困難であり、拡大率の推定精度が十分ではない。本研究では、周波数空間において周期的補間アーティファクトの周波数とその倍の周波数、半分の周波数にピークが観測できることを応用した拡大率推定手法を提案した。

(5) 図4のようにクラスタリングした PRNU ノイズの局所特徴量に基づき、特徴点の対応をとることで撮影カメラを推定する手法を提案した。特徴点検出に Features from Accelerated Segment Test (FAST)、分散(局所領域において分散の大きい点)、極値(局所領域において最大最小の点)を用い、特徴量記述に Binary Robust Independent Elementary Features (BRIF)と Histograms of Oriented Gradients (HOG) を用いた。特徴点は 検査カメラの PRNU ノイズ近似上で検

出し、クエリ画像のノイズ上では検査カメラの PRNU ノイズ近似と同一画素位置に特徴点を生成する。マッチングした特徴点の数に基づき撮影カメラかどうかを判定する。

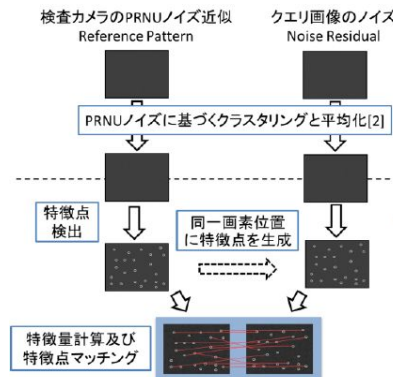


図 4 特徴点に基づく撮影カメラ推定の概要

4. 研究成果

(1) カメラ識別のためのベンチマークデータセットである Dresden Image Database を用いて精度評価を行い、低 FAR 化においても多くのカメラで高精度な識別が行えていることを確認した。図5,6は各手法で推定した FAR 曲線と実際の FAR 曲線との比較である。提案手法は既存の推定手法よりも実際の曲線に近く、また実際よりも厳しい評価を行っている。

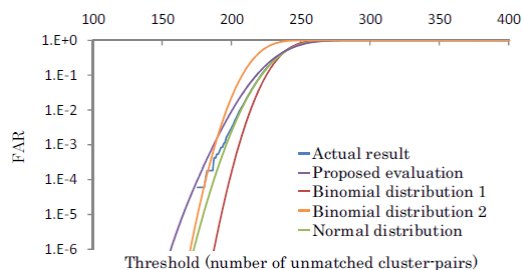


図 5 FujiFilm_FinePixJ50_0 を検査カメラとしたときの FAR 曲線

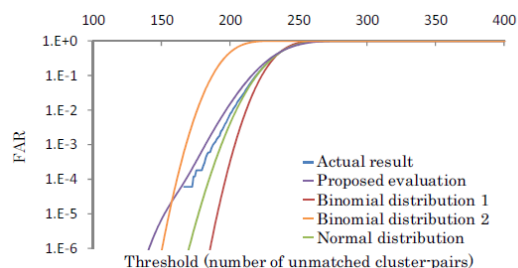


図 6 Nikon_D200_0 を検査カメラとしたときの FAR 曲線

推定した FAR 曲線を用いて精度評価を行い、10 台中 8(5)台の検査カメラで FAR が 10^{-9} 未満において False Rejection Rate (FRR) が 10(5)%以下となっていることを確認した。

(2) 図7 青空を撮影した動画像から推定した感度ばらつきを正解データとしたとき、正解データと別のシーンコンテンツを含む動画から推定した感度ばらつきとの相関係数と推定に使用した画像枚数との関係を表している。シーンコンテンツを考慮した提案の感度ばらつき推定手法は輝度値の分散を求める周辺領域のサイズを 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 と変更して精度評価し、いずれの場合も既存手法よりも高精度に感度ばらつきを推定できていることを確認した。

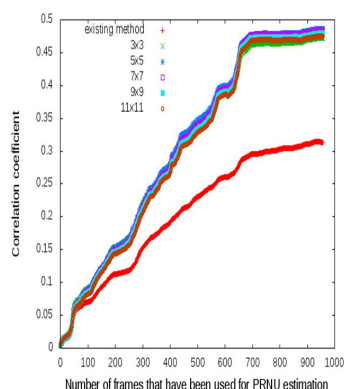


図 7 感度ばらつきの推定精度評価

(3) 提案のスキヤナ識別手法の適用可能な範囲を明らかにした。スキヤナのフィンガープリント作成に利用する画像のスキヤン日と検査画像のスキヤン日が離れるほど識別が困難になっていく傾向があることを確認した。また、スキヤンする原稿の背景色が cream, yellow, light blue のときには、PRNU 推定に 70 枚から 90 枚程度のスキヤン画像を利用することで FRR を 0.5%未満とできたが、これらに対して white や light green は精度が低く識別が困難であることを明らかにした。

(4) フーリエスペクトルの対称性やエイリアシングを考慮して、周期的アーティファクトの周波数、その倍の周波数、半分の周波数に現れるピークの関係性を明らかにした。周期的アーティファクトの周波数とその半分の周波数のみを用いた既存手法に対して、拡大率の候補数を同程度に保つ一方、問合せ画像が拡大されている場合の拡大率推定精度を大幅に改善した。

(5) false acceptance が起きない最大類似度を閾値とし、この時の false rejection の数により評価したところ、FAST と BRIEF の組み合わせが最も精度が高く、クラスタペアの

大小関係を利用したカメラ識別手法よりも高精度な識別が行えることを確認した。ただし、FAR を一定値以下に保証した識別を行うためには本手法のための FAR 精度推定手法を確立する必要がある。

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)

[雑誌論文](計 1 件)

Shota Saito, Yoichi Tomioka, Hitoshi Kitazawa, "A Theoretical Framework for Estimating False Acceptance Rate of PRNU-based Camera Identification", IEEE Trans. on Information Forensics and Security, Vol. 12, Issue 9, pp. 2026-2035, Sep. 2017. (in publish)
DOI: 10.1109/TIFS.2017.2692683

[学会発表](計 4 件)

西東翔太, 富岡洋一, 北澤仁志, "PRNU ノイズ特徴点に基づく撮影カメラ推定", 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 2017 年 1 月

安江敦紀, 富岡洋一, 北澤仁志, "クラスタ PRNU ノイズによるスキヤナ判別の特性について", 映像情報メディア学会大会, 2015 年 8 月

西東翔太, 富岡洋一, 北澤仁志, "PRNU ノイズのクラスタペアを用いた撮影カメラ識別の精度評価手法", 映像情報メディア学会大会, 2015 年 8 月。

安江敦紀, 富岡洋一, 北澤仁志, "クラスタ PRNU ノイズに基づく入力スキヤナの判別手法", 2014 年映像情報メディア学会冬季大会, 2-10, 2014 年 12 月。

[その他]

ホームページ等

http://eslweb.u-aizu.ac.jp/~yтомиoka/research/image_forensics.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

富岡 洋一 (Tomioka Yoichi)

会津大学・コンピュータ理工学部・准教授
研究者番号: 10574072

(2) 研究分担者

北澤 仁志 (Kitazawa Hitoshi)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 60345329