



私の研究

デジタル画像の鑑識官

～安心・安全・便利な
カメラの活用を目指して～

富岡 洋一 (とみおか よういち)

公立大学法人会津大学
コンピュータ工学部門組込みシステム学講座
准教授



1. はじめに

今日ではデジタルカメラが一般家庭に広く普及しており、携帯電話のカメラも含めると毎日カメラを持ち歩いているという方も少なくないかと思えます。カメラは、旅先の思い出やわが子の成長を記録しておくために欠かせないものですね。また、メモの代わりに使用したり、テレビ会議でお互いの顔を確認するのに使用したり、QRコードを読み込んだり、仕事でも遊びでも頼りになる存在です。また、監視カメラのように、皆さんの暮らしを守るために日々活躍しているカメラもあります。このように私たちの生活にすっかり溶け込んでいるカメラですが、残念なことに、世の中にはデジタルカメラが普及したことで生じている問題もあります。

第一に挙げられるのが写真の証拠能力の低下です。従来の銀塩写真では、例えば、その場に存在しなかったはずの人をあたかもその場に存在したかのように加工することは容易なことではありませんでした。一方、デジタルカメラで撮影したデジタル画像はコンピュータと無料のソフトウェアを用いて容易に加工することが可能です。多少のスキルは必要ですが、誰でもデジタル画像を改ざんすることができてしまうのです。その

デジタル画像に写っている内容が真実であることをどのように保証すればよいのでしょうか。

第二の問題は、カメラが悪用されるケースが増えているということです。例えば、カメラやスキャナ、インターネットが広く普及したことで、漫画や雑誌といった著作物の不正コピーが問題となっています。また、カメラが小型化したことで、盗撮といった犯罪に悪用されることも無視できなくなっています。

私たちは、カメラの悪用を許さない安心・安全な社会を目指し、特に撮影者を特定することに焦点を当て、研究に取り組んできました。皆さんの中にはデジタル画像中に Exchangeable image file format (Exif) と呼ばれる情報が付加されていることをご存じの方もいらっしゃるかもしれません。この Exif の中には、撮影日時、カメラの機種、撮影した場所といった情報が含まれています。このような情報はある程度、撮影者を特定する手がかりとなると考えられますが、実はこれらの情報もまた簡単に編集、改ざんすることが可能なのです。

一方、デジタル画像中に含まれるノイズを利用して、そのデジタル画像を撮影したカメラを特定する技術が実現しつつあります。更に、この

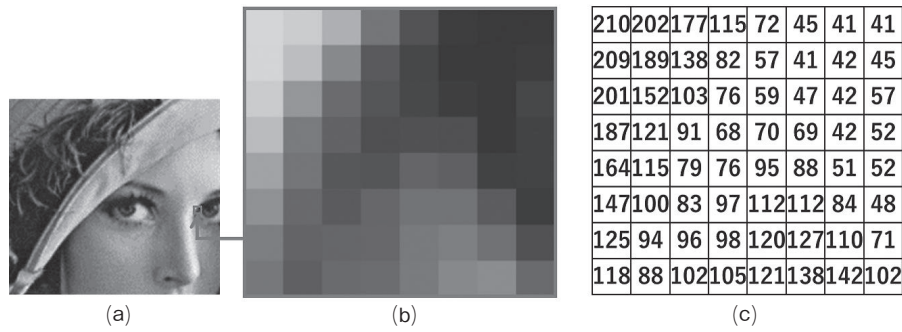


図1 グレイスケール画像の表現

技術を応用することで、画像中の改ざんされた部分を見つけることも出来るのです。本稿では、画像中のノイズを利用したデジタル画像の鑑定技術についてお話します。

2. カメラの指紋となるノイズ

ここでは、話を簡単にするためにグレイスケール画像（モノクロ画像）を例に、カメラの指紋となるノイズについて考えてみましょう。

デジタル画像を拡大すると、画素（ピクセル）と呼ばれる正方形が格子状に並んでいるのが見えます。例えば、図1(a)のデジタル画像の一部を拡大した画像が図1(b)です。各画素には図1(c)に示すように輝度値と呼ばれる0（黒）から255（白）の256段階の数値が割り当てられていて、この輝度値が画素の明るさを表しています。カメラで撮影するときには、これらの画素の輝度値を適切に決めることで、撮影シーンを表現するデジタル画像を作成しているのです。

さて、カメラの中で輝度値の測定に使われるのが、図2に示すようなイメージセンサというものです。イメージセンサでは、ひとつひとつの画素に対応する撮像素子が並んでおり、各撮像素子は

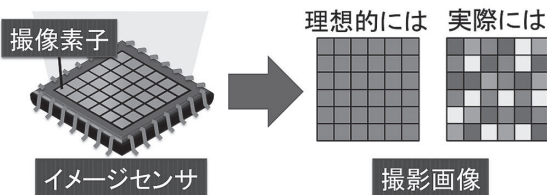


図2 イメージセンサノイズ

入射した光の明るさを測定し、各画素の輝度値を求めています。例えば青空のような様な風景を撮影した場合、全ての撮像素子に同じ明るさの光が入射し、デジタル画像中の全画素が同じ輝度値になることが期待されます。しかし、製造時に完全に同じ性能の撮像素子を並べて作ることは不可能であり、実際にはひとつひとつの撮像素子の感度が異なります。この結果、同じ明るさの光が全ての撮像素子に入射したとしても、画素毎に輝度値が変わってしまうのです。このようにして生じるノイズのことを Photo Response Non-Uniformity (PRNU) ノイズと呼びます。この PRNU ノイズはイメージセンサ毎に異なり、また、同じイメージセンサで撮影したデジタル画像であれば、同じ PRNU ノイズが含まれることになります。このことから、PRNU ノイズはカメラの指紋として利用することができます。

3. PRNU ノイズを利用した撮影カメラの特定

次に PRNU ノイズを利用してどのように撮影カメラを特定するのかを説明します。注意しなければならないことは、デジタル画像中のノイズは PRNU ノイズだけではなく、ランダムノイズと呼ばれるノイズも混入しているということです。我が家の体重計は何度測定しても、無情にも同じ値を表示し続けますが、撮像素子は違います。撮像素子は微細な素子であり、微小な光の量を測定しています。このため、電子や光の振る舞いに起因して、測定の度に結果が微妙に変わってきます。このような値のずれがランダムノイズとして現れ

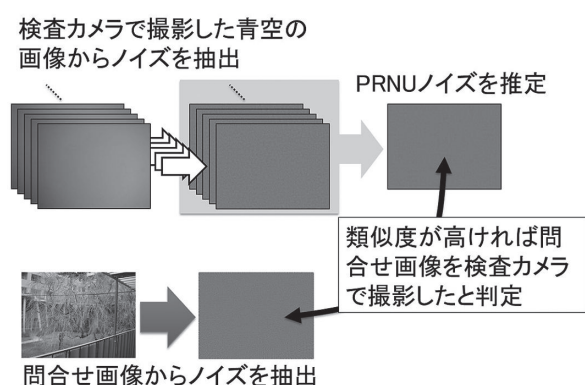


図3 撮影カメラの特定

るのです。PRNUノイズはランダムノイズに比べて10分の1以下の微弱な信号ですので、ランダムノイズの中からその微弱なPRNUノイズを上手に抽出することが、高精度な撮影カメラ特定を実現するために必要となります。

ニューヨーク州立大学ビンガムトン校のJ. Lukášらは、撮影カメラを特定するためのフレームワークを提案しています^[1]。この方法では、図3のように検査カメラのPRNUノイズを、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します。この推定したPRNUノイズと問合せ画像から抽出したノイズとを比較して、そ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するのです。

4. シーンコンテンツの影響に頑健な撮影カメラ特定とその応用

私たちの取り組みについてお話する前に、まず、Lukášらの手法の問題点についてお話します。この手法では、デジタル画像中の人や物の輪郭や模様が影響して、撮影カメラ特定の精度が落ちてしまうという問題があります。図4(a)の画像から抽出したノイズを図4(b)に示します。このようにノイズを抽出するときに壁の輪郭線も併せて抽出してしまうのです。このような、画像中の輪郭情報や模様のことを私たちはシーンコンテンツと呼んでいます。従来方法だと図3の類似度計算において、ノイズの大きさをそのまま利用していま

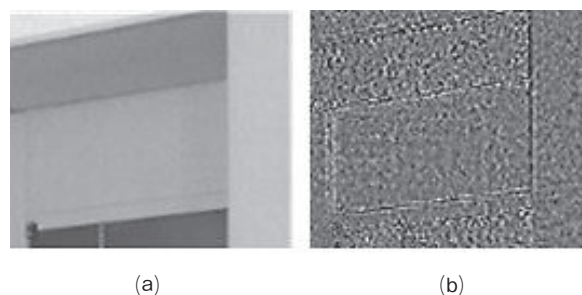


図4 画像から抽出したノイズの例
(a)は入力画像。(b)は(a)から抽出したノイズ

す。このため、シーンコンテンツの影響でその大きさが変化すると、検査カメラで撮影した画像であっても類似度が下がってしまいました。

私たちは、ノイズの大きさをそのまま使用する代わりに、何個かの画素のノイズを平均して得た平均ノイズのペアを作りました。シーンコンテンツの影響でノイズが多少変化しても、そのペアの大小関係が保たれることを利用することで、より正確に類似度を計算できるようにしたのです^[2]。また、この新しい類似度計算手法を用いたときの撮影カメラ特定の精度評価^[3]を行うと共に、写真や漫画を取り込んだスキャナの特定制への応用^[4,5]に取り組んできました。

5. 改ざん検出への応用

カメラで撮影したデジタル画像には必ずそのカメラのPRNUノイズが含まれます。例えば、他の画像の一部を切り出して貼り付けるなどした場合、貼り付けた部分のPRNUノイズが破壊され、ノイズパターンが変わってしまいます。このため、撮影カメラが特定できていれば、そのカメラのPRNUノイズと改ざんが疑われる画像のノイズを比較することで、改ざんされた領域を検出できる可能性があります。

6. 実用化に向けた課題

ここまで、デジタル画像の撮影カメラの特定と改ざん検出についてお話しました。これらの技術は着実に進歩していますが、実用化に向けてはまだ多くの課題があります。

一番大きな問題は精度不足です。実用化のためには、冤罪の発生を十分に防止する必要があります。あるカメラで撮影した画像ではないのにもかかわらず、そのカメラで撮影したと判定してしまう確率を False Acceptance Rate (FAR) といいます。冤罪防止のためには十分に低い FAR を保証しなければなりません。例えば今日実用化に至っている DNA 鑑定の FAR は理論的には4兆分の1未満と考えられています。一方、現在のところ、撮影カメラの特定では10万分の1程度の FAR しか保証できていません。国内の年間カメラ出荷台数が約1億台です。それぞれが10年間使用されると考えても、国内で10億台のカメラが使用されていることとなります。このことから、最低でも10億分の1未満の FAR を達成することを目標に私たちは研究に取り組んでいます。

7. おわりに

本稿では、ノイズを用いた撮影カメラの特定と改ざんの検出についてお話させていただきました。皆様の大切な写真を汚してしまう無駄な情報と考えられているノイズですが、カメラの指紋として活用することでデジタル画像の証拠能力の向上やカメラの悪用の抑止に貢献できる可能性も秘めているのです。普段目にするのは数百万、数千万という大量の画素で表現された綺麗な画像かと思いますが、ぜひこの機会に画像を目一杯拡大して、ひとつひとつの画素のノイズを見てみてください。

最後に、皆さまへ「私の研究」をお伝えする機会をいただき、誠にありがとうございました。今

後も会津大学の学生達と共に会津から世界へ最先端の研究を発信していきたいと思えます。本シリーズは最終回ということですが、またいつか、新しい研究のお話を皆様にお届けできたなら幸いです。(本研究の一部は JSPS 科研費26330152の助成を受けたものです。)

参考文献

- [1] J. Lukáš, J. Fridrich, and M. Goljan, "Determining digital image origin using sensor imperfections," Proc. SPIE, vol. 5685, pp.249-260, Apr. 2005.
- [2] Y. Tomioka, Y. Ito, and H. Kitazawa, "Robust digital camera identification based on pairwise magnitude relations of clustered sensor pattern noise," Information Forensics and Security, IEEE Transactions on, vol. 8, no.12, pp.1986-1995, December 2013.
- [3] 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.
- [4] 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ャナの判別手法", 2014年映像情報メディア学会冬季大会, 2-10, 2014年12月.
- [5] 安江敦紀, 富岡洋一, 北澤仁志, "クラスタ PRNU ノイズによるスキャ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.

<プロフィール>

1981年 埼玉県生まれ。2005年 東京工業大学工学部卒業、2009年 東京工業大学大学院理工学研究科集積システム専攻において博士(工学)を取得。学生時代は、短い時間で品質の良い集積回路を設計するために、コンピュータを用いた集積回路の配線設計の自動化の研究に取り組む。2009年11月より東京農工大学助教、2015年4月より会津大学准教授に就任。安心・安全な社会環境の実現を目指し、カメラやデジタル画像を応用したセキュリティシステムと、集積回路を用いたリアルタイム処理の実現に取り組む。