

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 1日現在

機関番号：82505

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22700116

研究課題名（和文） 撮像素子の個体特徴に基づく動画改ざん検出法の開発

研究課題名（英文） Development of a video tampering detection method based on the individual characteristics of imaging devices

研究代表者

黒沢 健至 (KUROSAWA KENJI)

科学警察研究所・法科学第二部・室長

研究者番号：80356170

研究成果の概要（和文）：動画に施された画像改ざんに対する検出法に関する開発を行った。本研究では、CCD や CMOS などの半導体撮像素子における画素ごとの電気特性のばらつきに起因する個体特徴を利用して、改ざんの有無並びに改ざんの時空間位置の特定を行うことに特色がある。撮影に用いられたカメラが既知で入手可能な場合にはコンテンツ改ざんやシーン挿入を検出できたほか、撮影カメラが未知の場合でもシーン挿入を検知可能な方法を開発した。

研究成果の概要（英文）：A video tampering detection method has been developed. In this study, individual characteristics due to variations in the electrical characteristics of each pixel in a semiconductor imaging device was analyzed for tampering detection. Spatial and temporal position of tampering as well as the presence of tampering could be specified with the method. Image content tampering and scene insertion could be detected with the proposed method under the condition of the recording camera was available. Furthermore, a method which is capable of detecting scene insertion has been developed in the case of unknown camera was used for imaging.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	0	1,600,000
2011年度	900,000	0	900,000
2012年度	500,000	0	500,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	0	3,000,000

研究分野：法工学

科研費の分科・細目：情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：法科学、画像解析、改ざん検出、撮像素子

## 1. 研究開始当初の背景

安全・安心な生活に対する要求の高まりから、公共空間における防犯カメラの設置数が急速に増加している。また、カメラ機能を搭載した携帯電話等が普及していることなどから、司法の場においても、客観的証拠資料として写真などの画像が提出され証拠採用される機会が増している。この背景には、カ

メラで撮影された画像情報は客観的であり、事実を正しく記録していると一般的に考えられているからである。

その一方で、家庭用のパーソナル・コンピュータでも静止画の修正や合成のみならず、動画の編集や改ざんが現実的に可能となっている。また、3次元CGに代表される画像生成技術も高度化しており、写実性の高い

画像が演算により生成される時代となっている。画像や映像が犯罪捜査に正しく活用され、その証拠能力や証明力を維持するためには、画像合成などの改ざんが行われたり CG による生成が行われていた場合に、それを検知する技術が不可欠であると考えられる。こういった技術は、通信回線で伝送される防犯映像が改ざんされていないことを証明したり、児童ポルノ画像を取り締まるための犯罪捜査や証拠捏造の証明への利用が期待される。改ざんの有無の画像鑑定における従来の着眼点は、画像中の被写体から判断される光源方向の不一致や消失点の不一致の検出、合成の境界領域における統計的性質等の不連続性や接合線の検出、画像内における部分複製の検出、画像の意味的不自然さに基づく証明などであった。また、対象は静止画像がほとんどであり、動画像を対象とした研究はあまり多くない。動画像では一般にフレーム数に比例して分析に要する計算量や時間が増大するため人手に頼る分析法では非現実的であり、自動化可能な分析手法が求められる。

一方で、研究代表者らはこれまでに世界に先駆けて、CCD（電荷結合素子）の電気特性のばらつきを利用した撮影ビデオカメラの個体識別法を提案している。これは各画素に流れる暗電流のばらつきに着目したものであり、これに起因する固定パターン雑音が個々の製品で異なることを利用して、撮影カメラを個体レベルで識別するものである。問題となる映像が、特定の個体のビデオカメラで撮影されたのか否かを判別することができる。研究代表者らの研究グループ及び海外の研究グループの後続研究により、この分野の研究が徐々に進展してきている。中でも、素子の光学的感度のばらつきを利用した撮影カメラの識別法が新たに海外の研究者によって提案され、これを画像の改ざん検出に利用する提案もなされている。これらの研究では、利用している撮像素子の画素ごとのばらつきが光学的感度のみであり、主に静止画像を研究対象としている。

暗電流のばらつきに起因する個体特徴を利用して改ざん検出を行うことも期待できるが、これに関する研究はされていないほか、暗電流のばらつきと光学的感度のばらつきを併用した分析法や、静止画ではなく動画像の改ざんに対する検出法の研究はあまり行われていないのが現状であった。

## 2. 研究の目的

半導体撮像素子の電気特性のばらつきに起因する個体特徴を利用した、動画像中の改ざんの新検出法を開発する。撮影カメラが既知の場合だけでなく、未知の場合でも、動画像から抽出される素子の個体特徴パターンの時空間変動を調べることで、改ざんの有無

を判定する。

## 3. 研究の方法

本研究では、以下の内容を行った。(1)と(2)は、動画像から半導体撮像素子の電気特性のばらつきに起因する個体特徴パターンを抽出するための方法に関する検討である。この方法によって得られた個体特徴の変動を調べることで、動画像中の改ざんの検出を行う。改ざん検出法については(3)と(4)で扱う。

(1) 半導体撮像素子の電気特性の画素ごとのばらつきとして、暗電流に起因するパターン (DCNU: Dark Current Non Uniformity) と光電変換効率に起因するパターン (PRNU: Photo Response Non Uniformity) を併用するハイブリッド分析法について検討した。従来研究では DCNU と PRNU は個別に扱われていたが、DCNU は暗い画像において顕著に現れ、PRNU は明るい画像において顕著に現れる。両者を統合した識別法を開発することにより、単一の方法で明画像と暗画像が共に分析できると期待される。

DCNU は加法性ノイズである一方、PRNU は乗法性ノイズであると考えられることから、撮像センサの出力  $\mathbf{Y}(x, y)$  について式 1 のような画像生成モデルを仮定した。

$$\mathbf{Y}(x, y) = \alpha \{ \mathbf{I}(x, y) \cdot (1 + \mathbf{N}_{\text{PRNU}}(x, y)) + \mathbf{N}_{\text{DCNU}}(x, y) + \mathbf{E}(x, y) \} \quad \text{式 1}$$

ここで、 $\mathbf{I}$  は撮像センサへの入射光パターン、 $\mathbf{N}_{\text{PRNU}}$  は PRNU ノイズパターン、 $\mathbf{N}_{\text{DCNU}}$  は DCNU ノイズパターンである。また、 $\mathbf{E}$  はこれら以外のノイズの総体であるが、主にランダム・ノイズ成分となる。 $\alpha$  は、ゲイン・コントロールを表すスカラー係数である。

同一モデルの USB カメラ (BUFFALO, BSW32K02H) 5 台を用いて、カメラへの入射光量を変化させながらブランク映像を撮影し、個々の映像から抽出される固定パターン雑音の類似性を正規化相互相関係数によって評価した。撮像素子における固定パターン雑音の同一個体間及び別個体間の類似性の明るさ依存性について調べ、この結果から DCNU と PRNU を併用するハイブリッド分析法について提案を行った。

(2) 画像中から撮像素子の個体特徴パターンを抽出するための空間フィルタについて、比較検討した。研究代表者がこれまで行っていた研究では、式 2 で示すフレーム積算を行ったのち、式 3 によって高周波成分  $\mathbf{H}$  の抽出を行っていた。

$$\hat{\mathbf{Y}}(x, y) = \sum_{i=1}^n \mathbf{Y}_i(x, y) \quad \text{式 2}$$

$$\mathbf{H}(x, y) = \hat{\mathbf{Y}}(x, y) - F(\hat{\mathbf{Y}}(x, y)) \quad \text{式 3}$$

式 3 の関数  $F$  はノイズ除去フィルタであり、残さ成分  $\mathbf{H}$  に DCNU 又は PRNU に関する情報が多く含まれていると考えられる。関数  $F$  として、従来は **Blur Filter** を使用していた。本研究では、**Bilateral Filter** と **Non-Local Means Filter** を用いて個体特徴パターンを抽出した場合の、従来法との性能の違いを比較した。実験方法は、以下の通りである。まず、評価映像 4 種類（コンテンツ変化の少ない映像 2 種と、コンテンツ変化の大きい映像 2 種）を用意した。次に、評価映像の撮影に用いた USB カメラ C1 と、C1 と同一モデルで別個体のカメラ C2 からそれぞれ固定パターン雑音 ( $N_{\text{PRNU}}$ 、 $N_{\text{DCNU}}$ ) を求めた。カメラ C1 及び C2 からの固定パターン雑音の抽出は、従来と同じく **Blur Filter** を用いた。一方、評価映像から固定パターン雑音を抽出する際の式 3 の  $F$  は前述の 3 種類を用い、カメラ C1 との正規化相互相関係数とカメラ C2 との正規化相互相関係数の差を計算し、どのフィルタがより明瞭に撮影カメラの個体情報を抽出できるか評価した。

(3) 動画像の改ざん検出に対する取り組みとして最初に、撮影カメラが既知で入手可能という仮定において、動画像から抽出される撮像素子の個体特徴パターンの時空間変動を調べることで改ざんの有無を判定できるか基礎実験を行った。この条件では撮影カメラが入手可能であることから、撮影カメラの  $N_{\text{PRNU}}$  と  $N_{\text{DCNU}}$  は実機を用いて測定が可能である。従って、動画像から式 2、3 によって抽出される高周波成分との類似性評価を行うことにより、改ざんの時空間位置を特定できると考えられる。

実験では、改ざんされた動画像として以下の 3 種類を作成した。(a) 撮影カメラと同機種かつ別個体のカメラで撮影された映像シーンに部分的に差し替えが行われた動画、(b) 車両ナンバープレート数字の書き換えが行われた動画、(c) 周囲テクスチャの貼り付けにより特定フレーム中の物体が消去された動画。動画像 (a) は時間軸上での改ざんであり、動画像に特有の改ざんであると言える。実験で使用した動画像は、カメラ C1 で撮影された各シーン 50 フレームの屋内及び屋外の 8 シーンで構成される。このうち 1 シーンのみ同機種別個体のカメラ C2 で撮影した映像に差し換えて作成した。(b) と (c) についてはコンテンツ改ざんであり、従来の静止画改ざんの延長上にあると考えられる。(b) (c) の場合は画像を空間的にブロック分割し、ブロックごとに比較を行うことで改ざんの空間位置を特定する。なお、本実験で使用した動画像は、非圧縮の動画像である。圧縮コーデック

の影響については、(4) で実験した。

(4) 一般的には撮影に用いられたカメラは入手不可能であることから、撮影カメラが未知の場合でもシーン挿入を検知可能な方法について検討した。提案手法は、未知の入力動画像に対してシーン毎の分割を行い、各シーンの平均画像から固定パターン雑音成分を抽出し、シーン相互に類似性を評価することで挿入シーンを検出するものである。まずは、USB カメラで撮影された未圧縮の評価映像に対して実験した。この映像は、(3)(a) の実験で使用した動画像と同じである。提案手法によって撮影カメラが未知の場合でも、挿入されたシーンを特定できるか実験した。

最後に、動画圧縮に対する影響についても実験した。用いたコーデックは、フレーム内圧縮のみを行うコーデックとして DV コーデック、フレーム間圧縮を行うコーデックとして MPEG-2 と H.264 を用いた。評価映像に対して前述の方式でそれぞれ動画圧縮を行い、同様にして挿入シーンの検出を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 実験結果から、DCNU と PRNU は相補的であることが確認された。すなわち、暗画像から抽出される固定パターン雑音と、明画像から抽出される固定パターン雑音は相関が低く独立していた。PRNU だけでは暗画像の分析を行うことは不可能であり、逆に DCNU だけでも明画像の分析はできないという結果であった。この結果に基づき、次式のようなハイブリッド識別法の提案を行った。

$$NCC_{\text{hybrid}} = \max(\text{corr}(\mathbf{R}_{\text{DCNU}}, \mathbf{X}), \text{corr}(\mathbf{R}_{\text{PRNU}}, \mathbf{X}))$$

式 4

ここで、 $\mathbf{R}_{\text{DCNU}}$  及び  $\mathbf{R}_{\text{PRNU}}$  は撮影カメラを用いて式 2、3 によって実験的に得られる暗画像及び明画像から抽出されるカメラのリファレンスパターンである。一方、 $\mathbf{X}$  は調べたい画像から式 2、3 によって抽出された高周波成分画像である。関数  $\text{corr}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$  は、正規化相互相関である。 $NCC_{\text{hybrid}}$  を評価することにより、撮影に用いられたカメラであるか否かを判定できる。このようなハイブリッド分析を行うことで、明るいシーンと暗いシーンが混在するような動画像に対しても、式 4 の単一の方法によって分析が可能となった。

従来研究では PRNU のみを用いて改ざん検出が行われることが多いが、暗いシーンが分析できないという欠点があった。提案手法はシーンの明るさに依存しない分析が行えるという点で新規であり、撮影カメラの個体識別やこれを応用した改ざん検出の分野に新しい分析方法を提案したと言える。

(2) 式3におけるノイズ除去フィルタ  $F$  を変えた場合の実験結果を図1に示す。シーン1、3はコンテンツ変化の大きい映像であり、シーン2、4はコンテンツ変化の少ない映像である。縦軸の値が大きいほど正確にPRNU又はDCNUのパターンを映像から抽出できることを示し、このことは正確な撮影カメラの識別と、これを応用した改ざん検出が行えることも示す。従来のBlurフィルタでは性能低下が大きかったコンテンツ変化の少ない動画に対して、Non-Local Means Filterでは性能が大きく改善することが確認できた。犯罪捜査に関する分析の信頼性の向上が期待でき、極めて有用な結果と言える。

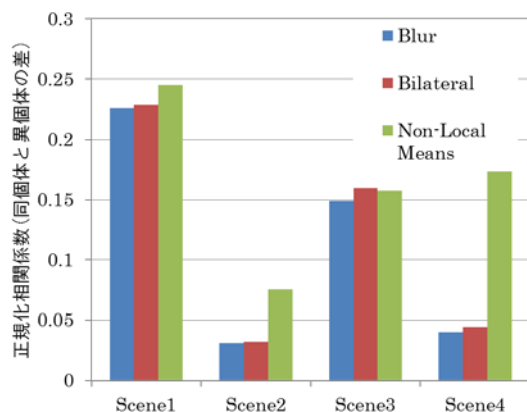


図1 ノイズ除去フィルタの違いによる分析性能の比較

(3) 撮影カメラが既知で入手可能という仮定において、映像から抽出された撮像素子の個体特徴の時間変動並びに空間変動を調べることで、(a)から(c)のいずれの評価動画についても、画像改ざんの検出が行える可能性が示された。一例として、図2に(a)映像シーンの差し替えが行われた動画に対する実験結果を示す。この実験では、(i)から(viii)の計8シーンで構成される動画に対してシーン(vi)の差し替えが行われているが、 $NCC_{\text{hybrid}}$ のプロットの結果から、このシーンのみが他と異なる性質を有していることが判別できた。

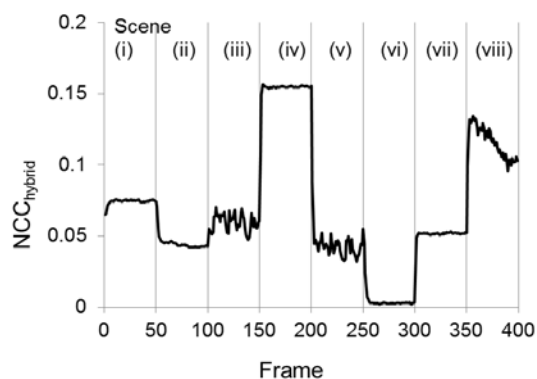


図2 実験(a)の結果

(4) 撮影カメラが未知の場合でも、非圧縮動画を用いた実験において提案手法によって挿入シーンの特定が可能であり、本手法の有効性が確認できた。

動画圧縮の影響については、DVコーデックによる圧縮に対しては識別性能がわずかに低下するのみでシーン検出には影響がなく、ロバスト性があることが確認できた。しかし、MPEG-2やH.264のようなフレーム間圧縮を行うコーデックに対しては検出性能が大きく低下し、実用性の面では課題が残るといった結果であった。

画像や映像が犯罪捜査に正しく活用され、その証拠能力や証明力を維持するためには、画像合成などの改ざんが行われたりCGによる画像生成が行われていた場合に、それらを自動検出できる技術が不可欠であると考えられる。それを実現するための1手法として、(1)から(4)で述べた本研究成果は、重要な意義を持つと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① Kenji Kurosawa, Kenro Kuroki, Ken'ichi Tsuchiya, Naoaki Igarashi, Norimitsu Akiba, Case studies and further improvements on source camera identification, *Electronic Imaging 2013*, 査読無, *Proc. SPIE Vol. 8665*, 2013, [8665-11]

[学会発表] (計6件)

- ① 黒沢健至, 土屋兼一, 秋葉教充, 撮像素子の個体特徴に基づくハイブリッド撮影カメラ個体識別法と動画改ざん検出への応用、第13回情報科学技術フォーラム、2013.9.4-6、鳥取
- ② 黒沢健至, 五十嵐直明, 土屋兼一, 秋葉教充, 黒木健郎, 動画改ざんの自動検出法に関する基礎研究、日本法科学技術学会第18回学術集会、2012.11.15、東京
- ③ 黒沢健至, 五十嵐直明, 土屋兼一, 黒木健郎, 撮影カメラ識別法の動画改ざん検出への応用、日本法科学技術学会第16回学術集会、2010.11.11、東京

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒沢 健至 (KUROSAWA KENJI)  
科学警察研究所・法科学第二部・室長  
研究者番号：80356170