

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 30 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25280088

研究課題名(和文) 防犯カメラ映像の映像改善と異同識別技術革新により犯罪捜査を加速する研究

研究課題名(英文) Research for accelerating criminal investigation by improving security camera image and innovating identification technology

研究代表者

山内 寛紀 (YAMAUCHI, HIRONORI)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：10288623

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：4つの成果を挙げた。第1は、劣化の強い顔画像を大幅に改善し顔の異同識別の精度を向上させたこと。第2は、3Dスーパーインポーズによる顔の異同識別において、類似性を確率的に扱えるようにしたこと。第3は、歩容認証による異同識別において、類似性を確率的に扱えるようにしたこと。第4は、ナンバープレート認証の認識精度を向上させたことである。

研究成果の概要(英文)：We gave four achievements. The first was to improve the face image with strong degradation greatly and to improve the accuracy of face identification. The second is to make it possible to handle similarity stochastically in face identification by 3D superimpose technology. Thirdly, we have made it possible to handle similarity stochastically in gait identification by walking identification. Fourth is improving recognition accuracy of license plate certification.

研究分野：情報学

キーワード：画像鑑定 画像鮮明化 3Dスーパーインポーズ 歩容認証 劣化数字認識

## 様式C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

裁判員裁判制度の導入と人権保護を重視する社会風潮から、犯罪捜査においても、また裁判においても、客観的証拠物件の重要性が年々高まっている。物的証拠がなければ逮捕も起訴できない時代になってきている。このため、殺人・強盗・強姦と言った凶悪犯罪の検挙率は低下の一方であり、安心・安全社会実現を脅かしている。

重要な物的証拠は、遺留品、DNA 鑑定、指紋、筆跡、メール履歴、音声、画像等が挙げられるが、その中でも、安価で性能が改善された防犯カメラが普及していることから、犯罪現場を写している画像が手に入り易くなっており、防犯カメラ画像の解析は、犯罪捜査の中核に位置づけられて来ている。

しかしながら、防犯カメラ画像の鑑定は多くの課題があり、鑑定精度や客観性が不足している場合が見受けられる。その主な課題は以下の4点である。第1は、画像データを記録媒体に保存するときに行われる強いデータ圧縮に伴い、画像劣化が強くなり鑑定に耐えられない場合があること。第2は、3D顔スキャン装置が普及しているのに、その3Dスキャンデータを活かした鑑定方法が確立していないこと、第3は、写っている人物が小さい場合に歩容の異同識別は強力な解析手段であるが、類似性を客観的に評価する手法が確立されていないこと。第4は、車のナンバープレートの数字判別は犯罪捜査にとって重要であるが、コンピュータによる読み取り精度が不足していることである。

### 2. 研究の目的

防犯カメラの映像改善と異同識別を高度化し、犯罪捜査資料と裁判証拠資料を強化することを目的とする。

具体的には、第1に、データ圧縮に伴って劣化した顔データを改善して顔の異同識別精度を向上させること、第2に、顔の3Dスーパーインポーズによる異同識別に確率論の手法を取り入れて鑑定精度の客観性を高めること。第3に、人物の歩容の異同識別を定量化して類似性判定の精度を高めること。第4に、車のナンバープレート認識の精度を向上させること、そして、第5に、上記技術を自動化して、防犯カメラに写っている人物の特徴を自動抽出して、防犯カメラ間の人物追跡を可能とすることである。

### 3. 研究の方法

従来蓄積してきた知見を具体化して、コンピュータプログラムを作成し、防犯カメラ映像に適用して評価する。さらに、開発した技術をライブラリとして集約し、そのライブラリ使って実際の犯罪現場での防犯カメラ映

像の鑑定、及び鑑定書の作成を行い、その有用性を、警察官、検察官、裁判官の目を通して評価していただく。実際、この4年間の研究期間内で、200件を超える鑑定書の作成と、15件を超える公判出廷を行い、現場の意見を反映させて改良してきた。

### 4. 研究成果

研究課題ごとに分けて述べる。

#### (1) データ圧縮劣化の改善

防犯カメラは長時間録画を必要とするので、非常に強い圧縮が行われている。その圧縮の基本はMPEGやJPEGに代表されるブロック単位での量子化である。これに伴って強いブロックノイズが現れる。

この解決策として従来は、ガウスフィルタによるぼやけ処理を行い、ブロック境界を平均化した後、アンシャープマスク処理等で境界線を強調するのが最善の方法であった。しかしながら、顔の鑑定を行う場合には不十分であり、新しい解決策を必要としていた。

本研究では、2つの方向で解決を図った。第1は、画像の中から骨格成分を抽出(Total Variation等による)して、骨格成分の中から畳み込み演算によってブロックノイズを選択的に除去する方法であり、雑誌論文(6)で発表した。この手法は一定の成果を得たが、なお不十分であった。

第2の提案手法は、Example-baseと言われる機械学習の手法を、顔の構造に合わせて改善する手法であり、雑誌論文(1)で発表した。具体的には、予め、高解像度画像と、その画像を縮小して拡大した低解像度画像をペアにしてデータベースを構築する手法であり、其々の画像を小さいパッチに分割して、類似性を評価して低解像度パッチと高解像度パッチ間のシソーラスとして構築される。

そこで、データ圧縮でブロックノイズの強い画像に対して、まず、従来手法と提案手法1とで、ブロックノイズをぼやけとして分散させ、その画像を低解像度画像として、データベースのパッチを選別して高解像画像を再構築する手法である。このとき、顔部品の位置と連結のスムーズさ両方を指標とした。その結果、従来手法に秘して、PSNRで約1dBの改善を得た。また、具体的な鑑定において、より多くの顔特徴が抽出できることを確認した。またこの成果を、映像情報メディア学会論文誌に、「Example-based Face Image Restoration for Block Noise Reduction」のタイトルで、投稿した。

#### (2) 3Dスーパーインポーズ鑑定の改善

コンピュータによる3D顔認証技術の発展に伴い、顔の鑑定に3Dスキャンデータを

用いて、スーパーインポーズすることが行われるようになってきた。この傾向は警視庁において先取りされ、従来の被疑者写真に変わって、逮捕した被疑者から、全て3Dスキャンデータを取るようになってきている。

しかしながら、その鑑定技術は未熟であり、現場の顔画像と3D顔画像をスーパーインポーズして、類似性を主観的に述べるに留まり、折角の3D顔画像を有効活用しているとは言えない状況であった。

本研究では、類似性を数値化することを試みた。具体的には、スーパーインポーズした画像を、縦方向と横方向に2～3分割して、その切断線上の特徴点の両画像間のズレ量を指標として統計解析する手法である。正確には、顔の長さ(額生え際からオトガイ下端)で規格化した規格化ズレ量である。これは、ズレ量の単位が画素なので、その値が顔の解像度に依存しないようにするためである。また、顔全体にわたって求めた特徴点の規格化ズレ量の最大値を、「最大規格化ズレ量」と呼び、これを評価の指標とした。

この指針に基づいて、最大規格化ズレ量を指標として、300例のスーパーインポーズの実験を行った。その結果、最大規格化ズレ量の判定しきい値を3%としたとき、他人受け入れ率(異なる人物の顔をスーパーインポーズしたときに、同一人物だと判定する誤り)は200例中1例もなかった。このことは、後200例について追加実験を行った場合、他人を受け入れる可能性は、0または1回と推定するのが妥当であり、誤り率は1/400以下となる。因みに、本人排除率(同一人物の顔をスーパーインポーズしたときに、異なる人物だと判定する誤り)は100例中1例もなかった。即ち、最大規格化ズレ量が、3%以内に収まった場合、誤り率1/400以下の精度で、本人であると結論するのが妥当であるとの結論を得た。

これは、顔画像と3D顔画像を最も良く合わせ込んだ場合、全ての特徴点が良く合うということを示している。逆に他人であった場合、全ての特徴点が一致するように合わせることはできないということである。

また、ガイドラインを3%としたのは、レンズ歪、量子化ノイズ、色収差等の劣化要因をできるだけ改善しても、補正しきれない歪が残ることと、鑑定する防犯カメラ画像の解像度から、1～2%程度の誤差が生じるためである(有意性は3%)。

この指標に基づいて、20例の3Dスーパーインポーズ顔鑑定を行い、警察・検察において、満足な評価を得ている。現在残された課題は、3Dスーパーインポーズ(合わせ込み)の自動化と、規格化ズレ量の自動抽出である。鑑定の効率化が図られるだけでなく、コンピュータの3D顔認証に飛躍的な発展をもた

らすことが可能である。

### (3) 歩容認証の定量化

一般にカメラに写っている人物の情報は、人物画像が大きく写るに従って、着衣の色、着衣特徴、着用物品、歩容、身体特徴、身体サイズ、頭髪、顔の順に、より詳細な情報が得られる。この点から、歩容は、顔情報が得られない小さい画像からも得られる情報であり、人物の異同識別において有効である。これに対して、コンピュータ自動判別の方向と、人間による判別の2つの方向から研究を進めた。

コンピュータ自動判別では、人間の関節モデルを画像にはめ込む方向で研究を進めた。その結果、歩容人物がいずれも方向を向いてもほぼ完全にはめ込めることができたので、この成果を、雑誌論文(7)で発表した。更に、この結果から、人物歩容特徴を抽出することもできた。但し、画角が側面の人物と、正面または背面の人物の2種類に分け、其々について特徴を抽出している。側面の姿勢については、首の角度、背筋、腕の振りの特徴、腰の伸び、膝の伸び、両脚着地での両脚の開き等である。正面及び背面では、腕と身体の開き、両腕の角度、両脚の開き角度、脚移動での両脚の膝の距離等である。

しかしながら、2つの点で課題が残っている。第1は、踝から下をはめ込む精度が得られていないので、爪先の走向、爪先の上り等の細部情報が得られないこと。第2は処理速度ネックであり、あと10倍高速化しないと、リアルタイムでの解析が困難なことである。

対して、人間の判別では、実際の防犯カメラ画像の鑑定(約100)を重ね、40項目に及ぶ判定項目を定めた。フレームレートが低い場合、画角が異なっている場合、画像が不鮮明な場合など多様なケースが考えられるが、其々の場合について類似性判定基準を定め、自動的に%段階の類似性の評点(A～E)が出せるようにした。因みにランクCは、誤り率1%で、同一人物と判定できるレベルである。この知見を、コンピュータ自動判別にフィードバックしている。

### (4) ナンバープレート認識の改善

#### 輝度値補正

ナンバープレート文字の重要な劣化要因は2つある。第1は、データ圧縮に伴うブロックノイズでありプレート外形や文字形状が大幅に劣化する。第2は、プレートに当たる光源の状況により輝度値分布が大幅に変動する劣化である。このうち前者は、(1)節で述べた手法に、境界強調処理と、幾何学変換を組み込んだ動画超解像を組み合わせることで改善した。

後者については、新たに、サポートベクタ

一回帰を Retinex モデルに適用する手法を提案した。この手法は、照明光の成分の推定にサポートベクター回帰を行うことで、ボカシのみで推定する場合に比較して、より正確に推定することができる。この手法の効果を評価するため、実写のナンバープレート画像に多様な複合劣化を付与して実験画像を作成し、これらの画像に、正規化相互相関と、畳み込みニューラルネットワークによる劣化文字認識精度の評価を行った。その結果、従来の Retinex に比較して、正規化相互相関の場合 39%、畳み込みニューラルネットワークの場合、12%改善することを確認したので、この成果を、雑誌論文(4)で発表した。またこの成果を、画像電子学会論文誌に、「劣化ナンバープレート画像認識に適合したサポートベクター回帰による輝度値補正」のタイトルで投稿した。

#### 多重解像度文字認識

多重解像度画像を生成し、生成した画像ごとに、サポートベクターマシン (SVM) で認識結果を決定するプロセスと、その解像度画像ごとの結果を統計処理することで、最終結果を導くという手法を提案した。重複する認識結果が多いほど信頼性が高いので、結果の信頼性は高まる。

この手法の効果を検証するため、各解像度の認識結果から乱数で候補数を決定する手法(乱数法)と、本提案手法を比較した。何れも、ぼやけ、ガウスノイズ、JPEG 圧縮、切り出し誤差等の複合劣化を加えたナンバープレートの平仮名である。乱数法の正答率が 80% 程度の画像に対して、92% まで向上することを確認したので、この成果を、雑誌論文(2)で発表した。またこの成果を、画像電子学会論文誌に、「多重解像度画像を用いた画像認識」のタイトルで投稿した。

#### (5) 防犯カメラ間の人物追跡

2つのカメラ間を人物が移動したとき、カメラの写る領域が離れていても、正しく同一人物と認識して追跡できる技術を確立した。内容は2つの技術からなる。

第1は、カメラ座標系(そのカメラに写っている画面を表す座標系)と絶対座標系(写っている領域全体を表示する座標系)の対応である。この変換は、射影変換と1次変換からなる非線形座標変換となり計算負荷が重い。これを解決するため、予め、絶対座標系に格子状に分割し、各格子点をカメラ座標系に対応させるテーブルを作成し、格子点近傍行列変換で近似する手法とすることで解決した。

第2は、カメラで認識された人物(5.3節のコンピュータによる人物の歩容認証で開発した技術により関節モデルがはめ込まれ

る)の特徴ベクトル(上半身の着衣、下半身の着衣、頭髪、身長、及び歩容特徴)と、人物の移動ベクトル(移動方向と移動速度)が同時に生成され、これら2つのベクトルを合わせたIDベクトルが生成される。このIDベクトルで人物を識別し、絶対座標系で管理する技術である。

現在、このカメラ間追跡が実用レベルで動く状態にあり、人物のアバターを自動生成して表示できる段階にある。残された課題は、時時刻刻変化するIDベクトルを素早く反映させる機能、人物が増えてきた時に生じる処理時間ネック、人物が重なった時に生じるオクルージョンの3点である。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

- (1) S.Hamdan, Y.Fukumizu, T.Izumi, H.Yamauchi, "Example-based Face Image Super-resolution Taking into Consideration Correspondence of Facial Parts", TEEE-C (電気学会論文誌), 査読有, Vol.12, No. 6. (2017.11 to appear)
- (2) 辻広生, 福水洋平, 道関隆国, 山内寛紀, 横山智之, 吉川歩, "多重解像度を用いた劣化ナンバープレート平仮名画像認識", 電子情報通信学会 2017 総合大会講演論文集, D-12-1, pp.57. (2017.03)
- (3) 辻広生, 福水洋平, 道関隆国, 山内寛紀, 横山智之, 吉川歩, "ナンバープレート数字画像認識に適合した画素値選択型超解像", 電子情報通信学会 2016 総合大会講演論文集, D-11-62, 11-2 (2016.03)
- (4) 辻広生, 福水洋平, 道関隆国, 山内寛紀, 吉川歩, "画像認識のための回帰分析を用いた光量補正", 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 115, no. 208, SIS2015-25, pp. 63-68. (2015.09)
- (5) Lin.Meng, Yoshiyuki Fujiwara, Atsushi Ochiai, Tomonori Izumi, Katsuhiro Yamazaki, "Recognition of Ocular Bone Inscriptions Using Template Matching", Int. J. of Computer Theory and Engineering(IJCTE), 査読有, Vol.8, No.1. pp.53-57 (2015)
- (6) 三輪卓矢, 山内寛紀, 泉知論, 齊藤和則, 福水洋平, "骨格画像に基づく適応的フィルタを組み込んだブラインドデコンボリューションによる量子化ノイズ低減手法", 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol.114, No.460, ITS2014-48, IE2014-75. (2015.02)
- (7) 東 篤司, 福水洋平, 泉 知論, 山内寛紀, 梅村充一, 荻内康雄, 東久保政勝, "対称関係に基づくアピアランスと相対位

置の拘束条件を用いた Pictorial Structure モデルにおける姿勢推定の高精度化”，画像電子学会誌，査読有，Vol.44，No.1. (2015.01)

〔学会発表〕(計5件)

- (1) H.Tsuji, Y.Fukumizu, T.Douseki, H.Yamauchi, "Super-resolution on pixel values selection for degraded image recognition by support vector machine," in Proc. 21st Triennial Meeting of the International Association of Forensic Sciences 2017, 査読有, Toronto, Canada, to appear.
- (2) T.Yokoyama, Y.Fukumizu, "Object Recognition using Deep Learning," in 2nd Research Collaboration Workshop for Scientific and Technical Exchange between Colleges of Engineering of Ritsumeikan University and University of Hawaii Manoa, Manoa, Hawaii, Sep 2016.
- (3) T.Hatamoto, Y.Fukumizu, "Study for accurately extracting persons recorded on a surveillance camera," in 2nd Research Collaboration Workshop for Scientific and Technical Exchange between Colleges of Engineering of Ritsumeikan University and University of Hawaii Manoa, Manoa, Hawaii, Sep 2016.
- (4) Y.Nakanishi, Y.Fukumizu, "Study for a Person Tracking between Multiple Cameras -Forensic Person Identification using L\*a\*b\* Color Space," in 1st Research Collaboration Workshop for Scientific and Technical Exchange between Colleges of Engineering of Ritsumeikan University and University of Hawaii Manoa, Manoa, Hawaii, Sep 2015.
- (5) Y.Nakase, Y.Fukumizu, "Share the Human Information among Multiple Cameras," in 1st Research Collaboration Workshop for Scientific and Technical Exchange between Colleges of Engineering of Ritsumeikan University and University of Hawaii Manoa, Manoa, Hawaii, Sep 2015

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

山内 寛紀 (YAMAUCHI HIRONORI)  
立命館大学・理工学部・特任教授  
研究者番号：10288623

### (2) 研究分担者

泉 知論 (IZUMI TOMONORI)  
立命館大学・理工学部・教授  
研究者番号：30303877

福水 洋平 (FUKUMIZU YOHEI)  
立命館大学・理工学部・准教授  
研究者番号：60467008