

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04370

研究課題名（和文）特徴の異なる複数種類のカメラからのマルチモーダルバイオメトリクスに関する研究

研究課題名（英文）Multimodal Biometrics using cameras with different characteristics

研究代表者

市野 将嗣 (Ichino, Masatsugu)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：80548892

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）：特徴の異なる複数種類のカメラから認証を行うにあたり、本研究では、可視光カメラで取得した可視光顔画像とサーモグラフィで取得した熱顔画像を組み合わせて目の周辺認証を行うことを検討した。はじめに、多くの特徴量を組み合わせる認証を提案した。次に、目の周辺画像を用いた認証にDeep Metric Learningを適用し、可視光顔画像と熱顔画像に対してXGBoostを利用したスコアレベル統合で組み合わせて目の周辺認証を行う手法を提案し、実験的に有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
システム利用者の正当性を確認する生体認証の重要性が高まる中、複数のモダリティを用いるマルチモーダルバイオメトリクスが実用化に向けての現実的な解として認識されている。そこで本研究では、特徴の異なる複数種類のカメラで取得されるモダリティをマルチモーダルバイオメトリクスで認証する方法を提案した。この成果をさらに発展させることで、生体認証におけるマルチモーダルバイオメトリクスの適用範囲を広げることができる。

研究成果の概要（英文）：I focus on the Multimodal Biometrics using cameras with different characteristics. I study the use of both thermal and visible light images for periocular recognition. First, I focused on the authentication method to integrate many features of each modality. Next, I study a periocular recognition method that uses models trained using deep metric learning. The fusion of the visible light and thermal image results is done at the score level using XGBoost.

研究分野：情報セキュリティ

キーワード：生体認証

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、インターネットサービスの進展に伴い、ネットワーク等のセキュリティの確保が重要になってきている。中でも生体認証はユーザの正当性を確認する情報セキュリティ技術の中核であり、パスワードの記憶やカードの所有が不要なため、重要性が高まっている。しかしながら、指紋や音声などの単一のモダリティだけを用いる生体認証では、利用環境あるいは負傷、疾病などにより適用できない場合や十分な認証精度が得られないという問題が生じる。このため、複数のモダリティを用いるマルチモーダルバイオメトリクスは実用化に向けての現実的な解として認識されており、実用化に向けた研究開発がなされつつある。

近年、計測装置の進歩が目覚ましい。例えば、4K 撮影が可能なビデオカメラが登場するなど、高解像度の画像撮影が可能となりつつある。この流れは今後も続き、さらに高解像度の画像が撮影可能となることが予想される。そのため、離れたところから全身を撮影することにより、顔、虹彩、耳介、歩容、ジェスチャーなどのモダリティに加え、個人特定に利用できるシミやほくろなど各部位のテクスチャも取得できるため、それらを含めると一度に数十のモダリティを容易に取得可能であり、認証に利用できるモダリティが急激に増えてきた。また、近年では、サーモグラフィは低価格化が進み、スマートフォンに搭載されるなど、身近なところで使われ始めている。サーモグラフィで取得した画像は物体の温度分布を表現するため、可視光カメラで取得した画像とは得られる情報が異なる。そのため、認証精度向上を目的に、サーモグラフィで取得した画像からの特徴を新たに加えることができる。

多くのモダリティの統合に向けて、多くの特徴量を組み合わせるマルチモーダルバイオメトリクスを検討した。特に、虹彩、強膜、目の周辺から得られる多くの特徴量に着目し、組み合わせる認証を行う方法について検討した。さらに、特徴の異なる複数種類のカメラから認証を行うにあたり、本研究では、可視光カメラで取得した可視光顔画像とサーモグラフィで取得した熱顔画像を組み合わせる目の周辺認証を行うことを検討した。

2. 研究の目的

特徴の異なる複数種類のカメラから認証を行うにあたり、本研究では、可視光カメラで取得した可視光顔画像とサーモグラフィで取得した熱顔画像を組み合わせる目の周辺認証を行うことを検討した。はじめに、多くの特徴量を組み合わせる認証方法を検討した。次に、目の周辺画像を用いた認証に Deep Metric Learning を適用し、可視光顔画像と熱顔画像に対して XGBoost を利用したスコアレベル統合で組み合わせる目の周辺認証を行う手法を検討した。

多くの特徴量を組み合わせる認証方法については、虹彩認証の先行研究で良く用いられている近赤外光画像の虹彩と目の周辺、強膜の 3 つの部位を組み合わせる認証を対象に検討した。先行研究では、数多くある画像特徴量のうち 3 つ程度しか使用しておらず、それ以上の画像特徴量を使用する検討が十分にされていない。そのため、重要な特徴量を適切に利用できておらず、本来実現可能な精度を実現できていない。また、近赤外光画像における強膜領域の個人性についても十分な検討がされていない。そこで本研究では、目の周辺認証に用いられる画像特徴量をさらに加えること、および、虹彩と目の周辺認証に強膜認証を加える検討を行った。

また、可視光カメラで取得した可視光顔画像とサーモグラフィで取得した熱顔画像を組み合わせる目の周辺認証については、各画像の識別器の設計と組み合わせ方法の検討を行った。従来研究で提案されてきた可視光画像や近赤外光画像を用いる手法では、照明条件や表情の変化の影響を受けて精度が低下することが問題点として挙げられる。広い場面での実用を考えると登録時と異なる照明条件や表情で認証することは起こりえるため、これらへの対策は重要な課題である。本研究では、サーモグラフィカメラを用いて取得する熱画像を活用して目の周辺認証を行う手法を検討する。熱画像は照明条件に関係なく取得できる。また、人の顔を熱画像で取得した際の表情による影響は小さいことが報告されている。よって熱画像を活用することで上述した課題の解決策となることが期待できる。

3. 研究の方法

本研究では、下記の(1)虹彩認証と目の周辺認証、強膜の認証から得られる多くの特徴量を組み合わせる認証、(2)可視光カメラで取得した可視光顔画像とサーモグラフィで取得した熱顔画像を組み合わせる目の周辺認証について検討した。

(1)虹彩認証、目の周辺認証、強膜の認証を組み合わせる認証

虹彩認証では Daugman の手法により算出したアイリスコード、目の周辺認証では先行研究で用いられた LBP, HOG, SIFT, LDP, SURF, ORB, BRISK の合計 7 種類の画像特徴量、強膜認証では LBP, HOG, SIFT, LDP, SURF の合計 5 種類の画像特徴量を用いて画像どうしを比較し、類似度スコアを算出した。実験では両目を用いることで特徴量数を増やした。本研究では、虹彩認証と目の周辺認証、強膜認証の統合手法に、XGBoost を用いる。XGBoost は逐次的に決定木を作成し、それらを統合した識別器で判別を行う手法である。この決定木は、分岐に利用する特徴量を選ぶことで作成され、この操作が特徴量選択に対応する。分岐ごとに特徴量の条件が決められており、その分岐をたどることによって、使用する特徴量の組が決めていく。決定木の最終ノードに至るまでの経路が画像ごとに異なるため、画像ごとに異なる分岐(特徴量)の組合せで識

別する。

虹彩認証，目の周辺認証，強膜の認証を組み合わせる認証は，図1に示す流れで行う．特徴量ごとに照合した類似度スコアを並べた特徴ベクトルを求めた．この特徴ベクトルは特徴量の種類数分の次元を持ち，本人同士の照合によって求めた類似度スコアを並べた特徴ベクトルの分布と他人同士の照合により求めた類似度スコアを並べた特徴ベクトルの分布を分類するために，学習用データを用いて XGBoost の学習を行い，識別器を作成した．



図1 虹彩認証，目の周辺認証，強膜の認証を組み合わせる認証

(2)可視光カメラで取得した可視光顔画像とサーモグラフィで取得した熱顔画像を組み合わせた目の周辺認証

図2に示す流れで認証を行う。

可視光顔画像による目の周辺認証については，ImageNet で事前学習済みの ResNet18 をもとにしたモデルを今回用意した学習データを用いて学習し，特徴抽出器として用いた．そして Deep Metric Learning を適用して学習を行う．Deep Metric Learning は CNN モデルの出力間のコサイン距離などを類似度としてみなし，同じクラスの画像のペアの距離を小さく，異なるクラスの画像のペアの距離を大きくなるように学習する．この学習により認証を行う上で適切な特徴抽出を行うことができると考える．本研究では，Deep Metric Learning を行うために ArcFace を損失関数として利用し学習を行う．登録画像の特徴ベクトルとクエリー画像の特徴ベクトルの間のコサイン類似度をスコアとして利用する．

また，熱顔画像による目の周辺認証についても，熱顔画像に対して可視光顔画像による目の周辺認証と同様の手順で学習し，スコアを求める．

上記のモデルの学習とスコアの算出は，熱画像と可視光画像に対してそれぞれで行う．

さらに，可視光画像と熱画像の認証の統合については，特徴抽出において既存の CNN モデルをそのまま活用するためにスコアレベルで行う．上記の手順で算出される可視光画像と熱画像によるスコアを連結したベクトルとそのスコアが本人同士/他人同士のどちらから算出された値であるかを示すラベルを用いてさらに XGBoost による学習を行い，最終的な識別結果を出力するための識別器を生成する．テスト時にはテストデータ間で熱画像可視光画像それぞれによって算出されるスコアを連結したベクトルをこの識別器に入力として与えて最終的な出力を決定し，評価を行った．

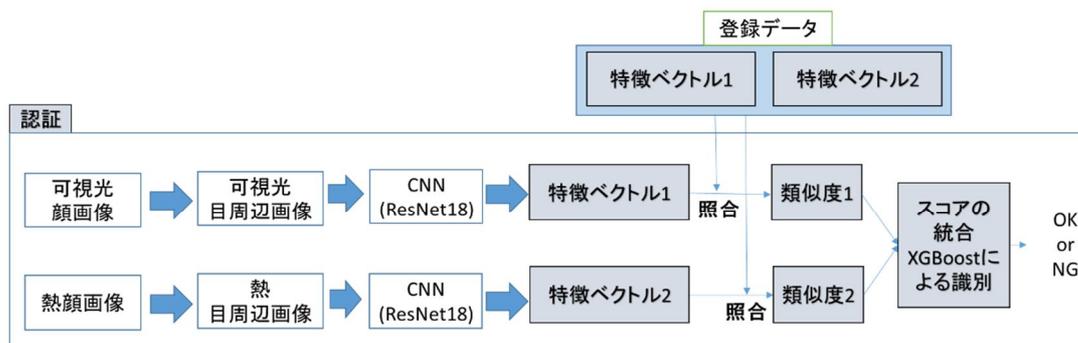


図2可視光顔画像と熱顔画像を組み合わせた目の周辺認証

4．研究成果

(1)虹彩認証，目の周辺認証，強膜の認証を組み合わせる認証

虹彩と目の周辺と強膜認証の類似度スコアの統合に XGBoost を用いて，先行研究で提案された AdaBoost を用いた統合との精度比較を行った．評価実験データとして，CASIA-Iris-Distance を使用した．尚，今回は裸眼のみを対象としたため，眼鏡を着用した画像を除いた結果，被験者数は 122 人となった．

虹彩認証では Daugman の手法により算出したアイリスコード，目の周辺認証では先行研究で用いられた LBP，HOG，SIFT，LDP，SURF，ORB，BRISK の合計 7 種類の画像特徴量，強膜認証では LBP，HOG，SIFT，LDP，SURF の合計 5 種類の画像特徴量を用いて画像どうしを比較し，類似度

スコアを算出した。実験では両目を用いることで特徴量数を増やした。

122 人の被験者の中から 1 人あたり 8 枚 (学習データとして 4 枚, テストデータとして 4 枚) の画像を利用した。また, 本実験では試行回数を増やすためにクロスバリデーションを行った。1 人あたり 8 枚の画像から学習データ 4 枚, テストデータ 4 枚を選択するパターン数 (合計 70 回) の試行を行い, 各試行の結果を平均化し評価した。

実験の結果, XGBoost を用いた統合が AdaBoost を用いた統合よりも高い認証精度を示した。また, 特徴量が増えることでさらに精度改善し, 特徴量数が最も多い実験 (虹彩+目の周辺 (LBP, HOG, SIFT, LDP, SURF, ORB, BRISK)+強膜 (LBP, HOG, SIFT, LDP, SURF)) の両目を用いた場合の精度 (EER:0.41%, 識別率:99.5%) が最も良い。

(2) 可視光カメラで取得した可視光顔画像とサーモグラフィで取得した熱顔画像を組み合わせた目の周辺認証

ImageNet によって事前学習済みの ResNet18 および VGG-16 に対して学習データを用いて転移学習したモデルを特徴抽出器として用いた。学習時の損失関数には ArcFace を用いた。上記手順により熱画像と可視光画像, それぞれ右目と左目においてスコアを算出し, XGBoost によってこれらを統合して最終的なスコアを算出した。

NVIE データセットを使用して実験を行った。これらの画像は照明条件 3 種類の変化と表情 6 種類の変化を含んでいる。本実験ではデータセットに含まれる画像のうち, データの欠損が少なかった被験者 83 人の一人あたり 16 枚の画像から目の周辺領域を切り出して用いた。83 人分のデータを 21 人:21 人:21 人:20 人に分割し, 4 分割交差検証により評価を行った。テスト時の被験者の画像は学習時のデータに含まれていない。

実験の結果, VGG-16 を用いた可視光画像のみの目の周辺認証, VGG-16 を用いた熱画像のみの目の周辺認証, VGG-16 を用いた可視光画像と熱画像を用いた目の周辺認証, ResNet18 を用いた可視光画像のみの目の周辺認証, ResNet18 を用いた熱画像のみの目の周辺認証よりも提案手法の認証精度 (両目で EER:1.34%, 識別率:98.7%) が高いという結果を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takumi Nakamura, Shusuke Kawamura, Hiroshi Yoshiura, Masatsugu Ichino	4. 巻 32
2. 論文標題 Personal Authentication for Periocular Region in Thermal and Visible Light Images by using CNN	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 396-406
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 上野山大介, 吉浦裕, 市野将嗣	4. 巻 61
2. 論文標題 XGBoostによる複数特徴量を用いた虹彩と目の周辺と強膜の個人認証	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1552-1566
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Shusuke Kawamura, Hiroshi Yoshiura, Masatsugu Ichino
2. 発表標題 Cross-Spectral Periocular Recognition by Translating Thermal Images Into Visible Light Images
3. 学会等名 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河村就介, 吉浦裕, 市野将嗣
2. 発表標題 ArcFaceを用いた熱画像を可視光画像に変換するクロススペクトル目の周辺認証に関する一検討
3. 学会等名 コンピュータセキュリティシンポジウム2023(CSS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村 匠, 吉浦裕, 市野将嗣
2. 発表標題 目周辺領域の熱画像および可視光画像から抽出した特徴を用いる個人認証手法
3. 学会等名 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takumi Nakamura, Hiroshi Yoshiura, Masatsugu Ichino
2. 発表標題 Periocular Recognition Based on Features from Thermal and Visible-Light Images
3. 学会等名 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 匠, 吉浦裕, 市野将嗣
2. 発表標題 熱画像と可視光画像を用いる目の周辺認証
3. 学会等名 情報処理学会コンピュータセキュリティシンポジウム2021(CSS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉澤舟太郎, 吉浦 裕, 市野将嗣
2. 発表標題 顔表面の温度変化を強調することによる個人認証の一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上野山大介, 吉浦裕, 市野将嗣
2. 発表標題 XGBoostを用いた虹彩と目の周辺の個人認証
3. 学会等名 電子情報通信学会第8回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉澤舟太郎, 吉浦 裕, 市野将嗣
2. 発表標題 心拍によって生じる顔表面の温度変化を用いた個人認証
3. 学会等名 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 額田知希, 吉浦 浩, 市野将嗣
2. 発表標題 目の周辺領域によるバイオメトリクスにおけるDeep Metric Learningの適用に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会バイオメトリクス研究会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------