

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04106

研究課題名(和文) 局所位相特徴を用いた高性能バイオメトリクス認証に関する研究

研究課題名(英文) A Study of High-Performance Biometric Recognition Using Local Phase Features

研究代表者

伊藤 康一 (Ito, Koichi)

東北大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：70400299

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：画像の位相情報を活用した高精度な画像マッチング技術「位相限定相関法」に関する研究で得られたノウハウと知見に基づいて、本研究課題では、生体認証に特化した局所位相特徴を検討した。具体的には、多重解像度表現された局所位相特徴に基づく類似度評価に関する基本アルゴリズム群を構築するとともに、生体認証システムに要求されている「いつでもどこでも・誰でも・簡単に・安全に」という要件を満たすために必要となる各種高性能化アルゴリズムを検討した。また、非接触掌紋・静脈認証、新生児指紋認証、虹彩認証、顔認証に関する応用研究を行って有効性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究代表者らが開発を進めてきた画像の位相情報に着目した画像マッチング技術(位相限定相関法)は、さまざまな生体特徴に有効であることを実証している。その知見に基づいて、生体認証に特化した新しい局所特徴記述子として局所位相特徴および基本アルゴリズムを本研究課題を通して検討した。また、掌紋認証や顔認証をはじめとする具体的な応用研究に適用することで実用化を見据えた研究開発を行った。これらの成果により、生体認証の学術的な深化および実用化に少なからず貢献したと考える。

研究成果の概要(英文)：Based on the knowledge obtained from our previous research on the "Phase-Only Correlation," which is a high-accuracy image matching technique that utilizes the phase information of images, we investigated local phase features dedicated to biometric recognition in this research project. We developed a set of basic algorithms for similarity evaluation based on multi-resolution local phase features, and studied various high-performance algorithms required for biometric recognition systems to meet the requirements of "anytime, anywhere, anyone, easily, and securely". In addition, we applied local phase features to contactless palmprint/vein recognition, neonate fingerprint recognition, iris recognition, and face recognition in order to demonstrated their effectiveness.

研究分野：計算機システム

キーワード：画像, 文章, 音声等認識 バイオメトリクス 画像照合 デジタル信号処理 局所位相特徴

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

バイオメトリクス認証(生体認証)は、個人の身体的・行動的特徴を利用した個人認証技術であり、高性能・高信頼なセキュリティ技術として広く注目されている。正確に認証を行うためには、取得した生体特徴を高精度にマッチングする必要がある。本研究代表者は、画像の位相情報を用いた超高精度画像マッチング技術である「位相限定相関法(Phase-Only Correlation: POC)」を用いた各種認証アルゴリズムに関する研究を行うとともに、大学や企業との共同研究を通して、指紋・顔・虹彩・掌紋・指関節紋・歯科X線画像に関する認証アルゴリズムや関連する画像処理技術の研究開発を進めてきた。一方で、近い将来訪れる Society 5.0 では、IoT (Internet of Things) を基盤とする社会になると言われている。例えば、人の情報や環境情報、機器の情報などを多種多様なセンサで計測し、それらをビッグデータとして解析し、その結果に基づいて様々なサービスを人にフィードバックする。現在のように個人認証を行ってからサービスを受けるのではなく、自動的に個人認証が行われて、サービスが提供される社会へと変遷する。バイオメトリクスによる個人認証は、信頼性と性能の面で第一の選択肢になり得るが、認証性能に着目した研究がほとんどであり、利便性や受容性を考慮した研究が少ない。本研究では、社会的な需要に応えるべく、利便性・受容性・認証性能が高いバイオメトリクス認証を探求する。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、以下の3項目を目的とする。

- (1) 生体認証のための局所位相特徴：多重解像度表現された局所位相特徴に基づく類似度評価に関する基本アルゴリズム群を構築するとともに、局所位相特徴を解釈するための新たな方法論を確立する。さらに、生体認証におけるスタンダードなソフトウェアライブラリとして整備するとともに、組み込みシステムへの実装も検討する。
- (2) 生体認証システムの高性能化：「いつでもどこでも・誰でも・簡単に・安全に」という要件を満たす生体認証システムのために必要となる各種高性能化アルゴリズムを開発する。具体的には、下図に示す4つの課題を解決するために、「ドメイン変換を用いたセンサの正規化」、「高精度な位置・姿勢推定」、「テンプレート保護」、「照合処理の高速化」を検討する。
- (3) 応用研究：前項1および2で検討する基本アルゴリズムおよび高性能化アルゴリズムに基づき、非接触掌紋・静脈認証、新生児指紋認証、虹彩認証、顔認証に関する応用研究を行い、有効性を実証する。

### 3. 研究の方法

- (1) 局所位相特徴の基本アルゴリズムの開発：以下に示す5つの基本アルゴリズムを開発する。
  - 多重解像度表現された局所位相特徴記述子の抽出アルゴリズム
  - 多重解像度画像を生成し、各スケールの局所ブロック画像から位相特徴を抽出する。生体特徴の歪みを考慮した局所位相特徴記述子に基づく画像対応付けアルゴリズム
  - 局所位相特徴に基づく位置合わせにより生体特徴に特有なひずみを考慮する。局所特徴記述子に基づく類似度評価アルゴリズム
  - 局所位相特徴間の相関に基づく各種評価関数の統合によって類似度を算出する。スパースコーディングに基づく局所位相特徴の符号化アルゴリズム
  - 畳み込みスパースコーディングによって位相情報を符号化表現する。符号化局所位相特徴による高速な生体認証アルゴリズム
  - 符号化局所位相特徴に基づいて1対多認証(Identification)を高速に計算する。
- (2) ソフトウェアライブラリの開発・組み込みシステムへの実装：可能な限り、ソフトウェアライブラリを公開する。
- (3) 生体認証システムの高性能化アルゴリズムの開発：以下に示す4つの高性能化アルゴリズムを開発する。
  - ドメイン変換を用いたセンサの正規化：同じ生体特徴でも異なるセンサで取得した場合、既存の認証システムでは、専用センサに処理が特化しているため、認証を誤ることがある。そこで、Generative Adversarial Network (GAN) を用いた取得データの正規化アルゴリズムを開発する。個人性に関する損失や属性情報(年齢や性別など)に関する損失を加えることで生体認証向けの新しいGANモデルを検討する。
  - 高精度位置・姿勢推定：ユーザに意識させずに個人認証を行うためには、カメラで撮影された画像から照合に必要な生体特徴を抽出する必要がある。そこで、生体認証のためのConvolutional Neural Network (CNN)を用いた各種生体特徴(顔・手・指・虹彩など)の位置・姿勢推定アルゴリズムを検討する。
  - 高速な1対多認証：局所位相特徴は、識別性能が高かったが、1対多認証における計算速度と特徴量の大きさに問題があった。そこで、高い識別性能を活かしたまま、高速に

- 認証を行うために、符号化局所位相特徴を用いた1対多認証アルゴリズムを検討する。
- テンプレート保護：符号化局所位相特徴と暗号プロトコルとの組み合わせにより、識別性能を低下させずに安全性を向上させるテンプレート保護アルゴリズムを検討する。
- (4) 応用研究：局所位相特徴の基本アルゴリズムおよび生体認証システムの高性能化アルゴリズムに基づいて以下の実証研究を推進する。
- 非接触掌紋・静脈認証：高性能化アルゴリズム および により、カメラに手をかざすだけで個人認証を行うシステムを検討する。
- 新生児指紋認証：一般的な指紋認証システムで対象とされていない新生児の指紋認証を検討する。新生児に対応した高解像度な指紋センサを開発する。また、高性能化アルゴリズム を応用し、従来の指紋照合アルゴリズムを活用できるように新生児指紋画像を成人指紋画像に変換する前処理を検討する。
- 虹彩認証：利便性の向上を目的として可視画像から虹彩を抽出する手法を検討する。また、高性能化アルゴリズム により、符号化局所位相特徴を用いた生体認証基盤の構築を検討する。虹彩を極座標展開して符号化局所位相特徴を抽出するため、他の生体特徴と異なり、符号化特徴に微小な平行移動のみが含まれる。そのため、暗号処理と極めて融和性が高い。
- 顔認証：顔認証システムにおいて、第三者が顔写真や動画画像、マスクなどを用いてユーザになりすまして通ることが問題になっている。センサが取得したデータから本物となりすましを判別するために、高性能化アルゴリズム および の組み合わせと改良により高精度ななりすまし検知を検討する。

#### 4. 研究成果

本研究課題を通して、本研究代表者らは「生体認証における位相とは何か」という問いを探求した。画像の振幅を正規化して位相を画像化すると、振幅正規化画像として表現される位相画像は、画像に写っている物体の形を表現しているように見える。位相間の相関関数として定義される位相限定相関法を用いることで、掌紋、指紋、虹彩などの生体テクスチャに基づく個人認証において、汎用的ながら高い識別性能を達成することが明らかにしていた。周波数領域での位相は、一見、ランダムな値を示すが、その値を量子化しても識別性能がほとんど低下しないことがわかっていく。しかし、生体認証における位相情報の有効性の本質的な理由や精度限界は未解明である。これまでに検討してきた位相限定相関法を進化・発展させるために、これらの「問い」を考究した。局所位相特徴と呼ばれる生体認証に特化した特徴記述子について、生体認証に有効な5つの基本アルゴリズムを開発した。その中で、スパースコーディングに基づく新しい局所位相特徴の表現を考案し、その成果を海外の著名な学術雑誌に投稿している。

また、「バイオメトリクス認証は社会の要求に応えているか」という問いも探求した。指紋認証や顔認証などが実用化され、スマートフォンのユーザ認証、出入国管理などで利用されている。一方で、それらは、必ずしも現代社会が求めている「いつでもどこでも・誰でも・簡単に・安全に」という要件を満たしていない。例えば、登録時と認証時でセンサが異なると同一人物でも認証を誤る。成人を対象としたシステムであるため、新生児・乳児や高齢者などが利用できない。ユーザが認証されるためにセンサに触れるなど認証を意識した行動が必要である。これらの問題を解決し、真の意味でのバイオメトリクス認証を実現するためには、システム全体の方法論を考究し、実証研究を通して確立させる必要がある。これに対して、新生児指紋認証に取り組み、生後2時間の新生児の指紋画像の取得に成功した。本成果については、海外の生体認証に関する国際会議において Best Paper Award が授与された。これまでの指紋認証で培ってきた理論が通じないことを発見した。新たに新生児指紋認証のための手法を検討するとともに、局所位相特徴の適用可能性についても検討した。掌紋認証における利便性の改善のために、手の位置姿勢にロバストな掌紋領域抽出手法を提案した。本成果は、海外の著名な生体認証に関する学術雑誌に掲載された。また、テンプレート保護の新技术として、ステガノグラフィを用いた保護手法を検討した。本手法の斬新なアイデアに対して、国内のパターン認識に関するシンポジウムにおいてフロンティア賞が授与された。以上のように、本研究課題の推進により、生体認証の新しい方向性を示すことができた。

今後は、本研究成果に基づいて、局所位相特徴の原理を機械学習および深層学習と融合させることが考えられる。局所位相特徴を学習可能な形で表現することにより、生体認証の高精度化を検討する。最近では、生体認証の認証精度の改善だけではなく、認証システムの安全性の強化も大きな研究トピックになっている。これまでの生体認証に関する研究トピックに加えて、なりすまし攻撃の検知、プライバシー保護、生体認証における ELSI (倫理的・法的・社会的問題) を検討する予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ai Takahashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Fingerprint Feature Extraction by Combining Texture, Minutiae, and Frequency Spectrum Using Multi-Task CNN	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of International Joint Conference on Biometrics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IJCB48548.2020.9304861	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 Asateru Kimura	4. 巻 -
2. 論文標題 Performance evaluation of face anti-spoofing method using deep metric learning from a few frames of face video	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference	6. 最初と最後の頁 1414-1419
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 幸田芳紀	4. 巻 13
2. 論文標題 新生児指紋認証技術によるSDGsターゲット16.9への挑戦	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review	6. 最初と最後の頁 312-320
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/essfr.13.4_312	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 Hiroya Kawai	4. 巻 -
2. 論文標題 Merged multi-CNN with parameter reduction for face attribute estimation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Conference on Biometrics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICB45273.2019.8987397	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 Yoshinori Koda	4. 巻 296
2. 論文標題 Development of 2,400ppi fingerprint sensor for capturing neonate fingerprint within 24 hours after birth	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Informatics	6. 最初と最後の頁 95-106
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 該当する

1. 著者名 [A7]Luis Rafael Marval Perez	4. 巻 E102-A
2. 論文標題 Phase-based periocular recognition with texture enhancement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1351-1363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E102.A.1351	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ai Takahashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Domain transformation of fingerprint images using CycleGAN	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE Global Conference on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 9-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE46687.2019.9014646	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 Yi-Chun Lin	4. 巻 -
2. 論文標題 Attribute estimation using multi-CNNs from hand images	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference	6. 最初と最後の頁 241-244
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APSIPAASC47483.2019.9023260	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 該当する

1. 著者名 Yusei Suzuki	4. 巻 12046
2. 論文標題 Hand segmentation for contactless palmprint recognition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 902-912
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-41404-7_64	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 Ito Koichi, Suzuki Yusei, Kawai Hiroya, Aoki Takafumi, Fujio Masakazu, Kaga Yosuke, Takahashi Kenta	4. 巻 11
2. 論文標題 HandSegNet: Hand segmentation using convolutional neural network for contactless palmprint recognition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IET Biometrics	6. 最初と最後の頁 109 ~ 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/bme2.12058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Ito	4. 巻 -
2. 論文標題 A comprehensive study of face recognition using deep learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference	6. 最初と最後の頁 1762-1768
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 Hiroya Kawai	4. 巻 -
2. 論文標題 Is CNN really looking at your face?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of Asian Conference on Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 1-14
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 該当する

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Ai Takahashi
2. 発表標題 Fingerprint feature extraction by combining texture, minutiae, and frequency spectrum using multi-task CNN
3. 学会等名 International Joint Conference on Biometrics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koichi Ito
2. 発表標題 Performance evaluation of face anti-spoofing method using deep metric learning from a few frames of face video
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋愛
2. 発表標題 CNN を用いた指紋特徴抽出に関する検討,
3. 学会等名 第23回画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村朝輝
2. 発表標題 少数フレームの顔動画像を用いたなりすまし検知手法の検討
3. 学会等名 第23回画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋愛
2. 発表標題 アテンション機構を備えた CNN を用いた指紋特徴抽出に関する検討
3. 学会等名 第10回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木優聖
2. 発表標題 非接触掌紋認証のための指の間の特徴点検出に関する検討
3. 学会等名 第10回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神津岳志
2. 発表標題 プライバシー保護を備えた顔認証のためのCNNを用いたステガノグラフィに関する検討
3. 学会等名 第10回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroya Kawai
2. 発表標題 Merged multi-CNN with parameter reduction for face attribute estimation
3. 学会等名 International Conference on Biometrics (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Yoshinori Koda
2. 発表標題 Development of 2,400ppi fingerprint sensor for capturing neonate fingerprint within 24 hours after birth
3. 学会等名 International Conference of the Biometrics Special Interest Group (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ai Takahashi
2. 発表標題 Domain transformation of fingerprint images using CycleGAN
3. 学会等名 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichi Ito
2. 発表標題 Attribute estimation using multi-CNNs from hand images
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusei Suzuki
2. 発表標題 Hand segmentation for contactless palmpoint recognition
3. 学会等名 Asian Conference on Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村朝輝
2. 発表標題 顔認証のための3D CNNを用いたなりすまし検知に関する検討
3. 学会等名 第9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 流石凧彩
2. 発表標題 周波数特性に基づくアテンション機構を用いた指紋認証に関する検討
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神津岳志
2. 発表標題 ステガノグラフィを用いたプライバシー保護顔認証とその安全性評価
3. 学会等名 第24回 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 流石凧彩
2. 発表標題 周波数特性を用いた指紋認証に関する検討
3. 学会等名 映像情報メディア学会メディア工学研究会サマーセミナー2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊浩太
2. 発表標題 テクスチャとデプス特徴に基づく顔なりすまし攻撃検知手法とその評価
3. 学会等名 映像情報メディア学会メディア工学研究会サマーセミナー2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊浩太
2. 発表標題 Vision Transformerを用いた顔なりすまし攻撃検知に関する検討
3. 学会等名 第11回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 流石凧彩
2. 発表標題 アテンション機構を用いた指紋認証に関する検討
3. 学会等名 第11回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川上庄慶
2. 発表標題 深層学習を用いた眼周囲認証に関する検討
3. 学会等名 第11回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神津岳志
2. 発表標題 ステガノグラフィを用いたプライバシー保護顔認証に関する検討
3. 学会等名 第11回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroya Kawai
2. 発表標題 Is CNN really looking at your face?
3. 学会等名 Asian Conference on Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koichi Ito
2. 発表標題 A comprehensive study of face recognition using deep learning
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (国際学会)
4. 発表年 2021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
研究 分担者	青木 孝文  (Aoki Takafumi)  (80241529)	東北大学・情報科学研究科・教授   (11301)	

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			
その他の国・地域	台湾国立精華大学			