

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03253

研究課題名（和文）位相情報に基づく多次元信号の超高精度対応付け技術の体系化と応用展開

研究課題名（英文）Development and Applications of Extremely Accurate Correspondence Techniques for Multidimensional Signals Based on Phase Information

研究代表者

青木 孝文（Aoki, Takafumi）

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：80241529

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、画像をフーリエ変換して得られる位相情報に基づいて「多重解像度表現された局所位相特徴に基づく多次元信号の高精度対応付け」を基盤とする汎用的な画像対応付けアルゴリズム群を開発した。生体認証、多視点ステレオ、レーダグラメトリ、医用画像解析に関する戦略的な応用研究を行って、位相情報に基づく画像対応付けアルゴリズムの有効性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、画像マッチングにおける位相情報の有用性を世界に先駆けて着目した。画像中の局所ブロックから得られる位相情報を局所特徴記述子として扱うことにより、見通しよく多様な用途に本技術を応用できることを見だし、幅広い応用指向の研究を展開した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a set of general-purpose image correspondence algorithms based on "high-accuracy correspondence of multidimensional signals based on local phase features represented in multiple resolutions." Through strategic application researches on biometrics, multi-view stereo 3D reconstruction, radar grammetry, and medical image analysis, we have demonstrated the effectiveness of phase-based image correspondence algorithms.

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 デジタル信号処理 画像照合 位相限定相関法 計算機システム

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

画像マッチング(画像の対応付け)は、画像計測、映像信号処理、コンピュータビジョンなどの分野で重要になる基本処理である。本研究グループでは、位相情報を用いてサブピクセル精度(0.1~0.01ピクセル精度)の対応付けを実現する超解像画像対応付け技術「位相限定相関法」を開発してきた。すでに、多数の企業、大学、研究機関との共同研究を通して、指紋照合システム、スマートフォン掌紋認証アプリ、産業用画像認識システム、製本検査装置、透過型電子顕微鏡オートフォーカス装置、レーザースペックル計測システム、デジカメによる3次元形状モデル生成技術等を実用化してきた。また、医用画像解析やレーダグラメトリ等の新領域を含めて広範な研究開発を進めている。しかし、位相の取り扱いに独特の『ノウハウ』があることや、公開ライブラリが未整備であることなどが普及の妨げとなってきた。本研究ではこれを解決し、研究者コミュニティへの技術展開を図る。

2. 研究の目的

本研究課題では、以下の2項目を目的とする。

- (1) 『多重解像度表現された局所位相特徴に基づく多次元信号の高精度対応付け』に関する基本アルゴリズム群を新たに構成し、汎用性の高い方法論を確立する。さらに、これに基づき分野横断的に利用可能なソフトウェアライブラリを整備するとともに、GPUやFPGA等を用いて実現されるメニーコアアーキテクチャへの実装についても検討する。
- (2) 前項基本アルゴリズムに基づき、生体認証、多視点ステレオ画像計測、レーダグラメトリ、医用画像解析に関する戦略的応用研究を行い、有効性を実証する。

3. 研究の方法

多重解像度表現された局所位相特徴に基づく1次元~3次元信号の高精度対応付け手法を体系化し、基本アルゴリズムとそのソフトウェアライブラリを整備する。その際に、GPUやFPGAなどを用いたメニーコアアーキテクチャへの実装についても検討する。これに基づきその分野の戦略的応用研究を行い、有効性を実証する。

- (1) 「基本アルゴリズムの開発」では、以下に示す5種類の基本アルゴリズムを中心に研究開発を行う。
 - 「多次元信号から多重解像度表現された局所位相特徴を抽出するアルゴリズム」では、信号の多重解像度表現を生成し、スケールの異なるブロックごとに位相記述子を抽出するアルゴリズムを開発する。
 - 「局所位相特徴に基づいて多次元信号の超解像対応付けを行うアルゴリズム」では、位相記述子からブロック相関を計算、モデルあてはめにより信号を超高精度に対応付けるアルゴリズムを開発する。
 - 「局所位相特徴に基づいて多次元信号の類似度を評価するアルゴリズム」では、位相記述子からブロック相関を計算、多様な評価関数により統合し信号の類似度を計算するアルゴリズムを開発する。
 - 「Convolutional Sparse Coding (CSC) により局所位相特徴を符号化するアルゴリズム」では、局所位相特徴を畳み込みスパースコーディングによってコンパクトに表現(位相辞書)するアルゴリズムを開発する。
 - 「符号化された局所位相特徴を用いて位相限定相関関数を高速計算するアルゴリズム」では、畳み込みスパースコーディングで生成された位相辞書を用いて1対N照合を高速計算するアルゴリズムを開発する。
- (2) 「基本ライブラリ開発」では、メニーコア実装を検討するとともに、開発ソフトウェアは可能な限り公開する。
- (3) 「戦略的応用研究の実施」では、上記の基本アルゴリズムに基づいて以下の実証研究を推進する。
 - 生体認証「モダリティに依存しない汎用生体画像照合による高信頼個人認証技術の確立」では、掌紋、手のひら静脈、指関節紋(FKP)、眼周囲(Ocular)領域等に対して汎用的に適用可能で、世界最高水準の認証性能を発揮する生体認証技術を確立する。さらに、マルチモーダル生体認証、大規模1対N認証のためのテンプレート符号化、なりすまし検知、テンプレート保護等の手法を開発する。死後CT等を用いた法医学的個人識別への適用も検討する。
 - 多視点ステレオ「極めて高いロバスト性を有する多視点ステレオ画像計測技術の確立」では、位相情報を用いた場合の弱点である、低品質画像に対する計測精度劣化への

対策を検討し、精度とロバスト性の両面から真に世界最高水準の技術を確立する。そのために多視点 PatchMatch ステレオや CNN (Convolutional Neural Network) によるデプスマップ推定などとの統合を試みる。文化財アーカイブ、ドローン測量、ロボットビジョン等の応用で実証する。

レーダグラメトリ「航空機搭載合成開口レーダ(SAR)向け高精度画像計測技術の確立」では、干渉 SAR 観測系において、ステレオアンテナの受信波形を超解像対応付けすることによって、シングルパスでの地表3次元計測が可能であることを初めて実証する。さらに、これをバンドル調整に基づくマルチパス3次元計測、さらには、干渉 SAR インターフェロメトリと統合することによって世界初の複合レーダグラメトリ技術を確立し、その有効性を実証する。

医用画像解析「超音波画像 MRI 画像を含む医療用多次元画像の高精度解析技術の確立」では、医療用超音波画像に関しては、ナビゲーションカメラを用いた高精度3次元再構成技術を確立する。一方、脳 MRI 画像に関しては、ボリュームデータの対応付けに基づく脳形態変化推定技術を世界に先駆けて確立し、大規模脳画像データベースを用いて有効性を実証する。アルツハイマー病などの脳疾患の早期発見・診断支援への適用可能性を検討する。

4. 研究成果

本研究代表者は、画像マッチングにおける位相情報の有用性に世界に先駆けて着目し、「位相限定相関法 (Phase-Only Correlation)」の基本技術を開拓してきた。特に、本研究課題を通して、画像中の局所ブロックの位相配列を量子化し、「特徴記述子」として扱うことにより、見通しよく多様な用途に技術を応用できることを見だし、幅広い応用指向の研究を展開してきた。これらの応用研究では、位相情報をもたらす高い精度を武器としつつ、応用ドメインごとに、信号処理や、機械学習、パターン認識、多視点幾何などの多様な手法を複合的に活用できる見通しが得られた。また、1カ月平均10社程度の企業・研究機関などから訪問を受けたり、2020年からはオンラインでの研究相談を受けたりして、多様な領域の画像ソリューションに取り組んだ。

本研究成果の特筆すべき特長として、その適用範囲の広さがあげられる。生体認証への応用では、新生児指紋認証、顔属性推定、非接触掌紋認証に必要となる各種手法を開発した。多視点ステレオへの応用では、商用ソフトを超える精度で3次元復元可能な多視点ステレオアルゴリズムを提案した。レーダグラメトリへの応用では、航空機合成開口レーダで取得された画像から高精度に地表面の3次元形状を計測するアルゴリズムや地震による地表変動を検出するアルゴリズムを提案した。医療用画像解析への応用では、脳 MRI 画像および超音波画像のための解析アルゴリズムを提案した。

今後は、本研究成果に基づいて、位相限定相関法の原理を整理・体系化して、基本アルゴリズムのライブラリを公開し、国際的な普及を推進することを検討する。例えば、位相限定相関法は、生体テクスチャを用いるほとんどの生体認証に適用でき、最高水準の認証性能を発揮することが知られており、モダリティごとにアドホックに設計された各種の専用特徴量を代替可能である。さらに、本研究課題を通して、畳み込みニューラルネットワークのフレームワークの中で、位相特徴のメリットを活用できる見通しが得られている。これが可能になれば、この方法論のみで、ほとんどの生体認証の問題をカバーできる可能性があり、世界の研究を大きくリードできると考えられる。また、本研究において行った各種応用研究を拡張するとともに、戦略的に展開する予定である。その結果を理論・アルゴリズムの研究にフィードバックすることで、さらなる研究の深化、新概念・新技術の創出が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Masaru Ueda	4. 巻 -
2. 論文標題 An age estimation method using 3D-CNN from brain MRI images	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Biomedical Imaging	6. 最初と最後の頁 380-383
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ISBI.2019.8759392	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 Haruki Imai	4. 巻 -
2. 論文標題 A method for observing seismic ground deformation from airborne SAR images	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	6. 最初と最後の頁 1506-1509
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IGARSS.2019.8900352	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 Performance evaluation of face attribute estimation method using DendroNet	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 186-187
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/GCCE46687.2019.9015613	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 Takayoshi Ono	4. 巻 -
2. 論文標題 Parallel implementation of motif-based clustering for HT-SELEX dataset	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering	6. 最初と最後の頁 50-55
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/BIBE.2019.00018	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 Ville Yli-Maeyry	4. 巻 61
2. 論文標題 Statistical Test Methodology for Evaluating Electromagnetic Information Leakage From Mobile Touchscreen Devices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility	6. 最初と最後の頁 1107-1114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TEMC.2018.2866553	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 Koichi Ito	4. 巻 -
2. 論文標題 Towards on-board elevation measurement using interferometry and radargrammetry from single-pass SAR images	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	6. 最初と最後の頁 5816-5819
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IGARSS.2018.8517651	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 Kouya Yodokawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Outlier and artifact removal filters for multi-view stereo	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Image Processing	6. 最初と最後の頁 3638-3642
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICIP.2018.8451348	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 Koichi Ito	4. 巻 -
2. 論文標題 Age and gender prediction from face images using convolutional neural network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conf.	6. 最初と最後の頁 7-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/APSIPA.2018.8659655	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19件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Masaru Ueda
2. 発表標題 An age estimation method using 3D-CNN from brain MRI images
3. 学会等名 International Symposium on Biomedical Imaging (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruki Imai
2. 発表標題 A method for observing seismic ground deformation from airborne SAR images
3. 学会等名 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroya Kawai
2. 発表標題 Performance evaluation of face attribute estimation method using DendroNet
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 Takayoshi Ono
2. 発表標題 Parallel implementation of motif-based clustering for HT-SELEX dataset
3. 学会等名 IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河合洋弥
2. 発表標題 顔属性推定のためのMerged Multi-CNNとその効率化に関する検討
3. 学会等名 第22回画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤隆史
2. 発表標題 PM-MVSを用いた高精度3次元復元とその性能評価
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
4. 発表年 2019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CNNを用いた手のセグメンテーションに関する検討
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 Koichi Ito
2. 発表標題 Towards on-board elevation measurement using interferometry and radargrammetry from single-pass SAR images
3. 学会等名 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kouya Yodokawa
2. 発表標題 Outlier and artifact removal filters for multi-view stereo
3. 学会等名 2018 IEEE International Conference on Image Processing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichi Ito
2. 発表標題 Age and gender prediction from face images using convolutional neural network
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conf. 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河合 洋弥
2. 発表標題 Deep Multi-Task Learningを用いた顔画像からの年齢・性別推定手法の検討
3. 学会等名 第24回画像センシングシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 畑 淳一
2. 発表標題 PMVS を用いた少ない視点画像からの 3 次元復元に関する検討
3. 学会等名 第21回画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 淀川 滉也
2. 発表標題 多視点ステレオのためのアウトライア・アーチファクト除去手法の検討
3. 学会等名 第21回画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡野 健久
2. 発表標題 ディープラーニングを用いた手の位置・姿勢推定と個人認証への応用に関する検討
3. 学会等名 第21回画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野 貴義
2. 発表標題 大量核酸配列データの高速クラスタリング手法とその性能評価
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2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 遠藤 空
2. 発表標題 数論変換に基づく格子暗号の高効率実装
3. 学会等名 ハードウェアセキュリティ夏のワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今井 陽稀
2. 発表標題 航空機SAR画像を用いた地震による地表変動の観測に関する検討
3. 学会等名 第64回日本リモートセンシング学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 幸田 芳紀
2. 発表標題 新生児指紋画像の品質改善に関する考察
3. 学会等名 第8回バイオメトリクスと認証・認識シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 愛
2. 発表標題 CycleGAN を用いた指紋画像のドメイン変換に関する検討
3. 学会等名 第8回バイオメトリクスと認証・認識シンポジウム
4. 発表年 2018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	本間 尚文 (Homma Naofumi) (00343062)	東北大学・電気通信研究所・教授 (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	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	伊藤 康一 (Ito Koichi) (70400299)	東北大学・情報科学研究科・准教授 (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