

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02721

研究課題名(和文) 局所位相配列を特徴記述子として用いた高精度画像マッチング技術の体系化

研究課題名(英文) Development of High-Accuracy Image Matching Techniques Using Feature Descriptors Based on Local Phase Array

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) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、画像をフーリエ変換して得られる位相情報に着目した新しい特徴量である局所位相配列と各種高精度化手法を開発した。生体画像のロバスト照合、多視点ステレオ画像計測、高速・高精度マシンビジョン、航空機合成開口レーダ向け画像計測、医療用多次元画像解析に応用するとともに、汎用GPUやFPGAへのアルゴリズム実装も検討した。これらの応用研究を通して画像マッチングにおける局所位相配列の有効性を実証した。

研究成果の概要(英文)：This project developed a new feature descriptor called local phase array, which is defined by phase information of Fourier transform of given images, and its advanced techniques. We applied developed techniques to a wide range of applications such as robust matching of biometric images, multi-view stereo image measurement, fast and high-accuracy machine vision, image measurement for airborne SAR images and medical volume data analysis. We also implemented developed methods on GPUs and FPGAs. We demonstrated the effectiveness of local phase array through its practical applications.

研究分野：計算機科学

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

1. 研究開始当初の背景

画像マッチングは、画像計測、映像信号処理、画像認識、コンピュータビジョンなどの各種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の対応付けを実現する超高精度画像マッチング技術「位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC)」に関する研究を行ってきた。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ケーション、産業用超高速画像認識システム、画像による製本検査装置、透過型電子顕微鏡 (TEM) のための世界初オートフォーカスシステム、レーザースペックル計測による材料強度試験装置、デジタルカメラ画像からの3次元形状モデル生成技術などを実用化している。また、医用画像解析や法医学的個人識別、航空機搭載合成開口レーダの観測データからの地表面3次元再構成などの新領域を含め、広範な分野の研究開発を進めている。なお、これらの応用では、画像の局所位相情報の活用によって実現されるサブピクセル (0.1~0.01 ピクセル) 分解能のロバストな画像マッチング技術が基盤となっている。我々は、位相情報を利用する画像解析・画像処理に関する研究チームとして、世界をリードする位置付けにある。また、広範な応用を通して技術の有効性を実証してきた。しかし、位相の取り扱いに独特の『ノウハウ』があるために、信号処理の知識に乏しい研究者にとって、ハードルが高いという弱点が存在した。本研究では、画像の局所位相配列を特徴記述子という形で抽象化することによって、一般の研究者・技術者にとって理解しやすいマッチングアルゴリズムを構成する。また、戦略的にターゲットを絞った応用展開を通して有効性の実証と国際的な普及を図る。

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) 画像マッチングの目的として、「(A) 画像の対応付け (対応点の探索)」および「(B) 画像の照合 (類似度の評価)」の2種類を取り上げる。それぞれの目的ごとに、局所位相配列を画像の特徴記述子として用いた新たな基本マッチングアルゴリズム (A-1) 局所位相配列を用いた高精度対応付けアルゴリズム、(A-2) 位相限定相関関数 (局所位相配列の逆変換) の累積・統合に基づく多視点画像の高精度対応付けアルゴリズム、(A-3) 画像変形 (領域ごとの射影/アフィン/相似変換) に対してロバストな高精度対応付けアルゴリズム、(B-1) 局所位相配列を記述子とする画像照合アルゴリズム、(B-2) 位相角の量子化ならびに次元圧縮によって軽量化された局所位相配列

による画像照合アルゴリズムを開発する。

- (2) 前項(1)で体系化された基本技術に基づき、「生体画像のロバスト照合による高信頼個人認証技術」、「能動型計測に匹敵する精度を有する多視点ステレオ画像計測技術」、「高速・高精度マシンビジョン技術」、「航空機搭載合成開口レーダ向け高精度画像計測技術」、「医療用多次元画像解析技術」に関して実用化研究を推進する。
- (3) 位相限定相関法は2次元フーリエ変換の計算量のために用途が制限されてきた。そこで、局所位相配列の高速評価・照合手法を開発する。また、マルチコア/メニーコアプロセッサをターゲットにしたソフトウェアライブラリを構築し、研究成果の早期実用化を推進する。

3. 研究の方法

- (1) 5つの基本アルゴリズム(A-1)~(B-2)を開発する。

(A-1) 「局所位相配列を用いた高精度対応付けアルゴリズム」は、すべての基本となるアルゴリズムであり、多重解像度表現された局所位相配列を用いて、2枚の画像の高密度な対応点をサブピクセル分解能で計算する。なお、このアルゴリズム自体は、N次元信号 (N=1, 2, 3) を対象として記述する。1次元の場合の応用例は「波形」の対応付けであり、2次元の場合は「画像」の対応付け、3次元の場合は「ボリュウムデータ」の対応付けである。

(A-2) 「位相限定相関関数の累積・統合に基づく多視点画像の高精度対応付けアルゴリズム」は、多視点画像が与えられたときに、カメラパラメータの推定を行った上で、全カメラペアについて正規化視差に基づく位相限定相関関数の重畳を行い、高密度かつ高精度な対応点を求めるアルゴリズムである (位相限定相関関数は、2つの局所位相配列の差の逆フーリエ変換で定義される)。物体の高密度3次元復元などの応用がある。位相を用いた場合、異なる波長域で撮影された画像など、モダリティの異なる画像の対応付けも可能である。

(A-3) 「画像変形に対してロバストな高精度対応付けアルゴリズム」は、(A-1)を局所的な画像変形 (領域ごとの射影/アフィン/相似変換) と組み合わせて適用する。なお、グローバルな変形については、SIFT等による疎な対応点から初期推定を行うこともできる。

(B-1)「局所位相配列を記述子とする画像照合アルゴリズム」は、(A-1)を基本とするが、対応点の位置精度を追及するのではなく、類似度の評価を目的とする。位相限定相関法のこれまでの成果から、テキストチャ画像の識別性能は極めて高いと推察される。局所位相配列は、ほぼすべてのモダリティで世界最高水準の性能を達成するバイオメトリクス（および人工物メトリクス）の統一的特徴記述子として広く活用されるものと期待される。

(B-2)「位相角の量子化ならびに次元圧縮によって軽量化された局所位相配列による画像照合アルゴリズム」は、局所位相配列に対してパターン認識の各種手法を適用することによって、高速・高精度でかつ汎用的な1対Nの照合を実現するものである。

- (2) 前項の基本アルゴリズムに基づき、次の5つのテーマに関して戦略的な応用研究を行う。

生体画像のロバスト照合による高信頼個人認証技術

局所位相配列による画像照合アルゴリズム(B-1)と(B-2)を基本にした高精度なバイオメトリクス認証技術を確立し、各種のモダリティに関して世界最高水準の性能を目指す。

能動型計測に匹敵する精度を有する多視点ステレオ画像計測技術

局所位相配列によるサブピクセル画像対応付けアルゴリズム(A-1)～(A-3)を基本にした高精度多視点ステレオ画像計測技術を確立し、能動型計測に匹敵する計測精度を目指す。

高速・高精度マシンビジョン技術

アルゴリズム(A-1)および(A-3)に基づき、大域的画像変換（剛体、相似、アフィン、射影、非線形変換等）については、そのパラメータを高精度に推定することができる。工業部品の欠陥検査や生産工程の自動化のための画像認識に本技術を適用する。

航空機搭載合成開口レーダ向け高精度画像計測技術

合成開口レーダに対して、最新のコンピュータビジョンの方法論を適用する試みを世界に先駆けて実施する。レーダ画像化プロセスを数学的にモデル化することによって、その内部・外部パラメータをバンドル調整によって推定し、複数観測データを(A-1)～(A-3)で対応付けることで、高精度に観測対象の3次元形

状を再構成する。

医療用多次元画像解析技術

アルゴリズム(A-1)～(A-3)を多次元拡張して医療用画像解析に適用することで、新たなデータ可視化や異なるモダリティ間のデータフュージョンが可能となる。また、アルゴリズム(B-1)と(B-2)により医用ボリュームに基づく個体識別を実現することができる。

- (3) これまで、位相限定相関法は、2次元フーリエ変換の計算量のために用途が制限されるという問題があった。そこで、局所位相配列の量子化・次元圧縮等によって計算量の削減を図り、5つの基本マッチングアルゴリズム(A-1)～(B-2)を大幅に高速化する。さらに、GPU (Graphics Processing Unit) をターゲットにしたソフトウェアライブラリ (OpenCL による) を構築するとともに、MATLAB からのコード生成環境についても検討する。また、必要に応じて、CPU/GPU ヘテロジニアス環境を想定した実装技術 (OpenACC による) や、場合によっては、FPGA (Field-Programmable Gate Array) および ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等をターゲットにしたシステムの高水準合成環境についても導入を検討し、研究成果の早期実用化を推進する。

4. 研究成果

従来の画像センシング・処理技術は、用途に応じてケースバイケースの手法を適用するケースが多かった。一方、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する超高精度画像マッチング技術（位相限定相関法）は、画像処理・画像認識・コンピュータビジョンの広範な用途に適用できる基盤技術であることが本研究を通して実証された。本研究グループは、位相情報を利用する画像解析・画像処理技術に関する研究チームとして、世界をリードする位置付けにあり、研究代表者の青木の研究業績に対して著名な映像情報メディア学会丹羽高柳賞（2015年）ほか多数の賞が授与された。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、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。バイオメトリクス認証への応用では、ドアレバーにカメラを取り付け、指関節紋を使って個人認証を行うシステムを開発した。多視点ステレオ画像計測への応用では、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マッチングアルゴリズムを提案した。マシンビジョンへの応用では、生産工程の自動化で必須となる各種画像マッチング手法を開発した。合成

開口レーダ向け画像計測技術への応用では、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を提案した。医療用多次元画像解析への応用では、複数のモダリティで撮影された医用画像を融合する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。さらに、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

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 7 件)

Koichi Ito and Takafumi Aoki, "Recent advances in biometric recognition," ITE Transactions on Media Technology and Applications, 査読有, 6, 2018, 64-80

<https://doi.org/10.3169/mta.6.64>

伊藤康一, 岡野健久, 青木孝文, "畳み込みニューラルネットワークを用いた生体検知手法," 電子情報通信学会論文誌 A, 査読有, J100-A, 2017, 455-464
https://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j100-a_12_455

Rei Ueno, Naofumi Homma and Takafumi Aoki, "Automatic Generation System for Multiple-Valued Galois-Field Parallel Multipliers," IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, E100-D, 2017, 1603-1610

<https://doi.org/10.1587/transinf.2016LOP0010>

Daichi Kusanagi, Shoichiro Aoyama, Koichi Ito and Takafumi Aoki, "A practical person authentication system using second minor finger knuckles for door security," IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, 査読有, 9, 2017, 1-13
<https://doi.org/10.1186/s41074-017-0016-5>

Koichi Ito, Kazumasa Noro, Yukari Yanagisawa, Maya Sakamoto, Shiro Mori, Kiyoto Shiga, Tetsuya Kodama and Takafumi Aoki, "A high-accuracy ultrasound contrast agent detection method for diagnostic ultrasound imaging systems," Ultrasound in

Medicine & Biology, 査読有, 41, 2015, 3120-3130

<https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2015.07.032>

Shuji Sakai, Koichi Ito, Takafumi Aoki, Takafumi Watanabe and Hiroki Unten, "Phase-based window matching with geometric correction for multi-view stereo," IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, E98-D, 2015, 1818-1828

<https://doi.org/10.1587/transinf.2014EDP7409>

佐藤拓社, 青山章一郎, 酒井修二, 遊佐秀作, 伊藤康一, 青木孝文, "回折格子レーザによる能動型3次元計測を用いた幾何補正手法と掌紋認証への応用," 映像情報メディア学会誌, 査読有, 69, 2015, J261-J270

<https://doi.org/10.3169/itej.69.J261>

[学会発表](計 14 件)

Koichi Ito, Takehisa Okano and Takafumi Aoki, "Recent advances in biometric security: A case study of liveness detection in face recognition," APSIPA Annual Summit and Conference 2017, 2017

Shota Hishinuma, Koichi Ito, Takafumi Aoki, Jyunpei Uemoto and Seiho Uratsuka, "Elevation measurement from single-pass SAR images," 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2017

Koichi Ito and Takafumi Aoki, "A score calculation method using positional information of feature points for biometric authentication," 23rd International Conference on Pattern Recognition, 2016

Shuya Ito, Koichi Ito, Takafumi Aoki and Masaru Tsuchida, "A 3D reconstruction method with color reproduction from multi-band and multi-view images," Asian Conference on Computer Vision Workshops 2016, 2016

Rei Ueno, Yukihiro Sugawara, Naofumi Homma and Takafumi Aoki, "Formal Design of Pipelined GF Arithmetic Circuits and Its Application to Cryptographic Processors," IEEE 46th International Symposium on Multiple-Valued Logic, 2016

Koichi Ito, Kazumasa Noro and Takafumi Aoki, "An adherent raindrop detection method using MSER," APSIPA

Annual Summit and Conference 2015, 2015
Daichi Kusanagi, Shoichiro Aoyama, Koichi Ito and Takafumi Aoki, "A person authentication system using second minor finger knuckles for door handle," 3rd Asian Conference on Pattern Recognition, 2015
Mutsuki Hiradate, Koichi Ito, Takafumi Aoki, Takafumi Watanabe and Hiroki Unten, "An extension of PatchMatch stereo for 3D reconstruction from multi-view images," 3rd Asian Conference on Pattern Recognition, 2015
Daiki Maruki, Shuji Sakai, Koichi Ito, Takafumi Aoki, Jyunpei Uemoto and Seiho Uratsuka, "Stereo radargrammetry using airborne SAR images without GCP," IEEE International Conference on Image Processing 2015, 2015
Luis Rafael Marval Perez, Shoichiro Aoyama, Koichi Ito and Takafumi Aoki, "Score level fusion of multibiometrics using local phase array," Pacific-Rim Conference on Multimedia 2015, 2015
Daiki Maruki, Shuji Sakai, Koichi Ito, Takafumi Aoki, Jyunpei Uemoto and Seiho Uratsuka, "Stereo radargrammetry using Airborne SAR images with parameter optimization," Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar 2015, 2015
Shunsuke Tatsumi, Masanori Hariyama, Mamoru Miura, Koichi Ito, Takafumi Aoki, "OpenCL-based design of an FPGA accelerator for phase-based correspondence matching," 21st International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 2015
Yukihiro Sugawara, Rei Ueno, Naofumi Homma and Takafumi Aoki, "System for Automatic Generation of Parallel Multipliers over Galois Fields," IEEE 45th International Symposium on Multiple-Valued Logic, 2015
Koichi Ito, Takuto Sato, Shoichiro Aoyama, Shuji Sakai, Shusaku Yusa and Takafumi Aoki, "Palm region extraction for contactless palmprint recognition," International Conference on Biometrics 2015, 2015

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 孝文 (AOKI, TAKAFUMI)
東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：80241529

(2) 研究分担者

本間 尚文 (HOMMA, NAOFUMI)
東北大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号：00343062

伊藤 康一 (ITO, KOICHI)
東北大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：70400299

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()