

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300067

研究課題名(和文)位相情報に基づく高精度画像マッチング技術の体系化とその応用

研究課題名(英文)Development of High-Accuracy Image Matching Technology Using Phase Information and Its Applications

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) 13,800,000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超高精度画像マッチング技術(位相限定相関法)の基本アルゴリズムおよび各種高精度化手法を開発した。3次元計測、映像信号処理、マシビジョン、バイオメトリクス、医用画像解析の5分野における戦略的な応用研究を推進するとともに、早期実用化に向けて最新の汎用GPUを活用したアルゴリズムの実装も検討した。これらの応用研究を通して、開発した技術の有効性を実証した。

研究成果の概要(英文)：This project developed fundamental and advanced techniques of Phase-Only Correlation (POC), which is a high-accuracy image matching technique using phase information of Fourier Transform of given images. We applied the developed POC techniques to a wide range of applications, including 3D measurement, video/image processing, machine vision, biometrics and medical image analysis. We also considered the implementation of their algorithms using the state-of-the-art GPUs toward the practical use of the developed techniques. We demonstrated effectiveness of the developed techniques through their practical applications.

研究分野：計算機科学

キーワード：画像、文書、音声等認識、デジタル信号処理、位相限定相関法、計算機システム、3次元計測、バイオメトリクス、画像レジストレーション、VLSI設計

1. 研究開始当初の背景

高精度な画像マッチングは、画像センシング、映像信号処理、コンピュータビジョンなどのさまざまな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)」に関する研究開発を行ってきた。すでに、多数の企業との共同研究を通して、広範な分野の研究開発を進めている。これらの応用では、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) 分解能のロバスト画像マッチング技術が基盤となっている。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る。現在は、これまでに培ってきた技術を広範な応用に展開し、実用化実績を積み上げる『収穫の時期』に差しかかっている。本研究では、この実用化実績を基礎理論にフィードバックすることによって、さらなる学術的な深化を狙う。

2. 研究の目的

研究目的は、以下の3項目である。

- (1) 位相限定相関法に基づく高精度画像対応付け (対応点の探索) のための基本技術およびロバスト画像照合 (画像の類似度の評価) のための基本技術を体系的に整理し、用途ごとにカスタマイズ可能な汎用ソフトウェアライブラリを構築する。
- (2) 上記ソフトウェアライブラリに基づき、3次元計測、映像信号処理、マシンビジョン、バイオメトリクス、医用画像解析の5分野における戦略的な応用研究を推進する。
- (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その用途が制限されるという問題があった。そこで、最新の汎用GPUを活用したアルゴリズムの実装についても検討し、研究成果の早期実用化を推進する。

3. 研究の方法

- (1) 位相限定相関法による画像マッチングの目的は、「画像対応付け」(対応点の探索) と「画像照合」(画像の類似度の評価) に大別される。これまでに研究を行ってきた基本アルゴリズムを体系的に整理するとともに、以下に示す基本アルゴリズムを新たに開発する。
 - (A) 高精度画像対応付け (対応点の探索) のための基本技術
 - (A-1) N次元信号 (N=1, 2, 3) を対象とする汎用高精度対応付けアルゴリズム

(A-2) エックス線画像 (透視画像) に特化した高精度対応付けアルゴリズム

(A-3) 複数の異なる視点・異なるモダリティの画像を対象とする高精度対応付けアルゴリズム

(B) ロバスト画像照合 (画像の類似度の評価) のための基本技術

(B-1) 局所位相記述子を用いた汎用画像照合アルゴリズム

(B-2) 医用ボリュームデータに特化した個体識別アルゴリズム

これらを合わせて用途ごとにカスタマイズ可能な汎用ソフトウェアライブラリを構築する。

- (2) 前項 (1) で体系化された基本技術に基づき、次の主要5テーマに関して実用化研究を推進する。

【能動型計測に匹敵する精度を有する受動型3次元計測技術の研究開発】

これまでの研究で、2視点あるいは多視点ステレオと位相限定相関法によるサブピクセル対応点探索を組み合わせた高精度な受動型3次元計測システムの開発に成功しており、能動型計測に匹敵する計測精度を達成している。アルゴリズム (A-3) はその延長線上の有力な拡張である。移動体向け画像計測、ヒューマンインタフェース、人体の3次元計測、文化財の高忠実アーカイブへ本技術を適用する。

【高品質な画像・映像の生成・処理・提示技術の研究開発】

位相限定相関法に基づくサブピクセル画像対応点探索手法により、極めて精密な動き推定が可能であることが明らかになりつつある。SIFTなどとの組み合わせによりロバストな画像対応付けを実現する手法を開発し、任意視点映像生成、環境適応型映像プロジェクションに適用する。

【高速・高精度マシンビジョン技術の研究開発】

位相限定相関法に基づくサブピクセル画像対応点探索手法により、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とともに、GPU等による大幅な高速化も含め、工業市場向け超高速画像認識、工業部品の多視点画像検査へ応用する。

【バイオメトリクスデータのロバスト照合による高信頼個人認証技術の研究開発】

局所位相記述子による汎用画像照合アルゴリズム(B-2)を基本にした高精度なバイオメトリクス認証技術(掌紋照合,虹彩照合,歯科X線画像照合,2次元・3次元ハイブリッド顔照合)の実現を検討し,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.

【医療用多次元画像解析技術の研究開発】

汎用高精度対応付けアルゴリズム(A-1)を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,(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.医用3次元データの高速対応付けと可視化,医用3次元データによる個体識別,超音波画像解析に本技術を応用する.

- (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その用途が制限されるという問題があった.そこで,プログラマブルな汎用GPU(Graphics Processing Unit)をターゲットにしたソフトウェアライブラリ(CUDA,OpenCL,HMPP)およびMATLABからのコード生成環境を構築する.また,それ以外にも,DSP(Digital Signal Processor),FPGA(Field-Programmable Gate Array),また,場合によっては,ASIC(Application Specific Integrated Circuit)など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必要に応じて導入を検討し,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河北文化賞(2013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.研究代表者は,年間10件以上の招待講演をこなしているが,その分野は工学系の学会・会議のみならず,医学・

歯学・法医学に関連する学会・国際会議など極めて多岐にわたった.

今後は,本研究成果に基づいて,位相限定相関法の原理を,パターン認識の観点から整理・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,戦略的に応用研究を行うとともに,その結果を理論・アルゴリズムの研究にフィードバックして,さらなる研究の深化,新概念・新技術の創出が期待されている.

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11件)

和泉圭祐,三浦衛,伊藤康一,青木孝文,基線長が短い車載ステレオカメラのための障害物検出手法,"電子情報通信学会論文誌A,J98-A,165-175,2015,査読有.

http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j98-a_1_165

N. Homma, K. Saito and T. Aoki, "Toward formal design of practical cryptographic hardware based on Galois field arithmetic," IEEE Transactions on Computers, 63, 2604-2613, 2014, 査読有.

<http://dx.doi.org/10.1109/TC.2013.131>

S. Aoyama, K. Ito and T. Aoki, "A finger-knuckle-print recognition algorithm using phase-based local block matching," Information Sciences, 268, 53-64, 2014, 査読有.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2013.08.025>

三浦衛,酒井修二,石井純平,山尾創輔,伊藤康一,青木孝文,"カメラの移動撮影に基づく2視点からの3次元形状計測とその性能評価,"映像情報メディア学会誌,68,J135-J143,2014,査読有.

<http://doi.org/10.3169/itej.68.J135>
K. Ito, A. Suzuki, T. Aoki and R. Tsuneta, "Image-based magnification calibration for electron microscope," Machine Vision and Applications, 25, 185-197, 2014, 査読有.

<http://dx.doi.org/10.1007/s00138-013-0511-3>

M. Tsuchida, S. Sakai, M. Miura, K. Ito, T. Kawanishi, K. Kashino, J. Yamato and T. Aoki, "Stereo one-shot six-band camera system for accurate color reproduction," Journal of Electronic Imaging, 23, 033025-1-033025-12,

September 2013, 査読有.
<http://dx.doi.org/10.1117/1.JEI.22.3.033025>
青山章一郎, 伊藤康一, 青木孝文, "指関節紋画像の変形にロバストな指関節紋認証アルゴリズム," 電子情報通信学会論文誌 A, J96-A, 790-800, 2013, 査読有.
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j96-a_12_790&category=A&year=2013&lang=J&abst=
青山章一郎, 伊藤康一, 青木孝文, 太田陽基, "携帯電話向け非接触掌紋認証アルゴリズム," 電子情報通信学会論文誌 A, J96-A, 250-263, 2013, 査読有.
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j96-a_5_250&category=A&year=2013&lang=J&abst=
Y. Tajima, K. Fudano, K. Ito and T. Aoki, "Fast and robust correspondence matching and its application to volume registration," IEICE Transactions on Information and Systems, E96-D, 826-835, 2013, 査読有.
<http://dx.doi.org/10.1587/transinf.E96.D.826>
酒井修二, 伊藤康一, 青木孝文, 運天弘樹, "基線長変化にロバストなステレオ画像間の高精度対応付け手法," 電子情報通信学会論文誌 D, J95-D, 1609-1622, 2012, 査読有.
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j95-d_8_1609&category=D&year=2012&lang=J&abst=
H. Ota, S. Aoyama, R. Watanabe, K. Ito, Y. Miyake and T. Aoki, "Implementation and evaluation of a remote authentication system using touchless palmprint recognition," Multimedia Systems, 19, 117-129, 2012, 査読有.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00530-012-0283-z>

[学会発表](計 16 件)

S. Yamao, M. Miura, S. Sakai, K. Ito and T. Aoki, "A sequential online 3D reconstruction system using dense stereo matching," IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, January 6, 2015, Waikoloa, HI, USA.
K. Noro, K. Ito, Y. Yanagisawa, M. Sakamoto, S. Mori, K. Shiga, T. Kodama and T. Aoki, "Detecting contrast agents in ultrasound image sequences for tumor diagnosis," APSIPA Annual Summit and Conference, December 11, 2014, Siem Reap, Cambodia.
M. Tsuchida, S. Sakai, K. Ito, K.

Kashino, J. Yamato and T. Aoki, "Efficient POC-based correspondence detection method for multi-channel images," Color and Imaging Conference, November 5, 2014, Boston, MA, USA.
D. Kusanagi, S. Aoyama, K. Ito and T. Aoki, "Multi-finger knuckle recognition from video sequence: Extracting accurate multiple finger knuckle regions," International Joint Conference on Biometrics, October 1, 2014, Clearwater, FL, USA.
V. Roux, S. Aoyama, K. Ito and T. Aoki, "Performance improvement of phase-based correspondence matching for palmprint recognition," IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, June 23, 2014, Columbus, OH, USA.
R. Ueno, K. Okamoto, N. Homma and T. Aoki, "An efficient approach to verifying Galois-field arithmetic circuits of higher degrees and its application to ECC decoders," IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 20, 2014, Bremen, German.
T. Sato, S. Aoyama, S. Sakai, S. Yusa, K. Ito and T. Aoki, "A contactless palm recognition system using simple active 3D measurement with diffraction grating laser," Asian Conference on Pattern Recognition, November 7, 2013, 那覇.
K. Ito, M. Sasaki, T. Aoki, T. Ishigami and A. Nishimura, "Generating robust and stable disparity map using phase-based correspondence matching from stereo video sequence," Asian Conference on Pattern Recognition, November 8, 2013, 那覇.
J. Ishii, S. Sakai, K. Ito, T. Aoki, T. Yanagi and T. Ando, "3D reconstruction of urban environments using in-vehicle fisheye camera," International Conference on Image Processing, September 16, 2013, Melbourne, Australia.
M. Miura, K. Fudano, K. Ito, T. Aoki, H. Takizawa and H. Kobayashi, "Performance evaluation of phase-based correspondence matching on GPUs," SPIE Optics + Photonics 8856, Applications of Digital Image Processing XXXVI, August 28, 2013, San Diego, USA.
Y. Tajima, K. Ito and T. Aoki, "A non-rigid registration method for medical volume data using 3D

phase-only correlation," International Conference on Pattern Recognition, November 12, 2012, つくば.

S. Sakai, K. Ito, T. Aoki, T. Masuda and H. Unten, "An efficient image matching method for multi-view stereo," Asian Conference on Computer Vision, November 9, 2012, Daejeon, Korea.

J. Ishii, S. Sakai, K. Ito and T. Aoki, "Wide-baseline stereo matching using ASIFT and POC," International Conference on Image Processing, October 3, 2012, Orland, FL, USA.

M. Miura, K. Fudano, K. Ito, T. Aoki, H. Takizawa and H. Kobayashi, "GPU implementation of phase-based stereo correspondence and its application," International Conference on Image Processing, October 2, 2012, Orland, FL, USA.

T. Hosoi, S. Nagashima, K. Ito and T. Aoki, "Reconstructing occluded regions using fast weighted PCA," International Conference on Image Processing, October 2, 2012, Orland, FL, USA.

T. Hosoi, S. Nagashima, K. Kobayashi, K. Ito and T. Aoki, "Restoring occluded regions using FW-PCA for face recognition," IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, June 17, 2012, Providence, RI, USA.

〔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：
出願年月日：
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：