

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300059

研究課題名（和文） ピクセル分解能の壁を越える超高精度画像マッチング技術の応用展開
 研究課題名（英文） Applications of High-Accuracy Image Matching Technology Breaking the Limit of Pixel Resolution

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

研究成果の概要（和文）：

本研究課題では、離散フーリエ変換により得られる1次元・2次元・3次元信号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）および各種高精度化手法を開発した。そして、高性能画像センサ、顕微鏡画像解析、受動型3次元計測、車載画像処理、画像ベースヒューマンインタフェース、バイオメトリクス認証、医用画像解析など幅広い応用に適用し、開発した超高精度画像マッチング技術の有効性を実証した。

研究成果の概要（英文）：

In this project, we have developed fundamental techniques of Phase-Only Correlation (POC) --- a technique for high-accuracy registration of 1D, 2D and 3D signals using phase information of discrete Fourier transform. We have also applied the POC techniques to a wide range of applications, including smart image sensors, microscope image analysis, passive 3D vision, automotive image processing, image-based human interface, biometrics authentication, and medical image analysis.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2010 年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2011 年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
年度			
年度			
総計	13,200,000	3,960,000	17,160,000

研究分野：計算機科学

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：(1) 画像，文書，音声等認識，(2) デジタル信号処理，(3) 位相限定相関法，(4) 計算機システム，(5) 3次元計測，(6) バイオメトリクス，(7) 画像レジストレーション，(8) 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。これらの分野では、通常、ピクセル精度

の画像マッチングが用いられることが多いが、近年、サブピクセル級の位置合わせ精度を有する画像マッチングへの要求が高まっている。この要求に応えるべく、本研究グループでは、位相限定相関法（Phase-Only Correlation: POC）と呼ばれる超高精度画像

マッチング技術に関する研究開発を行ってきた。これまでの研究は、位相限定相関法の基本技術の体系化を行うとともに、科学技術計測関連のニッチ領域における実用化を通して、その有効性を部分的に実証するものであったが、現在は、これまでに培ってきた基本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。本研究課題では、このような応用実績を基礎理論にフィードバックし、さらなる学術的な深化をも狙っていく。

2. 研究の目的

研究目的は、以下の3項目である。

- (1) 位相限定相関法による画像マッチングの基本技術を理論的に体系化するとともに、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) 前項で開発された基本技術に基づき、(i) 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、(ii) 高品質な画像・映像の生成・処理・提示技術、(iii) 高精度・高速マシンビジョン技術、(iv) 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、(v) 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) 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DSPをターゲットにしたソフトウェアライブラリおよびMATLABからのコード生成環境を構築し、研究成果の早期実用化を推進する。

3. 研究の方法

- (1) 位相限定相関法の4つの基本技術「大域的画像変換パラメータの高精度推定アルゴリズム」、「サブピクセル対応点探索アルゴリズム」、「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」、「帯域制限型位相限定相関法による画像照合アルゴリズム」、「位相ベースPCA（主成分分析）によるパターン認識アルゴリズム」を理論的に体系化するとともに、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) 前期項目(1)で開発された基本技術に基づき、次の主要5テーマに関する実用化研究を行う。
 - ① 短基線長ステレオビジョンと位相限定相関法のサブピクセル対応点探索を組み合わせた受動型3次元計測システムを開発し、自動車向け画像センシング、ヒューマンインター

フェース、人体の3次元キャプチャ、文化財のアーカイブ化に関する研究を行う。

- ② サブピクセル画像対応点探索手法と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、超解像による映像のフォーマット変換、環境適応型映像プロジェクタ、Web画像検索による仮想画像合成に関する研究を行う。
 - ③ 大域的画像変換（並進、剛体、相似、アフィン、射影、非線形変換等）の高精度推定技術を利用し、電子顕微鏡のための画像解析、工業市場向け超高速画像認識システムに関する研究を行う。
 - ④ 帯域制限型位相限定相関法や位相ベースPCAを開発し、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）ならびに受動型3次元計測に基づく認証技術（2次元・3次元顔照合）に関する研究を行う。
 - ⑤ サブピクセル画像対応点探索手法および高精度・受動型3次元計測を医療用画像解析に適用し、医療用3次元データへの高精細テクスチャマッピング、3次元位相限定相関法と非剛体レジストレーションに関する研究を行う。
- (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DSPをターゲットにしたソフトウェアライブラリおよびMATLABからのコード生成環境を構築し、研究成果の早期実用化を推進する。

4. 研究成果

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実証されつつある。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り、研究代表者の青木の研究業績に対して著名な船井情報科学振興賞（2009年）ほか多数の賞が授与されている。また、1カ月平均20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でいる。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20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ている。今後は、本研究の成果を広範な応用に展開し、さらに実用化実績を積み上げることが期待されている。また、本研究の成果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も期待されている。

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 14 件)

1. T. Sugawara, N. Homma, T. Aoki, and A. Satoh, "High-performance architecture for concurrent error detection for AES processors," IEICE Trans. Fundamentals, E94-A, 1971--1980, 2011, 査読有
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e94-a_10_1971&category=A&year=2011&lang=E&abst=
2. 高橋徹, 三浦衛, 伊藤康一, 青木孝文, "位相限定相関法に基づく高精度ステレオビジョンを用いた投影画像の幾何補正," 電子情報通信学会論文誌 D, J94-D, 1387--1397, 2011, 査読有
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j94-d_8_1387&category=D&year=2011&lang=J&abst=
3. 田島裕一郎, 宮澤一之, 青木孝文, 勝亦敦, 小林孝次, "三次元位相限定相関法に基づく高精度ボリュームレジストレーション," 電子情報通信学会論文誌 D, J94-D, 1398--1409, 2011, 査読有
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j94-d_8_1398&category=D&year=2011&lang=J&abst=
4. A. Miyamoto, N. Homma, T. Aoki, and A. Satoh, "Systematic design of RSA processors based on high-radix Montgomery multipliers," IEEE Trans. Very Large Scale Integration Systems, 19, 1136--1146, 2011, 査読有
10.1109/TVLSI.2010.2049037
5. T. Takahashi, T. Aoki, K. Ito and S. Kondo, "A correspondence search technique for geometric correction of projected images," 映像情報メディア学会誌, 65, 841--845, 2011, 査読有
10.3169/itej.65.841
6. 高橋徹, 川野達也, 伊藤康一, 青木孝文, 近藤敏志, "SIFT と位相限定相関法を用いた高精度画像対応付けに基づくマルチプロジェクタディスプレイの校正手法," 電子情報通信学会論文誌 A, J94-A, 73--84, 2011, 査読有
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j94-a_2_73&category=A&year=2011&lang=J&abst=
7. N. Homma, Y. Baba, A. Miyamoto, and T. Aoki, "Multiple-valued constant-power adder and its application to cryptographic processor," IEICE Trans. Information and Systems, E93-D, 2117--2125, 2010, 査読有
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e93-d_8_2117&category=D&year=2010&lang=E&abst=
8. N. Homma, A. Miyamoto, T. Aoki, A. Satoh, and A. Shamir, "Comparative power analysis of modular exponentiation algorithms," IEEE Trans. Computers, 59, 795--807, 2010, 査読有
10.1109/TC.2009.176
9. K. Ito, A. Morita, T. Aoki, H. Nakajima, K. Kobayashi and T. Higuchi, "Score-level fusion of phase-based and feature-based fingerprint matching algorithms," IEICE Trans. Fundamentals, E93-A, 607--616, 2010, 査読有
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e93-a_3_607&category=A&year=2010&lang=E&abst=
10. 宮本篤志, 本間尚文, 青木孝文, 佐藤証, "RSA 暗号プロセッサの FPGA 実装に対する明文選択型 SPA の評価," 電子情報通信学会論文誌 D, J92-D, 2168--2180, 2009, 査読有
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j92-d_12_2168&category=D&year=2009&lang=J&abst=
11. 菅原健, 本間尚文, 佐藤証, 青木孝文, "ハッシュ関数 Whirlpool の高スケーラブル回路アーキテクチャ," 情報処理学会論文誌, 50, 2618--2632, 2009, 査読有
<http://www.bookpark.ne.jp/cm/ipsj/search.asp?flag=6&keyword=IPSJ-JNL5011004&mode=PRT>
12. 沼徳仁, 伊藤康一, 青木孝文, 近藤敏志, "位相限定相関法を用いた超解像デインタレーシング," 電子情報通信学会論文誌 A, J92-A, 529--539, 2009, 査読有
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j92-a_8_529&category=A&year=2009&lang=J&abst=
13. N. Homma, Y. Watanabe, K. Degawa, T.

Aoki, T. Higuchi, "Systematic approach to designing multiple-valued arithmetic circuits based on arithmetic description language," *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 15, 329--340, 2009, 査読有

<http://www.oldcitypublishing.com/MVLSC/MVLSCcontents/MVLSCv15n4contents.html>

14. A. Satoh, T. Sugawara, N. Homma, and T. Aoki, "High-performance hardware architectures for Galois counter mode," *IEEE Transactions on Computers*, 58, 917--930, 2009, 査読有
10.1109/TC.2008.217

[学会発表] (計 24 件)

1. P.-C. Su, H.-T. Chen, K. Ito and T. Aoki, "Translation-invariant scene grouping," *First Asian Conference on Pattern Recognition*, November 28--30, 2011, Beijing, China
2. S. Sakai, K. Ito, T. Aoki and H. Unten, "Accurate and dense wide-baseline stereo matching using SW-POC," *First Asian Conference on Pattern Recognition*, November 28--30, 2011, Beijing, China
3. K. Ito, T. Takahashi and T. Aoki, "A geometric correction method using stereo vision for projected images," *First Asian Conference on Pattern Recognition*, November 28--30, 2011, Beijing, China
4. S. Aoyama, K. Ito and T. Aoki, "Finger-knuckle-print recognition using BLPOC-based local block matching," *First Asian Conference on Pattern Recognition*, November 28--30, 2011, Beijing, China
5. M. Tsuchida, S. Sakai, K. Ito, T. Kawanishi, K. Kashino, J. Yamato and T. Aoki, "Evaluating color reproduction accuracy of stereo one-shot six-band camera system," *Ninetieth Color and Imaging Conference*, November 7--11, 2011, San Jose, USA
6. T. Hosoi, K. Kobayashi, K. Ito and T. Aoki, "Fast image inpainting using similarity of subspace method," *IEEE International Conference on Image Processing 2011*, September 11--14, 2011, Brussels, Belgium
7. K. Saito, N. Homma and T. Aoki, "A graph-based approach to designing multiple-valued arithmetic algorithms," *Proceedings of the 41st International Symposium on Multiple Valued Logic*, May 23--25, 2011, Tuusula, Finland
8. M. Miura, K. Fudano, K. Ito and T. Aoki, "GPU implementation of phase-based image correspondence matching and its evaluation," *IEEE Symposium on Low-Power and High-Speed Chips*, April 20--22, 2011, 横浜
9. K. Ito, T. Aoki, T. Hosoi and K. Kobayashi, "Face recognition using phase-based correspondence matching," *9th IEEE Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, March 21--25, 2011, Santa Barbara, USA
10. H. Ota, R. Watanabe, K. Ito, T. Tanaka and T. Aoki, "Implementation of remote system using touchless palmprint recognition algorithm," *8th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia*, November 8--10, 2010, Paris, France
11. T. Takahashi, T. Kawano, K. Ito, T. Aoki and S. Kondo, "Performance evaluation of a geometric correction method for multi-projector display using SIFT and phase-only correlation," *IEEE International Conference on Image Processing 2010*, September 26--29, 2010, Hong Kong, China
12. A. Suzuki, K. Ito, T. Aoki and R. Tsuneta, "A scale estimation algorithm using phase-based correspondence matching for electron microscope images," *20th International Conference on Pattern Recognition*, August 23--26, 2010, Istanbul, Turkey
13. M. Tsuchida, T. Takahashi, K. Ito, T. Kawanishi, J. Yamato and T. Aoki, "A stereo one-shot multi-band camera system for accurate color reproduction," *SIGGRAPH 2010*, July 25--29, 2010, Los Angeles, USA.
14. Y. Baba, N. Homma, A. Miyamoto, T. Aoki, "Design of tamper-resistant registers for multiple-valued cryptographic processors," *40th International Symposium on Multiple Valued Logic*, May 26--28, 2010, Barcelona, Spain
15. K. Ito, Y. Hanzawa, T. Aoki, E. Kosuge, R. Kawamata and I. Kashima, "An

- improved dental radiograph identification system applicable to different types of imaging devices," Radiological Society of North America 2009, November 29--December 4, 2009, Chicago, USA
16. K. Miyazawa, Y. Tajima, K. Ito, T. Aoki, A. Katsumata and K. Kobayashi, "A novel approach for volume registration using 3d phase-only correlation," Radiological Society of North America 2009, November 29--December 4, 2009, Chicago, USA
17. E. Kosuge, K. Ito, Y. Hanzawa and T. Aoki, "Large-scale performance evaluation of a dental radiograph matching system for forensic human identification," Radiological Society of North America 2009, November 29--December 4, 2009, Chicago, USA
18. K. Ito, Y. Hanzawa, T. Aoki, M. Inagaki, R. Kawamata and E. Kosuge, "A practical human identification method using dental radiographs and dental CT data," Radiological Society of North America 2009, November 29--December 4, 2009, Chicago, USA
19. K. Ito, A. Suzuki, S. Nagashima and T. Aoki, "Performance evaluation using Mandelblot images for image registration algorithms," IEEE International Conference on Image Processing 2009, November 7--10, 2009, Cairo, Egypt
20. K. Ito, S. Iitsuka and T. Aoki, "A palmprint recognition algorithm using phase-based correspondence matching," IEEE International Conference on Image Processing 2009, November 7--10, 2009, Cairo, Egypt
21. S. Iitsuka, K. Miyazawa and T. Aoki, "A palmprint recognition algorithm using principle component analysis of phase information," IEEE International Conference on Image Processing 2009, November 7--10, 2009, Cairo, Egypt
22. T. Takahashi, T. Kawano, T. Aoki and S. Kondo, "An image correction method using SIFT and phase-only correlation for multi-projector display," 6th IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems, June 25, 2009, Miami, USA
23. A. Miyamoto, N. Homma, T. Aoki, and A. Satoh, "Evaluation of

simple/comparative power analysis against an RSA ASIC implementation," 2009 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, May 24--27, 2009, Taipei, Taiwan

24. Y. Baba, A. Miyamoto, N. Homma, T. Aoki, "Multiple-valued constant-power adder for cryptographic processor," 39th International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 21--23, 2009, Okinawa.

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

名称: ボリュームデータ間の対応付け方法
 発明者: 青木孝文, 宮澤一之, 田島裕一郎, 伊藤康一, 長嶋聖, 中島寛, 小林孝次, 勝亦敦

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2009-191315

出願年月日: 2009年8月20日

国内外の別: 国内

名称: 3次元データ生成装置、生成方法及びプログラム

発明者: 細居智樹, 小林孝次, 青木孝文, 伊藤康一

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2010-142445

出願年月日: 2010年6月23日

国内外の別: 国内

名称: 画像入力装置、画像入力方法及び画像入力プログラム

発明者: 橋本勝, 川西隆仁, 大和淳司, 青木孝文, 伊藤康一

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2010-166002

出願年月日: 2010年7月23日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

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