

平成21年 4月15日現在

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18300056
 研究課題名 (和文) ピクセル分解能の壁を越える画像プロセッシング技術体系の確立
 研究課題名 (英文) Development of Image Processing 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：本研究は、これまでに産業応用分野で培ってきたピクセル分解能の壁を越える画像計測の研究実績を発展させるとともに、これを拡張してさまざまな組み込み情報機器に搭載し、高い利便性と付加価値を実現するための研究開発を行った。主に、(i) サブピクセル画像マッチング技術の体系化、(ii) それに基づく応用研究の推進、(iii) 専用シグナルプロセッサの高水準合成環境の開発を行い、期待以上の大きな成果が得られた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2007年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2008年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
年度			
年度			
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

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さまざまな分野で重要と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。本研究グループでは、これまでに、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実施し、多数の企業との共同研究を通して広範な分野にわたる応用研究

を進めてきた。今後、身のまわりの情報機器がネットワーク接続され、高機能化・高性能化されるに伴い、組み込みシステムのための画像インターフェース機能への要求が高まることは確実である。その基盤技術として、ピクセル分解能の壁を越える新しい画像センシング・処理技術を開拓することは重要である。

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サブピクセル画像マッチング技術の体系化を行う。

- (2) 上記の研究に基づき、(i) 能動型計測に匹敵する精度を有する受動型3次元計測技術の開発とその応用、(ii) 高品質映像処理のためのサブピクセル動き推定、(iii) 科学技術計測向け高精度画像変換パラメータ推定技術の開発とその応用、(iv) 信頼性の高いバイオメトリクスデータ照合技術の開発とその個人認証への応用に関する研究を推進する。
- (3) プログラマブルDSPをターゲットにした位相限定相関法のソフトウェアライブラリを開発するとともに、FPGA や ASIC をターゲットにした専用シグナルプロセッサの高水準合成環境を開発する。

3. 研究の方法

- (1) 位相限定相関法の3つの基本アルゴリズム「画像の相似変換パラメータの高精度推定アルゴリズム」、「サブピクセル画像対応点探索アルゴリズム」、「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」の一般化を行うとともに、用途に応じてカスタマイズ可能なソフトウェアライブラリを開発する。
- (2) 前記項目(1)の応用として以下の4つのサブテーマに関する実用化研究を行う。
 - ① 基線長の短い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利用し、ビデオサーベイランス、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、任意視点映像生成に関する研究を行う。
 - ② 位相限定相関法のサブピクセル対応点探索を用いた高精度な動き推定を利用し、ビデオモザイク、オブジェクト抽出、超解像による映像のフォーマット変換に関する研究を行う。
 - ③ 相似変換パラメータの高精度推定技術を利用し、電子顕微鏡のための画像校正、ドリフト補正、超解像による解像度向上に関する研究を行う。
 - ④ 帯域制限型位相限定相関法を利用し、指紋認証、虹彩認証、2次元・3次元顔認証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を開発するとともに、FPGA や ASIC をターゲットにした専用シグナルプロセッサの高水準合成環境を開発

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、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。本技術は、電子情報通信学会基礎境界ソサイエティの機関紙“Fundamentals Review”の創刊号に記念論文が掲載され、広く注目された。本技術の特長は、世界最高水準のサブピクセル・レジストレーション性能であり、例えば、サイズが256×256の画像を用いた相似変換パラメータ推定では、平行移動量について約0.01ピクセル精度、回転角度について約0.01度精度、拡大縮小率について約0.05%精度を達成した。また、位相限定相関法はバイオメトリクス認証で用いられる生体画像の類似度を評価する際にも有効であることを実証した。本研究で取り組んだ4つサブテーマからなる実用化研究では、多数の企業と研究機関との連携により、具体的な実験的検討を行うとともに、実用化に向けた検討を行った。その中で、特に注目を集めた成果として、歯科X線画像の自動照合技術がある。2007年の北米放射線学会(RSNA)において本技術に基づく大規模災害時の犠牲者の身元確認支援システムを発表し、米国CNNをはじめとする全世界の多数の報道機関を通して公表されるなど、広く社会的な注目を集めた。以上のように、本研究グループは、位相情報を利用する画像解析・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づけにあり、研究代表者の青木の研究業績に対して名誉ある市村学術賞が2008年4月に授与された。今後は、広範な応用分野での実用化研究を行うとともに、その結果を基礎理論にフィードバックして、さらなる新概念・新技術を創出することを目指す。従来のアドホックな画像処理の考え方とは対照的に、確固たる基礎理論に基づく系統的応用展開の技術論を確立する予定である。

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 22 件)

1. S. Nagashima, K. Ito, T. Aoki, H. Ishii and K. Kobayashi, High-accuracy estimation of image rotation using 1D phase-only correlation, IEICE Trans. Fundamentals, E92-A, 235--243, 2009, 査読有
2. N. Homma, T. Aoki, and T. Higuchi, A

- Systematic approach for designing redundant arithmetic adders based on counter tree diagrams, IEEE Trans. Computers, 57, 1633--1646, 2008, 査読有
3. 近藤敏志, ハニア タイパルス, 遠間正真, 青木孝文, インターネット共有画像を利用した事例ベース超解像画像処理, 映像情報メディア学会誌, 62, 1836--1839, 2008, 査読有
 4. K. Miyazawa, K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi and H. Nakajima, An effective approach for iris recognition using phase-based image matching, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 30, 1741--1756, 2008, 査読有
 5. Y. Watanabe, N. Homma, T. Aoki, and T. Higuchi, Arithmetic circuit verification based on symbolic computer algebra, IEICE Trans. Fundamentals, E91-A, 3038--3046, 2008, 査読有
 6. H. Amirshahi, S. Kondo, K. Ito and T. Aoki, An image completion algorithm using occlusion-free images from Internet photo sharing sites, IEICE Trans. Fundamentals, E91-A, 2918--2927, 2008, 査読有
 7. 柴原琢磨, 沼徳仁, 長嶋聖, 青木孝文, 中島寛, 小林孝次, 一次元位相限定相関法に基づくステレオ画像の高精度サブピクセル対応付け手法, 電子情報通信学会論文誌 D, J91-D, 2343--2356, 2008, 査読有
 8. Hayasaka, T. Shibahara, K. Ito, T. Aoki, H. Nakajima and K. Kobayashi, A passive 3D face recognition system and its performance evaluation, IEICE Trans. Fundamentals, E91-A, 1974--1981, 2008, 査読有
 9. 遠間正真, 近藤敏志, ハニアアミルシヤヒ, 青木孝文, 画像共有サービスを利用した静止画符号化方式, 電子情報通信学会論文誌 D, J91-D, 1959--1962, 2008, 査読有
 10. 伊藤康一, 二階堂旭, 青木孝文, 小菅栄子, 川股亮太, 鹿島勇, 歯科X線写真のための位相限定相関法を用いた高精度位置合わせアルゴリズム, 電子情報通信学会論文誌 D, J91-D, 1788--1797, 2008, 査読有
 11. M. Hiratsuka, K. Ito, T. Aoki and T. Higuchi, Shortest path search using a reaction-diffusion processor, International Journal of Unconventional Computing, 4, 113--123, 2008, 査読有
 12. K. Ito, T. Aoki, H. Nakajima, K. Kobayashi and T. Higuchi, A palmprint recognition algorithm using phase-only correlation, IEICE Trans. Fundamentals, E91-A, 1023--1030, 2008, 査読有
 13. T. Shibahara, T. Aoki, H. Nakajima and K. Kobayashi, A high-accuracy stereo correspondence technique using 1D band-limited phase-only correlation, IEICE Electronics Express, 5, 125--130, 2008, 査読有
 14. K. Ito, A. Nikaido, T. Aoki, E. Kosuge, R. Kawamata and I. Kashima, A dental radiograph recognition system using phase-only correlation for human identification, IEICE Trans. Fundamentals, E91-A, 298--305, 2008, 査読有
 15. N. Homma, S. Nagashima, T. Sugawara, T. Aoki, A. Satoh, A high-resolution phase-based waveform matching and its application to side-channel attacks, IEICE Trans. Fundamentals, E91-A, 193--202, 2008, 査読有
 16. N. Homma, K. Degawa, T. Aoki, T. Higuchi, Design of multiple-valued arithmetic circuits using counter tree diagrams, Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing, 13, 487--502, 2007, 査読有
 17. 青木孝文, 伊藤康一, 本間尚文, 位相情報に基づく画像マッチング技術とその応用展開 ---3Dビジョンからバイオメトリクスまで---, 電子情報通信学会誌, 90, 680--685, 2007, 査読無
 18. 青木孝文, 伊藤康一, 柴原琢磨, 長嶋聖, 位相限定相関法に基づく高精度マシンビジョン ---ピクセル分解能の壁を越える画像センシング技術を目指して---, IEICE Fundamentals Review, 1, 30--40, 2007, 査読有
 19. M. Natsui, Y. Tadokoro, N. Homma, T. Aoki and T. Higuchi, Synthesis of current mirrors based on evolutionary graph generation with transmigration capability, IEICE Electronics Express, 4, 88--93, 2007, 査読有
 20. N. Homma, Y. Watanabe, T. Aoki, and T. Higuchi, Formal design of arithmetic circuits based on arithmetic description language, IEICE Trans. Fundamentals, E89-A, 3500--3509, 2006, 査読有
 21. N. Homma, T. Aoki, and T. Higuchi,

Systematic interpretation of redundant arithmetic adders in binary and multiple-valued logic, IEICE Trans. Electronics, E89-C, 1645--1654, 2006, 査読有

22. T. Goto, K. Degawa, H. Inokawa, K. Furukawa, H. Nakashima, K. Sumitomo, T. Aoki and K. Torimitsu, Molecular-mediated single-electron devices operating at room temperature, Japanese Journal of Applied Physics, 45, 4285--4289, 2006, 査読有

[学会発表] (計 33 件)

1. H. Taipalus, S. Kondo, T. Aoki, Clean up your image using internet photo collections, 1st ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia, December 11--13, 2008, Singapore, Singapore
2. T. Takahashi, N. Numa, T. Kawano, T. Aoki and S. Kondo, Image correction method for multi-projector display using SIFT features, 1st ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia, December 11--13, 2008, Singapore, Singapore
3. S. Iitsuka, K. Ito and T. Aoki, A practical palmprint recognition algorithm using phase information, 19th International Conference on Pattern Recognition, December 8--11, 2008, Tampa, USA
4. K. Kobayashi, A. Katsumata, K. Ito and T. Aoki, A practical method to reducing metal artifact for dental CT scanners, 19th International Conference on Pattern Recognition, December 8--11, 2008, Tampa, USA
5. K. Ito, T. Aoki, E. Kosuge, R. Kawamata and I. Kashima, Medical image registration using phase-only correlation for distorted dental radiographs, 19th International Conference on Pattern Recognition, December 8--11, 2008, Tampa, USA
6. K. Ito, T. Aoki, E. Kosuge, R. Kawamata and I. Kashima, Development and evaluation of an automated human identification system using dental radiographs, Radiological Society of North America (RSNA) 2008, November 30--December 5, 2008, Chicago, USA
7. K. Kobayashi, A. Katsumata, T. Aoki and K. Ito, A practical metal artifact reduction method for dental cone beam CT scanners, Radiological Society of North America (RSNA) 2008, November 30--December 5, 2008, Chicago, USA
8. K. Miyazawa and T. Aoki, A robot-based 3D body scanning system using passive stereo vision, IEEE International Conference on Image Processing 2008, October 12--15, 2008, San Diego, USA
9. T. Takahashi, N. Numa, T. Aoki and S. Kondo, A geometric correction method for projected images using SIFT feature points, 5th ACM/IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems, August 10, 2008, Los Angeles, USA
10. Y. Watanabe, N. Homma, K. Degawa, T. Aoki, and T. Higuchi, High-level design of multiple-valued arithmetic circuits based on arithmetic description language, 38th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 22--23, 2008, Dallas, USA
11. Y. Watanabe, N. Homma, T. Aoki, and T. Higuchi, Arithmetic module generator with algorithm optimization capability, 2008 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, May 18--21, 2008, Seattle, USA
12. E. Kosuge, R. Kawamata, I. Kashima, A. Nikaido, K. Ito and T. Aoki, An automated dental radiograph identification system using phase-only correlation for mass disasters, Radiological Society of North America (RSNA) 2007, November 25--30, 2007, Chicago, USA
13. R. Tsuneta, M. Koguchi, S. Nagashima and T. Aoki, Magnification-correcting algorithm within 1% error for scanning transmission electron microscope, 6th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices, October 28--November 2 2007, Ishikawa, Japan
14. Y. Watanabe, N. Homma, T. Aoki, and T. Higuchi, Formal representation and verification of arithmetic circuits using symbolic computer algebra, 14th Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information technologies, October 15--16, 2007, Sapporo, Japan
15. Y. Watanabe, N. Homma, T. Aoki, and T. Higuchi, Application of symbolic

- computer algebra to arithmetic circuit verification, 25th IEEE International Conference of Computer Design, October 7--10, 2007, Lake Tahoe, USA
16. Nikaido, K. Ito, T. Aoki, E. Kosuge and R. Kawamata, A phase-based image registration algorithm for dental radiograph identification, IEEE International Conference on Image Processing 2007, September 16--19, 2007, San Antonio, USA
 17. T. Shibahara, T. Aoki, H. Nakajima and K. Kobayashi, A sub-pixel stereo correspondence technique based on 1D phase-only correlation, IEEE International Conference on Image Processing 2007, September 16--19, 2007, San Antonio, USA
 18. S. Nagashima, K. Ito, T. Aoki, H. Ishii and K. Kobayashi, A High-accuracy rotation estimation algorithm based on 1D phase-only correlation, International Conference on Image Analysis and Recognition 2007, August 22--24, 2007. Montreal, Canada
 19. S. Kondo, H. Amirshahi and T. Aoki, Example-based super-resolution using Internet photo collection, 34th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH), August 5--9, 2007, San Diego, USA
 20. S. Nagashima, N. Homma, T. Aoki, A. Satoh, DPA using phase-based waveform matching against random-delay countermeasure, 2007 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, May 27--30, 2007, New Orleans, USA
 21. N. Homma, K. Degawa, T. Aoki, and T. Higuchi, Algorithm-level optimization of multiple-valued arithmetic circuits using counter tree diagrams, 37th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 14--15, 2007, Oslo, Norway
 22. S. Nagashima, T. Aoki, T. Higuchi and K. Kobayashi, A subpixel image matching technique using phase-only correlation, 2006 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, December, 12--15 2006, Yonago, Japan
 23. Y. Watanabe, N. Homma, T. Aoki, and T. Higuchi, Formal design of decimal arithmetic circuits using arithmetic description language, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, December 12--15, 2006, Yonago, Japan
 24. Hayasaka, T. Shibahara, K. Ito, T. Aoki, H. Nakajima and K. Kobayashi, A 3D face recognition system using passive stereo vision and its performance evaluation, 2006 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, December 12--15, 2006, Yonago, Japan
 25. Nikaido, K. Ito, T. Aoki, E. Kosuge and R. Kawamata, A dental radiograph registration algorithm using phase-based image matching for human identification, 2006 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, December 12--15, 2006, Yonago, Japan
 26. K. Miyazawa, K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi and H. Nakajima, An implementation-oriented iris recognition algorithm using phase-based image matching, 2006 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, December 12--15, 2006, Yonago, Japan
 27. K. Ito, T. Aoki, H. Nakajima, K. Kobayashi and T. Higuchi, A phase-based palmprint recognition algorithm and its experimental evaluation, 2006 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, December 12--15, 2006, Yonago, Japan
 28. K. Ito, T. Aoki, H. Nakajima, K. Kobayashi and T. Higuchi, A palmprint recognition algorithm using phase-based image matching, IEEE International Conference on Image Processing 2006, October 8--11, 2006, Atlanta, USA
 29. K. Miyazawa, K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi and A. Katsumata, An iris recognition system using phase-based image matching, IEEE International Conference on Image Processing 2006, October 8--11, 2006, Atlanta, USA
 30. N. Homma, S. Nagashima, Y. Imai, T. Aoki, and A. Satoh, High-resolution side-channel attack using phase-based waveform matching, Cryptographic

Hardware and Embedded Systems - CHES
2006, October 10--13, 2006, Yokohama,
Japan

31. N. Homma, T. Aoki, and T. Higuchi,
Algorithm level interpretation of
fast adder structures in binary and
multiple-valued logic, 36th IEEE
International Symposium on
Multiple-Valued Logic, May 17--20,
2006, Singapore, Singapore
32. K. Degawa, T. Aoki, T. Higuchi,
Hiroshi Inokawa, Katsuhiko Nishiguchi
and Yasuo Takahashi, A high-density
ternary content-addressable memory
using single-electron transistors,
36th International Symposium on
Multiple-Valued Logic, May 17--20,
2006, Singapore, Singapore
33. Y. Watanabe, N. Homma, T. Aoki and T.
Higuchi, Arithmetic module generator
based on arithmetic description
language, 13th Synthesis And System
Integration of Mixed Information
technologies, April 3--4, 2006,
Nagoya, Japan

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 6 件)

名称：3次元ずれ量計測方法
発明者：勝亦敦，小林孝次，伊藤康一，青木孝文
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2008-303867
出願年月日：2008年11月28日
国内外の別：国内

名称：3次元ずれ量計測方法
発明者：勝亦敦，小林孝次，伊藤康一，青木孝文
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2008-303857
出願年月日：2008年11月28日
国内外の別：国内

名称：System and method for comparing
dental X-ray images
発明者：E. Kosuge, K. Ito and T. Aoki
権利者：同上
種類：特許 (PCT 出願)
番号：12/165,961
出願年月日：July 1, 2008
国内外の別：国外 (アメリカ)

名称：歯科 X線画像の照合システム及び歯科

X線画像の照合方法，
発明者：小菅栄子，伊藤康一，青木孝文
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2008-120622
出願年月日：2008年5月2日
国内外の別：国内

名称：面成分検出装置、地上面検出装置、及び障害物検出装置
発明者：新浩治，丸谷健介，吉田青史，青木孝文，柴原琢磨
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2007-191477
出願年月日：2007年7月23日
国内外の別：国内

名称：対応点探索方法および3次元位置計測方法
発明者：青木孝文，柴原琢磨，中島寛，小林孝次，勝亦敦
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2006-304620
出願年月日：2006年11月9日
国内外の別：国内

〔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・助教
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) 研究連携者

()

研究者番号：