

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：33908

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560512

研究課題名(和文)時空間的ユニーク情報に基づく高速・ロバストな画像計測法に関する研究

研究課題名(英文) Research on high-speed and robust image measurement method based on spatial and temporal unique information

研究代表者

橋本 学 (HASHIMOTO, Manabu)

中京大学・工学部・教授

研究者番号：70510832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高速・ロバストな新しい画像計測法を提案した。最小限の情報のみを用いることにより、従来の約1000倍の高速な画像照合と物体認識を実現した。画像照合において、相対的にユニークな画素が、照合に有効な情報であることを示し、共起発生確率の評価によってこれを選択的に抽出する手法を提案した。画素濃度の共起性を時間・空間の両面で計測することにより、照明変動への頑健性が得られた。また、周辺類似物との分離性を評価することにより、安定した識別性能も得られた。さらに、本提案が3次元物体認識にも適用可能なこと、遮蔽に頑健な画像照合にも利用できることを示し、汎用性を実証した。

研究成果の概要(英文)：In this research, a new image measurement method has been proposed. By using a small number of image information, our method has achieved high speed image matching and object recognition. Its processing time is approximately 1000 times shorter than conventional methods. I have shown that useful information for image matching is unique pixels and it can be calculated by estimation of probability of co-occurrence of pixel intensity. Robustness for varying illumination was performed by measuring spatial and temporal co-occurrence behaviors. In addition, stable classification ability has been realized by estimating distinguishability of the data for similar objects around the target object. Moreover, I have proposed additional methods to apply this basic idea to 3D object recognition and robust matching for partial occlusion. I have proved that the proposed method can realize high-speed and reliable image matching by setting appropriate strategy for reducing amount of data.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：センシング情報処理 画像照合 データ削減 濃度共起確率 テンプレートマッチング

1. 研究開始当初の背景

(1)本研究では、画像計測法、特に画像マッチングを取り扱う。この技術の主な適用先としては、生産ラインにおける組立対象物の位置決め、検査工程での異常検出、および品質管理のための定点観測画像分析等があるが、これらは、近年のアジア諸国の生産技術の発展に伴って、我が国においても一層の技術向上が迫られている重要な分野であり、本研究の成果の適用が強く期待されている。

(2)本研究に関連する従来の研究として、画像マッチングの高速化に関するものがあったが、明確な輪郭の存在を前提にするなど、汎用性が十分ではなく、データ削減効果も約10%程度に留まっていた。一方、近年ではSIFTなどの特徴量ベースの照手法が注目されているが、キープポイントと呼ばれる特徴点は見かけの点数こそ少ないが、照合に128次元程度の高次元特徴ベクトルが必要という課題があった。

2. 研究の目的

これらの背景を鑑み、本研究では、画像計測の観点から、対象を特徴づけている究極的な画像情報とは何か、またそのような情報は、これまで考えられていたよりもきわめて少数なのではないかという点に着目し、ドラスティックなデータ削減に基づく新しい画像計測手法を提案することを目的とする。対象物を明確に特徴づけているユニークな情報のみを画像から取り出すことができれば、思い切ったデータ削減が可能であり、これまでとは異なるレベルで画像マッチングの高速化が実現できる。

さらに、画像にとってユニークでない情報を除外することは、マッチング時の誤対応の低減につながることで、物体検出の高信頼化にも大きく寄与するはずである。

本研究では、一連のデータ削減の検討に基づき、画像計測に必要な本質的な情報の実態を明らかにすることも目的としている。

3. 研究の方法

本研究でブレークスルーすべき主要な課題は、(A)時空間それぞれにおける濃度共起現象を一元的に確率モデル化して画素変動を許容すること、(B)画像の特徴と選択すべき画素の配置・数との関係を学習によってモデル化し、画像毎に最適な画素数を決定すること、の2つであり、これらを解決する。

そこで、まず(A)の方式提案とアルゴリズム化をおこない、変動する背景の影響を受けない画像マッチングシステムの試作により効果を実証することとした。次に、共起性を測るための画素ペアの幾何学的関係を機械学習手法によって最適化し、画像毎に最適な画素数と配置が決定され得ることを実証する。さらにこれらの成果を統合し、実用可能な手法として十分な性能を有することを実験的に証明することとした。

4. 研究成果

(1) 時空間濃度共起のモデル化に基づく画像マッチング手法(共起確率テンプレートマッチング法)を確立した。図1に空間的濃度共起の概念を示す。

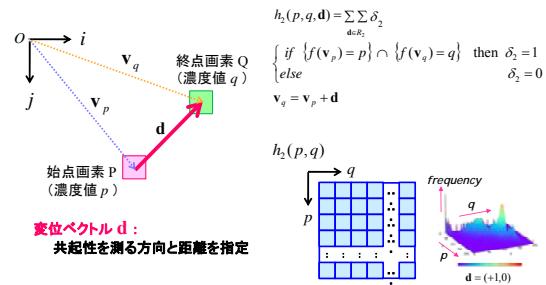


図1. 空間的濃度共起の概念

本研究では、複数の画像における時間共起モデルとして、連続的に取得された2枚の画像間の同一座標における濃度値の共起性を2次元共起ヒストグラムとして表現するモデルを提案した。図2に提案した時間的濃度共起の概念を示す。図1と異なり、2枚の画像間の同一アドレスの画素間の共起性を評価している点が重要である。

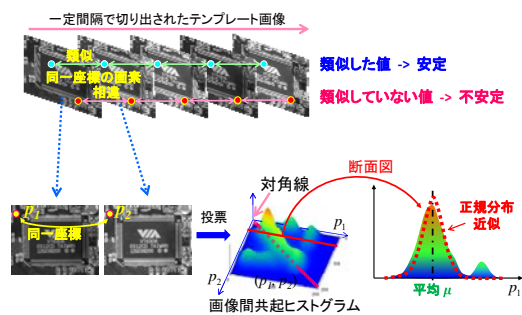


図2. 時間的濃度共起の概念

同図におけるヒストグラムは濃度共起確率を表すが、画像間の濃度値が近いほど対角線上にデータが分布し、そうでない場合には対角線から離れた位置にデータが散らばる。すなわち、このモデルを分析すれば、2枚の画像間の画素毎の濃度変動すなわち時間的安定性を数値化することが可能となる。さらに、この分析を時間間隔が異なる複数の画像ペアに適用することによって、短時間変動と長期間変動を同時に分析することもできるという利点もある。

関連研究として、空間的に独自性の高い画素ペアを画像照合に利用する手法については提案済みであったため、本研究では、これを今回の研究成果に組み合わせる手法についても検討した。空間的な独自性は画素ごとの発生確率で表現できることから、時間的安定性と組み合わせることによって、空間的に独自性が高く、なおかつ時間的にも安定している画素を選択する統一的な基準とアルゴリズムを提案することができた。この考え方

に基づいてテンプレートマッチングアルゴリズムを構築し、プロトタイプシステムを開発し、実画像を用いた実験によってその効果を実証した。

従来のテンプレートマッチングアルゴリズムではテンプレート画像の全画素を使用していたが、提案手法ではその1%程度以下のきわめて少数の画素を用いるだけで認識率97%程度、処理速度は従来の100~500倍以上を達成することを確認した。

(2) 画像特徴と最適画素群の関係に関する分析および、その機械学習法によるパラメータ同定に関する検討を行った。

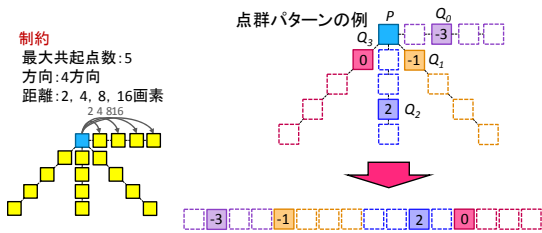


図3. 最適画素群決定のための最適化パラメータ

本研究テーマで扱うデータは、基本的には2次元であるが、一般的な距離画像（画像の濃度値が距離値である画像）もデータ形式としては2次元画像であることから、距離画像への適用を念頭に、アルゴリズム中で用いられるパラメータの最適決定に関する検討を行った。研究の結果、画像特徴として空間周波数構造と最適画素群の幾何学的関係に相関があることが判明した。具体的には、原画像にフーリエ変換処理を施して支配的な空間周波数を調べ、一方では複数画素間の位置関係パラメータを変化させながら認識性能を調査したところ、空間的な水平、垂直周波数成分と、認識率を最大にする画素間パラメータとの間には、一定の関係があることが確認できた。さらに複数画素の時間的な変動についても検討したところ、同時に（従属的に）変動する画素群と、独立して変動する画素群が存在することがわかった。そこで前者を画像マッチングに用いることによって、認識性能が向上することを確認した。

次に、機械学習法によるパラメータ最適化として、Adaboost法および一般的な最適化手法として遺伝的アルゴリズム法を検討したところ（図3に示すパラメータを提案）、後者においてパラメータ最適化が可能なることを確認した。

(3) これらの考え方を距離データ一般にも適用した。3つの画素を、始点を共有する2つのベクトルと見なして表現し、本手法が3次元物体認識にも適用可能なことを確認した。これをVPM (Vector Pair Matching) 法と名付け、3次元物体認識の新手法として構築した。図4にベクトルペアマッチング手法の概

要を示す。モデル形状の自動解析によって周囲の3次元点とミスマッチしにくいベクトルペアを自動的に抽出し、マッチングに使用することによって、高速性と認識信頼性の両方を実現した。

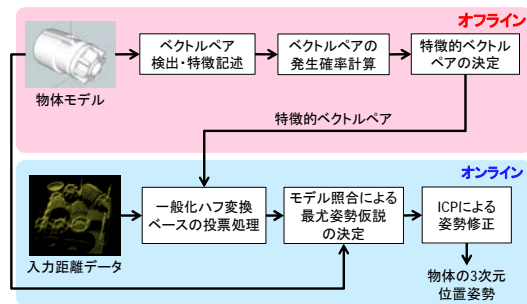


図4. ベクトルペアマッチング手法の概要

なお、本研究では、特徴点選択基準の追加手法として、入力シーンにおけるベクトルペアの可観測性についても検討した。さまざまな仮想視点を仮定して対象物上のベクトルペアの観測しやすさを評価し、観測しやすいベクトルペアを優先するという考え方を追加することによって、認識成功率が95.9%となり、従来の単純なベクトルペアマッチングより約50%向上したことを確認した。

(4) 周辺に多数の類似物が存在する場合でも、誤認識率が小さく、かつきわめて高速な新手法を提案した。認識したい対象物（ポジティブサンプル）と、誤認識したくない画像（ネガティブサンプル）を事前に準備しておく。次に、これらのサンプル学習画像群を利用してオリジナルなテンプレート画像を分析し、対象物と類似物の識別度合いを最大化する画素を自動的に選択する。この画素群を照合に用いることによって安定した照合を実現した。

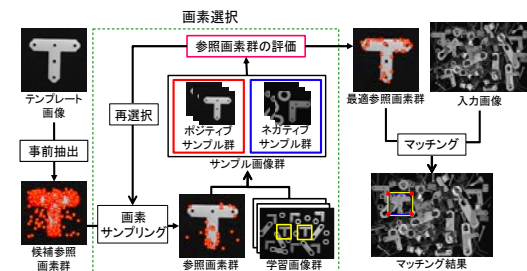


図5. 高識別テンプレートマッチングの概念

図5に提案した高識別テンプレートマッチングの概念を示す。また、図6には提案手法で使用されている最適化のための目的関数の設定に関する模式図を示す。同図(a)に示すような学習用画像を利用することによって、同図(b)のポジティブ・ネガティブ量産物の分離度合いを評価し、これが最大になる画素群を選択することが特徴である。

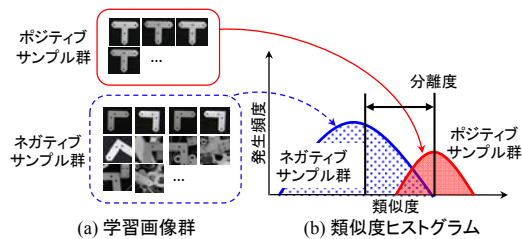


図 6. 最適化のための目的関数の設定に関する模式図

選択された画素群はごく少数なので、処理時間の大幅な削減も実現できる。評価実験により、本手法により選択された 0.5%の画素を使用した場合には、周辺に多くの類似物が存在する状況下でも、認識率 97.6%、処理時間 8msec を確認した。従来より高性能識別手法の一つと考えられている部分空間法と比較しても、認識率が 7.3%向上していることを確認した。

(5) 遮蔽のような突発的外乱にロバストな画像照合を提案した。一般に、遮蔽による外乱は、照明変動による外乱などと異なり、事前予測が難しいという問題がある。そこで本研究では、照合時に対象物中の外乱画素を毎回推定し、外乱を受けている画素を類似度計算から除外することによって、その影響を軽減するアイデアを提案した。外乱画素推定には、統計的濃度変動分析を用い、統計的な濃度変動に対して不自然な濃度値を持つ画素を外乱画素と推定する。これにより、遮蔽にロバストな照合が可能となる。図 7 に提案手法の概念図を示す。

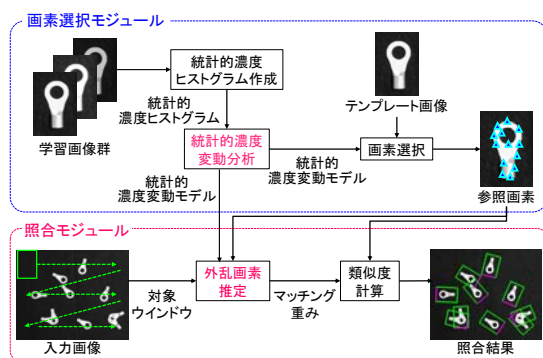


図 7. 遮蔽にロバストなテンプレートマッチング

さらに本研究では、照合に使用する参照画素を厳選することにより、外乱画素推定と類似度計算の処理コストを削減して高速化した。

遮蔽状況を多く含む 1048 枚の実画像を用いた性能評価実験により、認識率 82.2%、処理時間 413msec を達成した。遮蔽にロバストな従来手法である選択的正規化相関法と比較して、約 10%の認識率の向上を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- ① 西山乗, 橋本学, 集団的評価に基づいて最適化されたサブトラック群を用いた部分的遮蔽に頑健な剛体追跡, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J97-D, No.2, 査読有, pp.341-342, 2014.
- ② 秋月秀一, 橋本学, 最適配置された画素群の濃度共起発生確率に着目した画像のテクスチャ量にロバストな照合手法, 電気学会論文誌 C, Vol.133, No.10, pp.1943-1949, 査読有, 2013.
- ③ 秋月秀一, 橋本学, 特徴的 3-D ベクトルペアを用いたばら積み部品の高速位置姿勢認識, 電気学会論文誌 C, Vol.133, No.9, pp.1853-1854, 査読有, 2013.
- ④ 斎藤正孝, 橋本学, 濃度共起分析に基づく安定画素テンプレートを用いた照明変動にロバストな高速画像照合, 電気学会論文誌 C, Vol.133, No.5, 査読有, pp.1010-1016, 2013.

〔学会発表〕(計 35 件)

- (1) Yasunori Sakuramoto, Masataka Saito and Manabu Hashimoto, Fast Object Recognition System for Complicated Scene in the Presence of Similar Objects, Proceeding of 19th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2014), pp. 370-374, Okinawa National College of Technology, Nago City, Okinawa, Japan, 2014/2/6.
- (2) 斎藤正孝, 橋本学, 統計的濃度変動分析を用いた外乱画素推定に基づくロバスト画像照合, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2013), IS2-D8, 神奈川県横浜市パシフィコ横浜, 2013/12/6.
- (3) 秋月秀一, 橋本学, 可観測性を考慮した 3D ベクトルペア選択によるばら積み部品の位置姿勢認識, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2013), OS5-02, 神奈川県横浜市パシフィコ横浜, 2013/12/6.
- (4) Yasunori Sakuramoto, Masataka Saito, Manabu Hashimoto, Object Detection using Effective Pixels for Distinguishing from Similar Objects, Proceeding of International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT), T1A-4, Ramada Plaza Hotel, Jeju Island, Korea, 2013/10/29.
- (5) Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto, Fast and Reliable 3-D Object Recognition based on Surface Normal Distributions, Proceeding of International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT), T1A-1, Ramada Plaza Hotel, Jeju Island, Korea, 2013/10/29.
- (6) 武井翔一, 永瀬誠信, 秋月秀一, 橋本学, 3D-CG を用いた特徴量の生成学習に基づ

- く物体認識の高信頼化, 電気関係学会東海支部連合大会, J4-4, 静岡県浜松市静岡大学, 2013/9/25.
- (7) 斎藤正孝, 橋本学, 突発的外乱領域推定に基づく遮蔽にロバストな高速画像照合, 電気関係学会東海支部連合大会, J3-8, 静岡県浜松市静岡大学, 2013/9/25.
- (8) Masanobu Nagase, Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto, 3-D Feature Point Matching for Object Recognition based on Estimation of Local Shape Distinctiveness, Proceedings of 15th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP), Part I, pp. 473-481, University of York, York, U.K., 2013/Aug/28.
- (9) 櫻本泰憲, 斎藤正孝, 橋本学, 周辺類似物との識別に有効な画素群を用いた物体検出, IAIP サマーセミナー予稿集, pp. 73-76, 山梨県笛吹市石和びゅーほてる, 2013/8/20.
- (10) 秋月秀一, 橋本学, 局所法線分布を記述子とする高信頼な3次元物体検出, IAIP サマーセミナー予稿集, pp. 27-30, 山梨県笛吹市石和びゅーほてる, 2013/8/19.
- (11) 秋月秀一, 橋本学, サーフェスモデルから選択した特徴的3Dベクトルペアによる高信頼な位置姿勢認識, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU), pp. 1-2, 東京都千代田区国立情報学研究所 2013/8/1.
- (12) 秋月秀一, 橋本学, 特徴的ベクトルペアによる高速・高信頼なばら積み物体認識, 精密工学会画像応用技術専門委員会第2回定例研究会, pp. 24-29, 東京都文京区中央大学, 2013/7/19.
- (13) 櫻本泰憲, 斎藤正孝, 橋本学, 画素削減型高速テンプレートマッチング~過酷な環境下でも, 目的の物体を素早く正確に見つけ出す~, 第19回画像センシングシンポジウム, DS2-06, 神奈川県横浜市パシフィコ横浜, 2013/6/13-14.
- (14) 武井翔一, 永瀬誠信, 秋月秀一, 橋本学, 準リアルシーンをを用いた3次元特徴量の生成学習に基づくばら積み部品の認識, 第19回画像センシングシンポジウム, pp. IS3-29-1-6, 神奈川県横浜市パシフィコ横浜, 2013/6/14.
- (15) 秋月秀一, 橋本学, 全周囲物体認識のためのサーフェスモデルからの高独自性ベクトルペア選択, 第19回画像センシングシンポジウム, pp. IS2-24-1-6, 神奈川県横浜市パシフィコ横浜, 2013/6/13.
- (16) Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto, Robust Matching for Low-texture Images based on Co-occurrence of Geometry-optimized Pixel Patterns, Proc. IEEE International Conference on Quality Control by Artificial Vision (QCAV 2013), pp. 113-116, Kyushu University, Fukuoka, Japan, 2013/5/31.
- (17) 櫻本泰憲, 斎藤正孝, 橋本学, テンプレートマッチングにおける類似物との識別に有効な画素選択手法, 第187回コンピュータビジョンとイメージメディア研究会 (CVIM2013), Vol. 2013-CVIM-187, No. 25, pp. 1-8, 東京都小金井市東京農工大学, 2013. 5/30
- (18) 斎藤正孝, 清水勇氣, 橋本学, ユニーク画素対の投票に基づく3自由度画像マッチング, 電子情報通信学会2013年総合大会学生ポスターセッション, ISS-SP-368, p. 210, 岐阜県岐阜市岐阜大学, 2013/3/21.
- (19) 武井翔一, 永瀬誠信, 秋月秀一, 橋本学, 準リアルシーンの生成学習とベクトルペア最適化に基づくばら積み部品の認識, 動的画像処理実利用化ワークショップ (DIA2013), pp. 244-249, 静岡県浜松市静岡大学, 2013/3/8.
- (20) 櫻本泰憲, 斎藤正孝, 橋本学, 類似物との識別に有効な画素群を用いた高速画像照合アルゴリズム, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2012), OS5-H4 (IS2-D10), pp. 1-8, 神奈川県横浜市パシフィコ横浜, 2012/12/7.
- (21) Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto, High-speed and Reliable Object Recognition Using Distinctive 3-D Vector Pairs in a Range Image, Proceeding of International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT), the University Pierre and Marie Curie, Paris, France, 2012/10/30.
- (22) Masataka Saito, Manabu Hashimoto, Robust Image Matching for Irregular Illumination Variation based on Spatio-Temporal Analysis of Image Intensity, Proceeding of International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT), University Pierre, Paris, France, 2012/10/29.
- (23) 秋月秀一, 橋本学, 3-Dベクトルペアを用いた複雑シーンからの高速物体検出, 精密工学会 IAIP サマーセミナー2012 テキスト, Vol. 21, pp. 9-12, 愛知県犬山市愛知犬山温泉, 2012/9/3.
- (24) 秋月秀一, 橋本学, 特徴的3-Dベクトルペアを用いたばら積み部品の高速位置姿勢認識, 第15回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2012), IS1-65, 福岡県福岡市福岡国際会議場, 2012/8/6.
- (25) 斎藤正孝, 橋本学, 時空間濃度共起分析に基づく照明変動にロバストな高速画像マッチング, 第15回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2012), IS1-26, 福岡県福岡市福岡国際会議場, 2012/8/6.
- (26) 斎藤正孝, 橋本学, 濃度共起分析に基づく安定画素を用いた照明変動にロバ

- ストな画像照合, 情報処理学会コンピュータビジョン・イメージメディア研究会, Vol. 2012-CVIM-182, No. 17, pp. 1-8, 愛知県豊田市中京大学, 2012/5/23.
- (27) 秋月秀一, 橋本学, 特徴的 3-D ベクトルペアマッチングによるバラ積み部品の高速認識, 情報処理学会コンピュータビジョン・イメージメディア研究会, Vol. 2012-CVIM-182, No. 15, pp. 1-7, 愛知県豊田市中京大学, 2012/5/23.
- (28) 櫻本泰憲, 斎藤正孝, 橋本学, 対象物体の顕著度を最大化する少数画素群を用いた高速テンプレートマッチング, 情報処理学会全国大会, pp. 2-411-412, 愛知県名古屋市長古屋工業大学, 2012/3/8.
- (29) 櫻本泰憲, 斎藤正孝, 橋本学, 対象物体の顕著性分析による周辺類似物との分離度を最大化する高速物体検出, 動的画像処理実利用化ワークショップ (DIA2012), pp. 44-49, 北海道函館市はこだて未来大学, 2012/3/8.
- (30) 斎藤正孝, 橋本学, 画像間の濃度共起に基づく動的安定化テンプレートを用いた長期の大幅な照明変動に頑健な部品認識, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2011), pp. 243-250, 神奈川県横浜市パシフィコ横浜, 2011/12/8.
- (31) Manabu Hashimoto, Masataka Saito, High-Speed and Robust Image Matching using Spatially Distinctive and Temporally Stable Pixels, Proceeding of International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT), pp. 233-238, The Chinese University of Hong Kong Shatin, Hong Kong, 2011/11/3.
- (32) 橋本学, 斎藤正孝, 秋月秀一, 参照画素削減による超高速テンプレートマッチングと部品認識への応用, 精密工学会秋季大会, pp. 926-927, 石川県金沢市金沢大学, 2011/9/20.
- (33) 斎藤正孝, 橋本学, 時空間的共起性分析に基づく有効参照画素を用いた高速・安定テンプレートマッチング, 精密工学会画像応用技術専門委員会サマーセミナー2011, pp. 43-46, 長野県諏訪市諏訪湖ホテル, 2011/8/29.
- (34) 斎藤正孝, 橋本学, 更新型テンプレートマッチングにおける時空間共起に基づく安定的テンプレート点の選択, 第14回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2011), pp. 852-859, 石川県金沢市金沢市文化ホール, 2011/7/21.
- (35) 橋本学, 画素ベースマッチングの高速化 ~濃度共起情報に基づく画像のユニーク性の表現~, 精密工学会画像応用技術専門委員会定例研究会, pp. 13-22, 東京都千代田区東京電機大学, 2011/5/13.

〔その他〕
ホームページ等
<http://isl.sist.chukyo-u.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本学 (HASHIMOTO, Manabu)
中京大学・工学部・教授
研究者番号：70510832

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：