

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：34412  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2017～2019  
課題番号：17K00420  
研究課題名（和文）正規化・データベース化した病理DICOMの探索による術中患部移動変形計算について

研究課題名（英文）Calculation of Intraoperative Translocation Deformation of a Patient Intraoperatively Using a Normalized and Databased Pathology DICOM Search

研究代表者  
渡邊 郁（Kaoru, Watanabe）  
大阪電気通信大学・総合情報学部・教授

研究者番号：50298832  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、術前・術後のDICOM脳の濃度分布マッチングより、それらの位置姿勢合わせを高精度化した。また、それらのセグメンテーション（悪性腫瘍や血管群の抽出）に成功した。さらに、SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）アルゴリズムより、術前術後DICOM脳における特徴点マッピングを実施した。これにより、ブレインシフトの発生部位、および粘性・弾性・剛性・塑性などの物理パラメータが推定できた。最後に、患者のデータセットの取得が進んだので、患者のデータベースのプロトタイプが作成された。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、術前や術後（術中MRIが導入されれば術中）のDICOMを正規化し、それらのDICOM脳の濃淡値から粘性・弾性・剛性・塑性などのパラメータを探索し、症例・年齢・性別などを軸としたブレインシフトデータベースを作成することである。この研究を進めると、患者のデータセット（術前・術後DICOM脳ペア）の取得が進めば進むほど、より高精度なブレインシフトが事前に患者の症例・年齢・性別から推定できる。これより、手術中のブレインシフトが予め術前に予測でき、それを考慮した手術計画が立てられることから、より安全で確実な悪性腫瘍の摘出手術が遂行できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the position and orientation of the DICOM brains before and after surgery were made more accurate by matching the concentration distributions. We also succeeded in segmenting them (extracting malignant tumors and blood vessels). Furthermore, pre- and postoperative DICOM brain feature point mapping was performed using the SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) algorithm. From this, the location of the brain shift and the physical parameters such as viscosity, elasticity, rigidity and plasticity could be estimated. Finally, since a large number of patient datasets were available, a patient database prototype was created.

研究分野：アルゴリズム

キーワード：ブレインシフト 脳DICOM 患者データベース 特徴点抽出 特徴点マッピング

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

脳は人体の最も重要な器官です。多くの脳の領域は、人が良好な生活の質(QOL)を維持するために無傷のままではなければなりません。脳が損傷すると、合併症や後遺症が発生することがあります。正常領域と異常領域の境界を特定することは困難であり、悪性腫瘍を切除するとき外科医が行き過ぎると後遺症が発生する可能性があります。逆に、あまりに多くの悪性腫瘍が残されると、患者の生存率は低下します。

一般に、脳神経外科手術では、外科医は悪性腫瘍、脳血栓症、脳梗塞、および術前に作成された DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) ファイルに示される場所、位置、形態に注意深く焦点を当てます。手術中、これらのデータは脳外科手術のナビゲーションと顕微手術に使用され、医師の正確で正しい手術をサポートします。ただし、脳のシフトはナビゲーションの精度を大幅に低下させます。脳手術ナビゲーションは、脳シフトの有無にかかわらず実行されます。このとき、外科医は手術中の脳内部からの正確な変形情報の欠如により、依然として不安を感じています。

この問題に対処するには、脳手術中に発生する脳の動きに対処するアプローチが必要です。脳のシフト中、脳は変形し、開頭後に脳脊髄液が失われるか、重力が脳に作用するため、その基底に向かって沈みます。脳神経外科手術では、手術前に準備されたデジタル画像で示される特徴の位置と形態が術中に変化する可能性があります。術中磁気共鳴画像法 (MRI) またはコンピューター断層撮影 (CT) はこの問題に部分的に対処できますが、必要な機器は大きく高価すぎて広範囲には適用できず、少数の病院でのみ使用されています。さらに、術中 MRI (CT) の DICOM は画質が悪いことがよくあります。

### 2. 研究の目的

我々は、術中リアルタイムで更新される脳のダイナミックシミュレータを開発しました。このモデルでは、患部上部から計測したセンサデータの入力に応じて、脳の表面形状が変化します。同時に、悪性腫瘍、血管、神経群などの脳内の位置姿勢が変化します。この脳変形の物理モデルを作成するため、術前術後において脳のどの領域が変形しているかを定量的に評価します。術前術後の DICOM の特徴点とそのマッピングはこの定量評価に役立ちます。

現在、このモデルは数人の患者を使用して開発されています。しかし将来、多数の患者の手術データが得られると、ダイナミックシミュレータの精度は著しく向上します。このデータセットが利用可能になると、脳変形モデル (悪性腫瘍、血栓、血管、神経などの領域のレオロジーパラメーターの識別) が生成され、脳シフトをより一般的に再現できるようになります。

次に、手術中にビジョンセンサを使用して脳切開の領域を測定し、このデータを脳変形モデルに入力することにより、GPGPU を搭載した汎用コンピューティングでも、マルチコアプロセッサを使用してリアルタイムで脳シフトを計算します。計算された脳シフトは、手術中にも利用できるようになり、脳神経外科ナビゲーションの精度が改善されます。要約すると、外科医はリアルタイムで脳変形を視聴できます。脳神経外科シミュレーター/ナビゲーターに関する豊富な発表済みの研究がありますが、ここで開発されたアプローチはユニークであり、外科チームに重要なツールを提供すると考えます。

### 3. 研究の方法

#### A. ソフトウェアとデータ

##### A.1 OpenCV

OpenCV (オープンソースコンピュータビジョン) は、主にリアルタイムコンピュータビジョンを目的としたプログラミング機能のライブラリです[1]。ライブラリはクロスプラットフォームであり、オープンソースの Berkeley Source Distribution (BSD) ライセンスの下で無料使用できます。OpenCV は複数のプラットフォームと互換性があるため、さまざまな状況で使用できます。最近、OpenCV はディープラーニングフレームワーク TensorFlow、Torch / PyTorch、および Caffe をサポートしています[2]。

##### A.2 VTK

Visualization Toolkit (VTK) は、3D コンピュータグラフィックス、画像処理、および視覚化のためのオープンソースで自由に利用できるソフトウェアシステムです。VTK は、C++ クラスライブラリと、Tcl / Tk、Java、Python Kitware などのいくつかのインタープリターインターフェイスレイヤーで構成されています。VTK チームは引き続きツールキットを拡張し、専門的なサポートとコンサルティングサービスを提供しています。Linux、Windows、Mac などのオペレーティングシステムを使用して実行でき、さまざまな視覚化アルゴリズムと高度なモデリング手法をサポートしています。

### A. 3 Python

Python はさまざまなフィールドアプリケーションで使用されています。理解しやすい文法が特徴の高水準な動的プログラミング言語です。Python は、小規模と大規模の両方で明確なプログラミングを可能にする構成を提供します[3]。また、豊富なライブラリを公開しているため、効率的な開発が可能です。Windows、Linux、Mac など、多くのオペレーティングシステムで使用できます。

### A. 4 DICOM

DICOM は、医療画像情報と関連データの通信と管理の標準です[4]。ここで使用される DICOM 画像は、頭蓋骨を除去して取得されています。ここでは、手術前後の 124 枚のデータ画像を使用します。

### B. OpenCV の特徴点抽出アルゴリズム

ここでは、この研究で使用した特徴点抽出アルゴリズムについて説明します。頭蓋骨が存在すると、特徴点はそこに集中するため、この実験では頭蓋骨を除去した後のデータを使用します。特徴点の数はアルゴリズムによって異なります。ここで適用されるアルゴリズムは次のとおりです。

- AKAZE (Accelerated KAZE) : KAZE の改良版で、処理速度が向上しています。
- KAZE : 処理速度が遅いアルゴリズムです。
- ORB (方向づけされた FAST (高速コーナー検出) および回転バイナリロバスト独立基本機能 (BRIEF) 付き) : 処理は高速ですが、特徴的な点が固まる傾向があります。
- スケール不変特徴変換 (SIFT) : 処理は遅くなりますが、特徴点の数が多くなります。

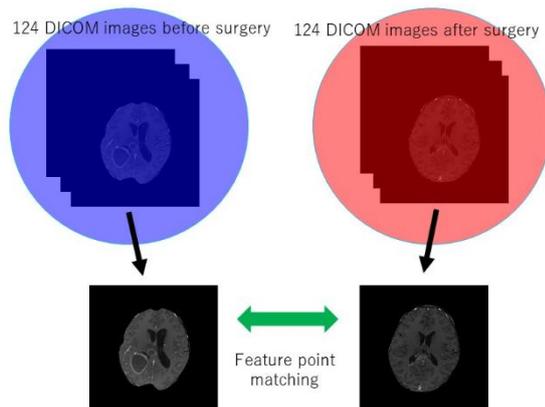


Figure 1. We always select a pair of two images from 124 DICOM images before and after surgery, and several kinds of algorithms such as algorithms such as scale-invariant feature transform (SIFT), KAZE, Accelerated KAZE (AKAZE), and oriented FAST and rotated BRIEF (ORB) under Open CV select a lot of correspondences of feature points.

OpenCV は、SIFT、KAZE、AKAZE、ORB [5]-[10]などのアルゴリズムの研究に使用され、階層化された 2 次元画像の特徴点の抽出/対応アルゴリズムとして使用されています (図 1)。

#### B. 1 AKAZE

Accelerated-KAZE Features (AKAZE) は、KAZE アルゴリズムの改良版です。AKAZE は、ピラミッド型フレームワークに埋め込まれた Fast Explicit Diffusion (FED) と呼ばれる新しい数学フレームワークを使用して、非線形スケール空間の計算を劇的に高速化します。さらに、非線形スケール空間からの勾配情報を利用する堅牢な修正ローカル差分バイナリ (M-LDB) 記述子を計算します。SIFT と SURF はガウシアンフィルターを使用するアルゴリズムであるため、フラットパーツの特徴量抽出に対して脆弱ですが、KAZE と AKAZE もフラットパーツから特徴を抽出します。SIFT や SURF と同様に、AKAZE は、スケールリングと回転に対してロバストであるが高速 (SURF の 10 倍、SIFT の 100 倍) である Oriented-BRIEF (ORB) と同様のトラッキングパフォーマンスを備えています。また、A-KAZE は ORB よりも平坦部の特徴量をよく追跡しています。

#### B. 2 KAZE

KAZE は完全に非線形スケール空間で動作します。SIFT や Speedup Up Robust Features (SURF) などの以前の手法は、ガウススケール空間の特徴を特定します (特に線形拡散の場合)。ガウシアンフィルターは一般にノイズに対して優れていますが、欠点は画像の平滑化により平坦な領域の特徴量が消去されることです。非線形拡散の最も単純なケースの 1 つである可変コンダクタンス拡散を使用します。非線形スケール空間は、加法演算子分割 (AOS) スキームによって効率的に構築されます。これらは、どのステップサイズでも安定しており、並列化できます。した

がって、KAZE は平坦な領域の特徴量を維持しながらノイズを除去できるため、多くの状況で役立ちます。

### B. 3 ORB

ORB は特許を取得していないため、SIFT および SURF の代替として自由に使用できます。これは、FAST キーポイント検出器と Brief 関数記述子の組み合わせで構成されています。ターゲットポイントは FAST によって検出され、Harris コーナースケールを使用してそれらの候補を上位 N 個のアイテムに絞り込みます。さらに、画像ピラミッドを使用してマルチスケールフィーチャを生成します。さらに、特徴点のマッピングには、既存の LSH の改良版であるマルチプロブ局所性依存ハッシュ (LSH) が使用されます。ORB 記述子は SURF よりもパフォーマンスが高いため、機能の低い機器を使用してパノラマ画像を作成するなどのタスクに適しています。

### B. 4 SIFT

SIFT は、照明の影響を受けている場合や、拡大、縮小、または回転がある場合でも、特徴点を取得できます。その主な用途のいくつかは、微細な特徴を確認し、パノラマ写真を作成することです。そのため、SIFT は、明るさ、スケール、回転の変化でもうまく機能します。スケールの変化は、26 次元のガウス (DoG) の差を使用して認識され、回転の変化は、隣接するボクセルとしきい値処理を使用して認識され、明るさの変化は特徴ベクトル (128 次元) の正規化によって認識されます。

## 4. 研究成果

### 4.1 特徴点の抽出

特徴点の数はアルゴリズムによって異なります。同じ画像を使用してさまざまなアルゴリズムをテストします (図 2)。特徴点は頭蓋骨に集中するため、頭蓋骨を取り除いた後のデータを使用します。図 2(a) は、特徴点抽出前の脳の 73 番目の画像を示しています。図 2 (b) および 2(c) は、それぞれ AKAZE および KAZE を使用した結果の特徴点抽出を示しています。どちらも高レベルの抽出を示していません。抽出された特徴点の数は、AKAZE の場合は 282、KAZE の場合は 220 です。ORB を使用して、多くの特徴点 (つまり 500 ポイント) が抽出されましたが、多くの重複するアイテムが見つかりました (図 2(d))。SIFT を使用して、538 個の特徴点が抽出されました (図 2(d))。

### 4.2 完全検索マッチング

フルサーチマッチングでは、最初の画像の特徴点の特徴量記述子を計算する。その後、2 番目の画像のすべての特徴点について、類似性のいくつかの基準に基づいてマッチングが実行されます。一致する可能性が最も高い特徴点が一致ペアとして設定されます (図 3)。この方法では、多くの不一致が発生します。

### 4.3 近傍検索マッチング

近傍検索マッチングは、完全検索マッチングに似ています。第 1 および第 2 の術前画像の特徴点について、それらの類似性に基づいて距離計算が実行され、マッチングがトップ 10 に対して実行される。第 1 の画像内の特徴点の座標が基準として使用される。2 枚目の画像の上から、距離が 5 ピクセル以下の特徴点を選択します。その結果、ポイントは一対として設定されます。このとき、座標を基準にするため、サーチマッチング前の位置を基準にデータを調整し

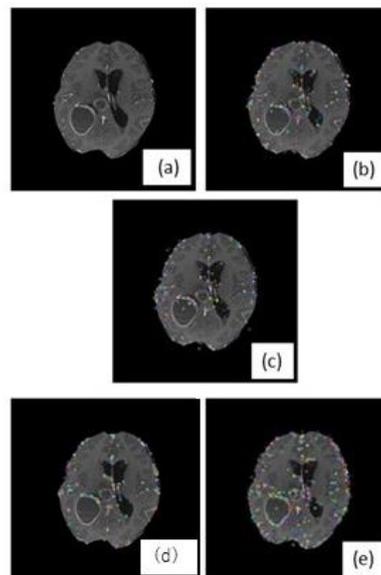


Figure 2. DICOM images (a) before extracting feature points, and with feature points extracted using (b) AKAZE, (c) KAZE, (d) ORB, and (e) SIFT.

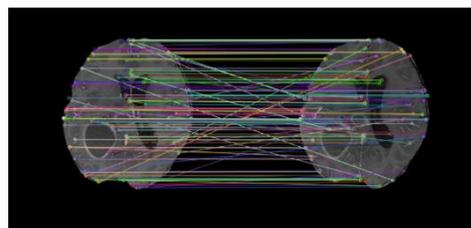


Figure 3. Example of full search matching using images 72 and 73, containing a total of 282 and 194 feature points, respectively. The matching number is 140 pairs.

ます。

近傍検索は一方向のマッチングを表すため、第1と第2の術前画像の順序を変更すると、異なる結果が生成されます。図4(a)は、画像72が第1の術前画像に使用され、画像73が第2の術前画像に使用されるときの結果を示す。図4(b)は、画像73が第1の術前画像に使用され、画像72が第2の術前画像に使用されるときの結果を示す。図4(a)では一致数は352ですが、図4(b)では341です。両方の一致ペアをクロスチェックし、同じ2つの座標を持つものだけを残します(図4(c))。一致する番号は196です。

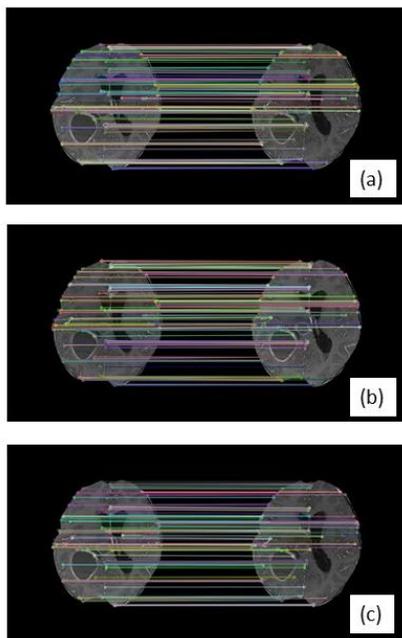


Figure 4. (a) Matching pairs when first preoperative image is set to image 72 and the second preoperative image is set to image 73. (b) Matching pairs when first preoperative image is set to image 73 and the second preoperative image is set to image 72. (c) Cross checking of results in (a) and (b).

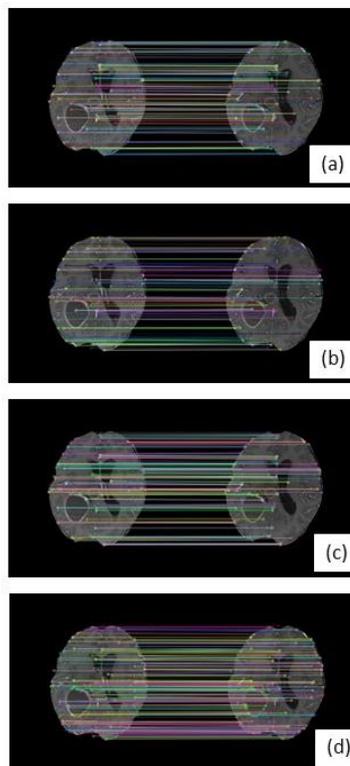


Figure 5. Results of feature point matching by neighbor search using the (a) AKAZE, (b) KAZE, (c) ORB, and (d) SIFT algorithms.

#### 4.4 異なるアルゴリズムを使用したペアセットのマッチング

AKAZE、KAZE、ORB、SIFT アルゴリズムを使用した近傍検索による特徴点マッチングの結果は、図5のとおりです。術前 DICOM 画像 72 と 73 が使用され、一致するペアの数はそれぞれ 119、77、196、185 です。アルゴリズムごとに、照合する数は、照合する前の抽出された特徴点の半分未満です。ただし、どのアルゴリズムにも不一致はなく、クリーンなペアが正確に抽出されます。

#### 引用文献

- [1] Pulli, K., Baksheev, A., Korniyakov, K., Eruhmov, V. 2012. Realtime Computer Vision with OpenCV. *Communications of the ACM, CACM Homepage archive*, 55, 6, 61-69, DOI=10.1145/2184319.2184337.
- [2] <https://github.com/opencv/opencv/wiki/Deep-Learning-in-OpenCV>
- [3] Kuhlman, D. 2009. *A Python Book: Beginning Python, Advanced Python, and Python Exercises*, This document is subject to the provisions of the Open Source MIT License, <http://www.opensource.org/licenses/mit-license.ph>.
- [4] <https://www.dicomstandard.org/current/>
- [5] Tareen, S., Saleem, Z. 2018. A comparative analysis of SIFT, SURF, KAZE, AKAZE, ORB, and BRISK. In *Proceedings of the Int. Conf. on Computing, Mathematics and Engineering Technologies* (Sukkur, Pakistan, March 2018), DOI=10.1109/ICOMET.2018.8346440
- [6] Lowe, D. 2004. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *Int. Journal of Computer Vision*, 60, 2, 91-110, DOI= <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>.
- [7] Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., Bradski, G. R. 2011. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. In *Proceedings of the Int. Conf. on Computer Vision* (Barcelona, Spain, 6-13 Nov. 2011), 2564-2571, DOI= [10.1109/ICCV.2011.6126544](https://doi.org/10.1109/ICCV.2011.6126544)
- [8] <http://robesafe.com/personal/pablo.alcantarilla/kaze.html>
- [9] Alcantarilla, P. F., Bartoli, A., Davison, A. J. 2012. KAZE Features. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*, (Firenze, Italy, October 2012), DOI= [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33783-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33783-3_16).
- [10] Alcantarilla, P. F., Nuevo, J., Bartoli, A. 2013. Fast Explicit Diffusion for Accelerated Features in Nonlinear Scale Spaces. In *Proceedings of the British Machine Vision Conference*, (Bristol, UK, September 2013), DOI=<http://dx.doi.org/10.5244/C.27.13>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Onishi K., Tanaka Y., Mizushino K., Tachibana K., Watanabe K., Noborio H.	4. 巻 10902
2. 論文標題 Calibration Experiences of Multiple RGB/Depth Visions for Capturing a Surgical Area	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 In: Kurosu M. (eds) Human-Computer Interaction. Interaction in Context. HCI 2018. Lecture Notes in Computer Science, Springer	6. 最初と最後の頁 64-71
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-319-91244-8_6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Satoshi Numata, Daiki Yano, Masanao Koeda, Katsuhiko Onishi, Kaoru Watanabe, Hiroshi Noborio and Hirotaka Uoi	4. 巻 10902
2. 論文標題 A Novel Liver Surgical Navigation System Using Polyhedrons with STL-format	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Springer, Human-Computer Interaction. Interaction in Context. HCI 2018. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 53-63
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-91244-8_5">https://doi.org/10.1007/978-3-319-91244-8_5</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hiroshi Noborio, Shota Uchibori, Masanao Koeda and Kaoru Watanabe	4. 巻 to appear
2. 論文標題 Two-dimensional DICOM feature points and their mapping extraction for identifying brain shifts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences	6. 最初と最後の頁 to appear
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18178/ijpmbs	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Daiki Yano, Masanao Koeda, Mayuko Doi, Kodai Okumoto, Shogo Yoshida, Katsuhiko Onishi, Hiroshi Noborio and Kaoru Watanabe	4. 巻 3
2. 論文標題 Accuracy verification of knife tip positioning with position and orientation estimation of the actual liver for liver surgery support system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Bioinformatics and Neurosciences	6. 最初と最後の頁 79-84
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Hiroshi Noborio, Shogo Yoshida, Kaoru Watanabe, Daiki Yano, and Masanao Koeda
2. 発表標題 Comparative Study of Depth-Image Matching with Steepest Descendent and Simulated Annealing Algorithms
3. 学会等名 11th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies (BIOSTEC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Kaoru Watanabe, Shogo Yoshida, Daiki Yano, Masanao Koeda, Hiroshi Noborio	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer Cham	5. 総ページ数 594-607
3. 書名 A New Organ-Following Algorithm Based on Depth-Depth Matching and Simulated Annealing, and Its Experimental Evaluation	

1. 著者名 Masahiro Nonaka, Kaoru Watanabe, Hiroshi Noborio, Masatoshi Kayaki, Kiminori Mizushino	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer Cham	5. 総ページ数 540-555
3. 書名 Capturing a Surgical Area Using Multiple Depth Cameras Mounted on a Robotic Mechanical System	

1. 著者名 Hiroshi Noborio, Kaoru Watanabe, Masahiro Yagi, Shunsuke Ohira, Katsunori Tachibana	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer Cham	5. 総ページ数 524-539
3. 書名 Algorithm Experimental Evaluation for an Occluded Liver with/without Shadow-Less Lamps and Invisible Light Filter in a Surgical Room	

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪電気通信大学 教員情報データベース  
<https://research.osakac.ac.jp/index.php?%E6%B8%A1%E9%82%8A%E3%80%80%E9%83%81>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大西 克彦  (Onishi Katsuhiko)  (20359855)	大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授   (34412)	
研究分担者	陳 延偉  (Chen Yen-Wei)  (60236841)	立命館大学・情報理工学部・教授   (34315)	
研究分担者	埜中 正博  (Nonaka Masahiro)  (90577462)	関西医科大学・医学部・教授   (34417)	