

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 3 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26282147

研究課題名(和文) 多層計測と非線形柔軟物モデルの協調による実時間臓器追跡に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Real-time Organ Tracking by Cooperating Multi-layered Measurement and Non-linear Deformable Object

研究代表者

黒田 嘉宏 (Kuroda, Yoshihiro)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：30402837

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、狭帯域多波長計測による非剛体柔軟物の数理解析とその解析に基づく階層的画像追跡技術の開発を行った。狭帯域多波長計測については、病変組織の可視化が主な応用とされ、これまで画像間のマッチングやトラッキングに用いられた例は他にない。ピラミッドマッチングの概念を応用した階層的画像マッチング・追跡技術のアイデアを考案した。提案手法の評価のために、高感度カメラや狭帯域波長可変フィルタ、また独自手法を含む多様な画像認識アルゴリズムを実装した計測・処理システムを構築した。提案手法では、RGB画像などと比較してより精度の高いマッチングを行うことが確認されている。

研究成果の概要(英文)：This study aims at understanding of deformable object using narrow-band measurement and developing a tracking method. Foregoing studies related to narrow-band imaging focused on visualization of tumors, while this study focused on soft tissue tracking. A high sensitivity camera, a narrow-band tunable filter, and proposed computer vision algorithms were integrated in the system. The experimental results showed higher matching performance compared to the matching performance with RGB images.

研究分野：医用工学

キーワード：低侵襲治療 有限要素法 手術ナビゲーション コンピュータビジョン 特徴点 テンプレートマッチング

1. 研究開始当初の背景

近年、ナビゲーション加算が付与されるなど、手術 AR (Augmented Reality: 拡張現実感) ナビゲーションの重要性は益々高まっている。一方、特徴点情報の不足や変形への対応について課題があり、臓器などの非剛体への適用方法は未だ確立していなかった。狭帯域多波長計測については、病変組織の可視化が主な応用とされ、これまで画像間のマッチングやトラッキングに用いられた例は他にない。

2. 研究の目的

本課題では、臓器の大回転変形や切開においても臓器モデルの重畳を可能とする柔軟物追跡技術の確立を目指す。特に、多くの特徴点情報を取得可能とする多層計測技術と、大変形や切開に対応可能な非線形柔軟物モデルの開発を目的とする。また、実臓器に対する検証を行う。

3. 研究の方法

図 1、図 2 のように液晶可変フィルタと高感度カメラからなる 10 nm 幅の Narrow Band Imaging 技術で生体を多波長で高フレームレートに計測可能とした。多波長で特徴点を検出手法を開発した。また、波長選択法の自動化を行うことにより、様々な物体を対象として効率的な実験が可能となった。さらに、長波長画像の有効利用と手術道具による臓器の遮蔽にロバストな臓器追跡技術の実現を目的として、多波長画像ピラミッドによる領域ベースの追跡手法を開発した。

また、計算手法として従来実時間処理が難しかった共回転手法の逆剛性マトリクス更新を Sherman-Morrison-Woodbury 手法により逐次的に実施可能としたうえで、ユーザが対話的に操作可能なシステムを構築し、手法の完成度を高めた。さらに、非線形材料の代表である超弾性材料を高速計算するために剛性マトリクス表現を行った。

4. 研究成果

多波長画像からの特徴点検出について、手のひらおよび鳥の胸肉を対象とした実験を行った。実験の結果、図 3 のように通常の RGB カメラに比べて提案する NBI 特徴点検出手法では特徴点数が有意に増加し、また図 4 に示されるように特徴点分布が各波長で異なることから追跡に有用な情報が得られることが分かった。また、図 5 に概要を示す領域ベースのマッチング・追跡手法に対して、臓器の引張試験を行った。臓器の変形時の正解位置を取得する方法として、図 6 のように蛍光インクを塗布し、ブラックライトを照射してインクを可視化する方法を実施した。図 7 に変形推定の誤差が小さかった波長パターン上位 10 組とその誤差平均を示す。短波長が最下層つまり別の波長でマッチングを行った後に細かな領域のマッチングに適してい

ることが分かった。また、単一の波長を多層で適用する場合に比べて、多波長を用いた方が正確に追跡できることが分かった。また、応用として腎臓を対象とした実験を行い、術具による切断を行った場合における追跡の可能性について評価した。また生体組織の狭帯域計測によって異なる空間周波数と画像特徴を有する多波長画像の取得が可能であることを見出し、ピラミッドマッチングの概念を応用した階層的画像マッチング・追跡技術のアイデアを考案した。

計算手法については、剛性マトリクスの逐次更新により切開・破断を表現可能とした。また、単純引張試験シミュレーションの結果、従来の繰り返し最適化を行う方法と同等の変形精度を 1/10 以下の計算時間で実施可能であることが示された。画像認識としては、組織切開・破断モデルに特徴点追跡手法を組み込み、組織変形から破断へ構造変化において特徴点がどのように振る舞うかを観察可能とした。

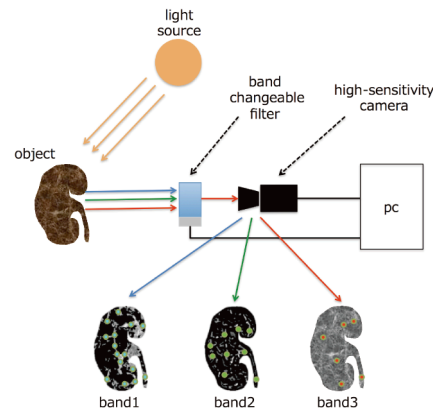


図 1: 多波長計測システムによる特徴点検出



図 2: 計測システム

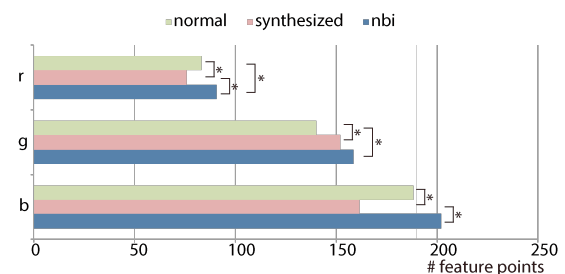


図 3: 結果 (特徴点の数)

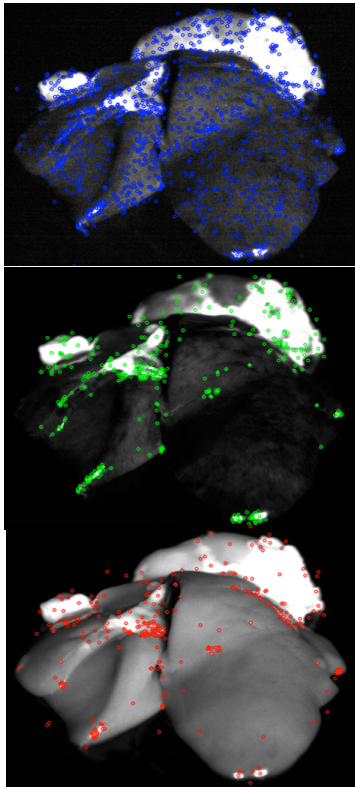


図 4 : 特徴点分布 : (上段) 短波長画像、(中段) 中波長画像、(下段) 長波長画像

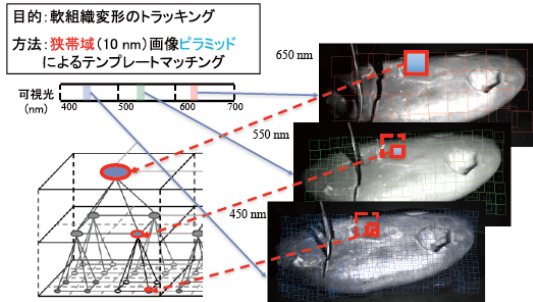


図 5 : 手法概要

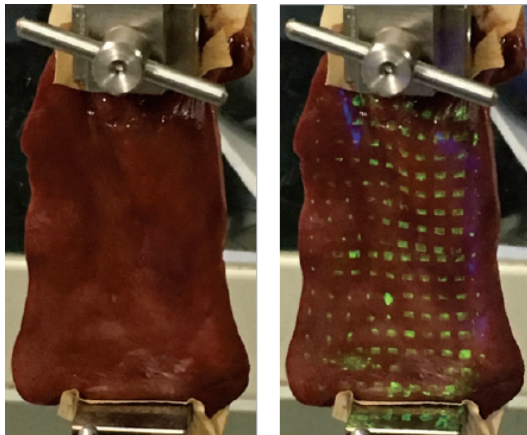


図 6 : 引張試験時の Ground truth 画像の取得 : (左) 可視光画像、(右) ブラックライト照射時の画像

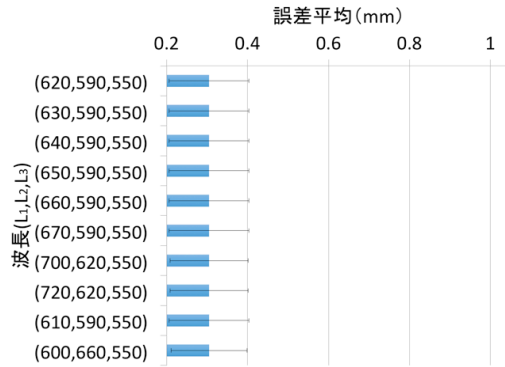


図 7 : 変形推定の誤差が小さかった波長パターン上位 10 組とその誤差平均

これらの研究の一部は、生体医工学分野において最も権威のある IEEE Engineering in Medicine and Biology 2015, コンピュータ外科分野で主要な国際会議 Computer Aided Radiology and Surgery 2015 などに採択されたほか、コンピュータ外科系の国際論文誌 International Journal for Computer Aided Radiology and Surgery に採録された。また、腎部分切除術に関する研究も進展し、代表的なジャーナルである International Journal of Urology に 2 本採録された。また、成果の一部は、書籍「AR 技術の基礎・発展・実践」や招待講演を通して広く周知に努めた。更に階層的手法に関して、今後、国際論文誌に投稿する予定である。

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 5 件)

1. Y. Tamura, T. Mashita, Y. Kuroda, K. Kiyokawa, H. Takemura; Feature Detection in Biological Tissues using Multi-band and Narrow-band Imaging, International Journal for Computer Assisted Radiology and Surgery, 11(12), pp. 2173-2183, 2016. 査読あり
2. 服部ゆかり, 黒田嘉宏, 大城理, 宇谷厚志; 有限要素法による周術期大臀筋・臀部皮膚傷害の発生機序解析のこころみ, 日本皮膚科学会雑誌, 127(8), 2017. 査読あり
3. K. Yoshida, A. Yokomizo, T. Matsuda, T. Hamasaki, Y. Kondo, K. Yamaguchi, H. Kanayama, Y. Wakumoto, S. Horie, S. Naito. The Advantage of a Ureteroscopic Navigation System with Magnetic Tracking in Comparison with Simulated Fluoroscopy in a Phantom Study. J Endourol. 2015 Sep;29(9):1059-64. 査読あり
DOI: 10.1089/end.2015.0054.

4. K. Yoshida, H. Kinoshita, T. Yoshida, K. Takayasu, T. Mishima, M. Yanishi, Y. Komai, M. Sugi, G. Kawa, T. Matsuda. Comparison of diameter-axial-polar nephrometry score and RENAL nephrometry score for surgical outcomes following laparoscopic partial nephrectomy. Int J Urol. 2016 Feb;23(2):148-52. 査読あり
DOI: 10.1111/iju.13009.
5. K. Yoshida, H. Kinoshita, Y. Hayami, T. Nakamoto, K. Takayasu, M. Sugi, T. Matsuda. Laparoscopic upper-pole heminephrectomy for duplicated renal collecting system with superselective artery clamping using virtual partial nephrectomy analysis of Synapse Vincent: A case report. Int J Urol. 2015 Nov;22(11):1075-7. 査読あり
DOI: 10.1111/iju.12897.

〔学会発表〕(計 7件)

1. Y. Tamura, T. Mashita, Y. Kuroda, K. Kiyokawa, H. Takemura; Feature Detection in Biological Tissues using Multi-band and Narrow-band Imaging, CARS2016, 2016. 査読あり
2. N. Ayunisa, Y. Kuroda, N. Kadoya, S. Yoshimoto, O. Oshiro, Deformable image registration method using internal organ constraint in cervical cancer radiotherapy case, International Forum on Medical Imaging in Asia, pp. 209-212, 2017. 査読あり
3. 黒田嘉宏, 田村裕樹, 間下以大, 浦西友樹, 清川 清, 竹村治雄, 狭帯域画像の生体組織への適用に関する研究, 電子情報通信学会, vol.116, no.412, 207-212, 2017. 査読あり
4. 田村裕樹, 間下以大, 黒田嘉宏, 浦西友樹, 清川 清, 竹村治雄, 狭帯域多波長画像ピラミッドを用いた生体マッチング方法の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.116, no.412, 207-212, 2017. 査読あり
5. S. Nishiyama, Y. Kuroda, H. Takemura: Stiffness Matrix Representation of Hyper-elasticity for Surgical Simulation and Navigation, 37th Annual International Conference of the IEEE EMBC2015, pp. 905-908, 2015. 査読あり

6. Yoshihiro Kuroda, Haruo Takemura, SRU: Stepwise Rotation Update of Finite Element Model for Large Deformation, Asia Haptics 2014, B1 : 1 - 2, 2014. 査読あり
7. Y. Kuroda, Y. Uranishi, M. Imura, O. Oshiro, H. Takemura; Large Deformation with Haptic Interaction by Stepwise Rotation Update of Finite Element Model: Proceedings of International Congress and Exhibition Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.9, suppl.1, S127-128, 2014. 査読あり

〔図書〕(計 1件)

黒田嘉宏(分担), AR技術の基礎・発展・実践, 科学情報出版, 2015.

〔その他〕

研究紹介ページ(黒田嘉宏)

<https://sites.google.com/site/ahchlab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒田 嘉宏 (KURODA, Yoshihiro)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
研究者番号: 30402837

(2) 研究分担者

間下 以大 (MASHITA, Tomohiro)
大阪大学・サイバーメディアセンター・講師
研究者番号: 00467606

清川 清 (KIYOKAWA, Kiyoshi)
大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授
研究者番号: 60358869

竹村 治雄 (TAKEMURA, Haruo)
大阪大学・サイバーメディアセンター・教授
研究者番号: 60263430

吉田 健志 (YOSHIDA, Takeshi)
関西医科大学・大学院医学研究科・助教
研究者番号: 40572673

松田 公志 (MATSUDA, Tadashi)
関西医科大学・大学院医学研究科・教授
研究者番号: 20192338

新岡 宏彦 (NIIOKA, Hirohiko)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教
研究者番号: 70552074