

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：12102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K21304

研究課題名（和文）投影型拡張現実を用いた腹腔鏡手術支援システムの構築

研究課題名（英文）Abdominal Laparoscopic Surgery Support System Using Projection-based Augmented Reality

研究代表者

謝 淳 (Xie, Chun)

筑波大学・計算科学研究センター・研究員

研究者番号：00913287

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究は、腹腔鏡スコープと手術器具を追跡し、腹腔鏡の撮影領域や、腹腔内に挿入して見えない器具の角度、深度を推定し、SAR (spatial augmented reality) で体表面に表示させるシステムを構築した。三次元形状とプロジェクタ位置を用いて投影の歪み補正を施し、術者に幾何学的整合性を保った映像を提示可能である。また普及度の高い、且つ比較的安価な C-Arm 透視装置を使用して骨の3次元モデルを構築する方法を提案した。さらに、多視点 (bullet-time) 撮影システムを用いて外科手術を記録し、状況に応じて最適な視点に切り替える手術支援システムを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究が構築したシステムはSARによる腹腔鏡手術支援技術やアプリケーションの開発、評価の基盤となり、医療メディア分野において新たな知見の創出を導く。また、腹腔鏡手術のみならず、他の内視鏡カメラを経由して術野を観察する手術への応用も期待される。また、提案した多視点映像システムは若手医師の育成効率の向上に有用である。さらに、C-Arm透視装置を使用した3次元復元方法は、手術中に骨の3次元モデルを生成し、術前計画との比較により迅速の手術評価が可能となり、医療効率の向上に貢献した。

研究成果の概要（英文）：This research has developed a system that tracks laparoscopic scopes and surgical instruments, estimates the angles and depths of instruments inserted into the abdomen that are not visible from the laparoscope's imaging area, and displays them on the body surface with SAR (spatial augmented reality). By using three-dimensional shapes and projector positions, we can correct projection distortions and provide surgeons with geometrically consistent images. We have also proposed a method for constructing three-dimensional models of bones using widely used and relatively inexpensive C-Arm fluoroscopy equipment. Furthermore, we have proposed a surgical support system that records surgical procedures using a multi-view (bullet-time) filming system and switches to the optimal viewpoint as needed.

研究分野：拡張現実

キーワード：拡張現実 手術支援 画像処理 三次元センシング

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

腹腔鏡手術は、従来の開腹手術と比べて皮膚切開創が少なく、術後の疼痛が軽く、回復が早いといったメリットがあり、現代では低侵襲手術の一つとして普及しつつある。

一方、開腹手術のように直接に術野を目視できないため、モニタを用いて患者体内のカメラで撮影した映像を経由して術野の様子を確認する必要がある。しかし、カメラ視野が狭く、操作が直感的ではないなどの原因で、腹腔鏡手術は開腹手術より難易度が高い。よって、腹腔鏡手術は手術時間が長く、熟練まで時間が要するといった問題点が存在し、医療効率の低下とコストの上昇にも繋がっている。このような背景から、医療現場において学習と作業効率の向上を目的とする腹腔鏡手術支援技術の発展が重要視されている。

術者の作業を円滑にするために主に以下二つの課題がある：①患者体内の組織の様子、手術器具の位置等の術野情報を拡張する。②その情報を直観的に提示する。近年、術野のデータ収集と処理技術は大きく発展しており、手術中に患者体内のより豊富な情報が取得可能になった。一方、提示方式に関する大きな進歩は見られておらず、既存の提示方式では、映像を観察する視点と手術の様子を撮影するカメラの位置が離れていることや、カメラ視野が狭いことが原因となり、作業効率の改善が依然課題として残る。この課題を解決することは腹腔鏡手術支援にとって重要である。

2. 研究の目的

本研究は腹腔鏡映像の情報処理結果を、SAR提示方式によって、患者腹部のシースルーを実現するためのシステムを構築することで、腹腔鏡手術を支援することを目的とする。

これまでの関連研究は、仮想現実（VR）や拡張現実（AR）HMDを使用した提案は主流となっているが、本研究ではHMD方式が術者に負担がかかるため、装着時間の長い手術現場への導入が困難であることを問題視し、改めてSAR技術を中心としたシステムを提案している。

本研究が構築したシステムはSARによる腹腔鏡手術支援技術やアプリケーションの開発、評価の基盤となり、医療メディア分野において新たな知見の創出を導く。また、腹腔鏡手術のみならず、他の内視鏡カメラを経由して術野を観察する手術への応用も期待される。

3. 研究の方法

術者の視点によって術野の見え方の変化を二次元の投影映像に反映させるために、モーションキャプチャー等を使用して術者の視点位置を取得し、それに合わせて体内の三次元データから二次元映像を生成する。また、投影面である患者体表（腹部）は平面でなく、手術中に患者の呼吸などに伴って腹部の形状は常に変化するため、投影された映像に幾何学的歪みが生じる。本研究は、腹部の三次元形状変化を動的に計測し、腹部の三次元座標とプロジェクタのピクセル座標との対応関係から、プロジェクタの相対位置を算出する。三次元形状とプロジェクタ位置を用いて投影の歪み補正を施し、術者に幾何学的整合性を保った映像を提示する。

また、多視点映像で手術を記録し、カメラ位置推定と術野の三次元復元を行い、より直感的な視覚情報を提供することを実現する。術前診断データを利用して情報を補い、視点変化による欠損の少ない三次元データの生成方法を探索する。さらに、深層学習技術を使用して新規視点を合

成する技術を改良し、提示される三次元情報の質を向上させる。

4. 研究成果

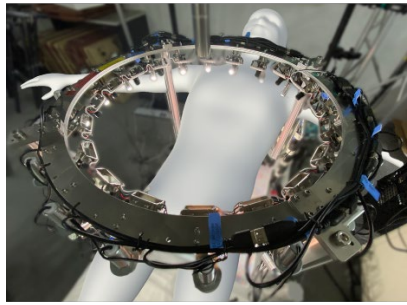
(1) 本研究は、腹腔鏡映像と投影型拡張現実技術を融合し、腹部体表を透視することで腹腔内部を直接視認する新たな観察法を開発した。モーショントラッキングシステムを導入することで、手術者の視線と手術器具の位置追跡を可能にした。また、構造化パターン光を利用したプロジェクタキャリブレーション手法と 2-pass レンダリング法を組み合わせることで、追跡結果を正確にレンダリングし、精度高くシースルー投影を実現した。



加えて、医療専門家と連携し、我々のシステムの可能性を示す3つの使用例を提示した。

- 術前診断データの提示：術前診断データ（CT、MRI 等）は、手術前に血管や腫瘍の位置を把握するのに重要であるが、手術中はこれらが脂肪に覆われてしまうため、視覚的に位置情報を得るのは困難である。提案システムは、術者の視点移動に対応して歪み補正を行い、シースルー方式で三次元術前診断データを体表に投影する。これにより、血管や腫瘍の上下左右だけでなく、深部の位置関係も明確に認識できる。
- 手術器具の挿入部の提示：手術器具の先端が予期せぬ組織に触れ、臓器を損傷するリスクがある。特に、腹腔鏡スコープの視野角が狭く、器具が見えない方向に進むと誤接触の危険度が高まる。そこで、提案システムは手術器具の把持部の動きから先端の位置を推定し、補助的に投影する。これにより、術者は視認困難だった手術器具の先端位置を確認できる。
- 腹腔鏡スコープ視野の提示：手術器具は腹腔鏡モニタに映された術野に向けて刺入されるため、術野の位置を患者の体表に投影することは、誤接触の防止に有効である。提案システムは腹腔鏡スコープの刺入角度と深度から撮影領域を推定し、その結果を色分けで投影することで術野の位置を示すことが可能である。

(2) 本研究は、外科手術の学習効率向上の観点から、外科ビデオの録画品質を向上させるための革新的な解決策も提案している。従来の撮影システムでは、術者の頭より高い場所に設置されている一台のカメラで撮影を行う。その際、外科医の頭や手による視界の遮蔽という問題が多発している。この問題を克服するために、我々は外科医と患者（術野）の間に複数のカメラを設置するシステムを提案する。本システムは外科手術を多視点ビデオで記録し、最適な視点に自由に切り替えるように構築されている。また、本システムはバレットタイム映像処理技術と深層学習ベースの物体検出方法を採用し、指定した場所を中心に視点の切り替えを行うことが可能である。



本論文の主な貢献は以下の通りである：

- 革新的なシステムデザイン：本研究は、外科医と患者の間に設置可能な多視点撮影システムを提案している。本システムは自由に視点を切り替えることで、従来の撮影方法で多発する頭や手による視界の遮蔽という問題を回避できる。
- 手術記録ビデオの改善：本システムは、外科医の頭や手が視界を遮る問題を解決することで、従来の手術ビデオ録画方法を改善した。これにより、録画されたビデオは若手外科医の教育、特に手術のケーススタディの場面における効果が向上される。
- バレットタイム映像の応用：本システムは、バレットタイム映像処理技術を活用し、指定した注視点をあらゆる方向から観察可能である。本技術は手術中の重要な瞬間を分析する際に特に有用である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shrestha Pragyan, Xie Chun, Shishido Hidehiko, Yoshii Yuichi, Kitahara Itaru	4. 巻 13
2. 論文標題 3D Reconstruction of Wrist Bones from C-Arm Fluoroscopy Using Planar Markers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Diagnostics	6. 最初と最後の頁 330 ~ 330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/diagnostics13020330	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 Ikumi Akira, Yoshii Yuichi, Iwashita Yuta, Sashida Satoshi, Shrestha Pragyan, Xie Chun, Kitahara Itaru, Ishii Tomoo	4. 巻 13
2. 論文標題 Comparison of 3D Bone Position Estimation Using QR Code and Metal Bead Markers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Diagnostics	6. 最初と最後の頁 1141 ~ 1141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/diagnostics13061141	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Pragyan Shrestha, Chun Xie, Hidehiko Shishido, Yuichi Yoshii, Itaru Kitahara
2. 発表標題 3D Reconstruction of Bone from Multi-View X-Ray Images Using Planar Markers
3. 学会等名 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (国際学会)
4. 発表年 2022年 ~ 2023年

1. 発表者名 Yinghao Wang, Chun Xie, Hidehiko Shishido, Shinji Hashimoto, Tatsuya Oda, Itaru Kitahara
2. 発表標題 A Surgical Bullet-Time Video Capturing System Depending on Surgical Situation
3. 学会等名 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1 . 発表者名 P. Shrestha, C. Xie, H. Shishido, Y. Yoshii, I. Kitahara
2 . 発表標題 X-Ray to CT Registration Using Scene Coordinate Regression Network
3 . 学会等名 International Forums on Medical Imaging in Asia (IFMIA2023) (国際学会)
4 . 発表年 2022年 ~ 2023年

1 . 発表者名 C. Xie, S. Dong, H. Shishido and I. Kitahara
2 . 発表標題 A Sketch Correction Method for Symmetric Structures based on Two-Point Perspective
3 . 学会等名 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4 . 発表年 2022年 ~ 2023年

1 . 発表者名 C. Xie, X. Xia, H. Shishido, T. Matsui and I. Kitahara
2 . 発表標題 A VR Assisted Image Gathering Method for Digital Archiving of Cultural Properties
3 . 学会等名 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4 . 発表年 2022年 ~ 2023年

1 . 発表者名 Q. Li, I. Ueda, C. Xie, H. Shishido and I. Kitahara
2 . 発表標題 OmniVoxel: A Fast and Precise Reconstruction Method of Omnidirectional Neural Radiance Field
3 . 学会等名 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4 . 発表年 2022年 ~ 2023年

1. 発表者名 Q. Li, I. Ueda, C. Xie, H. Shishido, and I. Kitahara
2. 発表標題 Omnidirectional Neural Radiance Field for Immersive Experience
3. 学会等名 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW) (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 P. Shrestha, C. Xie, H. Shishido, Y. Yoshii, and I. Kitahara
2. 発表標題 3D Reconstruction of Bone from Multi-View X-Ray Images Using Planar Markers
3. 学会等名 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech) (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 P. Shrestha, C. Xie, H. Shishido, Y. Yoshii, I. Kitahara
2. 発表標題 3D Reconstruction of Bone Structure from Multi-View X-Ray Images Using Planar Markers
3. 学会等名 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 謝 淳, 宍戸 英彦, 北口 大地, 小田 竜也, 北原 格
2. 発表標題 投影型拡張現実を用いた腹腔鏡手術支援システムの構築
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第27回大会
4. 発表年 2022年～2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------