

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K18074

研究課題名（和文）手術用顕微鏡画像-OCT情報の統合による視認性の高い手術アシスト映像の実現

研究課題名（英文）Realization of Highly Visible Surgical Assistance Imagery through the Integration of Surgical Microscope and OCT Information

研究代表者

曽我部 舞奈（Sogabe, Maina）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号：80788951

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：この研究は、種々に分かれる術中情報の集約による眼科手術の技術革新をめざした。集約にあたり、さまざまな術中ノイズが、集約の妨げになることが判明したため、それぞれの問題に対して、深層学習を用いたフレームワークを開発し課題を解決した。カメラやOCT情報を活用した3次元情報の取得と提示環境を開発し、深度情報をリアルタイムに復元し、VRゴーグルでの描画とアノテーションを可能に、術中情報集約の基盤を整えた。加えて、深層学習を用いて出血位置や眼科器具の認識技術を開発し、視野阻害の問題に対処した。これらの技術組み合わせは、眼科手術の精度と効率の向上に寄与すると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究の学術的意義は、医療技術とAIの融合を具現化する新たな枠組みを提供し、眼科手術の技術革新を牽引する重要な一歩となっている。OCTを用いたロボット制御、深層学習の活用、3次元情報の取得と提示、ノイズ除去技術の開発は、未来の手術環境の可能性を広げている。眼科手術の精度と効率性の向上は、患者の治療結果改善と医療資源の最適化を可能にする。手術の安全性を向上し、医師の労働負荷を軽減するロボット技術とAIの組み合わせは、医療現場の進化につながることを期待されており、高齢化社会における眼科疾患の増加に対応し、社会全体の健康と福祉の向上に貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：This research aimed to innovate ophthalmic surgery techniques through the aggregation of various intraoperative information. During this aggregation, it was found that various intraoperative noises posed obstacles, hence frameworks utilizing deep learning were developed to address each problem. The research included the development of an environment for the acquisition and presentation of three-dimensional information using camera and OCT data. This allowed for the real-time reconstruction of depth information and facilitated the rendering and annotation within VR goggles, establishing the foundation for intraoperative information aggregation. Additionally, technologies for recognizing the location of bleeding and ophthalmic instruments were developed using deep learning to tackle the issue of visual field obstruction. The combination of these techniques is believed to contribute to the improvement of accuracy and efficiency in ophthalmic surgery.

研究分野：医療画像処理

キーワード：眼科 OCT VR

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

手術時の映像技術の進歩は目覚ましく、特に眼科をはじめとしたマイクロサージェリー領域においては 4K・8K モニターや高解像の手術用顕微鏡の台頭により、人間の目で見るとよりも高精細な映像を見ながらの手術が可能になった。微細構造を把握できる顕微鏡下手術の発展により、我が国における眼科手術件数は水晶体再建術に限っても 70 万件を超えており、その需要は増加傾向にある。

しかしながら、顕微鏡下であっても微細な損傷箇所や針の穿刺箇所、閉塞状況、不透明組織の裏側など、目で見て捉えることが難しい状況もある。こういった場合において、光干渉断層撮影法 (optical coherence tomography、以下 OCT) や超音波検査法を用いることで、組織状態をマイクロオーダーで観測し、損傷箇所の把握、穿刺状態の確認、液体の漏出や閉塞を確認し、より正確な手術を行うことが可能となる。ただし、これらの計測技術を術中に使う場合、術者が複数の計測機器に視線を移動する必要があるため、視線移動の複雑化は術者へのストレス増加だけでなく、手術時間の増大など患者への負担にもつながる恐れがある。

そこで必要になってくるのが、計測された映像情報の選別・集約技術である。しかし、これまでの手術アシストを目的とした映像化技術は、単純な 2 次元画像のオーバーレイや、あらかじめ精密にレンダリングを行なった上での 3 次元描写等であり、術中にリアルタイムで「見えないものを把握しながら」という技術は未だ普及しているとは言えない状況である。

2. 研究の目的

本申請研究では、豚眼球をモデルとして用い、モニター上での手術用顕微鏡画像と OCT 画像融合を実現し、術中に見えにくかった状況の描出を目指す。その際、直接 OCT から取得した情報を投影すると、視認性が低下するため、画像処理技術を用いて、損傷部位や、穿刺部位、そして液体の漏出、閉塞状況を抽出し、情報のスリム化を行なった上で手術用顕微鏡画像上へのリアルタイム描出を実現するため、三次元情報構成の課題となっていた解決につながる要素技術の開発を目的とした。

3. 研究の方法

研究の方法は主に豚摘出眼球を用いた標本での検証、深層学習をもちいた推定をおこなった。具体的な内容は 4 に示す。

4. 研究成果

(1)OCT を用いた眼科

OCT を用いた、眼科手術中の針刺しタスク環境を開発した。タスクをロボットにより半自律的に制御可能な状態にすることで、データの自動取得環境を構築し、深層学習へつなげるためのデータセット取得環境を完成させた。

(2) 3 次元情報の取得と提示プラットフォームの開発

(2)-1 深度情報のリアルタイム復元

3 次元描出のためには術野の深度情報復元が必須となる。研究計画段階では、OCT 画像のみからの 3 次元復元を検討していたが、テキスト情報が失われること、術野に入り込む

アーティファクト情報に対して非常に脆弱であったことから、カメラ画像からの深度情報復元の方向を検討した。

足がかりとして、すでに大規模な 3D データの正解ラベルが提供されている内視鏡画像をターゲットにリアルタイム情報復元手法を開発した。

結果として従来と比較して、ハイレームレートで、深度情報生成が可能な技術を確立した。現在、眼球の 3 次元情報復元のためのデータセットを取集し、深度生成器の公開を目指している。

(2)-2 VR 空間への術野空間の描画と、アノテーション機能の導入

上記で取得した深度情報を利用することで、VR ゴーグル上に取得された術野空間情報が描出できるようにし、さらにコントローラーを用いることで、アノテーションをつけることを可能にした。

(3)ノイズ除去

OCT を検討するにあたり、出血や手術器具による視野障害が、おおきなハードルとなった、そこで、これらのアーティファクトを認識する技術の開発を目指した。

(3)-1 眼科器具認識

白内障手術における超音波乳化吸引術に焦点を当てて、器具認識を行った。一般的な内視鏡手術における器具認識手法との違いは、眼科器具が角膜内部に挿入されるという点である、そのため、角膜上へのライトの反射などの影響、気液界面による屈折の影響、などが問題となることが知られている。そこで、深層学習を使用することで、それらの影響ごと学習をさせた識別器を開発した。結果としては、水晶体を破碎するハンドピースの認識は高い精度で判定可能であったが、破碎した水晶体を保持する M-hook の判定精度が低かった。これはデータセットの量敵問題であったため、今後データセットの拡充を目指す。

(3)-2 出血位置認識

もう一つ術野情報を低下させる原因となるのが、出血である。そこで出血位置を認識する深層学習フレームワークを開発した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sogabe Maina, Ito Norihiko, Miyazaki Tetsuro, Kawase Toshihiro, Kanno Takahiro, Kawashima Kenji	4. 巻 34
2. 論文標題 Detection of Instruments Inserted into Eye in Cataract Surgery Using Single-shot Multibox Detector	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 47 ~ 47
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18494/SAM3762	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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 曾我部舞奈、玉置 凌典、菅野 貴皓、宮崎 哲郎、川瀬 利弘、川嶋 健嗣
2. 発表標題 ロボット手術下内視鏡画像からの臓器接触判定
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川 薫、曾我部舞奈、宮崎哲郎、菅野貴皓、川瀬利弘、川嶋健嗣
2. 発表標題 模倣出血装置を用いた出血推定に関する研究
3. 学会等名 第30回日本コンピュータ外科学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣島靖秀、曾我部舞奈、菅野貴皓、宮崎哲郎、川瀬利弘、川嶋健嗣
2. 発表標題 ステレオビジョンと深層学習に基づく内視鏡映像の三次元情報取得に関する研究
3. 学会等名 第30回日本コンピュータ外科学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Sogabe, T. Miyazaki, T. Kawase, T. Kanno, K. Kawashima
2. 発表標題 Development of the estimation method for organ-instruments contact during endoscopic surgery
3. 学会等名 26th Annual Conf. of Int. Society for Computer Aided Surgery (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 曾我部舞奈, 石川薫, 宮崎哲郎, 菅野貴皓, 川瀬利弘, 川嶋健嗣
2. 発表標題 空気圧を利用した止血具に関する研究
3. 学会等名 日本コンピュータ外科大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田直樹, 曾我部舞奈, 宮崎哲郎, 正野脩登, 川嶋健嗣
2. 発表標題 ブタ眼球前眼房への薬剤注入の自動化に関する研究
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022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
---------	---------