

令和 元年 6 月 2 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12911

研究課題名(和文) グラウンディングを応用した自動手術記録システムの開発

研究課題名(英文) The development of the new system for the automatic documentization of surgical operations

研究代表者

原田 仁 (Harada, Hitoshi)

神戸大学・医学研究科・医学研究員

研究者番号：70771517

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：手術動画の自動文章化のため、手術映像から解剖、手術器具、動作、事象を認識しテキスト化する機械学習を用いた画像認識アルゴリズムの開発を進めた。結果として、このアルゴリズムは、手術動画の文章化に至る精度まで達してはいない。臓器認識において、症例ごとの形状の違いや可塑性により精度向上に難渋したことが要因として挙げられる。しかし、手術器具など可塑性の低い物体の自動認識については比較的高い精度を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

手術動画の自動認識アルゴリズムの開発において、動画より認識が容易な対象物と認識の困難な対象物の特徴を把握できたことはきわめて有用と考えられる。グラウンディング技術は現在多方面で発展が期待されている分野であり、外科領域を含む医療分野におけるグラウンディング技術の応用にとって重要な試金石となった。今後、精度の高い手術器具の自動認識を基に、手術動画の文章化のアプローチ法を検討することで、さらなる発展が期待できると考える。

研究成果の概要(英文)：For the automatic documentization of surgical operations, we worked on developing the algorithm for recognition the various elements from the video of surgical operation, such as anatomical structure, surgical instruments, operative motion, and events during surgery. As a result, this algorithm has not reached the accuracy as we expected to the documentation of surgical operation. The difficulty in improving accuracy due to differences in anatomical structure and plasticity of organs among cases is cited as a factor of incomplete algorithm. However, it achieved relatively high accuracy for automatic recognition of less plastic objects such as surgical instruments.

研究分野：コンピュータ外科学

キーワード：画像 機械学習 アルゴリズム グラウンディング 生体医用画像

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

手術記録は手術に参加した外科医の記憶や主観に依存し、客観性の高い記録とは言えない。腹腔鏡手術の普及に伴い、手術動画の保存が広く一般的となった。手術動画は、映像という客観的な情報として記録されるため、理論上は外科知識があれば手術に参加せずとも、動画から客観的な手術記録の記載が可能である。しかし手術動画は未整理の情報であり、この方法には手術時間に相当する確認作業が必要という問題がある。

近年、画像や映像のグラウンディング技術の研究が進んでおり、手術動画に応用すれば、映像と言語がリンクした新たな手術記録の自動作成が可能となる。

2. 研究の目的

手術動画中の対象（解剖、器具、動作、事象など）を自動認識するアルゴリズムを作成し、グラウンディングにより手術動画を自動でテキスト化するプログラムを開発する。また、手術映像の情報とテキストの情報を相互に関連付けたデータベースを構築し、インターネットの画像検索のように言語から手術映像内の特定の要素を抽出できる新しい検索システムを確立する。

3. 研究の方法

(1) 手術認識アルゴリズムの作成：手術映像から選別した特定の場面を用いて、解剖、手術器具、動作、事象を認識しテキスト化する手術認識アルゴリズムを作成する。

(2) 手術記録作成プログラムの開発：手術認識アルゴリズムを基に、手術動画を自動で手術記録に文章化するプログラムを開発する。機械学習を繰り返すことで、外科医が記載する手術記録に極めて近いレベルのテキスト化を目標にプログラムの精度の更新を行う。

(3) 新しい手術記録データベースの作成：映像とテキストをリンクさせ相互に検索可能な新しい手術記録データベースを構築する。大学病院と関連医療機関で、データベースをクラウド上で共有し、多数の医師が参加する Crowdsourcing (クラウド上での機械学習) を行う。

4. 研究成果

(1) 手術画像の自動認識

手術映像から解剖・手術器具・動作・事象を認識する手術認識アルゴリズム作成のため、研究期間を通じて画像認識手法の確立を進めた。手技の定型化された腹腔鏡下胃切除動画を、臨床研究として神戸大学医学部附属病院の倫理委員会承認を受けたうえで、サンプルデータとして集積し、共同研究機関である奈良先端科学技術大学院大学生体医用画像研究室に提供した。自動認識の対象物としては、手術器具（鉗子）と臓器を選択し、機械学習による自動認識を試みた。手術画像のセグメンテーション（領域分け）のアプローチとして、色とテクスチャ情報を特徴量としてもつランダムフォレストを用いた手法と、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いた手法を採用した。これらは既存研究において RGB 画像を入力画像としているが、これに 3D 内視鏡による視差画像も入力画像として使い、セグメンテーション精度について検証を行った。（図1）

ランダムフォレストを用いたセグメンテーション：入力画像をスーパーピクセル（視覚的に意味のある小領域）に分割し、各スーパーピクセルに含まれる色とテクスチャ情報から特徴量を記述する。さらに色とテクスチャ情報に加えて、視差情報を特徴量に加える。識別にはランダムフォレストを用いて、各スーパーピクセルの特徴量から対象物と背景の2クラス分類を行う。入力画像中のすべてのスーパーピクセルに対して識別を行うことで、セグメンテーションを行う。さらに入力画像上に含まれるノイズなど影響により、セグメンテーション結果としての領域が細分化されることへの対応として、グラフカットに基づく後処理を行い精度の向上をはかった。

CNNを用いたセグメンテーション：CNNによるアプローチとして、医用画像解析で広く用いられている U-net を用いることで、正解データが限定された場合でも高い精度を期待できる。この手法においても、入力画像の色空間に視差画像を加えることで、識別精度の向上を試みた。サンプルデータの中から、腹腔鏡下胃切除における幽門下リンパ節郭清の場面を抽出した。各症例において使用した動画の長さは 10 秒間であり、シーンのバリエーションも考慮して 1fps として使用した。各フレームにおいて Ground truth（いわゆるセグメンテーションとしての正解データ）については、Adobe After Effects を用いて手動でのセグメンテーションをあらかじめ

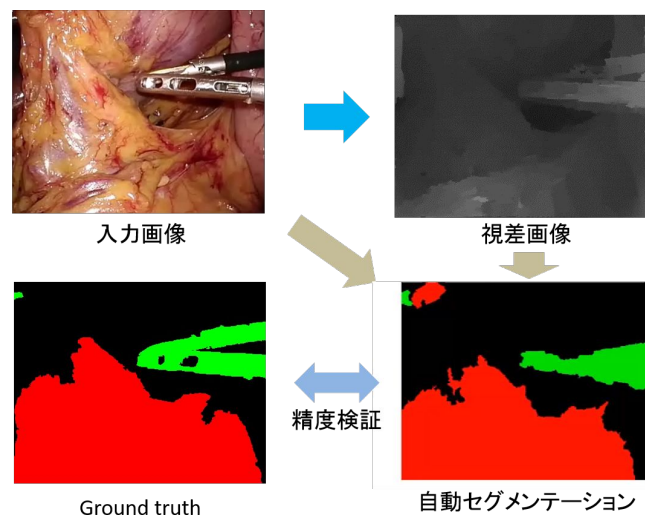


図1：実手術画像からの機械学習による自動セグメンテーション

じめ行った。

使用するデータセットとして、35 症例のサンプルデータに対し、5-fold 交差検証 (28 症例 × 10 フレームで学習を行い、7 症例 × 10 フレームでテスト) を行った。精度の評価尺度として、Dice 係数 ($Dice = |X \cap Y| / (|X| + |Y|)$) を用いた。(X は Ground truth の領域、Y は推定ラベルの領域とする)

手術器具における各手法の平均 Dice 係数は、ランダムフォレスト (+ 視差画像, グラフカット後処理) で Dice 係数平均=0.576, CNN (+ 視差画像) で Dice 係数平均=0.842 であり、適切なアプローチを選択することできわめて高い精度でのセグメンテーションを行うことが可能と考えられた。一方、膵臓については表面が露出し色やテクスチャ情報がはっきりしているフレームについては比較的高い精度を示すものの、内臓脂肪に覆われている、可塑性がある、内視鏡画像では遠近感が強く視差情報に大きなばらつきが出る、Ground truth の設定が困難であるなど多様な原因から、動画全体としてセグメンテーションがきわめて困難であることが判明した。

(2) 3D 内視鏡の立体視がもたらす効果の検討

手術画像の自動認識に関連する研究として、ドライボックス内での光学式トラッカーを用いた手術用鉗子先端のトラッキングの研究、および術者レベルに応じた 3D 内視鏡画像が手術操作にもたらす効果の検討も行っており、以下に示す。

初心者 40 名と内視鏡外科学会技術認定医 11 名を対象に、トレーニングボックスで被験者の経験別に設定した難易度の異なる task を行った。光学式 position tracker で鉗子先端の動作を記録し、2D/HD と 3D/HD モニター別の操作成績 (操作時間、鉗子動作距離、エラー数) を比較した。

各 task の総合成績において、初心者および内視鏡外科学会技術認定医のいずれも、平均操作時間(秒)、平均動作距離(mm)、平均エラー数で、有意に 3D モニターで成績が改善した。Task 別に検討を行ったところ、内視鏡外科技術認定医における単純結紮縫合の task では、エラー数で有意な差を認めなかった。

3D モニターがもたらす立体視は初心者および熟達した内視鏡外科医のいずれに対しても、2D 画像より有意に操作性を改善し、有用であった。一方、熟練者においては難易度が低い手技においては 3D モニターの有用性が少ない可能性も示唆された。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

[Harada H](#), [Kanaji S](#), Hasegawa H, Yamamoto M, Matsuda Y, Yamashita K, Matsuda T, Oshikiri T, Sumi Y, Nakamura T, Suzuki S, [Kakeji Y](#). The effect on surgical skills of expert surgeons using 3D/HD and 2D/4K resolution monitors in laparoscopic phantom tasks. Surg Endosc. 査読あり, 2018 32(10):4228-4234. doi: 10.1007/s00464-018-6169-1.

[Harada H](#), [Kanaji S](#), Nishi M, Otake Y, Hasegawa H, Yamamoto M, Matsuda Y, Yamashita K, Matsuda T, Oshikiri T, Sumi Y, Nakamura T, Suzuki S, Sato Y, [Kakeji Y](#). The learning effect of using stereoscopic vision in the early phase of laparoscopic surgical training for novices. Surg Endosc. 査読あり, 2018. 32(2):582-588. doi: 10.1007/s00464-017-5654-2.

[Kanaji S](#), Suzuki S, Harada H, Nishi M, Yamamoto M, Matsuda T, Oshikiri T, Nakamura T, Fujino Y, Tominaga M, [Kakeji Y](#). Comparison of two- and three-dimensional display for performance of laparoscopic total gastrectomy for gastric cancer. Langenbecks Arch Surg. 査読あり, 2017. 402(3):493-500. doi: 10.1007/s00423-017-1574-9.

Nishi M, [Kanaji S](#), Otake Y, Harada H, Yamamoto M, Oshikiri T, Nakamura T, Suzuki S, Suzuki Y, Hiasa Y, Sato Y, [Kakeji Y](#). Quantitative comparison of surgical skill using two- and three-dimensional monitors during laparoscopic phantom tasks. Surgery. 査読あり, 2016. 161:1334-1340. doi: 10.1016/j.surg.2016.08.060.

[Harada H](#), [Kanaji S](#), Suzuki S, Yamamoto M, Yamashita K, Imanishi T, Sumi Y, Nakamura T, Tanaka K, [Kakeji Y](#). Totally laparoscopic total gastrectomy in a patient with situs inversus totalis. International Surgery. 査読あり. 2016. In press.

[学会発表](計 5 件)

[原田 仁](#)、3D/HD および 2D/4K モニターが内視鏡外科医の手術手技にもたらす効果、第 43 回日本外科系連合学会学術集会、2018

[原田 仁](#)、3D モニターが初心者の内視鏡外科修練にもたらす影響、第 117 回日本外科学会

定期学術集会、2017

Harada H, THE EFFECT OF STEREOSCOPIIC IMAGES FROM USING A THREE-DIMENSIONAL MONITOR TO LAPAROSCOPIC SURGICAL TRAINING FOR NOVICES. SAGES 2017 Annual Meeting, 2017.

金治 新悟、3D 映像が内視鏡外科手術トレーニングに及ぼす影響の検討、第 78 回日本臨床外科学会総会、2016

原田 仁、3D モニターが初心者の内視鏡外科トレーニングにもたらす影響、第 29 回近畿内視鏡外科学会、2016

〔図書〕(計 0 件)

〔その他〕

特記事項なし

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：金治 新悟

ローマ字氏名：KANAJI Shingo

所属研究機関名：神戸大学

部局名：医学部附属病院

職名：助教

研究者番号(8桁): 10637052

研究分担者氏名：掛地 吉弘

ローマ字氏名：KAKEJI Yoshihiro

所属研究機関名：神戸大学

部局名：医学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁): 80284488

研究分担者氏名：宮尾 祐介

ローマ字氏名：MIYAO Yusuke

所属研究機関名：国立情報学研究所

部局名：大学共同機関等の部局等

職名：准教授

研究者番号(8桁): 00343096

(2)研究協力者

研究協力者氏名：佐藤 嘉伸

ローマ字氏名：SATO Yoshinobu

研究協力者氏名：大竹 義人

ローマ字氏名：Otake Yoshito

研究協力者氏名：Austin Reiter

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。