

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01344

研究課題名(和文) 開腹手術映像の知的アーカイブのための基盤技術の開発

研究課題名(英文) Development of fundamental technologies for intelligent archive of laparotomy videos

研究代表者

北坂 孝幸 (KITASAKA, Takayuki)

愛知工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：00362294

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)：本研究では、開腹手術映像の知的アーカイブのための基盤技術を開発した。複数カメラ映像からの映像合成手法に関して、射影変換による粗い合成の後、FFD (Free Form Deformation) による非剛体位置合わせを実装した。評価実験の結果、位置合わせ誤差を60.5ピクセル(±7.9)まで改善することができた。また、頭部に装着した小型カメラと固定カメラとの合成手法を検討し、高い没入感が得られる映像表示装置(Oculus)による高精細立体視画像の表示法を開発した。構築した手法を実際の手術室での環境で性能評価した。改善の余地はあるものの概ね良好に映像合成ができた。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we developed fundamental technologies for intelligent archive of the laparotomy videos. In the fusion of multiple videos for retrieving the surgical field from obstructions by surgeon's head and hands, we first merge video streams by the perspective transformation, followed by the precise fusion by FFD (Free Form Deformation), which is one of non-rigid image registration methods. As the result of validation, the target registration error was 60.5 px (±7.9). Also, we developed a method for the fusion among tiny cameras which were set on the surgeon's head and fixed cameras located around the subject. The fused video is displayed on the Oculus, which is a device for virtual reality with high immersion. We tested the developed methods at the real environment of the operation room and confirmed that our fusion methods worked well, though there are some rooms to improve.

研究分野：医用画像処理

キーワード：開腹手術映像 遮蔽物の除去 複数映像の合成

1. 研究開始当初の背景

腹部の外科手術において、腹腔鏡手術が注目され、臨床における適用数も飛躍的に増加している。腹腔鏡手術は、患者の負担が小さい、入院期間の短縮、QOLの向上といったメリットがあるが、腹腔鏡手術が適用できない例も多くあり、実際に現在でも半数以上は開腹手術が行われている。また、腹腔鏡手術は術野が狭く奥行き感覚を掴みにくいため、周辺臓器を損傷するなどの術中合併症が発生した際には、急遽開腹手術に切り替える必要がある。そのため、開腹手術の手技は依然として極めて重要であり、外科医にとっての基本手技としてその技術習得は必要不可欠である。

技術習得の一つの方法として手術映像のアーカイブがある。術式をカメラで撮影して記録し、経験の浅い医師や医学生の教材として利用されている。カメラは無影灯など術野を撮影できる位置に取り付けられているが、(1)術者や助手の頭や手、患者の体壁が影になり操作部位が見えないことがある(図1)、(2)解像度が十分でなく注目したい箇所がはっきり見えない、(3)手術映像は長時間にわたるため見たいシーンをすぐに見られない、(4)奥行き感がつかめない、などの問題点があった。このような問題に対して国内外で、複数のカメラの配置による死角減少、デジタルハイビジョン画質で撮影することによる画質の向上、インデキシングなどの映像編集といった対策が取られてきた。多くの製品が販売され、医療の現場のIT化が進んでいる。しかし、(1)に関して、術者が術野を覗き込んで手術をすることもあり、死角を完全には無くせていない。(2)において、術野から離れた位置にカメラを設置する必要性から、解像度はまだ十分とは言えない。(3)において、インデキシングなどのシーン解析は自動ではなく人手で行っている。(4)においては未対応というのが現状であり、多くの課題が残されている。これらに対して、立体視、超解像化、シーン解析といった最新の画像処理技術を駆使するだけでも、(2)、(3)および(4)の解決が見込める。加えて、超小型カメラを頭などに装着する、多列カメラによる自由視点映像を生成する、といった工夫により(1)への対処も可能であろう。以上より、本申請課題である「開腹手術映像の知的アーカイブのための技術基盤の開発」という着想に至った。

2. 研究の目的

本研究は、画像処理技術に基づく手術映像の高解像度化、自由視点映像の再構成、シーン解析により開腹手術映像を知的にアーカイブすることを目的とする。低侵襲である腹腔鏡手術が注目されているが、外科医にとっての基本手技として開腹手術も依然として重要である。その映像アーカイブの新しい仕掛けとして、注目する手技を観察したい位置から高解像度で再生するための要素技術を

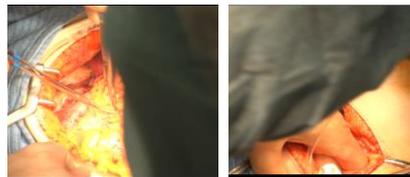


図1 術者頭部による術野の隠蔽の例

開発すること、手術のワークフロー解析に基づく映像自動編集技術を確立することを目指す。

編集された手術映像を流れに沿って観るというこれまでのスタイルとは大きく異なり、ユーザが注目する点にズームしたり、視点を変えたりしてインタラクティブに手術映像を観ることができるようになる。これは、若手医師や医学生の教材として優れているばかりではなく、名医の手技を余すことなくアーカイブできる可能性を秘めている。

3. 研究の方法

開腹手術映像の知的アーカイブのための基礎研究として、以下の4項目を検討する。

(1). 複数カメラからの映像再構成、超解像化基礎アルゴリズムの開発

複数カメラを設置し、自由視点映像再構成法について検討する。設置できるカメラの台数は多くないため、自由視点かつ高解像度映像を実現するためには、術者や助手の頭部に装着可能なカメラ(メガネタイプのカメラなど)を設置し、映像データを超解像化する必要がある。超解像技術を基に、自由視点映像超解像化のためのアルゴリズムを開発する。

(2). カメラ配置の検討

手術室は様々な機材が配置されているため、術者や助手の施術を妨げないようなカメラ配置に注意しなければならない。このような制約の中で最適な配置パターンを検討する。映像アーカイブでは術者および助手の視点からの映像が極めて重要であるため、装着可能な小型カメラを術者の頭に設置する。

(3). 手術室を模した実験環境による評価実験

手術室の環境に近い実験環境を構築し、開発した自由視点映像生成アルゴリズムの基礎能力を評価する。これにより、カメラ配置および台数と生成映像の精度の関係を明らかにする。

(4)複数映像ストリームからのシーン解析

これまでに撮影された手術映像や通常撮影される手術映像を使って、術前に立てた計画のどこを今着手しているかといった手術のワークフローを自動解析する。そのためには映っている人がどのような作業をしているかを解析しなければならない。実際の手術映像から開腹手術のワークフロー解析に有効な画像特徴量、識別方法を検討する。

4. 研究成果

(1) 複数カメラからの映像再構成, 超解像化基礎アルゴリズムの開発

複数カメラからの映像再構成は, 大まかに以下の手順を開発した. ①複数カメラ映像からマーカによる特定色の点群を検出し, ②ICP(Iterative Closest Points)アルゴリズムによる点群の位置合わせを行い, ③射影変換を用いて補正を行う. その後, ④非線形変換であるTPS(Thin Plate Spline)処理により, マーカ位置合わせ精度を高める. さらに, ⑤FFD(Free Form Deformation)を導入することで, 術野内部の映像のブレの改善を行った. また, ⑥手術に置いて重要な腹部臓器・血管の同定について新たな手法を開発した.

① 位置合わせ用特徴点群の検出[学会発表業績 6, 7]

複数の映像を合成するためには, 対象物を一致させる必要がある. 本研究では, 緑色のマーカシールをウンドリトラクタに貼り, 特徴点として利用する. 画像内の1箇所をクリックし, その点のHSV値を基に画像内のすべてのマーカを特徴点として検出する(図2).

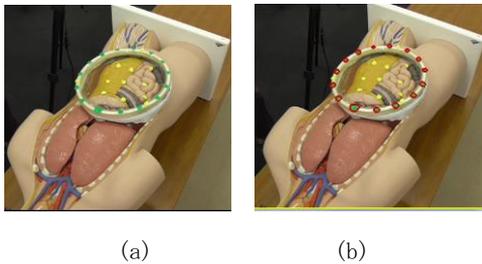


図2 特徴点検出結果の例. (a) 検出前, (b) 検出後

② 特徴点群の位置合わせ[学会発表業績 3, 4, 6, 7]

得られた特徴点をICPを利用して対応付ける. ICPは初期位置によって収束する位置が異なる. そのため, 本手法では回転・平行移動を施した複数の初期位置からICPを適用し, 最も特徴点間距離が小さくなる位置を採用する(図3).

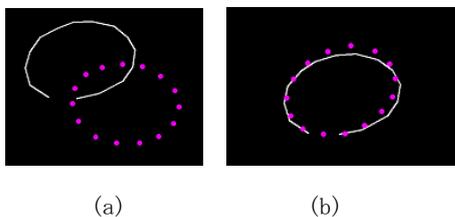


図3 ICPによる特徴点の位置合わせ. (a) 位置合わせ前, (b)位置合わせ後

③ 複数カメラ映像の合成(射影変換)[学会発表業績 3, 4, 6, 7]

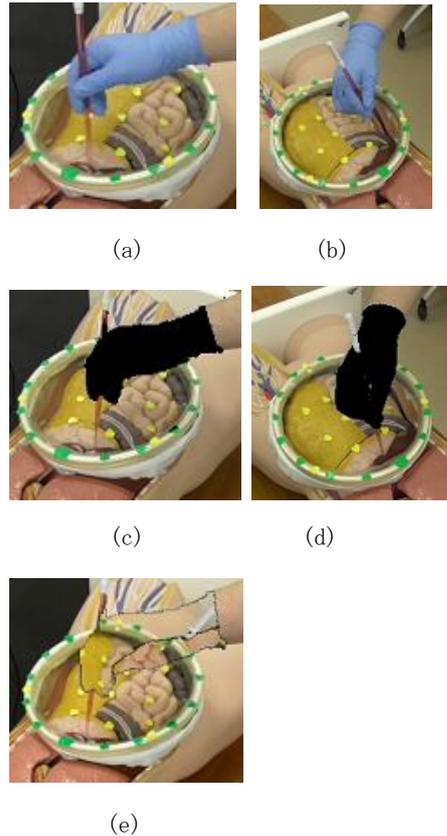


図4 合成結果の例. (a) カメラ映像A, (b) カメラ映像B, (c) 映像Aの動物体検出後, (d) 映像Bの動物体検出後, (e) 遮蔽物除去結果.

得られた特徴点の対応関係から, 射影変換行列を求め, 複数映像を合成する. それぞれの映像に遮蔽物が写りこんだとき, 遮蔽物が写っていない映像を用いて補完することで, 遮蔽物を除去する. 遮蔽物は青色の動物体(手術用グローブおよびキャップ)として検出する(図4). 例えば, カメラAに遮蔽物が写っているとき, カメラBの同じ位置の画像を用いて補完する.

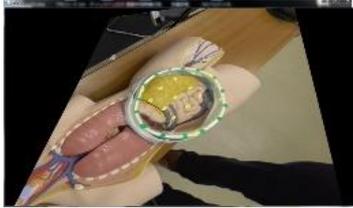
④ TPSによる位置合わせ[学会発表業績 2]

射影変換による位置合わせに加えて, TPSを導入して, 画像の非剛体位置合わせを行う. 対応づいた点群をランドマークとして用いる. 図5のように, マーカ位置合わせ精度が向上していることが分かる. なお, 位置合わせに用いた緑色のマーカ(図4参照)の位置合わせ誤差(FRE: Fiducial Registration Error)は, 17.9ピクセル(±5.9)であり, 位置合わせに用いていない(術野内に配置した)黄色のマーカの位置合わせ誤差(TRE: Target Registration Error)は, 65.3ピクセル(±9.3)であった.

⑤ FFDによる位置合わせ[学会発表業績 1]



図5 TPS 導入前後の合成処理(左)導入前, 赤枠内にズレがある(右)導入後, 赤枠内のズレが軽減されている



(a)



(b)

図6 FFD 導入前後の比較, (a)導入前, (b)導入後

TPS はランドマークを基準とするため, 術野内部映像のブレが残ることがある. そのため, TPS 処理後, FFD 処理を導入することで, 術野内部の合成精度の向上を図った. FFD は TPS 同様, 非線形な画像変形方法の1つで画像を滑らかにする自由形状変形を可能にする手法である. 変形させたい画像上に均一間隔に配置した制御格子と呼ばれるパラメータ空間を設定する. パラメータである各格子上の交点を制御点とし, 制御点を固定画像上の類似部位へ移動させることで画像を変形させる. 図6から術野内部のズレが軽減されたことが分かる. FRE は, 17.6 ピクセル (±

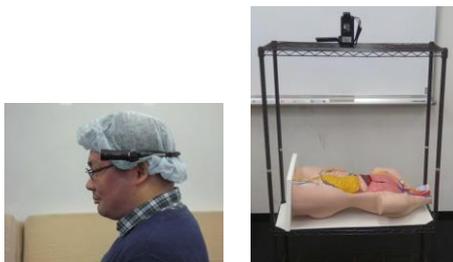


図7 頭部カメラと固定カメラ

5.7), TRE は, 60.5 ピクセル (±7.9) と改善した.

⑥ 腹部臓器・血管の同定[雑誌論文業績1,2]

腹部の手術に置いて, 病変の位置によって対処すべき血管が異なるため, 臓器や血管の同定は重要である. 実際の手術時にそこで, 自動抽出した血管領域から, 各血管の解剖学的名称(大動脈, 総肝動脈といった各血管枝に名前が付いている)を自動付与(アノテーション)する手法を開発した.

(2). カメラ配置の検討

実際の手術室にて, 可能なカメラ配置を検討した. ベッド脇には4台までカメラを配置可能であることを確認した. 无影灯に4つ, 術者と助手の頭部にそれぞれ2つ設置可能であった. 装着型カメラも頭部に固定や眼鏡型が使用できると分かった.

頭部カメラと固定カメラの合成手法を開発した[学会発表業績5]. 術者の頭部に小型カメラを設置し, 固定カメラとの合成を行った(図7). 位置合わせ用マーカーを検出し, 両カメラ内の対応する特徴点を割り出すことで位置合わせを行っている. 結果の例を図8に示す.



図8 頭部カメラと固定カメラの合成例

また, 臓器や血管のアノテーション情報を重畳表示するために, ヘッドマウントディスプレイの一つである Oculus rift を用いて, アノテーション情報を表示するシステムを開発している. これは術野映像の立体視も可能なシステムである. 本年度に成果を発表する予定である.

(3). 手術室を模した実験環境による評価実験

研究分担者(愛知県がんセンター)の三澤一成先生の協力のもと, 手術室で3台のカメラを使用して撮影し(図9), その映像(図10)を使用して画像合成を行った. 図11に合成結果の例を示す. 概ね良好な結果が得られたが, 実験環境の違いから問題点が見つかった. 照明が強くマーカーシールが光を反射し, 特徴点検出が安定しない. これは, マーカーシールを使用せず, ウンドリトラクタ上に油性ペンなどを用いて特徴点を描く, レーザーポイントを使用するなどの工夫で解決できると考える.

(4). 複数映像ストリームからのシーン解析 手術のワークフロー解析において, 術前計



図9 手術室での実験風景

画のどこを現在着手しているかを解析する手法として、CNN (Convolutional Neural Network) に基づく手法を検討した。このテーマはまだ学会発表にまで至っていないが、引き続き研究を進めていく。

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2件)

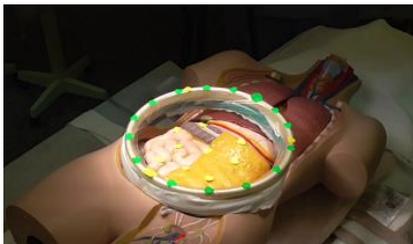
1. K. Karasawa, M. Oda, T. Kitasaka, K. Misawa, M. Fujiwara, C. Chu, G. Zheng, D. Rueckert, K. Mori, Multi-atlas



(a)



(b)



(c)

図10 カメラ映像の例。(a) 右肩側からの映像, (b) 左肩側からの映像, (c) 左足側からの映像

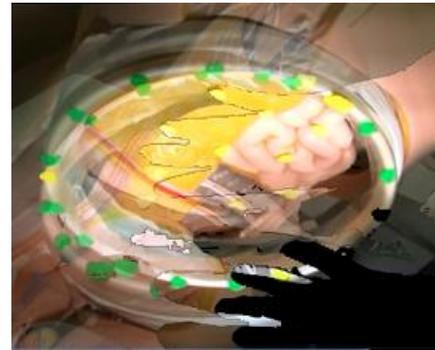
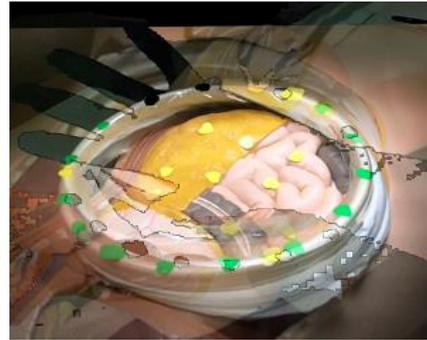


図11 合成結果の例。術者の手が透けて術野が確認できることが分かる。

pancreas segmentation: Atlas selection based on vessel structure, Medical Image Analysis, 査読有, Vol. 39, 2017, pp. 18-28, doi: 10.1016/j.media.2017.03.006

2. T. Kitasaka, M. Kagajo, Y. Nimura, Y. Hayashi, M. Oda, K. Misawa, K. Mori, Automatic anatomical labeling of arteries and veins using conditional random fields, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 査読有, Vol. 12, No. 6, 2017, pp. 1041-1048, doi:10.1007/s11548-017-1549-x

[学会発表] (計7件)

1. 北坂 孝幸, 奥田 透生, 佐藤 準, 豊田 誠仁, 澤野 弘明, 末永 康仁, 三澤 一成, 森 健策, 開腹手術映像における遮蔽物除去手法の改善 ~ FFDによる位置合わせ精度の評価 ~, 電子情報通信学会技術研究報告(MI), 査読無, MI2017-72, Vol. 117, No. 518, 2018, pp. 31-32
2. T. Kitasaka, Y. Kondo, Y. Kimura, Y. Takanashi, H. Sawano, Y. Suenaga, K. Misawa, K. Mori, A study on surgical field retrieval for intelligent laparotomy video archive system, International Forum on Medical Imaging in Asia (IFMIA), 査読無, IFMIA Poster Session P2-37, 2017, pp. 327-328

3. T. Kitasaka, S. Goto, S. Sugita, H. Tominaga, H. Sawano, Y. Suenaga, K. Misawa, K. Mori, Surgical field retrieval for intelligent laparotomy video archive system, 第 35 回日本医用画像工学会大会予稿集, 査読無, 2016, PP-7
4. 北坂 孝幸, 後藤 慎史, 杉田 峻, 富永 迅, 澤野 弘明, 末永 康仁, 三澤一成, 森 健策, 開腹手術映像の知的アーカイブのための遮蔽物除去手法の評価, 電子情報通信学会技術研究報告(MI), 査読無, MI2016-36, Vol. 116, No. 160, 2016, pp. 5-6
5. 山田 郷史, 北坂 孝幸, 澤野 弘明, 末永康仁, 三澤一成, 森 健策, 手術映像の術者頭部による死角軽減のための固定カメラとウェブカメラ映像の合成手法の構築, 平成 27 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 査読無, 2015
6. 北坂 孝幸, 池井 友啓, 林 祐斗, 八重嶋 秀, 澤野 弘明, 水野 慎士, 末永康仁, 三澤 一成, 開腹手術映像における遮蔽物除去手法の高精度化, 第 34 回日本医用画像工学会大会予稿集, 査読無, 2015, OP4-2
7. 北坂 孝幸, 池井 友啓, 林 祐斗, 八重嶋 秀, 澤野 弘明, 水野 慎士, 末永康仁, 三澤 一成, 森 健策, 開腹手術映像からの遮蔽物除去手法の基礎的検討, 電子情報通信学会技術研究報告(MI), 査読無, MI2015-43, Vol. 115, No. 139, 2015, pp. 65-68

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北坂 孝幸 (KITASAKA Takayuki)
愛知工業大学・情報科学部・准教授
研究者番号：00362294

(2) 研究分担者

澤野 弘明 (SAWANO Hiroaki)
愛知工業大学・情報科学部・准教授
研究者番号：10609431

末永 康仁 (SUENAGA Yasuhito)
愛知工業大学・情報科学部・教授
研究者番号：60293643

三澤 一成 (MISAWA Kazunari)
愛知県がんセンター・消化器外科・外科医
研究者番号：70538438

(3) 連携研究者

森 健策 (MORI Kensaku)
名古屋大学・大学院情報学研究科・教授
研究者番号：10293664

(4) 研究協力者

()