

画像処理による ORB-SLAM の不要特徴点フィルタリングを加えた AR 手術サポートシステム

海原 優斗[†] 小枝 正直[‡]

[†] 岡山県立大学大学院 情報系工学研究科

[‡] 岡山県立大学 情報工学部

1 はじめに

近年, da Vinci Xi 等によるロボット支援下内視鏡手術が多数行われている. 内視鏡手術などの腹腔内の狭い術野における手術では拡張現実 (AR) や仮想現実 (VR) を用いた手術サポートシステムが有用である [1]. Hamada ら [2] は画像特徴点ベースの SLAM である ORB-SLAM2 [3] を用いてカメラ映像のみでカメラの 3次元位置・姿勢を求め, カメラ映像に追従して 3DCG モデルをリアルタイムに重畳して表示する AR システムを実現した. しかし, カメラ映像に映る手術器具部分に現れる不要な特徴点により位置・姿勢推定が乱れる問題があった. そこで Hakotani らは手術器具部分に現れる不要特徴点を排除する手法を提案し, その有効性を示した [4]. しかし, AR 手術サポートシステムの実装には至らなかった.

そこで本稿では, 画像特徴点ベースの SLAM を用い, 不要特徴点フィルタリング機能を追加した AR 手術サポートシステムの提案および構築について述べる.

既に様々な SLAM が提案されており, 今後もより高性能な SLAM が発表されることが予想される. また, フィルタリング手法も今後改善されることが期待される. その都度, SLAM 自体に手を加えて, 不要特徴点フィルタリングを実装することは大きな負担であり, 非現実的である. そこで本稿では, SLAM 自体に手を加えることなく, SLAM に与える画像を前処理することで不要特徴点フィルタリングする手法を提案する.

2 システム構成

本稿で提案する AR 手術サポートシステムは, 推定ステージと AR ステージで構成される.

2.1 推定ステージ

推定ステージでは, 内視鏡のカメラ映像を入力として, SLAM を用いてカメラの位置・姿勢を推定する. このステージは, Robot Operating System (ROS) を用いて実装した. ROS ノードとして画像の前処理を実装することで, 容易にフィルタリング処理の変更が可能となる. また, SLAM についても同様に ROS パッケージの変更により容易に差し替え可能となる.

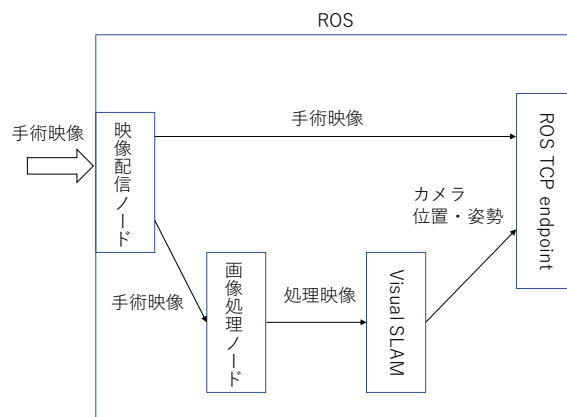


図1: ROS 上でのノードの構成

2.2 AR ステージ

AR ステージでは, カメラ映像上に臓器の 3DCG モデルを重畳表示する. このステージは, Unity を用いて実現した. Unity を用いることで, 3DCD モデルのレンダリング調整や直感的な位置姿勢調整が容易に実現できる. また, Unity アセットの ROS TCP Connector を用いて, 推定ステージの ROS と連動する.

臓器の 3DCD モデルを Unity の仮想空間上に配置し, 推定ステージで推定したカメラの位置・姿勢および内視鏡のカメラ映像を映し出すことで, Unity の仮想空間上に擬似的に手術状況を再現している.

3 構成要素間での遅延時間の計測

提案システムのカメラ映像の各フレーム画像を ROS トピックとして配信する ROS ノードとその画像を受信する各 ROS ノード間の送信時間, ROS トピックとして

AR-based Surgery Support System with Unnecessary Feature Point Filtering of ORB-SLAM by Image Processing
Yuto KAIHARA[†] and Masanao KOEDA[‡]

[†] Graduate School of Computer Science and System Engineering, Okayama Prefectural University
719-1197, Okayama, JAPAN

[‡] Faculty of Computer Science and System Engineering, Okayama Prefectural University
719-1197, Okayama, JAPAN

表1: 各処理時間

処理内容	時間 [sec] (標準偏差)
ROS ノード間の画像送信時間	0.334 (0.081)
ROS-Unity 間の画像送信時間	0.412 (0.055)
SLAM の平均推定時間	0.242 (0.031)
SLAM-Unity 間の送信時間	0.341 (0.326)
Semantic Segmentation	0.685 (0.138)

配信したカメラ画像を ROS TCP Connector を利用し Unity で受け取るまでの送信時間, SLAM でカメラ画像を受け取りカメラ位置・姿勢の推定を行うまでの処理時間, および, 推定値を ROS TCP Connector を利用し Unity で受け取るまでの送信時間についての計測を行った。加えて, [4] の手法の処理時間計測も行った。

計測で用いた計算機の構成は, CPU は Intel i7-7700HQ, メモリは 16GB, GPU は Nvidia GeForce GTX1070, OS は Ubuntu 20.04.3 LTS である。使用したソフトウェアのバージョンは, ROS Foxy, Unity 2020.3.19f1, ROS TCP Connector 0.5.0-preview である。

本実験に用いた動画のフレーム数は 660, フレームレートは 30 [fps] である。表1にそれぞれの計測結果を示す。手術映像を ROS に配信して Unity で表示するまで要する時間が 0.412 に対して, [4] の手法を施し SLAM を用いてカメラ位置・姿勢を推定し, Unity で受け取るまでの時間は, $0.334+0.685+0.334+0.242+0.341 = 1.936$ [sec] である。この遅延時間は実用上において十分短いと言える。しかし, Unity 上で 3DCG モデルを重畳表示するためには, この時間の誤差の同期をとる必要がある。また, 前処理の時間を省くと 1.251 [sec] である, 実用可能な範囲で最大の遅延時間はおおよそ 5 [sec] とされているため, 前処理の手法に対して実行時間が約 3 [sec] 以内であることが要求される。

本稿では, この誤差に対して手術映像を ROS トピックとして配信する際に用いるタイムスタンプを用いて同期を取った。

また, 手術映像のフレームレートが 30 [fps] であり 0.033 [sec] に 1 度, 映像が更新されるのに対して, [4] の手法を用いた処理, SLAM の推定ではそれぞれ 0.685, 0.242 [sec] であり, 全てのカメラ画像に対してそれぞれの処理が行えていないことが分かる。

また, Unity 上で内視鏡動画と, その動画から推定したカメラの位置・姿勢を利用した 3DCD モデルの重畳表示したものを図2に示す。3DCD モデルが重畳して表示され, カメラの動きに追従することを確認した。

4 結言

本稿では, 画像特徴点ベースの SLAM を用いた手術サポートシステムを用い, 不要特徴点フィルタリング機能を追加した AR 手術サポートシステムの提案, 実装, および構成要素間の遅延時間について計測を行った。

手術サポートシステムのそれぞれの構成要素を ROS のノードとして構成することで, SLAM, 不要特徴点フ

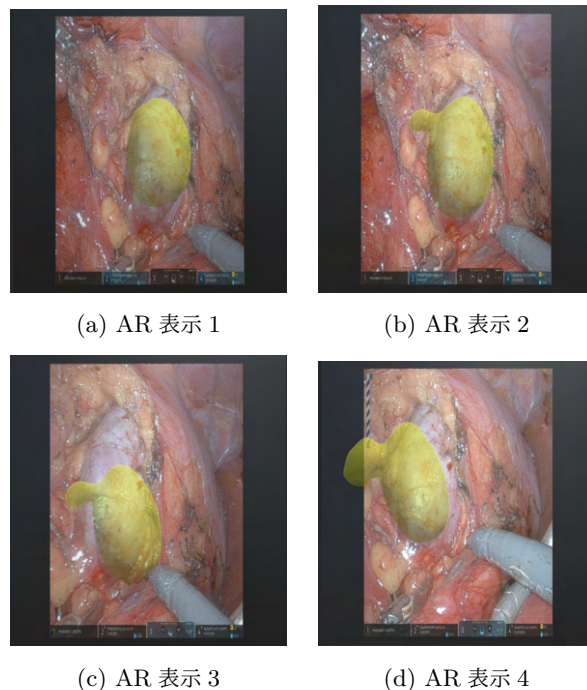


図2: Unity 上での AR 表示

ィルタリングのそれぞれを容易に変更, 修正を行える手術サポートシステムを実現した。また, Unity の仮想空間上に 3D モデルを配置し, SLAM で得られたカメラの位置・姿勢および内視鏡のカメラ映像を映し出すことで, AR による重畳表示を実現した。

計測の結果から不要特徴点フィルタリングの手法に求められる実行時間が分かった。

今後は, 内視鏡映像と臓器 3DCG モデルの手動位置姿勢合わせのための直感的 UI や, 要求時間内に実行可能な高精度な画像前処理手法について検討する。

参考文献

- [1] 志賀ら: "複合現実 MR, 拡張現実 AR, 仮想現実 VR を応用した泌尿器ナビゲーション手術の検討", JSEJJE2018, Vol. 31(2), pp. 253-259, 2018.
- [2] A. Hamada, et al.: "The Current Status and Challenges in Augmented Reality Navigation System for Robot-Assisted Laparoscopic Partial Nephrectomy", HCHI2020, LNCS, Vol. 12182, pp. 620-629, 2020.
- [3] Mur-Artal, et al.: "ORB-SLAM2: an Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo and RGB-D Cameras", IEEE Trans. on Robotics, 33 (5), pp. 1255-1262, 2017.
- [4] 箱谷ら: "画像特徴点ベースの SLAM の精度向上を目指したセマンティックセグメンテーションによる不要特徴点排除", ROBOMECH2021, 1P2-C06, 2021.