

SLAMによるカメラ位置姿勢推定に基づく ロボット支援下腎部分切除術のARサポートシステム

小枝 正直[†] 澤田 篤郎[‡] 瀨田 彬弘[‡] 河野 仁[‡] 小川 修[‡] 大西 克彦[†] 登尾 啓史[†]

[†]大阪電気通信大学 総合情報学部

[‡]京都大学 医学研究科 泌尿器科

1 はじめに

近年、ロボット支援腎部分切除術 (RALPN) が多数、実施されているが、狭い視野の中で安全に手術を進めるためには十分な経験が必要である。現在、我々は da Vinci Xi による RALPN を拡張現実感 (AR) 技術を用いてサポートする映像システムを開発中である。本システムは、CT・MRI 等から得られた断層画像をもとに作成した臓器、腫瘍、血管、尿管などの 3DCG モデルを内視鏡カメラ映像にリアルタイムに重畳し、血管や腫瘍の探索、特定、切除をサポートするものである。RALPN の AR システムとして、Su ら [1] はステレオ内視鏡カメラで計測された臓器表面の 3 次元形状と、事前に生成した臓器の 3D モデルを ICP アルゴリズムでマッチングすることで AR を実現したが、対象臓器が常に映像に映っている必要があり、また臓器の変形に大きく影響を受けるといった問題がある。Edgecombe ら [2] は DART と呼ばれる小型のマーカを腎臓の表面に貼り付け、そのマーカを内視鏡カメラでトラッキングして腎臓の位置姿勢を特定することで AR を実現したが、侵襲型のため患者への負担が大きく、マーカが常に映像に映っている必要がある。我々は内視鏡カメラ映像からオプティカルフローを求め、カメラの 3 次元動作を大まかに推定して半自動 AR を実現した [3] が、推定が不完全で、外乱に弱いという問題があった。

そこで本研究では、特徴点ベースの SLAM である ORB-SLAM2 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。

SLAM based AR Support System for Robot-Assisted Laparoscopic Partial Nephrectomy

Masanao Koeda[†], Atsuro Sawada[‡], Akihiro Hamada[‡], Jin Kono[‡], Osamu Ogawa[‡], Katsuhiko Onishi[†] and Hiroshi Noborio[†]

[†]Department of Computer Science, Osaka Electro-Communication University

Kiyotaki 1130-70, Shijonawate, Osaka, 575-0063, JAPAN

[‡]Graduate School of Medicine, Kyoto University

54 Kawaharacho, Shogoin, Sakyo-ku Kyoto, 606-8507, JAPAN

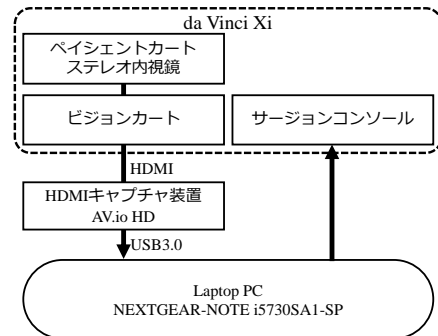


図 1: システム構成

2 システム構成

2.1 カメラの位置姿勢計測

カメラ位置姿勢計測には ORB-SLAM2[4] を用いた。ORB-SLAM2 は特徴点ベースの SLAM (simultaneous localization and mapping) であり、安定した位置姿勢推定能力を有している。高速かつ省メモリで動作し、ソースコードが公開されており、導入が比較的容易なため採用した。今回は Monocular モードで使用している。

2.2 内視鏡カメラのキャリブレーション

intuitive surgical 大阪支社の装置を用い、内視鏡カメラのキャリブレーションを行い、内部パラメータを計測した。キャリブレーションには 12 [mm] 間隔で縦横 7×10 のチェックパターンを 5 視点で撮影した画像(図 3)を用い、OpenCV の findChessboardCorners, calibrateCamera によりパラメータを求めた。その結果、得られた内部パラメータ行列 M_I 、歪みパラメータ行列 M_D はそれぞれ

$$M_I = \begin{pmatrix} 306.962 & 0 & 481.140 \\ 0 & 307.750 & 257.456 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_D = \begin{pmatrix} -0.01463 & 0.01364 & 0.00094 & 0.00220 & -0.00451 \end{pmatrix}^T$$

であった。また画角の計測も行い、縦・横画角はそれぞれ 56.1, 45.9 [deg] であった。

2.3 3DCG モデルの生成

3DCG モデルの生成には SYNAPSE VINCENT を用い、DICOM から腎実質、腫瘍、動脈、静脈、尿管を抽出して STL

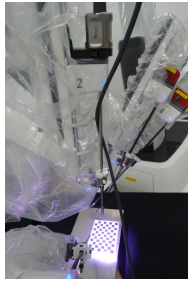


図 2: キャリブレーションの様子



図 3: カメラキャリブレーションのために撮影したチェックパターン画像群

形式の 3D モデルを生成した。図 4 は、2018 年 10 月の実験の際に生成・使用した 3D モデルであり、ピンクが右腎実質（ポリゴン数 5506）、紫が腫瘍（ポリゴン数 7456）、赤が動脈（ポリゴン数 5544）、青が静脈（ポリゴン数 7180）、黄が尿管（ポリゴン数 454）であった。

2.4 プログラム構成

本システムは、2 つのプログラムから構成されている。一方は ORB-SLAM2 により内視鏡カメラ映像からカメラ位置姿勢を求めるプログラム（以降、SLAM）、他方は 3DCG を内視鏡カメラ映像に重畳するプログラム（以降、AR）である。SLAM で計測されたカメラ位置姿勢とカメラ映像は、共有メモリで AR に送信している。定量的な計測は実施していないが、見た目では遅延は感じられない程度であった。

3 実験

実行結果の一例を図 5 に示す。この実行結果は、ステレオ内視鏡カメラ映像の一方の映像を解像度 1920×1080 [pixel]、非圧縮の DIB 形式で約 30 [fps] で録画したものを入力映像

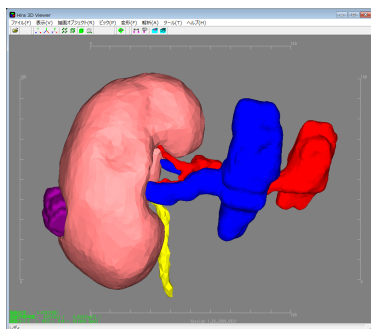


図 4: 3D モデル

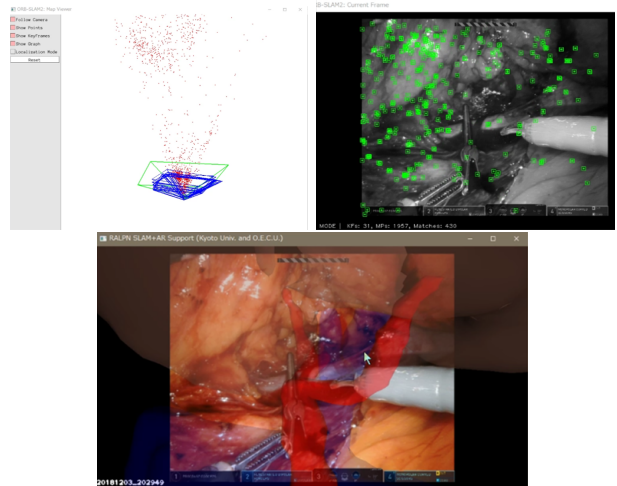


図 5: 実行画面（左上：ORB-SLAM2 で推定されたカメラ位置，右上：ORB-SLAM2 の特徴点追跡処理，下：臓器等の 3D モデルを半透明表示した AR サポート画面）

として使用してオフラインで処理したものである。フレームレートは約 12 [fps] であった。カメラの移動速度が緩やかで、腹腔内に大きな変形が無い状況であれば、鉗子などの手術器具が写り込んでいたり、内視鏡カメラに部分的に液体が付着していても SLAM によりカメラ位置姿勢計測が可能であることが分かった。

4 まとめ

特徴点ベースの SLAM (ORB-SLAM2) を用いたリアルタイム AR システムを構築した。ORB-SLAM2 によりカメラ映像のみでカメラ位置姿勢が取得可能であり、3DCG 重畳処理により AR 表示が可能であることを実験的に示した。一方、状況によっては SLAM が破綻することもあり、安定した計測のためには更なる実験や調整が必要である。今後、原因を調査して問題を解決し、本 AR サポートによる臨床実験を実施する予定である。

謝辞

本研究は MEXT 科研費 26289069, 18K11496 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Li-Ming Su, et al., “Augmented reality during robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy: toward real-time 3D-CT to stereoscopic video registration”, *Urology*, 73(4), pp. 896-900, 2008.
- [2] Philip Edgcumbe, et al., “Augmented Reality Imaging for Robot-Assisted Partial Nephrectomy Surgery”, *MIAR 2016*, pp. 139-150, 2016.
- [3] 小枝 正直他：“ロボット支援腎部分切除術を CG 重畳表示により支援するシステム”，*SI2015*, 2B3-1, pp.1174-1177, 2015.
- [4] Raul Mur-Artal, et al., “ORB-SLAM: A Versatile and Accurate Monocular SLAM System”, *IEEE Trans. on Robotics*, 31(5), pp. 1147-1163, 2015.