

肝臓手術サポートシステムにおけるメス先端位置精度の検証

Verify of the Knife Tip Position precision in the Liver Operation Support System

矢野 大貴† 土井 万由子† 小枝 正直† 奥本 昂大† 吉田 将悟†
Daiki Yano Mayuko Doi Masanao Koeda Kodai Okumoto Shogo Yoshida

大西 克彦† 登尾 啓史† 渡邊 郁†
Katsuhiko Onishi Hiroshi Noborio Kaoru Watanabe

1. はじめに

我々は肝臓の開腹手術を対象とした手術サポートシステムを関西医科大学と共同して開発中である。肝臓手術は臓器内部に多数の血管が複雑に張り巡らされており難しい。また体の複雑な機能を担っている為に全摘出が困難である。術前のMRIやCTを用いた診断によって血管位置を把握することができるが、術前診断のみでは術中に変化する臓器の内部構造を詳細に知ることは不可能である。

医療用ナビゲーションシステム、StealthStation S7¹⁾では術前に撮影した脳等の患部DICOM画像に術具のCG画像を重畳表示させることが可能である。しかし変形には対応しておらず患部等にマーカの取り付けが必要となる。

本研究ではリスクの高い肝臓手術をITメカトロ技術でサポートすることを目的とし、肝臓手術時間の短縮、手術ミスの事前防止を目指している。

2. 開発中の手術サポートシステム

現在開発中のシステム全体図をFig. 1に示す。本システム²⁾では、術前にMRIやCTを用いて患者の肝臓を撮影し、その断層画像(以下、DICOMと略す)から肝臓の3次元モデル化を行う。術中には手術台の上部から2つの距離カメラで患者の肝臓とメス位置を計測する。そして、距離カメラから得られた肝臓の表面形状データ(以下、実肝臓と略す)とDICOMからモデル化(STL)した肝臓の3次元形状データ(以下、仮想肝臓と略す)をリアルタイムにレジストレーションすることで、メス先端位置と肝臓及び肝臓内血管や腫瘍との距離を計測する。メスが大血管などの切っけはいけない部位に近づいた場合、警告を行うシステムを考案している。現在、距離カメラにはメスの位置姿勢を計測するためのMicronTracker3と、肝臓の形状を計測するためのKinect for Windows v2を用いている。また実肝臓と仮想肝臓から得られた深度画像が最も一致するように仮想肝臓を平行移動、回転移動させ焼きなまし法でレジストレーション³⁾を行う。

本稿ではレジストレーション時の模擬臓器内の血管とメス先端位置の距離精度評価を行った。

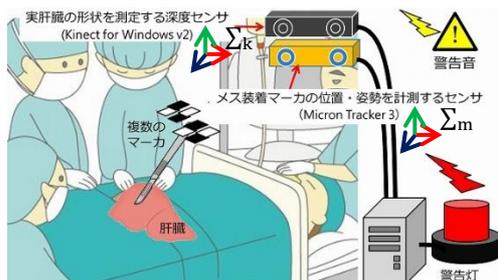


Fig. 1 System overview

3. 使用機材

3.1 模擬メス

本研究に使用した模擬メスの外観をFig. 2に示す。模擬メスは計測誤差推定用にメス先端位置推定精度⁴⁾0.[mm]の3Dプリンタで造形したマーカ取付ボックスに $\phi 6$ [mm]、長さ130[mm]の鉄針を挿入しており、ボックスの4側面に50[mm]×50[mm]のシール台紙に印刷したマーカA, B, C, Dを添付している。

3.2 模擬臓器

本研究に使用した模擬臓器の外観をFig. 3に示す。模擬メス先端から血管までの距離を求める際に実際の臓器を利用するのは容易でない。そのため簡易的に作ることが出来る模擬臓器を作成した。模擬臓器は牛乳寒天で作成した一辺145.0[mm]の立方体であり、中心には直径25.0[mm]の模擬血管を模した穴を開けた形状である。

4. 実験

提案システムにおける位置精度を確認するために、実肝

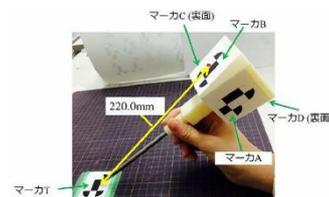


Fig. 2 Mock knife



Fig. 3 Mock organ

臓と仮想肝臓のレジストレーションを行い、メス先端位置と模擬臓器の血管までの距離を計測した。

4.1 実験手法

2つのセンサ間の座標系 Σ_k, Σ_m を合わせるために事前にキャリブレーション行列⁵⁾を計測し、メス先端位置の推定を行う。実臓器は模擬臓器を用いて、仮想臓器は模擬臓器に基づいたSTLを手動で作成し、利用する。本実験では模擬臓器の血管を上面から見た際の上下左右4点に、メス先端を触れさせた際の距離を計測する。実験時の測定位置a, b, c, dをFig. 4に、STLをFig. 5示す。

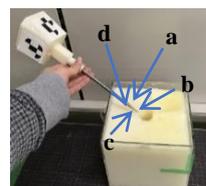


Fig. 4 Measurement point

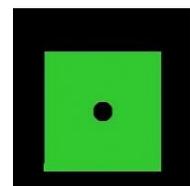


Fig. 5 STL model

4.2 レジストレーション

仮想肝臓と実肝臓で深度画像の一致率 r が最大となるように 3 次元モデルを平行・回転移動させ、焼きなまし法を用いて位置・姿勢の推定をする。両深度画像に深度値が存在するピクセル数（以下、有効ピクセル数と略す）を N_{total} 、これらの画像ピクセルでの両深度値の差異が設定閾値内のピクセル数を N_{match} とするとき、一致率 r は

$$r = N_{match} / N_{total}$$

と定義した。一致率の概念図を Fig. 6 に示す。

探索打ち切り時間は 500[ms]、閾値を 10[mm] とし、実肝臓周囲に有効ピクセルを ROI で設定し実験を行った。開発したソフトウェアの動作画面を Fig. 7 に示す。

4.3 実験結果

メス先端位置を模擬臓器の血管に測定位置 a, b, c, d で触れさせた際に、本システムが推定したメス先端と血管までの最短距離の時間変化を Fig. 8 に示す。また実験結果の誤差を Tab. 1 と Fig. 9 に示す。

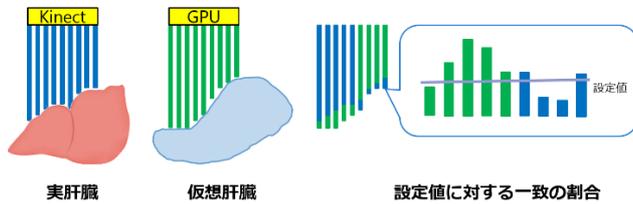


Fig. 6 Registration algorithm and evaluation function

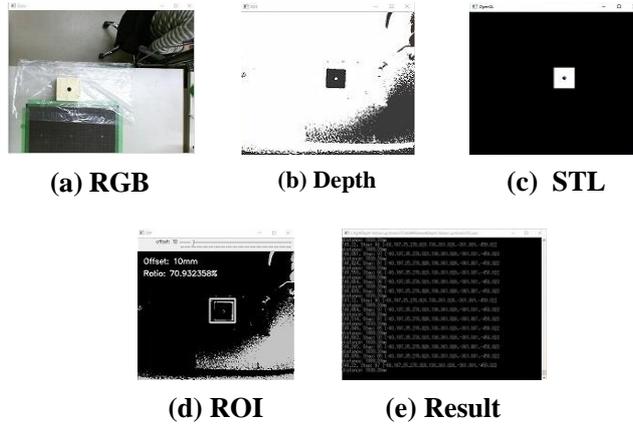


Fig. 7 Operation screen

Tab. 1 Error of experimental results

Position	Avg. [mm]	Max [mm]	SD [mm]
A	3.60	5.50	0.55
B	7.35	8.88	0.72
C	6.04	11.38	1.51
D	6.03	7.89	0.53
Total	5.75	11.38	1.64

5. おわりに

メス先端位置推定、レジストレーション、手術シミュレータを統合したシステムにて、模擬メス先端推定位置と仮想臓器によるレジストレーションを行った際の血管表面までの距離精度を評価した。実験結果より、センサで測定された模擬メスと実肝臓からメス先端位置推定及び仮想肝臓によるレジストレーションを行うことで、メス先端から

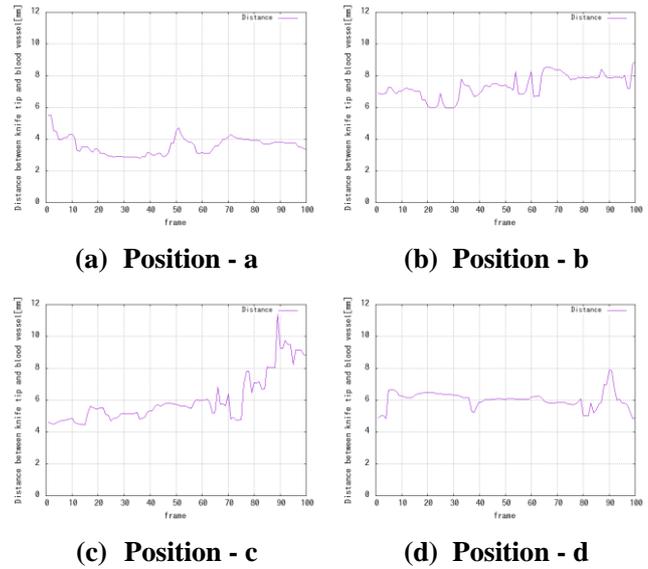


Fig. 8 Estimated distance between knife tip and blood vessel

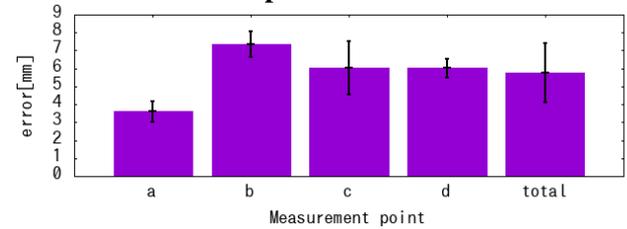


Fig. 9 Mean error and standard deviation

血管表面までの距離推定が最大平均誤差 5.75[mm] で可能であった。

今後、サポートシステムの精度向上や臓器の軟体変形に対応することを目指す。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 No.26289069 の助成を受けたものです。

参考文献

- 小賀野 尚美：STEALTHSTATION® S7 の紹介—磁場式ナビゲーションシステム—，耳鼻咽喉科手術支援システム・ナビ研究会，Vol.55, No.5, pp.326-328 (2011)。
- 矢野 大貴，吉田 将悟，土井 万由子ほか：肝臓位置姿勢推定，メス先端位置推定，肝臓手術シミュレータを統合した手術サポートシステム，第25回日本コンピュータ外科学会大会，pp.331-332 (2016)。
- Watanabe, K. Yoshida, S. YANO, D. et al.: A New Organ Following Algorithm Based on Depth-Depth Matching and Simulated Annealing and its Experimental Evaluation, HCl2017, pp.594-607 (2017)。
- 土井 万由子，矢野 大貴，小枝 正直ほか：肝臓手術サポートシステムのためのメス先端位置推定，第16回日本VR医学会学術大会，pp.36-37 (2016)。
- Koeda, M. Tsukushi, A. Noborio, H. et al.: Depth Camera Calibration and Knife Tip Position Estimation for Liver Surgery Support System, HCl2015, pp.496-502 (2015)。