

肝臓手術サポートシステムにおける DICOM 深度画像と実肝臓モデルによる位置姿勢推定精度の評価

矢野 大貴 森 拓海[†] 小枝 正直[†] 大西 克彦[†] 登尾 啓史[†]

大阪電気通信大学 総合情報学部[†]

1. はじめに

肝臓内部には多数の血管が張り巡らされており、血管構造が複雑なため、外科手術には高度な手技が要求される。また複雑な生体機能を担っているために全摘出が困難である。術前診断で MRI や CT を用いて血管位置など臓器の内部構造を把握することはできるが、術中の臓器位置姿勢や変形を考慮した臓器内部構造の把握は、これまで実現されていない。

本研究では、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。本稿では、GPGPU による並列処理により高速に生成した DICOM 深度画像と、距離カメラから取得した実肝臓モデルの深度画像の一致率を焼きなまし法により最適化することで臓器の位置姿勢を推定する実験と、その結果について述べる。

2. 開発中の手術サポートシステム

我々が現在開発中の肝臓手術サポートシステムの全体図を Fig. 1 に示す。本システム¹⁾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）から生成した肝臓の 3 次元モデルを用いる。

手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の位置を計測する。一方の距離カメラから得られた肝臓の表面形状から生成した深度画像と、肝臓の 3 次元モデルから生成した深度画像が最も一致するように 3 次元モデルに平行・回転させ、焼きなまし法で最適化²⁾することで、肝臓の位置姿勢を推定する。他方の距離カメラでメス先端位置を測定し、肝臓内の血管や腫瘍との距離を計測する。これによりメスが大血管など、切除してはいけない部位に近づいた場合に警告を出したり、腫瘍摘出のナビゲーションが可能となる。

現在、距離カメラとして、肝臓の形状計測には Kinect for Windows v2、メス位置計測には MicronTracker3 を用いている。

従来のシステムでは、DICOM から対象領域をセグメンテーションし、肝臓のポリゴンモデル（以下、STL）を生成し、深度画像を得ていた。しかし STL の生成は煩雑なため、DICOM から直接、深度画像を生成する手法を開発した。

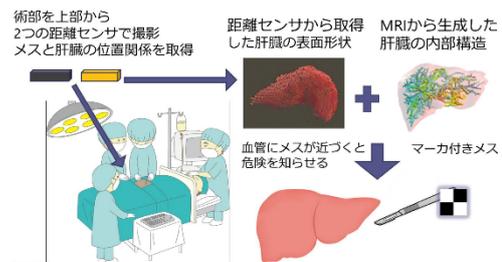


Fig. 1 System overview

3. GPGPU を用いた DICOM からの深度画像生成

DICOM を BMP に変換した画像群から OpenCV を用いて 2 値化、ラベリング処理を行い、肝臓領域のボクセルを生成する。このボクセルの座標を GPU に転送し、回転移動、平行移動、透視投影変換³⁾、レンダリング処理を並列処理して深度画像を生成⁴⁾する。

4. 実験

DICOM からの深度画像を用いた位置姿勢推定を評価するために、Kinect v2 で撮影した肝臓モデル（以下、実肝臓）の深度画像に対して、肝臓の DICOM（以下、仮想肝臓）から生成した深度画像の一致率を焼きなまし法で最適化して位置姿勢を推定する。

本稿では、実肝臓に対する仮想肝臓の位置姿勢推定精度を評価した。

4.1. 実験手法

XY ステージ上に配置した実肝臓に対して、DICOM からの深度画像を使って位置姿勢推定を行い、得られた値を初期位置姿勢とする。次に、XY ステージを X 軸方向に 10.0 [mm] 移動させることで実肝臓を移動させ、再度、位置姿勢推定を行った。

位置姿勢の際にはスコアが収束するまでの時間を確保した。評価関数には 2 乗平方和を用い、探索時間を 500 [ms] とした。実験に使用した GPGPU は NVIDIA GeForce GTX TAITAN Black であり、肝臓のボクセル数は 2879092 点である。初期位置姿勢状態の仮想肝臓を Fig. 2 に示す。また、実験環境を Fig. 3 に示す。



(a) Real liver (b) Virtual liver

Fig. 2 Initial position and posture of the liver

Accuracy Evaluation of Position and Orientation Estimation of Liver Using Real and DICOM Depth Image
Daiki YANO, [†]Takumi MORI, [†]Masanao KOEDA,
[†]Katsuhiko ONISHI and [†]Hiroshi NOBORIO
[†]Department of Computer Science, Osaka Electro-Communication University

4.2. 実験結果

初期位置姿勢を **Table 1** に示す. 実肝臓に対して位置姿勢推定を行ったスコアの時間変化を **Fig. 4** に, 初期位置姿勢と推定された位置姿勢の差の時間変化を **Fig. 5** に示す. また, 実験結果を **Table 2** に示す. さらに, 位置姿勢推定収束後として推定開始後 15 秒から 30 秒までの実験結果を **Table 3** に示す.

5. おわりに

本研究では, GPGPU による並列処理を用いた DICOM 深度画像と実肝臓モデルによる位置姿勢推定精度の評価を行った. 実験結果より, 実肝臓に対して追従させた仮想肝臓の位置姿勢推定精度は **Table 3** より X 軸の最大値 -12.2 [mm]と XY ステージの移動距離 10.0[mm]より, 誤差 2.2 [mm]で推定位置姿勢推定を行うことが可能であった. 今後, 仮想肝臓の抽出手法の改善やボクセルの回転処理の改善により, 更なる位置姿勢推定精度の向上を目指す.

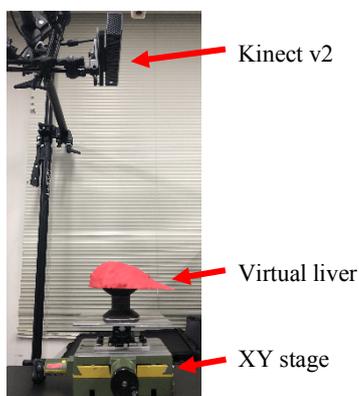


Fig. 3 Experimental environment

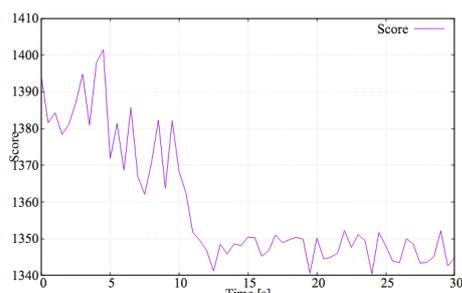


Fig. 4 Change of score

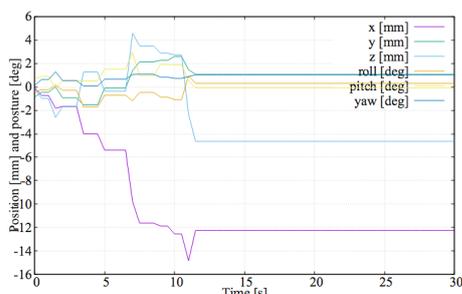


Fig. 5 Change of position and posture error

Table 1 Initial position and posture of the liver

x [mm]	y [mm]	z [mm]	roll [deg]	pitch [deg]	yaw [deg]
518	-240	-869	317	330	138

Table 2 Experimental results of estimated position and posture

-	Avg. [mm]	S.D. [mm]
X	-10.0	4.0
Y	0.8	1.0
Z	-2.6	3.0
Total	-3.9	5.4

-	Avg. [deg]	S.D. [deg]
roll	-0.1	0.6
pitch	0.4	0.7
yaw	0.9	0.3
Total	0.4	0.7

Table 3 Experimental results of position and posture after convergence

-	MAX [mm]	S.D. [mm]
x	-12.2	0.0
y	1.1	0.0
z	-4.7	0.0
Total	-5.3	5.4

-	MAX [deg]	S.D. [deg]
roll	0.3	0.0
pitch	-0.1	0.0
yaw	1.0	0.0
Total	0.4	0.5

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) 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).
- 2) 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, In Proc. of 19th Int. Conf. on Human-Computer Interaction, pp. 594-607 (2017).
- 3) 矢野 大貴, 土井 万由子, 小枝 正直ほか: 肝臓手術サポートシステムにおける DICOM からの直接深度画像生成, 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 2850-2853 (2017).
- 4) 矢野 大貴, 小枝 正直, 大西 克彦, 登尾 啓史: 肝臓手術サポートシステムにおける GPGPU による DICOM からの深度画像生成と評価, 情報処理学会第 80 回全国大会, pp. 241-242 (2018).