

超音波内視鏡画像の重畳による擬似3次元可視化システムの開発

垂水信二 (九州大学) 岩下友美 (九州大学) 倉爪亮 (九州大学) 橋爪誠 (九州大学)

Development of Pseudo 3D Visualization System by Superimposing Ultrasound Images

*Shinji TARUMI (Kyushu Univ.), Yumi IWASHITA (Kyushu Univ.),
Ryo KURAZUME (Kyushu Univ.), Makoto HASHIZUME (Kyushu Univ.)

Abstract— This paper presents the development of pseudo 3D visualization system of organs using 2D ultrasound images for a new medical instrument. The new instrument consists of an ultrasonic endoscope and an electro-magnetic measurement sensor. The pseudo 3D volume is reconstructed by superimposing ultrasound images captured by the ultrasonic endoscope. So the new instrument shows not only the surface of organs, but also the 3D volume of inside of organs. In this paper, we propose a 3D volume reconstruction system using 2D ultrasound images, and show experimental results of 3D visualization with actual ultrasound images.

Key Words: Volume rendering, endoscopic ultrasonography, ultrasound probe

1. はじめに

内視鏡手術は、外部から切開し病巣部へ到達する際、切開部分が従来の開腹手術に比べ小さく、侵襲性の低いことが利点として挙げられる。そのため、従来の外科手術のように、大掛かりな麻酔やスタッフの必要がなく、加えて被施術者の術後の臥床期間を短縮できることから、現在多くの外科手術で普及している。しかし、内視鏡手術による手術の術野は狭く、確実な手術を行うためには、十分な術前の検査と検討が必要である。また、内視鏡操作に精通している術者が手術を行うことも必須条件である。

これらの術前、術中の負担を軽減するため、現在我々は、超音波内視鏡から構成される新しい内視鏡手術支援機器の開発を進めている。超音波内視鏡とは、内視鏡の先端に超音波プローブを取り付けることで、臓器表面のカラー画像と臓器内部の超音波画像を同時に取得する医療機器である。この内視鏡手術支援機器には、超音波内視鏡から取得される複数の超音波画像を重畳表示することで、リアルタイムに擬似的3次元ボリュームデータを構築するシステムも搭載する。このシステムが実現すれば、臓器の表面だけでなく臓器内部の3次元ボリュームを術者へ提示することが可能となる。

そこで本研究では、超音波内視鏡から取得された超音波画像を重畳表示し、擬似的な3次元ボリュームデータを構築するシステムの開発を目的とする。開発するシステムは、超音波内視鏡、磁気式3次元位置姿勢センサ、及び擬似3次元可視化ソフトウェアからなる。まず超音波内視鏡から胃壁周辺の超音波画像を取得する。同時に、磁気式3次元位置姿勢センサから超音波画像撮影時の内視鏡の超音波プローブの位置と姿勢を取得する。取得された情報は擬似3次元可視化ソフトウェアに送られ、センサ情報を元に位置姿勢を補正しながら超音波画像を3次元データ領域に投票した後、ボリュームレンダリング [1] を行い、3次元ボリュームとして表示される。

しかし超音波プローブの動作が磁気式3次元位置姿勢計測装置の計測精度に大きな影響を与えることが示されている [2]。この問題に対し、我々はこれまでに本システムで使用する超音波内視鏡が磁気式3次元位置姿勢計測装置の計測精度に与える影響について検証を行った [3]。その結果、超音波内視鏡の超音波プローブと磁気式3次元位置姿勢センサを隣接した状態で同時に使用した場合でも、センサの位置誤差が目標値以下になることを確認した。本稿では、撮影された超音波画像から擬似的な3次元ボリュームデータを構築するための、擬似3次元可視化ソフトウェアの開発を行ったので報告する。

2. 擬似3次元可視化システムの構成

図1に開発する擬似3次元可視化システムの概要を示す。本システムで使用する超音波内視鏡は、図2に示すビデオ超音波内視鏡である (EG-3870UTK, Hoya 社製)。図3に取得した内視鏡画像と超音波画像をそれぞれ示す。また、磁気式3次元位置姿勢センサ (Microbird, Model 180, Ascension Technology Co. USA) は、図4に示すようにセンサコイルを含む本体ユニットと磁場発生装置からなり、センサコイルを超音波内視鏡プローブ背面の中心位置に固定した。さらに、擬似3次元可視化ソフトウェアを開発するプラットフォームとして、(株)AZEの医療用ソフトウェア VirtualPlaceSDK を使用する。VirtualPlace は臨床で用いられる医療用のソフトウェアであり、CT画像やMRI画像などのデータを元に3次元ボリュームデータを構築できる。ソフトウェアの具体的な実装については次章で述べる。

3. 擬似3次元可視化システムの開発

開発するシステムでは、超音波画像から擬似3次元モデルを構築する際に、VirtualPlace内のボリュームレンダリングエンジンを利用する。ボリュームレンダリングでは、3次元ボリュームデータを内包する3次元ボクセル空間の各ボクセルに対して色と不透明度を与

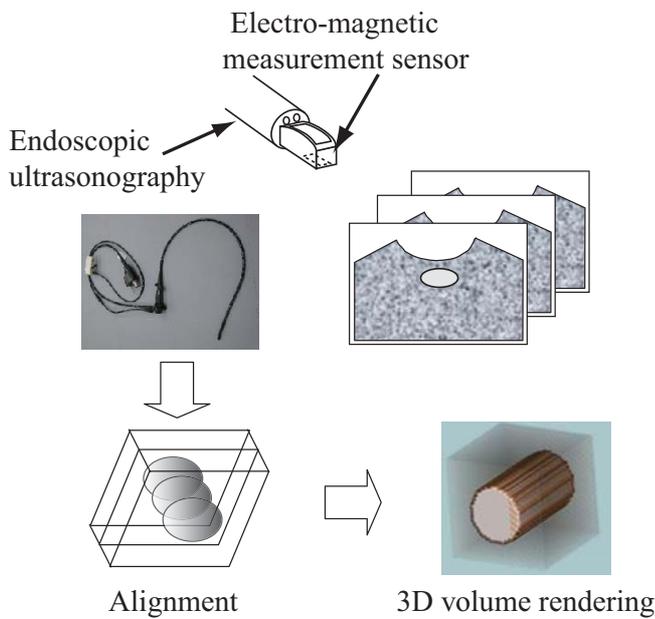


Fig.1 擬似3次元可視化システムの概要



Fig.2 ビデオ超音波内視鏡 (G-3870UTK, Hoya)

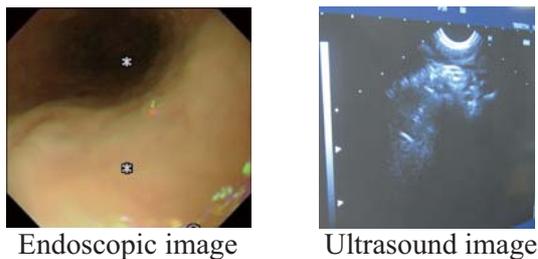


Fig.3 内視鏡画像と超音波画像の例

えることで、3次元物体の表面及び内部を可視化することができる。本システムでは、超音波画像と画像取得時の位置姿勢データを基にボリュームレンダリングを行う。具体的には、まず超音波画像と画像撮影時の位置姿勢データを取得する。次に、位置姿勢データを用いて、図5に示すように超音波画像の座標変換を行い、ボクセル空間にデータを格納する。ここで、 Σ^O 、 Σ^S 、及び Σ^U はそれぞれ磁場発生装置の座標系、センサコイルの座標系、超音波画像の座標系を示す。超音

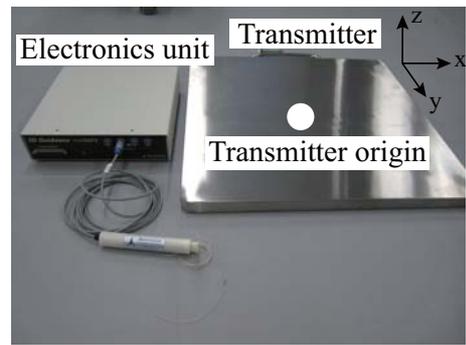


Fig.4 Microbirdの磁場発生装置と本体ユニット

波画像の座標系における座標 $^U D$ は磁場発生装置の座標系における座標 $^O D$ へと以下の式により変換される。

$${}^O D = {}^O T_S + {}^O R_S \times {}^S T_U + {}^O R_U \times {}^U D \quad (1)$$

$${}^O R_U = {}^O R_S \times {}^S R_U \quad (2)$$

ここで、 R と T はそれぞれ姿勢と位置の変換行列である。また、 $({}^S R_U, {}^S T_U)$ は座標系 Σ^S から Σ^U への変換行列である。最後に、全画像に対して以上の処理を行った後、ボリュームレンダリングを行い表示する。

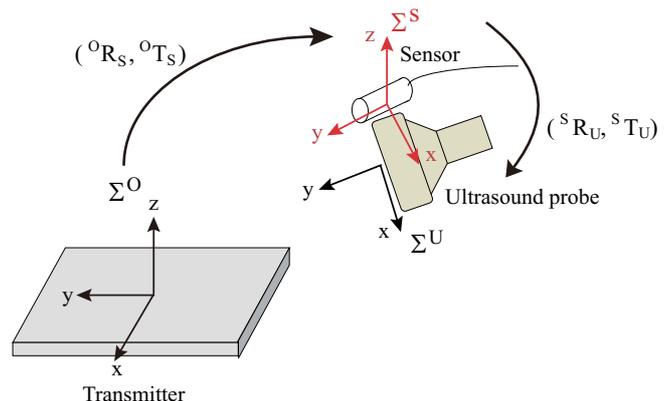


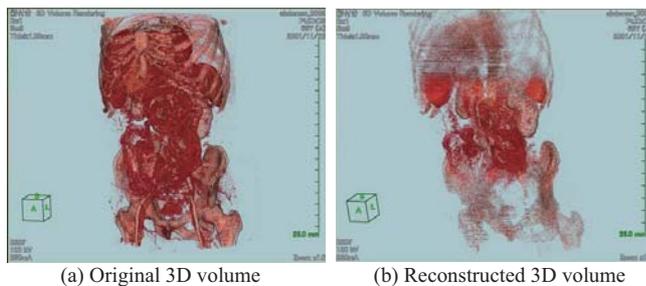
Fig.5 座標変換

4. 実験

シミュレーションにより合成した超音波画像と、実際に超音波プローブと磁気式3次元位置姿勢センサを用いた実験を行った。

4.1 シミュレーション画像を用いた実験

VirtualPlaceで構築した3次元ボリューム(図6(a))を用いて、様々な位置、姿勢から複数のシミュレーション画像を合成して、開発システムによる3次元ボリュームの再構築を行った。この際、合成したシミュレーション画像および画像合成時の位置姿勢を読み込むことで、3次元ボリュームの再構築を行った。図6(b)にボリュームレンダリングの結果を示す。この結果より、開発システムにより3次元ボリュームの可視化が可能であることが確認できた。



(a) Original 3D volume (b) Reconstructed 3D volume

Fig.6 シミュレーション実験

4.2 実際の超音波画像を用いた実験

実際に超音波プローブと磁気式 3 次元位置姿勢センサを用いて、超音波画像と画像撮影時の位置姿勢データの取得実験を行い、提案した擬似 3 次元可視化システムを用いた 3 次元ボリュームの表示を行った。実験では図 7 に示すように、超音波画像を撮影する対象物体として寒天内に浮かべたガラス球を使用した。なお、超音波内視鏡の超音波プローブは高周波を使用しており、観察深度が極めて浅いため、このガラス球を正確に撮影することが困難であった。そこで今回は通常の超音波プローブを用いて実験を行った。超音波画像の撮影の際、プローブの撮影領域がガラス球を横切るように動かした。図 8 に実際の実験の様子を示す。

取得した画像の例を図 9 に示す。また、図 10 にボリュームレンダリングを行った結果を示す。使用した超音波画像は 29 枚であり、画像の実際の大きさは約 $3 \times 3 \text{ cm}$ である。これよりガラス球のエッジが 3 次元で表示されており、実際に超音波プローブと磁気式 3 次元位置姿勢センサを用いた場合でも、提案システムにより 3 次元ボリュームの可視化が可能であることが確認できた。



Fig.7 対象物体

5. まとめ

本稿では、新しい内視鏡手術支援機器に搭載するシステムとして、超音波内視鏡から得られる複数の 2 次元超音波画像を重畳表示することで、擬似的 3 次元ボリュームを構築するシステムの開発についての報告を行った。またガラス球を対象とした超音波画像と画像撮影時の位置姿勢データの取得実験を行い、提案システムにより 3 次元ボリュームの可視化が可能であることを確認した。今後は、臓器ファントムに対して提案

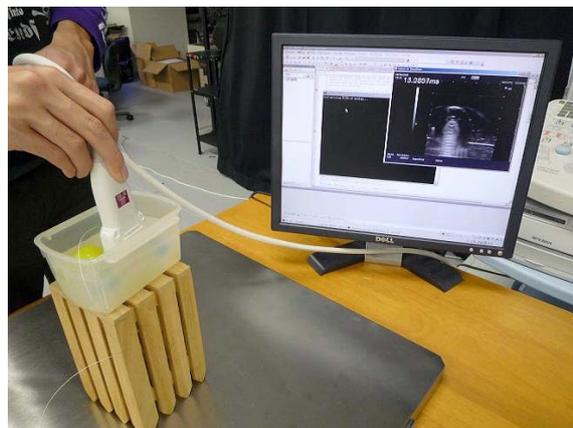


Fig.8 実験の様子

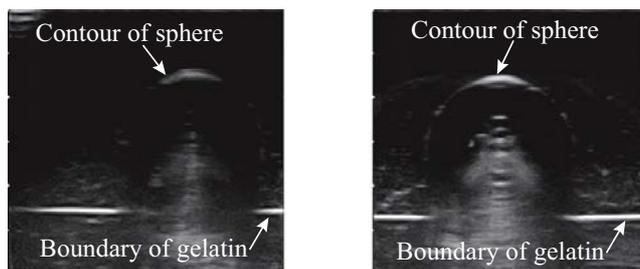


Fig.9 取得画像

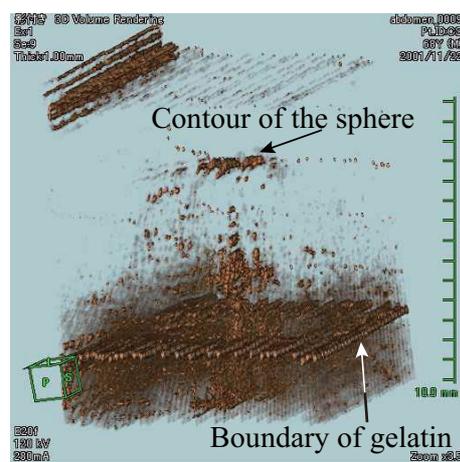


Fig.10 超音波画像に対するレンダリング結果

システムを適用して、3 次元可視化実験を行う予定である。

- [1] R. Drebin, L. Carpenter, P. Hanrahan: "Volume Rendering", Computer Graphics, 22, 4, SIGGRAPH'88, pp.65-74, 1988.
- [2] M. Hastenteufel, M. Vetter, H. Meinzer, I. Wolf, "Effect of 3D ultrasound probes on the accuracy of electromagnetic tracking systems", Ultrasound in Medicine and Biology, vol. 32, no. 9, pp. 1359-1368, 2006.
- [3] 垂水信二, 岩下友美, 倉爪亮, 長谷川勉, 剣持一, 橋爪誠: "超音波内視鏡に対する磁気式位置姿勢センサの精度検証実験", 第 26 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1K3-04, 2008.