

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：87103

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25730126

研究課題名(和文) 距離画像を用いた超音波プローブの位置・姿勢計測システムの開発

研究課題名(英文) Development of Probe Tracking System Using Depth Image

研究代表者

吉永 崇 (Yoshinaga, Takashi)

公益財団法人九州先端科学技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：10598098

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：近年の超音波診断装置の小型化により、時間・場所を問わずに画像診断を行う環境が整備されてきた。しかし、画像の取得には熟練を要するため「誰でも」活用できるわけではなかった。

これまでの研究により、超音波プローブと臓器の位置関係をAR技術で視覚的に表示する撮像支援システムを実現してきた。しかしプローブの位置計測にはカメラとマーカを要する光学的手法を用いていたため、利用時のセットアップが煩雑で実用化は困難であった。そこで本研究ではKinectセンサーで取得されるRGB-Dデータを用いることで、マーカ不要で簡単に利用できる位置・姿勢計測システムを実現し、超音波画像の撮像支援に活用できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The recent miniaturization of ultrasound diagnostic equipment has paved the way to perform image diagnosis regardless of time and location. Since image acquisition requires sophisticated skills, however, "not everyone" can make use of the equipment. Our previous studies helped substantiate an imaging support system that could display the positional relation between the ultrasound probe and the internal organ visually with the use of AR technology. The problem was, however, that the probe position was measured by an optical technique that needed a camera and marker. This led to complicated procedures to set up the system. As a result, it remained difficult to put it into practical use.

Against this backdrop, this research used RGB-D data obtained by the Kinect sensor in an effort to realize a position and angle measuring system that was simple and usable with no marker. The research has confirmed that this system can be applied to assist in ultrasound image shooting.

研究分野：可視化

キーワード：計測 可視化

### 1. 研究開始当初の背景

超音波診断とは医師が超音波プローブ(以下、プローブ)を手を持ち、患者の体表に押し当てただけで臓器の断面画像(以下、断層像)が得られる診断法で、X線CTやMRIと比べて安全性が高いことから幅広く用いられている。また、近年はノートPCタイプやポケットサイズの小型装置の普及により、僻地や在宅環境、さらに救急の現場や被災地など「場所・時間を問わない」ユビキタス診断が実現されつつある。しかしプローブは手動で操作を行うため、診断に適した断層像の描出には熟練を必要とし、解剖学的知識や撮像経験の乏しい未熟な検査者(新米の検査士や医師)による撮像は困難である。そのため「検査者を問わない」診断は実現されていないのが現状である。

以上を背景に申請者はプローブの位置・姿勢をリアルタイムに計測し、その先端の撮像断面と患者体表、さらに臓器との位置関係をAR (Augmented Reality)技術で視覚的に表示することで撮像を支援するシステムについて研究・開発を行ってきた(図1)。その結果、プローブの位置・姿勢に基づいた視覚的情報の提示は、撮像の支援において有効であることが示された。しかし、プローブの位置・姿勢計測にはカメラ画像からのマーカー認識技術を用いていたため、図1のように正方形マーカーをプローブに装着する必要がありセットアップが煩雑であった。また、画像からの認識が可能なマーカーのサイズを確保する必要があるため小型が難しく、実用性・操作性の面で課題が残った。

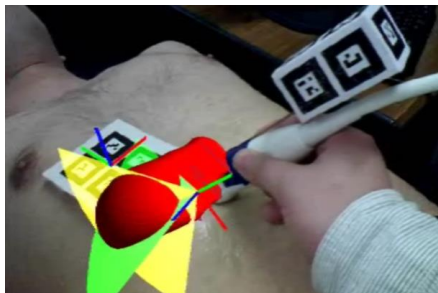


図1. 撮像支援システム

### 2. 研究の目的

従来研究で開発したプローブの位置・姿勢に応じた撮像支援情報の可視化を行うシステムを実際の医療現場で利用しやすくすることを目的とし、正方形マーカーを用いず、より簡便にプローブの位置・姿勢を計測できるシステムの実現を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究では、RGB-D センサを用いたプローブの位置・姿勢推定方法の構築を行う。RGB-D センサとはカメラのカラー映像と3次元空間の各点の座標の集合(以下、Point Cloud)を同時にリアルタイム計測できる機器であり、現在 Microsoft Kinect や Intel

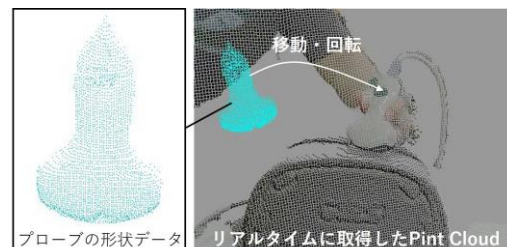
Real Sense などが一般向けに販売されている。そのため、研究や産業分野で従来用いられてきた高額な位置計測機器と比べて安価・簡便に導入可能である利点がある。さらに、RGB-D センサで取得した情報を用いてプローブと患者の3次元的位置関係の可視化も行うこととした。これにより、1つの機器で「計測」と「可視化」の両方を実現する。そこで本研究では下記に取り組んだ。

#### (1) Point Cloud を用いた位置・姿勢推定

本研究では図2のようにRGB-D センサとして Kinect を用い、事前に取得したプローブ形状の Point Cloud(水色)と、リアルタイムに取得した撮像環境の Point Cloud(カラー)とを比較をすることで、プローブの検出及び位置・姿勢の推定を行うこととした。なお、Point Cloud 間の比較による位置・姿勢推定のアルゴリズムには ICP(Iterative Closest Point)を用いた。ICPとは一方の Point Cloud を構成する各点に対し、もう一方の Point Cloud における対応点を仮に決めて双方を重ね合わせるように移動・回転を行い、その際の誤差を評価する。そして誤差が最小になるまでこの操作を繰り返すことで移動量を推定する手法である。本研究では、この手法にプローブ形状と撮像環境の Point Cloud をそれぞれ当てはめ、プローブの位置・姿勢推定を行った。ただし ICP は理想的な状況下では推定結果が良好であるが、撮像者の手や患者体表との接触により隠れが生じた場合は推定結果の誤差が大きくなる。これを解決するため、プローブ操作を阻害しないサイズの単色のマークをプローブ上方に設置し、画像処理による色検出によってマークの位置を推定する処理を追加した。そしてその後、ICPによる位置・姿勢の微調整を行うことで位置・姿勢推定の高精度化を図った。



(a) 撮像時の環境



(b) 計測時に使用する Point Cloud

図2. 計測システムの概要

## (2) 慣性センサを用いた姿勢推定補助

ICPを用いた姿勢推定では、一度誤った姿勢を推定してしまうとその後の姿勢推定に大きく影響を与えることが知られている。また、(1)の手法にてプローブの姿勢推定に失敗した場合には代替の姿勢推定手法が必要になる。そこで本研究では加速度・角速度・地磁気を同時に計測できる9軸ワイヤレスモーションセンサ(以下、慣性センサ)をプローブに設置し、画像処理やPoint Cloudに頼らない姿勢推定も行えるようにした。慣性センサを用いた姿勢推定には、角速度の積分及び加速度・地磁気による補正を行った。本研究では予備実験として、慣性センサと光学式モーションキャプチャ(VENUS3D-100A)の反射球マーカーをプローブに設置し、プローブの傾きを動的に変化させた際の先端座標の算出結果を確認した。図3において赤線が光学式による計測結果、青線が慣性センサによる推定結果である。この結果より、慣性センサによる推定結果は光学式センサのものと概ね一致することが確認できた。さらに光学式センサでは計測できないケースにおいても姿勢推定を継続できることが確認できた。

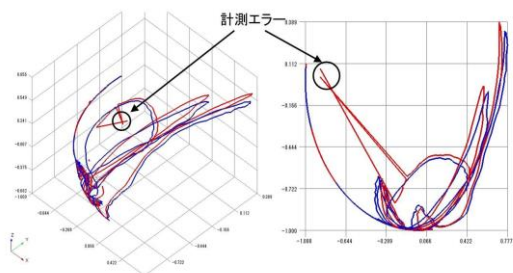


図3. 慣性センサによる姿勢推定

## (3) プローブと断面の位置・姿勢の可視化

KinectではPoint Cloudによる空間の3次元形状だけでなくカメラによるカラー画像も取得できる。そこで本研究ではPoint Cloudと色情報を統合し、撮像環境の様子をOpenGLによる3次元グラフィックスで可視化した。さらに過去に所望の断層像を撮像した時のプローブの位置・姿勢を記録し、可視化することで別の撮像者がその情報を視覚的に確認しながら撮像を行える機能を実装した。なおこれらの3D情報はマウス操作による視点変更が可能のため、プローブ・患者体表・撮像支援情報の相対関係を自由な視点から確認することができる。

## 4. 研究成果

### (1) Point Cloudを用いた位置・姿勢推定

ICPのみを用いた場合と、マークの色検出とICPを組み合わせた場合におけるプローブの位置・姿勢推定結果を図4に示す。本実験では事前に取得したプローブのPoint Cloud(水色)を位置・姿勢推定結果に基づき移動させ、撮像環境のPoint Cloudと同時に表示している。つまり正確に推定が行われてい

る場合には各Point Cloudが一致して表示される。図の左側より、プローブ全体がKinectで撮影可能な場合は、いずれの手法においても推定結果が良好である。一方、プローブ先端が押し込みにより隠れた場合は、図の右側のようにICPのみで推定した場合は実際のプローブの輪郭(赤線)と水色のPoint Cloudが一致しなかった。しかし色検出を用いた場合は、ICPを行う前にプローブの位置が定まるため先端が隠れた場合でも安定した推定が可能なが確認できた。

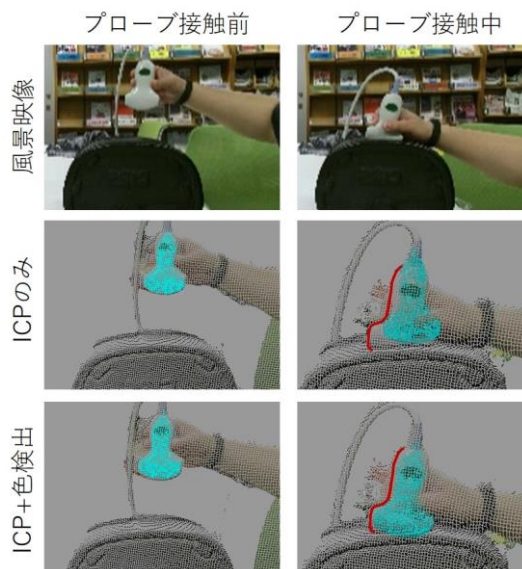


図4. ICPおよび色検出を用いたプローブの位置・姿勢推定結果

### (2) 慣性センサを用いた姿勢推定補助

プローブの姿勢推定において慣性センサの姿勢推定結果を用いた場合の効果について検証を行った。図5はICPによる姿勢推定が失敗した場合に、慣性センサで推定した姿勢を用いて補正を行った結果を示す。慣性センサの姿勢をICPを実行する際の初期値として与えた結果、即座に姿勢の誤りが修正されることが確認できた。また、今回使用した慣性センサは100Hzで角速度を取得可能であるため突発的な動きに対する追従も容易である。そのため本研究では慣性センサの姿勢を毎フレーム使用し、姿勢推定を失敗した時の補正だけではなく姿勢推定の常時安定化も実現している。

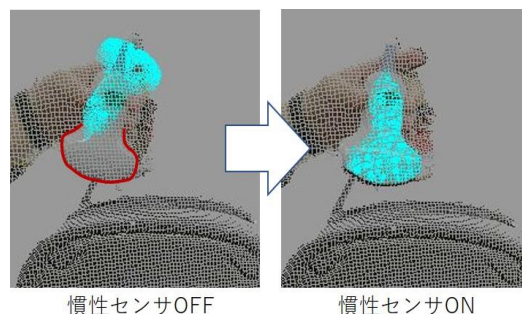


図5. 慣性センサを用いた姿勢の補正

### (3) プローブと断面の位置・姿勢の可視化

色付きの Point Cloud を用いて撮像環境を 3 次元的に表示し、様々な視点から観察した結果を図 6 に示す。さらに、本研究では撮像を支援する情報としてプローブの先端に撮像断面の位置や向きを表す CG を表示した。これらにより、従来のようなカメラ画像を用いた観察では不可能であった、3 次元的な位置関係の確認が可能となった。

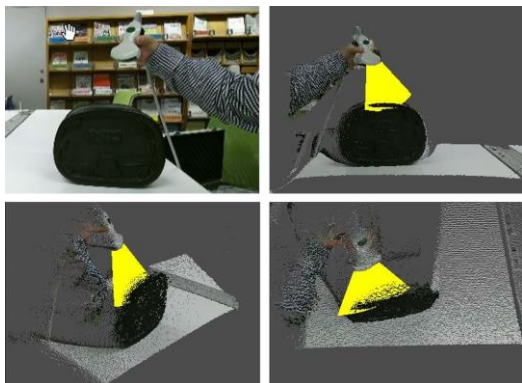
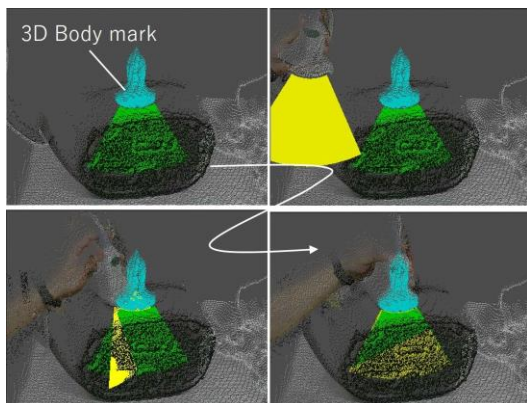
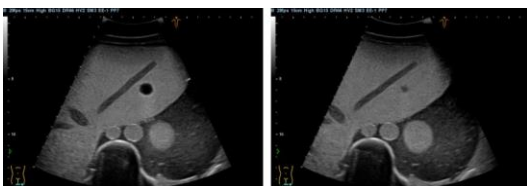


図 6. 自由視点での観察

過去に撮像したプローブや断面の位置・姿勢を記録して可視化する、3D ボディマークを図 7 に示す。図中(a)において緑色の断面と水色のプローブモデルの組み合わせが 3D ボディマークである。本システムではこのボディマークと現在の撮像断面を同時に表示することができるため、それぞれの位置関係を理解しながら、過去の検査者の手技を模倣するように撮像を行うことができる。そこで本システムを用いて、撮像経験のない人に、3D ボディマークを参照しながら腹部ファントムの撮像を行ってもらった。その結果、図 7(b)に示すように経験者と同様の画像を初心者



(a) 3D ボディマークを参照した撮像



経験者 未経験者

(b) 撮像結果

図 7. 3D ボディマークを用いた撮像支援

でも取得できることが確認できた。したがって、本研究で構築したプローブの位置・姿勢推定手法は撮像支援において利用可能となる可能性が示唆された。以上より、従来研究で用いていた正方形マーカーを組み合わせたマーカーの認識ではなく、より簡便な方法でプローブの位置・姿勢推定を実現することができ、当初の目的は概ね達成されたものと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉永 崇 (TAKASHI Yoshinaga)

公益財団法人 九州先端科学技術研究所・

オープンイノベーションラボ・研究員

研究者番号：10598098