

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：87103

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K18449

研究課題名(和文) 超音波診断支援のための動的なボディマーク生成に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Dynamic Body Mark Generation for Ultrasound Diagnostic Support

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・オープンイノベーション・ラボ・特別研究員

研究者番号：10598098

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：超音波診断を行う際のプローブの位置や角度を記録し、AR(拡張現実感:Augmented Reality)技術を用いて可視化することで医学生や新米医師による撮像を支援する3Dボディマークシステムの研究を行った。要素技術として プローブの位置・姿勢推定システム、 Volumetric Videoを用いた動的ボディマーク、 ARを用いた可視化の実現に取り組んだ。プローブの位置計測に関してはRGB-DセンサのKinectを使用したアルゴリズムを構築。可視化に関してはプローブ先端への断層像重畳や、撮像時の断層像の記録、さらにVolumetric Videoを用いた動的な撮像手技の記録・表示を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超音波診断装置には撮像を支援するため、プローブの位置や角度を記録するボディマーク機能が搭載されているが、3次元的なプローブ操作を2次元の平面図でしか表現できない問題がある。さらに診断では、臓器の一断面を観察するだけでなくプローブを大きく動かして臓器全体の観察も行うが、その際の動的な撮像手技の記録も不可能であった。そのため、医師間や医療教育での撮像手技の共有は困難であった。これに対し本研究は、撮像手技の3次元的な記録およびARを用いた患者体表への重畳表示を行うことで撮像者の技術支援を行い、医療の質の向上に貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：I researched a 3D body mark system to support acquiring echogram for medical students and new doctors by recording the position and angle of the probe when performing ultrasound diagnosis and visualizing it using Augmented Reality (AR) technology. As elemental technologies, I worked on (1) a system for estimating the position and posture of the probe, (2) dynamic body marking using volumetric video, and (3) visualization using AR. For the probe position measurement, we developed the algorithm using Kinect with RGB-D sensor. For visualization, we realized the superimposition of real-time echogram on the tip of the probe, the recorded echogram images during past diagnosis, and the recording and display of dynamic imaging techniques using volumetric video.

研究分野：医療支援

キーワード：超音波診断 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)を手に持ち、患者の体表に押し当てただけで体内の断面画像(以下、断層像)が得られる診断法である。これは X 線 CT や MRI と比べて安全性が高く、母体内の胎児や手術後の経過観察のように同一の対象を繰り返して検査ができる唯一の画像診断法である。さらにノート PC タイプの小型装置の登場により僻地や在宅環境など「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撮像技術の習得に熟練を要し、経過観察に必要な同一箇所断層像を取得するのは容易ではない。

撮像を支援するために超音波診断装置にはボディマークというプローブの位置や角度を記録する機能が搭載されている(図 1)。しかし位置や角度などの 3 次元的なプローブ操作を 2 次元の平面図でしか表現できない問題がある。これに対し、リアルタイムに計測したプローブの位置・姿勢を事前に用意された人体の CG(コンピュータ・グラフィクス)上に表示できる 3D ボディマークという機能を提供する Real-time Virtual Sonography(日立メディコ)も開発されてきた。しかし、人体の形状は人により異なるため、患者の体表に一致した位置への 3D ボディマークの表示は不可能であった。さらに超音波画像での検査は臓器の一面を観察するだけでなく、プローブを大きく動かすことによる臓器全体の観察も行うが、その際の動的な撮像手技を記録するシステムも存在しなかった。そのため、医師間や医療教育での撮像手技の共有は困難であった。

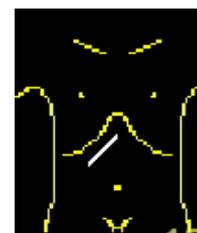


図 1 ボディマーク

2. 研究の目的

撮像手技の記録および再現における上記の問題を解決するため、本研究ではプローブの位置・姿勢計測技術による撮像手技を記録し、AR(拡張現実感)技術を用いて実際の患者体表上に CG として重畳(重ね合わせ)することで撮像を支援する新規 3D ボディマークの開発を行う。さらに動的なプローブの操作も立体映像(以下、3D ビデオ)として記録し AR で可視化できる動的ボディマークも実現し、撮像手技の再現や学習の支援できる仕組みの構築を目指す。

3. 研究の方法

3D ボディマークとして撮像手技を記録するため、プローブの位置・姿勢をリアルタイムに計測するシステムを用いる。計測を手軽かつ安価に実現するため、RGB-D センサを用いたプローブの位置・姿勢推定手法を構築した。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。また、Point Cloud を表示することで空間の 3 次元形状を視覚的に把握できるため、これを 3D ビデオとして記録して患者に対する動的なプローブ操作を可視化する動的ボディマークも同センサで実現する。つまり本研究では RGB-D センサで取得した情報を用い(1)プローブの位置・姿勢計測と撮像位置の記録、(2)動的なプローブ操作の記録、(3)AR を用いた可視化に取り組んだ。

(1) Point Cloud を用いた位置・姿勢推定システム

本研究では図 2 のように RGB-D センサとして Azure Kinect を使い、事前に取得したプローブ形状の Point Cloud(形状テンプレート)と、リアルタイムに取得した撮像環境の Point Cloud 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、推定アルゴリズムには 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・回転を行いその時点での誤差を評価する。そして誤差が最小になるまで同操作を繰り返すことで移動量を推定する。ただし ICP は理想的な状況下では推定結果が良好だが、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計測が不安定になる。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カーをプローブ上方に設置し、色検出によってマーカー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高精度化および安定化を図った。本手法で推定されたプローブの位置・姿勢は撮像時の断層像とともに 3D ボディマークとして記録されるほか、後述する AR システム内にて断面の位置をリアルタイムにプローブに重畳する際にも使用した。

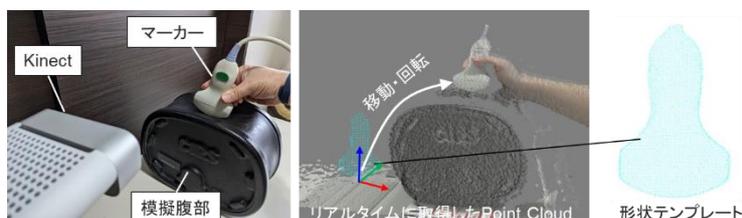


図 2 プローブの位置・姿勢推定の概要

(2) 動的な撮像手技の記録と再生

動的ボディマークの実現のため本研究では、Azure Kinect で取得した Point Cloud をプロローブの位置・姿勢計測だけでなく 3D ビデオとして保存することで、動的な撮像手技の記録を可能とすることを試みた。ただし、各点の座標 (x, y, z) と色 (R, G, B) をそのまま保存するとサイズが膨大になるうえ、記録・再生を行う際のデータ入出力の処理コストも高くなるという問題がある。そこで、図 3 に示すように奥行き情報を色階調に変換し、カメラ映像とともに画像化し、mp4 形式の動画として保存することとした。3D ビデオとして再生する場合には逆変換を行い、奥行き情報を 3 次元の点に戻し、カメラ画像の色情報を対応する点に割り当てて表現した。

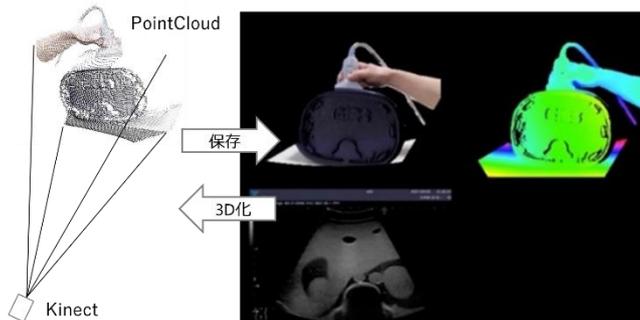


図 3 動的ボディマークの記録・再生

(3) AR を用いた表示

撮像を支援する情報として本研究では 3D ボディマークや動的ボディマークに加え、リアルタイムな断面の位置・姿勢や超音波画像も AR で重畳表示する。システムの概要を図 4 に示す。プロローブの位置・姿勢推定は Kinect を接続した PC にて行う。また診断装置で得られる断層像も同一の PC にて取り込む。撮像支援情報は Kinect で得られる風景映像に重ね、AR での表現を実現した、さらに、撮像を行う医師の目の前に支援情報を呈示する一人称視点表現も実現するため、HMD として HoloLens (Microsoft 社) も使用した。ただし、HoloLens は有線での情報通信ができないため PC 側で処理されたプロローブの位置・姿勢や超音波画像は WebRTC を使用し、インターネット経由で HoloLens に配信することとした。



図 4 システム全体の構成

4. 研究成果

(1) Point Cloud を用いた位置・姿勢推定

ICP とプロローブに貼り付けたマークの色検出を組み合わせたプロローブの位置・姿勢推定結果をととして、断面の位置・姿勢を Azure Kinect で取得した Point Cloud と合わせて表示した(図 5)。図中の黄色の扇形が撮像断面であり、正確に位置・姿勢推定が行われている場合にはプロローブの先端に常に表示されるはずである。本実験ではプロローブを Azure Kinect に対して様々な方向に向けて断面の追従性を視覚的に評価した。その結果、超音波検査で取りうるプロローブの各向きに対して位置・姿勢が追従できていることを確認できた。



図 5 プロローブの位置・姿勢推定結果

(2) 動的な撮像手技の記録と再生

事前に記録した模擬腹部と動的な撮像の様子を、3D の情報として PC 上で再生・可視化した様子を次項の図 6 に示す。①-②はプロローブを動かし撮像するまでの様子を再生した結果、③は撮像者が頭部(HoloLens2)を動かして任意の視点で観察した際の様子である。前述の 3D ボディマークと異なり、所望の断層像を得るまでの一連の操作視覚化でき、AR で表示することであたかもその場で専門医が実演しているかのような体験が可能である。

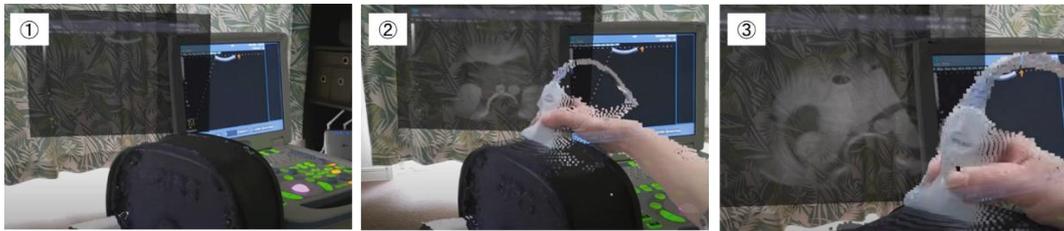


図6 動的ボディマーク

(3) AR を用いた可視化

プローブの位置・姿勢の推定結果を、HoloLens2 を用いて AR 可視化した結果を図 7 に示す。断層像の位置は②に示すように黄色の平面としてプローブの先端にリアルタイムに重畳され、視界の一部に B モード画像が表示されている。また、③④に示すようにプローブ先端に B モード画像をリアルタイムに表示することでプローブと断面、そして患者体表との位置関係を医師の視点から把握することも可能とした。また⑤⑥に示す様に、所望の画像が得られた際のプローブの位置や姿勢を記録することにより、プローブが体表から離れている場合でも任意の視点から体表に対する撮像の位置・姿勢の記録を観察可能な 3D ボディマークを実現した。また AR による 3D ボディマークの有用性を検証するため、事前に撮像した断層像と同様の画像取得に要した時間を計測して通常のボディマークを用いた場合との比較を行なった。

本実験では超音波検査の経験のない 10 名の成人を対象とし、基本的な撮像方法を説明した後 3D ボディマークまたは通常のボディマークを参照した撮像を行なった。その結果、従来のボディマークを用いた場合、平均で 150 秒を要したのに対し、3D ボディマークを用いることで平均約 95 秒に短縮できることが確認した。

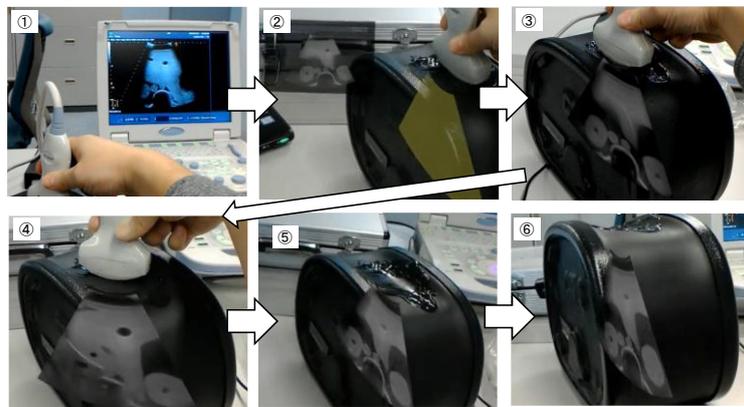


図7 断面のリアルタイム可視化と 3D ボディマーク

さらに動的ボディマークを参照した撮像の様子を図 8 に示す。②にてプローブが腹部ファントム接触して後方に設置された診断装置に断層像が表示され、③のようにプローブの位置・姿勢を動的ボディマーク重ねるように調整することで手本となる断層像と同様の画像が取得できることが示された。一方、現状の動的ボディマークは撮像手順の 3D ビデオが一方的に進んでしまうため、撮像者が詳細を確認したい場合などには、再生速度を遅くしたり一時停止したりといったインタラクティブな機能を追加する必要があることが分かった。またフルカラーで表示することで実際の手と 3D ビデオが重なった際にプローブの位置・姿勢の調整が難しくなる点も挙げられた。今後、これらの問題を解決することで従来のシステムでは不可能であった動的な撮像記録を分かりやすく呈示できるものと考えられる。



図8 動的ボディマークを用いた撮像支援の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉永崇
2. 発表標題 ARを用いた医療支援に関する研究
3. 学会等名 第84回CG・可視化研究会（CAVE研究会）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------