

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K09624

研究課題名（和文）Aiを用いた2D超音波プローブのフリーハンド3D化システムの開発

研究課題名（英文）Development of an AI-based freehand 3D system for a 2D ultrasound probe

研究代表者

中原 龍一（Nakahara, Ryuichi）

岡山大学・大学病院・助教

研究者番号：30509477

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：超音波検査の生産性を改善するために、超音波の2Dプローブをフリーハンドで動かした画像から三次元化を行う研究を行った。2Dプローブに光学センサーを装着しハード的に三次元情報を取得し、三次元再構成を行った。ハード性能がどれだけ向上しても微小な相対的ずれが生じるため、AIを用いて微修正する方法を研究した。その過程で、ハードを用いずにAIだけで疑似的な三次元化が可能であることを発見した。UMAPと呼ばれる次元削減手法を用いることで、画像のつながりをトポロジー空間として学習することで、同一断面を検出することが可能であり、それによって検査時間の短縮が図れることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CTやMRIは3D画像として取得されるため、事後的に比較が可能であるため、撮像時に診断を行う必要がない。しかし超音波検査はCTやMRIと異なり三次元画像が残らず、また画像の質が検者の技量に依存するため、撮像現場で比較のために同一断面を描出する必要があり、それが検査時間の増大につながっていた。我々の手法は完全な3D化は困難であるが、疑似的な3D画像を通じて同一断面の検出が可能となるため、検査時間の短縮につながる。本手法を発展すれば、検査時間の短縮、ひいては医療費の削減や医療従事者の働き方改革につながる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：To enhance the productivity of ultrasound examinations, we conducted a study to generate three-dimensional representations from images acquired by freehand movements of 2D ultrasound probes. We equipped the 2D probes with optical sensors to physically capture three-dimensional information and proceeded with three-dimensional reconstruction. Regardless of hardware improvements, minor relative shifts may occur, so we explored methods to make fine adjustments using artificial intelligence (AI). During this process, we discovered that it is possible to create pseudo-three-dimensional images using AI alone. We found that by utilizing a dimensionality reduction technique called UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection), we could learn the connections between images as topological spaces. This allows for the detection of identical cross-sections, leading to a significant reduction in examination time.

研究分野：整形外科

キーワード：整形外科 超音波 人工知能

1. 研究開始当初の背景

超音波装置の劇的な進化により、関節超音波の空間解像度は MRI をしのぐようになり、整形外科外来診療での超音波利用は増えた。しかし超音波は MRI や CT のように 3D 画像を電子カルテに残すことが困難である。また画像を残せたとしても CT のハンスフィールド値のような標準化された画素値ではなく、画像に表示されたイメージ画像としてしか残せない。超音波装置は新しい装置は様々な目的に利用されるが、型落ちになってしまった装置は利用されない傾向にある。そこで、2D プローブを三次元化する補助装置ができたならば、古い超音波装置も有効利用できるのではないかと考え研究を開始した。

三次元位置情報の取得方法として光学式のナビゲーションシステムが注目されており、実際に人工関節などの手術でも用いられている。そこで我々は光学式三次元センサーを 2D プローブに装着することでフリーハンド操作による三次元化の初期研究を行った。高性能なナビゲーションシステムを用いたとしても画像の相対的なずれが生じてしまうため、AI などのソフト的手法を用いた微調整も注目されていた。本研究ではこのような背景を元に、2D プローブの三次元化をハード・ソフト両面から探求した。

2. 研究の目的

通常の 2D プローブを三次元化する補助装置を作ることで、関節リウマチなどの診療コストが低減するのではないかと考えた。また 2D プローブを三次元化する補助装置が開発できれば、古くなった超音波装置の臨床利用が可能となり医療経済改善の一助となるのではないかと考えた。

三次元化技術としてナビゲーションシステムなどのハード的に取得した位置情報を用いた手法と、AI などのソフト的手法を用いた技術を研究した。また実臨床で利用した場合にどのような三次元化であれば、検査時間の短縮などにつながるかも検討した。

3. 研究の方法

3 - 1. ハード的研究

超音波装置の 2D プローブに光学式センサーを装着することで位置情報(6次元情報:3次元+角度情報)を取得し、フリーハンド操作での 3D 画像形成を目指した。ハード的手法によって必然的に生じる微小なぶれの補正方法の検討も行った

3 - 2. ソフト(AI)を用いた研究

AI を用いることで微小なぶれの修正が可能である。その方法をさらに進めて AI の身を用いた三次元化を目指した。三次元画像の取得目的の多くは画像比較であるが、臨床的検討から完全な三次元画像の取得をしなくても、AI を用いて疑似的な三次元画像を取得することで同一断面を自動的に検出し、詳細な三次元を経由せずとも画像比較が可能な系が構築できる可能性があり、その探求を行った。

4. 研究成果

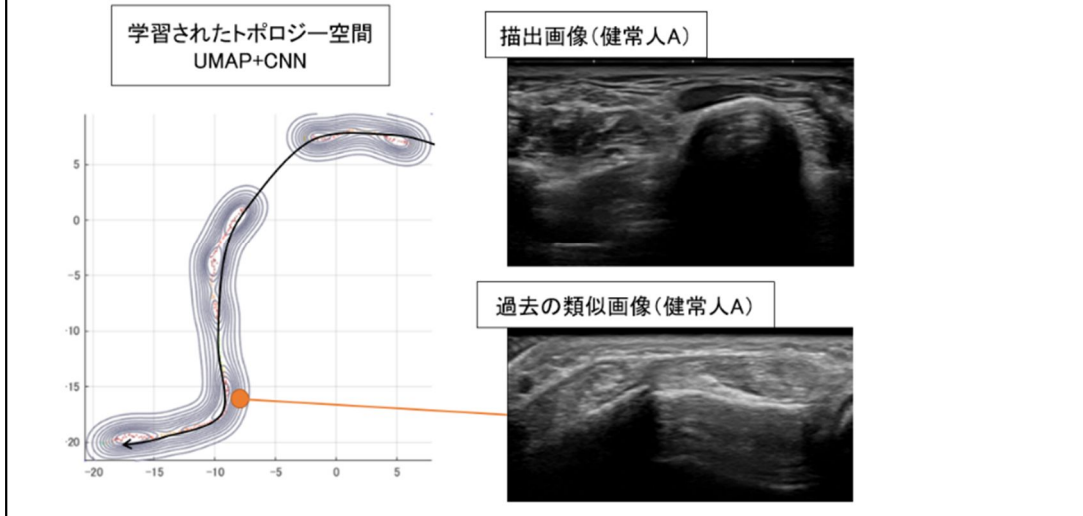
4 - 1. ナビゲーションを用いた 2D プローブ画像の 3 次元化

2D プローブに光学センサーを装着しナビゲーションを用いて三時点位置情報を取得し、それをもとに三次元再構成を行った。しかし超音波装置の精度が向上した結果、光学センサーの三次元位置精度以上に、超音波画像の解像度が向上していることが判明した。ハード的手法で三次元計測精度を向上させたとしても、最終的にはソフトを用いた微修正を行う必要がある。そこで AI を用いてどの程度微修正が可能かを検討していく過程で、AI を用いた微修正そのものの精度がかなり高いことが判明した。超音波装置は低価格化の傾向にあるが、ナビゲーションシステムのハード価格は高いままであるため、ナビゲーションシステムが超音波装置よりも高くなるという問題も生まれた。本研究の根本目的は診療コストの低コスト化にあったので、ハードを用いずにソフトである AI だけを用いたときにどの程度精度を向上し得るかを検討することにした。

4 - 2. ソフト(AI)を用いた 2D プローブ画像の 3 次元化

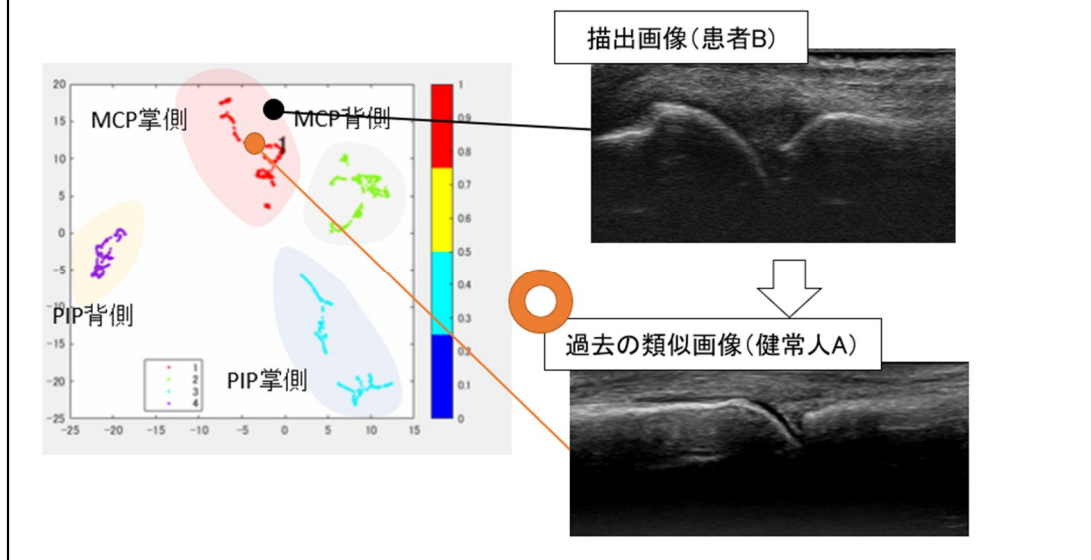
光学センサーを用いて粗く三次元化した三次元情報を教師画像として、AI を用いた三次元化の研究を行った。その過程で AI の教師なし学習手法を発見した。その手法は画像の連続性を学ぶことで画像のつながりを学ぶ手法である。人間が頭の中で感じているような画像間のつながりを学べる AI を作り、トポロジーが学習できないかどうかを検討した。様々な AI を用いた所、次元削減 AI である UMAP を用いることで、距離情報は消失しているがつながり情報は保持された空間(トポロジー空間)が学習できることが判明した。

図 1 : AI を用いたトポロジー空間の学習と同一断面検出



また実臨床で 2D プローブの 3D 化を検討したところ、超音波検査で求められるのは 3D 化ではなく同一断面の自動的な検出、ワークフローの改善であることが分かったため、本システムを用いて疑似的な 3D を構築することで、同一断面の検出ができないかどうかを検討した。超音波画像は筋肉などの非剛体変形をきたす組織を含むため、撮像ごとに非剛体変形をきたす部位の撮像では同一断面の検出が困難であるが、トポロジー空間を経由することで柔らかいマッチングが可能であり、結果的に良質な同一断面検出が可能であることが判明した。健常人を対象に同一断面の描出を検討したところ、それなりの精度で同一断面の検出が可能であった。また同一人物でなくともマッチングが可能であるため、特定の健常人を共通座標にして複数人の位置合わせが可能であることが判明した。これらの手法を用いることで同一断面の検出効率が改善するため、検査時間の短縮を目指すことが可能となった。

図 2 : AI を用いたトポロジー空間を参照して、異なる個人の同一部位を検出



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 中原龍一 |
| 2. 発表標題 教師なしAIを用いたトポロジー学習・関節リウマチ超音波画像同一断面自動保存 |
| 3. 学会等名 日本リウマチ学会 |
| 4. 発表年 2023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 |
|-------|---|------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 那須 義久 (Nasu Yoshihisa) (30756101) | 岡山大学・大学病院・助教 (15301) | |
| 研究分担者 | 竹内 孔一 (Takeuchi Kouichi) (80311174) | 岡山大学・自然科学学域・准教授 (15301) | |

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 |
|---------|---------|