

超音波動画像に対する Snakes アルゴリズムを用いた正中神経の抽出 Median Nerve Extraction using Snakes in Ultrasonography

片山 康太郎[†] 柴田 啓司[†] 笹木 亮[†] 長田 龍介[†] 堀田 裕弘[†]

Koutaro Katayama Keiji Shibata Tohru Sasaki Ryusuke Osada Yuukou Horita

1. まえがき

四肢の機能を低下させる重要な原因の一つである末梢神経障害の診断の際、通常は医師および理学作業療法士による機能評価で病巣の位置を絞り込み、電気生理学的な神経の伝導特性から診断が決定される。臨床現場では、これらに加えて画像診断手段が求められている。この要求に対して、近年では超音波画像の画素解像度が飛躍的に向上したため、神経長軸に対する垂直断面の画像で神経部位を見ることが可能となった。しかし、索状構造体である末梢神経の病巣を把握するために、現場の医師は垂直断面の画像だけでなく 3 次元的な情報を求めている。

そこで、本研究では、手根幹を走行する正中神経を対象として、超音波プローブを操作する装置を製作し、これを用いて超音波動画像を撮影した。さらに、撮影された超音波動画像から Snakes アルゴリズムを用いて正中神経を抽出した。抽出した正中神経と撮影された超音波動画像から 3 次元画像を構築し、手根管の 3 次元情報を取得するシステムを構築した。

2. システムの全体像

神経長軸に沿って超音波動画像を撮影し、撮影された動画像から末梢神経を抽出し、これを 3 次元的に構築することで、撮影部位の 3 次元的な情報を得ることが可能である。しかし、動画像上の描出は超音波プローブを皮膚に接触させる際の角度や操作時の速度に依存する。描出の変化は画像処理による末梢神経の抽出に影響するため、画像処理を容易にする上で撮影時の描出の変化を抑えることが望ましい。さらに、超音波プローブのレンズ面の位置は上腕の形状と超音波プローブを押し付ける力で変化する。動画像と神経をより正確に 3 次元構築するには、超音波プローブの位置情報を取得する必要がある。

以上のことから、本研究では、超音波プローブを固定した状態で等速で動作させつつその座標を取得する装置を製作し、この装置を用いて撮影した動画像から末梢神経を抽出する。抽出した末梢神経と撮影した動画像、そして撮影時に取得した座標をもとに、3 次元画像を構築する。

3. 超音波プローブ操作装置

画像処理を容易にし、超音波プローブの位置情報を取得する目的で、機械的に超音波プローブを操作する装置を製作した。製作した操作装置と超音波動画像撮影時の様子を図 1 に示す。アルミフレームの一边に単軸アクチュエータが据え付けられており、単軸アクチュエータとリニアスライダが、リニアスライダと超音波プローブ把持部がそれぞれ接続されている。超音波プローブは遠位—近位方向と掌側—背側方向に移動可能とし、超音波が皮膚に対して垂直に入射するように、超音波プローブを固定して使用する。

3.1. 遠位—近位方向への移動と座標の取得

遠位—近位方向への超音波プローブの移動と座標の取得のために、アルミフレームに単軸アクチュエータを据え付けた。単軸アクチュエータは 150[mm] の範囲を移動可能であり、移動速度 v は 0.1[mm/sec]~10[mm/sec] の範囲で操作可能として、位置情報を 0.01[mm] の精度で取得可能である。したがって、撮影時のフレームレートを f [frames/sec] として、遠位—近位方向に補正可能な精度は $\frac{v}{f}$ [mm] となる。

3.2. 掌側—背側方向への移動と座標の取得

掌側—背側方向への超音波プローブの移動のためにリニアスライダを据え付け、座標の取得のために直動変位センサをリニアスライダと同期させるように据え付けた。超音波プローブのレンズ面は底面より 30.91[mm] の高さを基準とし、超音波プローブはリニアスライダの可動域 50[mm] を加算した 80.91[mm] の

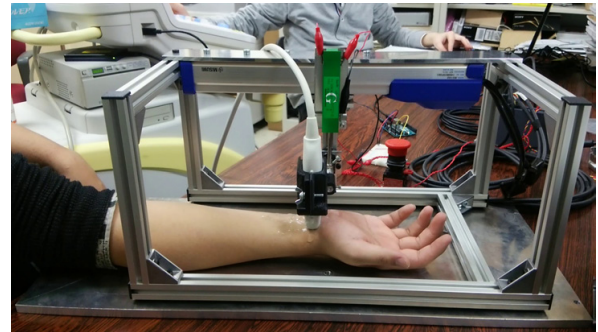


図 1 装置と撮影時の様子



図 2 撮影された超音波動画像の 1 フレーム

高さまで動作可能である。この位置情報は同期された直動変位センサによって取得され、取得されたアナログ信号は遮断周波数 340[Hz] のローパスフィルタを経由して、1024 階調のデジタル信号に変換される。したがって、掌側—背側方向に補正可能な精度は 0.49[mm] となる。

4. 正中神経の抽出と 3 次元画像構築

3 章で説明した超音波プローブ操作装置を用いて、図 2 に示すような超音波動画像を撮影する。撮影された超音波動画像から図 3 上部分に示すように正中神経を抽出し、抽出した正中神経と超音波動画像を用いて 3 次元画像を構築する。

4.1. 動画像中の特定物体の抽出

動画像中の特定物体を抽出する手法としては、画像特徴量を用いて特定物体とその他の領域を分離する手法 [1] や、抽出対象の物体の周囲をあらかじめ指定して画像処理を行う手法 [2] がある。特に、文献 [2] の手法は様々な物体への応用性が高く、時系列データとして取得した MRI 断層像画像に対して適用した例 [3] や、領域間の分離度に着目して顔や手の輪郭を抽出した例 [4] などが存在する。

本研究では、文献 [2] の考え方に基づいて、超音波動画像から正中神経を抽出する。

[†]富山大学, University of Toyama

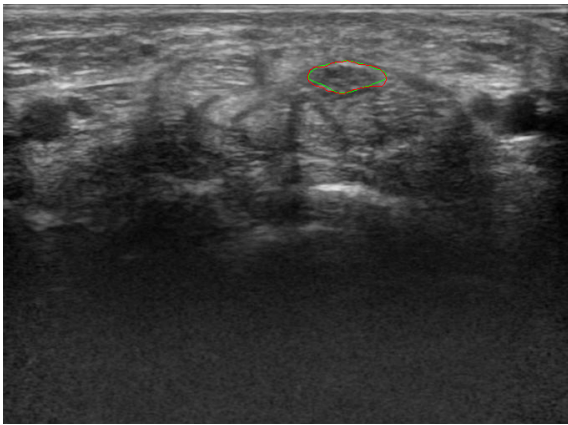


図 3 正中神経の抽出

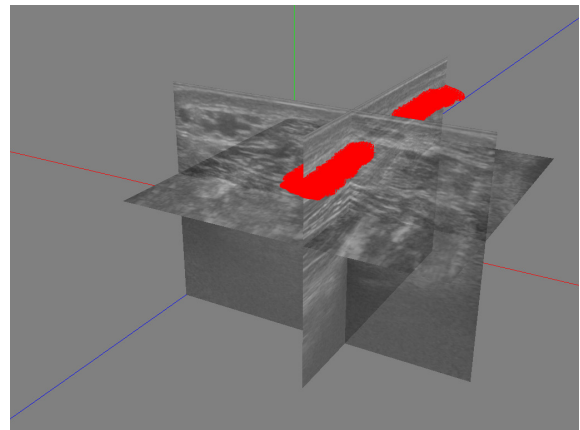


図 4 正中神経とスライス断面の 3 次元画像

4.1.1. Snakes アルゴリズムを用いた領域抽出

Snakes では、 N 点の輪郭点によって定義されるエネルギー関数を用いて、エネルギー関数が極小となるように輪郭点が反復的に更新される。本研究では、輪郭の滑らかさ、画像特徴、そして局所類似性の 3 項の線形結合として、エネルギー関数を定義した。なお、輪郭の滑らかさおよび画像特徴については、オリジナルの Snakes で述べられている式と同等であるため、ここでは局所類似性について 4.1.2 項で説明する。

4.1.2. 局所類似性を用いた神経領域の抽出

動画という連続した画像を取り扱う場合、動画中の隣接する 2 フレームの描出は類似することが多い。このことは、隣接する 2 フレームの輪郭点同士で画像特徴量が類似すると言い換えることができる。そこで、あらかじめ前フレームで各輪郭点を中心とする矩形領域の画像特徴量を求め、次フレームで画像特徴量が類似するように輪郭点を反復演算する。

t フレームの輪郭点 v_t と $t+1$ フレームの輪郭点 v_{t+1} について、輪郭点を中心とする矩形領域の輝度ヒストグラムをそれぞれ求める。求められたヒストグラムを確率分布に変換し、平均・コントラスト・エネルギー・エントロピー・分散を画像特徴量として求める。 v_t と v_{t+1} で算出された画像特徴量の距離が最小となるように v_{t+1} を移動させる。これらの操作を反復して実行し、最終的に得られる輪郭点で囲まれる領域を $t+1$ フレームの正中神経領域として抽出する。

4.1.3. 時系列方向への神経領域の抽出

$t+1$ フレームで求められた領域の境界に位置する画素を $t+2$ フレームの初期輪郭点として、4.1.2 項と同様に Snakes アルゴリズムを実行して輪郭点を求める。この輪郭点で囲まれた領域を $t+2$ フレームの正中神経領域として抽出し、この領域の境界に位置する画素を $t+3$ フレームの初期輪郭点として用いる。これらの一連の処理を動画全体に逐次実行し、動画全体について正中神経を抽出する。

4.2. 超音波画像の 3 次元化

各動画フレームについて抽出した正中神経を 3 次元画像として構築する。正中神経の 3 次元情報だけでは他の組織と正中神経の位置関係を把握することが困難であるため、撮影された超音波動画の各軸のスライス断面を正中神経と同時に描画する。このとき、正中神経と各軸のスライス断面の描出位置は、撮影と同時に取得した位置情報によって補正される。動画フレームを撮影した時刻と超音波プローブの座標を取得した時刻が一致しない場合は、動画フレームが撮影された時刻の前後で取得された位置情報をもとに線形補完することで、動画フレームの位置情報を求める。図 4 は抽出した正中神経と各軸のスライス断面を同時に描画した 3 次元画像である。

5. 神経領域の抽出の実験

健康者を対象として手根管の超音波動画を撮影し、撮影した動画から正中神経を抽出する実験を行った。超音波プローブの移動距離は 30[mm] とし、遠位から近位に向けて超音

表 1 正中神経の抽出結果

	真陽性率	真陰性率
5 フレームごと	92.86	99.93
10 フレームごと	92.90	99.92

波プローブを操作した。撮影時間および移動時間は 30[sec] であり、動画のフレームレートを 10[frames/sec] に設定して、300[frames] の動画を撮影した。撮影された動画の 5 フレームごとと 10 フレームごとに目視で神経領域を指定し、その領域の最も外側に存在する画素を初期輪郭として、残りのフレームに関して自動で正中神経の抽出を試みた。その後、自動で神経を抽出したフレームについても同様に目視で神経領域を指定し、画像処理で抽出したフレームの神経領域と比較した。目視で神経領域と指定した領域の中で画像処理でも神経領域として抽出された画素の割合を真陽性率、目視で神経領域と指定しなかった中で画像処理でも神経領域に含まなかった画素の割合を真陰性率として、その結果を表 1 に示す。目視で与えたフレーム数を少なくても真陽性率・真陰性率ともに高く、神経領域とその他の組織が分離されていることが示されている。

6. まとめ

超音波プローブを一定の速度で操作可能な装置を製作し、これを用いて超音波動画を撮影した。撮影された超音波動画に Snakes アルゴリズムを適用して正中神経を抽出し、動画の撮影と同時に取得した位置情報でフレームの位置ずれを補正して、正中神経とスライス断面を同時に描出した 3 次元画像を構築した。現在は初期輪郭を与える必要のあるフレーム数が多いため、今後は初期輪郭を与える必要のあるフレーム数を減らしつつも神経を抽出可能なアルゴリズムの開発に取り組む。

参考文献

- [1] O. Hadjerici, A. Hafiane, P. Makris, D. Conte, P. Vieyres and A. Delbos, "Nerve Detection in Ultrasound Images Using Median Gabor Binary Pattern", Image Analysis and Recognition, pp.132–140, Springer (2014).
- [2] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour models", International journal of computer vision, Vol.1, Num.4, pp.321–331 (1988).
- [3] 天野晃, 坂口嘉之, 美濃導彦, 池田克夫, "サンプル輪郭モデルを利用した Snakes", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.76, Num.6, pp.1168–1176 (1993).
- [4] 福井和広, "領域間の分離度に基づく物体輪郭抽出", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.80, Num.6, pp.1406–1414 (1997).