

MRI ボリュームデータにおける3次元ブロックマッチングを用いた FEモデルパラメータの同定

○遠藤 和美, 張 鵬林, 村松 潤治, 平井 慎一 (立命館大学)
森川 茂廣 (滋賀医科大学)

Identification of FE model parameters from MRI volume data using 3D block matching

○Kazumi ENDO, Zhang Peng-lin, Junji MURAMATSU and Shinichi HIRAI Ritsumeikan Univ.
Shigehiro MORIKAWA Shiga Univ. of Medical Science

Abstract: MRI provides 3D information of internal organs and tissues by reconstructing slices. Therefore, we can construct an accurate 3D FE deformation model of soft objects. This paper describes the measurement of inner deformation of the calf using MR images to identify of FE model parameters of the calf. First, we apply 3D block matching to initial and deformed volume data sets of MR images. Next, we propose the method to identify the parameters of the FE model.

1 はじめに

近年, 手術シミュレーションにおいて, 柔軟物のモデリングが必要とされている. 従来の研究では, 表面形状の計測が主であり, 内部挙動の計測は行われていなかったため, 正確にモデルパラメータを同定することは困難であった. この問題を解決するために, 超音波装置およびMRIを用いた柔軟物内部の変形計測が行われている [1]. しかしながら, これらのモデルは2次元であり, 手術シミュレーションに適用するためには, 3次元のモデリングが必要となる. 本論文では, MRIによって撮影した下腿の断面画像からボリュームデータを生成し, 3次元ブロックマッチングを用いて変形を計測する. また, 計測結果を用いて, FEモデルのパラメータ同定手法を提案する.

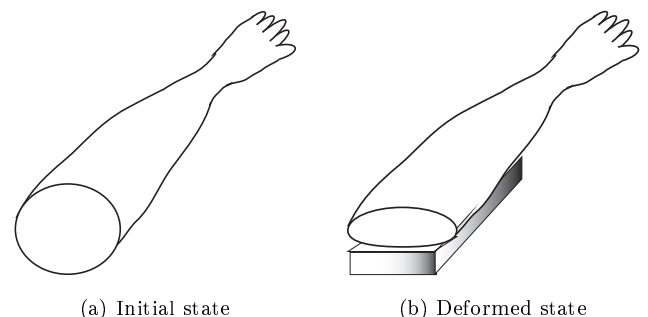


Fig. 1: MRI photographics condition

2 ボリュームデータの生成

本実験では, MRI装置によって下腿を撮影した. Fig.1に示すように, 下腿を圧迫していない状態 (初期状態) および下腿の下にプラスチックの箱を置き圧迫した状態 (変形状態) を撮影した. 撮影条件は, スライス間隔 2mm, FOV20 × 20cm, 積算2回とし, それぞれ76枚のスライス画像を得た. 画像サイズは 256 × 256pixels, 画素サイズは 0.8mm/pixel である. 変形状態では, プラスチックの箱を置くために下腿の位置をずらしたため, レジストレーションを行う必要がある. 剛体部分である頸骨 (下腿の太い方の骨) の周りから同一の点である3点を, それぞれ初期状態と変形状態の画像から選択してレジストレーションを行った. Fig.2に示すように, 座標系を設定し, 初期状態と変形状態の断面画像からボリュームデータをそれぞれ生成する. ボリュームデータは, 濃度値を格納したボクセルで構成した. ボクセルのサイズは, 縦 0.8mm × 横 0.8mm × 奥行き 2mm である.

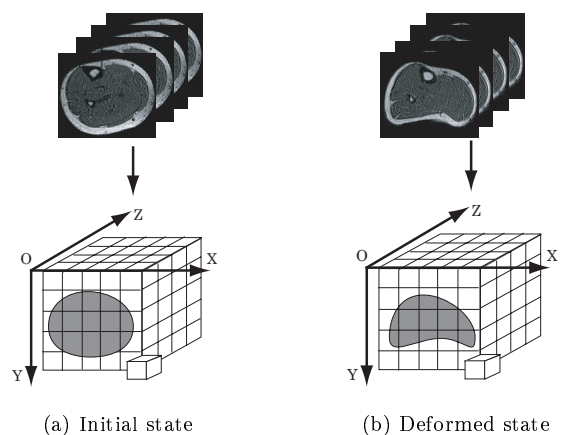


Fig. 2: Construction of volume data by MR images

3 ブロックマッチングによる変形計測

生成したボリュームデータに対し、3次元ブロックマッチングを行う。マッチングの方法はSAD(Sum of Absolute Difference)を用いる。SADは、

$$R_{SAD} = \sum_{i=i_0}^{i_0+S-1} \sum_{j=j_0}^{j_0+T-1} \sum_{k=k_0}^{k_0+U-1} |M_{ini}(i, j, k) - M_{def}(i+i_1, j+j_1, k+k_1)|$$

で表われ、差分絶対値和 R_{SAD} が最小となる部分を最も類似した部分として判定する。ここで、 $M_{ini}(i, j, k)$ は初期状態における三次元MR画像でテンプレートとし、 $M_{def}(i, j, k)$ は変形状態の三次元MR画像である。 S, T, U はそれぞれ縦、横、奥行きウィンドウサイズで、 $3 \times 3 \times 3$ pixelsとした。また、 i_0, j_0, k_0 はそれぞれ x, y, z 方向のテンプレートの始まる位置である。 x, y, z 方向の探索領域は、 $i_1 = [-15 \sim +15], j_1 = [-15 \sim +15], k_1 = [-1 \sim +1]$ とした。Fig.3(a)にX-Y平面の変形前の様子を、Fig.3(b)に変形計測結果を示す。また、Y-Z平面の変形計測結果をFig.4に示す。Fig.3およびFig.4において、Y負方向に下腿を変形させている。白い線分は、大きな白い点が初期状態での位置、線分の向きがその点の変形方向、線分の長さが変形の大きさを表わしている。また、下腿領域外の小さな白い点は、その点の変形ベクトルが0であることを表わしている。また、本実験では、テンプレート中の階調変化がほとんどない計測点については、正確な変形ベクトルを求めることが困難であるとみなし、強制的に変形を0としている。Fig.3のX-Y平面の実験結果より、一部雑音が含まれているが、圧迫した部分は上向きの変形ベクトルをもって変形していることがわかる。頸骨の周りについては様々な方向の変形が見られる。これは、レジストレーションを行った際に、初期状態と変形状態との位置合わせを正確に行うことができなかつたためと考えられる。今後、レジストレーションの方法を再考する必要がある。また、Fig.4では、X-Y平面の実験結果と同様、圧迫した部分のベクトルは上向きとなっている。今回の実験では、下腿はY方向には変形しているが、Z方向にはほとんど変形していない。これは実験結果から確認できる。しかし、3次元ブロックマッチングの効果を確認するためには、X, Y, Z方向のすべての方向に変形させて計測を行う必要がある。

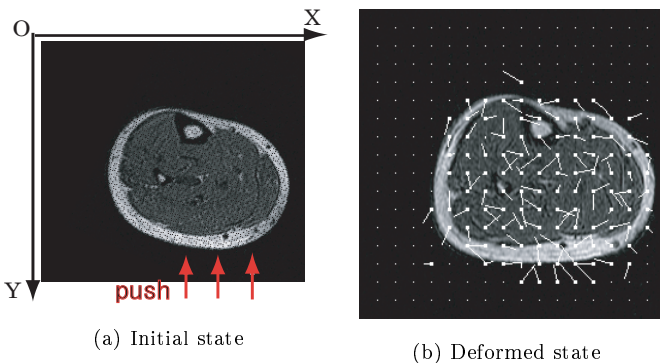


Fig. 3: The result of block matching (X-Y plane)

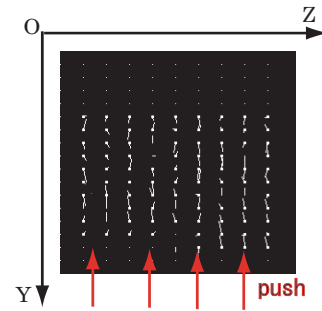


Fig. 4: The result of block matching (Y-Z plane)

4 FEモデルのパラメータ同定

文献[1]を参考に、FEモデルのパラメータ同定を行う。三次元のFEモデルでは、Fig.5に示すように下腿を四面体要素の集合として表わす。これにより、下腿の変形は四面体要素の変形の和として表現することが可能となる。MRIで撮影した実験条件とシミュレーションの条件を合わせ、変形シミュレーションを行う。MRIの計測結果とシミュレーション結果を比較することにより、パラメータを同定する。

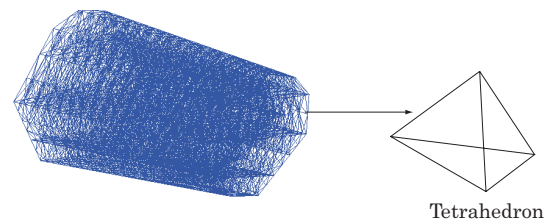


Fig. 5: FE model

5 おわりに

本論文では、下腿のMRI断面画像からボリュームデータを生成し、3次元ブロックマッチングを用いて変形の計測を行った。また、計測結果からFEモデルパラメータを同定する手法を提案した。今後は、実際にFEモデルの変形シミュレーションからパラメータ同定を行い、さらに、非線形性、異方性、および非均一性を導入する。

参考文献

- [1] 活田 崇至, 村松 潤治, 早見 信一郎, 森川 茂廣, 平井 慎一, 田中 弘美, "超音波画像とMRIを用いた内部計測による柔軟物のFEモデルの検証", ロボティクスシンポジウム予稿集, 2006.
- [2] 上野 育子, 亀田 昌志, 井上 敬, 小川 彰, "3.0Tesla 高解像度MR画像からの脳領域抽出", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J89-D, No.1, pp107-120, 2006.
- [3] 鳥脇 純一郎, 3次元デジタル画像処理, 昭晃堂, 2002.