

X線CT画像に基づく個別別有限要素モデリング (モデリング対象領域の自動抽出)

Individual Finite Element Model Based on the X-ray CT Data (Automatic extraction of modeling object space)

正 小関 道彦 (東工大) 上西 雅也 (東工大)
正 伊能 教夫 (東工大) 榎 宏太郎 (昭和大)

Michihiko KOSEKI, Masaya JONISHI and Norio INOU:

Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

Koutarou MAKI: Showa University, Kitasenzoku, Ohta-ku, Tokyo

Keywords : X-ray CT image, Individual modeling, Extraction, Threshold value, Form factor

1 はじめに

近年、X線CTやMRIなどの3次元医用画像の高解像度化が進み、生体内の状態をより詳しく知ることが可能となってきた。筆者らは、X線CT画像から個別別の有限要素モデルを用いて生体骨の力学状態や関節部の運動について検討を行っており、高解像度のCT画像群を用いた精度の高い個別別モデリング手法を提案している[1]。しかし、CT画像の高解像度化に伴いスライス数が飛躍的に増加するため、モデリングの際に解析対象とする組織を画像から抽出する作業には多大な労力が必要となっている。本稿では、モデリング対象領域を抽出する手順を示し、それを自動化するための手法を提案する。

2 モデリング対象領域の抽出アルゴリズム

モデリング対象領域をスライス画像から適切に抽出するためには、まず、対象物と周辺組織の境界を正確に認識する。そして、境界の外部をモデリング対象外と設定することによって、目的の領域だけを抽出することが可能である。具体的な処理を以下のステップに示す(図1参照)。

1. モデリング対象物を他組織と区分する閾値を設定する。
2. スライス画像と同サイズのマスク画像を用意し、マスク画像の全領域にマスクフラグ [Undefined] を設定する。
3. スライス画像において閾値以上のCT値を持つ領域について、マスクフラグに [True] を設定する(図1-b)。
4. マスクフラグ [True] の領域のうちモデリング対象としない領域を、マスクフラグ [False] に変更する(図1-c)。
5. 対象領域をマスクフラグ [True] で囲まれた閉領域とする。すなわち、対象領域がマスクフラグ [True] のピクセルによって囲まれていなければ、対象領域周囲にマスクフラグ [True] を設定する。
6. マスクフラグ [True] に囲まれた領域の外部にマスクフラグ [False] を設定する(図1-d)。
7. マスクフラグ [False] の領域について、スライス画像のCT値を無効化する(図1-e)。

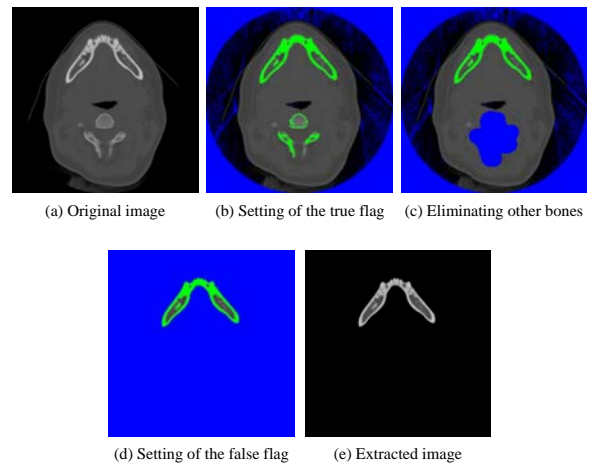


Fig. 1: Procedure of target area extraction.

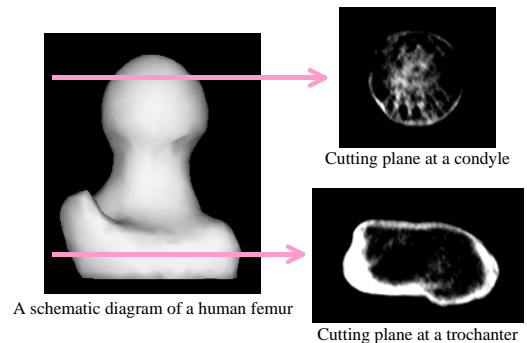


Fig. 2: Difference in CT value of cortical bones between the portions.

筆者らは、以上のアルゴリズムによりモデリング対象領域を抽出するツールとして、スライス画像ごとに上述の操作を繰り返す2次元抽出ツールを開発し、個別別モデリングに活用している。

本ツールを使用して適切な領域抽出を行うためには、対象物境界を示す閾値の設定(ステップ1.)や、対象物境界がマスクフラグ [True] によって閉じていない場合の対処(ステップ5.)をオペレーターが手動で行う必要がある。そこで本研究では、スライス画像から骨体領域を自動的に抽出することを目的とし、これらの操作を自動化するために必要な機能について検討を行った。

3 自動抽出手法

3.1 閾値の自動設定

一般に、骨体表面を覆う緻密骨は周囲の軟組織に比べ高いCT値を持つ。しかし、骨体の関節付近では図2に示すようにCT値が低く、周囲の組織と区分するには閾値を部位によって調整する必要がある。

そこで、適切な閾値を自動的に設定する手法として、以下の手順に基づく手法を考案した。

- (1-1) 注目するボクセルの周辺 $n \times n \times n$ の検査領域における平均CT値を算出する。
- (1-2) 注目するボクセルのCT値が検査領域の平均CT値よりも高ければ緻密骨領域と判断し、マスクフラグに [True] を設定する。低ければ緻密骨以外と判断し、マスクフラグ [False] を設定する。
- (1-3) 上記の操作を全てのボクセルに対し繰り返す。

すなわち本手法は、多数のスライス画像を積み重ねて構築されるボクセル空間の全域に渡って同一の閾値を用いるのではなく、注目するボクセルの周辺 $n \times n \times n$ の局所的な空間内の計算により閾値を自動設定するものである。本手法を用いることにより、閾値設定が難しい関節部についても適切な閾値を設定することが可能である。

3.2 閉領域の生成

骨体は関節部において骨体どうしが密接しているため、目的の骨体のみを抽出するためには各骨体をグルーピングする必要がある。また、骨体の表面を覆う緻密骨には、神経や血管を通す孔が存在する場合が多い。このため、緻密骨を識別するための適切な閾値を設定しても、この孔が存在すると緻密骨で囲まれた領域の判定が困難になる。

これらの問題を解決するため、閾値以上の値を持つ緻密骨領域について連続性のマーキングを行うラベリング処理を施すとともに、筆者らが提案している形態を考慮したモデリング手法 [2] において算出する形状因子を用いて結合処理を行う処理を考案した (図3参照)。

- (2-1) 対象領域をオペレーターが指定する。ラベリング処理により対象領域外と判断されるマスクフラグ [True] のボクセルを [False] とする (図3-b c)。
- (2-2) マスクフラグ [True] のボクセルについて、次式に基づき形状因子 V_s を算出する。

$$V_s = \left| \frac{n^3}{2} - Nv \right| \quad (1)$$

ここで、 n は検査領域の一辺の長さ、 Nv は検査領域内のマスクフラグ [True] のボクセル数である。形状因子は曲率の高い箇所や薄い箇所で大いなる数値を示す。

- (2-3) 形状因子の大きいボクセルが近くに存在すれば、その2点間のマスクフラグを [True] とする (図3-d)。
- (2-4) 対象領域外のマスクフラグ [Undefined] の領域にマスクフラグ [False] を設定する (図3-e)。

本手法の有効性を検証するため、樹脂に埋設された大腿骨骨頭部について骨体領域の自動抽出を試みた。結果を図4に示す。骨頭部については骨領域のCT値が周囲の樹脂とほぼ同程度であったが、本手法を用いることにより骨体形状が適切に抽出されていることがわかる。

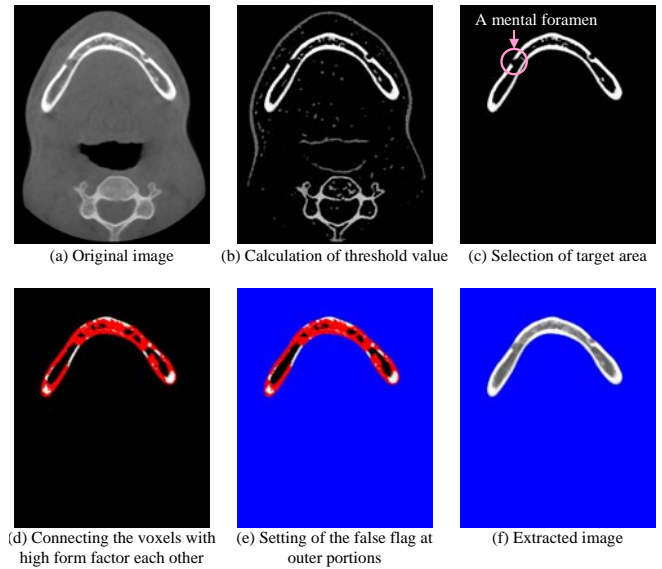


Fig. 3: Procedure of automatic extraction.

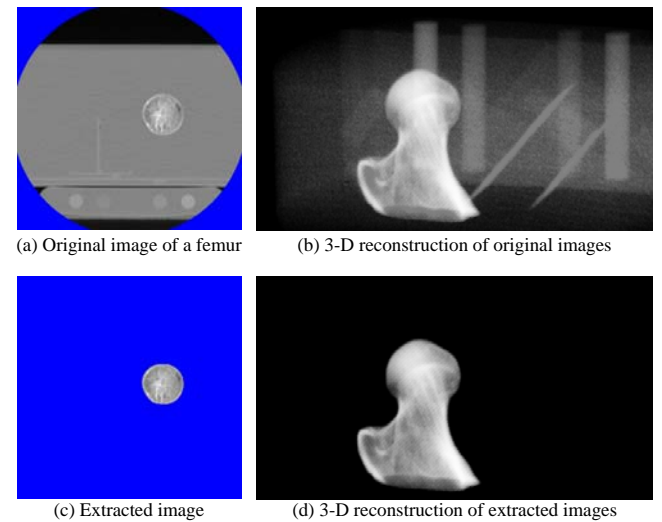


Fig. 4: Extracted images of a human femur.

4 まとめ

モデリング対象領域をスライス画像から自動的に抽出することを目的とし、本稿では適切な閾値を算出する手法および、対象の骨体をラベリング処理に基づいて選択する手法を提案した。今後、生体を撮影したCT画像に本手法を適用し、有用性を検証する予定である。

謝辞

図4で用いた大腿骨のCTデータは、国立中部病院整形外科 原田敦先生・水野雅士先生に提供していただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] 伊能教夫・鈴木知・横宏太郎・宇治橋貞幸: X線CTデータに基づく骨体の自動モデリング手法 (デラウニー分割を利用した有限要素モデルの生成); 機論C, 68-669, (2002), 1481-1486
- [2] 上西雅也・小関道彦・伊能教夫・横宏太郎: X線CT画像に基づく個別有限要素モデリング (形態を考慮したモデリング手法の評価); 第16回バイオエンジニアリング講演会講演論文集 [03-38], (2004), 161-162