

令和元年6月10日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05761

研究課題名(和文) 意味的構造に基づく幾何形状の中立軸変換

研究課題名(英文) Medial axis transforms based on semantic structure of geometric models

研究代表者

道川 隆士 (Michikawa, Takashi)

国立研究開発法人理化学研究所・光量子工学研究センター・研究員

研究者番号：60435683

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、画像処理におけるモルフォロジー演算を拡張し、測地線距離に基づくモルフォロジー演算手法を提案した。大域的な構造に影響を与えないごく局所領域に対してモルフォロジーを適用することで、大域的な構造を保持したまま、微細な構造を簡略化する。また、3次元拡張で問題となる計算量を削減するために、クラスタリングに基づく近似計算手法を開発した。また、得られた形状に対して中立軸変換手法を適用することで、形状の大まかな骨格構造である意味的中立軸の抽出を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した測地線距離に基づくモルフォロジー操作及びそれに基づく中立軸変換技術は、微細な位相構造を取り除き、形状そのものが持つ概形特徴に基づき中立軸を計算する。その結果現実世界に存在する物体をコンピュータ内により簡単な構造で取り込むことが可能となる。これにより、コンピュータ内での3次元計測データ処理が容易になるため、諸問題の解決に貢献する。

研究成果の概要(英文)：This research developed s extended morphological operations based on geodesic distance in image spaces. Our method computes morphological operation for local regions that is structurally near from the target pixels, and this enables to simplify local structure while preserving global structure of the object. In addition, we also developed approximate method with clustering in order to reduce computational cost. Semantic medial axis, rough skeleton structure of the objects can be computed for the simplified objects by medial axis transform methods.

研究分野：形状モデリング

キーワード：中立軸 モルフォロジー 測地線距離

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

中立軸(Medial axis)は、形状の中心を通る形状の骨格構造である。中立軸は、「形状の複数の境界点に接する内接円(球)の集合」と定義されており、2次元、3次元形状では、線群(スケルトン)および面群(中立面)で表現される。中立軸は、パターン認識、メッシュ生成など幅広い応用が行われている。

中立軸を実用的な問題に適用するにあたり、定義に基づく中立軸変換と見た目の構造との間に乖離が存在するという問題がある。例えば、凹凸がある表面上で不要な分岐が生成される。これは、中立軸の定義に従った結果生成されるものであり、中立軸が形状のもつ大まかな特徴を反映していないことを表す。このような問題は、計測データから中立軸を生成するときに頻繁に発生する。簡略化された中立軸(simplified medial axis)は、中立軸変換で発生する不要な分岐を除去するよう拡張することで従来の中立軸の問題点を解決している。生成された中立軸は、入力形状の概形構造に一致しており、構造の把握などに有用である。

しかし、これらの中立軸変換法でも所望の中立軸を得られない例が存在する。例えば、近年開発されている多孔質金属の部品のような内部に空洞がある形状の中立軸は、その空洞を取り囲むように生成される。また、金網のような形状も、本来の役割は空間を分離する面であるにもかかわらず、その中立軸表現は金網を構成する針金の中心線となる。これらに共通するのは、これまで提案されてきた中立軸変換手法が、形状が持つ穴などの位相的な制約を受けているということである。また、中立軸生成手法の多くが定義上の問題により境界部が縮退するという問題点もある。これにより物体に穴があった場合にその大きさが実際よりも大きくなるという問題が発生する。実際の応用を考えると、その形状の幾何学的特徴を反映するだけでなく、形状もつ意味的や構造も反映した中立軸を構築することが望ましい。

2. 研究の目的

本研究の目的は、物体が持つ意味的な構造を反映した中立軸抽出手法の開発である。「物体の意味的構造」とは、入力形状が持つ大まかな特徴であり、幾何形状のみに注目していた従来の中立軸抽出手法では計算できない特徴である。これによって得られる中立軸を意味的中立軸(semantic medial axis)とよぶ。物体の大まかな構造を計算することによって、幾何モデルの構築が簡単となり、微細な構造に起因する計算の不安定性の解消に貢献することが期待できる。

3. 研究の方法

本研究では、目的を達成するために以下のアルゴリズムを開発し、コンピュータ上にプログラムとして実装した。

(1) 測地線距離に基づくクロージング操作の拡張

画像の微細な穴を塞ぐ画像処理技術にクロージング操作と呼ばれるものがある。これは、2値画像の前景ピクセルを膨張させた後縮退させる操作であり、微細な空洞を埋めることができる一方、前景ピクセルが接近している箇所を塞ぐ問題があった。本研究では、ユークリッド距離の代わりに形状が持つ構造的な距離を考慮したクロージング手法を開発した。

(2) 中立軸の端部の拡張

中立軸の性質上、境界端部において縮退するという問題点があった。そこで本研究では、縮退した端部を拡張し、形状の表面まで貫通する中立軸計算手法を開発した。

4. 研究成果

本研究において得られた主な成果は以下の通りである。

(1) 測地線距離に基づくクロージング・オープニング手法および中立軸生成手法(図1)

画像処理のクロージング手法を拡張し、2点間の測地線距離を考慮したクロージング手法を開発した。測地線距離に基づきモルフォロジー操作を適用する局所領域を定義することによって、幾何学的に近接していても局所的に離れている箇所を接続するそして得られた微細な構造を除去した形状に対して中立軸変換を適用することで意味的中立面を構築できることを示した。また、クロージング手法の対となる操作であるオープニング操作を定義した。提案手法は、オリジナルのオープニング操作がクロージング操作によって書き換えられる点に着目し、測地線距離に基づくオープニング操作を開発した(図2)。さらに、パラメータである測地線距離の閾値によって、モルフォロジー演算を行う領域を制御でき、フラクタル構造を持った形状に対して異なるスケールの中立軸を計算できることを示した。

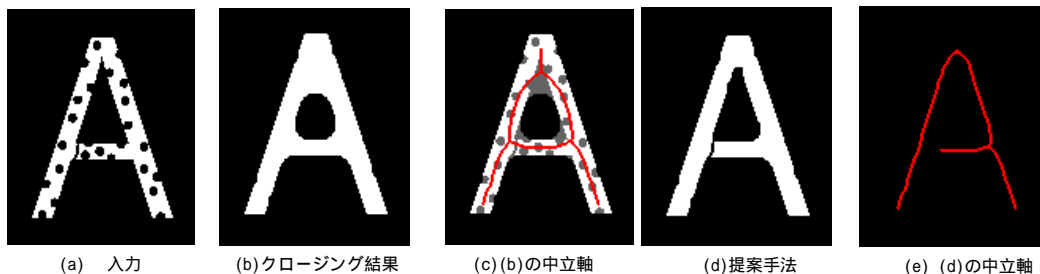


図 1, 通常のクロージング結果と測地線に基づくクロージング結果及び中立軸の比較



図 2, 測地線に基づくクロージング操作

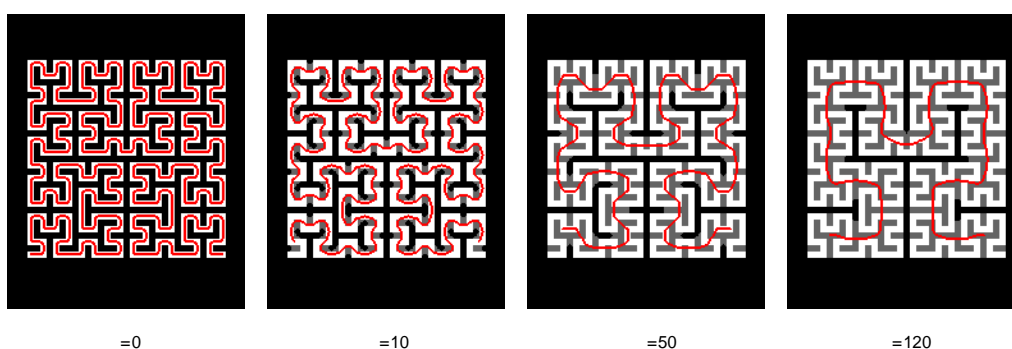


図 3, 閾値の制御による、異なるスケールの中立軸抽出

(2) 測地線距離に基づくクロージング手法の近似高速計算手法

測地線に基づくクロージング操作では、各ピクセルについて局所領域を計算していたため、計算負荷が非常に高い問題点があった。これは、3次元画像になると顕著となり、3次元での計算を行う上でボトルネックとなっていた。本研究では、クラスタリングを用いた高速計算手法を開発した。提案手法は、入力形状をクラスタリングにより小領域の集合に分割し、小領域ごとにクロージング手法を適用する。これにより、これまで前景ピクセルの数に比例していた計算時間を大幅に短縮できるようになった(図3)。

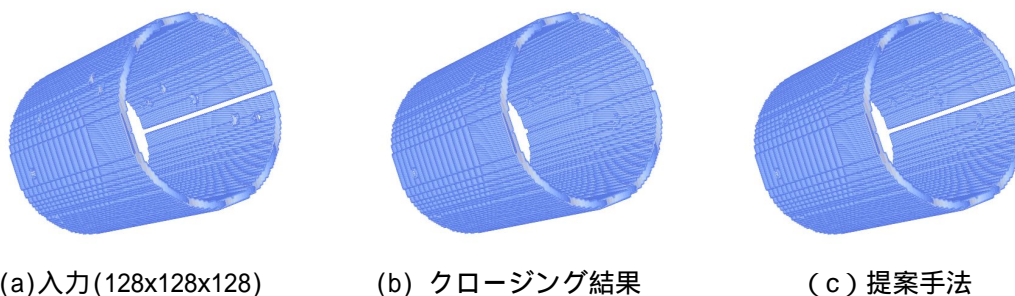


図 4, 3次元画像に対する、測地線に基づくクロージング結果

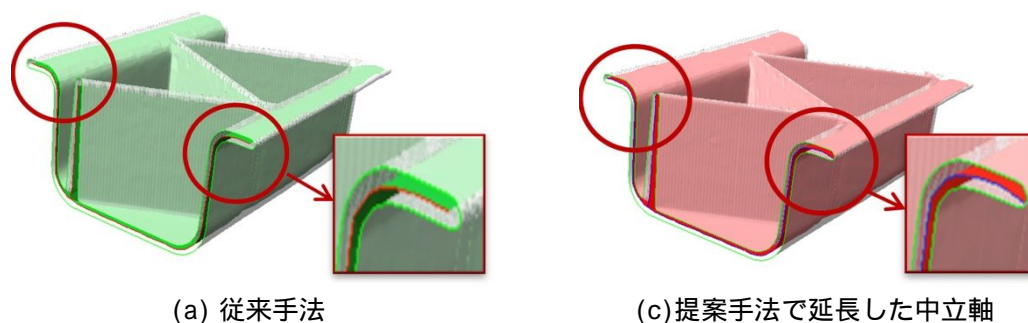
(3) 距離場を用いた画像ベースの中立軸計算手法

これまでの画像ベースの中立軸計算手法では、ピクセル単位で中立軸を計算しており、離散化に伴う誤差があった。一方ポリゴンデータから計算する手法は頑健に計算することが困難であった。本研究では、形状の裏表面にラベルをつけることで、両面からの距離場を用いて正確な中立軸を計算する手法を開発した。OCTで計測した網膜画像に対して適用することで、網膜の厚みを計算し、近視症状の早期検出に利用できることを示した。

(4) 中立軸の端部延長手法の開発

従来の中立軸計算手法では、端部が縮退するという問題点があった。本研究では、形状の端部を検出し、擬似的に球を配置した形状に対して中立軸を計算することで縮退した中立軸が、オリ

ジナルの形状の端部と接するような中立軸を計算する。端部の検出には、また、分岐部に発生する凹みを除去するための最適化手法を開発した(図5)。



(a) 従来手法

(c) 提案手法で延長した中立軸

図5, 中立軸の端部延長手法

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1. Michikawa, T., Wada, S., Yokota, H., An, G., Akiba, M., Omodaka, K., Nakazawa, T., 2019. Retinal Thickness Analysis in High Myopia based on Medial Axis Transforms, in: Proceedings of the 41st International Engineering in Medicine and Biology Conference, to appear. (査読あり)
2. Michikawa, T., Wada, S., 2019. Extended Morphological Closing Using Geodesic Filtering, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 809. pp. 896–902. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9_76 (査読あり)
3. Kumar, V., Michikawa, T., Suzuki, H., 2016. Improving medial surfaces for reverse engineering. Computer-Aided Design and Applications, Vol. 13, 786–791. <https://doi.org/10.1080/16864360.2016.1168221> (査読あり)

〔学会発表〕(計 4 件)

1. Michikawa, T., Wada, S., 2019. Extended Morphological Closing Using Geodesic Filtering, The 18th International Conference on Geometry and Graphics, Milan, Italy. (査読あり)
2. 道川隆士, 和田智之, 2018. 測地線を用いたクロージング操作, 2018年精密工学会春季大会学術講演会, 中央大学, pp. 107-108. (査読なし)
3. 道川隆士, 2015. モルフォロジー操作を利用した中立軸変換手法, 日本機械学会第25回設計工学・システム部門講演会, 長野, p. “1102-1”-“1102-5.” (査読なし)
4. Kumar, V., Michikawa, T., Suzuki, H., 2015. Improving Medial Surfaces for Reverse Engineering, CAD Conference 2015, Greenwich, Great Britain. pp. 395–397. (査読あり)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<https://tmichi.github.io/index.ja.html>

6 . 研究組織

(1)研究分担者
なし

(2)研究協力者
なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。