

審査の結果の要旨

氏名 グヤ アリ

論文題目「VARIATIONAL LEVEL SET BASED METHODS FOR VASCULAR SEGMENTATION (和訳:変分レベルセット法による血管セグメンテーション)」の学位論文は、ノイズの多い Magnetic Resonance Angiography (MRA)などの画像情報に対して、セグメンテーションアルゴリズムに血管の幾何学的モデリングを組み込むことを提案し、それにより重要な血管形状情報をノイズとして処理せずに正しくセグメンテーションが行えることを示したものである。

三次元的な血管セグメンテーションは、コンピュータ支援画像診断やコンピュータ外科の分野には不可欠であるが、従来多くの血管セグメンテーション法が開発されてきたものの、それらは理想とは程遠いのが現状である。血管構造の複雑さ、微細構造のスペクトルノイズに対する脆弱性、画像のゆがみの存在などが、より高度な血管セグメンテーション手法の開発を必要とする主な理由である。これに対して、本研究のレベルセット変分法による医用画像セグメンテーション法では、コンピュータ支援による血管近傍の患部でのナビゲーションとして、2つのレベルセットによる血管セグメンテーション法を新たに提案した。主な対象は、Phase-Contrast and Time-Of-Flight MR アンギオグラフィ(MRA)のデータを用いた脳血管3次元モデルである。

第1番目のアルゴリズムは、幾何学的正則化法であり、細長い円筒構造を作るのに優れている。血管の管形状は誰でもが知っているように異方性構造を有している。すなわち、さまざまな大きさの管状パターンを有する構造的異方性は血管の基本的特性であるため、変分レベルセットによるセグメンテーション方法では、血管の異方性特性を効率的に強調することはできない。また、最小表面曲率に依存する円滑化展開は、十分に細径構造を引き伸ばすことが困難な場合が多い。さらに、強度パターンで一部破損している微細血管をセグメンテーションすると、分断された複数の領域を残したまま計算が終了してしまうことが多い。これらの問題点を解決するために、本研究では、血管の異方性先端を強調することで、抽出した血管を伸張させることが可能であることを示した。また、形状オフセットレベルセットによる先端部分の展開に、新たに形状エネルギー関数を定義した。定義した関数の制限付き最適化により、抽出構造の延長を改善できる拡張フローが、血管セグメンテーションに有用であることが確認できた。

第2番目のアルゴリズムとして、エッジ結合のための変分手法を新たに提案した。ステップ状で無いならかなエッジからなる領域の統計手段と方向に関する情報を、新しいエッジ概念に基づいてエネルギー最小化手法に取り込んだ。エッジ強度の効果をシミュレーションする領域駆動項は、この最小化手法から直接得られる。以上に述べた手法を複数の2次元網膜の血管画像およびMRA 3次元データを用いて評価した。その結果を従来のセグメンテーション手法との比較を行い、開発した正則化手法が血管抽出に有効であることが示された。

以上により、本研究で開発した方法は、これまで困難であった血管情報とノイズとを区別して、血管画像情報に対してエッジ先端部の正しい延長が行え、血管のセグメンテーションをより正確に行うことが可能であることが示された。

よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。