

氏名	シャイフル アナム SYAIFUL ANAM
授与学位	博士(学術)
学位記番号	理工博甲651号
学位授与年月日	平成27年3月16日
学位授与の要件	学位規則第4条1項
研究科, 専攻の名称	理工学研究科(博士後期課程) 自然科学基盤系専攻
学位論文題目	A Study on Intelligent Boundary Detection with Application to Medical Images (知的境界線抽出法とその医用画像への応用に関する研究)
論文審査委員	主査 山口大学 教授 内野 英 治 山口大学 教授 藤 澤 健 太 時間学 研究所 山口大学 教授 野 崎 浩 二 山口大学 教授 脇 田 浩 二 山口大学 准教授 末 竹 規 哲

【学位論文内容の要旨】

デジタル化された医用画像の可視化とコンピュータ支援診断のための医用画像形成は、科学的画像形成の中でも最も重要な分野の一つである。医用画像解析は、疾患を診断するための重要な情報を提供するために必要不可欠である。画像境界線抽出は、医用画像解析の中で最も重要な工程の一つである。医用画像には多くの雑音が含まれているため、組織の境界を正確に識別することは難しい。手動による境界線抽出は非常に手間がかかる上に、その結果は観察者内および観察者間の変動を伴う。これらの理由から、医用画像解析には高度でかつ精巧な手法が強く必要とされる。

画像境界線の抽出にはレベルセット法が広く用いられている。これは他の領域分割法を上回るいくつかの利点を持っている。しかしながら、医用画像には強い雑音が含まれるため、レベルセット法による医用画像の境界線抽出はうまく機能しない。異方性拡散(PMD)フィルタは、効果的なエッジ保存平滑化フィルタとして知られているノイズ除去フィルタである。しかしながら、一般的なPMDフィルタを医用画像に適用すると、対象物の境界が欠損しやすい。

本論文では、不正確性、雑音、非一貫性、および不完全性を持つデータセットに伴う問題を取り扱うため、ファジィ推論法を活用する。ファジィ推論におけるメンバーシップ関数(MSF)のパラメータ調整は、最適化問題とみなすことができる。また、粒子群最適化(PSO)は、最急降下法などの他の手法が適用可能でない場合に特に有効である。本論文では、医用画像のための新たな知的境界線抽出法を提案する。

第1章は序論である。

第2章では、血管内超音波(IVUS)法と手骨レントゲン写真の概要を説明する。また、提案手法で用いる異方性拡散(PMD)フィルタ、画像分離度、テクスチャ解析、レベルセット法、ファジィ推論法、および粒子群最適化(PSO)について説明する。

第3章では、PSOと高木菅野(T-S)ファジィ推論の組合せによる血管内超音波(IVUS)画像における冠動脈プラークの境界線抽出法を提案する。境界線の探索領域を得るためのシード点は、ヒューリスティックな規則によって与えられる。T-Sファジィ推論におけるMSFのパラメータはPSOにより調整される。T-Sファジィ推論により、探索領域における統計的判別基準を用いて冠動脈プラークの境界線を推定する。実験により、提案手法は計算精度において先行研究および最急降下法による手法よりも優れた性能を持つことが分かった。また、提案手法は従来手法と比較して、手動で与えていた初期領域および訓練データセットを必要とせず、境界線抽出が容易である。しかしながら、この方法による精度の向上には欠点がある。シード点が誤った位置に配置された場合には精度が低下する。また、一般的なPMDフィルタの適用により、対象物の境界が数箇所欠損する事態が生じる。この欠点を次章で解決する。

第4章では、第3章における一般的なPMDフィルタの性能を向上させるために、IVUS画像におけるプラークの方向を考慮してPMDフィルタを修正する。第3章の手法は精度に重大な影響を与えるシード点を必要とする。そこで、本章ではシード点を必要としない修正レベルセット法およびT-Sファジィ推論に基づくハイブリッド手法を提案する。修正レベルセット法では、一般的なレベルセット法におけるガウシアンフィルタを修正PMDフィルタに置き換え、速度関数を算出するための画像勾配を画像分離度で置き換える。第3章の手法ではガイドワイヤーの影が考慮されなかったが、第4章の手法ではガイドワイヤーの影も考慮される。ガイドワイヤーの影に隠れて見えなかったプラーク境界線は、T-Sファジィ推論により推定される。本章の手法を従来手法および第3章の手法と比較して、本手法の境界線抽出の精度は非常に良好であった。

第5章では、手骨レントゲン写真の境界線抽出のための修正レベルセット法を提案する。これは一般的なレベルセット法から以下の二点に変更されている。一点目はフィルタリングにおける変更である。ガウシアンフィルタの代わりにPMDフィルタを用いる。二点目は速度関数の修正である。この修正は境界線の抽出精度の向上と抽出時間の短縮に寄与する。速度関数の算出では一般的に用いられる画像勾配を用いる。また、前処理にはエントロピー法に基づくテクスチャ解析を用いる。実際の手骨レントゲン写真の境界線抽出を行ったところ、提案手法の精度は従来手法より優れていることが分かった。

第6章は結論である。本研究の成果を総括する。

【論文審査結果の要旨】

医用画像解析は、疾患を診断するための重要な分野の一つである。画像境界線の抽出は、その中でも基本的な要素技術である。しかしながら、医用画像には多くの雑音が含まれているため、組織の境界を正確に抽出することは難しい。手動による境界線抽出は非常に手間がかかる上に、その結果は観察者内および観察者間の不定性を伴う。

画像境界線の抽出にはレベルセット法が広く用いられている。これは他の領域分割法を上回る性能を持っているが、医用画像には大きな雑音が含まれるため、レベルセット法による医用画像の境界線抽出はうまく機能しない。異方性拡散(PMD: Perona-Malik Diffusion)フィルタは、効果的なエッジ保存平滑化フィルタとして知られているが、一般的なPMDフィルタを医用画像に適用すると、対象物の境界が欠損しやすい。

本論文は、医用画像の組織境界線の抽出問題に関し、不正確性、非一貫性、不完全性および雑音を含むデータセットの処理に適した知的ソフトコンピューティング技法を用いた、新たな境界線抽出手法について述べたものである。本論文は6章から構成されている。

第1章では、本論文の背景と目的について述べ、論文の構成について記している。

第2章では、冠動脈の動脈硬化診断を行うために一般的に用いられているカテーテルを使った血管内超音波(IVUS: Intravascular Ultrasound)法と、骨粗鬆症診断のために撮影される手骨レントゲン写真の概要について述べている。また、本論文の中で使用する異方性拡散(PMD: Perona-Malik Diffusion)フィルタ、画像の分離度、テクスチャ解析、レベルセット法、ファジィ推論法、および粒子群最適化(PSO: Particle Swarm Optimization)などについて、本論文と関係ある要点を説明している。

第3章では、血管内超音波(IVUS)画像における冠動脈プラークの境界線抽出において、PSO(Particle Swarm Optimization)と高木菅野(Takagi-Sugeno)ファジィ推論の組合せによる境界線抽出法を提案している。境界線の探索領域を得るためのシード点は発見的に与えている。Takagi-Sugenoファジィ推論におけるメンバーシップ関数(MSF: Membership Function)のパラメータはPSOを用いて最適化している。実験により、提案手法が計算精度において先行研究および最急降下法による手法よりも優れた性能を持つことを示している。また、提案手法は探索の初期領域の指定を必要としないのが特徴である。しかしながら、この提案手法ではシード点が誤った位置に配置された場合には精度が低下するなどの欠点がある。また、一般的なPMD(Perona-Malik Diffusion)フィルタを用いているため、対象物の境界が数箇所欠損する。この欠点を解決するために次章でPMDフィルタを改良している。

第4章では、冠動脈プラークの組織境界の抽出精度を向上させるために、プラークの方向を考慮して第3章におけるPMDフィルタを改良している。また、第3章においてはシード点を手動で与えていたが、本章ではシード点を必要としない修正レベルセット法とTakagi-Sugenoファジィ推論に基づくハイブリッド法を提

案している。修正レベルセット法では、一般的なレベルセット法で使用するガウシアンフィルタを修正 PMD フィルタに置き換え、また画像勾配を用いた速度関数の計算を画像の分離度に置き換えてアルゴリズムの収束性を高めている。さらに、第 3 章では、カテーテルを所望の場所まで誘導するガイドワイヤーの影が考慮されておらず、影になった箇所組織境界の抽出が出来なかった。しかし、第 4 章ではガイドワイヤーの影も考慮され、ガイドワイヤーの影に隠れて見えなかったブランクの境界線を Takagi-Sugeno ファジィ推論により推定し、第 3 章の手法と比較し、非常に高い組織境界線の抽出精度を実現している。

第 5 章では、骨粗鬆症診断のために撮影された手骨レントゲン写真の境界線抽出法を提案している。本章では、境界線の抽出精度を上げるため、エントロピー法に基づくテクスチャ解析で前処理を行い、第 3 章で提案した修正レベルセット法を用いて境界線の抽出精度を向上させている。提案手法は、医師の抽出結果と同等の結果を与えている。

第 6 章は結論である。本研究の成果を総括している。

公聴会においては、何故この医用画像を対象にしたのか、精度は医学的に十分なのか、他の医者が出した結果と比較したのか、医者が簡単に使えるようなシステムになっているのか、パラメータがたくさんあるがその設定指針はあるのか、タイトルにある Intelligent とはどこに反映されているのか、などについて説明が求められたが、いずれも発表者からの確かな回答がなされた。

以上より、本論文は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（学術）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである（関連論文 計 6 編、参考論文 計 0 編）。

- 1) Syaiful Anam, Eiji Uchino, Hideaki Misawa, and Noriaki Suetake, “Combining PSO and Fuzzy Inference for Calculation of Coronary Plaque Boundary in IVUS Image,” International Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences, Vol.19, No.1, pp.51-59, 2014.
- 2) Syaiful Anam, Eiji Uchino, and Noriaki Suetake, “Coronary Plaque Boundary Enhancement in IVUS Image by Using a Modified Perona-Malik Diffusion Filter,” International Journal of Biomedical Imaging, Vol.2014, pp.1-9, DOI: 10.1155/2014/740627, 2014.
- 3) Syaiful Anam, Eiji Uchino, and Noriaki Suetake, “Hybrid Boundary Detection Method for Image with Application to Coronary Plaque,” International Journal of Digital Information and Wireless Communications, Vol.4, No.4, pp.428-437, to be published.