

氏名	李 光旭 (中国)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第353号
学位授与の日付	平成25年 9月27日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Study on the Method of Constructing a Statistical Shape Model and Its Application to the Segmentation of Internal Organs in Medical Images (統計的形状モデルの構築法とその医用画像上の臓器領域のセグメンテーションへの応用に関する研究)
論文審査委員	主査 教授 金 亨燮 " 石川 聖二 " 黒木 秀一 " 前田 博

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

医用画像における臓器領域の抽出（セグメンテーション）は、診断支援のみならず、治療計画や画像解析において必要不可欠な基盤技術の一つである。しかし、現在でも臓器抽出を全自動で行うことは難しく、早急に解決が求められている重要課題である。本研究では3次元医用画像のセグメンテーションに関する手法の開発を目的として、複数臓器領域の自動抽出における精度向上のための画像処理手法の開発を目指す。そのため本研究では主に、以下の2つの課題を取り上げ、その解決法について述べる。

- ① 統計的形状モデルの構築法の提案と医用画像への適用
- ② 複数臓器領域の自動抽出への応用

本論文は、以下に示す全九章から構成されている。

第一章では、本論文の序論として、本研究を遂行するに至ったモチベーションや関連研究、また医用画像のセグメンテーションの問題点を述べた。

第二章では、3次元セグメンテーション手法についての研究背景を述べ、本論文の位置づけについて述べた。

第三章では、胸・腹部CT像の2次元画像から肺臓と心臓領域の自動抽出を行うための診断支援システムの開発を行った。具体的にはActive Shape Modelを応用し、画像探索におけるモデルの剛体変換のパラメータとモデルを変形させるパラメータの効率化を図るため、Genetic Algorithmを用いたパラメータの最適化を提案した。これにより、最適位置の探索時の安定性及びパラメータの推定精度の向上を図った。また、提案法を3次元画像に拡張するため、

対象臓器領域を3つのグループに分け、個別にモデル化する手法を提案し、実画像による有効性を検討した。

第四章では、統計的形状モデルの一つとして、点分布モデルの構築法を述べた。統計的形状モデルは対象の表面が複数の点とそれを結ぶ線分や面によって近似できる。本論文では、ガウス写像を利用した表面点群の位置合わせ法を提案した。ガウス写像から表面曲率の特徴を抽出し、最適な表面の回転パラメータを求め、その有効性について実験による検証を行った。

第五章では、人体内部の各臓器モデルの形状が類似していることに着目し、表面データ上にランドマーク点を選択し、得られるランドマーク点の位置を探索することにより、点群の順番に応じた最適な点集合の位置合わせを行う手法について述べている。手動によるランドマーク点の決定には作業量が膨大であるため、効率的・効果的の手法が求められているが、本論文での形状モデルを用いることにより、パラメータ空間上での表面の対応位置を自動的に探索し可能であることが示せた。

第六章では、上記の手法を用いた肺部、肝臓、心臓の3つの臓器領域のセグメンテーションを行い、その精度評価を行った。具体的には、3次元 Level Set 法と形状モデル法を併用したモデル構築法を提案し、ICP 法による表面間の距離を最小化する最適化法を考案し、実験による有効性の検証を行った。

第七章では3次元セグメンテーション技術及び3次元ビジュアライゼーション技術の応用について述べた。

第八章では、本論文で得られた結論をまとめ、今後の課題と展望などについて述べた。

学位論文審査の結果の要旨

医用画像における臓器領域の抽出（セグメンテーション）は、診断支援のみならず、治療計画や画像解析において必要不可欠な基盤技術の一つである。しかし、現在でも臓器領域の抽出を全自動で行うことは難しく、早急に解決が求められている重要課題である。本研究では3次元医用画像のセグメンテーションに関する手法の開発を目的として、統計的形状モデルの構築法の開発と複数臓器領域の自動抽出における精度向上のための画像処理手法を提案している。本研究では特に、以下の2つの課題を取り上げ、その解決法を提案した。

- ① 統計的形状モデルの構築法の提案と医用画像への適用
- ② 複数臓器領域の自動抽出への応用

まず、統計的形状モデルの構築法の提案と医用画像への適用では、胸部 CT の 2 次元画像から肺臓と心臓領域の自動抽出を行うための診断支援システムの開発を行った。具体的には、Cootes らによる Active Shape model を応用し、画像探索におけるモデルの剛体変換のパラメータとモデルを変形させるパラメータの効率化を図るため、Genetic Algorithm を用いたパラメータの最適化を提案した。これにより、最適位置の探索時の安定性及びパラメータの推定精度の向上が図られることと計算時間の軽減への有効性を、実画像により確認した。

次に、3次元点分布モデルによる形状変化に柔軟なガウスマップを利用した統計モデルの構築法を提案した。具体的には、3次元ポリゴン表面に対し、モデル間の姿勢の歪みを補正するため、標準化を行うためのガウス写像を利用する方法を提案し、点間の特徴点の有効な探索法を提案した。実験では、既知モデルを変形させた 3次元像を与え、変形前後での位置合わせの精度を検討し、有効性を確認した。さらに、ポリゴン表面上の空間の点の対応関係を求めるため、表面パラメータ表現として等角写像の実装を行った。モデル作成の効率化を図るため、同間隔でのランドマーク点を自動で配置し、点間の位置あわせを行うための画像処理手法を提案した。

最後に、領域膨張法と形状モデルを併用した臓器領域の自動抽出法を提案した。具体的には従来の Level Set Method 法による臓器領域を抽出した、PDM(Point Distribution Model)による形状モデルを作成した後、ICP(Iterative Closest Point)適用することにより、肝臓、肺臓、胃領域の抽出を試み、有効性を確認した。

本論文は、医師不足が深刻化している現状から、臨床分野における波及効果が大きく、実用化による診断の効率化が期待できる。また、提案する統計的形状モデリング手法は、医用画像処理分野のみならず、顔画像処理（顔認識、表情認識など）やロボットビジョンへの応用など、大きく貢献できる可能性がある。

本論文に関して、公聴会に出席した教員や審査委員から、クラスタリング方法の具体的な質問、ランドマーク点の決め方、モデルの構築方法などの専門的な質問がなされ、いずれも著者の適切な回答によって理解が得られた。また、公聴会終了後の審査会においても本研究の専攻分野との関連性や将来展望等の試問がなされ、著者から適切な回答が得られた。

以上より、論文審査及び最終試験の結果に基づき、本学位論文審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。