

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	LIN CHEN-LUN (りん ちえんるん)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1027 号
○授与年月日	2015 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	Robust Non-Rigid Registration of Medical Images (医用画像に対するロバストな非剛体位置あわせ手法に関する研究)
○審査委員	(主査) 陳 延偉 (立命館大学情報理工学部教授) 徐 剛 (立命館大学情報理工学部教授) 仲田 晋 (立命館大学情報理工学部教授)

<論文の内容の要旨>

非剛体画像の位置合わせは医用画像解析や手術ナビゲーションなどにおいて重要な役割を担っている。本論文では、ロバストで正確な医用画像位置合わせ手法を目指し、3つの新規アプローチを提案し、以下の成果が得られた。

(1) 従来の勾配に基づく最適化法は局所解に陥りやすく、大きな位置ずれや変形等に対して正確に位置合わせができないという欠点があった。本論文では、新たな最適化手法として、遺伝的アルゴリズム (GA) と粒子群最適化法 (PSO) を組み合わせた「ハイブリッド粒子群最適化法」を提案し、ロバストな医用画像の位置合わせ手法を開発した。数値シミュレーション及びずれや変形の大きい実医用画像を用いた実験において、提案法が従来法と比較して高い精度で位置合わせが行われていることを確認した。

(2) 医用画像位置合わせにおいて相互情報量 (MI) が広く用いられる。MI は、ノイズに影響されやすいという欠点があった。その欠点の克服法として、Regional MI (RMI) が提案されたが、計算コストが非常に大きい。本研究では、主成分分析 (PCA) と RMI を組み合わせた PCA ベース Regional MI (PRMI) を提案し、効率よく空間情報をもつ相互情報量を計算することができた。またノイズ画像に対してもロバストであることを示した。

(3) 肝細胞癌に対する局所治療の治療マージン情報を、医用画像から判定するため、新たな非剛体位置合わせ手法を提案し、実用システムを開発した。従来の医用画像位置合わせ法は、一般的に肝臓の形状変形モデルに基づいて非剛体位置合わせを行っていたため、臓器の内部構造まで正確に合わせるができない。提案法は、解剖学特徴点 (ランドマーク) を拘束条件として用いることで、肝臓の形状だけではなく、術前と術後における肝臓の内部構造 (癌腫瘍領域) も正確に位置合わせを行うことができ、治療マージンの情報を

正確に評価することが可能になった。また、開発したシステムの有用性は臨床医師からも高く評価された。

<論文審査の結果の要旨>

非剛体画像の位置合わせは医用画像解析や手術ナビゲーションなどにおいて重要な役割を担っている。本論文では、ロバストで正確な医用画像位置合わせ手法を目指し、3つの新規アプローチを提案した。そのうち2つの手法は評価関数に関する改善手法であり、もう1つは最適化問題に関する改善手法である。また、本研究では実用アプリケーションとして、非剛体位置合わせ手法を用いた肝細胞癌に対する局所治療の効果判定のためのシステムを開発した。以下の成果が評価に値する。

1. 新たな最適化手法として、遺伝的アルゴリズム (GA) と粒子群最適化法 (PSO) を組み合わせた「ハイブリッド粒子群最適化法」を提案し、画像の位置合わせに適用した。従来法に比べ、精度よく大域解を探索することができ、ずれや変形の大きい画像位置合わせに対しても有効であることを示した。本手法は新たな最適化手法であり、様々な分野に応用できる。
2. 医用画像位置合わせにおいて相互情報量 (MI) が広く用いられる。MI は、ノイズに影響されやすいという欠点があった。その欠点の克服法として、Regional MI (RMI) が提案されたが、計算コストが非常に大きい。本研究では、主成分分析 (PCA) と RMI を組み合わせた PCA ベース Regional MI (PRMI) を提案し、効率よく空間情報をもつ相互情報量を計算することができ、ノイズ画像に対しても精度よく位置合わせができることを示した。実应用到に有用な手法である。

肝細胞癌に対する局所治療の治療マージン情報を、医用画像から判定するため、新たな非剛体位置合わせ手法を提案し、実用システムを開発した。従来の非剛体位置合わせ手法は、臓器の形状変形モデルに基づいて行っていたため、臓器の内部構造まで正確に合わせることはできない。提案法は、解剖学特徴点 (ランドマーク) を拘束条件として用いることで、肝臓の形状だけではなく、術前と術後における肝臓の内部構造 (癌腫瘍領域) も正確に位置合わせを行うことができ、治療マージンの情報を正確に評価することが可能になった。また、開発したシステムの有用性は臨床医師からも高く評価された。今後の臨床応用が期待される。

本論文の審査に関して、2015年2月5日(木)10時00分~11時00分クリエイションコア2階CC204会議室において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 LIN CHEN-LUN に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、従来技術との比較、提案手法の計算時間や計算パラメータの選定、システムの評価法などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は

博士の学位に値する論文であると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

学位申請者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。