

## 博士論文要旨

## 論文題名: 医用画像に対するロバストな非剛体位置合わせ手法に関する研究

立命館大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

ふりがな りん ちえんるん  
氏名 LIN CHEN-LUN

非剛体画像の位置合わせは今日の画像解析において重要な役割を担っている。非剛体位置合わせは、連続撮像された画像解析、手術ナビゲーションや医用画像間の融合へ広く応用される。非剛体位置合わせは、変形モデルに基づいて臓器を変形させながら、臓器の位置合わせを行う。非剛体位置合わせ手法は、次の4つのプロセス: (1)大域的幾何学変換と局所的変形変換; (2)補間; (3)評価; (4)最適化、から構成される。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する。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。さらに、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治療に対する経皮的局所治療の効果判定のためのシステムを開発した。本論文の主な成果は以下のとおりである。

- 従来の勾配に基づく最適化法は局所解に陥りやすく、ノイズに影響されやす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として改良を行った。数値シミュレーション及びノイズを含んだ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。
- 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、空間情報を持たな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という欠点があった。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を示した。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。
- 肝細胞癌に対する経皮的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する。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。
- 肝細胞癌に対する経皮的局所治療の治療マージンに対する効果判定の評価システムを実用アプリケーションシステムとして開発した。このシステムでは、CT画像から半自動的に肝臓と腫瘍領域を分割し、提案する非剛体位置合わせ手法を用いて術前と術後の肝臓と癌腫瘍領域を統合し、治療マージン情報を直感的に獲得し、その治療効果を正確に判定できるシステムであり、その有用性は臨床医師からも高く評価された。