

審査の結果の要旨

氏名 徐俊浩

既存の切開手術による腫瘍治療は患者にとって大きな負担になるばかりでなく、入院期間の長期化を伴い医療コストの増大にもつながる。そこで、非侵襲的な診断、治療技術の確立は危急の課題である。本論文は、このような状況を踏まえ、超音波の利用により患部を非侵襲に診断・治療するシステムについて研究したものである。

特に本論文は、腎臓癌のような呼吸運動する癌部の非侵襲超音波診断・治療のために解決しなければならない課題を定義した。その課題とは、超音波映像を利用した癌部のリアルタイム認識、ロボットシステムによる運動補償、そしてHIFU治療との融合の3点である。そして、その問題に対する解決手法を提案する。

第1章では、既存のロボティック手術を紹介するとともに、従来の非侵襲HIFU治療システムの限界を説明し、本研究の必要性に対して述べている。本研究では開発したシステムの有効性を確認するための適用対象として、既存の非侵襲HIFUシステムでは治療が難しい腎臓癌を選択している。

第2章では、腎臓癌の超音波援用非侵襲診断・治療のために、本研究の解決課題になる腫瘍領域を超音波イメージから取得する手法、および、目標物の運動補償機能の実現手法を挙げている。

第3章では、開発したシステムの構成を述べており、特にターゲットの三次元追従ロボットとHIFU照射システムの構成、本HIFUシステムの音響特性を測定する方法について述べている。

第4章では、腫瘍領域の実時間追跡法として、術前に獲得した臓器と腫瘍の三次元モデルを術中超音波イメージと合成し、腫瘍の位置を検出する方法を提案している。特に、バイプレーン超音波画像から取得した臓器の境界と三次元

臓器モデルをレジストレーションして既存の術前情報を利用する他の方法より高速に計算できる方法を提案した。

第5章では、腫瘍領域追跡法として、術中HIFUを照射してできた凝固領域を超音波画像から検出し、動く腫瘍領域を追従する方法を提案している。特に、超音波画像上の凝固領域をよりロバストかつ高速に追従するため、確率モデルを用いた追従方法を提案し目標物の運動補償に適用した。

第6章では、追従とHIFU治療を同時に行うために、治療と診断に使われている二つの超音波信号を同期させる手法を提案している。その結果、HIFU照射の影響を受けない超音波画像を取得することが可能となった。また、提案された方法を用いて呼吸運動する腎臓形のタンパク質ファントムをHIFUで照射する実験を行い、本研究の有効性を示した。その結果、50%デューティ比のHIFUを連続に照射しながらも20Hzで目標物を認識することが可能になり、提案した追従方法の追従誤差はどちらにおいても約1.7mm(RMS)であることを実験で確認した。この誤差はHIFUによる腎臓癌の治療マージンを考慮して決定した本研究の追従誤差目標値である2.5mm(RMS)よりも小さいため、要求仕様を満たしていることが確認できた。

第7章では、本研究で提案された手法の限界になる臓器の変形や超音波映像上の誤差に対して述べている。そして、本研究の将来展望について述べている。

第8章では、本研究の結論が述べられている。

以上をまとめると、本研究は、既存の超音波映像を基にしたHIFU治療システムでは適用が困難であった腫瘍領域の検出および呼吸性運動追従を、術前に獲得した三次元臓器モデルを超音波画像にレジストレーションして相対的な癌部を位置を認識する方法と、術中HIFU照射による凝固領域を検出する方法を用いた新しいターゲット追従方法を提案して解決し、HIFU治療システムとして統合した。提案された癌部追従方法は腎臓癌の呼吸運動補償に適用できる十分な計算速度や正確さを示し、運動中の治療ターゲットを追従しながら目標とする部分をHIFUで焼灼することが可能となる新しい非侵襲超音波追従・治療ロボットシステムを提案している。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。