

審査の結果の要旨

氏名 李得熙

本研究は、超音波技術を利用して非侵襲医療診断・治療統合システムを開発しようとするものである。非侵襲医療は患者にとって苦痛が少なく、感染の恐れがないことや早期の回復が期待できることから、開腹手術の代替としてその将来が期待されている。

非侵襲診断および治療における媒体としては、放射線、磁場、ならびに超音波などが挙げられる。放射線は、被爆のため長期間の使用が不可能であるとともに、リアルタイム・モニタリングが困難である。また、磁場の場合もリアルタイム・モニタリングが困難である。一方、超音波は放射線の被爆がなく、リアルタイム・モニタリングが可能であり、なおかつ、比較的簡単な装置群によりシステムを構築することが可能である。このことから、近年、集束式超音波を利用した診断・治療に関する研究が増加している。

第1章では、研究の動機と超音波を利用した診断・治療統合システムの開発可能性を述べている。また、開発したシステムの実際の効率を把握するために腎臓結石を適用対象とした理由を説明している。

第2章では、本論文の目的について述べている。超音波を利用した診断・治療統合システムを実用化する際に克服すべき共通の主要な課題として、治療の過程をリアルタイムにモニタリングして安全性と精度を確保する必要があることや、患部が存在する腹部は呼吸等によって運動しているために患部の運動に対する補償が要求されることが挙げられている。

第3章では、開発したシステムの構成を説明している。開発した非侵襲超音波診断・治療統合システムのハードウェアは、集束超音波の発生システム、超音波イメージング・システム、ロボット・システムを中心に構成される。

第4章では、目標物のビジュアル追跡法を提案している。この方法は、超音波画像において背景から結石を分離するものである。離散化イメージによる運動モデルを用いることにより追跡対象（ターゲット）である結石の位置を予測し、その運動を追跡する方法を提案している。超音波画像による患部の検出は、超音波画像上における高輝度領域とスペクトル（斑点模様）のパターン認識などを利用して遂行される。具体的に、本研究では、腎臓結石の音響インピーダンスが周りの身体組織に比べて高いために超音波画像上で高い輝度を有することや、超音波プローブの位置から腎臓結石の方向に影が生じる特徴を用いて、

腎臓結石を自動検出するアルゴリズムを実現している。

第5章では、集束超音波によりノイズの影響を受けた目標物の形状情報を補正する方法を提案する。集束超音波を用いた治療では焦点の周りにマイクロ・バブルを発生させるが、このバブルの影響により超音波画像上に高輝度領域が形成される。集束超音波の焦点は患部、すなわち、ターゲット位置に設定されているため、焦点の周りに発生したノイズはターゲット追跡の誤差を増大させる要因になる。本研究では、集束超音波の焦点領域が1 mm程度と小さく、ノイズもその近傍で生成されるため、目標物画像の一部分だけがノイズの影響を受けることに着目している。具体的には、ターゲットにおけるノイズの影響を受けていない部分の形状を認識することにより、実際のターゲットの重心点を検出している。

第6章では、目標物の周期的な運動成分と非周期的な運動成分を分離することにより、ロボットの追従精度を向上させる技術を提案している。呼吸によるターゲットの運動は周期的な運動成分と非周期的な運動成分から構成されることを明らかにし、フィード・フォワード制御部を新たに追加してフィードバック制御と併用することで運動の周期的な成分に対する追従精度を向上させている。

第7章では、実験を通して提案した手法の有効性を評価している。9 mm程度の大きさのモデル結石を実際のヒトの呼吸による腎臓動作に基づいて動作させ、集束超音波を照射しながらリアルタイム追跡した結果、平均0.28 mmの追従精度(最大1.07 mm, 標準偏差0.18 mm)で追跡することが可能であることを示している。これは目標精度の1.5 mmを十分に達成している。

第8章では、本研究の結論と将来展望が述べられている。

以上をまとめると、本研究では、医療支援システムの1つの方法として超音波を利用した診断・治療統合システムを提案している。また、腎臓結石に適用した時に問題となるターゲットの運動に対する補償方法を提案するとともに、集束超音波に起因するノイズを除去する方法を提案しており、次世代手術支援システムを実現するにあたって有益な情報を提供している。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として適当であると判断する。