

審査の結果の要旨

氏 名 上内 洋輝

本学位論文は、低侵襲手術支援のための、手術環境に適した画像誘導システムおよび、細径化・広視野化を実現する立体内視鏡システムを併用した新しい医用画像提示システムの提案および、その基礎システムの開発に関する研究論文である。

本論文は7章からなり、まず第1章では、医用画像技術を用いた低侵襲手術の代表例である画像誘導下手術と内視鏡下手術の現状と問題点に触れ、関連研究を挙げるとともに本研究の提案手法の位置づけについて述べている。第2章では、本研究の目的として低侵襲手術支援のため、画像誘導システムと立体内視鏡システムを併用した医用画像提示システムの提案を行い、その基礎システムを開発することを述べている。第3章では、具体的な手術対象を設定し、解決すべき課題について明らかとして、画像誘導システムと立体内視鏡システムを併用した医用画像提示システムを提案を行った。またこれに基づき第4章では、手術環境に適した画像誘導システムとして、タブレットPCを用いた医用画像重畳表示システムの開発および評価実験について詳述している。第5章では、細径化・広視野化を実現する立体内視鏡システムとして、空圧振動機構および視野可変機構を搭載した単眼立体内視鏡の開発および評価実験について詳述している。第6章では、評価実験の結果をもとに考察を行い、提案した医用画像提示システムの臨床応用における有用性を検証している。最後に第7章で本論文の結論をまとめている。

まずタブレットPCを用いた医用画像重畳表示システムについてであるが、システムはタブレットPCおよび3個のマルチモダリティマーカのみから構成されている。まず3個のマーカを患者に貼付後CTやMRI画像等の医用画像を撮像し、撮像された医用画像から作成される関心領域の三次元CGモデルおよび、医用画像座標系からみたマーカ中心の座標値をタブレットPCへ転送する。その後、タブレットPCの背面カメラで患者に貼付されているマーカを観察しマーカ検出を行う。3個全てのマーカを検出したとき、背面カメラ画像内に映るマーカの中心点座標およびマーカ長軸長からタブレットPCと患者との位置姿勢関係を推定する。そして、その情報をもとに背面カメラ画像が映るタブレットPCのディスプレイ上に関心領域の三次元CGモデルの重畳画像を表示することを可能とした。特徴として、マーカ遮蔽によりマーカが全て見えていない場合も、タブレットPCに搭載されている慣性センサの情報を活用して、3個のマーカを検出していたときのタブレットPCと患者との位置姿勢関係からの相対姿勢変化を推定し、背面カメラ画像が映るタブレットPCのディスプレ

イ上に適切な重畳画像を表示させることを可能とした。ファントムを用いた画像重畳評価実験から画像更新速度約15 Hz、平均画像重畳精度1.2mm以下であることが確認できた。また臨床適用性実験から、実際のヒトの血管に対しても超音波診断装置で確認した位置と同じ位置に画像を重畳表示できることを確認した。従来の外部の三次元位置計測装置を使うことなく、簡便な手法による画像重畳表示可能とした点が評価高い。

一方、局所を観察する手段として、空圧振動機構および視野可変機構を搭載した単眼立体内視鏡を開発した、特徴としては、細径化を実現するための空圧振動機構を搭載した単眼立体内視鏡に、広視野化を実現する視野可変機構を有したスリーブが搭載されている独創的な設計を行った。空圧振動機構を搭載した単眼立体内視鏡は、先端部に1/10インチCCDカメラを根元部に空圧振動機構を搭載したカメラスリーブ(直径5mm)、および支点をカメラスリーブ中心に固定するためのガイドスリーブにより構成されている。空圧振動機構から生じた振動は、支点を中心にカメラスリーブを介して1/10インチCCDカメラが搭載されたカメラスリーブ先端部へと伝達される。これにより、1/10インチCCDカメラが振動数10 Hz、振幅±0.25 mmで水平振動し、振幅最大時に交互に画像取得し視差画像を得て、立体視用ディスプレイへ出力し、偏光メガネをかけることにより立体視を実現した。評価実験から、振動が画質に影響を与えず、従来の立体内視鏡と同等の立体視性能を有していることを確認した。また、開発した立体内視鏡が経験の浅い若手医師の習熟速度向上に貢献する可能性が実験により示唆された。

本医用画像重畳システムは、大局的アプローチとして体外から体内の患部周辺の状況を大局的に把握するのに十分な精度・臨床適用性を有し、また局所的アプローチとして本立体内視鏡システムは、細径化・広視野化を両立しつつ、従来の立体内視鏡と同等の立体視性能を有することを示した。両者を併用することにより、これまでになく高い優位性を伴った低侵襲かつ安全な治療を実現可能であることを示し、次世代治療機器を開拓する基盤をなす成果を得たものといえる。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。