

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 及川 道雄

本論文は、心疾患手術を低侵襲に行うための画像を用いた手術支援方法について提案することを目的としている。トータルな手術支援としてはマニピュレータを用いた微細操作支援やMRI(Magnetic Resonance Imaging)による術中モニタリングなどの低侵襲手術支援システムを想定し、その中で術者に対する情報提示に関わる部分について検討している。情報提示法として、各種の医用画像の特徴を活かしながら、各データ相互の位置関係および、各データと実空間の位置関係を対応付けることにより、3次元の空間的な認識を支援する手法について、特に心臓の動きや術中のリアルタイム性といった時間軸に着目しながら、3つの機能について検討している。各機能について、具体的な手術支援場面を想定し、機能を実現するための手法について提案を行い、実現される手術支援機能についてデータを用いながら検討を行っている。

本論文は7章で構成されている。

第1章では序論として、本研究で扱う対象である医用画像について歴史的な背景とともに整理し、本研究における目的と課題を明らかにし、従来に関連する研究と比較した位置づけについて述べている。

第2章では、各種の画像情報の特徴について整理し、本研究において想定する低侵襲な心臓疾患の手術方法と、各種のデータ座標系を相互に対応付けるとともに、実空間とも対応付けして画像情報を提示することによる手術支援方法について提案を行い、手術の流れの中における提案支援機能の位置づけを示している。

第3章および第4章では、冠状動脈バイパス手術の術前に最も重要な情報となる、冠状動脈造影透視映像(CAG: Coronary AngioGraphy)を利用し、術前計画時に重要な3次元空間把握を支援するため、一般的な単撮像系透視装置により撮影されたCAG映像から、血管の3次元形状と狭窄位置の空間的な関係および動きを可視化する手法について述べている。第3章では3次元形状の再構成について検討し、第4章ではさらにCAG映像の時系列性に着目し、動きの情報を可視化する手法について検討している。単撮像系透視装置により異なる時刻に撮影されたCAGから3次元の血管形状を再構成する際には、心臓の拍動を補償する必要があり、映像情報のみから拍動を推定する画像輝度レベルを利用した手法を開発し、実データに適用して検証を行っている。さらに、動き情報を可視化するために必要となる大量のデータ処理を効率的に行う手法として、血管の局所的な動きを局所マッチングと抽出パラメータの自動推定を用いた手法を開発して実データで検証を行い、最終的には、冠状動脈の3次元形状における狭窄位置と、動きの可視化を行うことが可能であることを示している。

第5章では、本研究で提案するMRI下で立体内視鏡映像を見ながら、遠隔からマニピュ

レータを操作して手術するシステムにおいては、通常の手術で確認可能な、3次元的位置関係と術中における患者の状態変化の確認が困難であるため、術中に得ることができるMRI画像を利用し、3次元的な対応付けを行うことにより、マニピュレータ位置情報と患者の状態把握支援を行う手法について述べている。この機能を実現するためには、各データの座標系情報を別のサブシステムで共有する必要があり、術中に利用できるようにするため、リアルタイムに位置情報を共有するためのアーキテクチャを提案し、実際にシステムを試作して機能が実現できることを確認している。

第6章では、術中に最も重要なリアルタイム情報である立体内視鏡映像について、その特徴であるリアルタイム性を損なわずに、正しく実空間と対応付けしながら、不足する情報を補完するための支援手法について述べている。内視鏡の歪みが術者に与える影響について考察し、空間認識における誤解や疲労の原因となる歪みを、ハードウェアによりリアルタイムに補正する手法を導入し、実際の立体内視鏡映像の歪みを補正できることを確認している。さらに、内視鏡は表面的な情報しか得ることができないという課題に対し、**Augmented Reality** 技術による情報提示法として、術中の立体内視鏡の位置姿勢と、術野との位置関係を対応付けることにより、歪み補正された立体内視鏡映像に事前に取得した血管位置情報などを付加する手法について提案している。

第7章では結論として、心臓手術を低侵襲に行うための手術支援方法についてのまとめを行い、本研究の適用範囲と今後の展望について述べている。心臓を対象としたときに特有の拍動と、遠隔手術操作を想定した際の空間認識という点を主な課題とし、特に時系列の3次元情報に注目しながら、各種の画像情報について相互の位置関係と実空間との対応付けを行うことにより、空間的な情報把握を支援することによる手術支援方法について検討し、実証実験により提案手法の有効性が認められたことが示されている。

以上のように本論文では、心臓手術においてMRI下でマニピュレータを用いるという新たなシステム構成を想定し、各種の情報を利用した空間的な情報把握支援において、心臓特有の拍動と遠隔手術特有の空間認識に焦点をあてることにより、システムとして新規性を有するとともに、低侵襲で安全な手術支援という社会的な意義を有するという点で大きな功績があると考えられる。

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。