

審査の結果の要旨

氏名 ピタックワットチャラ ポングセン

低侵襲手術の1つである腹腔鏡下手術は、患者への負担は少ないが、医師に負担を強いる手術法であるため、マスタ・スレーブ・システムを利用した手術支援システムの開発が求められている。既に商用化されているシステムでは、力覚の提示が不十分であることが指摘されており、適切な力帰還手法を導入することより、軟組織への過剰な接触力の低減、作業時間の短縮、手術ミスの減少が可能になることが期待される。

本研究は、腹腔鏡下手術のうち胆嚢摘出術を対象とし、まず、その基本動作を解析することで手術プロセスをタスクに分解している。次に、実際の手術過程から、マニピュレータである鉗子に必要とされる動作を解析・分類し、手術支援ロボット・システムに適用可能な各鉗子動作タスクに応じた力帰還提示モードを提案している。また、鉗子操作中にどのタスクが実行されているかを自動判別するアルゴリズムを提案し、手術支援システムに実装している。さらに、多自由度鉗子先端に作用する把持力、外力を検出する機構を用いて実際に操作者に力覚提示を行うことで、提案した力覚強調提示手法の有効性を評価している。

この研究は、手術プロセスをタスクに分解し、各タスクに応じた力覚提示を行うことを特徴としている。また、鉗子動作を自動判別するアルゴリズムを用いることで、現在の鉗子操作に適した力成分を求め、力情報を特定の方向に強調提示することを可能としている。各鉗子操作に応じた力帰還提示を行うことで、操作性の向上が期待される。

第1章では、序論として本研究の背景、従来の研究、目的を述べている。

第2章では、力帰還制御について概説している。遠隔手術支援システムにおける力帰還強調提示の必要性が述べられ、いくつかの典型的な力帰還制御アルゴリズムが説明されている。特に、比例積分ゲイン・スケジューリング力帰還制御について詳説され、システムの安定性、および、ゲインと切り替えを行う力などの方法についても述べられている。

第3章では、ロボット支援低侵襲手術について述べられている。腹腔鏡低侵襲手術を対象とし、この手術を支援するロボット・サージューリ・システムの構成と多自由度鉗子先端に作用する把持力、外力を検出する力センサについて述べられている。

第4章では、腹腔鏡下胆嚢摘出術を説明するとともに、内臓手術の基本的な手技がすべて含まれていることからそれを選択したことを説明している。手術プロセスの基本作業をサブタスクに分類し、そのサブタスクの組み合わせから、腹腔鏡胆嚢切除に必要な鉗子動作が、(1) grasping / spreading, (2) pushing / pulling, (3) lifting up / tapping, (4) grasping & pushing / grasping & pulling, (5) grasping & lifting / grasping & tapping, (6) grasping & lifting & pulling / grasping & probing, (7) lifting & pulling / probingであることを述べている。

第5章では、実行中の鉗子動作を自動的に判別するためのアルゴリズムが提案されている。このアルゴリズムは、力/動作パターン識別アルゴリズム、および、鉗子動作判定アルゴリズムの2つの部分からなり、第6章で述べる力帰還強調提示モードを適切に選択するために用いられる。

第6章では、鉗子先端に作用する、小さくて複雑な力を提示する効果的な方法として、力帰還強調提示を提案している。この力帰還強調提示モードは、第4章で提示された鉗子動作と関係づけられ、術者が行っている作業の目的に応じて作用している力が増幅される。ここで、自動的に強調モードを選択するために、5章で提案された鉗子動作判定アルゴリズムが用いられている。

第7章では、提案された力帰還強調提示手法が手術支援システムに実装されている。そのシステムを用いた鉗子操作実験、結果、および、考察が述べられている。

第8章では、本研究の結論、今後の展望が述べられている。

以上を要するに、本研究では、腹腔鏡手術を例として手術プロセスのタスク分解を行い、各鉗子動作タスクに応じた力帰還提示手法を提案している。また、実行中の鉗子動作タスクを自動的に判別するアルゴリズムを提案し、手術支援システムに実装することでその有効性を評価しており、次世代手術支援システムに対し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合格と認められる。