

審査の結果の要旨

氏名 白 榮民

従来のマスター・スレーブ型手術支援システムは、医師に高精度、器用さを提供することで高度な手術を可能としてきた。現在は、手術時間の短縮や医師の負担の低減など、手術支援システムのさらなる高機能化のために、手技の自動化に関して多く研究されている。本研究では、自動化されたシステムで起こりうる安全性の問題を人間の監視機能を加えることで解決をはかり、人間とロボットが協調する手術支援システムを提案した。

特に本論文では、人間・ロボット協調手術システムのために必要となる4つの要素を定義した。その要素とは、認識、制御、自動化、そして介入である。そして、それぞれの課題を明らかにし、その課題の解決手法を提案する。

第1章では、既存のマスター・スレーブ型手術支援システムの特徴とそれに伴う限界点を述べ、それを乗り越えるために人間とロボットの協調システムが必要であることを述べる。

第2章では研究目的を述べ、人間・ロボット協調手術システムを開発するためのアプローチを提案する。また、4つの必要な要素を定義し、その実装手法を挙げている。

第3章では本研究でプラットフォームとして用いる微細手術用のマスター・スレーブ型手術支援システムを開発し、吻合実験を通してシステムの検証を行う。また、マスター・スレーブ型システムの限界点である、精度、速度、安全性の問題に関して考察を行う。

第4章では認識の問題に対し、ロボット鉗子の3次元モデルを画面上に投影した輪郭をデータベース化することで、画像上で鉗子のトラッキングを行う手法を提案する。また、画像情報のみを使用する場合には、鉗子が画面の外側に

出た時、トラッキングできない問題がある。そこで、画像でのトラッキング情報とロボットの運動学情報を融合するロバストな鉗子トラッキング手法を提案する。

第5章では、検出された鉗子の情報に基づいたビジュアルサーボに関して述べる。既存のビジュアルサーボでは3次元の軌道の計画が不可能であり、これは手術ロボットでは致命的な弱点になる。この問題を解決するために、制御の平面位置決め、奥行き位置決めを分離することで、3次元軌道の計画の可能とした。

第6章では混合ガウシアンモデルを用いて手技を学習し、ビジュアルサーボを用いて学習した手技の自動化を行う。手技を自動化することで人間よりも速くタスクを完遂することができ、動作の精度も向上することを確認した。しかしながら、両手の動作が必要となる糸を巻き付けるタスクに対しては、糸を持つ角度が変化した場合にタスクを完遂できないことを確認し、手技の自動化システムにおける問題点を明らかにした。

第7章では触覚デバイスを用いてロボット軌道に沿った力覚フィードバックを付加し、医師がロボット鉗子の軌道を変更することで、自動化システムへ介入する方法を提案する。提案した手法を用いて、糸を巻きつける動作で自動化システムでは対応できなかった環境変化に対して、解決の可能性を示した。また、医師の意見に基づいた定性的な評価を行い、介入方法に関してはやや満足度が低く、人間・ロボットインタラクション (HRI) の今後の課題を明らかにした。

第8章では、本研究で提案した手法の限界となる手術環境の認識問題や高次元タスクモデリングに関して述べている。そして、本研究の展望について考察している。第9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、本研究は既存のマスター・スレーブ型手術支援システムにおいて、精度、速度、安全性の問題を解決するために、手技の自動化に向けた人間・ロボット協調手術システムを提案し、そのシステムを実装した。さらに、手技を模擬したタスクに対し検証を行うことで、協調手術支援システムのあり方を提案・検証した。

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。