

マスタースレーブ型ロボット手術を支援する力覚ナビゲーション手法

今西 勁峰* 中尾 恵* 黒田 知宏** 小山 博史**

*京都大学情報学研究科 **京都大学医学部附属病院医療情報部

1. はじめに

近年、医療の分野にもロボット技術が応用されるようになり、より高度なロボット手術実現への期待が高まっている。マスタースレーブ型ロボット手術において、術者はモニターを通して術野を見ながら手術を行う。現状の平面モニターを通して、術者は十分に奥行きを把握することが難しいことから、術中に思わぬ箇所をロボットアームで傷つけてしまう可能性がある。本研究では、術者にロボットアームと術野内の対象物の立体的な位置関係を把握させるための情報支援の方法として、力覚ナビゲーション手法を提案し、提案手法を導入したナビゲーションシステムの開発を行う。

2. 力覚ナビゲーションの必要性

マスタースレーブ型ロボットシステムは、TVモニターなどを用いて視覚情報を提示出来るだけでなく、フォースフィードバック可能なマスターマニピュレータを用いて力覚情報を提示することができる。力覚は人間にとって直感的で重要な感覚であり、手術において視覚と同様に重要な役割を果たしている。力覚情報を提示することで、スレーブマニピュレータを目標点へ誘導する、あるいは操作ミスによる非侵襲領域への侵入を未然に防ぐといった支援を行うことができる。本研究では、力覚を積極的に用いてスレーブマニピュレータと周辺組織との位置関係を術者に把握させる力覚ナビゲーション手法を提案する。本手法では、フォースフィードバックが可能なマスターマニピュレータを介して、術者に斥力を提示することで、ロボットアームと術中に触れてはならない対象物の位置関係を術者

に把握させるとともに、これらの対象物への接近を妨げることができ、マスタースレーブ型ロボット手術の安全性を向上させることが期待できる。

3. 力覚ナビゲーションシステム

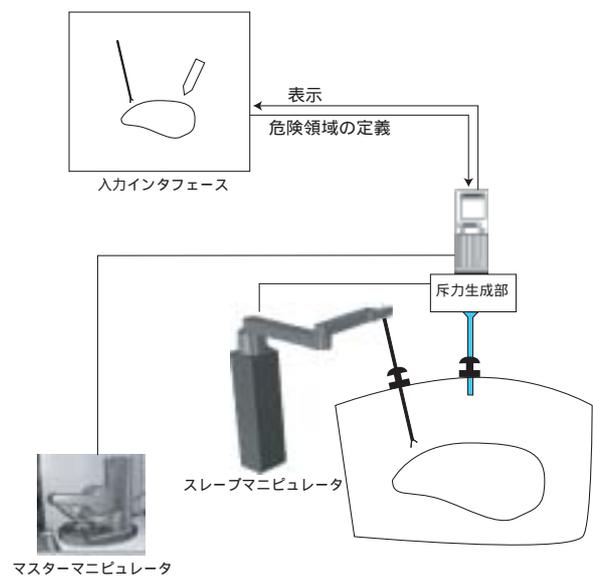


図1：力覚ナビゲーションシステム

力覚ナビゲーション手法を導入したマスタースレーブ型手術用ナビゲーションシステムを用いた手術は、CTやMRIによって得られた二次元画像集合から構築した三次元形状データに対し、スレーブスレーブマニピュレータが触れてはならない危険領域を指定した後開始される。術中では、計測システムによってスレーブマニピュレータと危険領域の位置関係をリアルタイムに取得し、危険領域への接近の度合いに応じて、マスターマニピュレータへの斥力を生成する。手術が進行し、危険領域が変化するにつれて、必要に応じて手術を中断し、危険領域の再定義を行う。以上に示した機能を統合したシステムを本研究では力覚ナビゲーションシステム(図1)と呼ぶ。

3.1 危険領域定義用入力インタフェース

危険領域を再定義する際に掛かる時間を最短にする

Haptic navigation for improving safety of master-slave type robotic surgery

Keiho IMANISHI*, Megumi NAKAO*, Tomoniri KURODA** and Hiroshi OYAMA**

*) Graduate School Informatics, Kyoto University

**) Kyoto University Hospital

ためには、危険領域を定義するための入力インタフェースは、以下の要求を満たさなければならない。

- ・ 実時間的に危険領域を定義、または、解除できる
- ・ 二次元スクリーンを観察しながら容易に入力できる。
- ・ 複雑な三次元形状領域を、容易かつ迅速に危険領域として定義、または、解除できる。

本研究では、[1]で提案した入力手法に基づき、二次元入力装置を用いて簡便に危険領域入力ができる入力インタフェースを開発した。

3.2 力覚生成

提案システムにおいては、接触ではなく接近を取り扱うため、術具が単一点で表現された場合でも、斥力発生算出を行う範囲は体積を持ち、空間的な広がりを表現することができない単一点に基づいたインタラクションモデルを適応することは難しい。本研究では、スレーブマニピュレータの空間的な広がりを考慮したマルチポイントモデル[2]を基に接近距離の検出を行った。対象領域の形状にかかわらず安定した接近距離を得るため、本研究では、求められた力ベクトルの方向をそのまま生成すべき斥力の方向とし、最も大きい侵入ベクトルの大きさを生成すべき斥力の大きさとした(図2)。

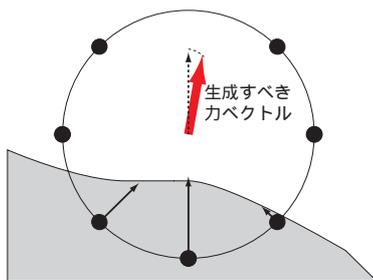


図2：力覚生成アルゴリズム

4. 評価実験

提案システムの有効性を検証するため、仮想空間を用いた検証用シミュレータ(図3)を構築し、評価実験を行った。仮想空間内に脳幹、神経および腫瘍を表す仮想オブジェクトを配置し、仮想オブジェクト上に危険領域および複数の目標点をあらかじめ定義した。被験者はPHANToMを通して仮想術具を操作し、提示された目標点を仮想術具の先端で触れるという課題を行った。実験では、課題の達成時間および課題の成功率を

測定した。

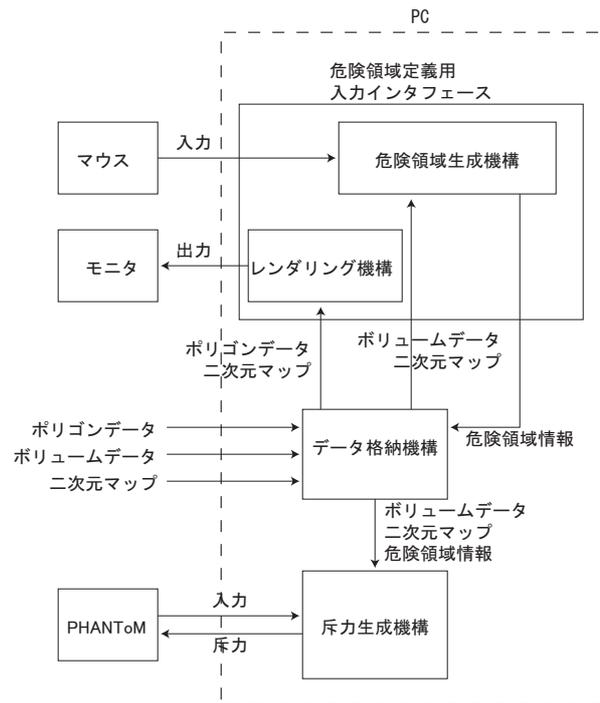


図3：シミュレータのブロック図

5. 実験結果および考察

実験の結果、力覚支援のない環境と力覚支援のある環境を比較したところ、課題の達成時間に影響はなかったが、課題の成功率が上昇する傾向が見られた。これにより、危険領域に触れずに目標位置へ到達するタスクに置いて、力覚ナビゲーションを用いて支援することは有効であることが分かった。

6. おわりに

本稿では、ハプティックデバイスを利用することによって、マスタースレーブ型ロボット手術のための力覚ナビゲーション手法を提案し、その有用性を検証した。今後は実用化へ向けた検証を行う予定である。

参考文献

- [1] 今西勤峰, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, マスタースレーブ型ロボット手術を支援する力覚ナビゲーションインタフェースの開発, 日本バーチャルリアリティ学会(第7回大会論文集), pp.279-280, 2002
- [2] A. Petersik, B. Pflesser, U. Tiede, K. H. Hohne and R. Leuwer: Haptic Volume Interaction with Anatomic Models at Sub-Voxel Resolution, 10 th symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 66-72, 2002