

遠隔カテーテル操作用マスタ側操作システムの開発

○宋 大鵬 (香川大学), 郭 書祥 (香川大学), 張 林帥 (香川大学)

Development of a Master Operating System for Remote Catheter Operation

○Dapeng SONG , Shuxiang GUO , Linshuai ZHANG

(Kagawa University)

Abstract: This manuscript describes a method which is using encoder to measure the operation of the surgeon's fingers, obtaining the displacement and rotation of the catheter inserted into the human body. The proposed method can provide the telepresence for the surgeons during the catheterization. It can make surgeons better to develop their operation skills, thus increasing the safety of the operation.

1. はじめに

高齢化を迎えた社会において、心臓病や脳動脈などの発病率が高くなっている。治療方法の一つとして、外科手術を行わずに医療用カテーテルなどを挿入して治療を行うといった低侵襲医療が注目されている。この治療方法は実施する際に、患者の体を傷つけることが少なく、また治療にかかる時間も手術に比べて少なく、さらに治療後の回復が速く、患者にかかる負担を軽減することが可能になる。

2. 研究背景と目的

従来のカテーテル手術において、X線から医師の体を守るために、鉛エプロンを身につけるなどの方法があるが、顔や手の保護が困難であり、おまけに年間数百件に執刀することもあるため、放射線による健康問題を引き起こす可能性が高いと言われている。そのため、X線に被爆することなく作業ができ、臨場感のある遠隔カテーテル操作システムの開発が求められている。遠隔操作システムでは、実際にカテーテルを患者の体内に送り出すスレーブ側とこのシステムをコントロールするマスタ側で構成されている。そして、本研究では、遠隔操作の臨場感・操作感があるマスタ側の操作デバイスを提案し、手術の安全性を高めることを目的とする。

3. 触覚的なフィードバックを実現するデバイスの提案

従来のカテーテル手術を実施する際に、医者がカテーテルを患者体内に挿入すると、カテーテルにかかる力を感じることができる。熟練な医師は感じた力の強さにより、危険を避けながら、手術を円滑に完成できる。しかし、遠隔操作システムでは、マスタ側からスレーブ側のカテーテルをコントロールするため、従来のカテーテルにかかる力を感じられず、スムーズに手術をすることが困難であると言われる。本研究では、振動子を用い、触覚的な力提示装置を提案する。Fig.1が提案し

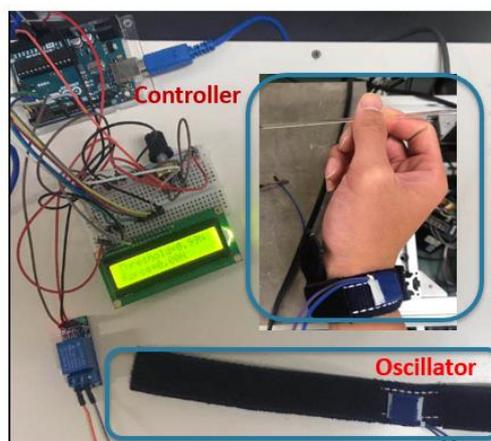


Fig.1 試作した振動提示装置

た装置を示している。医師の操作を邪魔しないように、振動子を腕に取り付けている。コントローラーを用い、安全範囲の閾値を設定しており、先端から計測した力が閾値を超えれば、振動が起こされるという仕組みである。そうすれば、医師に直接に触覚的なフィードバックを伝え、手術の安全性を高められると考えられる。

4. エンコーダを用い、操作デバイスの提案

現在製品化された遠隔操作システムでは、ボタンを押すことにより、カテーテルの挿入と回転をコントロールすることが多い。しかし、従来のカテーテル手術では、医師が直接にカテーテルを持ち、患者の体内に送り出すという動作である。そのため、このようなシステムに上達するまで、練習時間がかかるという欠点がある。そして、本研究では、同じくカテーテルを持つような操作を考え、二つのエンコーダを用い、挿入量と回転量を計測する。Arduino通信を用い、測定した操作量をスレーブ側に伝えるという操作デバイスを提案する。Fig.2には試作した操作デバイスを示す。部分Aと部分Bは、それぞれに挿入量と回転量を計測することにする。

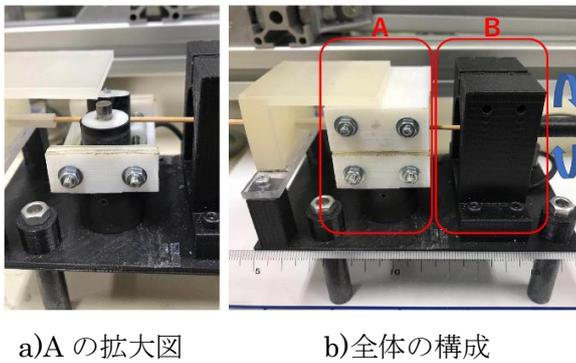


Fig.2 試作された装置

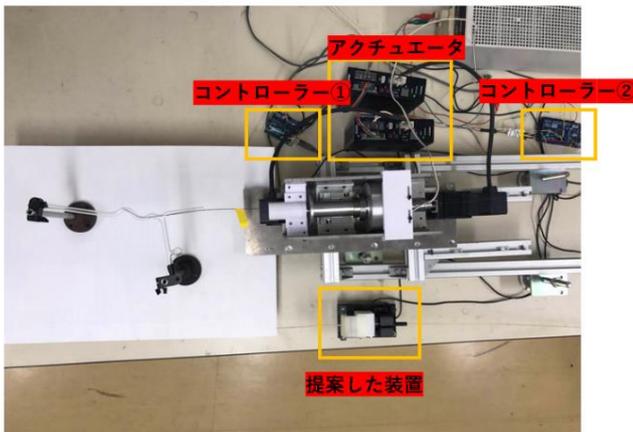


Fig.3 特性を検証する実験装置

5. 試作した装置の特性評価実験

計測した操作量を Arduino 通信に用い、スレーブ側に伝え、受信された操作量に応じて、ステッピングモータを回転させ、カテーテルを前に送り出す。エンコーダの精度とローラの半径により、試作した装置を 100mm 挿入する時、スレーブ側の追従量が 30.12mm になる。本実験では、スレーブ側の追従量を計測し、特性を検証する。Fig.3 に示す装置を用い、10 回を操作し、計測した結果は Fig.4 に示している。さらに、操作の速度に応じて、追従精度を検証するために、操作速度を 10mm/s、20mm/s、30mm/s、40mm/s に変えて、各速度で 100mm を挿入し、スレーブ側の追従量を計測した。10 回実験を繰り返して、各速度につき、追従量の平均値を Fig.5 に示す。Fig.4 により、スレーブ側の追従量は理論値と比べ、誤差が出ることが明らかになった。Fig.5 に示すように、10mm/s の速度で挿入する時、スレーブ側の平均追従距離は 26.8mm となり、誤差は 3.32mm となった。この後は、操作速度が速くなる一方、スレーブ側の追従精度が減少していることがわかった。二つの実験を合わせて、操作速度の変化は誤差が生じる要因の一つだと考えられる。

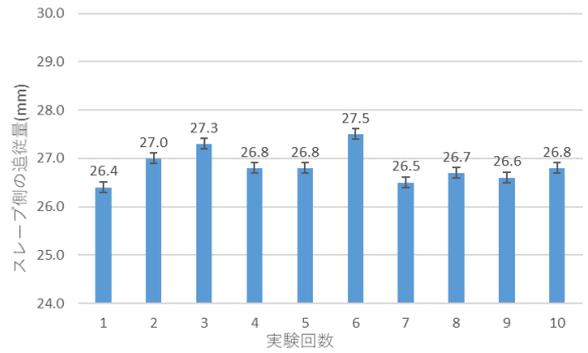


Fig.4 追従量の計測結果

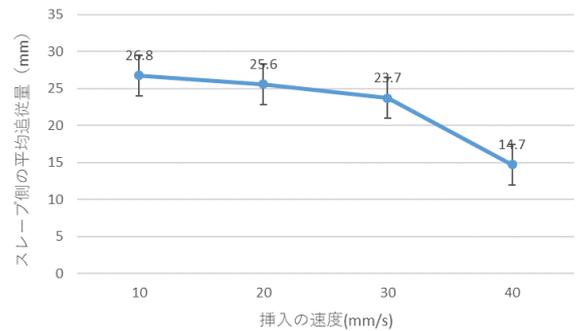


Fig.5 各速度による追従量の計測結果

6. 結論

本研究では、Arduino 通信を用い、エンコーダから測定した操作量をスレーブ側に伝え、ステッピングモータを制御することにより、遠隔からカテーテルのコントロールを実現した。さらに、振動子を腕に取り付け、設定した閾値と計測した力の大きさと比べることにより、振動が起これ、医師に触覚的な提示を実現した。二つの装置を組合せ、操作感及び臨場感が高い、触覚的のフィードバックもあるデバイスを試作した。今後の課題としては、スレーブ側の追従精度を高める方法を検討しようとする。

参考文献

- [1] X. Yin, S. Guo and Y. Song, "Magneto-rheological Fluids Actuated Haptic-Based Teleoperated Catheter Operating System" *Micromachines*, doi:10.3390/mi9090465
- [2] 宋 大鵬、郭 書祥、宋 雨、張 林帥、"遠隔カテーテル操作システムに用いる医師の指運動計測システムに関する研究"、SI2018 計測自動制御学会, 1A2-06
- [3] S. Guo, Y. Song, X. Yin, L. Zhang, T. Tamiya, H. Hirata, H. Ishihara, "A Novel Robot-Assisted Endovascular Catheterization System with Haptic Force Feedback" *The IEEE Transactions on Robotics*, DOI: 10.1109/TRO.2019.2896763, Vol.35, No.3, pp.685-696, 2019.