Development of Haptic End-effector for Medicine and Manufacturing

August 2017

MATSUNAGA, Takuya

(3)

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号 甲 第 号 氏 名 松永 卓也

主論 文題名:

Development of Haptic End-effector for Medicine and Manufacturing (医療および産業応用を目的としたハプティックエンドエフェクタの開発)

(内容の要旨)

少子高齢化による労働力不足の解消や危険な環境における労働力として、ロボット技術の研究が進められている。人間の上肢は複雑な作業を実現可能であり、ロボットは人間の上肢の動作を実現することで、様々な作業が可能となる。特に、マスタ・スレーブ型の遠隔操作ロボットを応用した多自由度鉗子ロボットは、様々な機構が提案されている。より安全な作業の実現には力触覚技術が必要であるが、力触覚情報伝達装置の多自由度化は容易ではない。本研究では、人間の上肢の動作に対応した自由度を有する力触覚情報伝達装置として5自由度 HEM² (Haptic End-effector for Medicine and Manufacturing)を開発し、力覚情報に基づいた作業を実現した。

第1章では、本研究の背景および目的を述べた。遠隔操作ロボットおよび力触覚伝達 装置の先行研究について概説した。

第2章では、外乱オブザーバによるロバストな加速度制御に基づいたロボットの動作 制御について述べた。

第3章では、力触覚伝達装置のための制御系として、加速度制御に基づく 4ch バイラテラル制御、斜交座標制御、動作再現システムについて述べた。

第4章では、バックドライバビリティが高い機構を有する2自由度ハプティックロボットについて述べた。リニアモータで構成される2自由度ハプティックロボットのシリアルリンク機構は、多自由度の力触覚伝達装置に有用であり、また、スライダクランク機構を用いたエンドエフェクタは、リンクの寸法を適切に設計することで近似による制御の単純化が可能となることを確認した。

第5章では、軟性内視鏡ロボットへの搭載を目的として開発した小型ハプティック鉗子ロボットについて述べた。高減速比の機構はトルクの伝達効率が低下する原因となるため、出力を力センサで測定して伝達効率を導出し、反力オブザーバの推定値を補正することで推定精度を改善した。

第6章では、遠隔操作および動作再現において、人間の手、手首、腕に対応する動作をおこなう5自由度 HEM²について述べた。把持、直動、ロール、ピッチ、ヨー動作で構成される5自由度の動作により、複雑な作業を可能とした。シリアルリンク機構は慣性の増大の影響を受けるため、スライダクランク機構を備えたシリアルリンク機構とパラレルリンク機構および回転機構を並列に駆動する機構を提案し、自由度の増加にともなう力覚情報伝達性能の劣化を抑制した。複雑な作業の一つとして、2組の5自由度HEM²を用いた遠隔操作で結紮を実現し、保存した触覚情報をもとに動作を再現した。

第7章では、本研究の結論を述べた。並列駆動機構を用いた5自由度HEM²は、力触覚技術を応用して人間の手、手首、腕に対応した動作を実現可能であり、医療および産業分野において、より安全な作業の実現が期待される。

(3) Keio University

No

Thesis Abstract

Registration	⊻"KOU"	□ "OTSU"	Name	MATSUNAGA, Takuya
Number	No.	*Office use only		

Thesis Title

Development of Haptic End-effector for Medicine and Manufacturing

Thesis Summary

Robotic technologies have been studied to solve problems such as the shortage of the labor force in the aging society with fewer children and the labor force for dangerous works. The human upper limb can realize complex tasks. By realizing robotic motions corresponding to the human upper limb, various task can be achieved. Especially, various robots are proposed as multi degree of freedom (DoF) forceps robot applying the master-slave teleoperation system. However, it is difficult to increase the number of DoF while keeping the performance of the haptic application. In this research, the five DoF HEM² was developed to realize the human upper limb motion based on the haptic information.

In the chapter 1, the background and the purpose of the study was explained. As the outline of the study, conventional teleoperation robots and haptic applications were described.

In the chapter 2, the motion control of robots based on the robust acceleration control by disturbance observer was described.

In the chapter 3, the acceleration based four-channel bilateral control, the oblique coordinate control, and the motion reproduction system were described as control systems for haptic applications.

In the chapter 4, the two DoF haptic robot with the high backdrivability mechanism was described. The serial link mechanism of the robot is useful for haptic applications. Besides, the control system for the end-effector composed of slider crank mechanisms can be simplified by designing the dimension of links properly.

In the chapter 5, the miniature haptic forceps robot for implementing to flexible endoscopic robots was explained. The high reduction ratio mechanism deteriorates the efficiency of the torque transmission. The force information estimated by reaction force observer was corrected by the efficiency which is decided by the measurement of the output force.

In the chapter 6, the five DoF HEM² to realize the human hand, wrist, and arm motion in bilateral teleoperation and reproduction of motions was described. Complex tasks can be realized by the five DoF motion composed of the grasping, translational, roll, pitch, and yaw motion. Since the serial link mechanism is affected by the increase of the mass according to the number of DoF, the parallel drive mechanism for the parallel link mechanism, the serial link mechanism, and the rotation mechanism was proposed. The deterioration of the performance to transmit the haptic information was suppressed. As a complex task in surgical procedures, the ligation task was conducted by the teleoperation robot composed of two prototypes of the five DoF HEM². Besides, the human motion in the ligation task was reproduced by the saved haptic information.

In the chapter 7, this research was concluded. The five DoF HEM² can realizes the human hand, wrist, and arm motion with haptic technology. By using the five DoF HEM², the realization of more safer work can be expected.