

博士論文要旨

論文題名：実用性を考慮した軽量装着型ロボットアームの 提案と考察

立命館大学大学院情報理工学研究科
情報理工学専攻博士課程後期課程

コジマ アキミチ
小島 景行

本論文は、実用性を考慮した Supernumerary Robotic Limbs(SRLs)を提案し考察する。近年、アクチュエータの小型化と共にユーザの体にロボットやデバイスを装着する人体拡張をテーマにした研究が盛んである。その中でも、本研究はロボットアームをユーザに装着し、作業の支援を行う SRLs について研究した。SRLs は、目標タスクや用途によって自由度や大きさなど様々である。しかし、ユーザに装着するためには、十分軽量である必要がある。また、ロボットアームをユーザに装着するため安全性も重要である。しかし、軽量化に重きをおいて、自由度を減少させるとロボットアームの可動域が狭くなり有用性が無くなる。また、ロボットアーム自体を小型化した場合、関節に用いたアクチュエータの保持トルクが小さいため、把持容量が少なく本来のロボットアームとして物を掴み、保持する事が困難になる。

そこで、最も保持トルクが必要となる根本関節を、アクチュエータにて保持するのではなくロック機構を用いて物理的に固定する。これにより、高重量なアクチュエータの代わりに軽量に実装したロック機構を用いてロボットアーム全体の重量を軽減した。また、ロボットアームとしての有意性を無くさないために、アクチュエータで角度制御を行う関節と組み合わせることで、自由度を減少させることなく軽量のロボットアームが実現できる。また、ロック機構を用いた関節は、ユーザが直接ロボットアームを把持し駆動させるため、誤操作による事故の危険性を軽減した。

2 種類の関節を組み合わせるデザインは、人の腕の動きを基に検討した。人は作業前に根本関節にあたる肩・肘関節を用いて作業範囲まで手先を動かす。その後、手先関節を用いて作業を行う。つまり、作業前に駆動する関節と作業中に駆動する関節の2種類に分けられる。本論文では、このパッシブ関節とアクティブ関節を組み合わせた Hybrid Actuation System(HAS)を用いた SRLs の実用性について検討した。

SRLs は、ユーザの両手が塞がった状態の作業を支援することが目的の1つである。両手は作業に集中するため、手を用いたコントローラを使用するのが難しい。そこで、筋電位や脳波を用いて SRLs を操作するユーザインタフェースが多く研究されている。しかし、ロボットアームの自由度が多いと姿勢制御が複雑になるため操作が困難である。そこで、動的に駆動するアクティブ関節と、受動的なパッシブ関節に分けることで、可動範囲を維持

したまま動的に操作する関節の自由度が減り、操作・制御が容易になる。この2種類の関節を組み合わせたロボットアーム Assist Oriented Arm (AOA) を提案し、検討した。

パッシブ関節とアクティブ関節を組み合わせることで、重量がどの程度軽減されるのかをトルク計算を基に求めた。全ての関節にアクチュエータを用いた場合と比較し、約40%の軽減が確認できた。しかし、パッシブ関節を用いたことにより、操作性に大きく影響が生じる可能性がある。そこで、シミュレーションと実機操作を通して、AOAの操作性を評価した。その後、最適な関節構成やリンク長を検討しユーザへの装着方法・装着位置の検討をおこなった。

Abstract of Doctoral Dissertation

Title : Proposal and consideration of a lightweight wearable robotic arm

Doctoral Program in Advanced Information Science and Engineering
Graduate School of Information Science and Engineering
Ritsumeikan University

コジマ アキミチ
KOJIMA Akimichi

(SRLs) for practical use. In recent years, there has been much research on human body augmentation, in which robots and devices are attached to the user's body due to the miniaturization of actuators. Among them, this study investigates SRLs, in which a robotic arm is attached to the user and assists the user's works. SRLs have various degrees of freedom and sizes depending on their target tasks and applications. However, the SRLs must be light enough to be attached to the user. Safety is also important because the robot arm is attached to the user. However, if the degree of freedom is reduced in favor of weight reduction, the range of motion of the robot arm will be narrowed, and its dexterity will be lost. In addition, if the robot arm is minimized, the holding torque of the actuators used for the joints is small, and the holding capacity is low, making it difficult for the robot arm to grasp and hold an object by itself.

Therefore, the root joint, which requires the most holding torque, is physically fixed by using a locking mechanism instead of holding by an actuator. This reduces the overall weight of the robot arm by using a lightweight locking mechanism instead of a heavy actuator. In addition, to lose its usefulness as a robot arm, a lightweight robot arm can be realized without reducing the degrees of freedom by combining it with a joint whose angle is controlled by an actuator. In addition, the joints with a locking mechanism are driven by the user directly grasping the robot arm, thus reducing the risk of accidents due to miss-operation.

The design for combining two types of joints were studied based on the movement of the human arm. Before human work, a person moves his/her hand to the main working area by using the shoulder and elbow joints, which are the root joints of the arm. After that, the hand is manipulated using the tip joints. In other words, there are two types of joints: joints that are moved before the work and joints that are moved during the work. In this paper, we examine the practicality of SRLs using the Hybrid Actuation System (HAS), which combines passive and active joints.

One of the purposes of SRLs is to assist users with their hands busy. Since both hands are focused on the task, it is not easy to use a hand-operated controller. Therefore, many user interfaces (UI) that

operate SRLs using myoelectric potentials or electroencephalograms have been studied. However, it is not easy to operate a robot arm with many degrees of freedom because of the complexity of posture control. Therefore, to secure the range of motion and facilitate operation and control, the joints are divided into active joints that move dynamically and passive joints that move passively, and the degree of freedom of dynamically moving joints has been lowered. We proposed and examined a robotic arm, the Assist Oriented Arm (AOA), which combines these two types of joints.

The degree of weight reduction by combining passive and active joints was determined based on torque calculations. The results showed that the weight could be reduced by about 40% compared to the case in which actuators were used for all joints. However, the use of passive joints may especially affect the robot's operability. Therefore, we evaluated the operability of AOA through simulations and actual operation. Then, the optimal joint configuration and link lengths were examined, and the method and position of mounting the AOA to the user were discussed.