

論文審査の結果の要旨および担当者

| | |
|------|---------------|
| 報告番号 | ※ 甲 第 13619 号 |
|------|---------------|

氏 名 朱 曜南

論 文 題 目

Embodiment Based Sensory Feedback for Human Control Over
Robotic Systems
(身体化に基づいた感覚フィードバックによるロボット操作)

論文審査担当者

| | | | |
|----|-------|-----|--------|
| 主査 | 名古屋大学 | 教授 | 長谷川 泰久 |
| 委員 | 名古屋大学 | 教授 | 秦 誠一 |
| 委員 | 名古屋大学 | 教授 | 原 進 |
| 委員 | 名古屋大学 | 准教授 | 青山 忠義 |
| 委員 | 名古屋大学 | 准教授 | 西田 直樹 |

論文審査の結果の要旨

朱曜南君提出の論文「Embodiment Based Sensory Feedback for Human Control Over Robotic Systems (身体化に基づいた感覚フィードバックによるロボット操作)」は、拡張ロボット肢及び遠隔操作ロボットを人間が操作する際に、その身体化を促進するために必要とされる感覚フィードバックを増強するための手法を提案・立証したものである。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究における社会的背景と目的、提案アプローチについて述べている。本論文では、人間を中心としたロボットシステム、特に拡張ロボット肢とロボット遠隔操作において人の直感的操作を実現するために、ロボットの身体化を促進することに取り組んでいる。そして、身体化の促進に必要とされている自己位置感覚と力覚を増強するために、(1) 体性感覚フィードバック、及び(2) オノマトベによる仮想力覚フィードバックを提案しており、その効果検証の結果についてまとめている。

第2章では、本研究において使用したロボットプラットフォームについて述べている。本研究では拡張ロボット指(Extra Robotic Thumb)と遠隔操作システムを使用している。拡張ロボット指には、ロボット指とその制御インターフェース、触覚情報を提示する電気刺激装置を搭載している。また、遠隔操作システムでは、スレーブ側は1台のUniversal Robot (UR5e)で構成されており、マスター側は1台の力覚インターフェース(Omega 7, Force Dimension)によって操作者に力覚フィードバックを提供する。また、ステレオカメラ(Ovrvision Pro)によって視覚情報を取得し、画像をHead Mount DisplayまたはLCDスクリーンに表示することによって視覚フィードバックを提供することが可能である。

第3章では、操作者が体性感覚を使用して拡張ロボット指を操作した場合に、ロボット指の身体化への影響を評価することを試み、その結果、リーチングタスクにおいて被験者が視覚情報によってロボット指の位置を確認せずに体性感覚のみによって操作した場合、自己受容感覚ドリフトと操作性の増加が確認している。また、拡張ロボット指を用いた把持タスクにおいて、ロボット指使用前後の被験者の腕の軌道の変化を確認することで、身体表像の更新を示唆し、体性感覚による操作が拡張ロボット指の身体化を誘発していることを示している。

第4章では、拡張ロボット指の身体化の過程においての自己位置感覚を向上させるために主要なフィードバック要因を解明することを目的とし、手指からの体性感覚フィードバックが自己位置感覚の向上にとって重要な要因となる仮説を立て、検証している。実機実験では、3つの別々に与えられた感覚フィードバックの下で拡張ロボット指を操作し、リーチングタスクのパフォーマンスを比較している。体性感覚フィードバックとしては(1) 指先、及び(2) 顔からの触覚フィードバックを用意し、非体性感覚フィードバックとして(3) 音の高低差による聴覚フィードバックを用意し、実験結果から、指先からの体性感覚フィードバックが自己位置感覚の向上に大きく貢献していることを確認している。

第5章では、ロボット遠隔操作のためのオノマトベによる力覚フィードバックの増強について述べている。バイラテラル制御によるロボットの遠隔操作では、通信の遅延によって透明性が大幅に低下し、力覚フィードバックの質が低下することが報告されている。本論文のアプローチは、身体化の視点から出発し、オノマトベを視覚的に提示することによって、操作者が過去に経験した力覚を想起させ、システムの安定性を保つと同時に、低下した透明性の改善をすることである。オノマトベによる力覚フィードバックの有効性は、一定のラウンドトリップ時間遅延(0 ms, 500 ms, 及び1000 ms)の下で硬さ判断タスクを実行することによって評価している。その結果、被験者は従来の受動性に基づいた力逆送型バイラテラル制御と比較して、オノマトベを用いた力覚フィードバックを使用することによって、遠隔物の硬さをより正確に分類できることができ、オノマトベによる操作性の透明性の改善を確認している。

第6章では、実世界データ循環学リーダー養成プログラム(RWDC Program)と本研究との関連性について述べている。実世界データ循環は、データの取得、分析、および実装から構成され、本論文はその3つの部分をカバーしている。まず、実世界の問題を解決するためにロボットシステムを実装し、次に、実装されたロボットシステムを用いてデータを取得している。最後に、取得したデータを分析することによって将来的に人間によるロボットシステムの操作を改善するための提案をいっている。

第7章では、本論文の結論及び今後の課題について述べている。各章において提案している体性感覚フィードバックによる自己位置感覚の向上手法、及びオノマトベによる遠隔操作システムの透明性を改善する手法についてまとめ、実験を通じて得られた本手法の有効性と適用可能範囲について考察を行っており、将来の展望について述べている。

以上のように本論文では、ロボットを人間が操作する際の身体化を促進するために必要とされる感覚フィードバックを増強する手法を提案し、実験を通して提案手法の効果検証を行っている。これらの手法並びに得られた結果は、人によるロボットの直感的操作を実現し、ロボット技術による効果的な人間の作業支援、身体能力の拡張のために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である朱曜南君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。