

審査の結果の要旨

氏名 佐々木 智也

本論文は、「拡張身体部位を用いた人間機械系の研究」と題し、人間の身体機能を拡張するロボットシステムの設計論に関するものである。人間の身体機能を拡張する方法として、ロボットシステムで構築した新たな身体部位を身体に付加するアプローチが考えられる。これにより、人間の生得的な身体では難しい複数のものに同時に作用することができるようになる。このようなシステムでは、人間とロボットの接続方法やロボットの構造など、さまざまな設計要素を考える必要がある。本研究では、人間の身体部位の認知に関する要因と人間機械系を構成する要素に基づいて設計要素を明らかにし、人間の身体機能を拡張する拡張身体部位の設計指針について論じている。

本論文は、以下の全8章から構成されている。

第1章は序論であり、研究背景となる人間拡張と身体部位を付加するアプローチを紹介し、本論文の動機を述べている。提案する拡張身体部位の概要、人間機械系についての導入、および本論文の構成について述べている。

第2章では、提案する拡張身体部位の設計について述べている。人間の身体認知と人間機械系の研究領域を概観し、システム構築のための設計要素を整理している。人間の身体認知の観点では、人間の身体所有感や運動主体感の研究から身体部位の認知が成立する要因を挙げている。人間機械系の研究領域の観点からは、人間と機械の相互作用を物理的相互作用と情動的相互作用に分類してモデル化し、システムの要件を挙げている。これらを統合し、拡張身体部位の設計要素と指針を論じている。続く3～6章では、設計要素を個別に取り上げ、その課題を解決する提案およびプロトタイプを用いた実機検証を行なっている。

第3章では、情動的相互作用におけるロボットへの入力方法について検討している。複数の物体を扱う拡張身体部位は、使用者の手の動作を遮らない入力手法が好ましい。例えば、両手で作業をしながら、付加した身体部位を操作するとき、その入力に手以外を用いることで、両手と拡張身体部位で同時に作業することができる。そこで、上肢の冗長自由度に着目した入力手法を提案している。具体的には、肩の姿勢をウェアラブルカメラデバイスで認識し、操作の入力に使用

するシステムを構築した。実験では、手先が固定されている状態で肩による入力ができることを確認し、3つのロボットシステムの実装例を示している。

第4章では、情動的相互作用におけるロボットから人間へのフィードバックについて検討している。人間は、身体部位の自己位置を固有受容感覚と呼ばれる触覚で把握することができる。一方、一般的なロボット操作では、視覚情報が主に用いられており、触覚情報を用いる場合でも物体との接触時の力覚提示を扱うことが多い。そこで、ロボットの動きに応じて触覚フィードバックを行う手法を提案している。具体的には、ウェアラブル触覚デバイスを用いて、空間中のロボットの手先の動きに応じた刺激を提示する。実験では、視覚情報が制限されるタスクを設定し、触覚提示によって成功率が向上したことを確かめている。

第5章では、物理的相互作用における人間とロボットの接触について検討している。従来の人間機械系のひとつに装着型があるが、このようなシステムでは、ロボットに使用するアクチュエータの数や出力によって、性能と重量の間に技術的なトレードオフがある。ここでは、装着性を物理的な接触と座標の一致による拘束という要素に分けることで、トレードオフの解消を試みている。具体的には、人間の位置姿勢に追従する包囲型ロボットによって、非接触で座標が一致する状態を実現する。実験では、設定した軌道に沿って歩行している人間に対して、ロボットが十分に追従し、人間とロボットの座標が一致することを確認している。また、ロボットアームを搭載したシステムの実装例を示している。

第6章では、物理的相互作用におけるロボットの形状について検討している。人間の身体部位は、その部位構造によって多様な状況に適用できる。人工的な身体部位においても、形状による機能性の検討が重要である。そこで、人間の手の形状に着目したインタラクション設計を行う。具体的には5本指のロボットハンドと着脱機構を有したシステムを考え、このシステムの機能面の構成要素からデザインスペースを提案している。実装したシステムを用いることで、利用可能なアプリケーションを探索的に調査した。結果、人間の身体機能を拡張するアプリケーションに適用できるものの、他者とのコミュニケーションをアシストする用途などがより有望であることが示唆された。

第7章では、各章で個別に検討された設計要素を統合してシステムを構築するための設計論に向けた考察が行われ、第8章は、本論文の結論を示している。

本論文は、認知心理学やロボティクス、HCIといった研究分野を横断して、人間の身体の一部として能力を拡張する機械システムの実現を試みる挑戦的研究である。提案された拡張身体部位の設計要素は、プロトタイプを用いて検証されており、その適用可能性と今後の課題が議論されている。人間の身体機能を拡張する人間機械系の設計への貢献が大きいものと判断される。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。