

氏名	伊藤 孝浩		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博 甲 第 9408 号		
学位授与年月日	令和2年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	Reproducing Human Motion using Force Intervention by Humanoid Robot: Application to Evaluation of Wearable Assistive Device (力介入を利用する人間動作のヒューマノイドロボットによる再現：装着型支援機器評価への応用)		
主査	筑波大学 教授（連携大学院） （産業技術総合研究所）	博士（工学）	吉田 英一
副査	筑波大学 教授	博士（情報科学）	望山 洋
副査	筑波大学 准教授	博士（工学）	伊達 央
副査	筑波大学 教授（連携大学院） （産業技術総合研究所）	博士（工学）	金広 文男
副査	産業技術総合研究所 主任研究員	博士(情報理工学)	鮎澤 光

論文の要旨

本論文は、ヒューマノイドロボットの人型シミュレータとしての利用方法に注目し、人間の運動と力の再現を実現する手法の提案とその応用について述べている。先行研究でのロボットによる人間の運動軌道の再現に加え、運動中に外力の介入が生じる状況を考慮し、力関係も再現する手法を示している。装着型支援機器使用時の人間動作へ適用し、機器評価が可能であることを実験的に検証している。

第一章では、ヒューマノイドロボットによる人間動作再現手法と人体シミュレータとしての利用の必要性を述べ、従来研究における課題の検討および本論文で解決すべき内容を示している。

第二章では、装着型の腰部支援機器を例に人間の運動と力の関係に注目し、機器からの力介入を使用する際の人間動作の戦略に関する仮説を立て、実験により妥当性を確認している。

第三章では、ロボットにおいて外力が介入したことを検出し、外力の生じているリンクの推定を実現する手法の提案および実験による推定精度の考察を行っている。

第四章では、二章で述べた力介入を利用する動作戦略仮説に基づくヒューマノイドでの動作再現を実現するための制御器の開発を行い、動作再現が実現されることを実験により確認している。

第五章では、四章で提案した制御器の拡張を行うため、異なる動作戦略に基づく制御器を力と運動軌道の同一のベクトル空間で表現し、空間の重ね合わせを利用することで複数の動作戦略を含む制御器を構築している。

第六章では、五章で提案した制御手法を用いてヒューマノイドにより装着型支援機器使用時の人間動作を再現し、機器の支援効果を支援トルクとして定量的に評価できることを示している。第七章では、本論文のまとめおよび結論を述べている。

審 査 の 要 旨

【批評】

本論文は、力介入を伴う人間動作のヒューマノイドロボットによる再現について、人動作に関する仮説の検証とそのロボットによる制御手法の構築を行い、さらに実際の装着型支援機器の評価に適用しており、理論構築から応用までカバーしている点で評価できる。

本論文では、まず人間が発生する力と重力・外部からの介入力を分離し、そのうえで重量物持ち上げ時に発生力を最小化する人間動作戦略の仮説をロボット再現により検証するという難しい課題に取り組んでいる。介入する力と重力の違いに注意し、人間と異なる身体性を持つヒューマノイドによる動作再現により動作戦略の仮説を検証したことは、有用な研究成果として評価できる。さらに、逆最適制御などの手法を導入することにより、他の関節トルクや評価項目を含めた一般的な評価指標に基づく人間動作理解・再現に、提案手法を拡張することが期待される。接触位置や介入力の推定手法についても、複雑な環境や人間とロボットとのインタラクションへの適用など、今後の新たな展開が考えられる。

ベクトル場に基づく人間動作再現という一般性の高い独自の手法の導入により、本論文で中心に取り扱った持ち上げ動作だけでなく、歩行動作などにも適用することが期待される。モデル予測制御あるいは他者モデルなどを併せて導入することで、将来の動作予測に基づいて、自ら能動的に人間に働きかけるロボットの知的なインタラクションへの進展が考えられる。

これまで、主著として国際論文誌2報、査読付き国際会議発表論文3報（うち1報は最優秀論文に選出）が採択されており、対外的にも独創的な成果として認知されている。力介入を伴う人間動作のヒューマノイドロボットによる再現に必要なセンシング・制御手法の構築を行い、また装着型腰部支援機器の評価への応用まで行っており、総合的に論文の目標は達成されていると評価する。

【最終試験の結果】

令和2年2月7日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。