

審査の結果の要旨

氏名 喜 楽 楽

本論文「Shared Control of an Electric Wheelchair Considering Physical Functions and Driving Motivation (身体機能と操縦意欲を考慮した電動車いすの協調制御)」は、本論 7 章から構成され、ユーザの身体機能、操縦意欲といった曖昧な特徴量を環境に対して適応する自己調整能力として捉え、ある走行環境に対して操作する状態量の変化に注目した。それらのデータを用いた強化学習を行うことにより、ユーザの権限移譲の適度を調整し、安全に電動車いす操作が可能な協調制御システムを構築し、検証実験により得た結果から、その妥当性が纏められている。

第 1 章「序論」では、本研究の背景および目的について述べられている。

第 2 章[協調制御で目指す要件と制約条件]では、電動車いすの協調制御システムに関する先行研究を紹介し、それらの対象と機能が整理され、本論文で取り扱う対象ユーザの特性とその特性に基づいた走行環境が設定された。その上で、本論文で取り扱う「安全性」、「物理的機能」、「操縦意欲」等を定義することにより、目指すべき電動車いすの協調制御のシステム要件と制約条件が説明されている。

第 3 章[身体機能と操縦意欲を考慮した協調制御システム]では、第 2 章で設定した対象ユーザの特性とシステム要件を達成する協調制御システムの設計について述べられている。具体的には、まず本研究で使用した電動車いすの運動特性を整理し、対象ユーザの特性、設計要件を達成する協調制御システムの機能とその構造を提案し、最後にそのフレームワークが整理されている。

第 4 章[強化学習を用いた協調制御システム]では、走行環境に適応する自己調整能力をユーザの身体機能と操縦意欲からなる特徴として捉え、それらのデータに基づく強化学習を用いた協調制御システムを構築している。具体的には、まず、強化学習の基本的な特性、構造が整理され、次にユーザの権限移譲の適度をシステムが調整し、安全に電動車いす操作が可能な報酬設計、状態設計、アルゴリズム設計が行われた。その特徴としては、ユーザの権限移譲を算出する報酬設計において、対象への接近、左折時の電動車いす操作時の行動から、到達点までの位置、速度の変化、ユーザの参加度合、安全性からなる報酬が設定されていることである。

第5章[協調制御システムの設計パラメーターとその有効性評価]では、提案した協調制御システムの設計パラメーターを変化した際の特性とその有効性が評価されている。ユーザ特性として、先行研究を参考に数理モデルを設定し、操作不足と過剰操作の特性を表現することにより、ユーザの権限移譲の適度と安全性を評価している。その結果、協調制御システムは、ユーザの操作行動に対して、前後方向と回転方向のどちらかの権限を移譲する特性があり、学習回数を繰り返すことにより、権限の移譲度合いが収束し、速度変化が少なく滑らかな走行が実現できることを示している。

第6章[ユーザとシステム間の相互作用とその特性]では、ユーザとシステム間の相互作用の特性を把握することにより、相互作用として働くそれらの性質と学習効果を評価し、ユーザタイプと本システムの適用範囲を明確にしている。具体的には、電動車いす操作時の走行環境を人間-システム系としたVRシステムを構築し、協調制御システムの特性、ユーザへの操縦意欲を変化させることにより、ユーザとシステムの相互作用の特性を評価している。その結果、ユーザタイプとしては、積極的に操作行動を行うタイプとシステム依存するタイプが存在し、ユーザタイプとシステム間の相互作用においてその特性は異なるものの、ユーザの操縦意欲をシステムが理解し、ユーザに対する権限移譲の適度を調整しながら、安全に操作が可能な協調制御システムの妥当性が確認され、本システムの機能限界を述べた上で、更に身体機能に基づく操縦意欲を向上させるための機能について考察されている。

第7章[結論]では、本論文の結論と今後の展望について述べられている。

以上より、本研究ではユーザの身体機能、操縦意欲といった曖昧な特徴量を環境に対して適応する自己調整能力として捉え、ある走行環境に対して操縦する状態量の変化に注目し、それらのデータを用いた強化学習を行うことにより、ユーザの権限移譲の適度を各ユーザに対して調整可能となり、効果的なユーザの特徴を明確にした。また、得られた知見より、提案した協調制御システムを用いることにより、ユーザの操縦意欲を把握しながら、安全に電動車いす操作が可能な協調制御システムが実現可能であることを示し、学術的な価値はもちろんのこと、実用的にも大変有用なものである。

したがって、本論文は博士（環境学）の学位論文として合格と認められる。

以上1908字