

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Passivity-Short-Based Motion Coordination for Human-Robotic Swarm: Design and Analysis
著者(和文)	Atman Made Widhi Surya
Author(English)	Made Widhi Surya Atman
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11425号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤田 政之,三平 満司,井村 順一,早川 朋久,山北 昌毅,畑中 健志
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11425号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		Made Widhi Surya Atman	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	藤田 政之		教授	審査員	早川 朋久	准教授
	審査員	三平 満司		教授		畑中 健志	特定准教授
		井村 順一		教授			
		山北 昌毅		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Passivity-Short-Based Motion Coordination for Human-Robotic Swarm: Design and Analysis」と題し、全6章から構成されている。

第1章「Introduction」では、本研究の背景についてまとめ、動機と目的について述べている。まず、マルチロボットシステムの重要性和期待される応用先について紹介している。つぎに、マルチロボットシステムと人間オペレータを統合した制御システムの価値と課題について論じている。最後に、本論文が提案する劣受動性（Passivity-Short）に基づく人間-マルチロボットシステムの制御系設計および解析について述べている。

第2章「Problem Settings and Foundations」では、本論文の問題設定と、人間-マルチロボットシステムの制御系設計に向けた協調制御の基礎知識をまとめている。まず、人間-マルチロボットシステムの2つの制御目的が述べられている。1つ目は人間オペレータが所望する位置にすべてのロボットの位置を同期させる位置同期、2つ目は所望する速度にすべてのロボットの速度を同期させる速度同期であり、両者を定式化している。つぎに、受動性と劣受動性を導入し、受動的なシステム同士の相互接続システムおよび劣受動的なシステム同士の相互接続システムのそれぞれに関する既存結果を紹介している。また、先行研究において、受動的なマルチロボットシステムと受動的に振る舞うと仮定した人間オペレータの相互接続により、運動同期の達成が理論的に保証されていることを述べている。最後に、受動性に基づく人間-マルチロボットシステムの制御系設計における問題点を挙げ、本論文の動機について論じている。

第3章「Passivity-Short Interconnection of Human-Robotic Swarm」では、劣受動的な人間オペレータとマルチロボットが運動同期を達成するための制御系設計について考察している。まず、仮想的なマスターロボットを導入し、ゲインにより重み付けしたマスターロボットとマルチロボットの位置の和を、人間オペレータに与える視覚情報と設定している。つぎに、劣受動的なシステム同士の正のフィードバック結合が安定性を保証する事実に基づき、マルチロボットの協調制御則を提案している。さらに、人間オペレータとマスターロボットの併合システムが劣受動性を満たす場合に、安定な相互作用を達成するゲイン条件を導出し、位置同期が達成されることを証明している。また、人間オペレータに与える情報を、マスターロボットの速度とマルチロボットの平均速度から構成される視覚情報に切り替えることで、マルチロボット側の制御則を変更せずに速度同期が達成されることを示している。最後に、提案された制御系により、位置同期と速度同期がそれぞれ達成されることをシミュレーションと実験により検証している。

第4章「Analysis of Passivity-Short Human Operator」では、第3章で提案された人間-マルチロボットシステムに対して、ゲイン設定がシステムに与える影響を検証している。まず、人間オペレータをゲイン交差モデルでモデル化した場合に、ゲインの値が人間オペレータの劣受動性に与える影響をシミュレーションによって確認している。つぎに、実際の人間に仮想ロボットを操作させるシミュレータを構築し、複数の被験者から得た時系列データをもとにゲインの影響を調査している。具体的には、システム同定手法を用いることで時系列データから人間オペレータの周波数モデルを求めている。結果として、本章で与えたゲイン設定に対しては、すべての被験者が劣受動性を満たすことを示している。また、アンケートを実施することで、被験者が操作時に感じる負荷についても検証している。検証結果より、操作者の負担を増加させるゲインの設定について明らかにしている。

第5章「Further Developments of Passivity-Short-Based Architecture」では、第3章で提案された制御系と類似の制御系を提案し、その差異を検証している。まず、人間オペレータに与える視覚情報の構成を変更した制御系を提案している。つぎに、本章の制御系が、第3章の制御系が要求するゲイン条件を緩和することを示している。また、シミュレーションにより、第3章で提案された制御系と本章で提案された制御系との違いについて検証している。検証結果より、本章で提案された制御系ではゲインの条件が緩和される一方、人間オペレータに与える情報がマルチロボットの情報を適切に反映しないことを指摘している。最後に、第4章で構築されたシミュレータ上で、第3章で提案された制御系と本章で提案された制御系を比較する被験者実験を行い、視覚情報の差がシステムに与える影響について検証している。

第6章「Conclusions」では、本論文の主要結果をまとめ、本研究の今後の発展方向が議論されている。

以上を要するに、本論文は、人間オペレータとマルチロボットシステムが相互接続されたシステムに関して、劣受動性に基づいて協調制御系を提案し、制御系の有効性をシミュレーションおよび実験により示したことに加え、被験者実験により理論の妥当性を検証しており、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。