

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	受動性に基づくロボット制御と分散最適化の構造的類似性に関する研究
Title(English)	On Architectural Analogy between Passivity-based Robot Control and Distributed Optimization
著者(和文)	宮野 竜也
Author(English)	Tatsuya Miyano
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12360号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:畑中 健志,三平 満司,山北 昌毅,早川 朋久,石崎 孝幸,藤田 政之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12360号, Conferred date:2023/3/26, 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		宮野 竜也	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	畑中 健志	准教授	審査員	石崎 孝幸	准教授	
	審査員	三平 満司	教授		藤田 政之	教授(東大)	
		山北 昌毅	准教授				
		早川 朋久	准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「On Architectural Analogy between Passivity-based Robot Control and Distributed Optimization」と題し、全6章から構成されている。

第1章「Introduction」では、本論文の研究背景、動機および目的について述べている。まず、物理空間で発展してきたロボット制御と仮想空間で発展してきた分散最適化を受動性の視点から並列に解析し、相互に補完し合うことで、ロボット制御と分散最適化の両分野に対して新たな手法を提案することが本論文の主題であることを示している。つぎに、協調搬送問題、代表的な分散最適化手法である交互方向乗数法、および通信遅延下での分散最適化に関する既存研究を紹介し、それらの課題について述べている。最後に、ロボット制御と分散最適化の各分野に対する本論文の貢献を示している。

第2章「Foundations: Convexity, Stability of Dynamical Systems, Passivity and Scattering Transformation」では、本論文で使用する数学的概念と基盤理論を説明している。はじめに、凸関数の定義と諸性質を与えている。つぎに、動的システムの安定性および受動性を定義し、安定性を示すための基盤理論を導入するとともに、安定性解析において受動性が重要な役割を果たすことを示している。さらに、受動性に基づく通信遅延ロバスト化手法である散乱変換を紹介している。

第3章「Primal-dual Dynamics for Collective Unknown Object Transport」では、未知の物体を複数のロボットで搬送する問題を考えている。はじめに、各ロボットはエージェントとして物体に力を加え、物体はそのダイナミクスによりコーディネータの役割を担い、局所的な速度情報を各ロボットにフィードバックするという協調搬送システムならではの構造を明らかにしている。つぎに、本協調搬送システムと分散最適化アルゴリズムの一種である主双対ダイナミクスの構造的類似性を明らかにしている。この構造的類似性の恩恵として、ロボット同士の通信を一切必要としない完全に分散化されたPI (Proportional-Integral) 制御器を提案している。また、受動性に基づき、提案アルゴリズムの局所的な収束性を証明している。最後に、数値シミュレーションおよびロボット実験により、提案制御則の有効性を示している。

第4章「Continuous-time ADMM」では、コーディネータとエージェントによって分散的に求解される分散最適化問題を考えている。はじめに、交互方向乗数法に基づき対象問題を再定式化している。つぎに、交互方向乗数法の動的システムとしての性質を明確にするため、連続時間交互方向乗数法を提案している。また、アルゴリズム内の各サブシステムの受動性を明らかにしている。さらに、連続時間交互方向乗数法は、不等式制約条件に起因する切り替えを含むハイブリッドシステムであることを示している。そこで、連続時間システムに対して用いられるラ・サールの不変原理に代わり、カラテオドリシステムの不変原理を用いて最適解への収束性を証明している。最後に、把持力最適化問題および複数ロボットによるターゲット割当問題に対して、提案アルゴリズムの有効性を数値シミュレーションにより検証している。

第5章「Passivity-based Robustification against Delays」では、第3章および第4章で扱った最適化問題において、通信遅延が発生する状況を考えている。はじめに、協調搬送システム全体の受動性に着目し、受動性に基づく通信遅延のロバスト化手法である散乱変換を導入することで、新たな分散制御アルゴリズムを提案している。つぎに、通信遅延下における、提案アルゴリズムの最適解への局所的な収束性を証明している。また、連続時間交互方向乗数法と双方向遠隔ロボット制御の構造的類似性を示し、散乱変換に基づく連続時間交互方向乗数法の再設計を提案している。さらに、再設計したアルゴリズムが通信遅延下で最適解へ収束することを証明している。最後に、協調搬送問題および把持力最適化問題に提案手法を適用し、理論結果の妥当性を数値シミュレーションにより確認している。

第6章「Conclusion」では、本論文の研究成果についてまとめ、今後の研究の方向性について議論している。

以上を要するに、本論文は、ロボット制御と分散最適化を受動性に基づき相互補完することで、各分野において新たな手法を提案したものであり、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。

(1991文字)

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。