

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	分散最適化と集団ダイナミクスのための受動性に基づく解析および設計に関する研究
Title(English)	Passivity-based Analysis and Design for Distributed Optimization and Population Dynamics
著者(和文)	山下駿野
Author(English)	Shunya Yamashita
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11745号, 授与年月日:2022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,倉林 大輔,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11745号, Conferred date:2022/3/26, 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	山下 駿野	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	畑中 健志	准教授	石崎 孝幸	准教授
	審査員	三平 満司	教授	藤田 政之	特定教授
		倉林 大輔	教授		
		早川 朋久	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Passivity-based Analysis and Design for Distributed Optimization and Population Dynamics」と題し、全7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、サイバーフィジカルソーシャルシステムの構成要素である、サイバー空間での分散最適化と人間社会における集団意思決定プロセスが本論文の主題であることを示している。つぎに、最適化アルゴリズムの収束性、通信遅延下での分散最適化、限定合理性と集団ダイナミクスに関する既存研究を紹介し、受動性に基づく解析および設計の利点と課題について述べている。最後に、分散最適化と集団ダイナミクスの各研究分野に対する本論文の貢献を示している。

第2章「Preliminaries: Convexity, Passivity and Foundation of Population Dynamics」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、凸関数の定義と性質を示している。つぎに、動的システムの受動性を定義し、受動システムの重要な性質を紹介している。また、受動性に基づく協調制御の例として双方向テレオペレーションと出力同期制御を挙げ、特に通信遅延の受動化技術である散乱変換と、それに基づく両者のロバスト化法を紹介している。最後に、人間集団の合理性を仮定した集団ダイナミクスとして、ロジックダイナミクスを導入し、受動性との関係を述べている。

第3章「Passivity-based Generalization of Primal-dual Dynamics」では、凸最適化問題の連続時間解法である主双対ダイナミクスを、受動性に基づき一般化している。はじめに、凸最適化問題の目的関数が狭義凸関数ではないとき、主双対ダイナミクスは最適解への漸近収束性を保証しないことを例証している。また、例題を通して、アルゴリズム内の伝達関数に安定ゼロ点を供給することで最適解への収束が保証されるという仮説を立てている。つぎに、安定ゼロ点の供給を許容する一般化主双対ダイナミクスを受動性に基づいて提案し、上の仮説が正しいことを理論的に証明している。さらに、提案法が拡張ラグランジュ法の一般化であることに言及し、設計自由度の点で提案法の優位性を示している。最後に、照明最適制御問題に提案法を適用し、理論結果の妥当性と提案法の有効性をシミュレーションによって検証している。

第4章「Distributed Optimization Inspired by ADMM」では、コーディネータとエージェントが情報を分散的に管理する分散凸最適化問題を対象とし、通信遅延がある状況での分散最適化アルゴリズムを提案している。はじめに、代表的な分散最適化手法である ADMM (Alternating Direction Method of Multipliers) をもとに、連続時間 ADMM を提案し、通信遅延がない場合の最適解への収束性を受動性に基づいて証明している。つぎに、コーディネータとエージェント間の通信に遅延がある状況においては、アルゴリズムが不安定化する可能性があることを指摘している。本課題を解決するために、連続時間 ADMM と双方向テレオペレーションの構造的類似性を示した上で、散乱変換を適用した通信遅延に対してロバストなアルゴリズムを提案している。さらに、提案法が通信遅延下で最適解への収束性を保証することを理論的に証明している。最後に、対象割り当て問題に提案法を適用し、理論結果の妥当性をシミュレーションによって検証している。

第5章「Consensus-based Distributed Optimization」では、エージェントのみから構成されるネットワーク上での分散凸最適化問題を対象とし、エージェント間通信に遅延が存在する状況での分散最適化アルゴリズムを提案している。はじめに、合意制約を有する分散凸最適化問題を定式化し、第3章の一般化主双対ダイナミクスをもとに分散アルゴリズムを構築している。また、通信遅延がない状況での最適解への収束性を受動性に基づいて証明している。つぎに、エージェント間通信に遅延が存在する状況ではアルゴリズムが不安定化するという課題を指摘している。本課題に対して、一般化主双対ダイナミクスにおけるエージェントのダイナミクスと出力同期制御のそれが構造的類似性を有することを示し、散乱変換に基づく分散アルゴリズム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不均一な通信遅延下で最適解の求解を保証することを理論的に証明している。最後に、提案法を第4章と同様の対象割り当て問題に適用し、理論結果の妥当性をシミュレーションによって確認している。

第6章「Passivity Analysis and Design for Biased Population Dynamics」では、同調バイアスを有する集団ダイナミクスの解析と、それに対する行動変容メカニズムの設計に取り組んでいる。はじめに、同調バイアスを表現する2種類の数理モデルを導入し、これらをロジックダイナミクスに適用した集団ダイナミクスを提案している。つぎに、提案した集団ダイナミクスの受動性を解析し、同調バイアスが集団意思決定の受動性を崩すことを明らかにしている。さらに、同調バイアスをもつ集団に対する行動変容メカニズムを受動性に基づいて設計し、その安定性を保証するためのパラメータ条件を理論的に示している。

第7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、分散最適化アルゴリズムとバイアスを有する集団ダイナミクスを、動的システムの受動性に基づいて解析し、それぞれに対する設計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。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。