

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第8条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

フリガナ 氏名 (姓、名)	ジア ユアンユアン JIA Yuanyuan	授与番号 甲 1588 号
学位の種類	博士 (工学)	授与年月日 2022 年 3 月 31 日
学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項該当者 [学位規則第 4 条第 1 項]	
博士論文の題名	A Bayes Estimation Based Control Method for Snake Robots (へビ型ロボットのためのベイズ推定に基づく制御方法)	
審査委員	(主査) 馬 書根 (立命館大学理工学部教授)	宮野 尚哉 (立命館大学理工学部教授)
	徳田 功 (立命館大学理工学部教授)	
論文内容の要旨	<p>へビ型ロボットは複雑環境下において応用できる可能性を秘めていながら、超冗長構造、超自由度、オクルージョン、環境の複雑性などの理由により、そのロバストかつ効率的な制御は未だ困難な課題であった。そこで本研究では、これらの問題の解決方法を検討し、具体的に 5 つの方法を提案した。また、この方法をシミュレーションと実機実験によって検証し、非構造的なシナリオでへビ型ロボットの実時間ロバスト運動を実現した。</p> <p>本論文は 9 章から構成されている。第 1 章では、問題提起、研究課題と本論文の構成を述べ、第 2 章では、提案方法検証用のシミュレーションプラットフォームと実機ロボットについて説明した。第 3 章では、不確定情報を取り扱う集中型ベイズ制御法について説明した。この方法では、形状に基づくコンプライアンス制御を拡張し、複雑環境下でのロバストなへビ型ロボット制御を実現した。第 4 章では、ロボットモジュールと障害物間の相互作用に関する動的非干渉ベイズモデルを述べた。本モデルでは、複雑な全結合相互作用解析を用いずに、刺激関数の観点から相互作用をモデル化することでベイズ制御法の枠組みを拡張した。第 5 章では、複数のロボットモジュールが周囲の複雑な環境との相互作用を行う際の完全な分散型フレームワークを導入した。モジュール間の尤度とモジュールベースの仮想外力確率密度によってモジュール間および環境との相互作用をモデル化した。第 6 章では、へビ型ロボットのための集中型コーチに基づくベイズ制御方法を説明した。本手法では、確率密度伝播解析を制御系の設計に直接適用せず、強化学習の訓練プロセスの高速化に適用した。第 7 章では、分散ベイズ制御をコーチとしてへビ型ロボットの強化学習の訓練プロセスへ用いた。集中的なフレームワークと比較して、並列コンピューティングの利用ができ、訓練速度を速めることができた。第 8 章では、構造の特徴、複雑性の分析、パフォーマンスの比較などを行い、各方法の長所と短所を明らかにした。第 9 章は本研究で得られた結論を述べるとともに、今後の研究課題を述べた。</p>	

論文審査の結果の要旨

本研究の目的は、ヘビ型ロボットのモジュール間やロボットと環境の間に働く相互作用のモデル化、モジュールと観測データの対応関係の確立、および計算量の削減による実時間制御の実現である。本論文は以下の成果を挙げた。

- 形状に基づくコンプライアンス制御を拡張し、複雑環境下でのロバストなヘビ型ロボット制御を実現した集中型ベイズ制御法を提案したこと
- 複雑な全結合相互作用解析を応用せず、困難な同一データの関連付けを避けながら刺激関数の観点から相互作用をモデル化することで、ベイズ制御の枠組みを拡張したロボットモジュールと障害物間の相互作用に関する動的非干渉ベイズモデルを導出したこと
- モジュール間の尤度とモジュールベースの仮想外力確率密度によってモジュール間および環境との相互作用をモデル化し、ロボットモジュールが周囲の複雑な環境と相互作用を行う際の完全な分散型フレームワークを提案したこと
- 確率密度伝播解析を制御系設計に直接適用せず、強化学習の訓練プロセスの高速化に応用した集中型コーチに基づくベイズ制御方法を導入したこと
- 分散ベイズ制御をコーチとしてヘビ型ロボットの強化学習の訓練プロセスに応用し、訓練速度を速めたこと
- 構造の特徴、複雑性の分析、パフォーマンスなどを調査研究し、集中型フレームワークがロボットのようなリンク数が限られた小型システムに適している一方、非結合型と分散型構造はより多くのリンクを持つ複雑なヘビ型ロボットに向いていることを明らかにしたこと
- コーチベースのアプローチが他のフレームワークにも応用できることを活かして、強化学習と確率的ベイズ制御を統合した新しい試みを導入したこと

以上の通り、公聴会での口頭試問結果および論文審査を踏まえ、審査委員会は本論文が本研究科の博士学位論文審査基準を満たしており、博士学位を授与するに相応しい水準に達しているという判断で一致した。

試験または学力確認の結果の要旨

本論文の公聴会は、2022年1月24日(月)14時10分～15時15分、ビデオ会議システム(Zoom)を用いた Web 公聴会において行われた。公聴会では、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、ベイズ推論をヘビ型ロボット制御に導入した動機、形状制御と実の制御信号との関係、動的な環境の適用性などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。審査委員会は、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。

以上の諸点を総合し、審査委員会は、学位申請者に対し、本学学位規程第18条第1項に基づいて、「博士(工学 立命館大学)」の学位を授与することが適当であると判断する。