

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	最適化に基づくロバスト制御器の構築とヒト型ロボットの歩行制御への応用
Title(English)	Optimization Based Robust Controller Design and Application to Bipedal Robot Control
著者(和文)	高野凜
Author(English)	Rin Takano
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11422号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山北 昌毅,藤田 政之,三平 満司,井村 順一,早川 朋久
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11422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

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	高野 凛	
論文審査 審査員		氏名	職名		
	主査	山北昌毅	准教授	早川朋久	准教授
	審査員	藤田政之	教授		
		三平満司	教授		
井村順一		教授			

論文審査の要旨 (2000字程度)

本論文は「最適化に基づくロボスト制御器の構築とヒト型ロボットの歩行制御への応用」と題し、全6章よりなっている。

第1章「序論」では、数値最適化を用いた制約条件を満たす制御系設計手法に関する先行研究の比較を行いつつ、本論文における研究背景について述べている。その上で、本論文の目的が不確定性を有するシステムに対して、数値最適化を用いた制約条件を満たす制御系の設計手法を提案し、人型ロボットの歩行制御へ適用することでその有効性を検証することであると述べている。

第2章「準備」では、最初に、本論文で利用するシステムに関するいくつかの定義の導入を行っている。次に以降の章において数値最適化に基づく制御器構築の基礎となる CLF-CBF-QP (Control Lyapunov Function and Control Barrier Function based Quadratic Programming) 制御器について説明するとともに、数値最適化を解くために利用可能なソルバをいくつか紹介している。最後に本論文において外乱の確率モデルをデータから同定するための手法として利用するガウス過程回帰について説明している。

第3章「マッチング外乱を受けるシステムに対する最適化ベースドロバスト制御」では、外乱を確率変数として推定する手法に基づいた最適化ベースドロバスト制御器を提案している。最初に2章で説明した CLF 制約および CBF 制約を拡張し、ガウス過程回帰によって同定される外乱モデルを利用した連続時間ロボスト CLF-CBF-QP 制御器を提案している。また、観測信号としてシステムの状態に関する情報が一部しか得られない場合を考慮し、確率的な状態推定手法の一つである Unscented Kalman Filter (UKF) による状態・外乱推定を用いたロボスト CLF-CBF-QP 制御器を提案している。最後に Agrawal らによって提案された離散時間システムにおける ECBF (Exponential CBF) の概念をより一般化し、同様の考え方に基づいた離散時間システムにおけるロボスト ECBF-NLP (Nonlinear Programming) 制御器を提案している。提案した制御器の有効性については数値シミュレーションによって検証している。

第4章「ミスマッチング外乱を受けるシステムに対する最適化ベースドロバスト制御」では、3章で提案したロボスト CLF-CBF-QP 制御器を拡張することによって、ミスマッチング外乱の影響を受ける連続時間システムに対して外乱の影響を考慮したロボスト CLF-CBF-QP を提案している。3章で提案したロボスト CLF-CBF-QP の構造を反映し、ミスマッチング外乱の影響を考慮した CLF 制約および CBF 制約を導出した上で、外乱の確率モデルに基づくロボスト CLF-CBF-QP 制御器を提案している。3章で提案している連続時間ロボスト CLF-CBF-QP 制御器は入力アフィンシステムを対象としていたが、本章で提案する制御器はあるクラスの非入力アフィンシステムに対しても適用可能であることが特徴であるとしている。提案した制御器の有効性は数値シミュレーションによって検証している。

第5章「最適化ベースド制御器を用いたヒト型ロボットの歩行制御」では、3章、4章で提案した最適化ベースドロバスト制御器の一つの適用例として、劣駆動性を有するヒト型ロボットの歩行制御問題を考えている。劣駆動性を有するロボットシステムが外乱の影響を受ける場合には、外乱の下でゼ

ロダイナミクスが安定となるような出力関数の設計と設計された出力関数のロバストな零化制御の両方を考える必要がある。本章ではガウス過程回帰によって同定される外乱モデルを利用した出力関数設計・零化制御手法を提案している。また、ハイブリッドゼロダイナミクスに基づく歩行制御手法をベースとし、外乱の下でゼロダイナミクスの安定性を保証しつつ周期歩行を実現するための出力関数設計手法を提案している。その後、歩行を実現する上で満たすべき種々の制約条件と設計された出力関数の零化制御の両方を考慮するための最適化ベースドロバスト制御器を提案している。提案した手法の有効性は数値シミュレーションにより検証している。

第6章「結論」では、本研究で得られた成果の総括を行うと共に、今後の研究課題について述べている。

以上を要するに、本論文は、不確定性を有するシステムに対して制約条件を正確に満たす数値最適化をベースとした制御器を提案し、ヒト型ロボットの歩行制御に適用することでその有効性を示したもので、工学上・工業上寄与するところ大である。よって本論文は、博士（工学）論文として十分価値あるものと認められる。

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。