



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A Study on Noise-Based Global Asymptotic Stabilization and Optimization Method [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	星野, 健太
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第11317号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55733
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Kenta_Hoshino_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学)

氏名 星野 健太

審査担当者 主 査 教 授 山下 裕

副 査 教 授 五十嵐 一

副 査 教 授 金井 理

学位論文題名

A Study on Noise-Based Global Asymptotic Stabilization and Optimization Method

(ノイズを用いた大域的漸近安定化・最適化に関する研究)

一般にノイズは外乱として扱われ、所望の働きを妨げるものとして扱われるが、逆に、ノイズを利用することにより性能を向上させることが可能となることがある。本論文では、制御理論における大域的漸近安定化問題と最適化問題について、ノイズを利用することによって所望の働きを実現する手法について研究を行っている。大域的漸近安定化問題は、制御理論の研究において基礎的な問題である。しかしながら、非線形動的システムの中には連続状態フィードバック制御則によって安定化することが不可能なシステムが存在することが知られている。そのようなシステムを安定化するための手法としてノイズを連続状態フィードバック制御則に導入する手法が研究されている。しかし、一般に動的システムにホワイトノイズを印加する場合 Stratonovich 型確率微分方程式になるが、従来提案では Ito 型確率微分方程式として扱っていたのが問題となっていた。そこで、本研究では、確率制御 Lyapunov 関数を用いて制御則を構成的に設計する手法を提案している。また、最適化問題については、近年研究が行われている Extremum Seeking 手法に関する研究を行っている。Extremum Seeking 手法では目的関数の勾配を近似するために系にディザ信号を印加し、その勾配を用いて推定変数を更新し、最適解の推定値を得る。近年、多変数の最適化問題への適用を目的とし、確率的ディザ信号を用いる確率的 Extremum Seeking が研究されている。Extremum Seeking の従来の手法では、ディザ信号の影響によって、最適解の推定にいつまでも誤差が残ってしまうということが問題となる。本研究では、ディザ信号にウィーナー過程を用いる手法を提案し、確率 Lyapunov 安定論に基づいて推定変数の更新機構を構築することにより、推定変数の最適解への収束を可能にする手法を実現している。

本論文の各章の内容は以下のとおりである。第一章では、本研究の背景と目的を述べ、第二章では本論文で必要となる数学的知識について、確率システムを扱うための確率過程等の基礎知識をまとめている。第三章では確率的フィードバック制御則による安定化手法とその制御則の設計法を示している。そこでは、大域的漸近安定化と制御則の設計の問題設定を述べ、その後、確率的フィードバック制御則設計のための確率制御 Lyapunov 関数を定義している。そして、確率制御 Lyapunov 関数を用いた制御則の設計手法を示し、得られる制御則が制御対象を大域的漸近安定化することの証明を与えている。また、提案制御則が Sontag 型制御則の拡張となっていることから、制御則が逆最適性を満たすことを示し、安定余裕を持つことを示している。さらに、数値例として、非ホロノミックシステムと非ユークリッドシステムに対し、提案手法によって確率的フィードバック制御則を設計し、大域的漸近安定化を行っている。

第四章では、確率的フィードバック制御則による漸近安定化の際の収束性能の改善への応用が期待される、確率同次システムの安定性について理論的な考察を行っている。ここでは、初めにシステムの同次性を説明し、確定同次システムの拡張として、確率同次システムを定義している。そして、同次システムの安定性について、漸近安定な同次システムの同次次数とその収束の速さの関係を明らかにし、システムが持つ同次次数に応じて有限時間安定性などの安定性が保証されることを示している。また、確率同次制御システムについて、システムが持つ同次性を保存する同次フィードバック制御則を示し、同次次数に応じて収束の速さが保証されることを示している。

第五章では、確率的 Extremum Seeking 手法について、推定変数の最適解への収束を可能とする手法を示している。本章では、はじめに確率的 Extremum Seeking 手法の必要性を述べ、本研究における目的として最適解の収束の必要性を述べた後、最適化問題の問題設定を示している。そして、Wiener 過程を目的関数の勾配の近似のために利用することが可能であることを説明している。その後、ハイパスフィルタのパラメータを状態依存のものにすることにより、推定変数の最適解への収束を可能にする手法を示している。そして、確率 Lyapunov 安定論に基づいて推定変数の収束を示している。

第六章では結言として、上記の各章の結果の要点をまとめ、得られた結論を述べている。

これを要するに、著者は、ノイズを積極的に利用し連続時不変フィードバックで漸近安定化不可能なシステムを安定化する制御則を導き、さらに確率微分方程式に基づき確率 1 で収束するノイズをディザ信号とするオンライン最適化機構を提案した。これらの結果は、制御工学分野およびその応用分野に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。