

氏名	大住晃 おおすみ あきら
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第887号
学位授与の日付	昭和51年5月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	<b>State Estimation and Control for Nonlinear Stochastic Systems</b> (非線形確率システムに対する状態推定および制御)

論文調査委員 (主査) 教授 榎木義一 教授 得丸英勝 教授 三根久

### 論文内容の要旨

本論文は、非線形確率システムに対する状態推定および最適制御問題について、著者が行った研究をまとめたものであり、2部15章からなっている。

第1部は、集中定数システムの数学的モデルを伊藤型確率微分方程式によって表現することから出発している。一方第2部においては、システムの状態が時間と場所に依存して変化するような、たとえば環境システムなどを対象とし、確率偏微分方程式によってモデル化される分布定数システムを考察している。

第1部は、以下に述べる8章からなっている。

第1章は序論であって、従来までのこの方面の研究についての歴史的発展について系統的な紹介を行い、解決すべき問題を指摘するとともに、第1部でとり扱うべき問題の概要と構成について述べている。

第2章は、第1部における理論展開に必要な数学的準備を与え、さらにシステムの数学的モデルを伊藤型および Stratonovich 型の確率微分方程式によって確立するとともに、これら二種類の数学モデルの相違点について理論的根拠にもとづく解説を行い、同時にこの相違が後章の研究の進展に重要な役割を果たすものであることを示唆したものである。

第3章においては、まず後章すなわち第5および第6章において重要な役割を果たすマルコフ等価線形化法について、その手法の骨子が解説され、つぎにその誤差評価ならびにマルコフ等価線形化法と、従来定常不規則過程に対して確立されていた統計学的等価線形化法との相違点に対する議論をもって、本論文においてなされた新しい理論展開の出発点が設定されている。

第4章においては、信号検定問題に関する研究が述べられている。すなわちあるひとつのシステムの状態変数に相当する信号が観測データ中に存在するか否か（信号検定問題）、またもし存在するならば、そのシステムの作動開始時刻（初期時刻）ならびに信号であるところのシステム状態変数の真の値を推定するという問題（状態推定問題）をとり扱ったものである。

第5章は、第4章に引続き状態推定問題をとり扱ったものであるが、ここでは状態依存性および非依存

性のシステム雑音および観測雑音が介在する場合の非線形システムに対する状態推定問題を解決する手法を述べている。

第6章においては、非線形システムの状態が雑音によって乱されながら観測される場合に対する最適制御問題を解決する一近似手法が提案されている。さらにこの手法をシステム雑音および観測雑音がシステムの状態に依存する場合の最適制御問題に拡張し、非線形システムに対して近似的に「推定—最適制御」を計算機制御方式で実現する手法が述べられている。

第7章は、確率制御システムの時々刻々増大する観測データを、どのように最適処理すべきかという情報縮約化の問題を考察したものである。すなわち情報縮約化の問題に対して十分統計量の概念を導入し、前章までにとり扱われた信号検定問題、推定および最適制御問題さらにはパラメータ同定を含む最適制御問題における十分統計量が示されている。

第8章は第1部の結論であって、ここでは著者によってなされた第1部における新しい研究発展が総括されている。

第2部は以下に述べる7章からなっている。

第1章は序論であって、確率分布定数システムに対する各種の研究の歴史的発展を述べ、第2部でとり扱うべき問題の概要と構成について述べている。

第2章は、第2部に対する数学的準備であり、非線形確率偏微分方程式によって記述された分布定数システムの数学モデルを伊藤型確率微分方程式によって表現することを提唱している。

第3章においては、後章すなわち第4および第6章において重要な役割をもつ二種類の線形化手法が提案されている。すなわちその第1は非線形関数をシステムの状態変数のまわりでテーラ展開するという方法であり、他のひとつは、第1部において用いられたマルコフ等価線形化法を非線形確率偏微分方程式へ拡張するという方法である。

第4章においては、まず非線形分布システムに対する状態推定方程式の厳密形が示され、つぎにこの状態推定方程式に基づく推定機構の実現が不可能であることを指摘し、そのために前章におけるテーラ級数による線形化法を導入して、近似的な推定機構を実現する方法が提案されている。

第5章においては、システム動特性に未知パラメータが存在する場合におけるパラメータ同定およびシステム状態推定問題を解決するための一手法が提案されている。

第6章は、第1部第6章において提案された確率定数システムに対する「推定—最適制御」問題に対する近似手法を非線形確率分布定数システムに対する同種問題の解決に拡張適用する方法を記述したものである。

第7章は、第2部の総括であり、さらに今後の研究課題に対する示唆をも述べたものである。

## 論文審査の結果の要旨

実在するほとんどすべてのシステムは、量的な大小はともかくとして、その動特性に必ず非線形特性の存在が認められ、かつシステム自身不規則に変動する環境のなかで作動している。しかもこのような非線形確率システムの真の状態は、観測時に介在してくる雑音のため正確に測定することは不可能である。

したがって、推定はシステムの最適制御を実施する際、きわめて重要な役割を果たすが、とくに現在非線形システムに対する状態推定を実施しながら、同時にそのシステムの最適制御をも実現する手法の開発が重要な課題となっている。

本論文は、システムに印加される雑音および観測時に介在する雑音の影響が、ともにシステムの状態に依存する場合における非線形システムの推定—制御問題に対する新しい近似解法の提案を主眼とし、その精度に関する定性、定量的検討を行って、提案された近似解法の妥当性および有用性を明らかにするとともに、この方法を非線形確率分布定数システムに対する推定—制御問題にまで拡張し、さらにパラメータ同定の際に発生する非線形問題を回避して、同定—推定問題に対する新しい解法も提示している。本論文においてえられた主な成果は次の通りである。

#### I. 非線形確率集中定数システムに関するもの

(1) 非線形確率集中定数システムの状態推定問題に対する有効な近似解法としてよく知られているマルコフ等価線形化法の精度を調べるための理論的手法が確立され、精度の定性、定量的検討を系統的に実施する方法が提示されている。

(2) 非線形確率集中定数システムに対しては、線形システムに対してすでによく知られている分離定理に支持された推定・制御という分離方式による最適制御系の構成は不可能であり、状態推定と最適制御の手続きが同時に処理解決されねばならないことが理論的に明確にされ、同時にマルコフ等価線形化法を非線形確率集中定数システムの最適制御問題に拡張適用し、近似的な推定—制御方式を計算機制御系の形をもって構成することが提案され、数値実験によってその有効性が検証されている。とくに雑音がシステムの状態に依存しながら、システムおよび観測機構に影響を及ぼすときの近似推定—制御方式の確立は、実際面の問題解決に貢献するところ大なるものがある。

#### II. 非線形確率分布定数システムに関するもの

(1) 非線形分布定数システムに対する厳密な推定理論が展開され、推定過程を決定する偏微分方程式が導かれているが、これを数値解として厳密に解くことは不可能である。したがってここで近似法（マルコフ等価線形化法およびテラ級数展開法）を用いて近似推定機構が示され、数値実験によって、その有効性が検証されている。

(2) 確率分布定数システムの動特性がたとえ線形であっても、システムパラメータが未知であると、システム状態変数および未知パラメータの推定は非線形推定問題となるが、本研究では、未知パラメータが有限個の離散値をとるという場合について、ベイズの公式から出発し、尤度比関数を計算するという方法が提案されており、これによって非線形推定問題が回避されることが立証されている。また数値実験によって、ここで提案された方法の有効性も検証されている。

(3) なお、非線形確率分布定数システムに対する推定—制御方式の確立という問題に対しても、第1部の手法を拡張して近似方式を提案し、その妥当性を数値計算によって検証している。

以上、要するに、本論文は、制御対象が不規則雑音の介入する非線形システムであって、このようなシステムに対して、システム状態変数の検定、推定、パラメータ同定および最適制御の問題の近似的な解決法を与えたものであって、非線形確率制御システムの最適設計理論の体系化に寄与するところが少なくな

い。さらにまた本論文において提案されているアプローチは、応用範囲はきわめて広く、実用上、学術上寄与するところが甚だ多い。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。