

氏 名	武 内 良 樹 たけ うち よし き
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 641 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 精 密 工 学 専 攻
学位論文題目	Studies on state estimation and optimal control for systems with jump disturbances (跳躍性外乱を受けるシステムの状態推定と最適制御 に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 明 石 一 教 授 樫 木 義 一 教 授 岩 井 壮 介

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、急激なパラメータ変動の発生する確率システムに対する状態推定問題と最適制御問題について、その理論的解析と有効なアルゴリズムの開発を行なった結果をまとめたものであり、7章から成っている。

第1章は緒論であって、確率システムの状態推定理論、最適制御理論の現在に至るまでの発展とその現状を概観するとともに、本論文の目的と各章の概要を述べている。

第2章では、以後の議論の準備として、確率過程に関する基本的概念、有用な定理などを簡単に述べるとともに、度々用いる確率測度の変換に関する定理を、応用の際に便利な形に修正し、証明を行なっている。

第3章では、マルコフ連鎖型跳躍パラメータをもつ線形連続時間のシステムおよび観測機構に対し、最小分散状態推定アルゴリズムを導いている。最小分散状態推定値は、マルコフ連鎖に対する事後確率分布によって、対応する条件付き状態推定値の荷重平均として表現されることに注目し、これら事後確率および条件付き推定値を計算するための確率微分方程式を導出している。さらに、数値実験によって、このアルゴリズムは、従来のアルゴリズムに比較して、きわめて少ない計算量、記憶容量ですむにもかかわらず、非常に高い推定精度を有することを明らかにしている。

第4章では、第3章の結果を基礎として、状態依存性跳躍パラメータをもつ連続時間非線形システムに対する、さらに一般的な状態推定問題を考察している。拡張等価線形化法を開発、導入することにより、第3章の線形システムの場合と同形式の状態推定アルゴリズムを導出している。また、数値実験によって、提案アルゴリズムの有効性、ならびに、跳躍パラメータの状態依存性を考慮することの重要性を明らかにしている。

第5章では、第3章と同一のシステム・モデルに対し、さらに観測雑音の統計量がマルコフ連鎖に依存する場合について、状態推定問題を考察し、第3章とは異なる方法により簡便な状態推定アルゴリズムを

導出している。また、数値実験では、提案アルゴリズムにより、観測雑音の統計量が迅速かつ高精度に同定されることを示すとともに、跳躍パラメータの同定は、システム・パラメータ、観測ゲイン・パラメータ、観測雑音パラメータの順に容易になってゆくことを明らかにしている。

第6章では、マルコフ連鎖型跳躍パラメータをもつ線形連続時間システムに対して、2次形式評価関数にもとづく最適制御方策を導出している。最適制御入力、マルコフ連鎖に対する事後確率と条件付き状態推定値のフィードバック形式で与えられ、フィードバック・ゲインは、オフ・ラインで計算できることを示している。さらに、このシステムに対し、状態推定と最適制御の2つの作業が、従来知られている分離定理よりも少し広い意味で、分離可能であることを証明している。

第7章では、まず、離散時間観測による連続時間確率過程のフィルター問題を、最も一般的な定式化を行うことに論じ、従来のベイズ型公式に比し利用価値の高い2つの公式を常微分方程式の形で導出している。ついで、この公式を用いることにより、マルコフ連鎖型跳躍パラメータをもつ線形連続-離散時間システムに対し、第3章の連続時間の場合と対をなす状態推定アルゴリズムを導いている。

論文審査の結果の要旨

制御理論の対象が複雑、大規模なものとなるに従って、システムの構成要素が故障したり、あるいは、そのパラメータが不規則な変動を起したりした場合の影響がますます大となってきた。このようにパラメータが突然変動する場合の問題は従来の確定的なパラメータの場合についての理論では十分に解明できないと考えられる。この論文は、突発的なパラメータ変動が生ずる可能性のあるシステムおよび観測機構の状態推定問題と最適制御問題を考察し、確率過程論にもとづく解析手法を導入して、効率のよいアルゴリズムを求めたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- (1) マルコフ連鎖に依存する係数行列をもつ線形連続時間システムおよび観測機構に対し、マルコフ連鎖と状態変数の組が一つのマルコフ過程を形成することを利用して状態推定アルゴリズムを導いた。このアルゴリズムは、従来個々に取扱われてきた、観測中断、入力中断、システム行列の変動などすべての場合に適用できるもので、数値実験により、従来のものと比較して計算効率が著しく高く、かつ、高精度であることが明らかにされている。
- (2) 状態依存性跳躍パラメータをもつ非線形システムに対し、拡張等価線形化法を導入することにより、(1)と同形式の状態推定アルゴリズムを構成した。このアルゴリズムは、この種の非線形システムに対して有効に適用できる唯一のものであり、数値実験により、高い精度をもつことが明らかにされている。
- (3) (1)と同一の線形状態方程式に対し、さらに、観測雑音の統計量がマルコフ連鎖に依存する場合を考察し、(1)とは異なる方法により、一つの状態推定アルゴリズムを導出した。また、数値実験により、このアルゴリズムを用いれば、観測雑音の統計量が不規則に変動する場合でも、確定的な場合と同程度の状態推定精度を維持できることを明らかにした。
- (4) マルコフ連鎖をパラメータにもつ線形連続時間系に対する最適制御問題に対し、フィードバック形式の最適制御方策を求めた。さらに、この結果より、状態推定に必ず必要な統計量により、最適制御入力が構成でき、状態推定と最適制御の2つの問題を分離して取扱うことができることを証明した。

(5) 離散時間観測による連続時間確率過程のフィルター問題を，一般的な定式化を行なって論じ，従来のベイズ型公式より適用範囲の広い，2つの常微分方程式型公式を導出した。

(6) (5)で得た公式を応用し，マルコフ連鎖型パラメータをもつ連続-離散時間の線形系に対し，上記(1)の連続時間の場合の結果に対応する状態推定アルゴリズムを導いた。

以上要するに，この論文は，確率システムの状態推定問題および最適制御問題について，新しい定式化と解析を行ない，従来の確定パラメータの場合の理論を跳躍性未知パラメータの場合に一般化するとともに，計算効率の高いいくつかの解法を提案し，それらの有効性を明らかにしたものであり，学術上，実際上寄与するところが少なくない。

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。