

氏 名	吉 川 恒 夫
	よし かわ つね お
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 167 号
学位授与の日付	昭 和 44 年 5 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 Optimal Control of Discrete-time Stochastic Systems

(離散時間型確率系の最適制御に関する研究)

論文調査委員 (主 査) 教 授 榎 木 義 一 教 授 得 丸 英 勝 教 授 萩 原 宏

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、現実の制御問題を離散時間型確率系の最適制御問題として定式化し、その問題を解く際、および制御装置を構成する際に生じる種々の問題点を提起し、それらに関する理論的研究をまとめたものであり、緒論、六章、および総括からなっている。

緒論では、研究目的、それに関連した従来の研究、および研究内容の概略を述べている。まず、離散時間型確率系の最適制御問題が注目されるにいたった過程を説明し、それに対する理論的成果である適応制御過程の理論の実際問題への適用に際して解決を迫られるようになった主要な問題点を列挙している。ついで、それぞれの問題点に関する研究の現状を要約し、本研究の動機および目的を明確にしている。

第一章では、未知の定数パラメータを含む確率系の最適制御問題を解くのが一般に困難であることに鑑み、これに対する準最適制御方策を求めるための二つの一般的手法を提案している。未知パラメータを含む問題においては、制御装置はその値を推測する動作と、与えられた性能評価関数を最小にする動作とを同時に行なわなければならない。第一の手法は、未知パラメータの推測効果が制御区間の初期に著しいことに注目し、ある時刻以後は未知パラメータの推測動作を行なわないという設定のもとに制御方策を導く方法である。そして第二の手法は、第一の手法に「学習」の概念を組み合わせたものである。これらの手法の有効性は数値例によって確認されている。

第二章では、離散時間型確率系の最適制御問題において、系の状態が完全には観測できない場合、および系が未知パラメータを含む場合について、最適制御性に対する上、下界を算出する手法を確立している。まず、与えられた最適制御問題に対して、制御装置が操作量決定のために利用し得る情報の量を適当に修正した仮想的な問題を考え、その最適制御性能が、もとの問題の最適制御性能と一定の大小関係にあることを示す三つの定理を証明している。これらの仮想的な問題が、一般にもとの問題よりも容易に解き得ることを利用して、もとの問題の最適制御性能に対する上、下界を算出するのである。ついで、これらの上、下界により、従来困難とされていた各種の準最適制御方策の良否の評価が可能となること、および

制御対象の状態に関する情報（観測信号）の価値解析が可能となることが示されている。

第三章では、デジタル計算機を用いて制御装置を構成する際に問題となる計算時間遅れによる制御性能の劣化に対処することを目的として、あらかじめ一定の計算時間遅れを考慮に入れた場合の最適制御方策を決定する問題を論じている。各時刻において制御対象に加えるべき操作量を算出するのにいかなる情報が利用できるかという立場から制御過程をながめることにより、そのような最適制御方策を決定するための関数方程式を導いている。そして、計算時間遅れを考慮に入れた場合と、そうでない場合を比較検討し、具体例によって計算時間遅れを考慮に入れることの有効性を確かめている。また、ここで導いた関数方程式が決定論的最適制御問題に対しても適用でき、従来得られていた結果と一致することを示している。

第四章では、第三章までと異なり、制御すべき系の特性を表わす方程式の形が未知である確率系の制御問題について、基礎的な考察を行なっている。まず、問題を、制御すべき系に対して与えられたいくつかのモデルの内のいずれかが正しい、という設定のもとに最適制御問題として定式化している。このように設定することにより、特性未知の問題も、未知パラメータを含むが特性の既知な確率系の最適制御問題と同様な手順で解き得ることを示している。さらに、線形系で評価関数が自乗総和形式の場合、および系の各変数が離散的な値を取る場合の二つの特殊な場合について考察を進めている。最後に、第二章と類似した方法により、最適制御性能の上、下界が得られることを述べている。

第五章では、サンプル値制御系設計の際に問題となるサンプリング周期の決定方法について考察している。前半では、連続時間型線形確定系の、積分自乗形式およびその近似として通常用いられる自乗総和形式の両評価関数のもとにおける最適デジタル制御問題を取り上げ、サンプリング周期の両評価関数におよぼす影響を明らかにしている。その結果、自乗総和形式の評価関数はサンプリング周期の影響を見るのに不適当であることを示し、この考察をもとにして最適サンプリング周期を決定するための一手法を提案している。後半では、確率系に対しても、まったく同様な議論が展開できることを示し、さらに、数値例において観測雑音の分散が最適サンプリング周期におよぼす影響などを調べている。

第六章では、第五章までと多少独立しており、この章では、状態観測が不完全な場合のマルコフ決定過程（MDP-Ⅱ）が、新しい状態空間を持ち込むことにより、状態観測が完全な場合のマルコフ決定過程（MDP-Ⅰ）に変換され得ることを数学的に示している。この結果とMDP-Ⅰに対して従来得られていた結果を用いて、適当な条件のもとにMDP-Ⅱに対する定常最適方略などの存在が証明されている。

総括では、本研究の結果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

近年の各種産業分野における制御系の一般的傾向としては、制御目的の高度化、厳格化、制御手段としてのデジタル計算機の高性能化、制御系のおかれる環境の多様化等が挙げられ、それにつれて離散時間型確率系の最適制御に関する理論の実用化に対する要請も急速に増大しつつある。しかしながら、この実用化のためには、著者も指摘しているごとく、実際問題の数学的定式化、その解の誘導、制御装置構成等に際して生じる種々の問題点を解決しなければならない。

本研究の主要な成果は、これらの内いくつかの重要な問題点、すなわち、最適制御方策を算出するのが困難であること、準最適制御方策の良否を判定するのが困難であること、制御装置における計算時間遅れによる制御性能の劣化の問題、特性が未知な系の制御問題、サンプル値制御系におけるサンプリング周期決定の問題等について理論的考察を行ない、工学的観点に立った解決策を提唱していることにある。

最適制御方策算出の困難性については、従来個々の問題に対して、算出のより容易な準最適制御方策が種々提案されてきた。著者が提案している二つの手法も、この方向に沿ったものである。しかしながら、これらの手法が従来のものに比較して、かなり広範囲の問題に適用でき、手法というよりは準最適制御方策を導くための基本的方針を明確にしたものと考え得る点は注目すべきである。

各種の準最適制御方策の制御性能を最適制御性能と比較し、評価するのが困難であるという問題点を、最適制御性能に対する上、下界を算出するという巧妙な方法によって解決している。これは準最適制御方策の良否を評価する有力な手段を開発したものとして特筆すべき成果である。さらにこの結果を利用して、雑音に乱された観測信号の価値解析が行なわれており、観測装置の構成に関して興味ある示唆を与えている。

制御装置としてオンライン計算機を用いる場合の計算時間遅れによる制御性能の劣化については、あらかじめ一定の計算時間遅れを見込んだ最適制御方策を用いることを提案し、それを得るための関数方程式を導いている。計算機制御系設計に関して一考の価値ある提案である。

特性が未知な系の制御問題は、従来特殊な形でしか扱われていなかった。著者はこれをかなり一般性のある最適制御問題として定式化し、解を得る手順を示している。理論的に興味あると同時に、特性の明らかでない系の制御問題に対する一つの実用的手法として期待できる。

サンプル値制御系におけるサンプリング周期決定の問題については、インパルス応答、周波数応答等種々の方向からの研究があったが著者は通常の評価関数にサンプリング周期の大小によって生ずる費用の項を付加し、この新たな評価関数のもとに動的最適制御問題を考えるという方向を打ち出している。これによって最適制御方策だけでなく、最適サンプリング周期をも同時に決定しようという興味ある提案を行なっている。

なお、状態観測が不完全なマルコフ決定過程についても、いくつかの数学的成果をあげている。これらの成果は、この種の決定過程が本研究の主題である離散時間型確率系の最適制御問題と構造的に等しいことから、今後の研究に新たな局面を開くものとして注目に値する。

これを要するに、本論文は離散時間型確率系の最適制御、特にその理論の実用化に関し、種々の角度から問題点の提起ならびに解決策の提案を行ない、実際問題と、それとは異なる次元で打ち立てられた観測ある理論的成果との断層を埋めるのに有効な多くの結果を、主に理論的側面から提供しており、学術上、工業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。