

氏名	中 溝 高 好 なか みぞ たか よし
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 7 7 号
学位授与の日付	昭 和 39 年 12 月 22 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 航 空 工 学 専 攻
学位論文題目	Statistical Synthesis of Optimum Non-Linear Control Systems (最適非線形制御系の統計学的シンセシス)
論文調査委員	(主 査) 教 授 榎 木 義 一 教 授 得 丸 英 勝 教 授 国 井 修 二 郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は「最適非線形制御系の統計学的シンセシス」と題して、本文3部10章よりなっている。

第1部は、自動制御回路内の信号が、非定常確率過程として取扱われねばならない種々の問題をとりあげ、その非定常応答の統計的挙動を解析的に評価する手法と、それに基づく、非線形制御系の設計法について述べたものである。第1章においては、従来の統計学的等価線形化手法を拡張して、あらたに非定常等価線形化手法を提案している。すなわちまず回路内の非線形要素に対して非定常等価ゲインを定義し、つぎに、これを用いて非線形閉ループ系の非定常応答を解析的に評価することを可能にした。さらに、相関関数やスペクトル密度の非線形歪を計算することによって、本手法の妥当性の検証を行なっている。第2章は著者の提案する非定常等価ゲインが時間に依存して変化する点に着目して、突変定常不規則入力をうける制御系の非定常応答を、非線形特性を積極的に利用することによって改善する手法を述べたものである。これは第1章において提案した解析手続を逆にたどることによって解決されるのである。すなわち簡単に実現可能な非線形特性を用いるだけで、線形制御形におけるよりも遙かに制御性能が改善されることを具体例について定量的に明らかにしている。第3章では、従来の位相面解析の概念を拡張して、非定常応答をさらに厳密に評価する手法を提案している。これは、不規則入力に対する非定常応答の二次モーメントを従属変数とする連立微分方程式を導出し、その解として応答を評価する手法である。なお第1章における非定常等価線形化手法と本手法との相互関係にも論及している。最後の不規則雑音に乱されたステップ入力をうける非線形制御系の応答の評価にも、本手法が適用できることを具体的な計算例をもって示している。本手法は非定常応答を高い精度で評価することを可能にするが、従来の位相面解析に伴う本来の欠点は避けえないものであり、従ってアナログ計算機を用いない限り高次系の解析には必ずしも適していない。この点を打開すべく第4章においては、ステップ入力と不規則雑音とをうける非線形制御系の解析を目的として、二入力等価伝達特性を定義し、それを用いた閉ループ系の解析手法を確立している。これは本質的に、系のおくれの次数によって適用範囲が制限されないので、高次系の解析にも適して

いる。また本章の後半では、非線形制御系のシンセシスへの応用例として、飽和特性をもつサーボ系の制御性能を非線形特性を用いて改善する手法について述べ、重砲座駆動サーボ系への適用例を記述している。

第2部においては非正規型確率過程に対する非線形濾波器の新しい設計法を提案し、つぎに本手法の非定常問題への拡張ならびにフィードバック系への応用について論及している。すなわち第5章においては、非正規型定常確率過程に対する濾波器が、2個の線形要素に挿まれた1個のZero-Memory型非線形要素で構成されるものとして、RMS規範の下に各要素の伝達特性を決定する手法を述べている。本手法は非線形要素通過に伴う確率分布の変化に着目し、非線形特性を確率過程の高次積率を求めることによって決定するという。全く斬新な手法であり、それによって著者は、従来の手法に必ず付随する積分方程式を解くという厄介な問題を巧みに回避し、非線形濾波器の実用化を推進することを提唱している。さらにこのようにして設計せられた濾波器の構成から、フィードバック系へ変換する手法を考案し、最適非線形制御系のシンセシスの分野への応用について論及している。第6章は最も一般的な見地に立って、非正規型非定常入力に対する濾波器の設計法について述べたものであり、同時に第5章の設計原理の検討を行っている。著者の提案する濾波器の構成を採用する一つの利点は、フィードバック構成が可能であるということであり、その意味から、非線形自動制御系の設計に極めて有用である。また第7章においては、不規則入力をうけるリレー制御系の切換特性をFokker-Planckの微分方程式から直接制御偏差の確率密度関数を求めることによって検討した結果、予報の概念の導入が、制御性能の向上に役立つであろうことを示唆している。

第3部では、適応制御系の基本的機能である決定機構について、統計学的決定関数を用いて検討を加え、適応制御回路の新しい設計法を提案している。適応制御系はいかなる方式を採用するにせよ、何らかの形で未知の変動量を測定する装置を必要とする。しかしながら、もともとその真値を測定によって把握することは事実上不可能であり、実際にはその推定値が得られるにすぎない。従ってそのような測定データをつぎの段階に利用する前に、何らかの統計的処理を施すことができれば、適応制御の性能をさらに向上させることができる。著者はこの問題を統計学的決定理論を用いて解明しようとする意図のもとに、第8章、第9章において、その一般的理論を展開すると同時に、基本的な応用の仕方について述べている。とくに第8章においては非逐次決定機構の、また第9章においては逐次決定機構の設計法を確立し、さらに測定時間の短縮と精度の向上という相反する要求の調整を決定理論によって巧妙に解決している。さらに第10章では前述の基本的原理に基づいて、全く新しい非線形適応制御方式を提案し、不規則入力をうけるリレー制御系の適応制御化について具体的にその手続を詳述している。

論文審査の結果の要旨

著者の研究は、最適非線形制御系の統計学的シンセシスに関する基本的手法を確立したもので、その内容はつぎの三つに大別できる。

(1) 自動制御系にあらわれる種々の非定常応答の解析手法の確立と、それに基づく非線形制御系のシンセシス。

(2) 非正規型確率過程に対する非線形濾波器の設計と、その自動制御系への応用。

(3) 統計学的決定理論に基づく適応制御方式の確立。

まず上記(1)の研究において、著者は、

(i) 非定常等価線形化手法

(ii) 位相面解析の概念の拡張適用

(iii) 二入力等価伝達特性による解析

の三つの解析手続を提案している。

第1に、(i)の非定常等価線形化手法は、実在の非線形制御系が不規則入力をうける場合にあらわれる種々の非定常応答の挙動の統計学的評価を可能にしている。すなわちその手法は、まず回路内の非線形要素を、著者の提案した非定常等価ゲインによって最良近似し、つぎにこれを用いて非線形フィードバック系の非定常応答を解析的に評価するものである。さらに、この手法に基づく精度を、非線形要素出力の相関関数およびスペクトル密度にあらわれる入力のそれらに対するひずみ率を評価することによって、その妥当性を検討している。この方法は、従来の近似解析手法に認められる基本的な難点を打開することによって、解析手続を簡単にするばかりでなく、さらに制御系のゲイン調整などのシンセシスの分野にまで適用することができるものである。

第2に、(ii)の位相面解析法の概念の拡張適用は、非線形制御系の非定常応答の評価という問題に対して、制御系を支配する非線形微分方程式から出発し、非定常応答の二次モーメントを従属変数とする連立微分方程式によって制御系の挙動を統計学的に表現し、この連立方程式の解を求めるという方法である。この方法によって、突変定常不規則入力に対する非定常応答の評価は非線形系のインディシャル応答を求める問題に変換でき、アナログ計算機の適用を可能ならしめる。

第3に(iii)の二入力等価伝達特性による解析手法は、不規則雑音に乱されたステップ入力をうける非線形制御系の応答を評価する目的をもって考案せられたものであるが、本手法は、従来の正弦波と不規則雑音とをうける場合の等価線形化手法をその特別な場合として包含し、しかもその適用範囲が系のおくれの次数によって本質的な制約をうけないものであるから、非常に応用範囲の広い有力な手法である。さらに著者は、これらの解析手法のシンセシス問題への応用を考え、非線形特性を利用することによって、その制御性能を改善する手法を確立している。

つぎに前記(2)の研究の主要部を占めるものは、非線形濾波器の設計法と、その非線形制御系への応用である。従来から非正規型確率過程に対する非線形濾波器の優越性は広く認知されていたにも拘わらず、その設計法がきわめて複雑な数学的手続を必要とし、またその構成も非常に煩雑となるために、必ずしも実用的ではなかった。これに対し、著者の提案する方法は、積分方程式を解くことを要せず、しかも簡単な手続で設計できる点においてきわめて斬新な手法であり、非線形濾波器の実用化に寄与するところが大きいと考えられる。さらに著者の提案する濾波器の構成を採用するもうひとつの利点は、それがフィードバック系に変換できるという性質をもっていることであり、その意味から、本設計法は非線形制御系のシンセシスに広い適用範囲を有するものと考えられる。著者は本手法の応用例として、最適非線形制御系のシンセシスを取扱っている。さらに雑音レベルが確定しない場合に対する最適濾波器の設計に際して

は、非線形特性をもつ要素を積極的に導入することが、線形要素のみによるよりも、よりよい制御効果をもたらすことを述べている。なお最も一般的な立場から、非正規型非定常確率過程に対する最適濾波器の構成法についても考究し、最適濾波器および最適非線形制御系の設計原理を解析的に明らかにするとともに、非定常濾波問題への拡張も行なっている。

前記(3)の研究は、近年はなばなしい脚光を浴びて登場した適応制御系の機能について検討を加え、適応制御回路の新しい設計法を提案したものである。まず適応制御系における制御対象の動特性の決定、あるいは入力や外乱の性質の測定に際し、その実測過程に伴う測定誤差を考慮して、統計学的決定理論の立場から、決定機能を果す論理機能を内蔵する適応制御系の設計法が確立されている。これは従来非常に不明確であった測定時間の短縮と精度の向上という相反する要求の調整という問題の解決に対して、大きな貢献を果すものである。つぎにまた同種の問題に対して、逐次決定関数を用いた設計法も提案されている。これによれば、測定に要する時間は、同じ精度に対して、他の如何なる手法によるよりも短縮され、しかもこの論理機構は、一般に、積分器と比較回路の直列結合によって簡単に実現されることを示している。最後に、上述の一般的考察に基づいて、不規則入力をうける非線形適応制御系の設計法について述べている。とくに非加法的雑音に乱された非正規型確率過程に対する決定理論の適用を可能にするため、非正規型確率過程をレベル検出器を通過せしめることによって二項分布をもつ確率過程に変換して、決定関数を確立するという手法を提唱している。

以上述べたように、著者の研究は、非線形制御理論において非常に重要視されながら、ほとんど未開拓であった非定常応答の解析手法の確立を含めて、最適非線形制御系および適応制御系に関連した数々のシンセシスの手法を確立し、今後の自動制御理論の発展ならびに適応制御方式の開発に有用な手段を提供するものであって、学術上、工業上寄与するところが少なくない。よってこの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。