

氏 名	田 上 重 美 た がみ しげ み
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 380 号
学位授与の日付	昭 和 45 年 11 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	Statistical Studies on Nonlinear Control Systems with Nonstationary Random Inputs (非定常不規則入力をうける非線形制御系の統計学的研究)

論文調査委員 (主 査)
教授 榎 木 義 一 教授 徳 丸 英 勝 教授 池 田 峰 夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は非定常不規則入力をうける非線形制御系の統計学的研究と題して全編3部, 12章より構成されている。

著者は, 従来の統計学的非線形制御理論が制御系入力あるいは回路信号をすべて定常確率過程とみなしてその理論体系を確立してあるのに満足せず, さらに今後の発展が期待される非線形最適化制御方式においてとりあつかう不規則信号は, 非定常確率過程とみなさなければならないということを考慮して上記のような表題のもとにより実際に即した基礎的研究を展開している。

第1部では, システムに印加される非定常不規則信号として突風や地震のような不規則外乱を考え, 具体的には運航中の飛翔体がこのような外乱をうける場合を想定して, そのシステムの応答を評価する方法について述べている。

第2部では, システムには大小さまざまな非線形特性がふくまれるが, このシステムが非定常不規則外乱をうけたときにその非線形特性が相互にまたは独立に, そのシステムに対してどのような影響をあたえるかを解析論, 安定論および設計論の立場から吟味している。

第3部では, 実際に軌道に沿って離陸上昇中の飛翔体が突風のような外乱をうけたときに, それらの影響を最小限にくだとめ, いちはやくもとの軌道に復する最適制御装置の基本設計を示している。

以上のように, 本論文の第1部および第2部はシステムの非定常問題をアナリシスの見地から, さらに第3部ではシンセシスの立場からその基礎理論を展開している。

さて, 第1部においてとりあつかうシステムへの入力突風や地震のような非定常確率過程に属する信号であるから, とくにそのシミュレートの方法に注意をはらっている。

第1章においては, 制御対象の伝達関数が有理関数であらわされるような非線形制御系が上に述べた突風のような非定常不規則外乱をうけた場合の応答を評価する方法について述べているが, とくに外乱についてはその2乗平均値に注目してこれを非定常散射雑音とシェイピングフィルタによってシミュレート

し、非定常等価ゲインを導入した線形化手法を用いてそのシステムの非定常応答を評価することを述べている。とくに外乱がその応答に対してどのような影響をあたえるかを定量的に検討している。

第2章では、運航中の飛翔体が環境の変化、例えば温度の変化にともなうける影響はあたかも無理伝達関数をもつ要素の熱伝導の状況と同等であるという観点から、著者は無理伝達関数をもつ非線形制御系をとりあげこのようなシステムが非定常不規則外乱を受けた場合の非定常応答を評価する手法を確立している。とくにここでは、等価線形化手法を適用することの妥当性を詳細に吟味している。

第3章では、より実際に即した見地から回路特性が時間とともに変動する場合を考え、前の手法を拡張してその応答を評価している。

第2部においては、近年ますますシステムが構雑に機成されるようになったため大小さまざまな非線形特性がふくまれているシステムをとりあつかっている。まず、このようなシステムに非定常不規則外乱が印加された場合の応答を評価する解析的手法を述べ、つぎにこのような系の安定性を図式解法を併用して議論している。とくにここで提案した手法は非線形特性が制御対象、観測機構あるいは制御装置のいずれにふくまれていても適用できることを著者は強調している。

第4章においては、一般性を失うことなく非線形特性が制御対象および制御装置にふくまれるような場合の非定常応答を等価線形化手法と図式解法を用いて評価し、とくにこのようなシステム特有の跳躍現象についても検討を加えている。

第5章では、大小さまざまな非線形特性のふくまれているシステムの安定性を記述関数法を拡張した修正等価ゲインの概念を利用して自励振動論の立場から研究している。

第6章では非線形制御系の性能を改善する手法を述べている。従来から非線形制御系の制御性能を改善する一般的手法は確立していないため、著者はシステム内にふくまれる非線形特性を巧みに利用してその制御性能の改善方法を述べている。このことはシステムの設計にあたりシステム内に挿入すべき各種要素の具体的設計に対して有効な指針をあたえている。

第3部では、第1部および第2部が主としてアナリシスの立場から議論しているのに対し、シンセシスの立場からこの問題をとりあつかっている。具体的には飛翔体がエンジンの振動等内部にふくまれる雑音に乱されながら離陸上昇をしているときに突風のような外乱を受けた場合、それらの影響を最小限にいとめ最適な状態でもとの軌道に復するような状態を想定してその制御装置の設計方法をウィーナーおよびカルマンの理論を用いて検討している。

すなわち、第7章は非定常不規則入力をうけるシステムの最適フィルタの構成を開ループ系の場合に対して考察し、第8章では前章における問題を適応制御方式にも利用できるようにフィードバックを伴った場合のフィルタの最適構成をウィーナーの積分方程式の解を用いて確立している。具体的には目標値が定速度状に変化する場合と定加速度状に変化する場合について述べ、そのシステムは外乱の影響によってどのような経過をたどってもとの軌道に復するかを定量的に検討している。

第9章および第10章では、今までの議論が連続系を中心に展開されているので、これを離散的な観点からながめ実際に電子計算機にかけられるように工夫した。この手法の一部はウィーナーの積分方程式の一解法としても役立たせることができる。

第11章では、いままで考察した非定常不規則入力正規性であると仮定していたが、これらは非正規性に属する場合についても容易に拡張できることを非線形フィルタの設計を中心に具体例をもって立証している。

前章まではウィナーの理論を基礎にフィルタの構成を述べてきたが、第12章においてはカルマン理論の長所をとり入れ、問題の内容種類によっては両者を併用することの有用性を突風のような非定常不規則外乱をうけるフィルタの設計に関する具体例をもって示している。

論文審査の結果の要旨

従来の統計学的制御理論は、定常確率過程に属する信号を中心に、その理論体系を確立してきたが、著者は近代制御理論の統計学的視野にたった研究においては、そのとりあつかう信号は非定常確率過程とみなさなければならないという見地から、非定常不規則入力をうける非線形制御系の統計学的研究と題して実際に即した基礎的研究を展開した。

第1部では、システムに印加される非定常不規則信号として突風や地震のような外乱を考え、そのシミュレーションの方法、さらに具体的には運航中の飛翔体がこのような外乱をうけた場合を想定してその非定常応答の評価方法を確立している。

すなわち、まず観測された非定常不規則外乱を非定常散雑雑音とシェイピングフィルタとでシミュレートする手法を提案し、つぎに、非定常等価ゲインの概念を導入して、そのシステムの非定常応答の2乗平均値を評価した。

また、一般に考察する制御対象は、その伝達関数が有理関数であらわされる場合が多いが、無理伝達関数であらわされる場合には上のとりあつかい方が果して可能であるかということに焦点をあわせた議論をおこない、その場合においても等価線形化手法適用の妥当性を定量的に検討するとともにその応答の評価をおこなっている。

第2部では、システム内にふくまれる複数個の非線形特性に注目し、システムが外乱をうけたときに、これらの非線形特性がそのシステムの応答に対してどのような影響をあたえるかを、アナリシス、シンセシスおよび安定論の見地から検討している。

すなわち、具体的には2個の非線形要素をふくむ制御系について非定常等価線形化手法を用いた図式解法を提案した。等価線形化手法の適用において問題になるのは、非線形要素への入力の確率密度関数の正規性の回復であるが、このような点を考慮しても、この手法は非線形特性が制御対象および制御装置に挿入されていても適用される便利な方法であることを強調している。

また、非線形特性がふくまれるシステムに非定常不規則外乱が印加された場合の制御性能の改善についての一般的な方法はまだ確立されていないが、著者はシステムにふくまれる非線形特性をたくみに利用して、さらにもう一つの非線形特性をそなえた要素を導入することによりその制御性能を改善する手法を提案した。

第3部では、システムが非定常不規則外乱をうけたときに、これらの影響を最小限にいとめるため、誤差の2乗平均値を最小にするという評価規範にしたがう最適制御装置の設計をウィナーやカルマンに

よって確立されたフィルタ理論を用いておこなうことを述べている。

すなわち、フィルタ理論においては、カルマンの設計方法はそのシステムの構成を容易にし、従来からのウィーナーによる手法の欠点を補っているが、著者はそのとりあつかう問題の内容、種類によってはフィルタの最適構成にあたり、この両者を同時に用いる方がより有効であることを示した。

さらに、いままで考察した非定常不規則入力は正規性であると仮定していたが、これらは非正規性に属する場合についても容易に拡張し得ることを非線形最適フィルタの設計を中心に具体例をもって立証した。

以上の研究成果は、今後発展を期待される近代制御理論の研究に極めて有用な基礎資料をあたえるものであり、今後有効に利用されるものと思われる。したがって、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。