

報告番号 ^{*} 第 2965 号
乙

主論文の要旨

題名 離散時間適応制御系の設計法の改善と
その応用に関する研究

氏名 水野直樹

主論文の要旨

報告番号

※ 第
之

号

氏名

水野直樹

本論文では、離散時間適応制御系の設計法を、その実用化の観点から改善するいくつかの手法を提案するとともに、実プラントへの応用例を述べる。

適応制御系の設計に関する研究の歴史は古く、これまで種々の方式が提案されている。その中で、現在、設計理論としての体系も整い、多くの研究者、技術者の関心をよぶ設計法であるモデル規範形適応制御系、セルフチューニングレギュレータの二つの手法を中心として、実用化をめざした研究が行われている。

しかし、これまでに提案された手法は、必ずしも工学的要求を十分に満足するものではない。例えば、従来の手法では、適応制御が可能な制御対象（プラント）の範囲が限定されていたり、プラントに加え得る入力の変幅の制限が考慮されていないなどの問題がある。さらに、プロセス制御などにおいては、大きな無視できない外乱が加わる場合が多いと考えられることから、これを考慮した適応制御系の設計法の開発が望まれる。

本研究では、研究対象をさきに述べた二つの代表的手法のうちのモデル規範形適応制御系を基礎とする制御系とし、実用上の諸問題の中から、工学的要求を満たす上で重要と考えられる、プラントに対する制約的仮定の緩和、入力の変幅制限の考慮、外乱への対応を可能とする適応制御系の設計法を検討する。また、一般に適応制御装置はかなり複雑な構成となることから、実際上の問題を考え、離散時間形式で定式化を行う。離散時間での定式化を行うことにより、複雑な制御則であっても、デジタル計算機のプログラムという形で容易に実現できるという利点を生ずる。

さらに、実プラントとして、冷凍機性能試験装置の制御問題を考え、提案した適応制御手法により、従来の制御では得ることのできなかつた安定な制御が可能となることを実験結果によって示す。

本論文で考察する問題は以下の通りである。

主論文の要旨

報告番号

※席第
2

号

氏名

水野直樹

はじめに、最も基本的な離散時間モデル規範形適応制御系の設計法を、むだ時間を持たない1入力1出力系と、むだ時間を持つ多入力多出力系に対して示し、適応制御系の設計において最も重要な問題となる制御系の漸近安定性を明らかにする。この設計法は基本的設計法であるがゆえに、実際のプラントへの応用を考えた場合には種々の点で改善を加えることが望ましいが、プラントと規範モデルの両者のパラメータを全く必要としないで、現時点までの測定可能な信号のみを用いて制御系を構成することができるという特徴を持っている。さらに、この設計法は、本論文で提案するいくつかの拡張された設計法の基礎となるものである。

つぎに、適応制御の実用上の問題となるプラントの入力の振幅制限が存在する場合の制御系の設計法を考察する。基本的な設計法では、理論的にその漸近安定性が保証されているが、実際には適応制御装置に含まれる可調整パラメータの初期値によっては、入力が一時的に大きくなり、過渡的な応答が乱れるなどの問題を生じることがある。さらに、実際のシステムでは必ずその入力に飽和を持つことから、それを考慮することなく設計された適応制御系の制御経過は良いとは言えず、その安定性もはっきりしない。そこで、過渡応答の改善にもつながる入力の振幅制限を考慮した設計法を提案し、入力の振幅制限が存在する場合の出力誤差の零への収束性の検討を行う。また、数値計算例で、この手法が過渡応答の改善に有効であることを示す。

上記の二つの手法は、モデル規範形適応制御系の構造を持つことから、これらの手法が適用可能であるためには、プラントの逆系の漸近安定性の仮定が要求される。プラントの逆系が漸近安定とならないような場合は連続時間系ではまれにしか起こらないが、離散時間系ではしばしば起こりうる。連続時間系をデジタル計算機を用いて離散時間制御を行う場合、その離散時間モデルはプラントに零次ホールド要

主論文の要旨

| 報告番号 | ※第 2 | 号 | 氏名 | 水野直樹 |
|--|---------|---|----|------|
| <p>素を前置して作成されるが、このとき、連続時間系が s の右半平面に零点を持たない逆系が漸近安定な系であっても、その動特性、サンプリング周期によっては、離散時間系の零点は z 平面の単位円外となり、逆系が不安定となりうる。したがって、離散時間形式の場合には逆系が不安定な系の適応制御法の研究は重要である。この問題に対する一つの対応策として、ここでは、従来の ARMA 形式のプラントモデルにかえて、プラントをむだ時間 + AR 形式のモデルで表現して、モデル規範形適応制御系を構成する手法を、むだ時間を持つ 1 入力 1 出力系、多入力多出力系に対して提案する。また、その有効性を検討するために行った種々のプラントに対するシミュレーション結果を示す。</p> <p>この手法は、制御系の構造が簡潔で種々のプラントに対して有効であるが、プラントがむだ時間 + AR モデルで十分に精度良く近似できない場合も生じうる。</p> <p>このような場合に対する手法として、ARMA 形式でモデル化されたプラントに並列に補償要素を付加するとともに、規範モデルにも補償を行うことにより、逆系が不安定な系に対して、安定性と速応性を考慮した設計法を提案する。この手法は、逆系の不安定性の問題のみではなく、プラントのむだ時間が不確定性を持つ場合にも有効性を持つことが示される。</p> <p>この二つの手法は、モデル規範形適応制御系を用いる場合にプラントに要求される制約的仮定の一つを緩和するものであるが、モデル規範形適応制御系では、プラントの逆系の漸近安定性の仮定だけではなく、伝達関数の分母、分子の次数（の上限）および、むだ時間が既知であるという制約条件も存在している。</p> <p>実際問題としては、プラントの次数、むだ時間などを前もって正確に知ることは困難であり、実用的には逆系の漸近安定性（零点）の問題、次数、むだ時間未知の問題を同時に解決する手法の開発が望まれる。</p> | | | | |

主論文の要旨

報告番号

※甲第
2

号

氏名

水野直樹

本論文では、この問題に対して、未知プラントのある分解表現を用いる設計法を1入力1出力、多入力多出力の漸近安定なプラントに対して提案する。また、提案した手法と従来のモデル規範形適応制御系、適応極配置制御系との関係を明らかにし、この手法がむだ時間未知の不安定な逆系を持つ系の制御に有効であることを数値計算例で示す。

これまでに述べた設計法は、モデル規範形適応制御系をその基礎とし、プラントに対する種々の制約的仮定を実用上の観点から取り除くために、いくつかの拡張を行ったものである。

つぎに、適応制御を実用化する上で重要な、もう一つの問題と考えられる、外乱の存在する場合の設計法を考察する。

まず、未知の外乱のモデルを仮定しない積分器を含むサーボ構造を持つモデル規範形適応制御系と、外乱を線形自由系の出力と時間の多項式で表される成分に分けてモデル化し、これを完全に抑制可能なモデル規範形適応制御系を提案し、外乱の存在する場合の制御系の構造と安定性を検討する。前者の手法はパラメータ推定アルゴリズムに不感帯を導入することによって制御系の安定性を確保するとともに、積分特性により目標値への追従を達成する構造となっている。一方、後者の手法は、広い範囲の外乱に対して、制御系の安定性と出力誤差の零への収束が理論的に保証されるという特徴を持っている。また、数値計算例によって両手法の有効性を示す。

さらに、後者の手法と同様な外乱モデルによってモデル化される外乱を考慮した適応極配置制御系の設計法を提案する。適応極配置制御系はモデル規範形適応制御系に比較して、その構成が複雑で、制御入力の発生に必要な計算量も多いなどの問題もあるが、提案の手法が、外乱を受ける逆系が不安定な系に対して有効に動作することを数値計算例で示す。

主論文の要旨

報告番号

※ 甲 第
2

号

氏名

水野直樹

以上のように、本論文では、離散時間モデル規範形適応制御系をその基礎として、いくつかの工学的要求を満たすための設計法の拡張について述べた。

最後に、これまでに述べた結果の有効性を実証するため、3入力3出力の実プラントに対する適応制御系の設計を行い、オンライン実験によってその特性の検討を行う。

適応制御の実プラントへの応用は、理論面での研究に比較すると、まだ、それほど多くはなく、特に、多入力多出力系を対象としたものはわずかである。

ここで対象とする実プラントは冷凍機性能試験装置である。それは、制御工学的には、未知特性の圧縮機を含む3入力3出力の冷凍プラントを目標値に追従させる制御系であり、その目標値は試験点に応じてステップ状に広い範囲にわたって変わる。このため、プラントは広い範囲の操業条件で運転され、従来のPID制御では、常には安定な制御を行うことができない。さらに、プラントが熱プロセスであることから、試験に非常に長い時間を要する。したがって、圧縮機の性能試験の安定化と高速化を図るために、適応制御が望まれる。

このプラントに対して、本論文で提案した、むだ時間+ARモデルによる手法を適用し、シミュレーションとオンライン実験によって提案した手法の性能を確認した。