

学 位 論 文 題 名

ファジィ適応則をもつモデル規範形適応制御系と
その応用に関する研究

学位論文内容の要旨

実際のサーボ系の設計において、追従過程のオーバシュート、上昇時間、及び定常誤差、などの制御性能指標の指定を要求する場合が多い。このようなサーボ系の設計に対して、制御系の構成に応答特性を示す規範モデルを一つ用意するようなモデル規範形適応制御系（Model Reference Adaptive Control System, MRACS）が有効である。しかし、MRACS における適応則は、制御対象の線形モデルによって決定されるので、制御対象が複雑な非線形であったり、その構造が不明確であるような場合、MRACS を適用することも困難となる。一方、ファジィ制御の特長は言語ルールによって制御アルゴリズムを決定している点である。すなわち、ファジィアルゴリズムの設計は制御対象の厳密な数学モデルを必要としない。このことから、本研究は MRACS における適応則の設計にファジィ推論を導入し、ファジィ適応則をもつ MRACS を提案した。また、それをエネルギー散逸化制御方式に基づく天井クレーン制御と PD フィードバック制御法を基としたロボット・マニピュレータ軌道追従制御へ適用した。

ファジィ適応則をもつ MRACS の基本的考え方は、サーボ系における制御器のゲインをファジィルールで調整することによって、制御対象の実際の出力を希望の出力に一致させるという目的を達成することである。この考え方による制御系の構成においては、サーボ系における制御器自身は比例や比例・微分などの一般的な制御器であり、つまりファジィルールによる制御は、制御器パラメータの調整レベルで使われている。したがって、ファジィ適応則をもつ MRACS は普通のファジィ制御系に比べて制御性能指標を定量的に指定することができるのみではなく、その制御系の安定性も容易に保証されることができる。

まず、本論文においては制御対象に可調整パラメータを付加したパラメータ適応系の構成法について論じた。ファジィ適応則をもつパラメータ適応系のシミュレーションの結果から、規範モデルが非線形、多段関数である場合、規範モデルとプラントの構造が異なる場合、及びシステムに外乱を加える場合には、プラントの

出力も希望の出力にうまく追従できる、ということが確認された。また、規範モデルあるいはプラントが変更された場合、適応則の再設計を必要としない、ということも確認された。

次に、ファジィ適応則をもつ MRACS をエネルギー散逸化制御方式に基づく天井クレーン制御へ応用した。エネルギー散逸化制御方式とは、吊荷が終着位置に静止しているときには、運動エネルギーも位置エネルギーも零の状態にあるという事実に着目し、常に系のエネルギーを減少させるようにエネルギーを制御する方式である。この制御方式の特徴は、クレーンの運動モデルに線形近似を持ち込むことなく、制御対象のダイナミクスを厳密にとり扱い、簡単な制御則でシステムの漸近安定性を厳密に保証することができることである。実際の天井クレーン自動運転においては、終着位置の振れ止めとトロリーの位置制御は必要のみでなく、走行時間の定量指定や、始動・途中における吊荷の振れ止めや、運転効率などの問題を解決する必要がある。これらの問題を解決する一つの方法として、本論文においてはファジィ適応則をもつ MRACS をエネルギー散逸化制御方式に基づく天井クレーン制御に適用した。まず、トロリーが終着位置に達する時間と位置のオーバシュートの制御性能指標を定量的に指定するために、ファジィ適応則をもつ MRACS における規範モデルを位置パターンとして、位置パターンによる天井クレーン制御系を構成した。次に、位置パターンによる制御法の改良として、MRACS における規範モデルの考え方を拡張して速度パターンを導入し、速度パターンによる天井クレーン制御系を構成した。さらに、吊荷の重さ、ロープ長と走行距離の定性知識により、ファジィ推論を用いて速度パターンによる制御系におけるパラメータを決定する方法について論じた。また、本研究では模型の天井クレーンを実際に運転した。運転実験の結果から、全走行過程において荷の振れを少なく、全走行時間を短くするような天井クレーン運転を実現できる、ということが確認された。

さらに、本論文においては、制御アルゴリズムが簡単で、計算量が少ないという実用化の立場から、PD フィードバック制御則に基づいてファジィ適応則をもつ MRACS をロボット・マニピュレータ軌道追従制御へ応用した。PD フィードバック制御は、簡単な線形フィードバックを用いて、ロボット・マニピュレータの非線

形特性を考慮した全体のダイナミクスを扱え、かつシステムの漸近安定性を厳密に保証することのできる制御方式であるが、この制御方式では、主としてロボット・マニピュレータの PTP (Point to Point) 制御のみを扱うことを考えており、軌道追従制御を実現することが困難と思われる。また、規範モデルとは制御系が目標とする特性を表すものであり、一方、目標軌道とはロボット・マニピュレータが正しく追従することが要求される時間に依存した表現であり、性質のちがうものである。このため、目標軌道を規範モデルにより表現することはできない。従ってファジィ適応則をもつ MRACS の制御系構成を、ロボット・マニピュレータの軌道追従制御にそのまま適用するのは困難である。このような問題に対して、本研究ではファジィ適応則を持つ MRACS の考え方を拡張した。すなわち、ファジィ適応則をシステム性能を評価する動作指数の希望値と実測値との差を小さくする、ような適応動作を行わせることができるのみではなく、ロボット・マニピュレータの軌道追従制御という目的を達成させることができる。その基本的な考え方は、簡単な PD フィードバック制御則を基本とし、これにファジィ適応則を導入することによって、ロボット・マニピュレータの PTP 制御に加えてある軌道に沿って行わせること (軌道追従制御) を実現することである。

本論文ではまずロボット・マニピュレータの非線形特性を厳密に考慮に入れて、パラメータが調節できるロボット・マニピュレータの PTP 制御のための PD フィードバック制御則を導出した。次に PD フィードバック制御則に基づくファジィ適応則を用いたロボット・マニピュレータの軌道追従制御系の構成法について論じた。その中、可変ゲインの調節については、PD フィードバック制御則の安定範囲内で行っているため、軌道終点での安定性を保証することができた。したがってロボット・マニピュレータ軌道追従制御において暴走のようなことが発生する恐れはない。最後に、本研究では 2 自由度マニピュレータ軌道追従制御の実験を行った。実験結果から、与えられた軌道に正確に追従でき、かつ暴走したことはない、ということが検証された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 青 木 由 直

副 査 教 授 伊 達 惇

副 査 教 授 土 谷 武 士

副 査 教 授 大 内 東

学 位 論 文 題 名

ファジィ適応則をもつモデル規範形適応制御系と
その応用に関する研究

本論文は、ファジィ制御における制御性能の指標の指定、安定性等の問題点を解決するために、ファジィ適応則をもつ規範モデル適応制御系を提案し、その応用に関して述べている。このなかで著者は、ファジィ制御法に規範モデル適応制御の概念を導入し、制御性能の指標を指定することを容易にしたアルゴリズムを提案している。特に、制御器として従来のファジィ制御のようにファジィ制御器を直接用いるのではなく、線形制御器のパラメータ適応系としてファジィ推論を用いることによって、制御系の安定性を導出している点は注目に値する。さらに、ファジィ制御法においてメンバーシップ関数の最大範囲、間隔等の従来経験的、実験的に求められていたパラメータを自動推定するファジィ推論を用いたアルゴリズムを提案している。これらの制御手法を天井クレーンの自動制御におよびアーム制御の軌道追従制御法に適用し、模型による実験においてその有効性を実証している。

本論文の内容は以下に示す5章から構成されている。

第1章は序論で、本論文の背景、目的及び構成について論じている。

第2章では、ファジィ適応則をもつ規範モデル適応制御系の基本的な考え方、制御対象に可調整パラメータを付加したパラメータ適応系の構成法を提案し、計算機シミュレーションによってその有効性を確かめている。従来の規範モデル適応制御においては非線形システムや多段関数のシステム、規範モデルとプラントの構造の相違が存在するシステムへの適応が困難であった。著者の提案するファジィ適応則をもつ規範モデル適応制御系では、これらのシステムへも適応が可能であり、制御性能指標を定められることが示されている。また、計算機シミュレーションよりシステムへの外乱が存在する場合であっても、プラントの出力を希望の出力に追従可能であることが示されている。

第3章では、ファジィ適応則をもつ規範モデル適応制御系のエネルギー散逸化制御方式に基づく天井クレーン制御への応用に関して述べている。この手法は、橋本・土谷によって提案されたエネルギー散逸化制御方式に基づいており、これに第2章で示されたファジィ適応則をもつ規範モデル適応制御系を適応している。提案された制御系の安定性を、エネルギー散逸化方式に基づいて検討を行い、これによって従来ファジィ制御では困難であったシステムの漸近安定性を、制御対象の運動モデルに線形近似を持ち込むことなく制御対象のダイナミクスを厳密に取り扱ったまま厳密に保証することを可能としている。この手法を実際の天井クレーン自動運転に適応することによって、規範モデルとして位置パターンを用いた制御系と速度パターンを用いた制御系を提案し、終着位置の振れ止めとトロリーの位置制御、走行時間の定量指定や、始動・途中における吊荷の振れ止めを実現している。さらに、吊荷の重さ、ロープ長と走行距離の定性知識により、ファジィ推論を用いて制御系におけるパラメータを決定する方法について提案し、これらの理論の有効性を模型の天井クレーンを用いて確かめている。

第4章では、ファジィ適応則をもつ規範モデル適応制御の考え方を拡張し、ロボット・マニピュレータ軌道追従制御への応用について述べている。従来ロボット・マニピュレータ軌道追従制御は、電力利用効率や計算量の点から問題があったが、著者はロボット・マニピュレータの非線形特性を厳密に考慮に入れて、パラメータが調節できるロボット・マニピュレータのPTP (Point to Point) 制御のためのPDフィードバック制御則を導出することによってこれらの問題を解決している。さらに、PDフィードバック制御則に基づくファジィ適応則を用いたロボット・マニピュレータの軌道追従制御系の構成法について述べている。提案された制御系に対し、リヤプノフ安定定理を用いてPDフィードバック制御則における安定となるパラメータの範囲について検討を行い、軌道終点での安定性を保証している。さらに、提案法を用いて2自由度マニピュレータで実験を行い、与えられた軌道への追従、安定性等を確認している。

第5章は結論で、以上のまとめと今後の研究課題が述べている。

これらを要するに、本論文はファジィ適応則をもつ規範モデル適応制御系の提案、拡張及びその天井クレーン制御とロボット・マニピュレータ軌道追従制御への応用について研究を行ったもので、その結果得られた数々の新知見はファジィ理論、制御工学、応用計算機工学に寄与するところが大である。よって著者は博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。