

制御系構成法の拡張による統合化設計とオンライン 目標値計画に関する研究

学位論文内容の要旨

最近の制御系構成についての研究は、制御対象のモデルの不確かさに対処するロバスト制御と制御対象の非線形特性に対処する非線形制御の2つの大きな流れをもっている。このように、制御系構成法は現在も発展中であるが、制御系構成法がシステム設計全体に果たす役割はほとんど変化していない。つまり、与えられた制御対象に対して、外乱や制御対象のパラメータ変動などの影響についてのロバスト性を考慮し、与えられた目標値に追従する制御系を設計するという前提条件に立って議論されてきた。制御系構成法の新たな展開を期するならば、この役割の拡大について検討すべきであると考えられる。そこで、本論文では、制御系構成法の適用範囲を、制御問題とは密接な関係でありながら制御問題とは別の問題と考えられてきた制御対象設計問題と目標値計画問題への拡張について議論している。

はじめに、2次形式評価関数の重み行列に基づいた離散時間最適(予見)制御系の漸近性質を明らかにしている。また、この性質を利用した制御系設計法を提案している。漸近状態で評価関数の重み行列と制御系の応答を結びつけることにより、制御系設計の試行錯誤が軽減可能である。この方法を誘導電動機のベクトル制御に適用することにより、完全なベクトル制御の条件達成度と制御入力(入力電圧と周波数)の大きさのトレードオフを容易にとることが可能である。さらに、計算機シミュレーションにて有効性を確認している。

次に、上記の漸近性質を利用した制御系設計方法を拡張することにより、制御対象と制御系の統合化設計法を提案している。従来、制御系設計は制御対象が与えられるものとして議論されてきた。まず、制御対象が何らかの方法で別に設計され、次に、その制御対象に対して制御系設計法により制御系を設計するのが一般的である。つまり、制御対象の設計と制御系の設計を個別に行うことを前提としている。ところが、制御対象の特性は最終的に構成される制御

系の特性に影響を与えるため、両方を統合化することにより、個別に設計する場合に比較して制御系の性質を向上させることが可能である。しかし、従来の同時最適化設計では、1つのシステムに対して2つの評価指標を与えて同時に最適化することを目的としたため、議論が明確になり難い傾向がある。それに対して、本論文では目的を明確にするために、まず制御対象設計で制御対象パラメータの許容範囲をもとめ、これを制御系設計評価指標を最適化するように決定する統合化設計について議論している。本論文で提案した方法では、最適制御系が漸近状態にて制御対象パラメータと制御系の応答の関係が簡単になることを利用することにより、設計時の試行錯誤を軽減可能である。

また、本論文では制御系設計法の拡張によるオンライン目標値計画を提案している。従来の制御系設計法は制御系への目標値信号が与えられるものとして議論されてきた。しかし、直接に目標値が与えられるのではない場合、与えられる多様な要求と制約条件などから目標値を決定する目標値計画が必要になる。オフライン計画では、制御対象に実時間で影響してくる外乱やパラメータ変動などに対して制御系のみが対処しなければならないが、オンライン計画では目標値計画においても対処可能である。制御系設計法を拡張する利点は、数多くの方法が提案されてきた制御系構成の手法を計画問題に利用可能なことである。また、制御系設計法によって計画則が設計されるため、一般にその構造は簡単であるので、目標値計画に要する時間がオンライン計画に十分な程に短いことが期待できる。さらに、オンライン目標値計画則と制御系の相互作用を考慮することができる。また、2次形式評価関数について最適制御系設計法を拡張したオンライン目標値計画則の設計法を提案している。さらに、ロボットマニピュレータにこの方法を適用し、計算機シミュレーションと実機実験で有効性を確認している。

最後に、従来の予見制御系設計法を拡張することにより、移動体に対するオンライン予見目標値計画を含んだ制御系設計法を提案している。オンライン目標値計画では、未来目標値が未来の制御系の状態に影響されるので、従来のオフライン計画のために考案された予見制御系設計法を直接適用できない。それに対して、本論文では目標値自体ではなく、目標値計画を決定するための未来情報を利用するオンライン予見目標値計画の概念を提案している。さらに、移動体の位置制御を例として設計法を示している。前方障害物の位置情報を距離センサなどにより取り入れることができる場合、これを予見情報として早めに回避動作を始める目標値をオンラインで計画することにより、安全な障害物回避が可能である。予見なしの場合のオンライン目標値計画がフィードバック系を構成するのに対して、予見計画を用いることは予見フィードフォワードを付加することになる。提案した方法により、制御工学の枠組みの中で予見情報とオンライン目標値計画の関係を明らかにしている。また、計算機シミュレーションで有効性を確認している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 土 谷 武 士
副 査 教 授 島 公 脩
副 査 教 授 大 西 利 只
副 査 教 授 長 谷 川 淳

学 位 論 文 題 名

制御系構成法の拡張による統合化設計とオンライン

目標値計画に関する研究

近年、制御対象のモデルの不確かさに対処するロバスト制御と制御対象の非線形特性に対処する非線形制御に関する研究が盛んに行われている。このように、制御系構成法は現在も発展中であるが、制御系構成法がシステム設計全体に果たす役割はほとんど変化していない。つまり、与えられた制御対象に対して、外乱や制御対象のパラメータ変動などの影響についてのロバスト性を考慮し、安定かつ与えられた目標値に追従する制御系を設計するという前提に立って議論されてきた。制御系構成法の新たな展開を期するならば、この役割の拡大について検討すべきである。そこで、本論文では、制御問題とは密接な関係でありながら制御問題とは別の問題と考えられてきた制御対象設計問題と目標値計画問題への制御系構成法の適用範囲拡張について議論している。

はじめに、2次形式評価関数の重み行列に基づいた離散時間最適(予見)制御系の漸近性質を明らかにしている。また、この性質を利用した制御系設計法を提案している。漸近状態で評価関数の重み行列と制御系の応答を結びつけることにより、制御系設計の試行錯誤が軽減可能である。この方法を誘導電動機のベクトル制御に適用することにより、完全なベクトル制御の条件達成度と制御入力(入力電圧と周波数)の大きさのトレードオフを容易にとることが可能である。さらに、計算機シミュレーションにて有効性を確認している。

次に、上記の漸近性質を利用した制御対象と制御系の統合化設計法を提案している。従来、制御系設計は制御対象が与えられるものとして議論されてきた。まず、制御対象を設計し、次にその制御対象に対して制御系を設計するのが一般的である。つまり、制御対象設計と制御系設計を個別に行うことを前提としている。ところが、制御対象の特性は最終的に設計される制御系の特性に影響を与えるため、両方を統合化することにより、別々に設計する場合に比較して制御系の性質を向上させることが可能である。しかし、統合化設計では制御対象の設計と制御系の特性の関係が明確でないため試行錯誤が多くなる。本論文で

提案している方法では、最適制御系の漸近性質において制御対象パラメータと制御系の応答の関係が明確なることを利用し、統合化設計の試行錯誤軽減を可能としている。

次に、本論文では制御系設計法の拡張によるオンライン目標値計画則設計を提案している。オフライン計画では制御対象に実時間で影響する外乱やパラメータ変動などに対して制御系のみが対処しなければならないが、オンライン計画では目標値計画においても対処可能である。また、制御系設計法を目標値計画則設計に拡張することにより計画則の構造が簡単となり、目標値計画に要する時間がオンライン計画に充分な程に短いことが期待できる。さらに、オンライン目標値計画則と制御系の相互作用を考慮することができる。具体的な設計方法の例として、2次形式評価関数に基づいた最適制御系設計法を拡張したオンライン目標値計画則の設計法を提案している。この方法をロボットマニピュレータに適用し、計算機シミュレーションと実機実験で有効性を確認している。

最後に、移動体に対するオンライン予見目標値計画を含んだ制御系設計法を提案している。オンライン計画では未来目標値が未来の制御系の状態に影響されるので、従来のオフライン計画のために考案された予見制御系設計法を直接適用できない。それに対して、目標値自体ではなく、目標値を決定するための未来情報を利用するオンライン予見目標値計画の概念を提案している。距離センサなどにより計測した前方障害物の方向・距離を予見情報としてオンライン目標値を計画することにより、安全な障害物回避が可能である。また、制御工学の枠組みの中で予見情報とオンライン目標値計画の関係を議論することが可能である。さらに、計算機シミュレーションで有効性を確認している。

これを要するに、著者は、制御系構成法の拡張による統合化設計とオンライン目標値計画についての提案をしており、制御工学の進歩に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。