

論文内容の要旨

博士論文題目 複数の仕様を満足する制御系のLMIを用いた設計法

氏名 大形 明弘

複数の制御仕様を同時に満たす定数状態フィードバックゲイン行列が存在するための必要十分条件は、各制御仕様を表した線形行列不等式(LMI)に含まれる変数(パラメータ)空間において、同一のゲイン行列を与える変数の集合に対応する線形部分空間が、すべてのLMIの解集合と交わることを明らかにした。そしてゲイン行列(線形部分空間)を求める方法として、線形部分空間と各LMIの解集合との距離情報を使って逐次探索するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムは各LMIの解集合が共通解をもたない場合に解を求めることができる。従来は数値計算の難しさから各LMIの解集合の共通集合(十分条件)の中から解が求められていた。また制御対象の状態数と入力数がともに1である場合について、アルゴリズムが必ず収束すること、もし解が存在するならば初期値を解の十分近くに選べば必ず解に収束することを示した。

提案したアルゴリズムが、具体的な制御系の設計法として有用であることを示すため、倒立振子と吸収冷凍機の2つの制御対象に適用し、得られた制御系の性能を数値シミュレーションによって調べた。倒立振子では2つの物理パラメータが不確かである場合に、閉ループ系の固有値の範囲を保証する制御系の設計問題、減衰率と入力に関する制限を付け加えた設計問題を解いた。アルゴリズムによって得られた解はいずれの設計問題においても十分条件から得られる解よりも制御特性がすぐれていることを確認した。また吸収冷凍機では、物理モデルから得られた非線形システムを微分包含で近似して、システム行列が与えたポリトープ内にある線形時変システムに対して、すべての動作点で安定であり入力に対する制限が満たされること、平均的な1つの動作点で減衰率に対する制限が満たされかつ負荷変動から出力変化への L_2 ゲインが最小であることという2つの制御仕様を満たすゲイン行列を求めた。入力の上限值と減衰率の下限値を固定したとき、提案したアルゴリズムで求めたゲイン行列は、2つのLMIの解集合の共通集合から求めたゲイン行列よりも、負荷変動から出力変化への L_2 ゲインを小さくできることを確認した。これらの数値実験から、提案したアルゴリズムを使って必要十分条件を解くことによって、計算の容易さから凸計画問題となる十分条件を解く従来法に比べて、よりすぐれた制御性能をもつ制御系を設計できることを確認した。

論文審査結果の要旨

本論文は、制御系設計に際して、複数の制御仕様がそれぞれ線形行列不等式 (LMI) で与えられたとき、定数状態フィードバックゲイン行列のコントローラを設計する問題を取り扱ったものである。本論文の主な成果は次のように要約される。

1. 従来、各LMIの解集合の共通集合が凸になることから、計算が容易な十分条件が解かれていたが、非凸計画問題となる必要十分条件の幾何学的解釈を行い、これをもとに必要十分条件を解く逐次探索アルゴリズムを新たに開発した。

2. 限定した条件のもとではあるが、開発したアルゴリズムの解への収束性などの理論的な解析を行った。

3. 倒立振り子および吸収冷凍機について、複数の制御仕様をもつ具体的な制御問題を解くことによって、提案したアルゴリズムを使って必要十分条件から得られた解が、十分条件から得られる解よりも制御性能がすぐれていることを確認した。また数値実験によって、提案した方法が実際的な制御系の設計法として有用であることも確認した。

以上のように、本論文は、複数の制御仕様を満足する制御系を設計するための新しい手法を提案し、その特徴および適用方法を示したものとして、システム制御工学の分野において、学術上、実用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。