

氏 名	えび はら よし お 蛭 原 義 雄
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2154 号
学位授与の日付	平成 14 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学研究科電気工学専攻
学位論文題目	LMI - Based Multiobjective Controller Design with Non - Common Lyapunov Variables (非共通のリアプノフ変数を用いた線形行列不等式に基づく多目的制御器設計)
論文調査委員	(主 査) 教授 萩原 朋道 教授 荒木 光彦 教授 杉江 俊治

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、数値最適化手法に基づく制御器設計において重要な役割を果たしている線形行列不等式に関して、それを多目的制御器設計問題に適用する上で解決すべき課題の制御理論の見地からの考察を行ったものであり、5章からなっている。

第1章は序論であり、多目的制御器設計問題、すなわち複数の制御仕様を同時に満足する制御器を設計するという問題を考察する重要性について述べ、この問題に対する従来研究を概観している。さらに、代表的な従来解法である共通のリアプノフ変数を用いた線形行列不等式に基づく解法が保守的な結果をもたらすという問題点を明らかにし、本論文で非共通のリアプノフ変数を用いた解法を研究する動機づけを与えている。

第2章では、多目的制御器設計問題の線形行列不等式に基づく具体的な取り扱いについて論じている。まず、本論文で考察している多目的制御器設計問題が、個々の設計仕様を特徴づける複数の双線形行列不等式を制約条件とする非凸最適化問題として定式化されることを示し、この問題の数値最適化の観点からの本質的な難しさについて述べている。次に、各設計仕様に対してリアプノフ変数を共通とするという制約を施すことで、双線形行列不等式を効率的な数値的求解が可能な線形行列不等式に帰着するという従来解法の要点をまとめ、この制約に起因する従来解法の問題点、すなわち設計結果の保守性を明確にしている。

第3章では、共通のリアプノフ変数の採用に起因する設計の保守性を回避するために、状態フィードバックの場合について非共通のリアプノフ変数を許容する二つの独立な方法を導いている。第一の方法では、従来の方法において利用されてきた変数変換を行うことなく、リアプノフ変数に新たな等式制約を付加することにより、リアプノフ変数を非共通としつつフィードバックゲインを直接変数として利用することを可能とする線形行列不等式表現を導出している。第二の方法では、標準的な変数変換を行った後に、変換後の変数をさらに新たな変数に関する適切に構成されたアファイン関数として表現することで、非共通のリアプノフ変数を許容しつつ最適化問題の非凸性を回避している。また、第一の方法および第二の方法の特長を活かし、両者を交互に適用することによる効率的な繰り返し計算法を提案している。提案手法の有効性は数値例を用いて検証されており、提案手法を用いることで従来解法の設計の保守性を回避でき、したがって制御性能をかなり向上できることが示されている。

第4章では、状態フィードバックおよび出力フィードバックの場合について、伸張型線形行列不等式表現という新しい考え方に基づく設計手法を与えている。この方法は、従来設計法において本質的な問題点となっていた、制御器変数とリアプノフ変数が積をなすという点を、行列不等式の等価な伸張型表現を導出することにより巧みに回避したものである。この伸張型表現により、多目的制御器設計問題を非共通のリアプノフ変数を用いて直接線形行列不等式として定式化することが可能となっており、かつ従来共通のリアプノフ変数を用いた解法よりも制御性能の上界値が改善される(悪化しない)ことを理論的に証明している。提案手法の有効性は数値例を用いて検証し、大幅な制御性能の向上を確認している。また、伸張型表現は多目的制御器設計問題のみならず一般的な制御器設計に対しても応用可能なものとなっている。本論文では、

伸張型表現がポリトープ型の不確かさを有する制御対象に対する制御器設計問題、制御性能の解析問題においても有用であることを示しており、数値例を用いてその有効性を実証している。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、多目的制御器設計問題、すなわち複数の異なる制御仕様を同時に満足する制御器を設計する問題に対して、線形行列不等式に基づく数値解法の効率的適用を可能とする方法を理論的に提示したものである。その特徴は、複数仕様に対応した線形行列不等式のリアプノフ解が互いに相異なる、すなわち非共通となることを許容するための理論的枠組みを与えている点にある。得られた主な研究成果は以下の通りである。

1. 状態フィードバックを前提とした場合について、複数仕様に対応したリアプノフ解の間に等式制約を付加する一方、この制約を受けない部分の自由度を利用することで、非共通のリアプノフ解を許容した線形行列不等式に基づく解法が構成できることを示した。
2. 制御器を2つの適切なアファイン関数を用いて表現することにより、これらのアファイン関数が含む変数に関する線形行列不等式に基づく解法が構成できることを示すとともに、この解法が非共通のリアプノフ解を許容するものとなっていることを明らかにした。
3. 上記の2つの解法における等式制約ならびにアファイン関数の合理的な定め方を提示するとともに、これらの解法がいずれも、従来、一般に用いられてきた共通のリアプノフ解に基づく解法より優れていることを理論的に明らかにした。
4. 上記の解法とは異なる解法として、伸張型線形行列不等式と呼ばれる新たな表現式に基づく解法を導いた。伸張型線形行列不等式は、リアプノフ解と制御器変数の積を含まない点に、従来の表現式にない特長を有しており、これを利用することで非共通のリアプノフ解を許容した多目的制御器設計が可能となることを示した。
5. 伸張型線形行列不等式表現による解法に基づき、ポリトープ型の不確かさを有するシステムに対するロバスト制御器の設計や出力フィードバックの場合への拡張も可能であることを明らかにした。さらに、伸張型線形行列不等式に基づく解法が、従来の共通のリアプノフ解に基づく解法より優れた能力を有することを明らかにした。

以上要するに、本論文は、多目的制御器設計問題の解法において、非共通のリアプノフ解を許容した線形行列不等式を利用し得る方法を新たに提示したものであり、それらの方法が従来の一般的な方法よりも優れた設計能力を有していることを明らかにしている。したがって、本論文の成果は、学術上、實際上、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。また、平成14年1月28日、論文内容とそれに関連した事項について試問した結果、合格と認めた。