

氏 名	きのした こうじ
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 59 号
学位授与の日付	平 成 14 年 11 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	情 報 学 研 究 科 シ ス テ ム 科 学 専 攻
学位論文題目	非最小位相系に対する反復学習制御とフレキシブルアームの制御への応用

論文調査委員	(主 査) 教 授 足 立 紀 彦	教 授 山 本 裕	教 授 杉 江 俊 治
--------	----------------------	-----------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、反復学習制御とよばれる制御手法について新しい視点から考察を行い、共役型と呼ばれる反復学習制御手法が不確かさを有する非最小位相系の制御に有効であることを明らかにし、さらに同手法を1リンクフレキシブルアームの先端位置制御へ適用し、その有効性を実験的に検討したものである。本論文は5章から構成されている。

第1章では本研究の背景と目的が述べられている。反復学習制御では、有限時間区間において試行の反復を行うことで、与えられた目標出力を正確に実現する入力（望ましい入力）を得ている。その方法は

(a) 出力の偏差やその微分等を順時間処理する方法（一般化PD型）

(b) 出力の偏差を逆時間処理する方法（共役型）

に大別される。一般化PD型反復学習制御は、試行の反復により望ましい入力を得ていることから、右逆システムと密接な関係にある。したがって、非最小位相系に適用すると、不安定な零点の影響を受け、得られる入力の大きさは時間の経過とともに増大する。共役型反復学習制御においても、同様の現象が予測される。しかし、数値実験を通してこの手法により得られる望ましい入力は、従来型の右逆システムを用いて得られる入力とは全く異なったものであり、むしろ安定逆アルゴリズム（Stable Inversion）を用いて得られる入力と密接な関係にあることが判明した。ここで、安定逆アルゴリズムとは因果的な逆計算と非因果的な逆計算を組み合わせることで、不安定な零点の影響を解消し、有界な望ましい入力を得るアルゴリズムである。

第2章では、共役型反復学習制御と安定逆アルゴリズムとの関連性について理論的に考察し、制御対象に不確かさが存在する際の時間領域および周波数領域における反復学習制御の収束条件を与えている。反復学習制御が不確かさを有するシステムの制御に、また、安定逆アルゴリズムが非最小位相系の制御に有効であることから、不確かさを有する非最小位相系の制御に共役型反復学習制御が有効であることの理論的裏付けを与えている。両者の関連性を示すためには、安定逆アルゴリズム問題が無限時間区間で定式化されていることから、反復学習制御の試行時間区間も無限時間区間へ拡張しなければならない。しかし、現実の課題に適用する際にはこのような試行を実現できないため、試行を有限時間区間に設定する必要がある。

そこで第3章では、試行時間区間の打ち切りによる影響について考察している。この考察の結果は試行毎にリセットされる制御対象の初期状態と有界な望ましい入力を与える初期状態のずれが、制御性能に大きな影響を与えることを示している。特に、試行時間区間を適切に設定しなければ、試行開始時刻付近での入力のピーク値が試行を繰り返す毎に増大する。そこで、周期的な目標出力に限定し、出力が定常状態に落ち着いた段階で入力の更新を行う新しい繰り返し手法を提案している。この手法により、入力のピーク値が試行を繰り返す毎に増大する現象を抑えることが可能となった。

これまで考察を行った共役型反復学習制御と安定逆アルゴリズムとの関連性は有限次元システムに対する性質である。しかし、1リンクフレキシブルアームのように無限個の不安定零点を持つシステムにたいしては、共役型の入力更新則は理論

的な収束は保証されない。第4章では、共役型反復学習制御の入力更新則に新たにフィルタを導入し、厳密に目標出力を実現できないが学習の安定性を確保できる手法を提案している。また、反復学習制御ではシステムの正確なモデルを必要としない点を考慮して、アームを板バネとみなした簡単なモデルに基づいて入力更新則の設計を行い、この手法の有効性の検証のために実機実験を行った。その結果は、フィルタ導入による影響を抑えることが可能で、高精度の目標出力への追従が実現されることを示している。第5章は以上の結果をまとめ、また今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

反復学習制御は、試行の反復を通して制御対象の出力を目標出力に正確に追従させることを目的とする制御法である。本研究は、非最小位相系に対する反復学習制御法、特に共役型反復学習制御法とよばれる手法の有効性を理論的および実験的に検討したものである。本研究の主要な成果は以下のとおりである。

- (1) 制御対象が非最小位相系の場合でも、入力の変更則を逆時間で構成する共役型反復学習制御は、試行の反復を通して有界かつ目標出力を正確に実現する入力を実現することを示した。
- (2) 試行時間区間の設定が与える制御性能への影響の評価を行い、試行区間の設定が不適切な場合の制御性能の劣化を抑える手法の提案を行った。
- (3) 1リンクフレキシブルアームの制御に共役型反復学習制御を適用し、無限個の不安定零点を有するシステムにしても有効であることを実験によって示した。

以上の結果、共役型反復学習制御では、試行の反復を通して安定逆アルゴリズム (Stable Inversion) と呼ばれる手法によって得られる入力を実現していることが明らかになった。このことは、一般に反復学習制御が不確かさを有するシステムの制御に、また安定逆アルゴリズムが非最小位相系の制御に有効であることから、共役型反復学習制御が不確かさを含む非最小位相系の制御に有効であることの理論的裏づけを与えるものである。

また、試行時間区間を有限である場合、不安定零点が無限個存在する場合など、上記の理論的解析の前提が厳密には満たされない場合について理論的および実験的に検討を行った。最初に、有限な制御区間の設定による制御性能への評価を行い、さらに、制御対象の初期状態と有界な望ましい入力を与える初期状態の相違が原因で入力のピーク値が試行の反復とともに増大する現象を指摘し、その解決法の提案をおこなった。提案手法は共役型反復学習制御を実際の課題に適用する際に有効である。

さらに、1リンクフレキシブルアームの制御に共役型反復学習制御を適用し、その有効性を実験的に検証している。まず、共役型反復学習制御を無限次元システムであるフレキシブルアームへ適用する際の問題点を明らかにし、入力更新則にフィルタを導入することでその問題点を解決した。反復学習制御が制御対象の正確なモデルを必要としない点に着目し、入力更新則を簡単なモデルに基づいて設計し、高精度の制御が行われることを確認した。以上要するに本研究は共役型反復学習制御の有効性を理論的にまた実験によって検証したもので、学術上、実際上有意義な結果を含んでいる。よって本研究は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成14年8月28日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。