

論文内容の要旨

博士論文題目

強正実条件下におけるフィードバック誤差学習制御

(Feedback error learning control under strictly positive real condition)

氏 名

今林 亘

(論文内容の要旨)

制御システムには安定性と目標値応答特性という2つの性能が要求されるが、目標値からの誤差をフィードバック (FB) する通常の1自由度構成では両者がトレードオフの関係になり、ともに十分な性能を得ることは時に難しい。一方、出力のFBと目標値のフィードフォワード (FF) を利用する2自由度構成を採用すれば上記のトレードオフは解消されるものの、FF制御器をモデルベースで設計すると、モデリング誤差がそのまま目標値応答に影響してしまう。そこでFF制御器を固定せず、オンラインで調整することにより望ましい目標値応答を得るという手法が提案されている。これは生体の随意運動のモデルであるフィードバック誤差学習を線形制御系の枠組みに導入したものであり、適応制御の新たなパラダイムとして期待される。

FF制御器のパラメータ調整則としては、強正実条件を前提とするものや逐次最小2乗法にもとづくものが提案されている。前者は相対次数が1次のときに限られるという弱点があるとはいえ、後者に比べて

- i) 調整則を含めたシステム全体で誤差信号が0に収束することが(信号の持続的励振条件がなくても)証明されている
- ii) 誤差信号が一時的に途絶えても、調整を中断し保持しておけば、信号の復旧とともに調整を再開できる

などの利点がある。画像センサや深度センサによる遠隔計測が普及し、ネットワーク化制御が実用化された現代では、計測の一時的な障害や信号の伝送損失などにより観測信号が途切れることがよくあり、この信号損失に耐久性があることは実用上望ましいと考えられる。

そこで本研究では強正実条件の下でのフィードバック誤差学習について次の2つの課題に取り組んでいる。

1. この調整則では上記のように閉ループ系が強正実であることを前提条件としているが、この条件は相対次数が0のときハイゲインにすれば満たされるという程度しか検討されておらず、必ずしも満たされるとは限らないため、適用範囲はかなり限定されていた。そこで、本研究では相対次数が1のとき、FF制御器におけるフィルタ係数の自由度を利用して強正実条件を達成するという手法を提案する。さらに、制御対象の不確かさをポリトープで表現し、提案法のロバスト化を図る。これらは線形行列不等式を解くことによって達成される。
2. 計測器にセンシング障害が発生するときや通信路に伝送損失（パケットロス）が発生するときに、ネットワーク化制御系にフィードバック誤差学習を適用することによって応答性能にどの程度まで影響があるかについて、従来の1自由度制御系と比較する等の定量的な評価を行う。シミュレーションと実機実験によって提案手法の有効性を確認する。

(1, 200字程度)

氏名	今林 亘
----	------

(論文審査結果の要旨)

制御システムの設計にはロバスト制御と適応制御という 2 つの主要なアプローチが知られている。本論文では線形のフィルタと可調整パラメータから構成されるフィードフォワード制御器の設計法を提案しており、これはオンラインで制御器を調整するという意味では後者に属する。その一方、予め固定したフィードバック制御器によって安定化を達成しており、また調整則を含めた誤差システムの安定性は線形行列不等式 (LMI) の解から得られる Lyapunov 関数によって保証するので、この意味では前者に近いものと見なせる。

さらに、制御対象の (具体的にはシステム方程式の係数の) 不確かさをポリトープによって表現し、その端点から作られる LMI を連立させて解くことで、係数がポリトープ内部の任意の値を取っても同じ (共通の) Lyapunov 関数が存在することを示している。この LMI 解を元にフィードフォワード制御器のフィルタ係数を設計することで、不確かさの下での誤差システムの安定性を保証している。これも、設定した Hard bound の範囲内で性能を保証するという意味でロバスト制御における健全な方法論として評価できる。

このように本研究はフィードバック誤差学習におけるオンライン調整の発想を取り入れた適応制御の枠組みと、LMI を駆使したロバスト制御系設計の方法論をうまく融合させ、ネットワーク制御や遠隔制御系の理論に新しい知見を与えるものとして評価できる。また、網羅的とは言えないものの実機 (ドローン) による評価実験も行っており、この点からも制御工学における学位論文として十分な価値があるものと考えられる。

本論文はフィードバック誤差学習制御における設計手法の提案、およびそのネットワーク制御における評価を行っていることに鑑み、新規性および有用性の観点から一定の学術的意義があるものと評価できる。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。

(A4 1枚 1, 200字程度)