

論文内容の要旨

博士論文題目 入力変換によるリファレンスシステムを利用した
有限時間整定制御に関する研究

氏名 的場 俊亮

(論文内容の要旨)

非線形制御手法のひとつに有限時間整定制御と呼ばれるものがある。これは有限時間で目標へ到達させる制御則である。一般に、非線形制御系の安定性は有限時間安定、指数安定、有理安定という3種類に分類できるが、これは第1のカテゴリに属する。他の指数安定性や有理安定性はともに無限に長い収束時間を要するため、有限時間整定制御は最も高速・高精度に目標への到達が達成できるものと期待される。

近年、有限時間整定制御は盛んに研究され、様々な制御手法が提案されている。中でも、非線形入力アファインシステムに対する制御 Lyapunov 関数(CLF)を用いた大域的逆最適制御法が中村らによって提案されているが、この制御法はシステムが持つ局所的同次近似システムを利用することで局所制御性能を保証し、同次近似システムの同次次数の選び方によって有限時間整定制御則が設計できる。しかしながら、この制御則の有効性はこれまで実機実験によって確認されていない。また、実機に適用する場合には Coulomb 摩擦等の不連続な物理現象を含むことがしばしばあり、このようなシステムに対して中村らの制御法では局所同次システムへの近似ができないために収束速度が保証されない。そこで、本研究では同次近似システムに代わり、収束速度の保証に利用するリファレンスシステムと、同次近似を持たないシステムに対しても収束速度を保証する制御法を提案し、有限時間整定制御が持つ収束時間および精度に関する位置決め制御性能を明らかにする。

提案するリファレンスシステムは、同次近似を持たない非線形システムに対して入力変換を施し、同次近似を持つようにしたものである。この同次次数を参照することで、元のシステムに対しても収束速度を保証する。入力変換後の

システムは同次次数を参照するだけのために用いるのでリファレンスシステムと呼ぶ。

さらに、このリファレンスシステムを利用した設計法により、有限時間整定制御が持つ収束時間および誤差精度といった位置決め制御性能を実機実験から明らかにする。実験ではロボットマニピュレータ PA-10 を用いた 1 リンク機械システムに対する位置決め制御を行う。1 リンク機械システムの高精度位置決め制御において、目標点付近での Coulomb 摩擦、粘性摩擦の影響は無視できない。このため、摩擦を考慮したモデルをシステムとして用いる。ただし、摩擦を考慮した非線形システムは、有限時間整定制御を設計する上で必要な、同次システムへの近似ができない。そこで、この問題に対して入力変換によるリファレンスシステムを利用した中村らの制御則が有効であることを理論的に確認した上で、コンピュータシミュレーションおよび実機実験により有限時間整定制御則の有効性を検証する。

次に、提案したリファレンスシステムを用いても、中村らの制御法では収束速度を保証できない非線形システムがしばしばある。そこで、このような同次近似を持たない非線形システムに対しても収束速度を保証する制御法を提案し、コンピュータシミュレーションおよび実機実験により提案法の有効性を検証する。

氏名	的場 俊亮
----	-------

(論文審査結果の要旨)

制御工学においてシステムの安定性は最も重要な性質であり、あらゆる面から検討され、またそれを保証する制御則が数多く提案されてきた。通常の線形制御理論では漸近安定性、つまり無限に長い時間が経過した後に原点に収束することが基本的仕様として求められる。一方、より広い非線形制御の分野ではこの他にも種々のタイプの安定性が知られており、それらの性質や設計法について詳しい検討がなされてきた。

本論文では、その中でも有限時間安定性に着目し、それを達成する有限時間整定制御について研究している。このアプローチは非線形制御に特有の同次性という概念を活用する点に大きな特色があり、中村らによって近年盛んに研究されている、制御 Lyapunov 関数 (CLF) を用いた大域的逆最適制御法を援用することで初めて可能となったものである。

本研究では、有限時間整定制御の実用化を目指して、実装上の問題となっていた幾つかの課題を解決している。特に入力変換によるリファレンスシステムを利用するという着想は独創的なものである。さらに提案手法の有効性を確認するため、ロボットアーム PA-10 を用いて実証実験を行なっている。非線形制御則は演算処理が複雑となるため実験が難しくシミュレーションによる検証に留まることも多いが、汎用実験機に実装して確かめたことは意義が大きいと考えられる。

このように本論文は非線形制御の理論およびそれを実験により検証した論文として優れたものであり、知能システム制御の分野において学術上・実用上、寄与するところが大きい。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。