

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 非線形システムのサンプル値制御に関する研究
(Studies on sampled-data control for nonlinear systems)

熊本大学大学院自然科学研究科 産業創造工学専攻 機械知能システム講座
(主任指導 教授 石飛 光章)

論文提出者 西 雅俊
(by Masatoshi Nishi)

主論文要旨

制御技術分野においてディジタルコンピュータをコントローラとして用いる場合、一般に制御対象はサンプラとゼロ次ホールダを通してコンピュータと接続され、コンピュータから出される離散時間信号を一定値に保持した連続時間信号によって制御される。このように、連続時間信号で動作する制御対象と離散時間信号を扱う制御器が混在するシステムはサンプル値制御系と呼ばれる。

サンプル値制御系の設計方法には大別してエミュレーション、サンプル値設計、離散時間設計がある。エミュレーションは、連続時間モデルに対して設計した連続時間制御器を離散化して、実装する方法である。この手法は簡単さから実用上多く用いられているが、サンプリング過程を考慮していないため、サンプリング周期を十分小さくすることによって制御性能の劣化を抑える必要がある。しかし、制御対象によってはサンプリング周期を十分に短くできない場合があり、このような場合は、制御性能の悪化のみならず不安定化も起こり得る。また、サンプル値設計は、サンプル点間の挙動を考慮した正確なサンプル値モデルを用いて、要求される制御性能を達成する制御器を設計する方法である。この手法は最も良い性能が期待できるが、エミュレーションに比べて高度なテクニックを必要とする。これに対して、離散時間設計は、制御対象の離散時間モデルを求め、その離散時間モデルに対して離散時間制御器を設計する方法で、エミュレーションとサンプル値設計との中間的性質を有しており、今日に至るまで多岐にわたる研究が取り組まれている。そこで本研究では、実用的有効性の期待が高い離散時間設計の立場で考えている。制御対象として非線形システムを取り上げ、高性能なサンプル値制御系設計方法の確立を目的として、離散時間設計の立場からフィードバック制御系の再設計と高精度近似サンプル値モデルの解析およびそのモデルにもとづく制御系設計を主な課題として研究している。

(1) フィードバック制御系の再設計

エミュレーション入力に補助入力を加えることによって制御性能を改善させる再設計について検討している。これまでに、Nesic らは再設計によって安定なサンプル値制御系を設計する方法を提案しているが、Nesic らの研究ではフィードバックシステムの安定化のみが議論されており、制御性能を改善させる具体的な設計方法には言及していない。そこで、具体的な設計問題としてモデル追従制御系設計問題を取り上げ、近似離散時間モデルにもとづく再設計によって、エミュレーションよりも制御性能を改善させるサンプル値モデル追従制御系を構成する方法を示している。

(2) 高精度近似サンプル値モデルの解析およびそのモデルにもとづく制御系設計

これまでの近似離散時間モデルにもとづく離散時間設計では、近似モデルとしてよく知られている Euler モデルが用いられている。しかし、この Euler モデルは近似精度が低いため期待する制御性能を得ることが難しい。そこで、精度の高い近似モデルが望まれる。

Yuz and Goodwin は Euler モデルより近似精度が高いモデルを提案している。彼らのモデルの出力と真のシステムの出力との誤差は Euler モデルのそれよりも小さいので、フィードバック制御性能も改善される可能性があるが、このモデルはサンプリングによって新たに生じるサンプリングゼロダイナミクスと呼ばれるゼロダイナミクスを有する。ゼロダイナミクスの安定性は多くの非線形システムのフィードバック制御器設計に要求される性質であるが、相対次数が 2 のときの Yuz and Goodwin モデルのゼロダイナミクスの安定問題は十分解明されていない。そこで、相対次数が 2 のときに Yuz and Goodwin モデルのゼロダイナミクスの安定性を判別するためには、さらに高精度のモデルが必要であることを示し、Yuz and Goodwin のモデルより高精度のモデルを導出するとともに、サンプリングゼロダイナミクスを解析している。また、ゼロ次ホールドの代わりに分数次ホールドを導入することにより、ゼロ次ホールドの場合よりゼロダイナミクスの安定性が改善されることを明らかにし、その結果として、フィードバック制御性能も改善されることを示している。

一入出力非線形システムに対するサンプル値モデルおよびそのゼロダイナミクスに関しては、上述のような Yuz and Goodwin を初めとする研究結果が明らかにされているが、多入出力非線形システムへの拡張は行われていない。そこで、一入出力系に対する Yuz and Goodwin のモデリング手法を拡張して、非干渉化可能な多入出力非線形システムに対して高精度のサンプル値モデルを導出し、そのゼロダイナミクスを解析している。そして、得られたサンプル値モデルにもとづいてフィードバック制御系を設計すれば、エミュレーションや従来の Euler モデルにもとづく方法よりも良好な制御性能が得られることを示している。

本研究の成果は、フィードバック制御系設計を行う際に、従来より幅広いサンプリング周期で所望の制御性能が得られることである。