

Title	連続時間修正繰り返し制御系の設計に関する研究
Author(s)	塩田, 良治
Citation	
Issue Date	1997-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1057
Rights	
Description	Supervisor: 示村 悦二郎, 情報科学研究科, 修士

連続時間修正繰り返し制御系の設計に関する研究

塩田 良治

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1997 年 2 月 14 日

キーワード： 繰り返し制御, 完全制御, 折り返し法, 制御系設計.

要旨

産業用ロボットマニピュレータや工作機械などのシステムでは, あらかじめ与えられた一定動作を繰り返し行なう場合が多く見られる. その際, 高精度な追従動作が要求され, その精度に対する要求は年々厳しいものとなってきた. 追従精度を向上させるためのもっとも直接的な方法は, フィードバックループのゲインを大きくすることである. しかし, この方法だけでは機械系の振動を誘発するため, 得られる精度には限界がある.

このようにシステムがあらかじめ与えられた一定動作を繰り返し行なう場合に有効な制御方式の一つとして, 繰り返し制御が注目されている. 繰り返し制御とは, 周期関数を目標軌道とするサーボ系であり, 定常偏差が零となるように一周期前の偏差と制御入力を用いて現時刻の制御入力を改善する制御方式である.

しかし一般に, 制御対象が厳密にプロパーならば, 繰り返し制御系はもはや安定化できない. そこで, ローパスフィルタを導入し, 高周波成分の偏差を許容するかわりに, 厳密にプロパーな制御対象に対しても安定な制御系を構成できる修正繰り返し制御系が提案されている. この修正繰り返し制御系の設計において, 安定性と定常偏差とはトレードオフの関係にある. したがって, 定常偏差をできるだけ小さくするすなわち, ローパスフィルタをできるだけ 1 に近づけるような安定化補償器の設計法が必要となる.

そこで本研究では, 「完全制御 + カルマンフィルタ」の考えに基づく連続時間修正繰り返し制御系に対する一設計法を提案している.

これまで, 修正繰り返し制御系の安定条件がカルマンフィルタや最適レギュレータの円条件と密接に関係している点に着目し, カルマンフィルタと完全制御の手法を用いて, 最小位相系に対して漸近的に安定化させる設計法が提案されている. ここで完全制御とは, 高ゲインフィードバックによって最適レギュレータのロバスト性を漸的に回復する方法である.

しかし、「完全制御 + カルマンフィルタ」の考えに基づく修正繰り返し制御系の設計において、設計パラメータを決定する指標が明らかでない。これは、完全制御における設計パラメータと制御系の特性との関係が曖昧であるという欠点をそのまま受け継いでいるためと考えられる。このような完全制御の問題に対し、以下のようなアプローチにより問題解決を図っている。

システムの極の位置により、重み係数が導出できる折り返し法の考えに基づいて、完全制御における重み係数の導出を考える。まず、システム (C, A, B) $(C, A + kI, B)$ へと変換した場合を考え、システム $(C, A + kI, B)$ に対しても完全制御が達成されることを示す。そして、システム (C, A, B) から $(C, A + kI, B)$ と変換しても完全制御のゲインは不変であることを示す。これにより、完全制御における重み係数を折り返し法に基づいて求めることができる。しかし、伝達零点が存在する場合、折り返し法の考えから k を決定すると完全制御の仮定が成り立たなくなる。そこで、折り返し法の設計パラメータを極に対してではなく、伝達零点から決定している。簡単な例題を用いて、閉ループ系に対する初期値応答の比較をおこなった結果、折り返し法を併用した完全制御は従来の完全制御のみに比べ、わずかの差ではあるが良好な応答を得ることが確認できた。

また、ローパスフィルタの設計を自動的におこなうため、従来の修正繰り返し制御系の設計に次のような工夫をおこなっている。

修正繰り返し制御系の設計において、どのようなローパスフィルタを選択するかといったアプローチは、安定化可能問題（修正繰り返し制御系が安定となる安定化補償器が存在するかという問題）として取り扱われている。また、本来のローパスフィルタを導入する目的を考えると、簡単な構造（例えば、1 次遅れ系）で十分な役割を果たすと考えられる。そこで、予め厳密にプロパーな関数として、1 次遅れ系の構造を持つローパスフィルタを導入する。これにより、従来より簡単な安定条件が得られ、繰り返し計算によりローパスフィルタを求めることができる。この設計法は、計算機からローパスフィルタを求めることができるので、設計者の負担を軽減している。

以上の結果より、完全制御の設計パラメータ ρ 、折り返し法の設計パラメータ k を決定することで、従来法に比べ定常偏差をできるだけ小さくできる安定化補償器、ローパスフィルタを自動的に決定することが可能となっている。また、本設計法で求めた安定化補償器とローパスフィルタにより修正繰り返し制御系を構成すると、従来に比べ小さな定常偏差を実現することをシミュレーションから確認している。

今後の課題として、非最小位相系に対する修正繰り返し制御系の設計が考えられる。本論文で提案した設計法では、完全制御の手法を適用しているため、非最小位相系への拡張は不可能である。最近報告されたもので、繰り返し制御を従来とは違ったアプローチで安定化する方法が提案されている。この中では、最小位相系しか扱っていないが、非最小位相系についての結果も得られている。したがって、本設計法とはアプローチが異なるが、非最小位相系に対する修正繰り返し制御系の設計が期待できる。