

# 蓄積データに基づく擬似参照信号を用いた制御器パラメータ調整

学籍番号：90135154 旧藤井研究室 盛野 容輔

## 1 はじめに

産業プロセスや工業機械などの制御を必要とする実際のシステムは、複雑な動特性を有しているため、制度の高いモデルリングは困難である。そのため、これまでの運転の履歴をもとに、操作者が主観と経験に基づいて定性的に制御系設計を行っている場合が多いのが現状である。そこで本研究では、モデルリングを行わずに1組の入出力データから直接制御系設計(制御器のパラメータ調整)を行う Fictitious Reference Iterative Tuning(FRIT) という手法をベースとして、過去に蓄積されたプラントの大量の入出力データの中から調整に適した複数のデータを選出し、それを用いて制御器のパラメータ調整を行う手法を提案する。

## 2 問題設定

プラントの伝達関数  $P$  は未知であるが、入力信号  $u$  と出力信号  $y$  を観測できるものとする。その入出力信号の履歴  $\{u^i, y^i | i = 1, 2, \dots\}$  がデータベースとして大量に蓄積されている状況の下で、以下の問題を考える。ただし、上付添え字  $i$  はデータの番号を示す。

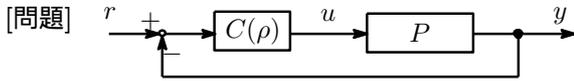


図1: 閉ループシステム

パラメータ  $\rho$  をもつ制御器  $C(\rho)$  を実装した図1のような閉ループ系を考える。制御仕様は閉ループ系の目標伝達関数  $M$  によって与えられ、参照信号  $r$  に対する閉ループ系の出力応答  $y(\rho)$  と、目標応答  $Mr$  との誤差信号  $e(\rho) = Mr - y(\rho)$  の二乗和を用いた評価関数

$$J(\rho) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e(\rho)_t^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \{Mr_t - y(\rho)_t\}^2 \quad (1)$$

を最小化するパラメータ  $\hat{\rho} = \arg \min J(\rho)$  を求める。ただし、データ信号は全てデータ数  $N$  のベクトルで与えられるものとし、下付添え字  $t$  はベクトルの  $t$  番目の要素であることを表す。

## 3 関連研究：FRIT とその最小二乗法による求解法

プラントの入力信号  $u$  と出力信号  $y$  が1組得られているとする。このとき、プラントの入力信号が  $u$ 、出力信号が  $y$  となるような擬似参照信号

$$\tilde{r}(\rho) = C(\rho)^{-1}u + y \quad (2)$$

を導入する。FRIT では、式(1)の評価関数の代わりに、 $\tilde{r}(\rho)$  を用いた次の評価関数

$$\begin{aligned} J_F(\rho) &= \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \epsilon(\rho)_t^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (M\tilde{r}(\rho)_t - y_t)^2 \\ &= \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (MC(\rho)^{-1}u_t - (1-M)y_t)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

の最小化を考える。2つの評価関数の対応付けとして

$$[\text{定理}] J(\hat{\rho}) = 0 \Leftrightarrow J_F(\hat{\rho}) = 0 \quad (4)$$

が示されている。なお、評価関数  $J_F$  を最小にするパラメータ  $\hat{\rho} = \arg \min J_F(\rho)$  は非線形最適化計算によってオフラインで求めることができる。また、制御器の構造を制限することで、最小二乗法による1回の計算での求解を可能にした手法が拡張手法として提案されている。

## 4 主結果：蓄積データに基づく制御器調整

データ  $\{u^i, y^i | i = 1, 2, \dots\}$  と目標応答  $Mr$  の距離を、

$$d^i = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (Mr_t - y_t^i)^2 \quad (5)$$

とし、データベースの中から  $d^i$  が小さい順に、合計  $k$  組のデータ  $\{u^i, y^i | i = 1, 2, \dots, k\}$  を抽出し、調整に用いる。

このとき  $\{u^i, y^i | i = 1, 2, \dots, k\}$  から式(3)で求められる評価関数を  $\{J_F^i(\rho) | i = 1, 2, \dots, k\}$  とし、次の評価関数

$$\bar{J}_F(\rho) = w_1 J_F^1(\rho) + w_2 J_F^2(\rho) + \dots + w_k J_F^k(\rho) \quad (6)$$

を導入する。ただし、 $\{w_i | i = 1, 2, \dots, k\}$  は各評価関数の優先度を表す重みである。ここで、データ  $u^i, y^i$  に重みをつけて縦に結合した、次のようなデータ

$$\bar{u} = \begin{bmatrix} \sqrt{w_1}u^1 \\ \sqrt{w_2}u^2 \\ \vdots \\ \sqrt{w_k}u^k \end{bmatrix}, \quad \bar{y} = \begin{bmatrix} \sqrt{w_1}y^1 \\ \sqrt{w_2}y^2 \\ \vdots \\ \sqrt{w_k}y^k \end{bmatrix} \quad (7)$$

を準備する。これを用いると式(6)は

$$\bar{J}_F(\rho) = \frac{1}{N} \left\{ \sum_{t=1}^{kN} \{MC(\rho)^{-1}\bar{u}_t - (1-M)\bar{y}_t\}^2 \right\} \quad (8)$$

と変形できる。これは、式(3)と同じ形であるため、上記の手法と同様に、最適パラメータ  $\hat{\rho} = \arg \min \bar{J}_F(\rho)$  は最小二乗法で求めることができる。

## 5 シミュレーションによる検証

伝達関数  $P = \frac{s+10}{s^2+15s+9}$  のプラントに対する100組のデータ  $\{u^i, y^i | i = 1, 2, \dots, 100\}$  をデータベースとして準備し、閉ループ系の目標伝達関数を  $M = \frac{1}{s+1}$  として、パラメータ  $\rho = [a_0 \ a_1 \ b_1]$  でパラメタライズされた制御器  $C(\rho) = \frac{a_0+a_1z^{-1}}{1+b_1z^{-1}}$  を調整するシミュレーションを行なった。なお、サンプリングタイムは0.01sec、シミュレーション時間は10secとした。

図2に調整に用いたデータ、図3に調整結果を示す。

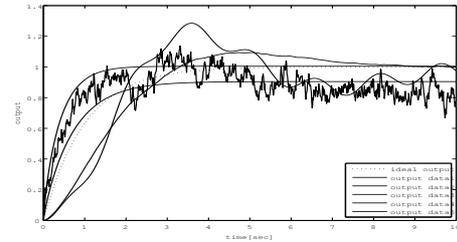


図2: チューニングに用いた5つの出力データ

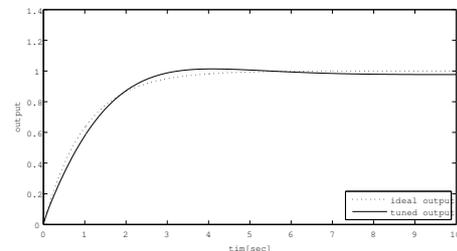


図3: 制御器パラメータ調整後の応答

## 6 おわりに

蓄積データ中から目標応答に応じてデータを選び、プラントのモデルを求めることなく制御器のパラメータを調整する手法を提案した。また、本稿では紹介していないが、提案手法をリアルタイムで運用し、適応的に制御器のパラメータを変化させる手法についての研究も行った。