

## PSS-PSO が IIR フィルタパラメータに与える効果

A-8 An Effect of PSS-PSO on IIR Filter Parameters

高瀬 裕矢 陶山 健仁  
Yuya Takase Kenji Suyama東東京電機大学 工学部 電気電子工学科  
School of Engineering, Tokyo Denki University

## 1 はじめに

IIR (Infinite Impulse Response) フィルタ設計に、PSO (Particle Swarm Optimization) を用いた手法が報告されている。PSO は高速に解候補を列挙可能であるが、強い集中化能力をもつため、早期収束する傾向がある。停留回避手法として、PSS (Problem Space Stretch) -PSO が提案されている [1]。しかし、アルゴリズムが良解を探索する過程は不明である。本研究では、極・零点の IIR フィルタパラメータの視点から、アルゴリズムの動作を検証する。

## 2 設計問題

IIR フィルタの周波数特性  $H(\omega)$  は零点  $z_n$  と極  $p_m$  を用いて、次式で示される。

$$H(\omega) = a_0 \frac{\prod_{n=1}^N (1 - z_n e^{-j\omega})}{\prod_{m=1}^M (1 - p_m e^{-j\omega})} \quad (1)$$

$N$ ,  $M$  はフィルタ次数,  $a_0$  はフィルタ係数を表す。本研究では実係数フィルタを設計対象とするため,  $z_n$ ,  $p_m$  はそれぞれ複素共役もしくは実数である。設計基準にミニマックス基準を用いると, 設計問題は所望特性  $D(\omega)$  と  $H(\omega)$  の最大誤差を最小化する  $a_0$ ,  $z_n$ ,  $p_m$  を決定する問題である。

## 3 PSS-PSO

PSS-PSO の目的関数  $F(\lambda, \mathbf{x})$  は次式で表される。

$$F(\lambda, \mathbf{x}) = \max_{\omega \in \Omega} |\lambda D(\omega) - H(\omega)| + \varphi(p_{\max}) \quad (2)$$

$\mathbf{x} = [a_0, z_1, \dots, z_N, p_1, \dots, p_M]^T$  は設計パラメータ,  $\Omega$  は近似周波数帯域,  $\varphi(p_{\max})$  は安定性保証のペナルティ関数である。PSS-PSO は停留時に,  $\lambda$  を  $[1-\gamma, 1+\gamma]$  の一様乱数で生成する。  $\lambda < 1$  なら問題空間は引き伸ばされ,  $\lambda > 1$  なら縮まる。その結果, 本来局所解であった位置は局所解から外れ, 個体は別の局所解を探索する。

## 4 検証方法

PSS-PSO による IIR フィルタ設計性能は文献 [1] で示されているが, 良解の探索過程は不明である。  $H(\omega)$  は  $a_0$ ,  $z_n$ ,  $p_m$  で規定されるため, 停留回避前後の設計パラメータに着目する。停留毎に, 設計パラメータの移動量を  $L_2$  ノルムで算出し, 目的関数値の改善, 改悪回数を調べる。

## 5 検証結果

表 1 に設計条件を示す。ここで,  $\tau_d$  は所望群遅延,  $f_p$  は通過域端周波数,  $f_s$  は阻止域端周波数,  $I_{\max}$  は最大探索回数, 周波数分割数は 100,  $\gamma = 0.21$  とした。初期値は,  $a_0$  を  $[-0.5, 0.5]$ ,  $z_n$ ,  $p_m$  の実部と虚部を  $[-1.5, 1.5]$ ,  $[-0.90, 0.90]$  の一様乱数で生成した。表 2 に, 100 回試行に対する検証結果を示す。移動量が平均よりも高い場合は  $H$ , 低い場合は  $L$  と表し, 全部で 8 通りの組み合わせに対して, 目的関数値の改善回数, 改悪回数, 合計を Improvement, Worse, Sum で示す。

表 1 設計条件

$N$	$M$	$\tau_d$	$f_p$	$f_s$	$P$	$I_{\max}$
12	6	9.0	0.20	0.25	120	100000

表 2 検証結果

$a_0$	$z_n$	$p_m$	Improvement	Worse	Sum
$H$	$H$	$H$	15804	4228	20032
$H$	$H$	$L$	2953	2193	5146
$H$	$L$	$H$	6351	3128	9479
$H$	$L$	$L$	4900	6686	11586
$L$	$H$	$H$	14768	6038	20806
$L$	$H$	$L$	3299	4087	7386
$L$	$L$	$H$	5816	6000	11816
$L$	$L$	$L$	20557	70037	90594

表 2 より, 全ての移動量が  $L$  の場合, 停留回数が最も多いが, Worse が Improvement よりも多い傾向にある。一方, 2 つ以上移動量が  $H$  の場合, Improvement が Worse よりも多い傾向にある。したがって PSS-PSO は, 停留回避後に大域的な探索を行ない, 良解を探索していると考えられる。

## 6 まとめ

本研究では, PSS-PSO が良解を探索する過程について, IIR フィルタパラメータの視点で検証した。

## 参考文献

- [1] 山本 健造, 陶山 健仁, “所望特性を変更する IIR フィルタ設計”, 信学論 vol.J95-A, no.6, pp.481-490, January 2017.