

変数間依存性を活用する IIR フィルタ設計法

IIR Filter Design Utilizing Intersubject Dependence

柳田夏花[†] 陶山健仁[†]Natsuka YANAGITA[†] Kenji SUYAMA[†][†] 東京電機大学 工学部 電気電子工学科[†]Department of Electrical and Electronic Engineering, School of Engineering, Tokyo Denki University

1 はじめに

高い IIR フィルタ設計性能を有する PSS-PSO による手法を提案している。すでに、PSS-PSO による探索が PSO が有する変数間依存性に基づいていることを明らかにしている [1]。しかし、設計問題の解空間は不明のため、PSS-PSO の探索メカニズムは不明である。そのため、設計問題に含有される変数の依存性について検証すれば、探索メカニズムだけでなく、解空間も明らかにできるとの主張に至った。主張の妥当性を定性的に示すとともに、変数間依存性のない ABC[2] との比較によって定量的に示す。

2 IIR フィルタ設計問題

IIR フィルタの周波数特性 $H(\omega)$ は次式で表される。

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

ここで N , M はフィルタ次数, a_0 はゲイン, z_n は零点, p_m は極を示す。周波数特性において、極・零点間には変数間依存性が存在するが、ゲインと極・零点間には存在しない。ここで、設計変数ベクトル \mathbf{x} を $\mathbf{x} = [a_0, z_{1r}, \dots, z_{N/2j}, p_{1r}, \dots, p_{M/2j}]^T$ とおくと、 a_0 のみが変数間依存性のないパラメータである。

IIR フィルタ設計基準に最大誤差最小化基準を用いると、設計問題は次式で定式化できる。

$$\min_{\mathbf{x}} \max_{\omega} |D(\omega) - H(\omega)|, \omega \in \Omega \quad (2)$$

ここで、 $D(\omega)$ は所望特性、 Ω は近似帯域である。

3 PSS-PSO の探索メカニズム

PSS-PSO を用いて目的関数値が最小となる \mathbf{x} の値を探索する [1]。PSS-PSO は $D(\omega)$ のゲインのみを λ 倍するため、本来は a_0 のみが変動するが、実際は PSO の変数間依存性によりすべての変数が変動する。停留脱却時、 a_0 は $D(\omega)$ のゲインに合わせて強制的に変動する。一方、極・零点は停留前と設計特性の形状が大幅に変動しないような値に変動する。

図 1 に PSS-PSO の更新曲線例を示す。ここで、局所的な最小値は局所解を表し、その後局所解脱却により目的関数値が一時的に大きくなることを表している。この図より明らかのように、 a_0 の 1 軸のみに摂動を与えた場合、目的関数値がほぼ変動しない範囲で停留と脱却を繰り返している。これは、IIR フィルタの問題空間が図 2 のような鞍点構造を有することを示している。したがって、IIR フィル

タ設計にとって、「変数間依存性のないパラメータにのみ摂動を与え、変数間依存性の高いアルゴリズムを適用」することが高い設計性能を有するメタ戦略であると言える。

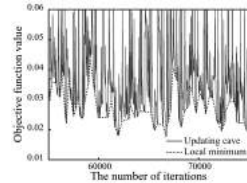


図 1: 更新曲線例

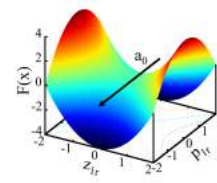


図 2: 鞍点構造

4 比較結果

主張の妥当性を示すため、変数間依存性のない ABC アルゴリズムとの比較を行う。表 1 に比較条件を示す。 τ は所望群遅延, I は最大探索回数, P は個体数である。試行回数は共通で 50 とした。PSS-PSO の条件は、停留判定回数を 10, λ を $[0.8, 1.2]$ の一様乱数で与え、ABC の偵察個体は 10 とした。表 2 に目的関数値を示す。

表 1: 比較条件

	N	M	τ	I	P
Ex.1	8	8	6	1.0×10^5	240
Ex.2	10	6	7	1.0×10^5	270
Ex.3	12	8	9	1.0×10^5	300

表 2: 目的関数

[$\times 10^{-2}$]	PSS-PSO	PSS-PSO	ABC	ABC
	(best)	(average)	(best)	(average)
Ex.1	1.5429	1.5681	14.673	20.280
Ex.2	2.1952	2.2560	10.933	21.141
Ex.3	1.2075	1.3158	18.407	27.841

表 2 より、すべての設計例において PSS-PSO のほうが優れており、主張の妥当性が示された。

5 まとめ

PSS-PSO の探索メカニズムと解空間について検討した。比較結果より、解空間は鞍点を有する構造であり、変数間依存性が IIR フィルタ設計に有効であることを確認した。

文献

- [1] 柳田夏花, 陶山健仁, “IIR フィルタ設計に適したメタ戦略の一検討,” 信学技報, Vol.123, No.264, CAS2023-66, pp.32-36, 2023.
- [2] D. Karaboga, “An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization,” Technical Report TR06, Erciyes University, Turkey, 2005.