

隣接ペナルティ個体の再利用による CSD-FIR フィルタ設計性能の改善

Improved CSD-FIR Filter Design Performance by Reusing Adjacent Penalty Individuals

戚涵欽[†] 陶山健仁[†]

Hanqin QI[†] 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

PfGA(Parameter-free Genetic Algorithm)[1] によるパラメータ値の事前調整不要な CSD(Canonic Signed Digit)-FIR フィルタ設計法が提案されている [2][3]. PfGA は設計時間の大幅な改善が可能であるが、設計性能が劣化するという問題が生じた. この要因の 1 つが不十分なペナルティ個体排除による探索の多様性の低下と考えられる. そこで、ペナルティ個体の排除こそ設計性能改善に有効であるとの主張に至った. 主張の妥当性を設計結果で示す.

2 CSD-FIR フィルタ設計問題

偶数次偶対称インパルス応答をもつ直線位相 CSD-FIR フィルタの振幅特性 $H(\omega)$ は次式で表せる.

$$H(\omega) = \sum_{n=0}^{N/2} \left(\sum_{k=0}^{p-1} x_{n,k} 2^{-k} \right) \cos n\omega \quad (1)$$

ここで、 N は次数、 p は語長、 $x_{n,k} \in \{1, 0, \bar{1} = -1\}$ は CSD 表現フィルタ係数である. CSD-FIR フィルタ設計には最大誤差最小化基準を採用する. 設計問題を PfGA で解くために目的関数を次式で定義する.

$$F(\mathbf{x}) = \delta(\mathbf{x}) + \phi_1(\mathbf{x}) + \phi_2(\mathbf{x}) \quad (2)$$

$\delta(\mathbf{x})$ は最大誤差、 $\phi_1(\mathbf{x})$ は CSD 表現の制約を満足するための非零桁隣接禁止ペナルティ関数、 $\phi_2(\mathbf{x})$ は回路規模を削減するための非零桁上限数制限ペナルティ関数である. $F(\mathbf{x})$ を最小化するフィルタ係数列 \mathbf{x} を探索する.

3 PfGA による CSD-FIR フィルタ設計

PfGA による設計の性能劣化の要因として、 $F(\mathbf{x}) \geq 1$ のペナルティ個体による探索の多様性低下があげられる. ペナルティ個体の目的関数値は非ペナルティ個体と比べて非常に大きいため、最良解更新に寄与しないことに注目し排除する. その排除方法として、(2) 式で $\phi_1(\mathbf{x}) > 0$ の隣接ペナルティ個体の再利用を提案する. 図 1 に示すように、提案法は隣接ペナルティ個体が生成された時に、その個体をもつ係数値を維持しながら、係数の非零桁が隣接しない表現に書き換える. その結果、隣接ペナルティ個体を非ペナルティ個体に変更すれば、探索の多様化に寄与できる個体が増加し、設計性能の改善が期待できる.



図 1: 隣接ペナルティ個体の再利用

4 設計結果

主張の妥当性を設計例を用いて示す. 表 1 に設計条件を示す. 図 2 に各手法の更新曲線を示す. GA のパラメータは文献 [2] と同様に設定した.

表 1: 設計条件

フィルタ係数 N	200	語長 p	16
非零桁数上限 Λ	200	世代数	1000
通過域端角周波数 ω_p	0.2π	試行回数	50
阻止域端角周波数 ω_s	0.2328π		

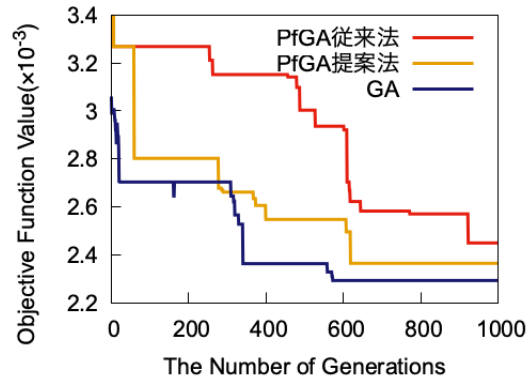


図 2: 更新曲線

図 2 から、提案法は多様性の向上により、設計性能の改善が確認できた. しかし、依然として多様化能力は GA と比較して低い傾向が見られる. 今後は $\phi_2(\mathbf{x}) > 0$ のペナルティ個体の排除について検討予定である.

5 まとめ

PfGA による CSD-FIR フィルタ設計の性能改善について検討し、設計結果より隣接ペナルティ個体の再利用が CSD-FIR フィルタ設計性能の改善に有効であることを確認できた.

文献

- [1] 澤井秀文, 木津佐千夫, 遠藤哲郎, “パラメータ設定を不要にした遺伝的アルゴリズム,” 信学論 D-II, Vol.J81-D-IL, No.2, pp.450-452, 1998
- [2] 武川 元洋, 加藤 涼太, 陶山 健仁, “Parameter-free GA を用いた CSD 係数 FIR フィルタの設計効率向上,” 電気学会論文誌 C, Vol.141, No.11, pp.1158-1164, 2021.
- [3] Ryota Kato and Kenji Suyama, “An Improved Parameter Free Genetic Algorithm for CSD-FIR Filter Design,” Proc. of APSIPA ASC 2021, pp.212-217, 2021.