

0-1PSO による CSD 係数 FIR フィルタ設計の性能改善

A-8 Performance Improvement for Design of FIR Filters with CSD Coefficient Using 0-1PSO

檀原 高博
Takahiro DANBARA陶山 健仁
Kenji SUYAMA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

FIR (Finite Impulse Response) フィルタの回路規模削減には、フィルタ係数の CSD (Canonic Signed Digit) 表現が有効である。その設計法として、0-1PSO (Particle Swarm Optimization) による手法が提案されている [1]。0-1PSO は探索回数の増加に伴い、局所解停留が発生し、探索能力が低下する。本研究では、文献 [2] で提案されている手法を用いて、探索能力の向上を図る。設計例より、提案法の有効性を示す。

2 CSD 係数 FIR フィルタ設計問題

次数 N が偶数、インパルス応答が偶対称の CSD 係数 FIR フィルタの振幅特性 $H(\omega)$ は次式で表される。

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

ここで、 p は語長、 $b'_{n,m}, b''_{n,m} \in \{0, 1\}$ である。本研究では近似基準にミニマックス基準を用いる。設計問題は所望特性 $D(\omega)$ と $H(\omega)$ の最大誤差 δ を最小にする $b'_{n,m}, b''_{n,m}$ の 0-1 組合せ最適化問題となる。

3 0-1PSO

PSO は複数の個体から構成され、各個体は位置 \mathbf{x} と速度 \mathbf{v} をもつ。 u 番目の個体の $\mathbf{x}_u, \mathbf{v}_u$ は次式で更新する。

$$\mathbf{x}_u^{t+1} = \mathbf{x}_u^t + \mathbf{v}_u^{t+1} \quad (2)$$

$$\mathbf{v}_u^{t+1} = w^t \mathbf{v}_u^t + c_1 r_1 (\mathbf{p}_u^t - \mathbf{x}_u^t) + c_2 r_2 (\mathbf{p}_g^t - \mathbf{x}_u^t) \quad (3)$$

ここで、 \mathbf{p}_u^t は個体最良解、 \mathbf{p}_g^t は群最良解、 t は探索回数、 w, c_1, c_2 は重み、 r_1, r_2 は $[0, 1]$ の一様乱数である。

0-1PSO は、連続変数 $q'_{n,m}, q''_{n,m}$ を変換 J により、 $b_{n,m} = J(q_{n,m})$ と対応づける。変換 J は次式で定義する。

$$J(q_{n,m}) = \begin{cases} 1, & r_{n,m} \leq P(q_{n,m}) \\ 0, & r_{n,m} > P(q_{n,m}) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $r_{n,m}$ は $[0, 1]$ の一様乱数、 $P(q_{n,m})$ は 0.5 を中心とする勾配パラメータ α をもつシグモイド関数である。その結果、 $\mathbf{x}_u = [b'_{0,1}, b''_{0,1}, \dots, b'_{N/2,p}, b''_{N/2,p}]^T$ のように離散変数へと置換できる。

4 提案法

0-1PSO は、選択肢が 0 と 1 のみであるため、一旦 0(1) となった値はその後 1(0) へ変化することが困難となる。そのため、探索能力が大幅に低下する。提案法では、通

常の位置更新後に次式のように、個体を中心値である 0.5 の方向へ移動し、更に位置更新を行う。

$$L^t = \max\{|q_{u,n,m}^t - 0.5| \mid u = 1, \dots, P, \\ n = 0, \dots, N/2, m = 1, \dots, p\} \quad (5)$$

$$q_{u,n,m}^t \leftarrow 0.5 + \frac{q_{u,n,m}^t - 0.5}{L^t} \quad (6)$$

また、個体の動作を安定させるため、 \mathbf{p}_u^t のみを連続変数ではなく、変換 J により求まる離散値とする。これらより、個体は探索終盤までランダム性を維持することが可能であり、探索能力向上の期待ができる。

5 設計例

提案法の有効性を示すため設計例を示す。比較手法として従来法を用いた。表 1 に通過域端周波数 f_p 、阻止域端周波数 f_s 、許容非零桁数 Λ を示す。また、個体数 50、探索回数 1000、 α は提案法 15、従来法 20 とした。表 2 に 100 回試行中の最良値 δ_{min} 、平均値 δ_{mean} 、標準偏差 σ 、1 試行当りの設計時間 time を示す。

表 1 設計条件

	N	f_p	f_s	p	Λ
Ex.1	30	0.100	0.150	8	25
Ex.2	100	0.220	0.240	16	150

表 2 設計結果 ($\times 10^{-2}$)

	method	δ_{min}	δ_{mean}	σ	time[s]
Ex.1	提案法	2.721	2.996	0.144	1.35
	従来法	2.802	3.244	0.285	1.31
Ex.2	提案法	0.960	0.982	0.008	8.92
	従来法	0.983	0.998	0.006	8.74

表 2 より、提案法は従来法に比べ δ_{min} および δ_{mean} が改善され、設計精度の向上が可能であることを確認した。

6 まとめ

本研究では、0-1PSO による CSD 係数 FIR フィルタ設計の性能改善を行った。設計例より、提案法は従来法に比べ探索能力が向上し、優れた設計精度を与えることを示した。

参考文献

- [1] T. Imaizumi and K. Suyama, "An Effective Allocation of Non-zero Digits for CSD Coefficient FIR Filters Using 0-1PSO," Proc. of IEEE APSIPA2013, pp.1-6, Oct. 2013.
- [2] 友永真太郎, 相吉英太郎, "0-1 組み合わせ最適化問題に対する連続緩和によるヒューリスティック解法," 電気学会 C 部門大会 講演論文集, pp.1841-1842, Sep. 2012.