

ACO による CSD 係数 FIR フィルタ設計における多様化戦略

Diversification Strategy in CSD Coefficient FIR Filter Design Using ACO

18EJ103 森川 まり花

指導教員 教授 陶山 健仁

助教 田中 勇帆

1 はじめに

ACO(Ant Colony Optimization) による CSD(Canonic Signed Digit) 係数 FIR(Finite Impulse Response) フィルタの設計法が提案されている [1]. ACO は蟻の採餌行動に倣った手法で, 組み合わせ最適化問題に対して有効である. しかしながら, 探索終盤において多様化能力が低下し, 局所解停留に陥る欠点があった. 本研究では, 個体群の分布に基づくフェロモン更新 [2] を導入し, 探索終盤における探索の多様化を試みる. 設計例によって, 検討手法の有効性を示す.

2 CSD 係数 FIR フィルタ設計問題

次数 N , フィルタ係数 a_n の直線位相 CSD 係数 FIR フィルタの振幅特性 $H(\omega)$ は次式で表される.

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

ここで, p は語長, $x_{n,k} \in \{-1, 0, 1\}$ である. CSD 表現の条件として非零桁隣接禁止, 回路コストの条件として回路全体で使用可能な非零桁数を Λ 以下に制限する制約条件を課す. ACO で所望特性 $D(\omega)$ に対する最大誤差最小化基準による CSD 係数フィルタ設計問題を解くとき, 目的関数 $F(\mathbf{x})$ を次式で定義する.

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

\mathbf{x} は設計変数ベクトルである. $\delta(\mathbf{x})$ は最大誤差, $\phi_1(\mathbf{x})$ は全体の非零桁数を制限するペナルティ関数, $\phi_2(\mathbf{x})$ は非零桁の隣接を禁止するペナルティ関数である. $F(\mathbf{x})$ を最小化する \mathbf{x} を探索する.

3 ACO による CSD 係数 FIR フィルタ設計

ACO は蟻の採餌行動を模倣した最適化手法である. 蟻が辿る経路は1つのフィルタ係数列を与える. 蟻は探索経路上のフェロモンに基づき確率的に探索を行う. 1回の探索ごとに目的関数値に応じて上位個体と最良個体の通過経路に対してフェロモンを付加する. この結果, 良好な解を与える経路にのみ選択的にフェロモンが付加されるため, メタ戦略にとって重要な集中化と多様化のバランスを図りつつ効率的に探索が可能になる. しかし, 探索終盤で特定の経路にフェロモンが集中し, 多様化能力が低下し, 局所解停留を起こす可能性がある.

探索終盤の多様性の維持のため, 個体群の分布に基づくフェロモン更新則を導入する. 本研究で導入した手法では

全個体を6グループに分割し, 最上位評価値をもつグループ1, 平均以上の評価値をもつグループ2, 3, 平均以下の評価値をもつグループ4, 5, 6から3つ選んで組み合わせ, 探索を行う. フェロモン更新の際に通常, 高評価値のみで行う探索に低評価値の個体を加える. これにより解の過剰な集中化を回避し, 探索に多様化をもたらして良解の発見を促す.

4 設計例

提案法の有効性を示すために設計例を示す. 表1に設計条件を示す. 表1において ω_p は通過域端角周波数, ω_s は阻止域端角周波数, I は探索回数, τ_{init} は初期フェロモン, σ は上位個体数である. 各設計例に対し個体数は500, 試行回数は10とした. 与えるグループの組み合わせは(1, 3, 4)とした. また, Ex.1を従来法, Ex.2を従来法と同じパラメータで行った提案法, Ex.3をパラメータ調整を行った提案法として比較を行った. 表2に設計結果を示す.

表1 設計条件

設計例	N	p	ω_p	ω_s	I	τ_{init}	σ
Ex.1	130	8	0.42π	0.45π	300	0.9	250
Ex.2	130	8	0.42π	0.45π	300	0.9	250
Ex.3	130	8	0.42π	0.45π	500	0.8	240

表2 設計結果

設計例	δ_{min}	δ_{mean}
Ex.1	0.03216	0.03406
Ex.2	0.03209	0.03404
Ex.3	0.02897	0.03134

表2より, 提案法は従来法と同様のパラメータでも δ_{min} 及び δ_{mean} が改善された. さらに, 提案法のパラメータ調整を行った結果, 設計結果の改善が確認できた.

5 おわりに

本研究では ACO による CSD 係数 FIR フィルタ設計の性能改善法の検証を行った. 設計例により探索終盤の多様性維持を図る手法の有効性を示した.

文献

- [1] Tomohiro Sasahara and Kenji Suyama "Design of CSD Coefficient FIR Filters Using ACO," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E100-A, no.8, pp.1615–1622, 2017
- [2] Marika Morikawa and Kenji Suyama,"Design of CSD Coefficient FIR filters Using Diversified ACO,"Proc. of IEEE ISICIT2021, pp.129–133, 2021