

SAW デュプレクサの多数目的最適化に対する 差分進化の適用

今村 晃啓¹ 田川 聖治²

概要：本稿は、携帯電話などで使用される SAW デュプレクサの電極の構造設計問題を、各目的関数が最低基準値によって制限された多数目的最適化問題として記述する。次に、その多数目的最適化問題に対して、差分進化を利用した 2 種類 DEMHO のアルゴリズムを適用し、両者の有効性を比較する。

1. はじめに

本稿では、SAW デュプレクサの設計問題を各目的関数が制約された多数目的最適化問題として記述する。次に、多様なパレート実行可能解を探索するために、差分進化 (DE: Differential Evolution) [1] に基づく Differential Evolution for Many-Hard-objective Optimization (DEMHO) を適用する。DEMHO は Pairwise Exclusive (PEH) [2] と呼ぶ指標関数により非劣解集団の個体を順位付けする。ここで、2 種類の実行不可能解の選択方法の性能を比較する。

2. SAW の設計問題

SAW デュプレクサは 1 本のアンテナで送受信を行う携帯電話において、送信波と受信波を分離するために使用される。圧電体の基板上に形成された SAW デュプレクサの電極構造を図 1 に示す。ポート 1 と 2 は平衡型端子であり、アンテナ (ANT) に接続されている。ポート 3 は送信器 (Tx)、ポート 4 は受信器 (Rx) に接続されている。SAW デュプレクサの周波数特性は電極構造に依存する。

電極の幅や長さ、本数など電極構造を決定するための $D = 18$ 個の設計パラメータを x_j ($j = 1, \dots, D$) とする。周波数帯域 Ω (700 ~ 1000 [MHz]) から均等に抽出した周波数 ω の集合を Ω とする。送信器側のバントパス・フィルタの周波数特性を、低周波阻止帯域 $\Omega_1 \subseteq \Omega$ 、通過帯域 $\Omega_2 \subseteq \Omega$ 、高周波阻止帯域 $\Omega_3 \subseteq \Omega$ で指定する。送信器側のバントパス・フィルタに関する目的関数は、ミックスモード s パラメータを用いて式 (1) のように記述できる。

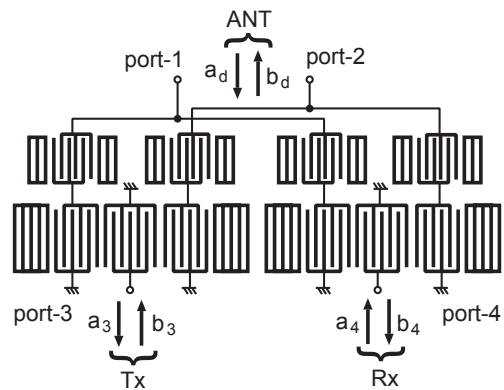


図 1 SAW デュプレクサの電極構造

$$\begin{cases} f_1(\vec{x}) = \max_{\omega \in \Omega_1} \{ |s_{d3}(\vec{x}, \omega)| \} \\ f_2(\vec{x}) = 1 - \min_{\omega \in \Omega_2} \{ |s_{d3}(\vec{x}, \omega)| \} \\ f_3(\vec{x}) = \max_{\omega \in \Omega_3} \{ |s_{d3}(\vec{x}, \omega)| \} \end{cases} \quad (1)$$

同様に、受信器側のバントパス・フィルタの周波数特性を、低周波阻止帯域 $\Omega_4 \subseteq \Omega$ 、通過帯域 $\Omega_5 \subseteq \Omega$ 、高周波阻止帯域 $\Omega_6 \subseteq \Omega$ で指定する。受信器側のバントパス・フィルタに関する目的関数は、式 (2) のように記述できる。

$$\begin{cases} f_4(\vec{x}) = \max_{\omega \in \Omega_4} \{ |s_{4d}(\vec{x}, \omega)| \} \\ f_5(\vec{x}) = 1 - \min_{\omega \in \Omega_5} \{ |s_{4d}(\vec{x}, \omega)| \} \\ f_6(\vec{x}) = \max_{\omega \in \Omega_6} \{ |s_{4d}(\vec{x}, \omega)| \} \end{cases} \quad (2)$$

また、送信器と受信器の分離特性は式 (3) となる。

$$f_7(\vec{x}) = \max_{\omega \in \Omega} \{ |s_{43}(\vec{x}, \omega)| \} \quad (3)$$

上記の各目的関数 f_m ($m = 1, \dots, 7$) に対する最低基準値を g_m として、SAW デュプレクサの電極構造の設計問

¹ 近畿大学総合理工学研究科
 Graduate School of Science and Engineering Research, Kinki University
² 近畿大学理工学部
 School of Science and Engineering, Kinki University

題は、式 (4) の多数目的最適化問題として記述できる。

$$\begin{cases} \text{minimize} & \vec{f}(\vec{x}) = (f_1(\vec{x}), \dots, f_7(\vec{x})) \\ \text{subject to} & \forall m \in \{1, \dots, 7\}; f_m(\vec{x}) \leq g_m \end{cases} \quad (4)$$

3. DENMHO のアルゴリズム

DEMHO は DEMO [3] を拡張したものであり、集団サイズを N_P として DE に基づき現代の集団 \vec{x}_i ($i = 1, \dots, N_P$) から次世代の集団 P を生成する。その結果、個体数 $|P|$ が $|P| > N_P$ になると集団 P に選択操作を適用して $|P|$ を N_P に戻す。以下に 2 種類の選択操作を記述する。

選択操作 1 は実行可能解と実行不可能解を区別する。実行可能解は実行不可能解よりも優先して選択され、実行不可能解は式 (5) の違反量に基づいて評価される。

[選択操作 1]

手順 1 実行可能解の集合を求める。

手順 2 集団内の実行可能解が N_P より多いとき、解の優越関係に基づくランク付け [4]、同一ランクの個体は PEH による評価に基づき N_P 個の実行可能解を選ぶ。

手順 3 集団内の実行可能解が N_P より少ないとき、手順 3.1 から手順 3.3 により良い N_P 個の解を選択する。

手順 3.1 全ての実行可能解を選択する。

手順 3.2 実行不可能解に対して違反量 $\eta(\vec{x})$ を計算する。

$$\eta(\vec{x}) = \max_{1 \leq m \leq 7} \{(f_m(\vec{x}) - g_m)\} \quad (5)$$

手順 3.3 実行不可能解を違反量の降順に選択する。

選択操作 2 は実行可能解は実行不可能解に優先して選択する。また、実行不可能解は 2 つの方法で選択する。実行不可能解の数が N_S ($N_P > N_S \geq 0$) より大きいとき、実行不可能解の選択には選択操作 1 を使用する。そうでない場合、実行可能解と同様に、ランクと PEH に基づき実行不可能解を評価して選択する。

[選択操作 2]

手順 1 実行可能解の集合を求める。

手順 2 集団の実行可能解の数が N_S 以上のとき、選択操作 1 を使い良い N_P 個の解を選択する。

手順 3 集団の実行可能解の数が N_S より少ないとき、手順 3.1 から手順 3.4 により良い N_P 個の解を選択する。

手順 3.1 全ての実行可能解を選択する。

手順 3.2 実行不可能解をランク付けする。

手順 3.3 ランクの昇順に実行不可能解を選択する。

手順 3.4 同一ランクの実行不可能解の集合から PEH の降順に解を選択する。

4. 実験結果

図 2 と図 3 に目的関数空間における実行可能な非劣解の分布を示す。図 2 と図 3 より選択操作 2 は選択操作 1 より多様な解を得られていることが確認できる。表 1 は選択操

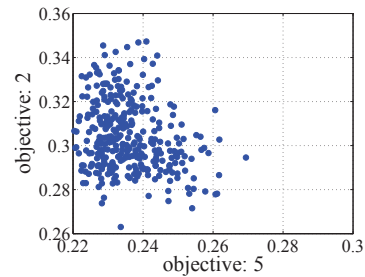


図 2 選択方法 1 による非劣解の分布

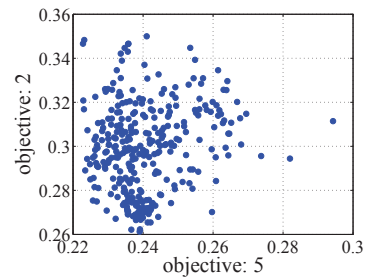


図 3 選択方法 2 による非劣解の分布

表 1 実行可能な非劣解集合の比較

選択方法	解の個数	Hypervolume
1	322	1.678
2	318	1.841

作 1 と選択操作 2 の実行可能な非劣解集合の比較をしている。選択操作 1 は選択操作 2 より得られた解の個数が多いが、選択操作 2 は選択操作 1 より Hypervolume が大きく良い近似値を得られることがわかる。

5. おわりに

DEMHO アルゴリズムの 2 種類の選択操作を SAW デュプレクサの電極の構造設計問題を使って比較した。その結果、選択操作 2 は選択操作 1 よりも多様で質の高い非劣解集合が得られることを確認した。

6. 参考文献

参考文献

- [1] R. Storn and K. Price: Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous space, Journal of Global Optimization, Vol. 11, No. 4, pp. 341-359 (1997)
- [2] 今村晃啓, 田川聖治: 多数目的最適化問題に対する差分進化の適用, 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, B-101 (2013)
- [3] T. Robic and B. Filipic: DEMO: differential evolution for multiobjective optimization, In Proceedings of the 3rd International Conference on Evolutionary Multi-criterion Optimization (EMO'05), pp. 520-533 (2005)
- [4] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan: A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Trans. on Evolutionary Computation, Vol. 6, No. 2, pp. 182-197 (2002)