

SAW フィルタ設計問題における SA と GA の比較

福田 正輝

1 はじめに

近年、携帯電話を始めとするモバイル通信の普及とともに、使用されている高周波電子部品の高性能化、低損失化への需要が高まっている。その中でも、バンドパス (周波数帯透過) フィルタの役目をする弾性表面波 (Surface Acoustic Wave : SAW) フィルタが注目を浴び、その性能を向上させるために様々な研究が進められている¹⁾。

現在の SAW フィルタの設計は専門家の経験を基に行われており、過去の事例がないケースの設計は、設計に時間がかかるという問題があった。そこで市川はヒューリスティック手法であるシミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing:SA) を適用し、専門家を上回る結果を得ることができ、設計時間の短縮を実現した²⁾。

そこで、本報告では SAW フィルタ設計問題において、SA が他の最適化手法よりも優れているかを検証する。今回、SA と同じ代表的な近似解法である遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) を用い、性能比較を行う。

2 SAW フィルタとは

2.1 SAW フィルタの設計

SAW フィルタは圧電体基板の上に楕型の電極が貼り付けられ形成されている。その図を Fig. 1 に示す。

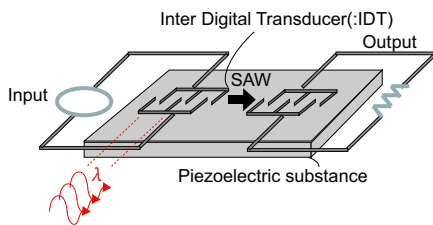


Fig.1 SAW フィルタの原理 (出典:参考文献²⁾)

入力側 (Input) の電極から信号を入力すると電極との間に電位差が生じ、それともなう圧電材料のひずみによって弾性表面波が発生する。受信側 (Output) ではひずみによる圧電材料内の電位差を信号として取り出す。この原理を利用して、SAW フィルタでは特定の周波数帯域の信号のみを通し、バンドパスフィルタの役割を果たす。この SAW フィルタの電気的な振る舞いを等価回路で表現することができる³⁾。この等価回路の設計パラメータは、静電容量と電気結合係数と共振周波数である。設定された周波数特性と目標周波数特性を一致するように等価回路のパラメータの最適値を求める。

2.2 SAW フィルタの目的関数

SAW フィルタの等価回路には、電気信号を入力する外部端子として、送信端子・受信端子・アンテナ端子がある。SAW フィルタの目的関数値を計算するためには、以下のようなデータが必要である。

1. 送信信号の挿入損失の利得
2. 送信信号の減衰の利得
3. 受信信号の挿入損失の利得
4. 受信信号の減衰の利得
5. 送信信号の各外部端子の絶縁の利得
6. 受信信号の各外部端子の絶縁の利得
7. 送信端子に対しての跳ね返り量の利得
8. 受信端子に対しての跳ね返り量の利得

これらのデータから、一つずつ Fig. 2 のようにある周波数 $f_1 \sim f_2$ の範囲において、サンプリングポイントごとに、要求されている最大周波数 (Max) と最小周波数 (Min) の範囲以内に入っているかどうかを判別する。

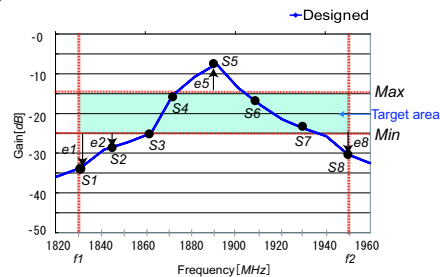


Fig.2 誤差関数の例 (出典:参考文献²⁾)

Max と Min は設計者の要求により変化し、この範囲以内で周波数特性が設計されるようにする。式 (1) のように Max と Min の範囲以外に入っていない計算値 (S_j) と Max あるいは Min との差である e_j の 2 乗の総和を総サンプリングポイント数 N で割った値を "goal" とする。

$$goal = \frac{\sum_{j=1}^N e_j^2}{N} \quad (1)$$

$$if(S_j > Min) \& (S_j < Max), e_j = 0$$

最終的な誤差関数は式 (2) のように、上記に示した 8 項目についての goal に重み付け (w) を掛けた和と定義する。

$$ErrorFunction = \sum_{i=1}^8 (w_i \times goal_i) \quad (2)$$

3 数値実験

3.1 SA の温度の必要性

SAW フィルタの目的関数は多峰性であることがわかっているため、市川は多峰性関数に有効なヒューリスティック手法である SA を適用し、その有効性を示した²⁾。

実際に市川が用いたパラメータを Table1 に示す。その値を用いて温度が 0 度の SA(Probabilistic Hill Climbing:PHC) と最適な温度を設定してある SA の比較を行った。SA, PHC とともに各試行の最良解の履歴 100 試行分を昇順に並び替えたものを Fig. 3 に示す。ここで近傍幅は制約条件により各次元によって異なり、各々 1/5 の大きさとしている。

Table1 SA と PHC のパラメータ (出典:自作)

パラメータ	値 (SA)	値 (PHC)
アニーリングステップ数		51200
最大温度	1000	0
最小温度	0.1	0
近傍幅	設計変数によって異なる値	
クーリングステップ数		64

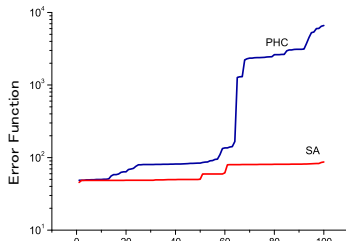


Fig.3 SA と PHC の性能比較 (出典:自作)

Fig. 3 より、多峰性の関数を解くとき、PHC では改悪を受けないために局所解に陥る試行が多数存在する。一方、SA では改悪を受容することにより、局所解からの脱出が可能となるため、目的関数値が 10^2 を下回るような良好な解に到達する試行が多く、安定した探索が行えている。よって、SAW フィルタ設計問題において SA の温度の必要性が確認できた。

3.2 実験目的

SA が他の最適化手法と比べ、有効であるかを検証するため、SA と同じヒューリスティック手法である GA と性能比較する。

3.3 本研究で用いた探索アルゴリズム

今回の実験で用いた探索アルゴリズムは、Standard Simulated Annealing(以下 SA), Single Population Genetic Algorithm(以下 GA) である。

3.4 今回用いたパラメータ

SA のパラメータには Table.1 の値 (SA) を用いる。GA のパラメータを Table.2 に示す。

Table2 GA のパラメータ (出典:自作)

パラメータ	値
個体数	100
最大世代数	512
エリートサイズ	1
遺伝子長	30
交叉手法	1点交叉
交叉率	0.6
突然変異率	0.01
選択手法	ランキングルーレット選択

3.5 実験結果

SA および GA とともに 30 試行の中央値をとった実験の結果を Fig. 4 に示す。

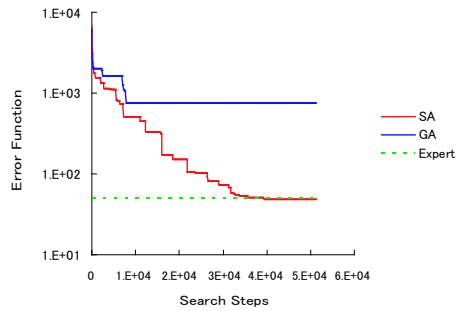


Fig.4 SA と GA の性能比較 (出典:自作)

Fig. 4 において、SA が GA よりも良好な結果を示した。SA は専門家の設定した値をも上回る良好な解精度を得ることができた。一方、GA においては、早熟収束してしまい、良好な解精度を得ることができなかつたと考えられる。また、ビット数が多いほどより細かい値を求めることができるのであるが、目的関数値を 30 ビットのコードで割り当てており、粗い探索をしてしまったため、SA と比べると良好な解精度を得ることができなかつたと考えられる。

4 今後の課題

GA のパラメータチューニングに関して不十分な可能性があるため、GA についてはさらに検討していく。必要に応じて選択方法や交叉方法についても検討していく。また、Distribute Genetic Algorithm(DGA) や他の柔軟性のある GA の手法を適用し、SAW フィルタ設計問題における SA と GA の性能について比較していく。

参考文献

- 1) 田中 直樹 伊藤 秀樹 吉川 修一 田中 敏晴 白杵 辰郎. 1.8/1.9GHz 帯弾性表面波フィルタ SANYO TECHNICAL REVIEW VOL.34 No.1. JUN.2002 pp131.
- 2) 市川 親司. 実最適化問題におけるシミュレーテッドアニーリングの有効性, 同志社大学, 2006, 修士論文
- 3) 藤城 義和. S パラメータによる電子部品の評価 Product Hotline magazine VOL.36(by TDK) 200