

課題番号	Q20J-03
課題名（和文）	汎用性の高いデジタルフィルタ設計システムの検討
課題名（英文）	A Flexible System for Digital Filter Design
研究代表者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学部電気電子工学科教授 氏名 陶山 健仁
共同研究者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学研究科電気電子工学専攻大学院生 氏名 並木 敬太郎
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学研究科電気電子工学専攻大学院生 氏名 辛 宇風
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学研究科電気電子工学専攻大学院生 氏名 加藤 涼太
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学研究科電気電子工学専攻大学院生 氏名 張替 裕太

研究成果の概要（和文）

本研究では、事前のパラメータ調整作業が不要な汎用性の高いデジタルフィルタ設計法について検討した。デジタルフィルタを集積回路上に実装する場合、回路コスト削減や省電力化を考慮した設計が求められる。そのような設計問題を遺伝的アルゴリズム（GA）で解く場合、事前に調整すべきアルゴリズムパラメータが多数含まれる。さらに、パラメータ値は設計仕様に依存するため、フィルタ設計者の作業を困難にする要因となる。そこで、パラメータ調整不要なパラメータフリーGA（PfGA）をフィルタ設計問題に適用し、パラメータ調整作業なしで、かつGAと比較して1000倍以上の速さで設計可能な手法を提案し、その有効性を示した。

研究成果の概要（英文）

In this research, a flexible method for digital filter design has been studied, in which a task for adjusting parameter values among genetic algorithm (GA) is not required in advance. In general, those parameter values depend on the filter design specification, and thus the adjustment task of parameters makes the filter design hard. Therefore, a parameter-free GA (PfGA) was applied to resolve such a hard work. This method does not require to decide the algorithm parameter in advance. In addition, an acceleration of design speed can be achieved. The effectiveness of the method has been shown through several design examples.

1. 研究開始当初の背景

デジタルフィルタは基本信号処理回路であり、通信、計測をはじめ様々な場面で利用されている。デジタルフィルタを集積回路上で実装する場合、その回路規模は乗算器が支配的となる。高い動作性能には高次数フィルタが求められるため、必要な乗算器の個数も増大する。これは、回路コスト削減、省電力化、高速動作を妨げる要因となるため、デジタルフィルタの回路規模削減を考慮した設計法が強く求められる。そのような設計問題は、混合整数計画問題として定式化され、一般に NP 困難な問題となる。そこで、実用的な時間で近似解の算出が可能なメタヒューリスティクスである遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) を用いた設計法について検討してきた。

2. 研究の目的

GA を適用する場合、事前に調整すべきパラメータが多数存在し、かつパラメータ値が設計仕様に依存するため、フィルタ設計者の作業を困難にさせる要因となる。また、実用的時間とはいえ、高次数フィルタの場合、性能の高いワークステーションでも数十分の計算時間が必要である。これは、フィルタ設計者の作業を困難にさせるだけでなく、フィルタ設計そのものを専門化させる要因となる。そこで、本研究では、フィルタの仕様さえ入力すれば直ちに設計結果が得られる汎用性の高い設計システムの構築を目的とする。

3. 研究の方法

事前のパラメータ調整が不要な GA としてパラメータフリーGA (PfGA: Parameter-free GA) を適用した設計法を提案した。GA では、フィルタ係数を 2 進表現したビット列を染色体としてもつ遺伝子個体とみなし、個体間の交叉、突然変異、選択などの遺伝操作により、多様な解探索を行う。交叉には交叉率や交叉点、突然変異は変異率、

選択には選択則など事前に決定すべきパラメータが多数含まれる。PfGA では、最小限の個体数 (4 個体) で構成した集団のなかで、それらのパラメータをランダムに設定しながら探索を進める。ランダムなパラメータのため、遺伝操作が成功する頻度と同様な頻度で失敗が発生するが、成功した優良個体は残るため、GA と同程度の世代数で十分な性能を呈する個体が生成される。また、最小限の個体数で動作するため、デジタルフィルタ設計の場合、GA と比べると高速に設計が完了する。

4. 研究成果

提案手法を実装し、設計例によって性能検証を行った。その結果、事前にパラメータ調整作業を施した GA による設計結果と比べ 3[dB]程度の性能劣化がみられたが、パラメータ調整なしで GA より 1000 倍超の実行時間で設計結果が得られた。さらに、高次数ほど設計性能が向上することを確認した。3[dB]程度の劣化は実用上ほとんど問題なく、そのような設計結果を高速に得られることは本手法の汎用性の高さを示している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 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
査読あり
- ② 張替 裕太, 陶山 健仁, “IIR フィルタ設計のためのハイブリッド探索戦略,” 電気学会論文誌 C, Vol.141, No.3, pp.426-435, 2021
査読あり

〔学会発表〕（計 7 件）

- ① Ryota Kato and Kenji Suyama, “An Improved Parameter Free Genetic Algorithm for CSD FIR Filter design,” Proc. of APSIPA ASC 2021, pp. 212-217, 2021.12.14, オンライン
- ② Marika Morikawa and Kenji Suyama, “Design of CSD Coefficient FIR filters Using Diversified ACO,” Proc. of IEEE ISCIT2021, pp. 129-133, 2021.10.20, オンライン
- ③ Yuta Harigae, Kenji Suyama, A Proposal toward Standardization of Design Examples for IIR Filter Design Methods, Proc. of APSIPA ASC 2021, pp. 218-221, 2021.12.14, オンライン
- ④ Ryota Kato, Kenji Suyama, A Scaling Method of CSD-FIR Filter Without Additional Multiplier, Proc. of SISA2021, pp.104-109, 2021.9.20, オンライン
- ⑤ 森川まり花, 小澤恵, 陶山健仁, ACO による CSD 係数 FIR フィルタ設計のための多様化戦略, 第 34 回 回路とシステムワークショップ予稿集, pp.160-165, 2021.8.26, オンライン
- ⑥ Yuta Harigae, Kenji Suyama, Design of IIR Filters Using PSO with Penalties and Improved CSO, Proc. of ITC-CSCC2020, pp.485-490, 2020.7.5. オンライン
- ⑦ Keitaro Namiki, Kenji Suyama, Design of Microphone Array Directivity Using Penalty Adding PSO, Proc. of ITC-CSCC2020, pp.505-508, 2020.7.5, オンライン

〔図書〕（計 1 件）

- ① 陶山 健仁, “ソフトウェアで体験して学ぶデジタルフィルタ,” オーム社, 2020, 総 248 ページ