5701

阻止域可変 FIR フィルタの有限語長設計の検討

A study on designing finite wordlength FIR filters with variable multi-factor in the stopband

11519 小室 智哉
指導教員 宮田 統馬

1. はじめに

高速高精度に計測を行うために可変ディジタルフィルタを用いてノイズの除去が行われている[1]. 提案されてきた可変フィルタの多項式係数は連続値であり, 組み込み機器に実装する際に有限語長に丸めるために, 目的の計測精度が得られない場合がある. 本研究では多項式係数をあらかじめ任意語長で表現し, 遺伝的アルゴリズム(以下, GA)を用いたフィルタの設計法について検討する.

2. 遺伝的アルゴリズムを用いた直線位相可変FIR フィルタの有限語長設計

阻止域の一部に高い減衰量を持たせ, その位置と大きさを可変にするパラメータをそれぞれ ϕ と γ とする. このとき, 阻止域の複数要素が可変な直線位相 FIR フィルタの振幅特性は,

$$H(\omega,\phi,\gamma) = 2\sum_{i=0}^{N}\sum_{l_\phi=0}^{L_\phi}\sum_{l_\gamma=0}^{L_\gamma} g(i,l_\phi,l_\gamma)\,\phi^{l_\phi}\gamma^{l_\gamma}\cos(i\omega) \quad (1)$$

と表される. ただし, 2N はフィルタ次数, L は多項式次数を示す. GAを用いて可変フィルタを設計するために, 式(1)の多項式係数 $g(\cdot)$ を B ビットで表すと一個体は,

$$\mathbf{G}_j^{filter} = \left[\mathbf{G}_{0,0,0}^{gcoef}\cdots\mathbf{G}_{i,l_\phi,l_\gamma}^{gcoef}\cdots\mathbf{G}_{N,L_\phi,L_\gamma}^{gcoef}\right] \quad (2)$$

$$\mathbf{G}_{i,l_\phi,l_\gamma}^{gcoef} = [X_1\cdots X_B] \quad (3)$$

となる. ただし, $X\in(0,1)$ であり, j はGAを用いて解探索を行う個体番号を示す. 文献[1]より, 理想特性を D , 帯域にかける重みを W ,最大誤差を δ とすると, 周波数領域におけるミニマックス設計問題は,

$$\begin{aligned}&\min\quad \delta_{s_\gamma}\\ &s.t.\ \ W(\omega,\phi,\gamma)\left|D(\omega,\phi,\gamma)-H\left(\omega,\tilde{\phi},\tilde{\gamma}\right)\right|\le\delta_{s_\gamma}\end{aligned} \quad (4)$$

と与えられる. ただし, $0\le s_\gamma\le S_\gamma$ かつ, S_γ は γ の評価点数であり, δ は γ の評価点毎に変化するため δ_{s_γ} とする. このとき, δ_{s_γ} を同時に最小化しなければならないため多目的最適化問題となり, δ_{s_γ} を以下の最大誤差の加重和として解探索を行う.

$$\tilde{\delta} = (\sigma_0\delta_0)+\cdots+(\sigma_{s_\gamma}\delta_{s_\gamma}) \quad (5)$$

このとき, σ は最大誤差にかける重みであり, この値を決定することが阻止域減衰量が可変なフィルタを設計する際に重要となる. また, 各個体の適合度は,

$$fitness = 1/\left(1+\tilde{\delta}\right) \quad (6)$$

として $\mathbf{G}_j^{filter}$ に GA の操作を行いフィルタの設計をする.

表 1:重みがない場合の最大誤差

	γ=10	γ=56	γ=100
ϕ=0.38	3.737×10^{-03}	4.639×10^{-03}	4.906×10^{-03}
ϕ=0.40	3.736×10^{-03}	4.335×10^{-03}	4.688×10^{-03}
ϕ=0.42	3.715×10^{-03}	4.301×10^{-03}	4.538×10^{-03}

表 2:提案する重みをかけた場合の最大誤差

	γ=10	γ=56	γ=100
ϕ=0.38	3.737×10^{-03}	3.737×10^{-03}	3.737×10^{-03}
ϕ=0.40	3.736×10^{-03}	3.492×10^{-03}	3.572×10^{-03}
ϕ=0.42	3.715×10^{-03}	3.465×10^{-03}	3.457×10^{-03}

3. 最大誤差の加重和に用いる重み σ の決定法

GA を用いる際に, 連続値で設計した可変フィルタの係数を有限語長に丸めたものを初期値とすることを考える. このとき得られる δ'_{s_γ} の最小値 δ'_{min} を基にして, σ を以下のように決定する.

$$\sigma_{s_\gamma} = \delta'_{min}/\delta'_{s_\gamma} \quad (8)$$

このようにすることで, γ の変化は最大誤差に影響を及ぼさず, δ_{s_γ} を等しく評価することができる. 以下に検証結果を示す. 但し, ここでは Remez アルゴリズムを用いて, 非可変の FIR フィルタを設計することで検証を行った. そのとき使用したローパスフィルタの仕様は次のようになる. 2N=50, 通過域端正規化角周波数を 0.1 [πrad/sec] , 阻止域端正規化周波数を 0.2 [πrad/sec]とした. 加えて, ϕ =0.38,0.40,0.42[πrad/sec], γ=10,56,100,高い阻止域減衰量の帯域幅を 0.2 [πrad/sec]と設定した. 表 1 と表 2 に各パラメータ時の最大誤差とその最大誤差に検討する重みを使用したものを示す. 表 1 では γ によって最大誤差が変化していることがわかる. 一方, 表 2 から検討する重みを用いることで, γ が変化しても等しく最大誤差を評価できることがわかる. 従って, 可変 FIR フィルタの有限語長設計をする際に提案法は有用であると考えられる.

4. まとめ

本論文では, 最大誤差の加重和に用いる重みの決定法について検討を行い有効性を確認した. 今後, 提案した評価関数を用いて GA により阻止域の複数要素が可変な FIR フィルタの設計を行う.

参考文献

[1]Toma MIYATA, Naoyuki AIKAWA, “A Design Method for Variable Linear-Phase FIR Filters with Changing Multifactors for Checkweighers,” IEICE TRANS. Fundamentals, Vol.E96-A,No.08, pp.1400-1407, Jan., 2015.