

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	複素係数を用いた上・下帯域端固定帯域幅可変帯域通過IIRフィルタの一構成法
Title(English)	A Synthesis of Variable Bandpass IIR Complex Digital Filters with Fixed Their Upper or Lower Passbandedge
著者(和文)	村越信雄, 渡部英二, 西原明法
Authors(English)	AKINORI NISHIHARA
出典(和文)	電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J76-A, No. 4, pp. 697-699
Citation(English)	, Vol. J76-A, No. 4, pp. 697-699
発行日 / Pub. date	1993, 4
URL	http://search.ieice.org/
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は電子情報通信学会に帰属します。 Copyright (c) 1993 Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.

複素係数を用いた上・下帯域端固定帯域幅可変帯域通過 IIR フィルタの一構成法

正員 村越 信雄[†] 正員 渡部 英二^{††}
 正員 西原 明法[†]

A Synthesis of Variable Bandpass IIR Complex Digital Filters with Fixed Their Upper or Lower Passbandedge
 Nobuo MURAKOSHI[†], Eiji WATANABE^{††} and Akinori NISHIHARA[†], Members

[†] 東京工業大学工学部電子物理工学科, 東京都
 Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, 152 Japan
^{††} 芝浦工業大学システム工学部電子情報システム学科, 大宮市
 Faculty of System Engineering, Shibaura Institute of Technology, Omiya-shi, 330 Japan

あらまし 複素係数を用いることにより実係数特性可変フィルタでは実現できない片方の帯域端周波数を固定した帯域幅可変帯域通過 IIR フィルタを構成している。更にシミュレーションによりその有効性を確認している。なお、本手法により同様の帯域阻止フィルタも容易に実現可能である。

キーワード 複素係数, 特性可変, 帯域通過フィルタ, IIR フィルタ

1. まえがき

オーディオにおける音場処理やアダプティブラインエンハンサなどのアダプティブフィルタにデジタルフィルタを応用する場合において、フィルタリングの最中にその周波数特性をリアルタイムで変化させることを要求される場合がしばしばある。

デジタルフィルタの周波数特性を変化させるための理論的背景としては Constantinides の周波数変換が既に知られている⁽¹⁾。この方法を応用して周波数変換後の回路を得るには、二つの方法が考えられる。

1 番目の方法としては、プロトタイプ回路中の遅延器を全域通過回路に置き換えるという方法である。しかしながら、この方法ではプロトタイプフィルタが IIR フィルタの場合に、回路中に Delay-Free-Loop が生じて実現不可能となってしまう場合がある。

2 番目の方法としては、変換後のフィルタ伝達関数の係数を計算し、新たに回路を再構成するという方法である。この方法ではプロトタイプフィルタの回路の乗算器係数をすべてを再計算して変更するという手間がかかり、リアルタイムでの特性可変は困難である。

以上の問題を解決する方法として、Delay-Free-Loop の生じない一つのパラメータによる遮断周波数

可変低域通過フィルタの構成法が提案されている^{(2)~(4)}。この可変低域通過フィルタをもとに帯域幅可変帯域通過フィルタも簡単に構成できる。しかしながら、得られる可変帯域通過フィルタは、帯域の中心周波数または算術中心周波数を固定とするものであり、片帯域端周波数を固定しようとするると帯域幅を変えるのに二つ以上のパラメータが必要となってしまう。

本論文では、複素係数フィルタを導入することにより従来の実係数フィルタでは実現不可能であった、一つのパラメータによる上・下帯域端周波数の片方を固定した帯域幅可変帯域通過フィルタの構成法を提案し、構成例により本構成法の有効性を確認している⁽⁵⁾。なお、同様の帯域阻止フィルタについては本研究の結果を応用することにより簡単に実現可能である。

2. 従来の片帯域端固定帯域幅可変帯域通過フィルタの構成法

プロトタイプ低域通過フィルタの伝達関数 $H(z)$ の z^{-1} を

$$T_1(z^{-1}) = \frac{z^{-1} - \beta}{1 - \beta z^{-1}} \quad (1)$$

で置換することにより、遮断周波数の異なる低域通過フィルタの伝達関数が得られる。ここで、 β は

$$\beta = \frac{\sin\left(\frac{\theta_p - \omega_p}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\theta_p + \omega_p}{2}\right)} \quad (2)$$

であり θ_p はプロトタイプ低域通過フィルタの遮断周波数、 ω_p は希望する低域通過フィルタの遮断周波数である。また、 $H(z)$ の z^{-1} を

$$T_2(z^{-1}) = -z^{-1} \left(\frac{z^{-1} - \alpha}{1 - \alpha z^{-1}} \right) \quad (3)$$

で置換することにより、低域通過フィルタの通過域幅と等しい帯域幅をもつ帯域通過フィルタが得られる。ここで α は

$$\alpha = \cos \omega_0 = \frac{\cos\left(\frac{\omega_U + \omega_L}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\omega_U - \omega_L}{2}\right)} \quad (4)$$

であり、 $\omega_U \cdot \omega_L$ は得られる帯域通過フィルタの上・下帯域端周波数、 ω_0 は中心周波数である。

$T_2(z^{-1})$ は z^{-1} が全体にかかっているため、プロトタイプ回路中の遅延器を $T_2(z^{-1})$ を表す回路で置換しても Delay-Free-Loop を生じない。従って、パラメータ β によって、中心周波数を変化させる帯域通過フィルタは問題なく実現可能である。しかしながら、 $T_1(z^{-1})$ の変換で同様の方法を用いると Delay-Free-Loop が

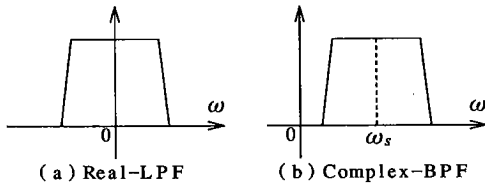


図1 実・複素係数フィルタの振幅特性
Fig.1 Frequency responses of real and complex coefficient filters.

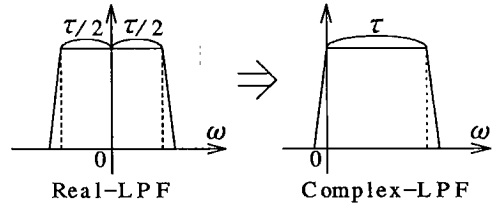


図2 τ/2の周波数シフト
Fig.2 τ/2 frequency shift.

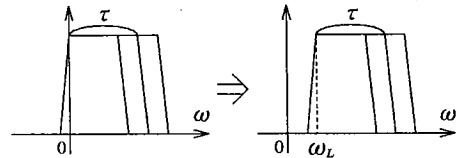


図3 ωLの周波数シフト
Fig.3 ωL frequency shift.

生じる可能性がある。従って、いくつかの遮断周波数可変低域通過フィルタの構成法が提案^{(2)~(4)}されており、 $T_1(z^{-1})$ の変換との組合せにより帯域幅を一つのパラメータで変えることができる帯域幅可変帯域通過フィルタが得られる。但し、このタイプの帯域幅可変帯域通過フィルタは、その中心周波数 ω_0 が固定であって、上・下帯域端周波数が変わることによってその帯域幅が可変されるというものである。片帯域端周波数を固定しようとする、変化した帯域幅の値に対応して中心周波数を変化させる必要がある、パラメータが二つ必要となる。

また、実係数低域通過フィルタを周波数軸上で ω_s だけシフト、すなわち z 平面上で極・零点を ω_s だけ回転させる

$$z^{-1} \rightarrow z^{-1} \exp(j\omega_s) \quad (5)$$

の置換により、図1に示すような ω_s に対称な複素係数帯域通過フィルタが実現できる⁽⁶⁾。複素係数フィルタにおいて解析信号処理を施した入力信号を使えば、負の周波数領域の特性は任意でよく、正の周波数特性のみが信号処理として意味をもつ。

遮断周波数可変低域通過フィルタに式(5)の周波数シフトを用いれば複素係数フィルタにはなるが算術中心周波数固定の帯域幅可変帯域通過フィルタが得られる。但し、片帯域端周波数固定の可変フィルタを得ようとする、三つのパラメータが必要となる。

3. 片帯域端固定帯域幅可変帯域通過フィルタ

本章では上または下帯域端周波数を固定して一つのパラメータで帯域幅を可変するフィルタの構成について述べる。仕様として基準となる帯域幅 τ 、固定される下帯域端周波数 ω_L が与えられるとする。

まず図2に示すように、通過域幅 $\tau/2$ のプロトタイプ実係数低域通過フィルタを、 ω_s を $\tau/2$ とした式(5)を用いて通過域幅分だけ正の向きに周波数シフトさせる。得られた複素係数フィルタはプロトタイプフィルタの2倍の通過域幅をもつ複素係数低域通過フィルタ

となる。

この段階で従来の遮断周波数可変低域通過フィルタの方法^{(2)~(4)}を使えば、図3に示すように低域通過フィルタの遮断周波数を希望どおりに変化させることができる。

最後に図3に示すように仕様で与えられた下帯域端周波数 ω_L 分の周波数シフトを行うと、下帯域端周波数固定の帯域幅可変帯域通過フィルタが得られる。

文献(3)の直接型回路の方法を用い、以上をまとめると、 β をパラメータとする特性可変フィルタの伝達関数を得る手順は

- (1) プロトタイプとなる実係数低域通過フィルタを2次または1次の積の形で設計する。
- (2) z^{-1} を $z^{-1} \exp\{j(\tau/2)\}$ で置換する。
- (3) z^{-1} を $T_1(z^{-1})$ で置換し、 z^{-1} の各係数が β の多項式となるように整理する。更に、各係数の β についての2次のテイラー展開したものを新たな各係数として、新しい伝達関数を求める。
- (4) 得られた伝達関数の z^{-1} を $z^{-1} \exp(j\omega_L)$ で置換する。

となる。得られた伝達関数より回路を構成すればパラメータ β により帯域幅を変えられるフィルタが得られる。また、他の遮断周波数可変低域通過フィルタの方法も(3)の段階で同様に用いることが可能である。なお、上帯域端周波数固定の帯域幅可変フィルタは、遮断周波数可変高域通過フィルタを使って同様の手順により構成可能である。

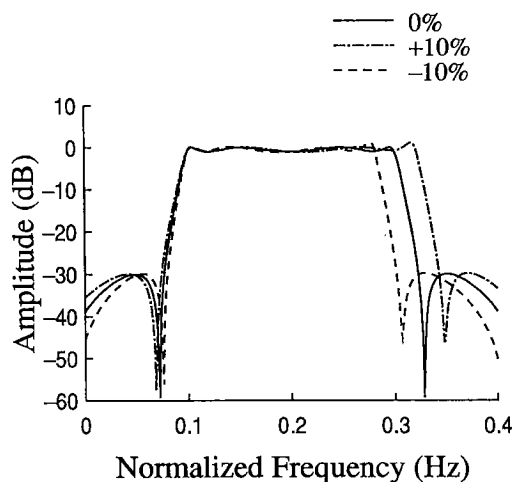


図4 下帯域端周波数固定帯域幅可変帯域通過フィルタの周波数特性

Fig.4 Frequency response of a variable bandpass filter with its lower passband edge.

4. 構成例

本研究で提案した帯域幅可変フィルタをシミュレーションによって構成した。

プロトタイプフィルタとして4次連立チェビシェフ低域通過フィルタを採用した。その規格としては、標準化周波数1Hz、遮断周波数0.1Hz、通過域リプル1dB、阻止域最小減衰量30dBである。また、遮断周波数可変フィルタとしては文献(3)の直接型回路による方法を用いた。帯域幅可変フィルタは下帯域端周波数を0.1Hzで固定し、基準の帯域幅を0.2Hzとし、その帯域幅を±10%変化させた。その振幅特性を図4に示す。図4より帯域幅の変化に伴い振幅特性に乱れは生じているが、下帯域端周波数の変動はなく良好な結果が得られていることが確認できた。

5. むすび

本研究では、複素係数を用いることにより、従来の

実係数では実現できなかった、片帯域端固定帯域幅可変フィルタの構成法を示した。また、構成例により本構成法の有効性を確認した。ところで、従来の遮断周波数可変低域通過フィルタは遮断周波数を変化させるに従い振幅特性に乱れが生じてしまい、狭い可変範囲しかもつことがなかった。本論文で提案した方法もこの可変低域通過フィルタの方法を用いているため、同じ問題が生じている。今後の課題としては、振幅特性の乱れない可変フィルタの構成についての検討が考えられる。

謝辞 日ごろ適切な御指導を頂き、本研究に対しても有益な御助言を頂いた芝浦工業大学の柳沢健教授、東京工業大学の藤井信生教授、高木茂孝助教授に感謝する。

文 献

- (1) Constantinides A. G.: "Spectral Transformations for Digital Filters", Proc. IEE, 117, 1585-1590(1970).
- (2) Mitra S.K., Neuvo Y. and Roivainen H.: "Design of Recursive Digital Filters with Variable Characteristics", Int. J. Circuit Theory & Appl., 18, pp.107-119 (1990).
- (3) Murakoshi N., Watanabe E. and Nishihara A.: "A Synthesis of Variable IIR Digital Filters", IEICE Trans. Fundamentals, E75-A, 3, pp.362-368(March 1992).
- (4) 渡部英二, 伊藤正人, 村越信雄, 西原明法: "特性可変ウェーブデジタルフィルタの一構成法", 信学技報, CAS91-160(1992-03).
- (5) 村越信雄, 渡部英二, 西原明法: "複素係数を用いた特性可変IIRフィルタの一構成法", 信学技報, CAS92-17(1992-05).
- (6) Crystal T. H. and Ehrman L.: "The Design and Applications of Digital Filters with Complex Coefficients", IEEE Trans. Audio & Electroacoust., AU-16, 3, pp. 315-320(Sept. 1968).

(平成4年11月16日受付)