

令和3年度 卒業論文

指定した位置に伝送零点を有するヒルベルト変換器の一設計法

2022年2月

指導教員 工学博士 相川 直幸 教授

東京理科大学 先進工学部
電子システム工学科 相川研究室

8118015 大畠 陽平

指定した位置に伝送零点を有するヒルベルト変換器の一設計法

[相川研究室]

8118015 大畠 陽平

正弦波の周波数推定はレーダーやソナー，通信，医療などの領域で幅広く研究されてきた課題である．一般に，単一正弦波に対する周波数推定を行う場合，アナログ信号であれば周波数カウンタを用いる手法，デジタル信号の場合，相関を用いた手法やヒルベルト変換器を用いる手法が提案されている．周波数カウンタを用いた手法では，1周期に対して基準クロックを用いて測定し，その逆数から周波数を求めるレシプロカル方式の周波数カウンタが知られている．しかし，この手法を用いる場合，周波数が変化すると出力間隔が不等間隔になる．そのため，計測値に対して，デジタル処理を行う場合には補完処理などの工夫が必要となるため，サンプルごとに周波数の推定値が出力されるヒルベルト変換器を用いた手法が提案されている．

ヒルベルト変換器を用いた手法では，解析信号と呼ばれる複素信号の位相を時間微分し，瞬時角周波数から瞬時周波数を推定することができる．従来，ヒルベルト変換器は有限次数の FIR フィルタとして設計されるため振幅特性にリプルが生じ，それを用いて得られる単一正弦波の瞬時周波数が振動する場合がある．振動成分の周波数は入力単一正弦波の周波数の偶数倍であり，これを伝送零点を有する可変 FIR フィルタを用いて振動成分を除去することで，低次数なヒルベルト変換器を用いても，単一正弦波の高精度な瞬時周波数推定が可能であることが知られている．しかし，実環境ではノイズを含む信号を解析する必要がある．一般に，ノイズを含む信号に対して，ヒルベルト変換を行うためにはあらかじめ帯域通過フィルタによりノイズを低減させた後に，ヒルベルト変換器を縦続接続する方法が考えられる．しかし，帯域通過フィルタとヒルベルト変換器を1つのフィルタとしてみた場合，全体の次数が増加し，結果として遅延や回路規模の増大につながり好ましくない．

そこで本稿では，阻止域を有するヒルベルト変換器に対し，指定した位置に伝送零点を置くことで，ノイズを除去しながらヒルベルト変換器可能なフィルタを設計する．阻止域を有するヒルベルト変換器を設計する場合，本来であれば阻止域において十分な減衰量を確保するために多くのフィルタ次数が必要となる．しかし，特定のノイズのみ除去しながらヒルベルト変換を行うことができ，減衰量を確保するために必要な次数を削減することができる．最後に設計例を示し，提案法の有効性を確認する．

Abstruct

[Aikawa Laboratory]
Other/abstract-e.texW

8118015 Yohei Ohata

目次

第1章 序論	1
1.1 背景	1
1.2 目的	2
第2章 従来法	3
2.1 帯域通過ヒルベルト変換器	3
2.2 伝送零点を有する FIR フィルタと単純接続した帯域通過ヒルベルト変換器	4
第3章 提案法	5
3.1 前段特性を考慮した帯域通過ヒルベルト変換器の設計	5
謝辞	6
発表論文	7
A. 査読あり論文	7
B. 国際会議	7
C. 研究会	7
D. 大会	7

图 目 次

1.1	2
-----	-------	---

第1章 序論

1.1 背景

参考文献のテスト [?]. 正弦波の周波数推定はレーダーやソナー、通信、医療などの領域で幅広く研究されてきた課題である [?, ?, ?]. 一般に、単一正弦波に対する周波数推定を行う場合、アナログ信号であれば周波数カウンタを用いる手法、デジタル信号の場合、相関を用いた手法やヒルベルト変換器を用いる手法が提案されている。周波数カウンタを用いた手法では、1周期に対して基準クロックを用いて測定し、その逆数から周波数を求めるレシプロカル方式の周波数カウンタが知られている。しかしこの手法を用いる場合、周波数が変化すると出力間隔が不等間隔になる。そのため、計測値に対して、デジタル処理を行う場合には補完処理などの工夫が必要となるため、サンプルごとに周波数の推定値が出力されるヒルベルト変換器を用いた手法が提案されている。

ヒルベルト変換器を用いた手法では、入力を実部、出力を虚部とする複素信号の一種である解析信号の位相を時間微分し、瞬時角周波数から瞬時周波数を推定することができる。従来、ヒルベルト変換器は有限次数の FIR フィルタとして設計されるため振幅特性にリプルが生じ、出力は振動する場合がある。高尾ら [?, ?] は振動成分の周波数が入力周波数の偶数倍であることを理論的に示し、これを伝送零点を有する可変 FIR フィルタを用いて振動成分を除去することで、低次数なヒルベルト変換器を用いても、単一正弦波の高精度な瞬時周波数推定が可能となることを示した。しかし実際にはノイズを含む信号を解析する必要がある。一般に、ノイズを含む信号に対して、ヒルベルト変換を行うためには、あらかじめ帯域通過フィルタによりノイズを低減させた後に、ヒルベルト変換器を縦続接続する方法が考えられる。しかし、帯域通過フィルタとヒルベルト変換器を1つのフィルタとして見た場合、全体の次数が増加し、結果として遅延や回路規模の増大につながり好ましくない。

そこで本稿では、阻止域を有するヒルベルト変換器に対し、指定した位置に伝送零点を置くことで、ノイズを除去しながらヒルベルト変換可能なフィルタを設計する。阻止域を有するヒルベルト変換器を設計する場合、本来であれば阻止域において十分な減衰量を確保するために多くのフィルタ次数が必要となる。しかし、特定の周波数成分にノイズが含まれることがわかっている場合、その周波数成分のみに伝送零点を入れることにより、特定のノイズのみ除去しながらヒルベルト変換を行うことができ、減衰量を確保するために必要な次数を削減することができる。最後に設計例を示し、提案法の有効性を確認する。

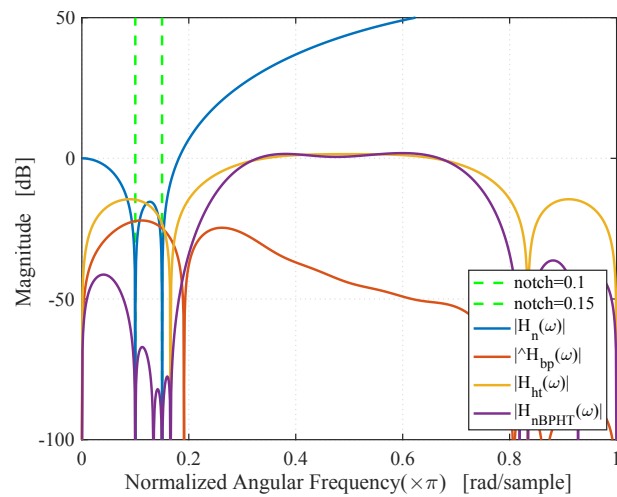


図 1.1

1.2 目的

本章では提案するフィルタの設計問題について記す．提案するフィルタは，阻止域の指定した位置に伝送零点を有するヒルベルト変換器である．本稿で設計するフィルタの振幅理想特性を図??に示す．またフィルタの振幅理想特性は正規化角周波数 ω を用いて，

第2章 従来法

本研究では、特定の周波数ノイズを除去することを目的とする。したがって、本章ではヒルベルト変換前のノイズ除去として考えられる手法と問題点について記す。まず、帯域通過ヒルベルト変換器について述べる。次に、伝送零点を有する FIR フィルタについて述べる。最後に、指定した位置に伝送零点を有する FIR フィルタと単純接続した帯域通過ヒルベルト変換器について述べる。

2.1 帯域通過ヒルベルト変換器

一般にノイズを含む信号に対してヒルベルト変換を行うためには、帯域通過フィルタによりノイズを低減させた後に、ヒルベルト変換器を縦続接続する手法が考えられる。しかし、帯域通過フィルタとヒルベルト変換器を一つのシステムとして見た場合、個々のフィルタを別々に用いるため、システム全体の次数が増加し結果として遅延や回路規模の増大につながり好ましくない。そこでまず、帯域通過フィルタとヒルベルト変換器を合成したフィルタ、すなわち振幅特性に阻止域を有する帯域通過ヒルベルト変換器を考える。振幅理想特性は

$$D_{\text{BPHT}}(\omega) = \begin{cases} 0 & (0 < \omega < \omega_1) \\ 1 & (\omega_1 < \omega < \omega_2) \\ 0 & (-\omega_2 < \omega < \pi) \end{cases} \quad (2.1)$$

と書き表せる。ここで ω_1, ω_2 はそれぞれ左側通過域端正規化角周波数、右側通過域端正規化角周波数を表す。また、 N 次の FIR フィルタの周波数応答は

$$H(\omega) = \sum_{n=0}^N h(n)e^{-j\omega n} \quad (2.2)$$

と書き表せる。帯域通過フィルタの周波数応答を $H_{\text{BP}}(\omega)$ 、ヒルベルト変換器の周波数応答を $H_{\text{HT}}(\omega)$ とすると、帯域通過ヒルベルト変換器の周波数応答 H_{BPHT} は

$$H_{\text{BPHT}}(\omega) = H_{\text{BP}}(\omega)H_{\text{HT}}(\omega) = \sum_{m=0}^M h_{\text{BP}}(m)e^{-j\omega m} \sum_{n=0}^{N-M} h_{\text{HT}}(n)e^{-j\omega n} \quad (2.3)$$

となる。設計された帯域通過ヒルベルト変換器の振幅特性を図に示す。ここで問題となる点は、阻止域で十分な減衰量を確保するためにフィルタ次数が多く必要となることである。しかし、特定の周波数ノイズのみ減衰させる場合、阻止域全体で減衰量を確保する必要はなく、特定の周波数近傍で十分な減衰量が確保されればよい。したがって、阻止域上に伝送零点を有するヒルベルト変換器を設計すればよい。次節では、指定した位置に伝送零点を有する FIR フィルタと単純接続したヒルベルト変換器について述べる。

2.2 伝送零点を有するFIRフィルタと単純接続した帯域通過ヒルベルト変換器

任意の点 ω_i に伝送零点を有する FIR フィルタの周波数応答 $P(\omega)$ は

$$P(e^{j\omega}) = \prod_{i=1}^L (1 - 2 \cos \omega_i e^{-j\omega} + e^{-2j\omega}) \quad (2.4)$$

と書き表せる．ここで L は伝送零点の個数である．これより指定した周波数において大きな減衰量を持つフィルタが設計されていることが確認できる．そのため，特定の周波数ノイズに対して，伝送零点を設置することでノイズの除去が可能となる．このフィルタに対して帯域通過ヒルベルト変換器を縦続接続する．式 (2.2) より伝送零点フィルタの周波数応答を $H_n(\omega)$ ，式 (2.3) より帯域通過ヒルベルト変換器の周波数応答 $H_{\text{BPHT}}(\omega)$ とすると伝送零点を有する FIR フィルタと単純接続した帯域通過ヒルベルト変換器の周波数応答はアイウエオ

$$\begin{aligned} H_{\text{nHT}}(\omega) &= H_n(\omega) H_{\text{ht}}(\omega) \\ &= \prod_{i=1}^B \{1 - 2 \cos(\omega_{bi}) e^{-j\omega} + e^{-2j\omega}\} \sum_{k=0}^{2(M-B)} h_{\text{ht}}(k) e^{-j\omega k} \end{aligned} \quad (2.5)$$

となる．

第3章 提案法

3.1 前段特性を考慮した帯域通過ヒルベルト変換器の設計

謝辞

Other/thanks.tex で文章を編集して下さい

発表論文

A. 査読あり論文

- Other/publication で編集して下さい

B. 国際会議

C. 研究会

D. 大会