

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	FIRフィルタによる分割形適応ラインエンハンサの検討
Title(English)	Separated Adaptive Line Enhancers and FIR Filter
著者(和文)	渡部英二, 真正英児, 西原明法, 柳澤 健
Authors(English)	AKINORI NISHIHARA
出典(和文)	電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J81-A, , pp. 1616-1618
Citation(English)	, Vol. J81-A, , pp. 1616-1618
発行日 / Pub. date	1998, 11
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) 1998 Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.

研究速報

FIR フィルタによる分割形適応ラインエンハンサの検討

渡部 英二[†] (正員) 真正 英児^{†*} (学生員)西原 明法^{††} (正員) 柳澤 健[†] (正員)

Separated Adaptive Line Enhancers with FIR Filter

Eiji WATANABE[†], Member, Eiji SHINSHO^{†*}, Student Member,Akinori NISHIHARA^{††}, and Takeshi YANAGISAWA[†], Members[†] 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 Systems Engineering, Shibaura Institute of Technology,
Ohmiya-shi, 330-8570 Japan^{††} 東京工業大学教育工学開発センター, 東京都
Center for Research and Development of Educational Technology, Tokyo
Institute of Technology, Tokyo, 152-8552 Japan

* 現在, ユニデン (株)

あらまし 適応ラインエンハンサの設計においては、実時間処理の必要性から演算量を少なくすることが重要になっている。本論文では、演算量を少なくするために、FIR フィルタによる分割形適応ラインエンハンサを提案している。

キーワード 適応ラインエンハンサ, 適応ノッチフィルタ, 適応信号処理, デジタルフィルタ

1. まえがき

適応ラインエンハンサ (以後 ALE と略す) は、雑音に埋もれた周波数が未知の正弦波から雑音を除去して正弦波を抽出するための適応信号処理システムである [1]。この雑音除去能力が高いほど優れた ALE であるといえ、そのためには正弦波抽出用帯域通過フィルタの帯域幅を狭くすればよい。しかし、狭帯域にすると適応係数の収束速度が悪化してしまうという問題が生じる [2]。この両立しない問題の一つの解決方法として、文献 [4], [5] で分割形構成法による ALE が提案されている。しかし、文献 [3] の従来形に比べ回路が複雑になっている点も見受けられる。ALE のような適応信号処理の分野においても、実時間処理の必要性から演算量を少なくすることが重要になっている。そこで、同じ次数の場合 IIR フィルタよりも回路が簡単である FIR フィルタの方がハードウェアで実現するときのことを考えると有利であることから、本論文では、未知正弦波の周波数を推定する部分にノッチ周波数が可変である 2 次 FIR 適応帯域消去フィルタを用いた分割形 ALE について検討する。最後に、計算機シミュレーションにより本構成法の有効性を検証する。

2. FIR フィルタによる分割形 ALE

分割形 ALE は図 1 に示すように、未知周波数を

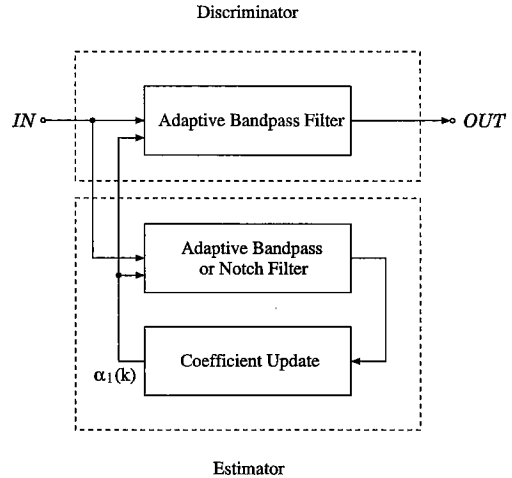


図 1 分割形構成による ALE
Fig.1 ALEs with separated structures.

推定する部分と正弦波を分離する部分からなっている [4]。

ここで、サンプリング時間を表す変数を k (整数) とし、サンプリング周期を 1 [s] に正規化する。入力信号 $x(k)$ を振幅 A で角周波数 ω ($0 < \omega < \pi$)、初期位相 θ の正弦波と平均値 0 で分散 σ_n^2 の白色ガウス雑音 $n(k)$ の和

$$x(k) = A \cos(k\omega + \theta) + n(k) \quad (1)$$

とし、正弦波分離フィルタとして中心周波数可変 2 次 IIR 帯域通過フィルタ

$$H_B(z) = \frac{(1 - \alpha_0)(1 - z^{-2})}{2\{1 - \alpha_1(k)(1 + \alpha_0)z^{-1} + \alpha_0 z^{-2}\}} \quad (2)$$

を用いる。ここで $\alpha_1(k)$ (但し $-1 < \alpha_1(k) < 1$) は時間 k におけるフィルタの中心角周波数 $\omega_0^{(k)}$ を決める適応係数で、

$$\alpha_1(k) = \cos \omega_0^{(k)} \quad (3)$$

なる関係があり、 α_0 (但し $-1 < \alpha_0 < 1$) はフィルタの帯域幅を制御する定数である。ALE においては、帯域通過フィルタの中心角周波数 $\omega_0^{(k)}$ が入力正弦波の角周波数 ω と一致するように適応係数 $\alpha_1(k)$ の値を制御する。

また、周波数推定フィルタとしてノッチ周波数可変 2 次 FIR 帯域消去フィルタ

$$H_N(z) = 1 - 2\alpha_1(k)z^{-1} + z^{-2} \quad (4)$$

を用いるとすると、適応係数 $\alpha_1(k)$ の確率こう配法による更新アルゴリズムは

$$\alpha_1(k+1) = \alpha_1(k) - \frac{\mu}{2} \hat{\nabla}_k \quad (5)$$

$$\hat{\nabla}_k = \frac{\partial}{\partial \alpha_1} e^2(k) = 2e(k)\psi(k) \quad (6)$$

$$\psi(k) = \frac{\partial}{\partial \alpha_1} e(k) \quad (7)$$

により与えられる。ここで μ は適応係数 $\alpha_1(k)$ を安定に収束させるためのステップサイズ (定数) であり、 $e(k)$ は $H_N(z)$ の出力時系列を表している。また、 $\psi(k)$ と $x(k)$ およびの $e(k)$ の z 変換をそれぞれ $\Psi(z)$, $X(z)$, $E(z)$ とおくと

$$\begin{aligned} \Psi(z) &= \frac{\partial}{\partial \alpha_1} E(z) \\ &= \frac{\partial}{\partial \alpha_1} H_N(z) X(z) \\ &= -2z^{-1} X(z) \end{aligned} \quad (8)$$

となる。以上から FIR フィルタによる周波数推定部の構成は図 2 のようになり、適応ノッチフィルタ $H_N(z)$ は図 3 のように構成される。

この構成においてノッチフィルタ $H_N(z)$ は帯域通過フィルタ $H_B(z)$ の中心角周波数と同一のノッチ角周波数を有する、すなわちノッチ角周波数を $\omega_N^{(k)}$ とすれば

$$\alpha_1(k) = \cos \omega_N^{(k)} = \cos \omega_0^{(k)} \quad (9)$$

である。従って、未知正弦波の角周波数が帯域通過フィルタの中心角周波数と一致したときにはノッチフィルタの出力 $e(k)$ は、 $n(k) = 0$ ならば、0 になる。このことから、 $e(k)$ を誤差信号とみなしてその 2 乗の期待値 $E[e^2(k)]$ を零にするように $\alpha_1(k)$ を更新すれば、ALE の出力として正弦波が抽出されることになる。このために用いられる更新法が上記の確率こう配法であり、誤差信号の期待値ではなく瞬時値 $e^2(k)$ を用いてこう配法を実現したものである。

次に、表 1 に文献 [3], [5] と本構成法の ALE の 1 サンプル周期当りの加算器および乗算器数を示す。但し、正負ともに 2 のべき乗で表される係数の乗算はシフト演算で実現できるので含まず、文献 [5] の周波数推定部の α_0 の値は 0 とするので、それにかかる加算および乗算についても含まない。また、 K につ

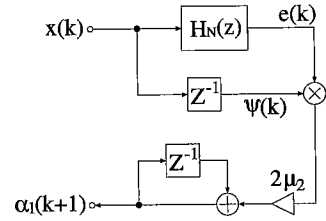


図 2 周波数推定部の構成
Fig. 2 Structure of estimator.

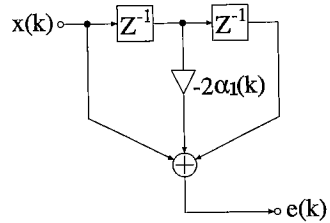


図 3 FIR 適応ノッチフィルタ $H_N(z)$
Fig. 3 FIR adaptive notch filter $H_N(z)$.

表 1 加算器および乗算器数の比較
Table 1 Comparison of the number of adders and multipliers.

	加算器数	乗算器数	合計
文献 [3]	13	7	20
文献 [5]	16	7	23
本構成法	10	5	15

いても値を 1 として設計することが多いので含まないこととした。この表より、文献 [5] はもとより、それまで最もシンプルであった文献 [3] よりも全体で 25% 演算量が削減されていることがわかる。

3. 計算機シミュレーション

図 4 は分割形 ALE の周波数推定部を FIR フィルタで構成した場合の適応係数 $\alpha_1(k)$ の収束特性を示したものである。入力信号は振幅を $A = 1$ 、初期位相を $\theta = 0$ 、角周波数を (a) は $\omega = \pi/3$ で (b) は $\omega = \pi/10$ とする単一正弦波と、平均値 0 で分散 σ_n^2 の白色ガウス雑音 $n(k)$ の和で、入力の SNR は 0 dB, 10 dB および正弦波成分のみとし、ステップサイズ μ の値は 0.001 とした。また、図 5 は分割形 ALE の周波数推定部が本構成法の場合と文献 [5] の場合の適応係数 $\alpha_1(k)$ の収束特性を比較したものである。入力条件は図 4 のシミュレーションと同じにし、角周波数は $\omega = \pi/3$ で入力の SNR は 10 dB とした。文献 [5] の周波数推定部の α_0 は 0 である。これらより、同じ条件ならば定常状態になるのは本構成法の方が速いが、定常偏

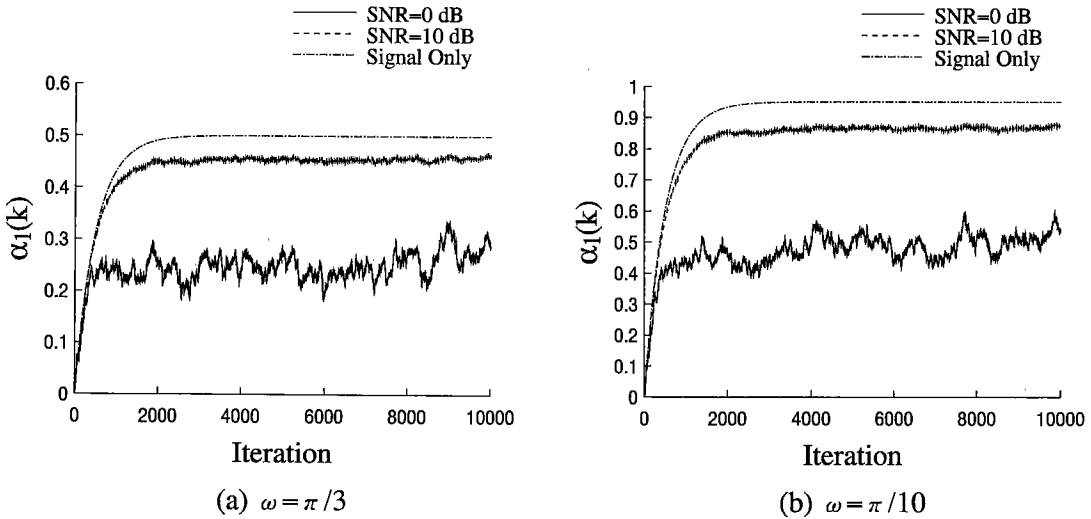


図4 $\alpha_1(k)$ の収束特性
Fig.4 Convergence characteristics of $\alpha_1(k)$.

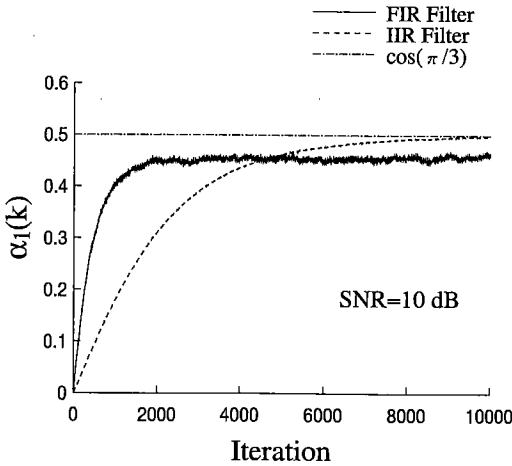


図5 $\alpha_1(k)$ の収束特性の比較
Fig.5 Comparison of Convergence characteristics of $\alpha_1(k)$.

差、係数振動ともに入力 SNR が低いほど増大しているのがわかる。

4. むすび

本論文では、白色雑音中の正弦波を検出するために文献[4],[5]の分割形 ALE を取り上げ、その周波数推定部を FIR フィルタで構成することを検討した。その結果、演算量についてはかなり削減され、その有効性が確認されたが、適応係数の収束特性については速度は速いものの、定常偏差がかなり増大し、それは入

力角周波数には依存せず、入力 SNR に依存していることが確認された。従って、これを用いる場合は、文献[6]に提案されているような縦続接続による分割形 ALE の入力 SNR が高くなる 2 段目に構成するのがよいと考えられる。今後の課題としては、低 SNR の場合に、定常偏差を少なくする構成法の検討が挙げられる。

謝辞 数々の貴重な御意見や御助言を頂いた芝浦工業大学の柳澤・渡部研究室の諸氏に深く感謝する。

文 献

- [1] B. Widrow, J.R. Glover, Jr., J.M. McCool, J. Kaunitz, C.S. Williams, R.H. Hearn, J.R. Zeidler, E. Dong, Jr., and R.C. Goodlin, "Adaptive noise cancelling: Principles and applications," Proc. IEEE, vol.63, no.12, pp.1692-1716, Dec. 1975.
- [2] T. Kwan and K. Martin, "Adaptive detection and enhancement of multiple sinusoids using a cascade IIR filter," IEEE Trans. Circ. & Syst., vol.CAS-36, no.7, pp.937-947, July 1989.
- [3] 西村正太郎, 森 昌吾, 金 定局, 平野浩太郎, "並列ブロック構造に基づく適応形高速ノイズキャンセラ," 信学論 (A), vol.J72-A, no.5, pp.786-794, May 1989.
- [4] 渡部英二, 岡村幸雄, 西原明法, "分割形適応ラインエンハンサ," 信学論 (A), vol.J79-A, no.1, pp.1-10, Jan. 1996.
- [5] 真正英児, 渡部英二, 西原明法, 柳澤 健, "高速分割形アダプティブラインエンハンサの一構成法," 信学論 (A), vol.J79-A, no.10, pp.1762-1765, Oct. 1996.
- [6] 七呂道輝, 渡部英二, 西原明法, "縦続形適応ラインエンハンサの一構成法," 信学技報, CAS94-38, 1994.

(平成 9 年 9 月 5 日受付, 10 年 3 月 30 日再受付)