

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	高速高安定簡略型適応ラインエンハンサにおける周波数追跡性の改善
Title(English)	Improvement of Tracking Characteristics in Simplified Fast Stabilized Adaptive Line Enhancers
著者(和文)	野村琢磨, 渡部英二, 柳澤 健, 西原明法
Authors(English)	Takuma Nomura, Eiji Watanabe, Takeshi Yanagisawa, AKINORI NISHIHARA
出典(和文)	電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J81-A, No. 9, pp. 1302-1304
Citation(English)	, Vol. J81-A, No. 9, pp. 1302-1304
発行日 / Pub. date	1998, 9
URL	<a href="http://search.ieice.org/">http://search.ieice.org/</a>
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

高速高安定簡略型適応ラインエンハンサにおける周波数追跡性の改善

野村 琢磨<sup>†\*</sup> (学生員)                      渡部 英二<sup>†</sup> (正員)  
 柳澤 健<sup>†</sup> (正員)                              西原 明法<sup>††</sup> (正員)

Improvement of Tracking Characteristics in Simplified Fast Stabilized Adaptive Line Enhancers

Takuma NOMURA<sup>†\*</sup>, Student Member, Eiji WATANABE<sup>†</sup>, Takeshi YANAGISAWA<sup>†</sup>, and Akinori NISHIHARA<sup>††</sup>, Members

<sup>†</sup> 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

<sup>††</sup> 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, 千葉大学大学院

あらまし 適応ラインエンハンサの構成法の一つに、高速高安定簡略型構成法がある。この構成法の特徴は、フィルタ係数の更新に関して収束が速く、定常状態において安定であるということである。しかし、入力周波数の変化を追跡するには極端に長い時間を必要とし、追跡が困難になるという問題がある。本論文では、高速高安定簡略型構成法における入力周波数の変化に対する追跡性の改善を、フィルタの通過域幅に着目して行っている。

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

1. まえがき

適応ラインエンハンサ (ALE) とは雑音に埋もれた周波数未知の正弦波を検出し、雑音を除去するシステムである。その構成法の1つに高速高安定簡略型構成法 (SFS ALE) がある [1]。これは中心周波数可変帯域通過フィルタを用いる方法であり、確率こう配法によりアルゴリズムを構成する。フィルタには2次 IIR 型適応帯域通過フィルタを用いる。この構成法は、従来固定であったフィルタの帯域幅を中心周波数と共に連続可変させ、フィルタ係数の更新を高速に、また安定に行うように工夫したものである。また、フィルタ係数補正のステップサイズをフィルタの帯域幅と連動させて連続可変させる方法も提案されている。

この構成法は中心周波数の収束に重点が置かれたアルゴリズムであるので、係数の更新は高速で安定である。しかし正弦波の周波数が変化した場合にはその追跡に極端に長い時間を必要とし、実際には追跡不可能といっても過言ではない。これは正弦波成分がフィルタの除去域に入り、出力に現れてこないため、フィル

タ係数更新アルゴリズムがうまく働かなくなっているからである。このためフィルタの帯域幅の更新法を改良する必要がある。

本論文では高速高安定簡略型適応アルゴリズムの帯域幅の更新に関する改良を行う。ここで注目するのは、正弦波成分がフィルタの阻止域に入ったときに出力信号が減衰するということである。出力信号が減衰したときに帯域幅を広げて、信号成分を減衰させないようにする。このことにより帯域幅の過剰な狭帯域化を抑え、正弦波周波数の変化を追跡できるようにする。そしてシミュレーションによってフィルタ係数の変化を観察し、正弦波の追跡がなされていることを確認する。

2. 高速高安定簡略型構成法

ALE に入力される信号  $x(k)$  は未知の単一正弦波  $f(k)$  と白色雑音  $n(k)$  の和とする。 $f(k)$  は振幅  $A$  で角周波数  $\omega$  の正弦波、 $n(k)$  は平均値 0、分散  $\sigma^2$  の白色雑音である。適応フィルタの出力を  $y(k)$ 、入出力間の誤差を  $e(k)$  とする。

高速高安定簡略型構成法には、その特性を変えるための係数として、中心周波数を決める係数  $\alpha_1(k)$  と通過帯域幅を決める係数  $\alpha_0(k)$  の二つがある。 $\alpha_1(k)$  を入力正弦波に従って更新していくことによって正弦波を追跡し、 $\alpha_0(k)$  を 1 に近づけることによって帯域幅が狭くなり、正弦波だけを取り出すことができる。更に、 $\alpha_1(k)$  を速く収束させるためには帯域幅を広く、収束後安定させるには帯域幅を狭くするとよい。実際の更新アルゴリズムは、

$$\alpha_0(k+1) = \alpha_0(k) + \mu_{10}\psi_1(k)\psi_{10}(k) \tag{1}$$

$$\psi_1(k) = \frac{\partial y(k)}{\partial \alpha_1} \tag{2}$$

$$\psi_{10}(k) = \frac{\partial \psi_1(k)}{\partial \alpha_0(k)} \tag{3}$$

である。図 1 はアルゴリズムを実現する回路である。

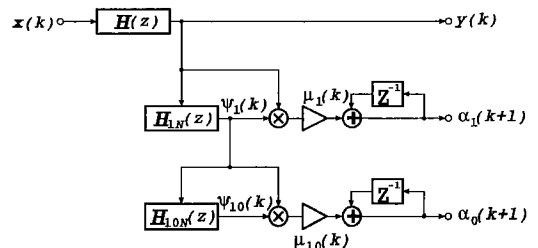


図 1 高速高安定簡略型構成による ALE  
 Fig.1 Structure of Simplified Fast Stabilized ALE.

$$H(z) = \frac{1 - \alpha_0(k)}{2} \frac{1 - z^{-2}}{1 - \alpha_1(k)\{1 + \alpha_0(k)\}z^{-1} + \alpha_0(k)z^{-2}} \quad (4)$$

は係数可変帯域通過フィルタであり、正弦波を取り出している部分である。\$H\_{1N}(z)\$ は \$y(k)\$ の \$\alpha\_1(k)\$ に対するこう配を計算する回路で、\$y(k)\$ を入力することによって \$\psi\_1(k)\$ を得る。\$H\_{10N}(z)\$ は \$\psi\_1(k)\$ の \$\alpha\_0(k)\$ に対するこう配を計算する回路で、\$\psi\_1(k)\$ を入力することによって \$\psi\_{10}(k)\$ を得る。それぞれ得られた変数を式 (1), (2), (3) のアルゴリズムに従って計算する。ステップサイズ \$\mu\_{10}(k)\$ も、\$\alpha\_0(k)\$ が安定であるように次のように決定される。

$$\mu_{10}(k) = \mu_{10 \min} + \frac{\mu_{10 \max} - \mu_{10 \min}}{\alpha_{0 \max} - \alpha_{0 \min}} (\alpha_{0 \max} - \alpha_0(k)) \quad (5)$$

### 3. 信号周波数の変化への対応

高速高安定簡略型構成法における \$\alpha\_0(k)\$ の更新アルゴリズムは、\$\alpha\_1(k)\$ を高速にかつ安定に収束させるために、\$\alpha\_0(k)\$ を \$\alpha\_{0 \max}\$ に収束させるものである。つまり \$\alpha\_1(k)\$ の収束に合わせて、フィルタを狭帯域にしていくというものである。しかしこれは信号成分の減衰や周波数の変化に対する追跡機能を無視している点が問題である。そのためフィルタ利得は時間につれて小さくなり、信号周波数が変化したときにも帯域幅が狭いままで、目的の信号を追跡することができなかった。

これらの問題はすべて、帯域幅が狭くなりすぎることによって起こっている。そこで \$\alpha\_0(k)\$ を減少させる要素をアルゴリズムに加え、帯域幅が狭くなりすぎるのを抑えることを考える。これは信号成分が減衰したときに \$\alpha\_0(k)\$ を減少させるものである。つまり信号成分が除去されてしまったときには、帯域幅を広げて信号成分を見逃さないようにするのである。これにより利得の減少を抑え、周波数変化を追跡できるようにする。

信号成分の減衰の検知には誤差出力 \$e(k) = x(k) - y(k)\$ を用いる。信号成分が減衰すれば \$e(k)\$ が増加することを利用して、\$\alpha\_0(k)\$ の更新アルゴリズムに、\$e(k)^2\$ の増減に比例した減少要素を加える。改良した \$\alpha\_0(k)\$ の更新アルゴリズムは確率こう配法により、

$$\alpha_0(k+1) = \alpha_0(k) + \mu_{10}\psi_1(k)\psi_{10}(k) - \mu_0 e(k)\psi_0(k) \quad (6)$$

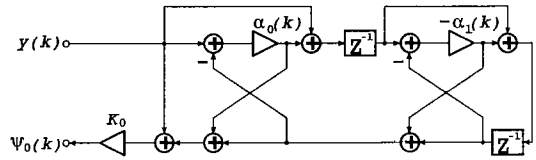


図2 ラティス構造によるこう配計算フィルタ \$H\_{0N}\$  
Fig.2 Lattice structure of gradient calculation filter \$H\_{0N}\$.

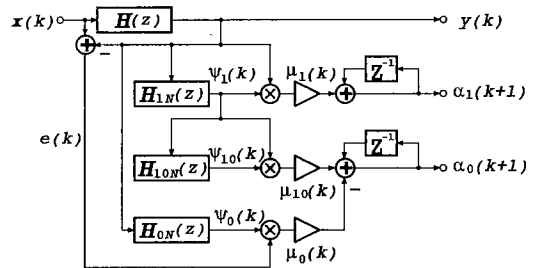


図3 改良された ALE の全体図  
Fig.3 Structure of improved Simplified Fast Stabilized ALE.

$$\psi_0(k) = \frac{\partial e(k)}{\partial \alpha_0(k)} \quad (7)$$

となる。\$y(k)\$ から \$\psi\_0(k)\$ までの伝達関数を \$H\_0(z)\$ とすると、

$$H_0(z) = \frac{1 - 2\alpha_1(k)z^{-1} + z^{-2}}{(1 - \alpha_0(k))(1 - \alpha_1(k)(1 + \alpha_0(k))z^{-1} + \alpha_0(k)z^{-2})} \quad (8)$$

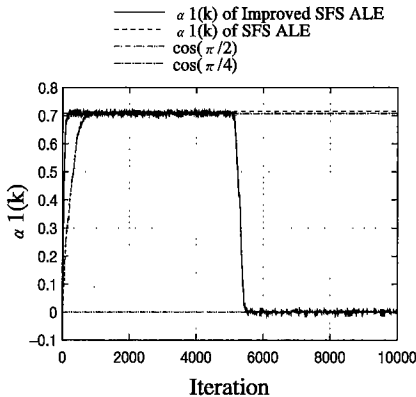
である。ここで \$H\_0(z)\$ の回路から除算器の使用を避けるために \$K\_0(1 - \alpha\_0(k)^2)\$ を乗じ、\$H\_{0N}(z)\$ としておく。この \$H\_{0N}(z)\$ に \$y(k)\$ を入力し、\$\psi\_0(k)\$ を得る。\$H\_{0N}(z)\$ の回路を図 2 に、改良した ALE の全体構成図を図 3 に示す。

この減少要素は \$\alpha\_0(k)\$ の収束とは逆の方向に \$\alpha\_0(k)\$ を動かすものなので、そのステップサイズ \$\mu\_0\$ も \$\alpha\_0(k)\$ が収束するほどに大きな値をとるようにする。その点を踏まえてステップサイズ \$\mu\_0\$ を次のように決定する。

$$\mu_0(k) = \mu_{0 \max} - \frac{\mu_{0 \max} - \mu_{0 \min}}{\alpha_{0 \max} - \alpha_{0 \min}} (\alpha_{0 \max} - \alpha_0(k)) \quad (9)$$

### 4. シミュレーション

改良された ALE に雑音が付加された正弦波 \$x(k)\$ を入力し、フィルタ係数 \$\alpha\_1(k)\$, \$\alpha\_0(k)\$ の変化を観察す



SFS : Simplified Fast Stabilized

図4  $\omega$  の変化に対する  $\alpha_1(k)$  の変化  
Fig.4  $\alpha_1(k)$  changing  $\omega$  quickly.

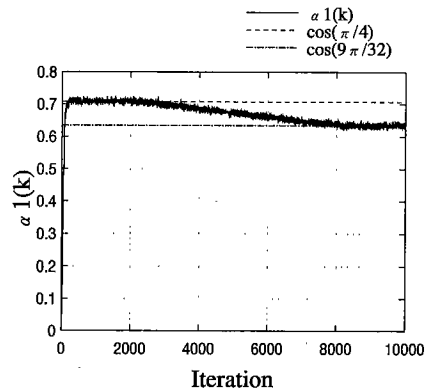


図6  $\omega$  の変化に対する  $\alpha_1(k)$  の変化  
Fig.6  $\alpha_1(k)$  changing  $\omega$  slowly.

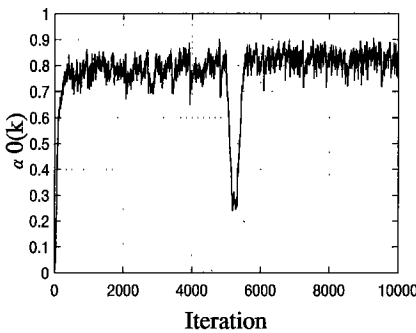


図5  $\omega$  の変化に対する  $\alpha_0(k)$  の変化  
Fig.5  $\alpha_0(k)$  changing  $\omega$  quickly.

る。正弦波の振幅を1とし、白色雑音はSN比が0dBとなるように分散0.5とする。ALEの正弦波周波数の変化に対する反応を見るため、図4、図5においては5000回を境に $\omega = \pi/4$ から $\omega = \pi/2$ へと急しゅんに周波数を変化させ、また図6においては2000回から8000回までの間に、 $\omega = \pi/4$ から $\omega = 9\pi/32$ へとゆっくりと連続的に周波数を増加させた。以下にシミュレーションに用いた各定数を示す。添字のmax、minはそれぞれの上限值、下限値を意味している。

- $\mu_{1 \max} = 0.04$
- $\mu_{1 \min} = 0.001$
- $\mu_{10 \max} = 0.05$
- $\mu_{10 \min} = 0.0001$
- $\mu_{0 \max} = 0.043$
- $\mu_{0 \min} = 0.0001$
- $\alpha_{0 \max} = 0.85$
- $\alpha_{0 \min} = 0$
- $H_{0N}(z)$  内部の定数
- $K_0 = 0.5$

図4、図6から文献[1]の方法では周波数の変化に対応できないが、本方法では周波数の変化をよく追跡

するようになったことがわかる。 $\alpha_1(k)$ の振動も、高速高安定型構成の特性を継承して小さくなっている。本例では、 $\alpha_1(k)$ の収束が速くなるように $\alpha_0(k)$ の更新が行われるため、収束速度も上げることができた。また図5から周波数の変化時に $\alpha_0(k)$ が一時的に減少して帯域幅が広がっていることがわかる。

### 5. むすび

本研究では、高速高安定簡略型構成によるALEについて、その問題点であった利得の減少や正弦波周波数の変化に対する反応の鈍さを解消するため、帯域幅の更新アルゴリズムに $\alpha_0(k)$ を減少させる要素を加えることを提案した。その結果、周波数の変化に対して適切に対応できるアルゴリズムができた。

この回路の問題点としては、回路が複雑になってしまったことが挙げられる。簡素化するには、構成法の変更やアルゴリズムの効率化、新しいアルゴリズムの導入等が考えられる。またSN比が更に小さくなった場合、アルゴリズムの収束が遅くなるため、更新係数 $\mu_1$ 等の計算方法を工夫する必要がある。

謝辞 日ごろから数々の貴重な御意見を頂き、熱心に御討論頂いた東京工業大学の松浦弘治氏ならびに芝浦工業大学柳沢・渡部研究室の諸氏に感謝する。

### 文 献

[1] 李 尚, 高橋宣明, 武部 幹, “単一正弦波検出用高速高安定簡略化IIR適応フィルタ,” 信学論 (A), vol.J77-A, no.3, pp.585-589, March 1994.  
[2] 渡部英二, 西原明法, “ラティス構造に基づく低感度2次デジタルフィルタ,” 信学論 (A), vol.J68-A, no.9, pp.896-902, Sept. 1985.

(平成9年9月5日受付, 10年3月23日再受付)