

# 可変忘却係数を用いた ERLS-DCD 適応フィルタの追従特性改善法

Improvement of tracking performance of ERLS-DCD adaptive algorithm using variable forgetting factor

長谷川 絢也  
Junya HASEGAWA

西川 清史  
Kiyoshi NISHIKAWA

首都大学東京大学院システムデザイン研究科情報通信システム工学専修  
Department of Information and Communications Systems Engineering, Tokyo Metropolitan University

## 1 まえがき

RLS 適応フィルタは、収束速度は高速であるが、演算量が多く数値安定性が低いという欠点がある。これらの欠点を改善するアルゴリズムとして ERLS-DCD(Exponentially weighted RLS - Dichotomous Coordinate Descent) が提案されているが、非定常環境では収束速度が劣化する [1]。これに対して我々は、未知系のスパース性に着目し、フィルタ係数に区間重み付けを行う手法を提案している [2]。本稿では、忘却係数を変動させることで非定常環境下での追従特性を改善する手法を提案する。

## 2 ERLS-DCD アルゴリズム [1]

RLS アルゴリズムは、フィルタ係数の更新に  $O(M^2)$  ( $M$  はフィルタタップ数) の演算量が必要となる。これに対して、ERLS-DCD アルゴリズムは  $O(M)$  の演算量での係数更新を可能とする。ERLS-DCD アルゴリズムでは正規方程式

$$\mathbf{R}(n)\mathbf{h}(n) = \beta(n) \quad (1)$$

を直接解くかわりに、 $\mathbf{h}$  の近似解  $\hat{\mathbf{h}}$ ,  $\Delta\mathbf{h}(n) = \mathbf{h}(n) - \hat{\mathbf{h}}(n-1)$  を用いて

$$\mathbf{R}(n)\Delta\mathbf{h}(n) = \beta_0(n) \quad (2)$$

$$\mathbf{R}(n) = \lambda\mathbf{R}(n-1) + \mathbf{x}(n)\mathbf{x}^T(n) \quad (3)$$

$$\beta_0(n) = \lambda\mathbf{r}(n-1) + e(n)\mathbf{x}(n) \quad (4)$$

$$\mathbf{r}(n-1) = \beta(n-1) - \mathbf{R}(n-1)\hat{\mathbf{h}}(n-1) \quad (5)$$

$$\hat{\mathbf{h}}(n) = \hat{\mathbf{h}}(n-1) + \Delta\hat{\mathbf{h}}(n) \quad (6)$$

により更新を行う。ここで  $\mathbf{R}$  は正定値の対称行列、 $\mathbf{h}$  は未知系のインパルス応答、 $\mathbf{x}$  はフィルタ入力ベクトル、 $e$  は誤差信号、 $\lambda$  は忘却係数である。忘却係数は  $0 < \lambda \leq 1$  の値をとり、過去のデータへの重み付けを行い、時変系への追従を可能とする。また  $\mathbf{R}$  の対称性を利用することで演算量を削減し、式 (2) の解法に乗算を必要としない DCD アルゴリズムが用いられる。しかし、ERLS-DCD アルゴリズムは非定常環境での追従特性が RLS よりも劣化することが報告されている [1]。

## 3 提案法

提案法では、未知系がスパースな系であると想定する。未知系の変化に応じて忘却係数を変動させることで、追従特性の改善を検討する。忘却係数の値を減少させることで、定常環境での収束速度と安定性は劣化するが、非定常環境での追従特性は改善される。提案法では忘却係数を可変とし、未知系の変化を認識し一時的に忘却係数の値を減少させることで追従特性の改善を検討する。そのために未知系の変化検出が必要となる。

提案法では、未知系の変化とフィルタ係数  $\hat{\mathbf{h}}$  のスパース性の関係に着目する。 $\hat{\mathbf{h}}$  のスパース性を評価する指標 [3]

$$\xi(\hat{\mathbf{h}}) = \frac{M}{M - \sqrt{M}} \left( 1 - \frac{\|\hat{\mathbf{h}}\|_1}{\sqrt{M}\|\hat{\mathbf{h}}\|_2} \right) \quad (7)$$

を使用し、未知系の変化を評価することを提案する。 $\xi(\hat{\mathbf{h}})$  は  $0 < \xi(\hat{\mathbf{h}}) \leq 1$  の値をとる。未知系がスパースな系であれば、推定が進むと  $\xi(\hat{\mathbf{h}})$  の値は増加する。一方、未知系が変化すると推定誤差が増加し、 $\xi(\hat{\mathbf{h}})$  の値は減少する。このため  $\xi(\hat{\mathbf{h}})$  を調べることで、未知系の変化を検出することが可能となる。提案法ではこのことを利用し、忘却係数  $\lambda$  の値を  $\xi(\hat{\mathbf{h}})$  の値により、以下の式で更新することを提案する。

$$\lambda(n) = \mu + \frac{\xi(\hat{\mathbf{h}}(n))}{\rho} \quad (8)$$

ここで  $\mu, \rho$  は提案法におけるパラメータで、 $\xi(\hat{\mathbf{h}}(n)) = 1$  のとき  $\lambda(n) = 1$  となるように、かつアルゴリズムの収束を保証するように設定する必要がある。

## 4 シミュレーション

システム同定のシミュレーションにより、提案法の効果を示す。未知系として 1000 タップ (非ゼロ部分は 100 タップ程度) の FIR フィルタを用い、適応フィルタのタップ数も同様とした。また、 $\mu = 0.99, \rho = 100$ 、未知系変化点は 6000、入力はサンプリング周波数  $8\text{kHz}$  の音声信号、付加雑音として白色ガウス雑音を使用した。NLMS、RLS1 ( $\lambda = 0.999$ )、RLS2 ( $\lambda = 0.995$ )、ERLS-DCD1 ( $\lambda = 0.999$ )、ERLS-DCD2 ( $\lambda = 0.995$ ) を従来法として比較する。図 1 より、忘却係数を変動させることでシステム変化後の追従特性が改善されていることが分かる。

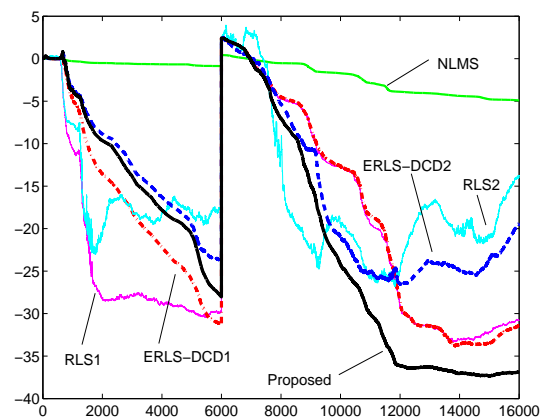


図 1 シミュレーション結果

## 参考文献

- [1] Zakharov et al, IEEE Trans. Signal Process., VOL. 56, NO.7, July 2008.
- [2] 長谷川絢也, 西川清史, A-4-17 “スパースな系に対する ERLS-DCD 適応フィルタの追従特性改善法” IEICE 総合大会, Mar. 2009.
- [3] Y.Huang, J.Benesty, and J.Chen “Acoustic MIMO Signal Processing (Signal and Communication Technology).” Secaucus, NJ, USA:Springer-Verlag New York, Inc., 2006.