

◎ 牧野 昭二

(NTT ヒューマンインタフェース研究所)

1. まえがき

筆者らは、同一室内の2つのインパルス応答の差(インパルス応答の変動量)がインパルス応答と同じ減衰率で指数減衰することに着目し、従来の学習同定法の収束速度を倍増した適応アルゴリズムを既に提案した<sup>1), 2), 3)</sup>。ここでは、本手法の定常エコー消去量の定式化およびDSPで構成した実験装置を用いた実時間評価結果について述べる。

2. 適応アルゴリズムと定常エコー消去量

雑音(例えば周囲騒音)がある場合の音響エコーキャンセラの構成を図1に示す。本手法による適応フィルタ  $\hat{\mathbf{h}}(k)$  の逐次修正式は

$$\hat{\mathbf{h}}(k+1) = \hat{\mathbf{h}}(k) + \alpha \frac{\mathbf{X}(k)}{\|\mathbf{X}(k)\|^2} (e(k) + n(k)) \quad (1)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \mathbf{X}(k) &= (x(k), x(k-1), \dots, x(k-L+1))^T & \hat{\mathbf{y}}(k) &= \hat{\mathbf{h}}(k)^T \mathbf{X}(k) & k &: \text{離散化時刻} \\ \hat{\mathbf{h}}(k) &= (\hat{h}_1(k), \hat{h}_2(k), \dots, \hat{h}_L(k))^T & y(k) &= \mathbf{h}^T \mathbf{X}(k) & L &: \text{タップ数} \\ \mathbf{h} &= (h_1, h_2, \dots, h_L)^T & n(k) &: \text{雑音} & \text{ } &: \text{ベクトルの転置} \\ \|\mathbf{X}(k)\| &: \mathbf{X}(k) \text{ のノルム} & T_s &: \text{サンプリング周期} & T_R &: \text{残響時間} \\ \alpha &= \text{diag}[\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_L] : \text{ステップゲイン行列} \\ \alpha_i &= (\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) \exp(-6.9(i-1)T_s/T_R) + \alpha_{\min} \quad (i = 1, 2, \dots, L) \end{aligned}$$

と表わされる。ここでは、定常エラー  $e(k)$  の2乗期待値を評価量として定式化する。(1)式の両辺を真のインパルス応答  $\mathbf{h}$  から引き

$$\mathbf{V}(k) = \mathbf{h} - \hat{\mathbf{h}}(k) \quad (2)$$

とおく。  $x(k)$  の白色性と  $x(k)$  と  $n(k)$  の無相関を仮定し、両辺のノルムの2乗の  $x(k)$  および  $n(k)$  に関する期待値をとる。ここで、入力信号  $x(k)$  および雑音  $n(k)$  の2乗期待値をそれぞれ  $p_x, p_n$ 、インパルス応答の変動を表わすベクトル  $\mathbf{V}(k)$  の第  $i$  番目の要素  $v_i(k)$  の2乗期待値を  $b_i(k)^2$  と表す。その結果、第  $i$  番目の要素に関して

$$b_i(k+1)^2 = b_i(k)^2 - 2 \frac{\alpha_i}{L} b_i(k)^2 + \frac{\alpha_i^2}{L^2} \left\{ \sum_{l=1}^L b_l(k)^2 \right\} + \frac{\alpha_i^2}{L^2} \frac{p_n}{p_x} \quad (3)$$

となる。定常状態に達したとき

$$b_i(k+1)^2 = b_i(k)^2 = b_i^2 \quad (4)$$

が成り立つものとすれば(3)式は

$$b_i^2 = \frac{\alpha_i}{2L} \left\{ \sum_{l=1}^L b_l^2 \right\} + \frac{\alpha_i}{2L} \frac{p_n}{p_x} \quad (5)$$

となる。従って、定常エラー  $e(k)$  の2乗期待値  $p_e$  は

$$p_e = \sum_{i=1}^L b_i^2 \quad p_x = \frac{\alpha}{2 - \alpha} p_n \quad (6)$$

ただし、

$$\alpha = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \alpha_i \quad (7)$$

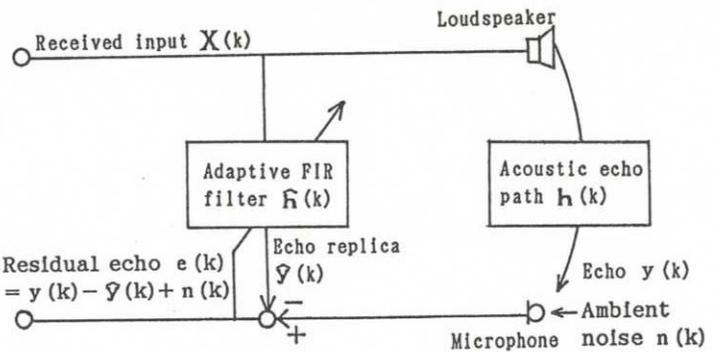


Fig.1 Configuration of an acoustic echo canceller.

$\alpha_i$ : ステップゲイン行列  $\alpha$  の対角要素

\*Exponential Step (ES) Algorithm for an Echo Canceller.

by Shoji Makino (NTT Human Interface Laboratories)

となる。両辺を  $p_y = E[y(k)^2]$  で割って対数をとれば

$$ERLE_{\infty} = SN + 10 \log_{10} \left( \frac{2}{\bar{\alpha}} - 1 \right) \text{ (dB)} \quad (8)$$

ただし、

$$ERLE_{\infty} = 10 \log_{10} \frac{p_y}{p_e} \quad SN = 10 \log_{10} \frac{p_y}{p_n}$$

と表わせる。(8)式は従来の学習同定法の定常エコー消去量の式において、ステップゲイン  $\alpha$  を  $\bar{\alpha}$  に置き換えたものとなっている。(1)式の  $\alpha_{max}$ 、 $\alpha_{min}$  を変化させたときの定常エコー消去量の計算機シミュレーション結果を図2に示す。シミュレーション結果は(8)式とよく一致している。

### 3. 実時間評価実験

本手法を実時間動作のために簡略化し1番目のDSPチップで  $\alpha_i = 2.5 (i=1 \sim 256)$ 、2番目のDSPチップで  $\alpha_i = 1.5 (i=257 \sim 512)$ 、3番目以降のDSPチップで  $\alpha_i = 0.3 (i=513 \sim \text{last})$  として会議室内(残響時間(500 Hz) 300 ms)で収束特性の実時間評価実験を行なった。実験に使用した音響エコーキャンセラは、7 kHz帯域を2分割し、0~4 kHzを3840タップ(エコー消去時間 480 ms)、4~7 kHzを1792タップ(エコー消去時間 224 ms)とした<sup>4)</sup>。本手法および従来の学習同定法において  $\alpha = 1.0$  とした場合の収束特性の実験結果を残留エコーレベル (=  $e(k)$  の電力のレベル) を用いて図3(a)(b)に示す。入力信号として白色雑音を用いた場合(図3(a))には10dB~20dBの収束速度が従来の学習同定法の約3倍になることがわかる。また、実音声を用いた場合(図3(b))には10dB~20dBの収束速度が約2倍になることがわかる。

### 4. あとがき

指数重み付けによるエコーキャンセラ用適応アルゴリズムについて、定常エコー消去量を定式化した。また、DSPで構成した実験装置を用いた実時間評価実験を行い、従来の学習同定法においてステップゲイン  $\alpha = 1$  とした場合に比べて、同等の定常エコー消去量に達する収束速度を約2倍にできることを明かにした。謝辞 貴重な御助言を頂いた当所金田主幹研究員に感謝いたします。

### 文献

- (1)牧野, 小泉, 音講論, p. 355, (1988, 3). (2)牧野, 小泉, 信学論(A), J71-A, 12, pp. 2212-2214(1988).  
 (3)牧野, 小泉, 信学技報, EA89-3(1989-4). (4)及川, 小泉, 牧野, 通研実報 37, pp. 191-197(1988).

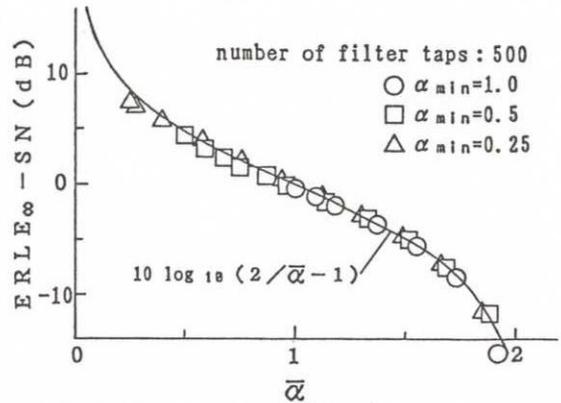
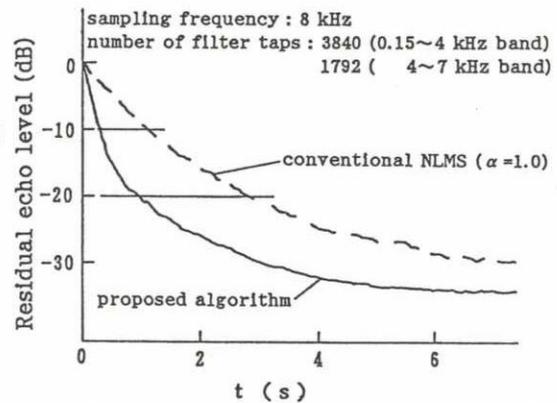


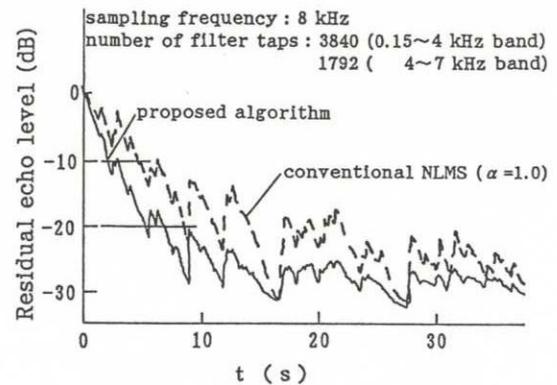
Fig.2 Steady-state Echo Return Loss Enhancement :  $ERLE_{\infty}$

SN : signal to noise ratio at microphone input

$\bar{\alpha}$  : mean value of step gain matrix  $\alpha$ 's diagonal component  $\alpha$  :



(a) Input signal : white noise



(b) Input signal : speech (male)

Fig.3 Real time experimental results on convergence performance using a canceller constructed with DSP chips. Proposed algorithm (—) and conventional NLMS with maximum speed ( $\alpha = 1$ ) (---). Room reverberation time at 500 Hz is 300 ms.