

◎ 牧野 昭二 小泉 宣夫

(NTT ヒューマンインタフェース研究所)

1. まえがき

近年、通信会議用拡声装置においてハウリングやエコーを防止し自然な通話を実現するために、音響エコーキャンセラがさかんに検討されている。音響エコーキャンセラは一般に音場特性の変動に非常に敏感であり、音場変動によりその消去量は大きく低下する⁽¹⁾。音響エコーキャンセラが適用される音場の特性は人の移動などにより大きく変動するため、音場の変動特性に合致した適応アルゴリズムの開発が現在重要な課題となっている。そこで、筆者らは室内音場のインパルス応答の変動について検討し、従来の学習同定法による適応アルゴリズムに新たなパラメータを導入することによって適応特性の改善を試みた。ここでは、本手法の特徴と適応特性の改善効果について述べる。

2. インパルス応答の変動と適応アルゴリズム

会議室にスピーカとマイクロホンを設置し、その距離を変えて測定した2つのインパルス応答 IR_1 , IR_2 とこれらの差 ($IR_2 - IR_1$) およびこれらの結果からシュレダ法によって算出したエネルギー減衰波形を図1に示す。図1から音場のインパルス応答は指数減衰し、その差もまた同じ減衰率で指数減衰することが分かる。以上から、音場のインパルス応答 $h(k)$ の変動を次のように表す。

$$h(k+1) = h(k) + A \xi(k) \tag{1}$$

ただし、

$$h(k) = (h_1(k), h_2(k), \dots, h_N(k))^T$$

$$A = \begin{pmatrix} a_1 & & 0 \\ & a_2 & \\ & & \ddots \\ 0 & & & a_N \end{pmatrix}$$

$$a_i = \exp(-6.9(i-1)T_s/T_R) \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

k : 離散化時刻 T_s : サンプル周期

N : タップ数 T_R : 残響時間

T : ベクトルの転置

$$\xi(k) = (\xi_1(k), \xi_2(k), \dots, \xi_N(k))^T$$

$\xi_1(k), \xi_2(k), \dots, \xi_N(k)$: 平均0、分散 σ^2 の

不規則変動量

さて、 k 時点までエコーキャンセラのタップ係数 \hat{h} が音場のインパルス応答 h に収束しており、 $k+1$ 時点で h が変動したとすると、学習同定法によるタップ係数の逐

次修正に用いる残差 $e(k+1)$ は、受話入力 $X(k+1)$ (対向する話者からの音声信号) を用いて

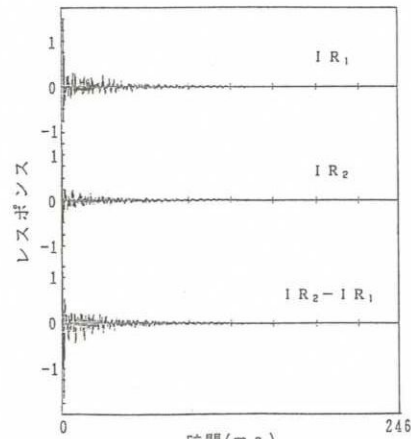
$$\begin{aligned} e(k+1) &= (h(k+1) - \hat{h}(k+1))^T X(k+1) \\ &\doteq (h(k+1) - h(k))^T X(k+1) \\ &= (A \xi(k))^T X(k+1) \\ &= a_1 \xi_1(k) x(k+1) + a_2 \xi_2(k) x(k) + \dots \\ &\quad + a_N \xi_N(k) x(k-N+2) \end{aligned} \tag{2}$$

ただし、

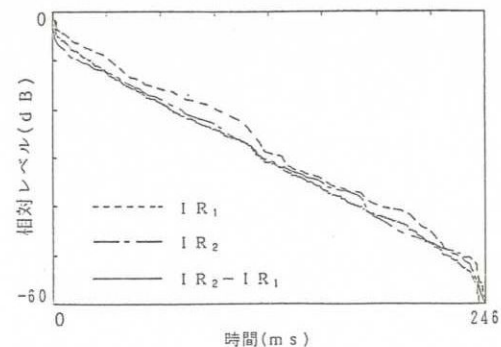
$$\hat{h}(k) = (\hat{h}_1(k), \hat{h}_2(k), \dots, \hat{h}_N(k))^T$$

$$X(k+1) = (x(k+1), x(k), \dots, x(k-N+2))$$

となる。(2)式の各項はそれぞれ音場のインパルス応答の標本値 $h_1(k), h_2(k), \dots, h_N(k)$ が変動することによって生じており、 $x(k-i+2)$ ($i=1, 2, \dots, N$) の大きさが同程度とすれば、残差 $e(k+1)$ に占める各項の割合は a_1, a_2, \dots



(a) インパルス応答波形



(b) エネルギー減衰波形 (シュレダ法)

図1 インパルス応答とエネルギー減衰波形

*Improvement on Adaptation of an Echo Canceller in a Room.

By Shoji MAKINO and Nobuo KOIZUMI (NTT Human Interface Laboratories)

∴ a_N の割合（指数減衰）に等しくなる。従来の学習同定法は(3)式で表され、

$$\hat{\mathbf{h}}(k+1) = \hat{\mathbf{h}}(k) + \frac{e(k)}{\|\mathbf{X}(k)\|^2} \alpha \mathbf{X}(k) \quad (3)$$

α : ステップゲイン (スカラー量, $0 < \alpha < 2$)

$\|\mathbf{X}\|$: \mathbf{X} のノルム

エコーキャンセラのタップ係数 $\hat{\mathbf{h}}(k)$ は残差 $e(k)$ と受話入力 $\mathbf{X}(k)$ の大きさに比例して修正されるが、上述した音場の変動特性は考慮されていない。

そこで、残差 $e(k)$ に対するインパルス応答の各標本値の貢献度（指数減衰）を反映させるために、従来の学習同定法ではスカラー量として与えられていたステップゲイン α を対角行列に拡張したステップゲイン行列 $\boldsymbol{\alpha}$

$$\boldsymbol{\alpha} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & & \mathbf{0} \\ & \alpha_2 & \\ & & \cdot \\ \mathbf{0} & & & \alpha_N \end{bmatrix} \quad (4)$$

ただし、

$$\alpha_i = (\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) \exp(-6.9(i-1) T_s / T_R) + \alpha_{\min} \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

を新たに導入し、従来のアルゴリズムを改善する。

3. シミュレーション

音場のインパルス応答 \mathbf{h} が IR_1 から IR_2 (図1)に変動した場合の収束特性を図2に示す。従来法では $\alpha = 1$ で収束速度が最大であり、 α が1より小さくなるに従い収束速度が遅くなり定常消去量が大きくなることが知られている⁽²⁾。本手法において(4)式の $\alpha_{\max} = 1$, $\alpha_{\min} = 0.5$ としたステップゲイン行列 $\boldsymbol{\alpha}$ を用いた場合には、従来法において $\alpha = 1$ とした場合の収束速度と $\alpha = 0.5$ とした場合の定常消去量を兼ね備えており、従来法での最大収束速度を保ちながら定常消去量を約4 dB向上させることができる。

従来法と本手法を用いた場合のタップ係数の収束過程

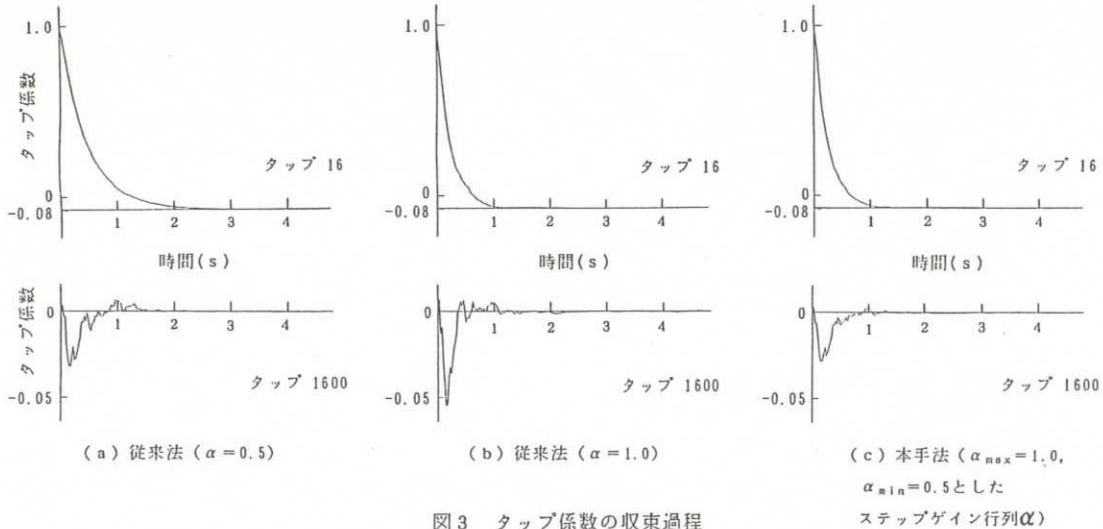


図3 タップ係数の収束過程

の一例（エコーキャンセラの16番目のタップおよび1600番目のタップ）を図3に示す。本手法では、変動の大きいインパルス応答の初期の係数に対しては従来法において $\alpha = 1$ とした場合と同程度に収束が早く（図3 (b)(c)上図）、変動の小さい後期の係数に対しては従来法において $\alpha = 0.5$ とした場合と同程度に誤調整が少ない（図3 (a)(c)下図）。

4. あとがき

音場のインパルス応答の変動量がインパルス応答の指数減衰特性と同じ傾きで指数減衰することに着目し、従来の学習同定法によるエコーキャンセラ適応アルゴリズムの改善を試みた。本手法を用いることにより収束速度と定常消去量の向上を同時に実現できることを実測インパルス応答によるシミュレーションにより示した。

文献

- (1) 牧野, 小泉: "音響エコーキャンセラの室内環境における消去特性について", 信学技報 E A 8 7 - 4 3, 1987.
- (2) 板倉, 西川: "学習同定法を用いたエコーキャンセラのエコー消去特性について", 信学論 '77/11 Vol. J60-A No. 11, p. 1015.

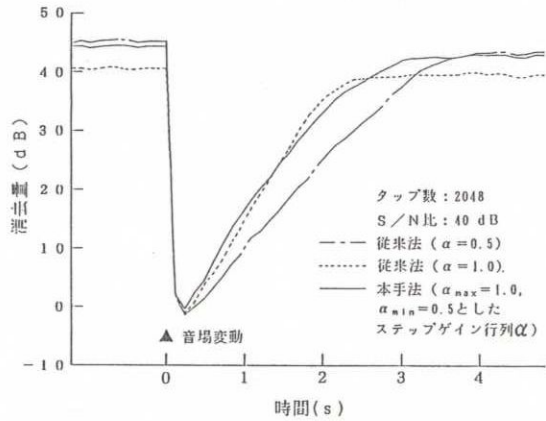


図2 収束特性