

# SA-9-4 帯域分割形指数重み付けアルゴリズムを用いた音響エコーキャンセラ

Acoustic Echo Canceller with the Subband Exponential Step Algorithm

牧野 昭二 羽田 陽一  
Shoji Makino Yoichi Haneda

NTT ヒューマンインタフェース研究所  
NTT Human Interface Laboratories

## 1. まえがき

筆者らは、先に、音響エコー経路のインパルス応答の変動量が指数減衰することに着目し、従来のNLMS法(学習同定法)の収束速度を2倍以上に改善できる指数重み付けアルゴリズム(Exponential Step)アルゴリズムを提案した[1]。

一方、信号をいくつかの帯域に分割し、それぞれの帯域でエコーを消去するサブバンドエコーキャンセラが近年検討されている[2][3][4]。サブバンドエコーキャンセラは、間引きによって広げたサンプリング間隔を利用して演算量の多い高度なアルゴリズムを実現することができ、また、音声のように相関のある信号に対する収束速度を向上させることができる。

本報告では、音響エコー経路のインパルス応答変動量の減衰率の周波数特性に着目した帯域分割形指数重み付けアルゴリズムを提案し、従来のサブバンドエコーキャンセラの収束速度を2倍以上にできることを明らかにしたので報告する。

## 2. サブバンドエコーキャンセラ

サブバンドエコーキャンセラの構成を図1(a)に示す。受話入力 $x(n)$ とエコー信号 $y(n)$ は $N$ 個のサブバンドに分割される。各サブバンドは複素NLMS適応フィルタ(CNLMS)[5]を持っており、それぞれ独立にエコーを消去する。各サブバンドの誤差信号から全帯域の誤差信号 $e(n)$ を合成する。

分割・合成過程の詳細を図1(b)に示す。受話入力 $x(n)$ は $W_N (= \exp(j2\pi/N))$ と帯域 $(-\pi/N, \pi/N)$ の低域通過フィルタ $f(n)$ を用いて $N$ 個のサブバンドに分割される(エコー信号 $y(n)$ の分割過程は省略する)。 $M\downarrow$ は間引きを表わす。サブバンド信号 $X_0(m) \sim X_{N-1}(m)$ は短時間スペクトルに対応する。 $N=16$ の場合のサブバンドの周波数帯域を図2に示す。16サブバンド信号のうち0と8が実数、残りは複素数である。サブバンド8に対して対称なもの(例えば7と9、等)は複素共役の関係にあり、全部で9つ(2実数、7複素数)のサブバンド信号があれば全帯域信号を合成することができる。各サブバンドの誤差信号 $E_k(m)$ は内挿( $M\uparrow$ )され、帯域 $(-\pi/M, \pi/M)$ の低域通過フィルタ $f'(n)$ と $W_N$ を用いて全帯域信号に合成される。この分割・合成過程は $N$ 点FFTを用いて効率的に実行できる[6]。

## 3. 帯域分割形指数重み付けアルゴリズム

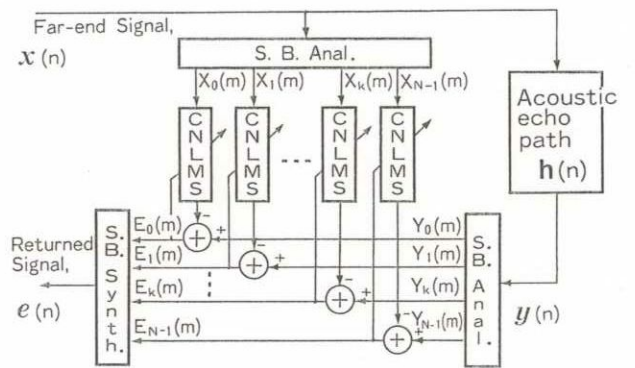
先に提案した指数重み付け(ES)アルゴリズムは、人や物の移動によりインパルス応答が変動する場合に、その変動量(インパルス応答の差)はインパルス応答と同じ減衰率で指数減衰するという音響学的知見を利用したものであった。

室内音場の残響特性は周波数特性を持ち、一般に、低域では長く

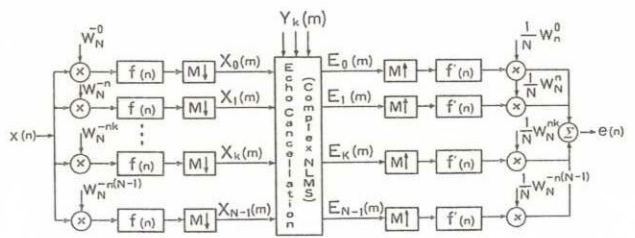
高域では短い。サブバンドのインパルス応答の一例(絶対値)を図3に示す。音響エコー経路のインパルス応答を複数の帯域に分割した時、各帯域におけるインパルス応答の変動量もまたそれぞれの帯域のインパルス応答と同じ減衰率で指数減衰する点に着目する。

第 $k$ 番目のサブバンドにおけるインパルス応答変動量の減衰率を $\gamma_k$ とすると、帯域分割形指数重み付けアルゴリズムは第 $k$ 番目のサブバンドに対して(1)式のように表わされる。

$$\hat{h}_k(m+1) = \hat{h}_k(m) + A_k \frac{E_k(m)}{X_k(m)^T X_k(m)^*} X_k(m)^* \quad (1)$$



(a) 全体構成



(b) 分割・合成過程

図1 サブバンドエコーキャンセラの構成

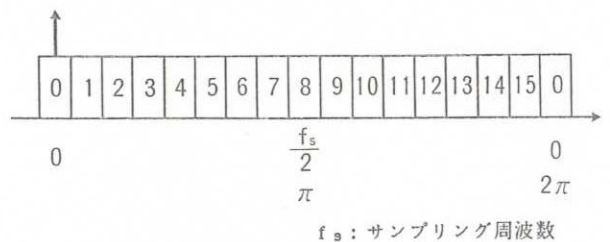


図2 サブバンドの周波数帯域

ただし、

$A_k = \text{diag}[\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_L]$ : 第kバンドのステップゲイン行列

$\alpha_j = \gamma_k^{j-1}$  ( $j=1, 2, \dots, L$ )  $L$ : 第kバンドのタップ数

$\hat{h}_k(m) = (\hat{h}_{k1}(m), \hat{h}_{k2}(m), \dots, \hat{h}_{kL}(m))^T$

: 第kバンドの適応フィルタ係数

$E_k(m)$ : 第kバンドの推定誤差 ( $= Y_k(m) - \hat{Y}_k(m)$ )

$X_k(m) = (X_k(m), X_k(m-1), \dots, X_k(m-L+1))^T$

: 第kバンドの受話入力

\*: 複素共役  $T$ : ベクトルの転置

(1)式が収束するための必要十分条件は(2)式で表わされる。

$$0 < \bar{\alpha} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \alpha_i < 2 \quad (2)$$

ステップゲイン行列の対角成分  $\alpha_i$  を各サブバンドごとに設定することにより、音響エコー経路のインパルス応答変動量の減衰率の周波数特性をエコーキャンセラに反映させることができる。

#### 4. 計算機シミュレーション

実測したインパルス応答(516タップ、サンプリング周波数  $f_s = 8\text{kHz}$ )を  $N=16$  帯域に分割し、間引き率  $M=12$  でダウンサンプリングした場合について計算機シミュレーションを行なった。受話入力には白色信号を用いた。エコー信号には  $S/N$  比  $= 30\text{dB}$  となるように近端雑音を加えた。

エコー消去量(ERLE)の収束特性の計算機シミュレーション結果を図4に示す。実線は本手法、破線は従来の複素NLMS法を用いた場合である。従来の複素NLMS法では  $\alpha=1$  で収束速度が最大であり、 $\alpha$  が1より小さくなるに従い収束速度が遅くなり定常エコー消去量が大きくなる。ここでは、収束速度が最大で定常エコー消去量が等しくなるように、本手法では  $\bar{\alpha}=1$ 、従来法では  $\alpha=1$  に設定した。

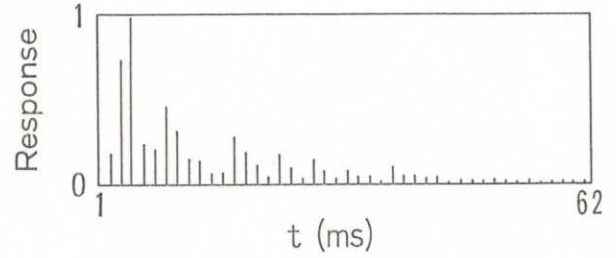
図4より、エコー消去量10dBに達する収束速度は従来法の約4倍、20dBに達する収束速度は約2倍になることがわかる。エコー信号  $y(n)$  と誤差信号  $e(n)$  の周波数特性を図5に示す。エリアジングの影響はなく、全帯域にわたって約30dBのエコー消去量が得られている。

#### 5. あとがき

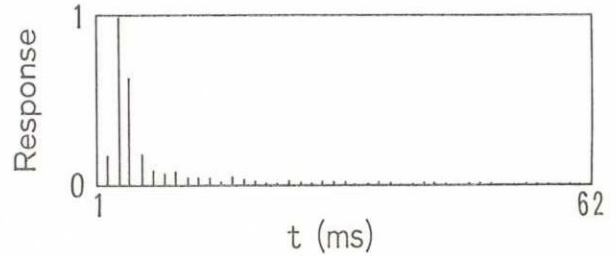
音響エコー経路のインパルス応答変動量の減衰率の周波数特性を反映させた帯域分割指数重み付けアルゴリズムを提案し、音響エコーキャンセラの収束性能向上を試みた。室内音場のインパルス応答データを用いた計算機シミュレーションにより、複素NLMSを用いた従来のサブバンドエコーキャンセラに比べて、白色信号に対する収束速度を2倍以上にできることを明らかにした。

[参考文献]

- [1] S. Makino, Y. Kaneda, ICASSP90, PP.1133-1136.
- [2] S. Gay, R. Mammone, ICASSP90, PP.1141-1144.
- [3] B. Hatty, ICASSP90, PP.1145-1148.
- [4] ペレス, 他, 信学技法, SP89-119.
- [5] B. Widrow, et. al., Proc. IEEE, 63, PP.719-720, 1975.
- [6] M. Portnoff, IEEE. Trans. ASSP-24, pp.243-248, 1976.



(a) 250~750 Hz 帯域



(b) 3250~3750 Hz 帯域

図3 サブバンドのインパルス応答の一例(絶対値)

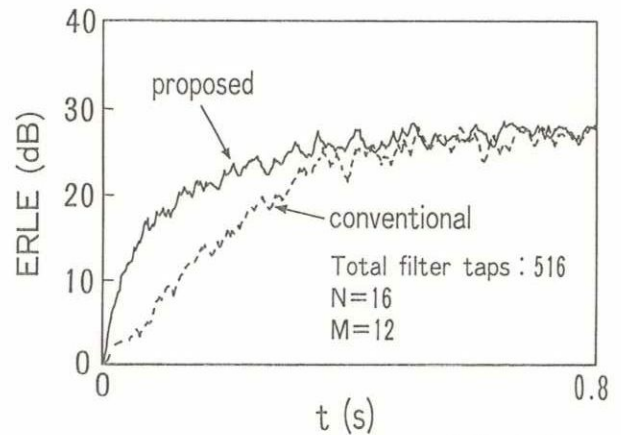


図4 収束特性

N: 帯域分割数  
M: 間引き率

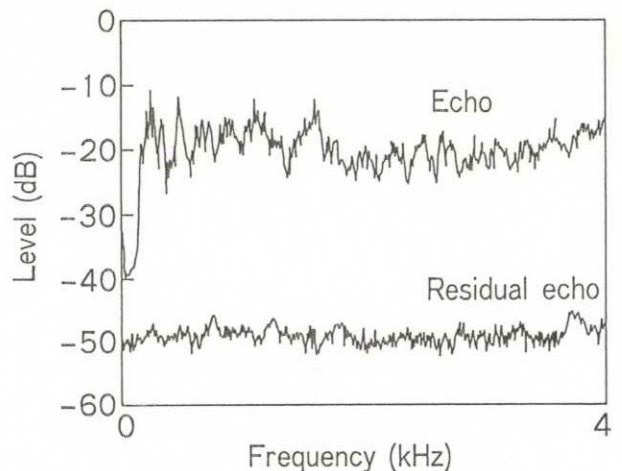


図5 エコー消去特性