

## 1. まえがき

音響エコーキャンセラに用いられる代表的な適応アルゴリズムである学習同定法(NLMS法)には、音声のように自己相関が大きい信号に対して収束が遅いという欠点がある。一方、この欠点を改善する手法として、(アフィン)射影法[1,2]が提案されている。射影法は学習同定法に比べて、演算量は増加するが、音声信号などに対する収束速度は向上する。射影法の収束速度に関する検討は、白色雑音を1次IIRフィルタに通した信号に対して既に行なわれている[1,2]。しかし、収束特性は入力信号の自己相関の特性により異なるため、音声については別途検討の必要がある。本稿では音声入力に対する射影法の次数について、収束速度、演算量の点から検討する。

## 2. 射影法

## 2.1 アルゴリズム

射影法では、フィルタ係数ベクトル  $\hat{h}(k)$  を、ステップサイズ  $\mu$  ( $0 < \mu < 2$ ) と更新ベクトル  $\delta\hat{h}(k)$  を用いて、次式のように逐次更新する。

$$\hat{h}(k+1) = \hat{h}(k) + \mu\delta\hat{h}(k) \quad (1)$$

$\delta\hat{h}(k)$  は、現時刻  $k$  から  $p$  ( $p \leq L$ ,  $L$  はフィルタのタップ長) 時刻過去までについて、次式が成立するように決定される。

$$\mathbf{x}(k-i+1)^T (\hat{h}(k) + \delta\hat{h}(k)) = y(k-i+1), \quad i = 1, \dots, p \quad (2)$$

ただし、 $\mathbf{x}(k)^T$  は入力信号ベクトルで、

$$\mathbf{x}(k)^T = [x(k) \ x(k-1) \ \dots \ x(k-L+1)] \quad (3)$$

であり、 $y(k-i+1)$  は参照信号である。 $p$  を射影法の次数と呼ぶ。 $p=1$  の場合は学習同定法に一致する。 $\delta\hat{h}(k)$  の次元  $L$  より方程式の数  $p$  が少ないため、(2) 式の連立方程式の解  $\delta\hat{h}(k)$  は不定であるが、 $\delta\hat{h}(k)$  の2乗ノルムが最小という条件を付け加えると、次式の通りに一意に定まる。

$$\delta\hat{h}(k) = \mathbf{X}(k)\mathbf{a}(k) \quad (4)$$

$$\mathbf{a}(k) = [\mathbf{X}(k)^T \mathbf{X}(k)]^{-1} \mathbf{e}(k) \quad (5)$$

$$\mathbf{X}(k) = [x(k) \ x(k-1) \ \dots \ x(k-p+1)] \quad (6)$$

$$\mathbf{e}(k)^T = [e(k) \ \dots \ (1-\mu)^{p-1}e(k-p+1)] \quad (7)$$

\*On the Order and Performance of the Projection Algorithm with Speech Input

By Masashi TANAKA, Shoji MAKINO and Yutaka KANEDA (NTT Human Interface Laboratories)

$$e(k) = y(k) - \mathbf{x}(k)^T \hat{h}(k) + n(k) \quad (8)$$

ただし、 $e(k)$  は誤差、 $n(k)$  は近端雑音を表す。

射影法のアルゴリズムは各時刻  $k$  において、(8),(5),(4),(1) の順に演算する。

## 2.2 演算量

射影法の演算量はフィルタタップ長  $L$  と次数  $p$  に依存する。高速演算法[3]を用いると、(8),(4),(1) 式の演算は  $2L$  回の積和演算(多くのDSPでは、 $3L$  のマシンサイクル数)で実行することができる。(5) 式は  $p$  元の連立1次方程式なので、約  $p^3/6$  の積和演算がかかり、 $p$  が大きくなると、急激に増加する。例えば、 $\mathbf{a}(k)$  を求めるための積和演算の回数は、除算を16回の積和演算に換算すると、2次の場合は24回、4次では170回(共にCramerの公式)であるが8次では780回(変形コレスキー法)となる。

## 3. 計算機シミュレーション

射影法の次数と収束特性の関係を調べるために以下の計算機シミュレーションを行なった。フィルタのタップ長は、これまでの射影法の解析で行なわれてきた短いタップ長の例として32タップと、音響エコーキャンセラを想定した長いタップ長の例として1000タップの2つとした。フィルタのタップ長と同定すべきインパルス応答長は等しくした。S/N比(エコー音声と近端雑音のパワーの比)は、射影法の収束特性を広い範囲で知るためのS/N比60dBと、実際的な値という意味でのS/N比30dBの2つとした。これらの組合せの中から3つの場合についての結果を示す。収束曲線は150回の試行の平均値である。入力信号には男性の音声を用いた。サンプリング周波数は8kHzである。なお、射影法では次数を上げると定常消費量が低下するので、ステップサイズは定常消費量がほぼ等しくなるように調節した。

## 3.1 条件1

- ・タップ長 32
- ・S/N比 60dB

図1に1~16次の射影法のエコー消費量(ERLE)の収束特性を示す。ただし、1次の射影法は学習同定法と同一である。図1から、射影の次数を上げると収束速度が向上する効果が確認できる。エコー消費量が40dBに達する時間の逆数として収束速度を定義すると、2次の射影法は学習同定法と比べて収束速度が約2.4倍向上している。また、2,4,8,16次の収束速度の比は、約1:1.6:2.5:4.7となっている。

この結果は白色雑音を1次のIIRフィルタに通した信号を用いた、従来報告されている結果[1]とは異なっている。

### 3.2 条件2

- ・タップ長 32
- ・S/N比 30dB

図2に1～16次の射影法のエコー消去量の収束特性を示す。図1と比較すると、S/N比の低下に伴って定常消去量が低下している。さらに、縦軸の値が図2より小さいにもかかわらず、エコー消去量0～25dBで図2と図1とが見かけ上ほぼ重なることから、図2では図1に比べて全ての次数で同じ割合で収束速度が低下していることがわかる。

### 3.3 条件3

- ・タップ長 1000
- ・S/N比 60dB

図3に1～16次のエコー消去量の収束特性を示す。

3.1項と同様に収束速度を定義すると、2次は1次の約2.6倍の収束速度であり、タップ長が32の場合とほぼ同じであるが、2,4,8,16次の収束速度の比は、約1:1.03:1.18:1.42であり、タップ長が32の場合より次数による収束速度の向上の効果は小さくなっている。このように、次数による収束速度の向上がフィルタのタップ長に依存するのは、入力音声の相関の値が計算する時間区間(タップ長)を長くすると、小さくなるためであると考えられる。

音響エコーキャンセラという応用を考えた場合、S/N比は20から30dB程度である。この程度のS/N比の場合、図3から2～8次の間には大きな収束速度の差がみられない。

### 4. 演算量と収束特性

図3の横軸(時間)に単位時間当たりの積和演算回数(マシンサイクル数換算)を乗じると累積の積和演算回数(演算コスト)となる。図3の横軸を演算コストに置き代えたものが図4である。この図から同一の演算コストに対して最もエコー消去量が大きく、効率のよい次数は2～4次であることがわかる。

### 5. まとめ

音声入力に対する射影法の収束速度と演算量を検討した。計算機シミュレーションの結果、タップ長が短い(32タップ)場合には射影法の次数を上げることで収束速度が向上することが確認された。しかし、タップ長が長い(1000タップ)場合には次数を上げる効果は小さく、また、演算量を考慮すると2～4次程度の小さい次数が効率的であることが分かった。

### 参考文献

- [1] 難元、前川：“拡張された学習同定法”、電学誌(C)、pp.227-234、(昭50.10)
- [2] 尾関、梅田：“アフィン部分空間への直行射影を用いた適応フィルタアルゴリズムとその諸性質”、信学誌(A)、J67-A、pp.343-347、(昭59-2)
- [3] 丸山：“射影アルゴリズムの高速算法”、信学全大B-744(1990.3)

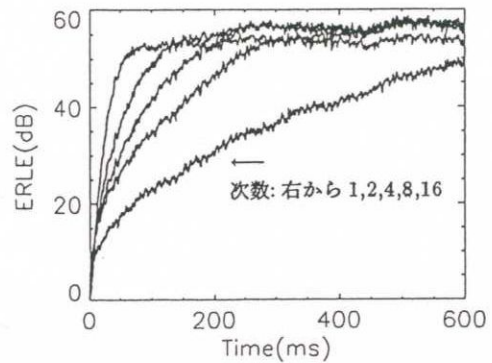


図1: 収束特性

(フィルタタップ長  $L = 32$ 、S/N比  $\approx 60$ dB)

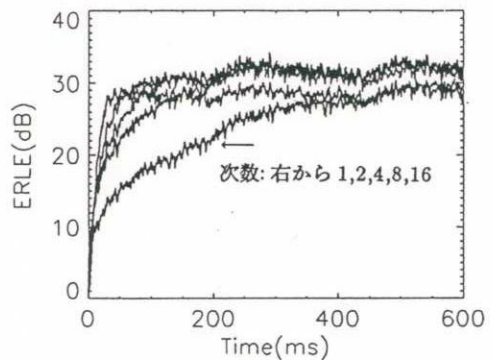


図2: 収束特性 ( $L = 32$ 、S/N比  $\approx 30$ dB)

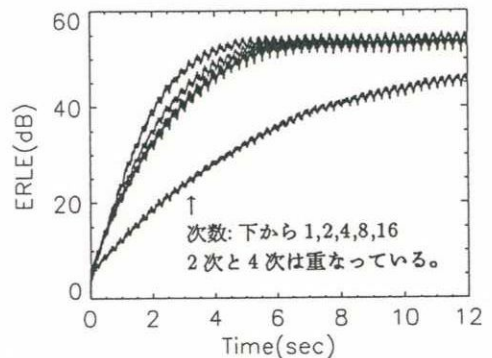


図3: 収束特性 ( $L = 1000$ 、S/N比  $\approx 60$ dB)

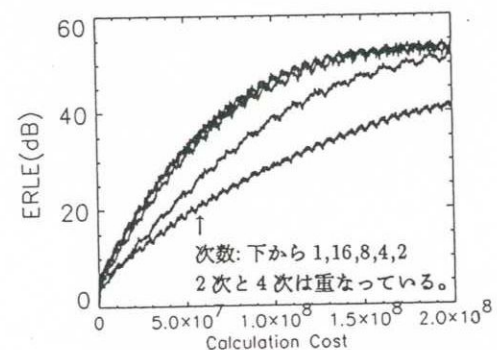


図4: 累積積和演算回数と消去量の関係 ( $L = 1000$ 、S/N比  $\approx 60$ dB)