A-168

高速射影アルゴリズムの多チャンネル系への適用

Fast Projection Algorithm for Multi-Channel Systems

島内 末廣　Suehiro Shimauchi
田中 雅史　Masashi Tanaka
牧野 昭二　Shoji Makino
NTT ヒューマンインタフェース研究所
NTT Human Interface Laboratories

1 はじめに

線形未知システムに対する入出力をもとに、そのシステムを同定する一手法として、次数の選択により、演算量に応じた同定速度が得られる射影アルゴリズムがある [1]。高速算法の利用により、演算量はさらに低減可能である [2][3]。また、ステレオ音響エコーキャンセラへの適用 [4] 等、多チャンネル系の同定法としても提案されている。

本報告では、多チャンネル系に拡張された射影アルゴリズムに高速算法を適用する。

2 多チャンネル高速射影アルゴリズム

MA モデルで表される N 入力-M 出力の線形未知システムのインパルス応答行列を

$$\boldsymbol{H}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{h}_{11} & \cdots & \boldsymbol{h}_{1M}\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ \boldsymbol{h}_{N1} & \cdots & \boldsymbol{h}_{NM}\end{bmatrix} \tag{1}$$

とおく。ただし、一般に各要素を複素数として、$h_{ij}=[h_{ij}(0),h_{ij}(1),\ldots,h_{ij}(L-1)]^T$, $(1\le i\le N, 1\le j\le M)$、$L$ はパラメータ数、^{T} は転置を表す。このとき、$\boldsymbol{H}$ を模擬する多チャンネル適応フィルタを $\hat{\boldsymbol{H}}(k)$ とし、適応フィルタの誤差を $\Delta\boldsymbol{H}(k)=\boldsymbol{H}-\hat{\boldsymbol{H}}(k)$ とする。多チャンネル射影アルゴリズムでは、$\Delta\boldsymbol{H}(k)$ を

$$\boldsymbol{X}^T(k)\Delta\boldsymbol{H}^*(k)=\boldsymbol{E}(k) \tag{2}$$

の最小二乗ノルム解として見積り、適応フィルタを

$$\hat{\boldsymbol{H}}(k+1)=\hat{\boldsymbol{H}}(k)+\mu\boldsymbol{X}(k)[\boldsymbol{X}^H(k)\boldsymbol{X}(k)+\delta\boldsymbol{I}]^{-1}\boldsymbol{E}^*(k) \tag{3}$$

と更新する。ただし、μ はステップサイズ、δ は小さい正の数、$\boldsymbol{I}$ は単位行列、* は複素共役、^{H} は共役転置であり、

$$\boldsymbol{X}(k)=[\boldsymbol{x}(k),\boldsymbol{x}(k-1),\ldots,\boldsymbol{x}(k-p+1)] \tag{4}$$

$$\boldsymbol{x}(k)=[\boldsymbol{x}_1^T(k),\boldsymbol{x}_2^T(k),\ldots,\boldsymbol{x}_N^T(k)]^T \tag{5}$$

$$\boldsymbol{x}_i(k)=[x_i(k),x_i(k-1),\ldots,x_i(k-L+1)]^T \tag{6}$$

$x_i(k)$: 第 i チャンネル $(1\le i\le N)$ の未知系複素入力信号

$$\boldsymbol{E}(k)=[\boldsymbol{e}^T(k),(1-\mu)\boldsymbol{e}^T(k-1),\ldots,(1-\mu)^{p-1}\boldsymbol{e}^T(k-p+1)]^T \tag{7}$$

$$\boldsymbol{e}(k)=\boldsymbol{y}(k)-\boldsymbol{x}^T(k)\hat{\boldsymbol{H}}^*(k) \tag{8}$$

$$\boldsymbol{y}(k)=[y_1(k),y_2(k),\ldots,y_M(k)] \tag{9}$$

$y_j(k)$: 第 j チャンネル $(1\le j\le M)$ の未知系複素出力信号

p : 射影アルゴリズムの次数

である。上記の多チャンネル射影アルゴリズムは、高速算法 [2][3] を適用することにより表 1の手順で実現される。

表 1: 多チャンネル高速射影アルゴリズム

0) $\boldsymbol{r}(0)=[\boldsymbol{x}^T(0)\boldsymbol{x}(-1),\boldsymbol{x}^T(0)\boldsymbol{x}(-2),\ldots,\boldsymbol{x}^T(0)\boldsymbol{x}(-p+1)]^T$

$\boldsymbol{E}(0)=\boldsymbol{0}_{p\times M}$, $\boldsymbol{F}(0)=\boldsymbol{S}(0)=\boldsymbol{0}_{(p-1)\times M}$

$F(0)=B(0)=\delta$

1) $\tilde{\boldsymbol{x}}_i(k)=[x_i(k),x_i(k-1),\ldots,x_i(k-p+2)]^T$, $(1\le i\le N)$

$$\boldsymbol{r}(k)=\boldsymbol{r}(k-1)+\sum_{i=1}^{N}\{x_i(k)\tilde{\boldsymbol{x}}_i^*(k-1)-x_i(k-L)\tilde{\boldsymbol{x}}_i^*(k-L-1)\}$$

2) $\hat{\boldsymbol{y}}(k)=\boldsymbol{x}^T(k)\boldsymbol{Z}^*(k)+\boldsymbol{r}^T(k)\boldsymbol{S}^*(k-1)$

3) $\boldsymbol{e}(k)=\boldsymbol{y}(k)-\hat{\boldsymbol{y}}(k)$

4) $\begin{bmatrix}\boldsymbol{E}(k)\\ -\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{e}(k)\\ (1-\mu)\boldsymbol{E}(k-1)\end{bmatrix}$

5) $[\boldsymbol{X}^H(k)\boldsymbol{X}(k)+\delta\boldsymbol{I}]\boldsymbol{a}(k)=[F(k),0,\ldots,0]^T$

$[\boldsymbol{X}^H(k-1)\boldsymbol{X}(k-1)+\delta\boldsymbol{I}]\boldsymbol{b}(k-1)=[0,0,\ldots,B(k-1)]^T$

を満たす p 次の前向き線形予測係数ベクトル $\boldsymbol{a}(k)$ と、その最小 2 乗予測誤差和 $F(k)$、p 次の後向き線形予測係数ベクトル $\boldsymbol{b}(k)$ と、その最小 2 乗予測誤差和 $B(k)$ を、文献 [5] に述べられている高速算法により求める。

6) $\boldsymbol{G}(k)=(1-\mu)\begin{bmatrix}\boldsymbol{0}_{1\times M}\\ \boldsymbol{F}(k-1)\end{bmatrix}+\boldsymbol{a}(k)\dfrac{\boldsymbol{a}^H(k)\boldsymbol{E}^*(k)}{F(k)}$

7) $\begin{bmatrix}\boldsymbol{F}(k)\\ \boldsymbol{0}_{1\times M}\end{bmatrix}=\boldsymbol{G}(k)-\boldsymbol{b}(k)\dfrac{\boldsymbol{b}^H(k)\boldsymbol{E}^*(k)}{B(k)}$

8) $\begin{bmatrix}\boldsymbol{S}(k)\\ \boldsymbol{s}(k)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{0}_{1\times M}\\ \boldsymbol{S}(k-1)\end{bmatrix}+\mu\boldsymbol{G}(k)$

9) $\boldsymbol{Z}(k+1)=\boldsymbol{Z}(k)+\boldsymbol{x}(k-p+1)\boldsymbol{s}(k)$

以上、1) から 9) までを繰り返す。

3 まとめ

多チャンネル射影アルゴリズムに高速算法を適用した。N 入力-M 出力の線形未知システムの同定において、適応フィルタの一回の更新に要する演算量は、高速算法を適用しない場合の $(p+1)NML+O(p^3)$ に対して、高速算法の適用により $2NML+O(p)$ と削減される。

謝辞 日頃御指導頂く、北脇音声情報研究部長、小島 GL、金田主幹研究員に深謝する。

参考文献

[1] 尾関, 梅田, 信学論, vol. J67-A, No. 2, pp. 126-132 (1984).
[2] M. Tanaka, Y. Kaneda, S. Makino, and J. Kojima, *Proc. ICASSP95*, vol. 2, pp. 945-948 (1995).
[3] S. L. Gay and S. Tavathia, *Proc. ICASSP95*, vol. 5, pp. 3023-3026 (1995).
[4] S. Shimauchi and S. Makino, *Proc. ICASSP95*, vol. 5, pp. 3059-3062 (1995).
[5] J. M. Cioffi and T. Kailath, *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-33, no. 3, pp. 607-625 (1985).