

# 知的情報処理論 第3回レポート課題

28G23027

川原尚己

## 1 実験準備

### 1.1 実験の目的

マイクで録音された際に、加わるエコー（参照信号 $u_t$ ）を含んだ信号（観測信号 $d_t$ ）から、参照信号が判明しているという仮定の下で、ノイズの加わっていない現信号を推定するためのフィルタ $w_t$ を計算する。計算手法としては、LMS 及び RSL を用いる。

### 1.2 変数の定義

本レポートで用いる変数を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_t &\triangleq [u_t, u_{t-1}, \dots, u_{t-M+1}]^T \\ \mathbf{w} &\triangleq [w_0, w_1, \dots, w_M] \\ \mathbf{R}_t &\triangleq \begin{bmatrix} E[u_t u_t] & E[u_t u_{t-1}] & \dots & E[u_t u_{t-M+1}] \\ E[u_{t-1} u_t] & E[u_{t-1} u_{t-1}] & \dots & E[u_{t-1} u_{t-M+1}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E[u_{t-M+1} u_t] & E[u_{t-M+1} u_{t-1}] & \dots & E[u_{t-M+1} u_{t-M+1}] \end{bmatrix} \\ \mathbf{P}_t &\triangleq \mathbf{R}_t^{-1} \\ \mathbf{g}_t &\triangleq \frac{(\lambda^{-1} \mathbf{P}_{t-1} \mathbf{u}_t)}{1 + \lambda^{-1} \mathbf{u}_t^T \mathbf{P}_{t-1} \mathbf{u}_t} \\ e_t &\triangleq d_t - \mathbf{w}_{t-1}^T \mathbf{u}_t \\ M &: \text{フィルタ長} \end{aligned}$$

### 1.3 LMS・RSL のフィルタ更新式

1.2 で定義した変数とパラメータ $\mu, \lambda$ 及び $\epsilon$ を用いて、LMS 及び RSL のフィルタ更新式は、以下のように得られる。

LMS のフィルタ更新式：

$$\mathbf{w}_t = \mathbf{w}_{t-1} + 2\mu e_t \mathbf{u}_t$$

RSL のフィルタ更新式：

$$\begin{cases} \mathbf{w}_t = \mathbf{w}_{t-1} + \frac{\lambda^{-1}}{1 + \lambda^{-1} \mathbf{u}_t^T \mathbf{P}_{t-1} \mathbf{u}_t} e_t \mathbf{P}_{t-1} \mathbf{u}_t \\ \mathbf{P}_t = \lambda^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{g}_t \mathbf{u}_t^T) \mathbf{P}_{t-1} \\ \mathbf{P}_0 = \epsilon \mathbf{I} \end{cases}$$

## 2 実験の詳細

### 2.1 実験内容と使用したインパルス応答・信号

LMS 及び RSL に対して，パラメータを変更しながら実行時間測定及び誤差信号  $e_t$  のパワーの時間変化を測定した．実行時間測定は，各パラメータに対し，10 回測定し，その平均を出力している．言語は Octave を用いた．

インパルス応答は MIT-HRTF(<https://sound.media.mit.edu/resources/KEMAR.html>) の full.zip/headphones+spkr/AKG-K240-L.wav を用い，参照信号は randn 関数を用いて生成したガウス雑音を用いた．インパルス応答と参照信号のサンプリング数は 16383 である．最後に観測信号はインパルス応答とガウス雑音との畳み込みによって作成した．図 1 及び図 2 に使用したインパルス応答と参照信号の波形を示す．

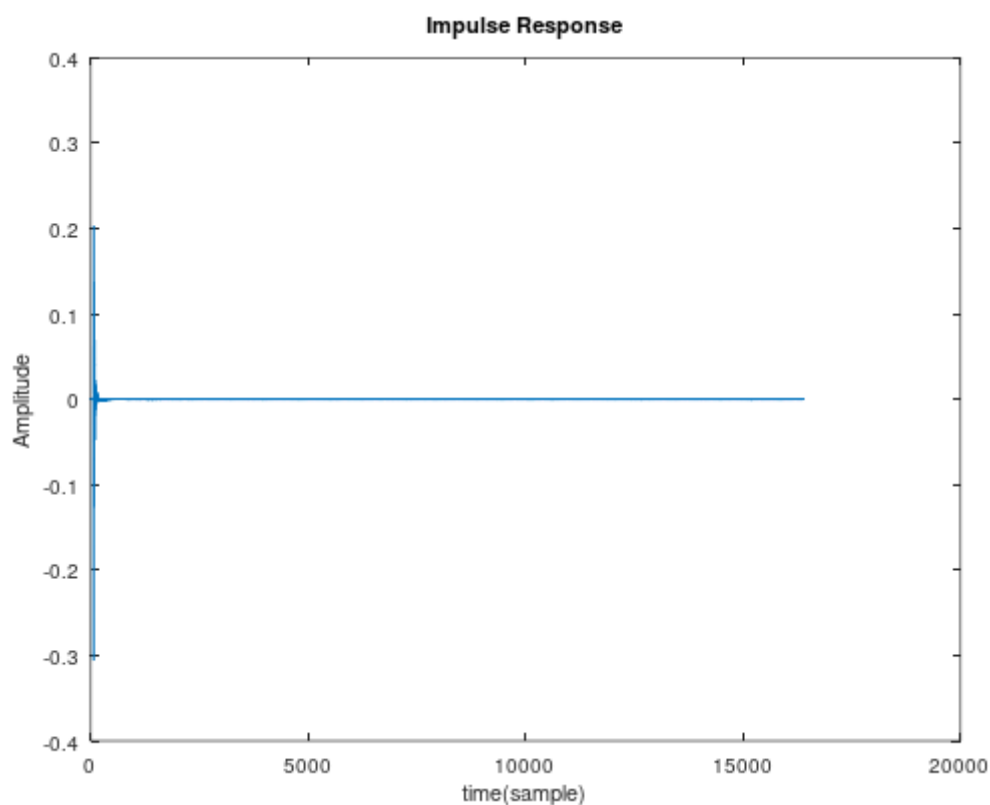


図 1 インパルス応答の波形

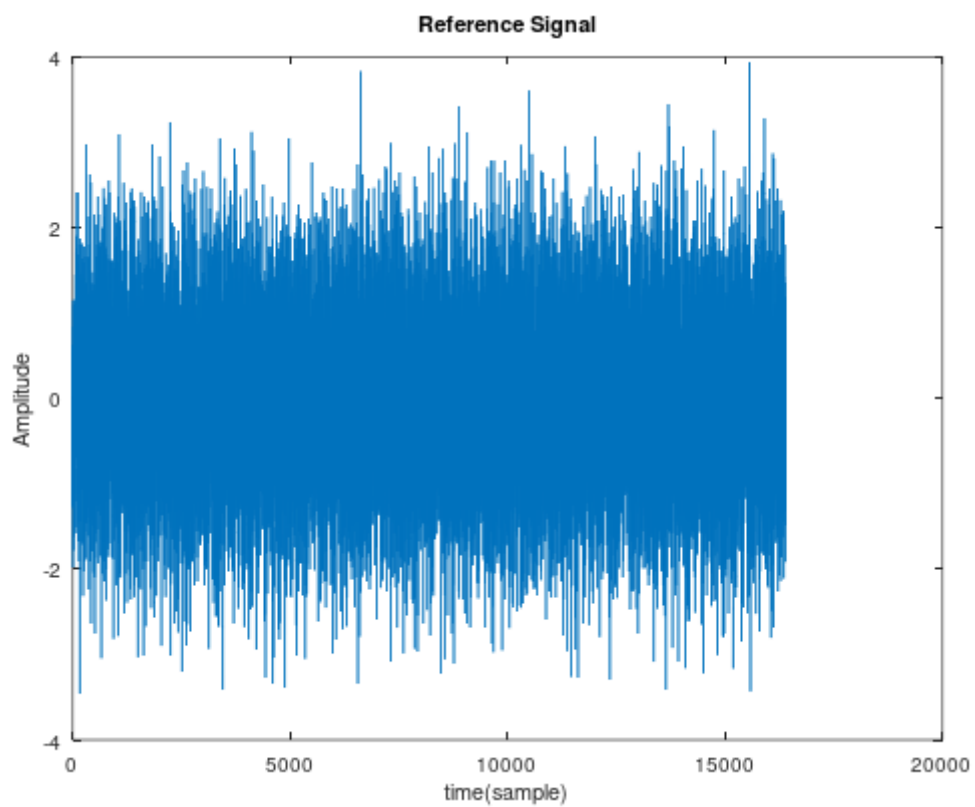


図2 参照信号の波形

## 2.2 実験結果

### 2.2.1 実行時間測定

表3と表4に LMS と RSL に対してパラメータを様々な値に変更しながら実行時間の平均の測定結果を示す.

パラメータ( $\mu, M$ )	実行時間平均(s)
(0.001, 128)	0.2736454
(0.001, 256)	0.2725604
(0.01, 128)	0.2762894
(0.01, 256)	0.2741274

表1 LMS の実行時間測定結果

パラメータ( $\lambda, \epsilon, M$ )	実行時間平均(s)
(0.8, 0.01, 128)	3.9729
(0.8, 0.01, 256)	8.3557
(0.8, 0.1, 128)	3.9959
(0.8, 0.1, 256)	8.43523
(0.95, 0.01, 128)	4.04492
(0.95, 0.01, 256)	8.48409
(0.95, 0.1, 128)	3.92827
(0.95, 0.1, 256)	8.42444

表2 RSLの実行時間測定結果

### 2.2.2 誤差の時間変化

LSMを用いた測定に関して、図3にパラメータを $(\mu, M) = (0.001, 128), (0.01, 128)$ としたときの、図4に $(\mu, M) = (0.001, 128), (0.001, 256)$ としたときの実行結果を示す。

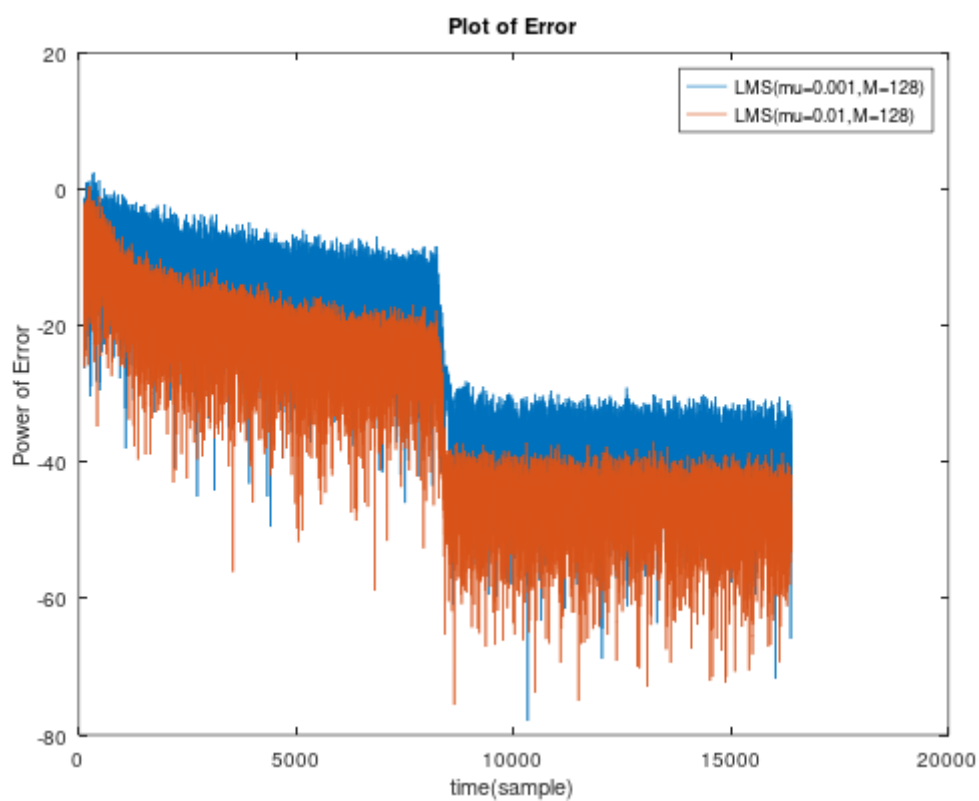


図3 LSM： $\mu$ を変化

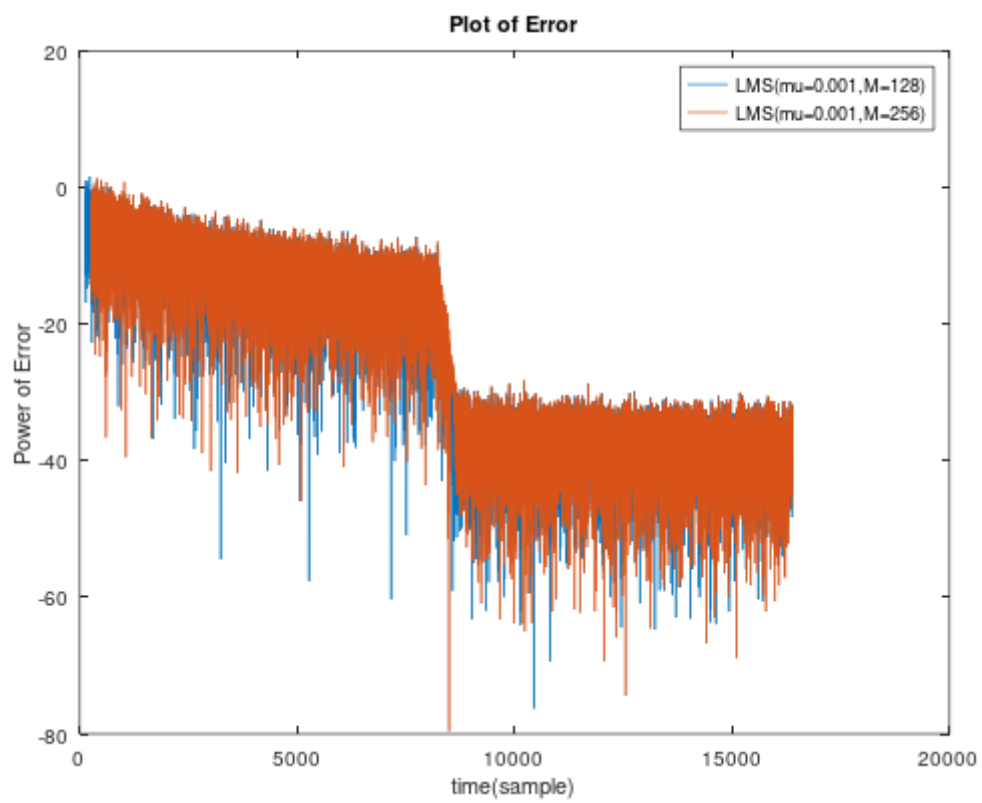


図4 LMS :  $M$ を变化

また、RSL を用いた測定に関して、図 5 にパラメータを  $(\lambda, \epsilon, M) = (0.8, 0.1, 128), (0.9, 0.1, 128)$  としたときの、図 6 に  $(\lambda, \epsilon, M) = (0.9, 0.01, 128), (0.9, 0.1, 128)$  としたときの、図 7 に  $(\lambda, \epsilon, M) = (0.9, 0.1, 128), (0.9, 0.1, 256)$  としたときの実行結果を示す。

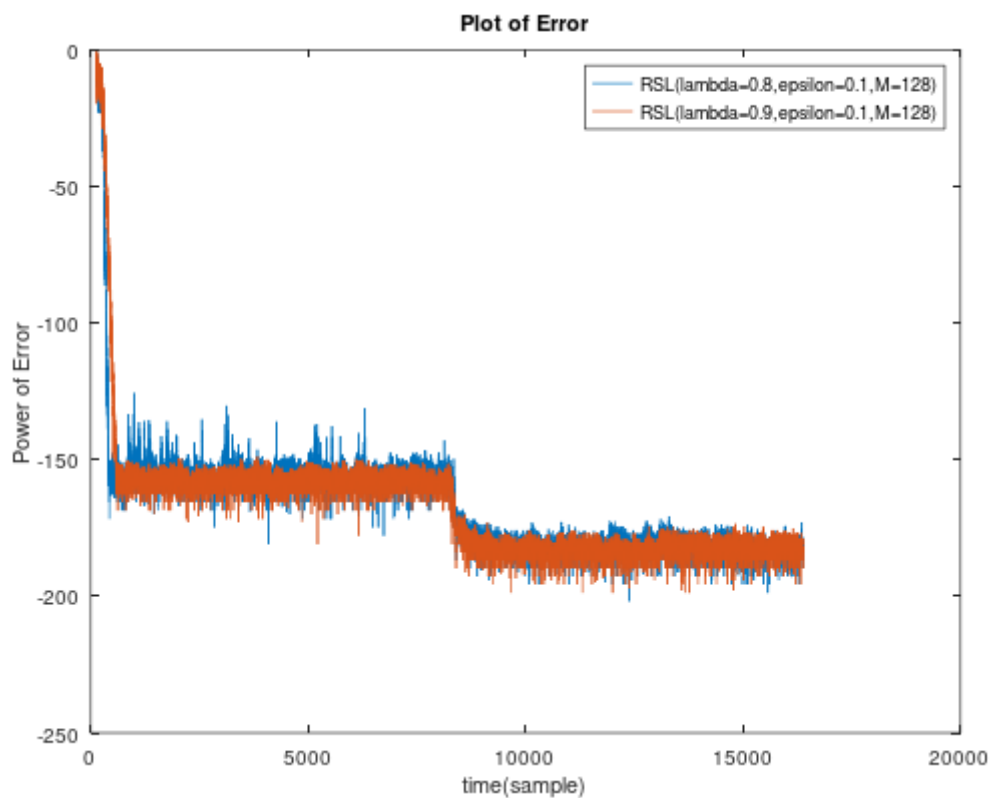


図 5 RSL :  $\lambda$  を変化

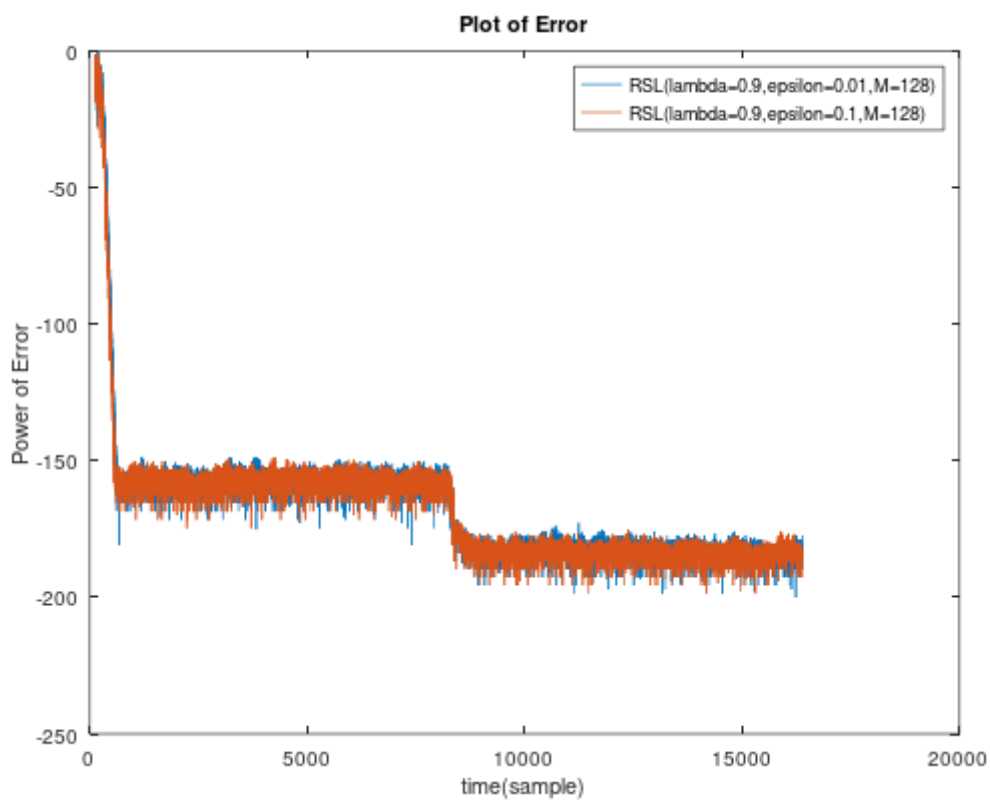


図6 RSL :  $\mu$ を变化

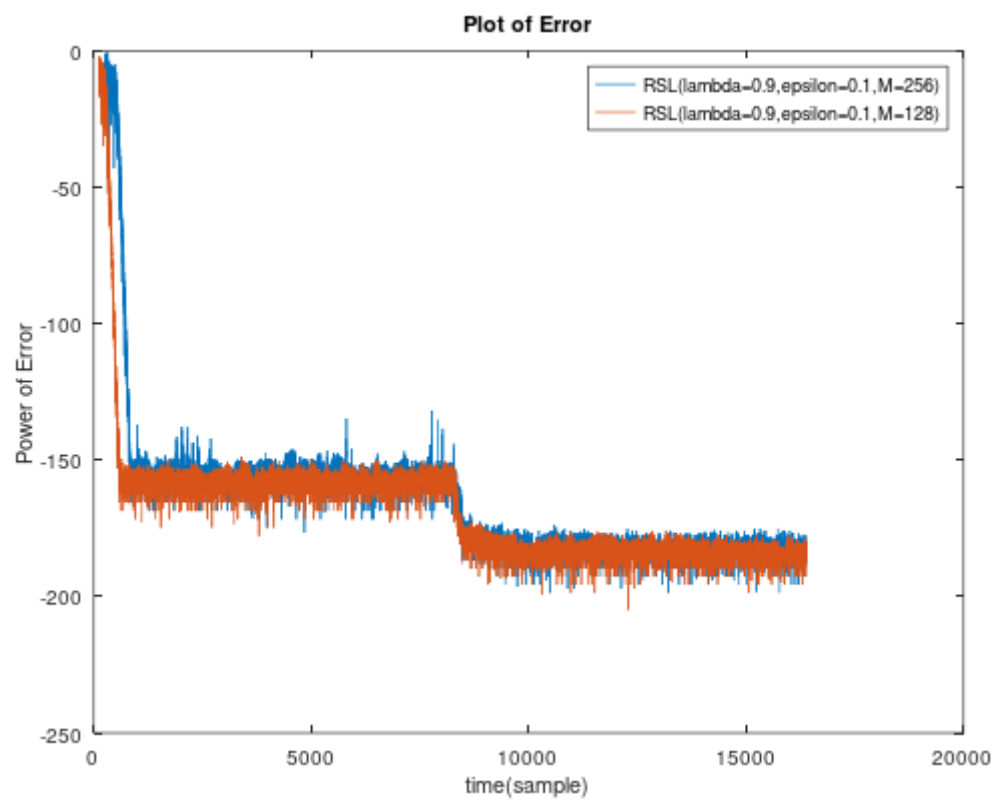


図7 RSL :  $M$ を变化

最後に, 図 8 に LMS にて  $(\mu, M) = (0.01, 128)$ , RSL にて  $(\lambda, \epsilon, M) = (0.9, 0.1, 128)$  としたときの実行結果を示す.

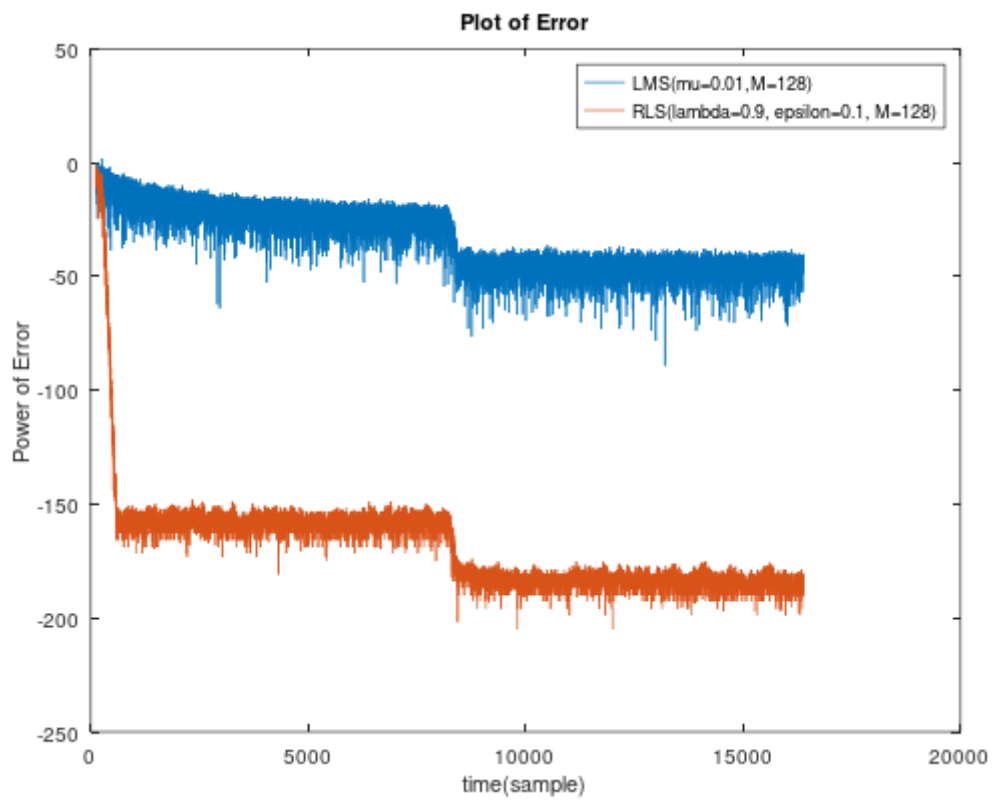


図 8 LMS と RSL の違い



### 3 考察

#### 3.1 実行時間測定

LMS に関しては、どのパラメータの組み合わせに対しても処理が素早く完了し、組み合わせによる大きな違いは見られなかった。しかしながら RSL には  $M$  が 128 から 256 へと変化すると実行時間が倍以上に増加し、LMS には見られない大きな違いがあった。また、 $M$  の大きさによる変化と比べれば非常に小さいが、 $\lambda$ が増加した場合でも 0.1 秒ほどの実行時間の増加がみられた。RSL にて  $M$  による実行時間の変化が大きい理由としては、RSL では行列計算を行っていることが原因であると考えられる。処理中で使用している行列  $P$  は  $M \times M$  の正方行列であり、 $M$  の大きさが倍になると、行列中出现する数の個数は4倍になり、計算により時間がかかるようになる。

#### 3.2 誤差の時間変化

LSM に関して、 $\mu$ が変化した際には、 $\mu$ が大きい方が誤差が小さくなっており、誤差の時間変化に大きな違いがみられた。しかし  $M$  の増加に対しては変化が乏しく、ほとんど違いがみられなかった。また、RSL に関しては、LSM と比べると、パラメータの変化に対する誤差の変化が小さかった。強いて言えば  $\lambda$  が大きく、 $M$  が小さいほど誤差が小さくなっていた。LMS と RSL との比較については、LSM は比較的なだらかに減少していたのに対し RSL は処理が始まってすぐに誤差が小さくなり、最終的な誤差も RSL の方が非常に小さくなっていた。

最後に、LSM と RSL の両方で、時刻が8000から9000にかけて誤差が急激に小さくなっている。今回使用したインパルス応答は初めに急激な周波数の変化があり、その後はなだらかな波形を持っている。このインパルス応答の他にも似たような波形を持つインパルス応答や、自分の声を用いて録音した周波数変化が小さいインパルス応答に対して測定してみると、前者の場合には今回用いたものと似たような結果が得られたが、後者は問題の時刻における急激な誤差の変化は見られなかった。十分な検証とは到底言えないが、誤差の急激な変化が起こる理由は急激な周波数の変化が原因の一つである可能性がある。