

Universidade Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica

Pedro Lucca Pereira da Veiga
Adriely Teixeira de Paula

Processamento Digitais de Sinais II
Laboratório 3 - Sistema de controle ativo de ruído utilizando o algoritmo FxLMS.

Curitiba
2025

1 Exercício 1

1.1 Leve em conta que o sistema de condicionamento $S(z)$ e o canal de propagação $P(z)$, na prática desconhecidos, são definidos pelos sistemas:

$$S(z) = [0.0875, 0.443, 0.254, 0.3210, 0.0964]$$

$$P(z) = [0.0723, 0.578, 0.367, 0.2210, 0.0883]$$

Crie o modelo estimado $\hat{S}(z)$ através de um filtro adaptativo utilizando o algoritmo LMS. Determine μ e o número de iterações para a convergência baseado nas características do ruído adicionado. Utilize a mesma ordem de $S(z)$. Apresente graficamente a evolução do erro e a comparação dos coeficientes de $S(z)$ e $\hat{S}(z)$.

O gráfico referente ao erro de identificação mostra como o erro quadrático médio, em dB, diminui ao longo das iterações do algoritmo LMS durante a identificação do sistema $S(z)$. O gráfico mostra que o filtro adaptativo está aprendendo e se aproximando dos coeficientes reais de $S(z)$.

O gráfico dos coeficientes, compara visualmente os coeficientes reais do sistema de condicionamento $S(z)$ com os coeficientes estimados $\hat{S}(z)$. Quanto mais parecidos os dois conjuntos melhor é a identificação, as diferenças mais visíveis indicam necessidade de mais iterações ou um ajuste de μ .

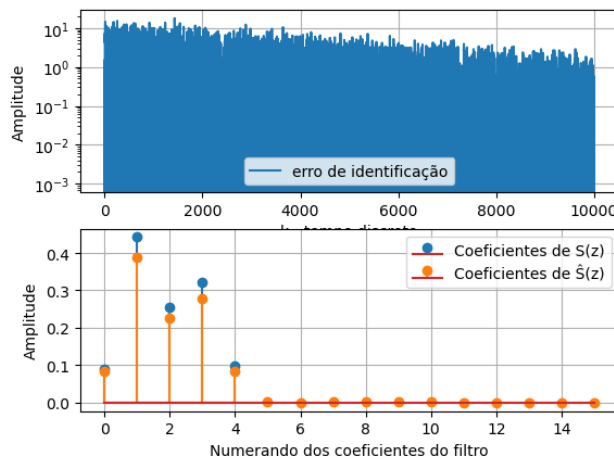


Figure 1: Evolução do erro de identificação, em dB e Comparação entre os coeficientes de $S(z)$ e $\hat{S}(z)$

2 Exercício 2

- 2.1** Utilizando o filtro modelado $\hat{S}(z)$, implemente o sistema FxLMS da Figura 1, utilizando como entrada um ruído gaussiano de média 0 e variância 0,002. Apresente graficamente a evolução do erro de cancelamento na saída do sistema.

O gráfico abaixo mostra como o erro de cancelamento evolui ao longo do tempo no sistema FxLMS. As duas curvas estão muito próximas, o que indica que o filtro estimado $\hat{S}(z)$ conseguiu modelar bem o sistema real $S(z)$. O desempenho do sistema FxLMS com o filtro modelado é praticamente igual ao sistema ideal, isso valida a eficácia da identificação do canal secundário permitindo que o algoritmo funcione corretamente mesmo sem inicialmente conhecer $S(z)$.

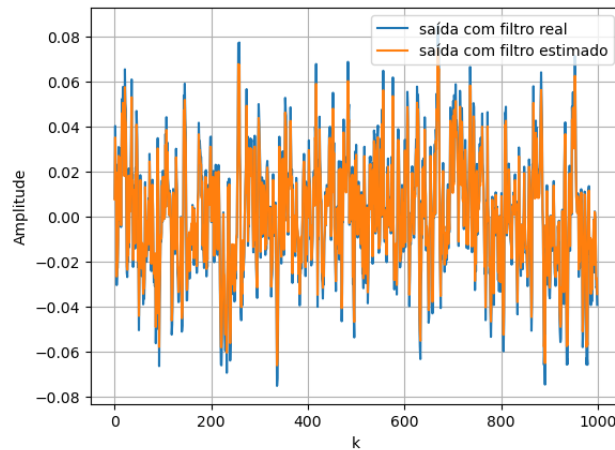


Figure 2: Evolução do erro de cancelamento com ruído branco, em dB

3 Exercício 3

- 3.1** Leve em conta que o sinal de áudio do arquivo `Flauta.wav` é um sinal de interesse, cujo ruído deve ser cancelado. Adicione ruído gaussiano ao sinal deste arquivo e utilize o algoritmo FxLMS para cancelá-lo, mantendo a informação do arquivo de áudio original. Para isso, utilize as mesmas amostras de ruído adicionado como entrada do microfone de controle de ruído. Apresente graficamente: A evolução do erro de cancelamento na saída do sistema e a comparação entre o sinal original (sem ruído) e o sinal após o sistema.

O gráfico da figura 3 mostra a evolução dos coeficientes do filtro adaptativo ao longo da execução do LMS. Os pesos iniciais são todos zero, os pesos finais representam o filtro aprendido para cancelar o ruído adicionado ao sinal de flauta.

O ajuste dos coeficientes indica que o filtro LMS conseguiu aprender um modelo do ruído e está tentando subtrair sua contribuição do sinal original. Mudanças nos

pesos durante a execução são esperadas e desejadas, já que mostram uma adaptação ao ruído.

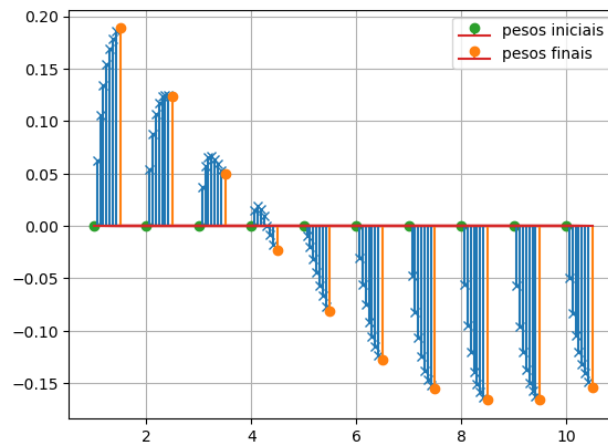


Figure 3: Evolução dos coeficientes w .

O gráfico na parte superior da figura 4, compara diretamente a saída do filtro (sinal estimado) com o sinal de flauta ruidoso:

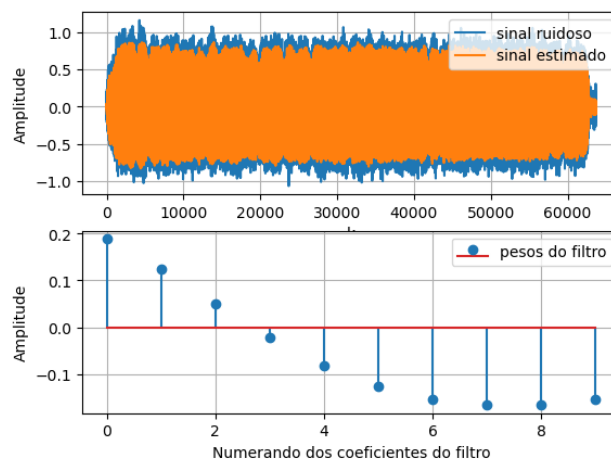


Figure 4: Comparação da saída do filtro com o sinal de flauta original e Erro de cancelamento em escala logarítmica.

O gráfico na parte inferior mostra os valores finais dos pesos w do filtro adaptativo após o processo de aprendizado. Já para o gráfico na parte superior da figura 5, a curva azul representa o sinal original com o intuito de comparar a saída estimada e a original.

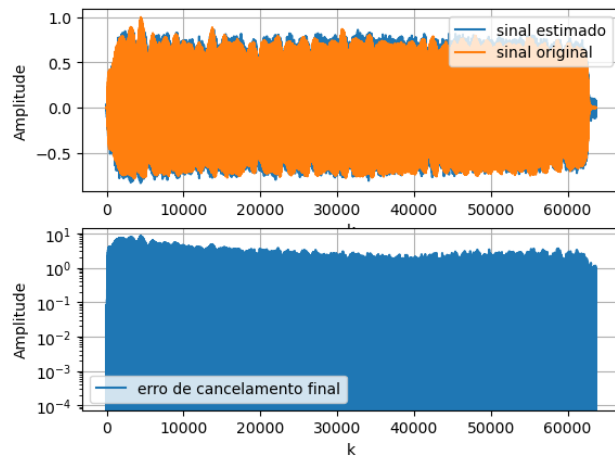


Figure 5: Comparação entre Sinal Ruidoso e Sinal Estimado e Coeficientes do Filtro LMS (pesos finais)

O filtro se mostrou capaz de aproximar o sinal original e seletivamente cancelar a parte ruidosa. Contudo, o sinal de saída ainda apresenta erro e, por isso, necessita de alterações no número de iterações, ordem do filtro ou coeficiente de aprendizado μ .