



Implementação de um método de cancelamento de realimentação acústica em sistemas de sonorização

RESUMO

Cézar Fumio Yamamura
cezaryamamura@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, UTFPR, Cornélio
Procópio, Paraná, Brasil.

Bruno Catarino Bispo
brunobispo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, UTFPR, Cornélio
Procópio, Paraná, Brasil.

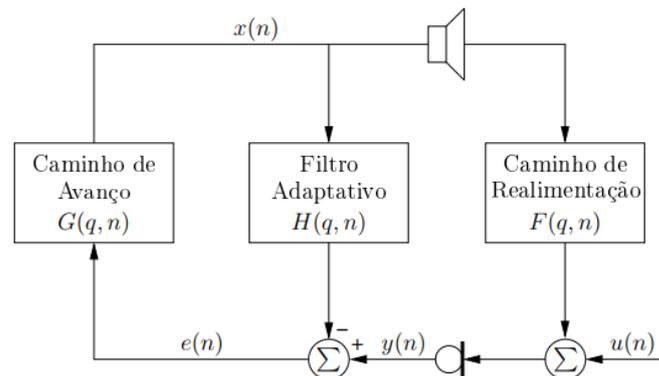
OBJETIVO: Este trabalho objetiva, inicialmente, estudar o problema da realimentação acústica em sistemas de sonorização e a ineficácia dos métodos de cancelamento de realimentação acústica (AFC) que utilizam os tradicionais algoritmos de filtragem adaptativa baseados no gradiente e mínimos quadrados. Num segundo momento e como meta principal, este trabalho objetiva implementar o método AFC baseado no cepstro do sinal de erro (AFC-CE). **MÉTODOS:** Nesta primeira etapa do trabalho, a implementação e avaliação do método AFC-CE foram realizadas em ambiente simulado utilizando o *software* Mathworks Matlab e 10 sinais de voz. O método foi avaliado pela medição do máximo ganho estável (MSG) do sistema em dois experimentos. No primeiro, o ganho de amplificação permaneceu em seu valor inicial durante os 20 s de simulação. No segundo, o ganho permaneceu em seu valor inicial durante 5 s, em seguida foi aumentado em 30 dB a uma taxa de 1 dB/s e então ficou constante durante 10 s. Em etapas futuras, o método será implementado em ambiente simulado e em tempo real utilizando a linguagem de programação C/C++. **RESULTADOS:** No primeiro experimento, o método AFC-CE aumentou o MSG em 13 dB. No segundo, o método apresentou um melhor desempenho ao aumentar o MSG em 30 dB. **CONCLUSÃO:** Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que o método AFC-CE é capaz de aumentar o MSG de um sistema de sonorização em até 30 dB e estão condizentes com os resultados apresentados no artigo científico onde o método foi proposto, indicando uma correta implementação do método.

PALAVRAS-CHAVE: Cancelamento de realimentação acústica. Sistema de sonorização. Filtragem adaptativa.

1 INTRODUÇÃO

Um típico sistema de sonorização utiliza microfones, um sistema de amplificação e alto-falantes para captar, amplificar e reproduzir, respectivamente, o sinal de entrada $u(n)$ no mesmo ambiente. Desconsiderando o filtro adaptativo, esse sistema é ilustrado na Figura 1 (VAN WATERSCHOOT; MOONEN, 2011). O acoplamento acústico entre alto-falante e microfone pode fazer o sinal do alto-falante $x(n)$ ser captado pelo microfone após atravessar o caminho de realimentação acústica, gerando assim um laço fechado de sinal.

Figura 1 – Cancelamento de realimentação acústica



Fonte: YAMAMURA, C. F.; NOGUEIRA, W. S. N.; BISPO B. C., 2017.

O caminho de realimentação inclui o caminho acústico direto e os causados por reflexões, e é definido como um filtro $F(q, n)$. O caminho de avanço inclui as características do amplificador e é definido como um filtro $G(q, n)$. Detalhes sobre a notação podem ser encontrados em (BISPO; FREITAS, 2015).

O sinal do alto-falante $x(n)$ está relacionado com o sinal de entrada $u(n)$ pela função de transferência em malha fechada do sistema da seguinte forma

$$x(n) = \frac{G(q, n)}{1 - G(q, n)F(q, n)} u(n). \quad (1)$$

O critério de estabilidade de Nyquist afirma que o sistema em malha fechada pode se tornar instável se houver pelo menos uma frequência ω para a qual

$$\begin{cases} |G(e^{j\omega}, n)F(e^{j\omega}, n)| \geq 1 \\ \angle G(e^{j\omega}, n)F(e^{j\omega}, n) = 2k\pi, k \in \mathbb{Z}. \end{cases} \quad (2)$$

Neste caso, o resultado é um som tipo apito, fenômeno conhecido como efeito Larsen. Esse som tipo apito será muito incômodo para os ouvintes e o ganho de amplificação terá que ser reduzido. Como consequência, o máximo ganho estável (MSG) do sistema de sonorização tem um limite superior devido à realimentação acústica (VAN WATERSCHOOT; MOONEN, 2011), (BISPO; FREITAS, 2015).

Para controlar o efeito Larsen e aumentar o MSG, os métodos de cancelamento de realimentação acústica (AFC) identificam $F(q, n)$ utilizando um filtro adaptativo $H(q, n)$. Então, o sinal de realimentação $F(q, n)x(n)$ é estimado como $H(q, n)x(n)$ e subtraído do sinal do microfone $y(n)$ de forma que, idealmente, $e(n) = u(n)$ (VAN WATERSCHOOT; MOONEN, 2011), (BISPO;

FREITAS, 2015). Esse esquema é representado na Figura 1 e similar ao cancelamento de eco acústico (AEC) utilizado em sistemas de teleconferência.

Porém, no AFC, os tradicionais algoritmos de filtragem adaptativa, baseados no gradiente ou mínimos quadrados, apresentam desempenho insatisfatório porque os sinais que agem como entrada, $x(n)$, e interferência, $u(n)$, para o filtro adaptativo $H(q, n)$ são correlacionados (VAN WATERSCHOOT; MOONEN, 2011), (YAMAMURA; NOGUEIRA; BISPO, 2017, no prelo).

Este trabalho objetiva implementar e avaliar o método AFC proposto em (BISPO; FREITAS, 2015). Nesta etapa, isso será realizado em ambiente simulado utilizando o *software* Mathworks Matlab. Posteriormente, isso será feito em ambiente simulado e em tempo real utilizando a linguagem de programação C/C++.

2 METODOLOGIA

Essa seção irá apresentar o método AFC a ser implementado e avaliado, a base de dados utilizada para criar os sinais de entrada do sistema e a configuração do sistema de sonorização simulado.

2.1 MÉTODO AFC-CE

Em sistemas de sonorização com filtro adaptativo, como ilustrado na Figura 1, o cepstro do sinal de erro $e(n)$ pode ser definido como (BISPO; FREITAS, 2015)

$$c_e(n) = c_u(n) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\{\mathbf{g}(n) * [\mathbf{f}(n) - \mathbf{h}(n)]\}^{*k}}{k!}, \quad (3)$$

onde $c_u(n)$ é o cepstro do $u(n)$ e $\{\cdot\}^{*k}$ denota k convoluções sucessivas.

O método de cancelamento de realimentação acústica baseado no cepstro do sinal do erro (AFC-CE) estima $\mathbf{g}(n) * [\mathbf{f}(n) - \mathbf{h}(n)]$, a resposta ao impulso do sistema em malha-fechada, pela seleção das primeiras $L_G + L_H - 2$ amostras do $c_e(n)$. Fazendo a convolução do resultado com $\mathbf{g}^{-1}(n)$ e, em seguida, adicionar $\mathbf{h}(n - 1)$, o método AFC-CE calcula uma estimativa $\hat{\mathbf{f}}(n)$ da resposta em impulso do caminho da realimentação. Com o intuito de tornar o método robusto a distúrbios de curta duração, a atualização do filtro adaptativo é realizada como

$$\mathbf{h}(n) = \lambda \mathbf{h}(n - 1) + (1 - \lambda) \hat{\mathbf{f}}(n), \quad (4)$$

onde $0 < \lambda < 1$ é o fator que controla o compromisso entre a robustez e capacidade de rastreamento do filtro adaptativo (BISPO; FREITAS, 2015).

2.2 BASE DE DADOS

Os sinais de entrada $u(n)$ foram criados a partir de sinais, dito básicos, de um banco de sinais de voz. Cada sinal básico contém uma sequência curta gravada em um intervalo de tempo de 4 s e teve sua frequência de amostragem reduzida para 16 kHz. Todas as sentenças foram gravadas por locutores nativos, os quais possuem as seguintes nacionalidades e gêneros:

- 4 Americanos (2 masculinos e 2 femininos)
- 2 Ingleses (1 masculino e 1 feminino)
- 2 Franceses (1 masculino e 1 feminino)
- 2 Alemães (1 masculino e 1 feminino)

Como os experimentos necessitam de sinais com longa duração, vários sinais básicos do mesmo locutor foram concatenados e seus trechos de silêncio foram removidos, resultando assim em 10 sinais de voz (1 sinal por locutor).

2.3 SISTEMA DE SONORIZAÇÃO SIMULADO

A resposta ao impulso $f(n)$ do caminho de realimentação acústica foi uma resposta ao impulso de uma sala disponível em (JEUB; SCHÄFER; VARY, 2009), a qual teve sua frequência de amostragem reduzida para 16 kHz e foi truncada para ter tamanho $L_F = 1000$ amostras. Como em (VAN WATERSHOOT; MOONEN, 2011), (BISPO; FREITAS, 2015), o caminho de avanço foi um filtro invariante no tempo definido como um atraso de 25 ms e um ganho, isto é,

$$G(q, n) = g_{400}(n)q^{-400}, \quad (5)$$

onde o ganho $g_{400}(0)$ foi escolhido de forma que o sistema tivesse uma margem de ganho estável inicial igual a 3 dB.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho avaliou o desempenho do método pela medição do MSG em dois experimentos. No primeiro, o ganho de amplificação ficou constante ($\Delta K = 0$) durante 20 s. No segundo, o ganho permaneceu em seu valor inicial durante 5 s e, em seguida, foi aumentado em $\Delta K = 30$ dB a uma taxa de 1 dB/s com o objetivo de simular uma pessoa aumentando o ganho de amplificação. Após isso, o ganho ficou constante durante 10 s para verificar se o filtro adaptativo conseguia manter a estabilidade do sistema mesmo com um elevado ganho de amplificação.

Os resultados médios, considerando os 10 sinais de voz, do método AFC-CE estão exibidos na Figura 2. Como pode ser observado na Figura 2(a), o método obteve um aumento no MSG de 13 dB quando $\Delta K = 0$. Quando $\Delta K = 30$ dB, o método foi capaz de manter a estabilidade do sistema durante toda a simulação e obter um aumento no MSG de 30 dB, como pode ser visto na Figura 2(b).

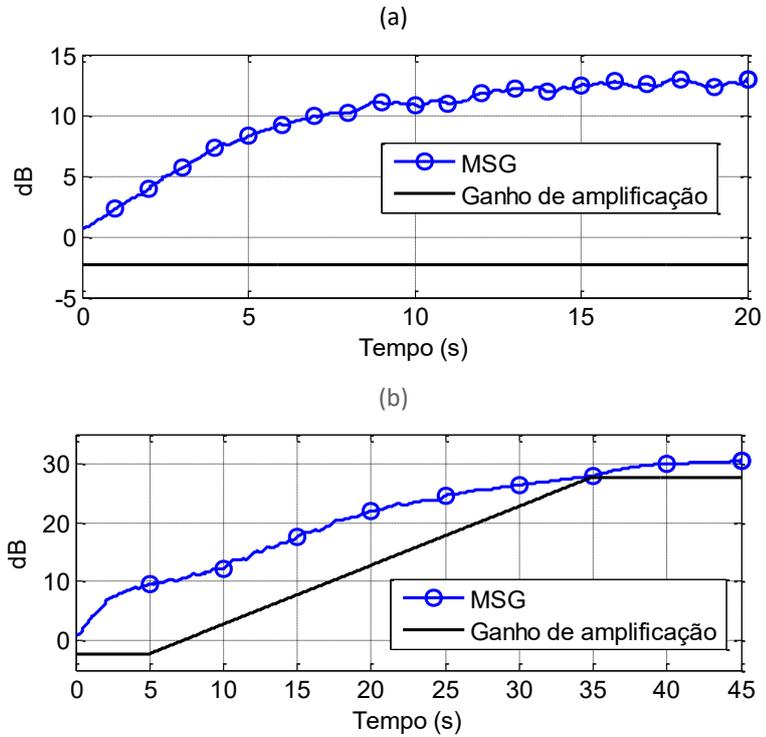
Os resultados obtidos pelo método AFC-CE neste trabalho estão condizentes com os apresentados em (BISPO; FREITAS, 2015), o que indica uma correta implementação do método. Além disso, os resultados corroboram a eficácia do método AFC-CE em cancelar a realimentação acústica em sistemas de sonorização.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho implementou e avaliou o método de cancelamento de realimentação acústica baseado no cepstro do sinal de erro. Os resultados obtidos em ambiente simulado e utilizando sinais de voz demonstraram que o

método é capaz de aumentar o máximo ganho estável do sistema em até 30 dB. Em etapas futuras, o método será implementado em ambiente simulado e em tempo real utilizando a linguagem de programação C/C++.

Figura 2 – Resultados médios do método AFC-CE: (a) $\Delta K = 0$; (b) $\Delta K = 30$ dB.



Fonte: Autoria própria.

Implementation of an acoustic feedback cancellation method in sound reinforcement systems

ABSTRACT

OBJECTIVE: This work aims, initially, to study the acoustic feedback problem in sound reinforcement systems and the inefficiency of the acoustic feedback cancellation (AFC) methods that use the traditional adaptive filtering algorithms based on the gradient or least-squares. In a second moment and as main goal, this work aims to implement the AFC method based on the cepstrum of the error signal (AFC-CE). **METHODS:** In this first stage of this work, the implementation of the AFC-CE method was performed in a simulated environment using the software Mathworks Matlab and 10 speech signals. The method was evaluated through the maximum stable gain (MSG) of the system in two experiments. In the first, the amplification gain remained at its initial value throughout the 20 s simulation. In the second, the gain remained at its initial value during 5 s, then was increased by 30 dB at a rate of 1 dB/s and afterwards remained constant during 10 s. In future stages, the method will be implemented in a simulated environment and in real-time using the C/C++ programming language. **RESULTS:** In the first experiment, the method AFC-CE increases the MSG by 13 dB. In the second, the method presented a better performance and increased the MSG by 30 dB. **CONCLUSIONS:** The results obtained in this work demonstrate that the AFC-CE method can increase the MSG of a sound reinforcement system up to 30 dB and are consistent with the results presented in the scientific article where the method was proposed, indicating a correct implementation of the method.

KEYWORDS: Acoustic feedback cancellation. Sound reinforcement systems. Adaptive filtering.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação Araucária, à Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (SETI-PR) e ao Governo do Estado do Paraná, pelo apoio financeiro recebido para viabilizar este trabalho.

REFERÊNCIAS

BISPO, B. C.; FREITAS, D. R. S. On the use of cepstral analysis in acoustic feedback cancellation. **Digital Signal Processing**, vol. 44, pp. 88–101, September 2015.

JEUB, M.; SCHÄFER, M.; VARY, P. A binaural room impulse response database for the evaluation of dereverberation algorithms. **In: Proceedings of International Conference on Digital Signal Processing**, Santorini, Greece, July 2009.

VAN WATERSCHOOT, T.; MOONEN, M. Fifty years of acoustic feedback control: state of the art and future challenges. **Proceedings of the IEEE**, vol. 99, no. 2, pp. 288–327, February 2011.

YAMAMURA, C. F.; NOGUEIRA, W. S. N.; BISPO, B. C. Análise de Mínimos Quadrados do Cancelamento de Realimentação Acústica. **In: Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais**, São Pedro, Brasil, Setembro 2017. No prelo.

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017.

Como citar:

YAMAMURA, C. F.; BISPO, B. C., Implementação de um método de cancelamento de realimentação acústica em sistemas de sonorização. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Cézar Fumio Yamamura

Alameda Santa Cruz, número 583, Centro, Adamantina, SP, Brasil.

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

