

TÉCNICAS PARA OBTER O CONTROLE ATIVO DE RUÍDO

TECHNICS FOR ACTIVE NOISE CONTROL

RODRIGO MARTINS MORAES^{1*}, TALES VITOR NONATO², SERGIO CARLOS DA SILVA³

1. Aluno do curso de graduação em Engenharia elétrica da Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional – FEITEP; 2. Graduado em Física - Licenciatura Plena pela Universidade Estadual de Maringá - PR (2009), Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Londrina (2014); 3. Graduado em Física pela Universidade Estadual de Maringá – PR (1983), Especialista em Ensino Interdisciplinar Teórico e Prático- Morfofisiologia pela Universidade Estadual de Maringá – PR (2005) e Especialista em GESTÃO PÚBLICA pela faculdade Instituto Superior de Educação do Paraná (2014).

* Rua Pioneiro Rosário André Elvira Canteiro, 148, Iguatemi, Maringá, Paraná, Brasil, CEP 87103-142. rodrigo159951@gmail.com

Recebido em 09/06/2017. Aceito para publicação em 13/06/2017

RESUMO

O controle ativo de ruído (CAR) consiste em utilizar o princípio de interferência de ondas para criar um antirruído com mesma amplitude e frequência, porém com fase invertida a fim de anular o ruído indesejado. Neste trabalho será apresentada algumas técnicas para se produzir o antirruído a fim de obter máxima eficiência no cancelamento do ruído.

PALAVRAS-CHAVE: Controle ativo de ruído, controle de ruído, ruído.

ABSTRACT

The active noise control (ANC) consists of using the principle of wave interference to create a anti noise with the same amplitude and frequency, but with inverted phase to cancel the unwanted noise. This document presents some technics to get the anti noise in order to obtain maximum efficiency in noise cancellation.

KEYWORDS: Active noise control, noise control, noise.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a qualidade de vida em um ambiente residencial e industrial é valorizada pela sociedade. Um dos principais fatores neste quesito a ser considerado é em relação à exposição a elevados níveis de ruído. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) conceitua o ruído como a mistura de tons cujas frequências diferem entre si, por valor inferior à discriminação (em frequência) do ouvido. O ser humano, quando exposto a um ruído contínuo, tende a ficar estressado, o que aumenta a ocorrência de acidentes e reduz a produtividade no trabalho. Uma pessoa exposta a 90 dB (decibéis) de ruído por 8 horas diárias regularmente tende a

ter uma lesão coclear irreversível^{1,2}. O controle de ruído ativo pode ser utilizado para minimizar o barulho de motores que podem prejudicar a audição das pessoas que trabalham próximo a eles, e diminuir a poluição sonora³.

O som audível pelo ouvido humano está na faixa de frequência entre 20Hz e 20KHz. As ondas sonoras são ondas mecânicas e longitudinais, ou seja, se propagam somente através de um meio material, como o ar, por exemplo, provocando compressões e rarefações sem transportar matéria e, normalmente, sem provocar uma grande mudança na pressão normal do meio. As ondas sonoras podem sofrer interferência de outra onda sonora. Se elas estiverem em fase, ocorre uma interferência construtiva, ou seja, elas se somam, enquanto que, se estiverem defasadas elas podem se somar, ou se destruírem em alguns pontos. Caso estejam defasadas em 180 graus, ocorre somente a interferência destrutiva, em que o som é anulado^{4,5,6}.

O controle ativo de ruído (CAR) consiste em utilizar o princípio de interferência de ondas para criar uma vibração (antirruído) com mesma amplitude, porém com fase invertida a fim de anular o ruído desejado^{7,8,9}.

O controle de ruído ativo foi idealizado por Paul Lueg em 1933. Como os recursos tecnológicos para hardware da época eram limitados, os estudos de controle ativo foram praticamente interrompidos. Recentemente foram retomados devido à grande capacidade de processamento e velocidade dos processadores atuais¹⁰.

Nos últimos anos o controle ativo de ruído recebeu grande atenção, pois ele pode ser mais barato que métodos passivos¹¹ e é capaz de destruir ondas sonoras de baixa frequência com grande efetividade, o que é muito difícil de obter utilizando métodos passivos^{12,7,8,9}.

O CAR geralmente consiste em utilizar um microfone para detecção do ruído, um sistema para inverter a fase do ruído detectado, um alto-falante para emitir o antirruído e

um microfone para detecção de erro^{13,14}. Existem vários métodos para conseguir o controle de ruído ativo com grande eficiência.

Neste trabalho será apresentada uma revisão bibliográfica das técnicas utilizadas para se obter o controle ativo de ruído e suas aplicações, vantagens e desvantagens, bem como alguns métodos para aplicações em ambientes abertos e fechados.

2. DESENVOLVIMENTO

Técnicas de obtenção do CAR:

Sistema de Controle Ativo de Ruído Utilizando Conexão em Cascata de Filtros de Resposta de Impulsos Finitos e Infinitos como Filtro de Controle de Ruído (*Active noise control system using cascade connection of finite and infinite impulse response filters as noise control filter*)

Esta é uma técnica utilizada para diminuir a distância entre o microfone de detecção de ruído e o alto-falante formando um tipo de controle por antecipação (*feedforward*) de controle ativo de ruído. Nesta técnica o ruído primário detectado pelo microfone deve chegar ao mesmo tempo que o ruído emitido pelo alto-falante de antirruído ao microfone de erro, caso o contrário haverá reverberação e não haverá cancelamento do ruído primário^{13,14}.

O *Filtered-x algorithm* é amplamente utilizado para estimar o antirruído, no entanto possui uma desvantagem sem solução que é o antirruído gerado captado pelo microfone de erro que por sua vez envia o erro ao algoritmo para que ele elimine este novo ruído. O antirruído muda constantemente e essa mudança constante aumenta naturalmente o erro de modelagem do filtro fazendo com que o filtro entre em um estado incontrollável^{13,14}.

Um método de equações simultâneas é proposto para resolver este problema. Este método consiste em utilizar um filtro auxiliar para identificar o ruído original e o antirruído, produzindo duas equações independentes, utilizando os erros de estimativa envolvidos nos coeficientes obtidos pelo microfone de erro. Os melhores coeficientes para a saída do microfone de erro são derivados das equações, por iteração da derivação o método pode recuperar automaticamente o efeito de redução de ruído^{13,14}.

Na aplicação do CAR, existe ainda outro problema importante que é a distância entre o ruído primário e o antirruído, se ambos não chegarem simultaneamente ao microfone de erro ocorre a reverberação. Este método oferece um meio de cancelar a reverberação e diminuir a distância^{13,14}. A configuração deste método é representada pelo diagrama da figura 1.

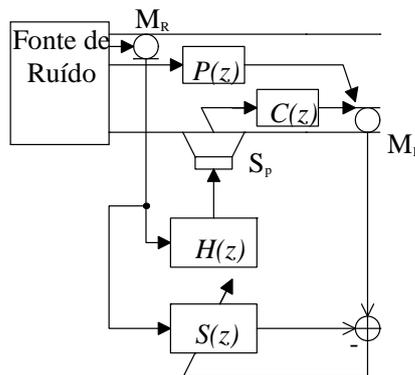


Figura 1. Configuração de um sistema de controle de ruído utilizando o método de equações simultâneas.

A equação é obtida aplicando o método da equação simultânea nesta configuração de CAR.

$$S(z) = P(z) + C(z)H(z) \quad (1)$$

Onde $S(z)$, $P(z)$, $C(z)$ e $H(z)$ são funções de transferência do filtro auxiliar. Para que o filtro funcione perfeitamente $S(z)$ deve ser igual a zero. Então se $S(z) = 0$, $0 = P(z) + C(z)H_{opt}(z)$.

Desta relação obtemos

$$H_{opt}(z) = -\frac{P(z)}{C(z)} \quad (2)$$

A equação (2) indica que para derivar $H_{opt}(z)$ é necessário estimar $P(z)$ e $C(z)$, para estima-los o método de equações simultâneas dará dois diferentes vetores de coeficientes, cujas funções de transferência são $H_1(z)$ e $H_2(z)$, para o filtro de controle de ruído.

$$H_1(z) \neq H_2(z) \quad (3)$$

$$S_1(z) = P(z) + C(z)H_1(z) \quad (4)$$

$$S_2(z) = P(z) + C(z)H_2(z) \quad (5)$$

$$P(z) = \frac{S_2(z)H_1(z) - S_1(z)H_2(z)}{H_1(z) - H_2(z)} \quad (6)$$

$$C(z) = \frac{S_1(z) - S_2(z)}{H_1(z) - H_2(z)} \quad (7)$$

Agora $H_1(z) \neq H_2(z)$ satisfaz a relação

$$S_1(z) \neq S_2(z) \quad (8)$$

Substituindo (6) e (7) em (2) temos:

$$H_{opt}(z) = -\frac{P(z)}{C(z)} = \frac{S_2(z)H_1(z) - S_1(z)H_2(z)}{S_2(z) - S_1(z)} \quad (9)$$

Assim temos que o erro captado pelo microfone de erro pode ser suposto pelo filtro e a utilização dos mesmos não degradam o efeito de redução de ruído. Na aplicação do sistema em cascata, o filtro de controle de ruído é formado pela conexão em cascata dos filtros IIR (*Infinite Impulse Response*) e FIR (*Finite Impulse Response*). A reverberação pode ser cancelada pelo filtro IIR impedindo que aconteça a reverberação. Este método, representado pela figura 2, prevê uma grande redução de

ruído sem atrasar o caminho do microfone de detecção de ruído ao alto-falante^{13,14}.

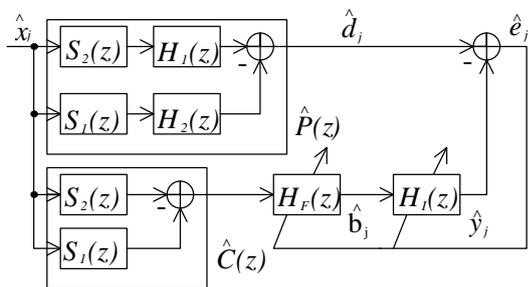


Figura 2. Sistema em cascata dos filtros IIR e FIR.

Controle Ativo de Ruído Utilizando a Técnica de Modo Intrínseco (Active Noise Control Using Intrinsic Mode Function Technique)

Nesta técnica, foi utilizado um sistema de rede neural com o *multilayer perceptron* (MLP) projetado e treinado com características extraídas de sinais de ruído para classificação, em seguida o modo empírico de decomposição (MED) é usado para o controle ativo de ruído (CAR). Esta técnica é utilizada para decompor os dados disponíveis a partir de processo não estacionário e não-linear. O sinal de ruído consiste em componentes diferentes que podem ser obtidos por decomposição e pode ser utilizado para o processamento e a geração de sinal de antirruído. Tal técnica é útil para problemas que requerem alta resolução, mas podem ser separados no domínio do tempo³.

O MED é uma técnica de dados totalmente orientado usado para identificar escalas de tempo apropriadas que expõem características físicas do sinal, e em seguida decompor este sinal em componentes de banda estreita intrínseca à função³.

A rede neural proposta consiste em catorze neurônios na camada de entrada e dois neurônios na camada de saída. Os dois neurônios de saída representam dois barulhos diferentes, o ruído do tanque M109 (obuseiro autopropulsado) e o ruído da cabine do piloto de um F16 (aeronave do tipo caça a jato). Cada neurônio de entrada é conectado a cada neurônio de saída por uma camada escondida, totalizando dez neurônios e assim formando a matriz de peso de 2x14. Como há catorze FMIs (Função de Modo Intrínseco) considerado em uma amostra de ruído de 1 segundo, de modo que um total de 1750 amostras para 125 segundos de cada ruído são feitas, um total de 3500 amostras de dois ruídos são alimentados para treinar a rede neural³.

A rede neural foi capaz de identificar se o ruído era do tanque ou da cabine do piloto com sucesso em mais de 90% das vezes. A técnica de MED é utilizada para decompor o sinal de ruído em suas FMIs correspondentes, e a soma destes FMIs gera o sinal de ruído utilizado para gerar o sinal de antirruído. O sinal de ruído e o sinal de

antirruído são sobrepostos para obter o ruído residual, que é um sinal suprimido³.

Redução Ativa de Ruído em Fones de Ouvido Utilizando Circuito Analógico (Op-Amp)

Esta técnica utiliza um par de fones de ouvido com isolamento passivo (almofadas circulares que cobrem a orelha) e um circuito de CAR composto por microfones e um circuito de amp-op (amplificador operacional). Os amp-op's são componentes eletrônicos para amplificação de tensão e para realizar operações matemáticas em circuitos analógicos e também para inversão de fase do sinal¹⁵.

Nesta técnica de CAR, o microfone de captação de ruído fica do lado de fora do fone e é ligado a um amp-op não inversor para amplificar o sinal, que é enviado para a entrada inversora de outro amp-op, que por sua vez inverte o sinal do microfone e envia este sinal para outro amp-op que é utilizado para somar o ruído externo invertido (que cancelará o ruído externo) com o sinal de áudio desejado para que seja emitido pelo alto-falante do fone de ouvido garantindo que o ruído seja completamente anulado¹⁵.

Aplicações do CAR

O CAR é utilizado para cancelar ruídos indesejados através de alto-falantes que produzem um áudio com fase oposta e mesma frequência que o ruído para que haja o cancelamento do ruído.

O CAR geralmente é aplicado a fones de ouvido, por ser mais barato e por funcionar muito bem, porém isso dificulta a comunicação do usuário com os demais, pois não somente o ruído é anulado, mas todo som audível. Para resolver esses problemas, técnicas foram desenvolvidas para cancelar somente o ruído desejado, como utilizar filtros passa-faixa para cancelar somente a faixa de áudio do ruído, como também a técnica de modo intrínseco que é capaz de identificar e anular somente o ruído desejado. Porém quando o número de pessoas afetadas pelo ruído é muito grande, fica praticamente inviável o uso de fones para abafar o ruído, a seguir será apresentado alguns métodos para aplicações em ambientes aberto e fechado^{3,15}.

Controle Ativo de Ruído Em Dutos de Ventilação

Este método é utilizado para diminuir o ruído gerado por ventiladores e ar-condicionado em dutos de ventilação, O ruído produzido por ventiladores ou exaustores é do tipo de banda larga, ou seja, varia entre 100 a 500 HZ. Todo o sistema de CAR deve ser introduzido ao duto sem que a vibração do alto-falante atuador afete o sistema. O funcionamento é simples, utiliza-se um microfone para detecção do ruído, um dispositivo para inversão do ruído e um alto-falante para emitir o antirruído e um microfone para detectar o erro do sistema e calibrar o dispositivo.

Esta aplicação tem se mostrado muito promissora em plataformas de petróleo onde a maior parte da ventilação é feita através de dutos de ventilação, diminuindo consideravelmente o ruído em dutos de ventilação com uma única seção, porém com dutos com várias seções ainda não foi obtido um resultado animador, por esse tipo de duto provocar muitas turbulências no ar^{16,17,18}.

Controle Ativo de Ruído em Campo Aberto

O ruído gerado por transformadores de potência é um problema em subestações de energia, visto que o ruído prejudica os trabalhadores do local. Pensando nisso, tem-se empregado o sistema de isolamento acústico passivo, porém este tipo de isolamento é muito caro e difícil a manutenção do transformador¹⁹.

Ao longo dos anos vem-se tentando aplicar a técnica de CAR para baratear os custos do isolamento acústico e não atrapalhar a manutenção dos transformadores. Em um experimento realizado na Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista – CTEEP de Santa Bárbara d'Oeste por José Gilberto Lima, foi verificado uma redução de ruído de 20 dB próximo ao microfone de erro, utilizando o DSP6713 da Texas para processamento dos dados para o CAR²⁰.

3. CONCLUSÃO

O Conforme observado, as técnicas de CAR prometem reduzir o ruído para evitar prejuízos à saúde humana, porém estas técnicas precisam ser aprimoradas para emprego no dia-a-dia, tanto em fones de ouvido, quanto em subestações de energia e indústrias, tornando o ambiente mais agradável. Esperamos que com o emprego do CAR em indústrias os índices de acidentes provocados por stress diminuam, e, que com a popularização do CAR, esta técnica se aplique também a ambientes urbanos.

REFERÊNCIAS

- [01] Araújo S. Perda auditiva induzida pelo ruído em trabalhadores de metalúrgica. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia* 68; 02/2012.
- [02] Dra. Padovani C, Nova C, Queirós F, Silva L. Percepção das condições auditivas (*HANDICAP*) pelos servidores públicos da universidade do estado da Bahia: considerações sobre o projeto saúde auditiva. *Revista Baiana de Saúde Pública*; 12/2004; V. 28 n.2, 203-211.
- [03] Narang N, Sharma MK, Vig R. Active Noise Control Using Intrinsic Mode Function Technique. *ICCICN*; 2013; 210-214.
- [04] Halliday R, Walker J. Fundamentos de física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica; tradução e revisão técnica: Ronaldo Sergio de Biasi- Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- [05] Segway RA, Jewett JW. Princípios de física: movimento ondulatório e termodinâmica. Tradução: Leonardo Freire de Mello, Tania m. v. freire de Mello, revisão técnica: Andre Koch Torres Assis, São Paulo: cengage learning, 2013.
- [06] Nussenzveig H. Curso de física básica- vol 2, 4ª edição rev. - São Paulo: blucher, 2002.
- [07] Yang X, Wu C, Li X, Fu Q, Yan Y. A new robust auxiliary noise power scheduling for online secondary path modeling in active noise control systems. *IEEE*; 2014; 224-229.
- [08] Kuo SM, Morgan DR. Active Noise Control: A Tutorial Review. *Proceedings of the IEEE*; 1999 Jun; 87(6): 943-973.
- [09] Silva CA, Souza JM, Sá da Costa JM. Inverse Fuzzy Modeling Applied to Active Noise Control. *ECC*; 2001; 126-131.
- [10] Bies D; Hansen C. *Engineering Noise Control*. 3 ed. Londres: Spon Press, 2003.
- [11] Bambang RT, Yacoub R, Hertanza R. Recent Progress in Adaptive Nonlinear Active Noise Control. *International Conference on Electrical Engineering and Informatics*; 2011 Jul.
- [12] Wang T, Gan WS, Chong YK. Psychoacoustic Hybrid Active Noise Control System. *ICASSP*; 2012; 321-324.
- [13] Kashihara K, Fujii K, Muneyasu M, Morimoto M. Active noise control system using cascade connection of finite and infinite impulse response filters as noise control filter. *ISCIT*; 2009; 621-626.
- [14] Kashihara K, Fujii K, Muneyasu M, Morimoto M. Active noise control system using IIR lattice filter. *ISPACS*; 2009; 73-76.
- [15] Benoit M, Camastra C, Kenny M, Li K, Romanowski R, Shannon K. *Engineering Silence: Active Noise Cancellation*; 2007.
- [16] Guedes FP. Controle Ativo de Ruído Em Dutos de Ventilação: Uma aplicação offshore; Rio de Janeiro – RJ, Brasil, setembro de 2006.
- [17] Osorio PL, Nóbrega MV. Controle Ativo de Ruído de Banda Larga em Dutos. *SBA Controle & Automação*, vol.6 n°2, maio-junho 1995.
- [18] Oliveira EL. Controle de Ruído Aplicado a Dutos com Propagação de Modos Acústicos de Alta Ordem Via Particionamento Axial. 2012. 130 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.
- [19] Masiero BS. Controle Ativo de Ruído Para Transformadores de Potência em Campo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 6 de agosto de 2007.
- [20] Lima JG, Paolillo GF, Júnior JC de S. Controle Ativo de Ruído em Campo Aberto. *SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. GSE 09, 14 a 17 outubro de 2007, Rio de Janeiro – RJ.