



20º POSMEC

SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Auralização de salas usando Guias Digitais de Ondas.

Autora

Ana Paula FREITAS VILELA BOAVENTURA

Orientador:

Marcus Antônio VIANA DUARTE

Com o recente avanço de equipamentos multimídia, o mercado tem se tornado cada vez mais exigente quanto a qualidade acústica dos ambientes, como por exemplo salas de cinema, auditórios, igrejas, salas de espetáculo entre outros. Como é possível observar, cada um desses recintos apresenta uma característica sonora própria, implicando numa inteligibilidade, clareza e tempo de reverberação diferenciados. Com o auxílio de técnicas computacionais é possível simular tais ambientes e, ainda durante a fase de projeto, propor soluções para que atender aos requisitos exigidos para cada caso.

Muitas técnicas e ferramentas estão disponíveis na literatura, porém o objetivo desse trabalho se concentra na simulação usando Guias Digitais de Ondas, que é um método baseado no comportamento da onda e cuja vantagem é a simplicidade do algoritmo e eficiência dos resultados (Moura, 2005). O grande foco dessa pesquisa, sem sombra de dúvidas, está no tratamento multifrequencial que permite realizar simulações mais realísticas, uma vez que é possível selecionar os coeficientes de absorção dos obstáculos em bandas de oitava. Resultados em análise multifrequencial foram explorados anteriormente por Boaventura, (2009), que serve como ponto de partida para a auralização desses ambientes e como resultado pretende-se construir uma ferramenta computacional voltada para a predição dos níveis de intensidade sonora nos mais diferenciados pontos dos ambientes virtuais.

Metodologia

As Guias Digitais de Ondas têm sua formulação baseada na solução unidimensional da Equação da Onda e por isso é capaz de simular as mais geometrias mais distintas. O esquema da propagação através das guias é mostrado na figura a seguir, sendo que os sinais ‘+’ e ‘~’ representam os sinais de entrada e saída dos nós (Juntas de Dispersão), Smith (1992). A transferência é representada por Z_t , sendo m o atraso temporal e P a pressão sonora proveniente dos nós.



Figura1: Representação do esquema de guias digitais de ondas

As iterações das ondas com os obstáculos são analisadas através de coeficientes que relacionam a pressão com os valores de impedância. Já os coeficientes de reflexão η e transmissão τ podem ser representados de acordo com as impedâncias dos meios distintos Z_1 e Z_2 , respectivamente, como mostram as relações abaixo, Smith (1992).

$$\eta = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (2)$$

A pressão em cada j -ésimo nó (P_j) pode ser expressa em termos da relação entre a pressão que sai dos nós vizinhos i , P_i^{+} e a impedância da vizinhança Ψ_i , para cada passo de tempo n .

$$P_j = \sum_{i=1}^{2N} P_i^{+} \Psi_i \quad (3)$$

Os valores de impedância de Ψ_i representa toda a vizinhança nas juntas de dispersão i . Esses valores são relacionados como a impedância característica da onda no próprio ponto através de R_i e a impedância no ponto vizinho R_j .

$$\Psi_i = \frac{2R_i}{R_j + \sum_{i=1}^{2N} R_i} \quad (4)$$

Para representar o movimento ondulatório é necessário arranjar as guias de tal forma que consiga simular a propagação da onda. Assim, para o caso bidimensional, a malha Triangular de Guias Digitais de Ondas – *Triangular Waveguide* TWG é uma excelente maneira de captar os caminhos de propagação da onda, uma vez que aumenta o número de pontos, como é possível observar na figura a seguir:

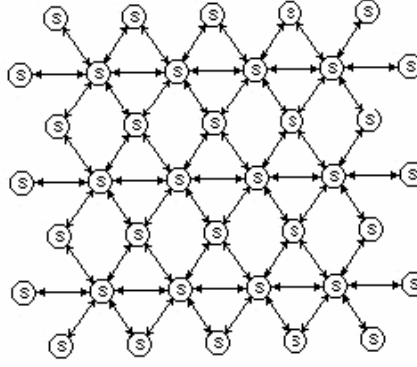


Figura2: Representação da malha TWG.

Observando a figura é possível constatar que os pontos em que as guias se cruzam, simbolizado por S, formam as juntas de dispersão. São nesses pontos em que a pressão sonora é calculada através da expressão:

$$P_j(n) = \frac{1}{3} \left[\sum_{i=1}^6 P_i(n-1) \right] - P_j(n-2) \quad (5)$$

Além disso, como a equação da onda tem a característica hiperbólica, há uma relação direta entre o tempo e espaço. Por isso o conceito de frequência de atualização da malha (f_s) é expresso pela expressão:

$$f_s = \frac{c\sqrt{N}}{\Delta x} \quad (6)$$

Onde c é a velocidade de propagação do meio, N o número de direções (para a malha TWG, $N=3$) e Δx é a distância entre os nós vizinhos.

Na intersecção entre os obstáculos e o meio, naturalmente ocorre a mudança de impedância, caracterizado pelos meios 1 e 2, respectivamente, Z_1 e Z_2 , (Blackstock, 2000) O coeficiente de reflexão é expresso por:

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (7)$$

Nesses pontos a pressão sofre influência da reflexão e é dado pela Eq.8:

$$p_j = (1-r)p_i \quad (8)$$

Resultados

Com o intuito de fazer a auralização, um sinal impulsivo foi gerado numa malha TWG. A impedância das bordas da malha foram definidas de tal forma que permitissem recriar uma condição de paredes rígidas e configurado de acordo com uma banda de frequência específica, com coeficiente de reflexão hipotético de 0.15. O tempo de simulação foi de 5 segundos e a membrana de 3 por 4 [m], sendo que a fonte foi posicionada no ponto (2.5,3.5) e o ponto receptor (2.5,3.5). O sinal de entrada foi de 4KHz. A resposta impulsiva é mostrada na sequência:

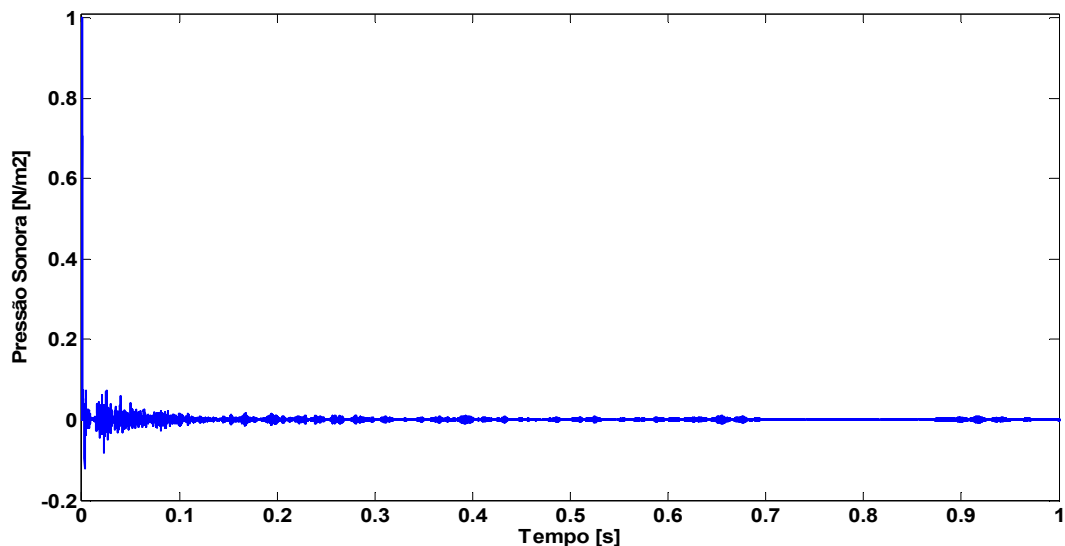


Figura3: Resposta impulsiva da membrana.

Com o valor da resposta impulsiva é possível fazer a convolução desse sinal com outra amostra de áudio e com isso, conseguir representar o sinal como se estivesse inserido. A integral de convolução é mostrada na seqüência

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau \quad (9)$$

Como trabalhos futuros, busca-se a implementação tridimensional da malha e devido ao grande esforço computacional, paralelizar o código para obter a resposta num tempo mais hábil.

Referências

- Blackstock D.T. *Fundamentals of Physical Acoustics* - J.Wiley, 2000.
- Boaventura, A. P.F.V.. *Análise de propagação acústica proveniente de fonte multifrequencial usando Guias Digitais de Ondas*. Dissertação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 2009.
- Moura H. G. *Simulação da Propagação de Ondas Acústicas Através de uma Malha de Guias Digitais de Ondas*. Dissertação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia. - Uberlandia, 2005
- Smith J.O. *Physical Modeling with Digital Waveguide*. Center of Computer Research in Music and Acoustics (CCRMA) - 1992.