

Auralização com *Wave Field Synthesis*

Marcio José da Silva

Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo - marcio.jose.silva@usp.br

Resumo: Para a realização de mestrado na ECA-USP foram propostos a pesquisa da aplicação prática da teoria de *Wave Field Synthesis (WFS)* e, conseqüentemente, o desenvolvimento de um sistema de sonorização para a criação imagens sonoras espaciais. Esta técnica permite, dependendo da quantidade de alto-falantes disponíveis instalados, projetar sons como os de instrumentos musicais e vozes em diferentes pontos do espaço de audição, em quase toda a área compreendida em espaços como salas de concerto e auditórios.

Palavras-chave: *Wave Field Synthesis*, auralização, espacialização sonora.

Auralization with *Wave Field Synthesis*

Abstract: To carry out studies at ECA-USP been proposed research into the practical application of the theory of *Wave Field Synthesis (WFS)* and, consequently, the development of a sound system for creating spatial sound images. This technique allows, depending on the amount of available speakers installed, designing sounds such as voices and musical instruments at different points of the listening space, in almost any area enclosed spaces such as concert halls and auditoriums.

Keywords: *Wave Field Synthesis*, auralization, sound spatialization.

1. Objetivos

Como projeto para o mestrado na ECA- USP foi proposto o desenvolvimento de um módulo de sonorização baseado na técnica de Síntese de Campo de Onda ou *Wave Field Synthesis (WFS)*, que busca controlar o posicionamento, ou a projeção, do som de cada objeto sonoro (criar imagens sonoras espaciais). Assim, espera-se produzir a sensação de estar em meio a fontes sonoras e, através de aproximações e afastamento das projeções dos sons, ouvi-los com maior ou menor destaque.

A ideia principal é construir uma implementação computacional modular e flexível para *WFS*. Espera-se que o sistema de sonorização proposto possa ser útil para desenvolver aplicações avançadas de instrumentação musical, como instrumentos espaciais virtuais. A implementação modular deve comandar uma matriz de *WFS* básica com 16 canais.

2. Utilização de técnicas de espacialização

A evolução tecnológica dos equipamentos de som foi, e continua sendo, incorporada a shows musicais, auditórios, salas de cinema, jogos de computador e sonorização de eventos teatrais, entre outras aplicações. As técnicas de sonorização vêm evoluindo e tendem a ter um número cada vez maior de alto-falantes necessários às novas implementações. Isto pode ser observado comparando-se, como feito por **Thomaz (2007)**, alguns sistemas de sonorização, como os sistemas monofônico, estéreo, quadrifônico e Ambisonics. As técnicas de espacialização de campo sonoro tem evoluído com as novas tecnologias de áudio e o aumento do poder de processamento dos computadores. Segundo Faria (2005), o desenvolvimento de um sistema de sonorização baseado em *Wave Field Synthesis (WFS)* traz como vantagem diminuir o número de pontos de interferência das ondas geradas, produzindo uma frente de onda mais próxima daquela que um instrumento real produziria no espaço de audição, através da sua projeção por um número bem mais elevado de alto-falantes que os usados nos sistemas comuns de áudio espacial.

3. Conceitos básicos

Em WFS, o objetivo principal é emular a frente de onda que seria produzida por objetos sonoros reais em um ambiente acústico específico, através de matrizes de alto-falantes densamente distribuídas na área de audição. Para que isso ocorra, cada alto-falante emite um sinal com um determinado atraso e com atenuação correspondente à sua posição para contribuir com a síntese de uma fonte virtual. Segundo de Vries (2009), a técnica de Wave Filed Synthesis foi introduzida em 1988 por A. J. Berkhout (Universidade TU Deft, Holanda). É baseada na teoria formulada no século XVII pelo físico holandês Christiaan Huygens, tendo como princípio fundamental obter o modelamento físico da propagação de frentes de ondas sonoras através da propagação e superposição de várias pequenas frentes de onda, o que requer uma formulação computacionalmente mais complexa.

Segundo Baalman (2008), cada alto-falante emite um sinal de áudio em instantes controlados de tempo, para que a soma das contribuições destes sinais possa sintetizar a frente de onda circular, correspondente à onda real. Os objetos sonoros também podem ser projetados em frente aos alto-falantes.

4. Características, aplicações e limitações de Wave Field Synthesis

Nos sistemas mais usados nas residências (estéreo e *home-theaters*), para que se possa obter o resultado de espacialização oferecido em cada um deles, é necessário que o ouvinte se posicione num determinado ponto entre as caixas de som, normalmente ficando numa poltrona fixa. Se várias pessoas estiverem no local, não poderão ficar neste mesmo ponto, não podendo ouvir o resultado da projeção do som da mesma forma. Nas diversas aplicações de WFS uma das ênfases é que cada ouvinte tenha sempre a mesma sensação de distribuição e percepção das fontes sonoras no espaço de audição. Em outras técnicas, a mudança da posição do ouvinte deve mudar a percepção do ponto onde está localizado o som. A técnica WFS se diferencia por permitir a localização do objeto independentemente da posição do ouvinte, de forma semelhante ao que ocorre com a projeção de imagens nos filmes em 3D. Segundo Baalman (2007), WFS produz imagens mais definidas e estáveis e é adequada para situações de concertos, pois, diferentemente das outras técnicas, abrange uma grande área de audição, podendo assim atender um maior número de ouvintes simultaneamente.

A espacialização sonora por WFS pode ser aplicada para aumentar as possibilidades de abstração nas composições musicais. Pode ser utilizada em conjunto com imagens ou objetos móveis. Segundo Baalman (2007), *Wave Field Synthesis* é adequada para situações de concertos, pois, diferentemente das outras técnicas, tem a capacidade em induzir a percepção de objetos sonoros localizados numa grande área de audição, podendo assim atender um maior número de ouvintes simultaneamente. Em relação à outras técnicas de auralização, permite outros tipos de movimento das fontes sonoras, tais como movimentos que usam controle mais preciso sobre a localização de fontes de som e movimentação através do espaço de audição, podendo haver uma fonte com uma posição fixa ou uma fonte que se move quando o ouvinte atravessa a região de audição. A utilização de WFS é imediata no cinema e similares, como, por exemplo, nos jogos de computador e em eventos teatrais. Nas artes plásticas, a espacialização sonora pode ser aplicada não apenas como suporte para imagens, mas como uma nova forma do conceito proposto por Schaeffer (1966), o objeto sonoro. Com a telepresença (transmissões audiovisuais imersivas à distância) haveriam concertos com a participação de músicos distantes entre si, como se estivessem integrados na mesma sala tocando lado a lado. Cada compositor, arranjador ou produtor em estúdio de gravação poderia pensar os arranjos e orquestrações em função da posição em que gostaria que cada som fosse reproduzido.

Apesar da técnica ser considerada por muitos autores a que mais permite aproximar a criação de campos sonoros sintéticos dos naturais, há limitações reconhecidas que devem ser observadas no projeto de sistemas para usos musicais, principalmente para que não se inviabilize a geração dos efeitos desejados.

Segundo Hulsebos (2004), com frequências altas, algo a partir de 1 kHz, se tornando mais crítico com o aumento da distância entre os alto-falantes, ocorre uma distorção com relação à espacialização do som sintetizado (“*aliasing*”). A frequência de *aliasing*, ou a frequência máxima de operação, é determinada pela diferença máxima de tempo entre a viagem do som de um alto-falante a um ouvinte e a viagem de outro alto-falante ao mesmo ouvinte, incluindo os atrasos necessários para que ocorra a síntese WFS.

Distâncias pequenas entre os cones dos alto-falantes possibilitam trabalhar com frequências de *aliasing* mais altas, o que é importante para que possam ser ouvidos os sons de instrumentos de registros bem agudos, assim deve-se buscar o menor espaçamento possível entre os transdutores, para que se possa contornar esta limitação.

A reprodução de som em WFS trabalha com um limite inferior não muito baixo, determinado pelas pequenas dimensões dos alto-falantes usados nesta técnica, diminuindo a boa reprodução das frequências mais graves.

Segundo Baalman (2008), em WFS, considerando que o ouvinte está em frente à matriz de alto-falantes, a fonte sonora deve ser renderizada atrás da matriz, sobre ela ou entre ela e o ouvinte. Por esta limitação, é determinada, em função do ouvinte, a linha de referência que serve para determinar até onde o sistema precisa projetar o objeto sonoro.

A implementação do sistema pode acabar custando caro já que exige um grande número de canais de áudio, conseqüentemente exigindo mais recursos de hardware, como interfaces de áudio e um grande número de alto-falantes.

5. Programas para *Wave Field Synthesis*

sWONDER

Segundo Baalman (2004), o projeto de pesquisa do sWONDER (Wave field synthesis Of New Dimensions of Electronic music in Realtime) começou em 2003, na Universidade Técnica de Berlim (TU Berlin), Alemanha.

A única instalação do sWONDER bem sucedida até o momento, nesta pesquisa, foi feita num dos computadores antigos do NEAC, no sistema operacional Debian 6.0 (32

bits), depois da complicada instalação das bibliotecas auxiliares, como por exemplo *OpenGL* (necessária para o funcionamento do protocolo *Open Sound Control*).

O programa pode ser configurado para operar com array de alto-falantes linear ou retangular, mas não circular. É possível escolher entre fontes virtuais pontuais ou ondas planas com direção definida. As imagens dos objetos sonoros podem se formar atrás, em frente ou sobre a matriz de alto-falantes. O controle do movimento dos objetos sonoros é feita via *mouse* interagindo com a interface de usuário, com a vantagem de poder optar entre o modo fade out na posição de origem e um fade in na posição de destino ou o modo que tenta movimentar continuamente o objeto, simulando o efeito Doppler. Tanto as cenas sonoras estáticas como as que têm objetos móveis podem ser salvas.

SSR

O SoundScape Renderer (SSR) foi desenvolvido por Jens Ahrens, Matthias Geier e Sascha Spors, um grupo de pesquisa da Universidade Técnica de Berlim, em colaboração com Telekom Innovation Laboratories. É um programa usado para reprodução de áudio espacial executado em GNU/Linux e Mac OS X. Os arquivos para a instalação (de todas as versões), bem como o manual de instruções, encontram-se disponíveis em: <https://dev.qu.tu-berlin.de/projects/ssr/files>. O projeto começou em maio de 2010 e encontra-se na sua 5ª versão (0.3.4), que foi a versão instalada num computador iMac (64 bits), sistema operacional Mac OS X. Foi feita apenas a verificação de seu funcionamento e verificou-se que cria as imagens sonoras que podem ser controladas via GUI, mas não foi feita ainda nenhuma comparação ou medida mais detalhada.

Pode ser configurado para operar com matrizes de alto-falantes lineares, retangulares ou circulares. Segundo Ahrens et al. (2012), qualquer programa que envia dados de áudio e qualquer entrada do hardware de áudio pode ser conectado ao SSR e pode servir como fonte de entrada, em tempo real. O SSR pode ser interligado a programas como *players* e gravadores. As imagens dos objetos sonoros podem se formar atrás, em frente ou sobre a matriz de alto-falantes. Pode-se trabalhar com fontes virtuais do tipo pontuais ou com ondas planas, o que leva a impressão que o objeto está bem distante (no infinito). É possível colocar os objetos sonoros em movimento fazendo o controle através do mouse na interface de usuário. A técnica consiste em fazer um fade out na posição de origem e um fade in na posição de destino. Cenas sonoras estáticas podem ser salvas, porém o mesmo não ocorre com as cenas em que os objetos sonoros se movem.

WFSPlayer de Daniel Salvador

Trata-se de um conjunto de patches (abstrações), construído no ambiente de programação Pure Data, desenvolvidos por César Daniel Salvador Castañeda, ex-pesquisador da *Universidad de San Martín de Porres (USMP)*, Peru, que concedeu o código-fonte do sistema de *WFS* para esta pesquisa. Pode ser utilizado em qualquer dos sistemas operacionais suportados pelo *Pure Data* (<http://puredata.info/>). Originalmente foi projetado para um arranjo de 35 alto-falantes dispostos em um círculo horizontal de 1,5 m de raio. O programa é totalmente experimental, não tem documentação formal nem site de distribuição.

Foram feitas algumas alterações para que o programa funcionasse com 6 alto-falantes dispostos em uma circunferência de raio 0,5 m. Nos testes iniciais, percebeu-se que existia apenas um efeito de *panning* entre as caixas, o que provavelmente era consequência do grande espaçamento entre os alto-falantes.

6. Protótipo inicial em *Pure Data*

Foi proposta e testada uma implementação em *Pure Data* para *WFS* como parte do desenvolvimento do protótipo final. A divisão deste em uma implementação computacional modular e seu desenvolvimento em *Pure Data* permite que instrumentos eletrônicos, como os teclados controladores e os mais modernos computadores, também possam controlar os sons no espaço de audição em tempo real ou de forma programada.

O protótipo desenvolvido até o momento realiza a *WFS* fazendo a reprodução da frente de onda através dos cálculos da amplitude e do atraso do sinal de áudio que chega a cada uma das caixas de som.

Neste projeto pretende-se realizar algumas experimentações em instrumentação virtual espacial explorando ilusões geradas pela manipulação e criação de fontes pontuais. A ideia básica é testar a deformação da forma circular da frente de onda gerada por *WFS* mudando a relação entre os atrasos de áudio nas caixas de som. Os efeitos gerados para a instrumentação virtual espacial tem caráter experimental e espera-se que gere interesse para serem testados como uma técnica de composição para a música eletroacústica. Aqui o objetivo não é necessariamente criar uma impressão sonora que tem um equivalente natural, mas sim possibilidades de abstração.

7. Conclusões

A facilidade de uso determinada pela arquitetura modular e intercambiável possibilita conectar o algoritmo de WFS a algoritmos de simulação acústica, podendo vir a se tornar uma alternativa aos aplicativos que executam esta função. O maior desafio neste projeto é conceber uma forma de codificação que permita a escolha da geometria final do sistema de alto-falantes. Espera-se que este novo software seja usado em trabalhos de composição, gravações, apresentações, colaborações musicais interativas e aplicações que preconizem efeitos de espacialização sonora, alargando as possibilidades de auralização com instrumentações musicais também com *WFS*.

Referências

AHRENS, J., GEIER, M., & SPORS, S. *Introduction to the SoundScape Renderer (SSR)*. Quality and Usability Lab Deutsche Telekom Laboratories Technische Universität Berlin. 2012.

BAALMAN, M. A. J. Application of Wave Field Synthesis in electronic music and sound installations. In: *Proceedings of the 2nd International Linux Audio Conference, Karlsruhe*. 2004.

BAALMAN, M. A. J.; On Wave Field Synthesis and The Electro-Acoustic Music: State of The Art 2007. In: *Proceedings of the International Computer Music Conference 2007*. 2007.

BAALMAN, M. A. J.; *On Wave Field Synthesis and Electro-acoustic Music: With a Particular Focus on the Reproduction of Arbitrarily Shaped Sound Sources*. Berlin, 2008. 251 p. Tese de doutorado. Technischen Universität Berlin.

DE VRIES, Diemer. AES Monograph – Wave Field Synthesis. *Audio Engineering Society Inc*. 2009.

FARIA, Regis Rossi Alves. *Auralização em ambientes audiovisuais imersivos*. São Paulo. 2005. 191 p. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

HULSEBOS, Edo M. *Auralization using Wave Field Synthesis*. Delft, Holanda. 2004. Tese de doutorado. Delft University of Technology.

SCHAEFFER, Pierre. *Traité des objets musicaux*. Paris: Nouvelle Edition, 1966.

THOMAZ, Leandro Ferrari. *Aplicação à música de um sistema de espacialização sonora baseado em Ambisonics*. São Paulo. 2007. 148 p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.