

Wellenfeldsynthese für den Einsatz in Augmented Acoustic Reality - Umgebungen

Dieter Leckschat, Christian Epe, Kerstin Fuhrmann

Hochschule Düsseldorf / University of Applied Sciences
 Institute of Sound and Vibration Engineering - ISAVE
dieter.leckschat@hs-duesseldorf.de

Kurzfassung

In diesem Beitrag wird die Konzeption und eine Implementierung eines Systems für die akustische Wellenfeldsynthese (WFS) vorgestellt. Im Gegensatz zu „großen“ Systemen mit sehr vielen Lautsprecherkanälen wurde hier eine individuelle, auf eine Person zugeschnittene Lösung konstruiert. Es werden dabei kopfbezogene Signale über fokussierte Quellen wiedergegeben. Da sich die Lautsprecheranordnung zum Beispiel seitlich in etwa einem Meter Abstand zum Hörer befindet, bleibt das Sichtfeld frei, so dass sich eine Mixtur aus einer realen akustischen Szene und technisch hinzugefügten akustischen Elementen erreichen lässt.

Konzept

Mit der Forderung, bei Einbettung von künstlichen, zusätzlich erzeugten Audioobjekten in eine real vorhandene akustischen Szene (Augmented reality) ist es wünschenswert, wenn nicht notwendig, dass die Exposition des realen Schallfelds ungestört bleibt und weiterhin die optische Wahrnehmung ebenfalls ungehindert geschehen kann. Beide Aspekte werden durch heutige AR-Wiedergabevorrichtungen meist sehr unzureichend erfüllt (VR-Brillen samt zugehöriger Kopfhörer). So entstand die Idee, die Akustische Wellenfeldsynthese gezielt einzusetzen, um kopfbezogene Signale zu applizieren, ohne den Effekt der Okklusion hervorzurufen. Ein ähnliches Konzept wurde am Institut für Rundfunktechnik schon vor Jahren verfolgt („Binaural Sky“), jedoch sollte das hier entstehende System zusätzlich leicht portabel sein, etwa um damit Orte eines akustischen Geschehens, „soundscapes“, aufsuchen zu können.

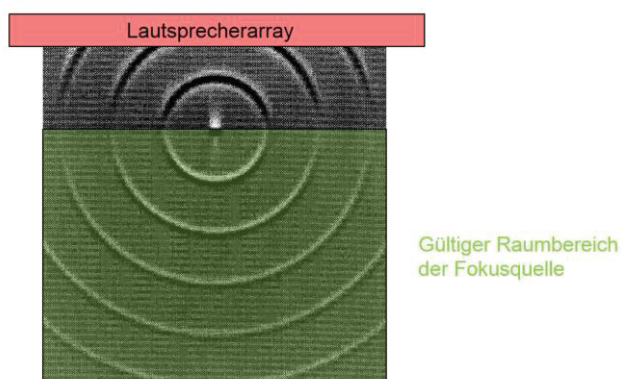


Abbildung 1: Generierung „fokussierter Quellen“ bei der Wellenfeldsynthese

Aus akustischer Sicht ist es notwendig, Ohrsignale dediziert zu erzeugen, wobei das Übersprechen von einem auf das andere, also die Pegeldifferenz ipsilateral zu contralateral, mindestens 15 bis 20 Dezibel betragen sollte. Untersuchungen von Verheijen [1] haben nahegelegt, dass dies mit Hilfe fokussierter Quellen bei der Wellenfeldsynthese gelingen könnte.

Implementierung

Bei der Implementierung wurde darauf geachtet, dass das Gesamtsystem möglichst transportabel sein soll. Es wurden zwei Lautsprecherzeilen design und aufgebaut, welches sehr leichte 3,5-Zoll-Neodymium-Lautsprecher mit nur 110 Gramm Gewicht verwendet. 16 Lautsprecher wiegen somit weniger als 2 kg, hinzu kommt das Gehäusegewicht.

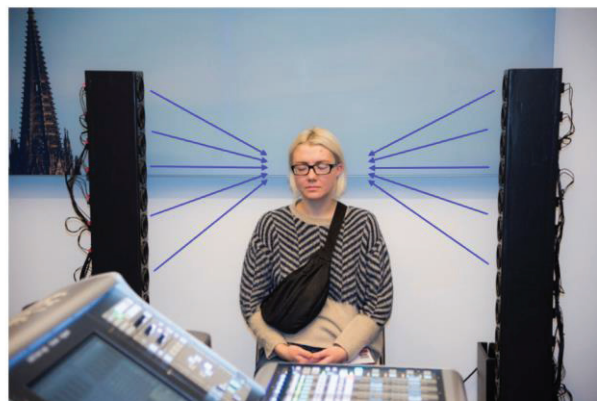


Abbildung 2: Aufbau des WFS-Systems mit zwei Lautsprecherzeilen à 16 Lautsprecher

Die Anordnung der Zeilen kann erfolgen wie in Abbildung 2 zu sehen, nämlich +/- 90 Grad, oder in einem anderen geeigneten Winkel und/oder Abstand. Ziel bleibt es, je eine Fokusquelle an den Ohren der hörenden Person zu erzeugen. Abbildung 3 zeigt den Aufbau des gesamten Systems mit Hardware- und Softwarekomponenten. Auf einem Windows-PC, der bei einer ersten Realisierung als Notebook-PC ausgeführt ist, laufen als Hauptkomponenten ein DAW-Programm (Digital Audio Workstation), hier beispielhaft Nuendo, und ein WFS-Renderer. Letzterer ist eine Entwicklung der Hochschule Düsseldorf [5]. Die Renderparameter werden durch eine XML-Konfigurationsdatei einerseits und durch Steuerdaten vom DAW-PC andererseits gesteuert.

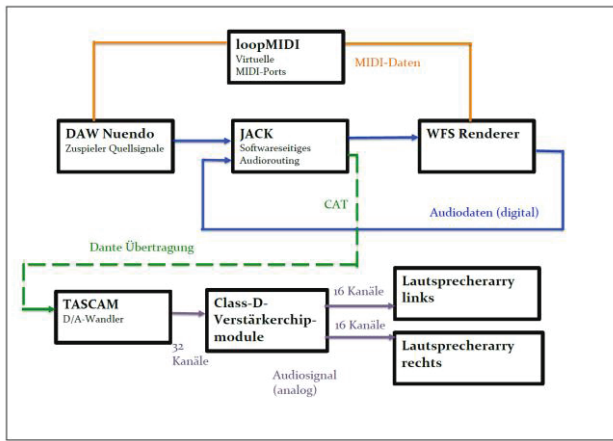


Abbildung 3: Systemaufbau

Es gibt daneben noch zwei Hilfsprogramme: LoopMIDI routet MIDI-Daten rechnerintern, ohne dass diese über Hardwareinterfaces den Rechner verlassen müssen. Das sehr nützliche Programm JACK („Jack Audio Connection Kit“) wiederum erlaubt ein sehr flexibles Routing von Audiosignalen rechnerintern, so wie es für die vorliegende Applikation auch notwendig ist.

Schließlich verlassen die gerenderten Audiosignale den Rechner über eine Audio-over-IP – Verbindung im Dante-Format. Die Signale werden in einem 32-kanaligen D/A-Wandler zu Analogsignalen konvertiert und mit Digitalendstufen, welche je 25 Watt an 8 Ohm liefern, verstärkt. Die Verstärkerleistung ist wegen der kurzen Abhör-entfernung und der kohärenten Aufaddition von je 16 Signalen mehr als hinreichend.

Evaluierung

Die Funktion eines Prototypen muss hinsichtlich der elektroakustischen Performanz überprüft werden, später soll das entstehende Schallfeld evaluiert werden. Messungen finden im Klasse 1 – Reflexionsarmen Raum der Hochschule Düsseldorf statt. Abbildung 4 zeigt einen Kunstkopf im Schallfeld, wobei nicht alle Messungen mit dem Kopf als „störendem Objekt“ im Schallfeld durchgeführt wurden.

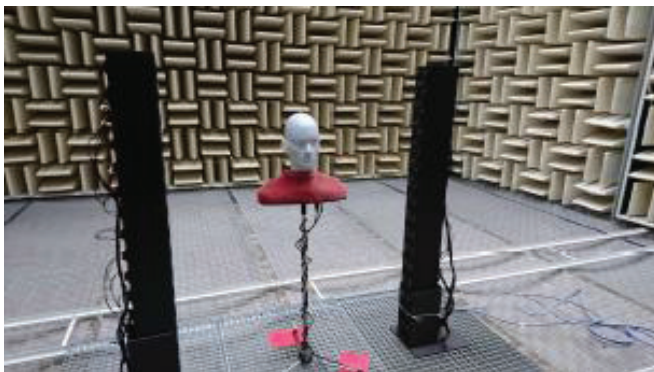


Abbildung 4: Messaufbau mit Kunstkopf im Reflexionsarmen Raum

2. Lautsprecher

Zunächst sollten die Lautsprecher überprüft wurden. Nach einer ersten Evaluation wurde die Verstärkung der Digitalendstufen reduziert, um das Rauschen zu minimieren; diese Maßnahme führte zu einem deutlich reduzierten Rauschpegel ohne Einbußen beim Maximalpegel.

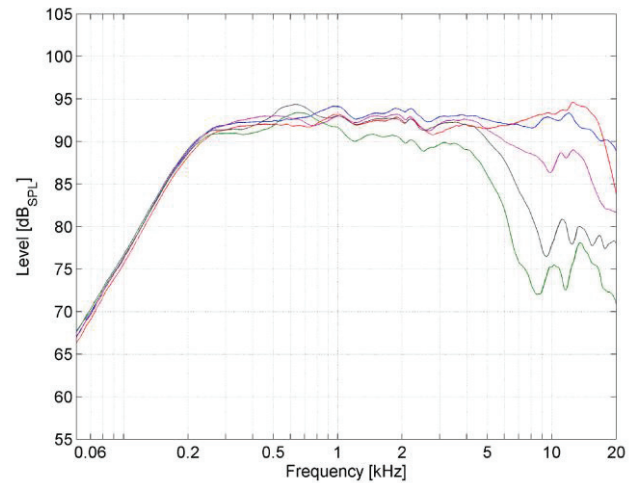


Abbildung 5: Lautsprecherfrequenzgang mit Grundentzerrung (Blau: 0°, Rot: 10°, Violett: 30°, Schwarz: 45°, Grün: 60°)

Die Abbildung 5 zeigt Lautsprecherfrequenzgänge unter verschiedenen horizontalen Winkeln gemessen. Eine Grund-Filterung der Lautsprecher zur Linearisierung des Frequenzgangs kann dabei auf Ebene der DAW geschehen. Die Messungen entsprechen den gängigen Lehrbuch-Formeln, wonach Lautsprecher mit einem Durchmesser von 8,5 cm etwa bis 5 kHz ungerichtet abstrahlen. Oberhalb dieser Frequenz muss ohnehin der räumliche Aliasing-Effekt der WFS berücksichtigt werden. Eine WFS-Linienquelle mit ungerichtet abstrahlenden Schallquellen erzeugt dabei nicht einen Fokus-Punkt, sondern aus Symmetriegründen einen kreisförmigen Bereich fokussierten Schalls („focal circle“ [1]), was unserer Anwendung sehr entgegen kommt. Die Person kann also den Kopf leicht drehen, ohne dass der Fokusquellen-Effekt verlorengeht. Dies wurde in einer separaten Messreihe, die hier nicht dargestellt wird, verifiziert.

3. Sweet Area

Das System wurde gemäß Konzept so aufgebaut, dass sich möglichst auch ohne Tracking eine Zone einstellt, innerhalb derer sich der Hörer / die Hörerin bewegen kann, ohne dass es zum Zusammenbruch der räumlichen Wahrnehmung kommt. Hierzu wurde eine Messreihe durchgeführt, deren Ergebnis in Abbildung 6 dargestellt ist.

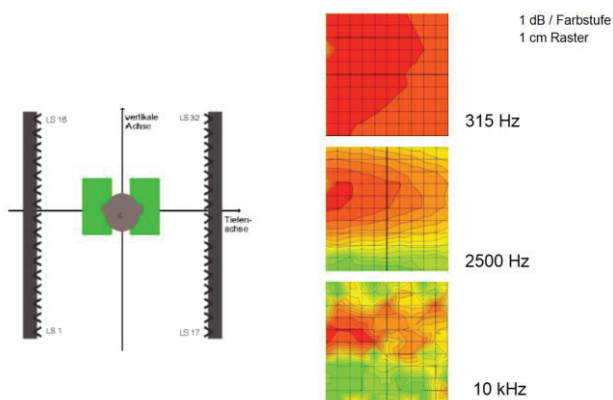


Abbildung 6: Verifikation einer „Sweet Area“

Links ist die Anordnung der Lautsprecherzeilen samt Nutzer dargestellt. Um die Messung innerhalb eines grün gekennzeichneten Bereichs durchführen zu können, muss allerdings der Kopf aus dem gezeigten Bereich entfernt werden. Die Vermessung des gezeigten Areals in einem 1cm – Raster soll aufzeigen, inwieweit eine Fokussierung der Schallanteile auf einen Punkt tatsächlich stattfindet. Breitbandig wurde dies anhand von Impulsantworten verschiedener Einzellautsprecher verifiziert. Die Impulse aller Lautsprecher einer Zeile sollen zeitgleich am Fokuspunkt eintreffen, dies ist auch der Fall (hier nicht als Grafik dargestellt).

Im rechten Teil der Abbildung 6 ist zu erkennen, dass die Fokussierung frequenzabhängig gut gelingt. Bei tiefen Frequenzen ist aufgrund der großen Wellenlängen keine Konzentration auf einen sehr kleinen Raumbereich zu erwarten, bei mittleren Frequenzen ist die Funktion als gut zu bezeichnen. Das unterste Diagramm zeigt eine Frequenz, bei welcher bei der Wellenfeldsynthese bereits Aliasing auftritt und ggf. noch eine verfeinerte Variante des WFS-Algorithmus eingesetzt werden könnte.

Bei Einsetzen des Kunstkopfs gemäß Abbildung 4 lässt sich die Kanaltrennung direkt als Dämpfung (frequenzabhängige Pegeldifferenz contralateral – ipsilateral) messen, sie beträgt bei mittleren Frequenzen lediglich 5 dB und erreicht in einer ersten Messreihe erst ab 2 kHz die geforderten Werte von mehr als 15 Dezibel. Diese Werte geben Anlass, zum Beispiel durch leicht veränderte Aufstellung oder optimierte Positionierung der Fokuspunkte noch Verbesserungspotential auszuschöpfen.

Subjektive Evaluation

Eine subjektive Bewertung des Systems konnte auf der Tonmeistertagung 2018 von einem Fachpublikum vorgenommen werden, wo das prototypische System im akademischen Demobereich angehört werden konnte. Hier wurden kopfbezogene Aufnahmen vorgespielt und die Besucher gebeten, ihre Höreindrücke zu schildern. Dieses informelle Vorgehen sollte erste Eindrücke erfassen. Es zeigte sich, dass ein Teil der Besucher eine gute Abbildung des hinteren Raumbereichs hatte, jedoch der vordere Halbraum nicht plausibel dargestellt wurde. Bei anderen Besuchern war es gerade umgekehrt. Diese Ergebnisse informeller Hörtests legen nahe, dass zunächst noch an einer Optimierung der technisch-akustischen Parameter gearbeitet werden sollte, bevor wesentlich aufwändigere formale Hörtests durchgeführt werden.

Ausblick

Die Implementierung des konzipierten WFS-Systems kann als gelungen bezeichnet werden, da die Messungen eine korrekte Ausbildung von Fokusquellen belegen. Gemäß der oben gemachten Ausführungen sollte jedoch die Kanaltrennung noch weiter verbessert werden. Anschließend sollen formale Hörversuche erfolgen, welche die adäquate räumliche Abbildung auch stichhaltig belegen.

Literatur

- [1] Edwin Verheijen:
Sound Reproduction Applications with Wave Field Synthesis.
Dissertation TU Delft, 1997
- [2] Jack: Using JACK on windows.
http://jackaudio.org/faq/jack_on
- [3] loopMIDI:
<http://jackaudio.org/api/transport-design>
- [4] Visaton: Breitbandlautsprecher SL 87 ND
<http://www.visaton.de/de/produkte/chassiszubehoer/breitband-systeme/sl-87-nd-8-ohm>
- [5] Valkenburg, I.: Erstellung einer Software für die akustische Wellenfeldsynthese in der Programmiersprache c++.
Masterarbeit 2010, Fachhochschule Düsseldorf