

Auralisation von Kugelarraydaten - Ein Überblick

Johannes Nowak

Technische Universität Ilmenau, 98693 Ilmenau, Deutschland, Email: johannes.nowak@tu-ilmenau.de

Einleitung

Dieser Beitrag soll einen Überblick über die Auralisation von Kugelarraydaten bieten. Dabei beschränkt sich die vorliegende Darstellung auf die Auralisation mittels binauraler Wiedergabe über Kopfhörer [2] und Wellenfeldsynthese (WFS) [1]. Die dafür benötigten Datenverarbeitungsschritte werden aufgeführt, kurz erläutert und auf entsprechende Literaturstellen verwiesen. Dies soll Interessierten die Einarbeitung in das Thema der Auralisation von Kugelarraydaten vereinfachen.

Zur Aufnahme der räumlichen Eigenschaften von Schallfeldern werden Mikrofonarrays verwendet. Neben physikalischen Schallfeldanalysen können die aufgezeichneten Messdaten auf beliebigen Wiedergabesystemen auralisiert werden. Die Auralisation [11] von räumlichen Schallfelddaten auf einem Wiedergabesystem, das die aufgezeichneten räumlichen Schallfeldeigenschaften wiederzugeben vermag, sollte dem Hörer idealerweise den Eindruck vermitteln, in dem gemessenen Raum zu sein. Aufgrund ihrer einfachen Geometrie eignen sich besonders Kugelarraysysteme für die dreidimensionale Abtastung eines Schallfeldes.

Kugelarrays

Kugelförmige Mikrofonarrays existieren in verschiedenen Ausführungen. Sogenannte *rigid sphere arrays* sind feste Kugeln, in deren Oberfläche eine Vielzahl von Mikrofonen eingelassen sind. Da diese Kugel einen erheblichen Einfluss auf das Schallfeld hat, kommen oft auch *open sphere arrays* zur Anwendung, bei denen die Mikrofone in einem schalldurchlässigen Gitter angeordnet sind. Der Vorteil dieser Arrays liegt darin, dass das Schallfeld auf der Kugel mit allen Mikrofonen gleichzeitig aufgezeichnet werden kann, während aber (in der Regel) der Radius der Kugel, die Anzahl und Anordnung der Abtastpunkte fest vorgegeben sind.

Bei der Verwendung von virtuellen Arraysystemen, die die Raumimpulsantworten sukzessive messen, können nahezu beliebige Abtaststrategien angewandt werden. Z.B. in [5] werden verschiedene Abtaststrategien auf der Kugeloberfläche vorgestellt und beschrieben. Unter realen Messbedingungen bietet sich die Lebedev-Quadratur an, da diese das optimale Verhältnis von räumlicher Auflösung zur Anzahl der Abtastpunkte, und damit zur Messdauer, bietet [3]. Unter Berücksichtigung des Kugelradius' wird die obere Grenzfrequenz, ab der räumliches Aliasing auftritt, vom Abtastgitter und der Anzahl der Abtastpunkte auf der Kugeloberfläche bestimmt. Eine detaillierte Beschreibung zu räumlichem Aliasing bei Kugelarraymessungen ist in [6] gegeben.

Arraydatenverarbeitung

Nach der Arraymessung liegt das räumliche Schallfeld als Datensatz einer Vielzahl von Raumimpulsantworten (IRs) vor, die die Grundlage für die weiteren Datenverarbeitungsschritte für die Auralisation bilden. Die entsprechende Weiterverarbeitung ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

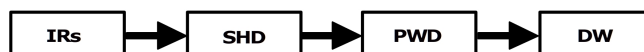


Abbildung 1: Schallfeldzerlegung von Kugelarraydaten

Im ersten Schritt wird das Schallfeld mithilfe der sphärischen Harmonischen Zerlegung (SHD) modelliert ([9], [10]). Der maximale Grad, für den die sphärischen Harmonischen aliasing-frei berechnet werden können, ist hier durch das verwendete Abtastgitter, sowie durch die Anzahl der Messpunkte gegeben. Die Darstellung des Schallfeldes als sphärische Harmonische kann durch eine anschließende Zerlegung in ebene Wellen, die sogenannte *plane wave decomposition* (PWD), in seine Komponenten zerlegt werden [7]. Die Messdaten liegen nun als sogenannte Richtungsgewichte oder *direction weights* (DW) vor.

Binaurale Auralisation

Um bei der binauralen Auralisation den gewünschten räumlichen Eindruck zu erwecken, werden die DWs mit den richtungsabhängigen, kopfbezogenen Übertragungsfunktionen (HRTF) gewichtet. Diese repräsentieren die Übertragungseigenschaften von Torso, Kopf und Pinnae und enthalten die Informationen, die für die räumliche Wahrnehmung notwendig sind. Weiterführende Informationen sind z.B. in [12] zu finden. Abbildung 2 schematisiert die Datenverarbeitungsschritte für die binaurale Wiedergabe:

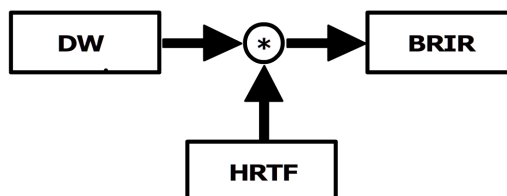


Abbildung 2: Arraydaten-Verarbeitungsschritte für die binaurale Auralisation

Bevor die DWs mit den HRTF kombiniert werden, sind verschiedene Vorverarbeitungsschritte empfehlenswert, um die Qualität der HRTF und damit der binauralen Wiedergabe zu optimieren. So sollte z.B. das

Übertragungsverhalten der verwendeten Technik bei der HRTF-Messung equalisiert werden. Entsprechende Verfahren werden z.B. in [14] gegenübergestellt. Bei der Wiedergabe ist zudem noch darauf zu achten, dass die verwendeten Kopfhörer ebenfalls equalisiert werden. Nähere Informationen dazu sind in [15] zu finden. In [12] werden die Grundlagen für die binaurale Wiedergabe ausführlich erläutert und verschiedene Ansätze zur Optimierung der Auralisation aufgeführt.

Die DWs der Arraymessung werden im letzten Verarbeitungsschritt mit den entsprechenden HRTF gefaltet, um ein 2-kanaliges Kopfhörersignal zu generieren. Die Verwendung der korrekten HRTF ist besonders wichtig, um bei der Wiedergabe die bestmögliche Qualität der räumlichen Darstellung zu gewährleisten. Im Idealfall verwendet der Hörer seine individuell gemessenen HRTF. Da derartige Messungen in der Praxis jedoch sehr aufwendig sind, bietet es sich an, auf öffentlich zugängliche HRTF-Datensätze zurück zu greifen, wie beispielsweise die CIPIC-Datenbank [8]. Durch eine geeignete Auswahl der HRTF können auch mit nicht-individuellen HRTF gute Ergebnisse erzielt werden [13].

Auralisation mittels WFS

Die Weiterverarbeitung der Richtungsgewichte für die Wiedergabe über WFS ist in Abbildung 3 schematisiert:

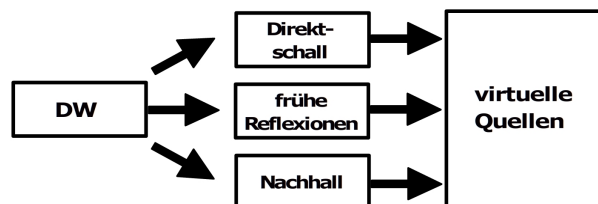


Abbildung 3: Array-Daten Verarbeitungsschritte für die Wiedergabe mittels WFS

Hier wird das Schallfeld durch geeignete Fensterung zeitlich in Direktschall, frühe Reflexionen und Nachhall segmentiert. Direktschall und frühe Reflexionen werden über WFS als virtuelle Kugelquellen modelliert, während der Nachhall mithilfe von ebenen Wellen wiedergegeben wird. Nähere Informationen zur Wiedergabe von Arraydaten über WFS sind u.a. in [1] oder [3] zu finden.

Schlussbemerkung

Die Vielzahl an Publikationen und der Umfang der Themen Arraytechnologie und Auralisation würden den Rahmen dieses Beitrages bei weitem übersteigen. Daher erhebt der Autor keinen Anspruch auf Vollständigkeit und empfiehlt, die Literaturhinweise in den hier aufgeführten Referenzen für weiterführende Informationen zu nutzen. Vielmehr sind hier Quellen angeführt, die dem Autor konkret bei seiner Arbeit dienlich waren bzw. sind.

Literatur

- [1] Hulsebos, E.: Auralization using Wave field synthesis. PhD Thesis TU Delft (2004)
- [2] Hammershoi, D.: Fundamental aspects of the binaural recording and synthesis techniques. AES Convention Paper Preprint Presented at the 100th Convention, Copenhagen, Denmark, May 11-14 (1996)
- [3] Melchior, F.: Investigations on spatial sound design based on measured room impulse responses. PhD Thesis TU Delft (2011)
- [4] Thiergart, O.: Sound Field Analysis on the Basis of a Spherical Microphone Array for Auralization Applications. Masterthesis, TU Ilmenau / Fraunhofer IDMT (2008)
- [5] Zotter, F.: Sampling Strategies for Acoustic Holography/Holophony on the Sphere, NAG-DAGA, 23-26 March, Rotterdam, (2009)
- [6] Rafaely, B.; Weiss, B.; Bachmat, E.: Spatial aliasing in spherical microphone arrays, IEEE Transaction on Audio, Speech and Language Processing, Vol. 55, No. 3 (2007)
- [7] Rafaely, B.: Plane-wave decomposition of the sound field on a sphere by spherical convolution, J. Acoust. Soc. Am. 116 (4), Pt. 1. (2004)
- [8] Algazi, V., Duda, R., Thompson, D.: The CIPIC HRTF Database, Proc. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Electroacoustics, pp. 99-102, Mohonk Mountain House, New Paltz, NY, 21-24, (2001)
- [9] Williams, E.: Fourier Acoustics, Academic Press (1999)
- [10] Ziomek, L.J.: Fundamentals of Acoustic Field Theory and Space-Time Signal Processing, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, (1995)
- [11] Vorländer, M.: Auralization - Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2008)
- [12] Møller, H.: Fundamentals of Binaural Technology, Applied Acoustics, Vol. 36, pp. 171-218 (1992)
- [13] Roginska, A., Wakefield, G., Santoro, T.: Stimulus-dependent HRTF preference, AES Convention Paper 8268 Presented at the 129th Convention, San Francisco, USA, (2010)
- [14] Larcher, V.; Jot, J.-M.; Vandernoot, G.: Equalization methods in binaural technology, AES Convention Paper 4858 Presented at the 105th Convention, (1998)
- [15] Schaerer, Z.; Lindau, A.: Evaluation von Verfahren zur Entzerrung von binauralen Signalen, 25. Tonmeistertagung, VDT International Convention (2008)