

Akustische Vermessung parametrischer Lautsprecherarrays im Kontext der Transauraltechnik

Florian Pokorny, Franz Graf

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH
DIGITAL - Institut für Informations- und Kommunikationstechnologien
Steyrergasse 17, 8010 Graz, Österreich

Einleitung

Die Transauraltechnik befasst sich mit der Wiedergabe binauraler Signale über Lautsprecher zur Spatialisierung virtueller Schallquellen. Gegenüber der Verwendung von Kopfhörern ergeben sich zusätzliche Herausforderungen, wie die Kompensation der Übertragungsfunktionen zwischen Lautsprecher und Ohr sowie des Signalübersprechens des rechten und linken Kanals auf das jeweils andere Ohr. Die Funktionalität aktueller Transauralsysteme ist durch die starre Anordnung der Lautsprecher und die limitierte Realisierbarkeit von Filtern zur Kompensation des Kanalübersprechens (sog. Cross-Talk Cancellation-Filtern) räumlich begrenzt, woraus eine eingeschränkte Bewegungsfreiheit des Hörers resultiert [1].

Eine Minimierung des Kanalübersprechens und eine flexible Anpassung eines Beschallungssystems an die aktuelle Position des Hörers könnten durch ein (mechanisch) den beiden Ohren des Hörers nachführbares Lautsprecherpaar mit stark gebündeltem Abstrahlverhalten erreicht werden.

Grundsätzlich ist der Grad der Bündelung eines Lautsprechers vom Verhältnis der akustisch aktiven Abstrahlungsfläche relativ zur abgestrahlten Wellenlänge abhängig. Demnach kann die Richtwirkung eines Lautsprechers einerseits durch die Vergrößerung der akustisch aktiven Abstrahlungsfläche, andererseits durch die Abstrahlung höherer Frequenzen gesteigert werden [2].

Parametrische Lautsprecherarrays machen sich für eine starke Schallbündelung zuletzt genannte Möglichkeit, nämlich die Abstrahlung von sehr hohen Frequenzen, und zwar von Ultraschall, zunutze. Da Ultraschall vom Menschen nicht hörbar ist, wird ein Ultraschallträger vor der Abstrahlung über das Array mit dem eigentlichen Nutzsignal (innerhalb des menschlichen Hörfrequenzbereichs) amplitudenmoduliert. Nichtlineare Übertragungseigenschaften von Schall sorgen dann für die Entstehung von Summen und Differenztönen zwischen den einzelnen spektralen Anteilen des abgestrahlten Signals und somit für die Demodulation des Nutzsignals entlang der Arrayachse (entsprechend der Abstrahlcharakteristik des Arrays) [3].

Als Ausgangspunkt für die Implementierung eines transauralen Beschallungssystems bestehend aus zwei, auf die beiden Ohren des Hörers gerichteten parametrischen Lautsprecherarrays wurden drei kommerzielle Arrays untersucht und basierend auf den vermessenen Richtcharakteristika für einen Einsatz im Kontext der Transauraltechnik evaluiert.

Hierbei handelte es sich um ein Audio Spotlight® AS-16 (Holosonics), ein Audio Spotlight® AS-24 (Holosonics) und ein Acouspade™ (Ultrasonic Audio Technologies).

Methode

Die Vermessung der drei parametrischen Lautsprecherarrays fand im Freifeldraum (akustischer Vollraum, Genauigkeitsklasse 1, Innenmaße: 9 m (L) x 8 m (B) x 6 m (H), untere Grenzfrequenz: 70 Hz) des Instituts für Fahrzeugtechnik der FH JOANNEUM, Graz (Österreich) statt. Jedes Array wurde einzeln vermessen und hierfür, wie in Abbildung 1 zu sehen, auf einem Stativ auf einem elektrisch ansteuerbaren Drehteller (Outline ET 250-3D) in der Mitte des Messraums positioniert. Ein Messmikrofon (NTi M2210) auf Höhe des Arrayzentrums wurde kalibriert und der Verstärker des Arrays so eingestellt, dass ein über das Array wiedergegebener 1 kHz-Sinuston in einem Abstand von 1 m einen Pegel von $L_p = 80$ dB aufwies. Steuerung und Überwachung des Messvorgangs fanden von einem Nebenraum aus statt. In den Messabständen 1 m, 2 m, 3 m und 4 m wurden mit der Messsoftware ARTA Impulsantwortmessungen (gemittelt über 3 Wiederholungen) nach Anregung durch exponentielle Sweeps (Frequenzbereich: 20 Hz – 20 kHz, Länge: 1,36533 s) für 72 horizontale Arrayorientierungen durchgeführt. Die 72 Arrayorientierungen ergaben sich durch Verdrehen des Drehtellers in 5°-Schritten um insgesamt 360°. Die im verwendeten Audio Interface (RME Fireface UFX) eingestellte Abtastrate von 48 kHz und der entsprechende der Messsoftware vorgeschaltete Anti-Aliasing-Tiefpass-Filter gewährleisteten, dass nicht die Trägersignale im Ultraschallbereich, sondern ausschließlich die Nutzsignale der Lautsprecherarrays erfasst wurden.

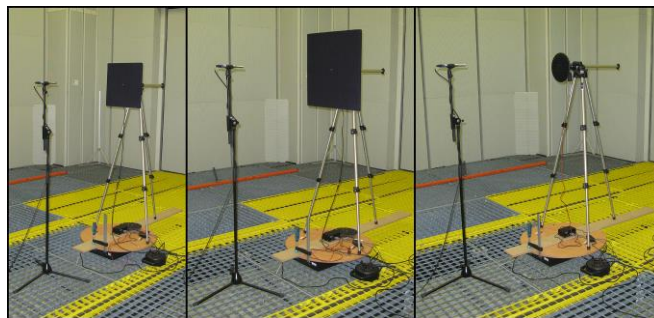


Abbildung 1: Audio Spotlight® AS-16, Audio Spotlight® AS-24 und Acouspade™ (v. l. n. r.) im Setup zur Vermessung der Abstrahlcharakteristika in einer Entfernung von 1m.

Ergebnisse

Repräsentativ für die Ergebnisse der durchgeführten Vermessung zeigen die Abbildungen 2 – 4 die erhobenen Richtcharakteristika der drei kommerziellen parametrischen Lautsprecherarrays im Messabstand von 1 m.

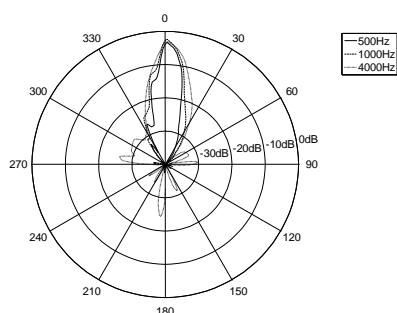


Abbildung 2: Richtcharakteristik des Audio Spotlight® AS-16 im Abstand von 1 m für verschiedene Frequenzen.

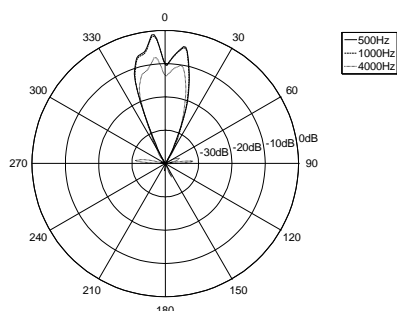


Abbildung 3: Richtcharakteristik des Audio Spotlight® AS-24 im Abstand von 1 m für verschiedene Frequenzen.

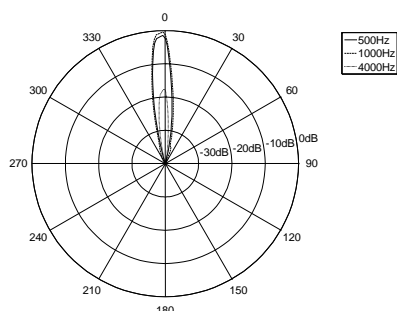


Abbildung 4: Richtcharakteristik des Acouspade™ im Abstand von 1 m für verschiedene Frequenzen.

Diskussion

Die Messergebnisse deuten bei allen drei parametrischen Lautsprecherarrays auf ein frequenz- und distanzabhängiges Abstrahlverhalten hin. Dieses äußert sich in einer verstärkten Ausprägung von Nebenkeulen für höhere Frequenzen und in größeren Entfernungen. Pegelunterschiede, Asymmetrien und Unstetigkeiten für unterschiedliche Frequenzen und Messabstände lassen sich durch minimale Unterschiede in der relativen Ausrichtung zwischen Messmikrofon und Array in Kombination mit der groben räumlichen Messauflösung von 5° erklären. Beim Audio Spotlight® AS-24 wurde im Abstand von 1 m ein Pegelbruch in Hauptabstrahlrichtung erfasst. Dieser deutet darauf hin, dass sich das Messmikrofon hier beim größten der untersuchten

Arrays noch im akustischen Nahfeld befunden hat, welches von komplexen Interferenzmustern aus abgestrahlten Primärwellen geprägt ist [4].

Schließlich konnte für das Acouspade™ über alle Messabstände und den gesamten betrachteten Frequenzbereich die schmalste Hauptkeule sowie die geringste Ausprägung von Nebenkeulen attestiert werden. Unter Einbeziehung weiterer Kriterien, wie z.B. Größe (0,21 m x 0,21 m x 0,02 m < AS-16 und AS-24), Gewicht (0,6 kg < AS-16 und AS-24), max. Ausgangspegel ($L_p = 95\text{dB} @ 1\text{ kHz}$ > AS-16 und AS-24) und Nutzfrequenzbereich (150 Hz – 16 kHz > AS-16 und AS-24) laut Hersteller [5] scheint sich somit das Acouspade™ verglichen mit den Audio Spotlights® AS-16 und AS-24 am besten für ein flexibles, mechanisch den beiden Ohren des Hörers nachführbares, transaurales Beschallungssystem zu eignen.

Ausblick

In einem nächsten Schritt soll ein transaurales Beschallungssystem bestehend aus zwei mechanisch mittels Schrittmotoren den Ohren eines Hörers nachführbaren Acouspades™ implementiert und der Grad des Übersprechens zwischen linkem und rechtem Kanal mittels Kunstkopf evaluiert werden. Als Basis für die Nachführung soll ein Tiefensensor für die Detektion der aktuellen Position der Ohren eingesetzt werden. Weiters könnte die Lenkung der Hauptkeule statt mechanisch in Zukunft auch durch signalvorverarbeitende Methoden und einer getrennten Ansteuerung der einzelnen Wandler des Arrays erfolgen [6].

Danksagung

Unser Dank gilt dem Österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) für die Förderung der durchgeführten Untersuchung im Rahmen der Fördervereinbarung im Forschungsprojekt fusInC – Future User Interfaces for Control Centers.

Literatur

- [1] Xie, B. Head-related transfer function and virtual auditory display, Second Edition. J. Ross Publishing, Inc., 2013
- [2] Pompei, J. Fundamental limitations of loudspeaker directivity, URL: http://www.holosonics.com/tech_directivity.html (20.01.2014)
- [3] Gan, W.-S., Yang, J., Kamakura, T.: A review of parametric acoustic array in air. Applied Acoustics 73 (2012), 1211-1219
- [4] Pompei, J. Sound from ultrasound: The parametric array as an audible sound source, Doctoral thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2002
- [5] Acouspade™ Speaker with focus, URL: <http://www.ultrasonic-audio.com/products/acouspade.html> (20.01.2014)
- [6] Shi, C., Gan, W.-S.: Analysis and calibration of system errors in steerable parametric loudspeakers. Applied Acoustics 73 (2012), 1263-1270