

Effiziente KFZ-Innenraum-Schallfeldkartierung mittels Spherical Beamforming und Conformal Mapping

Christoph Hundeck¹

¹ Brüel & Kjaer GmbH, 42477 Radevormwald, Deutschland, Email: christoph.hundeck@bksv.com

Einleitung

Der Artikel beschreibt zwei Array-Techniken, die sowohl eine schnelle Übersicht der Schallquellen im Fahrzeug als auch eine detaillierte Untersuchung von einzelnen problematischen Bereichen ermöglicht. Der gesamte Fahrzeuginnenraum wird mit einem Kugelarray und der Spherical Beamforming Technik erfasst. Die Details der einzelnen Quellen werden, mit Hilfe eines kleinen, ebenen Single Layer oder Double Layer Array und der Conformal Mapping Technik analysiert.

Spherical Beamforming

Beamforming ist eine effiziente Methode zur Bestimmung des gerichteten Schalleinfalls im mittleren und hohen Frequenzbereich. Es wird der Schalldruckanteil aus verschiedenen Richtungen an der Position des Arrays bestimmt. Mit einem gewöhnlichen, ebenen Delay-and-Sum Beamformer ist eine örtliche Auflösung von etwa einer Wellenlänge zu erreichen, was die schlechte Auflösung bei tiefen Frequenzen erklärt. In Innenräumen kommt als zweites Problem hinzu, dass der Beamformer nicht zwischen direkt abgestrahltem Schall und Reflexionen unterscheiden kann. Ebene Beamformer haben zusätzlich den Nachteil, dass sie Schallanteile, die von hinten auf das Array fallen, als Quellen vor dem Array kartieren.

Spherical Beamforming verwendet kein ebenes, sondern ein kugelförmiges Array. Dies hat den Vorteil, dass es in der Lage ist, Schallanteile aus allen Richtungen zu kartieren. Zusätzlich ist die örtliche Auflösung unabhängig vom Winkel des Schalleinfalls. Das Kugelarray besteht aus einer festen Kugel mit in der Oberfläche eingebauten Mikrofonen und Kameras. Die Verkabelung ist vollständig in der Kugel untergebracht, d.h. das Array wird mit zwei Kabeln mit dem Messsystem verbunden.

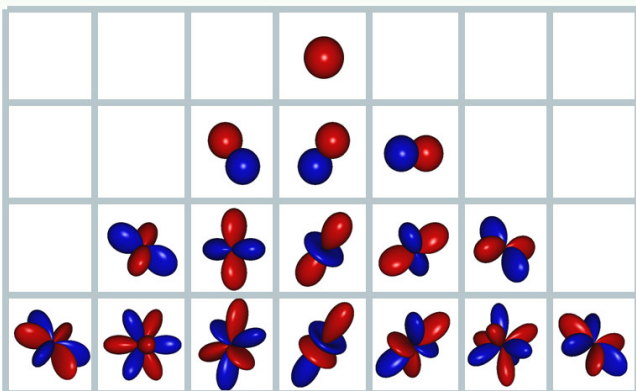


Abbildung 1- Harmonische 0-ter bis 3-ter Ordnung einer Kugel

Die Schallkartierung wird mit dem SHARP (Spherical Harmonics Angularly Resolved Pressure) Algorithmus berechnet. Hierbei kann jedes Schallfeld in die harmonischen Komponenten einer Kugel zerlegt werden. Der Anteil jeder sphärischen Harmonischen wird bei der Messung bestimmt und daraus der Schalldruck als Kombination dieser Komponenten in der entsprechenden Entfernung berechnet. Der SHARP Algorithmus liefert, verglichen mit einer Standard Delay-and-Sum Berechnung, eine fünfmal bessere Auflösung. Die feste Kugeloberfläche verhindert beim Spherical Beamforming numerische Instabilitäten, die bei einer transparenten Kugel auftreten können. [1]

Conformal Mapping

Die akustische Nahfeldholografie (NAH) liefert bei tiefen bis mittleren Frequenzen eine hohe örtliche Auflösung. Die Kartierung der Schallintensität in der Nähe der Objektoberfläche zeigt die direkt abgestrahlten Schallintensitätsanteile. Vollständige Reflexionen ergeben keinen Anteil in Richtung der Flächennormalen. Da in Innenräumen der Schalleinfall auf das Array aus allen Richtungen möglich ist, wird ein Double Layer Array verwendet. Ebene Single Layer Arrays können nicht zwischen Schalleinfall von vorne oder hinten unterscheiden, Double Layer Arrays können dies.

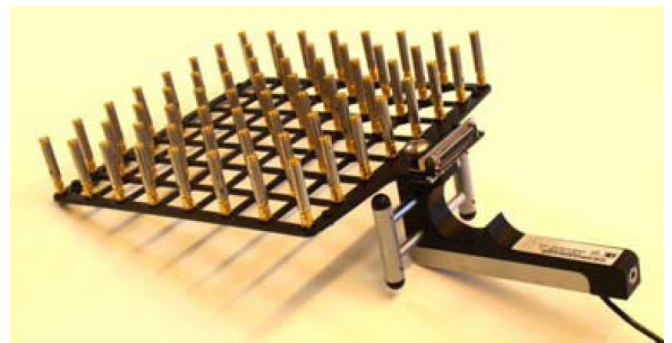


Abbildung 2 - Handgehaltenes 8x8 Kanal Single Layer Array mit 3cm Mikrofonabstand, inklusiv Positioniersystem. Die Brüel & Kjaer Mikrofone Type 4951 haben die individuellen Amplituden und Phasengänge in den TEDS gespeichert.

Conformal Mapping verwendet einen optimierten Nahfeldholografie-Algorithmus – SONAH (Statistical Optimized Nearfield Acoustic Holography). Die durch die örtliche zweidimensionale FFT hervorgerufenen Fenstereffekte, werden bei der SONAH Methode vermieden. Zusätzlich ist eine komplette Abdeckung des Messobjektes mit dem Array nicht mehr notwendig, wodurch die Verwendung von kleinen, handgehaltenen Arrays auch bei tiefen Frequenzen ermöglicht wird. Zusammen mit einem

integrierten Positioniersystem kann die Position des Arrays im Raum bestimmt und so einzelne Holografie-Patches gemessen werden. Für jede Arrayposition können anschließend die Schallfeldparameter auf die Oberfläche zurückgerechnet werden. Die Oberflächengeometrie kann aus einer CAD-Datei kommen oder, da diese oft nicht zur Verfügung stehen, mit dem im Handgriff integrierten Positioniersystem erfasst werden. [2]

Beispiel einer KFZ-Innenraum-Messung

Der folgende Abschnitt beschreibt eine KFZ-Innenraummessung mit einem Kugelarray für den gesamten Innenraum und einer Conformal Mapping Messung an der Beifahrertür.



Abbildung 3 - Kugelarray auf dem Beifahrersitz. Im Hintergrund die beiden Lautsprecher außerhalb des Fahrzeuges.

Die Messung wurde mit einem 65-Kanal Brüel & Kjaer PULSE System Type 3560D, einem 50-Kanal Spherical Array und einem 8x8-Kanal Handheld Single Layer Array mit 3 cm Mikrofonabstand durchgeführt. Als Schallquellen dienten zwei Lautsprecher, die von außen an der Seitenscheibe auf der Beifahrerseite eines Hyundai Sonata montiert wurden. Inkohärentes Rosa Rauschen wurde als Anregungssignal verwendet. Der Spherical Beamformer wurde auf Kopfhöhe des Beifahrersitzes platziert.

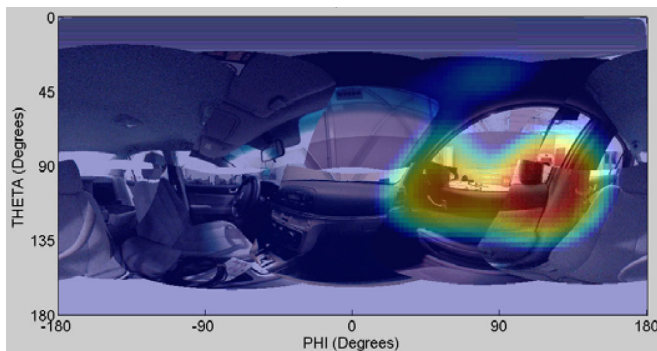


Abbildung 4 - 360°x180°- Kartierung des Fahrzeuginnenraums für das 1kHz-Terzband mit einem Dynamikbereich von 10dB.

Das Ergebnis in Abbildung 4 zeigt deutlich die Positionen der beiden Quellen für das 1kHz-Terzband in einer 360° mal 180° Abwicklung. Das Hintergrundbild wurde mit den zwölf eingebauten Kameras erfasst und entsprechend zusammengesetzt. In der Grafik ist jedoch zu erkennen, dass die örtliche Auflösung nicht ausreichend genug ist, um klar zu entscheiden, ob der Schall durch die Scheibe transmittiert oder durch die Dichtungen in den Innenraum gelangt.

Zur genaueren Bestimmung des Übertragungsweges wurde dieser Bereich zusätzlich mit einer Conformal Mapping Messung untersucht. Die Seitentür und ein Teil des Armaturenbrettes wurde mit dem Positioniersystem erfasst und anschließend zehn Holografie-Patches gemessen. Die Berechnung der Schallintensität in Abbildung 5 zeigt deutlich, dass der Schall durch die Seitenscheibe in den Innenraum transmittiert wird. [3]

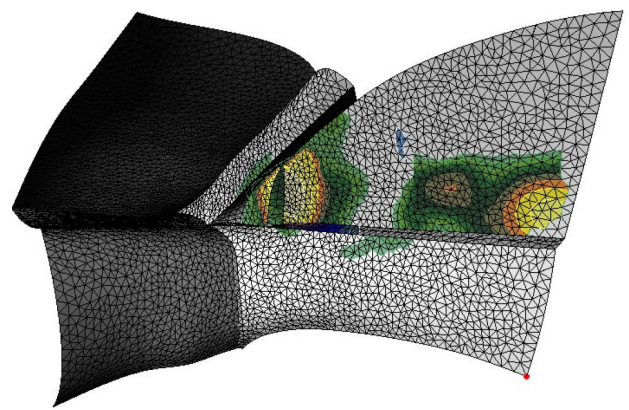


Abbildung 5 - Conformal Mapping der Schallintensität für das 1kHz-Terzband. Angezeigter Dynamikbereich: 15dB.

Zusammenfassung

Die Kombination der gezeigten Arraytechniken bildet ein Werkzeug zur schnellen Ortung von Schallquellen in Innenräumen mittels Spherical Beamforming und deren genauere Untersuchung durch die Conformal Mapping Kartierung.

Literatur

- [1] Haddad, K.: In-Vehicle Panoramic Noise Source Mapping, SAE International, 2007
- [2] Hald, J.: Patch Near-field Acoustical Holography Using a New Statistically Optimal Method . Brüel & Kjaer Technical Review No. 1, 2005
- [3] Hald, J., Mørkolt, J., Gomes, J.: Efficient Interior NSI based on various Beamforming methods for overview and conformal mapping using SONAH holography for details on selected panels, SAE International, 2007.
- [4] Array-based Noise Source Identification Solutions: PULSE Beamforming Type 7768, STSF Type 7780, Non-stationary STSF Type 7712 and Conformal SONAH Type 8602 - <http://www.bksv.com/pdf/bp2144.pdf>