

Einsatzmöglichkeiten dreidimensionaler Mikrofonarrays in der Raumakustik

Andy Meyer, Dirk Döbler, Jan Hambrecht

Gesellschaft zur Förderung der angewandten Informatik e.V., 12489 Berlin, E-Mail: meyer@gfai.de

Einleitung

In den letzten Jahren hat der Einsatz von Mikrofonarrays („Akustische Kamera“) in der akustischen Messtechnik entscheidend an Bedeutung gewonnen. Das Beamforming, also die Lokalisierung von Quellen im Zeit- und/oder Frequenzbereich, ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Geräuschanalyse und Lärminderung geworden. Steigende Rechnerkapazitäten machten einen Übergang von zweidimensionalen akustischen Karten zu dreidimensionalen akustischen Modellen möglich, und eröffnen so neue Anwendungsfelder. Der folgende Beitrag soll Möglichkeiten zeigen, dreidimensionale Mikrofonarrays in der Raumakustik einzusetzen, um daraus neue Informationen über die akustischen Eigenschaften zu gewinnen.



Abbildung 1: 3D-Array mit 48 räumlich verteilten Mikrofonen (Sphere48) zur Messung in Innenräumen

Dreidimensionale Kartierung

Zur Durchführung von akustischen Messungen im Raum benötigt man neben einem Mikrofonarray zur Datenaufnahme, einem Datenrekorder zur Aufbereitung und einer Software zur Analyse und Berechnung der akustischen Karten auch ein 3D-Modell. Viele Hersteller (z.B. aus der Automobilindustrie) können solche Modelle von der Konstruktionsabteilung ohne großen Aufwand anfordern.

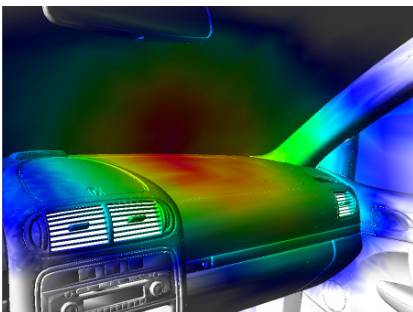


Abbildung 2: Dreidimensionales akustisches Foto zeigt die Auswirkung eines defekten Scheibenwischers, rote Flecken markieren die lauten - blaue Flecken die leiseren Bereiche

Bei sich ständig verändernden Messszenarien (z.B. in der Raumakustik) gestaltet sich die Modellbeschaffung deutlich schwieriger. Auf dem Markt übliche Laserscanner (FARO®,

Leica u.a.) können in vielen Fällen das Problem lösen. Leider sind diese Geräte meist sehr kostenintensiv und nicht immer direkt auf die Lösung des Problems zugeschnitten (Auflösungen im Submillimeterbereich führen zu enormen Datenmengen). Der folgende aus Standardkomponenten bestehende Laserscanner in Verbindung mit optimierten Algorithmen zur Erzeugung von homogenen Dreiecksnetzen stellt eine preiswerte Alternative zu herkömmlichen Laserscannern dar. Er wurde von der GFaI e.V. entwickelt und besteht aus einem zweiachsigen Drehmodul der Firma SCHUNK GmbH & Co. KG und einem Laserscanner der Firma Leuze electronic GmbH + Co. KG.



Abbildung 3: Laserscanner bestehend aus Standardkomponenten zur Erstellung von 3D-Modellen

Dieser Scanner ermöglicht eine schnelle und preiswerte Bestimmung der Raumgeometrie. Eingebettet in die weitere akustische Messsoftware bietet dies dem Anwender eine integrierte Lösung zur Bewältigung von verschiedenen Simulations- und Messaufgaben.

Absorption und Reflexionen

Bei der Schallausbreitung in geschlossenen Räumen kommt es, in Abhängigkeit von den Materialeigenschaften, zu Absorptionen und Reflexionen an den Begrenzungsflächen. Diese Effekte werden maßgeblich durch die Raumgeometrie und die Wellenlänge des Schalls beeinflusst. Für die Planung von Räumen wurden Modellmessverfahren und Computersimulationsmethoden entwickelt, um die Schallausbreitung vorherzusagen. Unabdingbar bleibt es jedoch, die Ergebnisse der Modellberechnungen mit realen Messungen zu verifizieren, um die Raumakustik kostengünstig und effektiv zu verbessern und die eventuell vorhandenen Modellfehler zu eliminieren. Unter zu Hilfenahme der Akustischen Kamera in Verbindung mit dem Raums scanner ist es nun möglich, Reflexionen in ihrem zeitlichen Verlauf zu visualisieren. Zur Durchführung einer solchen Messung wird der zu untersuchende Raum mit einer breitbandigen und impulsartigen Schallquelle angeregt. Als geeignet haben sich dabei in die Hände klatschen, platzende Luftballons oder bei größeren Objekten (z.B. einem Stadion) eine Schreckschusspistole herausgestellt. Nach der Aufzeichnung des Signals mit all seinen Reflexionen können

nun die Laufzeitunterschiede zwischen den Mikrofonen ausgewertet und eine akustische Karte berechnet werden.

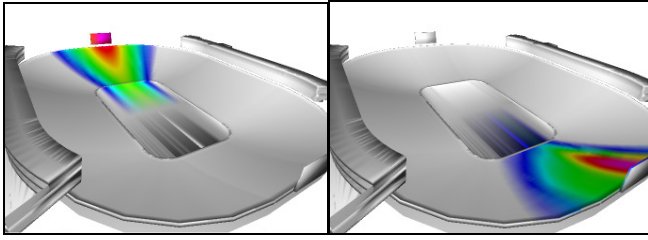


Abbildung 4: erste und zweite Reflexion eines Schusses im Michigan Stadium (Ann Arbor, Michigan, USA)

Das Beispiel in Abbildung 4 zeigt eine Reflexionsmessung in einem Stadion. Das Mikrofonarray und die kleine Kanone (impulshaltige Schallquelle) standen auf dem Spielfeld. Die Schallausbreitung kann so zu jedem Zeitpunkt der Raumimpulsantwort nachvollzogen werden. Aus den Ergebnissen der Analyse sind die absorbierenden und reflektierenden Eigenschaften eines Raumes ableitbar. Modifikationen können effizient durchgeführt werden.

Nachhallzeit

Die wohl wichtigste Eigenschaft eines Raumes ist die Halligkeit. Als Kenngröße wurde die Nachhallzeit von Wallace Clement Sabine (1868–1919) eingeführt. Sie wird definiert als diejenige Zeit, in der nach Beenden des Schallereignisses der Schalldruckpegel um 60dB (RT60 für reverberation time) abnimmt. Oftmals stimmt der anfängliche Teil des Abklingvorgangs mit dem subjektiv empfundenen Nachhallvorgang besser überein, weil der Raum eine Dynamik von 60dB meist nicht zulässt. Für diesen Fall wurde die Early Decay Time (EDT oder RT10) eingeführt [1].

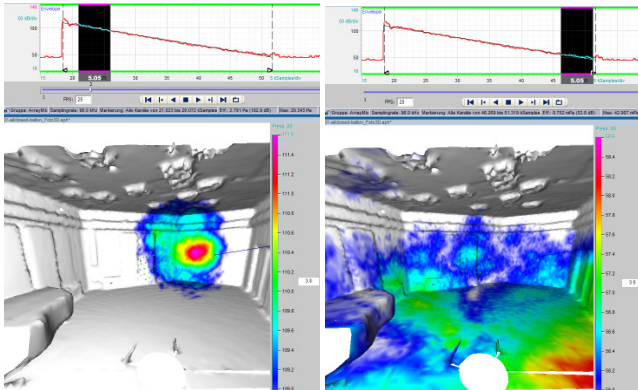


Abbildung 5: Akustische Photos eines Tonstudios zum Zeitpunkt RT10 (links) und RT60 (rechts)

In der Praxis wird die Nachhallzeit an verschiedenen Punkten des Raumes zweimal bestimmt und gemittelt, um eine entsprechende statistische Sicherheit zu erlangen. Mit der Hilfe von dreidimensionalen Mikrofonarrays können die Messungen aller Mikrofone direkt zu einer mittleren Nachhallzeit führen. Dieser Fakt sollte die statistische Sicherheit weiter erhöhen. Messungen an verschiedenen Raumpositionen bleiben dennoch unabdingbar. Nach Bestimmung der Abklingkurve ist es möglich, zu den entsprechenden Zeitpunkten (T10 bis T60) mit einer entsprechend zu wählenden Integrationszeit (fast, slow, ...)

akustische Karten zu berechnen. Abbildung 5 zeigt zwei Ergebnisse aus einem Tonstudio. Die Reflexion an der schallharten Fläche im linken Bild ist maßgeblich für die EDT verantwortlich. Zur Beurteilung des Raumes hat diese Fläche offensichtlich einen größeren Einfluss als andere Flächen. Im RT60 Bild (rechts) hat der dargestellte Teil des Raumes eine geringe Bedeutung. Da die Nachhallzeit aus Messungen im Bereich -5dB und -35dB abgeleitet wird, hat das Bild (RT60) keine praktische Relevanz. Das Beispiel sollte nur die Möglichkeit aufzeigen, eine solche Berechnung durchzuführen.

Zusammenfassung

Dieser Beitrag zeigt neue Möglichkeiten auf, dreidimensionale Mikrofonarrays in der Raumakustik einzusetzen. Die Erzeugung eines 3D-Modells mit einem für diesen Zweck entwickelten Laserscanner und optimierten nachgeschalteten Algorithmen bildet die Grundlage aller Messungen. In Verbindung mit den akustischen Daten können nun Quellen sowohl örtlich, zeitlich und/oder frequenzselektiv analysiert werden. Es ist möglich, Reflexionen zu detektieren und sogenannte „akustische Nachhallbilder“ zu erzeugen, um schnell und somit kostengünstig akustische Raumeigenschaften zu modifizieren.

Förderhinweis und Danksagung

Dieses Vorhaben wird aus Haushaltsmitteln des BMWi unter der Reg.-Nr. MF090151 gefördert.

Special thanks are due to Mojtaba (Moj) NAVVAB from University of Michigan, Taubman College of Architecture and Urban Planning - USA) and Gunnar Heilmann (gfai tech GmbH - Berlin - Germany) for providing the measurement examples.

Literatur

- [1] W. Fasold, E. Veres : Schallschutz + Raumakustik in der Praxis, Huss Verlag Bauwesen, 2003
- [2] D.H.Johnson, D.E Dudgeon : Array Signal Processing. Concepts and Techniques, PTR Prentice Hall, 1993
- [3] D. Döbler, A. Meyer : Dreidimensionale akustische Kartierungen mit kugelförmigen Mikrofonarrays, Proceedings of the DAGA 2007, Stuttgart, Germany, 2007
- [4] A. Meyer, D. Döbler : Noise source localization within a car interior using 3D-microphone arrays, Proceedings of the BeBeC 2006, Berlin, Germany, 2006
- [5] G. Heilmann, A. Meyer, D. Döbler : Time-domain beamforming using 3D-microphone arrays, Proceedings of the BeBeC 2008, Berlin, Germany, 2008