

Dreidimensionale akustische Kartierungen mit kugelförmigen Mikrofonarrays

Dirk Döbler, Andy Meyer

Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik (GfAI e.V.)
12489 Berlin, Deutschland, Email:doebler@gfai.de, meyer@gfai.de

Einleitung

Beamformingsysteme zur schnellen, bildgebenden Analyse von komplexen Schallquellen sind seit einigen Jahren auch in der industriellen Anwendung Stand der Technik. Vereinfachend wird dabei angenommen, dass sich die zu analysierenden Schallquellen in einer Ebene vor dem Array befinden. Reale Objekte hingegen weisen häufig komplex tiefenstrukturierte Oberflächen und demnach auch im Raum verteilte Schallquellen auf, so dass bei der Approximation auf eine Ebene Messfehler auftreten, die sich in Form von Pegelverfälschungen, verzerrter Lokalisation und Aliasingeffekten im Messergebnis manifestieren. In Innenräumen ist mit der Kartierung auf nur einer Ebene das Schallfeld nicht komplett zu erfassen. Mit herkömmlichen, zweidimensionalen Arrays ist eine 3D-Kartierung nur eingeschränkt möglich.

Zur Aufhebung dieser Einschränkungen ist in der GfAI die dreidimensionale akustische Kartierung entwickelt worden. Im Beitrag wird zunächst auf die 2D-Kartierung hinsichtlich der Fehlerquellen bei tiefenstrukturierten Messobjekten eingegangen. Es wird weiterhin das Funktionsprinzip der 3D-Kartierung dargestellt und welchen Ansprüchen ein Mikrofonarray gerecht werden muss, damit es sich für eine solche Kartierung eignet.

Zweidimensionale akustische Kartierung

Bei der klassischen 2D-Kartierung wird das zu messende Objekt durch eine im Raum aufgespannte rechteckige Ebene approximiert. Die Lage im Raum ergibt sich durch den vom Anwender eingegebenen mittleren Abstand (Mikrofonarray – Objekt) und der Tatsache, dass die Ebene parallel zur Chipenebene der optischen Kamera stehen soll. Durch Rasterung können dann alle Laufzeitunterschiede zwischen den Pixeln und den Mikrofonen berechnet werden.

Bei der Vermessung von tiefenstrukturierten Objekten sind in der Regel die Schallquellen auch dreidimensional verteilt.

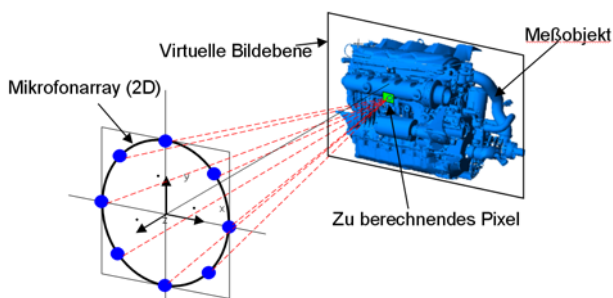


Abbildung 1: zeigt die prinzipiellen Beziehungen zwischen Mikrofonarray und virtueller Messebene zur Berechnung eines zweidimensionalen akustischen Bildes

Die Modellannahme einer einzigen Objektebene entspricht nicht genau genug der Realität und es kommt zu fehlerhaften Berechnungen der Laufzeitdifferenzen zwischen Mikrofonen und Schallquelle. Daraus resultieren Verzerrungen der Quellen im akustischen Bild und fehlerhafte (zu niedrige) Schalldruckpegel. Weiterhin ergibt sich die Einschränkung, keine umfassende und zeitsynchrone akustische Kartierung von Innenräumen machen zu können.

Dreidimensionale akustische Kartierung

Eine Lösung dieser Probleme stellt die dreidimensionale akustische Kartierung dar. Dabei wird die virtuelle Bildebene durch ein 3D-Modell des Objektes, welches aus einer Vielzahl von Dreiecken besteht, ersetzt.

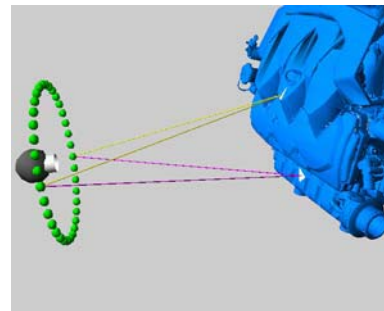


Abbildung 2: Bestimmung der Laufzeitdifferenzen unter Zuhilfenahme der korrekten dreidimensionalen Position der Dreieckspunkte und der Mikrofone

Die Dreieckspunkte des Modells können nun direkt benutzt werden, um die Laufzeitunterschiede zu berechnen, den errechneten Pegel farblich zu kodieren und darzustellen. Damit ergibt sich allerdings eine Abhängigkeit zwischen der tatsächlichen 3D-Modellauflösung und der erreichbaren akustischen Auflösung. Sollten die Punktabstände im Modell sehr groß sein, so ist es u.U. nicht möglich, hochfrequente Schallquellen zu lokalisieren. Durch die Unterteilung jedes einzelnen Dreiecks in Zeilen und Spalten und Berechnung der Schalldruckwerte für alle Pixel kann dieses Problem jedoch gelöst werden. Dieses „Texturing“ für jedes Dreieck ist allerdings sehr anspruchsvoll hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Grafikkarte.

Arraydesign für die 3D-Kartierung

Grundsätzlich ist es mit jeder Art von Mikrofonarray möglich 3D-Kartierungen zu erzeugen. Zwangsläufig sind dabei Abstriche bei der Qualität und Aussagekraft der Ergebnisse zu machen. Im Folgenden wurde vor einem planaren Ringarray eine Punktquelle simuliert. Die 3D-Kartierung auf einer Kugel (\varnothing 2m) liefert zusätzlich zur korrekten Darstellung der Quelle vor dem Array (Abb. 4, rechts) noch eine weitere Quelle hinter dem Array (links).

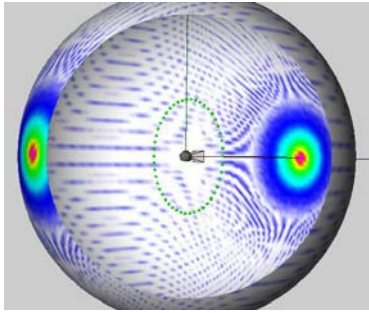


Abbildung 3: 3D-Szene simuliert mit *einer* Punktschallquelle (weißes Rauschen von 0-20kHz) im Abstand von 1m vor einem Ringarray mit (12dB Kontrast) (48 Kanäle, Ø 75cm)

Eine solche Aufgabe kann also mit einem planaren Array nicht eindeutig gelöst werden. Durch die Mehrdeutigkeit werden alle Quellen vor und hinter dem Array spiegelbildlich auf der jeweils anderen Seite noch einmal kartiert. Diese Tatsache hat für die Benutzung dieser Art von Arrays außerhalb von Akustikräumen auch in der 2D-Kartierung eine große Bedeutung.

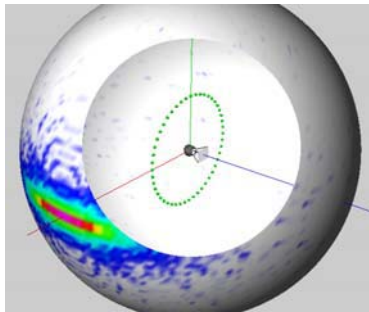


Abbildung 4: Darstellung wie Abb. 3; Position der Quelle nun aber seitlich rechts (8dB Kontrast)

Befindet sich eine Quelle seitlich vom Array (Abb. 4), ergeben sich zwischen der Position der Quelle und der Position der Mikrofone sehr schlechte geometrische Schnittbedingungen. Durch diese schleifenden Schnitte wird eine exakte Ortung unmöglich gemacht.

Für die 3D-Innenraumkartierung wird also ein Mikrofonarray benötigt, welches in allen Richtungen eine möglichst gleiche Hauptkeulenbreite, gleichen Frequenzgang, gleiche Auflösung und möglichst kleine Sidelobes aufweist. Weiterhin sollte das Array akustisch transparent sein.

Daraus leitet sich die Benutzung eines kugelförmigen Mikrofonarrays ab. Das Beispiel in der Abbildung 5 zeigt eine Simulation von zwei Punktschallquellen, die zum einen hinter und zum anderen rechts neben dem Array angeordnet sind. Die beiden Quellen können auf der Modelloberfläche sehr gut geortet werden. Durch die akustische Transparenz wird das sich ausbildende Schallfeld im Innenraum durch die Messung kaum beeinflusst, kein Mikrofon abgeschattet und es ergeben sich keine frequenzabhängigen Schalldruckerhöhungen durch die Oberfläche.

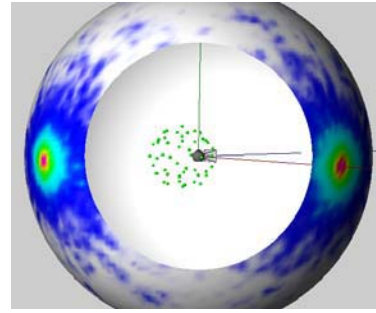


Abbildung 5: 3D-Szene simuliert mit *zwei* Punktschallquellen (weißes Rauschen von 0-20kHz) im Abstand von 1m hinter und rechts von einem Kugelarray gelegen (48 Kanäle, Ø 35cm), Bildkontrast 9dB

In der Abbildung 6 ist ein solches Mikrofonarray beispielhaft dargestellt. Wie bei einem 2D-Array wird der nutzbare Frequenzbereich des Arrays, in dem eine Kartierung möglich ist, durch den minimalen Abstand (obere Grenzfrequenz) und den maximalen Abstand (untere Grenzfrequenz) der Mikrofone bestimmt. Da sich alle Mikrofone auf der Kugeloberfläche verteilen, ist zum Erreichen des gleichen Frequenzbereiches eine größere Anzahl von Mikrofonen notwendig.



Abbildung 6: Kugelarray (48 Kanäle, Ø 35cm) der Firma GFaI.

Zusammenfassung

Die 3D-Kartierung als eine Erweiterung der 2D-Kartierung, zeigt besonders in Innenräumen ihre Vorteile auf. Mit einer Aufnahme ist es möglich, einen akustischen „Fingerabdruck“ des Fahrzeuges zu erzeugen. Vielfältige Analysemöglichkeiten stehen dem Anwender nach der Berechnung des 3D-Photos zur Verfügung (z.B. Fourieranalyse, Ordnungsanalyse, ...). In der Zukunft sollen die Algorithmen zur Berechnung des akustischen Photos 3D optimiert und die Analysemöglichkeiten erweitert werden.

Literatur

- [1] D.H.Johnson, D.E Dudgeon : Array Signal Processing. Concepts and Techniques, PTR Prentice Hall, 1993
- [2] H. van Trees: Optimum Array Processing, J. Wiley & Sons, 2002
- [3] P.S. Naidu: Sensor Array Signal Processing, CRC Press LLC, 2001