

Neuartige berührbare Schnittstellen durch die Rückprojektion akustischer Wellen

Wolfgang Rolshofen¹, Peter Dietz¹, Günter Schäfer¹

¹ Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Deutschland,
Email: rolshofen@imw.tu-clausthal.de

Einleitung

Das Auge ermöglicht Menschen eine schnelle Informationsbearbeitung, wie kaum ein anderes Sinnesorgan. Oft werden daher komplexe Vorgänge graphisch dargestellt. Können akustische Quellen sichtbar gemacht werden, wie beispielsweise ein optisches Hologramm?

Diese Frage wird neben der Mensch-Maschine Anbindung durch akustische Signale im Rahmen des EU-Projektes "Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction (TAI-CHI)" [1] erforscht. Zurzeit werden unterschiedliche Verfahren zur Schalllokalisierung erforscht [2, 3, 4]. In diesem Artikel werden Ergebnisse mittels akustischer Holographie ermittelt, wobei keine Mikrofone sondern Beschleunigungsaufnehmer eingesetzt werden.

Lokalisierungsmethoden

Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer berührbaren Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Diese soll die akustischen Eigenschaften eines Objektes bestimmen, nachdem es durch Interaktion (Klopfen, Berühren) in Schwingung versetzt wurde. Eine Anwendung solcher Schnittstellen kann der Einsatz als neuartige Musikinstrumente sein [5].

Prinzip der Holographie

Gabor entwickelte die Idee der optischen Holographie [6]. Dabei ist das Besondere, dass Wellen einer gemeinsamen Quelle, nachdem sie sich auf unterschiedlichen Wegen ausgebreitet haben, an einer Stelle wieder überlagert werden. Wenn sich eine Welle durch einen Objektpunkt ausbreitet, dann bildet sich nach dem Prinzip von Huygens-Fresnel eine neue sphärische Welle aus. Diese wird Objektwelle genannt im Gegensatz zu der Referenzwelle, die sich direkt von der Quelle zum Ziel ausbreitet. Am Ort der Überlagerung kann die Superposition von Amplituden- und Phasenverteilung aufgezeichnet werden.

Rayleigh-Sommerfeld Algorithmus

Allgemein betrachtet ist die Akustische Holographie eine Messung des Schallwellenfeldes auf einer geeigneten Oberfläche und sie benutzt das gemessene, zweidimensionale akustische Wellenfeld zur Rekonstruktion der dreidimensionalen akustischen Intensitätsverteilung [7].

Die akustische Wellenausbreitung zwischen Hologramm- und Bildebene kann mit der folgenden Formel (1) berechnet und dargestellt werden, welche Rayleigh-Sommerfeld Algorithmus genannt wird.

Eine solche Rechenvorschrift beschreibt die holographische Rekonstruktion [8] eines komplexen Wellenfeldes mittels der Hologramm Daten, wobei F die Fourier- und F^{-1} die inverse Fourier-Transformation symbolisiert. Außerdem sind die räumlichen Koordinaten x und z , sowie die Wellenzahl k angegeben.

$$\tilde{\Psi}(x_B, z_B) = F^{-1} \left\{ F \left[\tilde{\Psi}(x_H, z_H) \right] \cdot e^{ik\lambda \sqrt{1-\lambda^2(\gamma^2 + \delta^2)}} \right\} \quad (1)$$

In der Gleichung (1) stehen die Indizes B und H für die Quell- und Hologrammebene, λ beschreibt die Wellenlänge und γ sowie δ die lokalen Frequenzen.

Anwendung

Auf der Basis des Rayleigh-Sommerfeld Algorithmus wurde ein Matlab-Programm zur Lokalisierung von akustischen Quellen geschrieben. Die benutzte Ausstattung besteht aus ICP-Beschleunigungsaufnehmern, die über eine National-Instruments PCMCIA Datenerfassungskarte mit einem mobilen Computer verbunden ist. Auf dem Rechner befindet sich die Software mit dem Algorithmus. Als Testobjekte wurden die Sensoren auf einem Schreibtisch aus Holz und einer Stahlplatte befestigt.

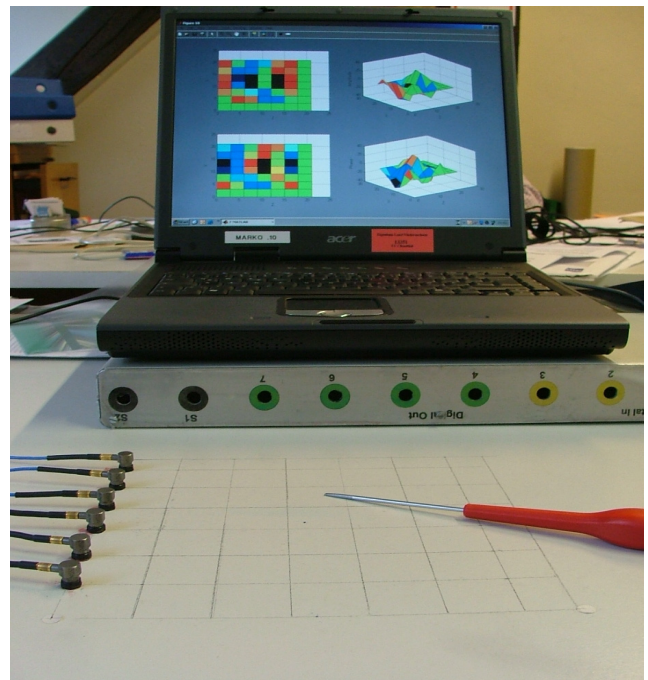


Abbildung 1: Messaufbau bestehend aus Beschleunigungssensoren, Datenerfassungskarte und Notebook zur Lokalisierung des Klopfens auf einer Schreibtischplatte.

Im ersten Schritt wird die Laufzeit des Signals für jeden Sensor aufgezeichnet, wonach eine Fourier-Transformation auf die Daten des Zeitbereichs angewendet wird.

Als nächstes wird die Berechnung nach dem Rayleigh-Sommerfeld Algorithmus für unterschiedliche Frequenzen durchgeführt, wobei die Quelle das Klopfen mit einem Finger oder Schraubendreher auf einer Schreibtisch-, oder Stahlplatte war. Einen Eindruck des Experiments vermittelt die Abbildung 1.

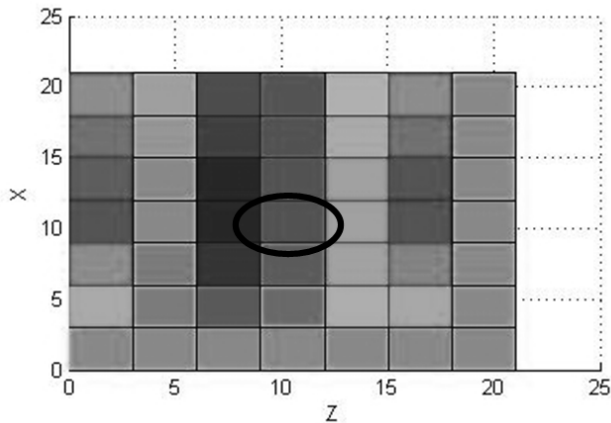


Abbildung 2: Ergebnis der Lokalisierung für die Frequenz von 600Hz, wobei der Kreis die Position der Quelle angibt.

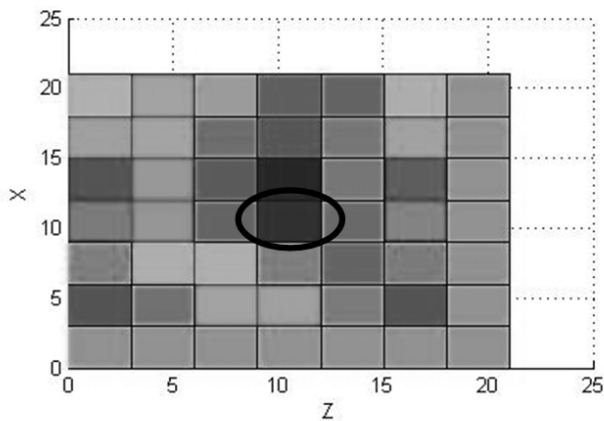


Abbildung 3: Ergebnis der Lokalisierung für die Frequenz von 1600Hz, wobei der Kreis die Position der Quelle angibt.

Da für die Auswertung die Ausbreitungsgeschwindigkeit der akustischen Wellen im Material bekannt sein muss, wurde diese durch eine Art Kalibrierung in Vorversuchen an den Messobjekten ermittelt. Die Methode für diese Berechnung basiert auf dem Laufzeitverfahren für die Ersteinsätze des Signals entlang einer bekannten Distanz. Mit Hilfe dieser Voraussetzung kann der Algorithmus für die Transformation eingesetzt werden, die zu einer Rückprojektion entlang des Ausbreitungsweges führt.

Ergebnisse

In Abbildung 2 und Abbildung 3 werden Ergebnisse für die Quelllokalisierung mit dem Rayleigh-Sommerfeld Algorithmus vorgestellt. Es handelt sich hierbei um die berechnete Rückprojektion für die Frequenzen 600 und 1600 Hz. Auf dem Schreibtisch befand sich ein aufgemaltes Gitter um das Klopfen und Schlagen zu koordinieren, welches für diese Bilder bei der X-Koordinate 10 und Z-Koordinate 10 erfolgte.

Für alle gezeigten Frequenzen kann ein Maximum in Amplituden und Phasenverteilung beobachtet werden (dunkelste Bereiche der Abbildungen). Diese Maxima korrelieren mehr oder weniger mit der Klopfposition, wobei der Fehler nicht mehr als ein benachbartes Quadrat ist. Vermutlich ist der Grund für diese Abweichung, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit nicht genau genug ermittelt wurde (Dispersionskurve).

Die Ergebnisse für die Experimente mit der Stahlplatte sind vergleichbar. Auch dort kann die Quelle für bestimmte Frequenzen lokalisiert werden. In weiteren Messungen wird überprüft, ob eine größere Anzahl an Sensoren und deren Anordnung zu einer Verbesserung des Ergebnisses führen.

Insgesamt ist nun ein mobiles Testsystem vorhanden, welches nach Klopfen oder Schlagen die Quelllokalisierung aufgrund eines holographischen Ansatzes, d.h. durch die Rückprojektion akustischer Wellen, ermittelt.

Literatur

- [1] Reference to the TAI-CHI homepage. URL: <http://www.taichi.cf.ac.uk/>
- [2] Rolshofen W, Pham D.T. and al.: New Approaches in Computer-Human Interaction with Tangible Acoustic Interfaces. IPROMs 2005 Virtual Conference, May, 2005
- [3] Polotti P., Sampietro M., Sarti A., Crevoisier A.: Acoustic Localization of Tactile Interactions for the Development of Novel Tangible Interfaces. Proc. of the 8th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFX-05), Madrid, Spain, 2005
- [4] R. K. Ing, N. Quieffin, S. Catheline, M. Fink.: Tangible interactive interface using acoustic time reversal process. Submitted to Applied Phys. Lett., 2005
- [5] Crevoisier A. and Polotti P.: Tangible Acoustic Interfaces and their Application for the Design of new Musical Instruments. Proceedings of NIME-05, Vancouver, Canada, 2005
- [6] Gabor, D.: A new microscopic principle. Nature, 161 (1948), 777-778
- [7] Williams, E.: Fourier Acoustics- Sound Radiation and Nearfield Acoustic Holography. Academic Press, 1999
- [8] Roye, W.: Beitrag zur Weiterentwicklung der akustischen Holografie beim Einsatz in der Materialprüfung. VDI-Verlag, Reihe 5: Grund- und Werkstoffe, Nr. 117, 1987