

Berührbare Schnittstelle basierend auf Akustischer Holografie

Rolshofen, W.; Dietz, P.; Schäfer, G.

Dieser Artikel beschreibt einen neuartigen Ansatz für die Entwicklung von berührbaren akustischen Schnittstellen basierend auf Akustischer Holografie. Außerdem werden der Hintergrund und die Ziele innerhalb des Europäischen Forschungsprojektes Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction (TAI-CHI), sowie das holografische Prinzip vorgestellt. Ein neues mobiles Testsystem wird für Experimente eingesetzt und erste Ergebnisse mit Hilfe des Rayleigh-Sommerfeld Algorithmus sind verfügbar. Hierbei wurde das Berühren und Klopfen auf einen Schreibtisch aus Holz untersucht.

This paper describes a new approach to the development of tangible acoustic interfaces based on acoustic holography. The background and aim of the European Research Project Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction (TAI-CHI) is presented. Briefly, the holographic principle is explained. Mobile test equipment has been set up. New results of Rayleigh-Sommerfeld Algorithm are available and summarized in chapter outcome. The tapping and knocking on a wooden writing table were examined.

1 Einführung

Kein anderes Sinnesorgan als die Augen befähigt den Menschen schnell neue Informationen aufzunehmen. Daher werden komplexe Abläufe graphisch dargestellt. Können akustische Quellen ähnlich wie optische Hologramme sichtbar gemacht werden?

Dieser Frage wird innerhalb des EU-Forschungsprojektes „Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction (TAI-CHI)“ /1/, /2/ erforscht. Zurzeit wird eine solche Methode entwickelt, welche in unterschiedliche Computeranwendungen des Konsortiums implementiert wird. Am Ende sollen neue Anwendungen für die Mensch-Maschine-Interaktion auf der Basis von akustischen Wellen verfügbar sein.

2 Die Methode

Das Projektziel ist eine berührbare, akustische Schnittstelle zu entwerfen, die eine akustische

Quelle aufgrund der Vibration eines Objektes nach dessen Berührung, Klopfen usw. erkennt.

2.1 Prinzip der Holografie

Die Idee der optischen Holografie wurde zuerst von Gabor /3/ im Jahre 1948 formuliert. Doch es waren zahlreiche weitere Erfindungen notwendig (z.B. Laser) bis Gabors Prinzip experimentell nachgewiesen wurde. Eine holografische Abbildung entsteht durch die Aufnahme eines Hologramms und anschließend dessen räumlicher Rekonstruktion. Das bedeutet, wenn eine Wellenfront auf einen Objektpunkt trifft, dann bildet sich eine neue Welle nach dem Huygens-Fresnel-Prinzip aus. Diese wird Objekt-Welle genannt, im Gegensatz zu der vorher existierenden Referenzwelle. Eine Überlagerung beider Wellen kann beispielsweise durch eine Platte, die mit lichtempfindlichem Material beschichtet ist, aufgezeichnet werden. Hierbei sorgt die Überlagerung für Verstärkungen oder Auslöschungen des Lichts, aufgrund von Unterschiedlicher Phasenlage der beiden Wellen (s. **Bild 1**).

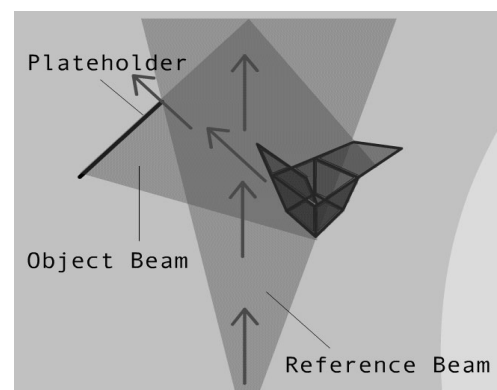


Bild 1: Überlagerung der Objekt- und Referenzwelle auf einer photosensitiven Platte, wo das optische Hologramm aufgezeichnet wird /4/.

Der große Vorteil von Holografie ist, dass Hologramme mit einem großen Informationsgehalt produziert werden können. Der Grund hierfür ist, dass ein dreidimensionales Wellenfeld aus einer zweidimensionalen Oberfläche, wie einer Fotoplatte, rekonstruiert werden kann, wenn die Phaseninformationen berücksichtigt werden /5/.

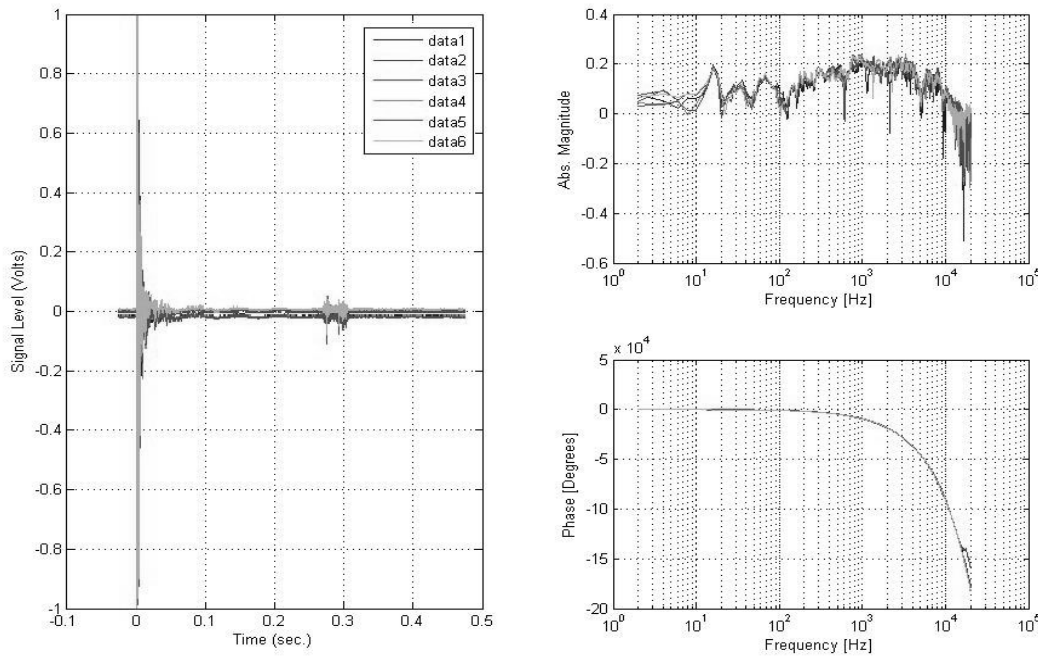


Bild 2: Auf der linken Seite sind das Signal der einzelnen Sensoren [Volt] gegen die Zeit [s] aufgetragen und auf die rechte Seite zeigt das Amplituden- und Phasenspektrum der aufgezeichneten Daten.

2.2 Rayleigh-Sommerfeld Algorithmus

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 holografische Rekonstruktion [6] eines komplexen Wellenfeldes $\tilde{\Psi}(x_B, z_B)$ mittels der Hologrammdaten $\tilde{\Psi}(x_H, z_H)$, wobei F die Fourier- und F^{-1} die Inversefourier-Transformation symbolisiert. Außerdem sind die räumlichen Koordinaten x und z , sowie die Wellenzahl k angegeben.

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

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.

3 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 ein Testobjekt wurden die Sensoren auf einem Schreibtisch aus Holz befestigt.

Zuerst musste der entwickelte Algorithmus verbessert werden. Dabei wurde die Berechnung auf einen großen Frequenzbereich ausgeweitet. Außerdem sind vorbereitende Tests mit synthetischen Daten ausgewertet worden, wo ein Dirac-Impuls die Interaktion mit einem Objekt simulieren sollte.

Am Anfang wird die Laufzeit des Signals für jeden Sensor aufgezeichnet (s. **Bild 2**, links), wonach eine Fourier-Transformation auf die Daten des Zeitbereichs angewendet wird. Danach wird sowohl das Amplituden als auch das Phasenspektrum der Signale berechnet (s. **Bild 2**, rechts). Als nächstes wird die Berechnung nach dem Rayleigh-Sommerfeld Algorithmus für unterschiedliche Frequenzen durchgeführt, wobei die Quelle ein Schraubendreher auf einer Schreibtischplatte war. Einen Eindruck des Experiments vermittelt das **Bild 4**.

Da für die Auswertung die Ausbreitungsgeschwindigkeit der akustischen Wellen im Material bekannt sein muss, wurde diese durch eine Art Kalibrierung

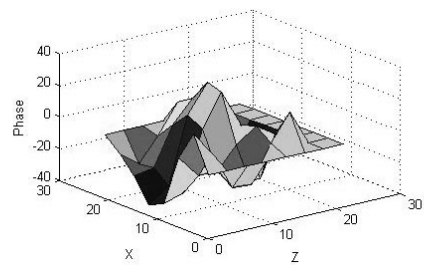
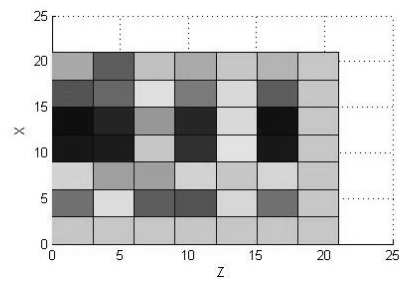
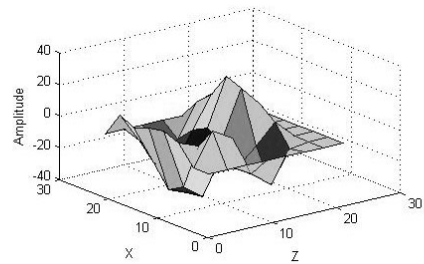
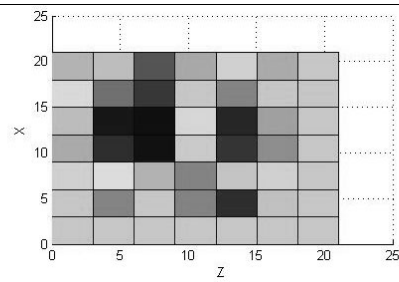
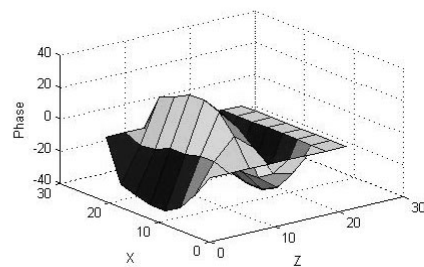
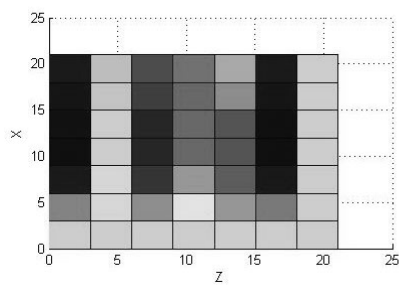
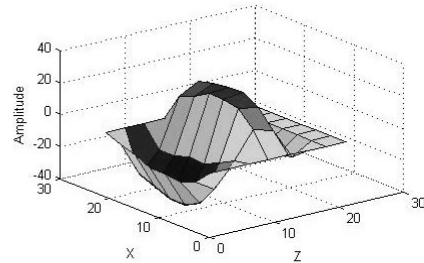
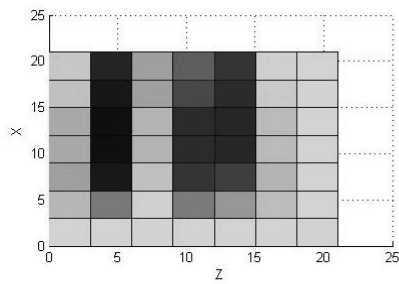
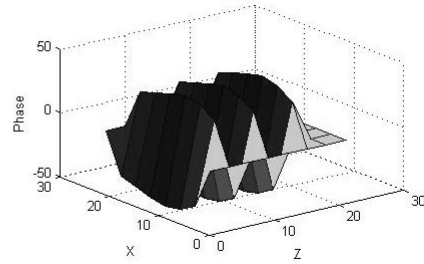
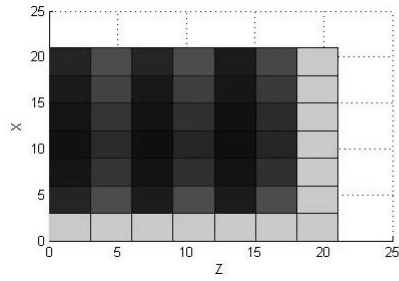
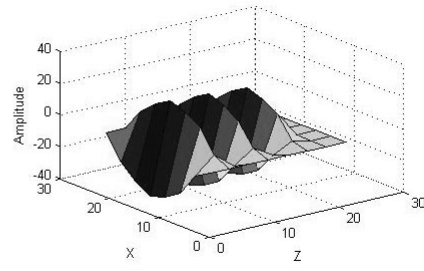
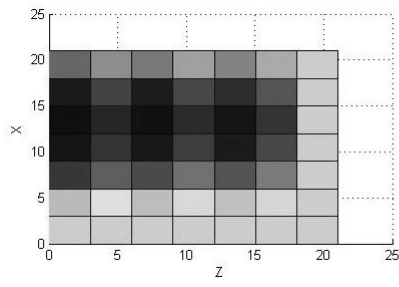


Bild 3: Ergebnis der Quelllokalisierung für die Frequenzen 500, 600 und 1600 Hz.

in Vorversuchen an dem Messobjekt ermittelt. Die Methode für diese Berechnung basiert auf dem Laufzeitverfahren für die Ersteinträge 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.

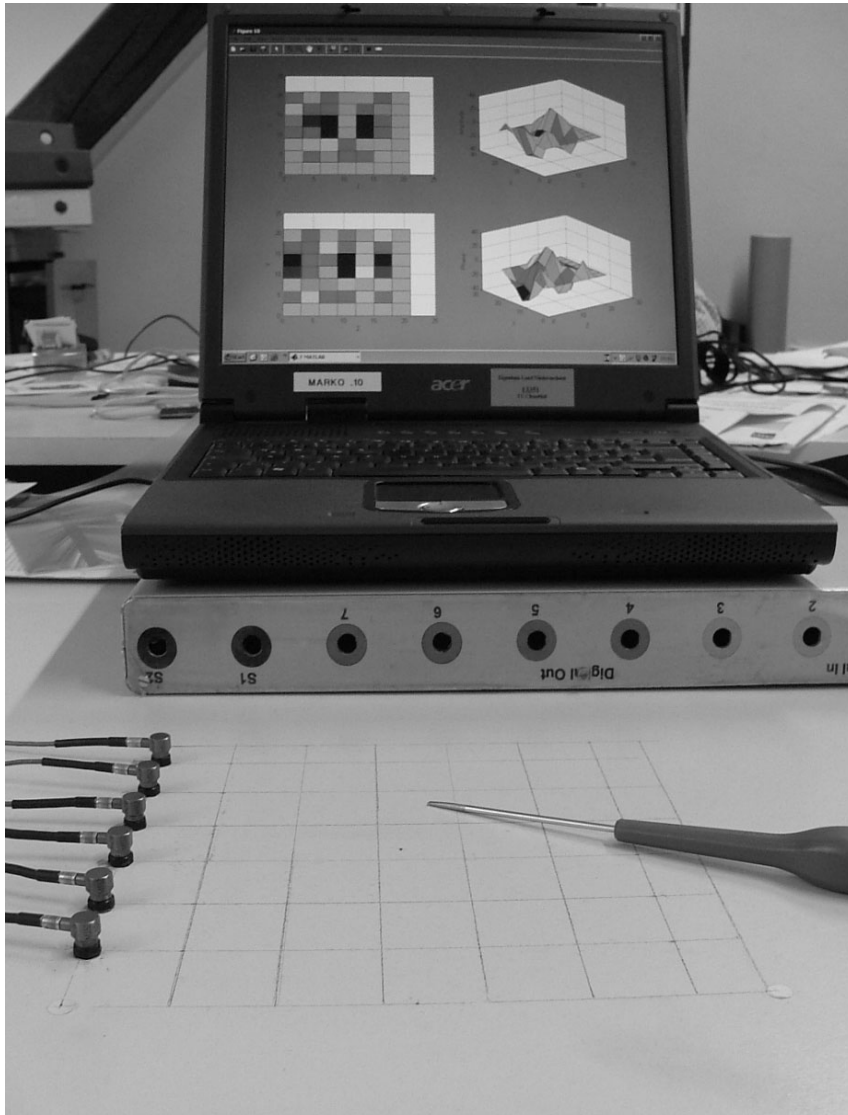


Bild 4: Aufnahme der Ausstattung und Ergebnis einer Quellenlokalisierung auf dem Monitor, die dem Inhalt des Bildes 5 entspricht.

4 Ergebnisse

In **Bild 3** werden erste Ergebnisse für die Quelllokalisierung mit dem Rayleigh-Sommerfeld Algorithmus vorgestellt. Es handelt sich hierbei um die berechnete Rückprojektion für die Frequenzen 500, 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 13 und Z-Koordinate zehn erfolgte.

Für alle gezeigten Frequenzen kann ein Maximum in der Amplituden und Phasenverteilung beobachtet werden. 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 eine

Ausbreitungsgeschwindigkeit, die nicht genau genug ermittelt wurde. Andererseits könnte die Abweichung vielleicht durch andere Frequenzen in der Berechnung verringert werden. In weiteren Messungen wird ebenfalls überprüft, ob eine größere Anzahl an Sensoren und deren Anordnung zu einer Verbesserung führen.

Insgesamt ist nun ein mobiles Testsystem vorhanden, welches nach Klopfen oder Schlagen die Quelllokalisierung aufgrund eines holografischen Ansatzes ermittelt.

5 References

- /1/ TAI-CHI Konsortium: Technical Annex of the project. Vertragsdokument, 2004
- /2/ Reference to the TAI-CHI homepage. URL: <http://www.taichi.cf.ac.uk/>
- /3/ Gabor, D.: A new microscopic principle. Nature, 161 (1948), 777-778
- /4/ Reference to MIT Museum's Holography homepage: eye on holography. URL: <http://www.mit.edu/~sdh/holography/eoh/index.html>
- /5/ Roye, W.: Beitrag zur Weiterentwicklung der akustischen Holografie beim Einsatz in der Materialprüfung. VDI-Verlag, Reihe 5: Grund- und Werkstoffe, Nr. 117, 1987
- /6/ Rolshofen, W., Yang, M., Wang, Z.: Acoustic Holography in-Solids for Computer-Human Interaction, I*PROMS Virtual Conference, Cardiff, 2005