

TAI-CHI: Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction

Wolfgang Rolshofen¹, Peter Dietz¹, Günter Schäfer¹

¹ Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, Robert-Koch-Str. 32, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Deutschland,

Email: rolshofen@imw.tu-clausthal.de

Einleitung

Nach der Visualisierung und Spracherkennung mittels Computer sind Tast- und Kontakttechnologien, die akustisch basieren, die nächste Herausforderung für die Zukunft. Wie ein menschlicher Reiz, der Tastsinn, in den Bereich von Computeranwendungen übertragen wird, untersucht das Forschungsprojekt Tangible Acoustic Interfaces for Computer-Human Interaction (TAI-CHI [1,2]). Die Arbeiten werden durch die Europäische Union innerhalb des sechsten Rahmenprogramms gefördert (IST-2002-507882). Unterschiedliche physikalische Objekte, wie flache oder komplexe Oberflächen, sollen als Kontaktfläche für eine berührbare Benutzerschnittstelle eingesetzt werden.

Methoden

Das Ziel des Projektes ist, eine akustische Schnittstelle zu entwerfen, die eine Verbindung zwischen der realen und der virtuellen Umwelt durch Berührung herstellt.

Prinzipiell werden zwei Anregungsarten der physikalischen Objekte untersucht. Zum einen handelt es sich um eine passive Methode, wo durch Interaktion (Klopfen, Tasten usw.) ein Gegenstand in Schwingung versetzt wird. Oder andererseits um eine aktive Methode bei der die Absorption der akustischen Energie an den Berührungspunkten eines schwingenden Systems ermittelt wird.

Die unterschiedlichen Bewegungen, die detektiert werden sollen, sind Klopfen, Schlagen, Berühren, Reiben, Kratzen und kontinuierliche Bewegungen auf Festkörpern. Das dabei entstehende Signal wird mit unterschiedlichen Methoden analysiert. Diese sind die Erfassung der Signal-Laufzeit (time different of arrival), die Zeitumkehr (time reversal) und die Holographie. Jedes Analyseverfahren dient der Lokalisierung der Schallquelle auf dem eingesetzten Medium.

Signal-Laufzeit (time different of arrival): Wenn auf einer rechteckigen Platte in den jeweiligen Ecken akustische Sensoren angebracht werden, kann bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle der Ort der Anregung durch die Signallaufzeit bestimmt werden (s. Abbildung 1). Es handelt sich um das gebräuchlichste Verfahren im Zeitbereich, das in seiner Genauigkeit stark von der Zeiterfassung und den jeweiligen Signalformen abhängt. Der Grund für den Einsatz dieses Prinzips ist die einfache Umsetzung bei schnellen und ausreichenden Ergebnissen. Allerdings ist der Einfluss von Störgeräuschen groß, so dass auch weitere Verfahren eingesetzt werden.

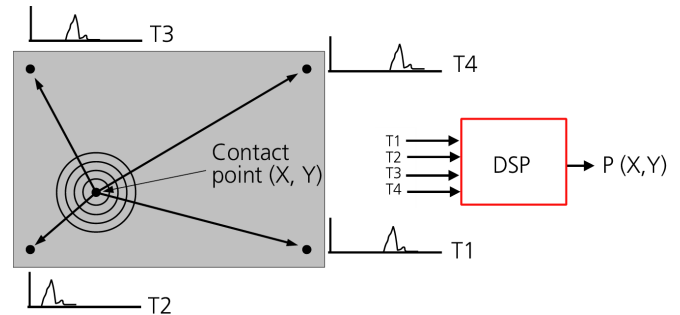


Abbildung 1: Prinzip der Lokalisierung von akustischen Quellen unter Verwendung der Laufzeiten (T1, T2, T3 und T4) des Signals vom Berührungspunkt bis zum jeweiligen Sensor. Aufgrund dieser Information kann durch die Signalbearbeitung die Quellposition $P(x,y)$ bestimmt werden [1].

Zeitumkehr (time reversal): Die Technik der Zeitumkehr kann nicht nur erfolgreich in der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt werden, sondern auch im hörbaren Frequenzbereich [3]. Das räumlich und zeitlich gespeicherte akustische Wellenfeld enthält Informationen über den Ort der Quelle und kann auf diesen zurück abgebildet werden. Objekte wie ein Fenster oder ein Tisch erzeugen durch Berührung ein akustisches Feld, das mit nur einem Sensor nachweisbar ist (s. Abbildung 2). In Echtzeit kann die Schallquelle lokalisiert werden. Die Impulsantwort eines Systems wird für bestimmte Positionen zeitlich umgekehrt (gespiegelt) abgespeichert. Ein durch erneutes Berühren erzeugtes Signal wird mittels Kreuzkorrelation mit den abgespeicherten Spuren verglichen; die maximale Korrelation ergibt die Position der Anregung.

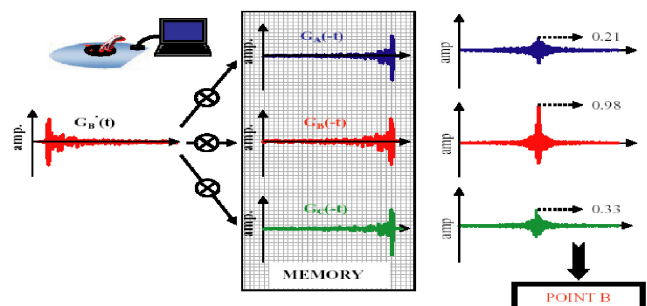


Abbildung 2: Ein neues Signal $G'B(t)$, welches durch Klopfen auf eine Platte entsteht, wird mit den gespeicherten Impulsantworten (Memory) verglichen. Das Maximum der Korrelationsfunktion zeigt den Ort der Anregung (Bild von Catheline, S., Ribay, G., LOA).

Holographie: Die Grundidee der optischen Holographie formulierte Gabor [4] schon im Jahre 1948. Es bedurfte aber erst weiterer Erfindungen, wie z.B. des Lasers, bis das Prinzip umgesetzt werden konnte. Notwendig für eine holographische Abbildung sind die Aufnahme eines Hologramms und die Bildrekonstruktion (s. Abbildung 3).

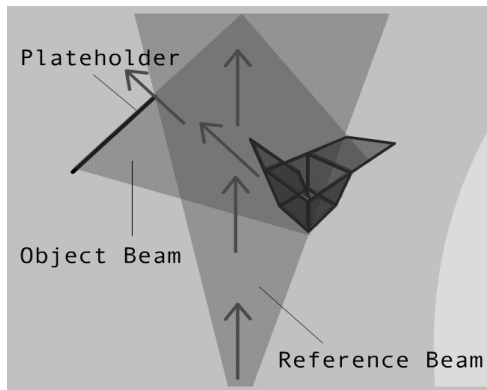


Abbildung 3: Die Überlagerung von Objekt- und Referenzstrahl auf einer Fotoplatte erzeugt ein optisches Hologramm [5].

Fällt in einem Objektpunkt eine ebene Wellenfront ein, so wird in diesem Punkt eine gebeugte Kugelwelle erzeugt (Huygens-Fresnel-Prinzip), die im Gegensatz zur ursprünglichen Referenzwelle als Objektwelle bezeichnet wird. Durch die Überlagerung dieser beiden Wellen lässt sich die Amplituden- und Phasenverteilung mittels einer Fotoplatte aufzeichnen (s. Abbildung 3). Der große Vorteil der Holographie liegt in dem hohen Informationsgehalt der Hologramme, denn aus der zweidimensionalen Oberfläche der Fotoplatte kann das dreidimensionale Wellenfeld rekonstruiert werden. Ursache dafür ist die gespeicherte Phaseninformation [6].

In der Akustischen Nahfeld Holographie (Nearfield Acoustic Holography, NAH) wird das zweidimensionale Schalldruckfeld aufgezeichnet und dazu verwendet, dass z.B. das dreidimensionale Schalldruckfeld bestimmt werden kann [7].

Ein mathematisches Modell des Huygens-Fresnel-Prinzips lässt sich aus der Rayleigh-Sommerfeld-Beugungsformel herleiten, da diese dem Faltungssatz entspricht. Wegen des Faltungssatzes ist die Faltung im Fourierraum eine Multiplikation. Durch die analytische Berechnung der Transferfunktion (Greensche Funktion) lässt sich nun die Wellenausbreitung zwischen unterschiedlichen Ebenen (Hologramm- und Bildebene) berechnen [8] und darstellen (s. Abbildung 4).

Partner und Ziel

Die einzelnen Partner des TAI-CHI Projektes sind die University of Wales Cardiff (UWC), das Center for Engineering and Technology Transfer (CeTT), die Università Degli Studi di Genova (DIST), das Laboratoire Ondes et Acoustique (LOA), die University of Birmingham

(BHAM), die Politecnico di Milano (PoliMi) und die Technische Universität Clausthal (TUC). Ausgehend von den dargestellten Lokalisierungsverfahren werden weitere Ansätze in der Signalbearbeitung untersucht, damit ein Prototyp entsteht, der mittels akustischer Signale Maschinen steuern kann.

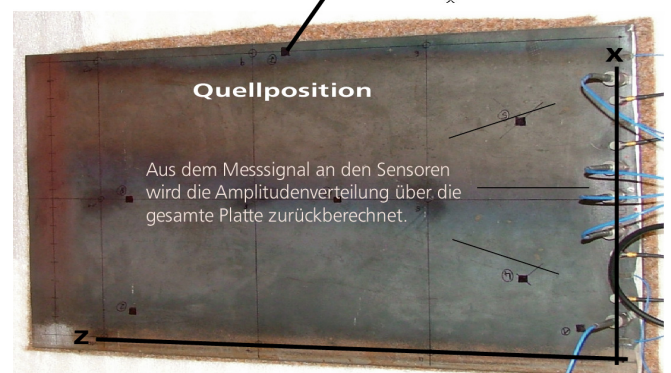
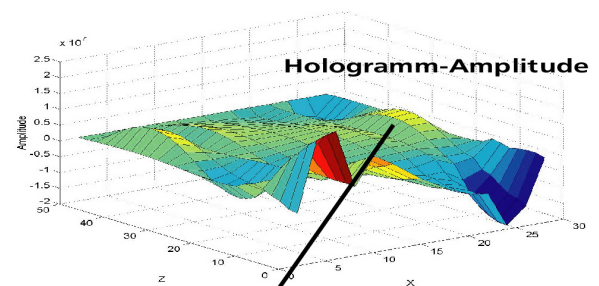


Abbildung 4: Holographische Beschreibung der Amplitudenverteilung nach dem Klopfen auf eine Metallplatte an der Quellposition.

Literatur

- [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] Ing, R. K., Quieffin, N., Catheline, S. and Fink, M.: Time reversal interactive objects. JASA 115, 5 (2004), 2589
- [4] Gabor, D.: A new microscopic principle. Nature, 161 (1948), 777-778
- [5] Reference to MIT Museum's Holography homepage: eye on holography. URL: <http://www.mit.edu/~sdh/holography/eoh/index.html>
- [6] Roye, W.: Beitrag zur Weiterentwicklung der akustischen Holografie beim Einsatz in der Materialprüfung. VDI-Verlag, Reihe 5: Grund- und Werkstoffe, Nr. 117, 1987
- [7] Maynard, J., Williams, E. und Lee, Y.: Nearfield acoustic holography: I. Theory of generalized holography and the development of NAH. JASA, 78, 4 (1985), 1395-1413
- [8] Williams, E.: Fourier Acoustics- Sound Radiation and Nearfield Acoustic Holography. Academic Press, 1999