

<http://www.innovationspreis.de>

Arbeitsgruppe für Welleninterferenztechnologie
Dr. G. Heinz, GFal Berlin

heinz@gfai.de

Tel. (030) 6392-1624

Fax. -1602

GFal

Gesellschaft zur Förderung
angewandter Informatik e.V.
Rudower Chaussee 30
12489 Berlin

Tel. (030) 6392-1600

Fax. (030) 6392-1602

e-Mail: service@gfai.de

<http://www.gfai.de>

Innovationspreis Berlin/Brandenburg 2002 "Akustische Kamera"

Klassische Lärmanalysen mit dem Ziel der Quellenfindung sind kompliziert. Ihre Aussagekraft ist oft ungewiß. Verursachende Quelle und abstrahlende Fläche sind oft räumlich verschieden. Im Projektteam wurde eine Technologie entwickelt, mit der sich Schallemissionen von Geräten und Anlagen schnell und preiswert identifizieren lassen. Durchschnittlich betragen die Kosten für eine Geräteanalyse nur etwa ein Zehntel klassischer Analysen. Damit werden auch kmU in die Lage versetzt, Schallemissionen zu analysieren.

Über Schallbilder lassen sich Schadensursachen erkennen oder Hinweise für Konstruktionsverbesserungen ableiten. Schallmovies gestatten Aussagen über die Dynamik von Maschinen im Hochgeschwindigkeitsbereich von bis zu 100.000 Schallbildern pro Sekunde. Modalanalysen gestatten die Ortung unliebsamer Frequenzen.

Positive Effekte auf den Arbeitsmarkt ergeben sich aus der verbesserten Produktqualität bei anwendenden Firmen, da geringe Schallemissionen inzwischen zu einem Erfolgsfaktor im Produktmarketing geworden sind. Man rechnet mit deutlichen Zuwachsraten.

So arbeitete das Team an einem Sportwagen der Luxusklasse mit, untersuchte Projekte wie "Der leiseste Bagger" oder "Der leiseste Mobilkran", untersuchte die neue Berliner U-Bahn, die Hanoversche neue S-Bahn, neue Niederflur-Strassenbahnen, elektrische Rasierapparate, eine Rheinbrücke oder ein Windkraftwerk, um nur einige Anwendungen zu nennen. Siehe auch

<http://www.acoustic-camera.com>

Nicht zuletzt ist Lärm zum Umweltproblem No.1 geworden. Medizinische Studien zeigen, daß z.B. Herzinfarkt ursächlich von hohen Lärmmissionen induziert werden kann.

Anwendungszweck

Stand der Technik

Bekanntere Verfahren haben bestimmte Schwachstellen. Derzeit existieren folgende Verfahren mit etwa vergleichbarer Zielstellung:

1. klassische Scanverfahren mit Intensitätssonden oder Testpunkten (üblich)
2. feldtheoretische Ansätze basierend auf einer Dekomposition des realen Wellenfelds (B&K, LMS, ...)
3. Fourierbasierende, korrelative Ansätze (DLR, IABG)
4. Hyperbolische Extrapolationen aus Korrelationsanalysen (Militärtechnik)

Verfahren 1) ist durch mangelnde Ortsauflösung gekennzeichnet, dreidimensionale Objekte können praktisch kaum kartiert werden. Verfahren 2) ist im Industrielltag praktisch nur in Spezialfällen anwendbar, weil Zeitfunktionen der gesamten Hüllfläche um das zu kartierende Objekt bekannt sein müssen. Verfahren 3) ist vergleichbar am meisten ausgereizt, besitzt aber die Einschränkungen, daß die Zeitauflösung mangelhaft ist und daß die Ortsauflösung Reserven besitzt. Auch ist der Rechenaufwand unnützlich hoch. Einzelereignisse sind zeitlich unzureichend auflösbar. Verfahren 4) ist mit Verfahren 3) eng verwandt und findet im Militärbereich sowie zur Sprecherlokalisierung Anwendung. Nachteil ist ein hoher Rechenaufwand, Schalldruck-Bewertungen sind nicht explizit ableitbar.

Kurzbeschreibung der technischen Lösung

Der internationale Stand der Technik wird vom Team mit einer neuen Methode, der der interferenziellen Rekonstruktion des sog. pseudo-inversen Wellenfeldes im Zeitbereich bestimmt.

Dabei wird eine Eigenschaft eines (relativ einfach berechenbaren) pseudo-inversen Wellenfeldes ausgenutzt, unter bestimmten Bedingungen eine gleiche integrale Amplitudenverteilung wie das zu rekonstruierende Feld zu besitzen. Es kann eine Schalldruck-Kartierung berechnet werden, die unabhängig von Annahmen über Strahlerparameter oder Ausbreitungsverhältnisse bleibt.

Es wurde ein Meßsystem entwickelt, daß Maßstäbe hinsichtlich Kleinheit, Gewicht und Leistungsmerkmalen setzt. Das optische Bild wird zeitgleich mit einer Videokamera aufgenommen und zusammen mit der akustischen Karte verrechnet, sodaß ohne Nacharbeit in einem Arbeitsgang akustische Bilder entstehen.

Insbesondere gelang es dem Team, die Interpretationsfreiheit akustischer Bilder einzuschränken. Es wurden völlig neue Leistungsmerkmale akustischer Kartierungssysteme entwickelt:

- ◆ automatische Bildüberlagerung
- ◆ Zeitlupen-Movie
- ◆ Realzeit-Monitoring
- ◆ Auflösung diskontinuierlicher Ereignisse
- ◆ Fernfeldrekonstruktion
- ◆ Portabilität der Meßeinrichtung
- ◆ Kostenfaktor

Auf diesen Gebieten sind internationale Maßstäbe gesetzt worden, siehe auch Abbildungen.

Aufgaben, Ziele

"Ständiger Lärm verursacht psychische und physische Schäden, so ein Experte vom Bundesumweltamt in Berlin. Ein ständig erhöhter Geräuschpegel kann das (Herz-) Infarktisiko um 20 Prozent erhöhen." (Quelle: dpa)

Aufgabe und Ziel der Entwicklung der akustischen Kamera (AK) war es, ein Meßgerät zu entwickeln, mit dem innerhalb kürzester Zeit und mit geringsten Kosten klare Aussagen über akustische Emissionsstrukturen von Geräten, Maschinen oder Anlagen zu erzielen sind.

Erkenntnisfortschritt

Die Entwicklung basiert auf einer Untersuchung zu Wellenfeldern auf Leitbahnsystemen (Neuronale Interferenzen, Heinz, G., 1993, 300 S.)

Schwerpunkt der Entwicklung sind vertiefte Kenntnisse zu freien und leitbahngebundenen Wellenausbreitungen in Zeit und Raum. Insbesondere die Aufklärung der Eigenschaften des sog. pseudo-inversen Wellenfeldes im virtuell rückwärts laufenden Wellenraum bei äußerlich vorwärtslaufender Zeit gestattet Kartierungen mit dem Schalldruckwert des Ortes zu berechnen. Eine Einordnung des optischen Fotos in den physischen Rekonstruktionsraum erspart Fehler in der Zuordnung. Ultra-Hochgeschwindigkeitsfilme gestatten höchste zeitliche Auflösungen derzeit bis zu 100.000 Bildern pro Sekunde.

Ein hochpräziser, digitaler Datenrecorder mit Computerschnittstelle war zu entwickeln. Handelsübliche Datenrecorder erwiesen sich aus verschiedenen Gründen als ungeeignet.

Eine Videocamera wurde in Algorithmen und Software eingebunden. Angepaßte Bildverarbeitungsroutinen waren zu schreiben.

Die entstandene akustische Kamera gestattet völlig neue Einblicke in die Welt des Schalls. So konnte erstmals die Spiegelung des Triebwerkslärms eines Flugzeugs auf dem Boden gezeigt werden. Es wurde möglich, einen elektrischen Funken von 8 mm Länge mit 50.000 Bildern pro Sekunde als Schallfilm aufzuzeichnen. Es gelingt sogar erstmalig, die Schallemission der Windflügel einer 1,5 MW Windturbine im Film darzustellen, oder das Dröhnen einer Brücke bei Überfahrt einer Straßenbahn im Film darzustellen. In der Autoindustrie und im Gerätebau wurden dutzende Geräte, Fahrzeuge und Anlagen spektral und zeitaufgelöst untersucht. Es wäre sogar möglich, das akustische Sehen von Fledermäusen zu beobachten...

Technischer Fortschritt

Mit dem System konnten verschiedene technische Problem- und Schadensfälle aufgeklärt werden (z.B. Hauptwalzenstuhl eines Alu-Walzwerks mit Schadenssumme 20 Mio DM; Induktionstiegelöfen RWTH Aachen, Windkraftanlage, Mehrzylinderomotor, Rheinbrücke, Umrichter). Für diverse elektrische Geräte konnten prinzipielle Emissionsmodelle gezeigt werden, von denen die Konstruktion neuer Geräte erheblich profitieren wird (Rasierapparate, Kompressoren, Pumpen, Haushaltgeräte etc.).

Mit der Technik wurden anspruchsvolle Projekte wie Liebherr: "Der leiseste Bagger" und "der leiseste Mobilkran" möglich. Eine Mitarbeit an einem neuen Sportwagen führt zu einer Verkürzung der Entwicklungszeiten. Analysen einer

etwas lauten Windkraftanlage (1,5 MW) führten zu umsetzbaren Ergebnissen.

Die AK ist so robust konzipiert, daß praktisch nur selten Schallschutzmaßnahmen bei Messungen ergriffen werden müssen.

Grad der Umsetzung in die betriebliche Praxis

Markteinführung

Derzeit hat die Markteinführung begonnen, die prototypische Soft- und Hardwareerprobung ist im wesentlichen beendet.

Stand der Entwicklung des Produktes/Verfahrens

Dienstleistungsmessungen werden mit wissenschaftlichem Hintergrund seit 1997 angeboten. Marktrelevant können Dienstleistungen seit der Hannover Industriemesse 2000 bearbeitet werden. Allerdings existieren dafür erst vier (verschiedene) Meßsysteme, je eines für jeden Zweck.

Am 4.9.2001 wurde die erste akustische Kamera an Porsche ausgeliefert. Die Erprobung ist inzwischen abgeschlossen. Porsche wird derzeit zum Kompetenzzentrum SüdWest für akustische Photo- und Kinematographie ausgebaut.

Im April 2002 konnte die zweite akustische Kamera ausgeliefert werden an Bosch-Siemens Hausgeräte. Ebenfalls im April wurde in München ein Ingenieurbüro für Dienstleistungsangebote eröffnet. In KW 34 wird ein erstes System an Daimler-Chrysler ausgeliefert. Weitere drei Vorbestellungen sollen in 2002 noch bearbeitet werden.

Gespräche mit TÜV und Dekra wurden begonnen um ein deutschlandweites Servicenetz aufzubauen.

Marktreife, Marktpotential

Insgesamt umfasst die Kundenliste geschätzt 500 deutsche Firmen, darunter praktisch alle bekannten Markennamen des Automobilbaus, des Flugzeugbaus, des Geräte- und Anlagenbaus, des Schwermaschinenbaus, des Verpackungsmaschinenbaus, des Schienenfahrzeugbaus. Nach einer Bedarfsschätzung können weltweit etwa 1000 Systeme jährlich Absatz finden.

Quantifizierbare, wirtschaftliche Vorteile

Der Einsatz führt zu Steigerungen der Umsatzerwartung der Firmen teilweise bis in den siebenstelligen Bereich.

Der Meßaufwand ist dabei typisch nur ein Zehntel so hoch, wie die Kosten traditioneller Methoden eines Akustikers wären. Damit wird eine zehnfach größere Breite akustischer Untersuchungen möglich, ein Boom von neuen, leiseren Gütern kann entstehen.

Obwohl un zertifiziert, wird die Akustische Kamera schon jetzt oft als Schiedsrichter zwischen verschiedenen akustischen Theorien in der Beurteilung eines Schallproblems herangezogen.

Das Einsatzspektrum reicht von der Schadensanalyse (Hoogovens Walzenstuhl) über die Geräuschuntersuchung an Autos (Porsche, VW, BMW, DC) über Motoren und Bremsen (Rückert, Bosch) über Baufahrzeuge (Liebherr Bagger, Kräne) hin zu Kühlschränken und Waschmaschinen (Liebherr/Miele, BSH). Im Bereich Maschinenbau erfolgten exemplarische Untersuchungen an Webmaschinen (Mayer Frankfurt), an Druck- und Falzmaschinen (SID Leipzig), medizinischen Geräten (Weinmann Hamburg), an Zigarettenmaschinen (Hauni Hamburg). Emissionen an Windkraftanlagen wurden für Enron untersucht, Fräsmaschinen bei Gebr. Heller Nürtingen. Geldautomaten sollen ebenfalls leise arbeiten (Wincor-Nixdorf Paderborn sowie NGZ-Cash Dahlewitz). Komplizierte Emissionsmodelle eines Induktionstiegelofens konnten für RWTH Aachen bei Duktilguß Fürstenwalde verifiziert werden.

Nicht zuletzt wurden neue Niederflur-Straßenbahnen für die BVG Berlin untersucht, neue U-Bahnen und S-Bahnen für ADtranz Berlin und ADtranz Hennigsdorf. In Zusammenarbeit mit Luft hansa Berlin-Schönefeld konnte das Schallbild eines Flugzeugtriebwerks untersucht werden. Zusammen mit der Uni Magdeburg konnte die Emission einer Stahlbrücke bei Überfahrt von Straßenbahnen aufgeklärt werden - hierfür gab es vorher keinerlei Meßmöglichkeit.

Im Mai 2002 konnte zum ersten Male der Schall eines 1,5 MW Windkraftwerks zu ebener Erde im Abstand von 150 Metern kartiert werden mit sensationellem Ergebnis, welches von Erwartetem abweicht.

Ertragschancen, Wettbewerbsvorteile, Alleinstellungsmerkmale

Nach einer Schätzung der japanischen Firma für akustische Meßtechnik RION wird der Gesamtmarkt akustischer Kameras weltweit auf 10.000 Systeme jährlich geschätzt. Das System ist derzeit noch immer das erste und einzige System weltweit, welches reproduzierbare akustische Bilder und Filme im Industrieinsatz liefert.

Erschließung neuer Geschäftsfelder

Mit der AK erhalten Akustiker ein neues Instrument in die Hand. Es werden in der Breite viel leisere Maschinen, Fahrzeuge und Anlagen entstehen können.

Anfragen aus Ägypten und Indien liegen außerdem vor zum Einsatz vergleichbarer Systeme zur Kontrolle von Radreifen / Fahrgestellen an Zugstrecken. In Indien möchte man 200 Systeme haben, die wir leider nicht liefern können/wollen. Weltweit passieren zuviele Unfälle durch defekte Räder/Lager/Radreifen vergleichbar dem ICE-Unfall. Man steht vor der Frage, defekte Wagen rechtzeitig auszusondern.

Chile zeigt Interesse, Systeme zur Verkehrskontrolle einzusetzen. Zu viele Autos fahren dort mit defektem Schalldämpfer.

Mit einer renommierten Autofirma wurde ein Forschungsprojekt begonnen, die Technik künftig auch für orts- zeit- und frequenzselektive akustische Qualitätskontrolle einzusetzen. Man erhofft sich eine erhebliche Senkung der Fehlerquote durch Vermeidung subjektiver Einflüsse.

Im Bereich Bioinformatik wird es mit dieser Technik künftig möglich, das akustische Sehen verschiedener Tierarten direkt zu beobachten (Fledermäuse, Delphine).

Nicht zuletzt bieten die theoretischen Grundlagen von Interferenzsystemen auch ein tieferes Verständnis für die Informatik des Nervensystems, des Sehens und des Hörens. Die Wirkung von Psychopharmaka kann simuliert werden, man hofft demnächst sogar, Nervenkrankheiten wie die multiple Sklerose aufklären zu können.

Öffentlichkeitswirksame Darstellung

Publikationen, Messepräsentationen

Die Entwicklung wird in von der In- und ausländischen Presse seit drei Jahren verfolgt.

Für seine bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiet der akustischen Photo- und Kinematographie erhielt das Team den Innovationspreis "Otto von Guericke 2001" der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF)

<http://www.aif.de>

Alle wesentlichen Medienbeiträge sind gekürzt oder im Original im Internet abgelegt unter:

<http://www.acoustic-camera.com/Presse/presse.html>

Förderung

Die Erforschung und Entwicklung der akustischen Bildgebungsverfahren wurde in verschiedenen Teilen über Projekte und Zuwendungen des BMWi, Sparten marktvorbereitende Industrieforschung und industrielle Gemeinschaftsforschung sowie durch Firmen (Porsche, Liebherr, VW, Siemens Electrocom, DaimlerChrysler, BMW und andere) unterstützt. Ohne diese Unterstützung wäre die Entwicklung nicht möglich gewesen.

Das Projektteam möchte sich auch auf diesem Wege sehr herzlich für die Unterstützung bedanken.

Erste Gespräche mit IBB (Dr. Mehlhorn) erfolgten, um die Entwicklung mittels Venture-Kapital beschleunigen zu können.

G. Heinz

Anlagen

siehe Internet

<http://www.acoustic-camera.com>