

Eine neue Meßmethode für Lokalisationsuntersuchungen

Bernhard U. Seeber

Lst. f. Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München, 80290 München, Email: seeber@ei.tum.de

1 Einleitung

Die akustische Richtungsvorgabe in realen und virtuellen Umgebungen erhält durch den Einzug von Multimediaetechniken in viele Arbeits- und Lebensbereiche eine neue Bedeutung. Die Anwendungen dafür reichen von Teleconferencing über Computerspiele bis hin zum Benutzungsinterface in Steuerungs- und Überwachungssystemen. Auch in der psychoakustischen und klinischen Forschung gibt es interessante Fragestellungen im Bereich der akustischen Lokalisation. Zur deren Untersuchung im Bereich des Blickfeldes wurde eine Methode entwickelt, die einen Lichtpunkt zum Anzeigen der wahrgenommenen Schallrichtung nutzt. Die Position des Lichtpunktes wird von der Versuchsperson über einen Trackball mittels eines Laserscanners eingestellt. Neben dem Aufbau der Apparatur wird ein Lokalisationsexperiment für Normal- und Schwerhörige vorgestellt und der Einfluß des Ausgangswinkels des Lichtpunktes diskutiert. Die schnelle und einfache Aufnahme der Meßdaten macht die Methode sowohl für wissenschaftliche als auch für klinische Anwendungen geeignet.

2 Grundlagen

Bei Untersuchungen zur akustischen Lokalisation besteht die Notwendigkeit, die wahrgenommene Schallrichtung zu bestimmen, d.h. einen Zugang zur Vorstellung der Versuchsperson über diese Richtung zu erhalten. Bekannte Methoden dazu vergleichen zwei Richtungen oder zeigen eine Richtung direkt an [1, 2, 3, 6]:

- Nennen von Lautsprechernummern oder Ansagen von Winkelgraden
- Hand-, Handzeiger-, Kopf- oder Augenzeigen
- Projektion in ein fremdes Koordinatensystem, z.B. Bochumer Kugel
- Einstellen einer Zeigerschallquelle.

Zur Auswahl einer Methode für eine Lokalisationsuntersuchung sind u.a. folgende Kriterien zu beachten: Ist die Zielgruppe in der Lage, mit der Methode und Apparatur umzugehen? Kann die Genauigkeit der Richtungsanzeige die hohe auditive Richtungsaufösung wiedergeben? Wie gestalten sich Datenaufnahme und Versuchssteuerung?

3 Apparatur

Die Experimente zur akustischen Lokalisation finden in einem reflexionsarmen Raum (7.5 m * 4.2 m) statt,

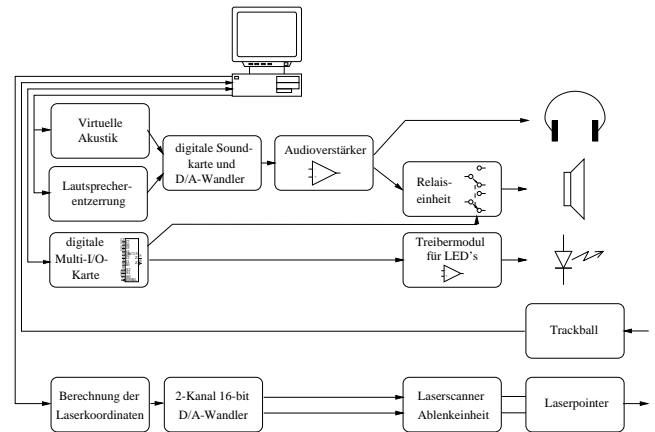


Abb. 1: Apparatur für Lokalisationsuntersuchungen

in dem an einem Kreisbogen hängend 11 gleichartige Lautsprecher befestigt sind. Die Lautsprecher befinden sich im Abstand von 1,95 m vom Mittelpunkt des Kopfes der Versuchsperson und im Winkelabstand von 10° zueinander auf Höhe des Gehörganges der sitzenden Versuchsperson. Der Frequenzgang jedes Lautsprechers ist linear im Bereich 125 Hz - 20 kHz in $\pm 2,5$ dB durch Entzerrung mit einem individuellen, 128-Punkt linearphasigen FIR-Filter. Konzentrisch vor der Lautsprechermembran sind im Abstand von 10 cm Leuchtdioden angebracht. Die Lautsprecher werden durch eine Relaischaltung umgeschaltet. Diese wird, ebenso wie eine Treiberstufe zur Ansteuerung von Fixations- und Kalibrierleuchtdioden und die Spannungsversorgung des Lasers, durch eine TTL-Multi-I/O-Karte rechnergesteuert (Abb. 1). Ebenfalls im Rechner befindet sich eine 2-kanalige 16-bit D/A-Wandler-Karte, deren Ausgangssignal über eine Treiberstufe zwei Laserscanner-Galvanometer ansteuert. Der so in x/y-Richtung abgelenkte Laserstrahl projiziert einen Lichtpunkt auf einen Vorhang, der die Lautsprecher verdeckt, aber schalldurchlässig ist und das Licht der Leuchtdioden transmittiert. Die x/y-Ablenkung des Laserstrahls wird im Rechner durch Abfahren der Leuchtdioden vor den Lautsprechern als Kalibrierpunkte kalibriert, so daß eine Genauigkeit von $< 0,2^\circ$ erreicht werden kann. Der projizierte Lichtpunkt läßt sich mit einem Trackball in horizontaler Ebene vor den Lautsprechern bewegen. Der Rechner übernimmt anhand der Kalibrierdaten die Koordinatentransformation zwischen dem Winkel, unter dem die Versuchsperson den Lichtpunkt sieht und der Ablenkung des Laserstrahls, so daß sich der Laserscanner nicht auf der Mittelachse des Projektionszylinders befinden muß. Die Schallausgabe vom Rechner geschieht

nach der FIR-Filterung für die Lautsprecherentzerrung oder virtuelle Richtungsvorgabe über eine digitale Soundkarte und einen externen D/A-Wandler. Das Signal für die Lautsprecher wird in einem Audioverstärker verstärkt und über ein Voltmeter kalibriert, bevor es die eingangs beschriebene Schalteinheit erreicht. Die Versuchssteuerung geschieht aus dem Programm Matlab[®], für das Interfaceprogramme für die Steuerhardware der Apparatur entwickelt wurden.

4 Methode

In einem Lokalisationsexperiment sitzt die Versuchsperson im Mittelpunkt der Lautsprecheranordnung im völlig abgedunkelten reflexionsarmen Raum auf einem Stuhl und lehnt den Kopf an eine Kopfstütze an. Zu Beginn erscheint unter 0° voraus für 3 s ein Fixationspunkt zum Ausrichten des Kopfes. Nach einer Pause von 500 ms wird ein Testschall aus einem zufällig ausgewählten Winkel abgespielt. Die Vorgabewinkel sind von 50° links bis 50° rechts in 10° -Abständen verteilt. Als Testschall dient weißes Rauschen (125 Hz - 20 kHz, Dauerschallpegel 60 dB SPL), das in 5 Pulse unterteilt ist (Dauer 30 ms, Pausendauer 70 ms, Gauß. modulierte Flanken, Anstiegszeit 3 ms). Nach einer Pause von 500 ms geht ein Lichtpunkt (Laser) unter einem zufällig gewählten Winkel im Bereich von $\pm 20^\circ$ um den physikalischen Vorgabewinkel des Schalles an. Dieser Lichtpunkt wird von der Versuchsperson mit Hilfe des Trackballs auf die wahrgenommene Schallrichtung eingestellt und die Richtung durch Drücken der Taste am Trackball quittiert. Daraufhin verlischt der Lichtpunkt und nach einer Pause von 500 ms wird ein Testschall aus einem anderen Winkel abgespielt. Nach einem Durchgang über alle 11 Vorgabewinkel wiederholt sich der Ablauf durch das Aufleuchten des Fixationspunktes unter 0° voraus. Die eingestellten Winkel des Lichtpunktes liegen nach Ablauf des Versuches zur Auswertung vor.

5 Ergebnisse

In Abb. 2 sind Ergebnisse in Median und Interquartilen zu Lokalisationsuntersuchungen mit Breitbandrauschpulsen wie oben beschrieben gegeben. Die zu jeder der 11 getesteten Richtungen links gezeichneten Werte (o) stammen von 7 Versuchspersonen und 20 Versuchen pro Richtung und Person und wurden mit der obigen Methode gewonnen, bei der der Lichtpunkt um die physikalische Schallrichtung gestreut einsetzt. Die rechts gezeichneten Ergebnisse (*) wurden mit einem festen Einsatzpunkt des Lichtpunktes unter 0° voraus gewonnen (Daten von 7 Personen, 10 Versuche pro Richtung). Die Ergebnisse decken sich insbesondere für die Methode der Lichtpunktstreuung beim Lichtpunkteinsatz sowohl in Median als auch den Streubereichen mit den aus der Literatur bekannten Werten [1]. Setzt der Lichtpunkt konstant unter 0° ein, so werden seitliche Auslenkungen signifikant unterschätzt (0.1%-Niveau mit für 11 Richtungen α -korrigiertem Mann-Whitney-U-Test). Durch die

zusätzliche Rauminformation (0° fix) nimmt die Streuung ab.

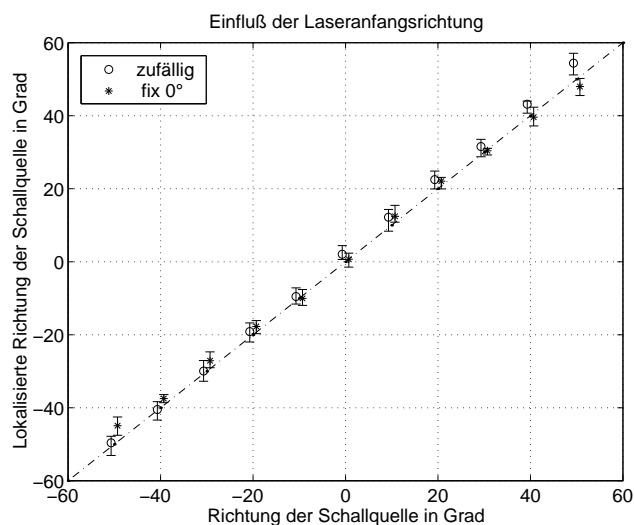


Abb. 2: Ergebnisse von Messungen der akust. Lokalisation

Werden Lokalisationuntersuchungen mit schwerhörigen Patienten durchgeführt [5], so ist die Streuung der Anfangsrichtung des Lasers mit $\pm 20^\circ$ um die Vorgaberichtung im Vergleich zur Streuung der Anzeigergebnisse durch die Versuchsperson zu gering, so daß der Laserpunkt immer unter 0° voraus einsetzen sollte. Da schwerhörige Patienten verstärkt die Information aus Pegelunterschieden zur Lokalisation nutzen, ist der Pegel zu randomisieren. Außerdem wurde der mittlere Pegel auf 70 dB SPL erhöht.

6 Ausblick und Dank

Nach der erfolgten Überprüfung der Methode werden Lokalisationsuntersuchungen mit Patienten [5] und im Bereich der virtuellen Akustik [4] folgen.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. H. Fastl für die Unterstützung und Betreuung der Arbeit. Diese Arbeit wurde von der DFG im Rahmen des GRK 267 gefördert.

Literatur

- [1] BLAUERT, J.: *Spatial hearing*. MIT Press, 1997.
- [2] FRENS, M. A., A. J. VAN OPSTAL und R. F. VAN DER WILLIGEN: *Perception & Psychophysics*, 57(6):802–816, 1995.
- [3] HARTUNG, K.: In: *Fortschritte der Akustik – DAGA '95*, S 755–758, Oldenburg: DEGA, 1995.
- [4] SEEGER, B. und H. FASTL: In: *Fortschritte der Akustik – DAGA '01*, Oldenburg: DEGA, 2001.
- [5] SEEGER, B., H. FASTL und U. BAUMANN: In: *Fortschritte der Akustik – DAGA '01*, Oldenburg: DEGA, 2001.
- [6] WIGHTMAN, F. L. und D. J. KISTLER: *J. Acoust. Soc. Am.*, 85(2):868–878, 1989.