

Untersuchung der Lokalisation in reflexionsarmer Umgebung und bei virtueller akustischer Richtungsdarbietung mit einer Laser-Pointer-Methode

Bernhard U. Seeber

AG Technische Akustik, MMK, TU München, 80290 München, Email: seeber@ei.tum.de

1 Einleitung

Durch den Einzug von Multimediaetechniken in viele Arbeits- und Lebensbereiche kommt der akustischen Richtungsvorgabe in realen und virtuellen Umgebungen eine neue Bedeutung zu. Anwendungen dafür gibt es z.B. bei Teleconferencingssystemen, Computerspielen und in Benutzungsinterfaces von Steuerungs- und Überwachungssystemen. Insbesondere bei Anwendungen in Benutzungsinterfaces und in der psychoakustischen, sowie klinischen Forschung wird eine genau vorgegebene Richtungsabbildung verlangt. Die vorliegende Studie untersucht, inwieweit sich individuell-optimal ausgewählte fremde Außenohrübertragungsfunktionen hinsichtlich der Richtungsabbildung, der auftretenden Vorne-Hinten-Vertauschungen und der Im-Kopf-Lokalisationen von individuell gemessenen Außenohrübertragungsfunktionen und der Schalldarbietung in reflexionsarmer Umgebung unterscheiden. Dazu wird eine neue Lokalisationsmethode verwendet, bei der mit Hilfe eines Laserzeigers die wahrgenommene Schalleinfallrichtung angezeigt wird. Die Versuchsperson stellt die Position des horizontal verschiebbaren Laserpunktes mit Hilfe eines Trackballs ein. Diese Methode zeichnet sich neben ihrer intuitiven Bedienung besonders durch eine hohe Meßgenauigkeit und Reproduzierbarkeit aus, was u.a. durch die bimodale (auditiv-visuelle) Auslegung des Lokalisationsexperiments erreicht wird. Daher kann auf die Genauigkeit der akustischen Lokalisation in den einzelnen Schallpräsentationsbedingungen geschlossen werden. Bronkhorst [1] stellte fest, daß einige fremde Außenohrübertragungsfunktionen zu einer Richtungsabbildung führen, die gegenüber der bei individueller Anpassung kaum degradiert ist, während andere Außenohrübertragungsfunktionen eine deutliche Verschlechterung hervorrufen. Durch das verwendete Auswahlverfahren sollte sichergestellt werden, daß für die Versuchspersonen individuell-optimale Außenohrübertragungsfunktionen verwendet werden.

2 Außenohrübertragungsfunktionen

Zur vergleichenden Untersuchung der Lokalisation realer und virtueller Quellen wurden zwei verschiedene Arten der virtuellen Darbietung verwendet: individuelle Außenohrübertragungsfunktionen (HRTF = head related transfer function) und nicht-individuelle, ausgewählte HRTF. Ein zweistufiges Auswahlverfahren für HRTF stellt sicher, daß eine individuell-optimale Auswahl einer HRTF aus einem Katalog von 12 vorhandenen, kopfhörerentzerrten HRTF stattfindet. Die Auswahl findet in vielen Fällen eine HRTF, die eine Externalisation von Schallquellen ermöglicht. Dadurch wird die Lokalisationsstreuung und die Anzahl der Im-

Kopf-Lokalisationen minimiert. Die Auswahlmethode ist in Seeber und Fastl [4] beschrieben.

Individuelle HRTF wurden im 10° -Abstand in der vorderen horizontalen Ebene für 9 Versuchspersonen (VPen) mit einem MLS-Meßverfahren gemessen. Die Impulsantworten (HRIR) wurden auf eine Länge von 256 Punkten gekürzt, was der Länge der fremden HRIR entspricht. Abgesehen von einer VP wurde keine Kopfhörerentzerrung verwendet, da die VPen in einem Beurteilungsversuch ihre entzerrte HRTF insbesondere hinsichtlich Externalisation und Elevation als schlechter bewerteten.

3 Lokalisationsmethode

Die Lokalisationsuntersuchungen wurden mit einer Laser-Pointer-Methode durchgeführt, bei der die VPen mit Hilfe eines Trackballs die Position des Lichtpunktes auf die wahrgenommene Position der Schallquelle einstellen können [2]. Der Lichtpunkt wandert horizontal entsprechend der Drehbewegung am Trackball auf einem Vorhang vor den Lautsprechern. Zur Darbietung der Testschalle befinden sich 11 Lautsprecher im 10° -Abstand von 50° links bis 50° rechts auf Ohrhöhe der VP in einem Abstand von 1,95 m. Virtuelle Quellen wurden aus denselben Vorgaberichtungen dargeboten. Die Lichtzeigermethode ermöglicht eine schnelle und hochgenaue Anzeige der auditiven Richtung bei einer intuitiven Bedienung. Durch eine Variation der Einsatzposition des Lichtpunktes um die Schallrichtung können Interaktionseffekte mit der Anzeigemethode (auditiv-visuell) reduziert werden. Im abgedunkelten Raum kann auf diese Weise eine Lokalisation relativ zum externen Referenzkoordinatensystem vermieden werden.

Als Testschall dienten 5 Pulse aus Gauß'schem weißen Rauschen (125 Hz - 20 kHz, Dauer 30 ms, Pause 70 ms, 5 ms gaußf. modulierte Flanken), die durch die frequenzgangentzerrten Lautsprecher dargeboten, oder mit den entsprechenden HRIR gefaltet wurden. Nach dem Abspielen des Testschalls unter einer zufällig ausgewählten Richtung setzte nach 500 ms der Lichtpunkt an einer zufälligen Position im Bereich $\pm 20^\circ$ um die Schallrichtung ein. Nachdem die VP die Richtung eingestellt und dies durch das Drücken einer Trackballtaste bestätigt hatte, begann nach 500 ms der nächste Trial. 20 Trials wurden für jede der 11 Richtungen in 2 Sitzungen mit jeder VP für die 3 Schallpräsentationsbedingungen durchgeführt. Die 3 Tasten des Trackballs codierten den wahrgenommenen Schalleinfall „von vorne externalisiert“, „im Kopf“ und „von hinten“. 12 normalhörende VPen (Alter 23-28 Jahre) führten den Lokalisationsversuch mit realen Quellen (Lautsprecher) durch, je 9 VPen (Alter 24-28 Jahre) den mit fremden und mit individuellen HRTF.

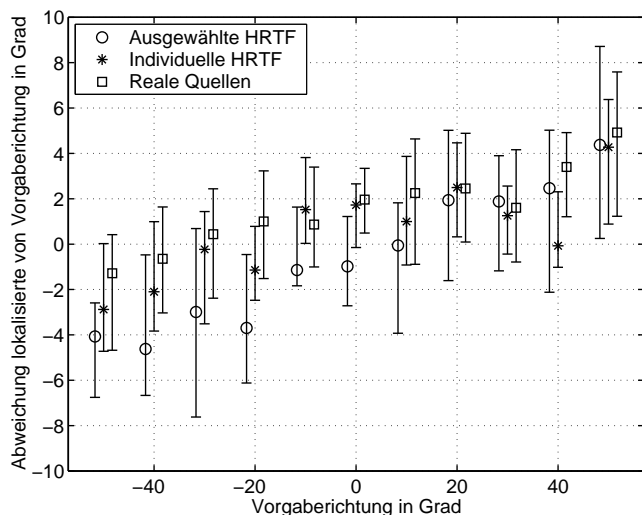


Abb. 1: Lokalisationsergebnisse als Median der individuellen Mediane und Quartile für drei verschiedene Schallpräsentationen.

4 Ergebnisse und Diskussion

In Abb. 1 sind die Lokalisationsergebnisse für die drei Schallpräsentationen dargestellt. Tab. 1 gibt Aufschluß über die mediane Abweichung von der Vorgaberichtung (Fehler), die medianen Quartile, sowie die Anzahl der Im-Kopf-Lokalisierungen und Vorne-Hinten-Vertauschungen für die drei Schallpräsentationsarten. Vertauschungswerte wurden in der realen Hörumgebung nicht erhoben. Weiterhin sind die Koeffizienten einer Geradenanpassung an die Mediane gegeben. Dabei fällt auf, daß die Richtungen in allen drei Bedingungen überschätzt werden – bei fremden HRTF um 9%, bei individuellen HRTF und realen Quellen jeweils um 5%. Den beiden letzten Bedingungen gemeinsam ist auch eine mittlere Verschiebung der wahrgenommenen Schallquellenposition nach rechts (Offset), während die fremden HRTF die Schallquellen im Mittel leicht links abbilden. Trotz der optimierten Auswahl der HRTF wird die Position der Schallquellen nicht gleichmäßig fortschreitend wahrgenommen, sondern weist größere Sprünge auf. Die Streubereiche sind, insbesondere für einen Schalleinfall von etwa 30° links, deutlich erhöht – die Richtungsabbildung ist für ausgewählte fremde HRTF gegenüber den individuellen deutlich verschlechtert. Ein Weglassen der vorne/hinten-vertauschten und im-Kopf-lokalisierten Trials bewirkt eine Reduktion der Streubereiche von etwa $0,5^\circ$, sowie eine leichte Verringerung des Lokalisationsfehlers. Die Lokalisationsergebnisse mit individuellen HRTF entsprechen trotz des verschiedenen Schallwiedergabe- und Lokalisationsanzeige-Koordinatensystems etwa denen realer Quellen. Der mittlere Lokalisationsfehler, sowie die Streubereiche, sind sogar etwas kleiner. Statistische Unterschiede zwischen beiden Schallpräsentationsarten können in der Horizontalebene nicht belegt werden (auf 11 Richtungen α -korrigierter Mann-Whitney-Wilcoxon U-Test, 5%-Niveau), während sich die Ergebnisse mit fremden HRTF deutlich von individuellen HRTF (Signifikanzniveau 0,001%) und realen Quellen (0,001%) unterscheiden.

Betrachtet man die Vorne-Hinten-Vertauschungen in Tab. 1, so stellt man fest, daß für individuelle HRTF nur

	Ausgewählte HRTF	Individuelle HRTF	Reale Quellen
Fehler	$1,7^\circ$	$1,3^\circ$	$1,6^\circ$
Quartile	$2,9^\circ$	$2,0^\circ$	$2,3^\circ$
Im-Kopf ^a	6,2	0,0	–
Vorne/Hinten ^b	6,5	0,25	–
Linearer Faktor ^c	1,09	1,05	1,05
Offset ^c	$-0,6^\circ$	$0,5^\circ$	$1,5^\circ$

^a Relative Anzahl der Im-Kopf-Lokalisierungen in Prozent.

^b Relative Anzahl der Vorne-Hinten-Vertauschungen in Prozent.

^c Linearer Faktor und additive Konstante (Offset) bei Geradenanpassung an mediane Lokalisationsergebnisse (positiv = rechts).

Tab. 1: Lokalisationsergebnisse: Fehler, Quartile, Im-Kopf-Lokalisation, Vertauschungen, Koeffizienten der Geradenanpassungen.

in 0,25% der Fälle eine Vertauschung berichtet wurde, während dies für fremde HRTF in 6,5% der Fälle zutraf. Während individuelle HRTF eine realistische Richtungsabbildung ermöglichen, ist dies mit ausgewählten fremden HRTF vor dem Hintergrund der Vertauschungen nicht möglich. Die Auswahl der HRTF spiegelt sich jedoch darin nieder, daß im Vergleich zur Literatur nur eine geringe Anzahl von Vertauschungen berichtet wurden. Wenzel et al. [5] berichten von 25% Vertauschungen, während in dieser Studie 6 der 9 VPen überhaupt keine Vertauschungen bemerkten. Die Anzahl der Im-Kopf-Lokalisierungen verhält sich sehr ähnlich: Schalle mit individuellen HRTF erschienen immer externalisiert, während in 6,2% der Fälle, vornehmlich bei Schalleinfall von vorne, mit fremden HRTF keine Externalisation auftrat. Diese im Vergleich zur Literatur sehr niedrigen Werte können durch die Beschränkung auf die vordere Horizontalebene und die Verwendung einer visuellen Anzeigemethode begründet werden.

5 Ausblick und Dank

Der Einfluß von visuellen Fixationszielen auf die akustische Lokalisation in Abhängigkeit von der Art der Schallpräsentation führt diese Studie fort und wird in [3] vorgestellt.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. H. Fastl für die Unterstützung und Betreuung der Arbeit. Die Messung der individuellen HRTF wurde von M. Hauser durchgeführt. Diese Arbeit wurde von der DFG im Rahmen des GRK 267 gefördert.

Literatur

- [1] BRONKHORST, A.W.: J. Acoust. Soc. Am., 98:2542–2553, 1995.
- [2] SEEGER, B.: *Eine neue Meßmethode für Lokalisationsuntersuchungen*. DAGA 2001, Oldenburg, 2001. DEGA.
- [3] SEEGER, B.: *Zum Ventriloquismus-Effekt in realer und virtueller Hörumgebung*. DAGA 2002, DEGA.
- [4] SEEGER, B. und H. FASTL: *Effiziente Auswahl der individuell-optimalen aus fremden Außenohrübertragungsfunktionen*. DAGA 2001, Oldenburg, 2001. DEGA.
- [5] WENZEL, E., M. ARRUDA, D. KISTLER und F. WIGHTMAN: J. Acoust. Soc. Am., 94:111–123, 1993.