Effiziente Auswahl der individuell-optimalen aus fremden Außenohrübertragungsfunktionen

Bernhard Seeber und Hugo Fastl
Lst. f. Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München, 80290 München, Email: seeber@ei.tum.de

1 Einleitung

Multimediatechniken haben innerhalb der letzten Jahre viele Arbeits- und Lebensbereiche durchdrungen. In vielen dieser Anwendungen, wie z.B. in Teleconferencing-Systemen, wird eine virtuelle akustische Richtungvorgabe verwendet. Notwendig dafür sind möglichst individuelle Außenohrübertragungsfunktionen, oder deren Impulsantwort (HRIR - Head Related Impulse Response), zur Generierung eines klaren, natürlichen Abbildes. Eine individuelle Messung der HRIR ist jedoch technisch und zeitlich aufwendig. Für viele Anwendungen wird daher versucht, optimierte, nicht-individuelle HRIR zu verwenden. Für eine individuelle Anpassung von HRIR sind psychoakustische Versuche naheliegend [3].

In der hier vorgestellten Arbeit werden drei psychoakustische Auswahlmethoden für die Bestimmung der individuell-optimalen aus mehreren fremden Außenohrübertragungsfunktionen verglichen und in einem Lokalisationsexperiment validiert. Dabei sollen folgende Bedingungen eingehalten werden: (1) schnelle Durchführung, (2) Durchführbarkeit unabhängig vom Vorwissen der Versuchsperson und (3) Beschränkung auf die frontale, horizontale Ebene. Die nachfolgenden Kriterien werden evaluiert: Externalisation, Vorne-Hinten-Inversion, Im-Kopf-Lokalisation, Genauigkeit der Richtungsabbildung und Streuung der Richtungsanzeige.

2 Versuche

2.1 Vorstudie zur Fragestellung

Zur Formulierung einer allgemein verständlichen Fragestellung und zur Optimierung der Versuche wurde eine Vorstudie mit 17 Personen, die kein Vorwissen im Bereich der Psychoakustik hatten, durchgeführt. Den Versuchspersonen (VP) wurde über Kopfhörer eine Folge von Pulsen aus Gaußschem weißen Rauschen (125 Hz - 20 kHz, Dauer 30 ms, Pause 70 ms, 5 ms Gaußflanken), welche mit einer HRIR gefaltet war, dargeboten. Dabei wurde die virtuelle horizontale Richtung aller 3 Pulse von 40° links bis 40° rechts in 20°-Schritten variiert. Es standen 12 HRIR mit und ohne Kopfhörerentzerrung zur Verfügung [1]. Diese 24 Testschalle wurden den VP nacheinander zur Bewertung mit den Zahlen 0-9 (schlecht-sehr gut) entsprechend der zu entwickelnden Fragestellung vorgelegt. Ein Rechner akkumulierte die Bewertung und reduzierte die Anzahl der dargebotenen Testschalle entsprechend der Bewertung bis ein Abbruchkriterium erfüllt war. Die Versuche fanden in einer Hörkabine an einem Rechnerterminal statt.

Zunächst wurde eine Fragestellung verwendet, die mehrere der oben genannten Kriterien einschloß. Dabei stellte sich heraus, daß die VP nicht in der Lage waren, einer Fragestellung mit mehreren Optimierungspunkten zu folgen, so daß die Fragestellung auf einen allgemein verständlichen, konkreten Begriff reduziert werden mußte. Als Begriff wurde „Räumlichkeit“ gewählt. Die damit ausgewählten HRIR schienen ein externalisiertes Hören zu unterstützen, jedoch wurden häufig laterale Richtungen überschätzt. Deshalb wurde die Fragestellung zu „Räumlichkeit nach vorne hin“ präzisiert.

2.2 Versuch 1: Unmittelbare Bewertung

Die in der Vorstudie entwickelte Methode der automatischen Auswahl der HRIR wurde in diesem Versuch überprüft. Im Gegensatz zur Vorstudie wurden die 5 HRIR mit der besten Bewertung ausgewählt und die Anzahl der verwendeten HRIR auf 12 reduziert (kopfhörerentzerrt, STAX Lambda Pro, Pegel 60 dB SPL). An allen Versuchen nahmen 10 normalhörende VP (4 w, 6 m, Alter 23-32) teil. Alle weiteren Parameter entsprachen denen der Vorstudie. Die Versuche dauerten ca. 7,7 min.

2.3 Versuch 2: Erstauswahl

In dieser Studie wurde untersucht, ob die VP die Methode „random access“, die sich in Untersuchungen zur Sound Quality bewährt hat [2], zur Auswahl von HRIR verwenden können. Bei dieser Methode wird der Testschall, der zu einer eingegebenen Nummer gehört, abgespielt. Die VP sollten die 5 Schalle der Reihenfolge nach auswählen, die das o.g. Kriterum am besten erfüllen. Als Hilfsmittel stand ihnen eine Tabelle und ein Stift für Notizen zur Verfügung. Alle anderen Bedingungen entsprachen denen aus Versuch 1. Die mittlere Dauer der Versuche war 12,8 min. Diese Methode war nach Aussage der VP besser durchzuführen als die unmittelbare Bewertung der Schalle.

2.4 Versuch 3: Korrekturauswahl

In Versuch 3 wurde der Einfluß der knappen Fragestellung auf das Auswahlergebnis geklärt. Dazu wurde eine umfangreiche Fragestellung entwickelt, die Anzahl der zur Auswahl stehenden HRIR jedoch auf die 5 bereits in Versuch 2 ausgewählten HRIR reduziert. Folgende Bedingungen wurden zur Optimierung der Auswahl vorgegeben: „Schallrichtungen 40 Grad links bis 40 Grad rechts, nicht weiter außen; horizontal in gleichen Schritten; gleiche Höhe; Schall wird vorne; in konstanter Entfernung; und möglichst weit entfernt wahrgenommen.“ Die Versuche dauerten im Mittel 8,2 min.

2.5 Versuch 4: Lokalisationsexperiment

In einem Lokalisationsexperiment mit den in Versuch 2 ausgewählten HRIR wurde die Auswahl überprüft. Die Lichtzeigermethode mit Trackballsteuerung [4] wurde für virtuelle Akustik dahingehend erweitert, daß die 3 Tasten des Trackballs folgende Antworten codieren: Lokalisation des Schalls vorne externalisiert, im Kopf oder hinten. Es wurden die Richtungen $-50, -40, -20, 0, 20, 40$ und $50°$ in der Horizontalebene getestet. Ein Versuchsdurchgang (Dauer 16,6 min) beinhaltete 5 Versuche pro Richtung mit allen 5 HRIR. 8 VP führten 2 Versuchsdurchgänge, 2 VP nur einen durch.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Betrachtung der optimalen Auswahl

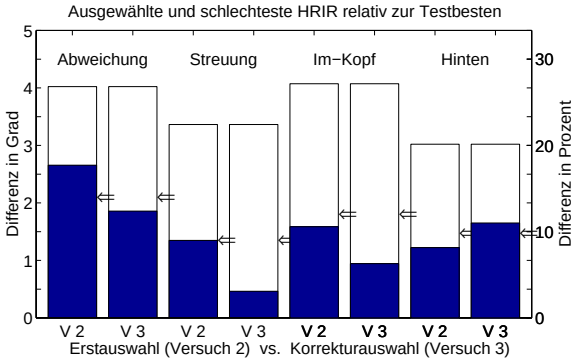

Abb. 1: Vergleich der HRIR-Auswahl, siehe Text.

Vergleicht man die Auswahl in den Versuchen 1 und 2 (gleiche Fragestellung, bewertete vs. random access-Auswahl) in Bezug auf die beste HRIR, so stimmt diese bei 4 der 10 VP überein, bei 4 weiteren findet sie sich auf anderen Plätzen. Die 2. Wahl aus dem Auswahlversuch wurde im Bewertungsversuch einmal als Beste und 5 weitere Male ausgewählt. Diese hohe Zahl an Übereinstimmungen zeigt, daß die VP das Kriterium in beiden Versuchen gezielt und in gleicher Weise umgesetzt haben. Daß die Auswahl nicht immer übereinstimmt, war in Anbetracht der Ähnlichkeiten zwischen vielen HRIR, der Lerneffekte, der unterschiedlichen Versuchsdurchführung und der hohen Zahl von Wahlmöglichkeiten zu erwarten.

Im Folgenden sollen die Versuche 2-4 betrachtet werden. In Abb. 1 (linke Hälfte) sind die mittlere Abweichung der lokalisierten Richtung von der Vorgaberichtung und die mittlere Streuung der lokalisierten Richtung aus Versuch 4 gegeben. Dunkel aufgetragen sind die Werte der ausgewählten im Vergleich zur testschlechtesten HRIR (hell) als Differenz zur testbesten HRIR. Dabei wird zwischen Erstauswahl (Versuch 2) und Korrekturauswahl (Versuch 3) unterschieden. Die Pfeile bezeichnen die Mittelwerte über alle 5 HRIR. Es ist ersichtlich, daß die durch die Korrekturauswahl ermittelten HRIR die Streuung der lokalisierten Richtung optimieren. Dies ist dadurch zu erklären, daß es 4 der 10 VP gelungen ist, eine HRIR auszuwählen, die eine externalisierte und klare virtuelle akustische Abbildung mit Immersionsempfindung ermöglicht.

In Abb. 1 (rechte Hälfte) ist die prozentuale Änderung der Im-Kopf-Lokalisation und der Vorne-Hinten-Vertauschungen in Abhängigkeit vom Auswahlversuch für die ausgewählte und schlechteste HRIR, sowie für das Mittel, gegeben. Hier zeigt sich, daß die VP die Anzahl der Im-Kopf-Lokalisationen durch ihre Auswahl minimieren können, die Anzahl der Vorne-Hinten-Vertauschungen jedoch nicht optimiert werden.

3.2 Auswahlreihenfolge

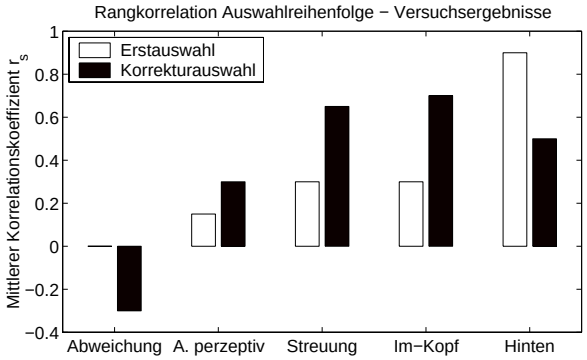

Abb. 2: Rangkorrelation der Testparameter, siehe Text.

Vergleicht man mittels Rangkorrelation nach Spearman die Auswahlreihenfolge, so kann ein Maß für die Vertauschungen zwischen den Auswahlversuchen und der sich im Testversuch 4 ergebenden Reihenfolge für die Testparameter gefunden werden (Abb. 2). Da die Rangplätze unabhängig von der Größe des zugrunde liegenden Unterschiedes vergeben werden, wurden die der Abweichung auch „perzeptiv“ nach einem 1°-Kriterium (entsprechend kleinsten hörbaren Winkeländerungen) berechnet. Dadurch erhöht sich die Korrelation deutlich, was darauf hinweist, daß die Abweichungen bei mehreren HRIR ähnlich sind. Die hohen Korrelationen der Streuungs- und Im-Kopf-Lokalisationsdaten zwischen Korrekturauswahl und Lokalisationstest bestätigen die Optimierung dieser Kriterien.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß durch ein einfaches zweistufiges psychoakustisches Auswahlverfahren HRIR aus einem Katalog gefunden werden können, die die Abbildungsschärfe bei der virtuellen Richtungsabbildung optimieren und das Auftreten der Im-Kopf-Lokalisation minimieren.

Diese Arbeit wurde von der DFG im Rahmen des GRK 267 gefördert.

Literatur

[1] Blauert, J. et. al.: In: *Fortschritte der Akustik – DAGA '98*, S. 174–175, DEGA, Oldenburg, 1998.

[2] Fastl, H.: In: *Proc. INTER-NOISE' 2000*, CD-Rom, Nizza, Frankreich, 2000.

[3] Middlebrooks, J., E. Macpherson und Z. Onsan: J. Acoust. Soc. Am., 108:3088–3091, 2000.

[4] Seeber, B.: In: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2001*, DEGA, Oldenburg, 2001.