

Der Einfluß statischer und dynamischer interauraler Unterschiede auf binaurale Mithörschwellen

Armin Kohlrausch, Jeroen Breebaart, Steven van de Par

Institute for Perception Research (IPO), P.O. Box 513, NL-5600 MB Eindhoven, Niederlande

Zusammenfassung

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Rolle interauraler Zeit- und Intensitätsunterschiede beim Zustandekommen binauraler Mithörschwellen. In einer typischen BMLD Situation wird zu einem auf beiden Ohren identisch angebotenen Rauschmaskierer ein interaural invertiertes Testsignal hinzugefügt (NoS π). Besteht der Maskierer aus Gauß'schem Rauschen, entstehen beim Hinzufügen des Testsignals zeitlich fluktuierende interaurale Zeit- wie auch Intensitätsunterschiede, deren Statistik von Zurek (1991) berechnet wurde. In unserem Beitrag stellen wir einen neuartigen experimentellen Ansatz vor, der es erlaubt, BMLD Situationen zu erzeugen, in denen entweder nur interaurale Zeitunterschiede oder nur interaurale Intensitätsunterschiede als Cues vorhanden sind. Zusätzlich läßt sich kontrollieren, ob diese interauralen Unterschiede statisch sind, wodurch sich eine Lateralisation des Stimulus ergibt, oder ob sie zeitlich fluktuieren. Die experimentellen Ergebnisse zeigen sehr ähnliche Schwellenwerte für alle Situationen, unabhängig von der zeitlichen Dynamik und der Art der interauralen Cues.

Einleitung

Die in diesem Beitrag beschriebenen Experimente untersuchen die Frage, wie sich statische und zeitlich variierende interaurale Unterschiede auf die binaurale Wahrnehmung auswirken. Statische interaurale Unterschiede in Phase oder Zeit (Interaural Time Delays, ITDs) oder in der Intensität (Interaural Intensity Differences, IIDs) führen jeweils zu einer Lateralisation des Hörereignisses. Die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs für Änderungen in diesen Parametern ist in zahlreichen Experimenten bestimmt worden. In vielen Situationen sind diese interauralen Unterschiede allerdings nicht zeitlich konstant, sondern variabel. Dies gilt z.B. bei der Wahrnehmung sich bewegender Schallquellen, bei Phänomenen wie "binaural beats" oder bei binauralen Detektionsexperimenten. In solchen Experimenten zeigt sich, daß schnelle zeitliche Änderungen binauraler Parameter vom Gehör nicht mehr aufgelöst werden. Erfolgen die Änderungen nicht schneller als einige Hertz, wird ein sich bewegendes, kompaktes Schallereignis wahrgenommen. Bei schnelleren Änderungen geht der Eindruck in den eines diffusen, räumlich festen Hörereignisses über. Für die Kompaktheit dieses Ereignisses spielt offensichtlich nicht mehr die Schnelligkeit der Änderung, sondern eher die Standardabweichung der Parametervariation eine Rolle. Leider gibt es bisher nur wenig Modellansätze, die sowohl für Lateralisation wie für Detektion gute Vorhersagen treffen können. Die in dieser Arbeit beschriebenen Messungen wurden mit dem Ziel durchgeführt, die Entwicklung solcher Modelle voranzutreiben.

Methode

Bei den hier beschriebenen Messungen handelt es sich um binaurale Mithörschwellenmessungen mit speziellen Rauschmaskierern. Ausgangspunkt ist 'multiplied noise', das durch Multiplikation eines Tiefpaßrauschens mit einem Sinusträger von 500 Hz berechnet wurde. Multiplied noise hat folgende charakteristische Eigenschaften: Die Feinstruktur besitzt periodische Nulldurchgänge, deren zeitlicher Abstand der Trä-

gerfrequenz entspricht. Die Einhüllendenstatistik entspricht der positiven Hälfte einer Gaußverteilung mit Mittelwert null. Bei Addition eines spektral im Rauschen zentrierten Sinussignals (hier 500 Hz) ist die relative Phase zwischen Rauschen und Testsignal wichtig. Ist diese 0, entstehen in einer NoS π Situation (Rauschen auf beiden Ohren in Phase, Testsignal in Gegenphase) ausschließlich interaurale Intensitätsunterschiede (IIDs), bei 90 Grad Phase ausschließlich interaurale Zeitunterschiede (ITDs). Die Größe dieser interauralen Unterschiede variiert zeitlich um einen Mittelwert von 0, wobei die Variation umso schneller erfolgt, je größer die Bandbreite des Rauschmaskierers ist. Mit abnehmendem Pegel des Testsignals nimmt die Standardabweichung der Parameterverteilung ab (siehe Abb. 1). Mit einem solchen Maskierer läßt sich der Einfluß der beiden relevanten binauralen Detektionscues getrennt messen (c.f. Van de Par und Kohlrausch, 1997).

Eine leichte Modifikation dieses Stimulus besteht darin, bei der Berechnung von multiplied noise dem ursprünglichen Tiefpaßrauschen einen Gleichspannungsanteil zuzufügen. Dadurch besitzt in der NoS π Situation der jeweilige interaurale Parameter IID oder ITD einen von 0 verschiedenen Mittelwert und der Gesamtstimulus wird lateralisiert (siehe strichgepunktete Kurve in Abb. 1). Je größer das Verhältnis zwischen Gleichspannungsanteil und rms Wert des Rauschen ist (Parameter m), desto stärker wird die Lateralisation und desto weniger diffus wird das Hörereignis. Durch Variation von m läßt sich also ein kontinuierlicher Übergang von Detektion zu Lateralisation realisieren.

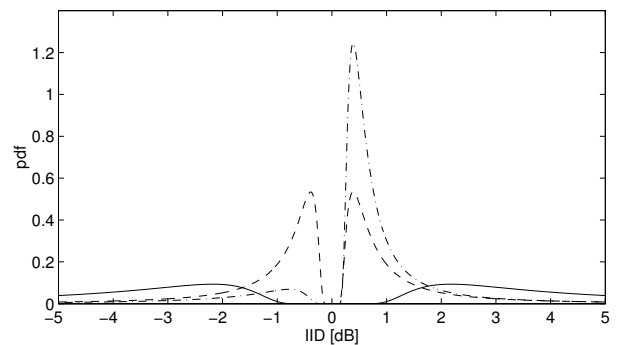


Abb. 1: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion des interauralen Intensitätsunterschiedes für folgende Parameterwerte: $m=0$, $S/N=-15$ dB (—); $m=0$, $S/N=-30$ dB (- - -); $m=1$, $S/N=-30$ dB (-.-.).

Experimente

In den Experimenten wurden Mithörschwellen mit einem Standard 3IFC Verfahren gemessen. Die Maskierer hatten eine Dauer von 400 ms, die Testsignale von 300 ms. In allen Messungen wurde der Maskierer interaural in Phase angeboten, das Testsignal in Gegenphase (NoS π). An den Messungen nahmen vier Versuchspersonen teil, die für jeden Parameterwert vier Messungen durchführten. In den Abbildungen sind die Mittelwerte aller Versuchspersonen dargestellt, wobei die Schwellenwerte relativ zum Gesamtpegel des Maskierers (65 dB) angegeben sind.

Im ersten Experiment bestand der Maskierer aus multiplied

noise mit Bandbreiten von 10 und 80 Hz. Das Testsignal wurde so zum Maskierer addiert, daß entweder nur interaurale Intensitätsunterschiede oder nur interaurale Zeitunterschiede entstanden. In Abb. 2 sind die Ergebnisse dieser Messung als Funktion des DC Anteils im multiplied noise dargestellt. Datenpunkte links in der Abbildung entsprechen reinem multiplied noise (keine Lateralisation), mit höheren Werten von m wird das Hörereignis zunehmend lateralisiert.

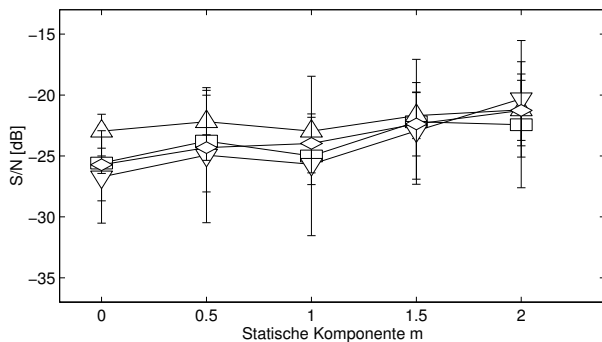


Abb. 2: $No\pi$ Mithörschwellen für multiplied noise Maskierer von 10 oder 80 Hz Bandbreite und tonale Testsignale. Vierecke: Allein IIDs, 10 Hz Bandbreite; aufrechte Dreiecke: IIDs, 80 Hz; invertierte Dreiecke: ITDs, 10 Hz; Rauten: ITDs, 80 Hz.

Die Meßwerte liegen für alle Konfigurationen innerhalb eines schmalen Bereiches von 5 dB, wobei ein leichter, aber systematischer Anstieg der Schwellen mit steigendem Wert von m zu beobachten ist. Insbesondere hat die Schnelligkeit der Fluktuation (vergleiche Daten für 10 und 80 Hz Bandbreite) wenig Einfluß auf die Detektierbarkeit des Testsignals, so daß sich in diesem Experiment keine Trägheit des binauralen Systems zeigt.

Im folgenden Experiment wurde die Rolle von Sinuston und multiplied noise vertauscht, indem ersterer als Maskierer verwendet wurde und das Rauschen als Testsignal. Um zu verhindern, daß das Rauschen aufgrund monauraler Cues wahrgenommen wird, wurde in den zwei Referenzintervallen jeweils eine Konfiguration NoSo angeboten. Die Daten in Abb. 3 liegen in einem ähnlichen Bereich wie beim ersten Experiment, mit wiederum leichtem Anstieg zu größeren Werten von m .

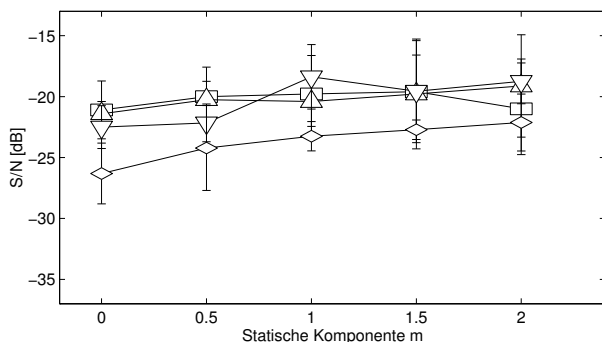


Abb. 3: Wie Abb. 2, nur daß hier der Maskierer ein Sinuston und das Testsignal multiplied noise war.

Im letzten Experiment wurden Maskierer und Testsignal so addiert, daß nicht nur entweder ITDs oder IIDs entstanden, sondern daß diese beiden Cues gemischt auftraten. Dies läßt sich dadurch realisieren, daß die Phase zwischen Rauschen und Sinus 45 oder 135 Grad beträgt. Diese beiden Fälle unterscheiden sich dadurch, daß im ersten Fall die beiden Cues in dieselbe Richtung, im zweiten Fall in entgegengesetzte Richtung weisen. Auch bei diesem Experiment lagen

die Mithörschwellen für alle Konfigurationen innerhalb weniger dB.

Diskussion

Wie bereits oben erwähnt, führten die unterschiedlichen Cues in den verschiedenen Experimenten zu sehr ähnlichen Schwellenwerten. Dies mag für den Vergleich von ITDs und IIDs nicht unbedingt überraschen, da aus Lateralisationsexperimenten bekannt ist, daß diese beiden Cues sich im gewissen Maße kompensieren können. Das "Trading Verhältnis" für unsere Experimente läßt sich z.B. aus der Standardabweichung der interauralen Cues ableiten. Für Experiment 1 beträgt diese (für m gleich null) ca. 4.5 dB für den Intensitätscue und ca. 185 μs für den Zeitcue. Das Verhältnis liegt mit etwa 40 μs per dB im Bereich der Literaturwerte.

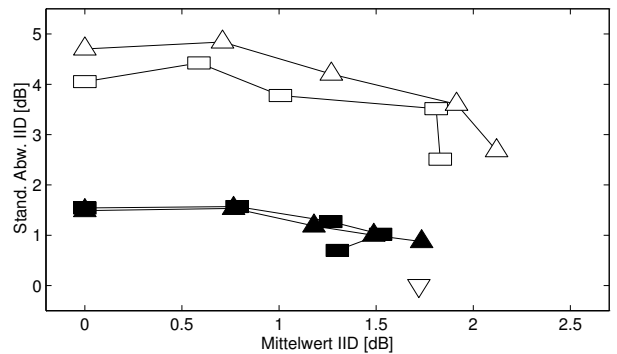


Abb. 4: Mittelwerte und Standardabweichung für den interauralen Intensitätsunterschied. Offene Symbole entsprechen Daten aus dem ersten Experiment, die ausgefüllten solchen aus dem zweiten. Die Maskiererbroadbande war 10 Hz für die Vierecke und 80 Hz für die Dreiecke. Das invertierte Dreieck zeigt das Resultat für rein statische interaurale Unterschiede.

Interessanter ist der Vergleich der Werte von Experiment 1 und 2. Hierzu wurde für jeden Wert von m der Mittelwert und die Standardabweichung von ITD und IID für den gemessenen Mithörschwellenwert berechnet. In Abb. 4 sind diese Werte für den Intensitätscue dargestellt. Die offenen Symbole gelten dabei für Daten aus Experiment 1, die gefüllten für Experiment 2. Zusätzlich gibt das invertierte Dreieck den Wert für einen rein statischen Cue an. Es wird deutlich, daß sich an der Schwelle die Standardabweichung der IID in beiden Experimenten um etwa einen Faktor 4 unterscheidet. Es läßt sich also für diese beiden Experimente nicht in einfacher Weise aus der Verteilung der interauralen Cues auf die Mithörschwelle schließen.

Ein besseres Maß für die Empfindlichkeit der Versuchspersonen bietet offensichtlich das Signal-Rausch-Verhältnis, unabhängig von der genauen Art der interauralen Unterschiede. Ein solches Resultat unterstützt Modelle, die binaurale Mithörschwellen auf die Änderung im interauralen Korrelationsgrad zurückführen. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die meisten Korrelationsmodelle unempfindlich sind für statische interaurale Intensitätsunterschiede und bisher keine quantitativ korrekten Vorhersagen für binaurale Detektionsschwellen erlauben.

Literatur

- van de Par, S. und Kohlrausch, A. (1997). "Diotic and dichotic detection using multiplied-noise maskers," eingereicht bei J. Acoust. Soc. Am.
- Zurek, P. M. (1991). "Probability distributions of interaural phase and level differences in binaural detection stimuli," J. Acoust. Soc. Am. **90**, 1927-1932.