

Einfluss von Einhüllendenstatistiken auf Signaldetektion

Jan Rannies, Stephan M. A. Ernst, Jesko L. Verhey

Institut für Physik, Universität Oldenburg, 26111 Oldenburg, Deutschland, Email: jan.rannies@uni-oldenburg.de

Einführung

Mehrere Studien zeigen, dass das auditorische System zeitliche Pegelschwankungen (Einhüllende) als Informationsquelle nutzt. Welche Eigenschaften der Einhüllenden dabei ausgewertet werden, ist bisher allerdings noch nicht vollständig geklärt. Moore et al. [1] schlug eine Sensitivität für Änderungen in der Einhüllendenstatistik vor, um die unterschiedliche Verdeckungswirkung von Gaußischem Rauschen und Multiplikationsrauschen auf einen im Rauschen spektral zentrierten Sinuston zu erklären. Ernst und Verhey [2] argumentierten, dass eine geänderte Einhüllendenstatistik des Maskierers auch für den als "Across-channel masking" (ACM) bekannten Effekt verantwortlich sein könnte, bei der eine Erhöhung der Schwelle gefunden wurde, wenn zusätzlich zum Maskierer an der Signalfrequenz ein spektral weit entferntes unkorreliertes Rauschband dargeboten wurde (unkorrelierte Situation). Um die Rolle der Einhüllendenstatistik bei der Signaldetektion zu untersuchen wird im vorliegendem Beitrag die Sinustondetektionsschwelle in Anwesenheit eines Rauschens für drei verschiedene Rauschstatistiken gemessen und mit Vorhersagen eines Modells verglichen, das zur Detektion Änderungen in der Einhüllendenstatistik verwendet.

Experiment

Stimuli und Messmethode

Als Maskierer diente ein 100 Hz breites Bandpassrauschen, welches an der Signalfrequenz (4 kHz) zentriert war. Die Dauer betrug 500 ms inklusive 50 ms \cos^2 -Rampen. Drei verschiedene Rauscharten wurden verwendet: Gaußisches Rauschen, Multiplikationsrauschen und eine gewichtete Summe beider Rauschen (Mischrauschen). Die Wichtung der Rauschanteile im Mischrauschen wurde so gewählt, dass die entstehende Verteilung des Rauschens den kleinsten quadratischen Fehler zur Einhüllendenstatistik der unkorrelierten Situation in [2] aufwies. Abb. 1 zeigt die Einhüllendenstatistiken von 250 ms langen einzelnen Proben der drei Rauscharten sowie die mittleren Einhüllendenstatistiken. Der 4-kHz-Sinuston hatte eine Dauer von 250 ms (inkl. 50 ms \cos^2 -Rampen) und war zeitlich im Maskierer zentriert. Als Maskiererpegel wurden 18 und 58 dB SPL verwendet. Für alle Rauscharten wurden Schwellen für den Sinuston bestimmt, der mit zufälliger Phase zum Rauschen addiert wurde. Für Multiplikations- und Mischrauschen wurde zudem die Situation untersucht, in der das Signal in Phase zum Träger des Multiplikationsrauschen addiert wurde. Zur Schwellenbestimmung wurde ein adaptives 3-Intervall 2-Schritt Verfahren (1-up 2-down) verwendet. Die Schrittweite betrug zu Beginn 4 dB und wur-

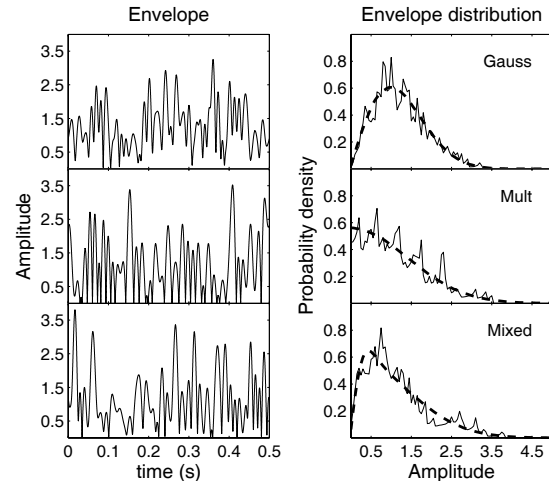


Abbildung 1: Einhüllende (links) und Einhüllendenstatistik (rechts) eines Gaußischen Rauschens (oben), Multiplikationsrauschens (Mitte) und Mischrauschens (unten). Gestrichelte Linien deuten die mittleren Verteilungen an.

de nach jedem zweiten Umkehrpunkt halbiert bis eine Schrittweite von 1 dB erreicht war. Anschließend wurden sechs weitere Umkehrpunkte aufgenommen. Als Schwellenabschätzung diente der Mittelwert dieser sechs Umkehrpunkte. Die endgültige Schwelle wurde als Mittelwert aus vier Schwellenschätzungen bestimmt. Alle Stimuli wurden digital erzeugt, in analoge Signale gewandelt (RME ADI-8 DS), verstärkt (Tucker-Davis HB7) und über Sennheiser HDA200 Kopfhörer diotisch dargeboten. Acht normalhörende Versuchspersonen nahmen an der Studie teil.

Ergebnisse

Beim 18-dB-Maskiererpegel (linkes oberes Teilbild von Abb. 2) waren die über alle Versuchspersonen gemittelten Signal-Rausch-Abstände (SNR) an der Schwelle für Multiplikations- und Mischrauschen gleich denen für das Gaußische Rauschen, wenn das Signal in Phase zum Träger des Multiplikationsrauschen addiert wurde. Bei Addition des Signals mit Zufallsphase wurden ähnliche Schwellen für Multiplikations- und Mischrauschen gefunden, diese lagen etwa 3 dB tiefer. Bei einem Maskiererpegel von 58 dB SPL (rechtes oberes Teilbild von Abb. 2) lagen die SNR an der Schwelle generell tiefer als bei 18 dB SPL und die Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Konditionen traten deutlicher hervor. Wenn das Signal in Phase addiert wurde, lag die für das Mischrauschen gefundene Schwelle geringfügig unter der für Gaußisches Rauschen; für Multiplikationsrauschen zeigte sich eine 1,5 dB niedrigere Schwelle. Die niedrigste Schwelle erhielt man in der Kondition, bei der das Signal

mit zufälliger Phase zum Multiplikationsrauschen addiert wurde (5,5 dB tiefer als für Gaußsches Rauschen).

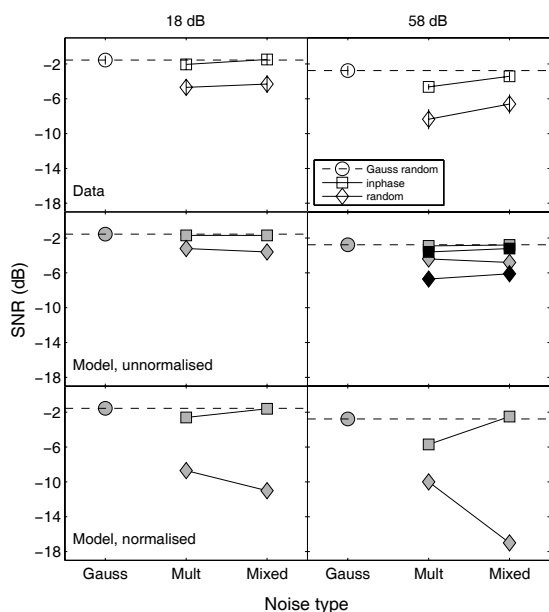


Abbildung 2: Mittlerer gemessener SNR an der Schwelle bei einem Maskiererpegel von 18 (links) und 58 dB (rechts) für die drei verschiedenen Rauschen und Modellvorhersagen (graue Symbole) mit unnormierten (2. Reihe) und normierten (3. Reihe) Einhüllendenverteilungen. Schwarze Symbole zeigen Vorhersagen eines modifizierten Modells (siehe Diskussion).

Modellierung

Das Modell verwendete als Entscheidungsvariable die durch Addition des Signals hervorgerufene relative Änderung der Schwerpunktes der mittleren Einhüllendenverteilungen. Die Stärke der Verschiebung hängt davon ab, ob die Stimuli wie in [1] und [2] normiert werden oder ob die Verteilungen der unnormierten Stimuli betrachtet werden (siehe [3]). Für die Simulation wurde zunächst – für beide Maskiererpegel getrennt – die relative Änderung des Schwerpunktes für den Gaußschen Rauschmaskierer bestimmt, die durch das Hinzufügen des Signals mit dem experimentell ermittelten Schwellenpegel hervorgerufene wurde. Für die Simulation der Schwellen bei Multiplikations- und Mischrauschen wurde dann der SNR bestimmt, der die gleiche relative Verschiebung des Schwerpunktes der Einhüllendenverteilung bewirkte. In Übereinstimmung mit den Messergebnissen liegen die simulierten Schwellen immer tiefer, wenn der Ton mit zufälliger Phase addiert wird (Abb. 2). Bei unnormierten Signalen (2. Reihe) und dem Maskiererpegel von 18 dB weichen die vorhergesagten Schwellen nur wenig von den experimentellen Schwellen ab, während sie für den höheren Maskiererpegel (58 dB SPL) bis zu 4 dB über den experimentell ermittelten Schwellen liegen. Bei normierten Signalen (3. Reihe) stimmen die Vorhersagen nur mit den experimentellen Daten für ein in Phase addiertes Signal überein, wohingegen große Abweichungen bei den Bedingungen mit zufälliger Phase auftreten.

Diskussion

In qualitativer Übereinstimmung mit [1] wurde ein Unterschied zwischen den Schwellen in Gaußschem Rauschen und Multiplikationsrauschen von bis zu 5,5 dB bei zufälliger Signalphase gefunden. Die Ergebnisse bestätigen zudem der Annahme von Ernst und Verhey [2], dass die Schwellen in Gaußschem Rauschen denen für Mischrauschen entsprechen, wenn das Signal in Phase addiert wird. Bei dem Maskiererpegel von 18 dB unterscheidet sich die Schwelle von Mischrauschen jedoch kaum von der für Multiplikationsrauschen. Das Ergebnis steht somit im Widerspruch zur in [2] aufgestellten Hypothese, dass Änderungen der Maskierereinhüllendenstatistik der Grund für den bei diesem Maskiererpegel gefundenen ACM sind. Ein Modell, das auf dem Schwerpunkt der mittleren Einhüllendenstatistik beruht, kann die Daten qualitativ simulieren. Die Modellvorhersagen mit normierten Stimuli sind jedoch für das Signal mit zufälliger Phase zu tief. Die Simulationsergebnisse mit unnormierten Signalen stimmen für den Maskiererpegel von 18 dB SPL gut mit den experimentellen Daten überein. Die beim höheren Maskiererpegel etwas zu hoch simulierten Schwellen sind möglicherweise auf die unrealistische Modellannahme einer linearen Einhüllendenverarbeitung über den gesamten Pegelbereich zurückzuführen. Wird in einem modifizierten Modell die Einhüllendenamplitude bis 50 dB linear verarbeitet und bei höheren Werten mit einer Potenz von 0,2 komprimiert, so stimmen Messung und Simulation für den höheren Maskiererpegel gut überein (schwarze Symbole in Abb. 2). Da die Kompression erst bei 50 dB einsetzt, hat sie keine Auswirkungen auf die Modellvorhersagen für den niedrigeren Maskiererpegel. Die gute Übereinstimmung von Messung und Simulation deutet darauf hin, dass das auditorische System Änderungen der Einhüllendenstatistiken bei der Signaldetektion nutzen kann.

Zusammenfassung

Die Studie zeigt, dass die Änderungen der Einhüllendenstatistik durch die Addition des Signals die Mithörschwelle beeinflussen. Ein auf dem Schwerpunkt der Verteilung beruhendes Modell kann die experimentellen Ergebnisse simulieren. Die Messergebnisse unterstützen jedoch nicht die Annahme, dass Änderungen der Einhüllendenstatistik für ACM verantwortlich sein könnten.

Literatur

- [1] Moore B. C. J., Glasberg B. R., Schooneveldt, G. P.: Across-channel masking and comodulation masking release. *J. Acoust. Soc. Am.* 87 (1990), 1683-1694
- [2] Ernst, S. M. A., Verhey, J. L.: Comodulation masking release over a three octave range. *Acta Acustica united with Acustica* 91 (2005), 998-1006
- [3] Verhey, J. L., Rannies, J., Ernst, S. M. A.: Influence of envelope distributions on signal detection. *Acta Acustica united with Acustica* 93 (2007), 115-121