

Mechanismen der Frequenzmodulationswahrnehmung

Stephan M. A. Ernst¹, Brian C. J. Moore

Department of Experimental Psychology, University of Cambridge, UK

¹Email: sme30@cam.ac.uk

Einleitung

Für niedrige Trägerfrequenzen ($f_c < 4\text{-}5$ kHz) wurde z.B. bei Sek und Moore [4] gezeigt, dass die Detektionsschwellen für Frequenzmodulation (FMDLs) niedriger für Modulationsfrequenzen (f_m) von 2 Hz als von 10 Hz sind. Bei hohen f_c kehrte sich dieses Muster allerdings um. Dies wurde als Hinweis auf zwei für die Schwellen verantwortliche Mechanismen interpretiert, einen zeitlichen Mechanismus für niedrige f_m und $f_c < 4\text{-}5$ kHz, und einen Ortsmechanismus bei hohen f_m und f_c .

Der Ortsmechanismus basiert auf der Annahme, dass Frequenzänderungen mittels der resultierenden Änderungen im Erregungsmuster auf der Basilarmembran wahrgenommen werden können (z.B. [1]). Der Zeitmechanismus hingegen basiert auf der Annahme, dass eine Momentanfrequenz aus der Phasensynchronität der neuronalen Antwort ermittelt wird, und dass diese zeitliche Änderung der Momentanfrequenz detektiert werden kann ([2], [3], [4]).

Zum Test der Theorie zweier Mechanismen maßen Moore und Sek [3] FMDLs mit zusätzlich amplitudenmodulierten Stimuli. Mit der aufgeprägten Amplitudenmodulation (AM) zeigten sie generell erhöhte Detektionsschwellen. In Übereinstimmung mit der Theorie zweier Mechanismen vergrößerte sich der Einfluss der AM für $f_c = 4$ kHz mit ansteigender f_m .

Neuere Daten [5] zeigen allerdings, dass der Effekt der zusätzlichen AM auf FMDLs für Stimuli mit niedrigem Pegel kaum von der f_m abhängt. Dies steht im Widerspruch zu den Ergebnissen von Moore and Sek [3]. Die Gründe für diesen Widerspruch sind allerdings bisher unklar. Sie mögen z.B. im verwendeten Pegel oder der genutzten Art der AM liegen. Die aktuelle Studie soll daher insbesondere den Einfluss dieser Parameter untersuchen.

Ziele

- Die Klärung der Frage, ob ein zeitlicher Mechanismus oder ein Ortsmechanismus die FMDLs für Stimuli mit niedrigen f_c und f_m bestimmen.
- Die Klärung des Einflusses von Wahrnehmungspegel und zusätzlichen Amplitudenmodulationen auf FMDLs bei niedrigen f_c und f_m .

Stimuli und Methode

Die im Versuch für f_c genutzten Werte waren 1, 4 und 6 kHz; für f_m wurden 2 und 10 Hz gewählt. Alle Werte wurden so gewählt, da nach Moore and Sek [3] für Werte von f_c bei denen Phasensynchronität möglich ist die FMDLs hauptsächlich durch zeitliche Informationen bei $f_m = 2$ Hz (und für Träger kleiner als 4-5 kHz) bestimmt

sind. Die Anfangsphase der FM wurde zufällig gesetzt. In zwei weiteren Konditionen wurden alle Stimuli zusätzlich amplitudenmoduliert. Die zwei verwendeten AM wurden so gewählt, dass sie die Nutzung der Erregungsmuster möglichst stark stören. Der erste Modulator war ein Tiefpass gefiltertes Gaussches Rauschen (AM_{Gauss}) mit der gleichen Bandbreite wie die FM, ohne Gleichanteil. Hierbei ist zu bedenken, dass die Phase bei jedem Nulldurchgang des Modulators um 180° springt. Für den zweiten Amplitudenmodulator wurde daher das Tiefpass gefilterte Gaussche Rauschen gleichgerichtet (AM_{rect}), um ein Springen der Phase zu unterbinden, die Einhüllendenstatistik des resultierenden Stimuli aber gleichzeitig zu bewahren.

Alle Stimuli hatten eine Länge von 1000 ms, inclusive 20-ms \cos^2 Ein- und Ausschaltflanken. Der Signalpegel betrug 20 oder 60 dB SL, hierbei wurde der niedrige Pegel gleich dem in Greenish et al. [5] gewählt, während der höhere vergleichbar zu den Pegeln aus Moore and Sek [3] ist. Die Stimuli wurden über Kopfhörer (Sennheiser HD 580) monoral auf dem besseren Ohr dargeboten.

Sechs normalhörende Versuchspersonen nahmen am Experiment teil. Die Versuche wurden in einer doppelwandigen Hörkabine mit einem adaptiven 2-Schritt (1-up,2-down) Verfahren mit drei Antwortalternativen durchgeführt. Vier Wiederholungen aller Konditionen wurden gemessen; die Schwelle berechnete sich als Mittel der letzten drei.

Ergebnisse

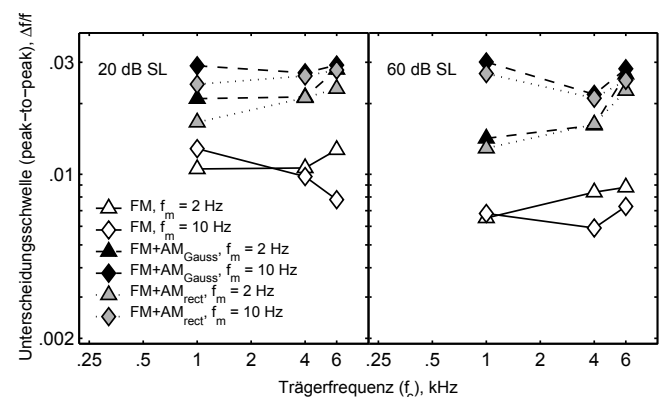


Abbildung 1: FMDLs für 20 dB SL (links) und 60 dB SL (rechts) als Funktion der Trägerfrequenz. Die verschiedenen Linien und Symbole repräsentieren die einzelnen Versuchskonditionen wie in der Legende angegeben.

Abbildung 1 zeigt die gemessenen FMDLs für zwei Modulationsraten als peak-to-peak Verhältnis geteilt durch die Trägerfrequenz aufgetragen als Funktion der

Trägerfrequenz. Jedes Teilbild zeigt Werte für jeweils einen Wahrnehmungspegel. Rauten repräsentieren hierbei die FMDLs für $f_m = 10$ Hz und Dreiecke die für $f_m = 2$ Hz. Ausgefüllte Symbole und unterbrochene Linien kennzeichnen die FMDLs mit einer zusätzlichen AM (schwarz gefüllt und gestrichelt für AM_{Gauss} , grau gefüllt und gepunktet für AM_{rect}). Die Ergebnisse koennen wie folgt zusammengefasst werden:

(1) Ohne zusätzlicher AM steigen die FMDLs für $f_m = 2$ Hz mit steigender f_c für beide SL; für $f_m = 10$ Hz allerdings fallen die FMDLs mit steigender f_c mit der Ausnahme bei 6 kHz und 60 dB SL, wo ebenfalls ein Anstieg zu beobachten ist. Das beobachtete Ergebnismuster weist daher auf unterschiedliche Mechanismen hin, die der Wahrnehmung von FM für Modulationsraten von 2 bzw. 10 Hz zu Grunde liegen.

(2) Für beide Wahrnehmungspegel gilt, dass beide AM-Varianten zu einer deutlichen Erhöhung der FMDLs führen. Hierbei zeigt sich im allgemeinen kein Unterschied in den FMDLs für die beiden AM-Varianten. Die FMDLs mit zusätzlicher AM waren tiefer bei $f_m = 2$ Hz als bei $f_m = 10$ Hz für $f_c = 1$ und 4 kHz, während für $f_c = 6$ kHz die FMDLs für beide Werte von f_m gleich waren.

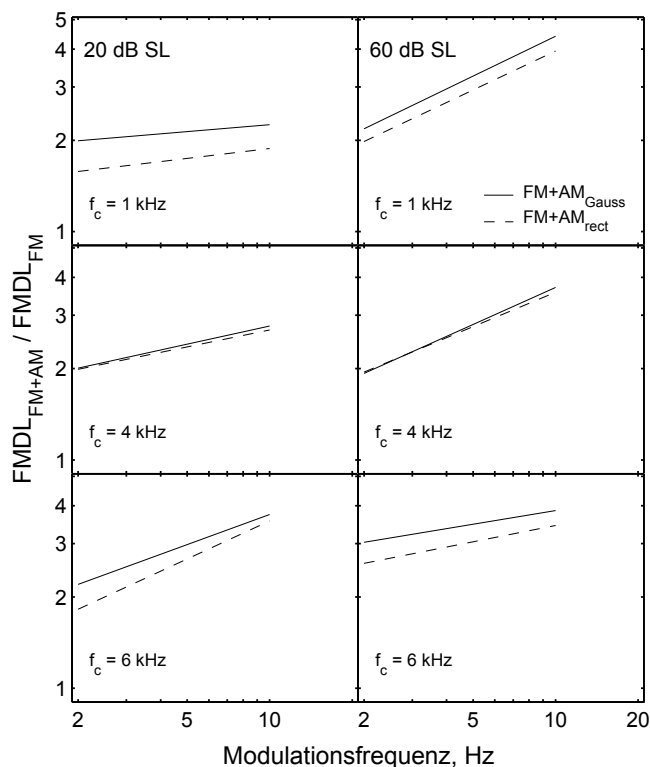


Abbildung 2: Verhältnisse der Konditionen mit und ohne zusätzlicher AM (gestrichelt Linien für AM_{Gauss} und gepunktete für AM_{rect}) aufgetragen als Funktion der Modulationsfrequenz. Verhältnisse größer als 1 weisen auf einen störenden Einfluss der AM hin.

Die störende Wirkung der zusätzlichen AM ist zur besseren Deutung in Abbildung 2 illustriert, hierbei wurde das Verhältnis zwischen FMDLs ohne zusätzlicher AM und den entsprechenden FMDLs mit zusätzlicher AM als Funktion der Modulationsfrequenz aufgetragen; je größer

dieses Verhältnis ist, um so stärker ist die störende Wirkung der zusätzlichen AM.

(3) Bei 60 dB SL zeigt sich die störende Wirkung der zusätzlichen AM bei den Trägerfrequenzen 1 und 4 kHz bei $f_m = 2$ als kleiner als bei $f_m = 10$ Hz, während für $f_c = 6$ kHz die störende Wirkung stark und für beide Werte von f_m gleich ist. Im Gegensatz dazu ist die störende Wirkung der zusätzlichen AM bei 20 dB SL und für $f_c = 1$ sowie 4 kHz für beide Werte der Amplitudenmodulation gleich, während für $f_c = 6$ kHz die störende Wirkung der AM bei $f_m = 10$ größer ist als bei $f_m = 2$ Hz. Wieder erweist sich im allgemeinen die störende Wirkung der zusätzlichen AM für beide AM-Varianten als gleichwertig, mit der Ausnahme bei 20 dB SL und $f_c = 1$ kHz, wo AM_{Gauss} einen grösseren Effekt zeigt.

Diskussion

Die Ergebnisse sind im allgemeinen konsistent mit der Interpretation, dass zwei Mechanismen für die FM-Wahrnehmung verantwortlich sind. So scheint bei niedrigen $f_c < 4-5$ kHz und kleinen $f_m = 2$ Hz die Frequenzmodulationen durch die Änderungen der Phasensynchronität wahrgenommen werden, während bei hohen $f_m = 10$ Hz die Änderungen im Erregungsmuster auf der Basilarmembran genutzt werden könnte. Bei höheren f_c kann ein Mechanismus der Phasensynchronität für beide FM-Raten ausgeschlossen werden.

Bei niedrigem Wahrnehmungspegel zeigen die Ergebnisse eine starke Ähnlichkeit mit denen von Greenish et al. [5]. Dies kann als Hinweis auf schmalere auditorische Filter bei niedrigen Pegeln gedeutet werden, wodurch Änderungen der Erregungsmuster einen starken Einfluss auf die FMDLs haben können, gerade auch bei niedrigen f_c und niedrigen f_m , wo die Phasensynchronität noch genutzt werden könnte.

Literatur

- [1] Moore, B.C.J. and Sek, A.: Effects of carrier frequency and background noise on the detection of mixed modulation. *J. Acoust. Soc. Am.* 96 (1994), 741-751
- [2] Moore, B.C.J. and Sek, A.: Effects of carrier frequency, modulation rate and modulation waveform on the detection of modulation and the discrimination of modulation type (AM vs FM). *J. Acoust. Soc. Am.* 97 (1995), 2468-2478
- [3] Moore, B.C.J. and Sek, A.: Detection of frequency modulation at low modulation rates: Evidence for a mechanism based on phase locking. *J. Acoust. Soc. Am.* 100 (1996), 2320-31
- [4] Sek, A. and Moore, B.C.J.: Frequency discrimination as a function of frequency, measured in several ways. *J. Acoust. Soc. Am.* 97 (1995), 2479-86
- [5] Greenish, H., Moore, B.C.J., and Stone, M.A.: The surprising lack of effect of added AM on low-rate FM detection at high carrier frequencies. *Int. J. Audiol.* 46 (2007), 646-647