

Frequenzübergreifende Prozesse bis zu 4 Oktaven

Stephan Ernst, Jesko L. Verhey

AG Neurosensorik, Institut für Physik, Fakultät V, Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg, 26111 Oldenburg,
Email: Jesko.Verhey@uni-oldenburg.de, Stephan.Ernst@mail.uni-oldenburg.de

Einleitung

Psychoakustische Messungen zeigen, dass Stimuli mit unterschiedlichem spektralen Gehalt zu einem Objekt zusammengefasst werden, wenn ihre zeitlichen Pegelschwankungen (Einhüllende) gleich sind. Ein Effekt, den man auf diesen Mechanismus zurückführt, ist „Comodulation Masking Release“ (CMR). In CMR Experimenten stellt man fest, dass ein Sinuston durch einen schmalbandigen Maskierer an der Signalfrequenz (on-frequency masker, OFM) schlechter maskiert wird, wenn an einer anderen Frequenz ein zusätzlicher Maskierer (flanking band, FB) mit der gleichen Einhüllenden dargeboten wird (Überblick in [1]). Die meisten in der Literatur dargestellten CMR Experimente wurden mit Frequenzabständen zwischen OFM und FB von bis zu einer Oktave durchgeführt. Ein CMR über drei Oktaven wurde nur von Cohen [2] gemessen. Messungen mit großen spektralen Abständen sind besonders interessant, da neuere physiologische Messungen darauf hindeuten, dass CMR auf teilweise mehrere Oktaven überspannende breitbandige Inhibition zurückzuführen sein könnte [3,1]. In diesem Beitrag werden neue Ergebnisse mit spektralen Abständen bis zu vier Oktaven und Pegelunterschieden bis zu 60 dB vorgestellt.

Experiment 1: CMR mit festem FB

Cohen [2] hatte Ihre Experimente mit einem festen FB und für verschiedene OFM durchgeführt. Es werden entsprechend Ihren Messparadigma neue Messungen für die in ihre Arbeit größten verwendeten Abstände durchgeführt und der Einfluss der Erregung der Frequenzgruppe an der Signalfrequenz untersucht.

Methode

Der Maskierer ist inklusive der 50-ms \cos^2 Ein- und Ausschalttrampen 500 ms lang. Er bestand in der Referenz (RF) Kondition aus einem 100-Hz breiten Schmalbandrauschen an der Signalfrequenz (On-frequency masker, OFM). In der comodulierten (CM) Kondition bestand er aus dem OFM und einem comodulierten gleich breiten Flankenband (FB) mit einem Pegel von 78 dB SPL und einer Mittenfrequenz von 1kHz. In der devianten (DV) Kondition waren FB und OFM nicht comoduliert. Zusätzlich wurde die Schwelle mit FB aber ohne OFM (FBalone Kondition) und in Ruhe bestimmt. Der OFM hatte einen Pegel von 18, 38 oder 58 dB SPL. Die Signalfrequenz war entweder 4000 oder 8000 Hz, was einem FB-OFM Abstand von 2 bzw. 3 Oktaven entspricht. Das 250-ms lange Signal (50-ms \cos^2 Rampen) war zeitlich im Maskierer zentriert. Es nahmen fünf normalhörende Personen im Alter zwischen 24 und 30 Jahren teil. Die Versuche wurden in einer doppelwandigen Hörkabine mit einem adaptiven 2 Schritt

(1up-2down) Verfahren mit 3 Antwortalternativen durchgeführt. Die Stimuli wurden über einen externen DA Wandler (RME ADI-8 DS) in analoge Signale gewandelt, verstärkt (Tucker Davis Technology HB7) und über Kopfhörer (Sennheiser, hd580) diotisch ausgegeben

Ergebnis und Diskussion

Abbildung 1 zeigt die über die Versuchspersonen gemittelten Schwellen als Funktion des OFM Pegels.

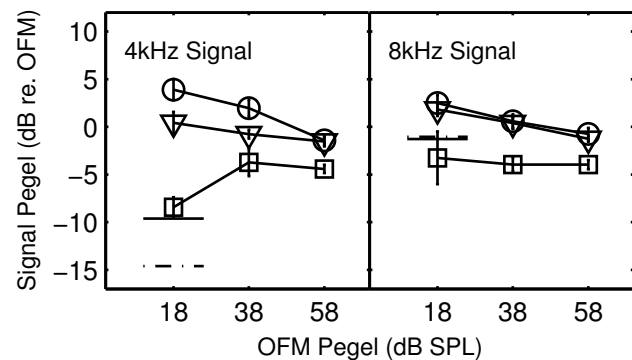


Abbildung 1: Über die Versuchspersonen gemittelten Schwellen in dB relative zum OFM Pegel als Funktion des OFM Pegels für zwei (links) und drei (rechts) Oktaven OFM-FB Abstand. Die Symbole markieren unterschiedliche Konditionen: CM (Quadrate), DV (Kreise), RF (Dreiecke). Die horizontalen Linien geben die FBalone (gestrichelt) und die Ruheschwelle (durchgezogen) an.

Man erkennt einen CMR, d.h. eine Erniedrigung der CM Schwelle, sowohl im Vergleich zur RF als auch zur DV Schwelle für zwei (links) und drei (rechts) Oktaven FB-OFM Abstand. Im Vergleich zu den Daten in [2] nimmt der CMR bei den neuen Messdaten mit zunehmender Pegeldifferenz kontinuierlich zu. Bei einem FB-OFM Abstand von 2 Oktaven ist die DV Schwelle beim kleinsten OFM Pegel um 3,5 dB höher als die RF Schwelle. Dieses könnte auf eine Erregung an der Signalfrequenz zurückzuführen sein, worauf auch die gegenüber der Ruheschwelle erhöhten FBalone Schwelle hindeutet. Bei 3 Oktaven ist die Ruheschwelle und die FBalone Schwelle gleich und dementsprechend auch DV Schwelle gleich der RF Schwelle. Eine Erhöhung der DV Schwelle um mehr als 3dB gegenüber der RF Schwelle kann jedoch nicht auf eine rein spektrale Maskierung des FBs zurückzuführen sein, da dann die FBalone Schwelle höher als der OFM Pegel (18 dB) sein müsste.

Experiment 2: CMR mit festem OFM

Eine Reihe psychoakustischer Experimente haben gezeigt, dass der CMR auch von der Signalfrequenz abhängt [1]. Um den Einfluss des FB-OFM Abstandes unabhängig von dem Effekt der Signalfrequenz zu untersuchen wurde im zweiten Experiment der CMR für einen festen OFM bestimmt.

Dieses Messparadigma erlaubt auch eine bessere Vergleichbarkeit zu den physiologisch gemessenen inhibitorischen Bereichen einzelner Neurone.

Methode

Die Versuchsaufbau und das Messverfahren entsprechen dem des ersten Experiments. Das zu detektierende Signal war ein im Maskierer zeitlich zentrierter 250 ms langer (50-ms cos^2 Rampen) 2-kHz Sinuston. Es wurden zwei Konditionen untersucht. In der RF Kondition war der Maskierer ein 500-ms lange (50-ms cos^2 Rampen) um 2kHz zentriertes 20-Hz breites Bandpassrauschen mit einem Pegel von 20 dB SPL. In der CM Kondition wurde ein zusätzliches komoduliertes FB im Abstand von 1, 2, 3 oder 4 Oktaven unterhalb sowie 0.56 oder 1 Oktaven oberhalb des OFM angeboten. Für jeden Abstand wurde die Signalschwelle für fünf Flankenbandpegel in einem Bereich von 40 dB getestet. Der größte FB Pegel wurde so gewählt, dass seine Erregung in einem Gammatonfilter an der Signalfrequenz 10 dB unterhalb der Erregung durch das OFM lag. Die Versuchspersonen waren fünf normalhörende Personen im Alter zwischen 24 und 35 Jahren.

Ergebnis und Diskussion

Die über die Versuchspersonen gemittelte Referenzschwelle lag bei 3.6 dB. Abbildung 2 zeigt den CMR (RF Schwelle minus CM Schwelle) als Funktion des FB-OFM Abstandes. Für alle betrachteten FB Positionen und FB Pegel ist der CMR positiv (Balken von der horizontalen Linie nach unten) oder der CMR ist kleiner als die interindividuelle Standardabweichung (1 dB) der RF Schwelle. Wie im ersten Experiment nimmt der CMR im Allgemeinen mit zunehmendem Pegelunterschied zwischen FB und OFM zu. Bei einem Pegelunterschied von 60 dB und einem FB-OFM Abstand von 4 Oktaven ist der CMR 6 dB. Der größte CMR von 10 dB wurde bei diesem einem Pegelunterschied und einem FB-OFM Abstand von 3 Oktaven gemessen. Tendenziell nimmt bei gleichen FB Pegel der CMR mit zunehmenden FB-OFM Abstand ab. Dieser Trend stimmt mit den Daten aus der Literatur überein [1]. Der CMR für ein FB eine Oktave unterhalb des OFM ist deutlich größer als der CMR für ein FB im gleichen Abstand in Oktaven oder auf einer linearen Frequenzachse (0,56 Oktaven) oberhalb des OFM.

Bei diesen großen FB-OFM Abständen liegt es nahe, den CMR auf (neuronalen) frequenzübergreifende Prozesse zurückzuführen [3]. Jedoch ist auch denkbar, dass die nichtlineare Verarbeitung der Basilarmembran (BM) einen Teil des Effektes erklären könnte. Um den Einfluss der BM Nichtlinearität zu untersuchen wurden Simulationen mit dem „Dual Resonance Nonlinear Filter“ (DRNL) mit nach geschalteter zeitlicher Integrationsstufe (Temporal window, TW) durchgeführt (siehe [4]). Für das TW wurden die in [5] optimierten Parameter verwendet. Für die Simulationen wurde das gleiche Messverfahren verwendet, mit dem auch die experimentellen Daten erhoben wurden. Mit den in [4] vorgeschlagenen Parametern der Nichtlinearität wurde im Vergleich zu den Messdaten für mittlere FB Pegel (60 dB SPL) ein deutlicher größerer CMR vorhergesagt, wohingegen bei höheren Pegeln der simulierte CMR negativ

war (nicht gezeigt). Daher wurde im Modell das Einsetzen der nichtlinearen Verarbeitung um 20 dB erhöht (breakpoint 55 dB, gain 59 dB, vergleiche [4,5]). Die mit diesem modifizierten Modell simulierten CMR sind in Abbildung 2 (rechts) dargestellt. Man erkennt, dass das Modell für FB unterhalb des OFM den CMR generell unterschätzt. Dieses deutet zumindest für einen Teil des CMR auf eine höhere (neuronale) Verarbeitung zur Erklärung des CMR hin. Für FB oberhalb wird der CMR überschätzt. Diese könnte auf eine unrealistische Realisierung der BM Nichtlinearität für Frequenzen oberhalb der Bestfrequenz des Filters hinweisen. Auf dieses Problem hatte auch schon Plack et al. [4] im Zusammenhang mit Suppressionssimulationen hingewiesen. Eine alternative Modellierung mit den originalen DRNL Parametern (breakpoint 35 dB, gain 39 dB) und vorgeschaltetem Mittelohrfilter zeigte eine gute Vorhersage für hohe FB-Pegel jedoch konnte das Modell keinen CMR für mittlere und niedrige FB Pegel voraussagen.

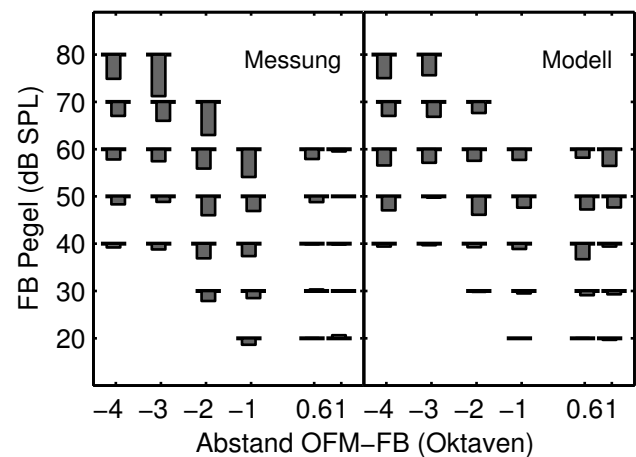


Abbildung 2: Über die Versuchspersonen gemittelten Schwellen (links) und mit dem DRNL TW Modell simulierte Schwellen als Funktion des FB-OFM Abstandes. Der CMR für jeden FB Pegel wird in den Graphen so angeordnet, dass eine kleine horizontale Linie den FB Pegel (an der Ordinate in dB SPL) angibt. Ein positiver CMR (RF Schwelle – CM Schwelle) ist als Balken nach unten aufgetragen.

Zusammenfassung

CMR nimmt mit zunehmenden FB-OFM Abstand ab und zunehmender Pegeldifferenz zwischen FB und OFM zu. Ein deutlicher CMR von bis zu 6 dB konnte noch bei einem Abstand von vier Oktaven gemessen werden. Ein Teil des CMR kann durch ein Modell mit einer nichtlinearen peripheren Verarbeitung beschrieben werden.

Literatur

- [1] Verhey JL, Pressnitzer D, Winter IM (2003) *Exp. Brain Res.* **153**, 405-417
- [2] Cohen M (1991) *J Acoust Soc Am* **90**, 1381-1384
- [3] Neuert V, Verhey JL, Winter IM (2004) *J Neuroscience* **24**, 5789-5797
- [4] Plack CJ, Oxenham AJ, Drga V (2002) *Acta Acustica united with Acustica* **88**, 348-358
- [5] Oxenham AJ (2001) *J Acoust Soc Am* **109**, 732-741