



**DYSKRYMINACJA CZĘSTOTLIWOŚCI MODULACJI AMPLITUDOWEJ  
DLA WĄSKICH PASM SZUMU NOŚNEGO**

**Amplitude modulation rate discrimination for narrowband carrier**

**Joanna Lemańska**

Instytut Akustyki, UAM  
[lema@main.amu.edu.pl](mailto:lema@main.amu.edu.pl)

**STRESZCZENIE**

Praca ta dotyczy dyskryminacji częstotliwości modulacji amplitudowej dla trzech wąskich pasm szumu jako sygnałów nośnych, tzn. pasm szumu o szerokościach 25 Hz, 50 Hz, 75 Hz i częstotliwości środkowej 4 kHz. W ramach procedury dwualternatywnego wymuszonego wyboru, wyznaczono progi różnicowe częstotliwości modulacji amplitudowej dla tych sygnałów nośnych w zależności od częstotliwości modulacji. Dla wszystkich sygnałów nośnych zastosowanych w eksperymencie progi dyskryminacji częstotliwości modulacji są niezależne od częstotliwości modulacji powyżej wartości 35 Hz. Uzyskane rezultaty sugerują istnienie maskowania modulacji amplitudowej przez wewnętrzne fluktuacje sygnału nośnego. Uzyskane wyniki są zgodne z hipotezą drugiej fazy filtrowania, wg której istnieje układ filtrów modulacyjnych (MFB) odpowiedzialny za selektywność częstotliwościową w dziedzinie częstotliwości modulacji amplitudowej.

**1. WPROWADZENIE**

Percepcję dźwięków zmiennych w czasie rozpatruje się dość często w oparciu o hipotezę filtrów modulacyjnych zakładającą, że analiza dźwięków o zmiennej w czasie amplitudzie zachodzi w dwóch etapach: najpierw w filtrach słuchowych, w których analizie podlegają sygnały akustyczne, a następnie w pasmowoprzepustowych filtrach nastrojonych na częstotliwości zmian obwiedni sygnałów akustycznych, czyli w filtrach modulacyjnych. Występowanie w dziedzinie częstotliwości modulacji takich zjawisk jak maskowanie [1, 2] czy strojenie [3, 4] pozwalają przypuszczać, że filtry modulacyjne można traktować jak każdy bank filtrów pasmowoprzepustowych, a co za tym można szukać analogii pomiędzy działaniem filtrów słuchowych i filtrów modulacyjnych. Faktycznie większość badań dotycząca filtrów modulacyjnych jest analogami tych przeprowadzonych w dziedzinie częstotliwości słyszalnych a dotyczących działania filtrów słuchowych. Bardzo istotnym argumentem na rzecz opisywanej hipotezy jest to, że właśnie przy zastosowaniu filtrów modulacyjnych udało się z powodzeniem zamodelować wiele zjawisk takich jak komodulacyjne odmaskowanie [5], selektywność częstotliwościowa [4], maskowanie modulacji przez wewnętrzne fluktuacje szumu [6], czy też wpływ wewnętrznych fluktuacji amplitudy na maskowanie jednoczesne [7]. Argumentów popierających istnienie drugiej fazy

filtrowania w układzie słuchowym dostarczyły również badania fizjologiczne. Okazało się, że na wyższych piętrach układu słuchowego istnieją neurony „nastrojone” na różne częstotliwości zmian obwiedni [8], które mogą być odpowiedzialne za analizę sygnałów zmodulowanych amplitudowo. Istnienie neuronów o takich właściwościach legło u podstaw hipotezy filtrów modulacyjnych.

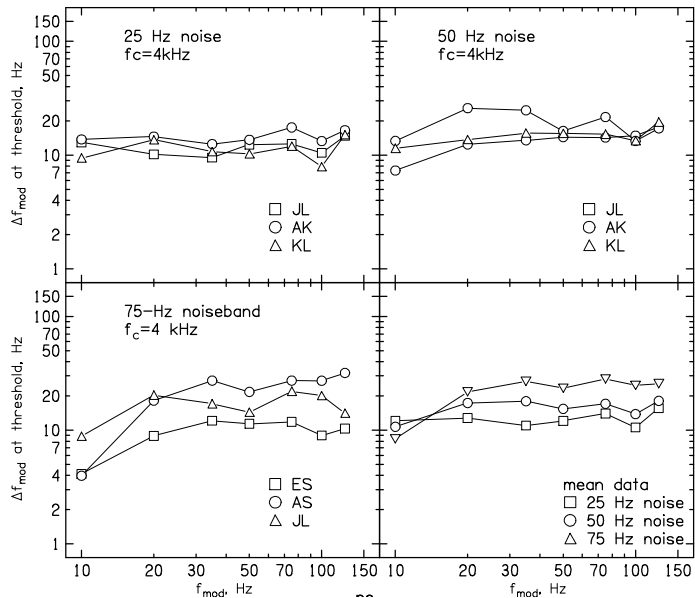
Lemańska *i in.* [9] przeprowadzili eksperyment dotyczący dyskryminacji częstotliwości modulacji AM. Wykazali oni, że progi dyskryminacji częstotliwości modulacji są monotonicznie rosnącą funkcją częstotliwości modulacji, niezależnie od rodzaju sygnału nośnego, natomiast wartość tych progów jest zależna od rodzaju sygnału nośnego. Wzrost progów wraz z częstotliwością modulacji wskazuje na poszerzanie pasma przepustowego filtrów modulacyjnych wraz z częstotliwością środkową, natomiast zależność wartości progów od rodzaju sygnału nośnego wskazuje na maskowanie modulacji przez wewnętrzne fluktuacje amplitudy szumu nośnego. Pasma szumu nośnego zastosowane w tym eksperymencie były tak dobrane, że zastosowane częstotliwości modulacji zawsze mieściły się w zakresie spektralnym wewnętrznych fluktuacji sygnału nośnego. Jeśli by zastosować takie pasma szumu nośnego dla których zakres częstotliwości nie obejmowałyby wszystkich częstotliwości modulacji to wzrost progów powinien być obserwowany tylko dla tych częstotliwości modulacji, które nie przekraczają częstotliwości wewnętrznych fluktuacji amplitudy szumu nośnego. Dlatego też celem niniejszej pracy było zbadanie dyskryminacji częstotliwości modulacji amplitudowej dla wąskich pasm szumu nośnego.

## 2. EKSPERYMENT

Progi dyskryminacji częstotliwości modulacji wyznaczono dla pasm szumu o częstotliwości środkowej 4 kHz i szerokościach pasm 25, 50 i 75 Hz. Sygnały te były zmodulowane amplitudowo sygnałami sinusoidalnymi o częstotliwościach: 10, 20, 35, 50, 75, 100 i 125 Hz, o głębokości modulacji równej 50%. Słuchaczom prezentowano dwa interwały obserwacji, z których każdy zawierał parę sygnałów zmodulowanych amplitudowo. W jednej z par oba sygnały były zmodulowane z jednakową częstotliwością modulacji odniesienia  $f_{mod}$ , a w drugiej jeden sygnał zmodulowany był z częstotliwością  $f_1 = f_{mod} - (1/2) * \Delta f_{mod}$ , natomiast drugi z częstotliwością  $f_2 = f_{mod} + (1/2) * \Delta f_{mod}$ , gdzie wielkość  $\Delta f_{mod}$  była dobierana przez słuchacza w ramach procedury adaptacyjnej. Prezentacja par sygnałów jak i kolejność sygnałów w parze były losowe. Czas trwania sygnałów wynosił 500 ms, przerwa między prezentacją sygnałów w parze wynosiła 100 ms, przerwa między parami sygnałów wynosiła 400 ms. Pary sygnałów, generowane za pomocą systemu TDT były prezentowane monauralnie przez słuchawki Sennheiser 580 w kabinie izolowanej akustycznie.

## 3. WYNIKI BADAŃ I ANALIZA

Wyniki uzyskane w niniejszym eksperymencie przedstawiono na rys. 1.



Rys.1 Zależność progów dyskryminacji częstotliwości modulacji amplitudowej od częstotliwości modulacji dla trzech pasm szumu jako sygnałów nośnych o szerokościach pasm: 25 Hz, 50 Hz, 75 Hz. Na prawym dolnym panelu zabrane są uśrednione progi dla wszystkich słuchaczy.

Dla szumu o szerokości pasma 25 Hz oraz 50 Hz dla wszystkich słuchaczy progi dyskryminacji modulacji amplitudowej są jakościowo zgodne. Progi te są niezależne od częstotliwości modulacji amplitudowej, a ich wartość dla wszystkich częstotliwości modulacji wynosi około 15 Hz. Dla pasma szumu o szerokości 75 Hz dla wszystkich słuchaczy można zaobserwować wzrost progów wraz z częstotliwością modulacji do ok. 20 Hz, powyżej tej częstotliwości przebieg progów jest niezależny od częstotliwości.

Dla wąskich pasm szumu nośnego przebieg zależności progów dyskryminacji od częstotliwości modulacji różni się od tych przebiegów uzyskanych dla szerokopasmowych sygnałów nośnych [9]. Może to być związane z maskowaniem modulacji przez losowe fluktuacje szumu nie w całym zakresie częstotliwości modulacji zastosowanych w eksperymencie. Dla wąskich pasm szumu, względny poziom fluktuacji amplitudy cały czas rośnie wraz z pomniejszaniem się szerokości pasma, natomiast zakres spektralny tych fluktuacji maleje. Poziom fluktuacji amplitudy maleje z częstotliwością, choć dla najniższych częstotliwości spadek ten jest wolniejszy.

Wysokie wartości progów dyskryminacji częstotliwości modulacji dla niskich częstotliwości modulacji mogą być tłumaczone maskowaniem modulacji przez wewnętrzne fluktuacje szumu nośnego. Ich wysoki poziom powoduje znacznie trudniejszą dyskryminację dla niskich częstotliwości niż w przypadku zastosowania tonu jako sygnału nośnego [9]. Natomiast dla najwyższej zastosowanej częstotliwości modulacji, dla której wewnętrzne fluktuacje szumu mają już dużo mniejszy poziom, wartość progów dyskryminacji częstotliwości modulacji jest zbliżona do wartości progów dla tonu jako sygnału nośnego. Dla wysokich częstotliwości modulacji wewnętrzne fluktuacje wąskiego pasma szumu nie są w stanie skutecznie zamaskować modulacji. Zakres częstotliwości, dla którego wewnętrzne fluktuacje pasma szumu mają znaczny poziom rośnie wraz z szerokością pasma

i nieznacznie przekracza połowę szerokości pasma. Zakładając, że szerokość filtrów modulacyjnych jest równa ich częstotliwości charakterystycznej, wewnętrzne fluktuacje szumu o tak znacznym poziomie i takim zakresie mogą zakłócać nawet te częstotliwości, które wykraczają poza zakres stałych fluktuacji szumu. Tłumaczy to brak gwałtownego spadku progów dla tych częstotliwości. Dla wyższych częstotliwości modulacji progi te są zbliżone do progów uzyskanych dla tonu jako sygnału nośnego [9]. Niższe progi dla pasma szumu o szerokości 75 Hz w zakresie niskich częstotliwości modulacji, względem progów dla pozostałych zastosowanych pasm, mogą być tłumaczone niższym poziomem losowych fluktuacji dla pasma o szerokości 75 Hz.

Ogólnie można stwierdzić, że rezultaty uzyskane w eksperymencie są zgodne z koncepcją istnienia w układzie filtrów modulacyjnych. Wykazane maskowanie modulacji amplitudowej przez wewnętrzne fluktuacje szumu jest zgodne z rezultatami uzyskanymi przez Dau'a [10].

#### LITERATURA

1. Houtgast, T., *Frequency selectivity in amplitude-modulation detection*. J. Acoust. Soc. Am., 1989. **85**: p. 1676-1680.
2. Lemańska, J., A.P. Sęk, and W. Rybicka, *Masking in the modulation rate domain*. Archives of Acoustics, 2003. **3**: p. 181-189.
3. Sęk, A.P. and E.B. Skrodzka, *Tuning in the amplitude modulation rate domain*. Archives of Acoustics, 1998. **23**(4): p. 491-498.
4. Ewert, S.D. and T. Dau, *Characterizing frequency selectivity for envelope fluctuations*. J. Acoust Soc. Am., 2000. **108** (3): p. 1181-1196.
5. Verhey, J.L., T. Dau, and B. Kollmeier, *Within-channel cues in comodulation masking release (CMR): Experiment and model predictions using a modulation-filterbank model*. J. Acoust Soc. Am., 1999. **106** (5): p. 2733-2745.
6. Dau, T., B. Kollmeier, and A. Kohlrausch, *Modeling auditory processing of amplitude modulation: I. Detection and masking with narrowband carriers*. Journal of the Acoustical Society of America, 1997. **102** (5): p. 2892-2905.
7. Verhey, J.L., *Modeling the influence of inherent envelope fluctuations in simultaneous masking experiments*. J. Acoust Soc. Am., 2002. **111** (2): p. 1018 - 1025.
8. Palmer, A.R., *Neural signal processing*, in *Hearing*, B.C.J. Moore, Editor. 1995, Academic Press: San Diego. p. 75-121.
9. Lemańska, J., A.P. Sęk, and E.B. Skrodzka, *Amplitude modulation rate discrimination*. Archives of Acoustics, 2002: p. 3 - 21.
10. Dau, T., *Modeling auditory processing of amplitude modulation*. 1996, University of Oldenburg.