

Latencja składowych emisji otoakustycznych wywołanych trzaskiem

Latency of the components of TEOAEs

Wiktor W. Jędrzejczak¹, Katarzyna J. Blinowska², Wiesław Konopka³

¹Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

²Uniwersytet Warszawski

³Uniwersytet Medyczny, Łódź

Streszczenie

Standardowe metody analizy emisji otoakustycznych wywołanych przez krótkie bodźce (TEOAE) umożliwiają badanie sygnałów jedynie w dziedzinie częstotliwości, podczas gdy latencja analizowana jest raczej rzadko. W niniejszej pracy do oszacowania latencji zastosowano metodę Matching Pursuit (MP). Metoda ta umożliwia zidentyfikowanie składowych TEOAE i ich opis za pomocą parametrów takich jak: amplituda, częstotliwość, latencja i czas trwania. Właściwości latencji badano u osób ze słuchem normalnym, u osób narażonych na działanie nadmiernego hałasu oraz w różnych grupach wiekowych. U osób narażonych na działanie hałasu zaobserwowano nie tylko spadek amplitudy TEOAE, ale także opóźnienie latencji w wyższych częstotliwościach. Latencje rosły również wraz z wiekiem.

Słowa kluczowe: emisje otoakustyczne, metody czasowo-częstotliwościowe.

Summary

The standard procedures of transiently evoked otoacoustic emissions (TEOAEs) processing provide analysis only in the domain of frequency, while latency is analyzed rather rarely. In the present work Matching Pursuit (MP) method was used to measure the latency. This method can identify the components of TEOAE and allows for description of the signal components in terms of their amplitude, frequency, latency, and duration. Latency in TEOAE recordings of normal subjects and people exposed to noise, and also in different age groups was studied. For subjects exposed to noise not only decrease of amplitude of TEOAE components but also shift towards longer latencies in higher frequencies was observed. With increasing age latencies of TEOAE responses grow in the whole frequency range.

Key words: otoacoustic emissions, time-frequency methods.

Wprowadzenie

Emisje otoakustyczne wywołane przez krótkie bodźce (*transiently evoked otoacoustic emissions* – TEOAEs) mają różną latencję w zależności od częstotliwości. Przy czym latencja jest tutaj rozumiana jako czas, który upływa od początku stymulacji do osiągnięcia maksimum amplitudy sygnału emisji o danej częstotliwości (zgodnie z definicją w [Probst (i in.) 1991]). Pierwsze badania latencji dla tego typu odpowiedzi wykonano stosując bodźce w postaci krótkich tonów [Neely, Norton 1987]. Wykazały one że zgodnie z tonotopyczną budową błony podstawnej emisje otoakustyczne są mierzone z różnymi czasami opóźnienia w zależności od częstotliwości stymulacji. Przy czym dla wysokich częstotliwości bodźca latencja jest krótsza, a dla niskich dłuższa. Ta zależność występuje także gdy stosujemy bodziec szerokopasmowy – trzask. Można się o tym przekonać filtrując sygnał w dziedzinie częstotliwości na kilka pasm [Prieve (i in.) 1996] lub stosując metody analizy czasowo-częstotliwościowej [Jędrzejczak (i in.) 2004].

W niniejszej pracy do mierzenia latencji zastosowano metodę Matching Pursuit (MP). Metoda ta pozwala zidentyfikować składowe TEOAE i opisać je za pomocą takich parametrów jak amplituda, częstotliwość, latencja, czas trwania i faza.

Materiał

Emisje otoakustyczne zarejestrowano przy pomocy systemu ILO292 Echoport (Otodynamics Ltd). Uśredniano 260 odpowiedzi na standardowy bodziec „klik” stosując stymulację nieliniową. Stosowano standardowe okno akwizycji (2.5-20 ms, z czasem narastania 2.26 ms). Intensywność bodźca utrzymywano na poziomie 77-80 dB peSPL.

Zestaw danych składał się z 62 sygnałów TEOAE zarejestrowanych u osób narażonych na działanie hałasu silników odrzutowych oraz takiej samej liczbie zapisów od osób zdrowych. Poziomy słyszenia wyznaczone przy pomocy audiometrii tonalnej u osób narażonych na hałas nie przekraczały 30 dB HL, a osób z grupy kontrolnej 20 dB HL. Ha-

łas silników odrzutowych zmierzono zgodnie z normą ISO 9612:1997. Analiza spektralna wykazała, że dominującym pasmem był zakres 300-4000 Hz, gdzie poziom ciśnienia dźwięku wynosił średnio 110 dB.

Dodatkowo badano różne grupy wiekowe: 18-20 lat (50 uszu), 20-24 lat (65 uszu), 25-40 lat (40 uszu), >40 lat (38 uszu). Poziomy słyszenia utrzymywały się w zakresach dla danych grup wiekowych.

Metoda – Matching Pursuit (MP)

Metoda Matching Pursuit [Mallat, Zhang 1993] to iteracyjna, nieliniowa procedura, która rozkłada sygnał na sumę znanych funkcji (tzw. atomów) wybranych z bardzo dużego zbioru. Stosowano zestaw złożony z sinusoid i sygnałów sinusoidalnych o obwiedni Gaussowskiej.

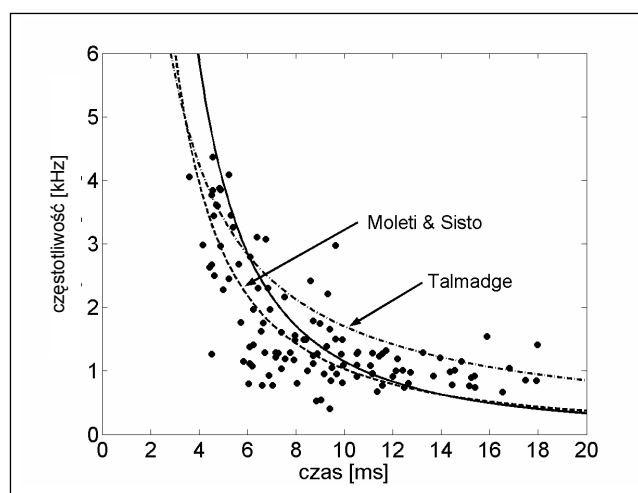
W celu zbadania dokładności wyznaczania latencji przez metodę MP stworzono sygnał symulujący TEOAE. W tym celu posłużono się sygnałem będącym sumą 6 tonów gamma o częstotliwościach: 280, 550, 1100, 2200, 4400, 8800 Hz, oddległych w czasie o 2 ms oraz malejących ze stałymi 300 oraz 600 Hz. Tę gamma są dane równaniem:

$$\gamma(t) = \gamma_0 t^3 e^{-2\pi f t} \sin(2\pi f t)$$

Na ryc. 1a przedstawiono sygnał symulujący TEOAE wraz z dekompozycją na funkcje składowe za pomocą metody MP. Na ryc. 1b pokazano zależność pomiędzy latencjami funkcji znalezionych przez algorytm MP od latencji tonów gamma w symulowanym sygnale. Rozrzut latencji dla obydwu zastosowanych stałych zaniku nie przekraczał 0.5 ms.

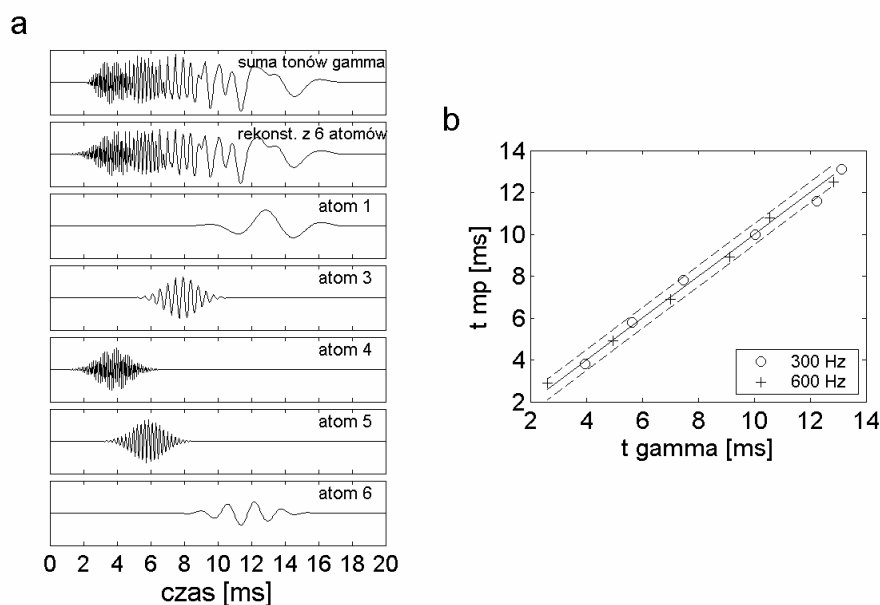
Wyniki

Badania latencji w TEOAE rozpoczęto od analizy sygnałów z 23 zdrowych uszu. Sygnały te rozłożono na podstawowe składowe metodą Matching Pursuit. Jak wspomniano wcześniej wynikiem tej metody jest parametryczny opis syg-



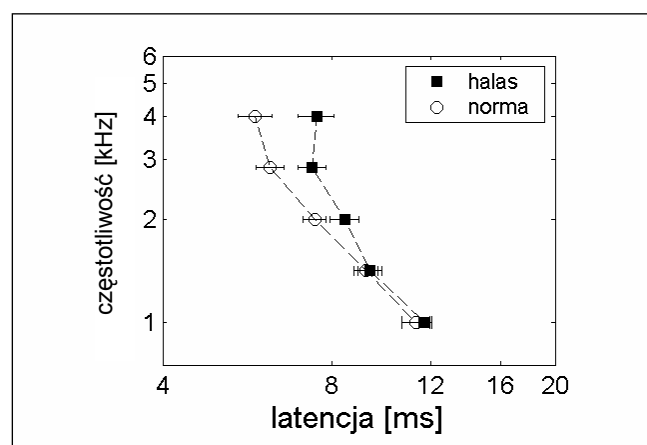
Ryc. 2. Pozycje w czasie i częstotliwości składowych TEOAE znalezionych przez algorytm MP (czarne punkty). Na rysunku zaznaczono 5 składowych o największej energii dla 23 sygnałów TEOAE. Linia ciągła reprezentuje dopasowanie krzywej $t=af^b$ z parametrami $a=10.8$ ms, $b=-0.56$. Zaznaczono także zależności zaproponowane przez Talmadge'a i innych oraz przez Moletiego i Sisto

nału, w związku z czym częstotliwość i latencję otrzymujemy bezpośrednio. Na ryc. 2 dla każdego z analizowanych sygnałów zaznaczono pozycje w czasie i częstotliwości 5 składowych o największej energii. Do danych dopasowano krzywą typu $t=af^b$ (gdzie $a=10.8$ ms, $b=-0.56$) obrazującą zależność latencji składowych od ich częstotliwości. Jak można się było spodziewać na podstawie budowy organu Cortiego zależność częstotliwość-latencja jest logarymiczna, przy czym składowe o wyższej częstotliwości mają krótsze latencje niż składowe niskoczęstotliwościowe. Na rysunku pokazano także krzywą $1/f$ zaproponowaną w [Talmadge (i in.) 2000] i krzywą uzyskaną na podstawie analizy TEOAE za pomocą transformaty falkowej [Sisto, Moletiego 2002].



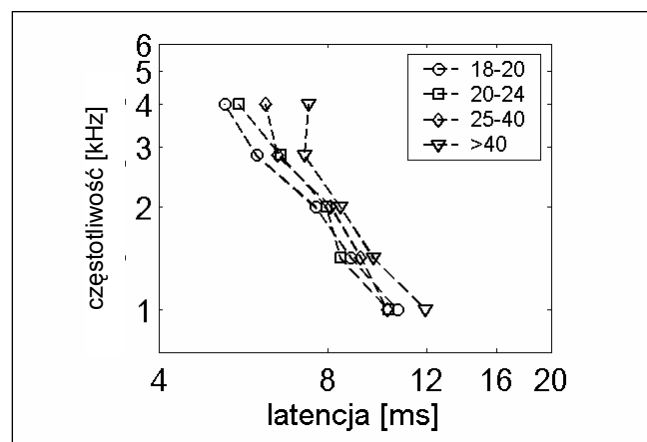
Ryc. 1. Test wyznaczania latencji przez metodę MP dla sygnału symulującego TEOAE: a) dekompozycja sygnału symulowanego [od góry: oryginalny sygnał, rekonstrukcja sygnału ze składowych, znalezione składowe (atomy)], b) latencja składowych znalezionych przez MP w zależności od latencji tonów gamma

Od dawna wiadomo że pod wpływem czynników zaburzających słyszenie maleje amplituda emisji otoakustycznych. Dzięki zaproponowanemu powyżej podejściu można również zbadać jak zachowuje się w takiej sytuacji latencja tych sygnałów. Na ryc. 3 przedstawiono zależność latencji od częstotliwości w pasmach pół-oktawowych dla grupy osób narażonych na hałas i grupy kontrolnej. W pasmach powyżej 1414 Hz zaobserwowano istotne ($p < 0.05$) opóźnienie latencji u osób narażonych na hałas w stosunku do grupy kontrolnej.



Ryc. 3. Średnia latencja składowych TEOAE dla grupy osób narażonych na hałas silników odrzutowych (kwadrat) i dla grupy kontrolnej (kółko)

Kolejnym etapem było zbadanie czy wiek wpływa na latencję TEOAE. Istnieją wprawdzie prace poświęcone zagadnieniu wieku w kontekście emisji otoakustycznych, ale dotyczą one głównie amplitudy. W niniejszych badaniach potwierdzono, że amplituda emisji maleje wraz z wiekiem. Dalsza analiza wykazała także wzrost latencji składowych wraz ze zwiększającym się wiekiem podobnie do sytuacji, która miała miejsce w przypadku osób narażonych na nadmierny hałas (ryc. 4).



Ryc. 4. Średnia latencja składowych TEOAE dla różnych grup wiekowych pokazana w pasmach pół-oktawowych

Dyskusja

Metoda MP wydaje się być optymalnym narzędziem do badania czasowo-częstotliwościowych właściwości sygnałów TEOAE. Umożliwia rozkład złożonego sygnału emisji

otoakustycznej wywołanej przez trzask na składowe o pojedynczej częstotliwości. Jednocześnie parametry którymi opisywane są składowe w jasny sposób odwołują się do właściwości sygnału TEOAE. Takie podejście daje między innymi możliwość zbadania zależności latencji od częstotliwości dla danego sygnału.

We wcześniejszych pracach dotyczących OAE, w których wykorzystywano filtrację aby uzyskać informację o latencji w poszczególnych pasmach częstotliwościowych [Prieve (i in.) 1996], nie wykryto różnic pomiędzy latencją OAE osób z uszkodzonym słuchem i osób zdrowych. Taki wynik był prawdopodobnie związany z małą rozdzielczością użytej metody filtrowania. Zaobserwowane w niniejszej pracy zmiany w latencji były połączone ze spadkiem amplitudy TEOAE. Zmiany wystąpiły jedynie dla wyższych częstotliwości, co jest zapewne związane z większą wrażliwością podstawnych obszarów ślimaka. Ze względu na bardzo dużą rozdzielczość metoda MP jest w stanie wykryć nawet bardzo małe zmiany w latencji, tak jak w przypadku różnych grup wiekowych.

Do tej pory parametr taki jak latencja nie przyciągał zbyt wiele uwagi badaczy zajmujących się emisjami otoakustycznymi wywołanymi trzaskiem. Było to związane z tym, że dostępne metody nie pozwalały na wyznaczenie go z dostatecznie dużą dokładnością. Zaproponowana tutaj metoda MP umożliwia wyznaczenie latencji w sposób obiektywny i precyzyjny.

Bibliografia

- Jedrzejczak W. W., Blinowska K. J., Konopka W., Grzanka A., Durka P. J. [2004]. Identification of otoacoustic emissions components by means of adaptive approximations. „Journal of the Acoustical Society of America” 115, 2148-2158.
- Mallat S. G., Zhang Z. [1993]. Matching pursuit with time-frequency dictionaries. „IEEE Transactions on Signal Processing” 41, 3397-3415.
- Neely S. T., Norton S. J. [1987]. Tone-burst-evoked otoacoustic emissions from normal-hearing subjects. „Journal of the Acoustical Society of America” 81, 1860-1872.
- Prieve B. A., Gorga M. P., Neely S. T. [1996]. Click- and tone-burst evoked otoacoustic emissions in normal-hearing and hearing impaired ears. „Journal of the Acoustical Society of America” 99, 3077-3086.
- Probst R., Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K. [1991]. A review of otoacoustic emissions. „Journal of the Acoustical Society of America” 89, 2027-2067.
- Sisto R., Moleti A. [2002]. On the frequency dependence of the otoacoustic emission latency in hypoacoustic and normal ears. „Journal of the Acoustical Society of America” 111, 297-308.
- Talmadge C. L., Tubis A., Long G. R., Tong C. [2000]. Modeling the combined effects of basilar membrane nonlinearity and roughness on stimulus frequency otoacoustic emission fine structure. „Journal of the Acoustical Society of America” 108, 2911-2932.

