



## WPLYW INFRADŹWIĘKOWEJ FALI AKUSTYCZNEJ NA WYMIAR FRAKTALNY SYGNAŁU EEG

### The Effects of Low-Frequency Acoustic Waves on the Fractal Dimension of EEG Signals

Cezary Kasprzak, Zbigniew Damijan, Ryszard Panuszka

Pracownia Akustyki Strukturalnej i Materiałów Inteligentnych, WIMIR, AGH,  
Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, [cekasp@agh.edu.pl](mailto:cekasp@agh.edu.pl)

#### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono metodę oceny oraz wyniki przeprowadzonych badań wpływu niskoczęstotliwościowego tonu akustycznego na człowieka. Do oceny ekspozycji zaproponowano zastosowanie analizy fraktalnej sygnału EEG.

W pracy zastosowano algorytm zaproponowany przez Higuchi'ego. Sygnał EEG jest przedstawiony w domenie czasowej jako przebieg zmian wymiaru fraktalnego HFD (*Higuchi Fractal Dimension*), obliczanego dla krótkich okien czasowych.

Badania przeprowadzono dla dźwięku o częstotliwości 7Hz i poziomie ciśnienia akustycznego 120dB HP. Przeprowadzone analizy zmian wymiaru fraktalnego sygnału EEG mogą dostarczyć informacji na temat wpływu fal akustycznych niskiej częstotliwości na człowieka.

#### 1. WPROWADZENIE

Sygnały bioelektryczne mózgu są generowane przez złożone, samoregulujące się układy. Serie czasowe sygnału EEG mogą mieć fraktalną lub multifraktalną strukturę tymczasową, będąc jednocześnie niehomogenicznymi i niestacjonarnymi. Przebiegi takie wykazują statystyczne samopodobieństwo i mogą być postrzegane jako fraktale.

W niniejszym opracowaniu podstawowym parametrem, który został poddany analizie jest stopień złożoności sygnału EEG, określony tzw. wymiarem fraktalnym. Porównanie średnich wartości wymiaru fraktalnego w różnych przedziałach czasowych eksperymentu może być wykorzystane w analizie wpływu ekspozycji bodźca na zmiany w morfologii sygnału EEG.

Jednym z algorytmów numerycznych, przeznaczonych do obliczania wymiaru fraktalnego bezpośrednio w domenie czasowej, jest algorytm zaproponowany przez Higuchi'ego [3, 4]. Procedura jest prosta i szybka - sygnał EEG jest przedstawiony bezpośrednio w domenie czasowej jako przebieg zmian wymiaru fraktalnego HFD (*Higuchi Fractal Dimension*), obliczanego dla krótkich okien czasowych.

## 2. METODYKA PROWADZENIA BADAŃ

Badania przeprowadzono w kabinie doświadczalnej zaprojektowanej i wykonanej na potrzeby doświadczenia. Kabina wyposażona jest w sześć głośników elektrodynamicznych GDN 30/80, tablice przyłączy i kontroli impedancji połączeń EEG, system komunikacji z osobą badaną, wewnętrzny wyłącznik głośników, fotel osoby badanej. Kabina ma na celu podniesienie poziomu ciśnienia akustycznego L<sub>f</sub> przez ograniczenie objętości, w której odbywa się eksperyment, izolowanie osoby badanej od warunków zewnętrznych laboratorium.

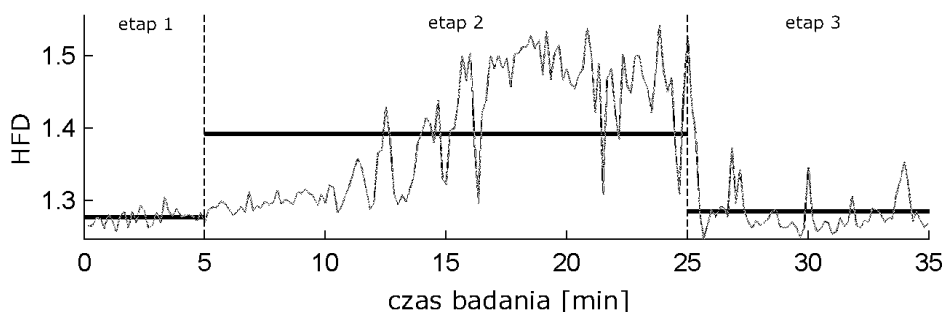
Sygnał bodźca generowano za pomocą komputera, z pliku WAV, który był wzmacniany przez wzmacniacz mocy ELMUZ i podawany na sześć głośników typu GDN 30/80 umieszczonych w suficie kabiny. W każdym doświadczeniu czas ekspozycji dźwięku niskoczęstotliwościowego wynosił 20 minut, poziom ciśnienia akustycznego wynosił L<sub>p</sub>=120 dB dla częstotliwości bodźca 7 Hz.

Tor rejestracji i analizy sygnałów bioelektrycznych EEG składał się z 25 kanałowej głowicy przedwzmacniaczy SAM 25 (Smart Acquisition Module) firmy MICROMED połączonej z komputerem z zainstalowanym oprogramowaniem do rejestracji i analizy EEG "System 98 Brain Quick. W badaniach wykorzystywano dziesięć kanałów EEG. Elektrody do rejestracji potencjałów umieszczano na głowie osoby badanej wg systemu "10-20" (rys. 5.6). Stosowano elektrody kontaktowe typu Ag/AgCl o średnicy 6 mm; do zapewnienia kontaktu elektrycznego użyto żelu MEDIGEL firmy MEDICAP.

## 3. ANALIZA SYGNAŁU EEG

W algorytmie przyjęto okno czasowe o długości 256 punktów pomiarowych, co odpowiada jednej sekundzie zapisu EEG. W tak krótkim przedziale czasowym sygnał EEG pozostaje stacjonarny [9], a jego parametry statystyczne są stabilne. Otrzymany przebieg zmiany wymiaru fraktalnego w czasie przybiera wartości pomiędzy 1 a 2. Na jego podstawie można wnioskować, czy sygnał w danym czasie jest bardziej (wyższe wartości) lub mniej złożony (niższe wartości).

Zmiany wartości wymiaru fraktalnego sygnału w funkcji czasu zostały obliczone dla każdego kanału EEG zgodnie z algorytmem Higuchi'ego (HFD). Zastosowano okno pomiarowe o szerokości 256 punktów (1 sekunda). Przyjęto parametr k<sub>max</sub>=16. W celu graficznej prezentacji wyników obliczeń wygenerowano wykresy obrazujące zmiany wartości wymiaru fraktalnego sygnału EEG w czasie eksperymentu. Przykładowy wykres przedstawiono na rysunku 1.



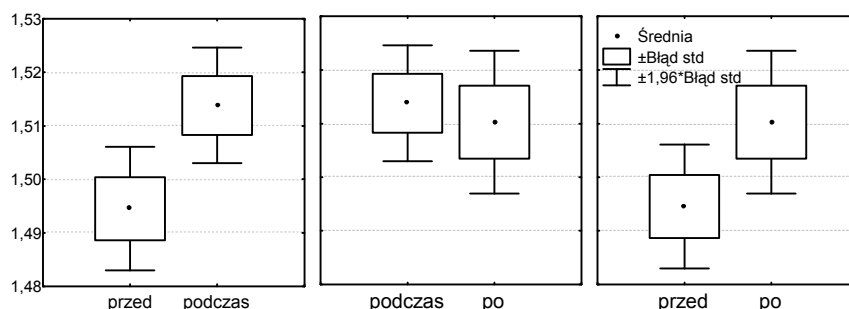
Rys. 1. Średnie wartości HFD w kolejnych etapach eksperymentu

Zobrazowano na nim zmiany średnich wartości wymiaru fraktalnego liczonych dla przedziałów o długości 10 sekund, 150 sekund (2,5 min) oraz wartość średnią dla całego przebiegu (35 min) dla wybranej osoby dla jednego kanału (O1). Wzrost wartości wymiaru fraktalnego świadczy o wzroście stopnia złożoności sygnału EEG.

Dla każdego badania otrzymano dziesięć przebiegów czasowych zmian wartości wymiaru fraktalnego HFD sygnału EEG, które odpowiadają dziesięciu kanałom pomiarowym. Podstawowym parametrem jaki badano podczas analiz statystycznych była zmiana średniej wartości HFD pomiędzy kolejnymi etapami eksperymentu.

- przed włączeniem bodźca (0 - 5 minuta rejestracji) - etap 1,
- podczas ekspozycji bodźca (5 - 25 minuta rejestracji) - etap 2,
- po wyłączeniu bodźca (25 - 35 minuta rejestracji) - etap 3 eksperymentu.

Przeprowadzone analizy zmian średniej wartości wymiaru fraktalnego pomiędzy poszczególnymi etapami eksperymentu („przed”, „podczas”, „po”) za pomocą testu t-Studenta wykazały, że różnica średniej wartości HFD pomiędzy 1 i 2 oraz 1 i 3 etapem eksperymentu jest statystycznie istotna. W przypadku różnicy pomiędzy 2 i 3 etapem, nie można odrzucić hipotezy, że średnie są równe. Wyniki analizy statystycznej przedstawiono na rysunku 2. i w tabeli 1.



Rys. 2. Porównanie średnich wartości HFD dla poszczególnych etapów eksperymentu dla 7 Hz.

Tabela 1. Test t-Studenta dla różnic średniej wartości HFD dla 7 Hz

	średnia	odch.std	N	różnica	odch.std	t	df	p
przed	1,494518	0,105367						
podczas	1,513798	0,098514	320	-0,019280	0,039887	-8,64650	319	<b>0,00</b>
podczas	1,513798	0,098514						
po	1,510265	0,121605	320	0,003532	0,051443	1,228337	319	<b>0,220226</b>
przed	1,494518	0,105367						
po	1,510265	0,121605	320	-0,015747	0,047866	-5,88515	319	<b>0,00</b>

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej zmian wartości średniej wymiaru fraktalnego HFD sygnału EEG w kolejnych etapach eksperymentu, dla badań przy ekspozycji bodźca akustycznego o częstotliwości 7 Hz, dla wszystkich kanałów niezależnie wynika:

- średnia wartość HFD w czasie ekspozycji (etap 2) dla badanej populacji wynosi  $HFD = 1,514 \pm 0,006$  i jest większa od wartości średniej dla etapu 1 „przed” ( $HFD = 1,495 \pm 0,006$ ) i etapu 3 „po” ( $HFD = 1,510 \pm 0,007$ ),
- wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA wskazują, iż nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, że średnie wartości HFD w kolejnych etapach eksperymentu są równe,
- testy t-Studenta istotności różnic wartości średnich HFD pomiędzy poszczególnymi etapami eksperymentu wykazują, że różnice wartości średnich pomiędzy etapem 1 i 2 oraz 1 i 3 są istotne statystycznie; w przypadku różnicy wartości średnich pomiędzy 2 i 3 etapem eksperymentu, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, że średnie są równe.

#### LITERATURA

1. ISO 7196: 1995. *Acoustic. Frequency weighting characteristic for infrasound measurement.*
2. ISO 9612: 1997. *Acoustic. Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in the working environment.*
3. Klonowski W. *Signal and Image Analysis Using Chaos Theory and Fractal Dimension. Machine Graphics & Vision vol 9.* Warszawa: PAN, 2000.
4. Klonowski W., Olejarczyk E., Stepień R. *Complexity of EEG-signal in Time Domain - Possible Biomedical Application. Poczdam: Experimental Chaos*, 2001.
5. Klonowski W., Olejarczyk E., Stepień R. *Nonlinear Dynamics of EEG-signal Reveals Influence of Magnetic Field on the Brain.* Chicago: World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 2000.
6. Klonowski W., Stepień R., Olejarczyk E., *Nonlinear Quantifiers of EEG-signal complexity.* Dresden: International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications NOLTA, 2000.
7. Möller H., *Annoyance of audible infrasound.* Journal of Low Frequency Noise and Vibration, 6, 1-17, 1987.
8. Olejarczyk E.: *Analiza sygnałów EEG metodą wymiaru fraktalnego.* Warszawa: Mat. Konf. Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna, 1999.
9. <http://www.ciop.pl/1719.html>.