

## Sprawozdanie z 30th EEGLAB Workshop, 14–18 czerwca 2021 r., San Diego, USA (online)

**Bartosz Kochański, Jakub Wojciechowski**

Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Światowe Centrum Słuchu, Naukowe Centrum  
Obrazowania Biomedycznego

„EEGLAB Workshop” to cykliczne warsztaty szkoleniowe prezentujące postępy w rozwoju najpopularniejszego oprogramowania naukowego do analizy sygnałów elektroencefalograficznych EEGLAB. Organizatorem warsztatów jest Uniwersytet Kalifornijski w San Diego. Uczelnia ta jest siedzibą Swartz Center for Computational Neuroscience, którego pracownicy, pod kierownictwem prof. Scotta Makeiga, od ponad 18 lat rozwijają to oprogramowanie. Warsztaty cieszyły się dużym zainteresowaniem. W poszczególnych wykładach i zajęciach praktycznych uczestniczyło jednocześnie do ok. 250 uczestników z całego świata. Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu reprezentowali Jakub Wojciechowski i Bartosz Kochański.

Wykład otwierający wygłosił prof. Scott Makeig, który zwrócił uwagę na istotne trendy zachodzące w dziedzinie analizy sygnału EEG. Wskazał on na możliwości eksploracji sygnału, jakie stwarzają analizy czasowo-częstotliwościowe oraz analizy pojedynczych zdarzeń (ang. *single-trial analysis*) w porównaniu do najczęściej wykorzystywanego podejścia uśrednionych potencjałów wywołanych. Podkreślił również trudności interpretacyjne związane z analizą sygnału EEG na poziomie pojedynczych elektrod, które odbierają mieszaninę sygnałów z wielu niepowiązanych ze sobą populacji neuronalnych. Aktywność obszaru będącego obiektem zainteresowania zakryta jest w takim wypadku aktywnością otaczających fragmentów kory mózgowej. Możliwą alternatywą jest analiza komponent niezależnych (ang. *independent component analysis*, ICA) wykonywana na wielokanałowym sygnale EEG. Jest to analiza, która od początku stanowi kluczowy element oprogramowania EEGLAB i jak dotąd z powodzeniem była stosowana w środowisku badaczy EEG do usuwania artefaktów takich jak zakłócenia pochodzące z ruchu gałek ocznych. Jednak jak zaznaczył prof. S. Makeig, może ona również wyodrębnić aktywność części lokalnych populacji neuronalnych pracujących synchronicznie, oferując separację przebiegów czasowych niezależnych źródeł aktywności mózgowej.

Rozwojowi technik ICA poświęconych było wiele modułów szkoleniowych. Jeden z nich dotyczył rozszerzenia ICLLabel [1], które automatyzuje klasyfikację niezależnych komponent sygnału EEG na: aktywność mózgową,

artefakty fizjologiczne, techniczne oraz komponenty trudne do zaklasyfikowania. Rozszerzenie opiera się na modelu zbudowanym na bazie 500 tys. komponent z 8 tys. nagrań EEG ocenionych przez licznych ekspertów w dziedzinie przetwarzania ludzkiego sygnału EEG. Automatyzacja oferowana przez ICLLabel pozwala nie tylko przyspieszać analizy na dużych zbiorach danych, lecz także pomaga standaryzować proces przetwarzania i analiz sygnału. Ponadto baza komponent skonstruowana jest tak, że może służyć również jako materiał edukacyjny dla młodych badaczy.

Poza analizą komponent niezależnych podczas warsztatów dużo uwagi poświęcono również aspektom poprawnego opisu, przechowywania i katalogowania danych EEG – w taki sposób, aby było możliwe ich ponowne wykorzystanie wewnątrz pracowni, replikacja przez zespół zewnętrzny bądź wykorzystanie w dużym projekcie (np. takim jak ICLLabel). EEGLAB ułatwia to zagadnienie poprzez integrację ze światowymi standardami: BIDS (ang. *brain imaging data structure* [2]) oraz HED (ang. *hierarchical event descriptors* [3]). Pierwszy ze standardów opisuje sposób uporządkowania baz danych EEG oraz ich wzbogacania w metadane. Integracja opiera się na możliwości importu i eksportu baz danych w tym standardzie. Z kolei standard HED określa uporządkowany, hierarchiczny sposób opisu zdarzeń w sygnale EEG. Ma on ułatwić zarówno dzielenie się wynikami eksperymentów poprzez zachowanie jednolitego nazewnictwa, jak i analizowanie danych z eksperymentów na wielu poziomach uszczegółowienia.

Innym istotnym elementem oprogramowania EEGLAB, omówionym podczas kursu, jest wtyczka LIMO (ang. *linear modeling* [4]), która pozwala na modelowanie zmian sygnału EEG w skomplikowanych schematach eksperymentalnych z użyciem podejścia ogólnego modelu liniowego (ang. *general linear model*, GLM), stanowiącego złoty standard badań neuroobrazowych fMRI. W LIMO możliwa jest implementacja zarówno podstawowych analiz różnic między dwoma warunkami, jak i bardziej złożonych schematów czynnikowych, włącznie z możliwością wprowadzania ciągłych zmiennych wyjaśniających. Tego typu podejście w dziedzinie analizy sygnałów EEG nie jest jeszcze powszechnie stosowanym standardem.

**Adres autora:** Bartosz Kochański, Naukowe Centrum Obrazowania Biomedycznego, Światowe Centrum Słuchu, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, ul. Mokra 17, Kajetany, 05-830 Nadarzyn, e-mail: b.kochanski@ifps.org.pl

W ostatnich latach w wielu dziedzinach nauki opierających się na badaniach biologicznych coraz większą wagę przykładają do generowania ogromnych, wieloosiłkowych zbiorów danych w celu zwiększenia pewności wyciąganych wniosków z analiz i replikowalności tych wyników. W danych EEG występuje wiele rodzajów artefaktów, które jeszcze do niedawna w dużej części musiały być identyfikowane i usuwane przez badacza manualnie. Jest to proces subiektywny oraz czasochłonny, stąd w środowisku badaczy już od dłuższego czasu coraz częściej było wyrażana potrzeba opracowania zautomatyzowanych narzędzi do przeprowadzania procesu usuwania artefaktów z sygnałów. Odpowiedzią okazała się metoda ASR (ang. *artifact subspace reconstruction* [5]), opracowana przez zespół EEGLAB i wsp., która w połączeniu z pakietem ICLabel pozwala na przeprowadzenie znacznej większości kroków przetwarzania danych EEG w sposób zautomatyzowany, co oprócz zaoszczędzenia czasu umożliwia badaczom przeprowadzanie bardziej obiektywnych i powtarzalnych procesów.

Jedną z rzadziej spotykanych metod analizy sygnału EEG jest miara połączeń funkcjonalnych (ang. *functional connectivity*). Analiza połączeń funkcjonalnych jest popularną metodą wśród badaczy fMRI, którzy wykorzystują ją do modelowania aktywności mózgu jako pobudzeń całych sieci neuronalnych (w przeciwieństwie do analizy pojedynczych, odosobnionych regionów). Analiza połączeń funkcjonalnych w EEG ma jednak istotne

ograniczenia, m.in. ze względu na rozmywanie potencjałów bioelektrycznych w trakcie przedostawania się z kory mózgowej na skórę głowy. Dr Tim Mullen stworzył narzędzie – SIFT (ang. *source information flow toolbox* [6]) – służące do przeprowadzania analiz połączeń funkcjonalnych bezpośrednio na komponentach niezależnych. Dzięki wykorzystaniu komponent niezależnych jako separowalnych źródeł aktywności mózgu, na podstawie których wyznaczane są połączenia funkcjonalne, częściowo eliminujemy wyżej opisany problem związany z naturą rejestracji EEG.

Zespół prof. S. Makeiga i wsp. rozwijają pole badawcze EEG nie tylko w zakresie implementacji istniejących rozwiązań analitycznych do pakietu EEGLAB, lecz przede wszystkim poprzez opracowywanie nowych, zaawansowanych metodologii analizy i interpretacji wyników. Pakiet analityczny EEGLAB, który jest efektem wieloletnich prac tych badaczy, posiada całą paletę wyrafinowanych narzędzi do przetwarzania i analizowania danych EEG. Projekty prowadzone obecnie przez zespół prof. S. Makeiga dotyczą opracowywania wielkich baz danych oraz automatyzacji ich przetwarzania, dzięki czemu możliwe będzie wyciąganie wniosków naukowych nt. procesów dotychczas pomijanych z powodu istniejących ograniczeń metodologicznych. Warsztaty pokazały, że od początków cyfrowej ery badań wiele dotychczasowych barier zostało pokonanych i nastąpił niezwykle rozwój narzędzi służących do analizowania procesów w polu badawczym EEG.

## Piśmiennictwo

1. Pion-Tonachini L, Kreutz-Delgado K, Makeig S. ICLabel: An automated electroencephalographic independent component classifier, dataset, and website. *NeuroImage*, 2019; 198: 181–97.
2. Pernet CR, Appelhoff S, Gorgolewski KJ, Flandin G, Philips C, Delorme A i wsp. EEG-BIDS, an extension to the brain imaging data structure for electroencephalography. *Sci Data*, 2019; 6: 103.
3. Robbins K, Truong D, Jones A, Callanan I, Makeig S. Building FAIR functionality: Annotating events in time series data using Hierarchical Event Descriptors (HED), 2020; <https://osf.io/5fg73/> [dostęp: 7.07.2021].
4. Pernet CR, Chauveau N, Gaspar C, Rousselet GA. LIMO EEG: A Toolbox for Hierarchical Linear Modeling of ElectroEncephaloGraphic Data. *Comput Intell Neurosci*, 2011; ID 831409.
5. Mullen TR, Kothe CAE, Chi YM, Ojeda A, Kerth T, Makeig S i wsp. Real-time neuroimaging and cognitive monitoring using wearable dry EEG. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2015; 62: 2553–67.
6. Delorme A, Mullen T, Kothe C, Akalin Acar Z, Bigdely-Shamlo N, Vankov A i wsp. EEGLAB, SIFT, NFT, BCILAB, and ERICA: New tools for advanced EEG processing. *Comput Intell Neurosci*, 2011: 130714.