

UNIWERSYTET WARSZAWSKI

Streszczenie

Zakład Fizyki Biomedycznej

Wydział Fizyki

PhD

Badanie dynamiki czynności bioelektrycznej mózgu metodami opartymi na ślepej separacji źródeł

Tomasz SPUSTEK

Potencjały wywołane to bioelektryczne odpowiedzi mózgu, obserwowane w sygnale elektroencefalograficznym (EEG), na bodźce. Stanowią niezwykle cenne narzędzie nieinwazyjnego badania ludzkiego mózgu. Poprzez podawanie zaburzenia o kontrolowanych parametrach, możliwa jest obserwacja dynamiki reakcji oraz charakteru odpowiedzi mózgu. Uzyskiwane wyniki znajdują liczne zastosowania w badaniach poznawczych oraz diagnostycznych układu nerwowego.

Zazwyczaj reakcja na pojedynczy bodziec jest mała w stosunku do innych aktywności zawartych w zapisie, zachodzących w podobnym czasie. Klasyczne podejście do wyodrębnienia manifestacji elektrycznej reakcji na podany bodziec polega na uśrednieniu wielu fragmentów sygnału zawierających odpowiedź na bodziec. Technika ta opiera się na założeniu, że zawarta w EEG odpowiedź mózgu na każdy z kolejnych bodźców jest niezmienna, a sygnał odzwierciedlający pozostałe zachodzące procesy może zostać potraktowany, jak nieskorelowany z nią proces stochastyczny o średniej równej zeru.

Dla potencjałów występujących krótko po podaniu bodźca, opisany wyżej model może zostać uznany za poprawny, ponieważ wykazują one zależność przede wszystkim od fizycznych parametrów prezentowanego zaburzenia. Dla późniejszych składowych potencjału wywołanego, model może zostać poddany w wątpliwość, ze względu na występujące korelacje ze stanem badanego. Mimo to, w klinicznej neurofizjologii jako potencjał wywołany rozumie się uśrednioną odpowiedź na podawany bodziec. Analiza takiego potencjału opiera się w dużej mierze na rozpoznawaniu w uśrednionym przebiegu tzw. załamek, czyli przejściowych wzrostów lub spadków potencjału.

Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że w rzeczywistości krzywa otrzymana w wyniku uśredniania przedstawia sumę potencjałów pochodzących od wielu niezależnie pracujących źródeł prądowych w mózgu, czyli jest sumą tzw. składowych, bądź komponentów.

Czynność elektryczną działających synchronicznie neuronów w pewnym fragmencie kory mózgowej można przybliżyć poprzez potencjał dipola prądowego. Każdy taki dipol można traktować jak źródło, dające przyczynek do mierzonego z powierzchni głowy rozkładu potencjału elektrycznego. Mózg jest obiektem na tyle złożonym, że nie jest możliwe bezpośrednio zmierzenie wkładu od pojedynczego źródła prądowego. Wiele obszarów może być aktywnych w danej chwili czasu i wszystkie te źródła zostaną zaobserwowane w sygnale rejestrowanym. Wynikowy, zmierzony potencjał jest ważoną sumą komponentów pochodzących od poszczególnych źródeł prądowych. Krzywa, nazywana w neurofizjologii potencjałem wywołanym może zostać otrzymana poprzez zsumowanie wielu różnych kombinacji domniemanych komponentów.

Celem pracy prezentowanej w niniejszej rozprawie doktorskiej było opracowanie nowej metody automatycznej dekompozycji wielokanałowych zapisów potencjałów wywołanych na składowe. Specyfika prezentowanego algorytmu polega na jawnym uwzględnieniu fizycznego modelu generacji potencjałów wywołanych. Model ten opiera się na założeniu, że rejestrowane na powierzchni głowy potencjały są superpozycją pewnych składowych oraz niezależnego szumu. Na skutek fizycznej propagacji pola elektrycznego wewnątrz głowy, morfologia poszczególnych komponentów powinna być niezmienna. Z powtarzalności reakcji na podany bodziec można natomiast wysnuć i uwzględnić wnioski o statystycznych właściwościach badanych źródeł prądowych.

W pracy zastosowano i rozwinięto dwie klasy algorytmów: metody ślepej separacji źródeł, umożliwiające separację przestrzenną oraz algorytm kroczącego dopasowania, zapewniający parametryzację struktur w dziedzinie czas-częstość. Metodologia przedstawiona w rozprawie łączy w sobie najlepsze cechy obu klas algorytmów, ograniczając w pewnym stopniu wady, które każda z tych metod ma, gdy stosowana jest oddzielnie. Połączenie cech obu algorytmów skutkuje metodą dającą głębszy wgląd we własności analizowanych potencjałów wywołanych i składowych rytmicznych.

Proponowana procedura skutkuje precyzyjnym, bardzo czułym filtrem przestrzenno-czasowo-częstościowym. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki stosowania takiej filtracji. Technika oparta na fizycznie uzasadnionych założeniach pozwala na bardzo precyzyjną analizę składowych potencjałów wywołanych. Przeprowadzono trzy eksperymenty w celu wykazania jej użyteczności. W szczególności, badanie dynamiki potencjałów wywołanych stanu ustalonego ukazuje wszystkie zalety proponowanej metody.