

prof. dr hab. Jan J. Żebrowski
Wydział Fizyki
Politechniki Warszawskiej
ul. Koszykowa 75,
00-662 Warszawa

Warszawa, 14.12.2015


Dziekanat Wydziału Fizyki UW
Seksja ds. pracowniczych
Wpłynęło dn. 23.12.15
podpis

Ocena Rozprawy Doktorskiej
mgr. Pawła Kordowskiego
„Multivariate matching pursuit analysis of MEG evoked fields”

Rozprawa mgr Pawła Kordowskiego poświęcona jest rozwinięciu metody analizy sygnałów o nazwie Matching Pursuit. W języku polskim raczej używa się terminu angielskiego ale spotyka się też określenie poszukiwanie dopasowujące. Rozprawa jest napisana w języku angielskim, ma 58 stron, jest podzielona na trzy rozdziały: Introduction, Spatio Temporal Matching Pursuit oraz Contrast Matching Pursuit. Jest ilustrowana kolorowymi, starannie opracowanymi rycinami. Spis odnośników do literatury liczy 59 pozycji.

Wstęp Rozprawy ma 15 stron i obejmuje starannie dobrane informacje o budowie mózgu, historii jego badania za pomocą EEG i MEG i różnicach pomiędzy wynikami tych dwóch technik. Opisuje po krótko problem znalezienia z równań Maxwella sygnału elektromagnetycznego pochodzącego od pojedynczego dipola obserwowanego przez EEG lub MEG na powierzchni głowy. Na tej podstawie określa jak znaleźć pole obserwowane w odbiorniku dla wielu dipoli rozmieszczonych w mózgu (tzw. zagadnienie wprost, forward problem). Następnie omawia zagadnienie centralne dla Rozprawy: zagadnienie odwrotne, w którym należy znaleźć źródła sygnału obserwowanego na powierzchni głowy. Autor wymienia i podaje odnośniki do najważniejszych, ugruntowanych w literaturze algorytmów rozwiązywania problemu odwrotnego. Opisuje różnicę pomiędzy sygnałem aktywności mózgu indukowanej przez czynniki zewnętrzne przy pojedynczym podaniu bodźca a tzw. polem wywołanym powstałym na skutek uśrednienia reakcji na wiele powtarzanych bodźców i zaznacza różnice w trudnościach odczytywania sygnału w tych dwóch sytuacjach. Na koniec Rozdziału Autor omawia po krótko algorytm poszukiwania dopasowującego oraz jego podstawowe cechy w porównaniu z metodami analizy widmowej transformatą Fouriera i analizą falkową. Na mniej niż jednej stronie streszcza bardzo bogatą historię zastosowania metod poszukiwania dopasowującego do analizy sygnałów mózgowych. Wyjaśnia, że jest stosowana jako metoda wstępnej obróbki sygnału, pozwalająca następnie rozwiązać zagadnienie odwrotne EEG (bądź MEG).

Jako cel pracy, sformułowany na końcu Wprowadzenia (Introduction), mgr Paweł Kordowski przyjmuje takie rozwinięcie metody poszukiwania dopasowującego aby otrzymać zupełną i niezależną metodę rozwiązywania problemu odwrotnego w badaniu mózgu za pomocą tak EEG jak i MEG. W rozprawie opracowano odmianę przestrzenno-czasową poszukiwania dopasowującego STMP (Spatio-Temporal Matching Pursuit).

Celem pracy jest również wykazanie, że nowa metoda jest przydatna, odporna na zakłócenia i szum oraz dostatecznie szybka w realizacji aby zostać użyta do analizy sygnałów MEG.

Rozdział 2 zawiera zarówno opis przestrzenno-czasowej metody wprowadzonej w rozprawie jak i wyników jej zastosowania. W metodzie zakłada się, że istnieją w mózgu ogniska czyli, że możliwe jest założenie istnienia Równoważnych Dipoli Prądowych (ECD) jako źródeł sygnału.

Istota i nowość metody polega na wprowadzeniu do procedury informacji na temat źródła pochodzenia sygnału poprzez wymuszenie kształtu funkcji wzorców w słowniku dopasowań. Słownik taki jest istotą każdej metody dopasowania poszukującego. Dotychczas jednak w jednej analizie wielokanałowego EEG stosowany był jeden słownik dla wszystkich elektrod. Tu natomiast zmodyfikowano kształt funkcji w słowniku w zależności od lokalizacji analizowanego kanału. Przy czym słownik przestrzenny metody otrzymuje się rozwiązując zagadnienie wprost na podstawie obrazu mózgu konkretnego pacjenta otrzymanego z osobnego badania rezonansem magnetycznym.

Natomiast słownik czasowy otrzymano wykorzystując modyfikację sygnału ćwierku Gabora w postaci tzw. ćwierkletek (chirplet). Sygnał taki trzymuje się z oryginalnego ćwierku Gabora przez dodatkową modulację amplitudy w oknach gaussowskich. Przyjęcie takiego typu sygnału pozwala na większą elastyczność kształtów funkcji słownika.

W efekcie powstaje słownik (a w zasadzie dwa – przestrzenny i czasowy), który jest za bogaty – zawiera więcej atomów niż potrzeba w danym rejonie lokalizacji czujników sygnału. Aby więc przyspieszyć obliczenia i uczynić je praktycznie wykonalnymi, zastosowano eliminację z obliczeń tych jego elementów, które dają niewielki wkład do iloczynu danego atomu z sygnałem. Wykorzystano tu fakt, że właściwie w każdej metodzie analizy widmowej wykonuje się iloczyn skalarny wektora sygnału z wektorem wzorca. Te wzorce, których iloczyn z sygnałem jest mały można pominąć. Zgrabne wykorzystanie nierówności Cauchiego–Schwarza pozwoliło na eliminację tych zbędnych składowych bez wykonywania obliczeń. Znacznie przyspieszyło to obliczenia czyniąc algorytm praktycznym narzędziem analizy.

Na koniec części teoretycznej 2.1 zarysowany został sposób na wydzielenie z sygnału uśrednionego po kolejnych pomiarach (próbach) sygnału z pojedynczej próby. Pozwoliłoby to analizować zmiany jakie zachodzą w reakcji mózgu przy kolejnych powtórzeniach prób. Algorytm pozwalający na to nie został jeszcze ukończony (chodzi o ograniczenie niezbędnej mocy obliczeniowej) ale propozycja jest opisana klarownie.

W Rozdziale 2.2 poświęconym wynikom, Autor porównuje wyniki lokalizacji i identyfikacji źródeł otrzymane dla symulowanych źródeł wprowadzoną w rozprawie metodą STMP z innymi metodami (poszukiwania dopasowującego o stałej fazie oraz o fazie zmiennej). Zaprezentowane wyniki wskazują, że metoda STMP jest dokładniejsza tak pod względem analizy kształtu jak i lokalizacji przestrzennej. Wyniki zostały zbadane pod względem wysokości oraz przesunięcia czasowego otrzymanych morfologii jak również pod względem energii reziduum otrzymanych porównywanymi metodami.

Następnie Doktorant wykazuje, że metoda jest w stanie rozpoznać dwie składowe czasowe o różnym kształcie ułożone w tym samym miejscu. Wynik ten uzyskano wykonując 100 przypadkowych symulacji przekrywających się przestrzennie źródeł o

różnych kształtach. Symulacje wykonano z pominięciem szumu a w jego obecności rozpoznawanie może dać gorsze wyniki. Autor jest tego świadom ale stara się określić matematyczne możliwości algorytmu STMP w najlepszych warunkach a więc bez szumu.

Podsumowując tą część rozprawy należy stwierdzić, że Doktorant stworzył nową metodę jednoczesnego wyznaczania zarówno postaci czasowej Równoważnych Źródeł Prądowych ECD jak i lokalizacji tych źródeł w przestrzeni. Zakłada się przy tym, że kształt zależności czasowej takiego źródła może być przybliżony zmodyfikowaną funkcją Gabora (ćwierkiet) oraz, że możliwe jest wyznaczenie zależności czasowo-przestrzennych w trybie iteracyjnym. W rozprawie wykazano pewną wyższość nowej metody nad dwoma wcześniejszymi metodami opartymi na poszukiwaniu dopasowującym. Ponadto Autor skutecznie zastosował metodę do rzeczywistych danych MEG z eksperymentu z polami wywołanymi bodźcem dźwiękowym.

Rozprawa doktorska powinna kończyć wskazaniem perspektyw przedstawionych wcześniej badań. I tak jest i w tym przypadku gdzie w Rozdziale 3, umieszczonym za podsumowaniem w Rozdziale 2.3 (Discussion), Doktorant przedstawił szkic nowej metody Contrast Matching Pursuit. Metoda ma posłużyć do rozpoznawania reakcji mózgu na zewnętrzny bodziec w sytuacji kiedy ten bodziec wywołuje odpowiedź w kilku ośrodkach mózgu jednocześnie i reakcja tych ośrodków nie jest dobrze rozseparowana. Algorytm jest w trakcie rozwoju i oparty jest na odmianie wieloczynnikowego poszukiwania dopasowującego (Multivariate Matching Pursuit). W Rozprawie został jedynie zarysowany. Przedstawiono kilka przykładów skuteczności tego algorytmu jednakże kryterium poprawności wyniku wymaga dalszych badań.

Najważniejszymi osiągnięciami rozprawy moim zdaniem są: a) Jednoczesne wyznaczanie morfologii i lokalizacji badanych równoważnych źródeł prądowych przy czym – w odróżnieniu od wcześniejszych metod – wyniki morfologii są zróżnicowane w zależności od obszaru mózgu, z którego pochodzą. Metoda nie nakłada ograniczeń na zawartość używanego słownika atomów więc w zależności od potrzeb można dobrać zawartość używanego słownika do indywidualnych potrzeb eksperymentu. b) Znaczne przyspieszenie działania nowej metody przez umiejętne wykorzystanie nierówności Cauchy'ego-Schwarza do uzyskania rzadkich zapisów sygnałów jednocześnie w dziedzinie czasu i w przestrzeni. c) Metoda STMP wydaje się odporna na szum pomiarowy rozumiany jako wynik różnorodności morfologii atomów otrzymywanych w pojedynczych powtórzeniach tego samego bodźca. Pozwala to zredukować konieczną liczbę powtórzeń.

Uwag krytycznych do Rozdziałów 1 i 2 nie mam. Wydaje się, że mgr Kordowski systematycznie i szczegółowo opisał poszczególne zagadnienia w nich zawarte. Cele pracy zostały osiągnięte. Natomiast Rozdział 3, szkicujący metodę Contrast Matching Pursuit, wydaje się zbyt skrótowy i niedopracowany. Chociaż sens ogólny tego co Doktorant chciał opisać jest widoczny to niektóre pojęcia są niewyjaśnione jak np. powierzchnia energii (energy surface). Nie tylko nie wyjaśniono jaki jest zamysł w tym pojęciu ale też nie wiadomo jak odczytywać te złożone wykresy.

Praca w większości jest opisana bardzo drobiazgowo i systematycznie z pewną dbałością o szczegóły. Brakuje mi pełniejszej informacji o warunkach pomiarowych. Domyślam się na podstawie treści Podziękowań umieszczonych przed tekstem Rozprawy, że dane zostały otrzymane z Non-Invasive Brain Imaging Special Lab w Leibniz Institute for Neurobiology w Magdeburgu. W tekście pracy podany jest tylko

numer modelu i producent magnetometru. Poza tym dane są potraktowane jako sygnał do przeanalizowania.

Każdy rozdział zawiera jedno-akapitowe wprowadzenie podsumowujące treść rozdziału i jego cel. To bardzo ułatwia czytanie. Natomiast język angielski zostawia trochę do życzenia. Oczywiście jak to w opracowaniach polskich autorów brakuje bardzo często rodzajników „a” oraz „the”. Niestety w niektórych miejscach w języku angielskim zdanie pozbawione rodzajników staje się niejednoznaczne. Szkoda, że Autor nie użył funkcji sprawdzania gramatyki w edytorze tekstu. Wykryłaby ona liczne niezgodności liczby mnogiej z zastosowanym rodzajnikiem liczby pojedynczej. Ponadto w niektórych miejscach, oprócz już wspomnianej powyżej powierzchni energii, pojawiają się terminy nie wyjaśnione wcześniej np. na stronie 9 u góry „In the multitrial approach, the multitrial input signal” - nie wiadomo w tym miejscu co oznacza multitrial signal. Ten termin można rozumieć wielorako. Oczywiście czytelnik dobrze zaznajomiony z badaniami mózgu zrozumie intuicyjnie. Bywają też błędy czysto językowe jak użycie słowa „origin” jako czasownika zamiast „originate” i wiele literówek, które można było wyeliminować przez automatyczne sprawdzenie pisowni.

Pewnym uchybieniem formalnym jest to, że w tekście na znalazłem informacji, że jest to rozprawa doktorska: ani na stronie tytułowej ani na okładce takiej informacji nie ma. Wręcz odwrotnie, na zewnętrznej stronie okładki widnieje napis „Praca Dyplomowa”. Moim zdaniem w tej formie rozprawa nie powinna zostać skierowana do biblioteki ani upubliczniona w sieci Internet. Szczególnie w tym drugim przypadku, upublicznienie Rozprawy bez słowa Thesis w tytule osłabia jej odbiór.

Podsumowując, praca spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o Stopniach i Tytule Naukowym (Dz. Ustaw nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami) rozprawom doktorskim z fizyki. Składałem więc wniosek o przyjęcie rozprawy i skierowanie jej do dalszych etapów postępowania.

