



Prof. dr hab. Daniel Krzysztof Wójcik

Warszawa, 30.08.2024

Pracownia Neuroinformatyki

Instytut Biologii Doświadczalnej

im. Marcelego Nenckiego PAN

02-093 Warszawa, ul. Pasteura 3

Recenzja rozprawy doktorskiej dr. Piotra Tadeusza Różańskiego pt.:

„Heterogeniczna implementacja matching pursuit z symulacją ciągłej przestrzeni parametrów”.

Dopasowanie kroczące (ang. *matching pursuit*, MP) jest jedną z metod analizy sygnałów niestacjonarnych oferującą ciekawy kompromis jednoczesnego opisu w domenie czasu i częstości, alternatywny do tradycyjnych funkcji quasi-prawdopodobieństwa, takich jak funkcja Wignera. Wykorzystywana w wielu dziedzinach, w Polsce metoda ta od lat jest propagowana przez prof. Piotra Durkę jako wygodny i naturalny sposób opisu sygnałów bioelektrycznych, zwłaszcza EEG. Celem rozprawy dr. Piotra Różańskiego było rozwinięcie oryginalnego algorytmu Mallata i Zhanga z 1993 roku poprzez opracowanie optymalnego słownika funkcji dla algorytmu MP i zbadanie jego własności oraz propozycja symulacji słownika ciągłego poprzez lokalną optymalizację parametrów wybieranych z optymalnego słownika dyskretnego. Kulminacją pracy jest wydajna implementacja algorytmu MP w wariacie rozwiniętym przez autora wykorzystująca wielowątkowość oraz procesory graficzne.

Recenzowana rozprawa została przedstawiona w postaci zbioru czterech opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, które powstały na przestrzeni ostatnich 12 lat, które za autorem numeruję A-D. Pierwszy artykuł (A) ma trzech autorów, przy czym ich wkłady zostały jasno zidentyfikowane, pozostałe artykuły są jednoautorskie. Jeden z nich, B, ukazał się w nieistniejącym już czasopiśmie wydawanym przez Politechnikę Łódzką, które chyba nie było indeksowane przez Scopus and przez Clarivate, przynajmniej ja nie znalazłem odpowiednich wpisów. Pozostałe dwa artykuły są w normalnych czasopismach, w tym ostatni, D, jest przyjęty do druku w ACM Transactions on Mathematical Software.

Przedstawiony zbiór artykułów został uzupełniony autoreferatem po polsku i po angielsku. Recenzuję rozprawę z polskim autoreferatem; wersja anglojęzyczna autoreferatu ma zmienioną organizację tekstu w stosunku do wersji polskiej ale treściowo jest jej równoważna. Polski autoreferat zawiera we wstępie omówienie genezy pracy, motywację autora, przedstawione zadania badawcze i plan rozprawy. Następnie autor przywołuje elementarne wiadomości z analizy szeregów czasowych, omawia historię rozwoju metody dopasowania kroczącego i aspekty analizy MP danych EEG. W ostatniej części autor opisuje swój wkład do rozwoju koncepcyjnego i implementacji metody MP podsumowując swoje wyniki uzyskane w przedstawionym zbiorze artykułów.

Główne wyniki uzyskane przez autora to po pierwsze konstrukcja optymalnego słownika dyskretnego. W artykule A autor proponuje metrykę w przestrzeni atomów Gabora, która pozwala mu ustalić stały poziom przekrycia atomów, co wykorzystuje do systematycznego rozrzedzenia słownika. Pewne problemy z normalizacją atomów o wysokich częstościach zostały przez autora poprawione w artykule B, który zawiera również szereg drobnych obserwacji usprawniających obliczenia reprezentacji MP, np. sprowadzenie części obliczeń do formy pozwalającej na wykorzystanie szybkiej transformaty Fouriera, czy wyznaczanie fazy oscylacji maksymalizującej iloczyn skalarny. W artykule C autor uogólnił swoją konstrukcję słownika optymalnego na szerszą klasę problemów gdzie atomy są zadane jako oscylacje modulowane przez obwiednie spełniające stosunkowo słabe warunki. Wyniki zostały zilustrowane kilkoma konkretnymi przykładami dla obwiedni prostokątnej, trójkątnej, gaussowskiej, wykładniczej, lorenzowskiej i innych. W artykule D autor skupił się na wyzwaniach numerycznej implementacji, w szczególności dopracowując wykorzystanie szybkiej transformaty Fouriera w obliczeniach iloczynów skalarnych atomów oraz poprawę normalizacji atomów z uwzględnieniem dyskretyzacji sygnału.

Po drugie, autor zauważył, że rozkład MP z dyskretnym słownikiem w każdym kroku wybiera lokalne maksimum, które nie musi być globalne. W artykule D autor pokazał, jak przez lokalne przeszukiwanie parametrów w całej przestrzeni w okolicy wybranych kandydatów z dyskretnego słownika można otrzymać bardzo dobrą reprezentację z ciągłej przestrzeni parametrów, zasadniczo zbliżając się do praktycznej implementacji nieskończonego słownika.

Po trzecie, usprawnienia teoretyczne i zaobserwowane własności numeryczne metody MP autor zaimplementował w bibliotece empi w postaci wielowątkowego kodu wykorzystującego wątki CPU jak i procesory graficzne, co pozwoliło na znaczące przyspieszenie obliczeń przy utrzymaniu wysokiej dokładności reprezentacji MP.

Silną stroną przedstawionej rozprawy jest przejście od matematyki, przez propozycję algorytmu do wydajnej implementacji. Autor uzyskał konkretne wyniki matematyczne, które przełożyły się na konkretne konstrukcje przestrzeni, na których autor rozpina swoje dopasowanie, wykorzystuje to w opracowanym algorytmie i w wydajnej implementacji. Rozprawę oceniam jednoznacznie pozytywnie.

Zgodnie z obowiązującą Ustawą recenzent jest zobowiązany stwierdzić, czy recenzowana rozprawa spełnia dwa warunki:

- „1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.
2. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego albo oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej.”

Uważam, że przedstawiony kontekst dziedzinowy zarówno w artykułach A-D jak i w załączonym autoreferacie chociaż bardzo skromny jest wystarczający a odwołania do literatury są umieszczone właściwie. Fakt opublikowania otrzymanych wyników w czterech artykułach, w tym trzech samodzielnych, w tym co

najmniej dwóch w przyzwoitych czasopismach, jednoznacznie wypełnia pierwszy warunek ustawy. Wyniki rozprawy stanowią twórcze i oryginalne, teoretyczne i praktyczne, rozwiązanie problemów konstrukcji optymalnego słownika dyskretnego w analizie MP, symulacji słownika ciągłego, oraz wydajnej implementacji dopasowania kroczącego, co jednoznacznie wypełnia drugi warunek.

Rozprawę oceniam wysoko, uwag mam niewiele, co na pewno wiąże się z tym, że opublikowane prace musiały się zmierzyć wcześniej z oceną recenzentów w czasopismach. Ze względu na formę rozprawy w postaci zszywki w pracy jest wiele powtórzeń, zwłaszcza we wstępach do kolejnych prac oraz w autoreferacie, a jednocześnie wyniki porozbijane na kolejne prace są trudniejsze w percepcji. Integracja czterech publikacji z autoreferatem w jednolitej rozprawie ułatwiłaby czytelnikowi zrozumienie, chociaż oczywiście ostatni artykuł w dużej mierze jest podsumowaniem najważniejszych wyników autora i w zasadzie wystarczy w tym względzie. Natomiast czytało mi się te prace trudniej niż oryginalną pracę Mallata i Zhanga, może to było nieuniknione, w końcu budowały na wcześniejszych wynikach. W niektórych miejscach miałem poczucie pewnej nonszalancji, chociaż może to tylko moje słabsze obycie z tematyką dawało znać o sobie. Tym niemniej chciałbym, żeby autor na obronie zaspokoił moją ciekawość i pokazał w jaki sposób realizuje poniższe przekształcenie z pracy C, cytuję: „Substituting (1) and (2) into (7) and using a high-frequency approximation [13] gives ... eq. (11)”. W pracy [13], czyli A, nie znalazłem przybliżenia wysoko-częstotliwościowego. Jest ono w pracy B, ale nie widzę, jak miałoby tutaj wejść.

W rozprawie zabrakło mi szerszego kontekstu, w szczególności porównania metody MP z innymi metodami analizy sygnałów niestacjonarnych. Autor wie dużo o metodzie MP i jej wariantach, ale prawie nic nie napisał o innych metodach analizy sygnałów niestacjonarnych. Metoda MP ma wiele zalet i rzeczywiście np. w analizie EEG, gdzie wiadomo, że wiele stanów aktywności mózgu jest sygnalizowanych lokalnie stabilnymi oscylacjami w dość dobrze zdefiniowanych pasmach, jest bardzo przydatna. Ale nawet w EEG sygnały często mają inną formę, która nie jest opisywana przez MP w naturalny sposób, np. w napadach padaczki często widzimy ćwierknięcia (chirpy), które oczywiście można reprezentować w MP ale nie jest to reprezentacja naturalna. Są inne metody, w których takie charakterystyczne cechy sygnału czasem można lepiej wydobyć np. rozkład na składowe niezależne (ICA), czy wielozmienny rozkład na mody empiryczne (EMD), itd.

Inne uwagi:

- W artykule A autorzy piszą
[] it is worth noting that the above proposed procedure is essentially free from any method-dependent settings, like the choice of the mother wavelet in wavelet transform, window width in spectrogram, or smoothing kernel in Wigner-Ville derived representations. To oczywiście nie jest prawda, bo choćby wybór obwiedni jest arbitralny, a w istocie całe atomy można wybierać równie dowolnie jak *mother wavelet* w klasycznej analizie falkowej, zresztą autor jest tego świadomy, przecież w artykule C rozważa różne obwiednie.
- W autoreferacie na s. 10 nie jest jasne, czy wynik (3.2) jest wynikiem autora czy wynikiem z pracy magisterskiej pana Marka Barwińskiego.

- Nie wiem co autor ma na myśli pisząc o „heterogenicznej” implementacji. Czy chodzi o to, że wykorzystuje CPU i GPU?
- Nie wiem, czemu ma służyć odmienna organizacja autoreferatu po polsku i po angielsku.
- problem z cytowaniem na 1 stronie (Mallat i Z. Zhang 1993) → (Mallat i Zhang 1993).
- artykuł A, Page 7 of 28: „Similar operation can be performed for sleep spindles; application a filter” → „Similar operation can be performed for sleep spindles; application **of** a filter”.
- Page 20 of 28: „have been be applied” → „have been applied”.
- Page 22 of 28: „allows for uses the next numerical optimization” → ???
- Niezręczne oznaczenia w artykule B w podpisie rysunków: $s = 1s$.

Pomimo przedstawionych powyżej drobnych uwag krytycznych moja ogólna ocena pracy dr. Piotra Tadeusza Różańskiego jest zdecydowanie pozytywna. Autor wykazał się znajomością analizy numerycznej i analizy szeregów czasowych. Praca stanowi istotny przyczynek do rozwoju metody dopasowania kroczącego, a ponieważ towarzyszy jej konkretna wydajna implementacja opisana w znaczącym czasopiśmie dotyczącym oprogramowania matematycznego, ma szansę na znaczący oddźwięk w środowisku. **Uważam, że rozprawa doktorska Pana dr. Piotra Tadeusza Różańskiego spełnia zwyczajowe i formalne warunki stawiane rozprawom doktorskim i dlatego w oparciu o przepisy Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce wnoszę do Wysokiej Rady Naukowej Dyscypliny Matematyka i Informatyka Uniwersytetu Warszawskiego o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**



Prof. dr hab. Daniel K. Wójcik