



Zakład Chemii Fizycznej Układów  
Biologicznych

Kasprzaka 44/52, PL-01 224 Warsaw, Poland

**Prof. dr hab. Maciej Wojtkowski**  
Physical Optics and Biophotonics Group  
Email: mwojtkowski@ichf.edu.pl

Tel. +(48 22) 343 3283  
+(48 22) 343 20 00  
Fax +(48 22) 343 33 33  
+(48 22) 632 52 76  
E-mail: ichf@ichf.edu.pl

1 września 2023

## Opinia o pracy doktorskiej pani magister inżynier Marii Cywińskiej

Opiniowana praca doktorska pani magister inżynier Marii Cywińskiej zatytułowana „Rozwój algorytmów przetwarzania danych z zastosowaniem technik wariacyjnych i głębokiego uczenia na potrzeby interferencyjnych, połowych metod pomiaru.” została wykonana pod promotorską opieką panów profesorów Krzysztofa Patorskiego oraz Macieja Trusiaka w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Na rozprawę doktorską składa się jedenaście spójnych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w pismach recenzowanych o tytułach dobrze rozpoznawalnych globalnie przez ekspertów w dziedzinie, oraz sześć artykułów opublikowanych w zeszytach konferencyjnych Proceedings SPIE, które mają status pełnoprawnych publikacji z częściowym recenzowaniem artykułów naukowych. W jedenastu artykułach pani Cywińska jest pierwszym autorem, natomiast w pozostałych trzech wykazała ona swój udział procentowy i zasadniczy wkład merytoryczny. Wszystkie prace będące przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej wyróżnia dobra jakość, znaczący stopień wpływu na środowisko zajmujące się obrazowaniem interferometrycznym i holograficznym oraz znaczący stopień nowości proponowanych rozwiązań. Prace oryginalne opatrzone są „przewodnikiem” w języku polskim oraz dwujęzycznym streszczeniem. Przedstawione publikacje powstały w okresie ostatnich sześciu lat. W odrębnych tabelach przedstawiono szczegółowo wkład autorki do wieloautorskich publikacji poprzez określenie procentowe udziału w opisanych w nich pracach badawczych.

Rozprawa doktorska Pani magister inżynier Marii Cywińskiej ma charakter obliczeniowy z elementami eksperymentalnymi i z głównym skupieniem uwagi na algorytmice analizy danych dla metod mikroskopii interferencyjnej. Poruszane zagadnienia badawcze obejmują zakres zastosowań optyki współczesnej, optyki fizycznej, inżynierii optycznej, informatyki stosowanej i ich zastosowań w wielu gałęziach techniki, medycyny i biologii. W swoich działaniach pani Maria umiejętnie łączy aspekt rozszerzenia wiedzy z dziedziny optyki fizycznej z rozwojem algorytmiki. Platformami pomiarowymi są tutaj: obrazowanie interferometryczne i holograficzne, metody z wykorzystaniem projekcji prążków oraz techniki Mory. Autorka tak w przewodniku jak i w załączanych prezentacjach wskazuje aktualny stan wiedzy na bazie literatury światowej. Analizę źródeł przedstawioną w przewodniku i publikacjach dokonano baz zarzutu.

Tematyka pracy podjęta przez panią Cywińską ma ogromne znaczenie dla wielu grup naukowych i przedsiębiorstw produkujących urządzenia do pomiarów prążkowych i interferometrycznych. Obecny rozwój technologiczny – szczególnie postęp metod obliczeniowych, pozwala na dalszy rozwój i wykorzystanie tych metod do nowych zastosowań w medycynie czy metrologii. W „przewodniku” dołączonym do zbioru publikacji autorka przedstawiła szczegółowo zadania badawcze jakimi się zajmowała. W dziedzinie reprezentowanej przez panią Cywińską jest niezmiernie istotne, aby publikacje miały zawartość wystarczająco obszerną dla osiągnięcia wysokiego poziomu nowości i

znaczenia dla środowiska zajmującego się metodami interferometrycznymi i technikami prążkowymi. To implikuje konieczność zawarcia w publikacji opisu prac badawczych wielu osób, które są realizowane równolegle przez współpracowników. W tym przypadku recenzent nie miał problemu z identyfikacją tej części zadań, za które odpowiedzialna była autorka pracy doktorskiej. Nie ma tutaj też wątpliwości, że obejmują one zamkniętą tematycznie całość i mogą być z łatwością wyodrębnione ze wszystkich prac przedstawianych w załączonych publikacjach. Autorka przedstawiła w sposób jasny motywację podjętych badań.

Techniki interferometryczne i prążkowe rozszerzają możliwości klasycznych metod obrazowych o informację fazową, która pozwala na zwiększenie czułości obrazowania czy kwantyfikację parametrów uzyskiwanych obrazów. Metody te uniwersalnie wykorzystują bardzo podobne sposoby analizy sygnału. We wszystkich krytyczne jest uzyskanie wysokiego kontrastu prążków niezbędnego do przeprowadzenia dekodowania niesionej przez nie informacji, często w oparciu o zespoloną reprezentację prążków. Uzyskanie reprezentacji zespolonej cyfrowego sygnału prążkowego wymaga zastosowania transformacji Hilberta, która jest operacją stosunkowo prostą, ale wymagającą bardzo dobrze zdefiniowanego wzorca prążków o znanej orientacji i w miarę jednorodnej funkcji kontrastu. W tym celu potrzeba przeprowadzić wstępną analizę interferogramów, aby usunąć tło i odszumić sygnał prążków. Ze względu na dużą zmienność sygnałów prążkowych uzyskiwanych metodami prążkowymi czy interferometrycznymi rekonstrukcja zespolonej reprezentacji sygnałów jest zadaniem nietrywialnym i podatnym na błędy systematyczne. Dlatego wprowadzenie zaawansowanych technik dekompozycji obrazów prążkowych, holograficznych czy interferometrycznych jest krytyczne dla skuteczności działania tych metod. Temu właśnie zagadnieniu poświęcona jest praca magister inżynier Marii Cywińskiej.

Jako metodę dekompozycji pani Cywińska zaproponowała wariacyjną dekompozycję obrazu znaną z literatury w kontekście odszumiania obrazów oraz w ostatnich latach zastosowaną również do filtracji obrazów prążkowych. Autorskim osiągnięciem kandydatki było połączenie tej metody z zastosowaniem spiralnej transformacji Hilberta dla obrazów prążkowych (VHQPI). Połączenie to i modyfikacja metody zostały opisane w pracach P1, P3, P4, P6 oraz K1-K4 wchodzących w skład niniejszej rozprawy. W publikacjach tych przedstawiono ideę algorytmu i pokazano szereg zastosowań, w których wykonano analizy porównawcze działania metody z innymi technikami znanymi z literatury. Na szczególną uwagę zasługują przykłady zastosowań działania metody do pomiarów próbek biologicznych, które z reguły dają zaszumione i skomplikowane wzorce interferometryczne. Również ważne jest wskazanie na różnorodność aplikacji, w których metoda zaproponowana przez panią Cywińską znajduje zastosowanie i pozwala uzyskać satysfakcjonujące wyniki ilościowe. W kolejnych działaniach naukowych pani Cywińska zaproponowała alternatywne podejście do różnicowania skorelowanych sygnałów i niskokorelowanych szumów mających minimalizować wpływ szumu w procedurze VHQPI. W tym przypadku zastosowała algorytm odszumiający BM3D z wykorzystaniem transformacji falkowej. Pozwoliło to na zmniejszenie liczby parametrów wejściowych w procesie analizy sygnałów i ustalenie stałego parametru działającego dla wielu przypadków analiz oraz minimalizacji błędów i korekcji aberracji wynikowej mapy fazowej – praca P2. W kolejnej pracy P5 pokazano analizę sygnałów Bessela powstających w wyniku modulacji fazy sygnałem harmonicznym pochodzącym od drgań mikroobektów. Wykorzystano tutaj również wprowadzoną wcześniej wariacyjną i empiryczną dekompozycję obrazu wspomaganą transformacją Hilberta.

Kolejną grupą działań pani Cywińskiej było zastosowanie metod uczenia maszynowego – w szczególności konwolucyjnych sieci neuronowych do usprawniania procesu estymacji funkcji fazowej poprzez trafniejszy dobór parametrów wejściowych w używanych algorytmach. W szczególności w ten sposób autorka osiągnęła przyspieszenie działania algorytmu VHQPI, co pokazano w pracach P9 oraz K6. Na szczególną uwagę zasługują prace P7, P8 i K5 pani Cywińskiej, w której wprowadza ona metodę uczenia maszynowego do wyznaczania map orientacji prążków (DeepOrientation) oraz lokalnej mapy gęstości prążków (Deep Density). Obie te operacje są trudne do wykonania w formie analitycznej ze względu na komplikację sygnałów interferometrycznych w realnych pomiarach oraz ze względu na możliwe zmiany konfiguracji pomiarowej wprowadzane przez sam badany obiekt (np. w przypadku próbek biologicznych). Z drugiej strony nasz wzrok i mózg z dużą łatwością interpretują orientację prążków i ich gęstość. Wskazuje to na możliwość zastosowania uczenia maszynowego w tym celu. Skuteczne działanie metod DeepOrientation oraz DeepDensity dla złożonych wzorców zostało potwierdzone przez autorkę w prezentowanych publikacjach. Ostatnią częścią pracy są dwie publikacje P10, P11 poświęcone pracom obliczeniowym nad projektem nowych struktur dyfrakcyjnych wykorzystywanych w celu usprawnienia interferometru siatkowego.

Przyjęta przez autorkę metodyka badań nie budzi zastrzeżeń we wszystkich przedstawionych pracach. Jakość publikacji jest na bardzo wysokim poziomie, porównywalna do prac publikowanych przez grupy badawcze z najlepszych ośrodków badawczych, które są aktywne w tej dziedzinie. Zaproponowana tematyka i sposób rozwiązania problemów celuje w samo sedno rozwoju metod obliczeniowych w obrazowaniu interferometrycznym i prążkowym.

W przedstawionych pracach zaproponowano szereg oryginalnych rozwiązań adaptacyjnych metod analizy danych pomiarowych i algorytmów rekonstrukcyjnych, z których na szczególną uwagę zasługują techniki uczenia maszynowego zastosowane do identyfikacji orientacji i gęstości prążków interferometrycznych w reprezentacji zespolonej, które są odzyskiwane z odszumionych danych pomiarowych z wykorzystaniem wariacyjnej dekompozycji wraz z 2-D transformatą Hilberta. Wynikiem tych prac są nowe metody analizy sygnałów, które z pewnością znajdą zastosowanie tak w aranżacjach eksperymentalnych jak i w urządzeniach komercyjnych. Zaprezentowane publikacje napisane są przejrzysto, językiem angielskim na bardzo dobrym poziomie. Prace te czyta się bez trudności. Nie mam zastrzeżeń do strony edytorskiej i zawartości merytorycznej wszystkich publikacji. Autorka wykazała umiejętności przedstawiania celu pracy i uzyskanych wyników. Przewodnik jest również napisany czytelnie i syntetycznie.

Pewnym mankamentem prezentowanej rozprawy jest mocno narzędziowy charakter przewodnika i skupienie się głównie na technicznych aspektach pracy. Opracowywanie nowych metod jest ważnym zagadnieniem w procesie naukowym, ale pod warunkiem, że rozwiązują one konkretne ograniczenia fizyczne lub techniczne. W tym przypadku zabrakło jasnej identyfikacji istniejących ograniczeń i wskazania, że nowe metody pozwalają przesunąć granice możliwości pomiarowych. Pomocne byłoby, gdyby podczas obrony doktorskiej kandydatka wskazała konkretne przypadki, w których - na przykład metody uczenia maszynowego - umożliwiły stworzenie rekonstrukcji, gdy inne metody całkowicie zawiodły. Pozwoliłoby to również na jasne zdefiniowanie pytania badawczego, którym zajmowała się Pani Cywińska w swoich projektach. Jednak ten deficyt przewodnika nie wpływa na całość pracy pani Marii Cywińskiej, który oceniam jako ponadprzeciętny a samą rozprawę jako wybitnie dobrą i zasługującą na wyróżnienie.

Szczegółowe i mniej istotne komentarze dotyczące przewodnika:

Str 19 „...ujemne częstotliwości w widmie” – jest to żargonowe sformułowanie i lepiej byłoby ująć to jako „obszar sprzężonych częstotliwości w widmie fourierowskim lub sprzężona część widma”

Str 37 „kantilewer” jest kalką z języka angielskiego i często w terminologii polskojęzycznej jest tłumaczony jako belka lub beleczka

Str 47 „uciąganie fazy” – również żargon, jest to procedura kompensująca nieciągłość fazy sygnału

**Podsumowując stwierdzam, że praca doktorska Pani mgr inż. Marii Cywińskiej w pełni spełnia warunki stawiane pracom doktorskim przez ustawę o tytule naukowym i stopniach naukowych i stawiam wnioski o dopuszczenie jej do publicznej obrony oraz wyróżnienie pracy za wprowadzenie nowych, uniwersalnych metod nadzorowanej wariacyjnej dekompozycji i metod uczenia maszynowego do rekonstrukcji zespolonej reprezentacji sygnałów prążkowych.**

Z poważaniem,

