



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI,
TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI



Gdańsk, dn. 22 sierpnia 2024 r.

prof. dr hab. inż. Małgorzata Szczerska
Katedra Metrologii i Optoelektroniki
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Mikołaja Rogalskiego

pt. „*Opto-numeryczny rozwój technik ilościowej mikroskopii fazowej*”

Promotor:

dr hab. inż. Maciej Trusiak, prof. uczelni

Promotor pomocniczy:

dr hab. inż. Michał Józwik, prof. uczelni

Recenzję rozprawy doktorskiej sporządzono w związku z Uchwałą nr 781/II/2024 r. na podstawie Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej z dnia 25 czerwca 2024 r. wyznaczająca mnie na recenzenta wyżej wymienionej rozprawy.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska składa się ze zbioru 11 prac (artykułów opublikowanych w czasopismach notowanych na liście JCR oraz 2 recenzowanych materiałów konferencyjnych) wraz z wstępem, przewodnikiem po publikacjach oraz bibliografią.

1. Zagadnienie naukowe

Zagadnienia naukowe podjęte przez Doktoranta związane są z wyzwaniami naukowymi w zakresie technik ilościowego obrazowania fazy. Doktorat poświęcony jest identyfikacji i rozwiązywaniu ograniczeń metodologicznych, które uniemożliwiają pełne wykorzystanie potencjału technik ilościowego obrazowania fazy w badaniach naukowych. Doktorant podjął się prac w celu rozwiązania problemów, które jego zdaniem w zdecydowany sposób powodują ograniczenie możliwości wykorzystania tych technik przez szersze grono odbiorców.

Do problemów tych zaliczono do nich:

- złożoność algorytmów rekonstrukcyjnych utrudniających korzystanie z mikroskopii ptychograficzno-furierowskiej;
- przetwarzanie wstępne interferogramów do wyznaczania fazy metodą Hilberta w mikroskopii interferencyjnej;
- obniżenie stosunku sygnału do szumu wynikającego z efektu obrazu sprzężonego w poosiowej mikroskopii holograficznej;
- śledzenie obiektów 4d w poosiowej mikroskopii holograficznej;
- niepożądaną stymulację komórek przez wiązkę laserową w poosiowej mikroskopii holograficznej.

Celem pracy było więc opracowanie nowych algorytmów i narzędzi, które pozwolą na bardziej precyzyjne i efektywne ilościowe obrazowanie fazy, otwierając tym samym nowe możliwości badawcze, w szczególności w badaniach interdyscyplinarnych dla przykładu w obrazowanie obiektów biologicznych.

Cele pracy nie zostały moim zdaniem *explicite* przedstawione w rozprawie, są jednak przedstawione zagadnienia badawcze i rozwiązania, które potraktowano jako cele badawcze. Tak określone cele pracy są poprawnie sformułowane i dotyczą istotnego oraz aktualnego problemu naukowego. Autor rozprawy przedstawił wyniki szeregu badań, które potwierdzają, że zaplanowane cele zostały przez niego osiągnięte. Wyniki te uzyskał przy użyciu zaprojektowanych przez siebie układów pomiarowych lub modyfikacji istniejących systemów, a przede wszystkim poprzez opracowanie szeregu autorskich rozwiązań programistycznych. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że zaproponowane

metody zastosowane w technikach ilościowego obrazowania fazy mogą w znaczący sposób wpłynąć na poprawę parametrów obrazowania.

2. Analiza aktualnego stanu wiedzy

Autor pracy zaprezentował imponującą znajomość literatury przedmiotu, opartą na analizie 150 pozycji, głównie anglojęzycznych artykułów naukowych. Szczególnie warto podkreślić sięgnięcie po mniej oczywiste źródła, takie jak artykuł F. Zernike z 1935 roku. Dzięki kompleksowej analizie literatury opartej na poprawnie wybranych pozycjach, w zdecydowanej większości złożonej z najnowszych publikacji w przedmiocie, Autorowi udało się zidentyfikować wyzwania ograniczające rozwój technik ilościowego obrazowania fazy oraz sformułować oryginalne cele badawcze. Przedstawione pozycje są poprawnie zacytowane w tekście i posiadają poprawny opis bibliograficzny umożliwiający ich wyszukanie, co znacznie podnosi wartość naukową pracy.

3. Oryginalność rozprawy

Oryginalność przedstawionej do oceny rozprawy wynika przede wszystkim z nowego podejścia do realizacji układów ilościowego obrazowania fazy oraz analizy danych otrzymanych z wykorzystaniem takich układów.

Oryginalność rozprawy znajdują przede wszystkim w opracowaniu nowych narzędzi i metod, które znacząco poszerzają możliwości ilościowego obrazowania fazy. Autorskie rozwiązania przedstawione w pracy prowadzą do istotnej poprawy parametrów obrazowania, co może znaleźć zastosowanie w wielu dziedzinach.

W przypadku mikroskopii ptychograficzno-fourierowskiej Autor zaproponował nową metodę korygowania błędów oświetlenia, charakteryzującą się podobnymi własnościami korekcji tego błędu jak znany dotychczas używany algorytm Simulated Annealing, za to w znaczący sposób skracając czas działania potrzebny do korekcji. Równocześnie zaproponowane przez niego rozwiązanie polegające na rekonstrukcji z wykorzystaniem karty graficznej zamiast procesora pozwoliło na 5-krotne skrócenie czasu rekonstrukcji. Rozwiązanie ma bardzo duże znaczenie gdyż pozwala na znaczące skrócenie czasu uzyskania obrazu, co może mieć krytyczne znaczenie w trakcie badania dynamiki zmian w badanych obiektach.

W mikroskopii interferencyjnej zaproponował w pełni automatyczny oraz lokalnie adaptacyjny algorytm służących do filtracji obrazu w celu uzyskania prążków o określonym okresie, co pozwoliło

na odwzorowanie fazy badanego obiektu nawet w przypadku interferogramów o niskim stosunku sygnału do szumu. Rozwiązanie to ma szczególnie duże znaczenie w optoelektronicznych układach do obrazowania, w których do poprawnej rekonstrukcji obrazu są wymagane bardzo wysokie wartości stosunku sygnału do szumu. Zawsze wiąże się to jednak z dużymi kosztami oraz rozbudową układu, w związku z czym numeryczne rozwiązanie tego problemu, nawet ograniczonego do wybranego zakresu częstotliwości, wydaje się być bardzo interesujące ze względu na łatwość implementacji w istniejących już systemach i potencjalnie duży wzrost efektywności uzyskiwanych obrazów.

Oryginalnym, ciekawym rozwiązaniem, które może zostać łatwo zaimplementowane w innych zespołach badawczych, jest propozycja zaimplementowania sieci neuronowej do wyznaczania mapy orientacji prążków interferencyjnych. Biorąc pod uwagę dotychczas stosowane metody, których efektywność w dużej mierze zależała od ustalonych wartości wejściowych, jest to znacząca zmiana w kierunku opracowania metody pozwalającej na dokładną rekonstrukcję mapy kierunku prążków. Oryginalność przedstawionej pracy polega na zastosowaniu nowatorskiego podejścia do redukcji wpływu obrazu sprzężonego w mikroskopii holograficznej. Autor zaproponował wykorzystanie iteracyjnej minimalizacji obrazu sprzężonego na podstawie kilku hologramów, co pozwala na znaczące zwiększenie stosunku sygnału do szumu. Ponadto, zastosowanie sieci neuronowych do minimalizacji obrazu sprzężonego z pojedynczego hologramu wydaje się być rozwiązaniem niebanalnym i mogącym znaleźć szerokie możliwości wykorzystania w obrazowaniu różnych obiektów. Szczególne zainteresowanie wzbudza wykorzystanie autorskiego algorytmów automatycznego znajdowania ostrości w ciemnym polu w celu śledzenia obiektów 4D, co zostało przetestowane do efektywnego śledzenia komórek biologicznych. Również bardzo ciekawe, oryginalne i dające duże możliwości zastosowania w przyszłości jest rozwiązanie, w którym Autor podjął się prac w celu obniżonym budżecie fotonów, co może mieć szczególne znaczenie w rozszerzeniu zakresu optycznych badań nieniszczących.

Należy podkreślić, że przedstawione do oceny rozwiązania są niebanalne i dają duże możliwości kolejnym grupom badawczym zajmującym się optycznym obrazowaniem obiektów technicznych i biologicznych.

W mojej ocenie praca wykonana przez Doktoranta, pod kierunkiem Promotorów oraz Opiekuna Pomocniczego, ma znaczącą wartość naukową i prawdopodobnie jej wyniki zostaną wkrótce zaadaptowana przez inne ośrodki badawcze. Tym samym, cel postawiony przez Doktoranta na wstępie rozprawy, jakim jest „umożliwienie wykorzystania techniki FPM szerszemu gronu odbiorców”, zostanie osiągnięty. Autor pracy podjął próbę usunięcia części barier technicznych, które utrudniają dostęp do technik ilościowego obrazowania fazy dla szerszego grona badaczy, w tym również dla tych, którzy nie posiadają specjalistycznej wiedzy z zakresu przetwarzania obrazu. O istotności prowadzonych badań świadczy również liczba cytowań artykułów prezentujących wyniki tej pracy – na przykład artykuł P9, opublikowany w bieżącym roku, został już cytowany 9 razy w bazie Google Scholar.

4. Sposób przedstawienia wyników

Rozprawa została przygotowana z wyjątkową starannością, zarówno pod względem językowym, jak i edytorskim, co znajduje odzwierciedlenie w czytelnych oraz starannie zaprojektowanych rysunkach zamieszczonych w tekście. W pracy oraz w dołączonych artykułach zawarto liczne ilustracje, schematy blokowe układów oraz metody pomiarowe, a także wykresy prezentujące wyniki badań. Wszystkie rysunki, obejmujące schematy układów pomiarowych, zasady działania metod pomiarowych oraz reprezentacje wyników pomiarów, cechują się wysoką czytelnością i precyzyjnym opisem.

Pewnym niedociągnięciem pracy był brak tabeli ze skrótami, co mogłoby znacząco ułatwić interpretację wyników i zwiększyć przejrzystość analizy.

Autor nie ustrzegł się również przed stosowaniem ogólnikowych stwierdzeń, takich jak „algorytm wykazuje się lepszymi parametrami ... pozwalającymi na dokładniejsze odwzorowanie” (str. 45); „... dla prążków o niewielkim okresie oraz nieznacznym stopniu zaszumienia...” (str.47), bez podania konkretnych wartości wspomnianych parametrów. Ponadto, w tekście pojawiają się zwroty o charakterze kolokwialnym, na przykład „co ciekawe...” (str. 45), które nie przystają do formalnego stylu naukowego.

5. Uwagi krytyczne dotyczące rozprawy

Biorąc pod uwagę jakość rozprawy, oraz przejrzystość prezentacji wyników, które były wyjaśnione albo w rozprawie albo w artykułach, nasuwają mi się poniższe uwagi. Należy jednak podkreślić, że nie

są to uwagi krytyczne, wymagające wprowadzenia zmian w przedstawionej rozprawie, lecz raczej wynikają z potrzeby głębszego zrozumienia intencji Autora:

1. W rozdziale 1.3.2 (str. 31) Autor stwierdza, że „Źródła takie pozwalają m.in. na minimalizację szumu koherentnego oraz eliminację prążków pasożytniczych.” Proszę o rozwinięcie tej tezy i wyjaśnienie, na jakiej podstawie Autor doszedł do takich wniosków.
2. W rozdziale 2.4 (str. 42) Autor wspomina o opracowaniu autorskiej metody korekcji błędów oświetlenia, jednakże nie opisuje jej w rozprawie. Proszę o szczegółowe omówienie tej metody.
3. W pracy brakuje porównania parametrów opracowanych przez Autora metod z innymi, już opisanymi w literaturze. Tego rodzaju tabela umożliwiłaby jednoznaczną ocenę uzyskanych wyników. Proszę o przedstawienie takiej tabeli w odpowiedzi dla recenzenta.
4. Proszę o komentarz dotyczący doboru elementów układu optycznego do obrazowania o obniżonym budżecie fotonów. Dlaczego Autor zdecydował o użyciu lasera o środkowej długości fali 405 nm.

6. Wnioski końcowe

Pan mgr inż. Mikołaj Rogalski osiągnął zakładany cel rozprawy, czyli wprowadził swój własny wkład w „Opto-numeryczny rozwój technik ilościowej mikroskopii fazowej”. W związku z czym można stwierdzić, że **recenzowana praca stanowi opis oryginalnego rozwiązania problemu naukowego wykonanego przez Autora rozprawy, wykazuje jego ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia prac naukowych. Stwierdzam, że recenzowana rozprawa mgr inż. Mikołaja Rogalskiego spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym”.**

Mając na uwadze osiągnięte przez Doktoranta wyniki oraz obowiązujące przepisy prawa wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej w Warszawie, o dopuszczenie Pana **mgr inż. Mikołaja Rogalskiego** do dalszych etapów przewodu doktorskiego. W mojej ocenie recenzowaną pracę należy zaliczyć do kategorii: wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.

Składam równocześnie wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana **mgr inż. Mikołaja Rogalskiego**, zważywszy na wyjątkową oryginalność zastosowanych metod badawczych oraz istotną

wartość naukową uzyskanych wyników. Wyniki te zostały potwierdzone poprzez ich publikację w uznanych czasopismach naukowych oraz wysoką liczbę cytowań tych prac. Warto zaznaczyć, że doktorant zadeklarował znaczący wkład autorski w przedstawione prace, wynoszący od 25% do 80%. Ponadto, należy podkreślić wysoką jakość przeprowadzonych badań oraz staranność w ich prezentacji, zarówno w opublikowanych artykułach, jak i w przygotowanej rozprawie doktorskiej.

Chciałabym podkreślić niezwykle szeroki zakres i złożoność badań podjętych przez Doktoranta. Mimo że prace koncentrowały się na technikach obrazowania, to doktorant zastosował trzy zupełnie odmienne metody, każda charakteryzująca się unikalną konfiguracją układu optycznego oraz wymagająca odmiennych podejść do analizy danych. Taka różnorodność metodologiczna stanowiła istotne utrudnienie, jednocześnie wzbogacając wartość naukową przeprowadzonych badań.

M. Szczerska.....

prof. dr hab. inż. Małgorzata Szczerska