prof. dr hab. Jan Masajada
Katedra Optyki i Fotoniki
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław 14.08.2024

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej
mgr inż. Mikołaja Rogalskiego

Opto-numeryczny rozwój technik ilościowej mikroskopii fazowej

Rozprawa doktorska pana mgr. inż. Mikołaja Rogalskiego poświęcona jest rozwojowi technik ilościowego obrazowania fazy na potrzeby mikroskopii ptychograficzno-fourierowskiej, mikroskopii interferencyjnej, oraz poosiowej mikroskopii holograficznej.

Rozprawa bazuje na dziewięciu publikacjach w czasopismach z listy JCR i dwóch komunikatach konferencyjnych. Tabela 5 zawiera spis czterech aplikacji, opracowanych przez autora w środowisku Matlab i udostępnionych na platformie Github. Czasopisma, w których publikował doktorant należą do najlepszych z zakresu optyki. W pięciu z nich doktorant jest pierwszym autorem. Tabela 3 zawiera oszacowanie wkładu autora do każdej z wymienionych publikacji. W trzech przypadkach wkład ten został określony powyżej 60% (P1, P5, P8; maksymalnie 75% dla publikacji P8), w czterech przypadkach w granicach 35% - 55% (P2, P3, P4, P7), dwie mają wkład określony na poziomie 25% (P6, P9). Wkład doktoranta koncentrował się na pracach programistycznych, w tym opracowanie i implementacji algorytmów, przeprowadzenie testów na danych syntetycznych i eksperymentalnych oraz na pracy nad manuskryptem. W publikacjach o wyższym stopniu udziału doktoranta dochodzi opracowanie metodyki dla podjętych zadań. Liczba i jakość zaprezentowanych w ramach rozprawy artykułów przekracza zwyczajową przyjętą normę dla dobrych rozpraw doktorskich, to jest trzech czterech prac opublikowanych w dobrych czasopismach.

Środek ciężkości prac doktoranta spoczywał na szeroko pojętej pracy programisty, mającej na celu usprawnienie działania wybranych przyrządów

pomiarowych. W obecnych czasach rozwój systemów pomiarowych wiąże się z koniecznością złożonej obróbki dużej ilości danych. Dostarczenie środowisku naukowemu sprawnych narzędzi w tym zakresie jest bardzo wartościowym wkładem w rozwój danej dyscypliny naukowej. Z drugiej strony powoduje to tematyczne rozmycie przeprowadzonych przez doktoranta prac. Każdy z systemów pomiarowych, będących przedmiotem tej pracy, ma swoją bogatą historię i literaturę i może stanowić temat osobnej rozprawy doktorskiej. Różna jest stosowana metodyka pomiarowa, choć mieszcząca się pod hasłem „obrazowanie fazowe". W dobie szerokiego zastosowania komputerów należy jednak takie „rozmyte" rozprawy, skoncentrowane na aspektach programistycznych, uznać za normę.

Autor rozpoczął pracę nad tematyką przedstawioną w rozprawie już w czasie pracy inżynierskiej. Pracę kontynuował w czasie studiów magisterskich. Zaangażowany był w dwóch projektach NCN i projekcie LIDER, jak również w projektach wewnętrznych Politechniki Warszawskiej. Obecnie kontynuuje pracę w projekcie ERC Starting Grant kierowanym przez dr hab. inż. Macieja Trusiaka. Świadczy to o bardzo dobrym usadowieniu doktoranta we własnym środowisku naukowym. Można mieć pewność, że przedstawione wyniki nie są wynikami „do szuflady" i przysłużą się realizacji ambitnych projektów takich jak ten podjęty w ramach ERC Starting Grant. Służy temu również udostępnienie czterech programów na platformie Github.

Wyniki osiągnięte przez doktoranta oceniam wysoko, pozwalając sobie jeszcze raz podkreślić ich potencjalną użyteczności.

Szczegółowa ocena rozprawy

Rozdział pierwszy rozprawy zawiera syntetyczny opis osiągnięć naukowych i udziału w projektach badawczych. W podrozdziale 1.2 przedstawione są cele pracy i omówione są techniki pomiarowe, którymi zajmował się doktorant. Nie jest to na pewno wprowadzenie teoretyczne do tematyki pracy jak sugeruje tytuł podrozdziału. W kolejnych częściach podrozdziału 1.3 mamy wprowadzenie do trzech metod wykorzystujących techniki ilościowego obrazowania fazy. Opracowanie oprogramowania do analizy danych pomiarowych dla tych metod jest głównym osiągnięciem doktoranta. Techniki te to: technika mikroskopii ptychograficzno-fourierowskiej, technika mikroskopii interferencyjnei. technika poosiowej mikroskopii holograficznej wraz z techniką mikroskopii bezsoczewkowej. Wprowadzenie do każdej z technik jest krótkie ale merytorycznie wartościowe. Czytelnik ma do dyspozycji wystarczająco bogaty spis literatury by mógł znaleźć interesujące go bardziej szczegółowe informacje. W mojej opinii zamiar bardziej pełnego przedstawienia wspomnianych technik znacznie zwiększyłaby objętość pracy, nie wnosząc istotnych informacji dotyczących osiągnięć doktoranta.

Rozdział drugi zawiera przewodnik po publikacjach i należy go rozpatrywać łącznie z załączonymi kopiami tych publikacji.

W pierwszym kroku autor opracował, w środowisku Matlab, oprogramowanie przeznaczone dla mikroskopii ptychograficzno-fourierowskiej. Oprogramowanie to wyposażone jest w przejrzysty graficzny interfejs użytkownika. Znacznie ułatwia użytkownikowi przejście złożonych problemów związanych z kalibracją systemów ptychograficznych, co pozwala na jego zastosowanie przez mało doświadczonych użytkowników. Jest to ważna cecha współczesnych systemów pomiarowych. Użytkowanie ich wymaga dużej dozy wiedzy i doświadczenia w aspektach czysto technicznych. Użytkownik natomiast zainteresowany jest wiarygodnymi wynikami pomiarów i nie ma ochoty na studiowanie detali technicznych. Dobrze skonstruowane oprogramowanie może w znacznym stopniu rozwiązać ten problem. Program zawiera moduł pozwalający na rekonstrukcję obrazów otrzymywanych w systemach FPM. Program wyposażony jest w moduł symulujący działanie układów FPM, który ma pomóc użytkownikowi w optymalnym doborze parametrów urządzenia. Autor zaimplementował własną metodę korekcji błędu związanego z niedokładnym określeniem kątów oświetlenia próbki. Algorytm ten cechuje się kilkukrotnie większą prędkością działania w porównaniu z dotychczas wykorzystywanym algorytmem Simulated Anneling. Dodatkowo program pozwala na wykonywanie obliczeń na procesorach graficznych, co znacznie przyspiesza przebieg rekonstrukcji. Ponieważ rekonstrukcja obrazu w układach FPM jest wymagająca obliczeniowo opcja ta może mieć dla użytkownika istotne znaczenie. Tematyce tej poświęcony jest artykuł P1 i komunikat konferencyjny K1, z listy publikacji autora. Opracowany program dostępny jest na platformie Github.

Drugim zadaniem zrealizowanym przez doktoranta był rozwój algorytmów analizy prążków na potrzeby mikroskopii interferencyjnej z transformatą Hilberta. Jest to stosunkowo młody dział interferometrii oferujący możliwości pracy z interferogramami z rzadkimi prążkami. Wymaga jednak uważnej filtracji tła i szumu. Ograniczenia istniejących metod filtracji otworzyły pole do opracowania własnych algorytmów. Problemy z którymi zmierzył się doktorant przedstawione są w tabeli 6. W swej najbardziej rozwiniętej wersii autor wzbogacił działanie oprogramowania o sieć neuronową, która pozwoliła na jego pełną automatyzację. Przeprowadzone testy potwierdziły użyteczność zaproponowanych narzędzi. W artykule P3 zaprezentowane jest skuteczne zastosowanie opracowanej metody do interferometrii z źródłami o ograniczonej koherencji. Niska koherencja źródła pozwala na ograniczenie szumu koherentnego ale wymusza pracę z rzadkimi prążkami, co otwiera pole do działania procedur opracowanych przez autora

Odwołanie do rysunku 18 w tekście ma błędną numerację.

Tematyce tej poświęcony jest artykuł P2, P3, P4 i komunikat konferencyjny K2, z listy publikacji autora. Opracowany program dostępny jest na platformie Github.

Trzecie zadanie dotyczyło rozwoju algorytmów na rzecz poosiowej mikroskopii holograficznej i mikroskopii bezsoczewkowej. Autor zaproponował trzy metody na rozwiązanie efektu obrazu sprzężonego, który jest istotną bolączką wspominanych wyżej technik mikroskopowych. Pierwsza metoda wykorzystuje algorytm iteracyjny Gerchberga-Saxtona, druga wykorzystuje sieci neuronowe a trzecia polega na dodaniu do układu eksperymentalnego drugiego źródła światła. Nadto autor zastosował metody iteracyjne do układu wykorzystującego oświetlenie trzema różnymi długościami fali. Testy zaproponowanych metod potwierdziły ich użyteczność.

Tematyce tej poświęcone są artykuły P7, P8, P9 Opracowany program dostępny jest na platformie Github.

W ostatniej części rozdziału drugiego autor przedstawia swoje prace dotyczące problemu śledzenie obiektów 4D w poosiowej mikroskopii holograficznej oraz obrazowania przy niskiej mocy lasera. W przypadku śledzenia 4D autor zaproponował nowy algorytm poszerzający możliwości dotychczasowych rozwiązań. Opracowany na jego bazie program pozwala na śledzenie obiektów w ruchu poosiowym i nie wymaga wiedzy a'priori o badanych obiektach. Autor stworzył również program umożliwiający symulacje działania algorytmu do śledzenia mikroobiektów. Testy prowadzone z użyciem tego oprogramowania jak i pomiary rzeczywistych obiektów potwierdziły skuteczność nowego algorytmu. Wyniki zostały opublikowane w pracy P5, a opracowany program jest dostępny na platformie Github.

Obrazowanie przy niskim natężeniu światła zostało omówione w pracy P6. Krytycznym problem jest tu szum, który udało się zredukować przy użyciu przedstawionego już we wcześniej części pracy algorytmu o symbolu BM3D. Wyniki pomiarowe potwierdziły skuteczność zastosowanej procedury.

Rozdział trzeci zawiera podsumowanie pracy oraz dalsze plany związane z tematyką rozprawy doktorskiej. W podsumowaniu doktorant wymienia w krótkich punktach swoje osiągnięcia. Ma to charakter przypomnienia tego co zawierał rozdział 2. Brak jest jednolitego spojrzenia na całość poruszanej w rozprawie tematyki. Jak już pisałem praca jest zbiorem rozwiązań numerycznych i w mniejszym zakresie sprzętowych dotyczących trzech różnych technik pomiarowych. Stąd może wynikać trudność w sformułowaniu takiego jednolitego spojrzenia na całość osiągnięć. Niewątpliwie są to rozwiązania bardzo uzyteczne i dzięki udostępnieniu na platformie Github mogące służyć szerszej społeczności. Niemniej trudno jest uznać rozdział 3 za spełniający typowe wymagania dla części podsumowującej rozprawę doktorską. Pozostawia to niedosyt u recenzenta ale nie zmienia końcowej oceny rozprawy.

Podsumowanie

Praca została wykonana w ramach działań dobrze funkcjonującej grupy badawczej i jest bardzo dobrze osadzona w projektach prowadzonych w ramach tej grupy. Zaprezentowane w niej wyniki są oryginalne i wartościowe i mają znaczenie praktyczne dla wybranych technik obrazowania fazowego. Należy dodać, że są to techniki gotowe do wykorzystywania w praktyce badawczej i metrologii optycznej.

Biorąc pod uwagę zaprezentowane wyniki stwierdzam, że doktorant osiągnął założone w pracy cele. A osiągnięte wyniki wyczerpują wymagania do uzyskania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

Praca wymagała od doktoranta dobrej znajomości technik numerycznych i dobrego rozumienia problemów optycznych. Łączenie umiejętności programistycznych z umiejętnościami z danego działu nauki lub techniki jest dziś bardzo cenione. W mojej opinii przedstawiona praca świadczy o tym, że doktorant potrafi skutecznie łączyć te umiejętności, tak że jest w stanie realizować wartościowe projekty naukowe.

Praca jest napisana zrozumiałym językiem, zawiera nieliczne błędy pisowni. Rysunki są czytelne, literatura jest dobrze dobrana do treści rozprawy.

Konkluzja

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska, w świetle obowiązującej ustawy o tytule naukowym i stopniach naukowych, spełnia wynikające z tejże ustawy kryteria i może być podstawą do ubiegania się o stopień doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych. Wnoszę o dopuszczenie rozprawy do obrony publicznej.

Jednocześnie biorąc pod uwagę zakres przeprowadzonych prac, oryginalny wkład doktoranta do dyscypliny, użyteczność uzyskanych wyników, oraz ich bardzo dobrą reprezentację w artykułach zamieszczonych w wysoko punktowanych czasopismach wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Jan Masajada

Jan Masajada