

Ocena dorobku naukowego

dr inż. Michała Makowskiego ubiegającego się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych

Dr inż. Michał Makowski ukończył z wyróżnieniem Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej PW w 2002r, następnie studia doktoranckie na Wydziale Fizyki PW. W 2007 r obronił doktorat na podstawie pracy „Hologramy Fresnela scen przestrzennych uzyskiwane iteracyjnie”.

Od 2007 r pracuje jako adiunkt na Wydziale Fizyki PW.

Dr inż. Michał Makowski przedstawił zestaw 7 współautorskich publikacji jako osiągnięcie naukowe

„Dyfrakcyjna projekcja dwuwymiarowych, barwnych rozkładów natężenia światła”.

Przedstawiony zestaw prac dokumentuje postęp w rozwiązywaniu problemu będącego drogą ku miniaturowym rzutnikom obrazu. Celem prac była więc projekcja obrazu (zadanego rozkładu natężenia światła) bez soczewki, z wykorzystaniem dyfrakcji na czysto fazowym przestrzennym modulatorze światła (ang. Spatial Light Modulator, SLM). Postawionym cel wymagał dobrania rozkładu fazowego hologramu zaadresowanego na SLM, tak by na ekranie utworzony został się zadany obraz z najmniejszymi zniekształceniami -minimalizując defekty lokalne obrazu, całkowitą niejednorodność jasności oraz szum spekulowy. Zagadnienie to wymagało nie tylko oryginalnego pomysłu (zaprezentowanego przez dr. inż. Makowskiego) ale i zaawansowanych i wieloetapowych prac tak numerycznych, konstrukcyjnych jak i doświadczalnych.

W pierwszej pracy H1 „Color image projection based on Fourier holograms”

SLM został oświetlony trzema wiązkami zbieżnymi, co sprawiło, że w miejscu przewężenia wiązek wytworzyło się pole tożsame z transformatą zawartości wyświetlonej na SLM, zakodowane we wcześniej obliczonych hologramach Fouriera. Oryginalnym pomysłem dr Makowskiego było podzielenie modulatora SLM na trzy części oraz pokrycie ich filtrami barwnymi dedykowanymi do długości fali trzech wiązek laserowych o kolorach podstawowych: czerwonym, zielonym i niebieskim. Umożliwiło to tworzenie obrazu barwnego na ekranie projekcyjnym z każdej klatki wyświetlonej na SLM (tzn. bez podziału

czasowego kolorów składowych). Dzięki temu osiągnięto prędkość wyświetlania równą 60 kl/s i bardzo stabilny, nie migoczący obraz bez rozpadu kolorów. Wykazano, że zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi i symulacjami komputerowymi rozdzielczość uzyskanych obrazów (tj. ilość wyświetlonych punktów obrazu) odpowiadała ilości pikseli SLM przypadającej na jeden kolor. Był to ważny wniosek wskazujący na fakt, że o jakości projekcji decyduje głównie liczba wykorzystywanych pikseli a nie ich rozmiary. Dzięki dużej liczbie pikseli modulatora (Full HD, tj. 1920 na 1080 pikseli) udało mi się uzyskać obrazy barwne o zadowalającej rozdzielczości około 1/3 Full HD z błędem pozycjonowania składowych barwnych poniżej 1 piksela. Pokazano również istotną cechę aplikacyjną proponowanej techniki projekcji- poprzez nakładanie na hologramy na SLM odpowiednich fazowych funkcji korygujących.

Wykorzystane trzy wiązki zbieżne umożliwiły eliminację soczewek. Osiągnięto wysokiej jakości, kontrastowe, barwne obrazy na ekranie projekcyjnym. Wykorzystano iteracyjną technikę optymalizacji fazy według algorytmu Gerchberga-Saxtona (G-S). Jednak zbieżny charakter wiązek oświetlających powodował uwypuklenie plamki zerowego rzędu.

Właśnie całkowite usunięcie plamki zerowego rzędu z ekranu projekcyjnego było celem

pracy H2 **"Efficient image projection by Fourier electroholography"**

Dokonano tego poprzez filtr numeryczny- nałożenie na rozkłady fazowe hologramów Fouriera wyświetlonych na SLM czynników fazowych równoważnych soczewce rozpraszającej. Obrazy odtwarzane z hologramów powstawały na ekranie odsuniętym o odległość około 1 m od płaszczyzny fourierowskiej wytworzonej w torze optycznym w przewężeniu zastosowanych wiązek zbieżnych. Przy użyciu amplitudowego filtra górnoprzepustowego uzyskanego fotograficznie zasłonięta została plamka zerowego rzędu ugięcia tak, by pole dyfrakcyjne z nią związane nie docierało do ekranu projekcyjnego. Jednocześnie zaobserwowano i zmierzono wpływ techniki czasowej integracji szumu speklowego na jakość rekonstrukcji holograficznych, fotografowanych przy przedłużonym czasie ekspozycji.

Problem ten stał się celem pracy H3 **"Complex light modulation for lensless image projection"**.

Zastosowano układ dwóch bliźniaczych modulatorów fazowych SLM, z których jeden był obrazowany na drugim przy użyciu pary soczewek.

Prace rozpoczęły się od obliczenia amplitudowo-fazowego hologramu Fresnela w wyniku wstecznej propagacji amplitudowego pola o rozkładzie natężenia tożsamym z zawartością docelowego obrazu od płaszczyzny ekranu do płaszczyzny modulatora. Pierwszy SLM służył do wyświetlenia na powierzchni drugiego SLM rozkładu amplitudy hologramu realizując

modulację amplitudowa. Drugi SLM wypracowywał przesunięcie fazy stosowne do modulacji amplitudy.

Praca H5 **“Diffuserless holographic projection working on twin spatial light modulators”** nawiązuje tematyką do pracy H3 i dotyczy konstrukcji układu realizujący zespoloną modulację przez propagację w przestrzeni swobodnej z kompensacją powstałego w wyniku tego opóźnienia fazowego.

Trudnością układów prezentowanych w pracach H3 i H5 okazało się wymagane niezwykle precyzyjne pozycjonowanie modulatorów względem siebie, a niszczący efekt miały m.in. wewnętrzne krzywizny modulatorów SLM oraz precyzyjne justowanie układów w modzie projekcji kolorowej.

Dlatego celem następnej pracy H4 **„Simple holographic projection in color”**

było zaproponowanie układu, w który poświęcono w niewielkim stopniu jakość projekcji (kontrast, zaszumienie) na rzecz prostoty i niewielkiej ilości komponentów o niskich cenach. Cele pracy stało się ultra-kompaktowych urządzenie mobilne zasilane bateryjnie.

Użyto diody laserowe emitujących wiązki rozbieżne, oświetlające modulator SLM bezpośrednio bądź za pośrednictwem trzech światłowodów przenoszących wiązki w kolorach podstawowych. Światło padające na SLM było spolaryzowane liniowo w kierunku optymalnym dla wydajnej modulacji fazowej, a światło odbite trafiało bezpośrednio na ekran projekcyjny. Dzięki temu układ optyczny składał się jedynie z 5 elementów (3 lasery wprzęgnięte w światłowody, modulator SLM i filtr barwny). Problem zerowego rzędu ugięcia został rozwiązany w ten sposób, że pole świetlne z nim związane nie było absorbowane ani ukrywane, ale padało na dużą powierzchnię ekranu oraz obszar dookoła ekranu, przez co posiadało znikome natężenie i było praktycznie niezauważalne. Z kolei obraz dyfrakcyjny, formowany w pierwszym rzędzie ugięcia był skupiony na mniejszym obszarze, przez co znacznie dominował jasnością.

Szum w uzyskanych obrazach wynika z powstawania spekli, które mają być uśredniane przez mikro-ruchy ekranu. Drugim mechanizmem powstawania szumu jest stosowanie losowej fazy początkowej w algorytmie Gerchberga-Saxtona. Zaproponowaną metodą na uśrednienie tego szumu było szybkie sekwencyjne wyświetlanie na SLM hologramów obliczonych z losową fazą początkową. W sumie konstrukcja okazała się sukcesem a praca H4 jest bardzo często „ściągana” przez czytelników.

Praca H6 –“ Lensless zoomable holographic projection using scaled Fresnel diffraction”

Praca powstała w czasie pobytu dr Makowskiego w Japonii. Autorowi wraz z japońskimi współpracownikami udało się przeprowadzić projekcje monochromatyczne w rozbieżnej wiązce oświetlającej z rozkładów fazowych zawierających hologramy Fouriera w oparciu o teorię skalowanej dyfrakcji Fresnela. Umożliwiło to dynamiczną zmianę stałej próbkowania pola w płaszczyźnie obrazu i hologramu eliminując efekt nakładania się na siebie pól z kolejnych rzędów dyfrakcji. Należy podkreślić, że eksperyment zapewniał wysoką jakość wyników ze względu na pozbycie się wielu elementów, takich jak ekran dyfuzyjny, polaryzatory, filtry itp. Rezultaty doskonale pokryły się z przewidywaniami symulacji numerycznych, przeprowadzonych przez prof. Shimobabę.

Praca H7 „ Minimized speckle noise in lens-less holographic projection by pixel separation”

Jest najnowszą modyfikacją algorytmu projekcji holograficznej w rozbieżnych wiązках. Zastosowano w niej technikę separacji punktów obrazu na ekranie projekcyjnym, przez co unika się niekontrolowanych interferencji pomiędzy promieniami światła tworzącymi sąsiadujące ze sobą "piksele". Pomysł był inspirowany podobną realizacją wykonaną przez grupę Takaki , z algorytmem wydajniejszym energetycznie i zapewniającym wyższą rozdzielczość obrazowania

6 prezentowanych prac jest współautorskich, 7 jest pracą jedno autorska.

Oświadczenia pokazują jednoznacznie na wiodący charakter udziału w pozostałych pracach dr inż. Makowskiego

Podsumowując tę część recenzji:

Uważam, że przedstawiony zestaw prac „Dyfrakcyjna projekcja dwuwymiarowych, barwnych rozkładów natężenia światła” opisuje wybitne i dobrze określone osiągnięcie naukowe będące znacznym wkładem w rozwój reprezentowanej dziedziny (nowoczesnej optyki instrumentalnej), mające znaczące walory tak naukowe, aplikacyjne jak i edukacyjne i stanowi dobrą podstawę do nadania dr Michałowi Makowskiemu stopnia doktora habilitowanego.

Ocena dorobku naukowego i organizacyjnego.

Dr inż. Michał Makowski wraz z 7 publikacjami składającymi się na pracę habilitacyjną opublikował

- 23 publikacje w czasopismach z listy JCR (Journal Citation Report)(6x Opt. Expr., 9x Opt. Lett.)

- 4 publikacje w czasopiśmie spoza JCR (1 zaproszona)
- 14 publikacji pokonferencyjnych w Proc. SPIE
- 44 wystąpienia konferencyjne (w tym 2 zaproszone)

Prace te dotyczą dobrze zarysowanej tematyki dotyczącej nowoczesnych konstrukcji wyświetlaczy optycznych będącej zastosowaniami holografii cyfrowej oraz dyfrakcyjnego kształtowania promieniowania terahercowego.

Dr inż. Makowski ma znaczące osiągnięcia organizacyjne – brał udział w realizacji 11 grantów, w tym kierował wykonaniem 5-ciu.

W sumie należy uznać dorobek naukowy i organizacyjny dr inż. Michała Makowskiego za bardzo dobrze kwalifikujący Go do stopnia doktora habilitowanego.

Ocena dorobku dydaktycznego.

Dr Makowski prowadził zajęcia a na Wydziale fizyki, Wydziale Chemii oraz Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej, były to m.in.:

- Techniki Obrazowania 3-D (przedmiot autorski, wykład oraz laboratorium)
- Komputerowe Metody Optyki (współautorstwo, wykład oraz laboratorium)
- Podstawy Fotografii (współautorstwo, laboratorium)
- Fotografia Cyfrowa (współautorstwo, laboratorium)
- Podstawy Optyki (laboratorium)
- Laboratorium Informatyki Optycznej
- Centralne Laboratorium Fizyki
- Metody Optyczne w Medycynie (laboratorium)
- Elektronika w Eksperymentach Fizycznym

Był promotorem prac 8 prac inżynierskich i 10 prac magisterskich.

Poza kursowymi zajęciami dydaktycznymi dr Makowski prowadził bogatą działalność upowszechniającą fizykę- optykę co **oceniam szczególnie wysoko**. Taką działalność prowadzą bowiem jedynie najlepsi naukowcy, świadomi społecznej roli nauki.

Wymienić trzeba następujące funkcje i działania:

1. Redaktor naukowy i tłumacz na język polski podstawowego podręcznika E. Hecht "Optyka", PWN 2012.
2. Autor i prelegent wykładu popularyzatorskiego "Optyka dyfrakcyjna i holografia" dla uczniów liceów w ramach programu finansowanego przez Urząd Miasta St. Warszawy (2008).
3. Współorganizator cyklicznych zajęć *Szkoła Holografii* dla uczniów wybranych szkół średnich (2008-2013).
4. Uczestnik licznych pokazów w ramach *Drzwi Otwartych i Festiwalu Nauki* (2005-2013).
5. Współautor popularyzatorskiego artykułu "Optyka dyfrakcyjna dla promieniowania terahercowego" w czasopiśmie *Profundere Scientiam* (2012).
6. Współautor popularyzatorskiego artykułu "Czy powstaną telewizory wyświetlające programy 3D?" w czasopiśmie *Świat Nauki*, nr 05/2010.
7. Współorganizator i prelegent "Warsztatów Fotografii" organizowanych przez Centrum Studiów Zaawansowanych (2011-2013).
8. Autor wykładu popularyzatorskiego "Telewizja 3-D" w ramach *Uniwersytetu Trzeciego Wieku* Politechniki Warszawskiej (2013).
9. Współautor nowego kursu laboratoriów w ramach przedmiotu „Metody Optyki w Medycynie” dla specjalności „Fizyka Medyczna” na Wydziale Fizyki.
10. Autor programu nowego wykładu i laboratorium „Techniki obrazowania 3D” w ramach planowanego kierunku studiów „Fotonika”.

Dorobek ten pokazuje, że zdobyta poprzez wykonanie prac naukowych wiedza w sposób bardzo intensywny jest wykorzystywana przez dr inż. Michała Makowskiego do kształcenia młodych kadr i promocji i upowszechnianiu nauki i techniki

Podsumowując całość recenzji:

Uważam, że przedstawione przez dr inż. Michała Makowskiego osiągnięcie naukowe

"Dyfrakcyjna projekcja dwuwymiarowych, barwnych rozkładów natężenia światła"

w formie 7 szczegółowych prac spełnia wymogi Art. 16 ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego. Wniosek ten jest wzmacniany szczególnie pozytywną opinią o całej działalności naukowej, organizacyjnej, dydaktycznej i upowszechniającej naukę dr inż. Michała Makowskiego

