

prof. dr hab. Wojciech Nasalski
Instytut Podstawowych Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk

Recenzja

osiągnięcia naukowego dr inż. Macieja Trusiaka
Metody obrazowania obliczeniowego w mikroskopii optycznej

w postępowaniu
o nadanie stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych
w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika

prowadzonym
w Radzie Naukowej Dyscypliny
Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika
Politechniki Warszawskiej

Dr inż. Maciej Trusiak jest od 2016 roku pracownikiem Zakładu Inżynierii Fotonicznej Instytutu Mikromechaniki i Fotoniki Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, po podjętych w Wydziale Mechatroniki studiach doktoranckich w 2012 roku. Początkowo został on w 2016 roku zatrudniony na stanowisku asystenta, a następnie, po obronie doktoratu w 2017 roku, na stanowisku adiunkta. Tytuł jego rozprawy doktorskiej: „Przetwarzanie i analiza obrazów prążkowych z zastosowaniem transformacji Hilberta-Huanga na potrzeby polowych optycznych metod pomiaru”, promotor prof. dr hab. inż. Krzysztof Patorski.

W załączonym do wniosku autoreferacie dr inż. Maciej Trusiak opisuje swój merytoryczny wkład w pracach badawczych opublikowanych w latach 2017-2021 w osiemnastu artykułach C1-C18, będące elementem zgłoszonego osiągnięcia naukowego. Osiągnięcie to zawiera jeden autorski i siedemnaście wieloautorskich artykułów Habilitanta, w tym w pięciu z nich jest on pierwszym a w ośmiu korespondencyjnym autorem, opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych o wysokim współczynniku wpływu *impact factor* IF.

Dr inż. Maciej Trusiak jest również współautorem innych publikacji z lat 2019-2020 nie wymienionych w wykazie C1-C18, w tym jednej monografii, czterech artykułów i siedemnastu publikacji konferencyjnych. Ponadto, jest on także współautorem czternastu artykułów i pięciu materiałów konferencyjnych opublikowanych przed obroną doktoratu.

Łączna liczba publikacji dr inż. Macieja Trusiaka z lat 2012-2021 jest znaczna - jedna monografia, jeden artykuł autorski, 36 artykułów wieloautorskich i 25 konferencyjnych raportów.

I. Ocena osiągnięcia naukowego

Scharakteryzowana przez Habilitanta w rozdziale 4 jego autoreferatu tematyka badawcza obrazowania obliczeniowego w mikroskopii optycznej przedstawiona została jako połączenie wstępnej rejestracji danych optycznych obrazu obiektu i następnie ich numerycznego przetwarzania, w celu optymalizacji parametrów otrzymanej finalnie optycznej wizualizacji, takich jak zakresy jej częstotliwości przestrzennej i zdolności rozdzielczej, głębia ostrości, stosunek sygnału do szumu czy kontrast fazowy zrekonstruowanego pola optycznego. Prace prowadzone przez Habilitanta w ramach tej tematyki w latach 2017-2021 mają charakter zarówno numeryczny jak i eksperymentalny.

Dwie (C8-C9) z wymienionych w wykazie publikacji:

[C8] Y. Fan, J. Sun, Q. Chen, X. Pan, M. Trusiak, C. Zuo, "Single-shot isotropic quantitative phase microscopy based on color-multiplexed differential phase contrast," *APL Photonics* 4, 121301 (2019).

[C9] P. Zdańkowski, M. Trusiak, D. McGloin, J. R. Swedlow, "Numerically enhanced adaptive optics-based 3D STED microscopy for deep-tissue super-resolved imaging," *ACS Nano* 14(1), 394-405 (2020).

dotyczą zastosowania dwóch niekoherentnych technik obrazowania obliczeniowego w mikroskopii optycznej: techniki fluorescencyjnej i techniki bez-znacznikowej. Zostały one opisane przez Autora w rozdziale 4.3 autoreferatu.

W zakresie techniki fluorescencyjnej, wykonano numeryczną optymalizację wyników działania optycznego mikroskopu typu STED (stimulated emission depletion) poprzez zastosowanie zaawansowanej techniki numerycznej BM3D (block matching 3D filtering), prowadzącej do zwiększenia stosunku sygnału do szumu obrazów optycznych otrzymanych początkowo w technologii standardowej mikroskopii STED o wysokiej rozdzielczości. Prace wykonano przy znacznym współudziale badaczy z zagranicy: prof. J. Swedlow'a, University of Dundee, UK i prof. D. McGloin'a, University of Technology Sydney, Australia. Rezultaty tych prac (C9) zostały opublikowane w 2020 roku w prestiżowym czasopiśmie *ACS Nano* o wysokim

współczynnika $IF=15.881$ i odnotowane już w literaturze przedmiotu – liczba cytowań bez autocytowań w bazie Web of Science wynosi WoS-6, dane z 2021 roku.

Jednakże, Autor wskazuje jednocześnie na wiele ograniczeń mikroskopii fluorescencyjnej, głównie w kontekście stosowania barwienia obiektów/próbek, szczególnie tych utworzonych z organizmów żywych. Stąd został podany też drugi, tym razem już nieinwazyjny, przykład zastosowania niekoherentnej techniki obrazowania obliczeniowego w mikroskopii świetlnej. Dotyczył on badań z użyciem techniki mikroskopii bez-znacznikowej, w której fluorescencyjne pobudzanie próbek nie było już niezbędne. Zastosowano obrazowanie obliczeniowe z ilościowym kontrastem fazowym qDPC (quantitative differential phase contrast). Poprzez naprzemienne oświetlenie obiektu przez pole optyczne o różnej długości fali otrzymano funkcję przenoszenia układu optycznego o kształcie wąskiego okręgu i o jednorodnej rozdzielczości rekonstrukcji falowej obrazu obiektu. Prace wykonano w ramach współpracy z grupą badawczą prof. C. Zuo z University of Science and Technology, Nanjing, China. Wyniki tych prac - artykuł C8 - opublikowano w 2019 roku w renomowanym czasopiśmie APL Photonics, z liczbą cytowań WoS-11 wg danych z 2021 roku.

Omówione powyżej publikacje C9 i C8 dotyczą tematyki niekoherentnego obrazowania w mikroskopii. Natomiast pozostałe publikacje Autora odnoszą się już szerzej do, zdecydowanie przeważającego w tym zestawieniu, koherentnego zakresu tematyki rozpatrywanego osiągnięcia naukowego. Tak więc szesnaście (C1-C7 oraz C10-C18) wymienionych w cyklu publikacji osiągnięcia naukowego Autora:

[C1] M. Trusiak, "Fringe analysis: single-shot or two-frames? Quantitative phase imaging answers," Optics Express 29(12), 18192-18211 (2021).

[C2] M. Trusiak, M. Cywińska, V. Micó, J. Á. Pícazo-Bueno, C. Zuo, P. Zdańkowski, K. Patorski, "Variational Hilbert quantitative phase imaging," Scientific Reports 10, 13955 (2020).

[C3] N. T. Shaked, V. Micó, M. Trusiak, A. Kuś, S. K. Mirsky, "Off-axis digital holographic multiplexing for rapid wave front acquisition and processing," Advances in Optics and Photonics 12(3), 556-611 (2020).

[C4] M. Trusiak, J.A. Pícazo-Bueno, P. Zdańkowski, V. Micó, "DarkFocus: numerical autofocusing in digital in-line holographic microscopy using variance of computational dark-field gradient," Optics and Lasers in Engineering 134, 106195 (2020).

- [C5] P. Goćłowski, M. Trusiak, A. Ahmad, A. Styk, V. Micó, B. S. Ahluwalia, K. Patorski, "Automatic fringe pattern enhancement using truly adaptive period-guided bidimensional empirical mode decomposition," *Optics Express* 28(5), 6277-6293 (2020).
- [C6] K. Patorski, P. Zdańkowski, M. Trusiak, "Grating deployed total-shear 3-beam interference microscopy with reduced temporal coherence," *Optics Express* 28(5), 6893-6908 (2020).
- [C7] M. Cywińska, M. Trusiak, A. Styk, K. Patorski, "Full-field vibration profilometry using time-averaged interference microscopy aided by variational analysis," *Optics Express* 28(1), 435-450 (2020).
- [C10] M. Sanz, M. Trusiak, J. Garcia, V. Micó, "Variable zoom digital in-line holographic microscopy," *Optics and Lasers in Engineering* 127, 105939 (2020).
- [C11] M. Trusiak, J. Á. Picazo-Bueno, K. Patorski, P. Zdańkowski, V. Micó, "Single-shot two-frame π -shifted spatially multiplexed interference phase microscopy," *Journal of Biomedical Optics* 24(9), 096004 (2019).
- [C12] M. Cywińska, M. Trusiak, K. Patorski, "Automatized fringe pattern preprocessing using unsupervised variational image decomposition," *Optics Express* 27(16), 22542-22562 (2019).
- [C13] M. Cywińska, M. Trusiak, C. Zuo, K. Patorski, "Enhancing single-shot fringe pattern phase demodulation using advanced variational image decomposition," *Journal of Optics* 21(4), 045702 (2019).
- [C14] J. Á. Picazo-Bueno, M. Trusiak, V. Micó, "Single-shot slightly off-axis digital holographic microscopy with add-on module based on beam splitter cube," *Optics Express* 27(4), 5655-5669 (2019).
- [C15] M. Trusiak, A. Styk, K. Patorski, "Hilbert–Huang transform based advanced Bessel fringe generation and demodulation for full-field vibration studies of specular reflection micro-objects," *Optics and Lasers in Engineering* 110, 100-112 (2018).
- [C16] K. Patorski, Ł. Służewski, M. Trusiak, "5-beam grating interferometry for extended phase gradient sensing," *Optics Express* 26(21), 26872-26887 (2018).
- [C17] J. Á. Picazo-Bueno, M. Trusiak, J. García, K. Patorski, V. Micó, "Hilbert–Huang single-shot spatially multiplexed interferometric microscopy," *Optics Letters* 43(5), 1007-1010 (2018).

[C18] D. Saide, M. Trusiak, K. Patorski, "Evaluation of adaptively enhanced two-shot fringe pattern phase and amplitude demodulation methods," *Applied Optics* 56(19), 5489-5500 (2017).

dotyczy już koherentnych metod obrazowania obliczeniowego w mikroskopii optycznej. Metody te zostały opisane w rozdziale 4.4 autoreferatu. Powyżej wymienione publikacje zostały następnie uszeregowane w jednej z czterech sekwencji tematycznych wskazanych w kolejnych podrozdziałach rozdziału 4.4 autoreferatu:

Sekwencja (i) - uniwersalne techniki obliczeniowe - obejmujące standardowe metody demodulacji fazy z wykorzystaniem pojedynczego interferogramu, opisane w C1, C2, C5, C12, C13, C17, C18.

Sekwencja (ii) - techniki interferometrii wspólnej drogi - obejmujące niestandardowe metody rekonstrukcji zmian fazy w układach optycznych wspólnej drogi, opisane w C3, C6, C11, C14, C16.

Sekwencja (iii) - techniki interferometrii z uśrednianiem w czasie - obejmujące metody obrazowania przy uśrednianiu dynamicznych zmian obiektu w czasie, opisane w C7, C13, C15.

Sekwencja (iv) – techniki interferencyjne w mikroskopii holograficznej – działające w optycznych układach bezsoczewkowych, opisane w C4, C10.

Tym niemniej tematyka publikacji prezentowana w sekwencjach (i)-(iv) jest nadal wzajemnie powiązana w ramach jednego wspólnego tematu badawczego - koherentnej mikroskopii interferencyjnej.

Poniżej odniosę się bliżej do dwóch podstawowych publikacji Autora, wchodzących w skład przedłożonego osiągnięcia naukowego i skomentowanych w sekwencji (i) jego autoreferatu.

W pierwszej kolejności należy tu wskazać na autorski, chronologicznie ostatni z cyklu, artykuł C1, opublikowany w renomowanym czasopiśmie *Optics Express* w 2021 roku o wysokim współczynniku $IF=3,894$. Autor starannie porównuje w nim, na przykładzie przeprowadzonej analizy numerycznej i wyników pomiarów eksperymentalnych, efektywność działania dwuramkowych i jednoramkowych technik stosowanych w koherentnej rekonstrukcji fazy interferogramów obiektów biomedycznych. Autor przede wszystkim wykazuje w tej pracy, że przy wysokim kontraście interferogramów otrzymanych przy wysokim stosunku sygnału do

szumu, preferowane powinny być techniki dwuramkowe, natomiast w przeciwnym przypadku, przy niskim kontraście interferogramu, wyższą jakość zapisu okazują się mieć techniki jednoramkowe. Co więcej udowadnia, że technika dwubramkowa, w odróżnieniu od jednobramkowej, wymaga dodatkowo wstępnego filtrowania rekonstruowanej fazy pola. Interesujący przykład realizacji jednoramkowej techniki rekonstrukcji fazy został opisany bliżej w publikacji C2, której dr inż. Maciej Trusiak jest pierwszym i korespondencyjnym autorem.

Zakres tematyczny publikacji C2 dotyczy możliwości konstrukcji nowej numerycznej metody powiększania przepustowości układów optycznych ze względu na informację zawartą w interferencyjnym obrazie obiektu. Opracowano założenia i przedstawiono zalety stosowania takiej metody numerycznej, nazwanej VHQPI (Variational Hilbert Quantitative Phase Imaging), wykorzystującej znane już wcześniej z literatury przedmiotu metody, takie jak VID (Variational Image Decomposition) i HST (Hilbert Spiral Transform). Rys. 7 publikacji C2, prezentujący optyczną wizualizację komórek krwi, spektakularnie obrazuje wyższość metody VHQPI w porównaniu z metodami standardowo już używanymi, takimi jak te bazujące bezpośrednio na klasycznej transformacie Fouriera czy na metodzie H2PM (Hilbert-Huang Phase Microscopy), zresztą będącej już uprzednio tematem wiodącym rozprawy doktorskiej Autora. Jak podano w konkluzjach pracy C2, metoda VHQPI jest metodą czysto numeryczną, nie wymaga jakichkolwiek modyfikacji fizycznych układu optycznego, działa efektywnie w analizie skomplikowanych przestrzennie i dynamicznie interferogramów. Nie wymaga ona również stosowania rejestracji sekwencji interferogramów z narzuconym przesunięciem fazy.

W skład międzynarodowego zespołu autorskiego publikacji C2 wchodził polski czteroosobowy zespół badawczy (M. Trusiak, M. Cywińska, P. Zdańkowski i K. Patorski) z Wydziału Mechatroniki PW, dwoje badaczy (V. Mico i J.-A. Picazo-Bueno) z Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Walencji, Hiszpania i jeden badacz (C. Zuo) z Uniwersytetu Nauki i Technologii w Nanjing, Chiny. Artykuł został opublikowany w 2020 roku w czasopiśmie Scientific Reports o wysokim współczynniku $IF=4.379$.

Uwaga dotycząca przekazu prezentacji osiągnięcia naukowego i autoreferatu: Zakres merytoryczny publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego jak i ich prezentacji w postaci autoreferatu jest wyjątkowo szeroki. Autor opisuje techniki w koherentnej mikroskopii optycznej w ramach czterech sekwencji tematycznych (i)-(iv). Jednakże prace publikowane w

tym samym czasie przez tych samych autorów występują w opisie osiągnięcia równolegle w kilku tych sekwencjach. Innym, być może optymalnym rozwiązaniem, mogłoby być tu ograniczenie liczby sekwencji, przy ewentualnym zmniejszeniu liczby składników osiągnięcia naukowego i w konsekwencji zwiększeniu liczby publikacji po obronie doktoratu, nadal jednak nic nie tracących na ich merytorycznym odbiorze. Takie rozwiązanie mogłoby dać bardziej spójny przekaz osiągnięć naukowych Habilitanta. Zaznaczam, że powyższa uwaga w żadnym wypadku nie umniejsza mojej wysokiej oceny jego dorobku naukowego.

Wszystkie publikacje C1-C18 składające się na omawiane osiągnięcie naukowe, mimo odmiennych technik stosowanych w analizie numerycznej i w weryfikacji eksperymentalnej, mają podobny publikacyjny charakter. Ich wspólnym celem jest podniesienie możliwości stosowania znanych dotychczas technik obrazowania obliczeniowego na nowy poziom ich efektywnego działania, szczególnie oczekiwanych w zakresie wizualizacji trudnych w numerycznej i eksperymentalnej obróbce obiektów biologicznych.

Wszystkie artykuły C1-C18 zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych o wysokim współczynniku IF. Przykładowo podaję poniżej kilka z nich:

C3	w Advances in Optics and Photonics -	IF=20.107,	WoS-6,
C9	w ASC Nano -	IF=15.881,	WoS-6,
C8	w APL Photonics -	IF=5.672,	WoS-11,
C4, C10	w Optics and Lasers in Engineering -	IF=4.836,	WoS-3,
C2	w Scientific Reports -	IF=4.379,	WoS-2,

publikowanych w latach 2019-2020 wspólnie z międzynarodowymi zespołami badawczymi i rozpoznawalnych już w międzynarodowym środowisku naukowym, dane z bazy WoS z 2021 r.

Ocena: W cyklu publikacji poświęconych metodom obrazowania obliczeniowego w mikroskopii optycznej dr inż. Maciej Trusiak zaproponował w tym zakresie utworzenie szeregu nowych, nowatorskich technik badawczych. Przeprowadził wnikliwą analizę numeryczną i wielokierunkową weryfikację eksperymentalną dotyczące możliwości szerszych zastosowań tego typu metod w praktyce, szczególnie w zakresie kontrastowego obrazowania struktur fazowych skomplikowanych przestrzennie i czasowo obiektów biologicznych. Cykl publikacji stanowi też oryginalną, twórczą kontynuację jego pracy nad doktoratem, poświęconym podobnym wyzwaniom badawczym. W mojej ocenie prezentowane osiągnięcie naukowe dr

inż. Macieja Trusiaka plasuje się na wyjątkowo wysokim poziomie merytorycznym i stanowi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika.

II. Ocena istotnej aktywności naukowej

Dr inż. Maciej Trusiak jest/był kierownikiem pięciu projektów badawczych:

w latach 2021-2025 projektu Opus 19, NCN,

w latach 2021-2024 projektu Sonata 16, NCN,

w latach 2018-2021 projektu Opus 14, NCN,

w latach 2015-2017 projektu Preludium, NCN,

w latach 2012-2015 projektu Diamentowy Grant, MNiSW,

jak również był głównym wykonawcą w kolejnych pięciu projektach badawczych realizowanych w latach 2011-2018, w tym Opus 8, NCN i Opus 4, NCN w latach 2013-2017. Był ponadto, w latach 2013-2021 kierownikiem/głównym wykonawcą ośmiu wewnętrznych projektów badawczych Wydziału Mechatroniki PW. W latach 2009-2019 odbył też osiem staży i wizyt badawczych w zagranicznych ośrodkach naukowych.

Dr inż. Maciej Trusiak jest członkiem wielu komitetów redakcyjnych i rad towarzystw naukowych, takich jak SPIE - the international society for optics and photonics, USA, Optical Society of America, USA, Institute of Physics, UK, jest też recenzentem i ekspertem wielu międzynarodowych czasopism, głównie z dziedziny optyki, w szczególności licznych czasopism towarzystwa Optical Society of America, USA. W kraju angażuje się głównie jako ekspert w NCN i NAWA, bierze udział w wielu inicjatywach z pogranicza nauki i gospodarki.

Ocena: Według bazy Web of Science Core Collection, łączna liczba publikacji dr inż. Macieja Trusiaka wynosi 63, przy 502 cytowaniach bez autocytowań i indeksie Hirscha równym 15. Również inne rodzaje jego aktywności naukowej – realizacja projektów badawczych, popularyzacja wyników badań, współpraca ze studentami i doktorantami, recenzowanie publikacji dla wielu renomowanych czasopism naukowych, udział w pracach komitetów edytorskich czy organizacja krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych – zasługują na szczególną uwagę. Aktywność naukową dr inż. Macieja Trusiaka należy ocenić bardzo pozytywnie.

III. Konkluzja

Stwierdzam, że dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny dr inż. Macieja Trusiaka w zakresie dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika spełnia wymagania stawiane przez aktualną ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Wnoszę o dopuszczenie dr inż. Macieja Trusiaka do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.



Wojciech Nasalski

Warszawa, 2 lutego 2022 r.