

Prof. dr hab. Zbigniew Jaroszewicz  
Centralna Izba Pomiarów Telekomunikacyjnych (Z-12)  
Instytut Łączności  
ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa  
e-mail: [mmtzjaroszewicz@post.pl](mailto:mmtzjaroszewicz@post.pl)

ul. Szachowa 1  
04-894 Warszawa  
tel.: [+48 22 ] 512 81 00  
fax: [+48 22 ] 512 86 25  
e-mail: [info@il-pib.pl](mailto:info@il-pib.pl)  
[www.il-pib.pl](http://www.il-pib.pl)

Warszawa, dnia 09 sierpnia 2022 roku

**RECENZJA**  
**Rozprawy doktorskiej mgr inż. Eweliny Pijewskiej**  
**p.t. „Phase-based methods in optical coherence tomography**  
**for estimation selected physical parameters of biological tissues”**

Rozprawa doktorska p. mgr inż. Eweliny Pijewskiej p.t. "Phase-based methods in optical coherence tomography for estimation selected physical parameters of biological tissues" (Metody fazowe w optycznej tomografii koherencyjnej do wyznaczania wybranych parametrów fizycznych tkanek), jak to jej tytuł już na to wskazuje, stawia sobie za cel rozszerzenie metody optycznej tomografii koherencyjnej (OCT) o procedury analizy fazy, co ma umożliwić ilościowe określenie fizycznych parametrów badanych tkanek i co za tym idzie, ulepszyć istniejące narzędzia diagnostyki medycznej.

Autorka w swojej pracy posługuje się w głównej mierze metodą spektralnej optycznej tomografii koherencyjnej (SdOCT), a opracowane przez nią techniki odnoszą się do dopplerowskiej OCT, która służy do pomiaru przepływu krwi, elastografii OCT, gdzie mierzy się właściwości biomechaniczne tkanek i wreszcie optoretinografii – metodzie oceny zmian struktury i funkcjonalności siatkówki pod wpływem bodźca świetlnego.

Zgodnie ze słowami autorki główną tezą rozprawy było wykazanie możliwości opracowania fazowych metod OCT pozwalających na ilościowe badanie wybranych parametrów tkanek biologicznych dla celów medycznej diagnostyki.

Rozprawa została przygotowana w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów poprzedzonego opisem i liczy w sumie 150 stron. Sam opis obejmuje 45 stron i składa się z ośmiu rozdziałów: streszczeń w języku angielskim i polskim, przedstawienia metody OCT,

listy publikacji składających się na rozprawę, przedstawienia metod fazowych OCT dla wybranych zastosowań, opisu wkładu doktorantki do publikacji zamieszczonych w rozprawie i podsumowania. W następnej części został zawarty spis publikacji, na które doktorantka powoływała się w opisie. Bibliografia zawiera 73 pozycje, a ich wybór jest reprezentatywny dla dziedziny będącej treścią rozprawy. Kolejny rozdział stanowią kody algorytmów napisanych przez p. mgr inż. Ewelinę Pijewską, które posłużyły jej do realizacji planu sformułowanego w rozprawie. W dalszym rozdziale pracy zostały zamieszczone wybrane publikacje doktorantki. Spośród piętnastu prac składających się na dorobek publikacyjny p. mgr inż. Eweliny Pijewskiej do rozprawy zostały wybrane cztery artykuły, które ukazały się w renomowanym czasopiśmie *Biomedical Optics Express* oraz jeden komunikat konferencyjny, który ukazał się w tomie materiałów SPIE - The International Society for Optics and Photonics. Należy podkreślić, że poza polskim streszczeniem reszta rozprawy jest napisana w języku angielskim, co niewątpliwie powinno dodatnio wpłynąć na jej późniejszą poczytność. Wreszcie ostatnie 14 stron dysertacji wypełniają deklaracje współautorów publikacji zamieszczonych w rozprawie stwierdzających wiodący udział p. mgr inż. Eweliny Pijewskiej w ich powstaniu.

Przedstawienie metody OCT zawarte w opisie rozprawy, oprócz krótkiego opisanie jej historii i zasady działania, zawiera wprowadzenie do tematyki rozprawy, począwszy od przedstawienia problemu informacji fazowej w OCT i wynikającej stąd możliwości pomiaru głębokości położenia mierzonego obiektu i jego prędkości. Omówione zostały ograniczenia pomiaru fazy wynikające z obecności szumu śrutowego detektora, czasu akwizycji sygnału i wielu innych, często trudnych do ujęcia liczbowego czynników. Poważnym problemem okazuje się także długi czas zbierania i analizy plików danych, które osiągają znaczne rozmiary, a ponadto kwestie układowe, a nawet taki problem, jak głównie poziome ułożenie naczyń krwionośnych w przypadku pomiaru przepływu krwi w oku.

Do trudnych problemów, z którymi musiała zmierzyć się autorka, należy zaliczyć np. kwestię odwijania fazy. Zaproponowane przez autorkę rozwiązanie ujęte w opracowanym przez nią kodzie pozwala na szybkie odwijanie fazy przy pomiarze prędkości przepływu krwi w naczyniach krwionośnych oka, a to dzięki specyfice jego budowy, jak i właściwościom metody OCT. Osiągnięty wynik to odwijanie fazy w czasie ok. 1 sekundy dla pliku danych o wielkości 1.5 GB, co wielokrotnie, a nawet o rzędy wielkości przekracza wcześniejsze

osiągnięcia w tej mierze.

Nie mam uwag dotyczących układu pracy, bądź też sposobu potraktowania tematu. Sam problem postawiony w rozprawie został rozwiązany pomyślnie. Co więcej, na uwagę i uznanie zasługuje fakt, że autorka przedstawiła rozwiązanie problemu mającego znaczenie nie tylko czysto akademickie, ale także istotne znaczenie w przyszłej diagnostyce medycznej. Rozwiązanie problemu należy uznać za kompletne, gdyż oprócz zaproponowania odpowiednich procedur autorka dokonała ich sprawdzenia i dowiodła skuteczności otrzymanych rozwiązań.

Autorka w swoim dorobku posiada już pięć artykułów opublikowanych w czasopiśmie *Biomedical Optics Express*. Należy tu dodać, że czasopismo to w 2021 roku miało wartość impact factor wynoszącą 3.562 oraz że utrzymuje wartość tego wskaźnika w podobnej wysokości przez cały czas swojego istnienia, tj. od 2010 roku, co czyni z niego jedno z najbardziej poważanych i prestiżowych czasopism z zakresu szeroko rozumianej optyki biomedycznej i mieści się w pierwszym kwartylu pism z tzw. listy filadelfijskiej w kategorii fizyki atomowej i molekularnej oraz optyki. W ocenie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego liczba punktów za publikację w *Biomedical Optics Express* wynosi 140 punktów, co stanowi kolejne potwierdzenie tego, że opublikowanie pracy w tym czasopiśmie należy uznać za naprawdę duże osiągnięcie.

Wspomniane artykuły w kolejności ich ukazania się są następujące:

1. Michał Chłebiej, Iwona Gorczyńska, Andrzej Rutkowski, Jakub Kluczewski, Tomasz Grzona, Ewelina Pijewska, Bartosz L. Sikorski, Anna Szkulmowska, and Maciej Szkulmowski, "Quality improvement of OCT angiograms with elliptical directional filtering," *Biomed. Opt. Express* **10**, 1013-1031 (2019).

2. Ewelina Pijewska, Iwona Gorczyńska, and Maciej Szkulmowski, "Computationally effective 2D and 3D fast phase unwrapping algorithms and their applications to Doppler optical coherence tomography," *Biomed. Opt. Express* **10**, 1365-1382 (2019).

3. Ewelina Pijewska, Marcin Sylwestrzak, Iwona Gorczyńska, Szymon Tamborski, Mikolaj A. Pawlak, and Maciej Szkulmowski, "Blood

flow rate estimation in optic disc capillaries and vessels using Doppler optical coherence tomography with 3D fast phase unwrapping," *Biomed. Opt. Express* **11**, 1336-1353 (2020).

4. Ewelina Pijewska, Pengfei Zhang, Michał Meina, Ratheesh K. Meleppat, Maciej Szkulmowski, and Robert J. Zawadzki, "Extraction of phase-based optoretinograms (ORG) from serial B-scans acquired over tens of seconds by mouse retinal raster scanning OCT system," *Biomed. Opt. Express* **12**, 7849-7871 (2021).

5. Jiayue Li, Ewelina Pijewska, Qi Fang, Maciej Szkulmowski, and Brendan F. Kennedy, "Analysis of strain estimation methods in phase-sensitive compression optical coherence elastography," *Biomed. Opt. Express* **13**, 2224-2246 (2022).

Ponadto na dorobek publikacyjny autorki składa się jeszcze 10 komunikatów konferencyjnych, z których 5 opublikowanych w materiałach Annual Meeting of the Association-for-Research-in-Vision-and-Ophthalmology (ARVO) na łamach czasopisma *Investigative Ophthalmology & Visual Science* oraz 3 opublikowane w materiałach SPIE - The International Society for Optics and Photonics również są archiwizowane w indeksie cytowań Web of Science:

6. R. J. Zawadzki, P. Zhang, E. Pijewska, D. Valente, R. K. Meleppat, K. V. Vienola, S. J. Karlen, M. Szkulmowski, J. S. Werner, E. N. Pugh, and R. S. Jonnal, "Progress in measurements and interpretation of light-evoked retinal function using OCT-based optoretinography (ORG)," in *European Conferences on Biomedical Optics 2021 (ECBO)*, OSA Technical Digest (Optica Publishing Group, 2021), paper EW3C.1.

7. R. J. Zawadzki, E. Pijewska, K. V. Vienola, M. Meina, P. Zhang, R. K. Meleppat, M. Szkulmowski, and R. S. Jonnal, "Extraction of phase-based optoretinograms (ORG) from serial B-scans acquired by clinical-grade raster scanning OCT system," in *Biophotonics Congress: Biomedical Optics 2022 (Translational, Microscopy, OCT, OTS, BRAIN)*, Technical Digest Series (Optica Publishing Group, 2022), paper CS3E.2.

8. Robert J. Zawadzki, Pengfei Zhang, Ewelina Pijewska, Denise Valente, Ratheesh K. Meleppat, Kari V. Vienola, Sarah J. Karlen, M. Szkulmowski, John S. Werner, Edward N. Pugh, Ravi S. Jonnal, "Progress in measurements and interpretation of light-evoked retinal function using OCT based optoretinography (ORG)," Proc. SPIE **11924**, Optical Coherence Imaging Techniques and Imaging in Scattering Media IV, 119240M (9 December 2021).
9. E. Pijewska, M. Sylwestrzak, K. Wrobel, I. Gorczynska, S. Tamborski, M. A. Pawlak, M. Szkulmowski, "Blood flow rate estimation in optic disc capillaries and vessels using Doppler optical coherence tomography," Proc. SPIE **11359**, Biomedical Spectroscopy, Microscopy, and Imaging, 113590Q (22 April 2020).
10. E. Pijewska, I. Gorczynska, M. Szkulmowski, "Complex fast phase unwrapping method for Doppler OCT," Proc. SPIE **10867**, Optical Coherence Tomography and Coherence Domain Optical Methods in Biomedicine XXIII, 108672G (22 February 2019).
11. Ewelina Pijewska, Kari V Vienola, Michal Meina, Pengfei Zhang, Ratheesh K. Meleppat, Maciej Szkulmowski, Ravi S Jonnal, Robert J Zawadzki, "Extraction of phase-based optoretinograms (ORG) from serial B-scans acquired by clinical-grade raster scanning OCT system," Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. **63**, 4081, (2022).
12. Robert J Zawadzki, Pengfei Zhang, Ewelina Pijewska, Gabriel Peinado, Michal Meina, Ratheesh Kumar Meleppat, Maciej Szkulmowski, Edward N Pugh, "Progress on measurements and interpretation of Optoretinograms (ORG) in mice," Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. **62**, 2551 (2021).
13. Ewelina Pijewska, Marcin Sylwestrzak, Iwona Gorczynska, Szymon Tamborski, Mikolaj Pawlak, Maciej Szkulmowski, "Blood flow rate estimation in optic disc capillaries and vessels using Doppler optical coherence tomography," Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. **61**, 1737 (2020).
14. Maciej Szkulmowski, Maciej Nowakowski, Krzysztof Dalasinski, Maciej M Bartuzel, Krystian Wrobel, Szymon Tamborski, Ewelina Pijewska, Anna Szkulmowska, "High resolution Scanning Laser Ophthalmoscope imaging with ultrafast retinal tracking," Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. **60**, 176 (2019).

15. Maciej Szkulmowski, Maciej Nowakowski, Krzysztof Dalasinski, Maciej M. Bartuzel, Krystian Wrobel, Szymon Tamborski, Ewelina Pijewska, Anna Szkulmowska, "Ultrafast Scanning Laser Ophthalmoscope for retinal tracking and on-line correction of the eye motion artifacts," Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. **59**, 5874 (2018).

ul.Szachowa 1  
04-894 Warszawa  
tel.: [+48 22 ] 512 81 00  
fax: [+48 22 ] 512 86 25  
e-mail: info@il-pib.pl  
www.il-pib.pl

Przegląd wskaźników bibliometrycznych artykułów opublikowanych przez p. mgr inż. Ewelinę Pijewską wskazuje na ich wysoką jakość, która zaczyna być dostrzegana przez środowisko naukowe. Baza Web of Science zawiera 12 publikacji p. mgr inż. Eweliny Pijewskiej, liczba ich cytowań wynosi 26 w 24 artykułach, w tym 22 cytowania innych autorów wymienionych w 21 artykułach, a indeks Hirscha jest równy 3. Najwyżej cytowana z prac, tj. Michał Chlebiej, Iwona Gorczyńska, Andrzej Rutkowski, Jakub Kluczewski, Tomasz Grzona, Ewelina Pijewska, Bartosz L. Sikorski, Anna Szkulmowska, and Maciej Szkulmowski, "Quality improvement of OCT angiograms with elliptical directional filtering," Biomed. Opt. Express **10**, 1013-1031 (2019) zebrała już 12 cytowań i to pomimo tego, że została opublikowana stosunkowo niedawno, bo w 2019 roku.

Baza Scopus zawiera 9 publikacji autorki z 28 cytowaniami zawartymi w 25 cytujących publikacjach, z wartością indeksu Hirscha również równą  $h=3$ .

Z kolei ogólnodostępna baza Scholar Google podaje liczbę wszystkich cytowań równą 35, a indeks Hirscha wynosi 4. Wspomniana poprzednio najwyżej cytowana praca jest wymieniana tu również 12 razy.

Jak widać z powyższego przeglądu dorobku publikacyjnego doktorantki, jest on bogaty i różnorodny. Jestem przekonany, że liczba cytowań prac p. mgr inż. Eweliny Pijewskiej w przyszłości będzie szybko rosła, a to ze względu na to, że po pierwsze są one znaczące i stanowią istotny postęp w rozwoju metody OCT, a po wtóre postrzeganie i wejście do obiegu prac naukowych, a co za tym idzie, ich cytowania wymagają co najmniej kilku lat na to, żeby znaleźć odzwierciedlenie w bazach danych. Ranga czasopism, w których ukazały się prace doktorantki, świadczy o ich wartości. Dysertacja przedstawia także, a raczej przede wszystkim trudną do przecenienia wartość praktyczną ze względu na pomyślnie rozwiązanie całego szeregu trudności towarzyszących problemowi skutecznej i wydajnej analizy fazy



OCT. Na podkreślenie zasługuje możliwość oceny stanu badanych tkanek w czasie rzeczywistym lub przynajmniej znacznie krótszym, niż to miało miejsce poprzednio. Wobec powyższego uzasadniona wydaje mi się opinia autorki, że wraz z rozwojem zaproponowanych technik można oczekiwać w niedługim czasie przejścia metody OCT do praktycznego zastosowania w medycynie. Pragnę również zauważyć, że niniejsza rozprawa nie jest pierwszą powstałą w Katedrze Biofotoniki i Inżynierii Optycznej Instytutu Fizyki Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, którą mam okazję recenzować i dlatego chciałbym zauważyć, że powinno się ją postrzegać w szerszym kontekście wysiłków całego zespołu, co moim zdaniem podnosi jej wartość i zasługuje na dodatkowe uznanie. W mojej opinii teza rozprawy została pomyślnie i z sukcesem dowiedziona. Wziąwszy pod uwagę przytoczone powyżej powody uważam, że rozprawa p. mgr inż. Eweliny Pijewskiej zasługuje na wyróżnienie.

ul. Szachowa 1  
04-894 Warszawa  
tel.: [+48 22 ] 512 81 00  
fax: [+48 22 ] 512 86 25  
e-mail: info@il-pib.pl  
www.il-pib.pl

W konkluzji stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska p. mgr inż. Eweliny Pijewskiej p.t. "Phase-based methods in optical coherence tomography for estimation selected physical parameters of biological tissues" (Metody fazowe w optycznej tomografii koherencyjnej do wyznaczania wybranych parametrów fizycznych tkanek) zawiera rozwiązanie oryginalnego problemu naukowego i tym samym spełnia wymogi ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. (Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.) i na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony oraz o uznanie jej za wyróżniającą.

Zbigniew Jaroszewicz