

## Streszczenie

Podstawą pracy jest cykl jedenastu publikacji recenzowanych w tym sześciu artykułów z listy JCR i jednego artykułu w czasopiśmie międzynarodowym spoza listy JCR. W niniejszym przewodniku podsumowałem badania zrealizowane w trakcie przygotowania rozprawy. Celem rozprawy jest opracowanie wiarygodnej i wydajnej metodyki pomiarów i przetwarzania danych w wysokorozdzielczych metodach ilościowego obrazowania fazowego w dużym polu widzenia w zastosowaniach biomedycznych na poziomie komórkowym. Metody rozważane w pracy obejmują cyfrową mikroskopię holograficzną (DHM) i tomografię holograficzną (HT) charakteryzujące się niewielkimi, w pojedynczym pomiarze, polami pomiarowymi i wysoką rozdzielczością obrazowania. Aby osiągnąć założony cel, w pracy przedstawiono rozwiązania dwóch zagadnień: zszywania wielu obrazów DHM lub HT w jedno duże pole (odpowiednio 2D lub 3D) oraz opracowania ścieżki kompresji hologramów w celu ograniczenia rozmiaru zarchiwizowanych danych holograficznych. W obu rozwiązaniach kluczowym elementem i nowością jest metrologiczna analiza zaproponowanych rozwiązań.

W ramach pierwszego zagadnienia omówiłem problemy związane z precyzyjnym zszywaniem obrazów o charakterystycznych dla obrazowania fazowego cechach. Zaproponowałem i zaimplementowałem metodykę numerycznych korekcji obrazów, których zastosowanie pozwala w następstwie traktować takie obrazy za pomocą powszechnie dostępnych rozwiązań zszywania obrazów pochodzących z natężeniowych modalności mikroskopowych 2D i 3D. Poprawność i funkcjonalność rozwiązań została zaprezentowana na przykładach zszywania fazy hodowli komórkowych pozyskanej z wykorzystaniem DHM oraz zszywania rozkładów współczynnika załamania organoidów zrekonstruowanych w HT.

W ramach drugiego zagadnienia zaproponowałem i zaimplementowałem metodę wstępnego przetwarzania hologramów pozaosiowych, która w połączeniu z klasycznymi kodekami kompresji obrazów i wideo pozwala na znaczne ograniczenie objętości przechowywanych hologramów bez wprowadzania metrologicznie istotnych błędów. Metoda ta polega na zawężeniu szerokości pasma częstości przestrzennych hologramu do zdolności rozdzielczej układu obrazującego. Technika została początkowo zbadana w kontekście hologramów pochodzących z DHM, a następnie rozwinięta z uwzględnieniem charakterystycznego dla HT zmiennego kierunku oświetlenia obiektu. Zaproponowane metody znacznie zwiększają funkcjonalność DHM i HT w biomedycznych zastosowaniach badawczych i klinicznych.

**Słowa kluczowe:** ilościowe obrazowanie fazowe, metrologia optyczna, cyfrowa mikroskopia holograficzna, tomografia holograficzna, zszywanie obrazów, kompresja hologramów.

## Abstract

The dissertation is based on a series of eleven peer-reviewed publications including six articles from the JCR list and one article in an international journal from outside the JCR list. In this work, I have summarized the research carried out during my PhD program. The goal of the dissertation is to develop reliable and efficient measurement and data processing methodologies for high-resolution quantitative phase imaging methods in a large field of view for biomedical applications at the cellular level. The methods considered in the work include digital holographic microscopy (DHM) and holographic tomography (HT) characterized by small fields of view in a single measurement and high imaging resolution. To achieve the goal, the dissertation presents solutions to two issues: stitching multiple DHM or HT images into a single large field (2D or 3D, respectively) and developing a hologram compression path to achieve multi-fold reduction in the size of archived holographic data. A key element and novelty in both solutions is the metrological analysis of the proposed solutions.

Regarding the first issue, I discussed the problems of precise stitching of images with phase imaging characteristics. I have proposed and implemented a methodology for numerical image corrections, the application of which makes it possible to subsequently treat such images with commonly available solutions for stitching images from 2D and 3D intensity-based microscopic modalities. The correctness and functionality of the solutions were demonstrated by stitching the phase images of cell cultures acquired using DHM and stitching the refractive index distributions of organoids reconstructed in HT.

As part of the second issue, I proposed and implemented a preprocessing method of off-axis holograms, which, in combination with classical image and video compression codecs, makes it possible to significantly reduce the information size of stored holograms without introducing metrologically significant distortions. The method involves narrowing the spatial frequency bandwidth of the hologram to the resolving capacity of the imaging system. The technique was initially investigated in the context of holograms derived from the DHM, and later extended to take into account the variable direction of object illumination characteristic of the HT.

The proposed methods greatly enhance the functionality of DHM and HT in biological research and clinical applications.

**Keywords:** quantitative phase imaging, optical metrology, digital holographic microscopy, holographic tomography, stitching, hologram compression.