

Popularnonaukowe Streszczenie Projektu

Tytuł projektu: Numerycznie zaawansowana demodulacja fazy i amplitudy na potrzeby interferencyjnej mikroskopii optycznej z elementami tomografii

Kierownik projektu: mgr inż. Maciej Trusiak

Wnioskodawca: Politechnika Warszawska; Wydział Mechatroniki

Nowoczesne optyczne metody pomiaru z zastosowaniem zjawiska interferencji promieniowania laserowego umożliwiają ilościowe badania obiektów biomedycznych i inżynierskich w mikroskali. Informacja o lokalnych własnościach badanej struktury jest zakodowana w rozkładzie zespolonego pola optycznego przechodzącego lub odbitego od analizowanej próbki. Przedmiotowe zespolone pole optyczne składające się z członu amplitudowego i fazowego rejestrowane jest za pomocą np. matrycy CCD w postaci charakterystycznego rozkładu natężenia światła. Efekty rozpraszania i absorpcji światła odzwierciedlane są przez człon amplitudowy pola optycznego zaś efekty załamania światła (zróznicowania drogi optycznej) przez człon fazowy zespolonego pola optycznego. Podczas fotoelektrycznej rejestracji uwypuklany jest człon amplitudowy (natężenie światła jest proporcjonalne do kwadratu amplitudy uśrednionej w czasie akwizycji) przy jednoczesnej utracie informacji fazowej. W interferencyjnych i holograficznych metodach pomiaru wykorzystuje się zjawisko interferencji pola przedmiotowego z wiązką referencyjną. Tak tworzony jest interferogram (hologram) – rzeczywisty rozkład natężenia światła przechowujący informację o amplitudzie i różnicowej fazie wiązki przedmiotowej i referencyjnej. W większości przypadków przybiera on postać obrazu prążkowego, w którym informacja fazowa zakodowana w kształcie prążków jest możliwa do ponownego ekstrakowania. W ten sposób unikalne cechy transmisyjnych obiektów fazowych (np. biologicznych – czerwone krwinki, plemniki, komórki raka prostaty etc.; techniczne – polistyrenowe mikrokulki, macierz mikrosoczewek etc.) związane z rozkładem współczynnika załamania niedostrzegalne w klasycznym obrazie mikroskopowym stają się bardzo dobrze widoczne (wysokokontrastowe) w rozkładzie fazy interferogramu. Podobnie cechy odbiciowych mikroelementów technicznych, np. mikromembran, mogą być przechowywane w interferencyjnym rozkładzie fazy (kształt) i amplitudy (amplituda i faza drgań).

Prace w ramach grantu obejmować będą trzy główne cele:

(1) zaprojektowanie zaawansowanych algorytmów dynamicznej demodulacji (ekstrakcji) przedmiotowego członu amplitudowego i fazowego z pojedynczego interferogramu z zastosowaniem numerycznych metod np. transformacji Hilberta-Huanga;

(2) obrazowanie fazy i amplitudy pozwalające na wydajną analizę żywych i utrwalonych mikroobektów biologicznych i technicznych w nowym układzie mikroskopu siatkowego z wykorzystaniem drugiej harmonicznej rozkładu natężenia obrazu prążkowego. Zalety projektowanego układu to zdwojona czułość, szeroki zakres dynamiczny badanych funkcji fazowych, prosta konfiguracja interferometru wspólnej drogi oraz nowatorska technika demodulacji fazy i amplitudy;

(3) analiza możliwości rekonstrukcji trójwymiarowej struktury (rozkładu współczynnika załamania) żywych obiektów biologicznych określających specyficzny tor ruchu adaptowalny do sekwencji tomograficznej. Ta nowatorska technika tomografii fazowej pozwoliłaby na znaczną redukcję dotychczasowych ograniczeń (rozbudowane układy, złożone sekwencje oświetlania lub zmian położenia próbki oraz korekcja aberracji) wykorzystując własny ruch próbki.

Metodyka badań zakłada wykorzystanie numerycznych symulacji - komputerowe modele poszczególnych układów pomiarowych i próbek pozwolą opracować wyspecjalizowane i uniwersalne algorytmy jednoczesnego przetwarzania i analizy danych interferencyjnych w całym polu widzenia z minimalizacją błędów. Ostateczna weryfikacja zaimplementowanych algorytmów zostanie przeprowadzona w warunkach eksperymentalnych. Laboratoryjny układ mikroskopu siatkowego powstanie w Instytucie Mikromechaniki i Fotoniki Politechniki Warszawskiej a analizy tomograficzne żywych mikroobektów biologicznych przeprowadzimy we współpracy z grupą prof. Vicente Mico z Uniwersytetu w Walencji.

Zrealizowanie zakładanych celów badań wniesie znaczący wkład w rozwój optycznych metod obrazowania fazy i amplitudy – multidyscyplinarnych technik na pograniczu fizyki, optyki, biologii i komputerowej analizy danych. Rozwijanie planowanej tematyki badawczej pozwoli na poszerzenie możliwości analizy obiektów biologicznych poprzez opracowanie wyspecjalizowanych i uniwersalnych metod numerycznej analizy interferogramów i hologramów odpornych na zaburzenia środowiskowe, błędy rejestracji i skomplikowaną strukturę fazowo-amplitudową. Ponadto umożliwi zaprojektowanie nowego mikroskopu siatkowego wykorzystującego drugą harmoniczną rozkładu natężenia w obrazie prążkowym do wydajnej analizy utrwalonych i dynamicznych obiektów fazowych (zwiększenie czułości poprzez interferencje wielowiązkową). Doprowadzi również do ewaluacji tomografii fazowej wykorzystującej ruch własny próbki – nowej potencjalnie bardzo atrakcyjnej metody wyznaczania trójwymiarowego rozkładu współczynnika załamania odpowiadającego strukturze wewnętrznej dynamicznych (żywych) mikroorganizmów.