

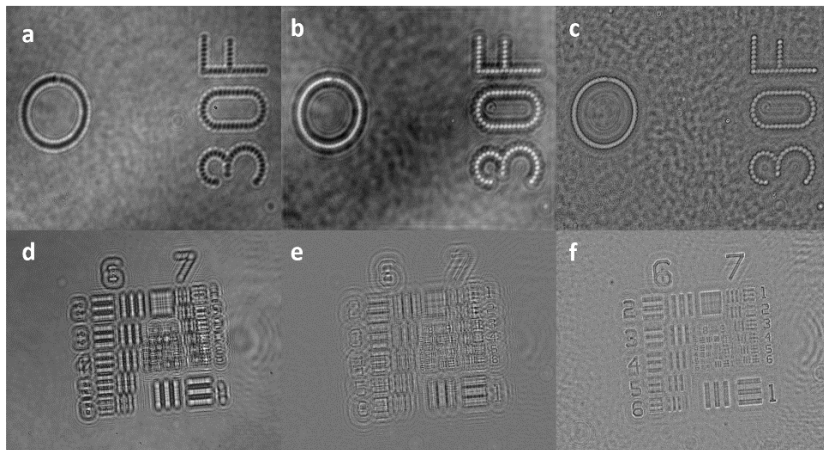
Celem projektu GaboScope jest eksperymentalno-numeryczny rozwój mikroskopii holograficznej Gabora (MHG) do szybkiego obrazowania żywych dynamicznych komórek w unikalnie dużych objętościach bez wykorzystywania soczewek ani markerów fluorescencyjnych. Zaletami bezsoczewkowej MHG jest (1) kompaktowa budowa układu składającego się ze źródła światła, próbki i matrycy detektora, (2) rejestracja hologramu poosiowego Gabora, który pozwala na efektywne wykorzystanie pasma detektora oraz na numeryczną propagację do płaszczyzny obiektu, (3) duża głębia ostrości bez ograniczeń apertury numerycznej obiektywu. Ze względu na zestaw unikalnych zalet metody MHG znalazły wiele specjalnych zastosowań w różnych gałęziach nauki, techniki i biomedycyny, np. cyfrowej histopatologii, badaniu mobilności plemników oraz holograficznej biopsji do detekcji pasożytów w ludzkich płynach ustrojowych. Co ciekawe, każda wiodąca cecha MHG jest także nieodłącznie związana z charakterystycznymi ograniczeniami holograficznej mikroskopii bezsoczewkowej.

1. Odległości między źródłem, próbką i detektorem determinują powiększenie i pole widzenia mikroskopu bezsoczewkowego – dążąc do kompaktowych rozwiązań stosuje się silnie sferyczne oświetlenie, czego nie uwzględniają klasyczne metody rekonstrukcji hologramów Gabora z użyciem fal płaskich. Ponadto minimalizacja odległości próbka-kamera prowadzi do pożądanych ogromnych pól widzenia (przekładających się na niespotykane duże zrekonstruowane objętości pomiarowe) ale i małego powiększenia i związanych z nim problemów z dostatecznym próbkowaniem (zbyt duże wymiary piksela). Dodatkowo, jakość wstecznej propagacji hologramu Gabora cierpi z powodu stosowania silnych przybliżeń dyfrakcyjnych i dużego upakowania obiektów. Ogromna głębia ostrości jest zaletą w dynamicznym obrazowaniu znacznych objętości 3D jednak powoduje wielokrotne rozpraszanie i nakładanie się, w płaszczyźnie hologramu, informacji z wielu płaszczyzn obiektowych. Specjalne algorytmy autofocusingu, segmentacji i śledzenia obiektów są zatem niezbędne. W ramach projektu GaboScope zakładana jest inkorporacja najnowszych rozwiązań z dziedziny analizy danych do wspomaganie MHG. Planujemy opracowanie nowego silnika numerycznej propagacji uwzględniającego sferyczność wiązki i wielokrotne rozpraszanie, pozwalającego na bardzo dokładne śledzenie dynamicznych obiektów w dużej objętości pomiarowej (tysiące milimetrów sześciennych z rozdzielczością < 1 mikrometra).

2. Rekonstrukcja hologramu Gabora, implementowana na drodze numerycznej propagacji zarejestrowanego hologramu do płaszczyzny obiektu, wiąże się z problemem obrazu bliźniaczego (ang. twin-image), który powstaje jako konsekwencja rejestracji poosiowej interferencji wiązki rozproszonej na obiekcie i wiązki niezaburzonej. Dodatkowo, odległość propagacji do płaszczyzny ostrości nie jest znana, stąd szerokie zastosowanie mają metody automatycznej detekcji płaszczyzny ostrości. Koherentne promieniowanie wymaga obiektu częściowo transparentnego oraz generuje szum plamkowy, który obniża jakość hologramów i rekonstrukcji. Redukcja szumu i obrazu bliźniaczego oraz automatyczna detekcja płaszczyzny ostrości są zatem bardzo interesującymi kierunkami obecnych badań w zakresie MHG i stanowią ważne otwarte problemy. W ramach GaboScope planujemy opracować nowe zaawansowane algorytmicznie rozwiązania o zwiększonym stosunku sygnału do szumu korzystające z pojedynczego hologramu (w przeciwieństwie do często stosowanych metod wieloobrazowych, które limitują rozdzielczość czasową układów MHG). Przykładowe wyniki prezentuje Rys. 1.

3. Opracowane numeryczne metody będą wspomagać dwa nowe autorskie układy mikroskopii bezsoczewkowej: (1) z dwoma źródłami światła umożliwiającymi wyższą rozdzielczość rekonstrukcji oraz (2) z wiązką sferyczną i translacją obiektu w celu jego tomograficznej rekonstrukcji (np. tomografia plemników i kardiomiocytów).

Metodyka badań zakłada wykorzystanie numerycznych symulacji do pełnej kontroli procesu rejestracji i rekonstrukcji danych w projektowanych układach. Komputerowe modele pozwolą opracować wyspecjalizowane i uniwersalne algorytmy analizy danych holograficznych w całej objętości pomiarowej z minimalizacją wspomnianych błędów i maksymalizacją rozdzielczości obrazowania 4D. Ostateczna weryfikacja zaimplementowanych algorytmów i nowych układów pomiarowych MHG zostanie przeprowadzona w warunkach eksperymentalnych we współpracy z partnerami (IMDiK PAN, The Arctic University of Norway, University of Valencia, Harvard University, Nanjing University of Science and Technology).



Rys. 1. Wstępne wyniki: (a) bezsoczewkowy hologram Gabora wygrawerowanych wzorów na soczewce progresywnej, (b) jego rekonstrukcja z widocznymi błędami silnego tła i prążkami bliźniaczego obrazu (twin-image), (c) rekonstrukcja wstępnie opracowaną metodą eliminacji błędu twin-image i redukcji tła; (d) bezsoczewkowy hologram Gabora amplitudowego testu rozdzielczości USAF, (e) rekonstrukcja z błędami twin-image, (f) wstępny wynik nowej rekonstrukcji bez błędów twin-image.