

Adaptacyjna metoda rekonstrukcji dla ptychografii Fourierowskiej oparta na konwolucyjnej sieci neuronowej

M. Cywińska^{1,†}, P. Zdańkowski¹

¹Politechnika Warszawska, Instytut Mikromechaniki i Fotoniki, ul. św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa, Polska

†email: maria.cywinska@pw.edu.pl

Fourierowska mikroskopia ptychograficzna [1] to technika obrazowania obliczeniowego, która pozwala na uzyskanie obrazów o wysokiej rozdzielczości i szerokim polu widzenia poprzez łączenie serii obrazów rejestrowanych dla różnych kątów oświetlenia. W metodzie tej obiekt jest wielokrotnie oświetlany falą płaską, przy czym dla każdej ekspozycji kąt padania światła jest inny. Odpowiada to przesunięciu okna w dziedzinie Fouriera, co umożliwia zebranie informacji o spektrum przestrzennym obiektu w sposób komplementarny. Podczas rejestracji obrazów detektor rejestruje jedynie amplitudę transformaty Fouriera mierzonego obiektu, natomiast informacja o fazie jest tracona. Dzięki temu, że kolejne obrazy zawierają częściowo pokrywające się fragmenty widma, możliwe jest iteracyjne odzyskanie brakujących danych. Wykorzystuje się do tego algorytmy rekonstrukcji, takie jak metody gradientowe [2], które stopniowo rekonstruuje zarówno amplitudę, jak i fazę obrazu w obu dziedzinach – Fouriera i przestrzennej. Ostatecznie, po pełnej rekonstrukcji spektrum przestrzennego, uzyskuje się obraz o znacznie wyższej rozdzielczości niż w przypadku pojedynczej ekspozycji, co pozwala przekroczyć ograniczenia wynikające z apertury numerycznej systemu optycznego.

Rozwiązania numeryczne oparte na sieciach neuronowych wkraczają we wszystkie dziedziny życia, w tym w metrologię optyczną [3]. Ciekawą alternatywą do klasycznych algorytmów rekonstrukcji dla ptychografii Fourierowskiej jest wykorzystanie konwolucyjnej sieci neuronowej [4]. Jest to nietypowe podejście, w którym poszukiwanym wynikiem nie jest wyjście sieci, a wagi warstwy konwolucyjnej, które zostają zoptymalizowane w procesie treningu. Trening sieci neuronowej opiera się na modelu matematycznym procesu obrazowania, który wyraża się wzorem:

$$I_n(x, y) = |O(x, y) * PSF_n(x, y)|^2, \quad (1)$$

gdzie $I_n(x, y)$ oznacza rejestrowany rozkład intensywności dla danego kąta, $O(x, y)$ obiekt mierzony, $PSF_n(x, y)$ funkcję rozmycia punktu dla danego kąta (ang. point spread function). Zbiór treningowy takiej sieci składa się zatem z obrazów rejestrowanych w układzie i odpowiadającym im funkcjom rozmycia punktu liczonym uwzględniając dany kąt oświetlenia. Proponowane rozwiązanie jest podejściem nienadzorowanym (ang. unsupervised) oraz opartym na fizyce (ang. physics-based). W oryginalnym rozwiązaniu zakłada się oświetlenie pod znanym kątem falą płaską pozbawioną aberracji. W niniejszej pracy proponujemy szereg rozwiązań optymalizujących algorytm pod kątem rzeczywistości eksperymentalnej (uwzględniające aberracje i oświetlenie falą sferyczną). Porównanie proponowanego podejścia optymalizacyjnego do algorytmu klasycznego zostało pokazane na rys. 1.



Rysunek 1: Porównanie klasycznej metody opartej o optymalizację gradientu i konwolucyjnej sieci neuronowej do rekonstrukcji danych dla ptychografii Fourierowskiej.

Podziękowania i źródła finansowania

Badania opisane w niniejszej publikacji są finansowane przez NCBR w ramach realizacji projektu LIDER14/0352/2023

Literatura

- [1] G. Zheng, R. Horstmeyer, C. Yang, *Nat. Photonics* 7, 739–745 (2013).
- [2] L. Tian, X. Li, K. Ramchandran, L. Waller, *Biomed. Opt. Express* 5, 2376–2389 (2014).
- [3] C. Zuo, J. Qian, S. Feng, W. Yin, Y. Li, P. Fan, J. Han, K. Qian, Q. Che, *Light: Science & Applications* 11, 39 (2022).
- [4] S. Jiang, K. Guo, J. Liao, G. Zheng, *Biomed. Opt. Express* 9, 3306–3319 (2018).