

## **Nadrozdzielczość ukryta w polu dalekim i przekształcenia przestrzenno-widmowe**

Odwzorowanie obiektów o rozmiarach mniejszych niż w przybliżeniu połowa długości fali na makroskopowe odległości tradycyjnymi metodami optycznymi jest niemożliwe. Mówi o tym prawo fizyczne, znane jako ograniczenie dyfrakcyjne. Metody mikroskopii nadrozdzielczej przekraczające ograniczenie dyfrakcyjne takie jak mikroskopia fluorescencyjna, mikroskopia stochastyczna STORM, czy różne rodzaje mikroskopii skaningowej, wykorzystują zjawiska fizyczne wykraczające poza obrazowanie optyczne. Ostatnie prace dotyczące mikroskopii z mieszaniami międzyskalowymi wskazują jednak na możliwość ominięcia ograniczenia dyfrakcyjnego metodami czysto optycznymi. Wykazano możliwość zrekonstruowania metodami obliczeniowymi informacji o obiektach podfalowych na podstawie pomiaru szerokopasmowego w polu dalekim. Warunkiem przeprowadzenia takiego pomiaru pośredniego jest umieszczenie wraz z próbką innej nanostruktury, na przykład siatki dyfrakcyjnej. Optyczne pole dalekie zawiera wtedy wymieszaną informację o obu obiektach, częściowo obejmującą detale, na których propagację nie pozwala ograniczenie dyfrakcyjne.

Przedmiotem projektu jest zbadanie możliwości odtworzenia obrazu obiektów podfalowych z pomiaru w polu dalekim. Wykorzystamy inną nanostrukturę fotoniczną niż siatka. Będzie to sztuczny wykonany przez nas metaliczno-dielektryczny tzw. metamateriał hiperboliczny, którego wykorzystanie w tym celu zaproponowano już teoretycznie. To struktura o niezwykłych właściwościach optycznych, która dla określonych kierunków propagacji przypomina albo metal, albo dielektryk. Jednakże, pomimo że w metalach nie jest możliwa propagacja, a w dielektrykach obowiązuje ograniczenie dyfrakcyjne, to w metamateriale hiperbolicznym mogą propagować się bardzo wysokie przestrzenne składowe harmoniczne obrazu odpowiadające za nadrozdzielczość. Można go więc wykorzystać do mieszania składowych harmonicznych obrazu, a po wyprzęgnięciu ze struktury obrazować za pomocą tradycyjnego układu mikroskopowego o wysokiej jakości.

Odtworzenie obrazu obiektu podfalowego z pomiaru pośredniego stawia wyzwania optyczne oraz obliczeniowe. Te drugie pomagają rozwiązać teoria oszczędnego próbkowania, dająca narzędzia do interpretacji niepełnych pomiarów pośrednich, które wydają się prowadzić do nierozwiązywalnych, niejednoznacznie określonych, problemów odwrotnych. Wykorzystuje w tym celu często istniejącą choć nie znaną wewnętrzną strukturę mierzonych danych, z którą związane jest pojęcie kompresowalności danych. Znana z życia codziennego możliwość znacznej kompresji uprzednio nieskompresowanych plików komputerowych o prawie dowolnej zawartości, stanowi praktyczny argument na rzecz wykorzystania tej teorii w bardzo różnych zastosowaniach. Istotnie ma to obecnie miejsce w wielu dziedzinach, także w optyce. Zwykle pomiar niepełny (kompresywny) wykorzystuje prostszy układ optyczny (hardware) kosztem znacznego wzrostu wymagań obliczeniowych (softwaru). Jak wiadomo taka strategia współcześnie jest jak najbardziej ekonomicznie słuszna.

Prowadzone przez nas pomiary będą właśnie wykorzystywać teorię oszczędnego próbkowania. Tak będzie działać zbudowany przez nas spektrometr, a następnie mikroskopowy spektrometr obrazujący (podobny do kamery z bardzo wieloma kanałami barwnymi) z modulacją elementem mikromechanicznym MEMS. Warto dodać, że rozwój podobnych (tańszych) hiperspektralnych i nadrozdzielczych metod obrazowania jest ważny dla wielu dziedzin, a w szczególności dla zastosowań biomedycznych.

Istotna część projektu dotyczy rozwoju metod próbkowania oraz metod rekonstrukcji obrazu w układach optycznych z pomiarem pośrednim. Ponadto modelowania zachowania światła w metamateriale hiperbolicznym i wyprowadzenia światła na zewnątrz metamateriału. Zamierzamy prowadzić rekonstrukcję wyniku pomiaru stopniowo rozbudowując model - najpierw w spektrometrze, potem w mikroskopowym spektrometrze obrazującym, a ostatecznie w tymże z dodatkową transformacją widma przestrzennego na częstotliwościowe (to właśnie funkcja metamateriału). Będzie się to łączyć ze stopniową rozbudową układu.

Ostatecznie, realizacja projektu ma na celu uzyskanie pierwszych wyników doświadczalnych obrazowania pośredniego z wykorzystaniem metamateriału hiperbolicznego i z pomiarem w polu dalekim.