

Ocena dorobku naukowego

dr inż. Michała Makowskiego ubiegającego się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych

Dr inż. Michał Makowski ukończył z wyróżnieniem Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej PW w 2002r, następnie studia doktoranckie na Wydziale Fizyki PW. W 2007 r obronił doktorat na podstawie pracy „Hologramy Fresnela scen przestrzennych uzyskiwane iteracyjnie”.

Od 2007 r pracuje jako adiunkt na Wydziale Fizyki PW.

Dr inż. Michał Makowski przedstawił zestaw 7 współautorskich publikacji jako osiągnięcie naukowe

„Dyfrakcyjna projekcja dwuwymiarowych, barwnych rozkładów natężenia światła”.

Przedstawiony zestaw prac dokumentuje postęp w rozwiązywaniu problemu będącego drogą ku miniaturowym rzutnikom obrazu. Celem prac była więc projekcja obrazu (zadanego rozkładu natężenia światła) bez soczewki, z wykorzystaniem dyfrakcji na czysto fazowym przestrzennym modulatorze światła (ang. Spatial Light Modulator, SLM). Postawionym cel wymagał dobrania rozkładu fazowego hologramu zaadresowanego na SLM, tak by na ekranie utworzony został się zadany obraz z najmniejszymi zniekształceniami -minimalizując defekty lokalne obrazu, całkowitą niejednorodność jasności oraz szum spekulowy. Zagadnienie to wymagało nie tylko oryginalnego pomysłu (zaprezentowanego przez dr. inż. Makowskiego) ale i zaawansowanych i wieloetapowych prac tak numerycznych, konstrukcyjnych jak i doświadczalnych.

W pierwszej pracy H1 „Color image projection based on Fourier holograms”

SLM został oświetlony trzema wiązkami zbieżnymi, co sprawiło, że w miejscu przewężenia wiązek wytworzyło się pole tożsame z transformatą zawartości wyświetlonej na SLM, zakodowane we wcześniej obliczonych hologramach Fouriera. Oryginalnym pomysłem dr Makowskiego było podzielenie modulatora SLM na trzy części oraz pokrycie ich filtrami barwnymi dedykowanymi do długości fali trzech wiązek laserowych o kolorach podstawowych: czerwonym, zielonym i niebieskim. Umożliwiło to tworzenie obrazu barwnego na ekranie projekcyjnym z każdej klatki wyświetlonej na SLM (tzn. bez podziału

czasowego kolorów składowych). Dzięki temu osiągnięto prędkość wyświetlania równą 60 kl/s i bardzo stabilny, nie migoczący obraz bez rozpadu kolorów. Wykazano, że zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi i symulacjami komputerowymi rozdzielczość uzyskanych obrazów (tj. ilość wyświetlonych punktów obrazu) odpowiadała ilości pikseli SLM przypadającej na jeden kolor. Był to ważny wniosek wskazujący na fakt, że o jakości projekcji decyduje głównie liczba wykorzystywanych pikseli a nie ich rozmiary. Dzięki dużej liczbie pikseli modulatora (Full HD, tj. 1920 na 1080 pikseli) udało mi się uzyskać obrazy barwne o zadowalającej rozdzielczości około 1/3 Full HD z błędem pozycjonowania składowych barwnych poniżej 1 piksela. Pokazano również istotną cechę aplikacyjną proponowanej techniki projekcji- poprzez nakładanie na hologramy na SLM odpowiednich fazowych funkcji korygujących.

Wykorzystane trzy wiązki zbieżne umożliwiły eliminację soczewek. Osiągnięto wysokiej jakości, kontrastowe, barwne obrazy na ekranie projekcyjnym. Wykorzystano iteracyjną technikę optymalizacji fazy według algorytmu Gerchberga-Saxtona (G-S). Jednak zbieżny charakter wiązek oświetlających powodował uwypuklenie plamki zerowego rzędu.

Właśnie całkowite usunięcie plamki zerowego rzędu z ekranu projekcyjnego było celem

pracy H2 **"Efficient image projection by Fourier electroholography"**

Dokonano tego poprzez filtr numeryczny- nałożenie na rozkłady fazowe hologramów Fouriera wyświetlonych na SLM czynników fazowych równoważnych soczewce rozpraszającej. Obrazy odtwarzane z hologramów powstawały na ekranie odsuniętym o odległość około 1 m od płaszczyzny fourierowskiej wytworzonej w torze optycznym w przewężeniu zastosowanych wiązek zbieżnych. Przy użyciu amplitudowego filtra górnoprzepustowego uzyskanego fotograficznie zasłonięta została plamka zerowego rzędu ugięcia tak, by pole dyfrakcyjne z nią związane nie docierało do ekranu projekcyjnego. Jednocześnie zaobserwowano i zmierzono wpływ techniki czasowej integracji szumu speklowego na jakość rekonstrukcji holograficznych, fotografowanych przy przedłużonym czasie ekspozycji.

Problem ten stał się celem pracy H3 **"Complex light modulation for lensless image projection"**.

Zastosowano układ dwóch bliźniaczych modulatorów fazowych SLM, z których jeden był obrazowany na drugim przy użyciu pary soczewek.

Prace rozpoczęły się od obliczenia amplitudowo-fazowego hologramu Fresnela w wyniku wstecznej propagacji amplitudowego pola o rozkładzie natężenia tożsamym z zawartością docelowego obrazu od płaszczyzny ekranu do płaszczyzny modulatora. Pierwszy SLM służył do wyświetlenia na powierzchni drugiego SLM rozkładu amplitudy hologramu realizując

