

Z28B - HOLOGRAFIA CYFROWA

II Pracownia Fizyczna

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński

W tym ćwiczeniu wykonywana jest tak zwana bezsoczewkowa holografia fourierowska (lensless Fourier-transform holography), zwana też hologafią kwazi-fourierowską. Jest ona odpowiednikiem klasycznej holografii transmisyjnej, w której hologram nie jest rejestrowany na światłoczułej kliszy fotograficznej, ale na matrycy kamery cyfrowej. W podstawowej wersji, przy odtwarzaniu hologamu cyfrowego nie uzyskujemy zatem fizycznego obrazu przedmiotu, ale odtwarzamy go metodami matematycznymi na komputerze. W czasie ćwiczenia studenci uczą się projektowania i wykonywania układów optycznych oraz zapoznają się z dziedziną tak zwanej optyki fourierowskiej.

Zagadnienia do przestudiowania

Ćwiczenie rozpoczyna się ustnym sprawdzeniem wiadomości oraz wyników zadań wstępnych.

1. Co to jest laser? Jakie są podstawowe elementy składowe lasera? Jakie są właściwości promieniowania laserowego? [1, 2]
2. Spójność przestrzenna i czasowa fal świetlnych. [1], załącznik A w [2]
3. Idea rejestracji i odtwarzania hologramów transmisyjnych. [3, 2, 4]
4. Opis matematyczny holografii cyfrowej [5, 6, 7], dla zainteresowanych [8]
5. Plan budowy układu optycznego [5, 9].

Zadania obliczeniowe

1. Proszę policzyć, jaki może być maksymalny kąt między wiązką przedmiotową i referencyjną, przy którym jeszcze da się zapisać obraz interferencyjny gdy rejestracji hologramu dokonuje się na matrycy kamery o rozmiarze piksela $3.45 \mu m$ [3].
2. Korzystając z wyniku powyższego zadania, proszę policzyć, jaki jest maksymalny rozmiar przedmiotu, którego hologram się wykonuje, zakładając, że odległość przedmiot-matryca wynosi 35 cm?

Aparatura i materiały

Układ eksperymentalny przedstawiony jest na Rys. 1 i zawiera:

1. laser helowo-neonowy (He-Ne) o mocy 7 mW,
2. lustro oraz płytki światłodziące,
3. soczewki rozpraszające i skupiające,
4. filtry neutralne (szare),
5. kamera 5.0 MP Mono GigE firmy Point Grey wraz z oprogramowaniem,

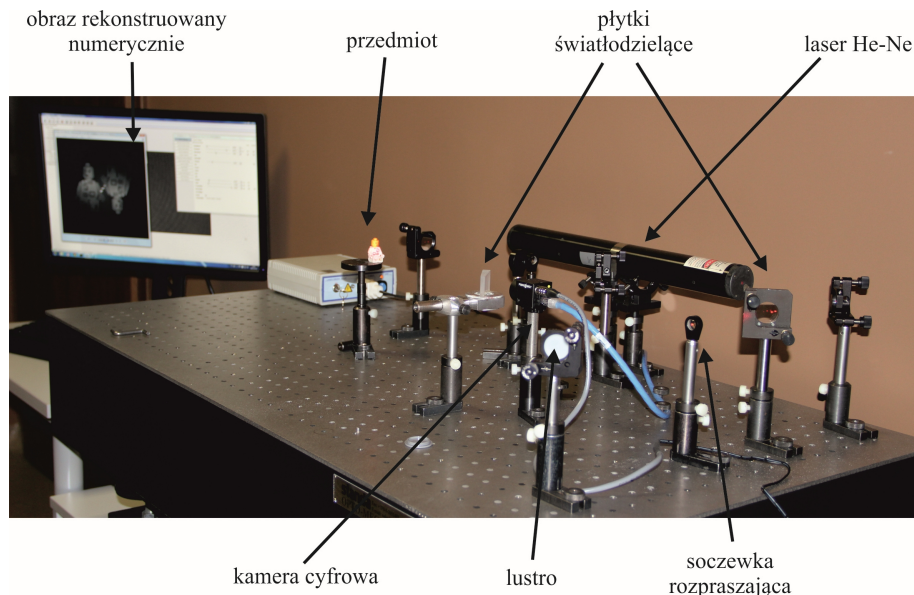
6. komputer z programem AppFFT oraz Wolfram Mathematica.

Program ćwiczenia

1. Skonstruowanie i optymalizacja układu do rejestracji hologramów transmisyjnych na matrycy kamery cyfrowej. Obserwacja i optymalizacja obrazu prążków interferencyjnych na komputerze.
2. Rejestracja hologramów, a także zdjęć samej wiązki przedmiotowej i samej wiązki referencyjnej.
3. Numeryczna rekonstrukcja zarejestrowanych hologramów metodą transformacji Fouriera.
4. Analiza zrekonstruowanych hologramów – rozpoznawanie źródeł charakterystycznych elementów w otrzymany obrazach, analiza wpływu geometrii wiązek laserowych na otrzymany obraz.
5. Rejestracja około 20 hologramów, różniących się jedynie lekką zmianą kąta padania wiązki laserowej na przedmiot. Cyfrowa rekonstrukcja hologramów i uśrednienie otrzymanych zdjęć. Zdjęcie wynikowe charakteryzuje się znacznie zredukowanymi speklami – charakterystycznymi plamkami pochodzącymi od interferencji spójnego światła laserowego na chropowatych powierzchniach (tu – na przedmiocie).

Opracowanie wyników

Głównym wynikiem pracy są w tym ćwiczeniu numerycznie zrekonstruowane, zoptymalizowane i zinterpretowane hologramy. Rekonstrukcji numerycznej hologramów cyfrowych można dokonać w programie AppFFT dostępnym na komputerze przy ćwiczeniu. Program umożliwia import hologramów w formacie .bmp, wykonanie dyskretnej transformacji Fouriera hologramu, zapisanie otrzymanego zdjęcia do pliku wynikowego, a także uśrednienie wielu zdjęć wynikowych. Jeśli jest konieczna taka korekta, program umożliwia znalezienie optymalnej ostrości jednego z dwóch obrazów uzyskiwanych z hologramu, dzięki pomnożeniu hologramu przez człon propagacyjny $\exp(ik_2d)$,



Rysunek 1: Układ eksperymentalny – holografia cyfrowa

gdzie d odpowiada różnicy dróg: kamera-przedmiot oraz kamera-punkt, z którego pozornie rozbiega się wiązka referencyjna. Korzystając z transformacji Fouriera zdjęć samej wiązki referencyjnej i samej wiązki przedmiotowej w zrekonstruowanym hologramie, należy przeanalizować źródła pochodzenia poszczególnych charakterystycznych elementów w odtworzonych obrazach – centralnej plamki, centralnej poświaty, obu obrazów przedmiotu. Należy zrekonstruować serię hologramów różniących się delikatną zmianą kąta padania wiązki oświetlającej przedmiot. Dzięki takiemu zabiegowi, na każdym obrazie odtworzonym z hologramu, widoczny będzie nieco inny układ spekli (plamek), wynikających z niepożądanego u nas interferencji rozproszonego na przedmiocie spójnego światła laserowego. Odtworzone obrazy należy uśrednić w programie ApFFT.

- [4] R. Meyer-Arendt, *Wstęp do optyki*, PWN, 1977
- [5] Instrukcja do ćwiczenia Z28B – holografia cyfrowa
- [6] W.T. Cathey, *Optical information processing and holography*, 1974 (książka dostępna u prowadzącego T. Kawalca)
- [7] U. Schnars and W. Jüptner, *Applied Optics* **33**, 179 (1994), *Direct recording of holograms by a CCD target and numerical reconstruction*
- [8] U. Schnars, C. Falldorf, J. Watson, W. Jüptner, *Digital Holography and Wavefront Sensing Principles, Techniques and Applications*, 2015,
- [9] J. Mundt, T. Kreis, *Optical Engineering* **49**, 125801 (2010), *Digital holographic recording and reconstruction of large scale objects for metrology and display*.

Zasady BHP

- **Nie wolno patrzeć wprost w wiązkę laserową!** Może to spowodować trwałe uszkodzenie oka.
- Należy pamiętać, że równie niebezpieczne może być światło z lasera odbite od lusterek, ale też pierścionków, bransoletek i zegarków.
- **Zaleca się używanie okularów ochronnych.**

Literatura

- [1] W. Demtröder, *Spektroskopia laserowa*, PWN, 1993
- [2] B. Hariharan, *Basics of Holography*, Cambridge University Press, 2001
- [3] Instrukcja do ćwiczenia Z28 – holografia klasyczna