



## ĆWICZENIE 5/6 HOLOGRAM SYNTETYCZNY

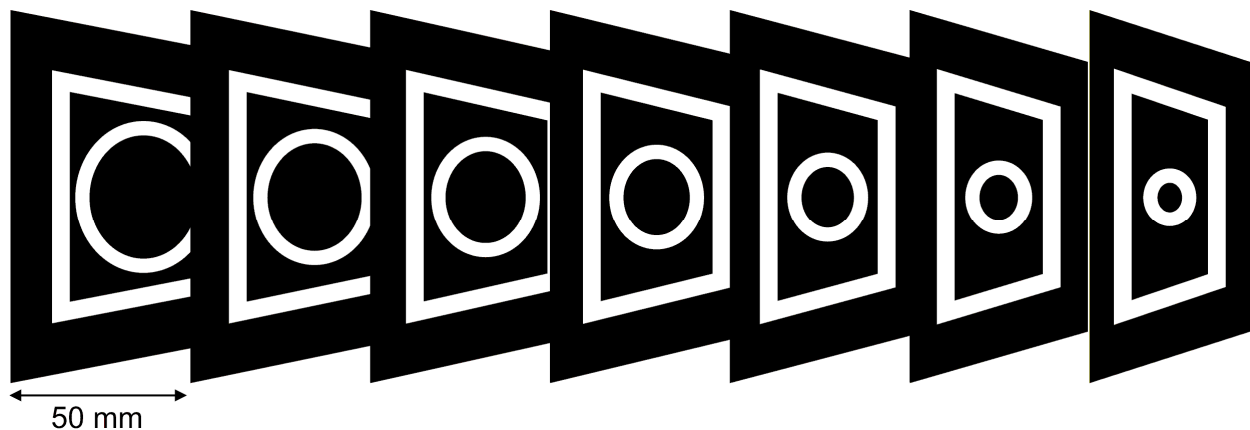
### Wstęp teoretyczny

Celem ćwiczeń laboratoryjnych z cyklu "Holografia Syntetyczna" jest przygotowanie sceny przestrzennej oraz obliczenie tworzonych przez nią rozkładów pola dyfrakcyjnego w płaszczyźnie hologramu Fresnela. Obliczony rozkład pola posłuży do sporządzenia hologramu syntetycznego w części drugiej cyklu.

### *Projekt sceny przestrzennej*

Ze względu na specyfikę metody używanej do obliczania rozkładów dyfrakcyjnych w strefie Fresnela pochodzących od obiektów przestrzennych, wymagane jest by obiekty te składały się z płaszczyzn równoległych do hologramu. Mogą to być np. przekroje poprzeczne obiektu trójwymiarowego.

Ze względu na długi czas obliczeń rozkładu pola od każdej z płaszczyzn, sugerowany jest dobór prostych obiektów, złożonych z nie więcej niż kilku- kilkunastu płaszczyzn.



Rysunek 1 Przykładowa scena przestrzenna podzielona na płaszczyzny.



## Uwaga!

Wykonujący ćwiczenie powinni przygotować obiekty w ramach przygotowania do zajęć laboratoryjnych (przed zajęciami), w postaci bitmap (format BMP) o rozmiarach 1024x1024 punkty, 8 bitów na piksel (indeks 0 odpowiada czerni, indeks 255 bieli). Istotne jest, by kolejne przekroje skrajnie nie różniły się zawartością, lepsze efekty dają płynne transformacje kształtów, jak pokazano na Rys. 1.

Pole dyfrakcyjne pochodzące od zaprojektowanej sceny przestrzennej będzie obliczane przy pomocy programu LS 6.0. Program ten jest dostępny w Pracowni Informatyki Optycznej IF PW. Po uruchomieniu programu LS 6.0 najpierw należy utworzyć nową tablicę w której będzie zapisywany rozkład zespolonej amplitudy poprzez „File”>„New” i wybieramy rozmiar tablicy na 1024x1024. Następnie z menu „Options”>„Configuration” ustawiamy w odpowiedniej zakładce długość fali świetlnej („Lambda”) 0,6328  $\mu\text{m}$  - długość fali generowanej przez laser He-Ne, który będzie używany do rekonstrukcji obrazu zapisanego na wykonanym hologramie. Konieczne jest także zadeklarowanie odległości próbkowania. Proponowana odległość próbkowania to 20,0  $\mu\text{m}$  w obu kierunkach („Sampling X” oraz „Sampling Y”), co odpowiada rzeczywistym rozmiarom hologramu 20,48 x 20,48 mm.

### *Import utworzonej sceny do programu LS 6.0*

Program LS 6.0 pozwala na stworzenie prostych scen, złożonych z płaszczyzn równoległych do hologramu. W przypadku skomplikowanych scen jest jednak wygodniej zaprojektować je przy użyciu specjalistycznych programów graficznych (np. Adobe Photo Shop, Paint Shop Pro, Photo Styler, Photo Paint, Paint Brush) oraz zapisać jako zestaw bitmap odpowiadających kolejnym płaszczyznom sceny.

Program LS 6.0 potrafi zaimportować (przetworzyć na własny format) bitmapy spełniające następujące warunki:

- bitmapa musi być formatu BMP (niekompresowanego),
- musi być w 8 bitowym trybie indeksowym; zakładane jest, że indeks odpowiada jednemu z 256 odcieni szarości,
- bitmapa jest rozmiaru  $N \times N$  punktów, gdzie  $N$  jest potęgą liczby 2. Wszystkie bitmapy wchodzące w skład danej sceny muszą mieć te same rozmiary.

Dla celów ćwiczenia najodpowiedniejsze będą bitmapy 1024x1024 punkty. Elementy sceny powinny mieć odcień szarości równy 255, a tło 0 (czerni). Ze względu na długi czas obliczeń proponowane jest podzielenie sceny przestrzennej na około 10 płaszczyzn.

W trakcie ćwiczenia należy zaimportować przyniesione bitmapy jako rozkłady amplitudy kolejnych płaszczyzn sceny i zapisać jako pliki TAB. Import bitmapy następuje przez wybranie opcji „Import from BMP” z menu „Create”.



## *Kompozycja sceny przestrzennej z płaszczyzn*

Do oświetlania sceny wykorzystywana będzie fala płaska, propagująca się wzdłuż osi układu w kierunku hologramu (zakładamy, że osią układu jest prosta prostopadła do płaszczyzny hologramu, przecinająca go w jego środku). Program LS 6.0 pozwala na wygenerowanie takiego oświetlenia.

Stosowane są dwie metody zapisu na hologramie syntetycznym scen składających się z płaskich obiektów, położonych na równoległych płaszczyznach:

- 1) pola w płaszczyźnie hologramu, pochodzące od każdej z płaszczyzn, są liczone niezależnie, a następnie sumowane - można uzyskać w ten sposób hologram przenikających się obiektów samoświecących;
- 2) liczone jest pole od płaszczyzny położonej najdalej od hologramu. Potem należy wykonać propagację do kolejnej płaszczyzny, w której pole jest modyfikowane przez funkcję transmitancji obiektu w leżącym w tej płaszczyźnie (dla obiektów binarnych: pole jest zerowane tam, gdzie obiekt jest nieprzejrysty i niemodyfikowane tam, gdzie obiekt jest przejrzysty). Następnie wykonywane są te dwie czynności, aż do momentu osiągnięcia rozkładu pola w najbliższej płaszczyźnie. Na koniec należy wykonać propagację z płaszczyzny położonej najbliżej hologramu do płaszczyzny hologramu. W ten sposób można uzyskać efekt przesłaniania obiektów.

Można oczywiście korzystać zamiennie z obu metod przy wykonywaniu konkretnego hologramu.

Cały obiekt należący do zaprojektowanej sceny przestrzennej powinien być umieszczony w odległości nie mniejszej niż 500 mm i nie większej niż 1000 mm od płaszczyzny hologramu. Odległość pomiędzy poszczególnymi płaszczyznami powinna być około 50 mm. Tak więc sam obiekt powinien mieć głębię rzędu pięciuset milimetrów.

## *Nałożenie na sceny przypadkowego rozkładu fazy*

Na kolejne płaszczyzny sceny (zaimportowane z bitmap i zapisane w plikach typu TAB) należy nałożyć przypadkowe rozkłady fazy (rozpraszacze) - przez wybranie opcji „*Diffusor*” z menu „*Structure*”. Umożliwiają one zmniejszenie dynamiki rozkładu amplitudy pola dyfrakcyjnego w płaszczyźnie hologramu. W takiej sytuacji można założyć, że amplituda na hologramie jest stała (równa 1) i pominąć przy jego zapisie informacje o zmianach amplitudy. Upraszcza to w znaczący sposób kodowanie rozkładu pola i wykonanie hologramu (ale jest to dosyć grube przybliżenie).



## *Propagacja*

Przy pomocy programu LS 6.0 należy wyznaczyć rozkład pola dyfrakcyjnego w strefie Fresnela w płaszczyźnie hologramu, pochodzącego od każdej z płaszczyzn sceny z nałożonym rozpraszaczem (opcja „*Propagation on-axis*” w menu „*Propagation*”). Należy dokonać obliczeń z przepisywaniem danych na wektor podwójnej długości, czyli zastosować okna propagacji. Przewidziany zakres odległości obiektu od płaszczyzny hologramu (od 500 mm do 1000 mm) pozwala na policzenie rozkładu pola od każdej z płaszczyzn obiektu w jednym kroku propagacji.

## *Obliczenie sumarycznego pola w płaszczyźnie hologramu*

Obliczone pola dyfrakcyjne od każdej z płaszczyzn sceny przestrzennej muszą zostać zsumowane (w sposób zespolony). Czynność ta wykonywana jest przy użyciu opcji „*Mathematical*” > „*Addition*” w menu „*Operations*”. Polecenie to dodaje do rozkładu amplitudy zespolonej przechowywanego w pamięci komputera, rozkład zawarty we wskazanym pliku TAB. Należy w ten sposób dodać rozkłady pól pochodzące od wszystkich płaszczyzn sceny.

W powyższy sposób otrzymuje się rozkład pola dyfrakcyjnego w płaszczyźnie hologramu obiektu samoświecącego.

## *Generacja wydruku*

Należy wykonać eksport fazy (phase) do pliku („*Export*”->„*Custom*”). Ze względu na możliwość późniejszych błędów w procesie obróbki chemicznej płyty holograficznej, należy również wyeksportować negatyw rozkładu fazy. W tym celu należy użyć opcji *Operations*->*Complex Coupling*. Oba pliki należy wydrukować na kartkach formatu A4 przy zachowaniu proporcji boków obszaru zadrukowanego 1:1.

## *Wykonanie hologramu syntetycznego*

Hologram syntetyczny zostanie wykonany poprzez fotograficzne zmniejszenie zakodowanego na wydruku rozkładu fazy. Pomniejszenie najprościej jest wykonać aparatem fotograficznym, który powinien być zaopatrzony w dobrze skorygowany obiektyw, przenoszący wysokie częstotliwości przestrzenne.

Aparat należy załadować płytką holograficzną Agfa-Gevaert 10E56 (najlepiej anti-halo) (o rozdzielczości ok. 2800 linii/mm), przyciętą do rozmiaru ok. 24x36 mm.

### **Uwaga!**

Przycinanie, ładowanie do aparatu i obróbka chemiczna ww. płyt holograficznych musi być przeprowadzana przy czerwonym świetle.

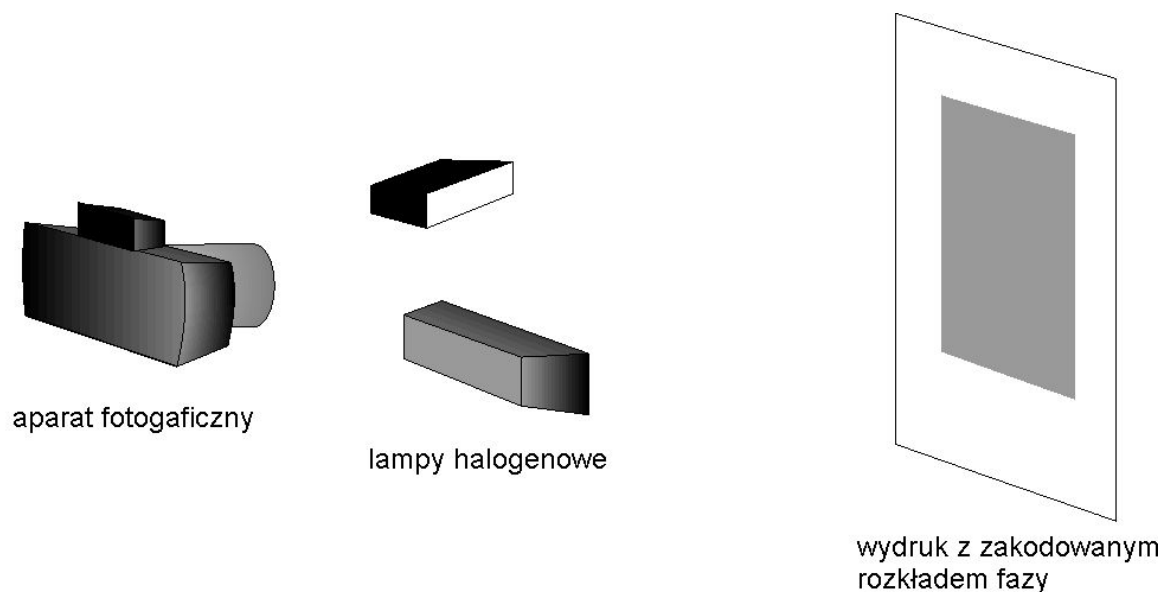
Wydruki zakodowanej fazy oraz negatywu rozkładu fazy należy zamocować obok siebie w pozycji pionowej, na stabilnym przedmiocie. Oś optyczna obiektywu aparatu fotograficznego



powinna być skierowana prostopadłe na centrum płaszczyzny wydruków. Przystosowaną obiektywę należy ustawić na 5.6, a czas otwarcia migawki na ręczne sterowanie, czas rzędu 6 sekund. Migawka powinna być uruchamiana wężymkiem spustowym (aby uniknąć poruszenia aparatu fotograficznego).

Każdy z wydruków ma zostać pomniejszony do rozmiarów 20,48 x 20,48 mm (rozmiar hologramu zadeklarowany w programie LS 6.0 podczas obliczania rozkładu pola dyfrakcyjnego). Odległość aparatu od wydruku należy obliczyć z równania soczewki zakładając, że ogniskowa  $f = 50$  mm. Dopuszczalne jest nie zmieszczenie się w kadrze części wydruku – nie wpływa to znacząco na jakość odtworzenia, gdyż hologram jak każdy element dyfrakcyjny pracuje całą powierzchnią.

Do oświetlenia wykorzystane zostaną dwie mocne lampy halogenowe, ustawione w odległości ok. 70 cm od wydruku (Rys. 2).



*Rysunek 2 Układ wykorzystywany do fotograficznego pomniejszania zakodowanego rozkładu fazy, zapisanego na wydruku z drukarki laserowej. W aparacie fotograficznym znajduje się fragment płyty holograficznej.*

### *Przykładowe parametry naświetlania i obróbki chemicznej*

Hologram należy naświetlać ok. 6 sekund, wywoływać 2 minuty w wywoływaczu A-71, utrwalać 4 minuty w utrwalaczu U1 i płukać w bieżącej wodzie ok. 10 sekund. Następnie płytkę należy zanurzyć w odbielaczu na ok. 3 minuty do uzyskania przezroczystości. Podczas odbielania należy poruszać kuwetą. Na koniec płytkę dokładnie wypłukać przez około 10 sekund w bieżącej zimnej wodzie.

Uzyskana płytkę po wysuszeniu suszarką zawiera dwa hologramy fazowe.



## *Obserwacja obrazów tworzonych przez hologram syntetyczny*

Idealny hologram fazowy tworzy na osi optycznej obraz zarejestrowanego obiektu: pozorny lub rzeczywisty (-1 lub +1 rząd ugięcia). W rzeczywistości ze względu na ograniczoną wydajność dyfrakcyjną obrazy te tworzone są jednocześnie. Ponadto tworzone są wyższe rzędy ugięcia, które są znacznie słabsze (mniej widoczne).

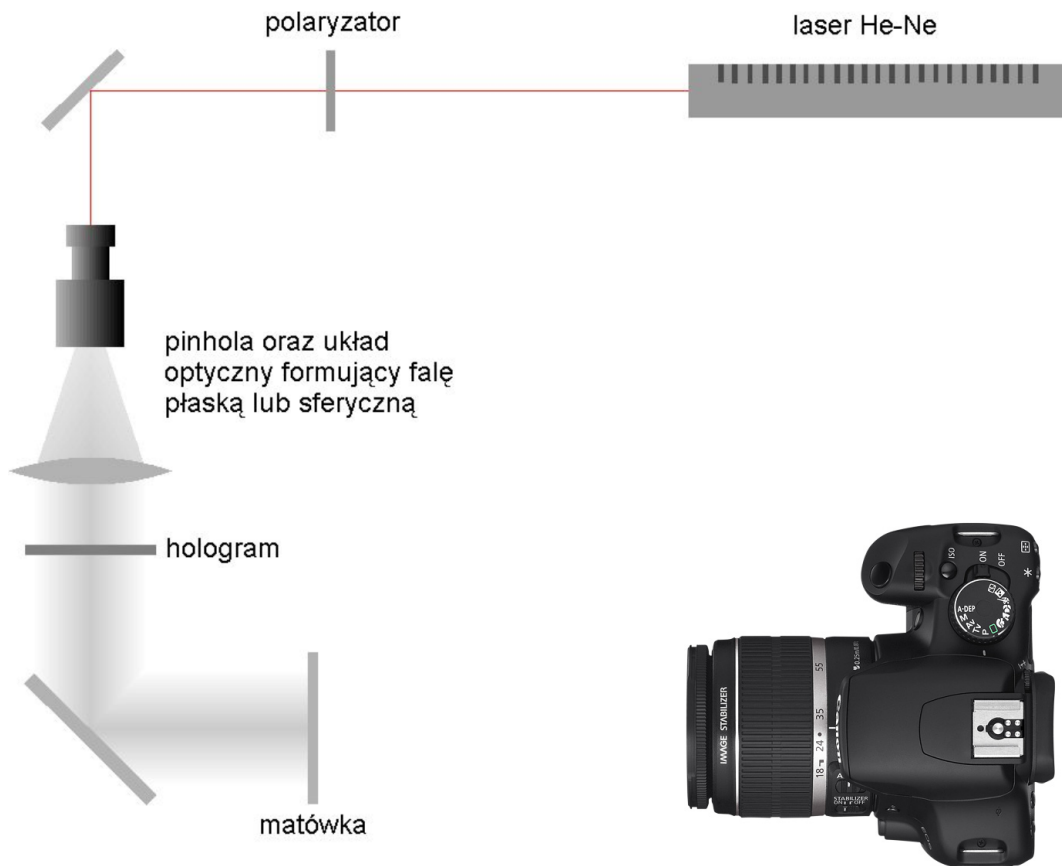
Oprócz obrazów na osi optycznej, powstają również obrazy pozaosiowe - szczególnie dobrze widoczne jako obrazy pozorne. Ich istnienie wynika z próbkowania rozkładu amplitudy zespolonej w płaszczyźnie hologramu, prowadzącego do powielania się obrazów sceny.

Obserwacja obrazów pozornych tworzonych przez hologram jest możliwa przy użyciu monochromatycznego źródła światła o odpowiednio dużej spójności przestrzennej. Rolę takiego źródła światła może pełnić np. lampa sodowa lub dioda LED osłonięta przysłoną z okrągłym otworkiem lub rozszerzona i osłabiona wiązka światła laserowego. Wygodnie jest używać do obserwacji fali kulistej, tworzonej przez pinholę oświetloną laserem He-Ne o małej mocy. W odległości kilku metrów fala ta ma już odpowiednio małe natężenie by nie uszkodzić wzroku i wystarczająco duży promień krzywizny by zniekształcenia wywołane sferycznością wiązki nie były dostrzegalne.

W trakcie obserwacji obrazu pozornego należy umieścić hologram w odległości kilkunastu centymetrów od oka. Jeżeli zarejestrowana na hologramie scena ma dużą głębię, będzie można dostrzec paralaksę w obrazie przy ruchach głowy lub hologramu. Do obserwacji należy użyć jednego z dwóch zapisanych hologramów, wykazującego lepszą widoczność obrazu pozornego.

W trakcie ćwiczenia należy również wykonać zdjęcia (przy pomocy aparatu cyfrowego) rekonstrukcji kilku płaszczyzn sceny przestrzennej. Do tego celu wykorzystywany będzie obraz rzeczywisty.

Do oświetlenia hologramu zostanie wykorzystany laser He-Ne (generujący światło o zadeklarowanej w trakcie obliczeń długości fali  $0,6328\ \mu\text{m}$ ), którego wiązka zostanie ukształtowana w falę płaską. Zapewni to uzyskanie odpowiedniej skali i odległości sceny od hologramu (zgodnie z danymi przekazanymi programowi LS 6.0). Rysunek 3 przedstawia układ przeznaczony do wykonywania zdjęć różnych płaszczyzn sceny przestrzennej. Do rejestracji należy użyć jednego z dwóch zapisanych hologramów, wykazującego lepszą widoczność obrazu rzeczywistego.



Rysunek 3 Schemat układu wykorzystywanego do akwizycji obrazów tworzonych przez hologramy.

### Zadania do wykonania:

Przeprowadzenie obliczeń w aplikacji LightSword 6.0 (dostępnej w laboratorium) na macierzy 1024 x 1024 punkty. Próbkowanie 20  $\mu\text{m}$  x 20  $\mu\text{m}$ . Długość fali światła  $\lambda=0,6328 \mu\text{m}$

- 1) Przygotowanie bitmap zawierających przekroje obiektów sceny przestrzennej (gotowe bitmapy typu BMP należy przynieść na ćwiczenie). Grubość linii obiektów powinna wahać się w granicach 10 – 20 pixeli (200  $\mu\text{m}$  - 400  $\mu\text{m}$ ). Skrajna, najbliższa płaszczyzna obiektu powinna znajdować się w odległości około 500 mm. Skrajna, najdalsza płaszczyzna obiektu powinna znajdować się w odległości około 1000 mm. Maksymalne rozmiary poprzeczne obiektu nie powinny być większe niż 12-15 mm.
- 2) Zaimportowanie do programu LS 6.0 przygotowanych bitmap jako rozkładów amplitudy. Na każdą z zaimportowanych bitmap, przed zapisaniem w pliku TAB, należy nałożyć przypadkowy rozkład fazy (rozpraszacz).
- 3) Propagacja każdej z płaszczyzn sceny na odległość równą odległości danej płaszczyzny od płaszczyzny hologramu. Proszę wykorzystać okna propagacji (przepisanie na wektor podwójnej długości).



- 4) Zsumowanie uzyskanych w poprzednim punkcie rozkładów pól dyfrakcyjnych od każdej z płaszczyzn sceny do jednego pliku TAB.
- 5) Ekport bitmapy fazy (Phase) oraz jej negatywu do pliku.
- 6) Dokonanie symulacji odtworzenia hologramu. Obserwacja zjawiska paralaksy poprzez odtworzenie hologramu z różnych jego fragmentów.
- 7) Zestawienie układu do fotograficznego pomniejszania wydruków.
- 8) Wykonanie hologramu syntetycznego.
- 9) Obserwacja i rejestracja obrazów pozornych sceny przestrzennej. Obserwacja (rejestracja) zjawiska paralaksy.
- 10) Zestawienie układu do akwizycji obrazu rzeczywistego.
- 11) Wykonanie zdjęć kilku płaszczyzn sceny przestrzennej w układzie z Rys. 3 wraz z zanotowaniem odległości odtworzenia.
- 12) Wykonanie zdjęć trójwymiarowych obrazów pozornych obserwując przez hologram quasi-punktowe źródło światła laserowego – np. pinholę. Zarejestrowanie zjawiska paralaksy poprzez wykonanie serii zdjęć z różnych miejsc.
- 13) Wykonanie zdjęć obrazów pozornych poprzez obserwację przez hologram quasi-punktowego źródła światła niespójnego – np. dioda LED, lampa sodowa z małym otworkiem. Sformułowanie wniosków co do udziału spekli w porównaniu z punktem 12.