

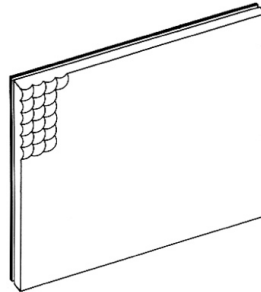
Ćwiczenie 2

Fotografia integralna

Wprowadzenie teoretyczne

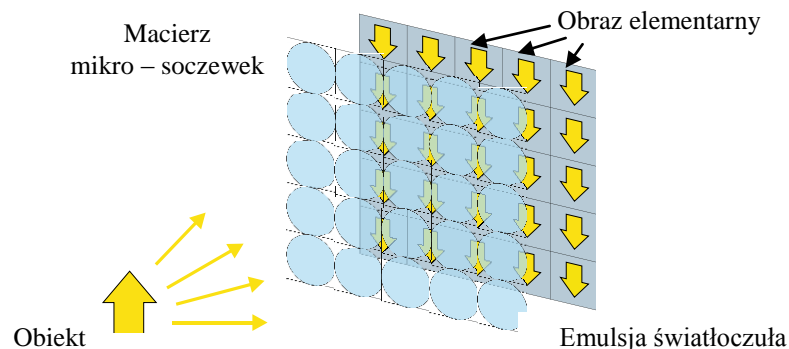
Ćwiczenie ma charakter wybitnie eksperymentalny, w związku z tym nie wymaga skomplikowanego przygotowania teoretycznego. Jego celem jest między innymi zaznajomienie studentów z techniką zapisu i wyświetlania obrazów trójwymiarowych za pomocą techniki fotografii integralnej.

Obrazowanie integralne stanowi ciekawą alternatywę dla holograficznych metod zapisu i odtwarzania obrazów trójwymiarowych. Jest to technika wykorzystująca światło niekoherentne w celu uzyskania w pełni auto – stereoskopowego obrazu bez konieczności wykorzystywania specjalnych okularów. Metoda ta została zaproponowana już w 1908 roku przez Gabriela Lippmanna. Na przestrzeni ostatnich lat osiągnęła poziom, który umożliwia zastosowanie jej w telewizji i wyświetlaczach 3D.

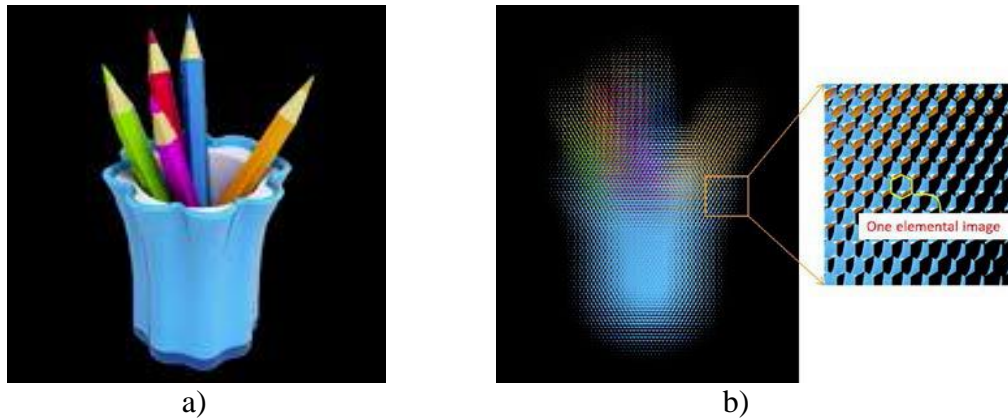


Rysunek 1 Macierz mikro – soczewek.

Obrazowanie integralne opiera się na wykorzystaniu do zapisu i odtworzenia obrazu macierzy kwadratowych lub heksagonalnych, sferycznych mikro – soczewek. W fazie zapisu obrazu, macierz generuje szereg mikro – obrazów (obrazów elementarnych) na elemencie światłoczułym. W fazie odtwarzania, obrazy elementarne są wyświetlane przez macierz soczewek, w wyniku czego otrzymywana jest rekonstrukcja jednego obrazu trójwymiarowego z widoczną paralaksą w pionie i poziomie. Wykazano, że obrazowanie integralne może w sposób bardzo dokładny odtworzyć front falowy zapisanego obiektu, analogicznie do holografii, jednak bez konieczności użycia światła laserowego.



Rysunek 2 Tworzenie obrazów elementarnych w fazie zapisu.



Rysunek 3 Rejestracja fotografii integralnej: a) obiekt wejściowy; b) obraz obiektu wejściowego uzyskany z wykorzystaniem macierzy soczewek (powiększenie obszaru ukazuje, że każda soczewka tworzy odmienny obraz)

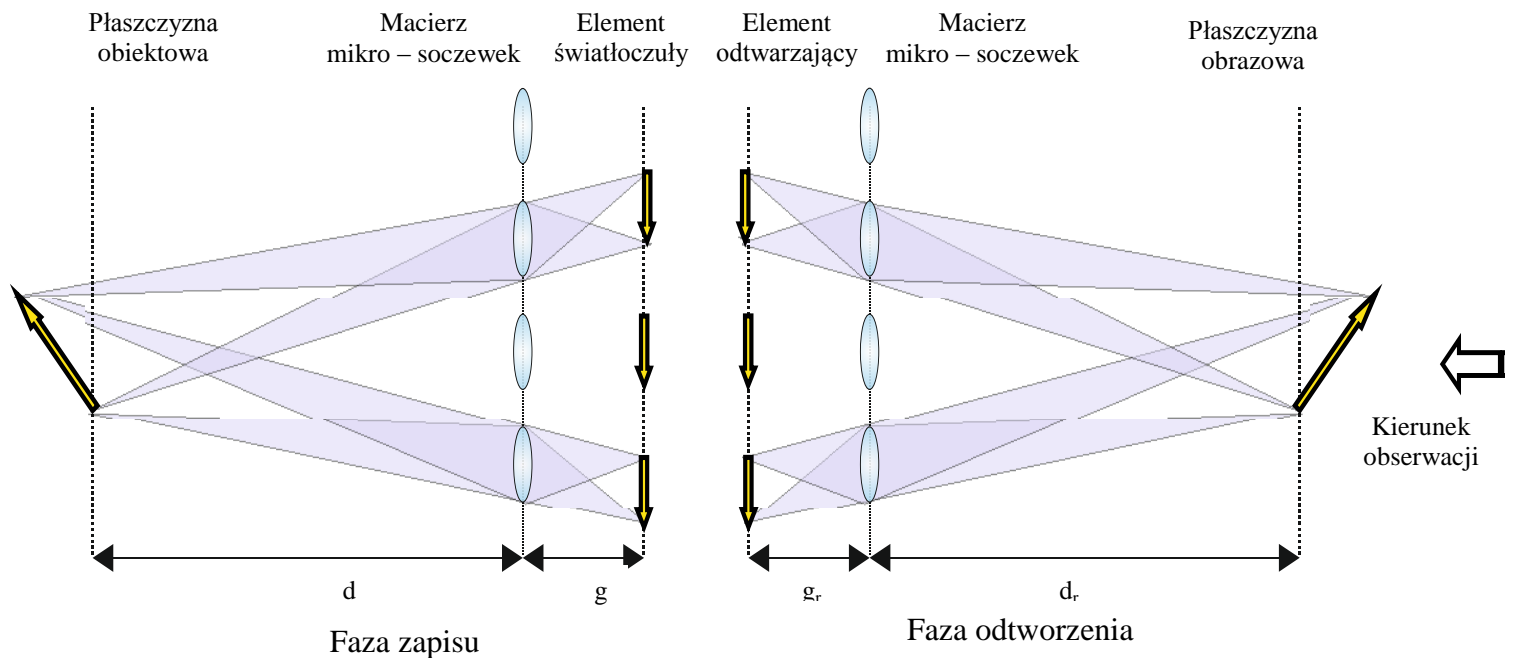
Niestety, w początkowym okresie po zaproponowaniu metody, nie była ona rozwijana ze względu na brak możliwości produkcji macierzy soczewek. Stan ten uległ zmianie dopiero po II Wojnie Światowej, kiedy opracowano technologię umożliwiającą produkcję na masową skalę macierzy soczewek z termo – formowanego plastiku. Wcześniej, w obrazowaniu integralnym wykorzystywano macierz pinhol, które stanowiły optyczny ekwiwalent macierzy soczewek. Jednak otrzymywane obrazy były nie do przyjęcia dla komercyjnych zastosowań przez mały kontrast, będący wynikiem niewielkich apertur zastosowanych pinhol. Kolejnym powodem niewielkiej atrakcyjności tej metody, były elementy światłoczułe wykorzystywane w tamtych czasach. Pierwszą metodą obrazowania integralnego była fotografia integralna, która zapisywała przestrzenny obraz obiektu na płytach pokrytych emulsją światłoczułą. Metoda ta była wielkim przełomem w obrazowaniu trójwymiarowym, jednak bazując na wykorzystaniu filmów fotograficznych, możliwe było zastosowanie jej jedynie do zapisu obrazów statycznych.

Obrazowanie integralne oparte jest na próbkujących właściwościach macierzy soczewek. Aby uzyskać ten efekt, grubość macierzy soczewek dobierana jest tak, aby padające na nią równoległe promienie światła skupiane były na przeciwnej stronie macierzy (stronie ogniskowej), zazwyczaj płaskiej. Określenie „integralna” pochodzi od integrowania się wszystkich obrazów elementarnych w celu stworzenia jednego. Na ogniskowej stronie macierzy powstają obok siebie obrazy elementarne utworzone po jednym dla każdej soczewki. Ponieważ każda soczewka skupia w punkt na obrazie elementarnym znajdującym się poniżej, obserwator nie może widzieć jednocześnie dwóch miejsc, a tylko jeden obraz w zależności od kąta patrzenia przez soczewkę. Obraz widziany przez każdą soczewkę zmienia się w zależności od punktu obserwacji. Jeżeli wszystkie punkty ułożone są w ściśle określony sposób, to do każdego oka będzie trafiał zupełnie inny obraz. Wynika to z faktu patrzenia na soczewkę pod różnymi kątami przez każde oko. Rozdzielczość uzyskanego obrazu jest zatem bezpośrednio zależna od gęstości upakowania soczewek w macierzy. Każda soczewka staje się pojedynczym pikselem odtwarzanego obrazu.

W fazie zapisu, każda soczewka generuje indywidualny mikro – obraz obiektu widzianego pod pewnym kątem. Za macierzą soczewek powstaje zestawienie wszystkich obrazów elementarnych, które zostaną zapisane w emulsji światłoczułej. Odległości d i g wynikają z równania soczewki:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f}$$

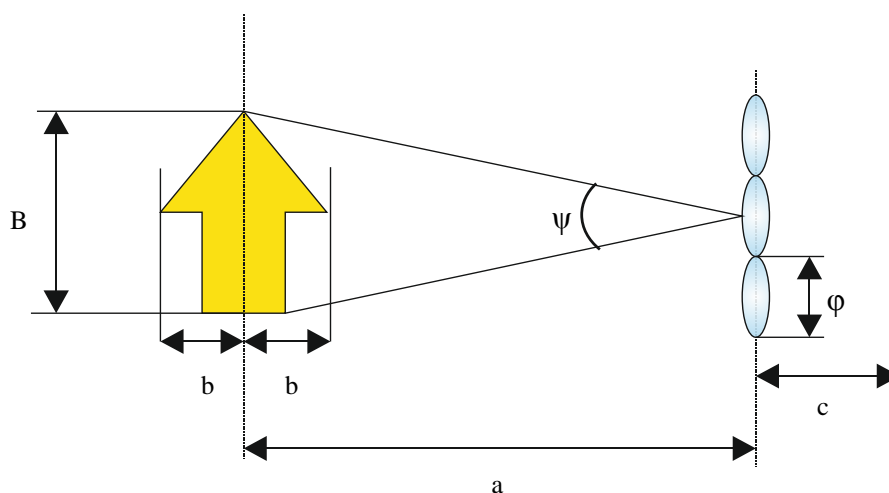
gdzie f to odległość ogniskowa soczewki.



Rysunek 4 Schemat zapisu i odtworzenia w fotografii integralnej.

W fazie odtworzenia, zestawienie dwuwymiarowych obrazów elementarnych, każdy dla innej perspektywy zapisywanego obiektu, wyświetlane są na elemencie optycznym (np. wywołany film fotograficzny, monitor LCD) przed macierzą mikro – soczewek. Element optyczny z zapisanymi mikro – obrazami i macierz soczewek są wyjustowane tak, aby odległość między nimi g_r była taka sama jak odległość w fazie zapisu. Taka konstrukcja układu odtwarzającego zapewnia powstanie pseudoskopowego obrazu obiektu wejściowego w odległości $d_r = d$. W wyniku tego otrzymujemy odtworzenie zapisanego obiektu, który można oglądać pod ograniczonym kątem. Głównymi problemami obrazowania integralnego jest kąt widzenia, rozdzielczość oraz głębia ostrości.

W fazie zapisu obiekt znajduje się w odległości a od macierzy mikro – soczewek mających średnicę φ . Zapisywany obiekt posiada głębię wynoszącą $2b$, a odległość c od macierzy soczewek do powierzchni emulsji światłoczułej dobrana jest tak, aby płaszczyzna biegnąca przez środek obiektu była ostro zobrazowana.



Rysunek 5 Geometria układu do zapisu fotografii integralnej.

Obraz punktów pochodzących z obrzeży obiektu będzie niewyraźny ze względu na ograniczenie dyfrakcyjne oraz fakt, iż płaszczyzna nie była ostro zobrazowana. Jeżeli średnica

soczewki będzie za duża, znaczna część obrazu będzie znajdować się poza ostrą płaszczyzną. Jeżeli natomiast będzie za mała, rozdzielczość obrazu będzie ograniczona dyfrakcyjnie. W celu uzyskania maksymalnej rozdzielczości, optymalna średnica soczewki powinna wynosić:

$$\varphi_{opt} = 1,24a \left(\frac{\lambda}{b}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Zakładając, że dwa punkty mogą być rozróżnione, jeżeli odległość między nimi wynosi u_{tot} , to minimalna kątowna zdolność rozdzielcza będzie wynosiła:

$$u_{tot} = 1,59(b\lambda)^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta = \frac{u_{tot}}{a} = 1,59 \frac{(b\lambda)^{\frac{1}{2}}}{a}$$

Jeżeli kąt pod którym obserwowany jest obiekt o rozmiarze B wynosi ψ , otrzymujemy zależność:

$$\frac{B}{a} \approx \psi$$

$$\delta = 1,59 \frac{\psi(\lambda b)^{\frac{1}{2}}}{B}$$

Przyjmując założenie, że odtworzenie obrazów sąsiadujących ze sobą nie może się nakładać, maksymalny kąt widzenia ψ_{max} będzie wynosił:

$$\tan \frac{\psi_{max}}{2} = \frac{\varphi}{2c}$$

Po prostych przekształceniach otrzymujemy:

$$\psi_{max} = 2 \arctan \frac{\varphi}{2c} \approx \frac{\varphi}{c}$$

Kąt widzenia ψ powinien być równy bądź większy niż ψ_{max} . Istnieje wiele zalet wynikających z posiadania możliwie największego maksymalnego kąta widzenia ψ_{max} , nawet jeżeli nie jest on wymagany. Przykładowo, jeżeli podczas oglądania rekonstrukcji zapisanej sceny, zmienimy pozycję obserwacji tak, aby wykraczała poza maksymalny kąt widzenia, oglądany obiekt gwałtownie zmieni swoje położenie. Efekt ten występuje, ponieważ przez daną soczewkę poza maksymalnym kątem widzenia będziemy obserwować sąsiedni obraz elementarny. Duża wartość maksymalnego kąta widzenia pozwala tego uniknąć.

Przebieg ćwiczenia

Niniejsze ćwiczenie obejmuje następujące etapy:

I. Naświetlenie kliszy światłoczułej.

- 1) Ustawienie układu przedstawionego na schemacie [X] w konfiguracji: oświetlony obiekt – macierz mikrosoczewek – matówka - aparat/mikroskop.
 - a) Równomiernie oświetlenie obiektu. Przedmiot musi być oświetlony mocną lampą LED.
 - b) Ustawienie ostrości położenia macierzy mikrosoczewek za pomocą aparatu.

Po ustawieniu układu według schematu [X], należy ustawić w optymalnej odległości macierz mikrosoczewek. Wykonanie tej części ćwiczenia polega na takim ustawieniu macierzy aby obraz zaobserwowany na aparacie był ostrym obrazem obiektu pojawiającego się na matówce (matowa strona matówki skierowana do soczewek).

Ostrego obrazu poszukujemy przesuwając macierz mikrosoczewek bliżej lub dalej od matówki. Należy wykonać dokumentację fotograficzną zaobserwowanego obrazu na macierzy mikrosoczewek.

- c) Weryfikacja ustawienia macierzy mikrosoczewek za pomocą szklanej płytki oraz mikroskopu.

Po uzyskaniu ostrego obrazu na aparacie należy przystąpić do kolejnej części ćwiczenia polegającej na zamianie matówki na płytkę szklaną i ustawieniu ostrego obrazu pojawiającego się w wyniku odbicia od powierzchni płytki. Ważne jest, żeby podczas ustalania płaszczyzny ostrości za pomocą płytki odbijającej, odbicie następowało od drugiej powierzchni płytki.

W przypadku stwierdzenia poprawnego ustawienia odbicia obrazu (od drugiej powierzchni płytki) należy zweryfikować jego trafność przy pomocy mikroskopu. Do chwytnika z płytką szklaną wstawiamy (skrajnie) dodatkowo matówkę (matową stroną do płytki szklanej). Mikroskop stawiamy po stronie matówki i obserwujemy na nim obrazy z mikrosoczewek pojawiające się w trzech częściach matówek (na środku i na dwóch brzegach). W przypadku stwierdzenia pojawiania się nie ostrego obrazu na którejś z trzech części konieczne będzie dalsze wyjustowanie układu. Zmianę ostrości dokonujemy poprawiając np. położenie macierzy mikrosoczewek. Ważne jest, żeby macierz ustawiona była równoległa do matówki.

- d) Wysłonięcie niepotrzebnego światła docierającego do kliszy.

Aby zapewnić jak najlepszą jakość naświetlonego obrazu należy wysłonić za pomocą czarnego papieru promienie światła padające bezpośrednio z lampki na macierz. Światło padające na kliszę światłoczułą powinno być tylko tym odbitym od obiektu.

- 2) Określenie czasu naświetlania.

Po zweryfikowaniu przez prowadzącego poprawności ustawienia układu, należy za pomocą światłomierza fotograficznego Seconic Flash Master określić ilość światła padającego na kliszę światłoczułą celem doboru odpowiedniego czasu naświetlania. Światłomierz powinien mieć ustawioną wartość ISO1 na 8000. Pomiar światła odbijanego od obiektu będzie wyrażony w jednostkach EV (ang. *Exposure Value*). Typowe czasy naświetlania dla wybranych wartości ekspozycji przedstawia tabela poniżej:

Wartość ekspozycji [EV]	Czas naświetlania [s]
5	64
6	32
7	16
8	8
9	4
10	2
11	1

Tab.1 Typowe czasy naświetlania dla wybranych wartości ekspozycji.

- 3) Przygotowanie kliszy światłoczułej do umieszczenia w układzie. Naświetlenie kliszy.

Bieżący punkt ćwiczenia wykonywany będzie przy zgaszonym świetle. Asystent prowadzący ćwiczenia przekaze uczestnikom odpowiednich rozmiarów kliszę światłoczułą. Zadaniem studentów jest umieszczenie błony światłoczułej pomiędzy dwiema szklanymi płytkami (emulsją w kierunku macierzy mikrosoczewek) oraz

umieszczenie płytek w mocowaniu specjalnie do tego przygotowanym. Po poprawnym umieszczeniu kliszy w chwytaku (należy uważać, żeby podczas wstawiania klisz nie potrać obiektu oraz matrycy mikrosoczewek) będzie można przystąpić do naświetlania. Kolejność ekspozycji poszczególnych układów (stołów optycznych) zostanie ustalony z prowadzącym podczas zajęć. Po zakończeniu tego etapu, zadaniem studentów będzie wyjęcie konstrukcji dwóch płytek z umieszczoną pośrodku kliszą celem przeprowadzenia obróbki chemicznej.

4) Obróbka chemiczna klisz.

Przeprowadzać będziemy ją przy zapalonym świetle koloru zielonego.

Klisza zostanie poddana trzem procesom. Pierwszy z nich to wywoływanie w uniwersalnym wywoływaczu. Czas trwania tego procesu będzie zależał od szybkości zaczerniania się kliszy. W pierwszych momentach procesu, zaczernianie będzie powolne. W przypadku zauważenia przyspieszenia procesu należy o tym fakcie poinformować prowadzącego, który oceni czy należy zakończyć ten etap obróbki czy trzeba jeszcze chwilę poczekać. Po wywoływaniu następuje proces zwany przerwaniem, polegający na przepłukaniu kliszy w wodzie. Na koniec należy przeprowadzić proces zwany utrwalaniem w uniwersalnym utrwalaczu. Proces ten powinien trwać dwie minuty. Na koniec należy przepłukać kliszę wodą oraz wysuszyć ją suszarką do momentu, aż klisza stanie się sucha.

5) Obserwacja wyników.

Po obróbce chemicznej możemy przystąpić do oglądu uzyskanych wyników. W tym celu należy wywołaną kliszę włożyć pomiędzy płytki szklane oraz umieścić je w uchwycie znajdującym się w układzie za macierzą mikrosoczewek. Celem lepszej jakości obserwacji, za płytką należy ustawić białą kartkę papieru i skierować na nią źródło światła oparte na diodach LED. Zamierzony efekt widoczny będzie gdy spojrzymy na macierz mikrosoczewek od strony naszego obiektu. W przypadku braku zaobserwowania obiektu, który zapisywany był na kliszy należy wyjustować położenie kliszy zmieniając jej położenie w chwytaku (górze/dół, lewo/prawo). Możliwa jest też delikatna zmiana położenia macierzy względem naświetlonej kliszy. Po uzyskaniu najlepszego obrazu możemy przystąpić do wykonywania dokumentacji fotograficznej mającej na celu przedstawienie uzyskanego efektu dwukierunkowej paralaksy oraz pokazanie oraz wyjaśnienie efektu negatywu.

II. Wykonanie pozytywu kliszy światłoczułej otrzymanej w pkt. I.

1) Uzyskanie stykowo pozytywu kliszy światłoczułej.

W punkcie tym należy otrzymać pozytyw kliszy uzyskanej w punkcie I. Punkt ten będzie wykonywany przy zgaszonym świetle.

W celu wykonania tego punktu należy wyjąć z układu kliszę oraz umieścić ją na stanowisku do powielania stykowego. Będzie on wyglądał następująco: płytka szklana - klisza światłoczuła (emulsja w skierowana ku górze) - klisza z pkt. I - płytka szklana. Tak przygotowany układ należy oświetlić białym światłem w celu powielenia i otrzymania pozytywu. Po naświetleniu przystępujemy do obróbki chemicznej (takiej samej jak w pkt. I.4).

2) Umieszczenie w układzie otrzymanego pozytywu oraz ogląd wyników. Dokumentacja fotograficzna wyników.

Wykonujemy te same czynności jak w pkt. I.5.

W sprawozdaniu należy:

- Opisać wykonywane czynności ilustrując je zdjęciami z adekwatnym i wyczerpującym opisem.
- Sformułować ocenę subiektywną jakości efektu 3-D uzyskanego w fotografii integralnej. Zasygnalizować wady i zalety techniki oraz omówić proces otrzymywania pozytywu.

UWAGA: Wykonane na zajęciach zdjęcia należy załączyć w sprawozdaniu, przy czym muszą być odpowiednio wykadrowane i opisane. Przykładowo w przypadku zdjęć mających na celu zaprezentowanie efektu paralaksy należy pokazać całe zdjęcia ale też powiększone fragmenty pokazujące różnice pomiędzy kilkoma scenami paralaksy. Zawartość zamieszczonych zdjęć musi świadczyć o zrozumieniu ilustrowanego zagadnienia. Komentarze co do pokazywanego efektu należy zamieszczać tuż obok zdjęcia (a nie na końcu sprawozdania).

Politechnika Warszawska
Wydział Fizyki
Pracownia Informatyki Optycznej
Luty 2014