

# WSTĘP DO OPTYKI FOURIEROWSKIEJ

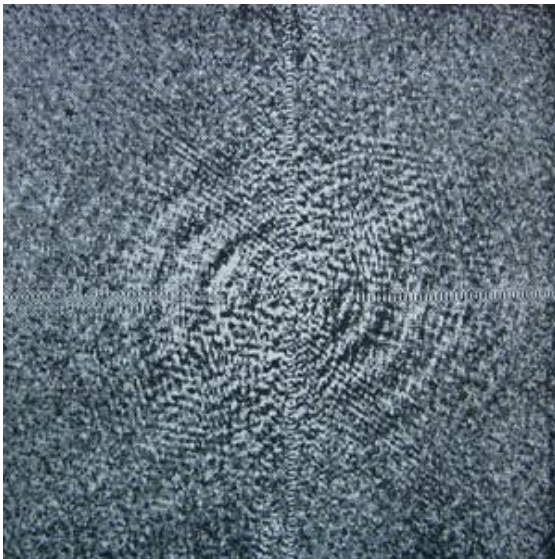
dr hab. Rafał Kasztelanic

## WYKŁAD 9

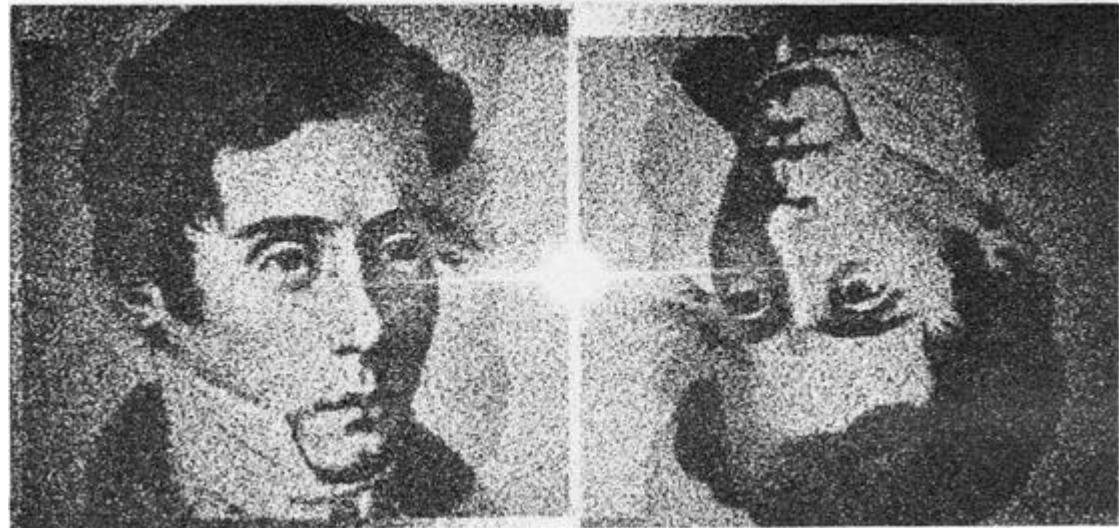
DammanSimAn1.m

## Hologramy generowane komputerowo - CGH

- Modelowanie obiektu
- Obliczanie rozkładu prążków w płaszczyźnie hologramu,
- Możliwość wybrania interesujących nas składowych
- Zapis w materiale lub na urządzeniu – **potrzebne kodowanie**
- Najprostsze hologramy Fraunhofera (duża odległość), wtedy zwykła FFT
- Zadana amplituda i dowolna faza w odtwarzanym obrazie (kinoform)



hologram



rekonstrukcja

## Hologramy generowane komputerowo - CGH

Widmo obrazu:

$$G(v_x, v_y) = FT \{g(x, y)\}$$

mające być zapisane na hologramie, dyskretyzujemy (próbujemy):

$$G(v_x, v_y) = \sum_n \sum_m G(n\Delta v_x, m\Delta v_y) \delta(v_x - n\Delta v_x, v_y - m\Delta v_y)$$

gdzie:  $\Delta v_x, \Delta v_y$  odstęp między punktami próbkowania.

$$G_{nm} = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Amplituda}}}{A_{nm}} \exp(-i \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Faza}}}{\varphi_{nm}})$$

## Hologramy generowane komputerowo - CGH

### Metoda Lohmana:

Każdej próbce:  $G_{nm} = G(n\Delta v_x, m\Delta v_y)$

odpowiada jedna komórka dyskretyzacji

o środku w punkcie  $v_{nx} = n\Delta v_x, v_{my} = m\Delta v_y$

Faza i amplituda kodowane są jako prostokątna apertura w nieprzezroczystym tle.

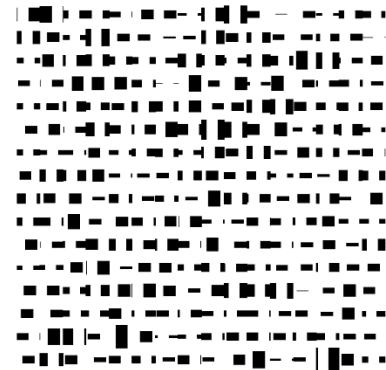
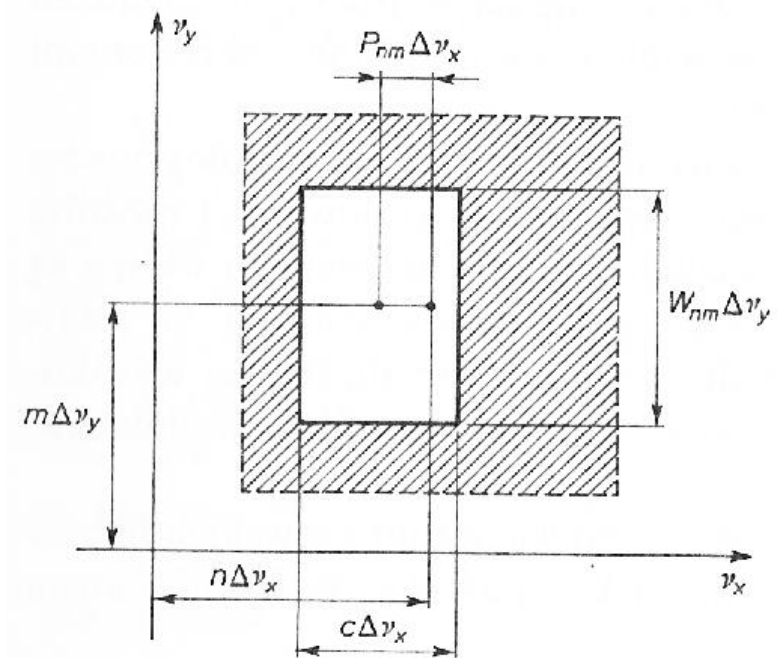
Szerokość apertur  $c\Delta v_x$  jest taka sama.

Wysokość apertury  $W_{nm}\Delta v_y$  jest proporcjonalna do wartości amplitudy  $A_{nm}$

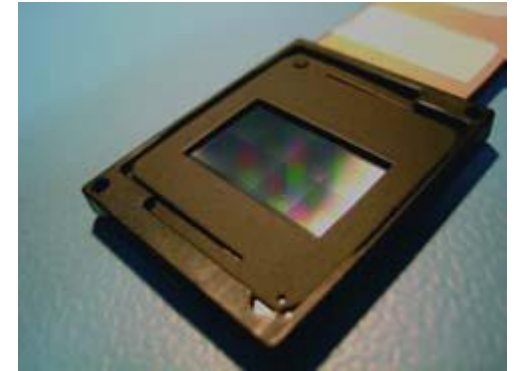
Przesunięcie  $P_{nm}\Delta v_x$  koduje fazę  $\varphi_{nm}$

Spełnione musi być:  $W_{nm} \leq 1, |P_{nm}| + \frac{c}{2} \leq \frac{1}{2}$

Komórka dyskretyzacji

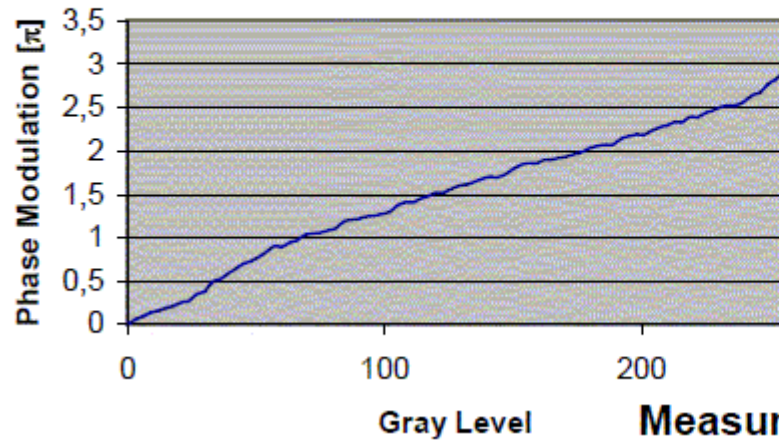


## Hologramy generowane komputerowo - CGH

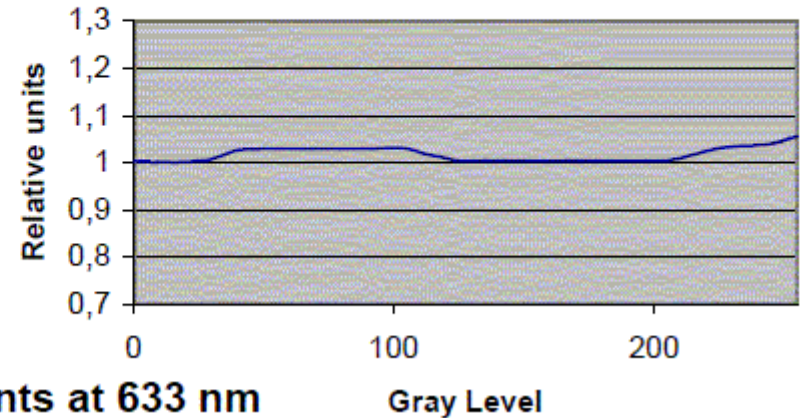


Phase- and intensity modulation

Polariser 90°



Intensity Modulation  
Polariser 90° Analyser 90°



Measurements at 633 nm

Gray Level



## Kodowanie amplitudy i fazy

Stosowane podejścia:

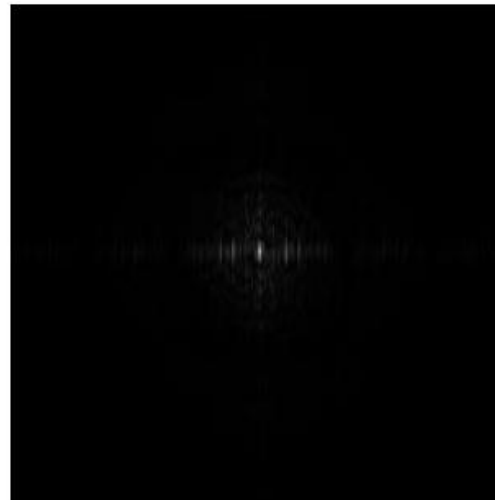
- metoda montecarlo
- Gerchberg-Saxton
- **IFTA**
- algorytmy genetyczne
- wyżarzanie

Pozwalają na optymalizację kodowania przy ograniczonej dziedzinie dostępnych parametrów:

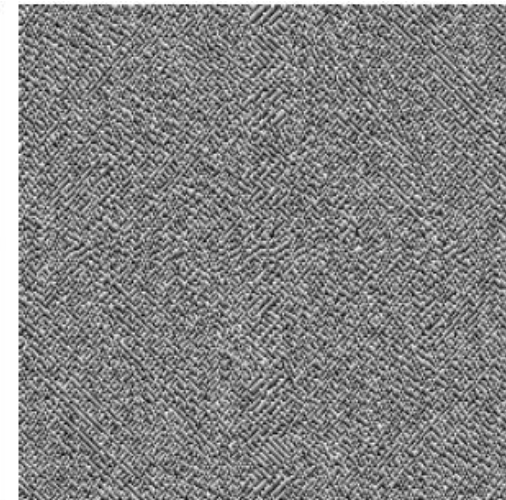
- amplituda
- faza
- amplituda-faza
- głębia
- długość fali
- DOE, HOE, CGH



obraz



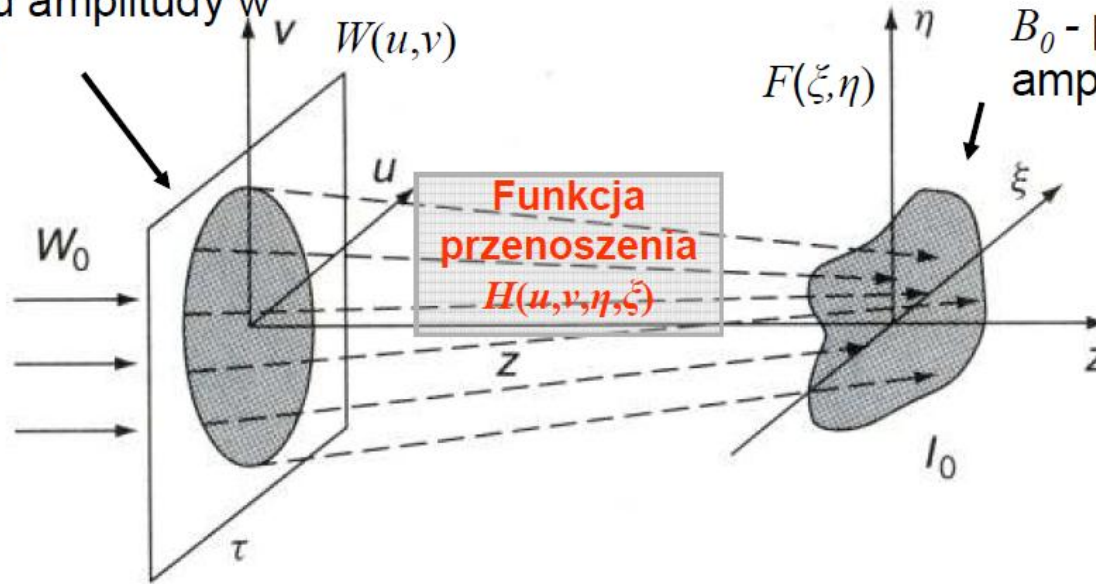
amplituda



faza

# Holografia

$A_0$  – rozkład amplitudy w hologramie



$B_0$  – pożądany rozkład amplitudy rekonstrukcji

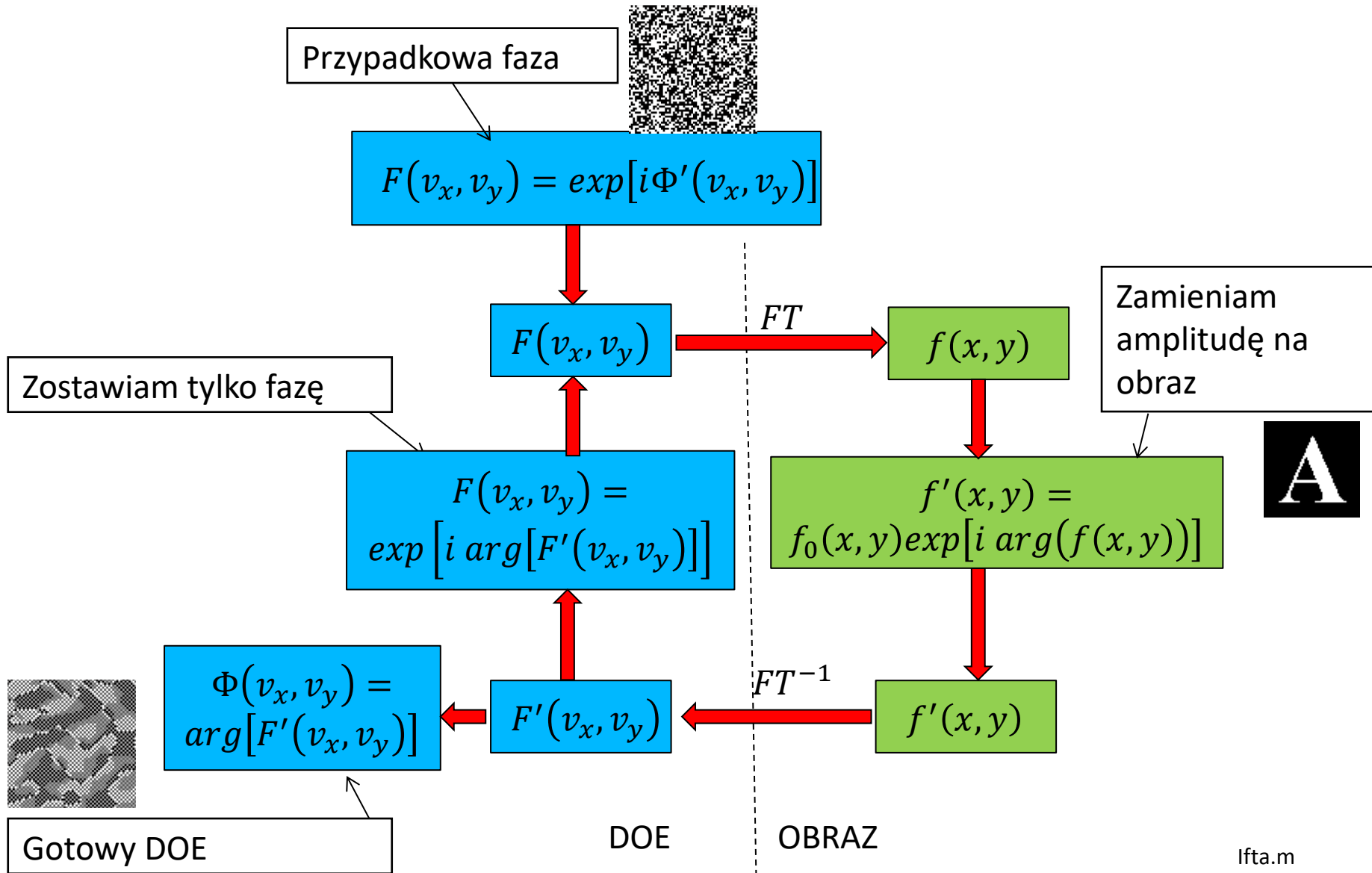
Propagacja w wolnej przestrzeni (Fresnela) z płaszczyzny hologramu do płaszczyzny rekonstrukcji (odległość  $z$ ):

$$F(v_x, v_y) = \iint A(x, y) H(x - v_x, y - v_y) dx dy$$

Funkcja przenoszenia (na odległość  $z$ ):

$$H(x, y) = \frac{ik \exp(ikz)}{2\pi z} \exp \left[ \frac{ik(x^2 + y^2)}{2z} \right]$$

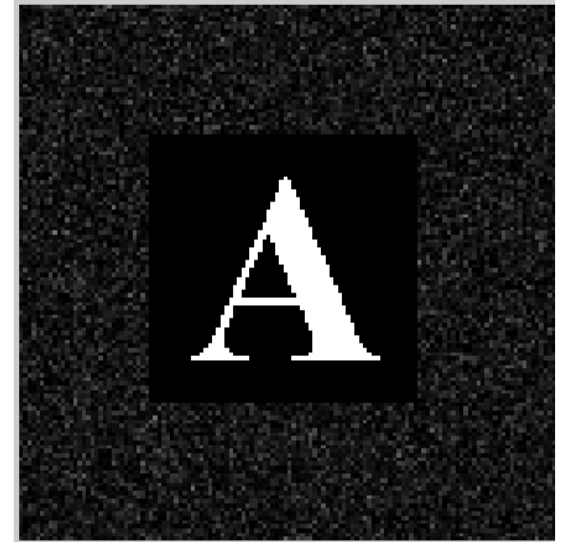
## Kodowanie amplitudy i fazy – IFTA (Iterative Fourier transform algorithm)



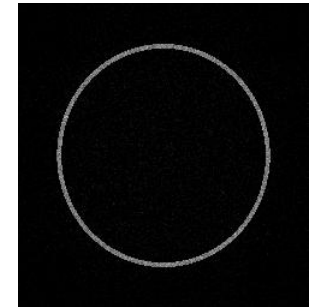
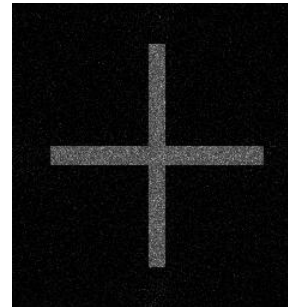
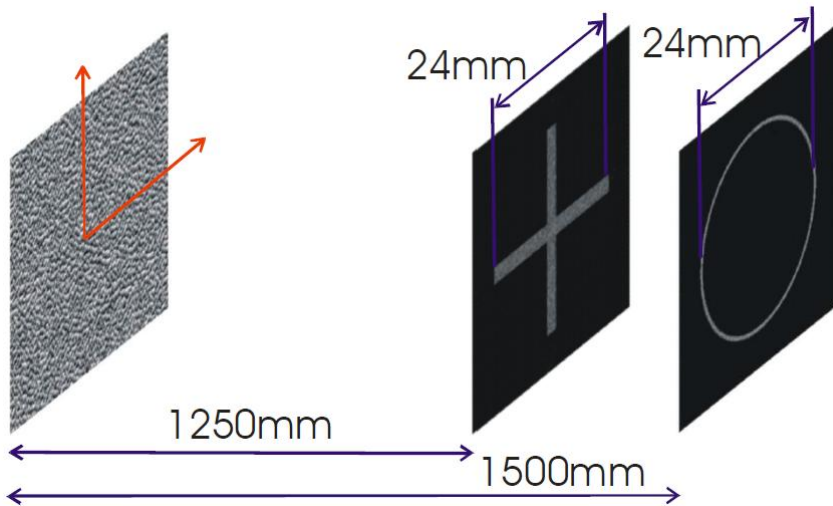


# Holografia

Często optymalizacji (nadpisanie amplitudy) dokonuje się w obrębie ograniczonego obszaru.  
Poza nim mogą kumulować się błędy.



Przykład możliwości – dwa obrazy w różnych planach:



# Holografia

Liczba poziomów:

2 3 4 5

8 16 32 64

128 256 512 1024



# Holografia

Łamanie hologramu:

oryginał



pełny



60 %

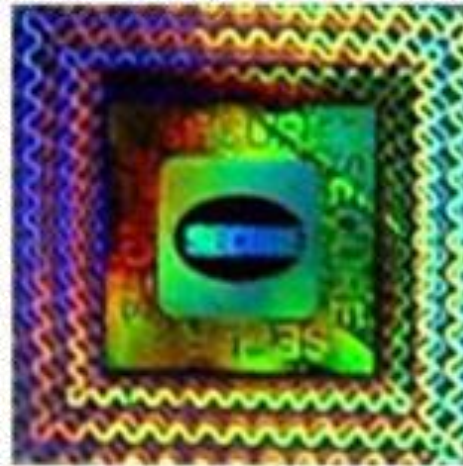


25 %



## Zastosowania w życiu codziennym

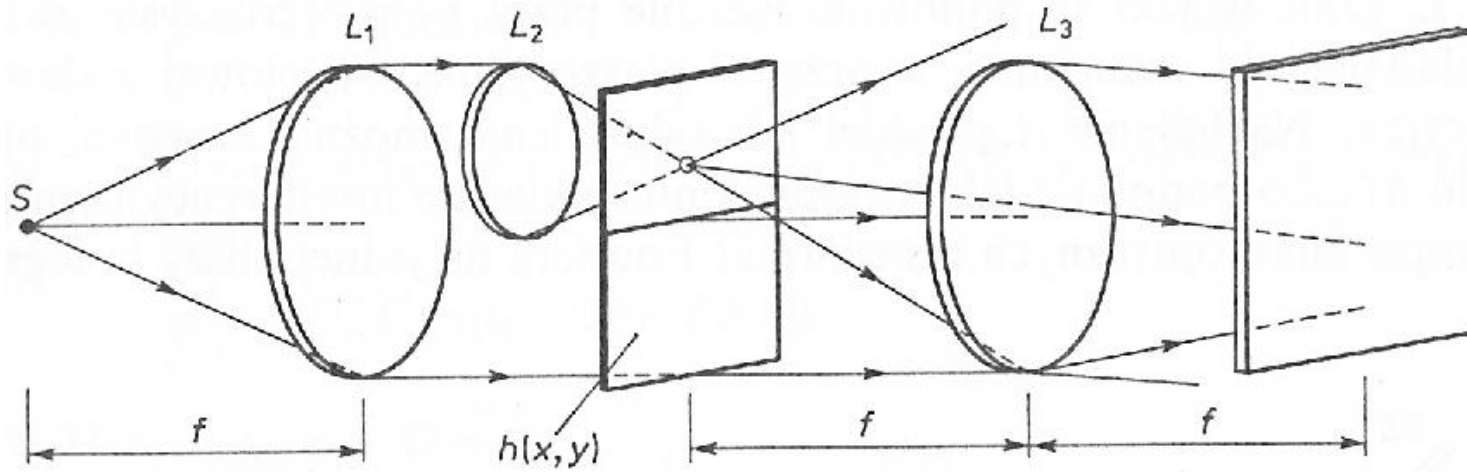
- środki zabezpieczające, bardzo trudne do podrobienia;
- gwarancja oryginalności produktu (np. płyty CD);
- materiały reklamowe – atrakcja i przyciągnięcie uwagi klienta;
- rejestracja kompozycji artystycznych i niedostępnych dla zwiedzających muzea dzieł sztuki
- szyfrowanie informacji



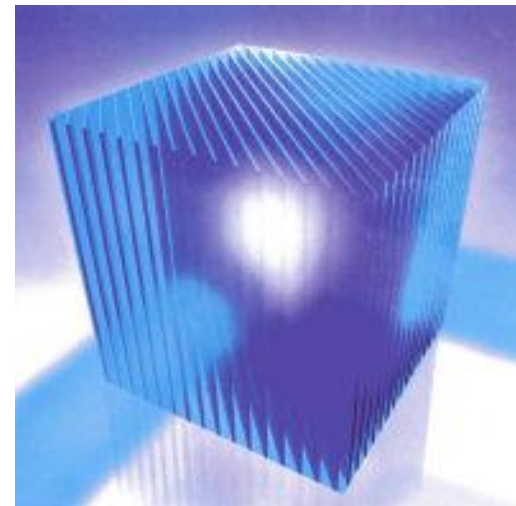


# Holografia

## Pamięci holograficzne

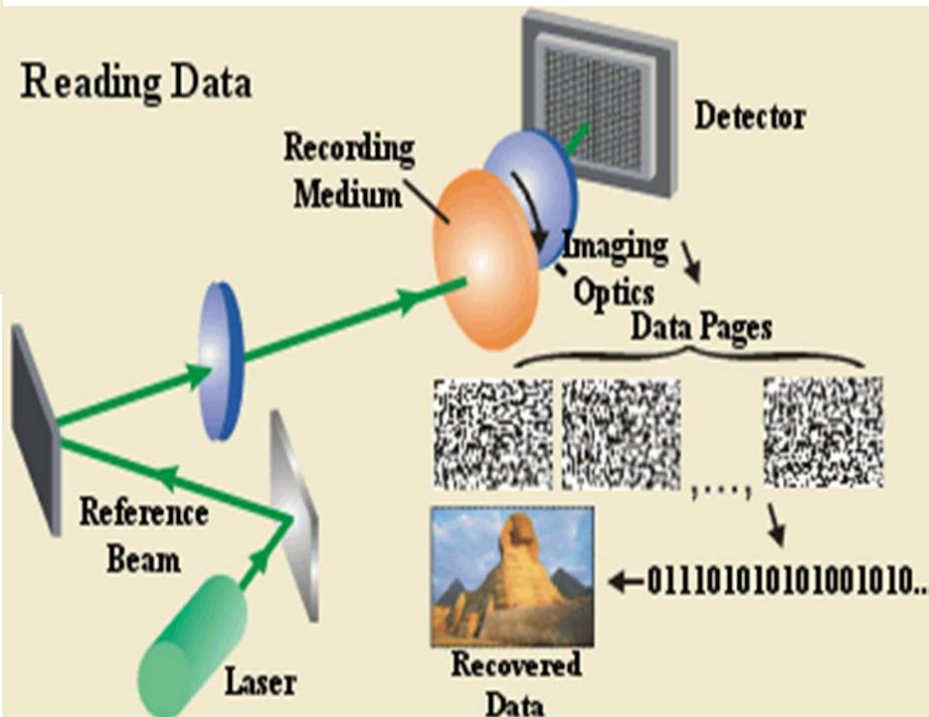
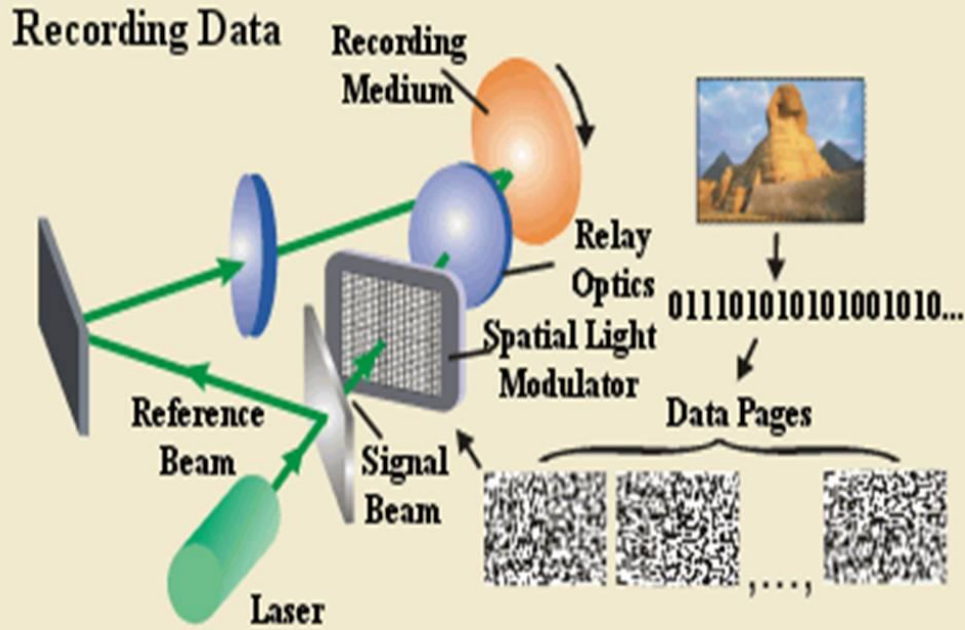


Pamięć skojarzeniowa – wystarczy niepełna informacja do odtworzenia zapisanych danych



# Holografia

## Pamięci holograficzne

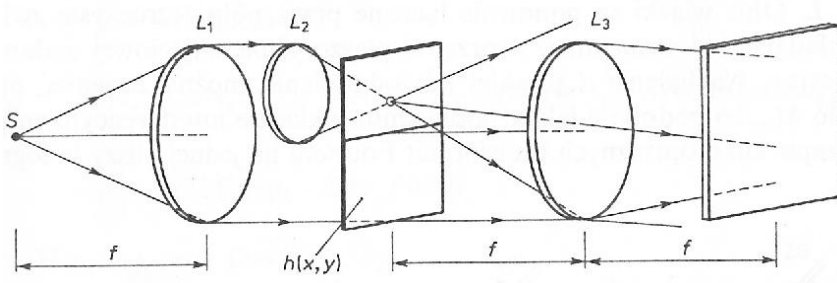
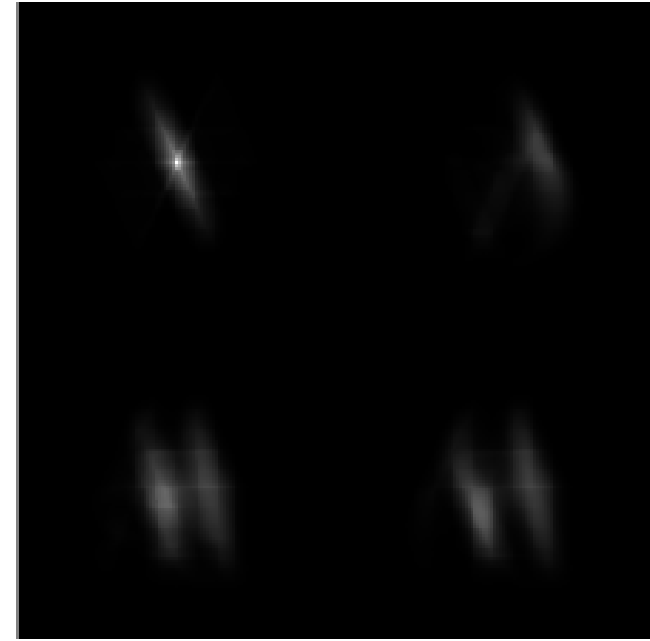
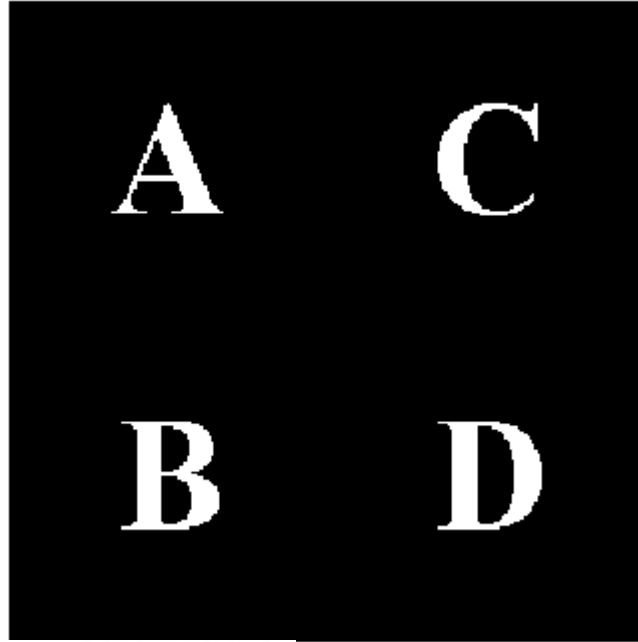


rozp.m



# Holografia

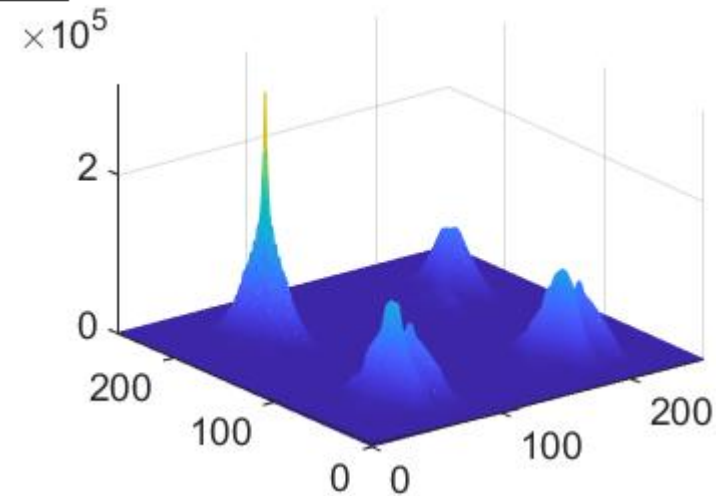
## Pamięci holograficzne



Filtr dopasowany:  $f = A^*$

Filtr czysto fazowy:  $f = \frac{A^*}{|A|}$

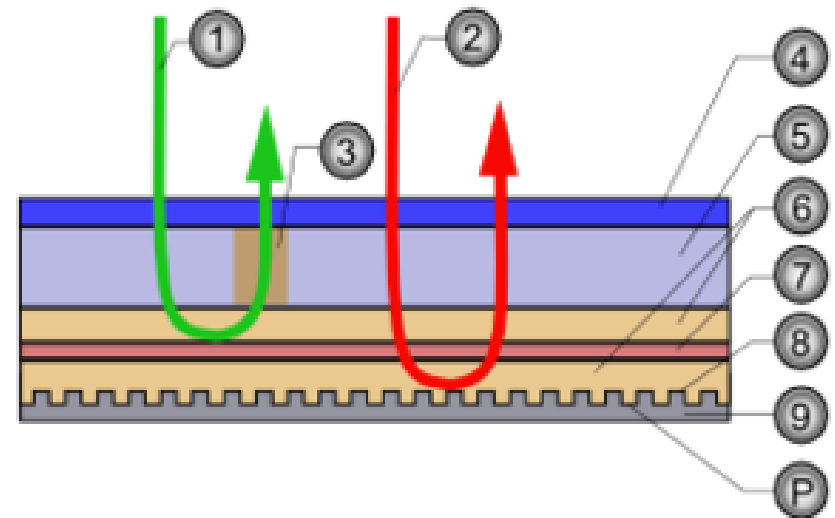
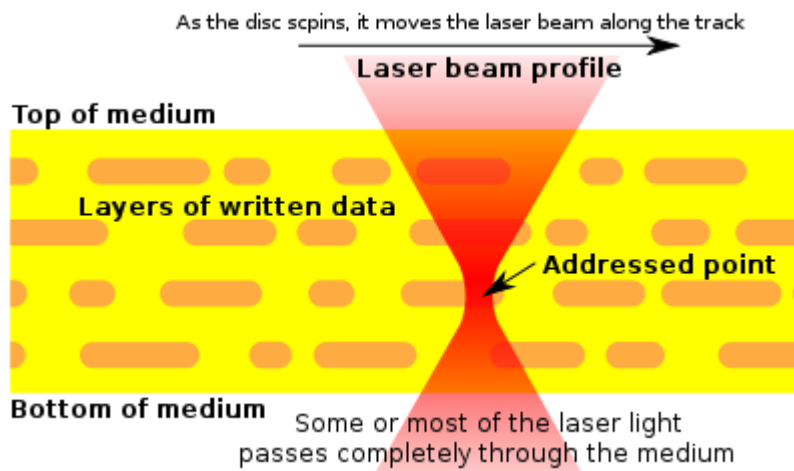
Filtr dopasowany czysto fazowy:  $f = \frac{A^*}{|A|^2}$



## Uniwersalny dysk holograficzny - Holographic Versatile Disc (6 TB)

### Struktura płyty HVD

1. Zielony laser zapisu/odczytu (532nm)
2. Czerwony laser pozycjonujący/adresujący (650nm)
3. Hologram niosący informację
4. Warstwa poliwęglanowa
5. Warstwa fotopolimerowa (z danymi)
6. Warstwy dystansujące
7. Warstwa dichroiczna
8. Aluminiowa warstwa odbijająca
9. Podłoże przezroczyste
- P. PIT - wgłębienia



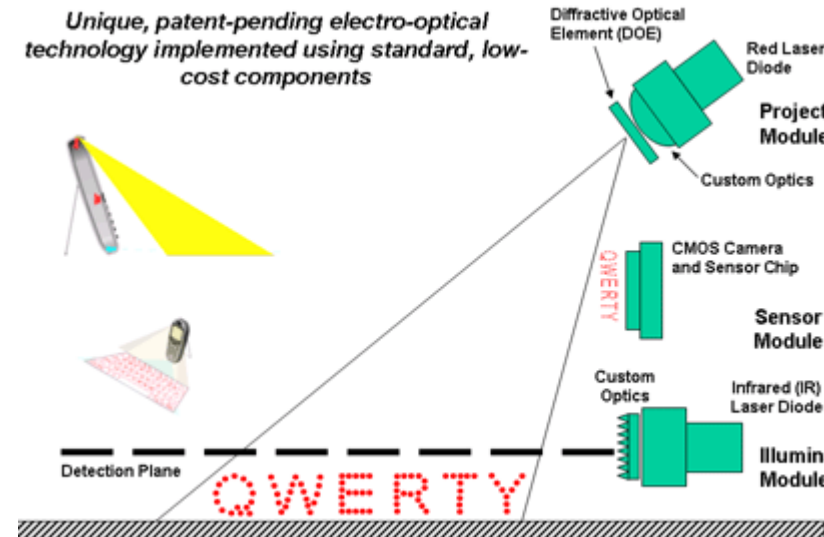
# Holografia

## optyczne elementy holograficzne (HOE)

Elementy optyczne typu:

- Soczewka
- Pryzmat
- Zwierciadło
- Dzielnik wiązki
- Siatka

Wykonane metodami holograficznymi.



# Holografia

## Hologramy obrazowe





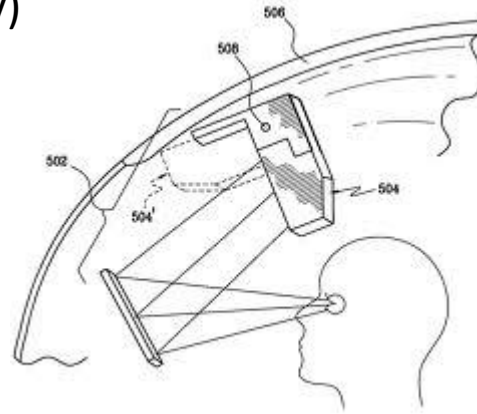
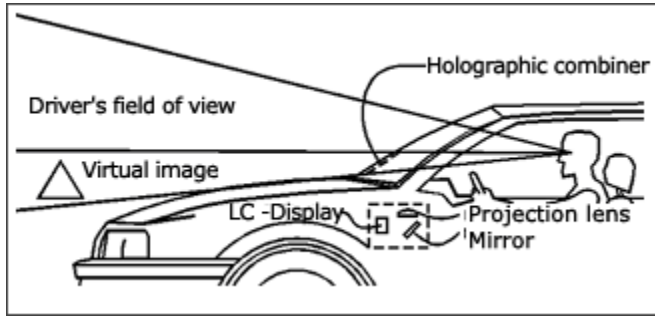
# Holografia

zscape



# Holografia

## Wyświetlacze HUD (Head-Up Display)

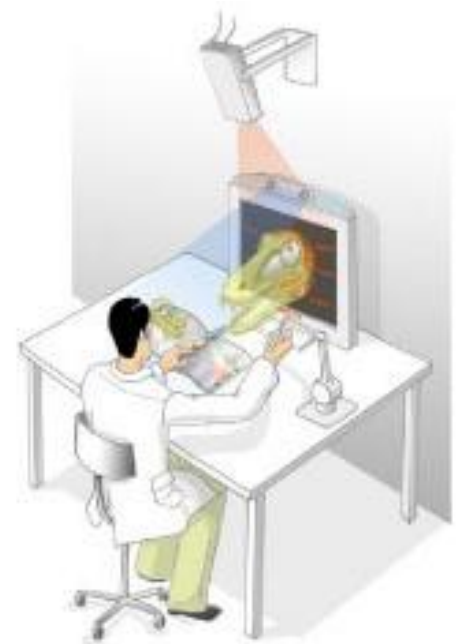


Ta sama zasada



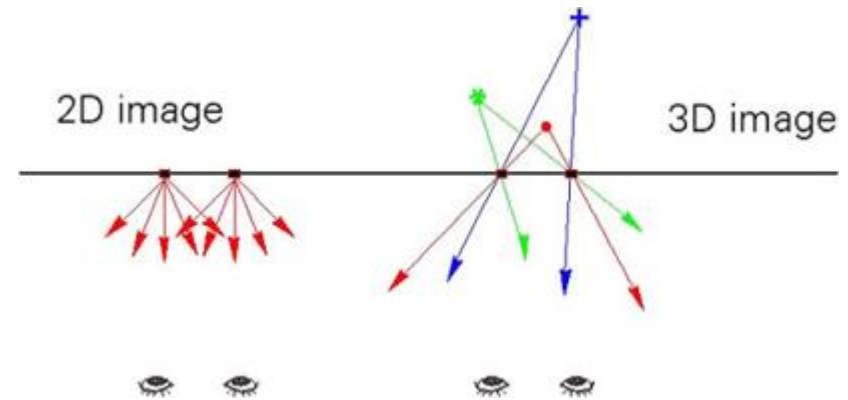
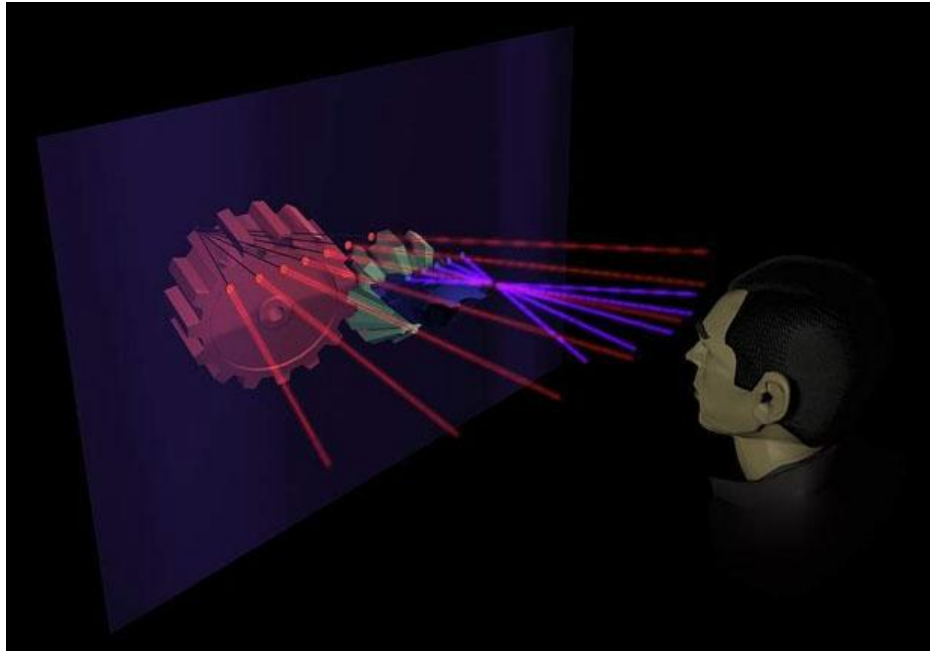


## Wyświetlacze holograficzne

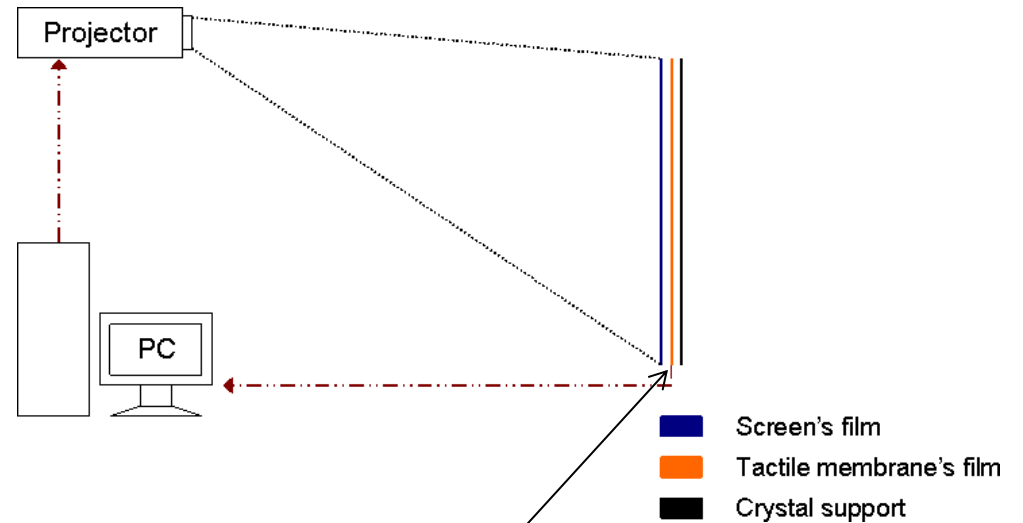


# Holografia

## holovizio



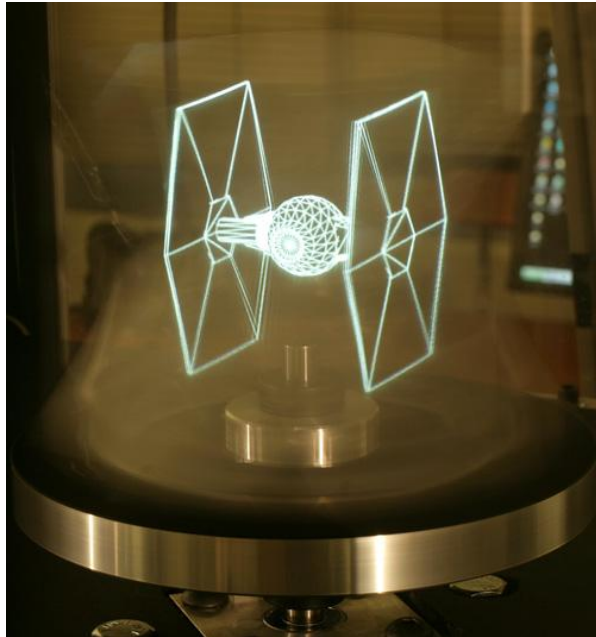
# Holografia



Mikrosoczewki

Zapewniają ograniczone wrażenie głębi

Obracający się rozpraszacz



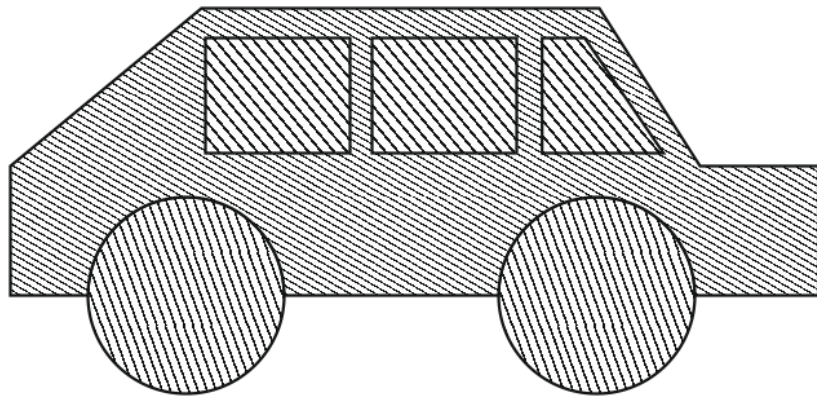
spinning mirror - "holographic diffuser"



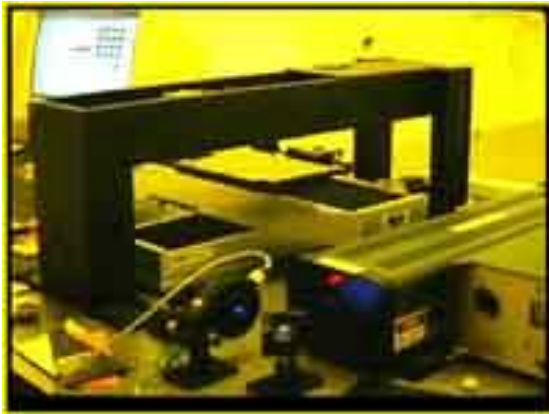
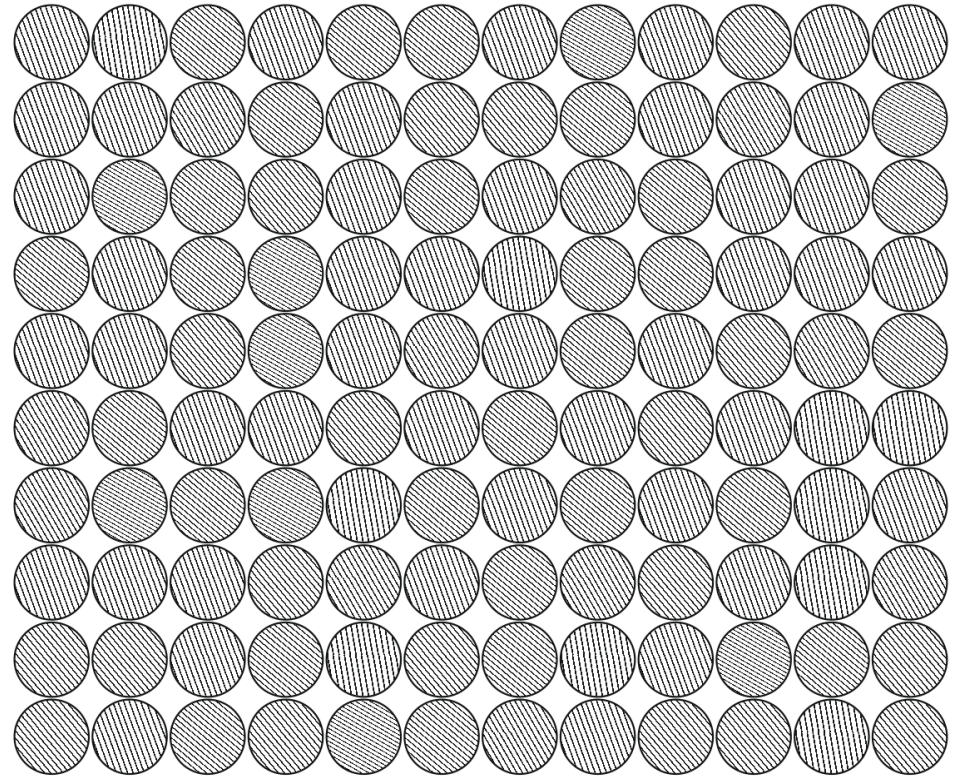


## Drukarki holograficzne

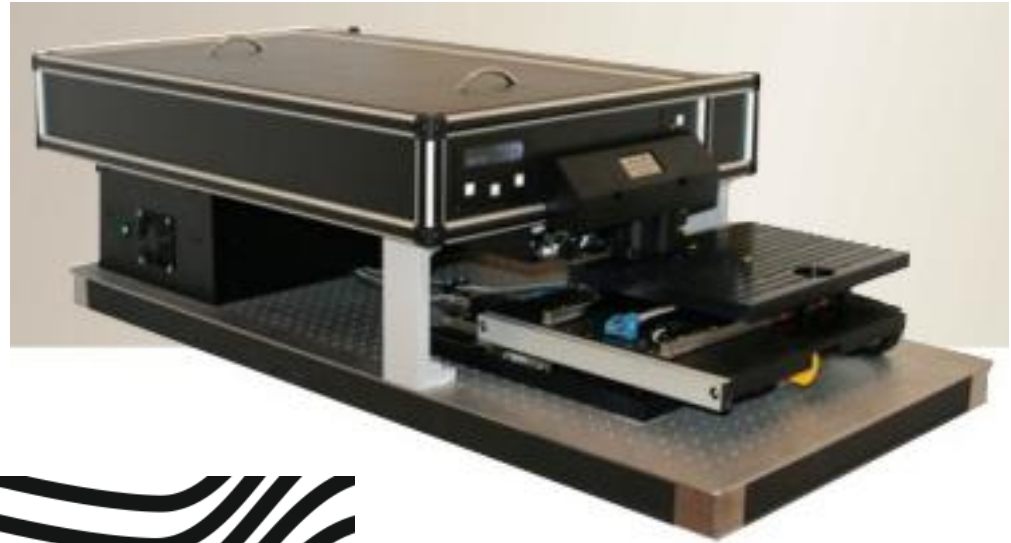
Siatki dyfrakcyjne



Dot-matrix hologram

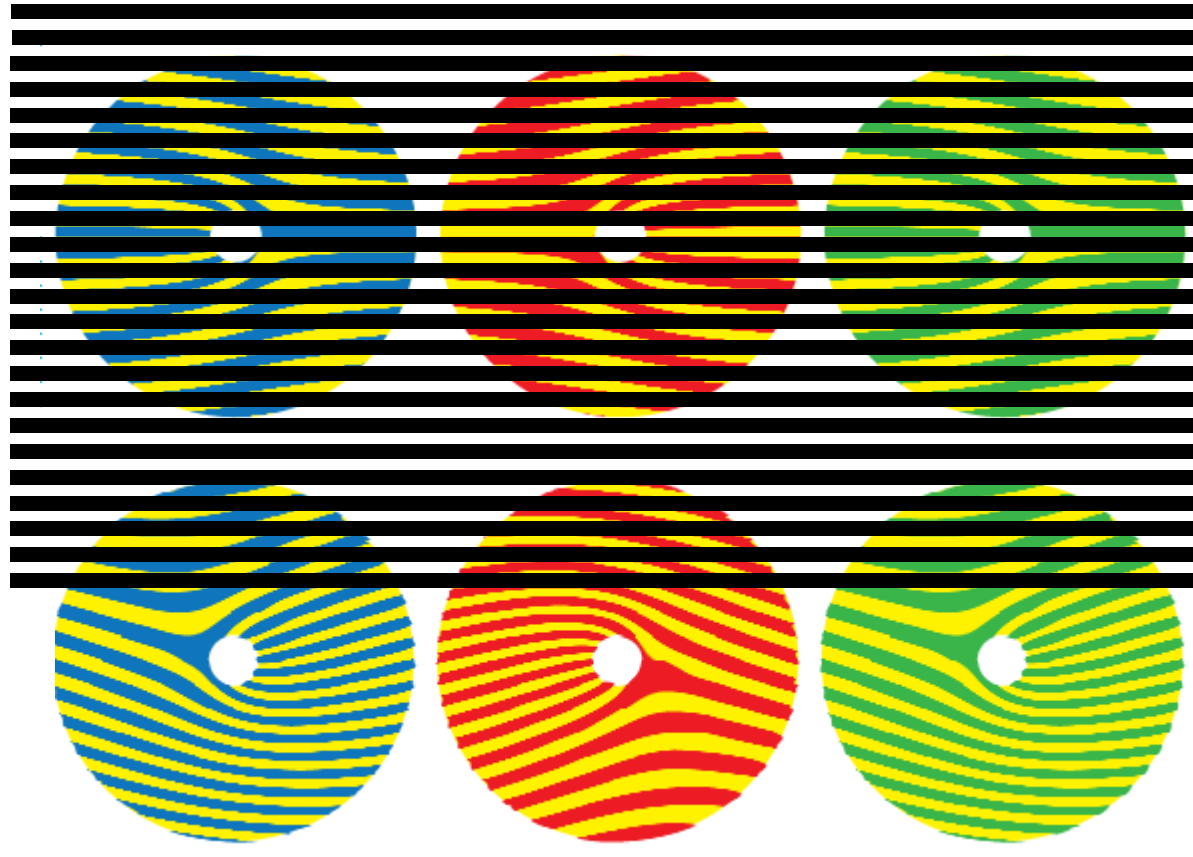


## Kinemax (Polskie Systemy Holograficzne)



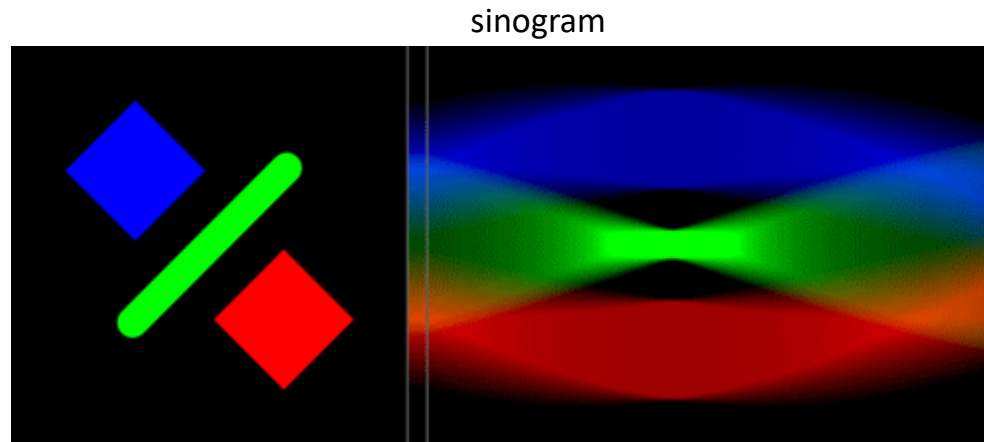


## Kinegrams

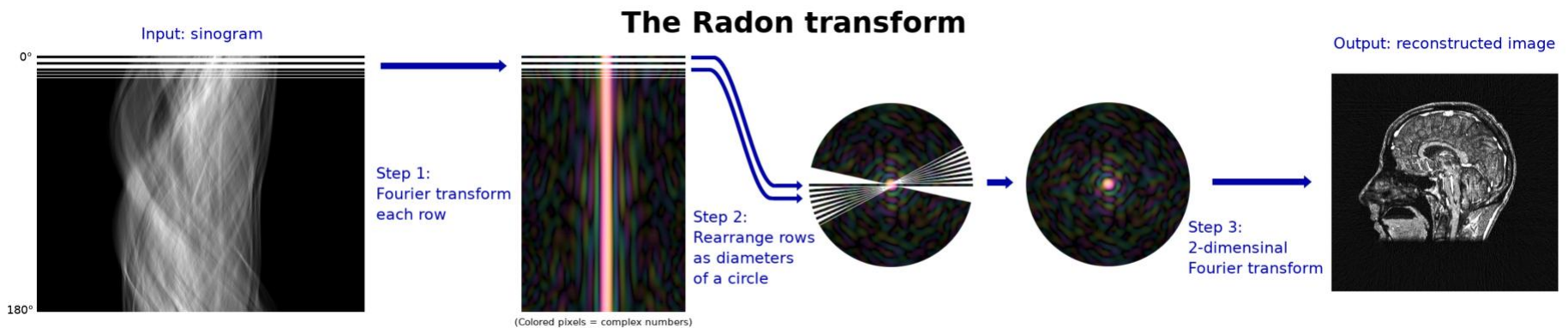


# Tomografia komputerowa

## Transformata Radona

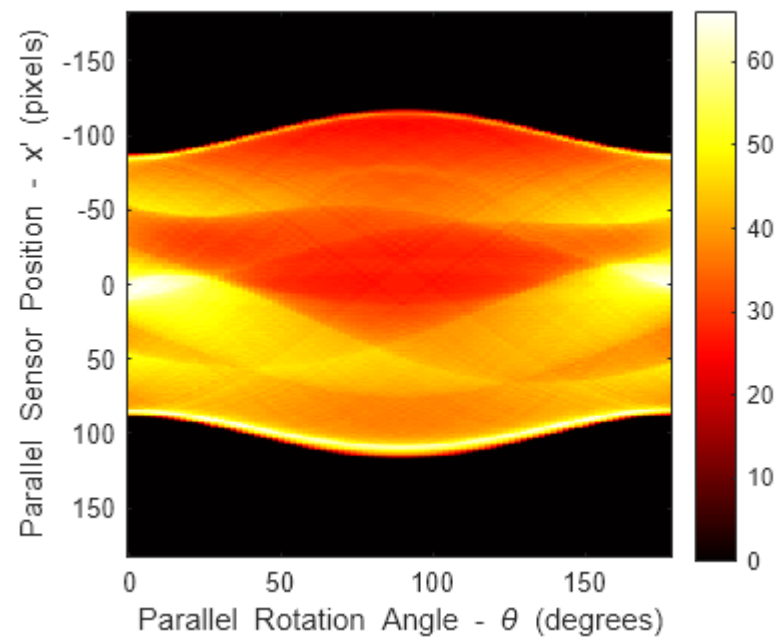


By LucasVB - Own work, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=103534106>



By Peter Selinger - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=72653784>

## Transformata Radona

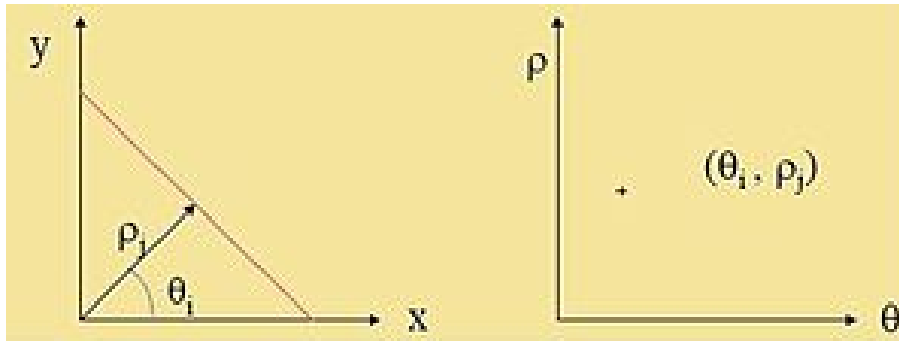


Reconstruction from Parallel Beam Projection with 18, 24, and 90 Projection Angles

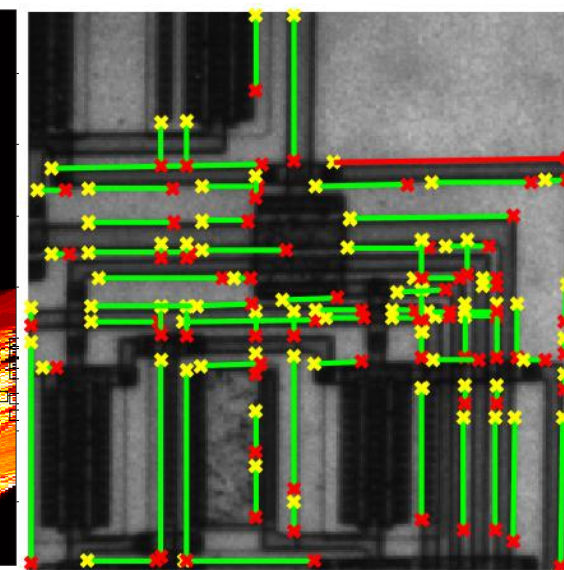
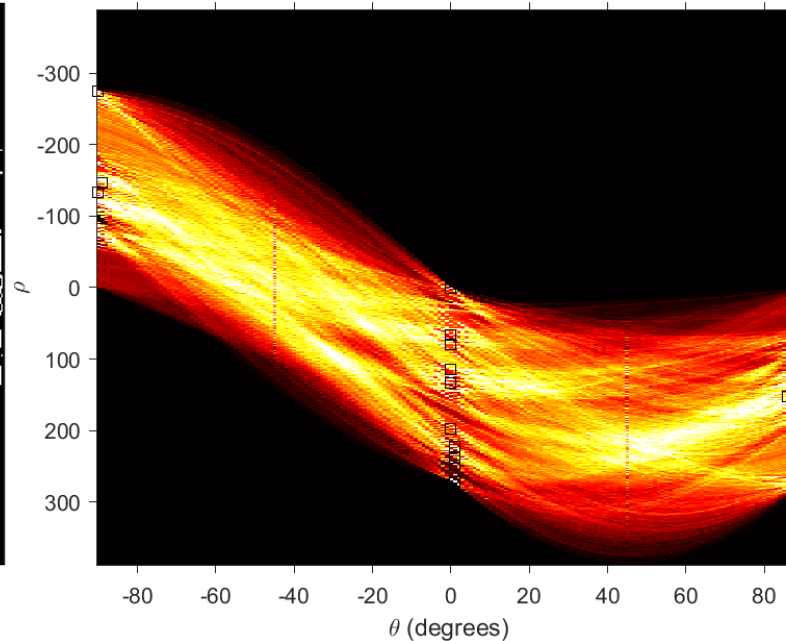
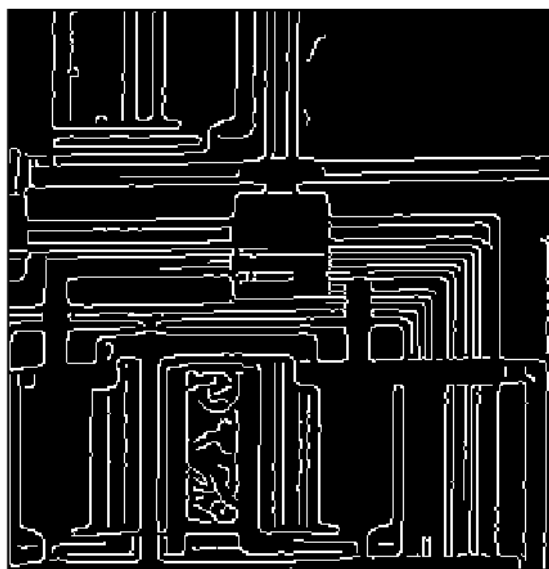


## Transformata Hougha

współrzędne piksela  $(x,y)$  -> zamieniam na -> współrzędne (ką, odległość)



$$x \cos(\theta) + y \sin(\theta) = \rho.$$



szkielet1.m  
dopunktu.m  
kolozebate.m  
segment1.m