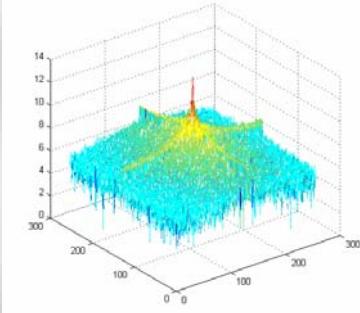
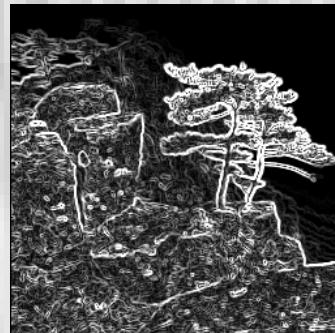
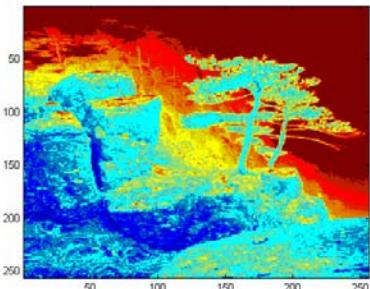


# *Cyfrowe przetwarzanie i rozpoznawanie obrazu*



**Prof. dr hab. inż. Małgorzata KUJAWIŃSKA**



**Politechnika Warszawska**  
**Instytut Mikromechaniki i Fotoniki**  
**ul. Św. Andrzeja Boboli 8, 02-525 Warszawa**  
**e-mail: [m.kujawinska@mchtr.pw.edu.pl](mailto:m.kujawinska@mchtr.pw.edu.pl)**



# **Program wykładu- 15 godz.**

## **1. Wprowadzenie**

- scena widzenia maszynowego, reprezentacje obrazu, zastosowania

## **2. Detektory i displeje**

## **3. Operacje na obrazach**

- geometryczne, arytmetyczne, filtracje, morfologiczne

## **4. Segmentacja obrazów**

## **5. Cyfrowe rozpoznawanie obrazów**

## **6. Metody analizy obrazów prążkowych**

## **7. Metody analizy 3D/4D**

# Literatura

## Wprowadzenie

J.C. Russ, „The image processing handbook” CRC Press, 1992

J. Zabrodzki, "Grafika komputerowa", WNT, 1994.

W. K. Pratt, "Digital Image Processing", PIKS Inside, Willey, 2001.

## Detektory

Z.Bielecki, A.Rogalski, "Detekcja sygnałów optycznych", WNT, 2001.

W. F. Schreiber, "Fundamentals of Electronic Imaging Systems", Springer-Verlag, Berlin, 1986.

E. L. Dereniak, G. D. Boreman, "Infrared Detectors and Systems", Willey, 1996.

M. G. Kang, "Selected Papers on CCD and CMOS Imagers", SPIE, 2003.

## Operacje na obrazach

D. Watkins, A. Sadun, S. Marenka: "Nowoczesne Metody Przetwarzania obrazu,, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995

F. van der Heijden: "Image Base Measurement Systems", Wiley & Sons Ltd, 1994

L. Wojnar, M. Majorek: " Komputerowa analiza obrazu", Fotobit Design, 1994

Interpolate this - <http://www.interpolatethis.com/closeups/nearestCU.html>

Nasa - <http://www.nasa.gov>

Jane's Information Group - <http://www.janes.com/>

Americas Wonderlands - [http://www.americaswonderlands.com/digital\\_photo\\_interpolation.htm](http://www.americaswonderlands.com/digital_photo_interpolation.htm)

# Literatura

## Segmentacja obrazów oraz cyfrowe i optyczne rozpoznawanie obrazów

D. Watkins, A. Sadun, S. Marenka: "Nowoczesne Metody Przetwarzania obrazu" Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995

F. van der Heijden: "Image Base Measurement Systems", Wiley & Sons Ltd, New York 1994

L. Wojnar, M. Majorek: " Komputerowa analiza obrazu", Fotobit Design, Kraków, 1994

A.R.Weeks "Fundamentals of Electronic Image Processing", IEEE/SPIE Press, New York, 1996

W.T. Cathey, „Optyczne przetwarzanie informacji i holografia”, PWN 1978

## Metody analizy obrazów prążkowych

K. Patorski, M. Kujawińska, L.Sałbut, „Interferometria laserowa z automatyczną analizą obrazu”, Wyd. PW, Warszawa, 2005

D. Robinson, G. Reid , „Interferogram analysis”, IOP Press, 1993

# Literatura

## Metody analizy 3D/4D

K. Kraus, **Photogrammetry, Volume 1, Fundamentals and Standard Processes**, Köln 2000.

Z. Kurczyński, R. Preuss, **Podstawy fotogrametrii**, Warszawa 2000

K. Patorski, M. Kujawińska, L. Sałbut, „**Interferometria laserowa z automatyczną analizą obrazu**”, Wyd. PW, Warszawa, 2005

R. Sitnik, **Zautomatyzowany system do pomiaru, analizy i eksportu obiektów trójwymiarowych do systemów inżynierskich i multimedialnych**, praca doktorska, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.

<http://qrail.cs.washington.edu/projects/moscan/> - strona WWW poświęcona jednej z metod wykorzystującej projekcję światła strukturalnego

<http://www.simple3d.com/> - strona WWW zawierająca łącza do innych stron związanych z technologią umożliwiającą tworzenie modeli obiektów 3D i śledzenia obiektów 3D w czasie

<http://www.laserdesign.com/> - strona WWW firmy Laser Design

<http://www.3rdtech.com/> - strona WWW firmy 3rdTech

<http://www.smarttech.pl/> - strona WWW firmy Smarttech

<http://www.famous3d.com/> - strona WWW firmy famous3D

<http://www.motionanalysis.com/> - strona WWW firmy Motion Analysis Corporation

# Laboratorium – 15 godz

- Budowa, podstawowe oprogramowanie i konfiguracja sprzętowa podstawowego układu widzenia maszynowego.
- Poprawa jakości obrazu: operacje arytmetyczne i morfologiczne
- Filtry splotowe – badanie właściwości.  
FFT i jej zastosowanie w przetwarzaniu obrazu.
- Pomiary i rozpoznanie obiektów w obrazie.
- Analiza obrazów prążkowych
  - metody przesunięcia fazy
  - metoda transformaty Fouriera

# Zaliczenie

- Liczba godzin zajęć według planu studiów

Semestr	Wykład	Ćwiczenia	Labor.	Projektowanie
VIII	15	-	15	-

**Zaliczenie na podstawie 1 kolokwiów i zal. laboratorium (6 ćwiczeń)**

Razem: 60 punktów

Kolokwium: 30pkt, Laboratorium: 30 pkt

**Wymagane zaliczenie WSZYSTKICH ćwiczeń lab.**

# WPROWADZENIE

- Rozwój technik przetwarzania obrazu
- Podstawowe definicje
- Zastosowania

# Obrazy cyfrowe i przetwarzanie obrazu

**Tabela 1. Tabelaryczna historia techniki obrazowej**

XVI wiek	J.B.Porta - kamera oworkowa / kamera obscura
1835	H.F.Talbot - połączenie kamera obscura i zapisu na materiałach srebrowych
1884	wynalezienie kamery z przewijanym filmem ( G.Eastuan) upowszechnienie się fotografii czarno-białej
1861	początek fotografii kolorowej ( J.Maxwell)
1889	wynalezienie przez Edisona kamery filmowej (48 obrazów/sek.) a potem projektora filmowego początek ery filmu
1880	J.Perry dał koncept telewizji i kamer CCD, ale brak realizacji
1895	kinematograf braci Lumiere i narodziny kina
1906	Lee De Forest - wynalezienie kineskopu
1915	początki filmu kolorowego
1918	V.Zworykin złożył patent opisujący pełen system telewizyjny
1923	pierwszy pełnometrażowy film animowany
1940	pierwsza prezentacja zastosowania systemu telewizyjnego ( program przesyłany do 4 000 odbiorników, Nowy Jork)

## Obrazy w rozwoju cywilizacji - cd

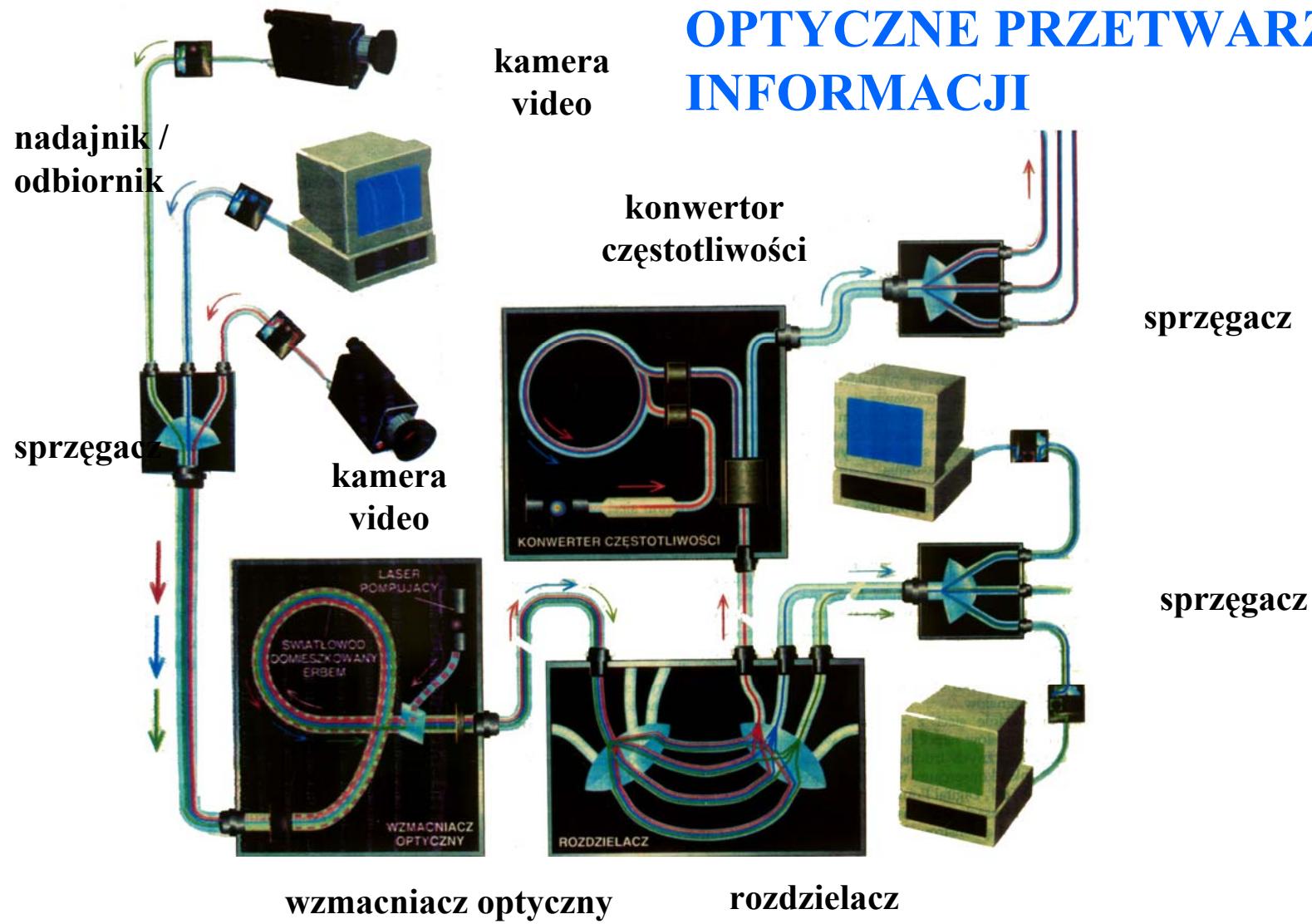
**Tabela 1. Tabelaryczna historia techniki obrazowej - cd**

1941	zatwierdzenie pierwszej komercyjnej TV standard NTSC ( National Television Standards Committee) kanał TV 6MHz szerokości z częstotliwością nośną dźwięku położoną 4,5 MHz powyżej częstotliwości nośnej video TV – video modulacja amplitudy sygnału (AM) dźwięk – modulacja częstotliwości (FM) stosunek H/V = 4/3, częstotliwość 30 Hz
1950	wynalezienie kolorowej TV
1960	początki cyfrowego przetwarzania obrazu na potrzeby NASA – misje Ranger'a
1962	Pierwsze interferometry z automatyczną analizą interferogramów (detektory punktowe) Początek rozwoju holografii klasycznej
Od 1965	obróbka zdjęć satelitarnych i kolejnych misji NASA i europejskich programów kosmicznych Pierwsze systemy kontroli produkcji
1987	C. Loop – rozwinięcie idei powierzchni „subdivision”, podwaliny pełnometrażowej animacji komputerowej
1995	Toy Story – pierwszy pełnometrażowy w pełni komputerowy film animowany, studio filmowe Pixar
2000	Rozwój systemów inteligentnej produkcji

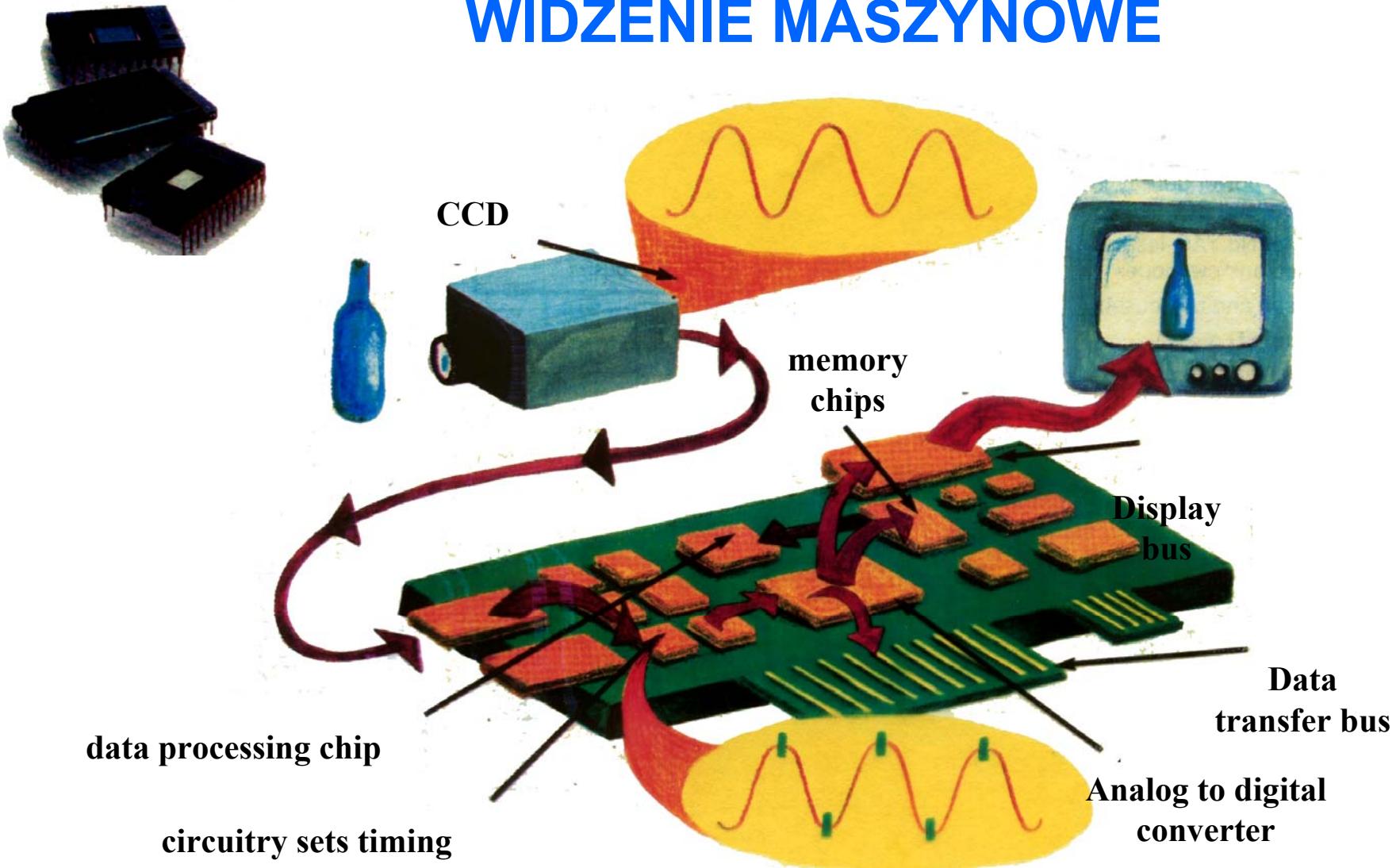
# Spektakularne osiągnięcia systemów przetwarzania obrazu

- poprawa obrazów rejestrowanych przez teleskop Hubble'a (źle zaprojektowane zwierciadła dają oryginalnie zaberowany mocno rozogniskowany obraz)
- zastosowania medyczne: wczesna diagnostyka raka (obrazy rentgenowskie), tomografia, analityka (analiza obrazów mikroskopowych)
- zastosowania związane z zabezpieczeniami: rozpoznawanie odcisków palców, rozpoznawanie wzoru tęczówki
- **zastosowania w widżeniu maszynowym: kontrola przemysłowa, roboty mobilne**
- Wprowadzenie danych o obiektach 3D do VR

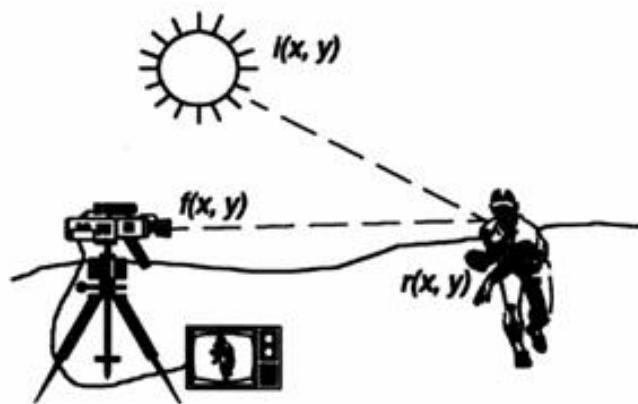
# Telekomunikacja: TECHNIKA ŚWIATŁOWODOWA



# WIDZENIE MASZYNOWE



## Obraz: rzut przestrzeni 3D na fragment płaszczyzny (2D)

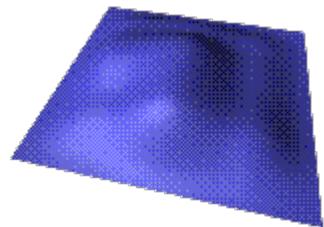


Rozkład energii światła w funkcji współrzędnej przestrzennej  $f(x, y)$

$$i(x, y) \cdot r(x, y, z) = g(x, y, z) \rightarrow f(x, y)$$

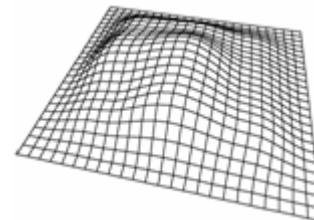
Rzutowanie współrzędnych świata trójwymiarowego na współrzędne dwuwymiarowe detektora.

$f(x, y)$



Obraz analogowy

$f(i, j)$



obraz cyfrowy

# Optoelektronika - definicje

- **Analiza obrazu:** zmiana przestrzennie rozłożonego zbioru informacji w ciąg sekwencyjnych w czasie sygnałów

$$f(x,y) \rightarrow g(t)$$

- **Synteza obrazu:** zmiana ciągu sekwencyjnych w czasie sygnałów na zbiór przestrzennie rozłożonych informacji

$$g(t) \rightarrow f(x,y)$$

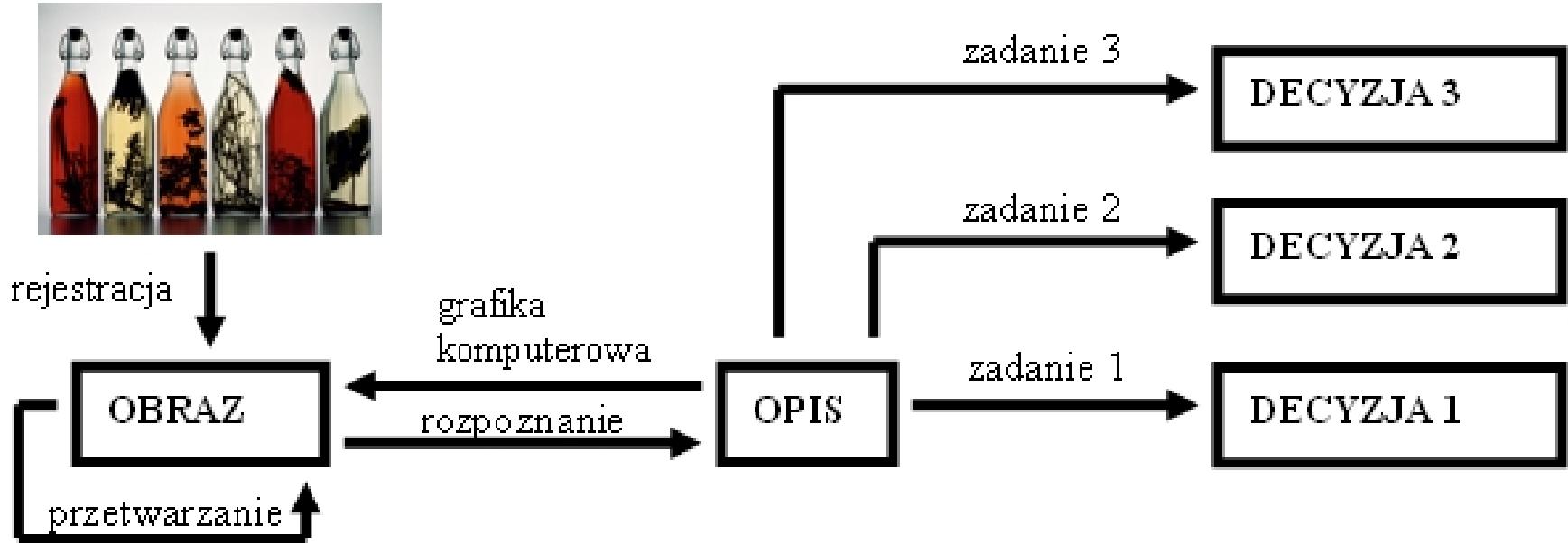
- **Konwersja obrazu:** przetworzenie wybranych parametrów obrazu wejściowego na pożądane parametry obrazu wyjściowego

$$\text{np. } f(x,y) \rightarrow f_k(i,j) \rightarrow$$

np. ( $k = 1, \dots, 256$  kwantyzacja)

( $i,j = 1, \dots, 128$  próbkowanie)

# Zależności pomiędzy działami techniki obrazowej



**Przetwarzanie obrazu :** obraz → obraz

**Rozpoznawanie obrazu :** obraz → opis symboliczny

**Grafika komputerowa :** opis symboliczny → obraz

**Analiza obrazu = przetwarzanie + rozpoznawanie**

# Zadania systemu widzenia maszynowego

## 1. Przetwarzanie funkcji jasności

- efektywne kodowanie funkcji jasności
- poprawa jakości obrazów (dla człowieka, dla „maszyny”)
- obliczanie transformaty funkcji jasności
- kompresja danych

## 2. Analiza poszczególnych fragmentów obrazu (rozpoznawanie obiektów)

Obraz → Segmentacja → Opis → Klasyfikacja → Automatyczny operator

Przetworzony obraz → Rozpoznanie → Sformalizowany opis fragmentów obrazu

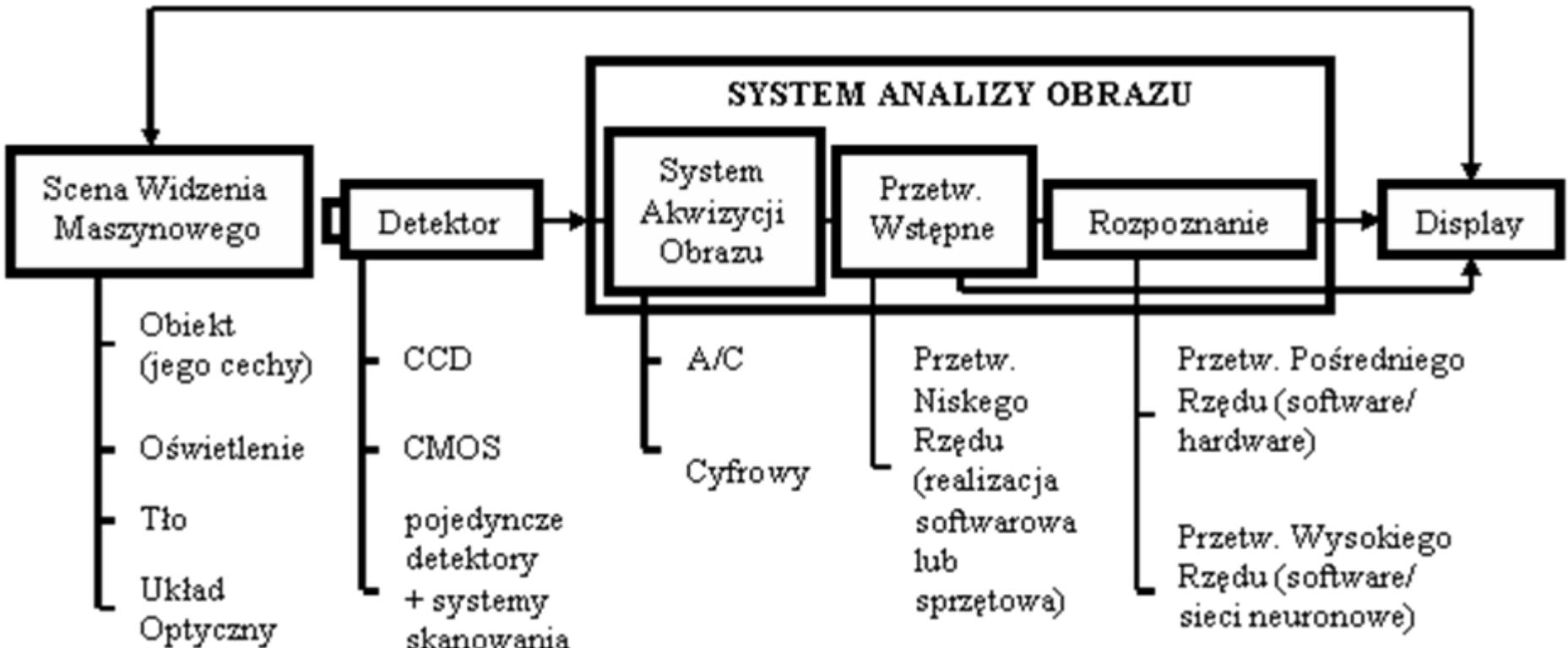
## 3. Analiza treści całego obrazu (interpretacja sceny)

- Zrozumienie globalnego sensu sceny na podstawie wyniku poprzednich etapów analizy
  - proces iteracyjny: powracanie do etapu rozpoznawania obiektu i dostosowywanie wyniku do weryfikowanej hipotezy
  - metody sztucznej inteligencji

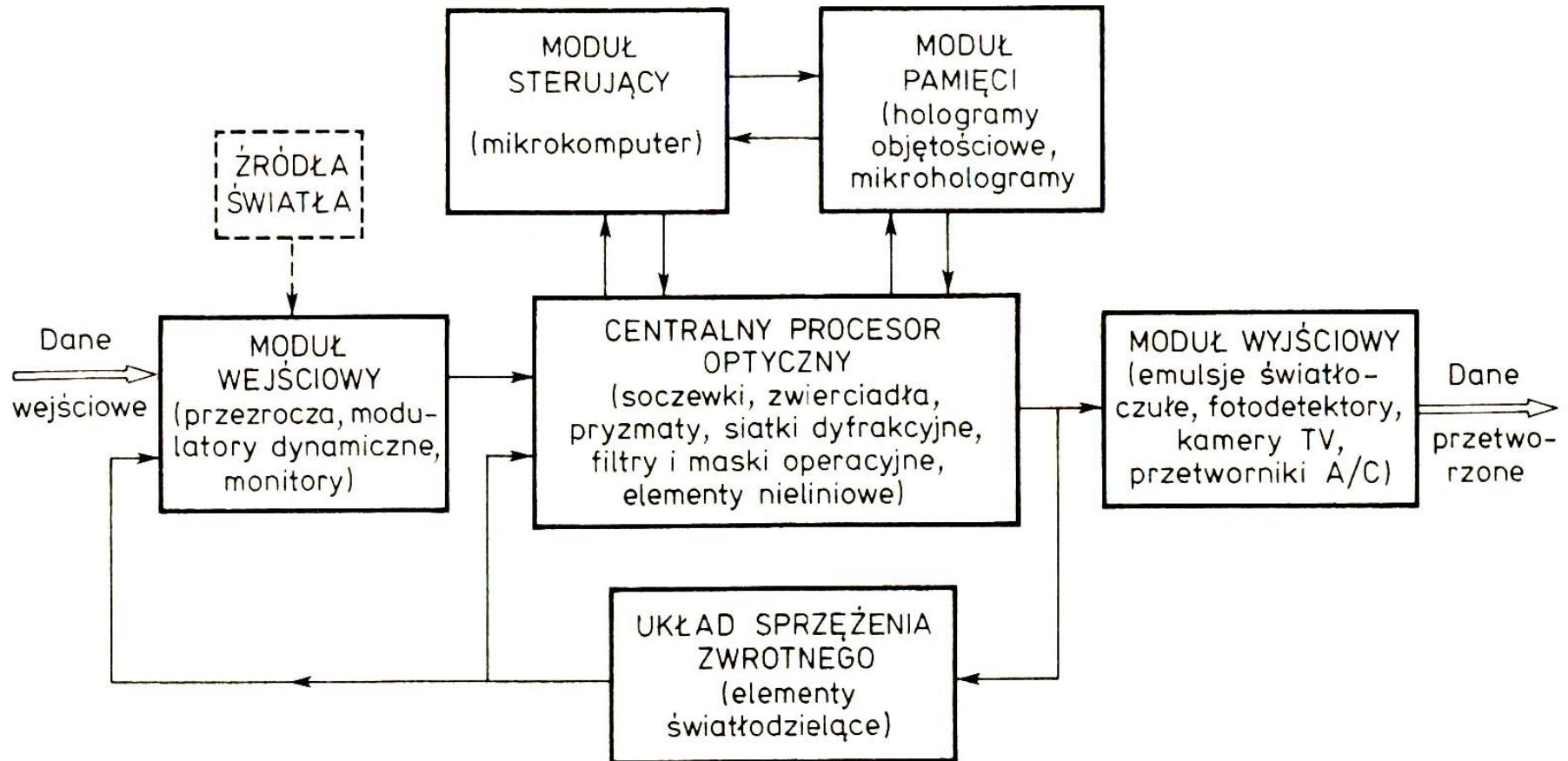
## 4. Techniki specjalne

- detekcja 3D
- detekcja ruchu
- techniki tomograficzne

# Moduły systemu przetwarzania obrazu



# Optyczny system przetwarzania informacji



# Scena widzenia maszynowego

- **Obiekt amplitudowo-fazowy**

$$o(x,y) = Oo(x,y) \exp(\xi(x,y))$$

faza  $\xi(x,y)$  – różnica dróg optycznych (kształt, współczynnik załamania)

gdy obiekt 3W to projekcja przestrzeni 3W na odbiornik 2W

- **Transmisyjny, odbiciowy, rozpraszający**

ważne przy doborze oświetlenia

- **Stacjonarny, ruchomy** (odniesienie do czasu akwizycji obrazu)

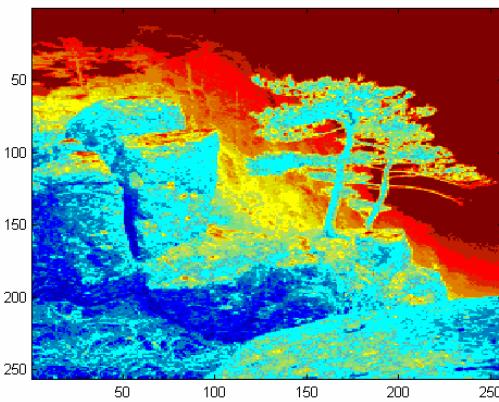
Def. Czasu rzeczywistego

- **Wymiar obrazu**

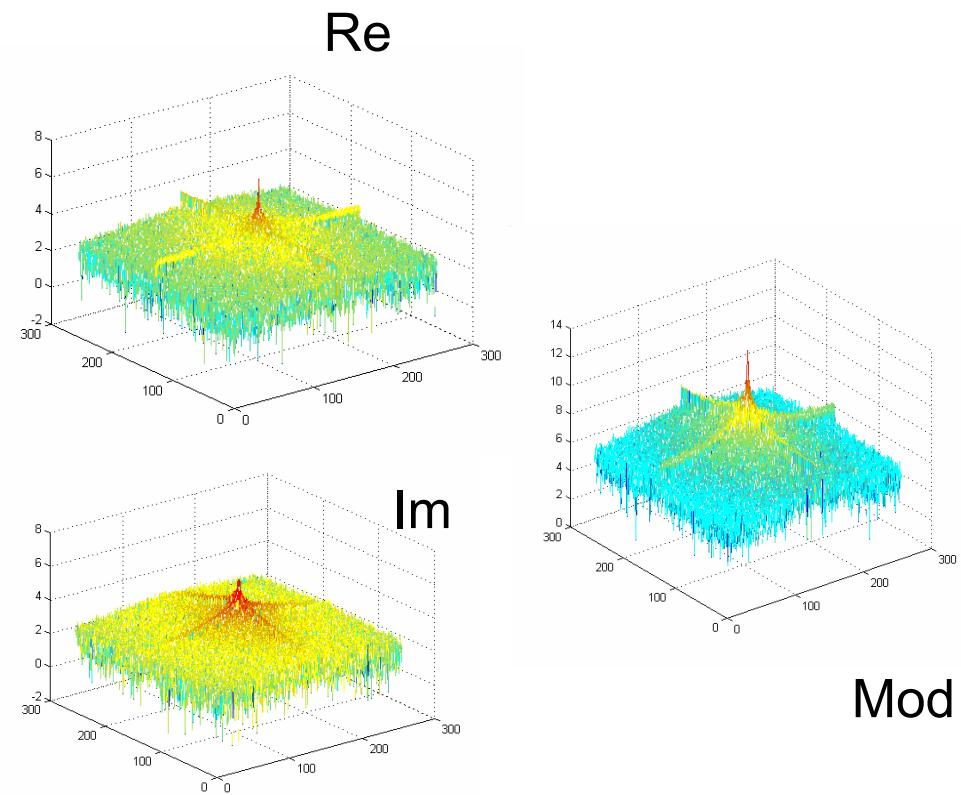
- ważne przy doborze optycznego systemu odwzorowującego, problem rozdzielczości przestrzennej systemu i oczekiwanych dokładności (1 piksel= xxx [mm])

# Reprezentacje obrazu

- 2D (x,y, R,G,B)
- 3D (x,y,z,R,G,B)
- częstotliwościowe



FFT2



# Wybrane własności dwuwymiarowego przekształcenia Fourier'a

• Jeśli funkcja  $f_{n,m}$  jest:

- rzeczywista i parzysta  $f(n,m) = f(-n,-m)$ , to jej transformata Fourier'a jest także rzeczywista i parzysta,  $F(u,v)=F(-u,-v)$ ;
- rzeczywista i nieparzysta, to jej transformata Fourier'a jest urojona i nieparzysta;
- rzeczywista i ponadto  $f(n,m)=f(-n,m)=f(n,-m)$ , to jej transformata Fourier'a  $F(u,v)$  jest także rzeczywista i  $F(u,v) = F(-u,v)=F(u,-v)$ ;

• Wybrane twierdzenia:

• Twierdzenie o liniowości

$$FT[af(n,m)+bg(n,m)] = aF(u,v) + bG(u,v)$$

• Twierdzenie o podobieństwie

$$FT[f(an,bm)] = \frac{1}{|ab|} F\left[\frac{u}{a}, \frac{v}{b}\right]$$

**Twierdzenie o przesunięciu w dziedzinie położeń**

$$FT[f(n-n_0, m-m_0)] = F(u,v)e^{[-i2\pi(n_0u+m_0v)]}$$

• Twierdzenie o splocie w przestrzeni położień

$$FT[f(n,m) \otimes g(n,m)] = F(u,v) * G(u,v)$$

• Twierdzenie o splocie w dziedzinie częstotliwości

$$FT[f(n,m) * g(n,m)] = F(u,v) \otimes G(u,v)$$

• Twierdzenie o wzajemności transformat

$$FF[FF[f(n,m)]] = f(-n,-m)$$

$$iFF[FF[f(n,m)]] = f(n,m)$$

# FFT

- FFT jest transformacją na **liczbach zespolonych**.
- Jako dane wejściowe do algorytmu numerycznego FFT wykorzystujemy dwie tablice:
- Tablica WeRe NxN części rzeczywistej funkcji zespolonej oraz
- Tablica WeIm NxN odpowiadająca części urojonej funkcji zespolonej
- Jako dane wyjściowe otrzymujemy odpowiadające tablicom wejściowym tablice wyjściowe WyRe NxN oraz WyIm NxN
- Przy przetwarzaniu obrazów pobranych z kamery gdzie mamy tylko informację o intensywności obrazu część urojona wynosi **zero**.

# FFT

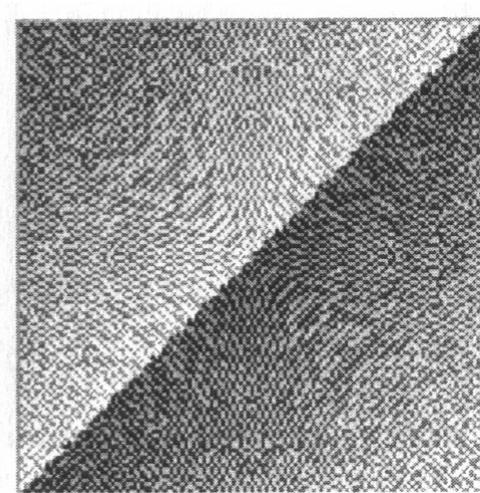
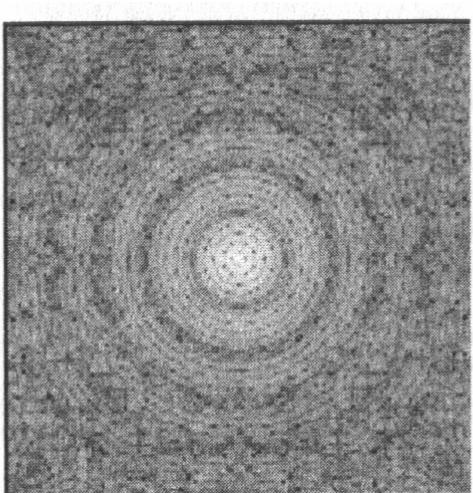
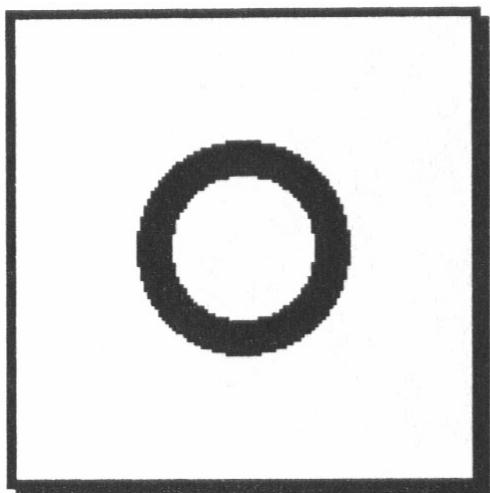
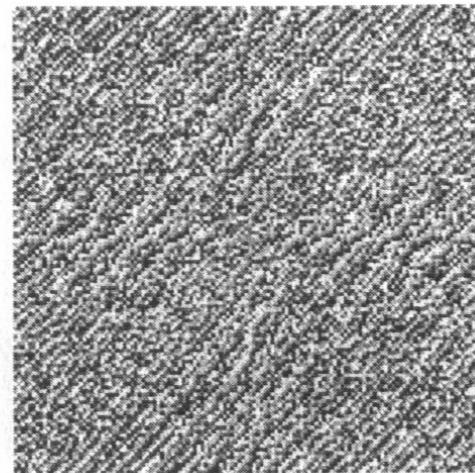
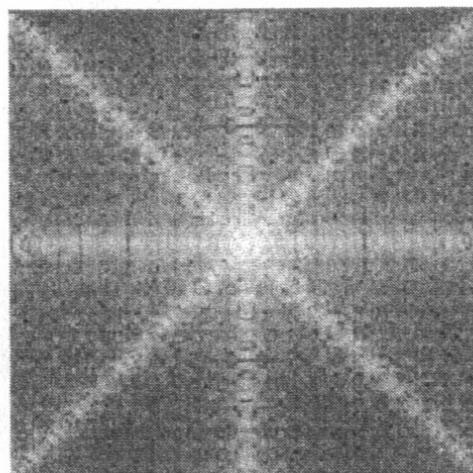
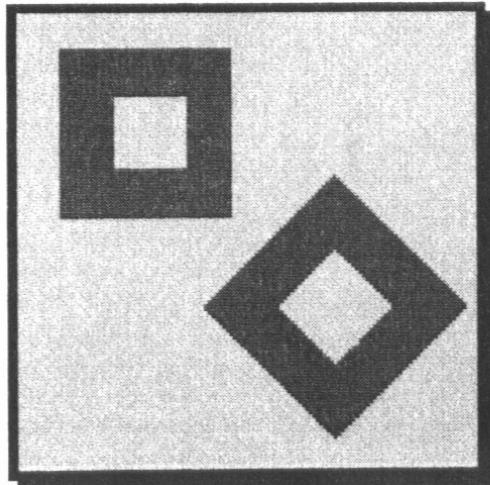
- Po szybkiej transformacie Fouriera (FFT) otrzymujemy następujące informacje:
- część rzeczywistą WyRe
- część urojoną WyIm
- fazę

$$\Phi(u, v) = \tan^{-1} \left( \frac{W y \operatorname{Im}(u, v)}{W y \operatorname{Re}(u, v)} \right)$$

- amplitudę

$$A(u, v) = \sqrt{W y \operatorname{Re}^2(u, v) + W y \operatorname{Im}^2(u, v)}$$

# Przykładowe wyniki FFT

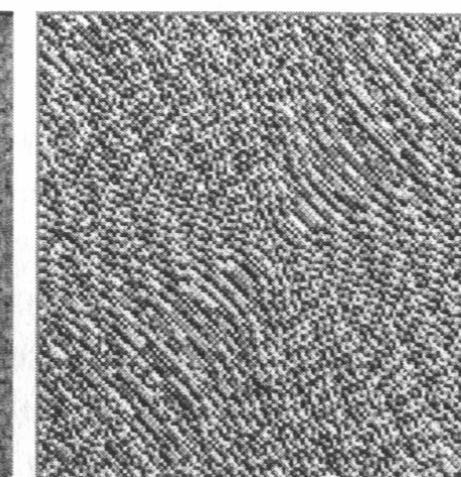
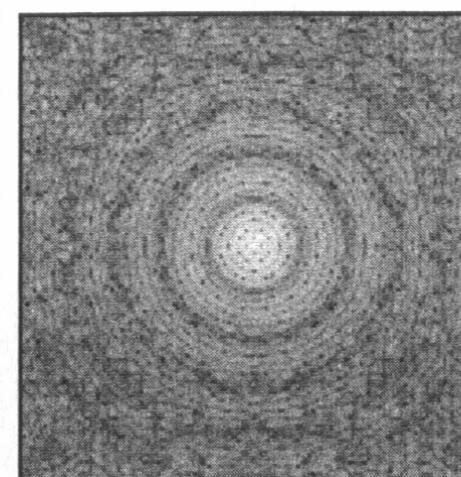
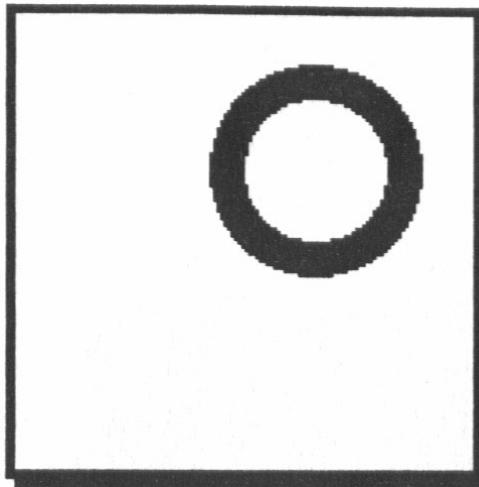
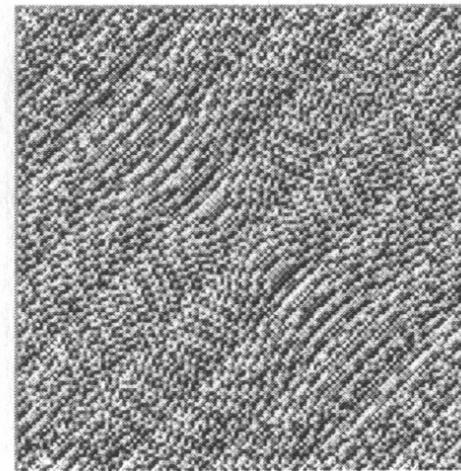
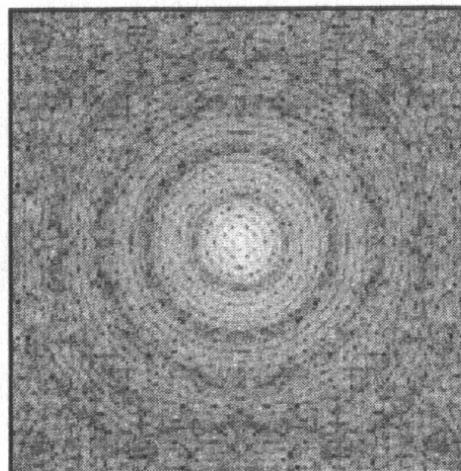


obraz

amplituda

faza

# Przykładowe wyniki FFT

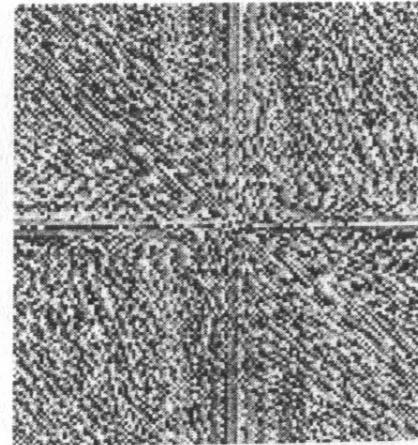
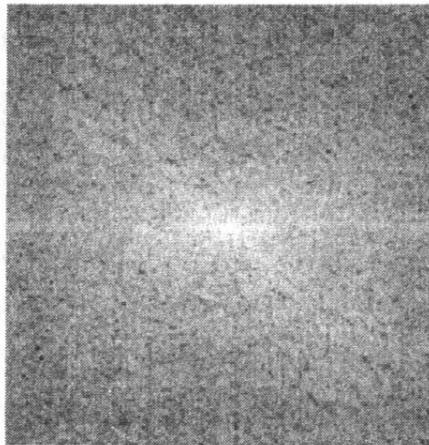
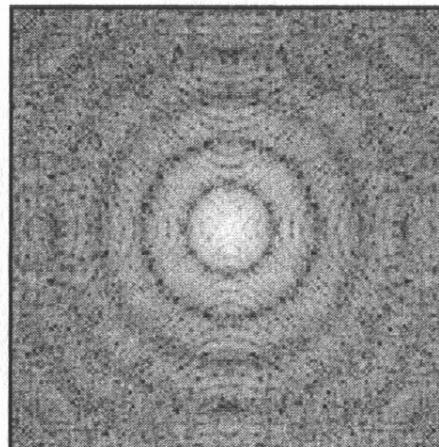
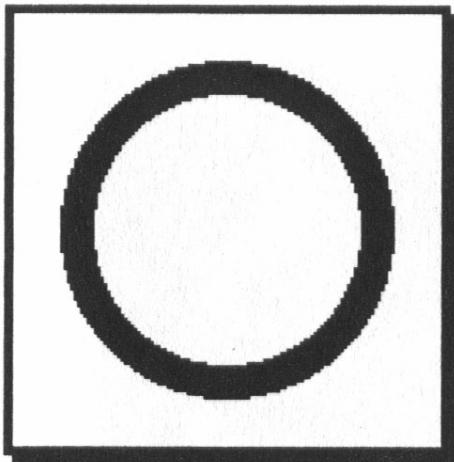


obraz

amplituda

faza

# Przykładowe wyniki FFT



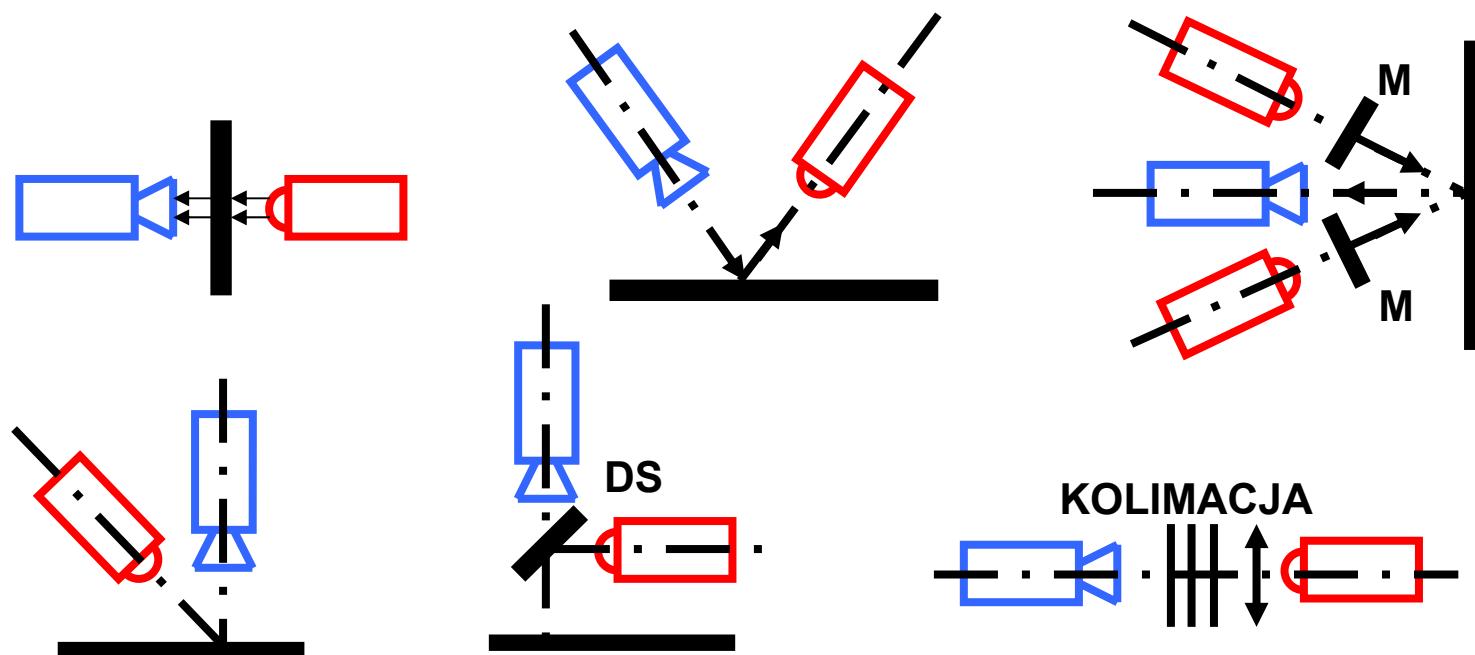
obraz

amplituda

faza

# Oświetlenie obiektu

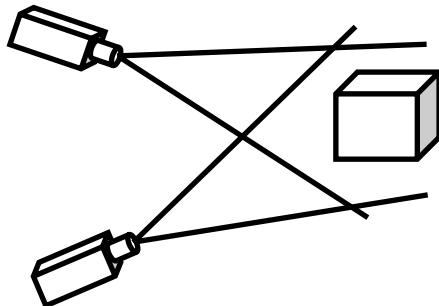
- **niekoherentne** (białe barwne)
- **koherentne** (przestrzennie, czasowo)  
światło laserowe (problem plamkowania – metody zmniejszania koherencji) – szum wysokoczęstotliwościowy



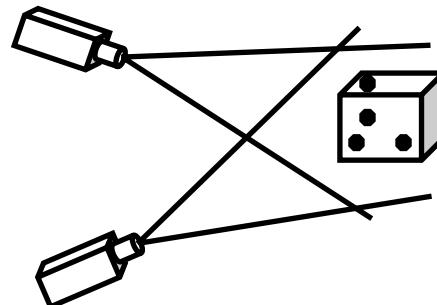
# Systemy oświetlenia strukturalnego

## Metody pasywne

stereometria

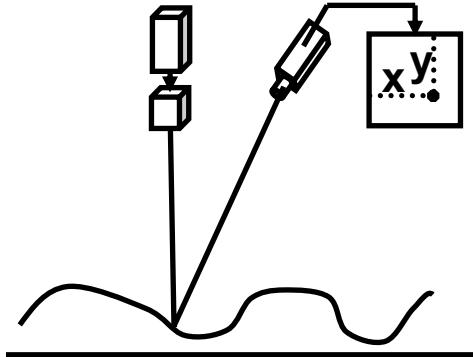


fotogrametria

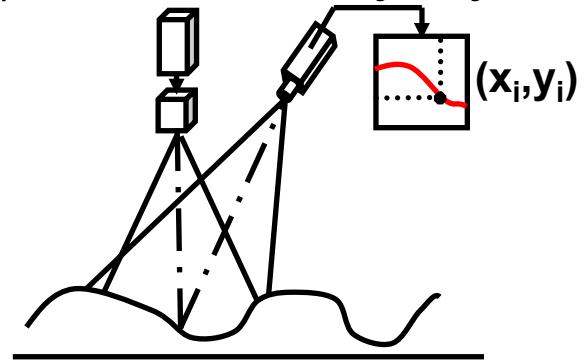


## Metody aktywne

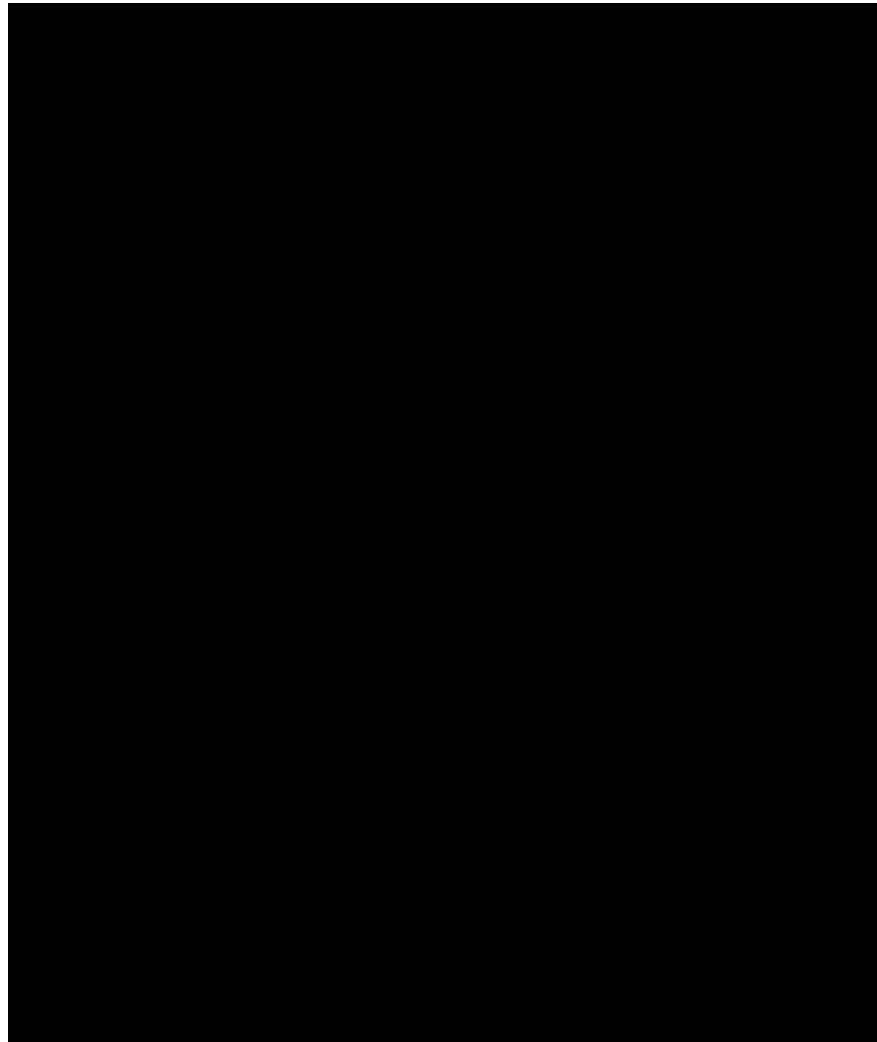
Projekcja punktu (znacznika)



Projekcja linii



# Projekcja rastrów



# Zastosowania

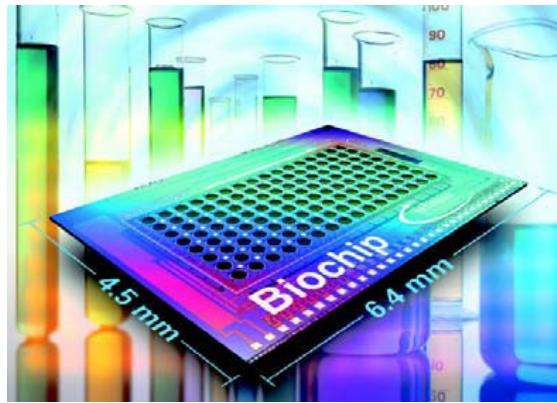
**Główne obszary zastosowań techniki obrazowej w zakresie przetwarzania i rozpoznawania to:**

- podbój kosmosu,
- zastosowania wojskowe i bezpieczeństwa publicznego,
- zastosowania CAx (inżynieria odwrotna, szybkie prototypowanie),
- metrologia optyczna, kontrola przemysłowa i badania niezawodności,
- medycyna,
- archiwizacja i dokumentacja obiektów, zabytków, itp.,
- efekty specjalne do filmów.

**Metody optyczne:**

kodowanie fazy  $(x,y,z)$ ,  $(u,v,w)$ ,  $n(x,y,z)$  obiektów z wykorzystaniem koherentnych i niekoherentnych metod prążkowych

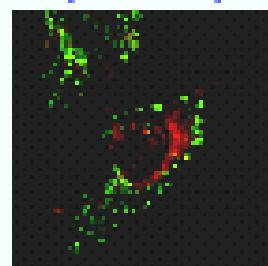
# Zastosowania: medycyna



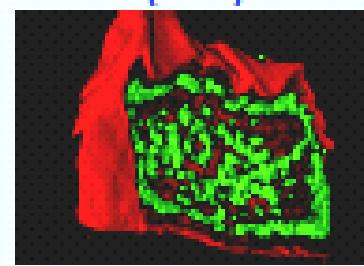
toxic markers  
(cell dies)



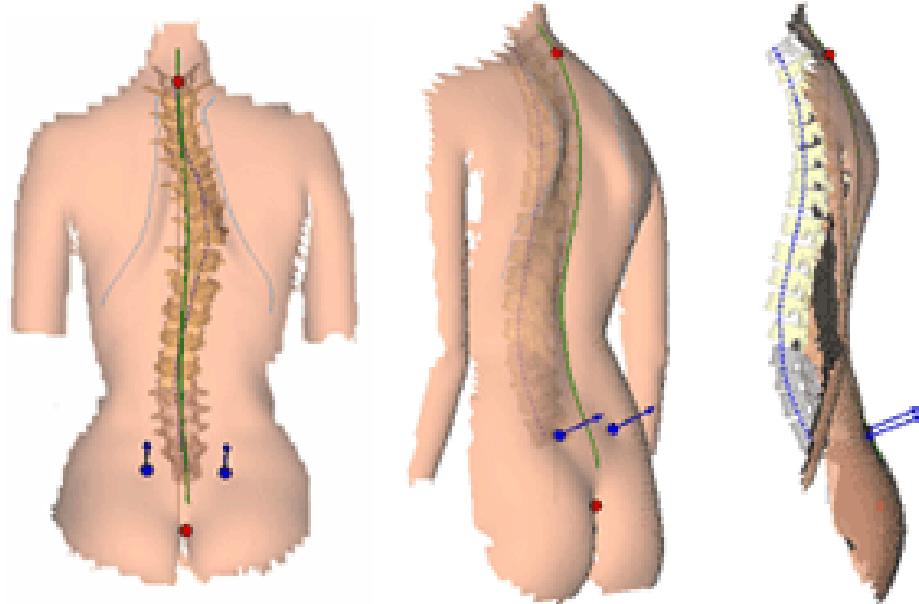
'living colors'  
(GFP)



Analysis of  
color and  
morphology  
(dead tissue)



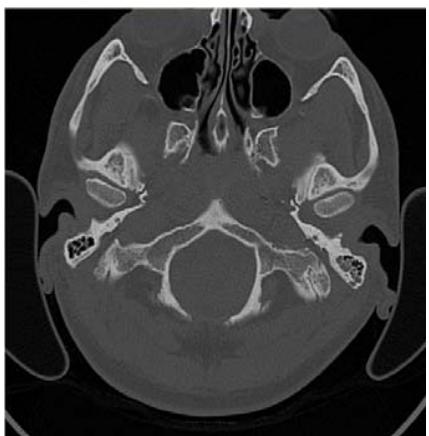
Analysis of  
function  
(living cell)



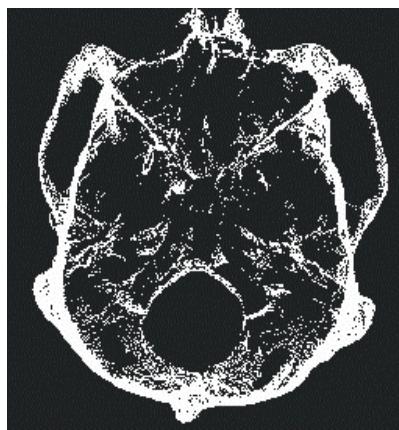
3D

Medycyna

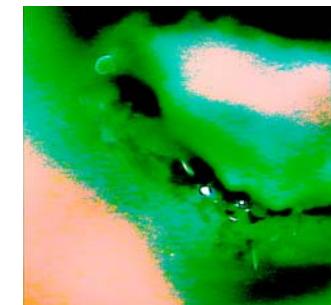
Stereomikroskopia



Obrazy tomograficzne i MRI

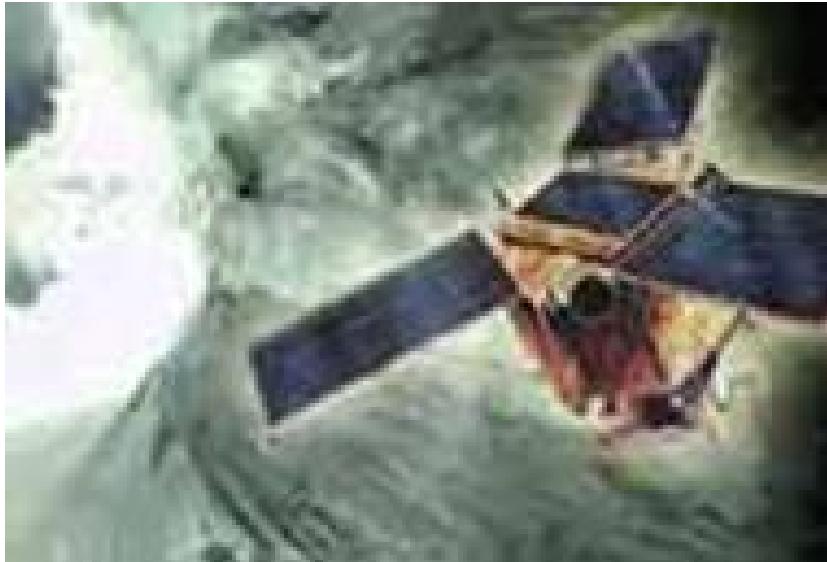


Segmentacja



Filtracja/  
pseudokolorowanie

# Zdjęcia satelitarne



Satelita szpiegowski: a) zdjęcie satelity, b) obraz wykonany przez systemy satelity

Różne zakresy promieniowania

# Kontrola produkcji

## Process and quality control

- The worldwide market for machine vision was approximately 6.8G€ in 2004
- According to AIA association, the worldwide application-specific to the machine vision systems market will nearly double between 2004 and 2009

2005 Preliminary North American Machine Vision (MV)

Sales Results

Components	Units Sold	Sales Revenue (\$ Millions)
Optics	76,724	\$30.9
Lighting	72,333	\$31.5
Cameras	69,726	\$75.6
Frame Grabbers	27,538	\$28.6
Software	-	\$20.4
Total Components	246,321	\$187.0
Integrated MV Equipment		
Smart Cameras	23,448	\$99.2
ASMV Systems	8,710	\$1,180.0

Source: Automated Imaging Association

# Procesy produkcyjne i kontrola jakości

## *Intelligent manufacturing*

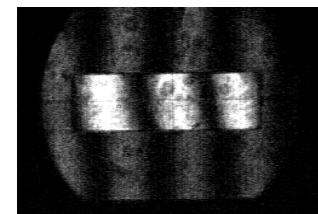
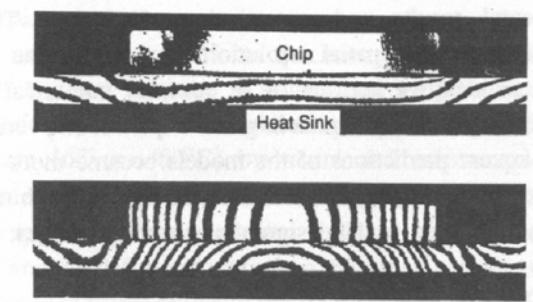
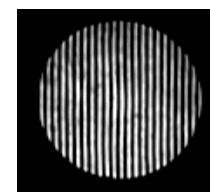
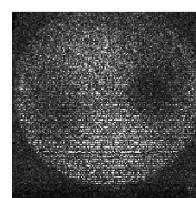
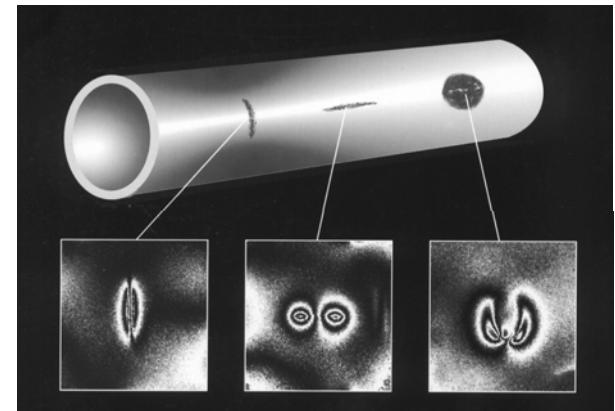
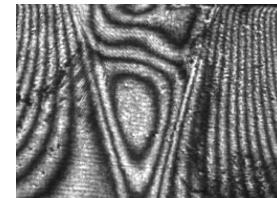
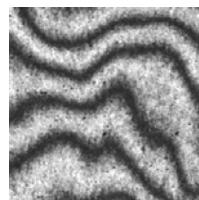
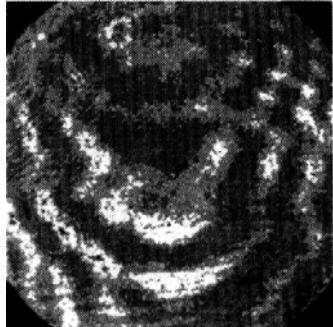


System pomiaru kształtu 3D w zastosowaniach kontroli przemysłowej ( [www.steinbichler.de](http://www.steinbichler.de) ).

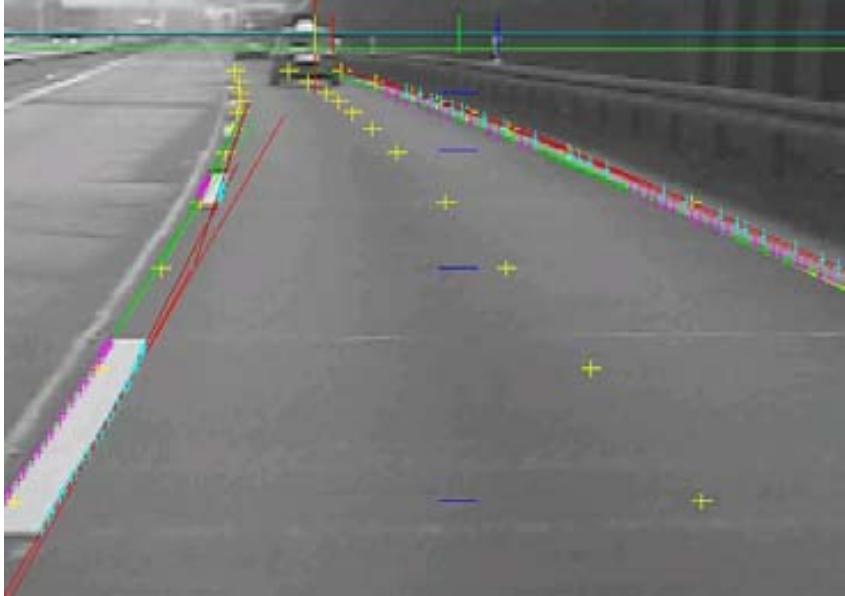


System wizyjny kontrolujący poprawność wykonania płyt głównych komputerów PC ( [www.cognex.ie](http://www.cognex.ie) ).

# OPTYCZNE METODY INTERFERENCJA, METODY RASTROWE



# Zastosowania- bezpieczeństwo



Automatic lane detection. Quelle: Aglaia GmbH)



THz imaging

Optical scanning is the technology of choice for rapid, non-contact identification)

## 3D/4D

### AUTOMATYCZNY SYSTEM POMIARU KSZTAŁTU OBIEKTÓW 3D



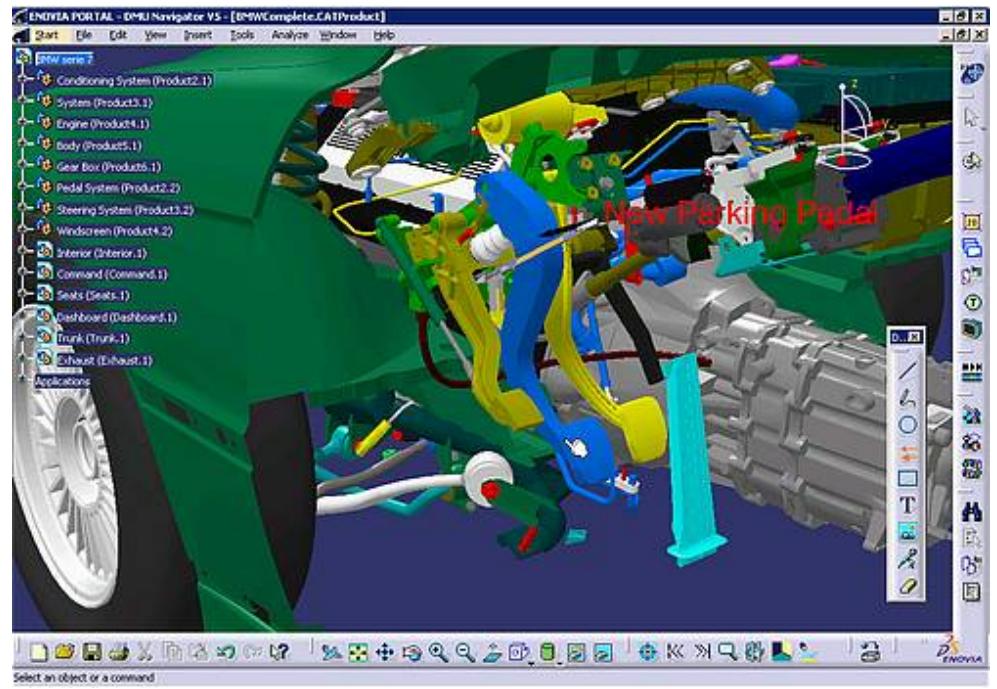
- ☒ Projektowanie odwrotne
- ☒ Wspomaganie systemów CAD/CAM
- ☒ Techniki multimedialne (VR, CG, Internet)

# CAx



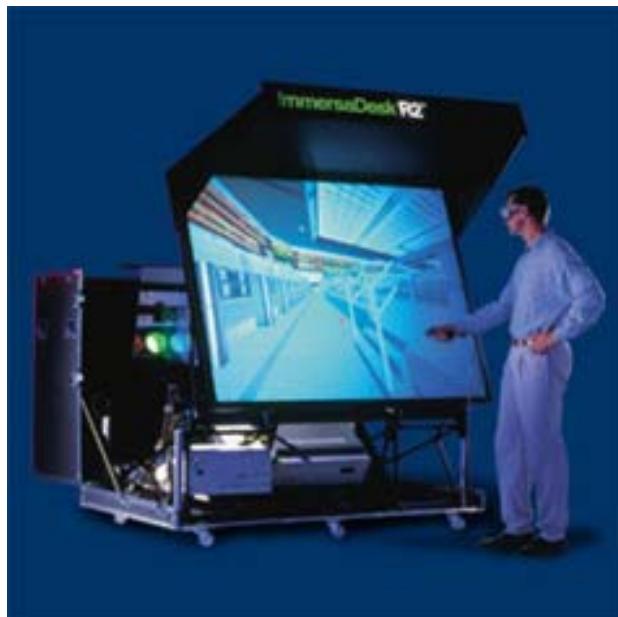
System do prezentacji nowych modeli samochodów  
(manufacturing. cadalyst. com).

Wizualizacja części w środowiskach CAx  
([www.catia.com](http://www.catia.com)).





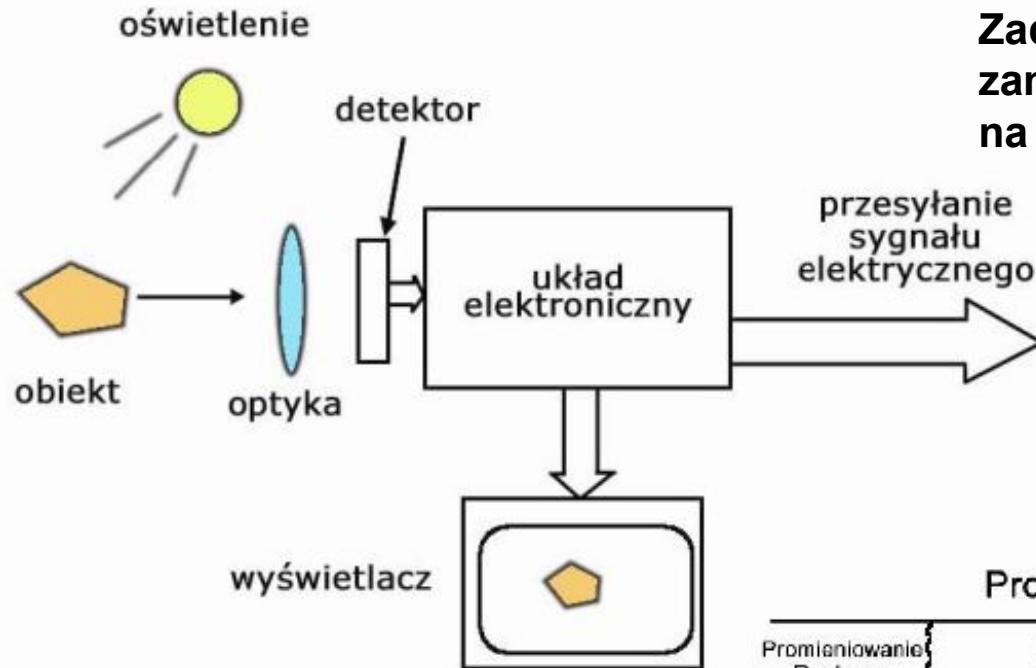
System do prezentacji nowych modeli samochodów (manufacturing. cadalyst. com).



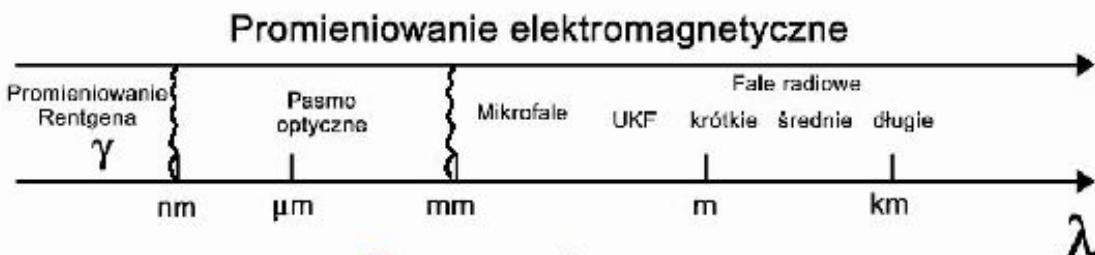
## Wykorzystanie pozyskanych danych 3D/4D w środowisku CAD/CAM i środowisku VR



# Detektory- wstęp



Zadaniem detektora jest ilościowa zamiana intensywności promieniowania na inny sygnał, najczęściej elektryczny



Zakresy:

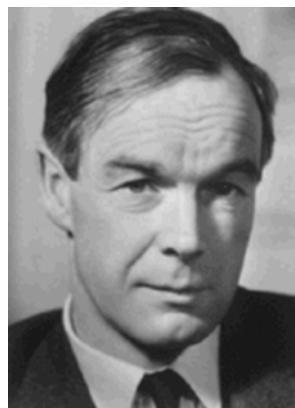
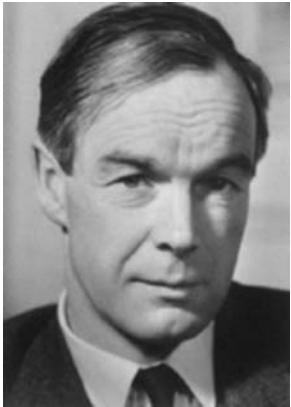
Podczerwień: do 2.5; 5-8; powyżej 12  $\mu\text{m}$

Widzialny 380- 760nm

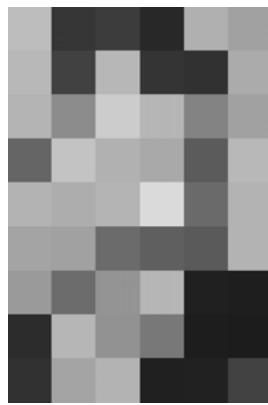
Nadfiolet <380nm



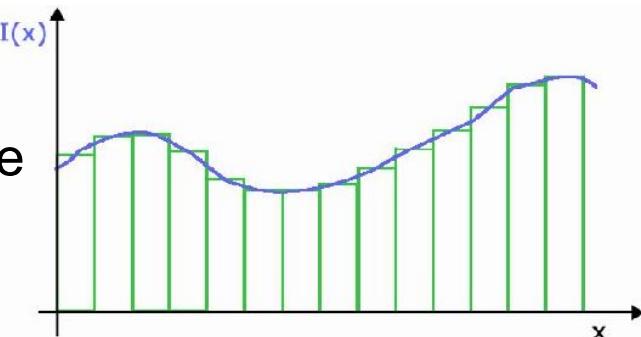
# Detektory



Kwantyzacja



Próbkowanie



Transformacja obrazu z ciągłej dziedziny (funkcja jasności) do dyskretnej składa się z czterech etapów:

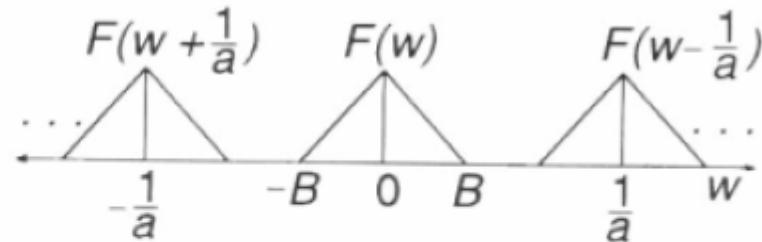
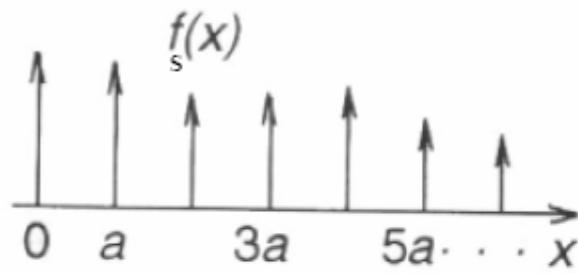
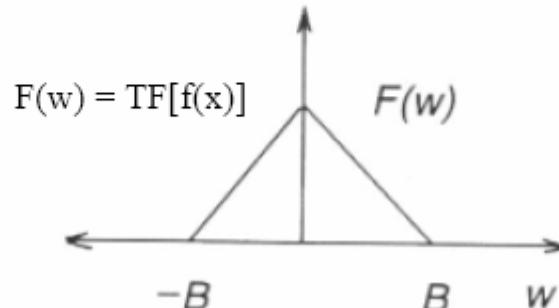
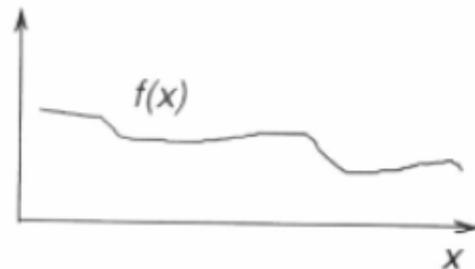
- **POMIAR** – przetwarzanie funkcji jasności na wielkości elektryczne (ładunek/ napięcie)
- **SKANOWANIE** – przetwarzanie dziedziny 2W (x,y) w dziedzinę 1W (t)
- **PRZESTRZENNE PRÓBKOWANIE** – przetwarzanie ciągłej dziedziny(x,y) w dyskretną dziedzinę (n,m)
- **PRZETWARZANIE A/C** – przetwarzanie wielkości elektrycznych w reprezentację cyfrową

# Probkowanie

Zał.  $f(x,y)$  – ciągła funkcja jasności

okres próbkowania =  $a$

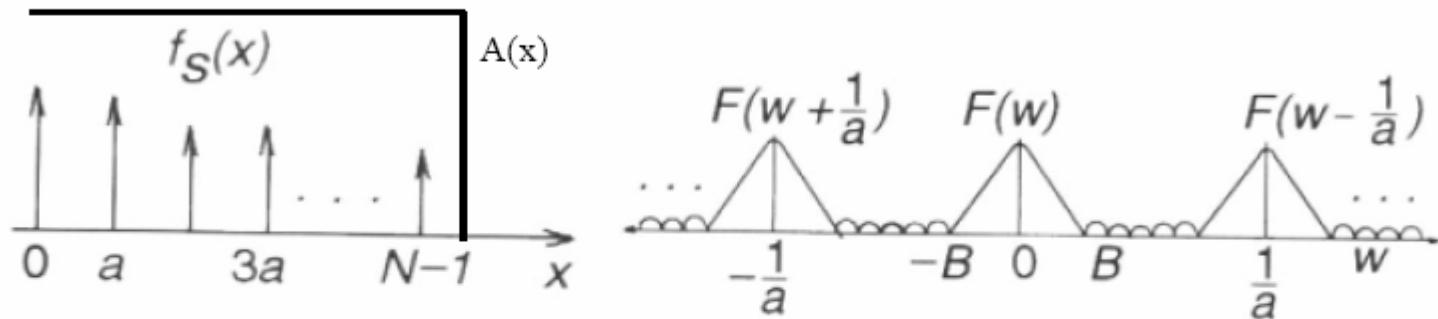
$$comb(\bar{ax}) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(ax - n)$$



$$f_s(x) = f(x) * comb\left(\frac{x}{a}\right) \quad TF\{f_s(x)\} = a * F(\omega) \otimes comb(a\omega - n)$$

# Wpływ wymiaru apertury A(x)

ograniczenie dziedziny funkcji  $A(x)\text{rect}(x/b)$



$$f_{SN}(x) = \left[ f(x) * \text{comb}\left(\frac{x}{a}\right) \right] A(x)$$

$$TF\{f_{SN}(x)\} = a\{F(\varpi) \otimes \sin c(b\varpi)\} \otimes \text{comb}(a\varpi - n)$$

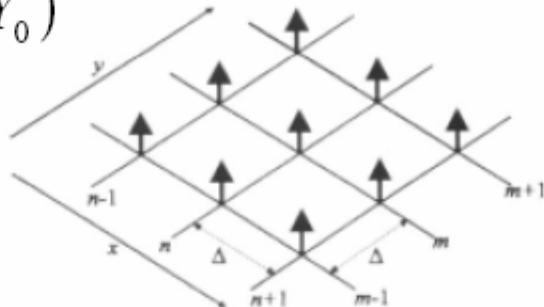
# Próbkowanie sygnału dwuwymiarowego

## Próbkowanie sygnału $a(x,y)$

$$b(m,n) = a(x,y) * \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(x - mX_0, y - nY_0)$$

$$= \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(x - mX_0, y - nY_0) * a(mX_0, nY_0)$$

$\delta()$  – delta Diraca, funkcja impulsowa  
 $X_0, Y_0$  – okresy próbkowania w kierunku x i y



**UWAGA:** Próbkowanie sygnału powoduje powielenie widma w płaszczyźnie Fouriera.

# Probkowanie sygnału dwuwymiarowego

$$TF[b(m,n)] = B(\varpi_X, \varpi_Y)$$

$$B(\varpi_X, \varpi_Y) = \frac{1}{4\pi^2} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} A(\varpi_X - m\varpi_{X0}, \varpi_Y - n\varpi_{Y0}) \otimes \delta(\varpi_X - m\varpi_{X0}, \varpi_Y - n\varpi_{Y0})$$

W przypadku gdy próbkowanie jest realizowane aperturą  $p(x,y)$

$$B_i(\varpi_X, \varpi_Y) = \frac{1}{4\pi^2} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} A(\varpi_X - m\varpi_{X0}, \varpi_Y - n\varpi_{Y0}) \otimes P(\varpi_X - m\varpi_{X0}, \varpi_Y - n\varpi_{Y0})$$

$$\varpi_{X0} = \frac{2\pi}{X_0}$$

$$\varpi_{Y0} = \frac{2\pi}{Y_0}$$

**Powielenie widma**

# Wpływ próbkowania na reprezentację obiektu



obraz początkowy



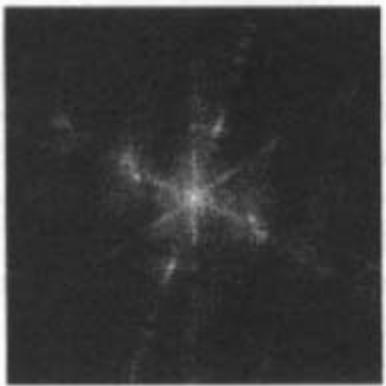
przepróbkowany a



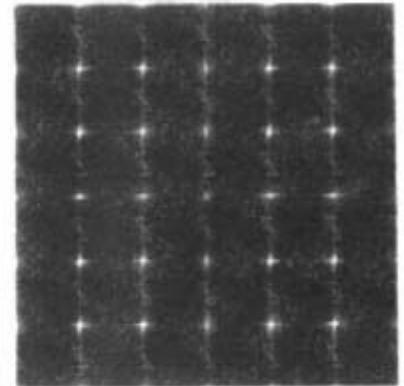
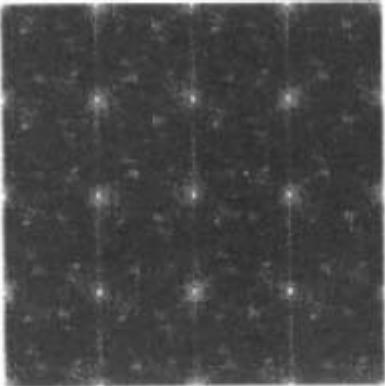
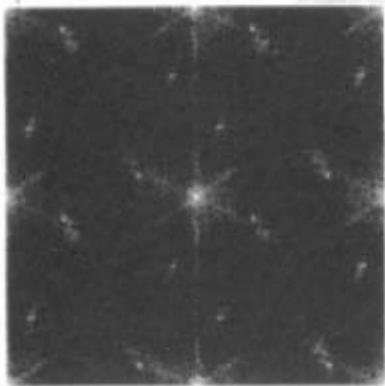
przepróbkowany b > a



przepróbkowany c > b

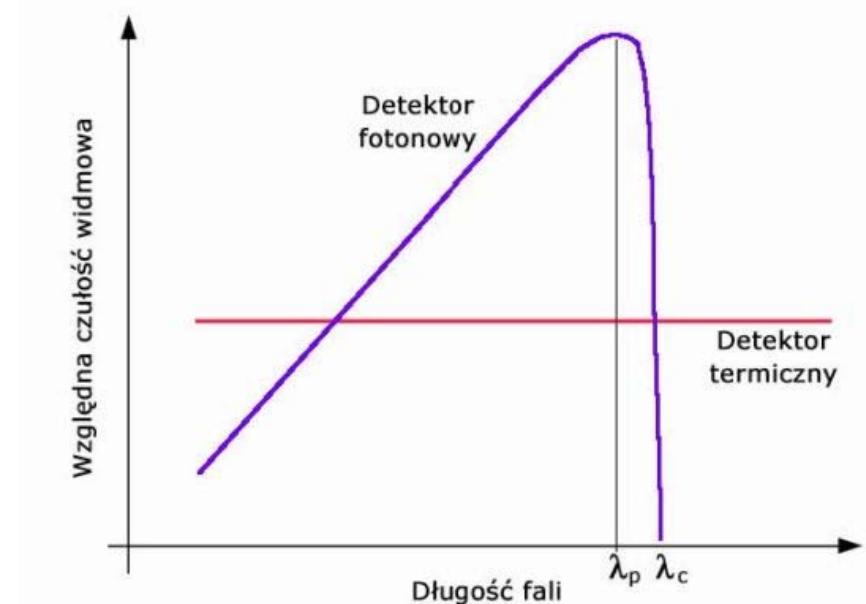


obrazy w widmie częstotliwości



# Parametry detektorów

- **rozdzielcość**, określa liczbę pikseli detektora. Może być podawana jako całkowita liczba pikseli lub poprzez liczbę pikseli w poziomie i pionie chipa detektora. Rozdzielcość określa również zdolność rozróżniania szczegółów w obrazie.
- **widmowy zakres pracy**, określa zakres rejestrowanych długości fali światła. Najczęściej podawany jako graniczne długości fali, przy których następuje określony spadek czułości detektora. Można zawężać zakres pracy całego urządzenia przez stosowanie filtrów;
- stosunek sygnału do szumu (**SNR**);
- **czułość**, rozumiana jako oświetlenie przetwornika obrazu niezbędne dotworzenia sygnału wizyjnego przy określonej wartości stosunku sygnału do szumu.



Czułość detektorów **termicznych** jest mała, ale za to jest stała w całym paśmie pracy.  
Detektory **fotonowe** mają wyższe czułości, ale zmieniające się wraz ze zmianą długości fali .

# Detektory termiczne

- W detektorach termicznych fotony oddziałują z atomami, przekazując im swoją energię  $h\nu$  w związku z tym zmienia się temperatura w zależności od mocy promieniowania.
- Sygnałem wyjściowym takiego detektora jest zmiana właściwości materiału zaistniała pod wpływem temperatury. Może to być zmiana rezystancji lub polaryzacji elektrycznej.
- Detektory te odznaczają się stałą czułością w szerokim paśmie spektralnym, dzieje się tak, ponieważ absorpcja promieniowania nie jest selektywna w stosunku do długości fali.
- Aby uzyskać duży przyrost temperatury (a tym samym lepszy stosunek sygnału do szumu) należy odizolować jak najlepiej detektor od otoczenia i dążyć do minimalizacji jego masy. Dość duża bezwładność temperaturowa powoduje, że termiczna stała czasowa określająca czas odpowiedzi detektora jest większa niż w przypadku odbiorników fotonowych. Jej zmniejszenie jest możliwe, ale powoduje spadek czułości. Najczęściej stosowanymi detektorami termicznymi są **termopary, bolometry i detektory piroelektryczne**.

# Porównanie detektorów termicznych

Termopara	Bolometr	Detektor piroelektryczny
szerokie pasmo od widzialnego aż po $40\mu\text{m}$	półprzewodnikowe są bardzo czułe	krótkie czasy odpowiedzi
trwałe i stabilne	germanowe parametrami fotoowym	dorównują detektorom duża wrażliwość mechaniczna
		pokrywają cały obszar podczerwieni
podstawowe zakłócenia i ograniczenie w zastosowaniu są spowodowane szumem cieplnym, wynikającym z fluktuacji ciepła pomiędzy detektorem a otoczeniem.		
pirometry przemysłowe		detektory promieniowania modulowanego
instrumenty kosmiczne		kamery w paśmie $8-14\mu\text{m}$

# Detektory fotonowe

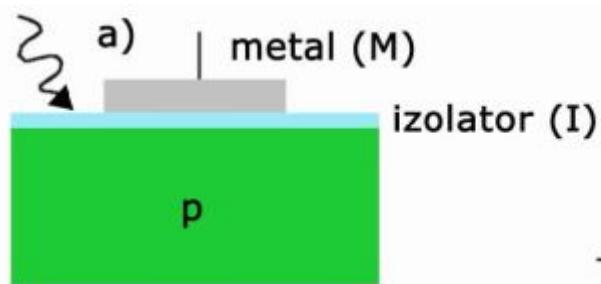
W przypadku detektorów fotonowych padające promieniowanie jest absorbowane na skutek oddziaływania fotonów z elektronami. Detektory te wykonywane są z materiałów półprzewodnikowych.

Jeżeli elektron otrzyma od fotonu ilość energii  $h\nu$  odpowiednią do pokonania przerwy zabronionej  $E_g$  w materiale powstanie para elektron–dziura .

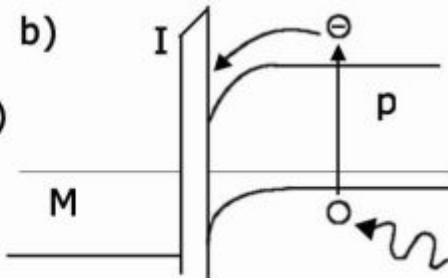
Fotoprzewodzące	Fotowoltaiczne	Fotoemisyjne
duże wzmacnienie fotoelektryczne	fotodiody MS (metal – półprzewodnik) jako detektory nadfioletu	konieczność stosowania wysokich napięć
wymagają przyłożenia napięcia, więc wydziela się w nich ciepło, co utrudnia budowanie matryc	nie wymagają wstępnej polaryzacji więc dają spakować się w matryce	wzmacniacze obrazu fotopowielacze
detekcja podczerwieni (tellurek kadmowo-rtęciowy)	fotodiody lawinowe do detekcji niskich natężeń promieniowania	
detekcja promieniowania X i ?		

# Budowa podstawowej komórki CCD

- Budowa



Studnia potencjału



Podstawowa komórka CCD składa się z metalowej elektrody odizolowanej od warstwy półprzewodnika, struktura taka stanowi **kondensator MOS**.

Aby uzyskać możliwości akumulacji ładunku należy przyłożyć napięcie do elektrody, w przypadku półprzewodnika typu p jest to napięcie dodatnie.

Dziury z obszaru styku półprzewodnika z izolatorem są przesuwane w głąb podłoża, a w miejscu pod elektrodą powstaje studnia potencjału.

Obszar akumulacji studni zależy od wartości przyłożonego napięcia oraz od wymiaru elektrody, a określa porcję ładunku, jaki może być przechowywany w studni.

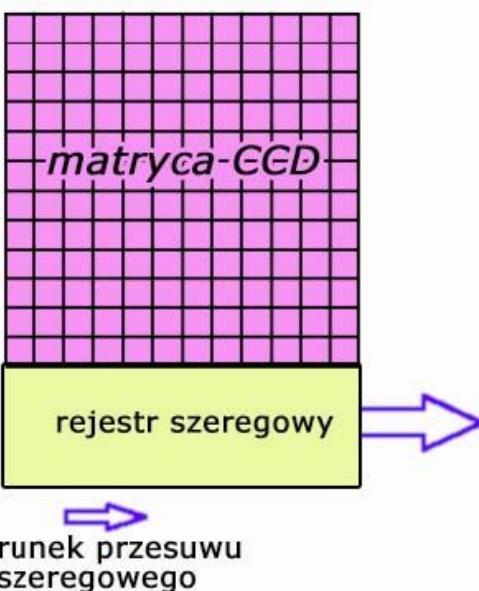
**Padający foton powoduje wygenerowanie pary elektron-dziura**, następnie nośniki są pułapkowane w studni potencjału. **Liczba elektronów** znajdujących się w studni jest **proporcjonalna do liczby fotonów oraz czasu naświetlania detektora**.

Zgromadzony ładunek należy teraz przetransportować do układu odczytowego

# Typy matryc CCD

sposoby zapewniający odbiór ładunku z pojedynczego piksela.

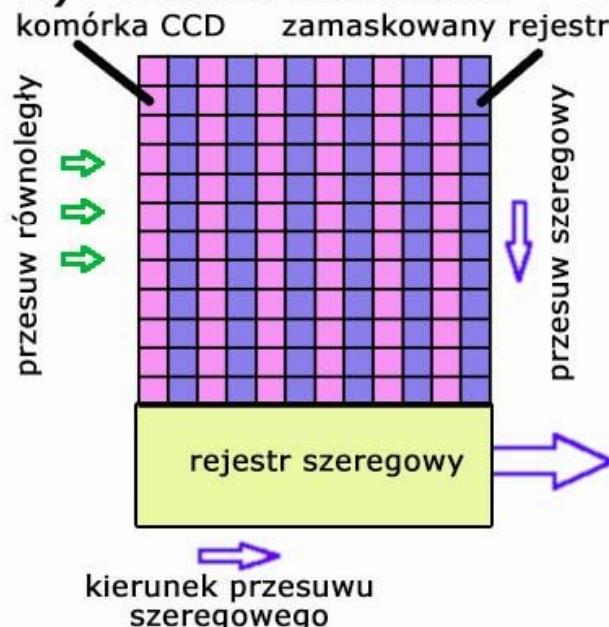
a)



kierunek przesuwu  
równoleglego

**Full-Frame CCD**

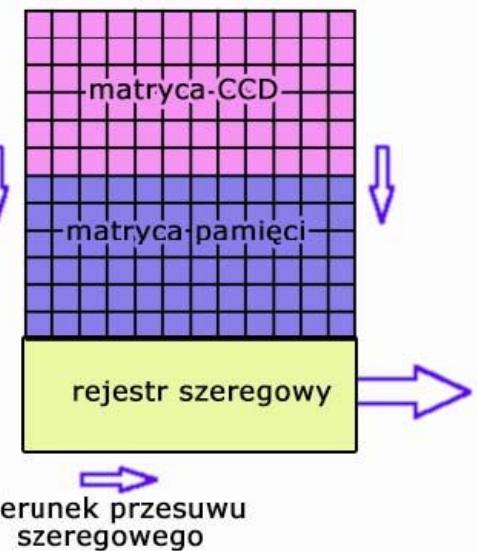
b) **Interline Transfer CCD**



komórka CCD zamaskowany rejestr

przesuw równoległy

c)



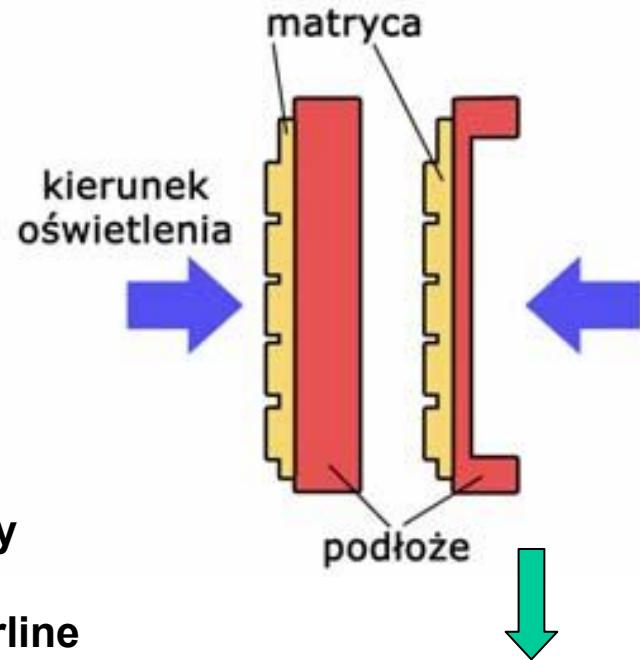
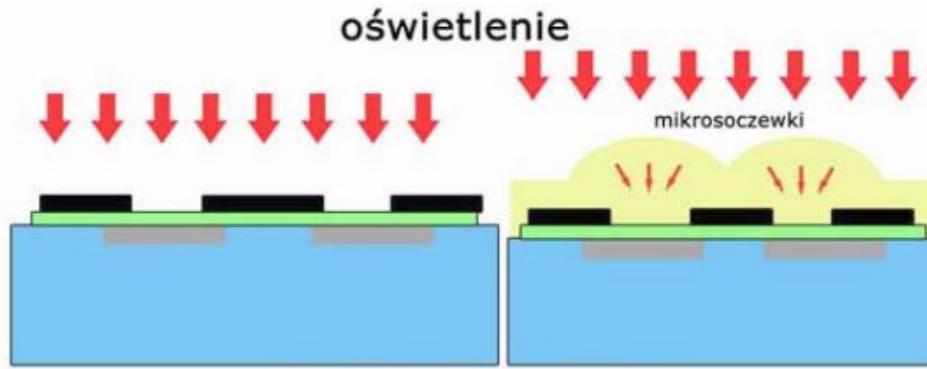
**Frame Transfer CCD**

Zbieranie ładunków w stosunku do czasu akwizycji zostało przyspieszone jednak nadal mogą się pojawić smużenia obrazu, w przypadku gdy nie jest stosowana migawka

Konieczna mechaniczna migawka lub stroboskopowe oświetlenie.

Znaczne skrócenie czasu zbierania ładunków ale mała pow. Czynna piksela

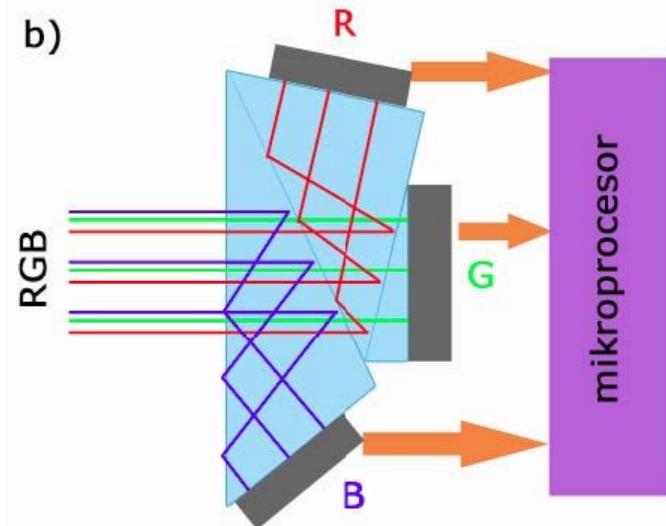
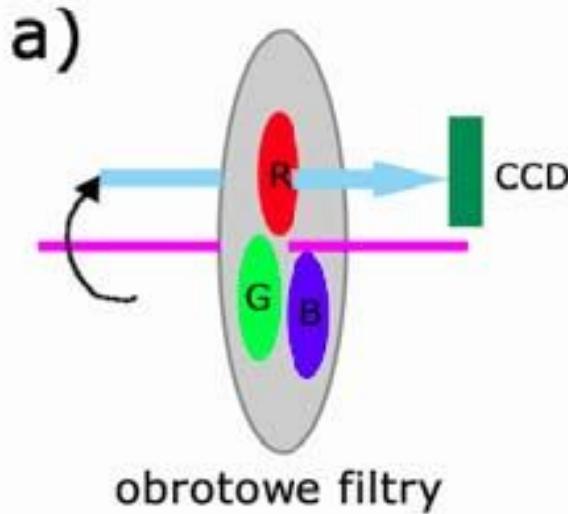
# Oświetlenie matryc CCD



Zastosowanie matrycy  
mikrosoczewek  
zwłaszcza dla IL- Interline  
Transfer – zwiększenie  
Pow. Czynnej piksela

Zwiększenie czułości  
W FF i FT

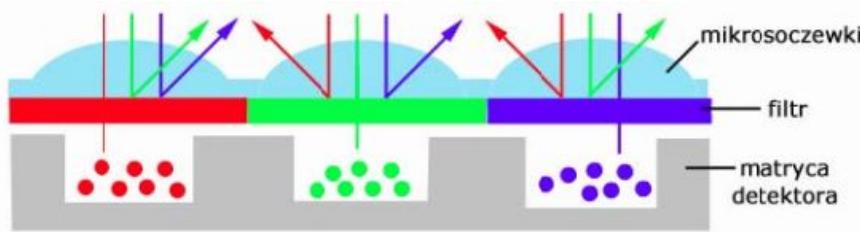
# Barwne matryce CCD



**Przełączany filtr-** wymaga  
matrycy pracującej trzy razy szybciej  
w stosunku do układu monochromatycznego  
I używania elementów mechanicznych  
zsynchronizowanych z układem matrycy

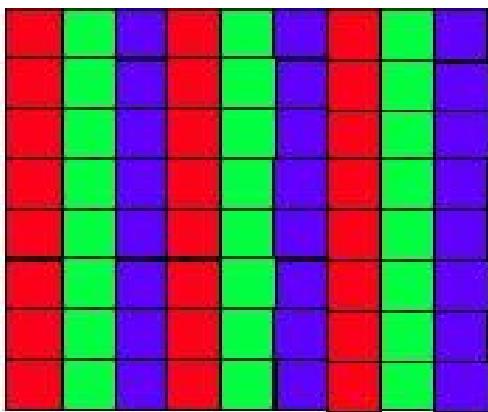
Zamiast przełączać filtr pomiędzy kolejnymi ekspozycjami można rozdzielić promieniowanie na trzy kanały R, G i B a następnie każdy kanał zarejestrować na oddzielnej matrycy

# Barwne matryce CCD

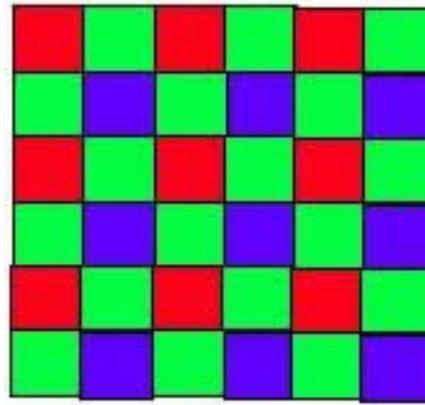


Innym sposobem jest uczulenie piksela tylko na jedna barwę poprzez nałożenie na niego filtra, w ten sposób powstają **matryce mozaikowe**.

A



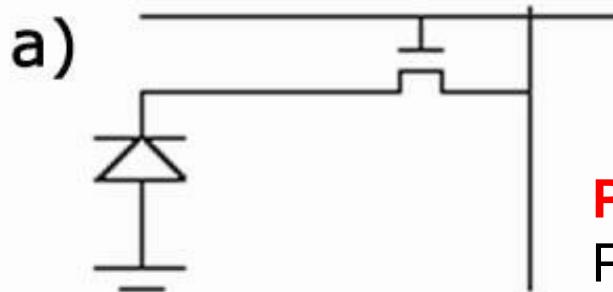
B



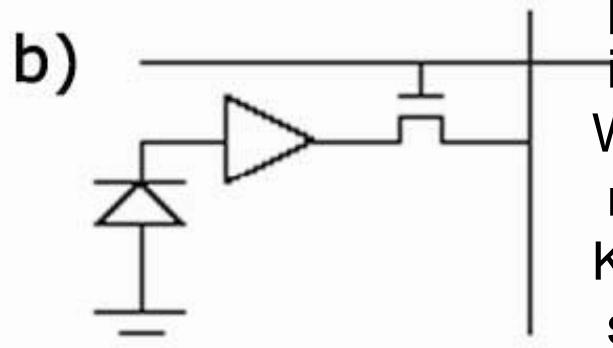
W przypadku kolumnowego rozmieszczenia pikseli jednej barwy (rys.A), rozdzielcość w kierunku poziomym spada trzy razy.  
Dlatego częściej stosowanymi są mozaikowe konfiguracje matryc pokazane na rys.B

# Matryce CMOS

## Architektury budowy piksela



Passive Pixel PPS



Active Pixel APS

Sam mechanizm zamiany energii w CMOS nie różni się od tego obecnego w CCD.

Ale w matrycach **CMOS sygnałem wyjściowym dla piksela jest napięcie a nie ładunek** jak w przypadku matryc CCD.

**PPS** składa się z detektora i tranzystora łączącego, Prosta budowa i duży współczynnik wypełnienia WW

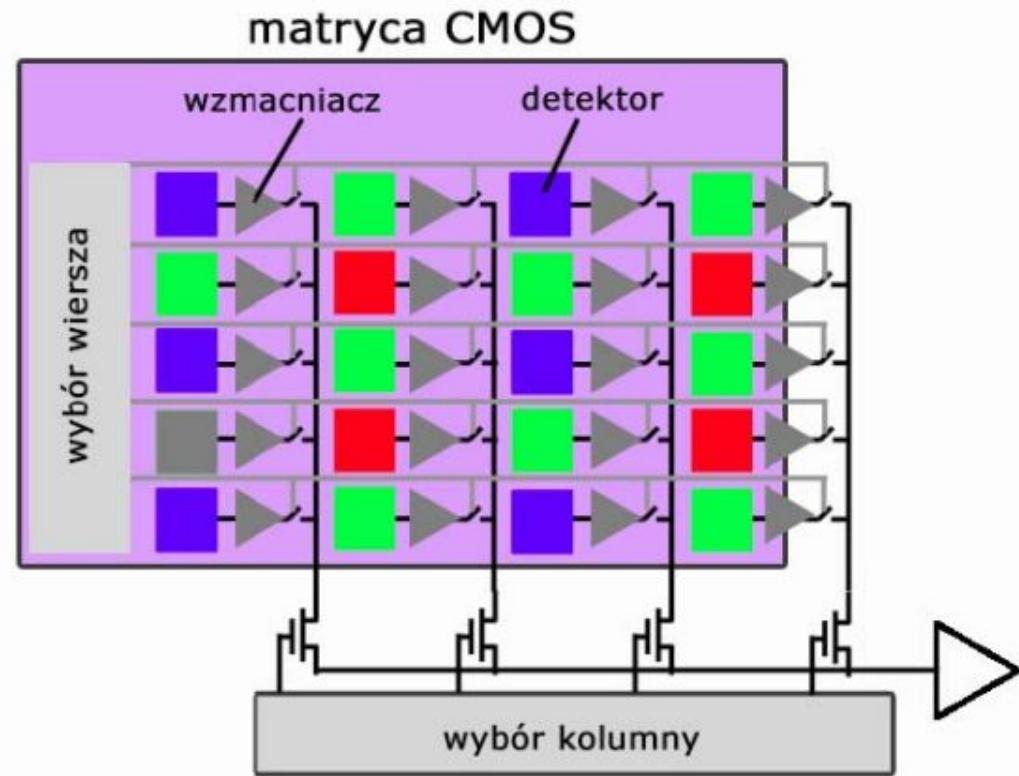
W **APS** w skład piksela dodatkowo wchodzi przedwzmacniacz. Niekiedy są też zintegrowane inne proste układy np. korygujące szumy.

W APS jest WW jest zwiększany przez zastosowanie mikrosoczewek.

Kolorowe matryce CMOS najczęściej wykonywane są w postaci mozaikowej poprzez nałożenie na piksel filtra barwnego.

# Dostęp do pikseli w CMOS

Istnieje wiele rozwiązań zbierania sygnału z pikseli, ale najczęściej bazuje on sposobie przedstawionym na rysunku: **pionowy rejestr szeregowy wybiera aktywny wiersz, a rejestr poziomy wybiera kolejne kolumny piksela, z którego napięcie kierowane jest na wzmacniacz.**



# CCD a CMOS

- Z technologicznego punktu widzenia układy CMOS są bardziej rozbudowane.
- Na chipie CCD znajduje się sam przetwornik i układy sterujące przesuwem ładunków natomiast chipy CMOS zawierają dodatkowo układy dalszych stopni przetwarzania a czasami nawet procesory sygnału.
- Matryce CMOS odznaczają się znacznie mniejszym zapotrzebowaniem na moc zasilania, gdy matryce CCD wymagają kilku wartości napięć zasilających.
- Jednak ze względu na niestałość punktu przełączania tranzystorów w układach CMOS, matryce CCD mają znacznie lepsze właściwości szumowe.

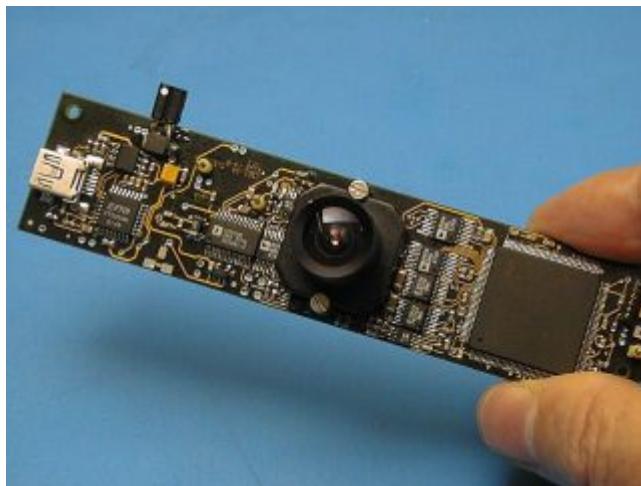
# Matryce CCD i CMOS



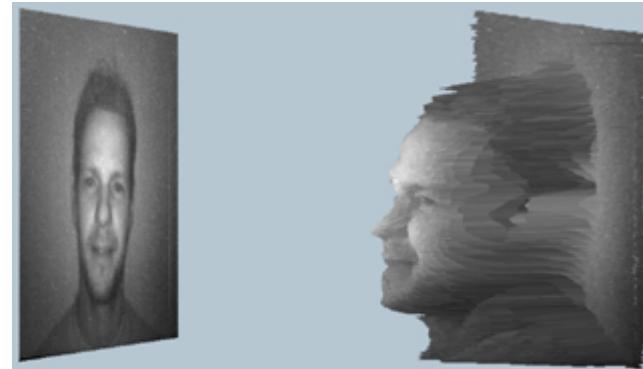
	CCD	CMOS
Liczba pikseli	1 – 8M	1 – 4M
Temp. pracy	-20 ° +20 °C	0K - 20 °C
Moc zasilania	100 – 500 mW	50 mW
Dynamika	liniowa	nieliniowa
Czułość	0,1 luksa	1 luks
Poziom szumów	10	100
Szybkość klatek	1 MHz	1 MHz
Dane wyjściowe	analogowe	cyfrowe
Akwizycja obrazu	szeregową	szeregową, losową
koszt	matryce do zastosowań profesjonalnych dość drogie	tańsze od CCD

# 3D- distance camera system

- The camera emits an RF modulated optical radiation field (typically 20 MHz or higher) in the infra-red spectrum.
  - This signal is diffusely backscattered by the scene and detected by the camera. Every pixel is able to demodulate the signal and detect its phase, which is proportional to the distance of the reflecting object.
  - The pixel is also referred to as a "lock-in pixel", since it also determines modulation amplitude and offset of the signal allowing the camera to generate a gray-scale image of the scene.
- 3D-camera system with USB 2.0 interface developed at CSEM.



<http://www.swissranger.ch>



- The sensor developed at CSEM contains currently 124x160 pixels, each individually addressable. The camera is composed of the sensor board with all its control electronics and an illumination board, which can contain either LEDs or laser diodes.
-

# Interfejsy

Różnica w budowie matryc CCD i CMOS polega na skali integracji układów.

Chip CCD zawiera jedynie matrycę i układy zbierające ładunki, natomiast na chipach CMOS dodatkowo znajdują się układy A/C oraz inne odpowiedzialne np: za przetwarzanie wstępne obrazu.

**Wyróżnia się interfejsy cyfrowe i analogowe.**

Kamery coraz częściej wyposażane są w złącza USB lub FireWire, umożliwia to przesyłanie obrazów o znacznie większych rozdzielczościach i głębi koloru niż w standardach analogowych (PAL, CCIR), które mają pewne ograniczenia ze względu na kompatybilność z syst.TV.

# Ścieżka przetwarzania sygnału z detektora

Standard CCIR – czarno biały  
625 linii, 25 ramek, półobrazy

# Interfejsy USB, FireWire

- **USB ( Universal Serial Bus)** jest wspólnym produktem Intela i Microsoftu. Maksymalna długość przewodów łączących urządzenia w standardzie USB wynosi 5m.
- *wersja 1.1 był mało konkurencyjny dla FireWire bo niska przepustowość wynosząca 12Mbit/s.*
- *wersji USB 2.0, której maksymalna przepustowość wynosi 480Mbit/s.*
- *USB wymaga hosta, czyli kontrolera przesyłu danych, więc aby można było połączyć dwa urządzenia bez pośrednictwa komputera należy stosować koncentratory.*
- **Standard magistrali szeregowej FireWire (IEEE 1394)** produkt firmy Apple.
- *Standard FireWire oferuje prędkość transmisji 400Mbit/s.*
- *Istnieje możliwość zasilania urządzeń peryferyjnych oraz nie wymaga urządzenia sterującego pracą magistrali (może obejść się bez komputera).*
- *Maksymalna długość przewodu łączącego urządzenia wynosi 4,5m.*