KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

„Medical Imaging”

Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego w projekcie pt.

„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń - zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej - zarządzanie Uczelnią, nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacniania zdolności do zatrudniania osób niepełnosprawnych”

Quality of medical images

Lecture overwiev:

Definition of image quality

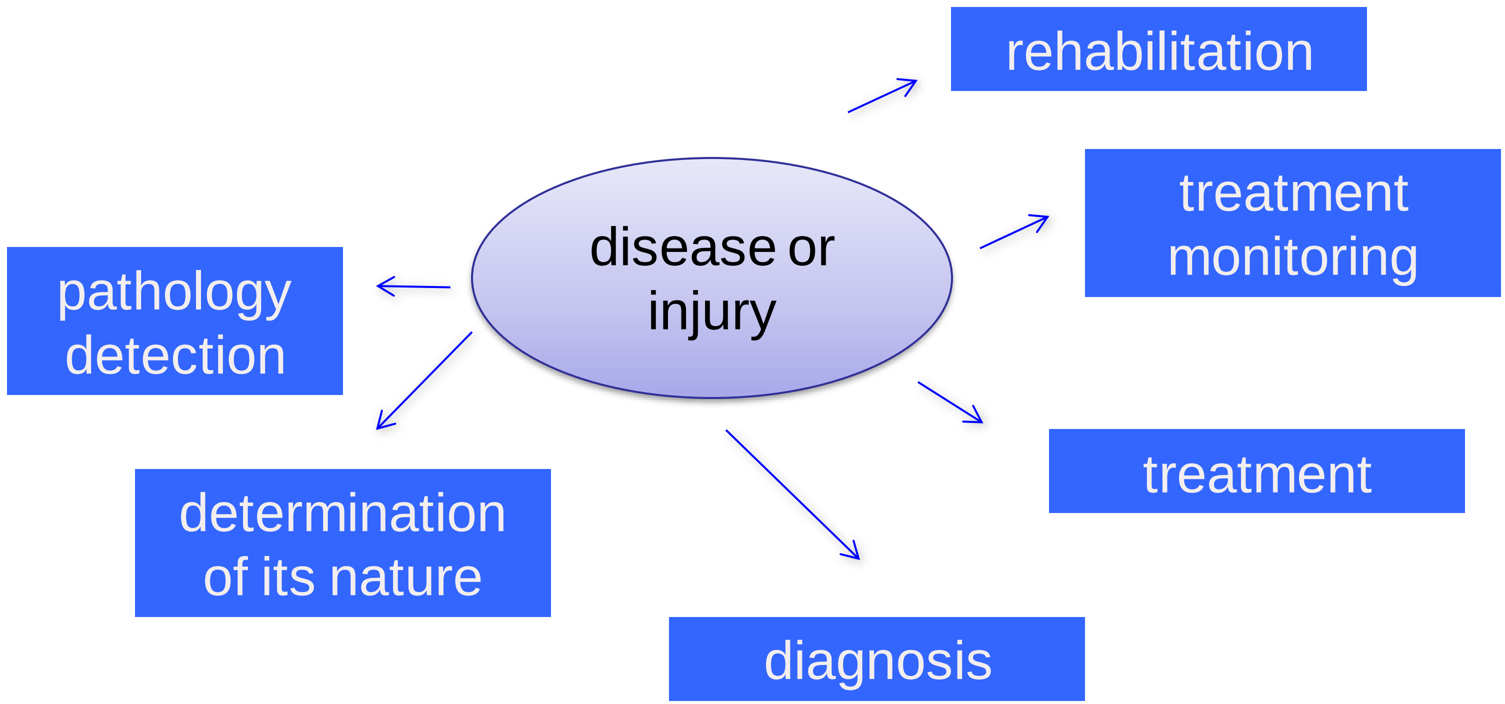
Main factors influencing the quality

- unsharpness
- contrast
- noise
- distorsions and artifacts

Qauntitative assessment of the image quality

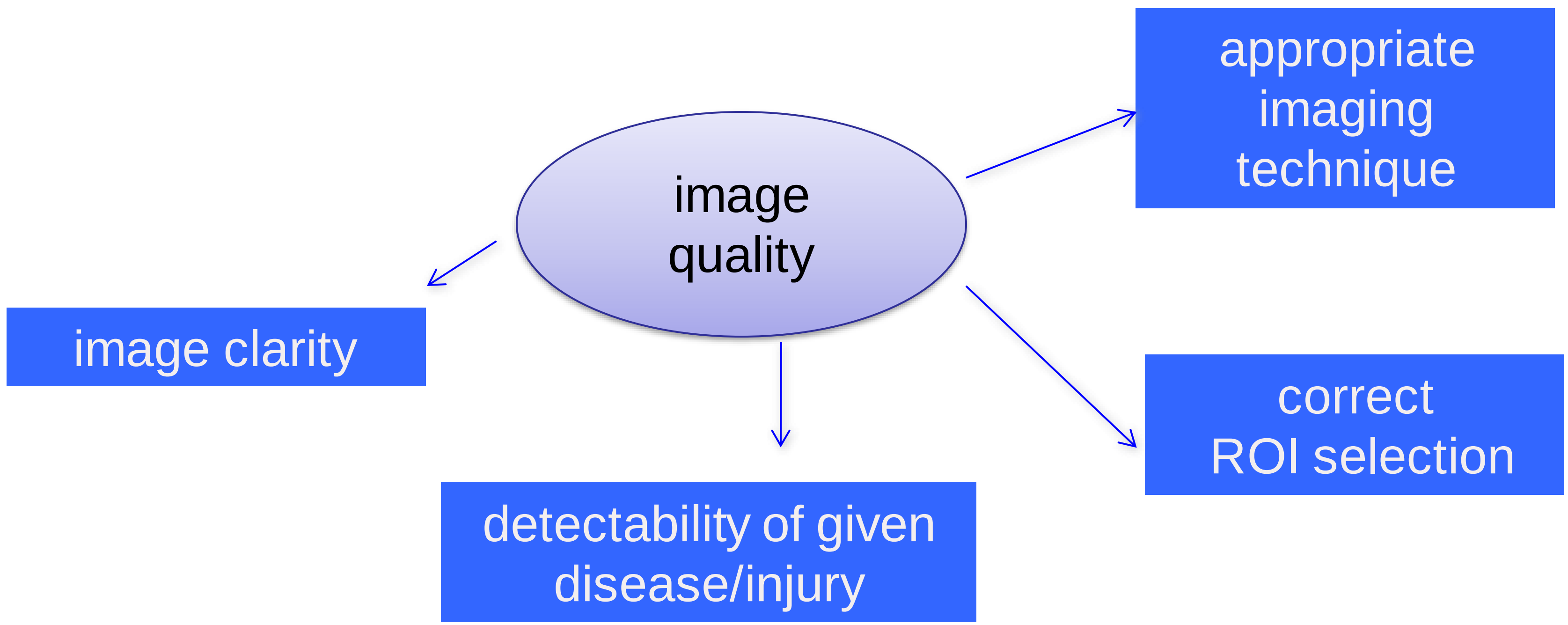
Image quality

The purpose of medical imaging:



The degree to which the image achieves its purpose is considered as "image quality"

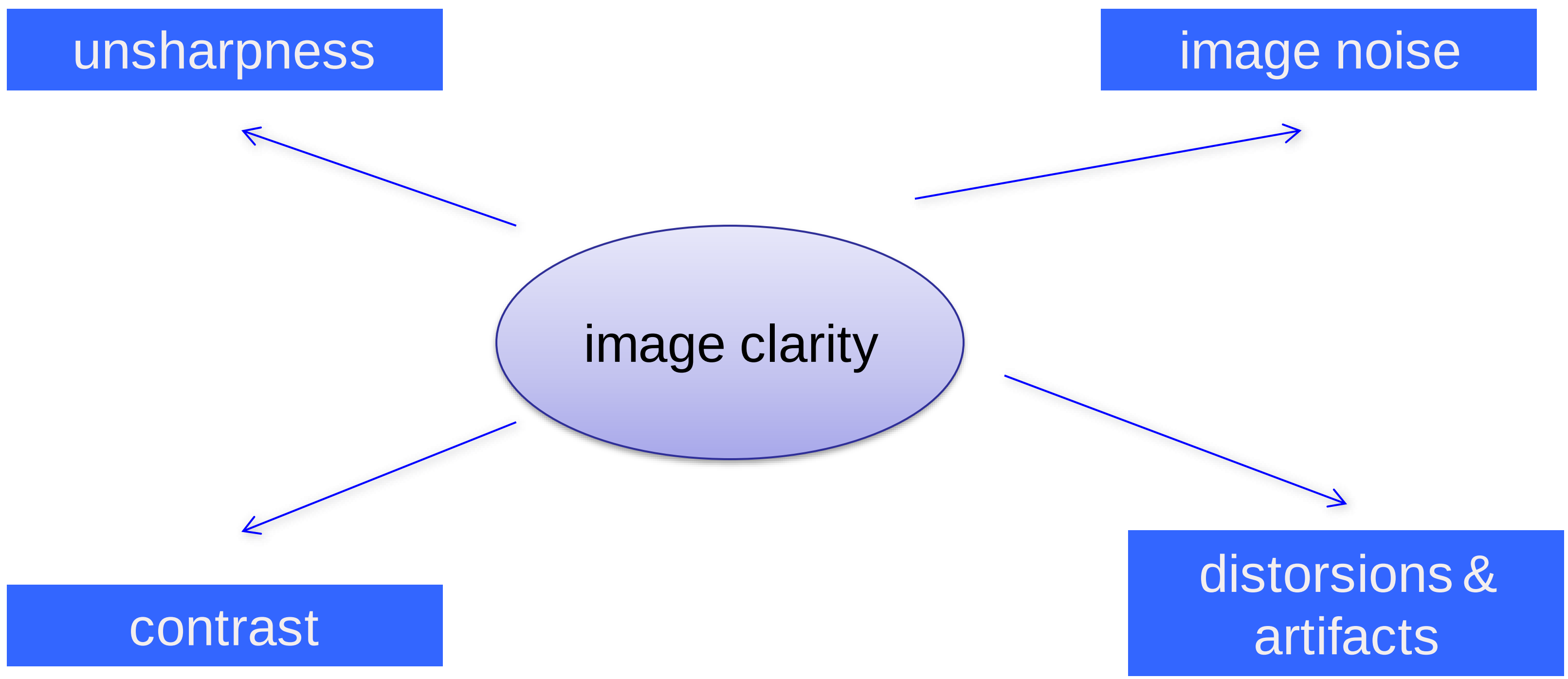
Image quality



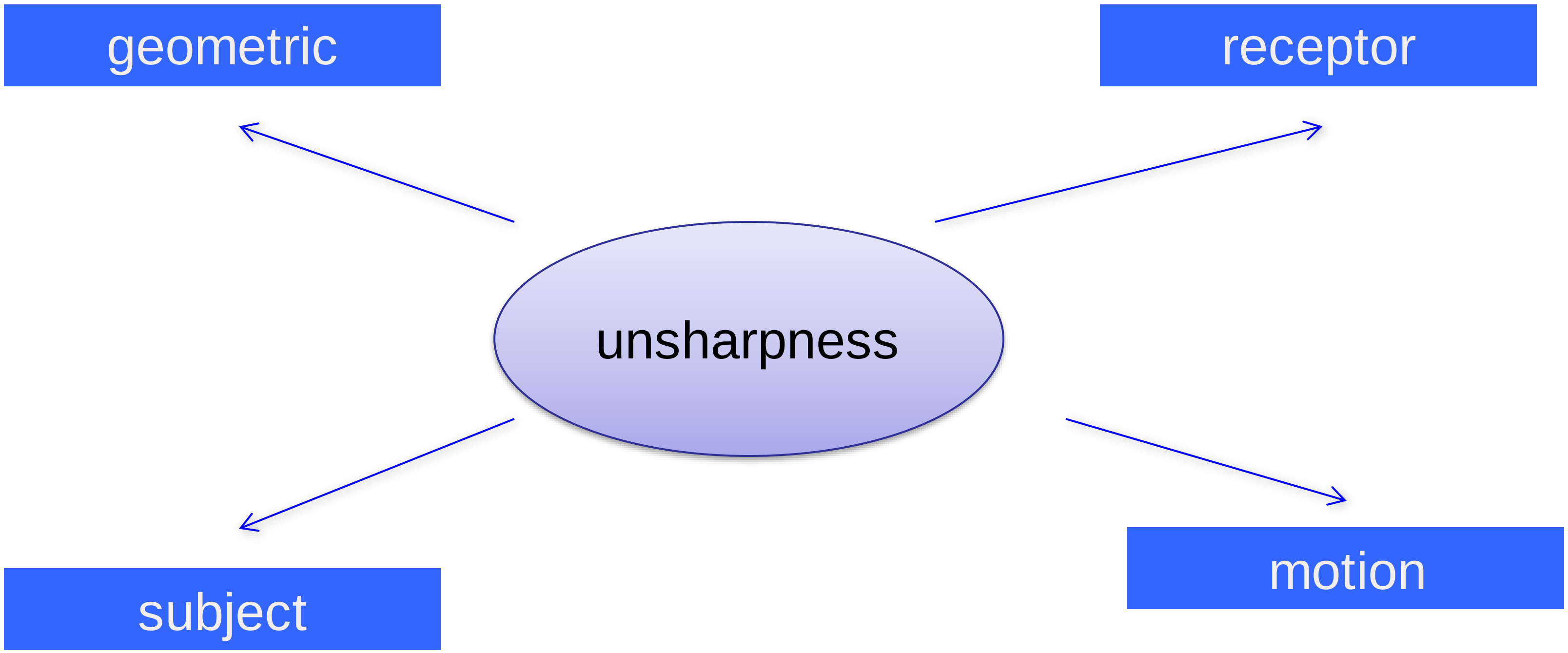
A measure of how well information of interest (about the anatomy, physiology, functional capacity) is displayed in an image

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY

Image clarity

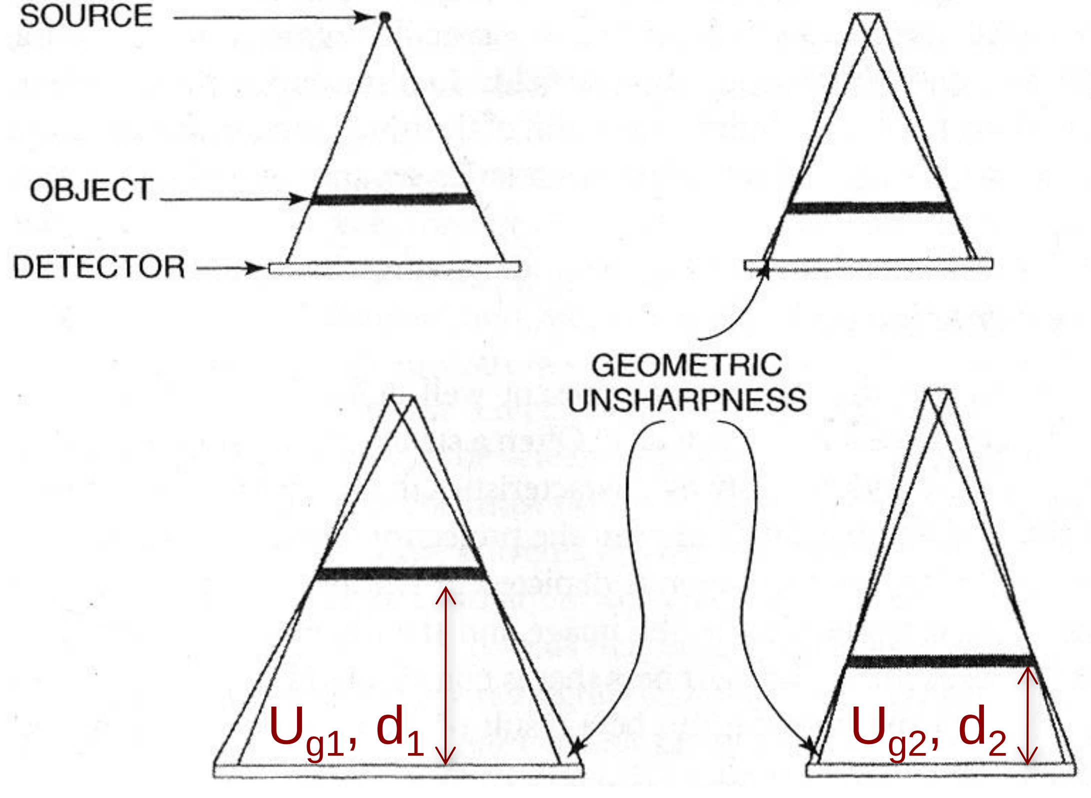


Unsharpness



$$U = \sqrt{U_g + U_s + U_m + U_r}$$

Geometric unsharpness



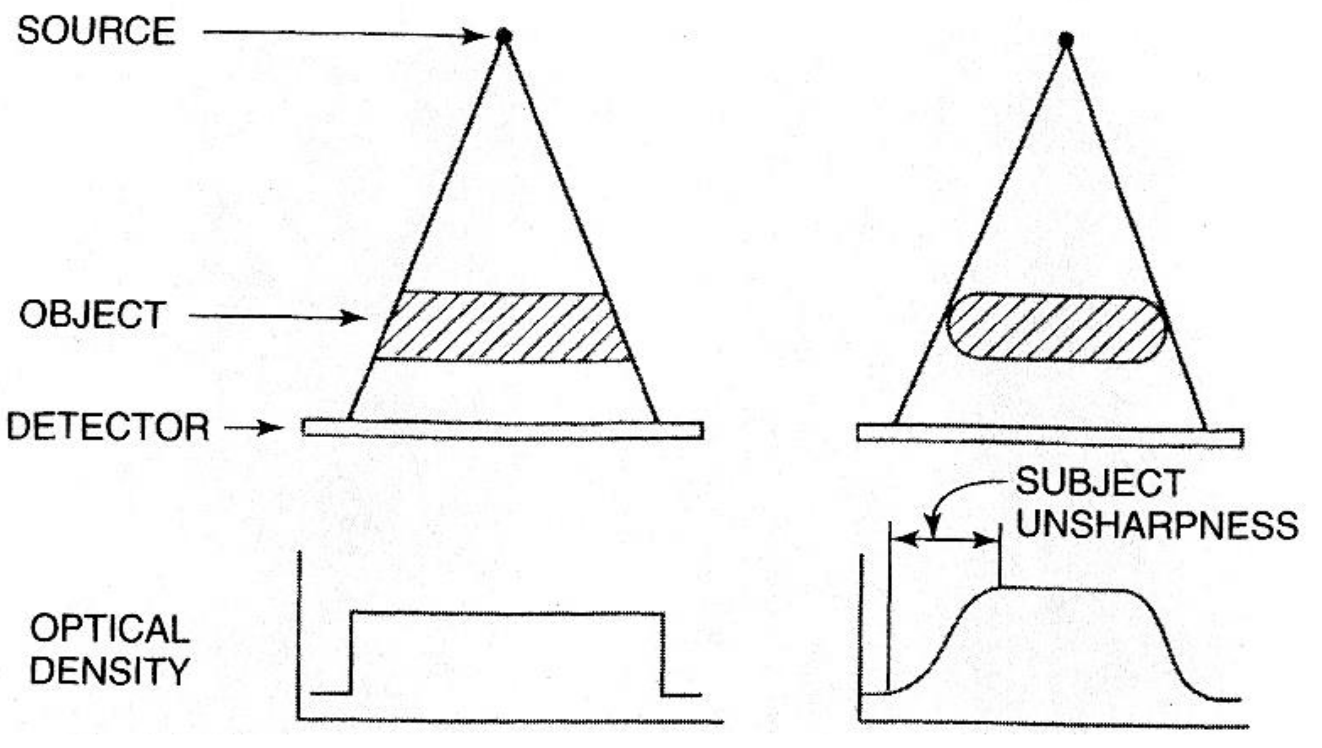
$d_1 > d_2 \Rightarrow U_{g1}, > U_{g2}$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Subject unsharpness

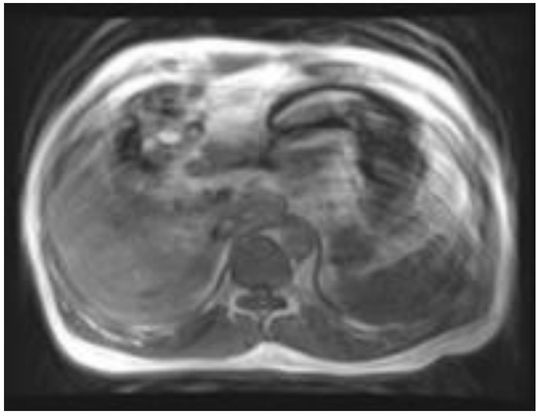


Motion unsharpness

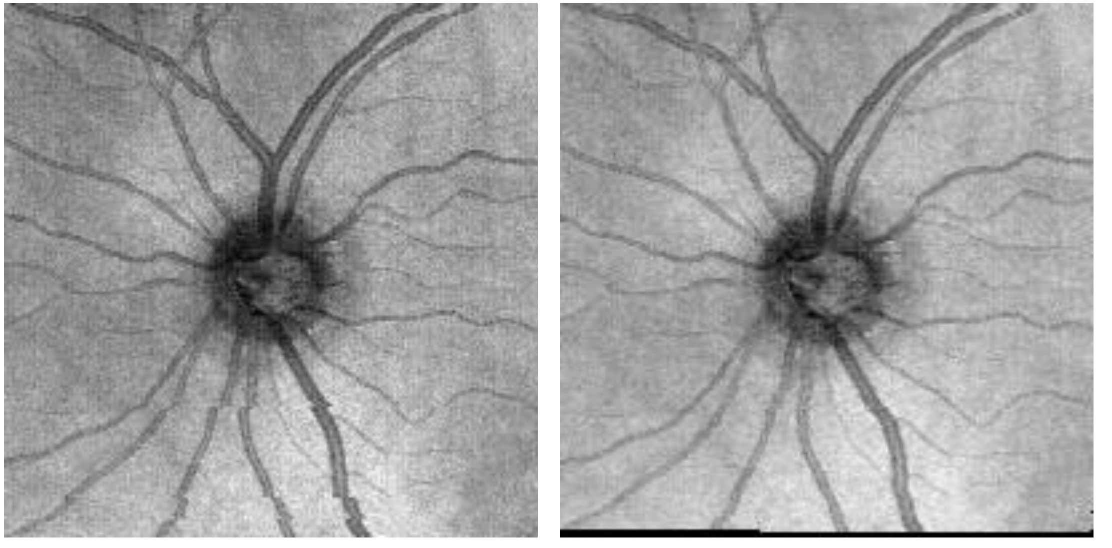
Anatomic structure	Speed [mm/s]
Head	1-2
Upper abdomen	20-40
Lower abdomen	15-30
Lungs	70-100 (150-200)
Heart muscle	60-90 (100-130)

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Motion artifacts



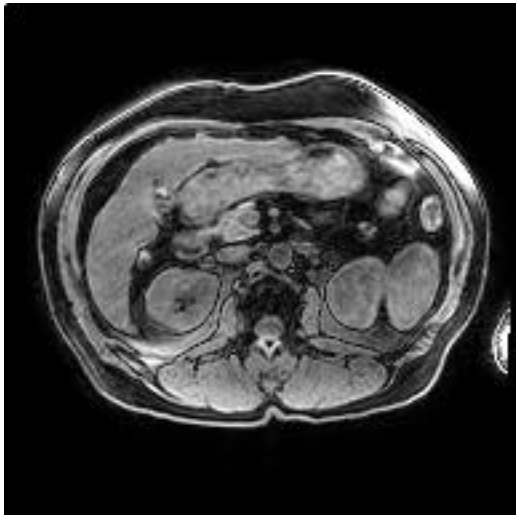
MR example



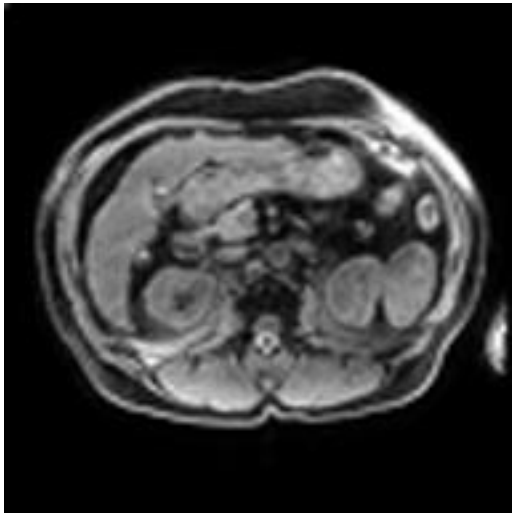
Optical Coherence Tomography example

Receptor unsharpness

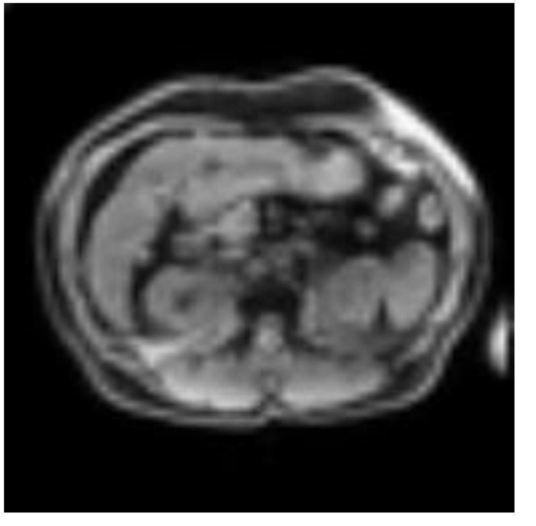
Introduced by the process, which converts the data acquired by given visualisation technique into an image



matrix: 192x192
FOV: 400x400 mm

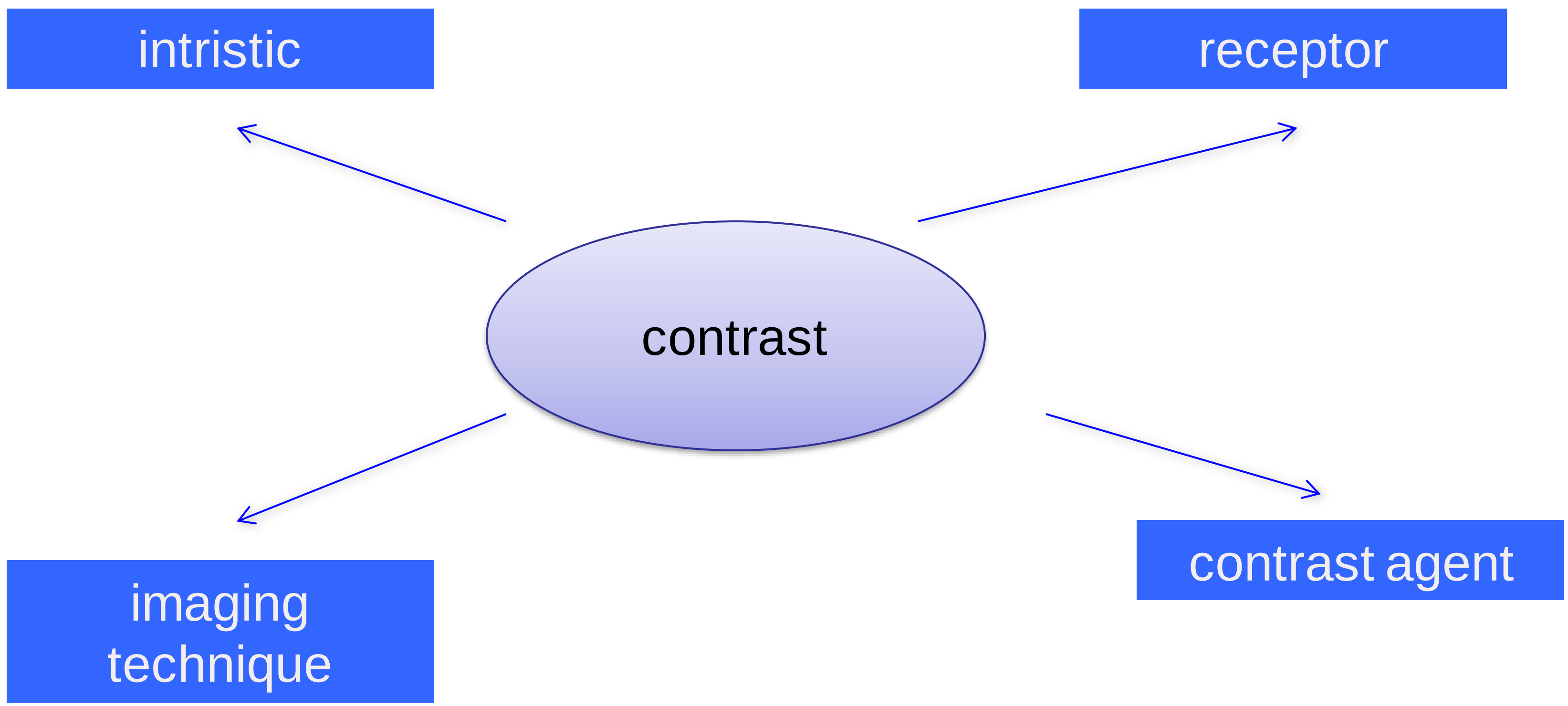


matrix: 96x96
FOV: 400x400 mm



matrix: 64x64
FOV: 400x400 mm

Image contrast



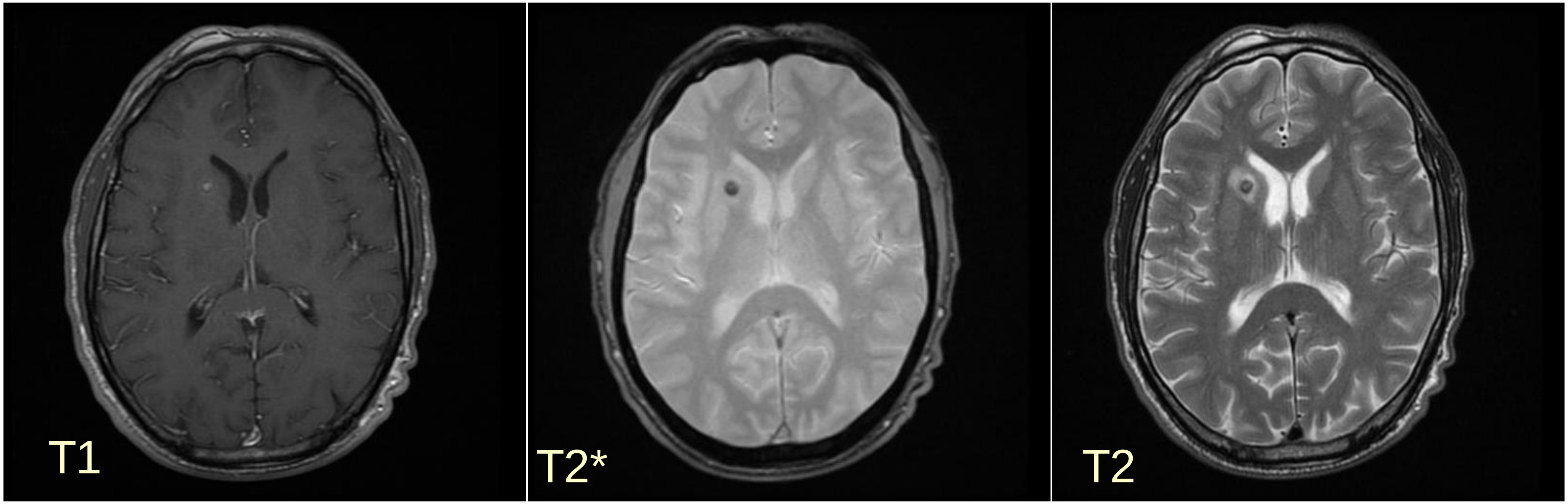
Contrast describes the ability of distinguishing of subtle features (details) in the object

Intristic (subject, object, patient) contrast

Radiography	Nuclear medicine	Ultrasound	Computed Tomography	Magnetic Resonance
Physical density	Activity	Velocity	Physical density	Proton density
Atomic number	Distribution	Acoustic impedance	Electron density	Relaxation times
Absorption	Concentration	A/R/S	Absorption	RF waves

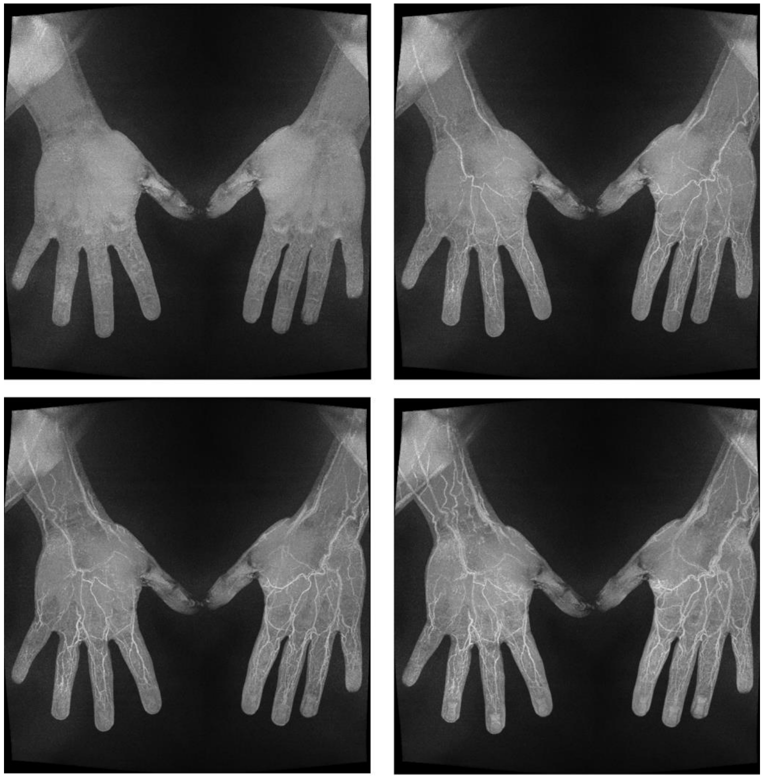
Represents the difference in physical composition of visualised structures

Imaging technique

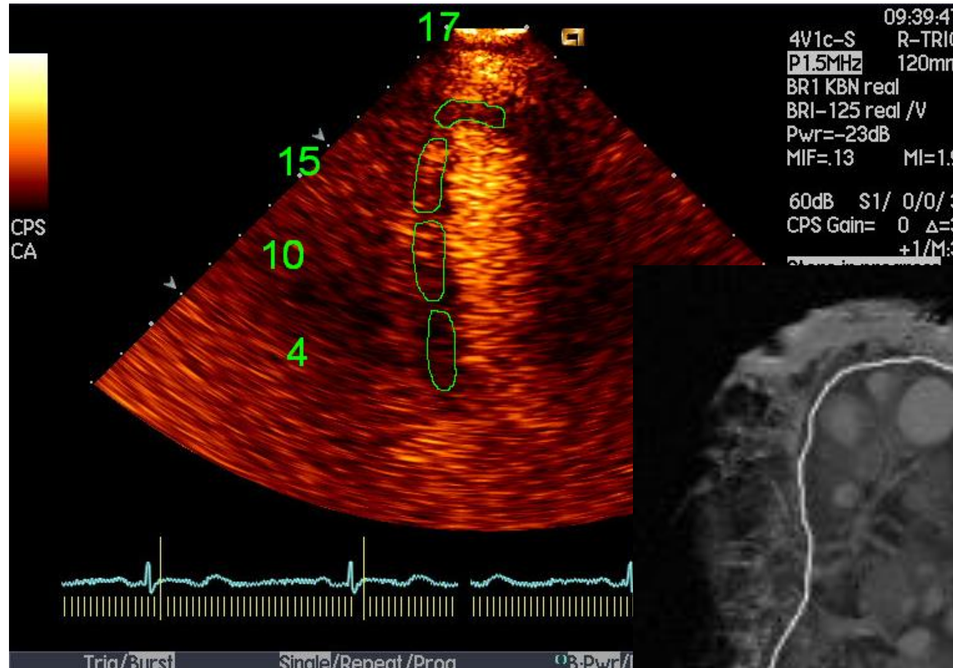


Different MR acquisition protocols (sequences)

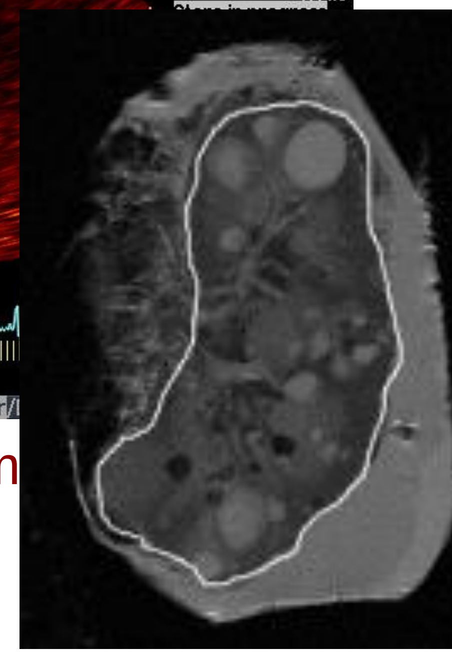
Contrast agents



MR angiography
(Vasovist)



Contrast echocardiogram



Left kidney (MR, gadolinium)

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Receptor contrast

Depends on properties of image converting/displaying devices

Brightness $$B = \frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} f(i,j)$$

Contrast $$C = \sqrt{\frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} [f(i,j) - J]^2}$$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Distorsions & artifacts

Caused e.g. by image formation system (optical), unequal amplification (radiography), non-uniform magnetic field (MR), multiple echos (ultrasound), …

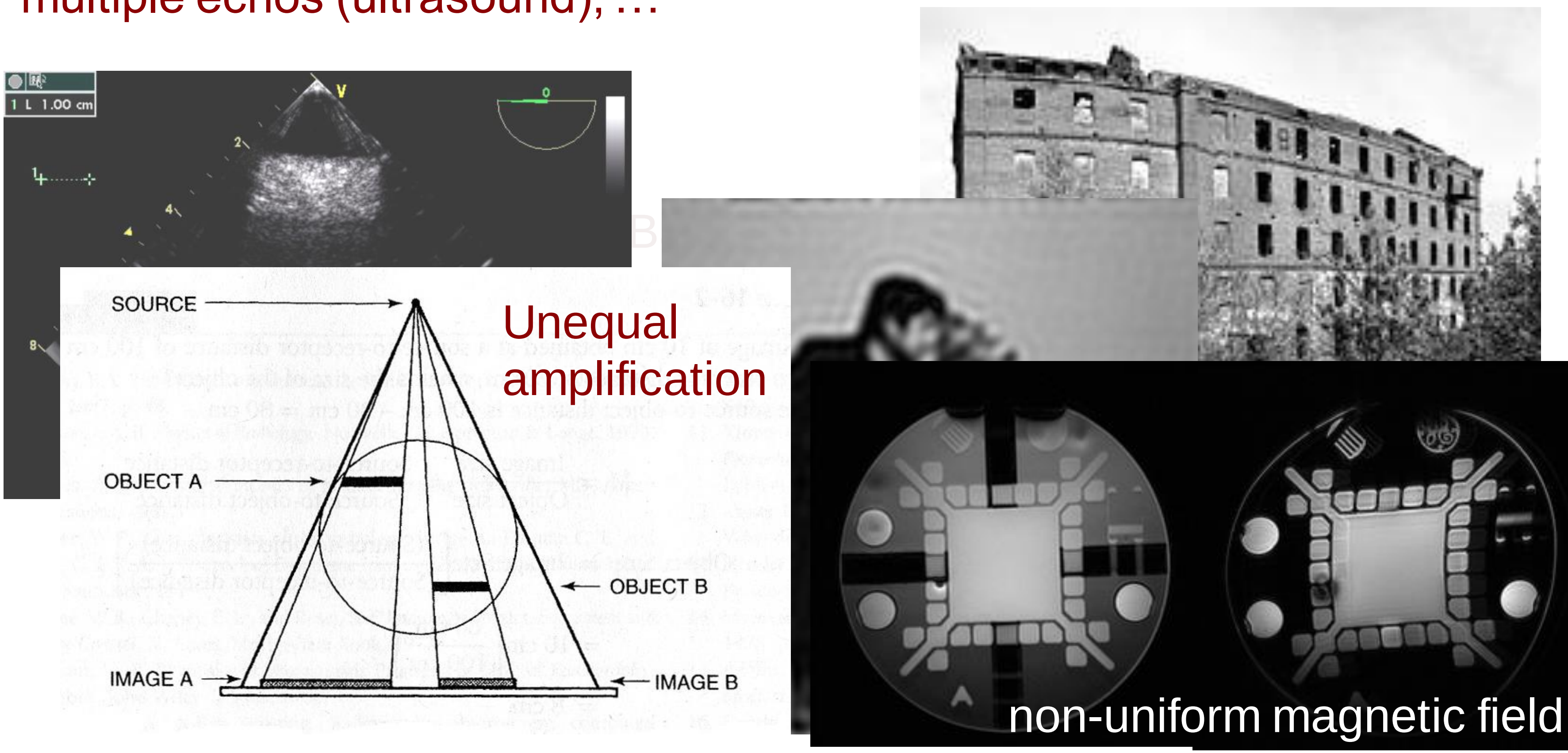
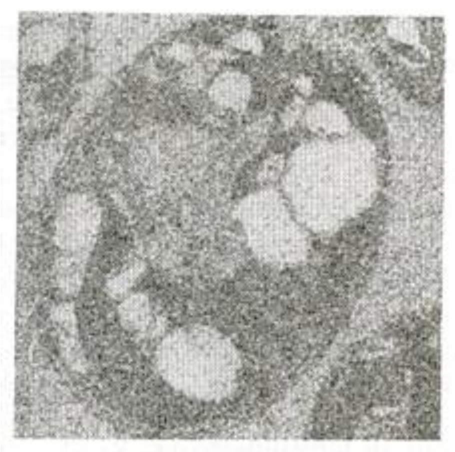
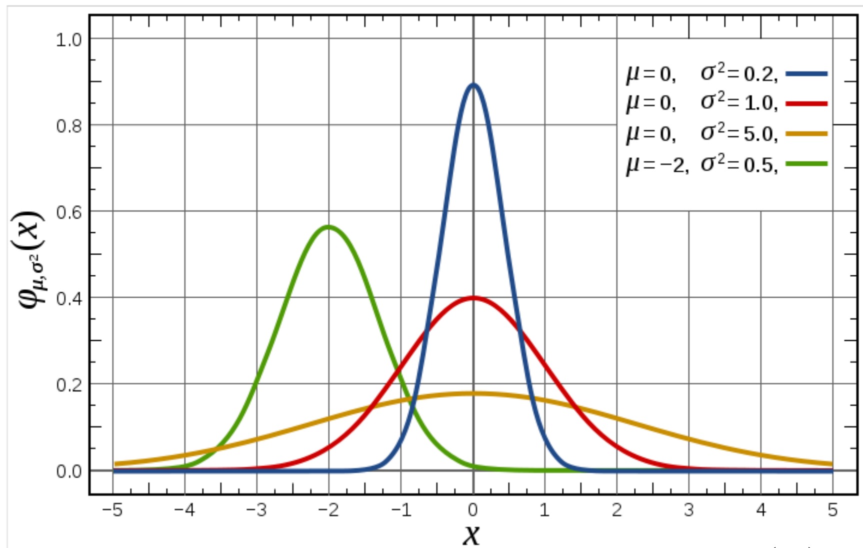


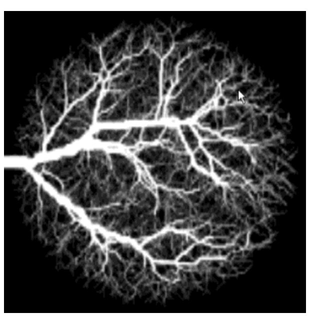
Image noise

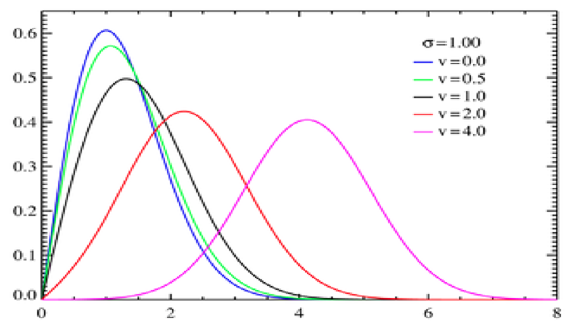




Gaussian noise

$$n_g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$





$$n_r(x) = \frac{x}{\sigma} e^{-\frac{(x^2-\nu^2)}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{x\nu}{\sigma}\right)$$

Rician noise (MR)

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Image noise

Pulse noise
(random distribution of maximal & minimal intensities)

Pulse noise in CCD matrix

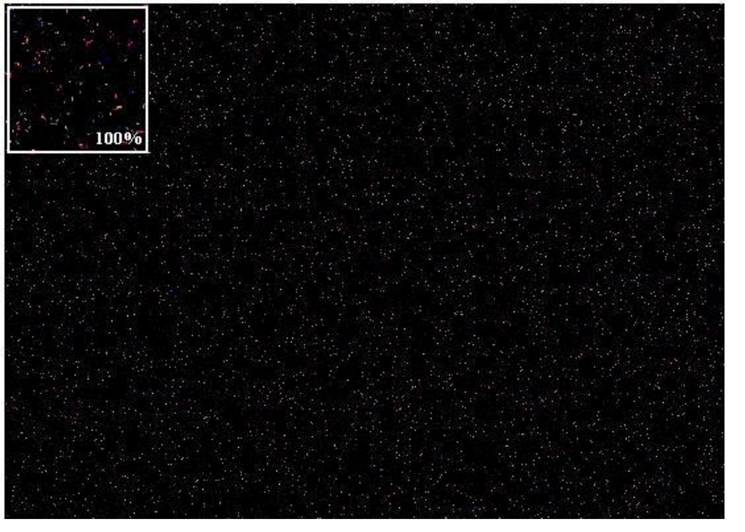
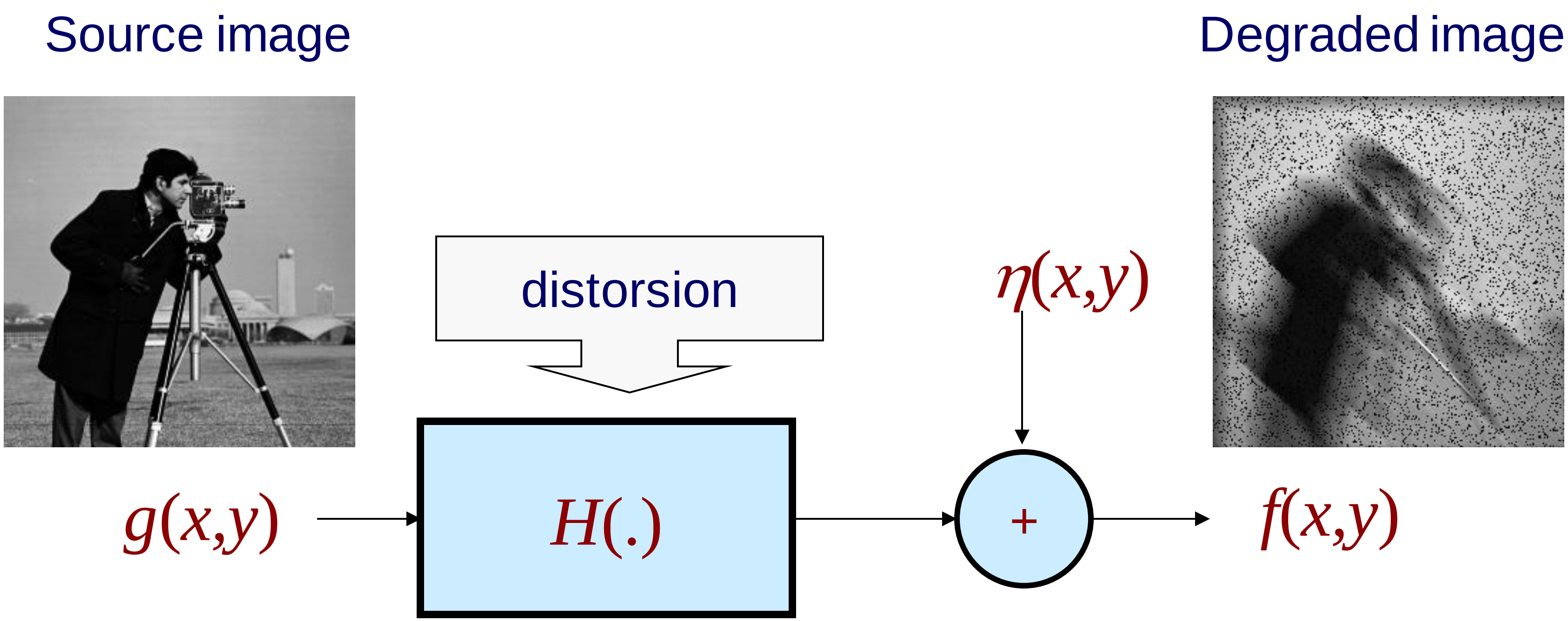


Image degradation model



$$f(x,y) = H[g(x,y)] + \eta(x,y)$$

Signal to noise ratio

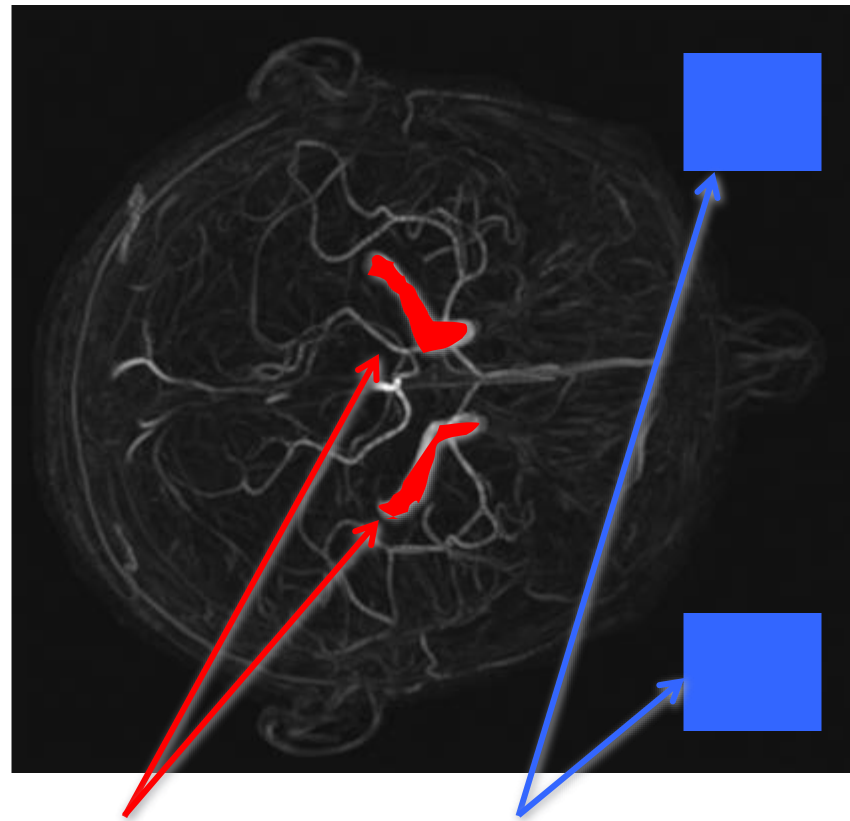
Signal-to-noise ratio (SNR or S/N) is a quantitative measure of image quality, it estimates how much an image has been corrupted by noise.

$$SNR = \frac{P(f)}{P(n)}$$

$$SNR_{dB} = 10\log_{10}\frac{P(f)}{P(n)}$$

SNR in practice:

$$SNR = \frac{m_{signal}}{s^{2}_{noise}}$$



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Inverse filter

$$G(u,v) = H(u,v) \cdot F(u,v) + N(u,v)$$

$$\hat{F}(u,v) = \frac{1}{H(u,v)} \cdot G(u,v) = F(u,v) + \frac{1}{H(u,v)} \cdot N(u,v)$$

Inverse filter

Estimation of inverse filter characteristic may cause problems for frequencies when $H(u,v)\approx 0$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Wiener filter

$$G(u,v) = H(u,v) \cdot F(u,v) + N(u,v)$$

$$\hat{F}(u,v) = \frac{1}{H(u,v)} \times \frac{|H(u,v)|^2}{|H(u,v)|^2 + \frac{S_h(u,v)}{S_f(u,v)}} \times G(u,v)$$

K

- $S_f(u,v)$, $S_\eta(u,v)$ – power spectrum densities for source image and distorted image, respectively
- It is assumed that K is estimated as $(SNR)^{-1}$
- for small frequencies or $K \to 0$ Wiener filter corresponds to inverse filter
- for $K \to \infty$ Wiener filter approaches to low-pass filter

Wiener filter – application example

source image

distortion (shift)

L=31 φ=45°

restauration by Wiener filtration

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Wiener filter

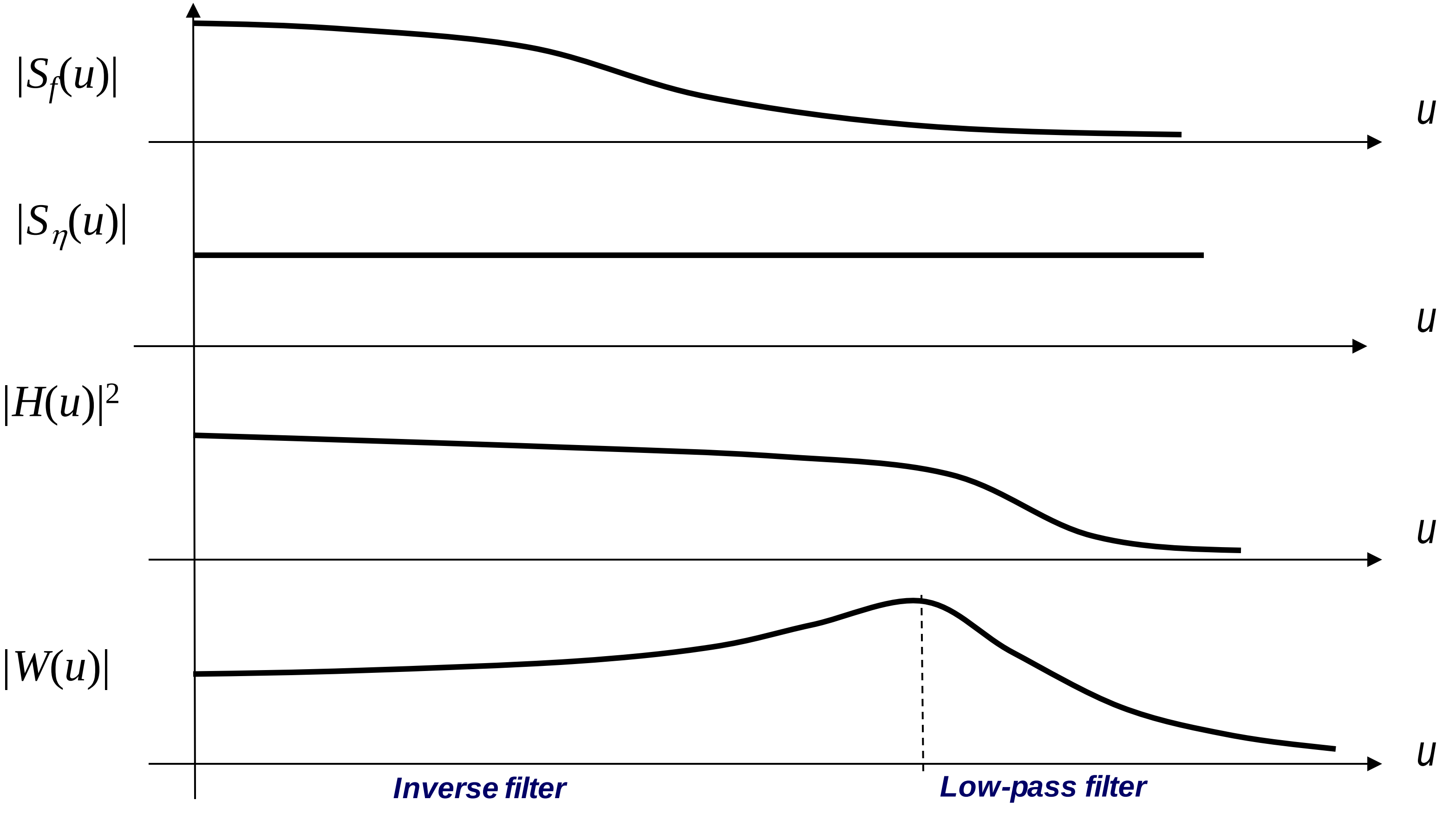


Image restauration

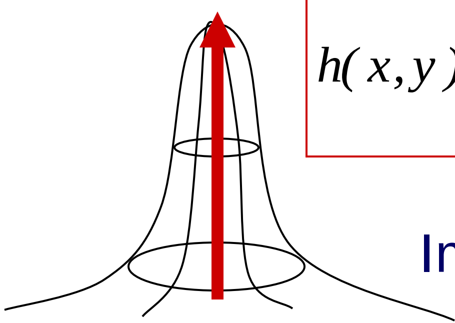
original image

degradation + noise

Wiener filter

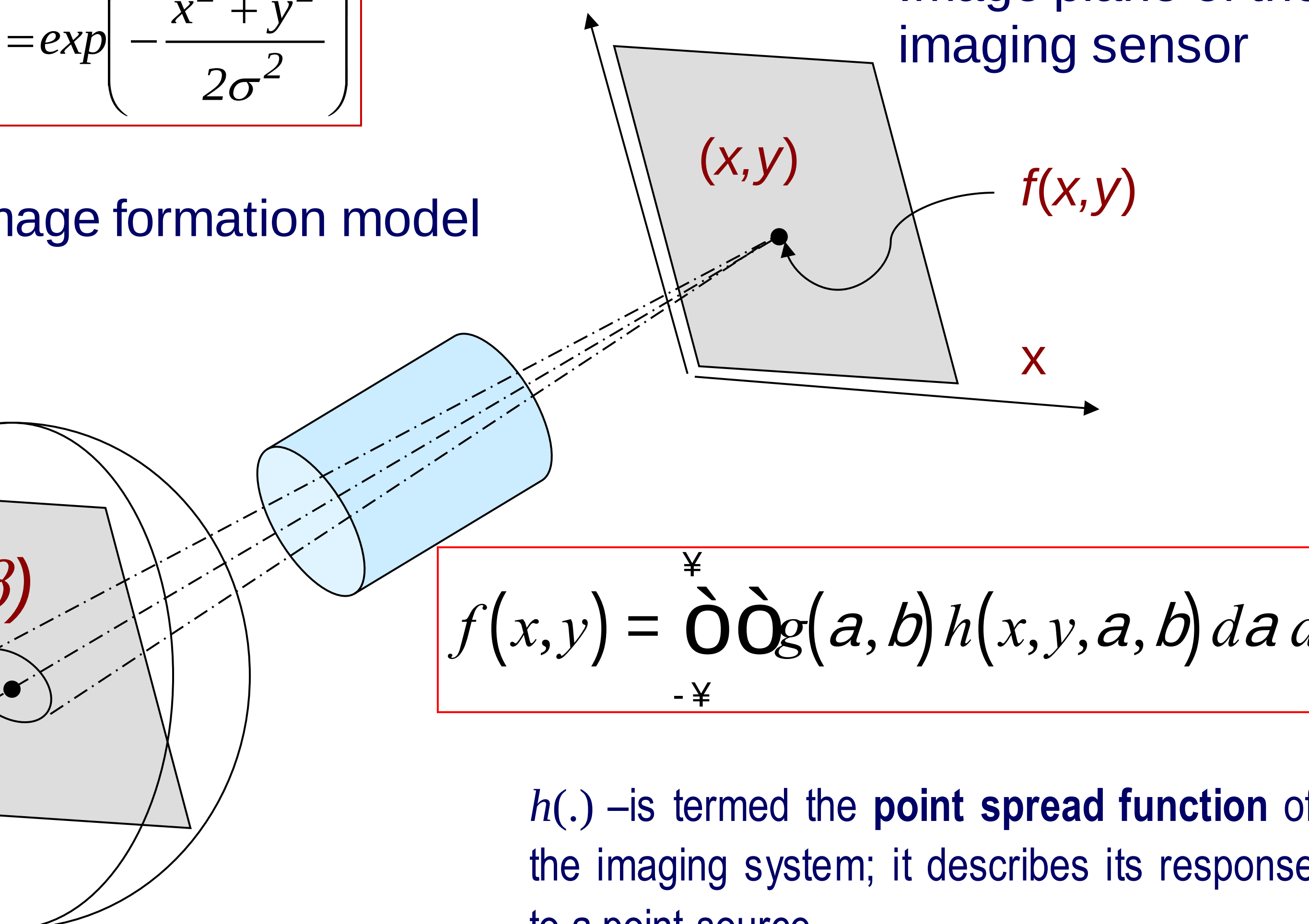
simplified Wiener filter $K=\sigma_\eta/\sigma_f$

Point Spread Function (PSF)



$$h(x,y)=exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)$$

Image formation model

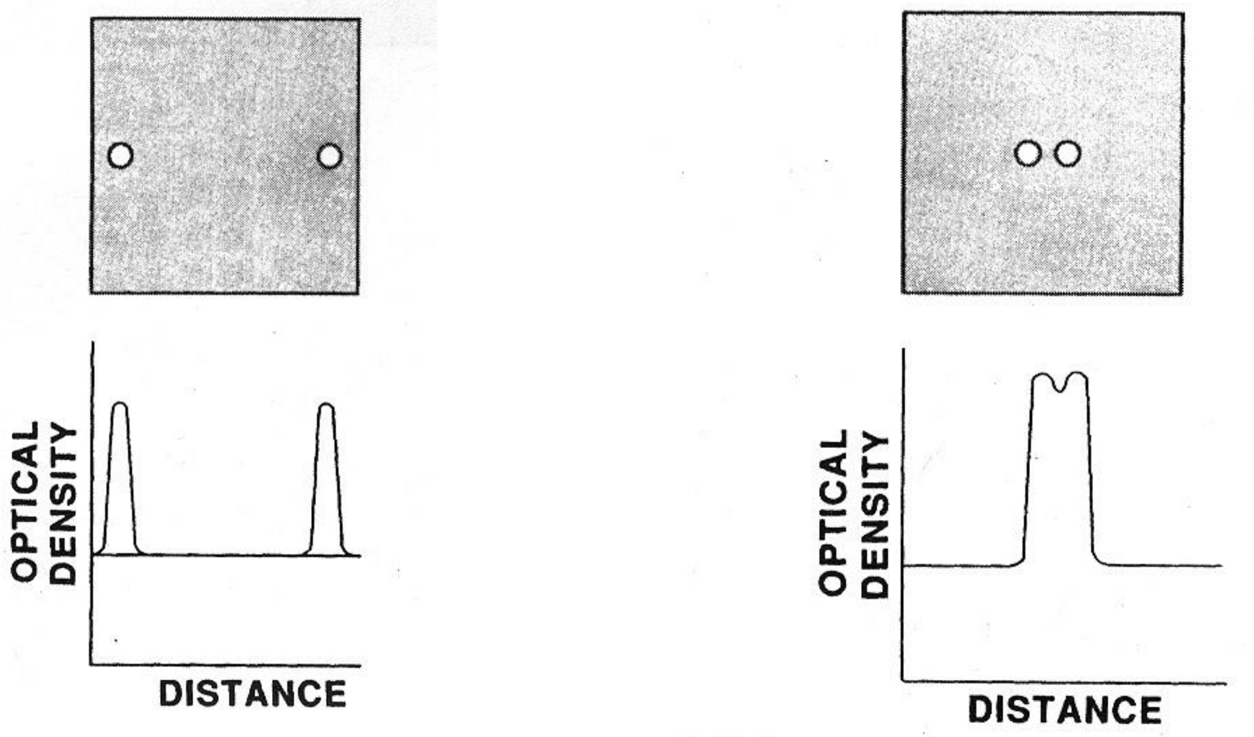


$$f(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty}\int g(\alpha,\beta)\, h(x,y,\alpha,\beta)\, d\alpha\, d\beta$$

$h(.)$ –is termed the **point spread function** of the imaging system; it describes its response to a point source.

Point Spread Function (PSF)

PSF is a measure of a minimum distance between two objects when they can be clearly distinguished in the image



closer structures are interpreted as a single image objects – their boundaries overlap

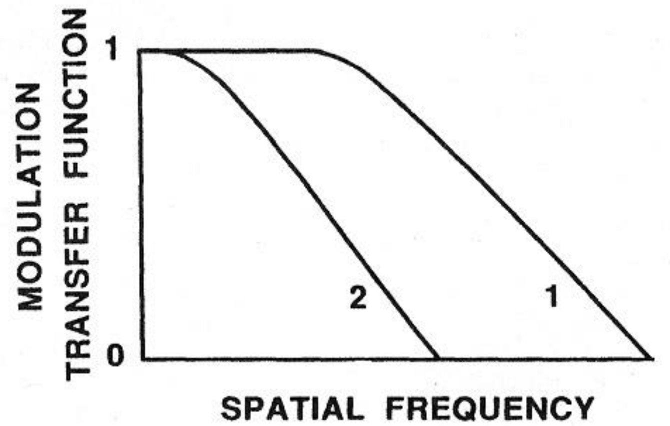
Modulation Transfer Function

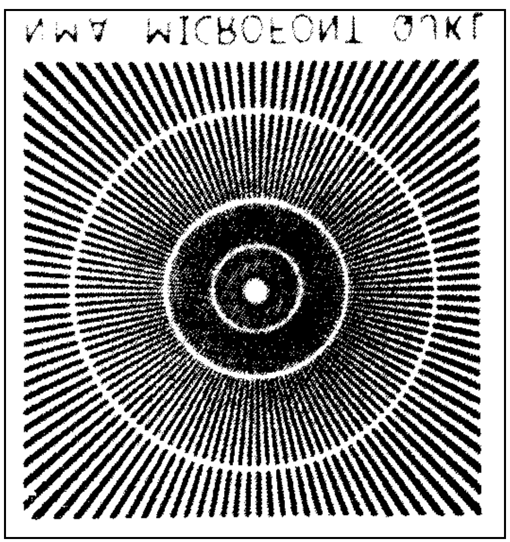
$$F(u,v) = G(u,v)H(u,v)$$

MTF is a Fourier transform of PSF. It represents a frequency characteristics of the imaging system.

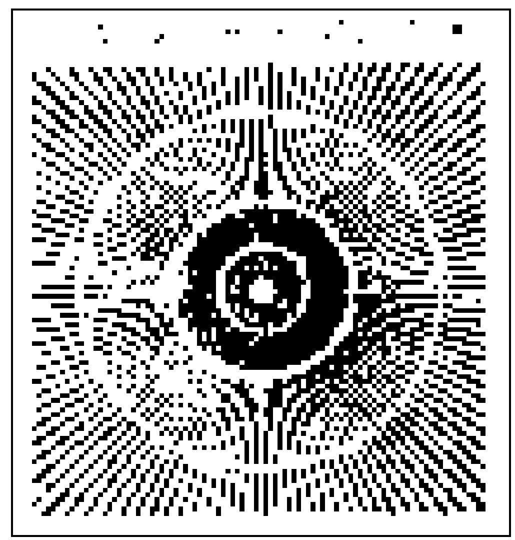
$$H(u,v) = \mathbf{F}\left[h(x,y)\right]$$

Modulation Transfer Function





MTF 1
500 dpi



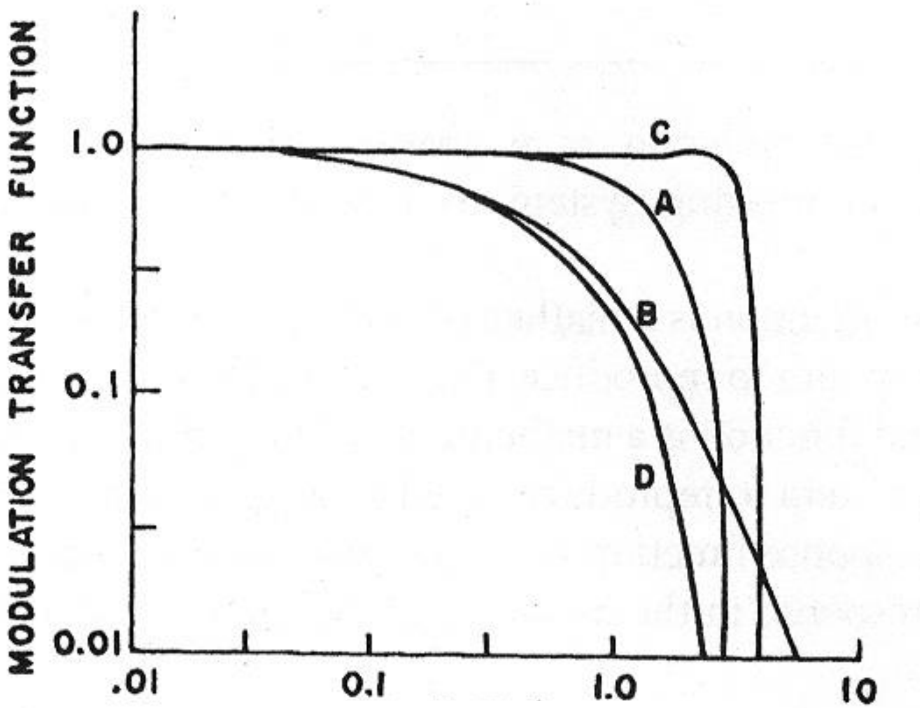
MTF 2
100 dpi

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Modulation Transfer Function



frequency [Hz]

MTFs of radiographic imaging system:

A) screen-film

B) image formation system

C) object motion

D) resulting function for the entire system

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

References

- W. R. Hendee, E.R. Ritenour, Medical Imaging Physics, Wiley-Liss, 2002
- C. Guy, D. ffytche, An Introduction to The Principles of Medical Imaging, Imperial College Press, 2008

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

„Medical Imaging”

Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego w projekcie pt.

„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń - zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej - zarządzanie Uczelnią, nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacniania zdolności do zatrudniania osób niepełnosprawnych”