

Vilniaus Universitetas

Lazerinių tyrimų centro seminaras

Skaitmeniniai vaizdai: registravimas, taikymai, skaitmeninė analizė

Andrius Melninkaitis

2006 02 23

Pranešimo turinys

- Skaitmeninis vaizdas
- Registravimas ir vizualizavimas
 - Erdvės diskretizavimas
 - Signalų skaitmenizavimas
- Vaizdų analizė ir taikymai
 - Aritmetinės operacijos
 - Bazinės vaizdo korekcijos
 - Bruožų detektoriai ir kerneliniai filtrai
 - Miglotų vaizdų rekonstrukcija

I dalis
(Skait)meninis vaizdas



Skaitmeniniai vaizdai reikalingi tam, kad galėtume užrašyti ir vizualizuoti informaciją

Skaitmeninis vaizdas

“realaus” objekto atvaizdavimas dvimačiu (trimačiu) skaičių masyvu sudarytu iš mažiausių vaizdo elementų – taškų/pikselių (vokselių)

Skaitmeninis vaizdas

➤ Kompiuterio vizualizuotas failas



233 233 232 233 233 233 233 232 232 232 231 232 234 232 232 235 234 234 235 233 233 235 236 233 233 235 234 233 233 234 235
233 233 233 234 234 233 232 232 228 232 232 230 232 233 233 233 234 232 232 235 237 233 231 232 233 233 233 234 234 233 233
232 232 232 232 232 232 231 231 234 232 231 232 234 232 231 232 231 234 231 231 233 235 233 234 233 232 232 234 234 232 232
232 232 232 231 231 231 232 233 229 230 233 236 234 230 230 234 232 235 235 235 233 235 232 231 233 232 232 233 233 232 232
232 232 232 233 233 233 233 233 230 229 228 229 232 234 233 231 234 231 230 235 230 232 232 232 232 233 233 232 232 233 233
230 230 231 232 233 232 230 229 233 230 232 235 232 227 228 232 229 234 233 234 229 236 234 230 230 233 234 232 232 234 233
231 230 229 230 230 230 229 228 226 235 235 209 171 156 175 199 209 227 234 240 236 239 234 238 231 232 232 232 232 232 232
237 234 230 229 230 231 231 231 229 239 214 142 86 95 141 173 192 202 206 218 209 193 190 221 234 231 230 230 230 230 231
204 220 233 236 231 227 228 226 236 210 158 134 89 98 150 180 192 191 166 125 114 90 89 172 240 232 228 235 231 229 232
168 174 182 194 207 222 238 242 232 166 140 158 146 148 167 162 147 141 100 75 76 100 179 181 238 234 232 232 231 236 235
178 174 169 166 165 181 211 226 207 168 176 167 163 167 155 147 145 121 120 120 109 96 108 195 241 230 229 231 231 233 227
180 178 179 180 172 172 176 171 172 174 172 167 173 170 170 169 155 134 112 116 174 192 195 233 230 225 228 230 223 224 224
179 175 175 179 180 183 181 166 173 167 156 165 165 163 160 142 139 141 139 166 195 197 217 209 217 225 229 234 231 238 234
180 178 176 176 175 181 186 177 168 165 174 172 162 168 152 148 144 135 158 181 181 177 162 178 173 179 180 193 197 203 199
180 177 172 173 176 180 181 174 183 188 191 190 182 161 154 159 160 160 177 175 181 176 180 178 180 180 177 182 177 175 177
181 178 175 177 180 181 181 176 193 192 201 193 194 173 172 175 177 177 175 175 178 179 177 177 177 178 179 176 178 180 181 176
180 177 177 177 176 178 176 169 196 200 203 188 194 190 188 189 189 191 174 177 179 181 177 179 179 179 179 178 178 178
178 177 177 176 175 177 179 180 196 209 198 194 198 198 192 189 195 198 181 179 179 176 177 179 177 177 177 177 177 177
174 175 175 174 173 173 175 179 190 208 195 206 196 197 198 198 203 203 184 176 182 176 179 177 176 176 176 176 177 177 177
173 175 175 175 177 174 172 175 198 203 192 205 188 187 198 207 209 206 192 175 179 174 176 174 175 175 175 176 177 177 176
170 171 172 174 176 174 173 177 196 197 196 202 201 194 194 200 205 206 203 173 174 171 173 177 177 177 177 177 178 178 177
170 171 171 171 172 173 176 180 197 204 201 187 204 199 194 201 206 206 203 175 174 172 169 173 173 173 173 173 173 173 173

Red

Green

Blue

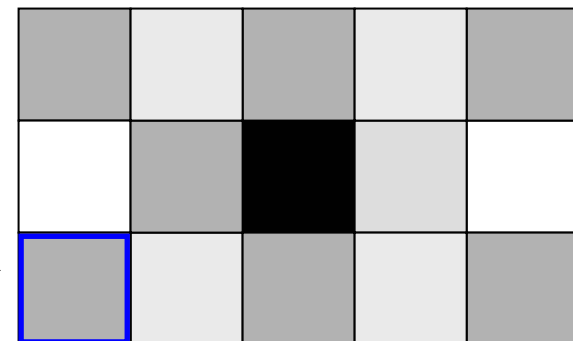
Skaitmeninis vaizdas

- Skaitmeninė matrica: skaičių eilutės ir stulpeliai

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & \dots & \dots & f(1,M-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix}$$

0.25	0.5	0.25	0.5	0.25
1	0.25	0	0.25	1
0.25	0.5	0.25	0.5	0.25

vaizdo
elementas
pikselis (pix)



Skaitmeninis vaizdas – 5D f-ja

$$f(x, y, z, w, t)$$

- $x, y, (z)$ – 2 (3) erdvės dimensijos (koordinatės)
- w – informacinė dimensija (pvz. intensyvumas, bangos ilgis, jėgos stiprumas ir t.t. – priklauso nuo to kas skaitmenizuota)
- t – laiko dimensija (ekspozicijos trukmė)
- F-jos reikšmės ir dimensijos yra diskretiniai dydžiai

Skaitmeninių vaizdų tipai

- Rastriniai intensyvumo vaizdai
 - pikselio reikšmė atitinką signalo intensyvumą
- Grafiniai rastriniai paveikslėliai
 - Binariniai (dvejetainiai)
 - loginių reikšmių (0,1) masyvas
 - RGB
 - pikselio reikšmė – spalvos kodas
 - Indeksuoti
 - pikselio reikšmė – nuoroda į spalvos kodą
- Grafiniai vektoriniai paveikslėliai
 - *ne pikseliai, bet vaizdo formavimo komandos (geometriniai elementai ir bangelės)*

Skaitmeninių vaizdų išsaugojimo formatai:

TXT

FITS

RAW

TIFF

BMP

JPEG

GIF

PNG

WMF

EMF

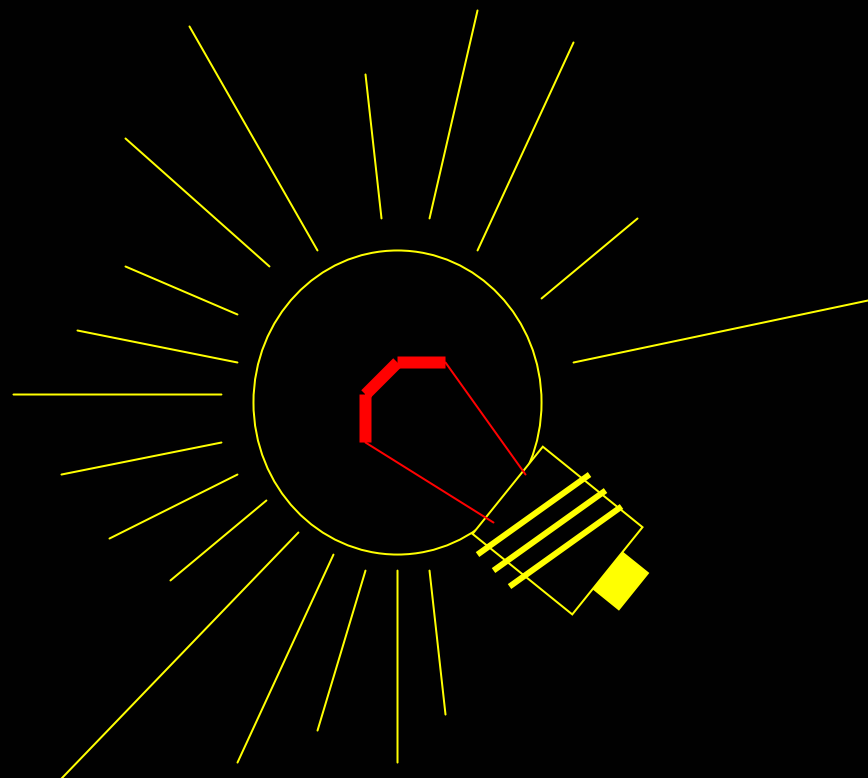
CDR

Il dalis
Vaizdo registravimas

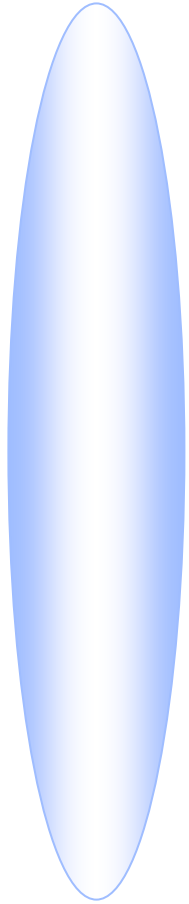
Skaitmeninį vaizdą gauname:

- Skaitmeninėmis vaizdo kameromis
- Skeneriais
- Mechaninėmis koordinatę skenuojančiomis matavimo sistemomis (varžos, sugerties, aukščio, sklaidos ir t.t.)
- Radarais, Lidarais
- Seismo-davikliais
- Kompiuteriu (vektoriniai vaizdai, matematinės funkcijos, bangės)

Ko reikia norint gauti elementarų
skaitmeninį vaizdą?



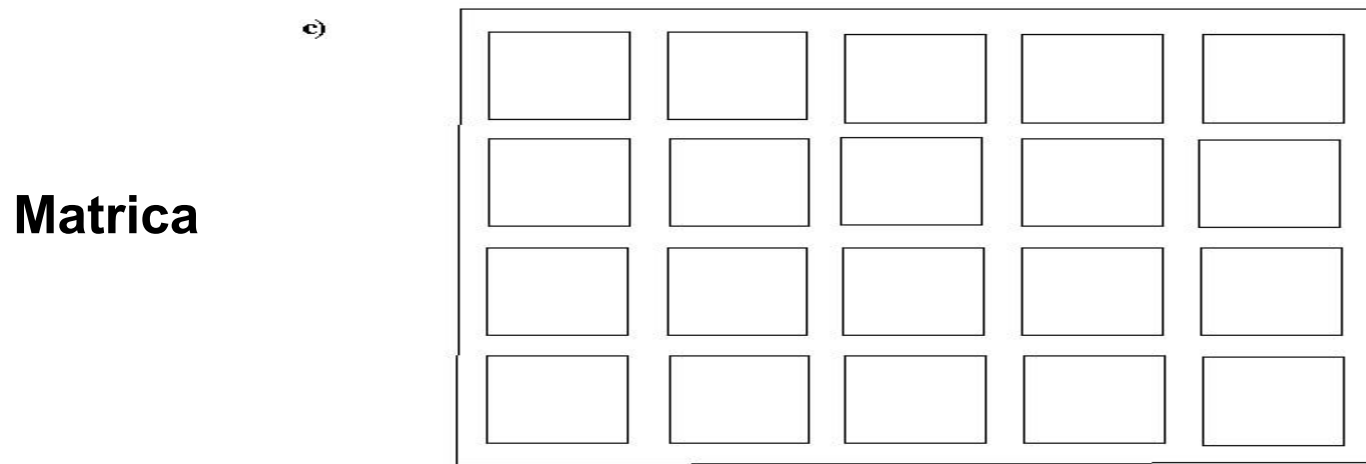
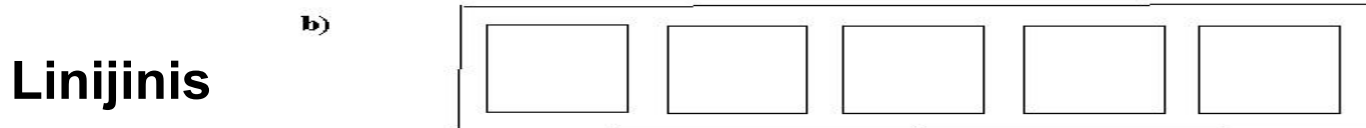
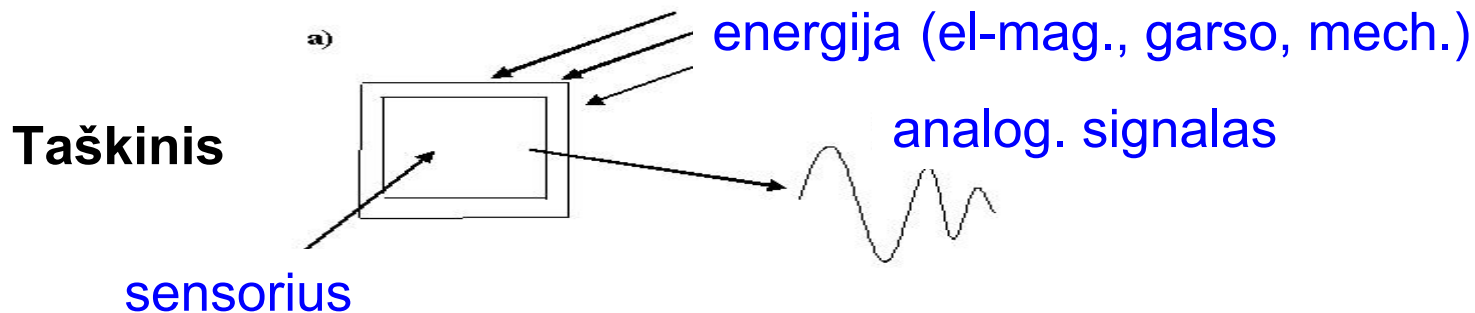
2: Reikia lęšio



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b};$$

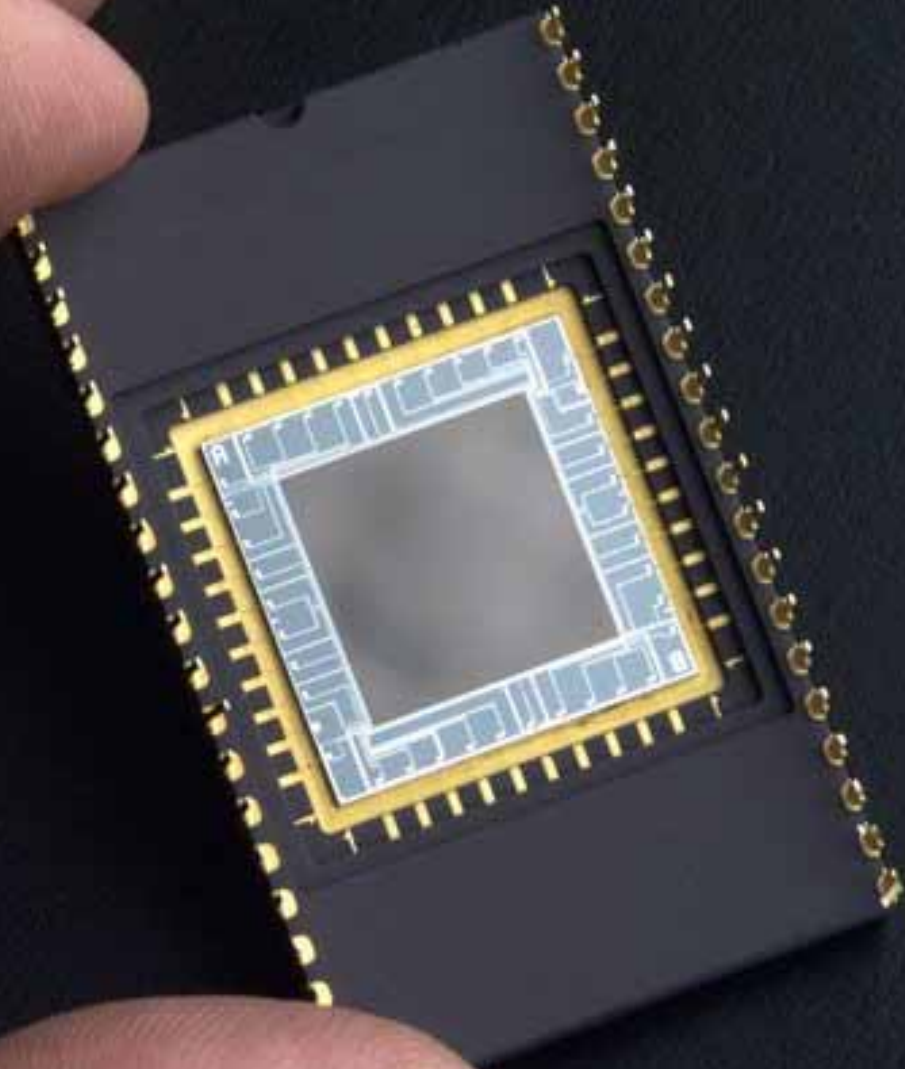
3: Reikia detektoriaus

(su keitikliu A-K)

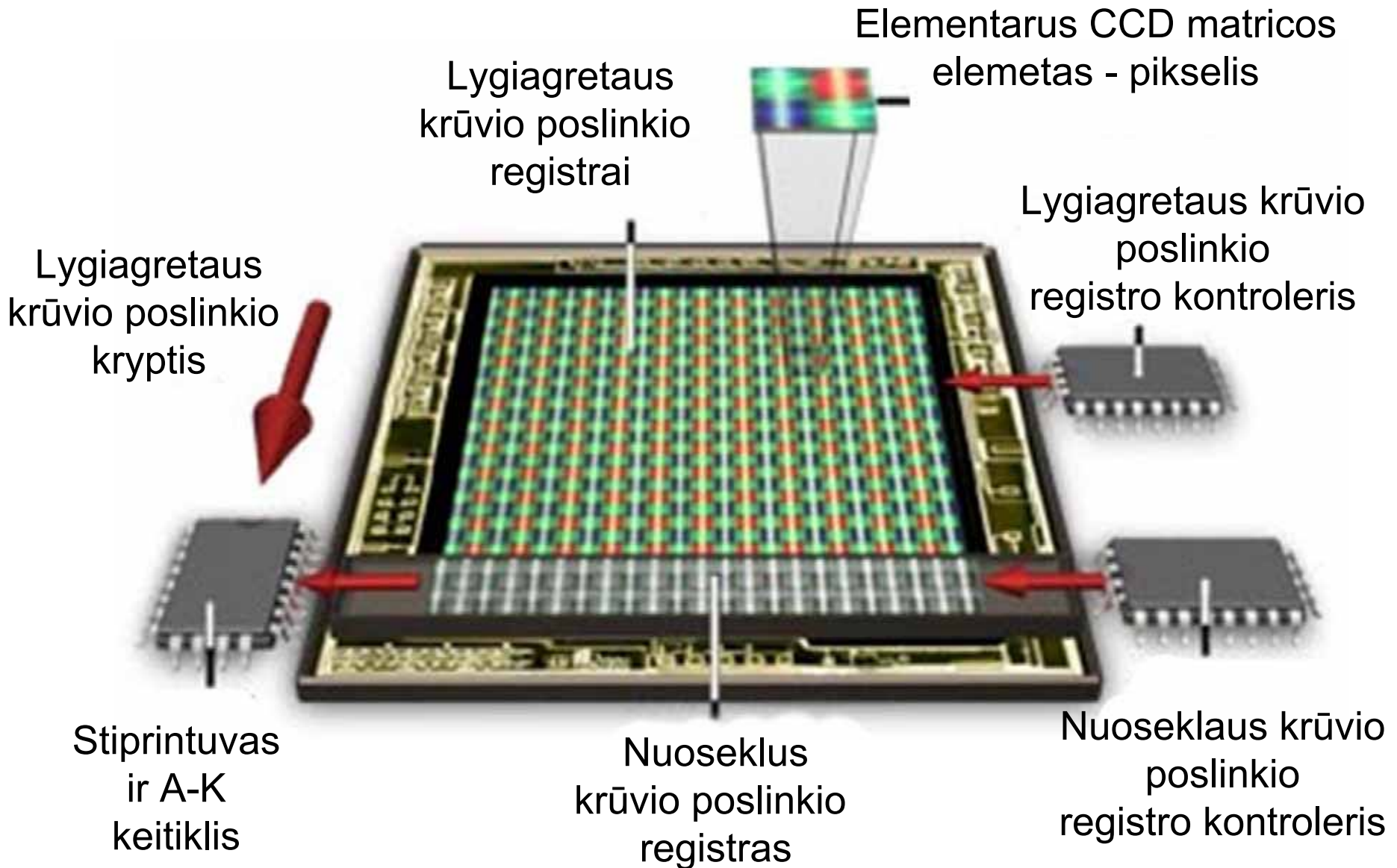


energija -> analoginis signalas

3: CCD

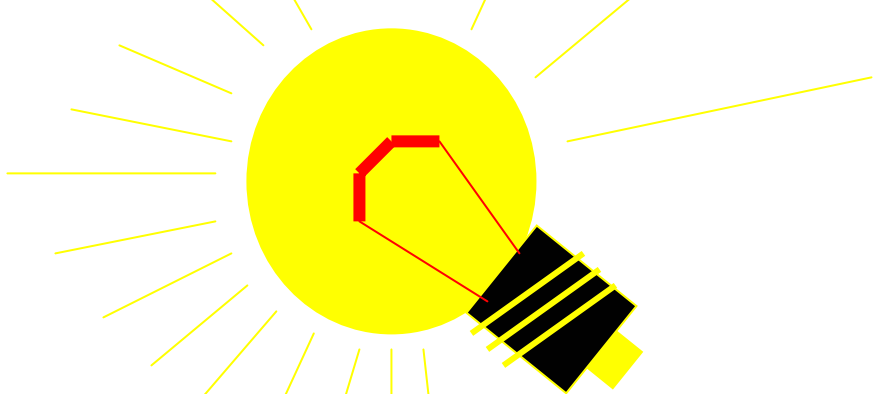


CCD Architektūra



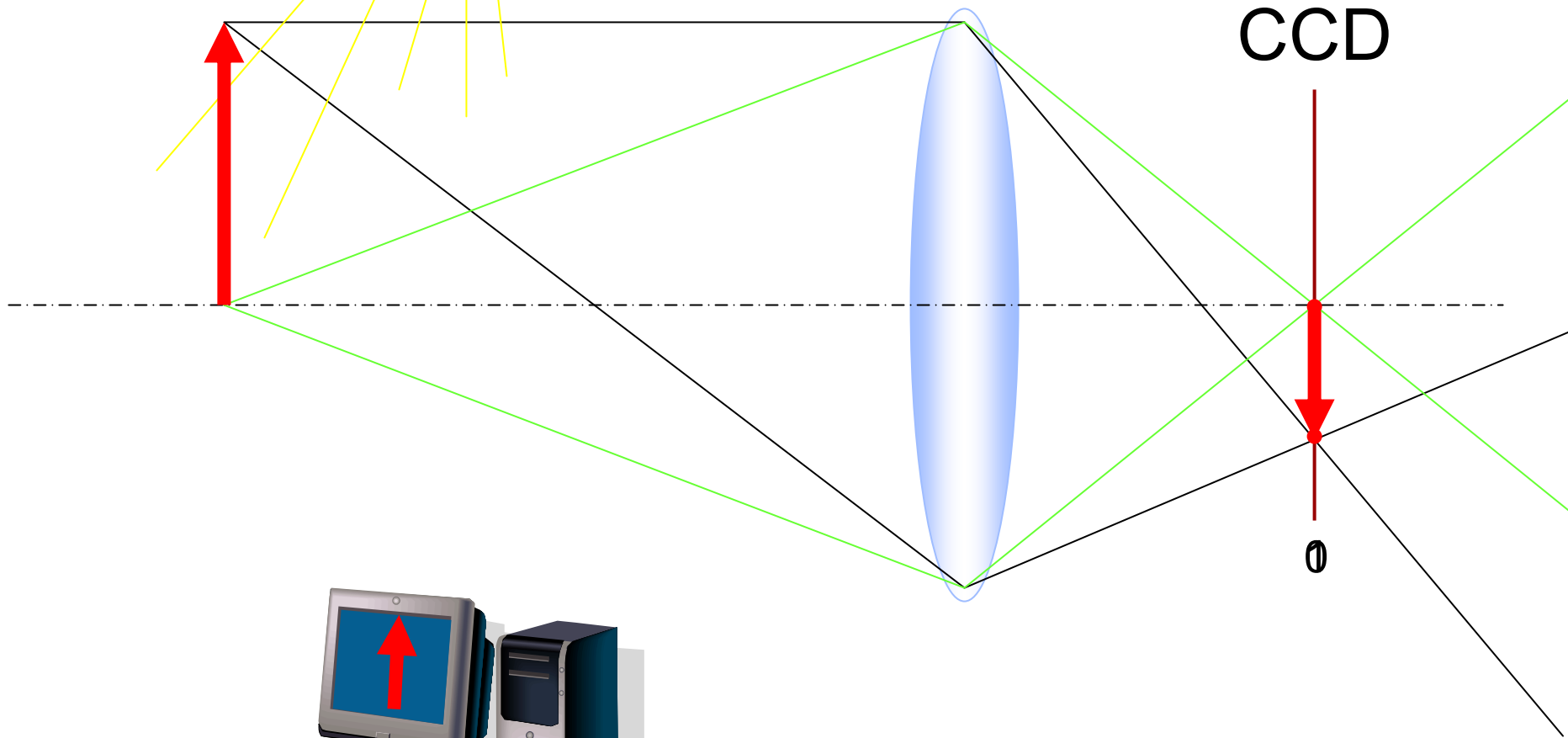
CCD veikimo principas

- Ekspozicija
- Krūvio pernešimas link lygiagrečių registru
- Krūvio pernešimas link nuoseklaus registro
- A/D konvertavimas ir duomenų nuskaitymas į kompiuterį



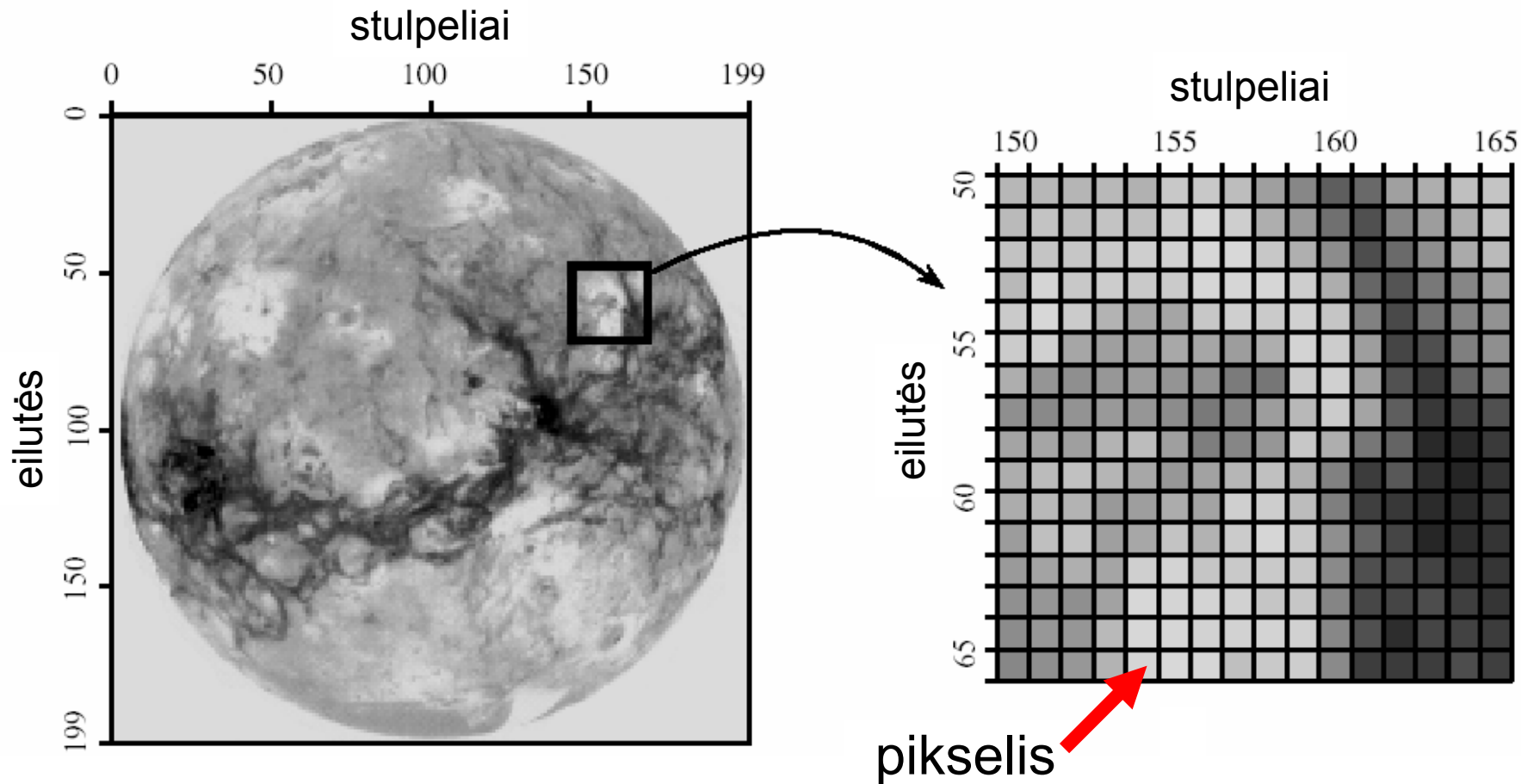
Lęšis

CCD



Erdvės diskretizavimas

Tolydžią erdvę sudaliname į vaizdo elementus

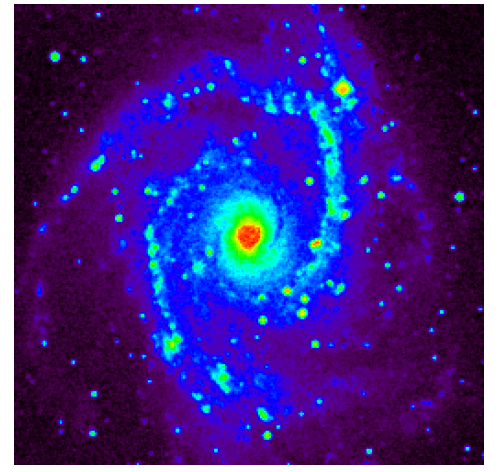
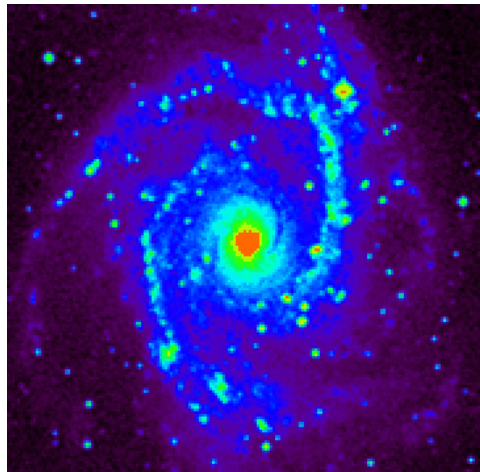
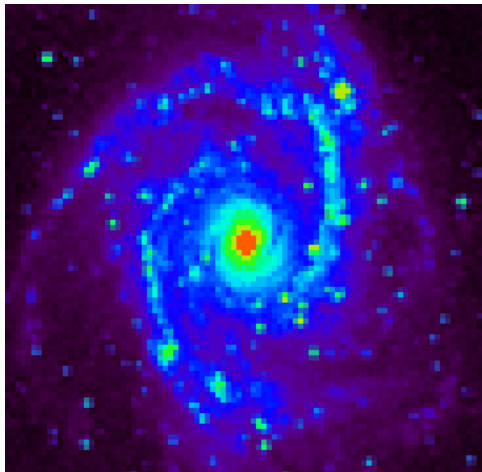
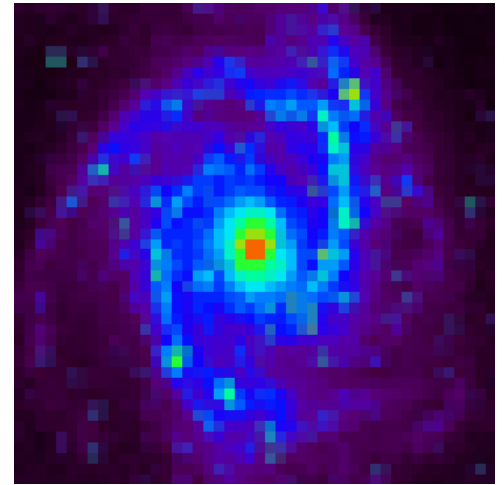
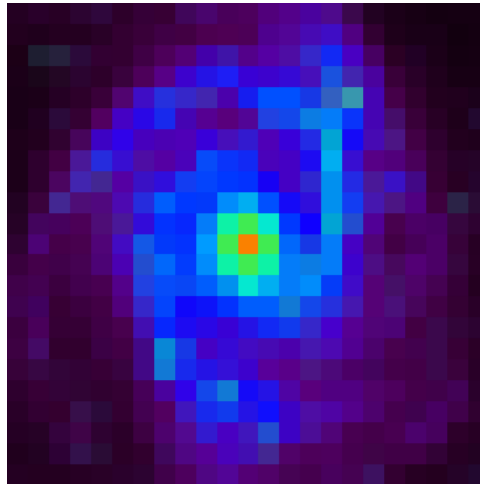
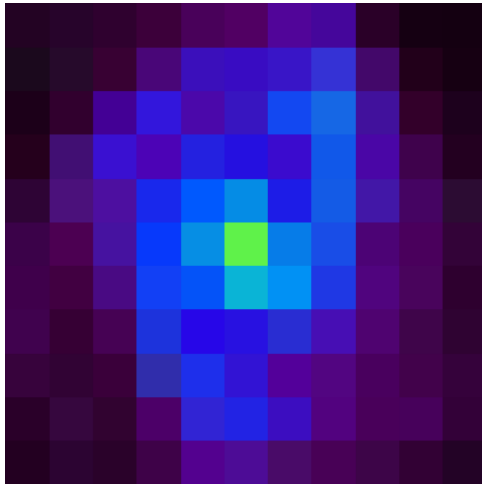


Erdvės diskretizavimas riboja skaitmeninio vaizdo skyrą

Skyra priklauso nuo detektoriaus (elementų skaičius, dydis)

Pavyzdys

Skyra apribota erdvės diskretizavimo



Vaizdo skyra

Vaizdo skyrą apsprendžia vaizdo elementų skaičius tenkantis erdvinei dimensijai



32

64

128

256

512

1024

1 colis:
DPI – taškų skaičius atstumui

Tačiau tai dar ne viskas -
skyra gali būti ribojama ir optiškai

Optinės sistemos skyra:

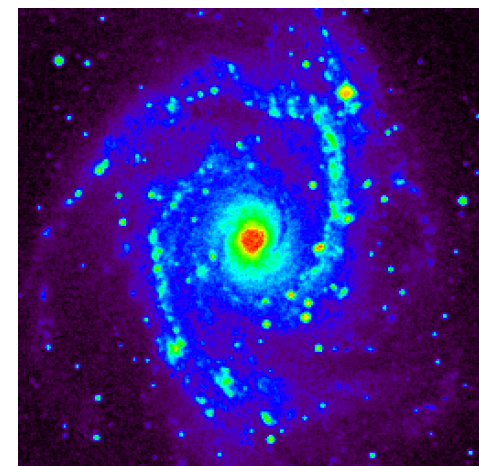
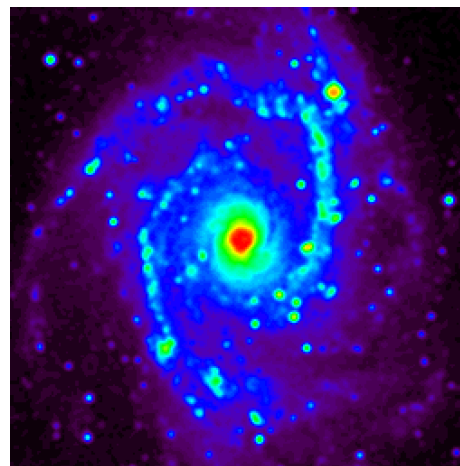
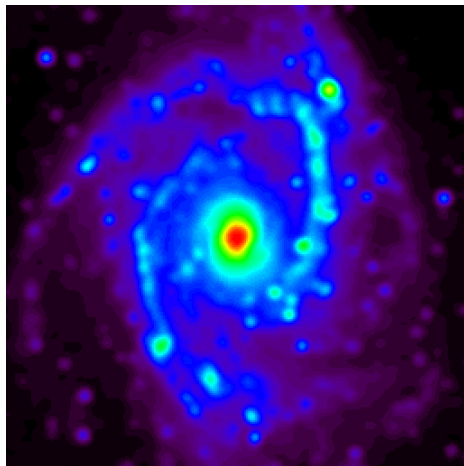
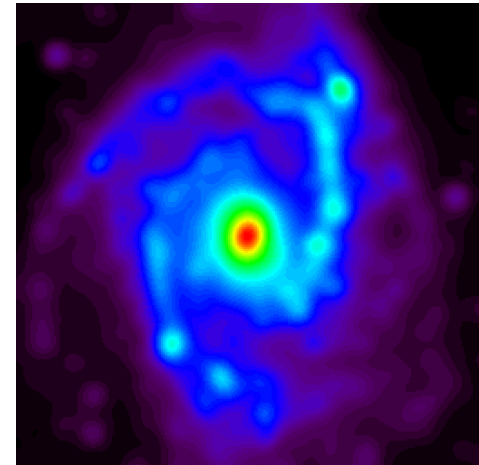
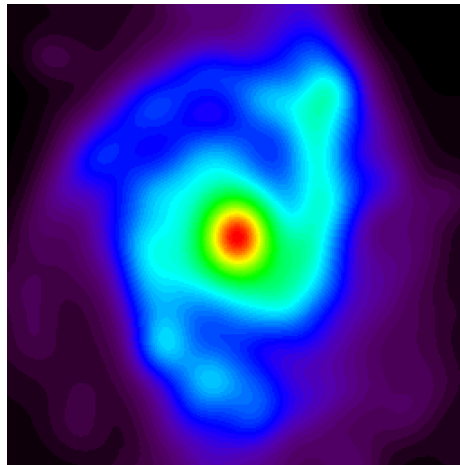
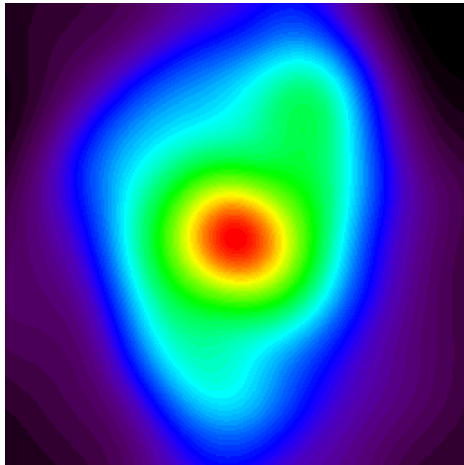


Ernst Abbe
(1840 - 1905)

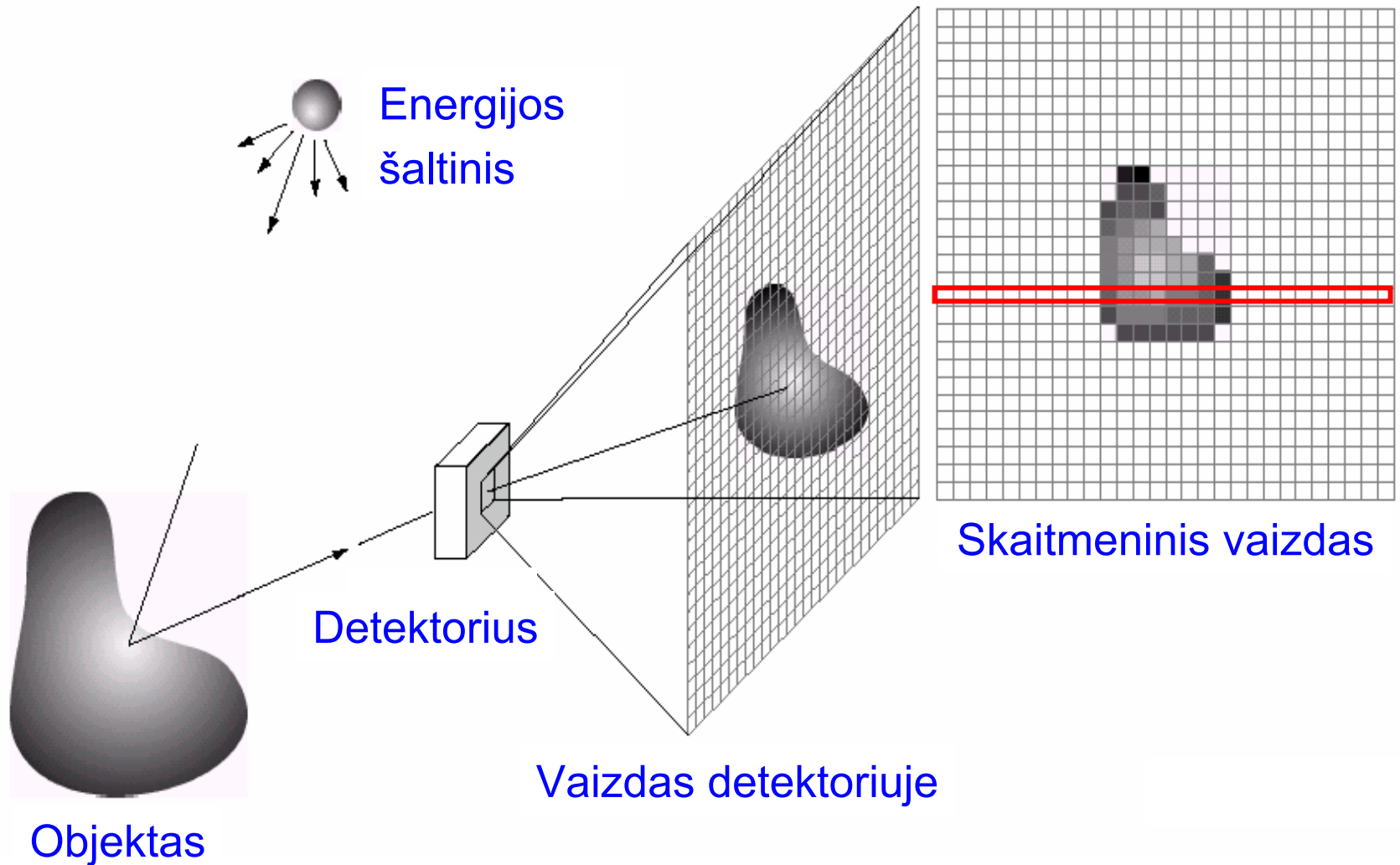
$$d = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha}$$

Vaizdo skyra

Nuo skyros priklauso mažiausia vaizde išskiriama detalė

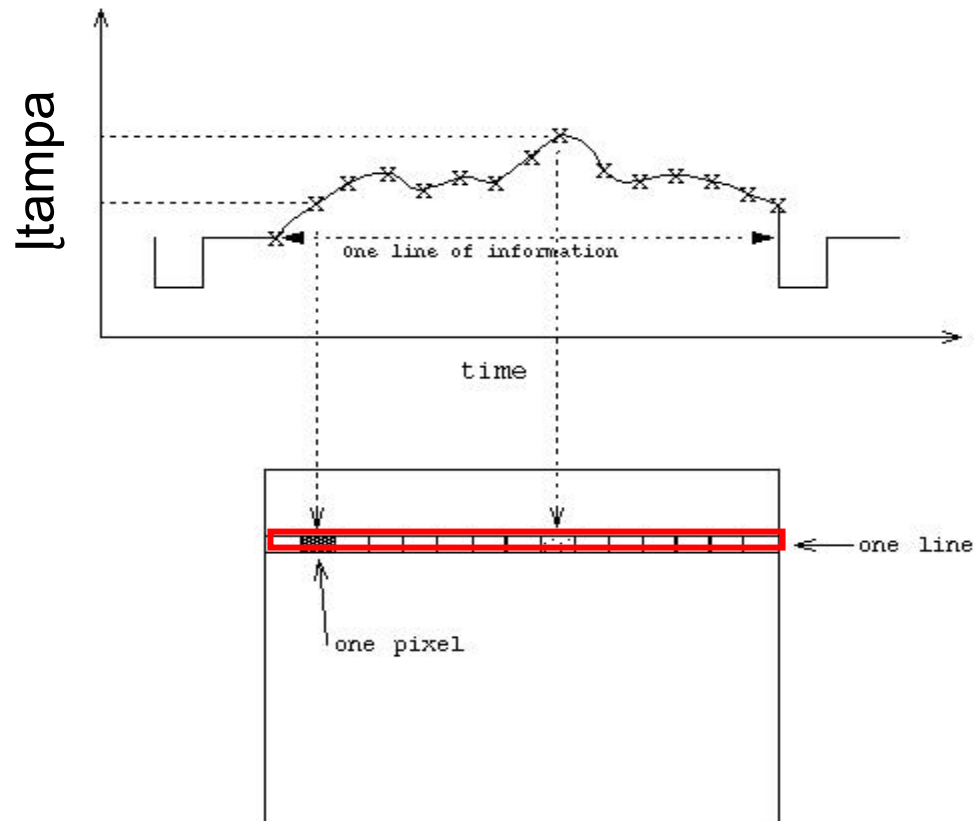


Skaitmeninio vaizdo gavimas



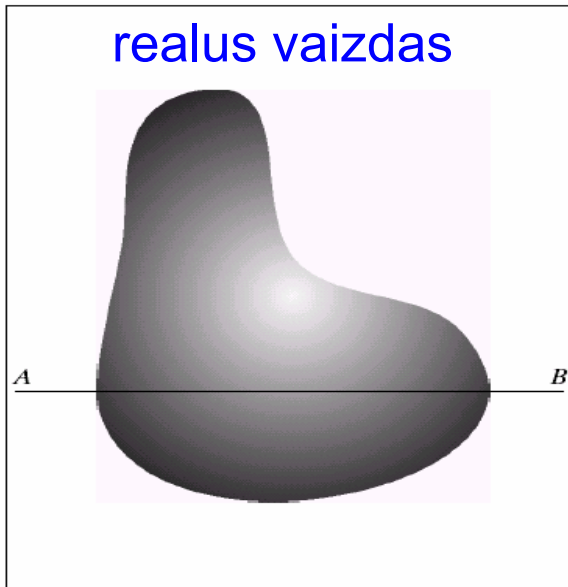
Signalo diskretizavimas

Tolydus analoginis signalas paverčiamas diskretinėmis vertėmis
kurioms priskiriamos pikseliams

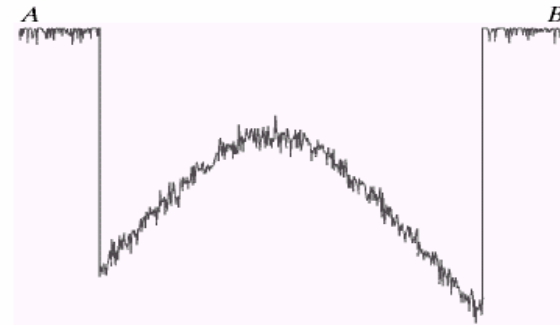


Vaizdo skaitmenizavimas

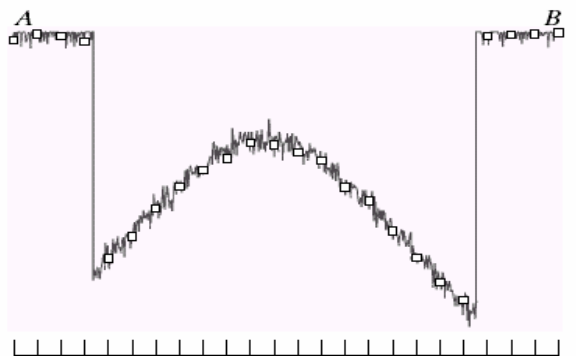
realus vaizdas



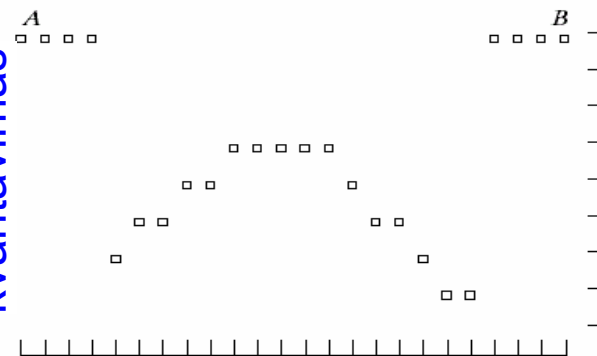
analoginis signalas



skaitmeninis signalas



samplingas

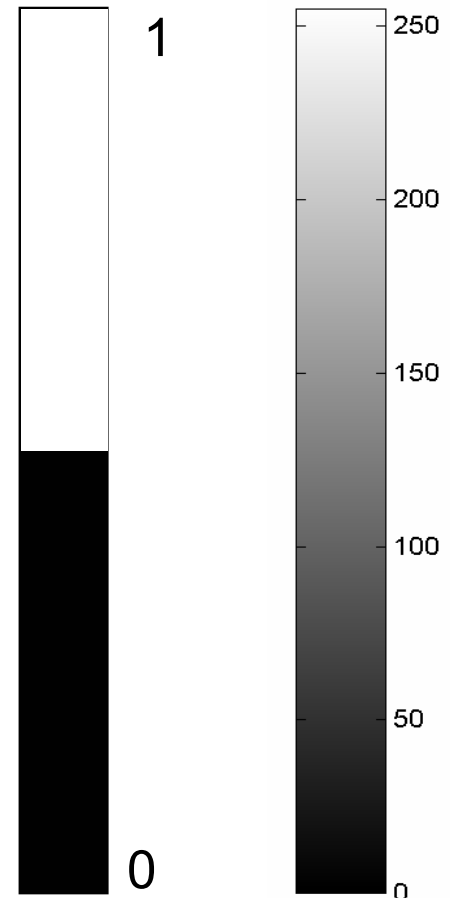


Vizualizavimas

Vizualizavimas: spalviniai lygiai

Lygių skaičius priklauso nuo to kiek bitų panaudojama:

- **1 bitas/pix**
 - 2 galimos reikšmės
 - 2 lygiai -> 0 arba 1 (binarinis vaizdas)
- **N bitų/pix**
 - 2^N lygių:
 - 1 baitas = 8 bitai -> 256 lygiai
 - 2 baitai = 16 bitų -> 65 536 lygiai
 - 3 baitai = 24 bitai -> 16 777 216 lygių



Vizualizavimas: spalviniai lygiai

Bitų skaičius:

2

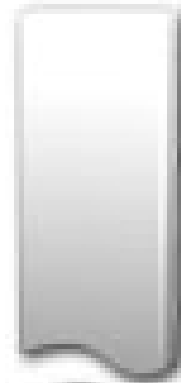
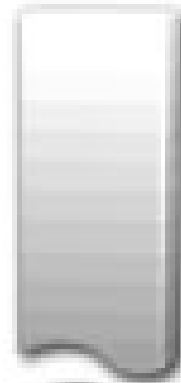
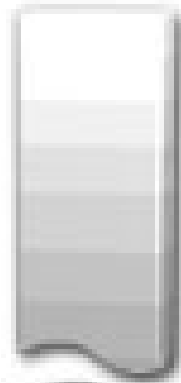
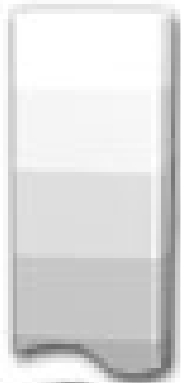
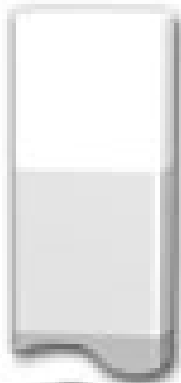
4

6

7

8

10



Verčių skaičius: **4**

16

64

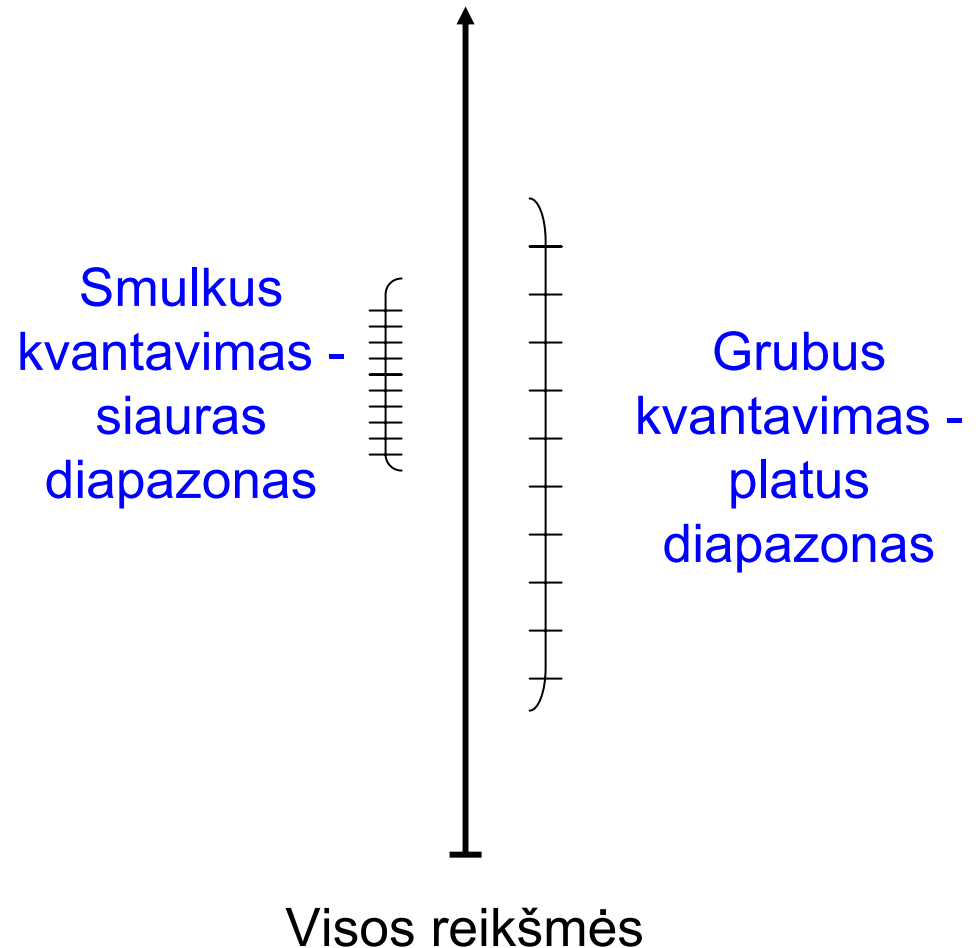
128

256

1,024

Vizualizavimas: dinaminis diapazonas

- Vaizdo dinaminis diapazonas (depth) priklauso nuo maksimalaus bitų skaičiaus, bet nepriklauso nuo to kaip bitai panaudojami



Vizualizācijas: bitai



1 bitas
(binarinis paveikslēlis)



8 bitai
(toninis vienspalvis
paveikslēlis)

Vizualizavimas: kanalai



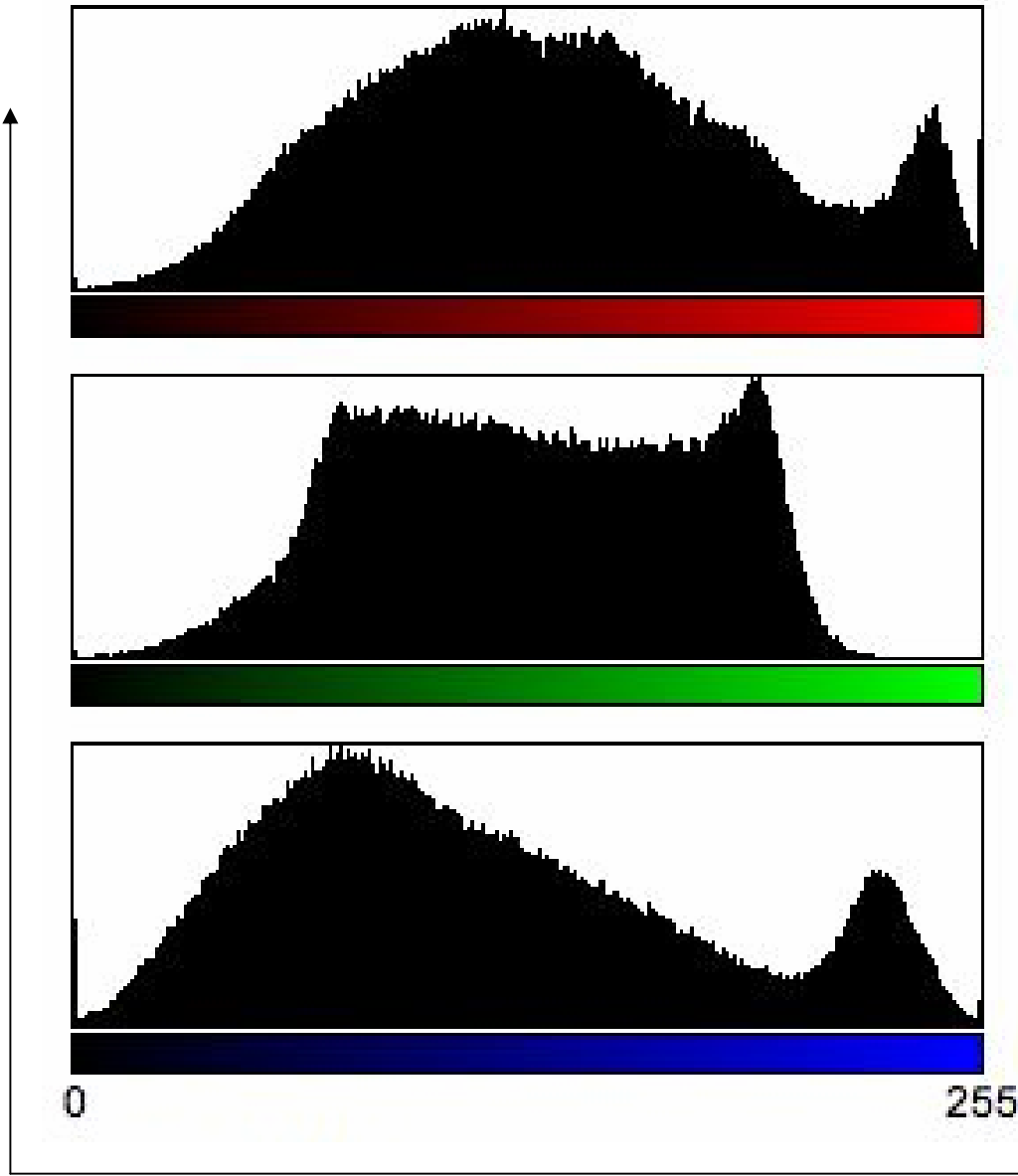
1 kanalas
(toninis vienspalvis
paveikslėlis)



3 RGB kanalai
(spalvotas paveikslėlis)

Histogramos

Vienodo intensyvumo taškų
skaičius nuotraukoje



Taško
intensyvumas

III dalis

Vaizdų analizė

(matematinės manipuliacijos su jais)

Skaitmeninių vaizdų analizė

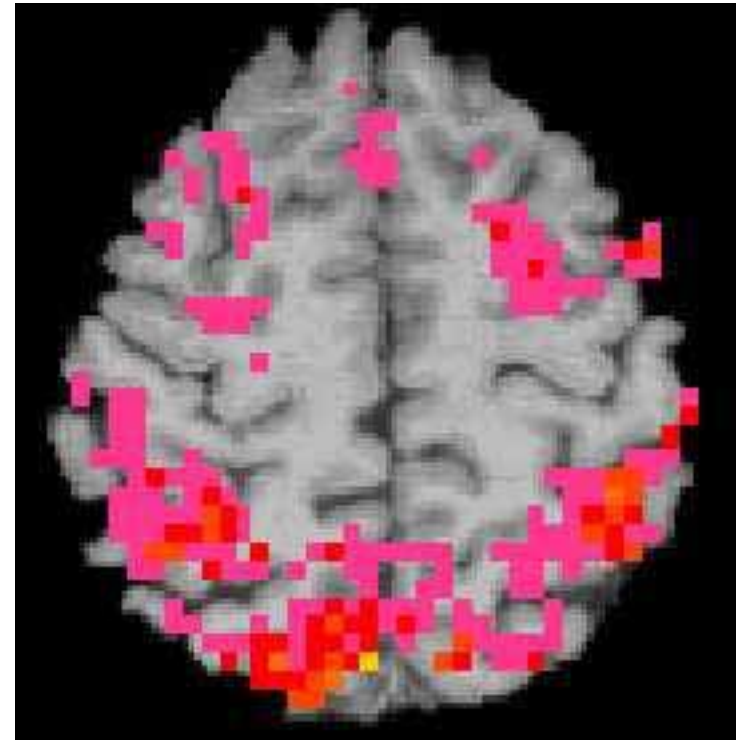
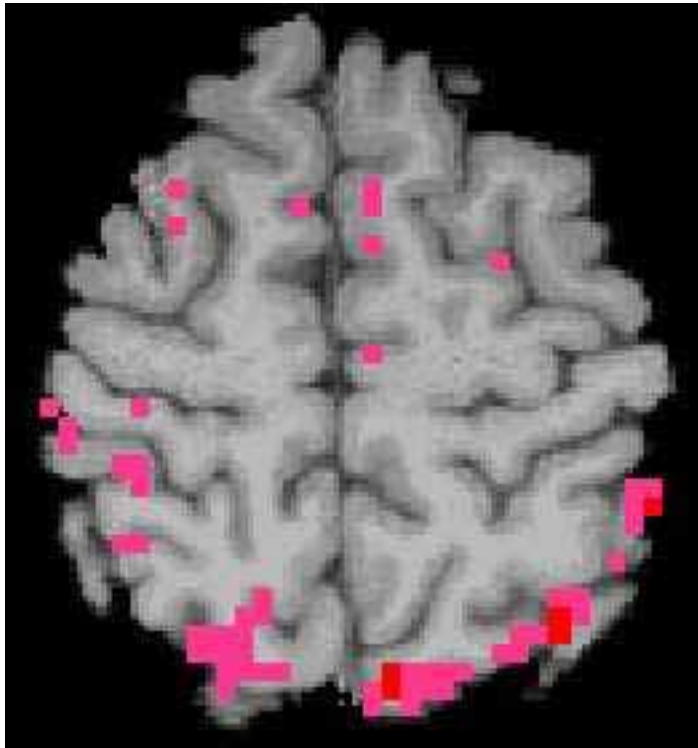
Aktuali daugelyje sričių:

- Medicinoje
- Inžinerijoje
- Pramonėje
- Meteorologijoje
- Kriminalistikoje
- Karyboje
- Astronautikoje
- Moksliniuose tyrimuose

Medicina: rentgenograma



Medicina: magnetinis rezonansas

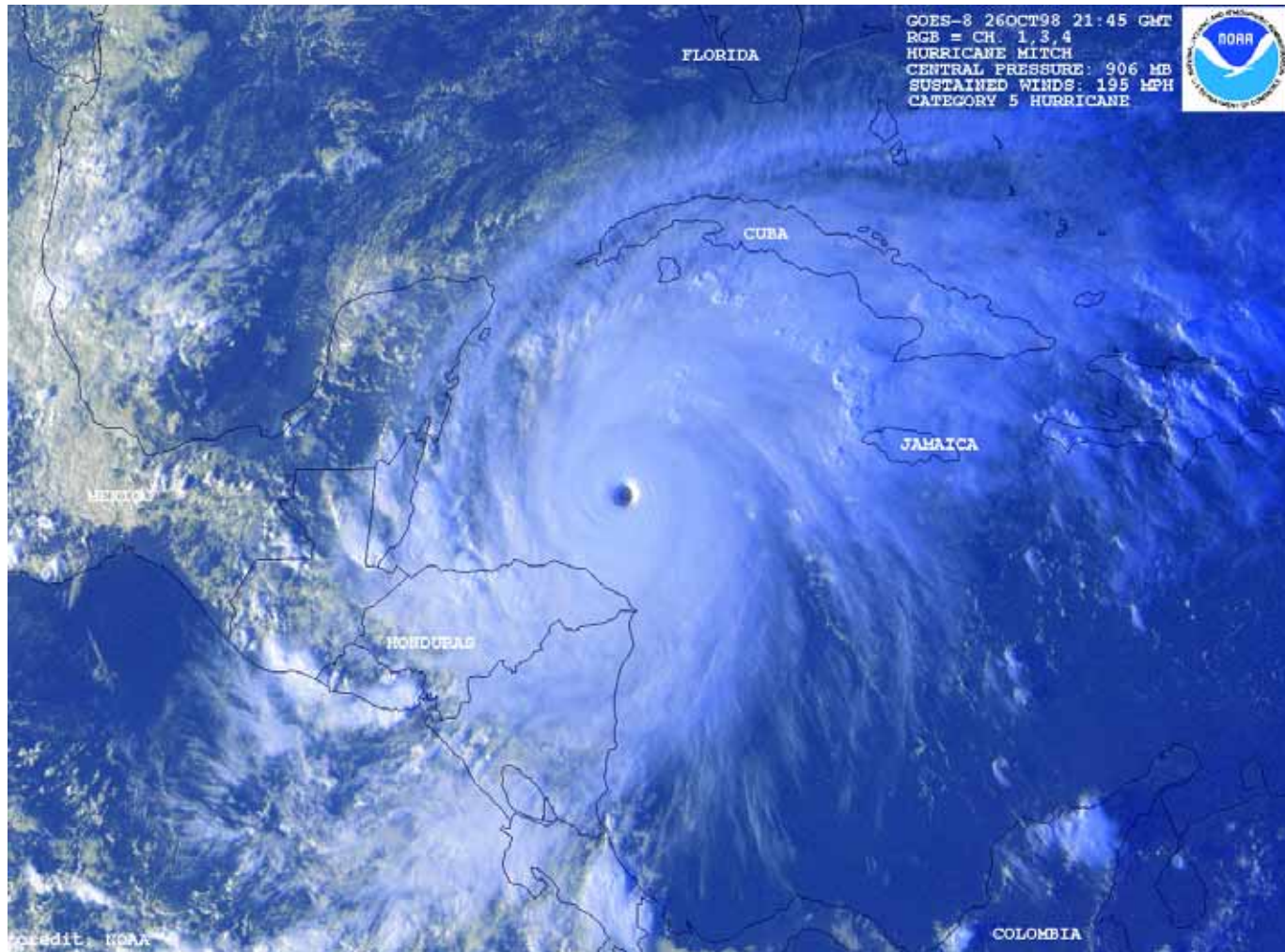


Didesnį smegenų aktyvumą atitinka ryškesnės spalvos

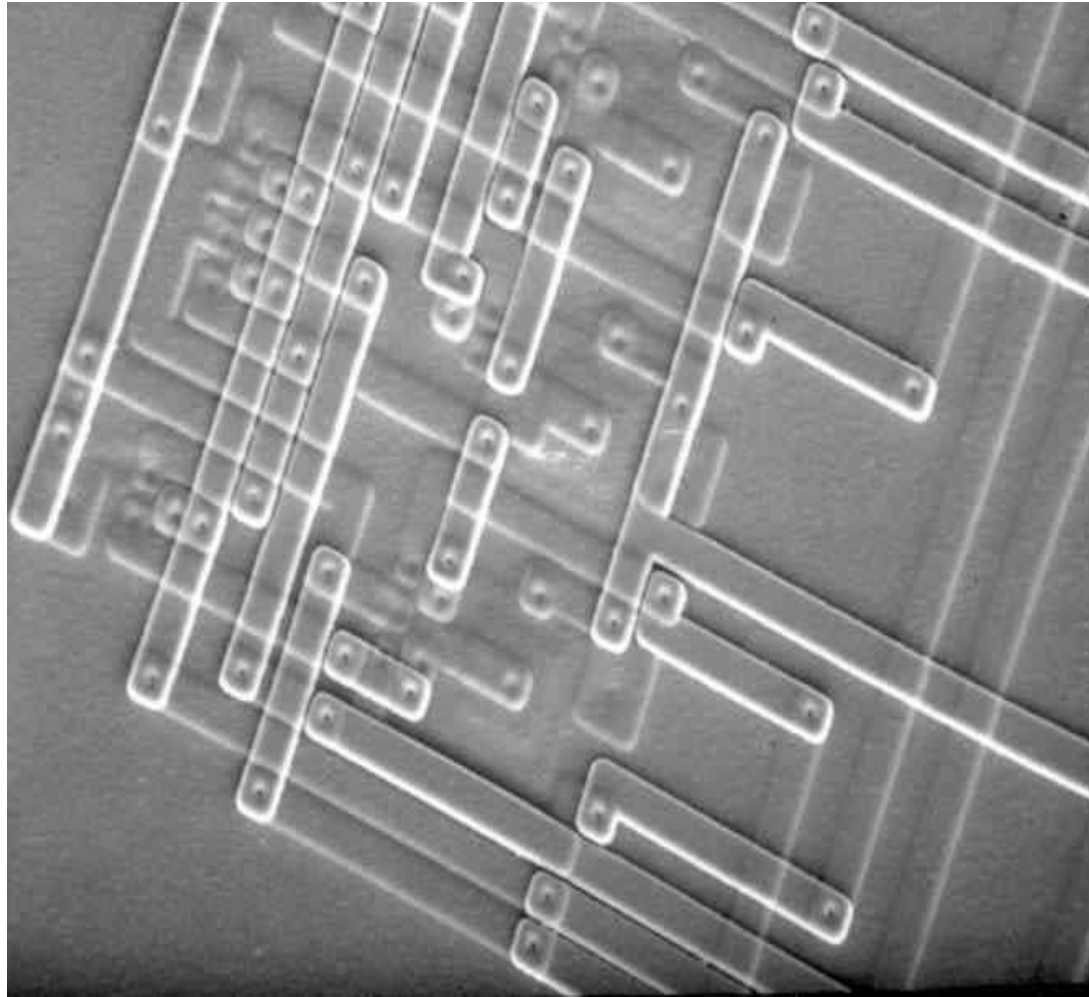
Medicina: ultragarsas



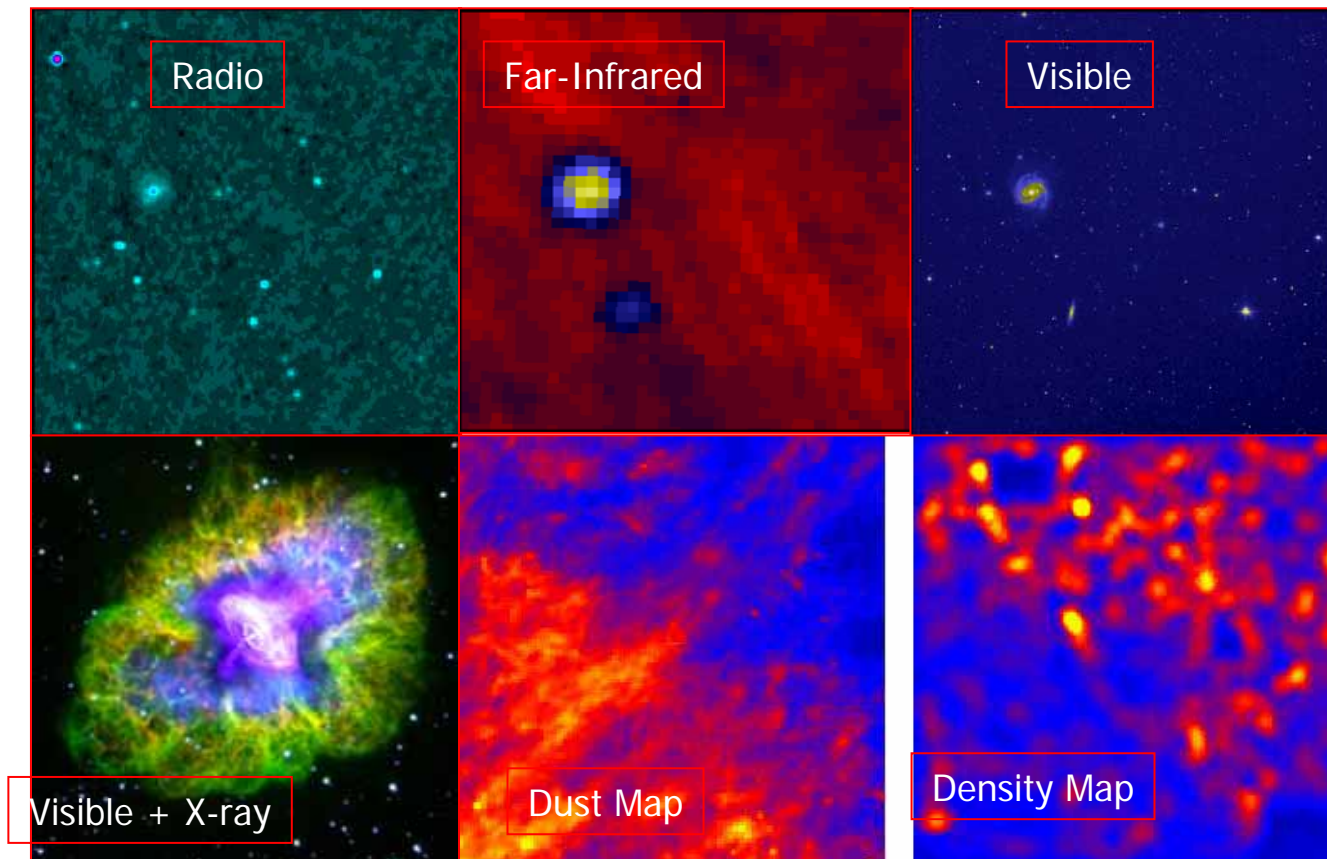
Meteorologija: stebėjimai iš orbitos



Mikroskopija



Astronomija: elektromagnetinis spinduliavimas



Įvairūs Krabo ūko “profiliai”

Vaizdų analizės programos

- **IDL** - Interactive Data Language
 - komercinė, Windows, Linux/Unix, yra demo (7 min.)
<http://www.rsinc.com/idl/>
- **Quantum Image Lab**
 - Windows, komercinė, yra demo (apribota) versija
<http://www.quantimage.com/>
- **IRAF** – Image Reduction and Analysis Facility
 - atviro kodo, Linux/Unix, nemokama, praplečiama savais programiniais moduliais (C, FORTRAN, Tcl)
<http://iraf.noao.edu/>
- **ImageJ** – Image Processing and Analysis in Java
 - atviro kodo, nepriklauso nuo OS, nemokama, plugins
<http://rsb.info.nih.gov/ij/>

Aritmetinės operacijos

Sudētis, atimtis ir pan..



+



=



-



=

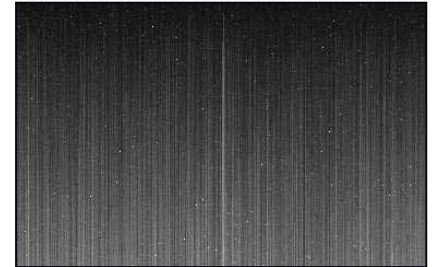


Bazinės vaizdo korekcijos

CCD kadrai

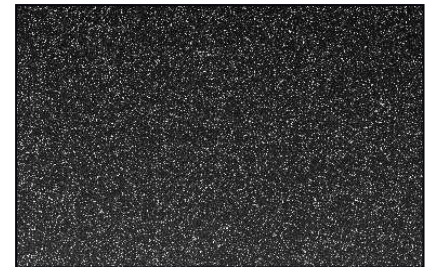
Bias kadras:

CCD kadras padarytas naudojant nulinę ekspozicijos trukmę. Gautas vaizdas nusako analoginio-skaitmeninio keitiklio triukšmus.



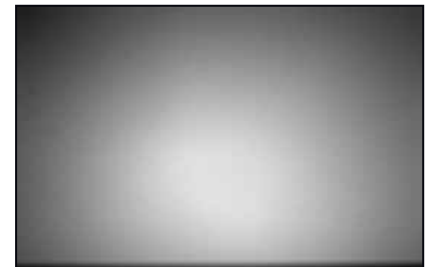
Tamsus kadras:

Kadras padarytas neapšvietus CCD kameros. Gautas vaizdas nusako tamsinių srovių sukeltus triukšmus.

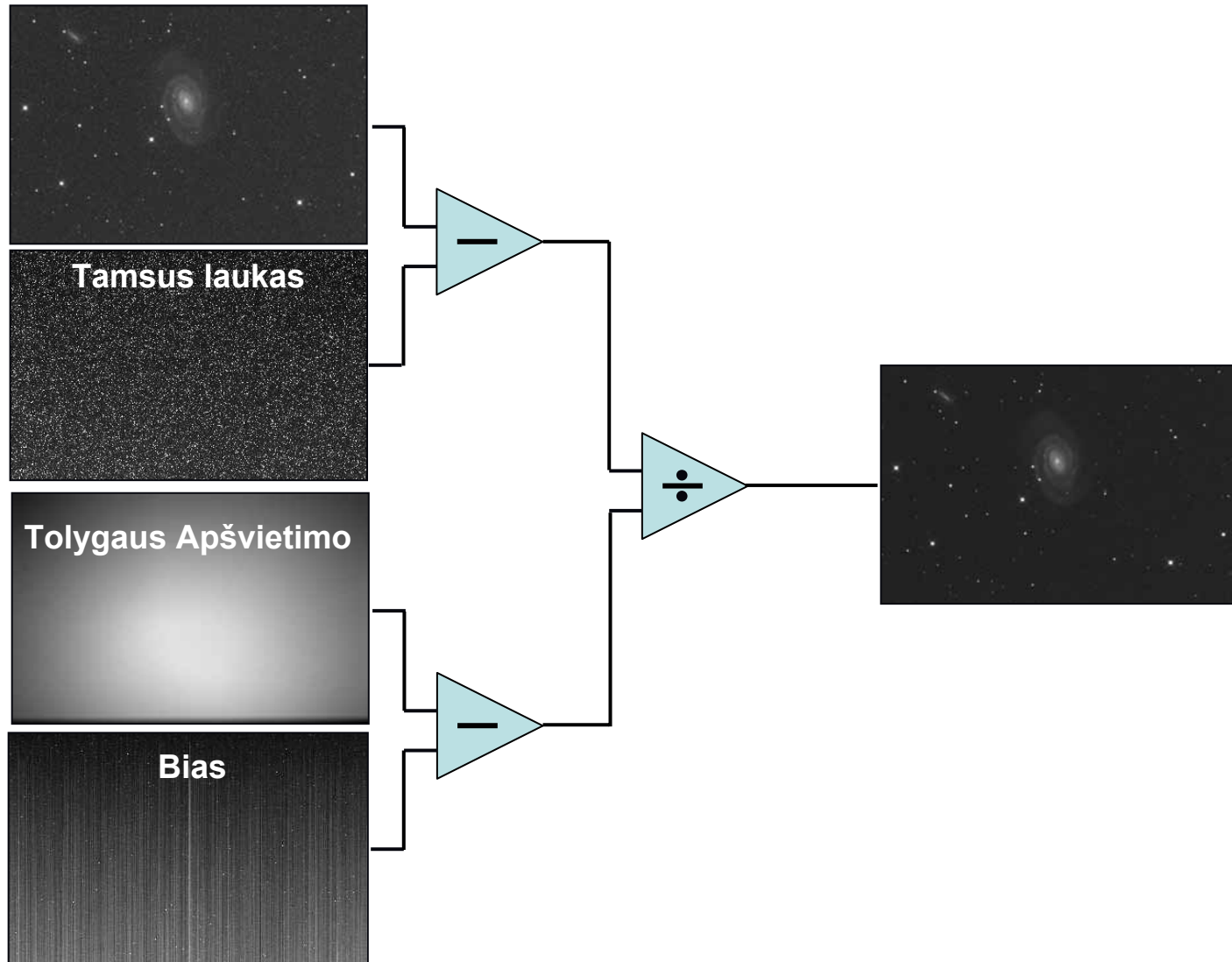


Tolygaus apšvietimo kadras:

Kadras padarytas tolygiai apšvietus visą CCD matricą. Gautas vaizdas nusako atskirų pikselių atsaką į apšvietimą, optinius defektus, dulkes ant optinių elementų.

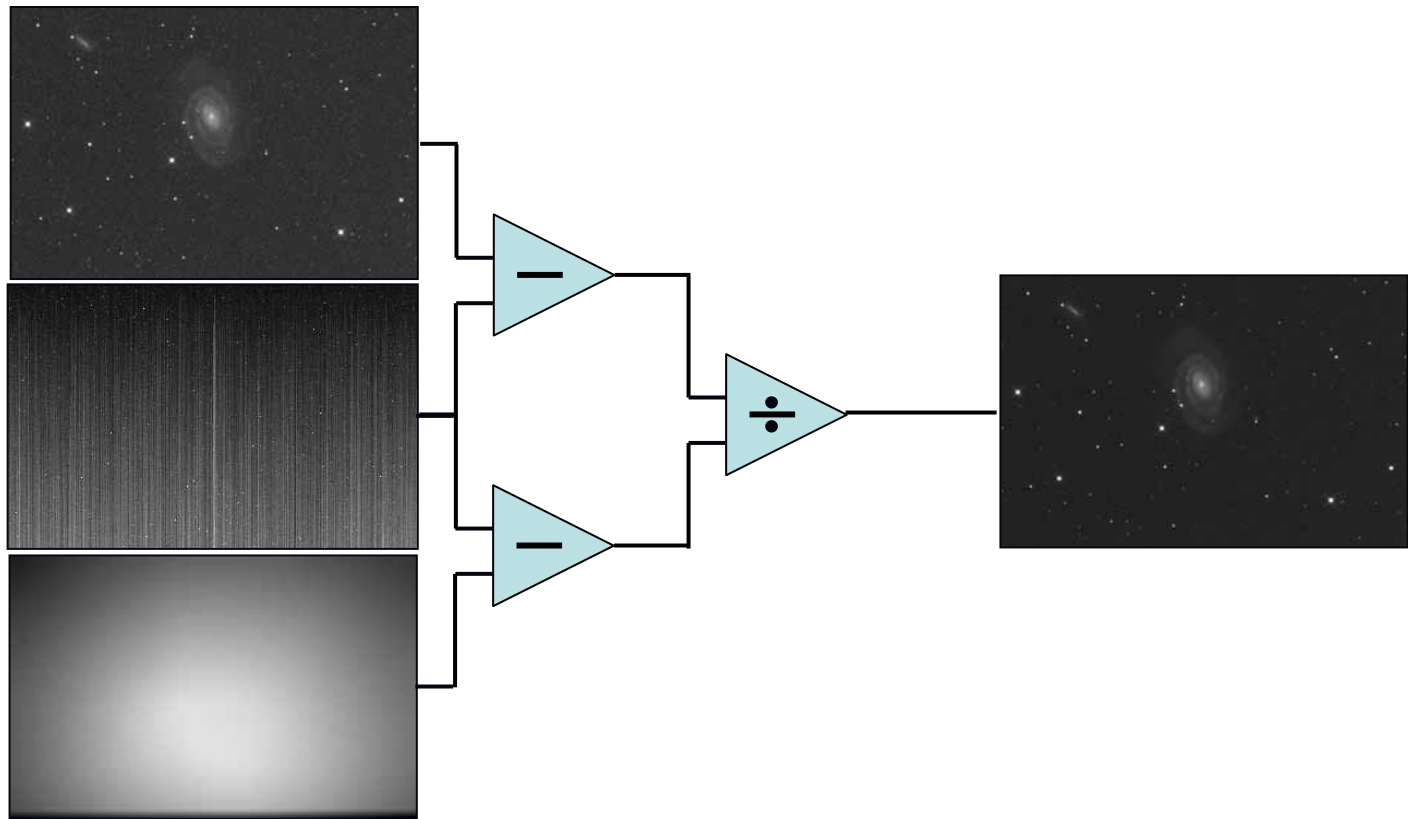


Bazinēs vaizdo korekcijas



Bazinės vaizdo korekcijos

Kai tamsinių srovių (CCD triukšmo) nėra:

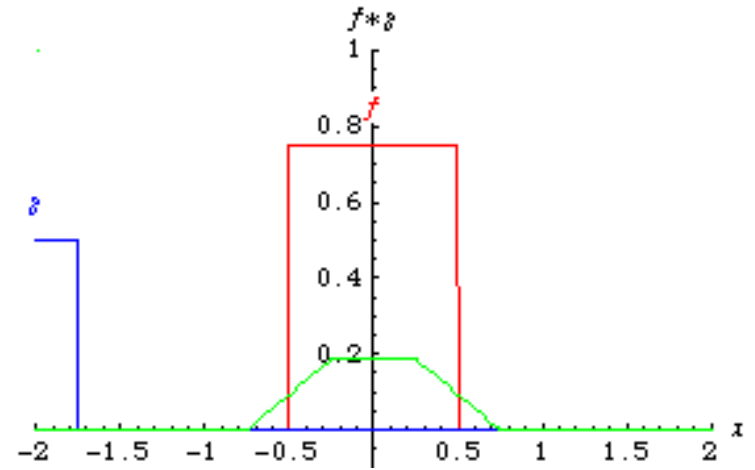
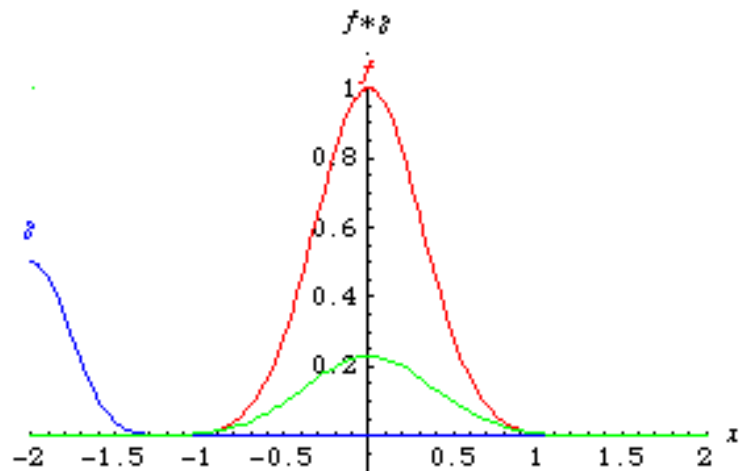


Bruožų detektoriai ir (kerneliniai) filtrai

Saṣūka

$$f \otimes g = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) g(t - \tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} g(\tau) f(t - \tau) d\tau$$

Saşūka



Diskrečioji sąsūka

$$y[k] = \sum_{n=0}^{\infty} x[k-n] \cdot h[n]$$

Dvimatė diskrečioji sasuka

$$c[m, n] = a[m, n] \otimes h[m, n] = \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{k=0}^{K-1} h[j, k] \cdot a[m - j, n - k]$$

Convolution - Sasūka

Skaitmeninis vaizdas:

1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	2	1	1	3	1	1
1	1	1	2	8	3	3	1	1
1	1	1	7	7	5	3	1	1
1	1	1	1	5	5	3	1	1
1	1	1	1	5	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1

Sasukos branduolys:
(Kernel)

-1	0	0
0	0	0
0	0	1

Kernel - Branduolys

Sasukos branduolys (Kernel) – skaičių matrica naudojama vaizdų sasukai apskaičiuoti.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

3 x 3 branduolys, kuris realizuoja vidurkinimo filtrą

“Roberts Cross” kraštelių detektorius



Naudojami du sąsūkos branduoliai:



G_x

+1	0
0	-1



ir

G_y

0	+1
-1	0



G_x ir G_y gali būti paveikiama atskirai

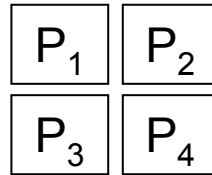
$$|G| = |G_x| + |G_y|$$



$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$



Pseudo sąūkos detektorius



$$|G| = |P_1 - P_4| + |P_2 - P_3|$$

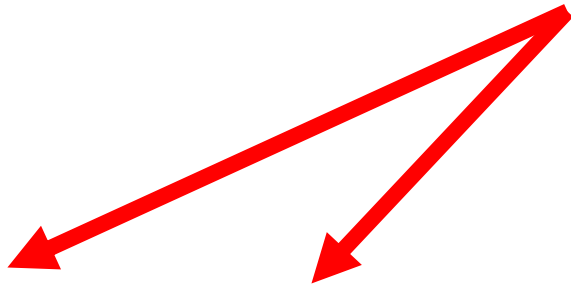
“Sobel” kraštelių detektorius

Gx				Gy		
-1	0	+1		+1	+2	+1
-2	0	+2	ir	0	0	0
-1	0	+1		-1	-2	-1

$$|G| = |Gx| + |Gy|$$

$$|G| = \sqrt{Gx^2 + Gy^2}$$

“Sobel” kraštelių detektorius



Medianinis filtras

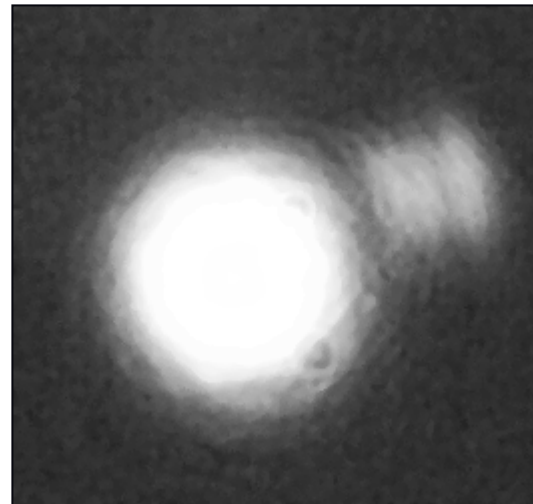
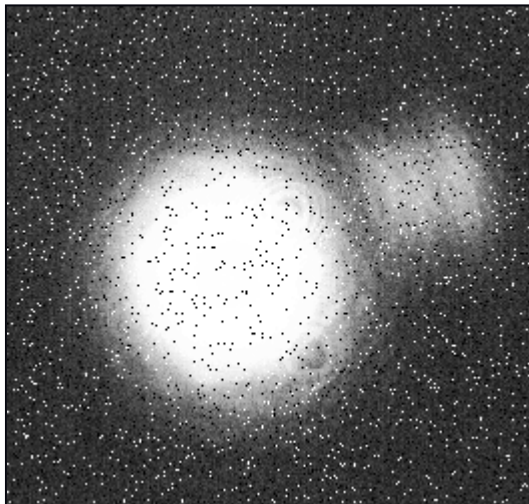
1	4	7	4	1
4	10	16	17	4
7	2	4	2	7
4	11	20	13	4
1	4	7	4	1

Gretimos vertės išdėstomos didėjimo tvarka:

2, 2, 4, 10, 11,
13, 16, 17, 20

Pasirenkama vidurinė (medianinė) vertė:

11

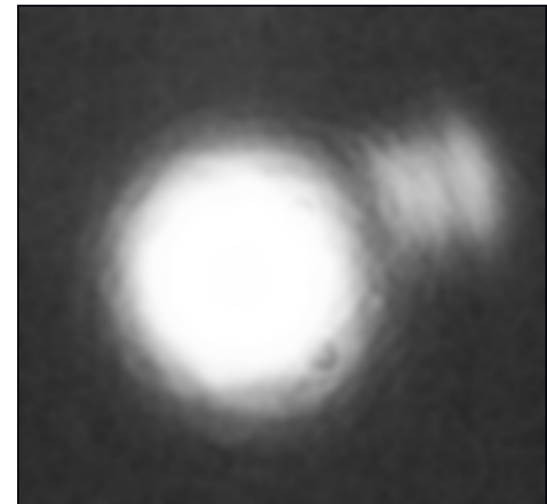


Gausinis filtras

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

$$\frac{1}{273}$$

1	4	7	4	1
4	16	26	16	4
7	26	41	26	7
4	16	26	16	4
1	4	7	4	1



Miglotų vaizdų rekonstrukcija dekonvoliucijos metodais

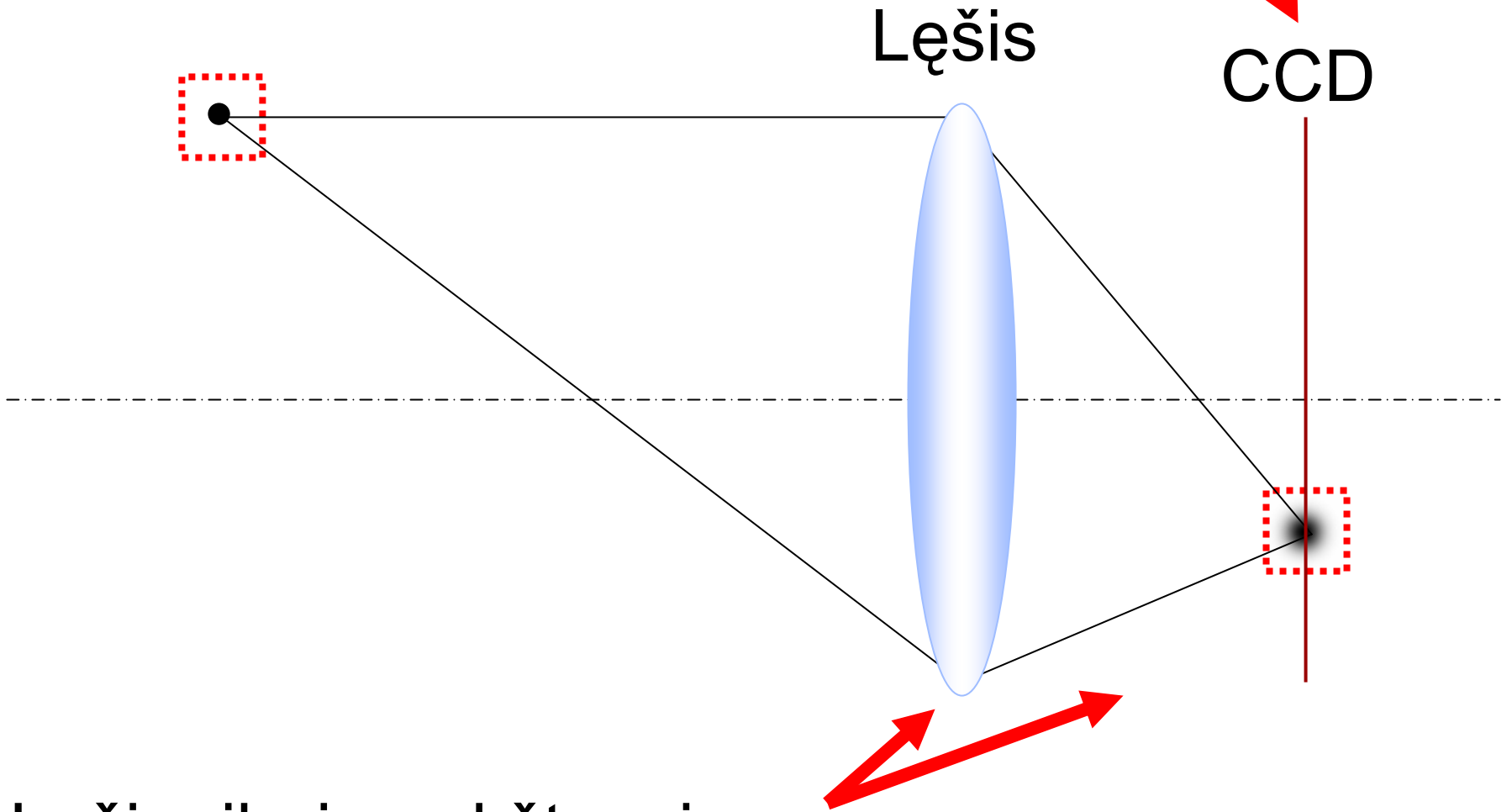
Problema:

Kiekviena signalo nuskaitymo sistema
“iškraipo” patį signalą:

Kitaip tariant:

bet koks išmatuotasis/nuskenuotas signalo atvaizdas
nėra tokios pačios formos amplitudės ir fazės
kaip tikrasis signalas

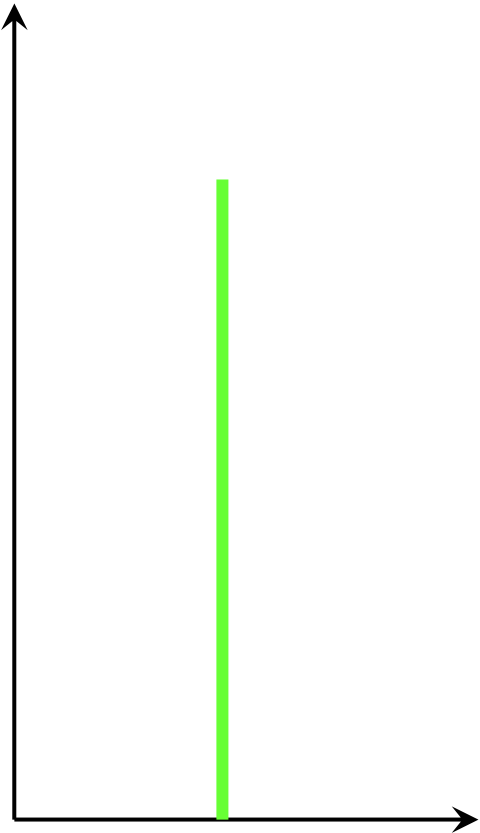
Detektorius prideda papildomo triukšmo
Pavyzdžiui. lęšis ir CCD



Lęšis riboja aukštesnius
erdvinius Furje dažnius

Taško vaizdo pasiskirstymo funkcija: (PSF- point spreadsheet function)

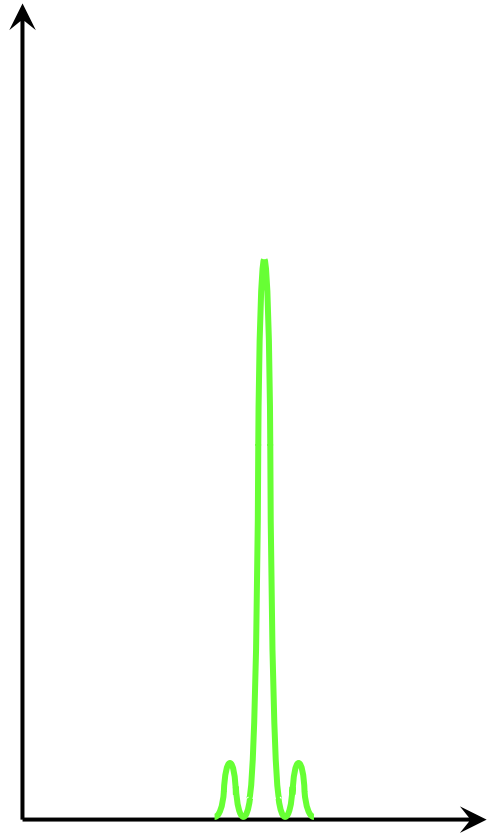
Tikrasis signalas:



Matavimo sistema:



Išmatuotasis signalas:



Pavyzdys

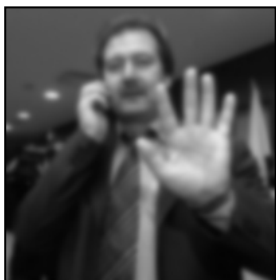
Rezultatas:



Gautasis vaizdas:

$$g = h \otimes f + \varepsilon$$

Išmatuotasis signalas
(objekto atvaizdas):



g

Idealus vaizdas
(objektas):



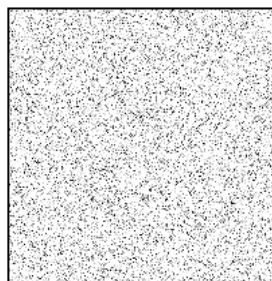
f

Taško vaizdo pasiskirstymo funkcija
(prietaiso atsako funkcija - PSF):



h

Triukšmai
(detektoriaus įnešti iškraipymai):



ε

Sąsūkos savybės:

Komutatyvumas:

$$f \otimes h = h \otimes f$$

Asociatyvumas:

$$(f \otimes u) \otimes h = f \otimes (u \otimes h)$$

Distributyvumas:

$$f \otimes (u + h) = f \otimes u + f \otimes h$$

Sašūkos Furjē transformācija:

Jeigu

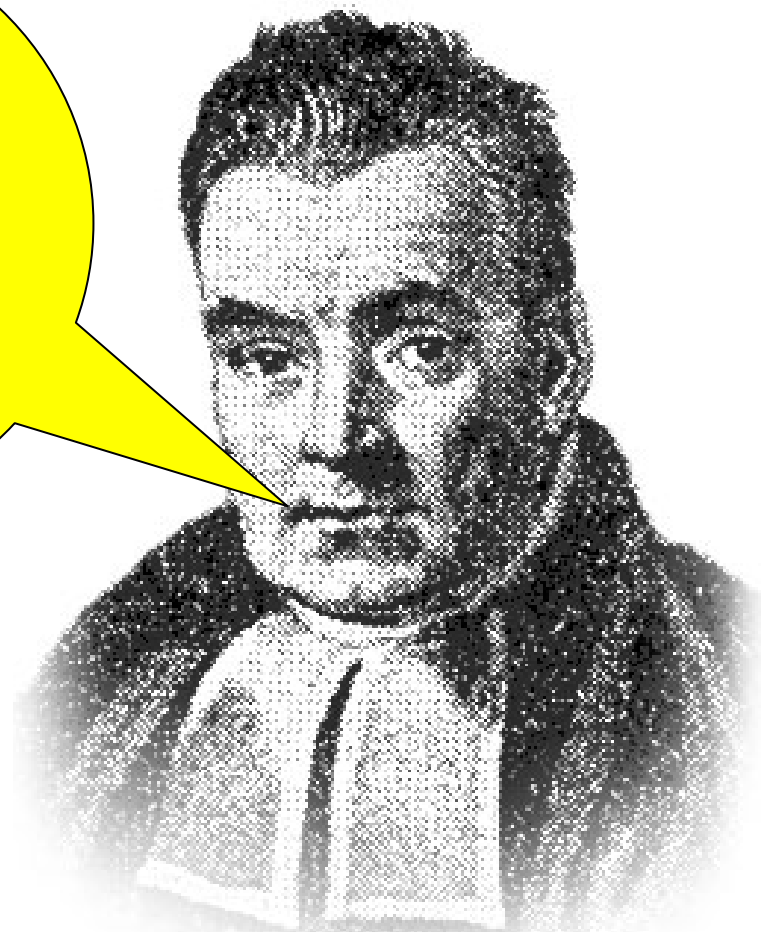
$$F\{u(t)\} = U(\omega) \quad \text{ir} \quad F\{h(t)\} = H(\omega)$$

tada

$$F\left\{\int_{-\infty}^{\infty} u(t)h(t-\tau) dt d\tau\right\} = U(\omega)H(\omega)$$

Ar įmanoma atstyti
idealų vaizdo atvaizdą?

Jeigu dar
būčiau
gyvas
sakyčiau,
kad galima



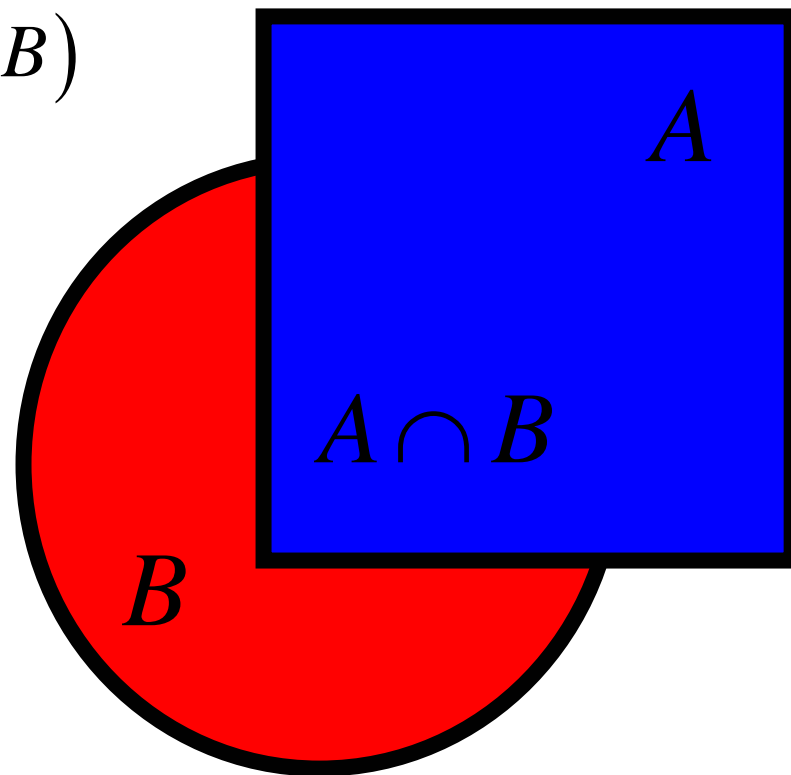
Thomas Bayes
1702 - 1761

Bayes'o paradigma: tikimybės interferencija

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P(A) \cdot P(B|A)}{P(B)}$$

Bayes'o formulė iš tikimybių teorijos,
kuri išreiškia sąlyginę įvykio **A**
atsiradimo tikimybę, kai žinome, kad
įvykis **B** jau buvo nutikęs -

$$P(A|B)$$



“Bayes formula provides the mathematical tool that combines prior knowledge with current data to produce a posterior distribution”

Tiesioginė dekonvoliucija

$$g = h \otimes f + \cancel{\varepsilon}$$

Pasinaudojame Furjė transformacija:

$$G = H \cdot F + \cancel{E}$$

$$F = \frac{G}{H}$$

Kol kas tarkime,
kad detektoriaus
triukšmų nėra

Atstatome “idealūjį” vaizdą:

$$F = \frac{G}{H}$$

Pasinaudojame atvirkštine
Furjė transformacija



$$f = F^{-1} \left\{ \frac{G}{H} \right\}$$

Problema:

PSF ir išmatuotasis vaizdas yra spektriškai apriboti dėl to kad apertūra yra baigtinių matmenų

Tikrasis objektas yra spektriškai neapribotas

Richardson-Lucy algoritmas

Richardson, W.H., “Bayesian-Based Iterative Method of Image Restoration”, *J. Opt. Soc. Am.*, **62**, 55, (1972).

Lucy, L.B., “An iterative technique for the rectification of observed distributions”, *Astron. J.*, **79**, 745, (1974).

Richardson-Lucy algoritmas: (viena iteracija)

$$f_{n+1} = f_n \left[h^T \otimes \left[\frac{g}{h \otimes f_n} \right] \right]$$

Savybės:

Kiekviena iteracija f_N sudaryta tik iš teigiamų taškų

Bendra vaizdo intensyvumų suma išlieka pastovi kiekvienai iteracijai

Sprendinio Logaritminė-tikimybė nemažėja su kiekviena iteracija, bet konverguoja į maksimumą.

Richardson-Lucy algoritmas:

f



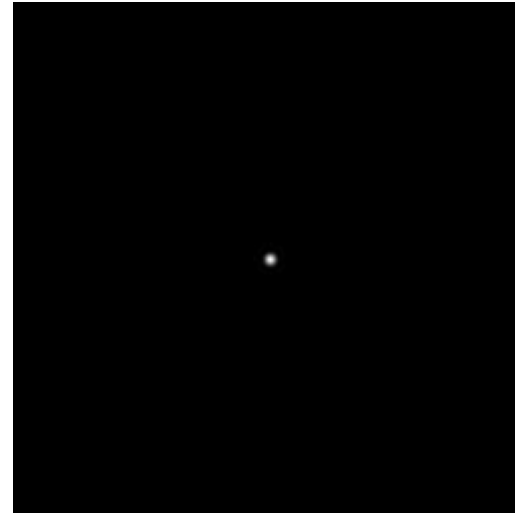
$f_{\text{(rekonstruotas)}}$
16 iteracijų



$h \otimes f$



$h_{\text{(PSF)}}$



Didžiausios entropijos algoritmas: (Maximum Entropy)

$$S = - \sum_k \left(F_k \cdot \ln \left(\frac{F_k}{g_k} \right) \right)$$

F_k – k-tosios iteracijos

g_k – k-tosios iteracijos normavimo faktorius

Sibisi, S. (1983) *Nature*, 301, 134-136.

Gull, S.F. and Daniell, G.J. (1978) *Nature*, 272, 686-690.

Wu, N.L. (1984) *Astron. Astrophys.*, 139, 555-557.

Laue, E.D., Skilling, J., Staunton, J., Sibisi, S. and Brereton, R. (1985) *J. Magn Reson.*, 62, 437-452.

Hoch, J.C., Stern, A.S., Donoho, D.L. and Johnstone, I.M (1990) *J. Magn. Reson.*, 86, 236-246.

Stephenson, M. (1988) *Prog. NMR. Spectrosc.*, 20, 515-626.

- <http://www.cv.nrao.edu/~abridle/deconvol/node20.html#SECTION00060000000000000000>
- <http://www.csb.yale.edu/userguides/datamanip/nmrpipe/man/MEM.html>

Nomenklatūra:

D – originalus (pradinis/išmatuotas) vaizdas

n – bendras taškų skaičius nuotraukoje D .

σ – triukšmo standartinis nuokrypis nuotraukoje D .

F – asimptotinio didžiausios entropijos (ieškomojo/iteracinio) vaizdo Furjė spektras

f – atvirkštinis F Furjė vaizdas.

C – likutinis skirtumas tarp tiesioginio vaizdo ir duotosios iteracijos dydžio R :

$$C = (D - f)/(\sigma^2).$$

U – tiesiogiai Furjė transformuotas C vaizdas;

S – entropija:

$$S = -\sum_k \left(F_k \cdot \ln \left(\frac{F_k}{g_k} \right) \right)$$

g_k – tinkamas k -tosios iteracijos normavimo faktorius

χ^2 – chi-kvadratas likutinio skirtumo tarp D ir f :

$$\chi^2 = \sum_i \left(\frac{(D_i - f_i)^2}{\sigma^2} \right); \quad \chi^2 - \text{artėja prie } n \text{ kai } D \text{ ir } C \text{ spektrai artėja vienas prie kito}$$

Didžiausios entropijos metodo algoritmas

Tikslas: gauti maksimalią dydžio $Q = S - \lambda \cdot \chi^2$ vertę

λ – Lagranžo daugiklis, pasirinktas, taip, kad χ^2 artėtų prie n , kitaip tariant: sprendinio spektras turi būti toks pat kaip originalaus vaizdo D . Taip gauname sprendinio spektrą B , padaugintą iš konstantos a :

$$B = a \cdot e^{(-1+2 \cdot \lambda \cdot U)}$$

kuri atitinka dažninio likučio U “pastiprinimą”.

Didžiausios entropijos metodo algoritmas

1. Pirmiausia sugeneruojame pradinį, pastovios amplitudės ir fazės spektro didžiausios entropijos metodo iteracinį vaizdą - F ir padarome atvirkštinę Furjė transformaciją, gauname - f .
2. Iš originalaus paveikslėlio D atimame prieš tai gautą f – gauname jų skirtumą – likutį C ir χ^2
3. Gauname likučio C Furjė vaizdą – U
4. Surandame tinkamą λ
5. Surandame B – eksponentiškai stiprindami U taip aštrindami vaizdą U
6. Duotosios iteracijos F pakeičiame dydžiu B pagal duotą dėsnį:

$$F_{n+1} = (1 - \alpha) \cdot F_n + \alpha \cdot B$$

7. Kartojame 1 – 6 operacijas, kol likučio C – χ^2 pasiekia triukšmų lygį

Didžiausios entropijos metodas:

f



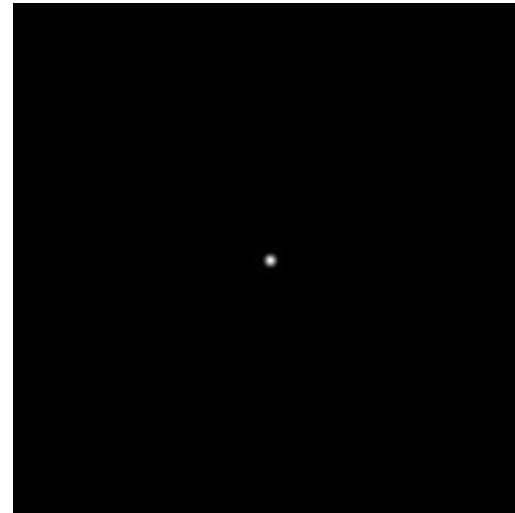
$f_{\text{(rekonstruotas)}}$
16 iteracijų

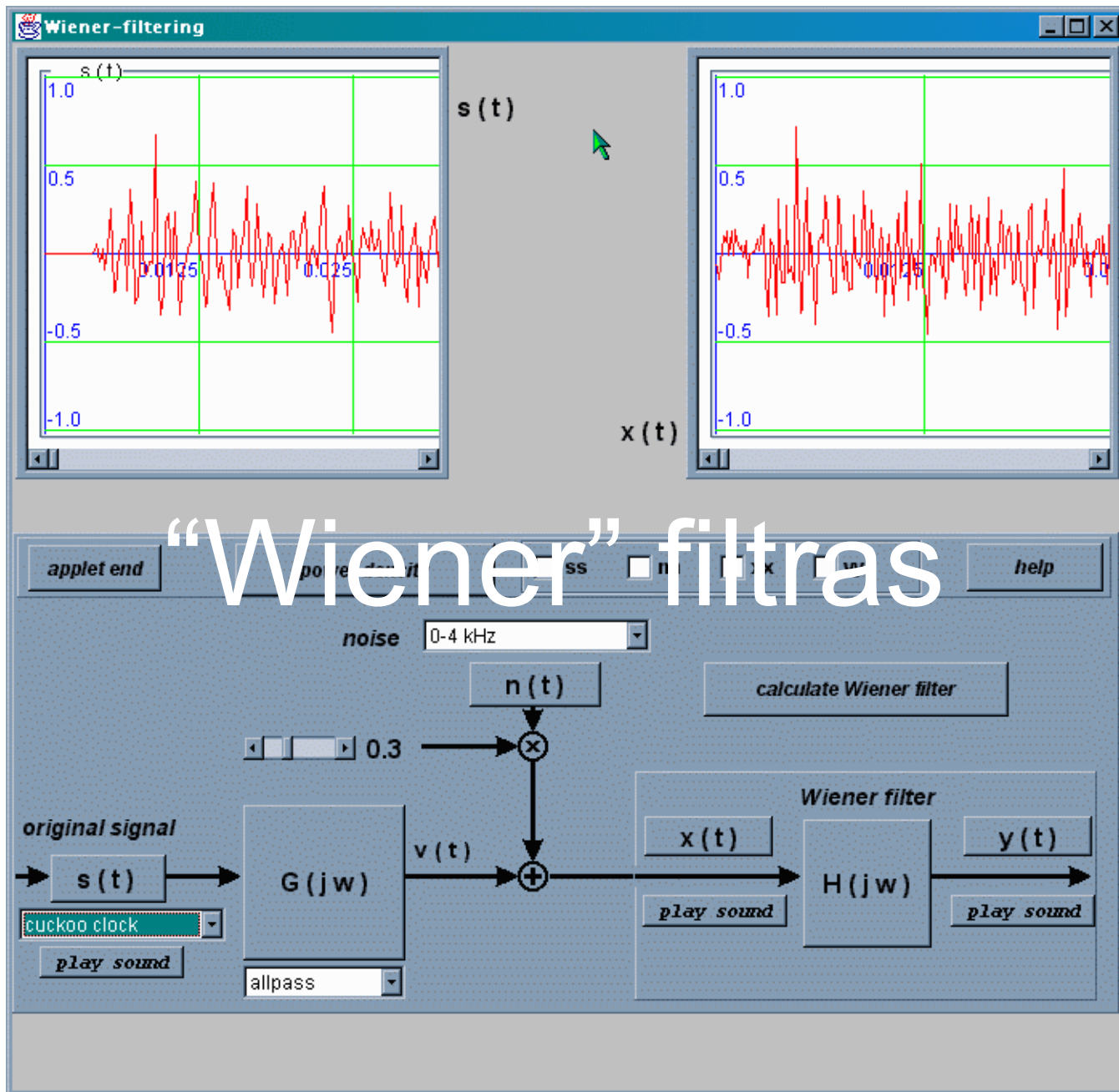


$h \otimes f$



$h_{\text{(PSF)}}$





“Wiener”-filtras

“Wiener” dažninis filtras:

Tarkime, kad turime miglotą nuotrauką g ir jo *Furjė* vaizdą G

Norint atstatyti idealųjį g atvaizdą f , filtruojame spektrą G daugindami jį iš “Wiener” spektrinio filtro W :

$$F = W \cdot G$$

Atliekame atvirkštinę *Furjė* transformaciją ir gauname rekonstruotą vaizdą:

$$f_{\text{rekonstruotas}} = F^{-1} \{ F \}$$

“Wiener” dažninis filtras:

$$W = \frac{H^T}{|H|^2 + \frac{P_n}{P_s}}$$

H – taško vaizdo pasiskirstymo funkcijos (PSF) Furjė spektras

P_s – signalo dažninis spektras, nustatytas autokoreliacijos būdu

P_n – triukšmų dažninis spektras, nustatytas autokoreliacijos būdu

“Wiener” filtras:

f



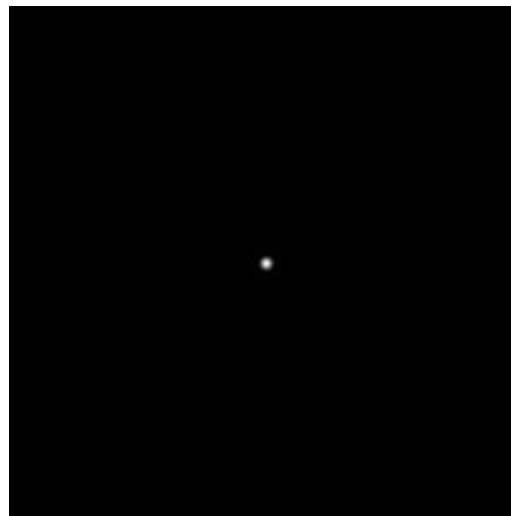
$f_{\text{(rekonstruotas)}}$
16 iteracijų



$h \otimes f$



$h_{\text{(PSF)}}$



“Akloji” dekonvoliucija: (Blind)



“Akloji” dekonvolucija:

Ayers & Dainty, “Iterative blind deconvolution and its applications” , *Opt. Lett.* **13** , 547-549, 1988.

Holmes , “Blind deconvolution of speckle images quantum-limited incoherent imagery: maximum-likelihood approach” , *J. Opt. Soc. Am. A*, **9** , 1052-106, 1992.

Lane , “Blind deconvolution of speckle images” , *J. Opt. Soc. Am. A*, **9** , 1508-1514, 1992 .

Jefferies & Christou, “Restoration of astronomical images by iterative blind deconvolution” , *Astrophys. J.* **415**, 862-874, 1993.

Schultz , “Multiframe blind deconvolution of astronomical images” , *J. Opt. Soc. Am. A*, **10** , 1064-1073, 1993.

Thiebaut & Conan, “Strict *a priori* constraints for maximum-likelihood blind deconvolution” , *J. Opt. Soc. Am. A*, **12** , 485-492, 1995.

Conan et al., “Myopic deconvolution of adaptive optics images by use of object and point-spread function power spectra” , *Appl. Opt.*, **37**, 4614-4622, 1998 .

“Akloji” dekonvoliucija: algoritmas

Padaliname nuotrauką į atskirus $M \times M$ matmenų segmentus

M – turi būti didesnis negu vaizdo pasiskirstymo funkcijos diametras

$$\begin{aligned}g_1 &= f \otimes h_1 + n_1 \\g_2 &= f \otimes h_2 + n_2 \\&\vdots \\g_m &= f \otimes h_m + n_m\end{aligned}$$

Atliekame kiekvieno segmento Furjė transformaciją ir sprendžiame lygčių sistemą

Gauname F ir H įstatome į tokį filtrą:

$$L = \sqrt{\frac{F}{|H|^2 F + E}}$$

$$F_{\text{rekonstruotas}} = L \cdot G$$

Atliekame atvirkštinę *Furjė* transformaciją ir gauname rekonstruotą vaizdą:

$$f_{\text{rekonstruotas}} = \mathbf{F}^{-1} \left\{ F_{\text{rekonstruotas}} \right\}$$

Mažiausių kvadratų metodas: (Least Square)

Yra daugybė šio metodo modifikacijų, bet visose galioja bendras principas:

Iteracijų būdu sprendžiamas kvadratų minimizavimo uždavinys

Mažiausių kvadratų metodas:

f



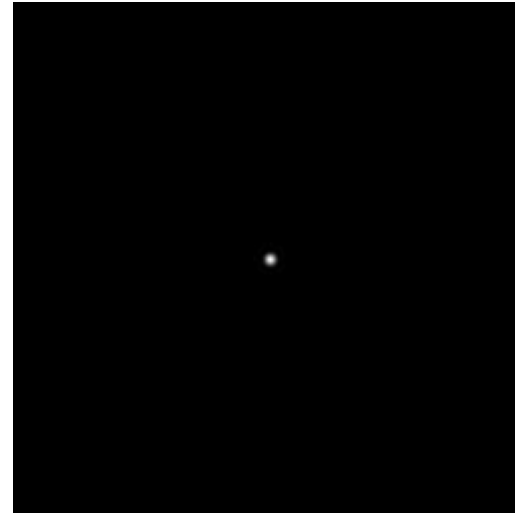
$f_{\text{(rekonstruotas)}}$
16 iteracijų



$h \otimes f$



$h_{\text{(PSF)}}$



“DAMAS” algoritmas:

f



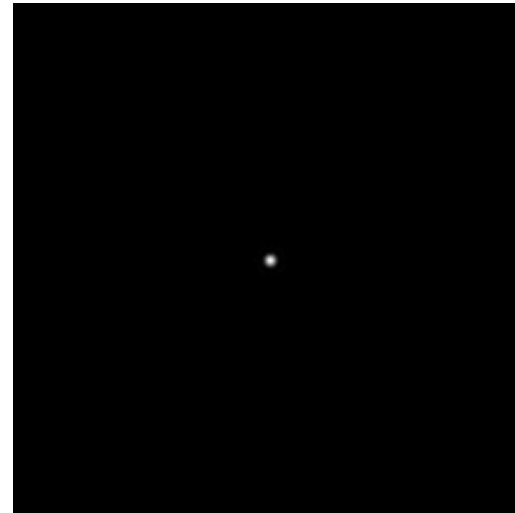
$f_{\text{(rekonstruotas)}}$
16 iteracijų



$h \otimes f$



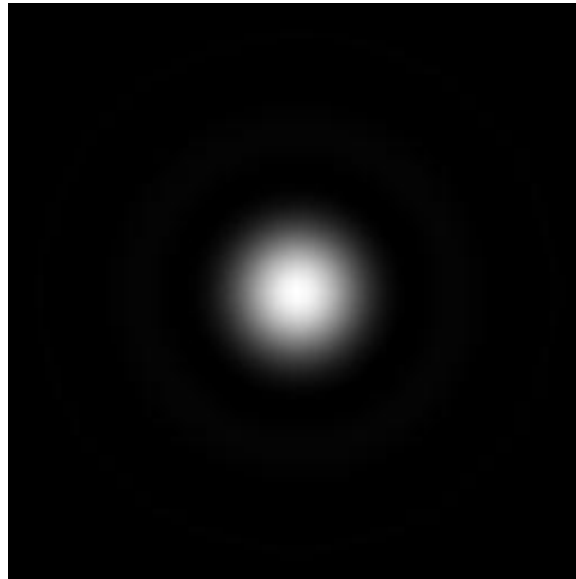
$h_{\text{(PSF)}}$



“DAMAS” algoritmas:



Originalas
(išfokusuotas vaizdas)



PSF



Rekonstruotas vaizdas



Dekonvoliucijos panaudojimo sritys:

- Astronomija
- Konfokalinė mikroskopija
- Metalų detektoriai
- Balso atpažinimas
- Biologija - DNR genomų atpažinimas
- Seismologija – žemės drebėjimų modeliavimas
- Spektroskopija – spektrinių linijų identifikavimui
- Policija – judančių mašinų numeriams atpažinti
- Daugybė kitų taikymų..

- Dekonvoliucija yra labai gerai, jeigu žinai ką darai
- Dekonvoliucija yra blogai, kai nežinai ką darai:
galima gauti įvairių nekorektiškų vaizdų
- Nėra vienintelio ir geriausio algoritmo – kiekvienam uždaviniui reikia surasti tinkamą sprendimo būdą

Ačitiu už Dėmesį!!!!