Metody předzpracování obrazu – barevné, jasové a geometrické

Strojové vidění a zpracování obrazu (BI-SVZ)

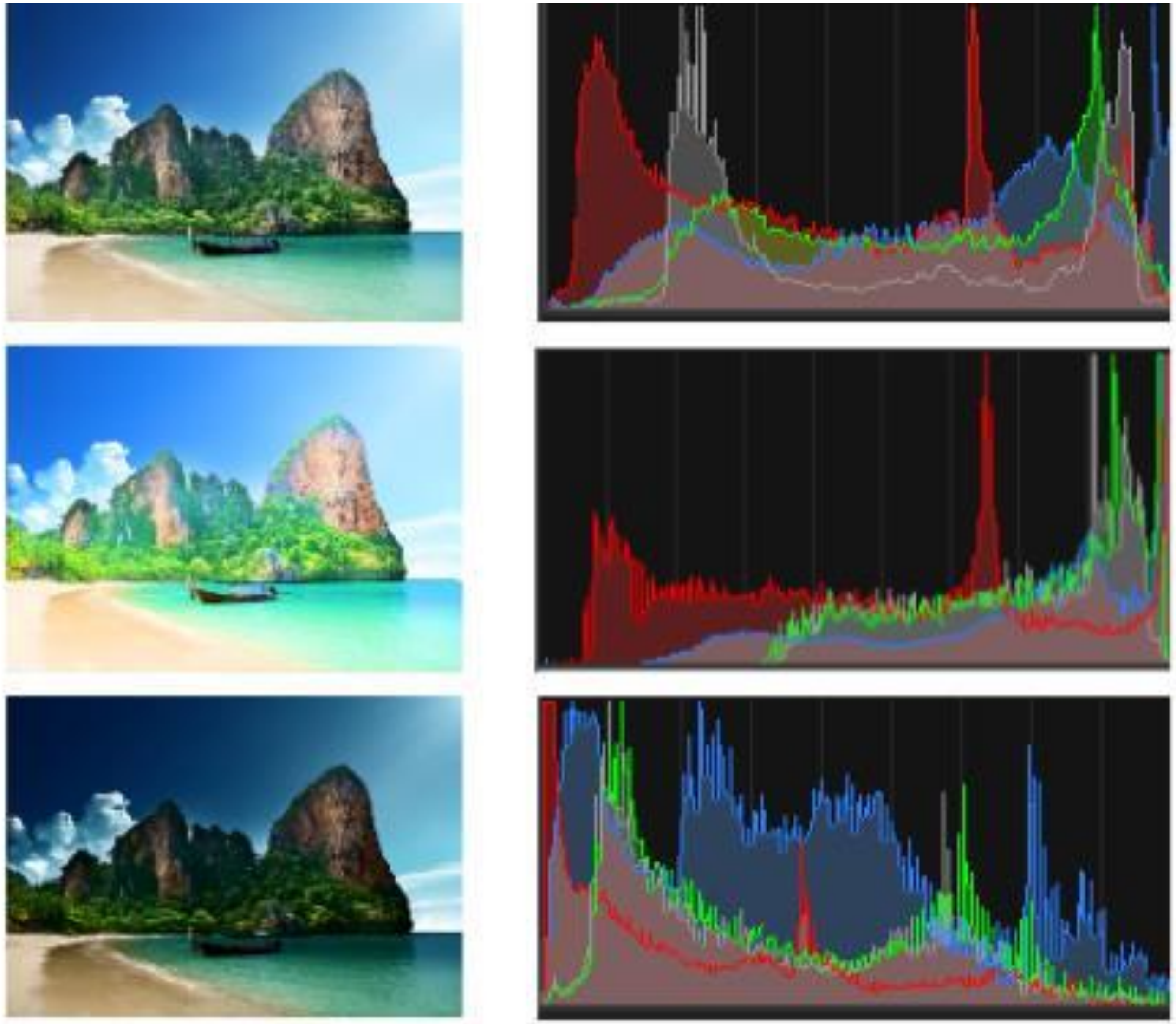
Motivace předzpracování obrazu

- Nevhodná volba vyvážení bílé
- Chybné nastavení expozice
- Požadavky na jiný barevný prostor
- Odstranění šumu, zaostření snímku
- Zisk relevantních regionů
- Geometrické zkreslení znemožňující aplikaci některých algoritmů (OCR)
- Komprese dat

Typy předzpracování obrazu

- Barevné a jasové transformace
  - Úprava jasu, kontrastu, …
  - Ekvalizace histogramu
  - Zvýraznění určitých charakteristik obrazu
  - Prahování
  - Hranové detekce
  - Filtrace a vyhlazování
  - …
- Geometrické transformace
  - Odstranění soudkovitosti
  - Euklidovské, afinní, projektivní, …
- Frekvenční transformace

Barevné a jasové transformace



Převod barevného RGB snímku na černobílý

- Průměrovací metoda
  - $I = \frac{R+G+B}{3}$
- Metoda váhování
  - $I = 0{,}3R + 0{,}59G + 0{,}11B$
- V průměrovací metodě bereme 33 % hodnotu z každého RGB kanálu, ve skutečnosti však všechny barvy nepřispívají stejným dílem (fyzikální vlastnosti, snímač, apod.)

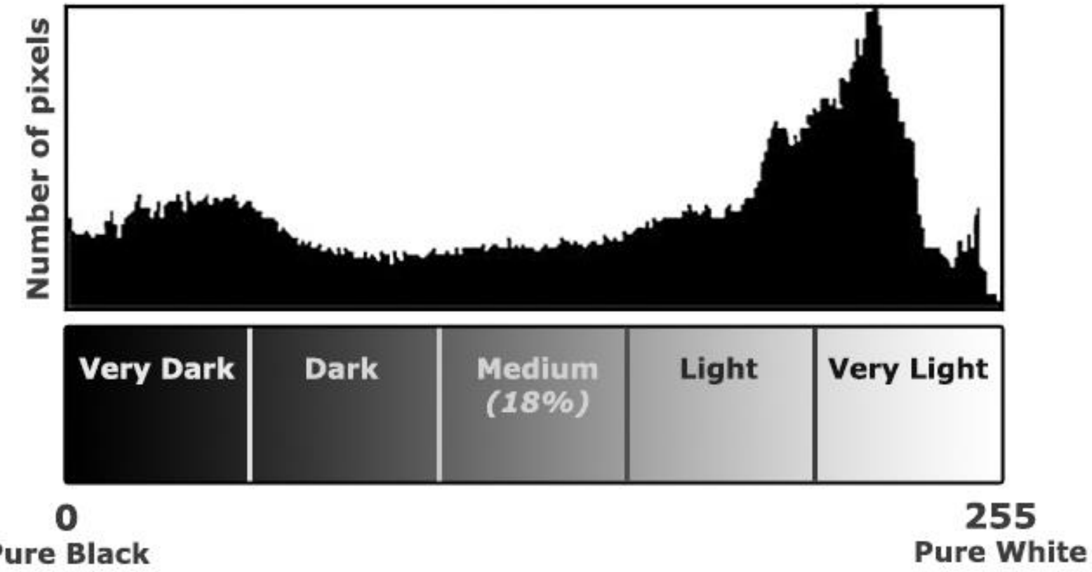
Originál

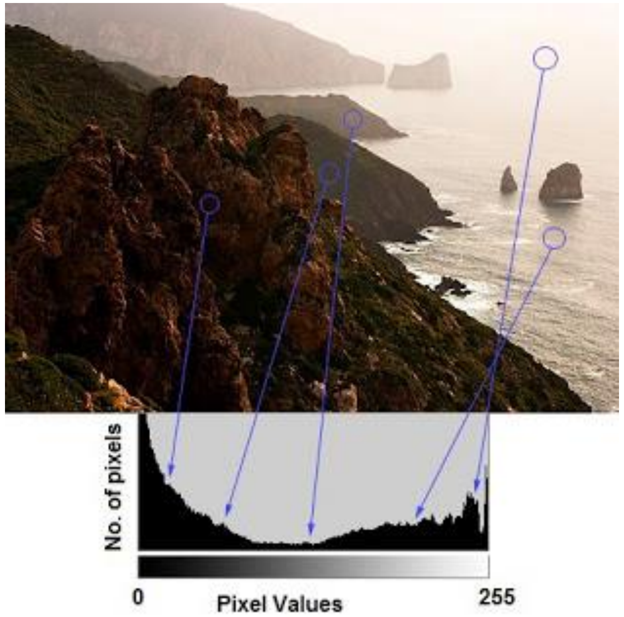
Převod průměrováním

Převod váhováním

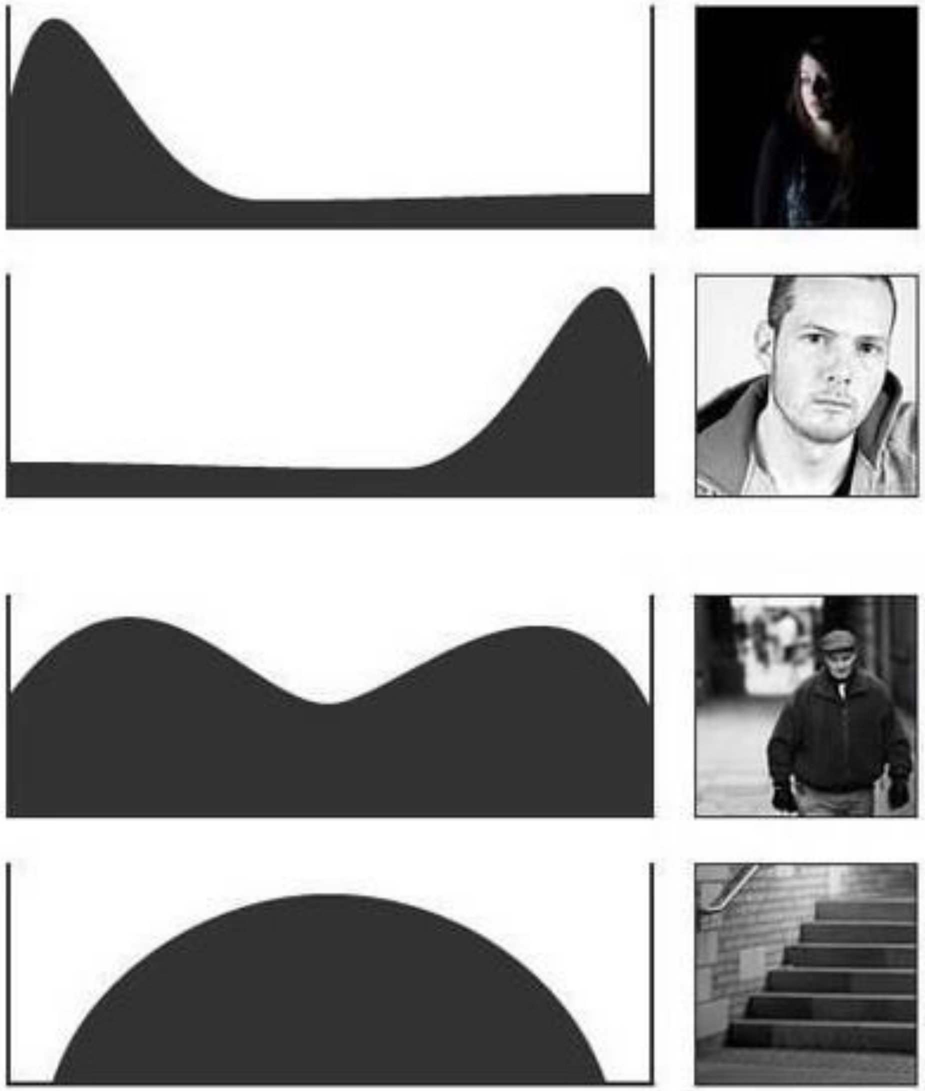
Histogram

- Grafové znázornění distribuce jasových hodnot pixelů
- Dokáže prozradit, zda je snímek vhodně exponován, zda není světlo příliš mdlé nebo ostré, případně jaké úpravy na snímek aplikovat
- Osa Y vyjadřuje četnost v daném intervalu.
- Kromě jasů existuje i pro jednotlivé RGB kanály.
- Výpočet v OpenCV - *cv2.calcHist(images, channels, mask, histSize, ranges[, hist[, accumulate]])*





Ukázky histogramů



Domiující tmavé odstíny
tzv. Low-key metoda (tmavá tonalita)

Dominující světlé odstíny
tzv. High-key metoda (světlá tonalita)

Fotografie s vysokým
kontrastem

Fotografie s nízký
kontrastem

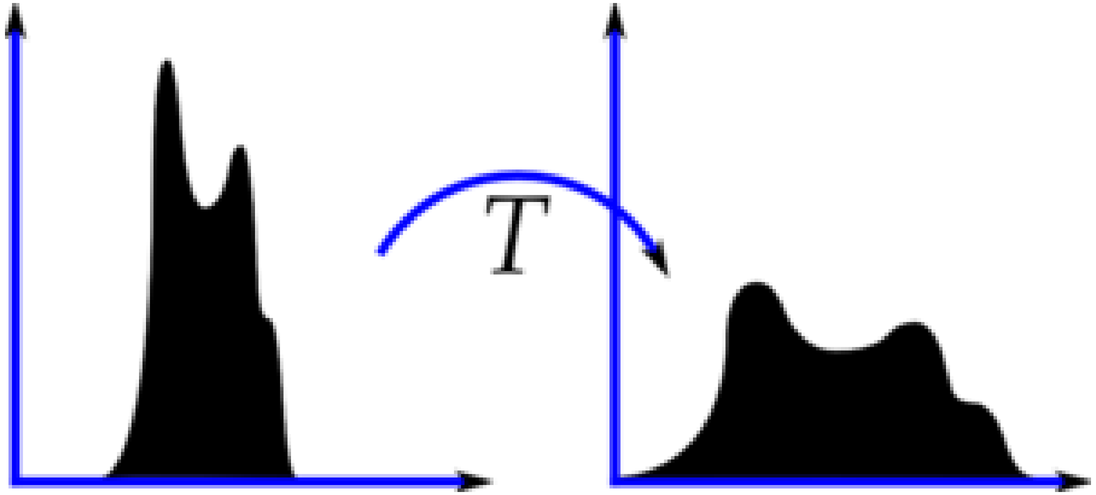
Ekvalizace histogramu

- Zajišťuje snazší interpretaci vizualizovaného obrazu pomocí zvýšení lokálního kontrastu
- Užitečné pro obrazy, které jsou příliš tmavé, příliš světlé, nebo nekontrastní
- V ekvalizovaném histogramu jsou jasové úrovně zastoupeny zhruba stejně četně
- Jednoduchá transformace na výpočet, a zároveň invertibilní
- Nevýhodou je zvýrazněný šum v obraze

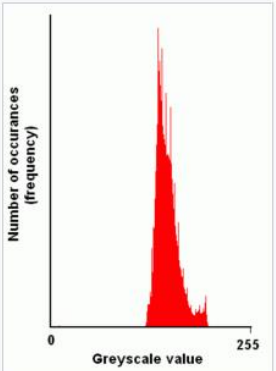
- Implementace v OpenCV - *cv2.equalizehist(hist)*

Ekvalizace histogramu

- Využití:
  - Face recognition, kde usilujeme o co nejpodobnější jasové podmínky pro celý dataset
  - Rentgenové snímky
  - Snímky zaznamenané termokamerou
  - Chybně exponované snímky

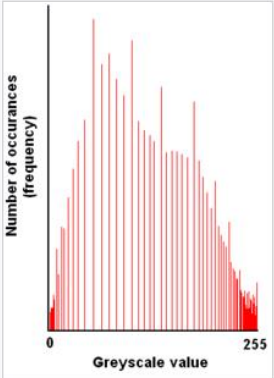


An unequalized image



Corresponding histogram

The same image after histogram equalization

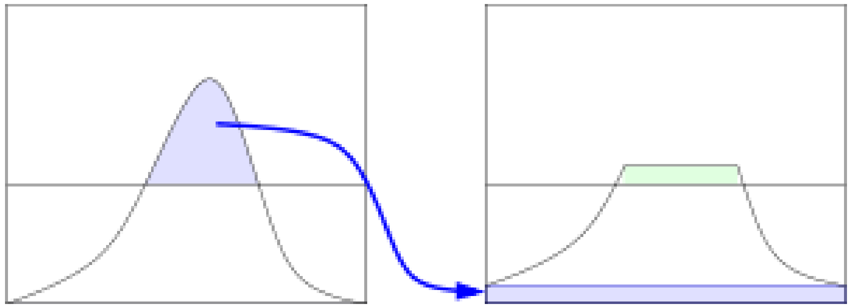


Corresponding histogram

CLAHE - Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization

- Klasická verze ekvalizace uvažuje pouze globální transformaci
- AHE (Adaptive Histogram Equalization) využívá k výpočtu klouzavé okénko, kde pro každý region vypočte lokální histogram
- Následně se provede ekvalizace nad tímto regionem
- AHE může vést k tomu, že dojde k přílišnému zvýraznění šumu, zejména nekontrastního regionu -> “chytrý“ clipping (Contrast Limited AHE = CLAHE)
- Implementace v OpenCV pomocí [*cv2.createCLAHE()*]

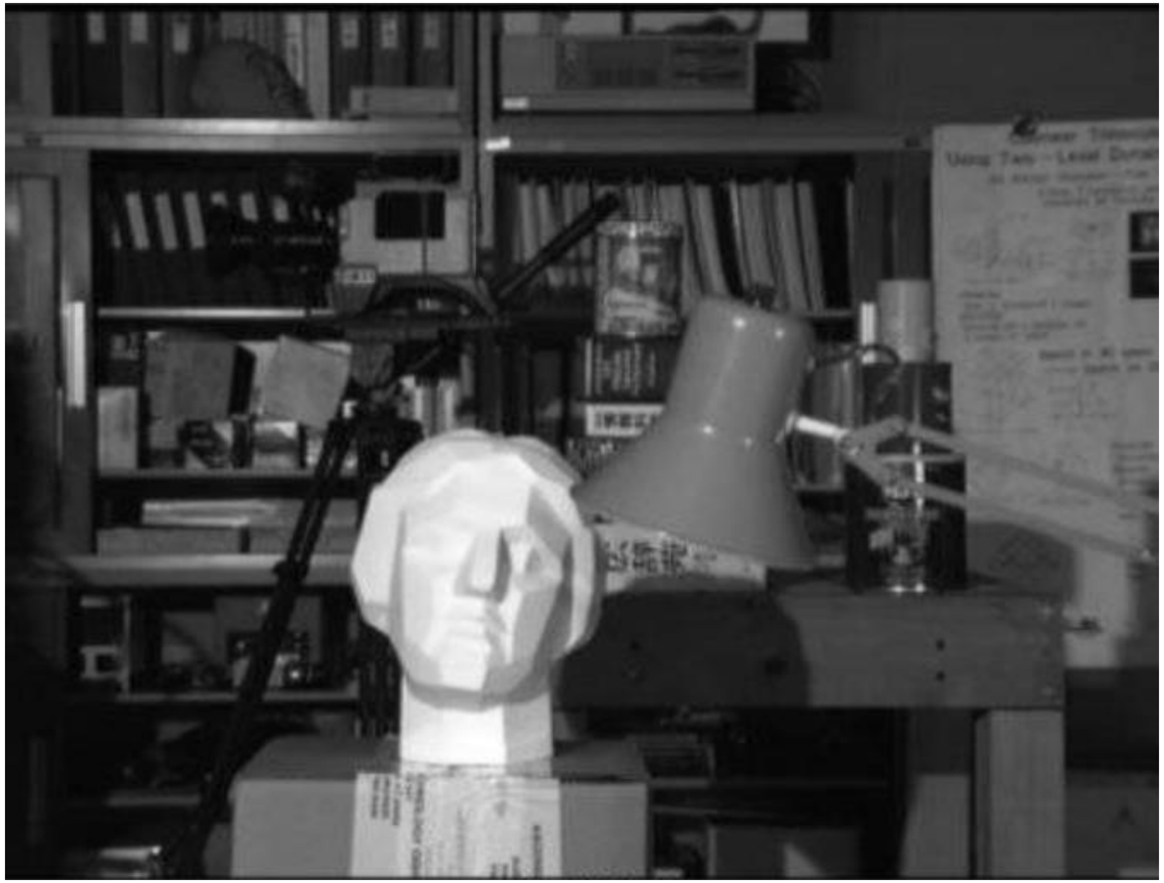
oříznutí



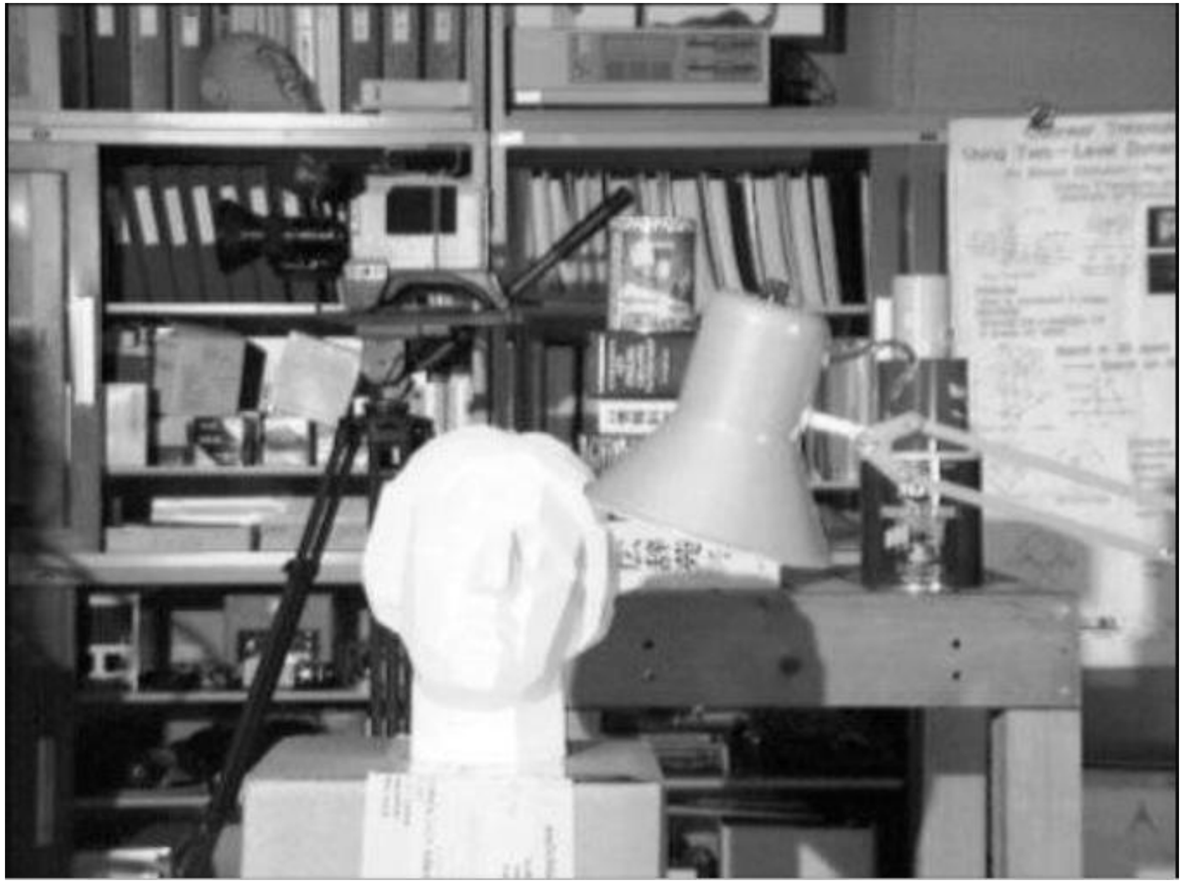
po redistribuci může dojít k překročení limitu; buď to nevadí nebo se proces opakuje

redistribuce intenzit

CLAHE - Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization

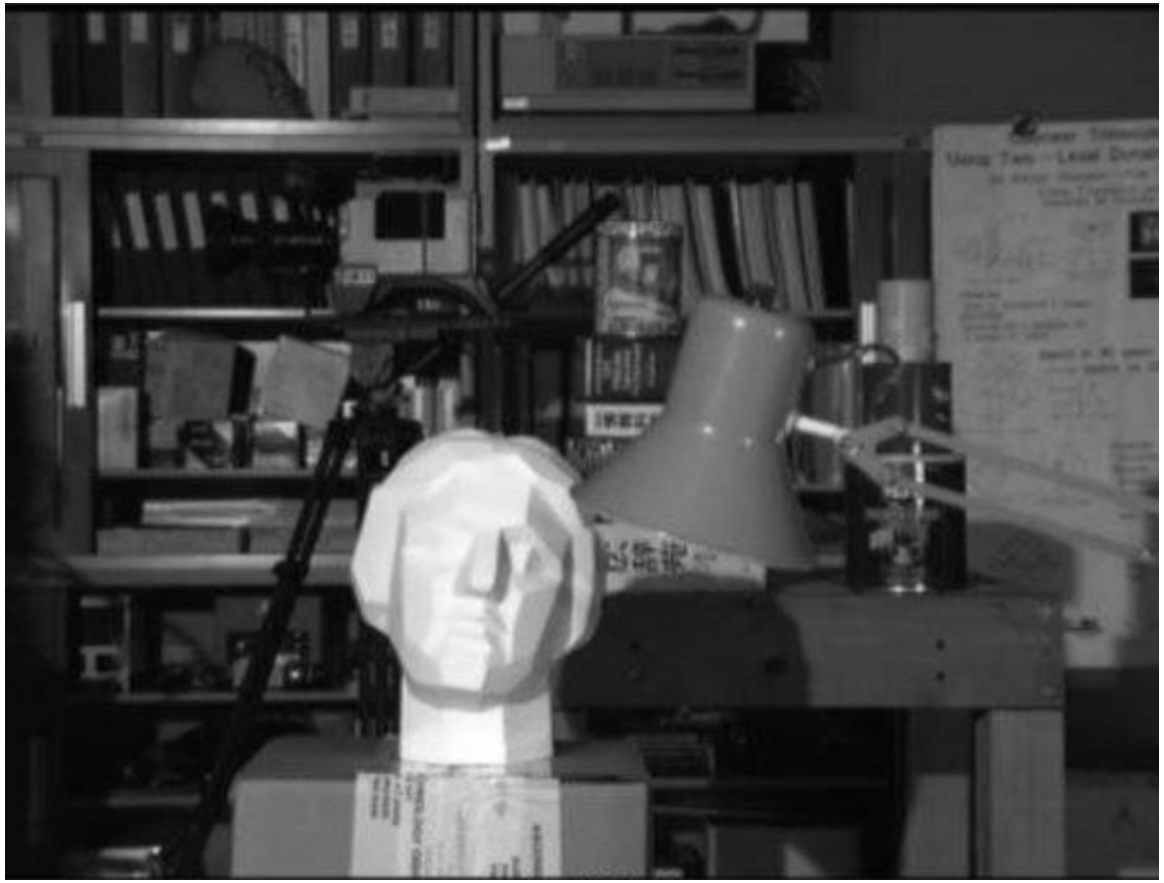


Original

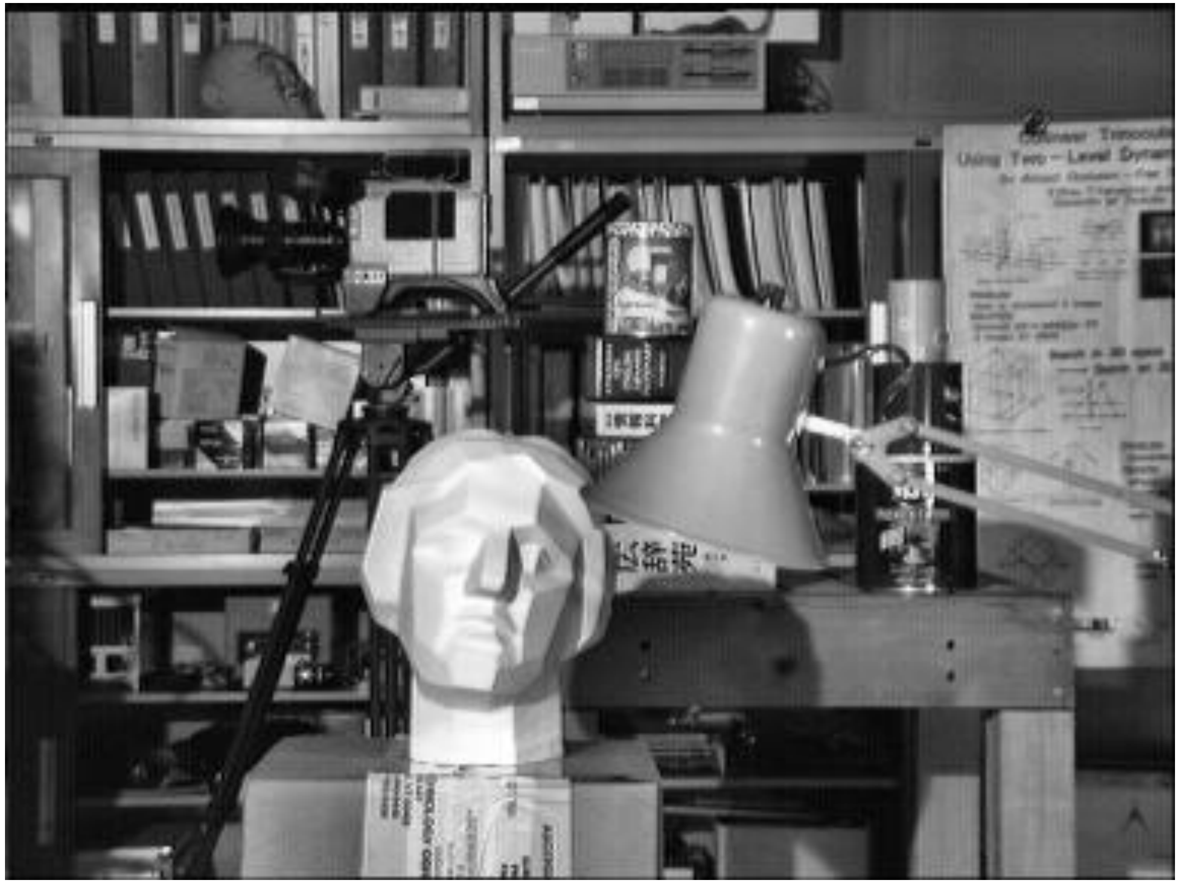


Snímek po ekvalizaci histogramu

CLAHE - Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization



Original



Snímek po aplikaci CLAHE

Porovnávání histogramů

- Velmi naivní způsob k zjištění podobnosti dvou obrázků
- Označme histogramy dvou různých obrázků H_1 a H_2
- K porovnání H_1 a H_2 zaveďme podobnostní metriku $d(H_1, H_2)$

Příklady metrik:

- Korelační
    - Čím větší, tím podobnější – maximální hodnota je 1
    - $$d(H_1, H_2) = \frac{\sum_I (H_1(I) - \bar{H}_1)(H_2(I) - \bar{H}_2)}{\sqrt{\sum_I (H_1(I) - \bar{H}_1)^2 \sum_I (H_2(I) - \bar{H}_2)^2}}$$
    - kde $\bar{H}_k = \frac{1}{N} \sum_J H_k(J)$

Porovnávání histogramů – příklady metrik

- Chí-kvadrát
  - Výpočet chí-kvadrát vzdálenosti – čím menší, tím podobnější
  - $d(H_1, H_2) = \sum_I \frac{(H_1(I) - H_2(I))^2}{H_1(I)}$

- Průnik
  - Výpočet průniku - čím větší, tím podobnější
  - $d(H_1, H_2) = \sum_I \min(H_1(I), H_2(I))$

- Bhattacharyyova vzdálenost (někdy také nazývána Hellingerova)
  - Nabývá hodnot z intervalu $< 0, 1 >$ - čím menší, tím podobnější
  - $d(H_1, H_2) = \sqrt{1 - \frac{1}{\sqrt{\bar{H}_1 \bar{H}_2 N^2}} \sum_I \sqrt{H_1(I) \cdot H_2(I)}}$

Porovnávání histogramů – implementace

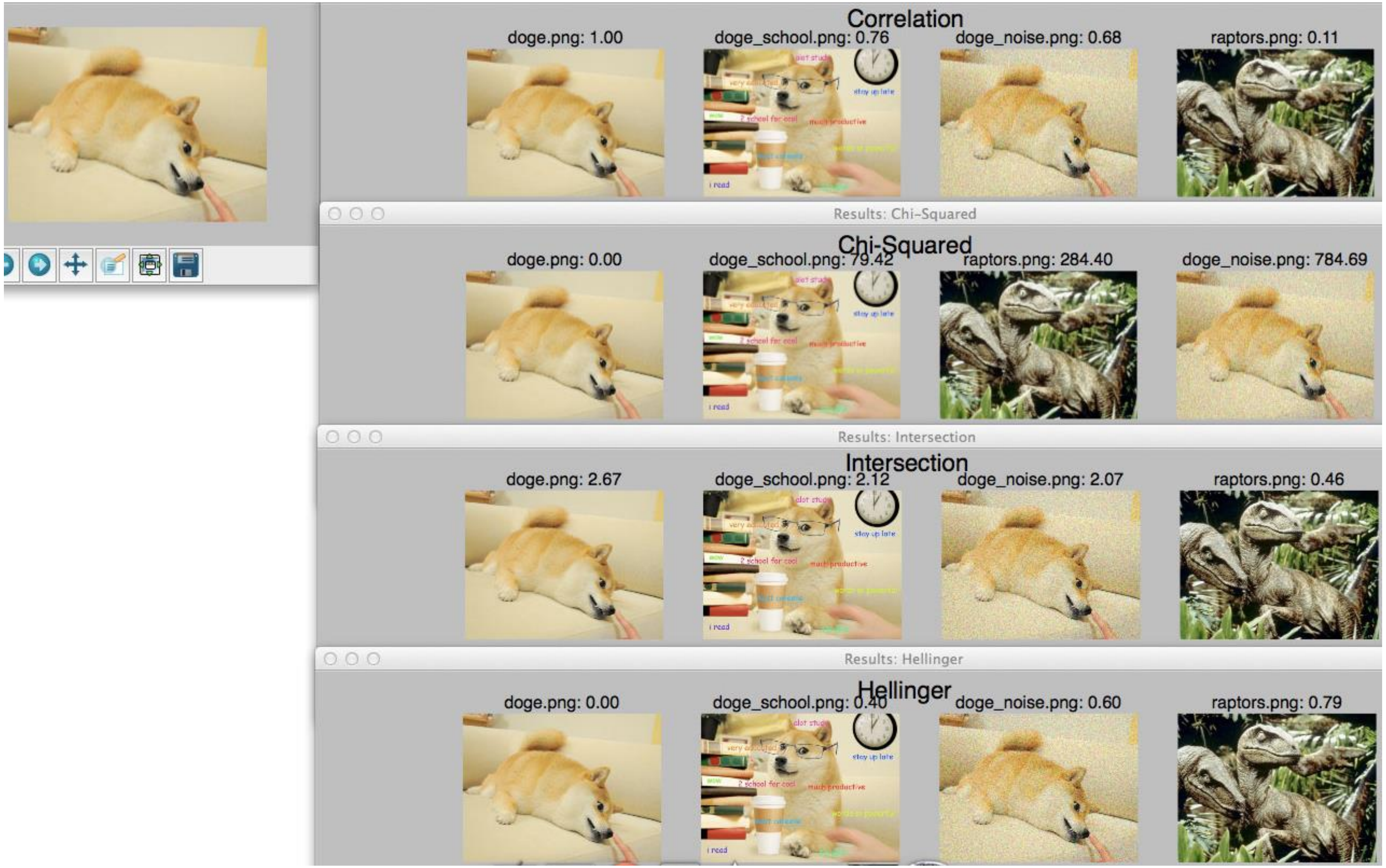
- Porovnávání dvou histogramů v OpenCV - *cv2.compareHist(H1, H2, metric)*

Kde hodnota *metric* může být:

- cv2.HISTCMP_CORREL – korelační
- cv2.HISTCMP_CHISQR – chí-kvadrát vzdálenost
- cv2.HISTCMP_CHISQR_ALT – alternativní chí-kvadrát vzdálenost
- cv2.HISTCMP_INTERSECT – průnik
- cv2.HISTCMP_BHATTACHARYYA – Bhattacharyya vzdálenost měřící překryv histogramů
- cv2.HISTCMP_HELLINGER – synonymum pro Bhattacharyya
- cv2.HISTCMP_KL_DIV - Kullback-Leibler divergence

(Pozor, v každé verzi OpenCV trochu jiné názvy metrik)

Porovnávání histogramů – příklad na obrázku



Úprava jasu

- Dále předpokládáme 2D obrazový snímek reprezentovaný pomocí matice, funkci $f(i,\ j)$, která vrátí hodnotu/vektor pixelu v řádku i a sloupci j a funkci $g(i,j)$, která vrací hodnotu/vektor pixelu po transformaci

- Triviální příklad zvýšení jasu můžeme provést přičtením konstanty $\beta > 0$ ke každému pixelu (naopak snížení jasu přičtením $\beta < 0$)
  - $g(i,j) = f(i,\ j) + \beta$

Úprava jasu - příklad

- Originální obrázek:

12	23	84	122
123	34	92	200
23	45	29	73

- Zvýšení jasu o 60:

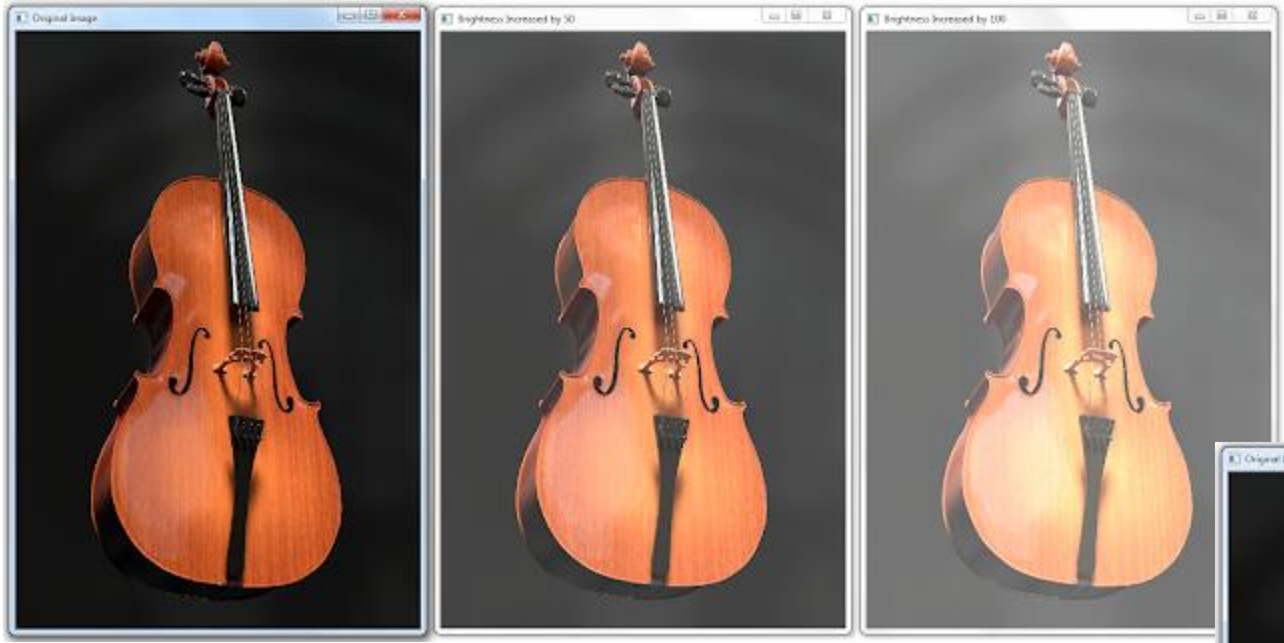
12 + 60	23 + 60	84 + 60	122 + 60
123 + 60	34 + 60	92 + 60	200 + 60
23 + 60	45 + 60	29 + 60	73 + 60

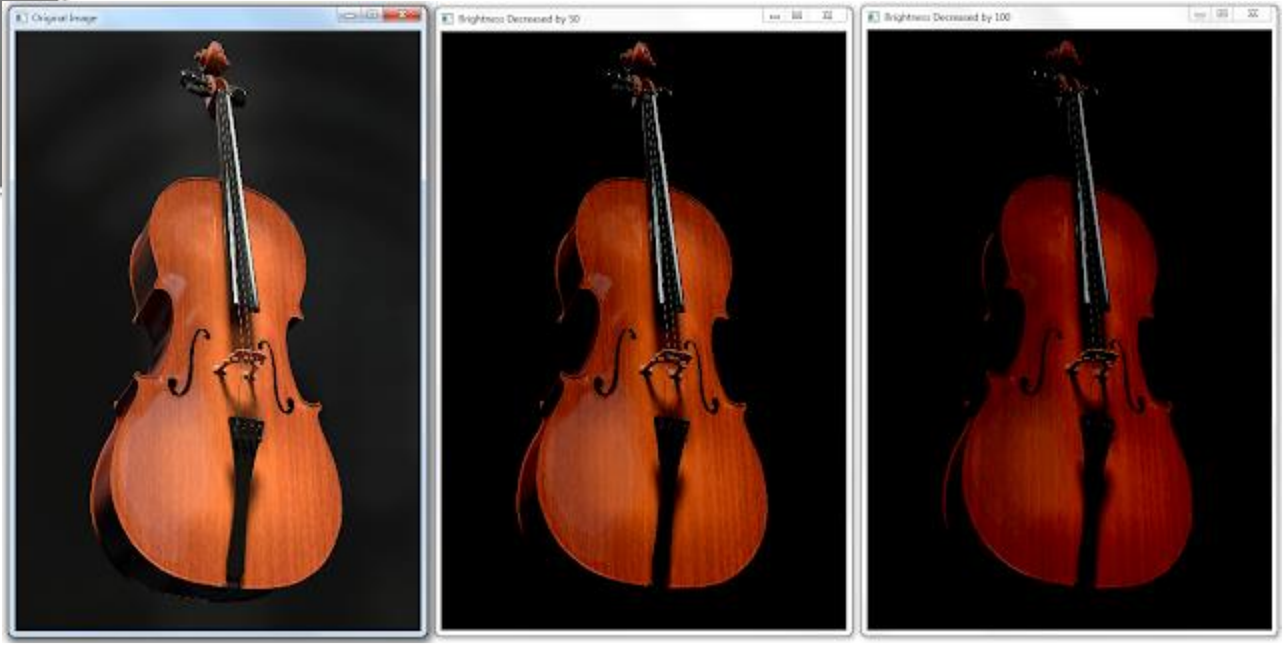
=

72	83	144	182
183	94	152	255
83	105	89	133

- Při přesažení hodnoty 255 ztrácíme v 8 bitovém obraze informace

Úprava jasu - příklad





Úprava kontrastu

- Změna kontrastu $g(i,j) = \alpha * f(i,\ j)$
  - Snížení pro $0\ < \alpha\ <\ 1$
  - Zvýšení pro $\alpha >\ 1$
- Originální obrázek:

144	245	132	54
10	62	81	84
99	106	29	7

- Zvýšení kontrastu o faktor 2

144 * 2	245 * 2	132 * 2	54 * 2
10 * 2	62 * 2	81 * 2	84 * 2
99 * 2	106 * 2	29 * 2	7 * 2

=

255	255	255	108
20	124	162	168
198	212	58	14

- Při přesažení hodnoty 255 ztrácíme v 8 bitovém obraze informace

Úprava kontrastu - příklad

Změna jasu a kontrastu dohromady

- Nejčastěji se však setkáme s formulací
  - $g(i,\ j) = \ \alpha * f(i,\ j) + \beta$
  - viz dokumentace v [OpenCV]

Je jasová a kontrastní transformace invertibilní?

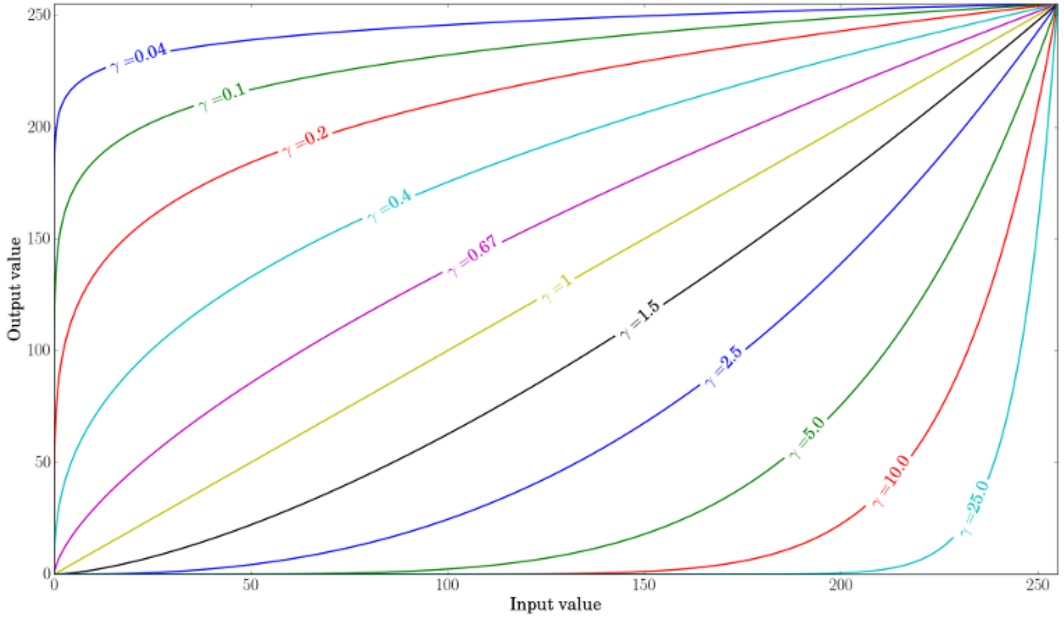
Změna jasu a kontrastu dohromady

Nemusí být, protože mohlo dojít k přetečení (clippingu) a tedy ke ztrátě informace

Ukázka přidání jasu a zvýšení kontrastu: $\alpha = 1.3;\ \beta = 40$

Gamma korekce

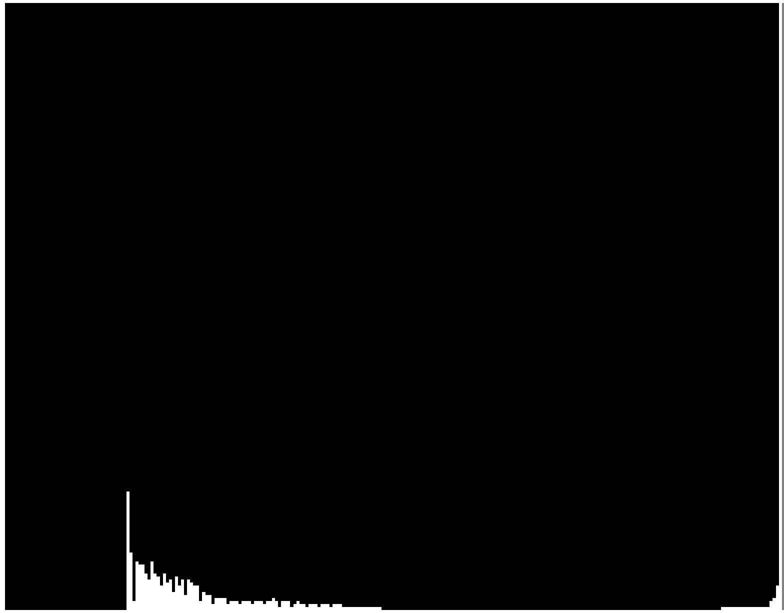
- Je nelineární transformace všech pixelů, která se snaží dát stínům a světlům více prostoru
  - $g(i,\ j) = \left(\frac{f(i,j)}{255}\right)^{\gamma} * 255$
  - Pro $\gamma < 1$ zesvětlení stínů - posun histogramu doprava
  - Pro $\gamma > 1$ ztmavení světel - posun histogramu doleva



Gamma korekce

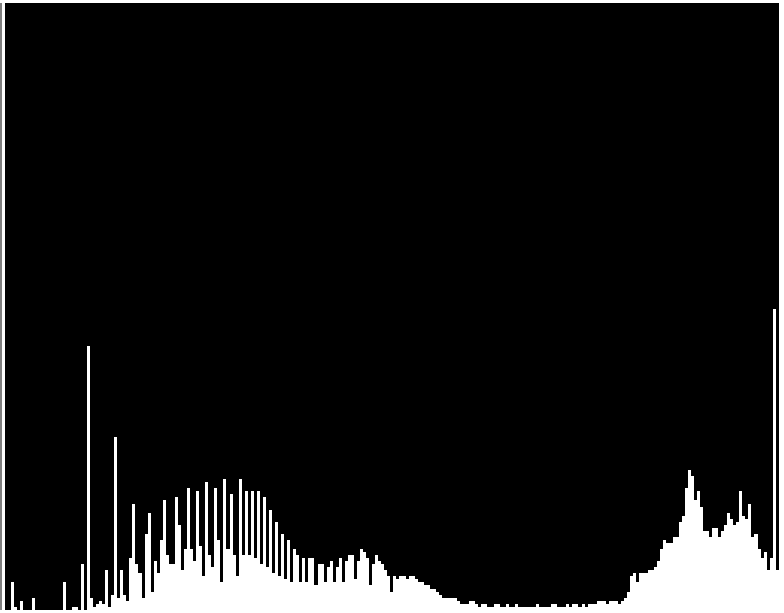
Ukázka gamma korekce pro $\gamma = 0.4$

Úprava jasu vs gamma korekce – příklad histogramu



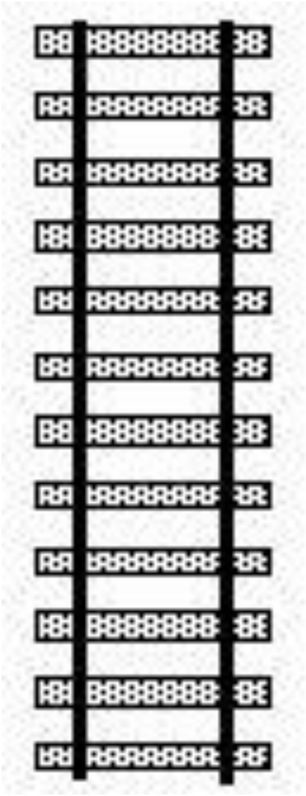
Zesvětlení pomocí zvýšení jasu (přičtení β)

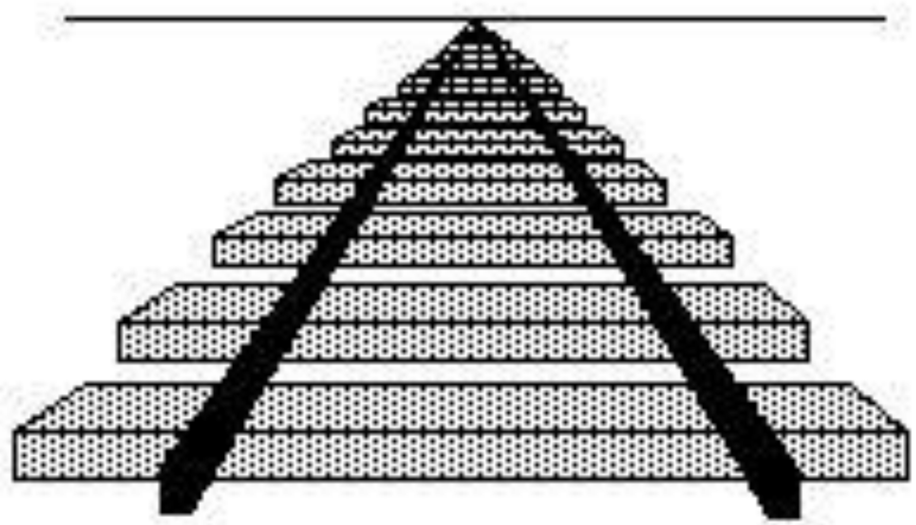
Histogram originálního snímku



Zesvětlení pomocí gamma korekce

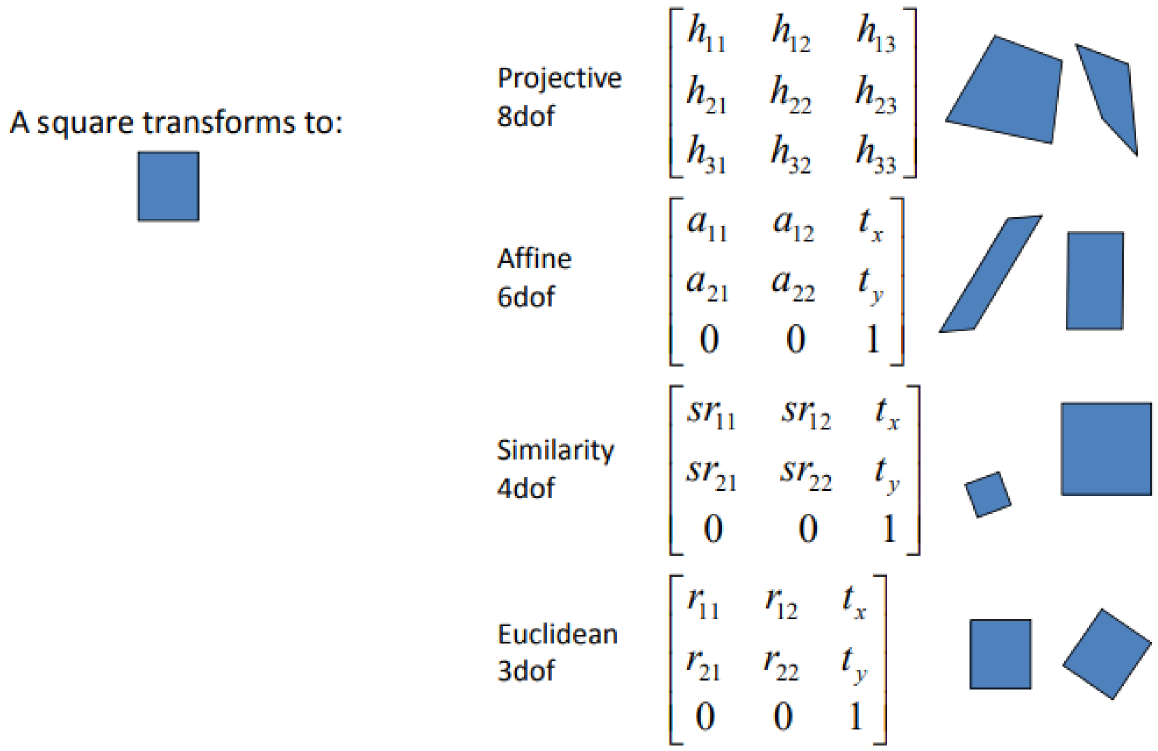
Geometrické transformace





Typy geometrických transformací

- Nejpoužívanější transformace v 2D rovině:
  - Posunutí
  - Euklidovská (lineární)
  - Podobnostní
  - Afinní
  - Projektivní



- 3D transformace jsou obdobné
  - využívají matice 4x4

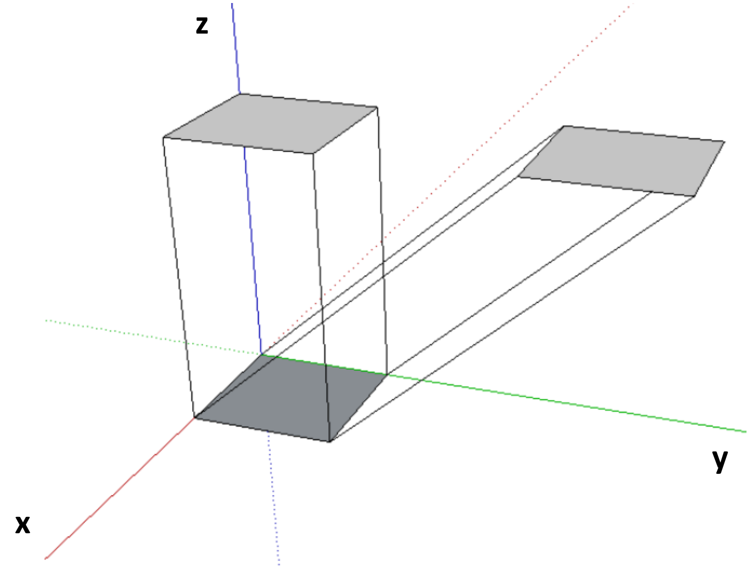
- Hierarchie:
  - $\text{Euklidovské} \subset \text{Podobnostní} \subset Afinní \subset$ Projektivní

Geometrické transformace – posunutí

- Příklad ve 2D
  - $(u_x, u_y) = (v_x, v_y) + (t_x, t_y) \quad \rightarrow \quad u = v + t$

  - Maticově
    - Výhodné, neboť v homogenních souřadnicích se jedná o lineární operaci
    - Díky tomu se 2D posun vyjádří pomocí operace 3D zkosení

    - $\begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ 1 \end{pmatrix}$



Geometrické transformace – Euklidovská

- Rotace a posunutí
- Zachovává velikosti úhlu, poměry ploch a vzdálenosti mezi body (izometrické zobrazení) – proto ten název

- Příklad ve 2D
  - $(u_x, u_y) = \left(v_x \cos\theta - v_y \sin\theta + t_x, v_x \sin\theta + v_y \cos\theta + t_y\right)$
  - Kde θ je úhel otočení od vodorovné osy (x) kolem počátku souřadného systému

  - Maticově
    - $u = T \cdot R \cdot v$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

  - $\begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & t_x \\ \sin\theta & \cos\theta & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ 1 \end{pmatrix}$

  - Operace rotace a posunutí ve 3D, viz *Vysvětlení*

Geometrické transformace – podobnostní

- Škálování, rotace a posunutí
- Zachovává velikosti úhlů a poměr vzdálenosti bodů na přímce

- Příklad ve 2D
  - $(u_x, u_y) = \left(sv_x \cos\theta - sv_y \sin\theta + t_x, sv_x \sin\theta + sv_y \cos\theta + t_y\right)$
  - Maticově
    - $u = T \cdot R \cdot S \cdot v$

$$S = \begin{bmatrix} s & 0 & 0 \\ 0 & s & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- $\begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{s} \cdot \cos\theta & s \cdot (-\sin\theta) & t_x \\ s \cdot \sin\theta & s \cdot \cos\theta & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ 1 \end{pmatrix}$

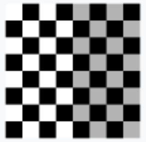
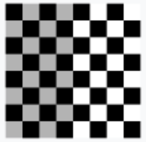
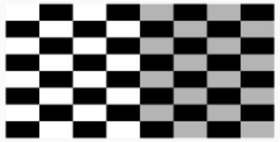
Geometrické transformace – afinní

- Skládá se z kombinace lineárních transformací (škálování, rotace a zkosení) a posunu
- Zachovává kolinearitu, vlastnost rovnoběžnosti, poměr vzdálenosti bodů na přímce a poměry ploch

- Zobrazení mezi afinními prostory - všechny Euklidovské prostory jsou afinní, ale ne všechny afinní jsou Euklidovské.
- Transformace nemusí nutně zachovávat úhly, vzdálenosti a souřadnice počátku (nulový bod)
- Každá lineární transformace je afinní, ale ne každá afinní transformace je lineární (díky nezachovávání souřadnic počátku)

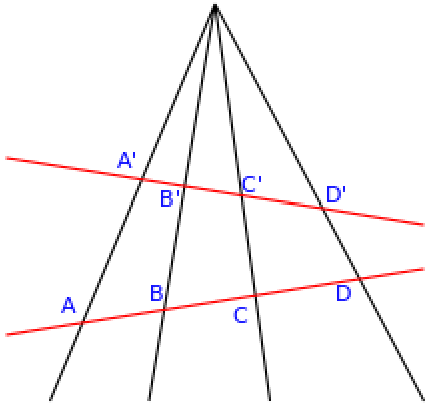
Geometrické transformace – afinní

- Není natolik silný nástroj, aby transformoval čtverec na libovolný čtyřúhelník – k tomu se využívá projektivní transformace
- Nejčastější využití je v počítačové grafice
- Pozor, záleží na pořadí prováděných jednotlivých operací.
- Výslednou transformační matici získáme pronásobením dílčích matic.
- Násobení matic není komutativní.

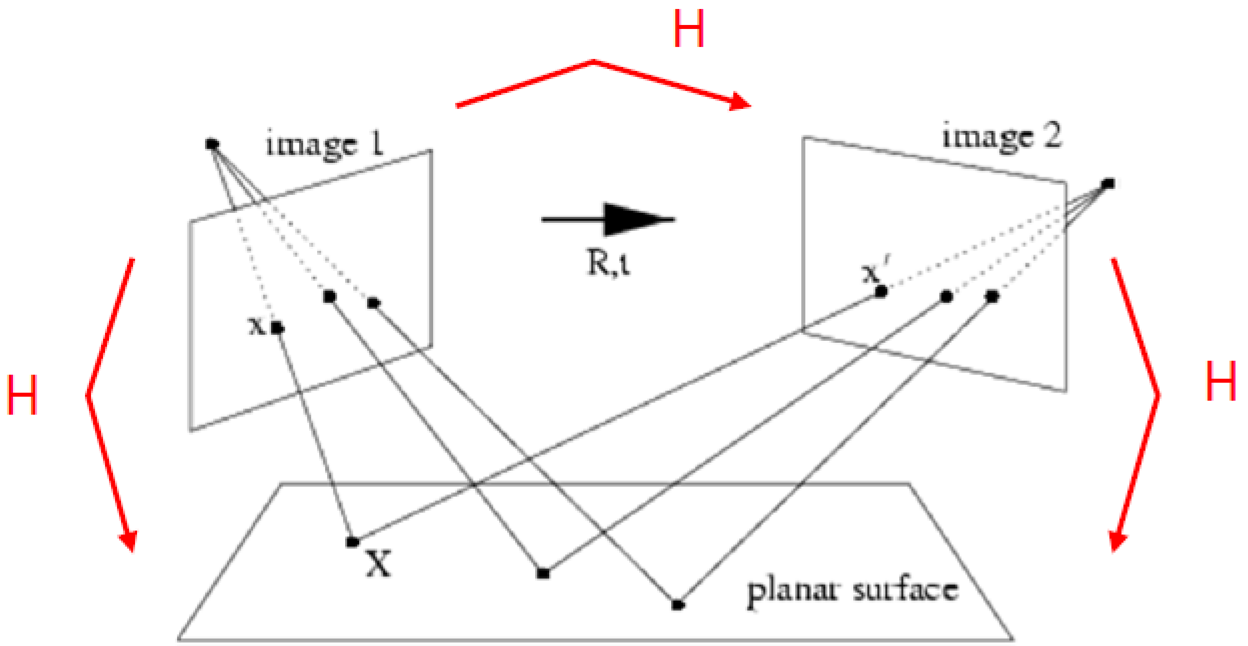
Transformation name	Affine matrix	Example
Identity (transform to original image)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
Reflection	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
Scale	$\begin{bmatrix} c_x = 2 & 0 & 0 \\ 0 & c_y = 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
Rotate	$\begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	 where $\theta = \frac{\pi}{6} = 30°$
Shear	$\begin{bmatrix} 1 & c_x = 0.5 & 0 \\ c_y = 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	

- Maticově ve 2D
  - $u = A \cdot v$
  - $\begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & a_{0,2} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & a_{1,2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ 1 \end{pmatrix}$

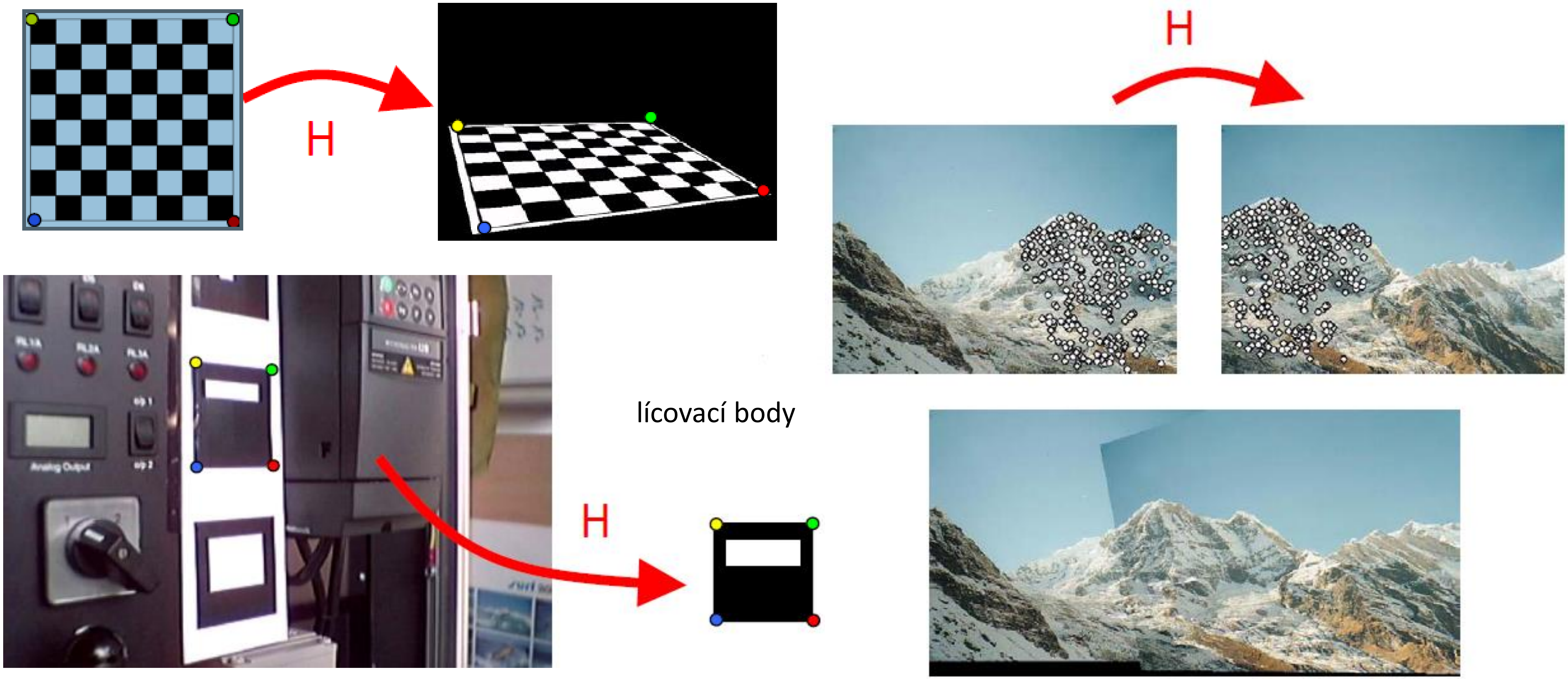
Geometrické transformace – projektivní



- Zachovává dvojpoměr a kolinearitu
- Vyžaduje homogenní souřadnice, neboť je mění
- Body se souřadnicemi v nekonečnu dokáže převést na konečné a naopak



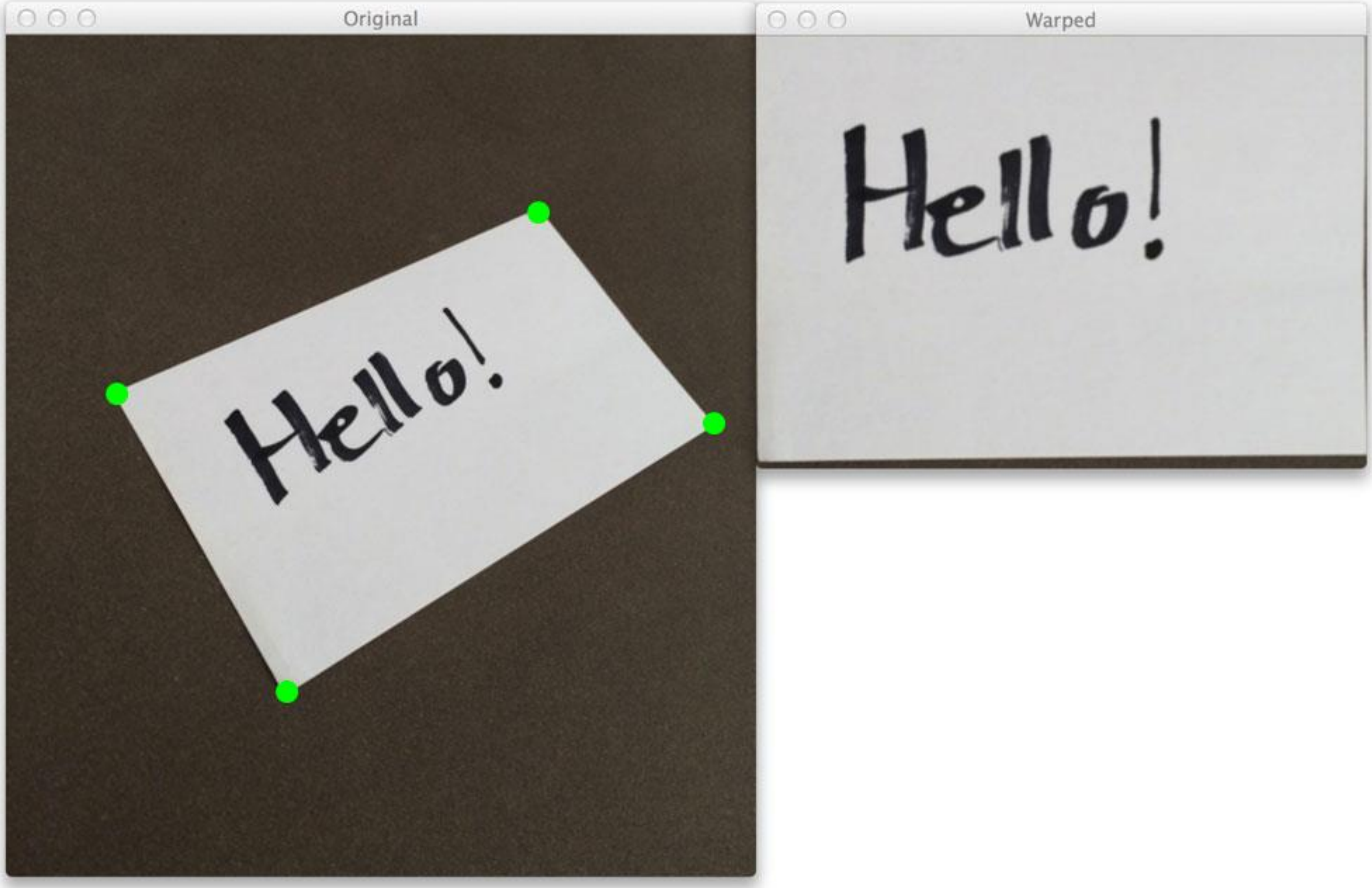
2D projektivní transformace (homography)



2D projektivní transformace (homography)

2D projektivní transformace (homography)

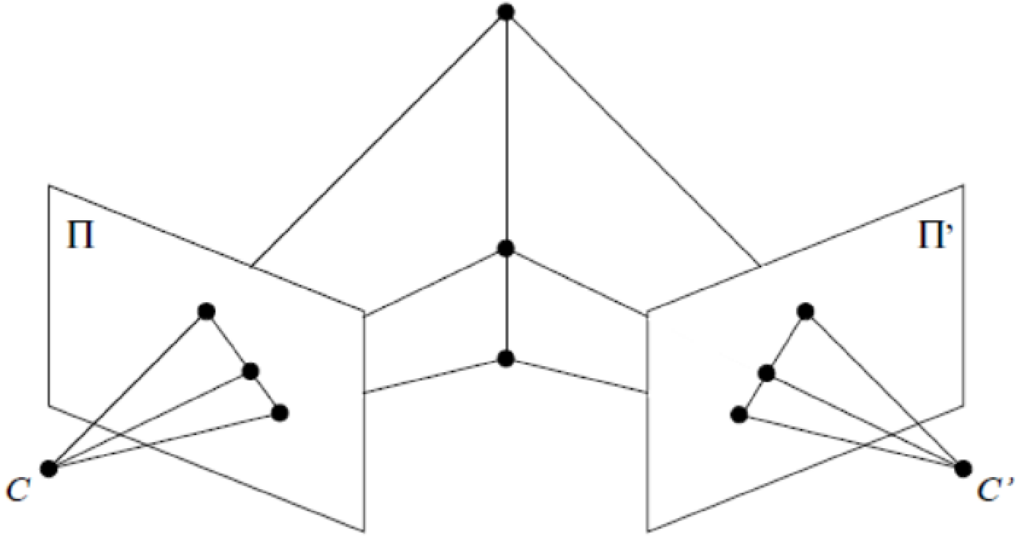
- Příklad



2D projektivní transformace (homography)

- Transformace mezi projektivními rovinami
- K výpočtu je nutné znát minimálně 4 bodové korespondence
- Následně se aplikuje algoritmus DLT, tím získáme matici H
- V OpenCV – *cv2.findHomography()* a *cv2.warpPerspective()*

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \rho_i' x_i' \\ \rho_i' y_i' \\ \rho_i' \end{bmatrix}}_{\text{image point}} = \tilde{\mathbf{x}}_i' = \mathbf{H}\tilde{\mathbf{x}}_i = \underbrace{\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}}_{\text{homography}} \underbrace{\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix}}_{\text{image point}}$$



- Afinní transformace je speciálním případem když:

$$h_{31} = h_{32} = 0,\ h_{33} = 1$$

Demo projektivní transformace

Zdroje

- https://www.opencv-srf.com
- https://www.alza.cz/slovnik/histogram
- http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/histograms1.htm
- https://www.pyimagesearch.com/2014/07/14/3-ways-compare-histograms-using-opencv-python/