

Operace s obrazem

Biofyzikální ústav LF MU

Projekt FRVŠ 911/2013

- **Obraz definujeme jako zrakový vjem, který vzniká po dopadu světla na sítnici oka.**
- **Matematicky lze obraz chápat jako vícerozměrný signál (tzv. obrazová funkce) popsáný jako funkci několika proměnných, kterým přiřazujeme určitou hodnotu nějakého parametru (např. jas, barva, aj.):**

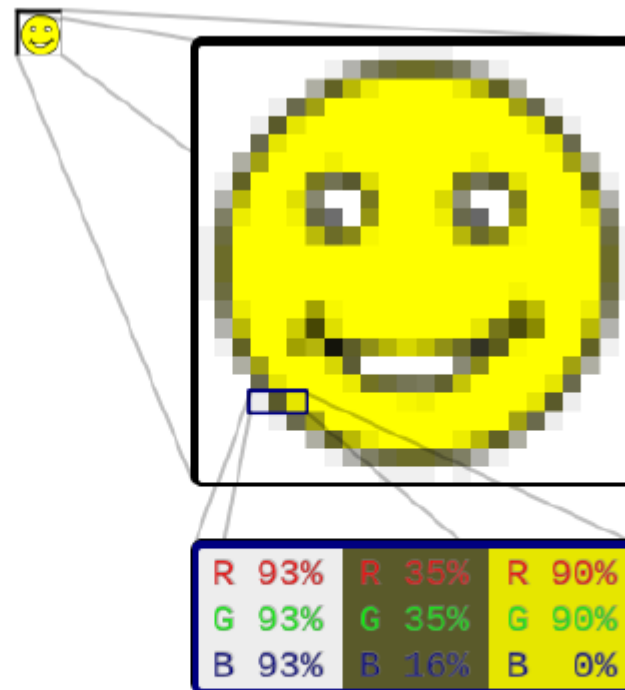
$$f(x, y, z, t) = H$$

- **Hodnoty obrazové funkce mohou být i vektorové veličiny (např. barevné složky RGB modelu):**

$$f(x, y, z, t) = [H_R, H_G, H_B]$$

- **Na digitální obraz lze nahlížet jako na soubor diskretních obrazových bodů (tzv. pixely), který je popisován maticí hodnot.**
- **Podle počtu proměnných rozlišujeme:**
 - Statický dvourozměrný obraz: $f(x,y)$
 - Dynamický dvourozměrný obraz: $f(x,y,t)$
 - Statický trojrozměrný obraz: $f(x,y,z)$
 - Dynamický trojrozměrný obraz: $f(x,y,z,t)$

Obraz



Obrázek 1.1: Digitální obraz jako matice hodnot: $[x, y] = [H_R, H_G, H_B]$.
Převzato z <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rgb-raster-image.svg>.

- **Je vjem, který vytváří viditelné světlo dopadající na sítnici lidského oka.**
- **Výsledný vjem ovlivňuje spektrální složení světla.**
- **Barevné vidění oka zajišťují světlocitlivé buňky sítnice (čípky) citlivé na světlo červené (cca 630 nm), zelené (cca 530 nm) a modré (cca 450 nm) barvy.**
- **Na teorii trojbarevného vidění oka jsou založeny barevné modely. Každý model je tvořen třemi základními hodnotami nebo barvami, jejichž kombinací lze získat jakoukoliv jinou barvu.**
 - CIE, RGB, CMY(K)
 - HSV, HSL

Obraz

Sytost

- **Sytost (saturace) popisuje „intenzitu“ barvy.**
- **Čistá barva (sytyost 100 %) je barva bez příměsí dalších barev (nejčastěji černé a bílé).**
- **Sytost 0 % popisuje pouze kombinaci černé a bílé.**
- **Syté barvy jsou lidským okem vnímané jako živější, méně syté barvy vnímá oko jako tlumené a zašedlé.**

Obraz

Vlastnosti obrazu

- **Hloubka obrazu:**
- Je počet bitů, které jsou vyhrazeny pro jeden pixel obrazu.
- Udává počet hodnot, kterých může jeden obrazový bod nabývat (např. 8 bitů = 256 hodnot; 24 bitů = 16,7 mil.).
- **Dynamický rozsah:**
- Vychází z hodnot nejsvětějšího (H_{max}) a nejtmavšího (H_{min}) pixelu v obraze.
- Popisuje skutečné množství hodnot v obraze (nemusí odpovídat max. počtu hodnot daných hloubkou obrazu).

$$DR = 20 \log \frac{H_{max}}{H_{min}}$$

Obraz

Vlastnosti obrazu

- **Jas:**

- Vyjadřuje střední hodnotu velikosti všech pixelů obrazu.
- Kvantitativně lze jas vyjádřit např. jako aritmetický průměr nebo medián hodnot všech obrazových bodů.
- U barevných obrazů se stanovuje s ohledem na rozdílnou citlivost oka pro jednotlivé barvy jako vážený součet hodnot barevných složek.

- **Kontrast:**

- Určuje míru odlišnosti hodnot dvou pixelů v obraze (I_1, I_2).
- Lze jej určit např. jako směrodatnou odchylku jasu všech pixelů obrazu nebo pomocí vzorce:

$$K = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$$

Obraz

Vlastnosti obrazu

- **Histogram:**

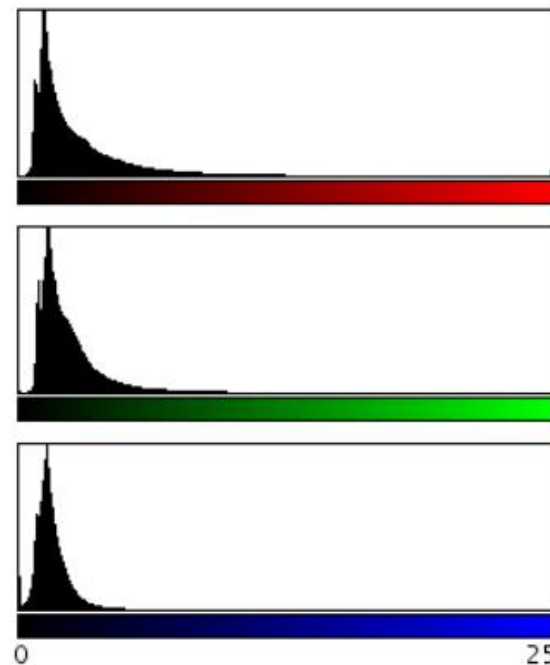
- Je graf četnosti jednotlivých stupňů jasu v obraze.
- Informuje o poměrech jasu a kontrastu v obraze a slouží především k vizuálnímu hodnocení kvality obrazu.
- U barevných obrazů lze histogram sestavit pro každou barevnou složku zvlášť.

- **Textura:**

- Je vlastnost plochy, která udává strukturu její výplně.
- Lze ji chápat jako oblast obrazu, v níž mají změny intenzity určité vlastnosti vnímané pozorovatelem jako uniformní.
- Obvykle je složena z jednoho nebo více základních prvků (tzv. primitiv), které se opakují a jsou více či méně pravidelně uspořádané.

Obraz

Vlastnosti obrazu



Count: 2132800
rMean: 35.17 rSD: 40.94 rMode: 12
gMean: 29.17 gSD: 32.07 gMode: 13
bMean: 18.90 bSD: 21.59 bMode: 13

Obraz

Hodnocení kvality obrazu

- **Kvalita obrazu vyjadřuje rozdíl mezi skutečným stavem obrazu a jeho očekávaným stavem.**
- **Rozdíl lze posuzovat subjektivně nebo objektivně.**
- **Při subjektivním hodnocení stanovuje kvalitu obrazu pozorovatel pouze na základě vlastního pocitu, zkušeností nebo srovnání s referenčním obrazem. Výsledek je obvykle určen na hodnotící stupnici (např. 1 = špatná kvalita až 5 = vynikající kvalita).**
- **Pro objektivní hodnocení se zavádí řada veličin, kterými lze kvalitu obrazu popsat kvantitativně.**
- **Jednotlivé veličiny se měří na modelech (fantomy).**

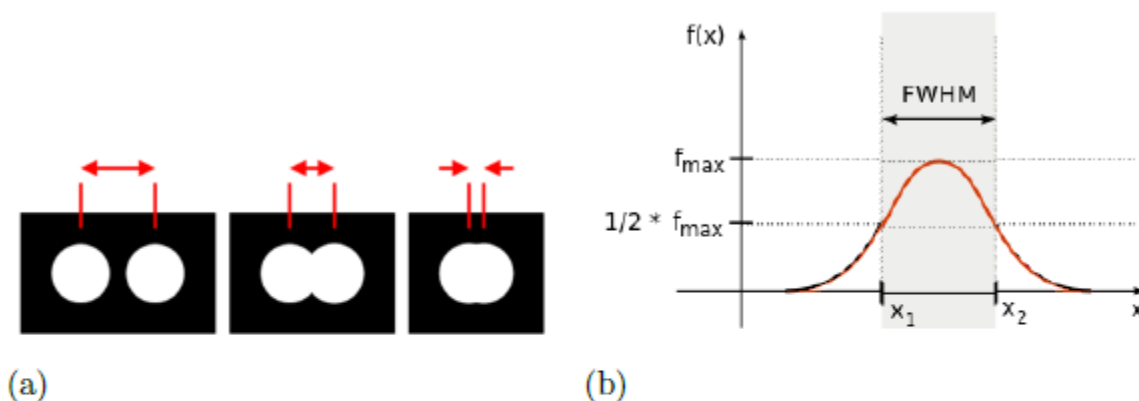
Obraz

Hodnocení kvality obrazu

- **Prostorové rozlišení:**
- Udává schopnost zobrazovacího systému rozlišit nejmenší detail scény nebo odlišit od sebe dva body.
- Hodnotí se jako signálová odezva systému (tzv. PSF – Point Spread Function nebo LSF – Line Spread Function) na scénu tvořenou bodovým, resp. čárovým modelem. Tj. jestli se bod scény zobrazí jako bod a čára jako čára.
- Hodnoceným parametrem je koeficient prostorového rozlišení FWHM (Full Width at Half Maximum), tedy šířka PSF nebo LSF funkce v polovině její výšky.
- Prostorové rozlišení závisí na velikosti a plošné hustotě detekčních elementů detektoru.

Obraz

Hodnocení kvality obrazu



Obrázek 1.3: (a) Prostorové rozlišení udává schopnost systému odlišit od sebe dva body. (b) Ukázka signálové odezvy f_x zobrazovacího systému na scénu tvořenou bodovým modelem (tzv. PSF funkce). Šířka PSF funkce v polovině výšky FWHM (Full Width at Half Maximum) je definována jako koeficient prostorového rozlišení.

Převzato z: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:FWHM.svg>.

Obraz

Hodnocení kvality obrazu

- **Časové rozlišení:**
 - Popisuje počet obrazů nasnímaných za jednotku času.
 - Obrazová frekvence udává, jak rychlé změny ve scéně je zobrazovací systém schopen zaznamenat.
 - S časovým rozlišením je spojena pohybová neostrost obrazu. Čím menší je obrazová frekvence, tím větší je pohybová neostrost.
- **Energetické rozlišení:**
 - Lze jej popsat jako minimální detekovatelný (prahový) signál nebo jako minimální měřitelnou změnu signálu.
 - Prahový signál bývá silně omezený šumem, proto je určujícím parametrem poměr signál-šum (SNR).

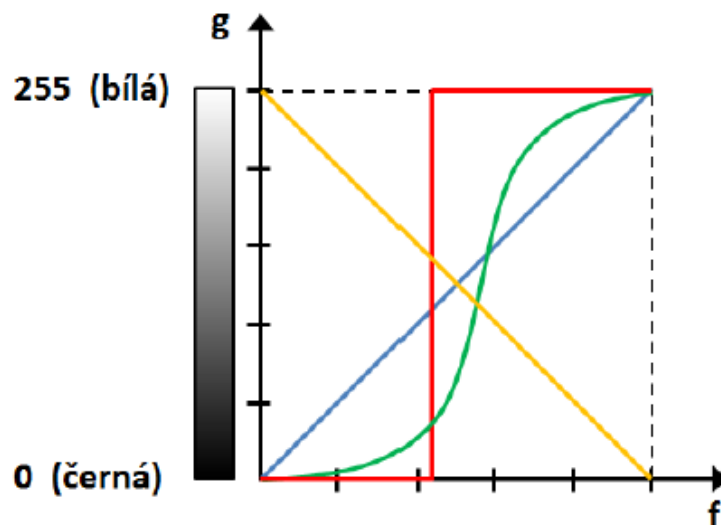
Obraz

Hodnocení kvality obrazu

- **Linearita převodu zobrazovaného parametru:**
- Převod zobrazovaného parametru na výsledný parametr obrazu je definován tvarem transformační funkce.
- Tvar funkce určuje, jakým způsobem se transformují jednotlivé velikosti zobrazovaného parametru, a tedy jak bude vypadat výsledný obraz.
- Např. u 8-bitových šedotónových obrazů (256 úrovní šedé) se obvykle min. hodnotám zobrazovaného parametru přiřazuje černá (0) a max. hodnotám bílá (255) barva.
- Převod zobrazovaného parametru, popsáný nelineární transformační funkcí, se ve výsledném obraze projevuje gradačním zkreslením s neočekávanými poměry jasu.

Obraz

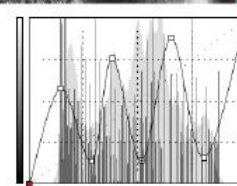
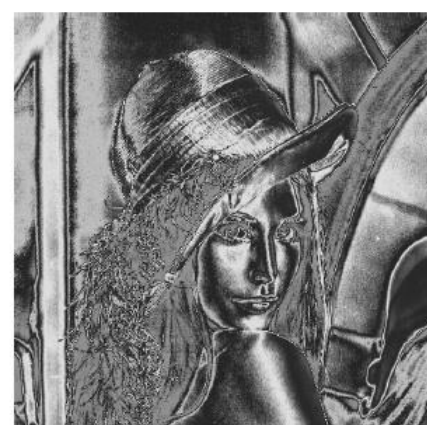
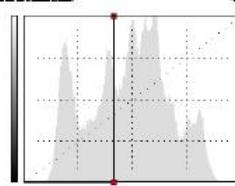
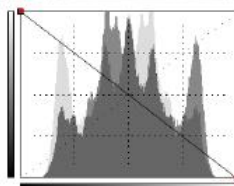
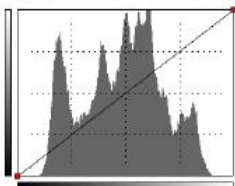
Hodnocení kvality obrazu



Obrázek 1.4: Transformační funkce popisuje převod zobrazovaného parametru na výsledný parametr obrazu. Tvar funkce určuje, jakým způsobem se transformují jednotlivé velikosti zobrazovaného parametru, a tedy jak bude vypadat výsledný obraz scény. Např. u 8-bitových šedotónových obrazů (256 úrovní šedé) se obvykle minimálním hodnotám zobrazovaného parametru přiřazuje černá barva (0) a maximálním hodnotám barva bílá (255). Nejčastěji používanou transformační funkcí je diagonální přímka (modrá), která každé hodnotě zobrazovaného parametru f přiřazuje odstupňovaně jinou hodnotu výsledného parametru obrazu g (jasu). Dalšími typickými transformacemi jsou negativ (žlutá), dvouúrovňové prahování (červená) nebo obecná nelineární funkce (zelená).

Obraz

Hodnocení kvality obrazu



Obraz

Hodnocení kvality obrazu

- **Linearita převodu zobrazovaného parametru:**
- Převod prostorových souřadnic je popisován tvarem dvou transformačních funkcí pro osy x a y .
- Linearita převodu se projevuje zvětšením/zmenšením obrazu v osách x a y . Nelinearita převodu se v obraze projevuje geometrickou deformací.
- **Homogenita procesu zobrazení:**
- Popisuje odchylky od konstantní citlivosti převodu snímaného parametru v závislosti na prostorové souřadnici.
- Je-li proces zobrazení homogenní, je citlivost převodu konstantní v celém obraze.
- Homogenita je zajištěna pouze vykazují-li všechny detekční elementy snímače stejnou signálovou odezvu na konstantní velikost zobrazovaného parametru scény.

Obraz

Zkreslení, šum a artefakty

- **Jsou rušivé signály, které v obraze způsobují ztrátu informace a znesnadňují jeho analýzu, hodnocení a interpretaci.**
- **K eliminaci chyb se používá řada přístupů, založených na lokálních úpravách obrazu (filtraci).**
- **Nejčastějšími příčinami zkreslení jsou nedokonalosti zobrazovací soustavy, vzájemný pohyb detektoru a snímané scény, špatné zaostření, vady optické soustavy, nelinearita systému, nehomogenita systému, nevhodná vzorkovací frekvence, šum, aj.**

Obraz

Detekce obrazu

- **Záznam plošného nebo prostorového rozložení určitých fyzikálních parametrů zobrazované scény a převod této obrazové funkce na jinou formu signálu (např. na elektrický signál), která má výhodnější vlastnosti pro další zpracování, zobrazení a uchování.**
- **Záznam a transformaci obrazu zajišťují detektory. Obvykle se jedná o 2D pole velkého počtu detekčních elementů (měničů), které poskytují také prostorovou informaci o přesném místě vzniku signálu.**
- **Každý detekční element zaznamenává jeden plošný bod (pixel) nebo objemový bod (voxel) obrazu.**

Obraz

Detekce obrazu

Tabulka 1.1: Zobrazované fyzikální parametry scény

Metoda	Fyzikální parametr	Obrazový detektor
RTG a CT zobrazení	útlum RTG záření	flat panel fotografický film scintilační detektory
Ultrazvukové zobrazení	odrazivost, útlum	piezoelektrické krystaly
Magnetická rezonance	kvantové chování atomových jader	cívky
Nukleární medicína (PET, SPECT, gamagrafie)	aktivita radionuklidů	scintilační detektory flat panel
Termografie	povrchová teplota (infračervené záření)	polovodičové detektory tekuté krystaly
Elastografie	Youngův modul pružnosti	piezoelektrické krystaly cívky
Elektrodiagnostické mapování	elektrické vlastnosti	pole elektrod
Magnetodiagnostické mapování	magnetické vlastnosti	pole cívek
Mikroskopie, endoskopie	útlum, odraz nebo rozptyl elektromagnetického záření (UV, IR, VIS, mikrovlny)	polovodičové detektory
Elektrická impedanční tomografie (EIT)	elektrická vodivost permitivita	pole elektrod

Obraz

Digitalizace a vzorkování

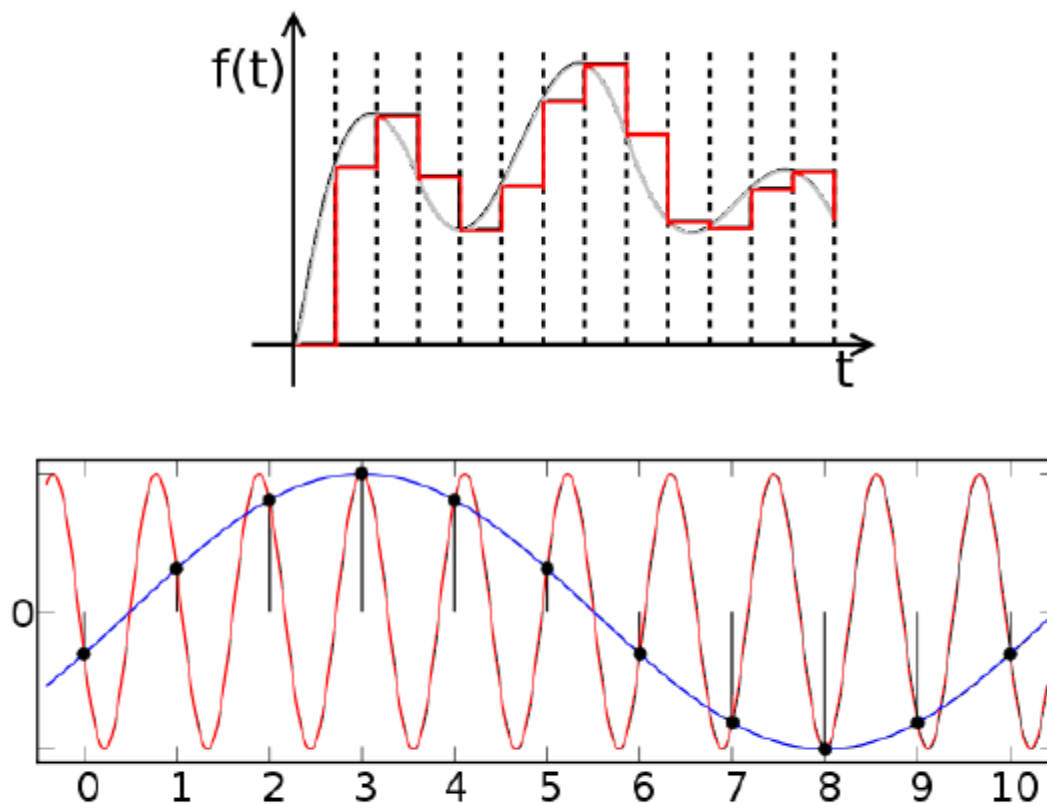
- **Digitalizací rozumíme převod analogového (spojitého) signálu do digitální (diskrétní) formy.**
- **Výhody digitalizace spočívají ve velké odolnosti vůči šumu, snadnému přenosu a uchování dat, neomezené reprodukovatelnosti dat bez ztráty informace a možnosti zaznamenat ve stejném formátu zároveň několik typů dat (např. text, zvuk a obraz).**
- **Realizuje se převodem pomocí AD převodníku nebo pořízením obrazu digitálními snímači.**
- **Digitální obraz je tvořen maticí číselných hodnot.**

- **Proces digitalizace se sestává ze dvou kroků.**
 - **Navzorkování** spojitého signálu, tj. rozdělení signálu na mnoho úseků, kdy každý z nich je reprezentován jedinou hodnotou.
 - **Kódování** hodnot do binární soustavy (0,1).
- **Vzorkování je vždy spojeno se ztrátou informace.**
- **Aby nedošlo ke zkreslení signálu a vzniku aliasingu, musí vzorkování splňovat tzv. Nyquistův teorém:**

„Přesná rekonstrukce spojitého signálu z jeho vzorků je možná jen tehdy, pokud byl signál vzorkován frekvencí alespoň 2x vyšší, než je max. frekvence rekonstruovaného signálu: $f_{vz} > 2f_{max}$.“

Obraz

Digitalizace a vzorkování



Obrázek 1.7: Je-li skutečný signál (červená) vzorkován nevhodnou frekvencí vzorkování, může dojít ke ztrátám informace, nevratným změnám v signálu a vzniku tzv. aliasing artefaktu (modrá). Převzato z <http://en.wikipedia.org/wiki/File:AliasingSines.svg>.

Obraz

Komprese

- **Komprese obrazu je proces, kdy nahrazujeme posloupnost za sebou následujících shodných čísel údajem o jejich počtu.**
- **Výsledkem komprese je redukce velikosti dat.**
- **Komprese může být spojena se ztrátou kvality dat (ztrátová komprese) nebo lze použít bezztrátovou kompresi, která kvalitu dat zachovává.**

Obraz

Transformace a zpracování

- **Na obrazové detektory lze nahlížet jako na tajemnou „černou skříňku“, která určitým způsobem transformuje vstupní obraz scény (obrazovou funkci) $f(x,y)$ na výstupní obraz $g(x,y)$.**
- **Výsledek transformace je určen vlastnostmi „černé skříňky“ a popisuje ji transformační funkce $h(x,y)$.**
- **Vhodným tvarem transformační funkce lze dosáhnout požadované úpravy obrazu:**

Např. úprava jasu a kontrastu, změna barevné škály, pseudobarvení, odstranění šumu, ostření, detekce hran, morfologické operace, převod do frekvenční oblasti, rekonstrukce obrazu z projekcí, apod.

Obraz

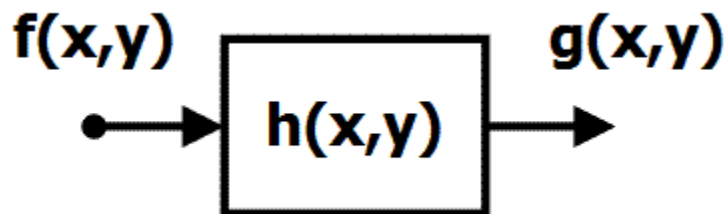
Transformace a zpracování

- **Vztah mezi tvarem vstupní funkce obrazu $f(x,y)$ a výstupní obrazové funkce $g(x,y)$ lze matematicky vyjádřit jako konvoluci vstupního obrazu a transformační funkce $h(x,y)$:**

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y)$$

- **Známe-li přetransformovaný obraz $g(x,y)$ a transformační funkci $h(x,y)$, potom lze zpětnou transformací nalézt původní obrazovou funkci $f(x,y)$:**

$$f(x, y) = h^{-1}(x, y) * g(x, y)$$



- **Transformační funkce mohou být lineární (platí princip superpozice) i nelineární (neplatí PS).**
 - **Lineární funkce:** např. posunutí, zrcadlení, otočení, změna měřítka, zkosení, funkce průměr, Gaussova funkce nebo gradientní funkce (1. a 2. derivace).
 - **Nelineární funkce:** např. funkce typu rozptyl, minimum, maximum, medián nebo funkce využívané v matematické morfologii (dilatace, eroze, otevření, uzavření, skeletonizace, aj.).

Obraz

Konvoluce

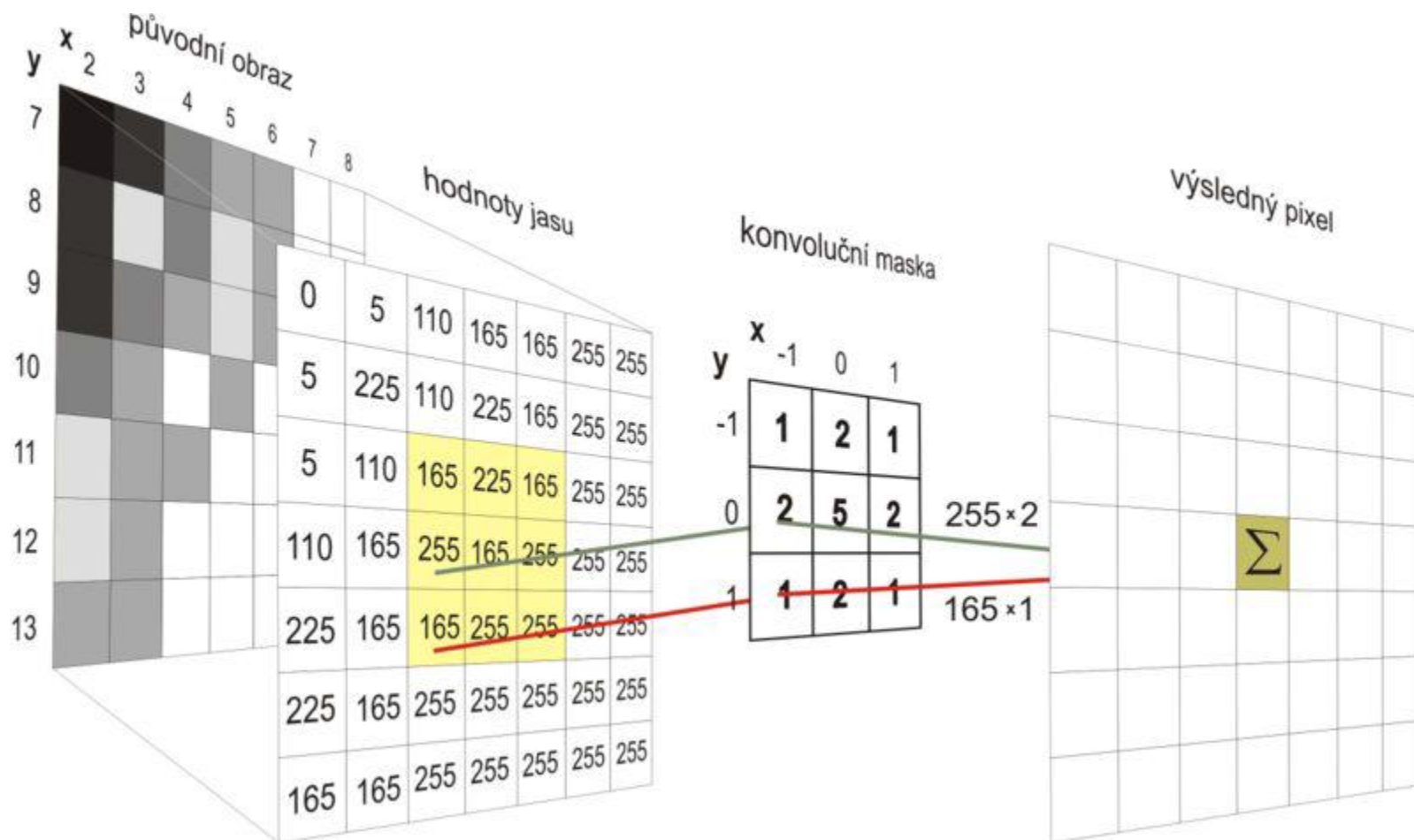
- **Je matematická operace mezi dvěma funkcemi, která je v diskretním 2D případě definována vztahem:**

$$f(x, y) * h(x, y) = \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k f(x - i, y - j) \cdot h(i, j)$$

- **Transformační funkci $h(x, y)$ lze v diskretním případě chápat jako matici hodnot (tzv. konvoluční maska).**
- **Výsledek konvoluce je takový, že vynásobíme hodnotu pixelů obrazu pokrytých maskou koeficientem masky, všechny hodnoty sečteme a výsledek dosadíme do středu masky jako nový pixel výstupního obrazu.**

Obraz

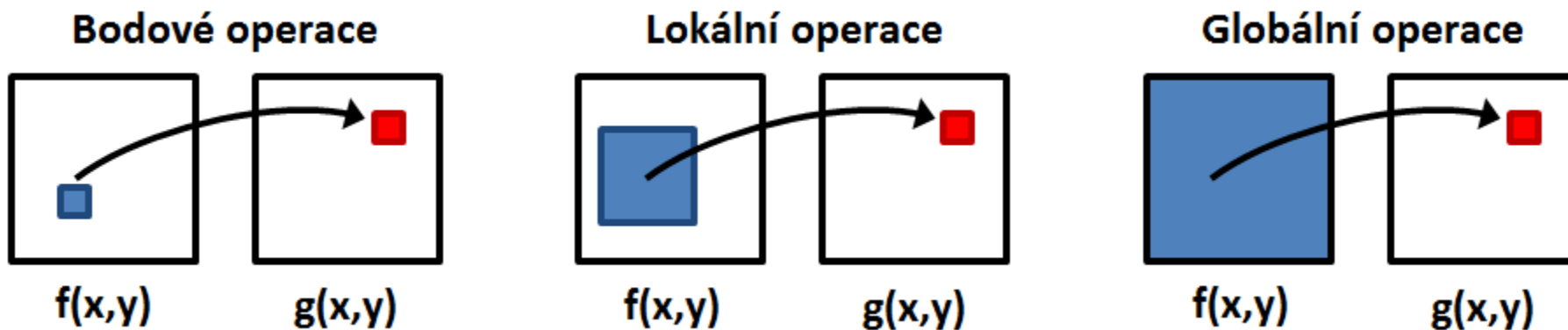
Konvoluce



Obraz

Konvoluce

- **Velikost masky určuje, kolik pixelů vstupního obrazu ovlivní jeden pixel výstupního obrazu.**
 - Bodové operace
 - Lokální operace
 - Globální operace



Obraz

Bodové operace

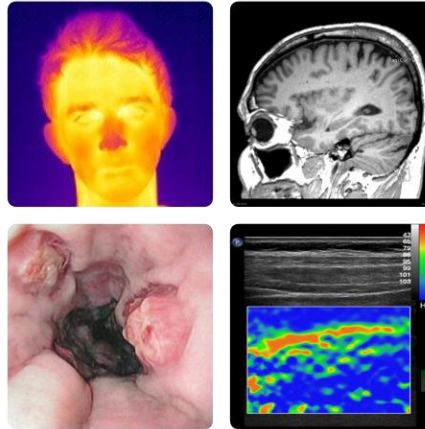
- **Slouží k transformaci obrazu bod po bodu. Každý bod výstupního obrazu je ovlivněn pouze jedním bodem vstupního obrazu.**
- **Požadovaná závislost je obvykle realizována modifikační tabulkou LUT (z angl. Look Up Table), která nese informaci o transformaci každého bodu.**
- **Používají se při úpravě barev (změna barevné škály, pseudobarvení), dynamického rozsahu, jasu nebo kontrastu. Lze je aplikovat také při zvýrazňování nebo segmentaci obrazu (např. prahování).**

Obraz

Lokální operace

- **Každý bod výstupního obrazu je ovlivněn pouze okolními body vstupního obrazu pokrytými vhodnou konvoluční maskou.**
- **Data se transformují tak, aby byly v obraze zvýrazněny nebo potlačeny určité struktury.**
- **Využívají se k vyhlazení obrazu, potlačení šumu, ostření, přípravě pro segmentaci (např. detekce hran) nebo pro morfologické operace, rekonstrukci obrazu nebo detekci a klasifikaci objektů.**
- **Masky mohou mít různý tvar a velikost (obvykle od 3x3 po asi 9x9).**

- **Slouží k úpravě obrazu jako celku. Každý bod výstupního obrazu je ovlivněn všemi body vstupního obrazu.**
- **Patří sem restaurační mechanismy (odstranění zkreslení v obraze, rekonstrukce obrazu z projekcí, rekonstrukce hloubkového rozměru, potlačení šumu) nebo 2D transformace obrazu (např. Fourierova transformace, kosinová transformace, aj.).**
- **Globální úpravy lze použít také při kompresi obrazových dat, pro texturní analýzu nebo pro rozpoznávání objektů.**



Děkuji za pozornost !