

Základy zpracování obrazové informace

M. Dostál J. Šrámek V. Mornstein

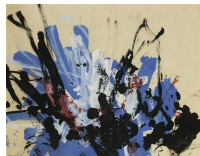
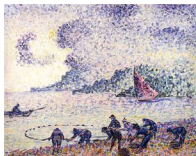
Biofyzikální ústav Lékařská fakulta Masarykovy univerzity Brno

2015

Obraz

Intuitivní vymezení

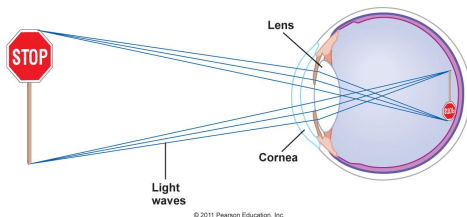
- Každý má nějakou představu o obrazu.
- Naše představy se obvykle výrazně neliší.
- Obtížná formalizace.



Obraz

První krok k formalizaci

- Počítač je rychlý hlupák pracující s čísly.
- Obraz tedy musíme uchopit matematicky.
- Model: Žížka dříve než obléhal Rabí.



Stanfield CL, Germann WJ: Principles of Human Physiology, 4th ed. Pearson 2010.

Obraz

Formalizace obrazu

- Sítnice je zakřivená omezená plocha.
- Pro další úvahy je vhodné si ji představit jako rovinu.
- Obraz je určen kvalitami v každém bodě.
- Kvality obrazu lze také ohodnotit číselně.
- Obraz je tedy vlastně funkce dvou proměnných:

$$I : \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathcal{C}$$

Obraz

První krok k formalizaci barev

- Intuitivně nelze určit, zda je červená více než modrá nebo naopak.
- Stupně šedi ale takto porovnáme.
- Stupně šedi tedy lze kódovat číselným intervalem.
- Obrazová funkce je pak reálná funkce dvou reálných proměnných.
- Takový obraz se nazývá šedotónový, vžilo se označení černobílý.



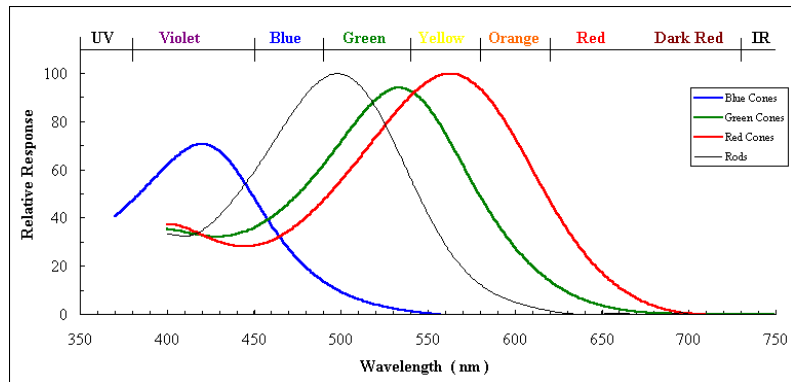
Obraz

Formalizace barev – biofyzikální pohled

- Barvy vnímáme jako následující kvality:
 - jas – intenzita,
 - barva – převažující vlnová délka,
 - sytost – podíl nepřevažující vlnových délek.
- V sítnici jsou tři populace čípku s maximy:
 - 440 *nm* (modrá),
 - 535 *nm* (zelená),
 - 565 *nm* (červená/žlutá).
- Barevný vjem vzniká integrací signalizace ze všech tří typů receptorů.

Obraz

Formalizace barev – biofyzikální pohled



Obraz

Formalizace barev – barevný model CIE

- CIE znamená Commission internationale de l'éclairage, používá se i pro označení modelů.
- Model CIE XYZ (1931) vychází z modelů spektrální citlivosti pro červenou ($\bar{x}(\lambda)$), zelenou ($\bar{y}(\lambda)$) a modrou ($\bar{z}(\lambda)$) barvu.
- Pro záření se spektrálním výkonem $I(\lambda)$ tři parametry:

$$X = \int I(\lambda)\bar{x}(\lambda) \lambda$$

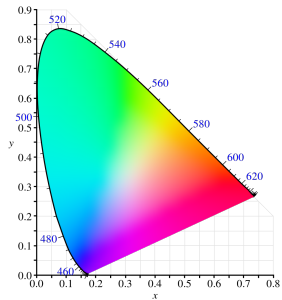
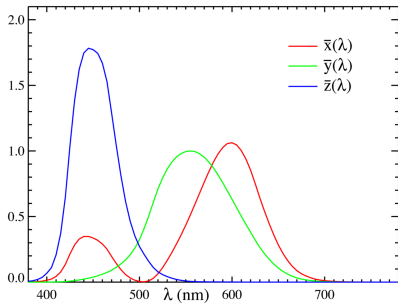
$$Y = \int I(\lambda)\bar{y}(\lambda) \lambda$$

$$Z = \int I(\lambda)\bar{z}(\lambda) \lambda$$

- Model CIE XYZ má několik vylepšení.

Obraz

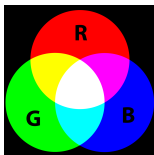
Formalizace barev – barevný model CIE



Obraz

Formalizace barev – barevný prostor RGB

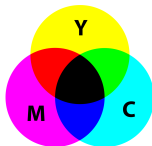
- Tři základní barvy:
 - červená (Red),
 - zelená (Green),
 - modrá (Blue).
- Aditivní mísení barev.
- Technické aplikace: CRT obrazovky, LCD displeje.
- IT aplikace: Obvyklá reprezentace barev v paměti.



Obraz

Formalizace barev – barevné prostory CMY a CMYK

- Tři základní barvy:
 - azurová (Cyan),
 - purpurová (Magenta),
 - žlutá (Yellow).
- Subtraktivní mísení barev.
- Technické aplikace: barevný tisk.
- Z technických důvodů se doplňuje černá barva (Key, někdy i black).



Obraz

Za formalizací barev – hyperspectral imaging

- Práce s informací o barvě je uzpůsobena lidskému vidění.
- Významná ztráta informace o spektru.
- Může být přesah i mimo viditelnou oblast.
- Snímání spektra po částech pro každý pixel.
- Někdy se rozlišuje zobrazování na:
 - multispektrální – spektrum je rozděleno na jednotky vzorků,
 - hyperspektrální – spektrum je rozděleno na stovky vzorků.
- Aplikace:
 - hyperspektrální mikroskopie (hyperspectral microscope imaging),
 - analýza snímků patologických lézí,
 - cokoliv, kde může být ve spektru zajímavá informace.

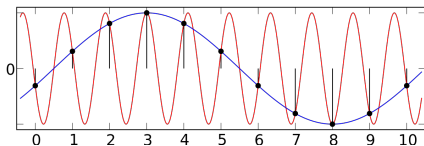
Digitální obraz

Diskretizace a digitalizace

- Teoretický koncept obrazu je spojitý.
- Počítač umožňuje pracovat jen s konečným počtem čísel.
- I tato čísla mohou nabývat jen konečného počtu hodnot.
- Zavádí se diskrétní obrazová funkce:

$$\mathbb{Z} \times \mathbb{Z} \rightarrow \mathcal{C}$$

- Základní datovou reprezentací je matice nebo trojice matic.
- Digitalizace vede ke ztrátě informace a ke vzniku artefaktů.



Digitální obraz

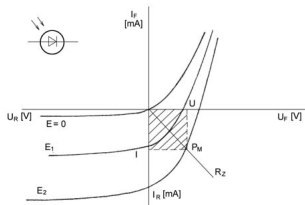
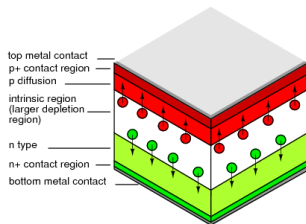
Pixel a spol.

- Nejmenší dílem digitálního obrazu (Picture Element)
- Logický pixel:
 - matematická abstrakce, pixel jako bod,
 - kolem pixelu není nic.
- Fyzický pixel:
 - realizace pixelu na zobrazovacím zařízení,
 - nejčastěji čtverec – pravidelné pokrytí plochy,
 - digitální geometrie,
 - 4–sousedí – pixelu se dotýkají hranou,
 - 8–sousedí – pixelu se dotýkají hranou nebo rohem.

Detektory obrazu

Fotoelektrický jev

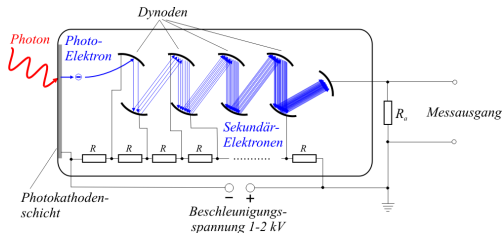
- Vnější fotoelektrický jev – elektrony opouštějí látku.
- Vnitřní fotoelektrický jev – elektrony přecházejí do vodivostního pásu.
- Vnitřní fotoelektrický jev se používá ke konstrukci polovodičových optoelektronických prvků – fotodiody, fototranzistory, etc.



Detektory obrazu

Fotonásobič

- Klasický spojitý detektor, specializovaná elektronika.
- Vnější fotoelektrický jev.
- Používal se hojně v televizní technice.
- Teoreticky velmi vysoká citlivost.
- Ke snímání obrazu třeba další příslušenství.



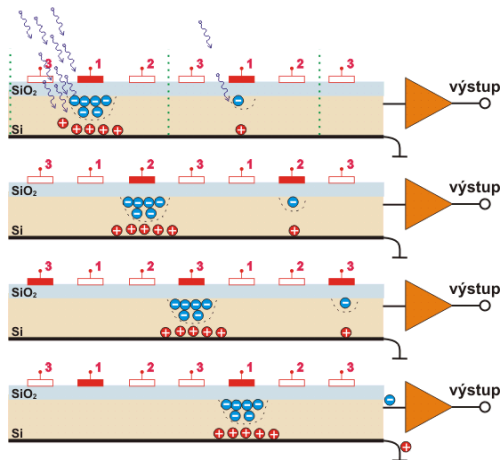
Detektory obrazu

Charge-Coupled Device (CCD)

- Vynalezeno v roce 1969 W. Boylem a G. E. Smithem v AT&T Bell Labs.
- V roce 2009 Nobelova cena za fyziku.
- Využívá vnitřního fotoelektrického jevu.
- Obraz je sejmut najednou.
- Uvolněné náboje jsou čteny postupně.

Detektory obrazu

Charge-Coupled Device (CCD) – princip



Detektory obrazu

Actipe-Pixel Sensor (APS)

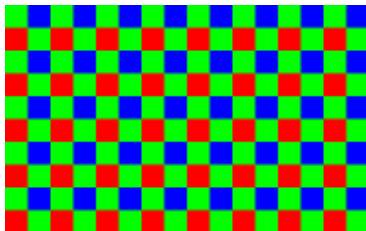
- Náhrada CCD v řadě aplikací.
- Pole senzorů, každému pixelu odpovídá senzor a zesilovač.
- Obraz je snímán postupně.
- Výhodou je menší spotřeba (CMOS) a lepší poměr signál/šum.



Detektory obrazu

Barevné obrazy

- Princip fotonásobiče, CCD i APS je šedotónový.
- Ke snímání barev se používají různé techniky:
 - Samostatné snímače – rozdělení světla hranolem či mřížkou.
 - Bayerova maska – pixely snímače jsou kryté barevnými filtry.
 - Selektivně citlivé snímače ve vrstvě nad sebou (Foveron X3).



Datové formáty obrazu

Obrázek v paměti počítače

- Digitální obraz je matice čísel.
- Rozsáhlá matice s poměrně velkými homogenními oblastmi.
- Kompresi obrazu:
 - ztrátová
 - bezztrátová
- Uložení barev:
 - šedotónové
 - různý rozsah barevných složek
 - tabulka barev
- Doplňové informace v souboru.

Datové formáty obrazu

BMP (Windows Bitmap)

- Svého času velmi rozšířený – Nativní formát programu Malování.
- Umožňuje kompresi, nemusí být vůbec komprimován.
- Zbytečně velký soubor.
- Jediná výhoda: Rychlé načtení.

Datové formáty obrazu

PNG (Portable Network Graphics)

- Barevný formát, bezztrátová komprese.
- Orientace na ilustrace na webu.
- Umožňuje vysoký počet barev a průhlednost.
- Velmi široká podpora v grafických programech.

Datové formáty obrazu

JPEG (Joint Photographic Experts Group)

- Barevný formát se ztrátovou kompresí.
- Orientace především na fotografie.
- Ztrátová komprese je založena na odstranění lidským okem nepostřehnutelných detailů.
- Volitelná úroveň komprese.
- Používá se i ke sdílení biomedicínských snímků.
- Z JPEG vychází formáty JPEG 2000 (mj. jiná metoda komprese).

Datové formáty obrazu

TIFF (Tag Image File Format)

- Původně souborový formát pro fax.
- Nyní formát se řadou volitelných možností.
- Komprese volitelně ztrátová i bezztrátová.
- Vhodný pro práci s velkoplošnou grafikou.
- Ujal se spíše v oblasti počítačové grafiky.
- Někdy bývá vyžadován např. do publikací.

Datové formáty obrazu

DICOM (Digital Imaging and COmmunications in Medicine)

- Vlastně nejde o soubor ale o komplexní datový rámec.
- Vyvinut pro přenos a ukládání biomedicínských informací.
- Vedle vlastního obrazu nebo videa zahrnuje i informace o pacientovi.
- Připouští několik způsobů komprese.
- Díky standardizaci je technicky poměrně nekomplikovaný přenos snímků mezi zdravotnickými zařízeními – PACS (Picture Archiving and Communication System).

Globální charakteristiky obrazu

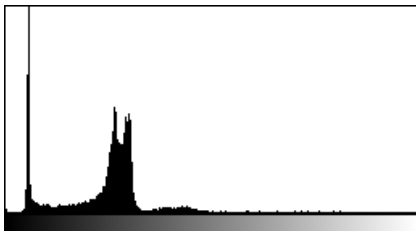
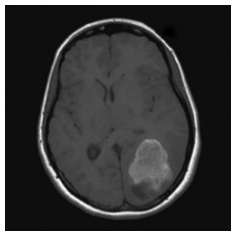
Jednoduché parametry

- Hloubka – počet bitů na jeden pixel.
- Dynamický rozsah – skutečné využití bitové hloubky. vzorec
- Jas – průměrná hodnota pixelů.
- Kontrast – rozptýlení hodnot pixelů.
- Pojmy jsou zavedeny pro šedotónové obrazy.
- V případě barevných obrazů je vše složitější, vyjádření trojice hodnot pro každou barvu z barevného modelu není vždy vhodné.

Globální charakteristiky obrazu

Histogram

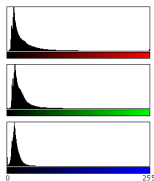
- Grafické znázornění četnosti jednotlivých barev (stupňů šedi).
- Rychlé vizuální posouzení kvality obrazu.



Globální charakteristiky obrazu

Histogram barevného obrazu

- Např. po složkách barevného modelu.

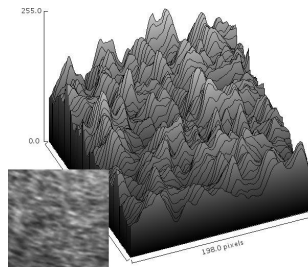
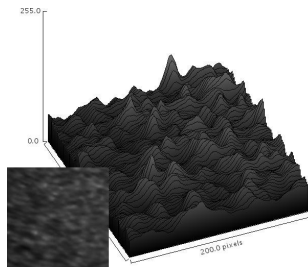


Count: 2132800
rMean: 35.17 rSD: 40.94 rMode: 12
gMean: 29.17 gSD: 32.07 gMode: 13
bMean: 18.90 bSD: 21.59 bMode: 13

Textura

Textura je když . . .

- Textura je zastřešující pojem kvalit jako je barva, homogenita, pravidelnost, hrubost, hladkost, . . .
- Existuje několik definic, ale ani jedna není obecně akceptovaná.



Textura

Texturní míry

- Texturní míra je číslo nějakým způsobem kvantifikující texturu.
- Texturu lze kvantifikovat různými přístupy, např.:
 - Statistický přístup.
 - Přístup založený na modelu.
 - Přístup založený na transformacích.
 - ...
- Využití kvantifikace textury:
 - Segmentace – hledání objektů.
 - Klasifikace – určení charakteru objektu.

Tvar

Ohraničení tvaru

- Manuálně – člověk přesně určí hranice.
- Poloautomaticky – člověk zhruba určí hranice, počítač vylepší.
- Automaticky – určení hranic bez asistence člověkem.
- Řada poměrně důmyslných algoritmů pro určení hranice.
- Určení hranice objektu bez asistence a bez apriorní znalosti o přibližném tvaru objektu je poměrně náročná úloha.
- Výsledky různých přístupů se mohou lišit.

Tvar

Popis tvaru

- Popis tvaru je obvykle komplikovaný.
- Obecný tvar:
 - počet pixelů, poměr obvodu a obsahu,...
 - Matematicky spíše více důmyslné postupy.
- Apriorní znalost o tvaru – lze vyjít z geometrie.
- Z popisu tvaru v řezu lze odhadovat objem – stereologie.

Operace s obrazem

Operace s histogramem

- Operace s každým bodem obrazu, definovaným způsobem mění histogram.
- Výsledek operace je pro každý pixel určen jen jeho hodnotou.
- Řada jednoduchých operací:
 - úpravy jasu,
 - úpravy kontrastu,
 - prahování,
 - okno,
 - ekvalizace histogramu.
- Vlivem zaokrouhování prakticky vždy ztráta informace.

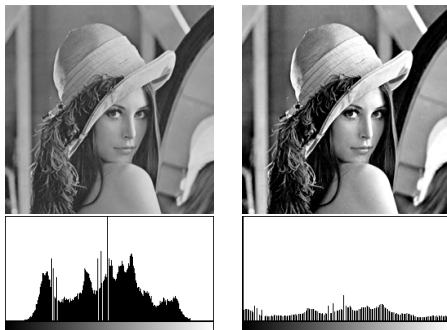
Operace s obrazem

Operace s histogramem: Přičtení konstanty



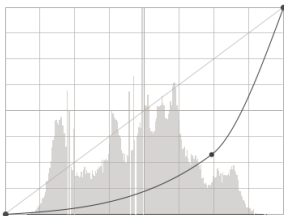
Operace s obrazem

Operace s histogramem: Násobení konstantou



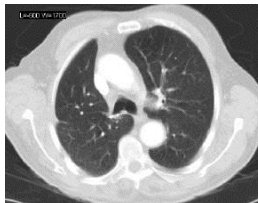
Operace s obrazem

Operace s histogramem: S křivka

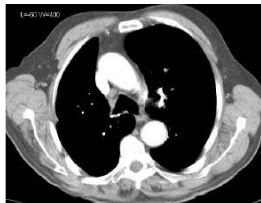


Operace s obrazem

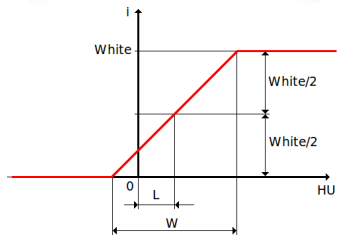
Operace s histogramem: Okno



(a)



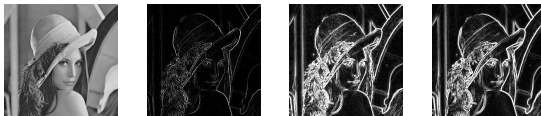
(b)



Operace s obrazem

Filtrování

- Lokální operace nahrazující pixel kombinací hodnot z jeho okolí.
- Okolím může být i jen jeden bod – např. prahování.
- Lineární filtry
 - Lineární kombinace hodnot z okolí.
 - Průměr, gradient, gausovské rozostření, . . .
 - Filtrace je rychlá, teoreticky nezáleží na pořadí filtrů.
- Nelineární filtry



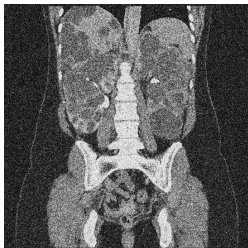
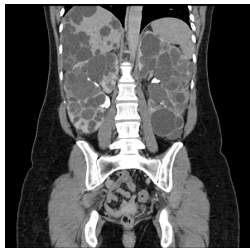
Operace s obrazem

Potlačení šumu

- Šum je nežádoucí informace, která se přidala k signálu.
- Šum je třeba potlačit nebo eliminovat.
- Šum má obvykle stochastický charakter:
 - Opakované pořízení snímku a průměr/medián pixel po pixelu.
 - Jeden snímek, podle charakteru filtr – průměr, medián, minimum, maximum, . . .
 - Potlačením šumu dochází i k větší či menší degradaci obrazu.
- Někdy šum nemá stochastický charakter, např. speckle.

Operace s obrazem

Potlačení šumu: Mediánový filtr



Operace s obrazem

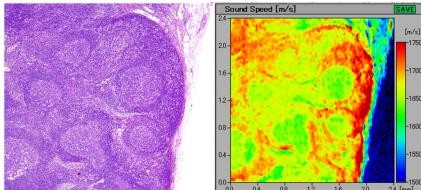
Kombinace obrazů

- Obrazy lze slučovat jako celky.
- Kombinace zpracovaného a nezpracovaného (viz předešlý)
- Kombinace snímků za různých podmínek nebo v různých modalitách:
 - DSA – rozdíl nativního RTG a RTG po podání kontrastu.
 - CT/PET – fúzní snímky výpočetní a pozitronové emisní tomografie.
 - Elektronový a konfokální mikroskop.
 - Elastografie.

Operace s obrazem

LUT (Look-Up Table)

- Lidské oko odliší v jedno snímku jen poměrně málo odstínů téže barvy.
- Pro zvýšení vnímaného rozsahu lze použít falešné barvy.
- Jasům se přiřazují barvy podle LUT.
- Omezené využití.



Sci Rep 2013 13;3:1255.

Operace s obrazem

Matematická morfologie

- Matematicky hutné a mocné nelineární filtry.
- Výpočetně náročné, proto četná zjednodušení.
- Základními operacemi jsou dilatace a eroze daným strukturním elementem.
- Z nich se odvozují další, např. otevření nebo uzavření.
- Granulometrické spektrum – měření velikosti částic v obraze.



Programy pro práci s obrazem

ImageJ

- Public domain.
- Napsaný v Javě, tedy multiplatformní.
- Spravuje National Institutes of Health (USA).
- Primárně zpracování mikroskopických snímků.
- Velké množství plug-in pro další a další funkce.



Programy pro práci s obrazem

Gimp

- GNU GPL.
- Porty pro Linux, Unix, Windows i Mac OS X.
- Standardní grafický program pro práci s obrazy.
- Vestavěné filtry vč. možnosti definovat si vlastní lineární filtr.



Programy pro práci s obrazem

Octave

- GNU GPL.
- Porty pro Linux, Unix, Windows i Mac OS X.
- Jde vlastně o programovací jazyk vyšší úrovně.
- Výrazná kompatibilita s matlabem.
- Jazyk orientovaný na práci s maticemi.
- Knihovna pro práci s obrazy.



Literatura

- <http://www.med.muni.cz/biofyz/Image/>
- G. Dougherty: Digital image processing for medical applications. CUP 2009
- R. C. Gonzales, R. E. Woods: Digital image processing. Pearson Prentice Hall 2008
- D. Martišek: Matematické principy grafických systémů. Littera 2002
- L. Velho a kol.: Image processing for computer graphics and vision. Springer 2008
- J. Žára a kol.: Moderní počítačová grafika. Computer Press 2004

Take home message

- 1 S obrazovými daty lze provádět řadu netriviálních operací.
- 2 Pokud se do toho chceme pustit, je dobré si přizvat odborníka.
- 3 Úpravami se do obrazu nedoplní informace, která tam už nebyla. Může se pouze nějaká informace ztratit.

Děkuji za pozornost

Prostor pro dotazy



Jean-François de Troy: Lecture dans un salon ou La lecture de Molière

