

10.1.2013, Brno Připravil: Václav Sebera, Martin Brabec

Předmět: Zpracování obrazu pro úlohy dřevařského inženýrství

# Proces pořízení obrazu



VZDĚLÁVÁNÍ

ROZVOJE

00

NVESTICE





Mendelova univerzita v Brně



### Obsah

- a) Vznik snímku
- b) Transformace reálné scény na optický obraz (optické čočky, fotografické objektivy)
- c) Transformace optického obrazu na elektronický analogový obraz (snímací senzory, lidské oko)
- d) Transformace elektronického analogového obrazu na elektronický digitální obraz (zesilovač, A/D převodník)
- e) Výpočet (rekonstrukce) digitálního obrazu



DO ROZVOJ





univerzita v Brně

### Vznik snímku - obecně

 Snímek vzniká tak, že na objekt dopadne elmag. energie (světlo, mikrovlna), tak se od objektu odrazí a přes "čočku" dopadne na plochu snímače (plátno, CCD apod.)







### Vznik snímku - obecně

 Snímek vzniká tak, že na objekt dopadne elmag. energie (světlo, mikrovlna), tak se od objektu odrazí a přes "čočku" dopadne na plochu snímače (plátno, CCD apod.)





strana 5

#### Proces pořízení obrazu







NVEST



# Transformace reálné scény na optický obraz

2) Parametry čoček









strana 8



#### strana 9



Wikimedia commons

Transformace reálné scény na optický obraz – optické čočky –



Wikimedia commons

4) Princip funkce čoček

a) Význačné paprsky -> 1. prochází předmětovým ohniskem

- → 2. prochází optickým středem
- $\rightarrow$  3. prochází obrazovým ohniskem









#### Transformace reálné scény na optický obraz – optické čočky –

c) Konstrukce obrazu tenkými rozptylkami







## na optický obraz – optické čočky –







Mendelova univerzita v Brně

#### Transformace reálné scény na optický obraz – fotografické objektivy –

1) Skladba objektivů – více čoček různého druhu za sebou

CHOVÁNÍ JAKO TLUSTÉ ČOČKY

- 2) Parametry objektivů
- a) Předmětová rovina → kolmá na optickou osu, leží na ní předmět
- b) Obrazová rovina  $\rightarrow$  kolmá na optickou osu, leží na ní obraz
- c) Aperturní clona  $\rightarrow$  destička s výřezem omezující průchodnou plochu čoček
- d) Clonové číslo (F-číslo, světelnost) -> poměr obr. ohniskové vzd. a průměru clony



Košťál (1979)



e) Hloubka zaostření – interval povolených posunů obrazové roviny, které způsobí změnu velikosti obrazu o maximálně jednu světlocitlivou buňku na snímači

f) Hloubka pole – interval povolených posunů snímaného předmětu, které způsobí změnu velikosti obrazu o maximálně jednu světlocitlivou buňku na snímači







## Transformace reálné scény na optický obraz

- fotografické objektivy -







Mendelova univerzita v Brně





g) Kruh rozostření (rozptylový kroužek) – interval variability velikosti předmětu na obrazové rovině – max. průměr = velikost světlocitlivé

buňky na snímači

h) Faktory ovlivňující hloubku zaostření a hloubku pole – průměr aperturní clony

- ohnisková vzdálenost
- rozlišení senzoru





#### 3) Druhy objektivů



strana 18



Definice senzoru – světločivný (světlocitlivý) prvek

- matice světlocitlivých buněk
- materiál → křemíková fotodioda
- také "snímací čip"



Zmeškal et al. (2002)

- 2) Parametry senzorů
- a) Velikost senzoru reálné rozměry senzoru v mm nebo palcích
  - délka úhlopříčky (kompakty) nebo délka × šířka (zrcadlovky)

Zmeškal et al. (2002)

– poměr stran 4:3, 3:2, 16:9



Mendelova univerzita v Brně

#### Skutečná úhlopříčka je asi 2/3 z uváděné hodnoty (Kompakty)

Rozsah úhlopříček: 5 – 69,7 mm

EVFOPBRA UNE





b) Nominální rozlišení senzoru – počet všech světlocitlivých buněk na senzoru

- včetně technických světlocitlivých buněk

Ostrost

– v milionech buněk

c) Efektivní (reálné) rozlišení senzoru – maximální počet obrazových bodů na fotce – 85 – 90 % nominálního rozlišení

d) Dynamický rozsah senzoru – poměr nejnižšího a nejvyššího zachytitelného





signálu jednou světlocitlivou buňkou
podíl nejsvětlejšího a nejtmavšího obrazového bodu, který je schopen přístroj zachytit

- 1:1000











e) Citlivost senzoru – poměr mezi rozsahem uvolněných a rozsahem zpracovávaných elektronů

- citlivost se mění přestavováním rozsahu A/D převodníku
- jednotky ve standardu ASA dnešní ISO (50 6400)





2) Princip funkce snímacích senzorů

#### a) Fotoelektrický jev

- dopadající fotony elektromagnetického záření jsou pohlcovány v atomových obalech, kde předávají energii elektronům
- po příjmu energie elektrony přeskakují na vyšší energetickou hladinu, tj. dále od jádra atomu (excitovaný stav)
- elektrony v nejvyšších energetických hladinách se po příjmu energie fotonu uvolní do okolí





Mendelova

univerzita v Brně



2) Princip funkce snímacích senzorů

Vnější fotoelektrický jev fotoelektrony po uvolnění z atomových obalů opouštějí látku (fotoemisní princip)



Některé druhy kovů s nízkou ionizační energií (Zinek)

Schmid (2011)

Vnitřní fotoelektrický jev fotoelektrony po uvolnění z atomových obalů neopouštějí látku (fotovodivostní princip)



Polokovy s funkcí polovodičů (Křemíková fotodioda)



Mendelova univerzita v Brně



2) Princip funkce snímacích senzorů
b) Plnění světlocitlivé buňky fotoelektrony – během expozice snímače se



 během expozice snímače se fotoelektrony hromadí v buňce a vytváří tak elektrický náboj

Plnící kapacita světlocitlivé buňky maximální počet fotoelektronů, které mohou být ve světlocitlivé buňce zachyceny

#### Faktor plnění světlocitlivé buňky (Fill Factor)

poměr velikosti světlocitlivé plochy v buňce k celé ploše buňky



NVESTI

Mendelova univerzita v Brně



2) Princip funkce snímacích senzorů

c) Blooming – přetečení fotoelektronů do sousedních světlocitlivých buněk – přeplnění buňky → přeexponová buňka → přepálený pixel





2) Princip funkce snímacích senzorů
d) Spěr náboje ze světlocitlivých buněk – po

d) Sběr náboje ze světlocitlivých buněk – po ukončení expozice se odvádí (vyčítá) naakumulovaný náboj přes zesilovač a A/D převodník do obrazového procesoru

Systém postupného vyčítání náboje náboj je posunován po jednotlivých buňkách do sběrnic

#### e) Tvorba analogového signálu

- náboje odvedené z jednotlivých světlocitlivých buněk jsou řazeny těsně za sebou a vedle sebe
- vznikne spojitý analogový signál obrazové funkce

Mendelova univerzita v Brně Systém jednorázového vyčítání náboje náboj je vyčten ze všech buněk najednou





- 2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem
- velikost náboje ze světlocitlivé buňky je interpretována jako úroveň jasu (hodnota obrazové funkce) bez identifikace barvy
- pro možnost zpětné rekonstrukce (zobrazení) barvy určitým zařízením je třeba barvu exaktně definovat
- barva jako komplex více složek exaktně definovat nelze, avšak její základní složky ano, je tedy třeba světelný signál před dopadem na světlocitlivou plochu rozložit na základní složky a snímat je odděleně
- výsledná barva je pak složena ze základních složek snímaných odděleně
- rozklad a zpětné skládání barev se provádí podle barevných modelů





2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem

a) Barevné modely

Model RGB(A) – aditivní skládání barev (nejvyšší hodnoty – bílá barva)

- snímání barevného obrazu a zobrazování na monitoru













Wikimedia Commons



2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem

- Model HLS modifikace HSV modelu
  - počítačová grafika, tiskařství, kartografie
  - luminační složka → L (Lightness Světlost)
  - chrominační složka → S (Saturation Sytost)
    - → H (Hue Barevný tón)





Wikimedia Commons





Mendelova univerzita v Brně



2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem Munsellův model – 1905, přepracování 1993

- průmysl, farmacie, psychologické testy
- luminační složka → L (Lightness Světlost)
- chrominační složka → S (Saturation Sytost)
  - $\rightarrow$  H (Hue Barevný tón)





Mendelova univerzita v Brně



Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019

Wikimedia Commons





2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem Model CIE L\*a\*b (L\*u\*v) – základem chromatický diagram

- používá se jako referenční model, Photoshop
- luminační složka  $\rightarrow$  L (Luminance Jas)
- chrominační složka  $\rightarrow$  a (pozice mezi  $\check{C}$  a Z)
  - $\rightarrow$  b (pozice mezi Ž a M)







strana 34

#### Transformace optického obrazu na elektronický analogový obraz – snímací senzory –

2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem
 Chromatický diagram CIE Yxy – 1931, nerovnoměrnost přechodů mezi barvami
 Chromatický diagram CIE Yu'v' – 1976, nerovnoměrnost odstraněna

- luminační složka  $\rightarrow$  Y (Jas)
- chrominační sl.  $\rightarrow$  x(u'), y(v') (Souřadnice barvy)

Pozn.: Chromatické diagramy zobrazují pouze odstín a sytost, informace o jasu chybí.





2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem Barevný gamut – udává rozsah barev zobrazitelný určitým barevným modelem

- sestavuje se také pro různá zobrazovací zařízení
- referenční hodnota je dána schopnostmi lidského vidění (SP\*)









- 2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem
- b) Technické řešení rozkladu dopadajícího světelného záření
- pokud dopadá na snímač nijak neupravené světlo je zachycována pouze luminační složka barvy (jas, světlost, intenzita)
- oddělení barevného tónu a sytosti ze světelného záření je v současné době technicky nemožné, proto je třeba využít barevný model RGB nebo CMY, u kterého stačí světelné záření rozložit pouze na chrominační složky, tj. 3 základní barvy
- rozklad světla na základní barvy je řešen předsazením speciálního prvku



- i) Jednovrstvý barevný filtr (maska)
- ii) Vícevrstvý barevný filtr
- iii) Polopropustný optický hranol (zrcadlo)






# 2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem Jednovrstvý barevný filtr (Bayerova maska)

- rozdělen do políček, která mají tvar a velikost podle tvaru světlocitlivých buněk
- průhledný materiál v barvě, která má přes filtr projít (R, G, B)
- šachovnicovité uspořádání políček, poměr mezi počtem políček R:G:B = 1:2:1
- dvojnásobný počet G políček odpovídá reálnému poměru světlocitlivých buněk v oku







2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem
Jednovrstvý barevný filtr (Bayerova maska)
– speciální typy Bayerových masek RGB + W





speciální typy Bayerových masek RGB + C a CMY + G







Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019



Wikimedia Commons



strana 38





2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem
Jednovrstvý barevný filtr (časově proměnná maska)
– během expozice se vystřídají 3 barevné filtry



strana 39

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



strana 40

### Transformace optického obrazu na elektronický analogový obraz – snímací senzory –

#### 2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem Vícevrstvý barevný filtr

- všechna políčka v jedné vrstvě pohlcují pouze jednu barvu → celkem 3 vrstvy
- průhledný materiál se speciálními absorpčními vlastnostmi (křemíková fotodioda)
- spektrum pohlcované vlnové délky se mění s tloušťkou materiálu
- stejný princip jako u klasických kinofilmů





# Transformace optického obrazu na elektronický analogový obraz

#### – snímací senzory –

# 2) Princip sejmutí barvy obrazovým senzorem Rozklad pomocí optického hranolu (zrcadla)

- světlo se po průchodu polopropustným hranolem rozštěpí na 3 složky (R,G,B)
- jednotlivé složky (paprsky) jsou pomocí zrcadel odkloněny do různých směrů
- každý paprsek má svůj snímací senzor $\rightarrow 3$  snímací senzory
- snímání světelných paprsků všech barev probíhá zároveň





Mendelova

univerzita v Brně

### Transformace optického obrazu na elektronický analogový obraz – snímací senzory –

3) Konstrukce snímacích senzorů

#### a) Charged-Coupled Device (CCD)

- zařízení s vázannými náboji
- vynalezen v Bellových laboratořích v roce 1969
- 70. léta  $\rightarrow$  kamery, 80. léta  $\rightarrow$  astrofyzikální dalekohledy, digitální fotoaparáty
- vyráběn unikátní metodou, rozdílnou od ostatních integrovaných obvodů

#### Uspořádání světlocitlivé buňky CCD

- tvar → čtverec, obdélník, osmiúhelník
- prvky  $\rightarrow$  Schottkyho fotodioda + izolační oxidová vrstva
  - $\rightarrow$  3 hliníkové elektrody (katody) + 1 emisní anoda
  - → mikročočka (mikroobjektiv)

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019



Wikimedia Commons





## Transformace optického obrazu na elektronický analogový obraz

#### – snímací senzory –

#### 3) Konstrukce snímacích senzorů Celkové uspořádání senzoru CCD

- senzor obsahuje světlocitlivé buňky a posuvné registry
- ostatní prvky (napájení, řídící obvody, zesilovač, A/D převodník) jsou usazeny na oddělené desce s plošnými spoji
- světlocitlivé buňky mohou být uspořádány v jedné řadě nebo v plošné matici





3) Konstrukce snímacích senzorů

Celkové uspořádání senzoru CCD

Lineární senzor CCD – jednořádkový snímací senzor

- třetí rozměr nahrazen pohybem senzoru nebo objektu

Skener





3) Konstrukce snímacích senzorů Celkové uspořádání senzoru CCD

Plošný senzor CCD – mnonořádkový snímací senzor

- pří snímání se senzor nepohybuje

Wikimedia Commons





Mendelova univerzita v Brně

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019





#### 3) Konstrukce snímacích senzorů

#### Způsoby vyčítání náboje ze senzoru CCD

- princip posouvání náboje  $\rightarrow$  po ukončení expozice je na 1-elektrody přivedeno kladné napětí

→ následuje plynulé snižování napětí na 1-elektrodách a současně zvyšování napětí na 2-elektrodách

 $\rightarrow$  proces se opakuje na dalších dvojicích elektrod (2 a 3)









# Transformace optického obrazu na elektronický analogový obraz

#### – snímací senzory –

## 3) Konstrukce snímacích senzorů

Způsoby vyčítání náboje ze senzoru CCD

(Interline Transfer)

Mendelova

univerzita v Brně

Progresivní sken → plocha buňky je rozdělena na světlocitlivou a registrační oblast → po ukončení expozice se náboj přesune do registrační části

→ všechny pomocné registry se vyčítají současně

 $\rightarrow$  elektronická závěrka umožňuje extra krátké expoziční časy → technologicky složitější – vyšší výrobní cena



Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019







#### 3) Konstrukce snímacích senzorů Způsoby vyčítání náboje ze senzoru CCD

Prokládaný sken → mezi řádky vsazeny pomocné registry (mezipaměti)

(Interlaced Scan)

- → nejprve se vyčítají liché a poté sudé řádky
- $\rightarrow$  nejnižší rychlost a ostrost výsledného obrazu
- → nevyžaduje mechanickou závěrku





#### 3) Konstrukce snímacích senzorů Způsoby vyčítání náboje ze senzoru CCD

Plošný sken → matice světlociltivých buněk + matice paměťových buněk (registr)

(Frame Transfer)

→ náboje ze všech buněk se přesunou do registru najednou

 $\rightarrow$  následuje vyčítání nábojů z pomocného do hlavního registru

→ vrstvy odděleny neprůhlednou vrstvou – nevyžaduje závěrku





Super CCD SR 5-Pixel high sensitivity

#### 3) Konstrukce snímacích senzorů Vývojové řady senzorů CCD

Classic CCD - čtvercové nebo obdélníkové buňky Super CCD - osmiúhelníkové buňky - lepší pokrytí plochy buňkami

. SUPER CCD







Wikimedia Commons

Super CCD HR, SR - možnost jiného nastavení základní a přídavné buňky - možnost virtuálního sloučení základní a přídavné buňky

uper CCD SR

Super CCD EXR - nová maska - možnost jiného nastavení lichých a sudých buněk - možnost virtuálního sloučení sousedních buněk



Wikimedia Commons



- 3) Konstrukce snímacích senzorů
- b) Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)
- doplňující se kov-oxid polovodič
- vynalezen v roce 1963 (Frank Wanlass)
- zpočátku zrcadlovky, v současnosti i kompakty
- konstrukčně velmi složitý, ale vyráběn průmyslově



- $\, tvar \rightarrow \check{c}tverec$
- prvky  $\rightarrow$  fotodioda + silikonový substrát
  - $\rightarrow$  integrované obvody (MOS transistory)
  - → mikročočka (mikroobjektiv)



Wikimedia Commons







#### 3) Konstrukce snímacích senzorů Celkové uspořádání senzoru CMOS

- každá buňka má část potřebné elektroniky (zesilovač, atd.) přímo v buňce
- ostatní elektronické obvody jsou rozmístěny vedle světlocitlivých buněk
- stejně jako v případě CCD mohou být snímače jednořadé nebo víceřadé





#### 3) Konstrukce snímacích senzorů Způsob vyčítání náboje ze senzoru CMOS

náboj je přímo v každé buňce převeden pomocí zesilovače na napětí

- každá buňka má svůj registr  $\rightarrow$  adresace polohy v matici buněk [x,y]



strana 54



3) Konstrukce snímacích senzorů Vývojové řady senzorů CMOS



strana 55



#### 3) Konstrukce snímacích senzorů Srovnání CCD a CMOS senzorů

Senzory CCD	Senzory CMOS
Malý dynamický rozsah (blooming)	Velký dynamický rozsah
Vysoká spotřeba energie	Nízká spotřeba energie (asi 2 % CCD)
Nízká hladina šumu	Vyšší hladina šumu (PPS)
Výrobně jednodušší ale dražší	Složitá konstrukce ale levné
Postupné čtení (nízká rychlost)	Přímé čtení buněk (vysoká rychlost)



Mendelova univerzita v Brně



#### 3) Konstrukce snímacích senzorů

- c) Použití mikročoček (mikrobjektivů)
- světlocitlivou plochu zmenšují u CCD čipů elektrody a u CMOS čipů obvody
- soustředění světelných paprsků na světlocitlivou plochu buněk zajišťují mikročočky





3) Konstrukce snímacích senzorů c) Reálná podoba snímacího senzoru





Wikimedia Commons



strana 59

1) Definice zesilovače – zařízení pro změnu citlivosti snímače





- 2) Princip funkce zesilovače
- roztáhnutím původního rozsahu se také zvýší podíl šumu z celkového rozsahu analogového signálu
- při dvojnásobném zvětšení citlivosti se zdvojnásobí počet úrovní, které budou klasifikovány jako šum





Mendelova univerzita v Brně

## Transformace elektronického analogového obrazu na elektronický digitální obraz – A/D převodník –

1) Definice A/D převodníku – Analog/Digital Converter – zařízení pro převod spojitého signálu na diskrétní

2) Princip funkce A/D převodníku – proces digitalizace probíhá dvoufázově  $\rightarrow$  1. vzorkování signálu  $\rightarrow$  2. kvantování vzorků

#### a) Vzorkování analogového signálu

- technicky není možné reálný spojitý obraz zaznamenat a uložit
- diskretizovaný obraz s konečným počtem intervalů (vzorků) zaznamenat a uložit lze
- interval (vzorek) je reprezentován pouze jednou zástupnou hodnotou





#### a) Vzorkování analogového signálu

Vzorek – úsečka (1-D) × plocha (2-D) × element (3-D) Vzorkovací perioda – velikost vzorku (délka úsečky × obsah plochy × objem elementu) Vzorkovací frekvence – počet vzorků na jednotku (délky × plochy × objemu)

- převrácená hodnota vzorkovací periody





# Transformace elektronického analogového

# obrazu na elektronický digitální obraz – A/D převodník –

#### a) Vzorkování analogového signálu

- "první vzorkování obrazu" je dáno konstrukcí snímače, potom tedy platí:

Nejmenší vzorek – dle velikosti světlocitlivé buňky snímače Nejmenší vzorkovací perioda – dle obsahu plochy buňky Nejvyšší vzorkovací frekvence – dle počtu buněk na jednotku plochy snímače



strana 63



#### a) Vzorkování analogového signálu

Shannonův teorém – pravidlo pro vytvoření obrazu odpovídajícího skutečnosti



- stanovuje minimální vzorkovací frekvenci, která musí být alespoň dvojnásobná než frekvence ostrých přechodů reálného obrazu
- jeden element daného vzoru musí být sejmut alespoň dvěma světlocitlivými buňkami snímače
- maximální vzorkovací frekvence je dána rozlišením snímače

Wikimedia Commons



Mendelova univerzita v Brně

Pozn.: V obraze jsou opakující se ostré přechody reprezentovány nějakým vzorem.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019





v Brně

## Transformace elektronického analogového obrazu na elektronický digitální obraz – A/D převodník –

#### a) Vzorkování analogového signálu

Aliasing – vytváření neexistujících objektů v obraze

- vzniká při neplnění Shannonova teorému (nedostatečné rozlišení snímače)
- časový aliasing (záznam zvuku nebo videa)  $\rightarrow$  opačně se točící kolo auta
- prostorový aliasing (záznam obrazu)  $\rightarrow$  moire × jaggies

Mendelova univerzita Wikimedia Commons Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019





Mendelova univerzita v Brně

strana 66

## Transformace elektronického analogového obrazu na elektronický digitální obraz – A/D převodník –

a) Vzorkování analogového signálu



Gonzales (1992)

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019





Aliasing jaggies





#### a) Vzorkování analogového signálu

Převzorkování obrazu – změna velikosti původního vzorku  $\rightarrow$  změna počtu pixelů (Pixelizace) – snížení rozlišení obrazu  $\rightarrow$  z více pixelů se stane jeden

– zvýšení rozlišení obrazu → původní pixel se rozdělí na menší

Wikimedia Commons

Mendelova univerzita v Brně



Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019

VESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁN



#### a) Vzorkování analogového signálu

Vzorkovací mřížky – určují tvar pixelů, nejvhodnější pro další zpracování je čtvercová





trojúhelníková

kombinace



Wikimedia Commons

Wikimedia Commons







Wikimedia Commons



Mendelova univerzita v Brně

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019



#### a) Vzorkování analogového signálu

Vzorkovací mřížky – určují tvar pixelů, nejvhodnější pro další zpracování je čtvercová







Wikimedia Commons



Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019



#### b) Kvantování vzorků

- po navzorkování signálu má každý vzorek jinak velký elektrický náboj (jas)
- variační rozpětí hodnot, kterých může náboj nabývat je dán dynamickým rozsahem snímače (např. 45 000 jednotek)
- tak velké rozpětí je třeba snížit (nakvantovat) na technicky zvládnutelnou hodnotu pro uložení (max. kolem 4096 kvantovacích úrovní)





v Brně

### Transformace elektronického analogového obrazu na elektronický digitální obraz – A/D převodník –

#### b) Kvantování vzorků

- optimální počet kvantovacích úrovní se stanoví dle podílu nejnižší a nejvyšší hodnoty náboje, kterou je snímač schopen správně zaznamenat (např. 1:1000, potom je optimální počet kvantovacích úrovní 1000)
- každé kvantovací úrovni odpovídá určitý počet původních velikostí náboje



Pratt (2007)

Příklad: Dynamický rozsah snímače je 79900 jednotek, přičemž nejnižší zaznamenatelná hodnota je 80 a nejvyšší 80 000 jednotek. Podíl nejnižší a nejvyšší hodnoty je 80:80000 = 1:1000 → 1000 kvantovacích úrovní. První kvantovací úroveň bude tedy společná pro prvních 80 (80000/1000) jednotek.





<u>Μ</u>



Mendelova univerzita

v Brně

### Transformace elektronického analogového obrazu na elektronický digitální obraz – A/D převodník –

#### b) Kvantování vzorků

- šířky kvantovacích intervalů mohou být stejné (uniformní kvantování) nebo různé
- počet kvantovacích úrovní udává ve výsledném obrazu počet úrovní jasu




#### b) Kvantování vzorků

Šířka A/D převodníku

- udávána v počtech bitů a určuje maximální počet kvantovacích úrovní, které je schopen převodník nakvantovat
- digitalizovaný obraz se ukládá v binárním kódu (dvojková soustava)
- -1 bit = jedno číslo  $\rightarrow$  dva stavy 0 a 1 (dvě kvantovací úrovně)
- 2 bity = dvě čísla → čtyři stavy 00, 01, 10, 11 (čtyři kvantovací úrovně)
- obecně počet kvantovacích úrovní = 2<sup>počet bitů</sup>





#### b) Kvantování vzorků



strana 74



#### b) Kvantování vzorků

Kvantování při převzorkování

- snížení rozlišení obrazu metodou nejbližšího souseda (2  $\rightarrow$  1)
- nová hodnota podle jednoho z dvojice původních vzorků (pixelů)









#### b) Kvantování vzorků

Kvantování při převzorkování

- snížení rozlišení obrazu bilineární metodou (4  $\rightarrow$  1)

Wikimedia Commons

- nová hodnota podle průměru ze čtyř sousedních vzorků (pixelů)











#### b) Kvantování vzorků

Kvantování při převzorkování

- snížení rozlišení obrazu bicubickou metodou (16  $\rightarrow$  1)

Wikimedia Commons

- nová hodnota podle váženého průměru ze šestnácti sousedních vzorků (pixelů)











## Výpočet (rekonstrukce) digitálního obrazu obrazový procesor a paměťová jednotka –

### 1) Šedotónový obraz

pro výpočet pixelu v obraze stačí informace pouze z jedné světlocitlivé buňky

maximální rozlišení obrazu je téměř shodné s rozlišením senzoru

### 2) Barevný obraz

- pro výpočet jednoho pixelu jsou třeba informace minimálně ze čtyř buněk snímače

maximální rozlišení obrazu je významně menší než rozlišení senzoru

#### Každá buňka použita čtyřikrát



 $R_{max} = (m-1)^*(n-1)$ 

Wikimedia Commons



 $R_{max} = (m/2)^*(n/2)$ 

Každá buňky použita pouze jednou

Mendelova univerzita v Brně



### Výpočet (rekonstrukce) digitálního obrazu – obrazový procesor a paměťová jednotka –

- 3) Převod barevného obrazu na šedotónový obraz
- každé barvě je přiřazena určitá váha podle citlivosti lidského oka
- každý pixel ze čtveřice 2x2 pixely obdrží stejnou hodnotu jasu
- hodnota je spočítána jako vážený průměr ze čtyř pixelů



### f = 0,299\*R + 0,587\*G + 0,114\*B

Wikimedia Commons





Pozn.: Úroveň jasu ze dvou pixelů je zprůměrována a poté je jí přiřazena váha.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR Techdrev - CZ.1.07/2.2.00/28.0019

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





# Použitá a doporučená literatura

Fundamental algorithms for computer graphics. Springer study ed. Rae A. Earnshaw. Berlin [u.a.]: Springer, 1991, 1042 s... ACHARYA, Tinku a RAY, Image processing: principles and applications, Hoboken.; John Wiley, 2005, xx, 420 s. BRUCHANOV, Martin. Základy zpracování obrazů. Dostupné z: http://bruxy.regnet.cz BURGER, Wilhelm a Mark James BURGE. Digital image processing: an algorithmic introduction using Java. 1st ed. New York: Springer, c2008, xx, 564 s. DOBEŠ, Michal. Zpracování obrazu a algoritmy v C#. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 143 s. EKSTROM, Michael P. Digital image processing techniques, New York: Academic Press, 1984, xiii, 372 p., [1] leaf of plates, GALETKA, Marek. Obrazová analýza rovinného řezu pěnou. Zlín, 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. GONZALEZ, Rafael C. a Richard E. WOODS. Digital image processing. Reading, Mass.: Addison-Wesley, c1992, xvi, 716 p. HLAVÁČ, Václav a Miloš SEDLÁČEK. Zpracování signálů a obrazů. Vyd. 2. Praha: ČVUT, 2005, 255 s. HLAVÁČ, Václav a Milan ŠONKA. Počítačové vidění. Praha: Grada, 1992, 272 s. JÄHNE, Bernd, Practical handbook on image processing for scientific and technical applications, 2nd ed. Boca Raton; CRC Press, 2004, xiii, 610 s. JÄHNE, Bernd, Digital image processing: concepts, algorithms, and scientific applications, 6th rev. and extended. New York, NY: Springer, 2005, 607 s. JAIN, Anil K. Fundamentals of digital image processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, c1989, xxi, 569 p. JAYARAMAN, S., ESAKKIRAJAN a T. VEERAKUMAR. Digital image processing. New Delhi: Tata McGraw Hill Education, 2009, 723 s. KOPEČNÝ, Jan. Základy fyziky: Modul 4 - Optika a tomové jádro. Ostrava: VŠB. KORBÁŘOVÁ, A. Obrazová analýza. Praha: VŠCHT, 2007. KOŠŤÁL, R. Optické soustavy. SPN, 1979. LOW, Adrian. Introductory computer vision and image processing. New York: McGraw-Hill, c1991, xii, 244 p., [4] p. of plates. LUKÁŠ, Jan. Využití obrazové analýzy v rostlinolékařské praxi. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2008. MARCHAND-MAILLET, Stéphane a Yazid M. SHARAIHA. Binary digital image processing: a discrete approach. San Diego: Academic Press, 2000, 251 s. MILITKÝ, Jiří. Obrazová analýza a MATLAB. Liberec: TU, 2002. MIURA, Kota. Basics of Image Processing and Analysis. Heidelberg: Centre for Molecular & Cellular Imaging, 2012. MONTABONE, Sebastian. Beginning digital image processing using free tools for photographers. New York, NY: Apress, 2010, 312 s. PRATT, William K. Digital image processing: PIKS Scientific inside. 4th ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2007, 808 s. ROGERS, David F. a Rae A. EARNSHAW. Computer graphics techniques: theory and practice. New York: Springer-Verlag, c1990, 542 p. RUSS, John C. The image processing handbook. 6th ed. Boca Raton: CRC Press, 2011, xviii, 867 p. SERRA, J. Image analysis and mathematical morphology. English version. London: Academic, 1984, 610 s. SCHMID, Petr. Kamerové systémy: Snímání obrazu. Blatná: SOU Blatná, 2011, 5 s. SOJKA, Eduard, Digitální zpracování a analýza obrazů, 1. vvd. Ostrava; VŠB - Technická univerzita, 2000, 133 s. STRACHOTA, Pavel. Teorie signálu pro počítačovou grafiku. Praha: ČVUT, 2012. SVOBODA, Tomáš, Jan KYBIC a Václav HLAVÁČ. Image processing, analysis, and machine vision: a MATLAB companion. Toronto: Thomson, 2008, xi, 255 s. WOJNAR, Leszek. Image analysis: applications in materials engineering. Boca Raton, FL: CRC Press, c1999, 245 p. YADAV, Abhishak a Poonam YADAV. Digital Image Processing. India: Laxmi Publications, 2009, 224 s. ZMEŠKAL, O., M. JULÍNEK a T. BŽATEK. Obrazová analýza povrchu potiskovaných materiálů a potištěných ploch. Brno: VUT. ZMEŠKAL, O., O. SEDLÁK a M. NEŽÁDAL. Metody obrazové analýzy dat. Brno: VUT, 2002. Dostupné z: http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/harfa.htm

Mendelova univerzita v Brně

