Lesnická a dřevařská fakulta

26. 10. 2012, Brno

Připravil: Václav Sebera, Martin Brabec, Jan Baar

Předmět: Zpracování obrazu pro úlohy dřevařského inženýrství

Parametry digitálního obrazu

Mendelova univerzita v Brně

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obsah

Parametry digitálního obrazu (kvalita obrazu)

- Rozlišení obrazu
- Barevná hloubka obrazu
- Obrazové vady (artefakty)

Faktory ovlivňující kvalitu digitálního obrazu

- Parametry prostředí
- Parametry snímacího zařízení
- Komprese obrazu při ukládání
- Ukládací formáty

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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Parametry kvality digitálního obrazu

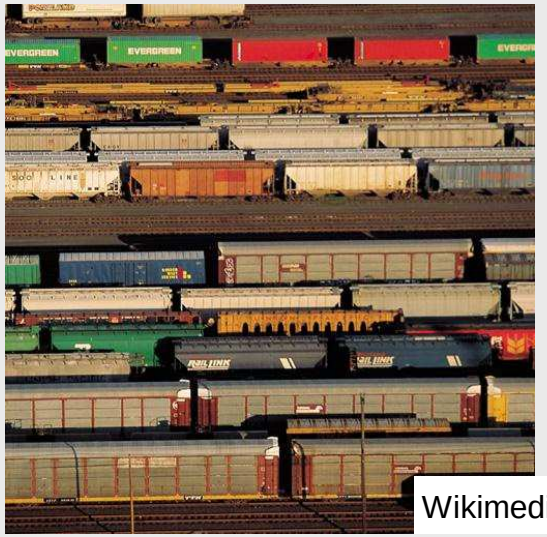
1) Kvalita obrazu

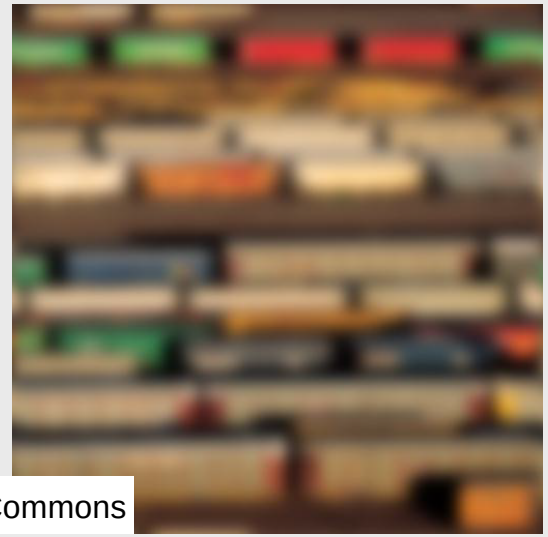
a) Kvalitní obraz z obecného pohledu

– přesné zobrazení skutečné scény, které stoprocentně odpovídá realitě

b) Kvalitní obraz z pohledu obrazové analýzy

– věrné zobrazení skutečné scény, které umožní získat potřebné informace





Wikimedia Commons

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

Parametry kvality digitálního obrazu

2) Parametry kvality obrazu

a) Rozlišení obrazu

– udává ostrost obrazu
– sleduje se na kontrastních přechodech → tloušťky kontrastních hran
– maximální rozlišení je dáno počtem světlocitlivých buněk na snímači
– s rostoucím rozlišením se zvyšuje počet diskrétních intervalů obrazové funkce
(digitální obraz se přibližuje analogovému)

256 × 256 128 × 128 64 × 64 32 × 32

Acharya a Ray(2005)

Mendelova univerzita v Brně

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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Parametry kvality digitálního obrazu

2) Parametry kvality obrazu

b) Barevná hloubka obrazu

– šedotónový obraz → udává počet odstínů šedi

– barevný obraz → udává počet odstínů R, G a B → počet možných kombinací

– maximální hloubka je dána šířkou A/D převodníku v bitech

– s rostoucí barevnou hloubkou se barvy na snímku přibližují realitě (omezení gamutem RGB)

Počet bitů na každý kanál	Počet možných barev každého kanálu	Počet bitů na celý pixel	Celkový počet barev pixelu
8	$2^8 = 256$	3*8 = 24	256^3 = 16,7 mil.
10	$2^{10} = 1\,024$	3*10 = 30	1024^3 = 1,07 mld.
12	$2^{12} = 4\,096$	3*12 = 36	4096^3 = 68,7 mld.
14	$2^{14} = 16\,384$	3*14 = 42	16384^3 = 4,4 bil.
16	$2^{16} = 65\,536$	3*16 = 48	65536^3 = 281,5 bil.

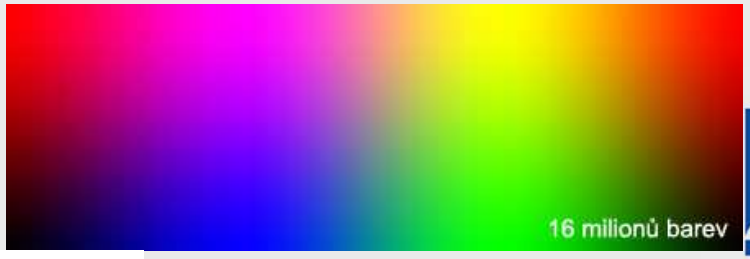
Pozn.: 1 odstín šedi/barvy = 1 kvantovací úroveň

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

Parametry kvality digitálního obrazu

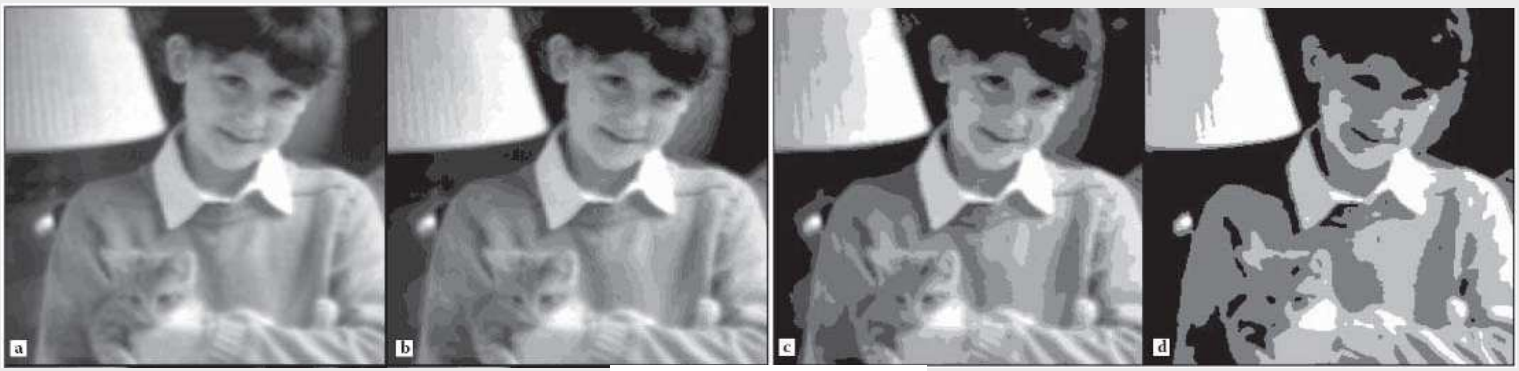
2) Parametry kvality obrazu

b) Barevná hloubka obrazu



Wikimedia Commons

5 bit = 32 odstínů 4 bit = 16 odstínů 3 bit = 8 odstínů 2 bit = 4 odstíny



Acharya a Ray (2005)

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

Parametry kvality digitálního obrazu

2) Parametry kvality obrazu

c) Přítomnost obrazových vad (artefaktů)

– neexistující objekty v obrazech

– příčiny → optické vady objektivu

→ nedokonalý senzor

→ digitální zpracování obrazu

– protiopatření jsou často kontraproduktivní

Aliasing	**Vinětace**
Posterizace	**Barevná vada**
Bludiště	**Blooming**
Halo	**Šum**
Odlesky	**Sférická vada**

Mendelova univerzita v Brně

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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Parametry kvality digitálního obrazu

c) **Přítomnost obrazových vad (artefaktů)**

Aliasing (falšování hran)

– příčina → nesplnění Shannonova vzorkovacího teorému ($f > 2*f_{max\ obrazu}$)

→ příliš velké vzorky (nedostatečné rozlišení senzoru)

– protiopatření → rozostření hran × snížení ostrosti obrazu

Aliasing jaggies

Jähne (2005)

Anti-aliasing jaggies

Jähne (2005)

Aliasing moire

Ekstrom (1984)

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

Parametry kvality digitálního obrazu

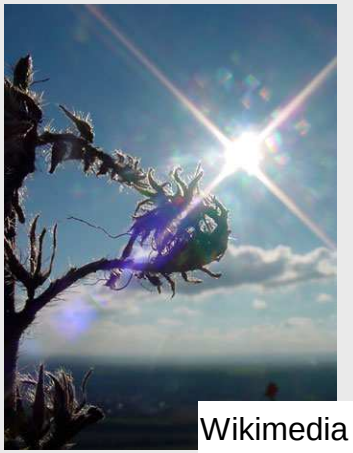
c) **Přítomnost obrazových vad (artefaktů)**

Odlesky (Lens flare)

– příčina → částečný odraz dopadajícího světla na optickém rozhraní vzduch-sklo

→ vzniká při osvětlení scény silnými bodovými zdroji světla

– protiopatření → antireflexní vrstvy na čočkách (Coating) × změna barev

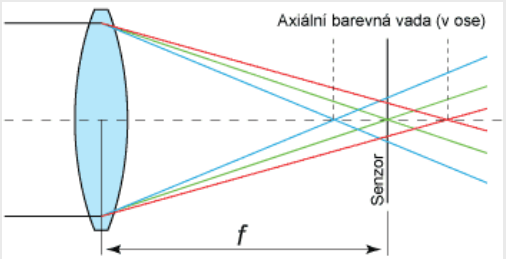


Wikimedia Commons

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

Parametry kvality digitálního obrazu

c) **Přítomnost obrazových vad**

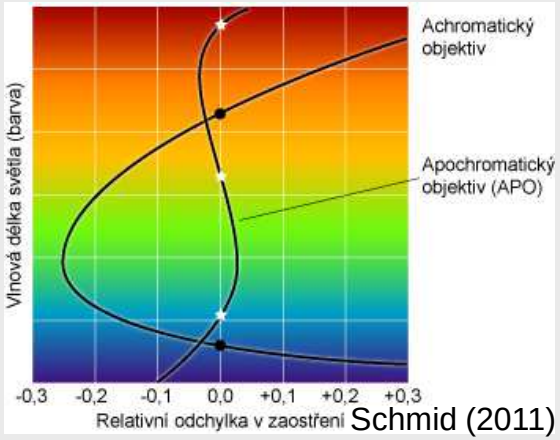


Košťál (1979)

Barevná vada (Chromatická aberace)

– příčina → různý index lomu čočky pro různé barevné složky světla
→ projevuje se rozostřením objektů a duhováním hran
→ výraznější u velkých ohniskových vzdáleností (telecentrické objektivy)

– protiopatření → různá kombinace optických čoček v objektivu



Schmid (2011)

Wikimedia Commons

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

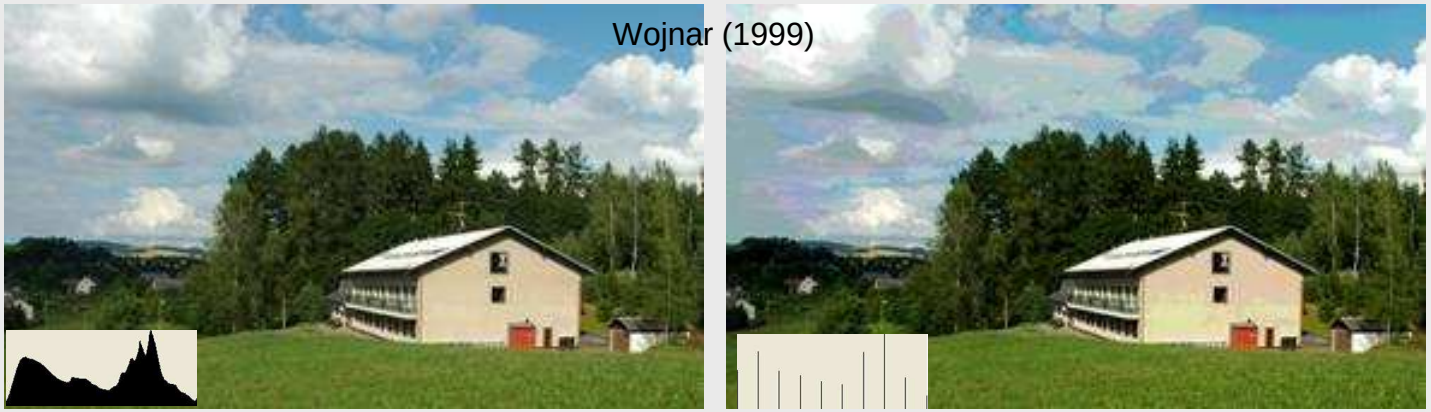
Parametry kvality digitálního obrazu

c) **Přítomnost obrazových vad (artefaktů)**

Posterizace

– příčina → příliš malá barevná hloubka obrazu
→ vzniká při neuvážené editaci pořízených snímků
→ projevuje se děravým histogramem jasové funkce obrazu

– protiopatření → ukládání obrazů ve formátech umožňujících vyšší barevnou hloubku



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

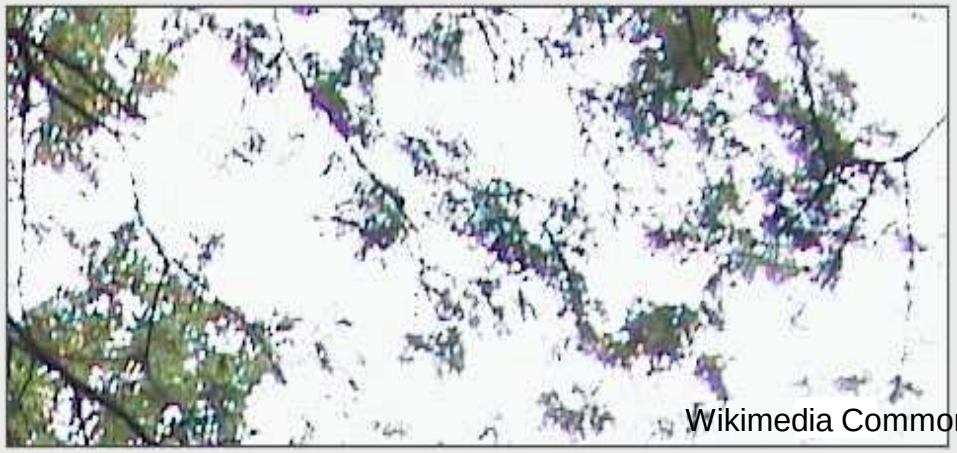
Parametry kvality digitálního obrazu

c) **Přítomnost obrazových vad (artefaktů)**

Přetečení pixelu (Blooming)

– příčina → příliš jasná scéna a/nebo příliš dlouhá doba expozice
→ vznikají přepálené (bílé) pixely
→ při snímání předmětů s jasným pozadím

– protiopatření → antibloomingové obvody



Wikimedia Commons

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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Parametry kvality digitálního obrazu

c) **Přítomnost obrazových vad (artefaktů)**

Bludiště (Maze, Gibbsův jev)

– příčina → pravidelné uspořádání buněk na senzoru
→ vzniká kombinací aliasingu moire a interního výpočtu obrazu

– protiopatření → rozostření obrazu

Miura (2012)

Miura (2012)

Miura (2012)

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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Parametry kvality digitálního obrazu

c) **Přítomnost obrazových vad (artefaktů)**

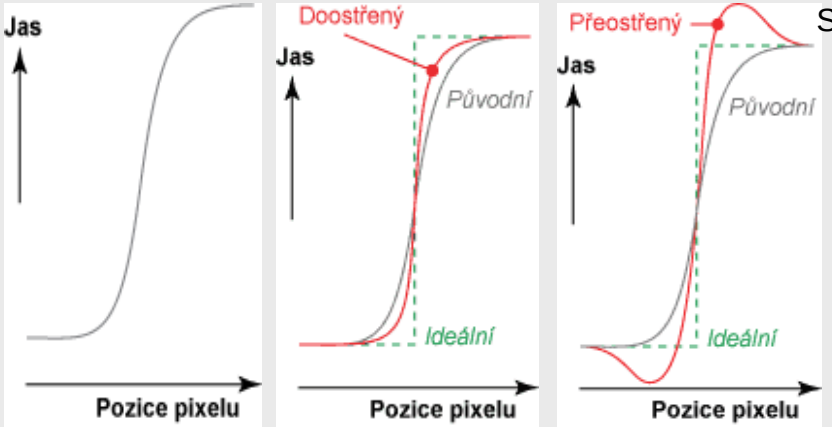
Halo (tvorba duchů okolo objektů)

– příčina → přílišný kontrast dvou sousedních pixelů tvořících hranu objektu

→ vzniká přeostřením obrazu při následné úpravě ve fotoaparátu nebo v PC,

kdy se zvyšují kontrasty pixelů tvořících hrany objektů

– protiopatření → ve fotoaparátu nastavit menší doostření a v PC opatrně dokončit



Strachota (2012)

Wikimedia Commons

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

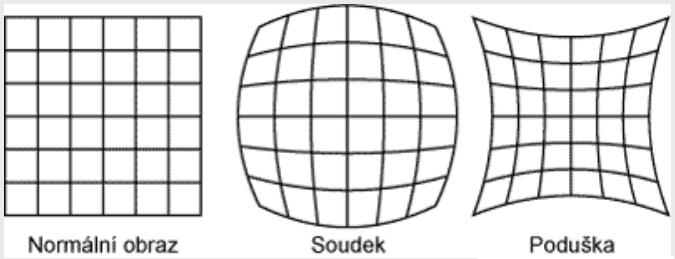
Parametry kvality digitálního obrazu

c) **Přítomnost obrazových vad (artefaktů)**

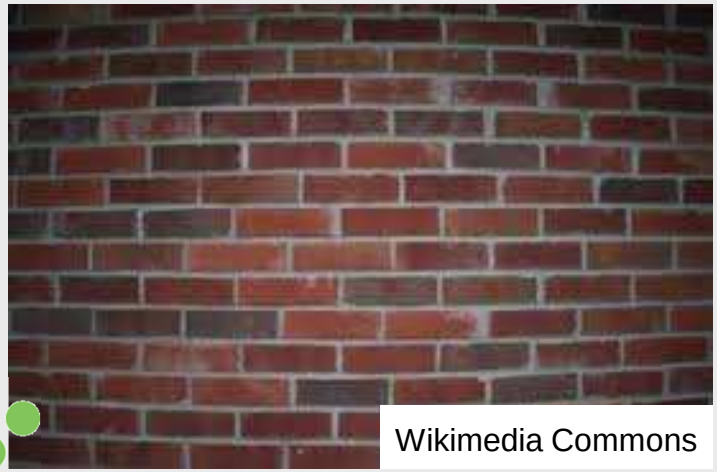
Sférická vada (Soudek × Poduška)

– příčina → sférické zakřivení povrchu optických čoček
→ pozorovatelné zejména v případě rovných hran v blízkosti okrajů obrazu

– protiopatření → následná úprava v PC



Bruchanov



Wikimedia Commons

Wikimedia Commons

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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Parametry kvality digitálního obrazu

c) **Přítomnost obrazových vad (artefaktů)**

Vinětace (Vignetting)

– příčina → nevhodná clona, příliš mnoho filtrů před objektivem
→ náchylnější jsou širokoúhlé a telecentrické objektivy
→ projevuje se snižováním jasu směrem od středu obrazu k okrajům

– protiopatření → následná úprava v PC, menší počet filtrů

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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Parametry kvality digitálního obrazu

c) **Přítomnost obrazových vad (artefaktů)**

Šum (Noise)

– definice → všechny fotoelektrony emitované z fotodiody jiným zdrojem než elektromagnetickým zářením ve viditelném spektru
→ tyto neúmyslně uvolňované elektrony zkreslují skutečnou intenzitu světla

– příčina → tepelný pohyb elektronů v krystalické mřížce fotodiody (teplotní šum)
→ silné elektromagnetické pozadí scény o různých spektrech (IR, UV)
→ poškozené světlocitlivé buňky senzoru
→ proces vyčítání obrazové informace ze světlocitlivých buněk senzoru
→ proces digitalizace obrazu

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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Parametry kvality digitálního obrazu

c) **Přítomnost obrazových vad (artefaktů)**

Šum (Noise)

– druhy šumu → teplotní šum (temnotní šum, barevná tma)
– má náhodné rozdělení v obraze a náhodnou intenzitu, vzniká i při zavřené závěrce

→ horké a studené pixely (salt and pepper)
– má náhodné rozdělení v obraze vlivem dopadu energetické částice (hot pixels) a vlivem vadných pixelů (cold pixels), vzniká jen při expozici

→ frekvenční šum
– periodicky se mění jeho intenzita v obrazu, vzniká jen při expozici

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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Parametry kvality digitálního obrazu

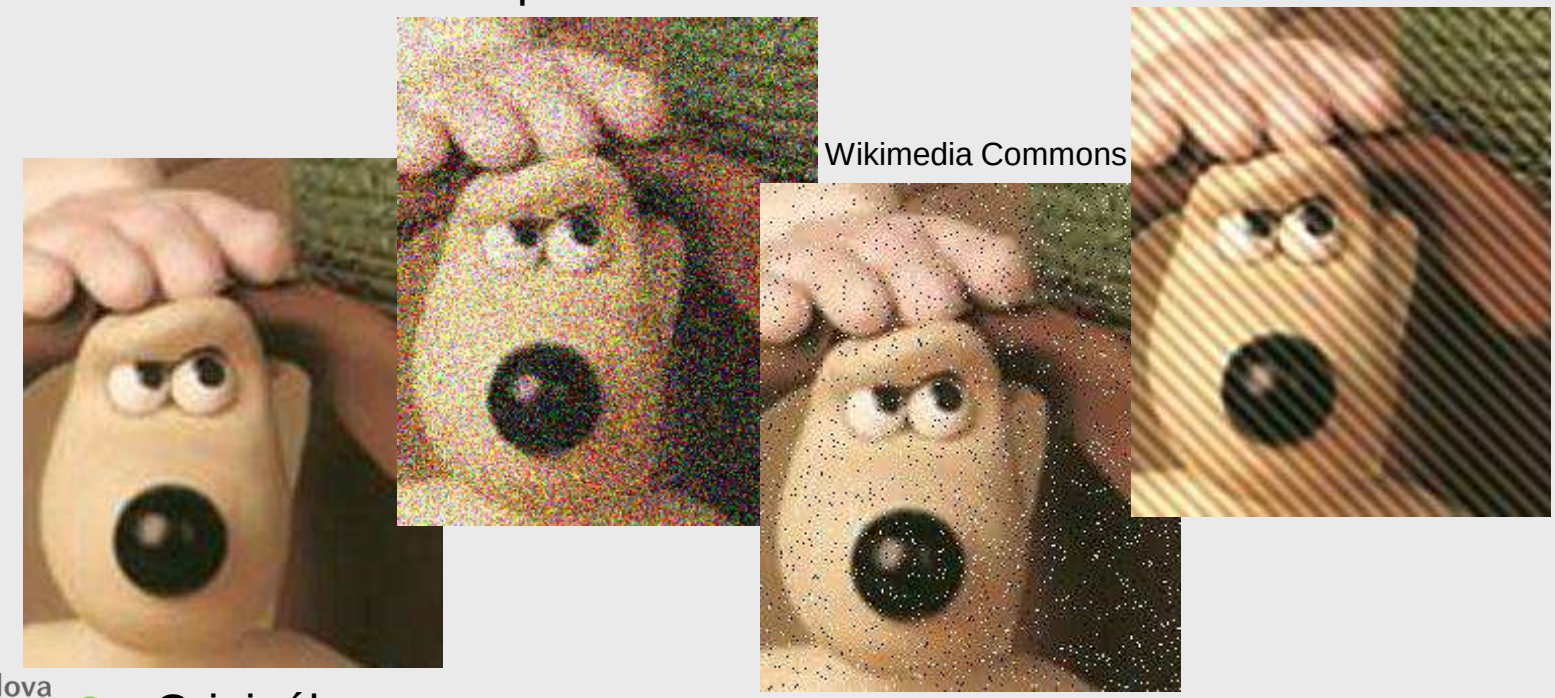
c) Přítomnost obrazových vad (artefaktů)

Šum (Noise)

– druhy šumu

Teplotní šum

Frekvenční šum



Wikimedia Commons

Originál

Salt and pepper šum

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

Parametry kvality digitálního obrazu

c) Přítomnost obrazových vad (artefaktů)

Šum (Noise)

– velikost šumu → poměr šumu a skutečného signálu (SNR – Signal to Noise Ratio)

S:N = 1:1 S:N = 10:1 S:N = 1:10

Militký (2002)

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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Parametry kvality digitálního obrazu

c) Přítomnost obrazových vad (artefaktů)

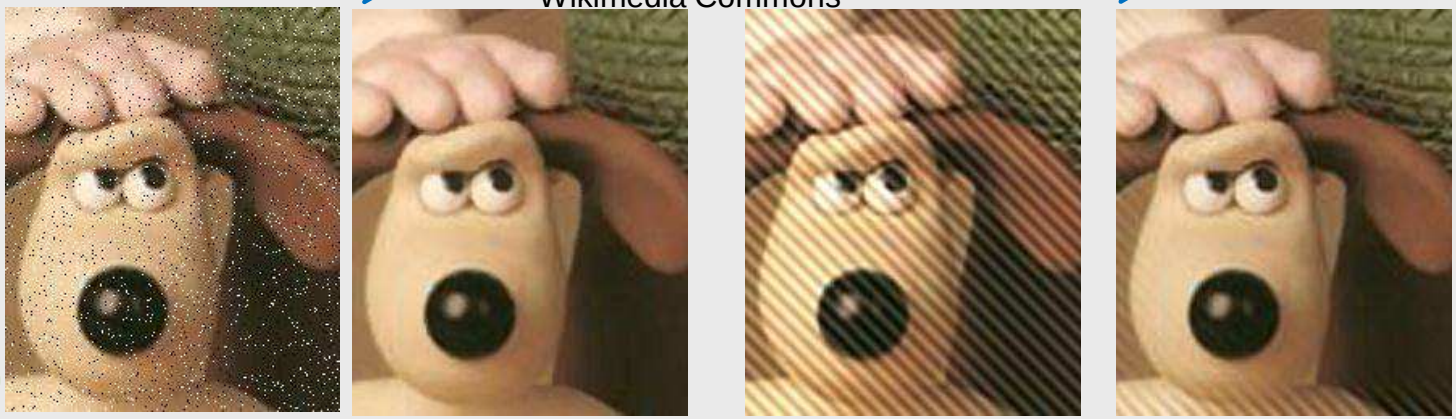
Šum (Noise)

– protiopatření → odstranit ze scény zdroje elektromagnetického záření jiných spekter, případně nefotit v jejich blízkosti

→ chlazení senzoru (technicky reálné pouze u velkých dalekohledů)

→ následná úprava obrazu pomocí protišumových filtrů (při použití filtrů se vždy obraz mírně rozostří)

Wikimedia Commons



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

Faktory ovlivňující kvalitu digitálního obrazu

1) Parametry prostředí

a) Osvětlení – je třeba nastavit v kombinaci s parametry fotoaparátu ideální úroveň

Wikimedia Comr

b) Teplota – obecně platí, že čím je nižší teplota objektů na scéně a hlavně senzoru ve fotoaparátu, tím je výsledný obraz kvalitnější

c) Elektromagnetické pozadí scény – pokud se nelze vyhnout přítomnosti silných zdrojů EMG záření, je nutné odstínění

d) Typ scény → statická × dynamická – nejlépe se snímají nehybné objekty

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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁ

Faktory ovlivňující kvalitu digitálního obrazu

2) Parametry snímacího zařízení

a) Velikost snímacího senzoru – čím větší senzor, tím lepší výsledek se dá očekávat

b) Velikost světlocitlivé buňky (rozlišení senzoru) – čím větší, tím lepší

c) Nastavení clony – množství světla, které projde přes clonu je třeba nastavit v kombinaci s intenzitou osvětlení scény

d) Úroveň zesílení signálu ze senzoru (citlivost) – se zesílením signálu zároveň roste šum, proto je ideální signál zesílit minimálně a raději zvýšit intenzitu osvětlení, příp. více otevřít clonu

e) Doba expozice – s rostoucí dobou se zvyšuje množství šumu v obraze a hrozí rozmazání obrazu vlivem pohybu fotoaparátu během expozice

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

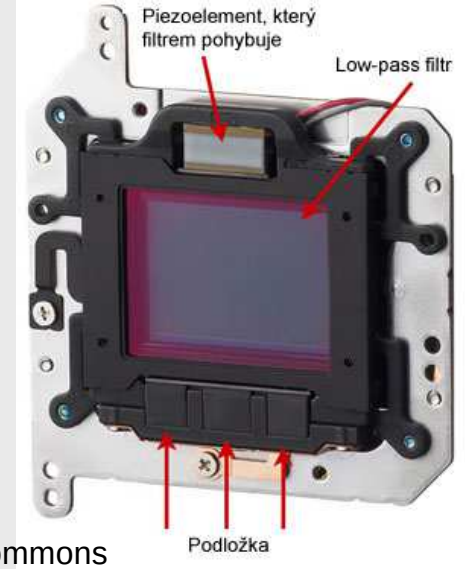
EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Faktory ovlivňující kvalitu digitálního obrazu

2) Parametry snímacího zařízení

f) Čistota snímače – problém u fotoaparátů s výměnnými objektivy, čištění se provádí ručně nebo automaticky pomocí vysokofrekvenčních vibrací, pro snížení rychlosti usazování nečistot se filtry antistaticky upravují



Wikimedia Commons

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

Faktory ovlivňující kvalitu digitálního obrazu

3) Komprese obrazu při ukládání

– obecně platí, že čím je snímek kvalitnější, tím má větší velikost v Bytech

– při ukládání obrazů do různých formátů se proto často používá komprese

Počet bitů na každý barevný kanál	Počet bitů na celý pixel	Celková velikost obrazu v Bytech	Paměťová náročnost obrazu s rozlišením 5 Mpx s různou barevnou hloubkou
8	3*8 = 24	Počet bitů na pixel / 8 * Rozlišení obrazu	$(24/8)*5*10^6$ = 5 MB
10	3*10 = 30		$(30/8)*5*10^6$ = 19 MB
12	3*12 = 36		$(36/8)*5*10^6$ = 23 MB
14	3*14 = 42		$(42/8)*5*10^6$ = 26 MB
16	3*16 = 48		$(48/8)*5*10^6$ = 30 MB

Pozn.: Původní grayscale obrazy mají jeden barevný kanál, proto třetinovou velikost. Snímky pořízené jako barevné obrazy a následně převedené na škálu grayscale mají stále plnou velikost, převodem se změní pouze hodnota jasu.

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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Faktory ovlivňující kvalitu digitálního obrazu

3) Komprese obrazu při ukládání

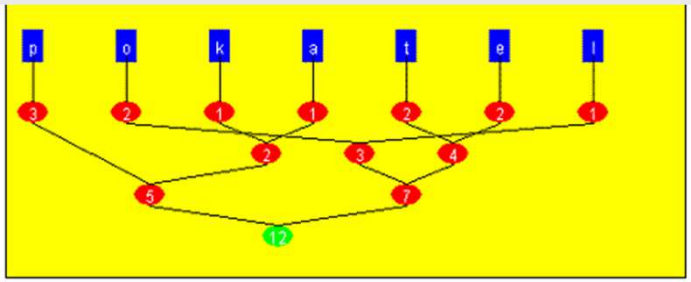
a) Bezeztrátová komprese – bez ztráty kvality, max. komprese zhruba 3:1

Kódování délky běhu (RLE)

WWWWWWWWWWWWWBWWWWWWWWWWWWWWBBBWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWBWWWWWWWWWWWWWWWW

12W1B12W3B24W1B14W

Huffmanovo kódování (CCITT)

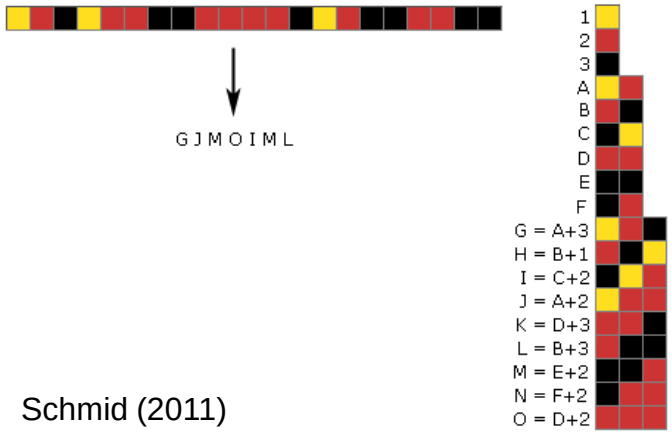


Tabulka kódů:

p	o	k	a	t	e	l
00	100	010	011	110	111	101

popokatepetl 00100001000100111101110011111 0101

Slovníkové kódování (LZW)



Schmid (2011)

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

Faktory ovlivňující kvalitu digitálního obrazu

3) Komprese obrazu při ukládání

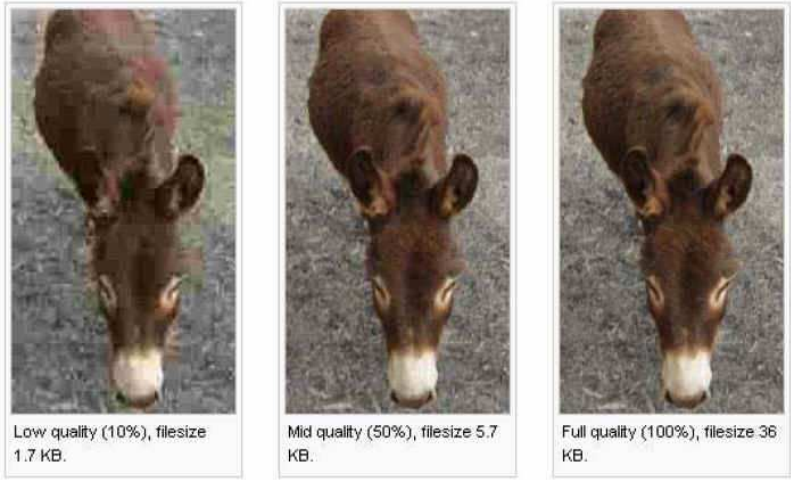
b) Ztrátová komprese – vždy ztráta kvality, s rostoucí kompresí se snižuje kvalita obrazu, max. komprese zhruba 25:1

– pixely s podobnou barvou se uniformují na stejnou barvu

– změna se projeví pouze ve změně barvy, ne v jasu

Wikimedia Commons

Wikimedia Commons



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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Faktory ovlivňující kvalitu digitálního obrazu

3) Komprese obrazu při ukládání

b) Ztrátová komprese - diskrétní kosinová transformace rozdělí obraz na čtverce o hraně 8 Px

Wikimedia Commons

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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Faktory ovlivňující kvalitu digitálního obrazu

4) Ukládací formáty (rastrové)

a) BMP (Bit Mapped Picture)

– max. 8 bitů na barevný kanál, používá bezeztrátovou kompresi RLE nebo obraz vůbec nekomprimuje

b) GIF (Graphics Interchange Format)

– max. 256 barev, pouze jednobarevné plochy, používá bezeztrátovou kompresi LZW

c) PNG (Portable Network Graphic)

– max. 12 bitů na barevný kanál, k tomu až 16 bitů na čtvrtý alfa kanál (průhlednost)

– používá bezeztrátovou kompresi CCITT, LZW

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

EVROPSKÁ UNIE
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Faktory ovlivňující kvalitu digitálního obrazu

4) Ukládací formáty (rastrové)

d) JPEG (Joint Photographic Expert Group)
– max. 8 bitů na barevný kanál, používá ztrátovou kompresi, nepodporuje průhlednost
– znovu uložením obrazu klesá kvalita, proto není vhodný pro obrazovou analýzu

e) TIFF (Tag Image File Format)
– široký rozsah bitů na barevný kanál, umožňuje zabalit do tiff různé typy dat
– umožňuje uložit obraz bez komprese nebo s kompresí ztrátovou a i bezeztrátovou
– znovuuložením obrazu se kvalita nemění, tudíž je vhodný pro obrazovou analýzu

f) RAW
– data bez komprese přímo z A/D převodníku, každý výrobce fotoaparátů má svůj
– umožňuje provést expoziční korekci až na PC, redukci šumu, atd.

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

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

EVROPSKÁ UNIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ