Artefakty obrazu

Při digitálním zpracování obrazu (úpravy fotografií v grafických programech, změny rozlišení obrazu fotografie nebo filmu, ...) se termínem artefakty obrazu označují nechtěné prvky vzniklé v obraze. Ty přitom vznikly optickými vadami objektivu, nedokonalým senzorem či přímo digitálním zpracováním obrazu. Snaha o korekci jednoho typu artefaktu může vést ke zvýšení jiného typu artefaktu, a proto je nutné vždy volit jistý kompromis při úpravě obrazu v digitální podobě.

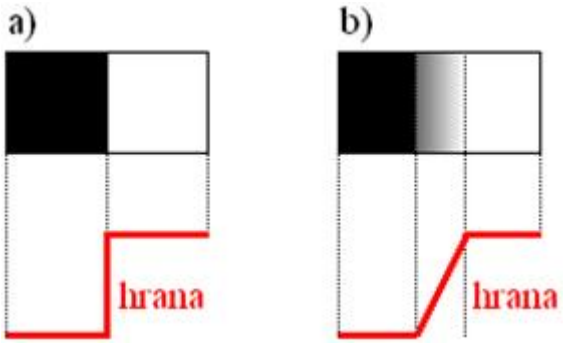
Např. aliasing lze snížit rozostřením hran, ale přitom chceme, aby obraz byl co nejvíce ostrý.

Mezi typické artefakty obrazu patří **rozostření obrazu**. Ostrost obrazu je dána schopností přenést ostře hranu neboli hranový kontrast. Subjektivní vjem ostrosti pak ale ovlivňují dva faktory:

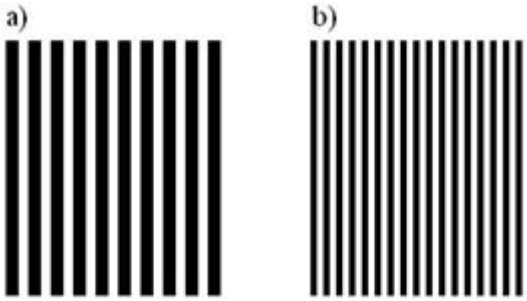
1. ostrost - určuje rychlost změny jasu na hraně (tj. určuje hranový kontrast). V obraze se projeví ostrými hranami, detaily a hranicemi. Na obr. 154a je zobrazena vysoká ostrost obrazu a na obr. 154b je zobrazena nízká ostrost obrazu. Ostrost je určena objektivem fotoaparátu nebo kamery, kvalitou snímacího senzoru, způsobem zpracování obrazu, ... Celkový dojem ostrosti je také dán zvětšením obrazu a pozorovací vzdáleností.

Zvětšování obrazu snižuje subjektivní dojem ostrosti - zvětšování se provádí převzorkováním obrazu a mění se rozlišení obrazu, a proto se obraz jeví více neostrý (nově dopočítané pixely nepřinášejí žádnou novou informaci o obrazu). Při větší vzdálenosti pozorovatele od obrazu je pozorovatel tolerantnější na neostrosti a některé z nich ani neodhalí.

2. rozlišení - popisuje schopnost zaznamenat rozdíly předmětů, které jsou umístněné velmi blízko u sebe. Vyšší rozlišení obrazu se projeví více jemnými detaily (viz obr. 155a, který zobrazuje nízké rozlišení, a obr. 155b zobrazující vysoké rozlišení). Rozlišení je určeno zejména jemností buněk snímacího senzoru (CCD snímač, ...) a jeho rozlišením.



Obr. 154



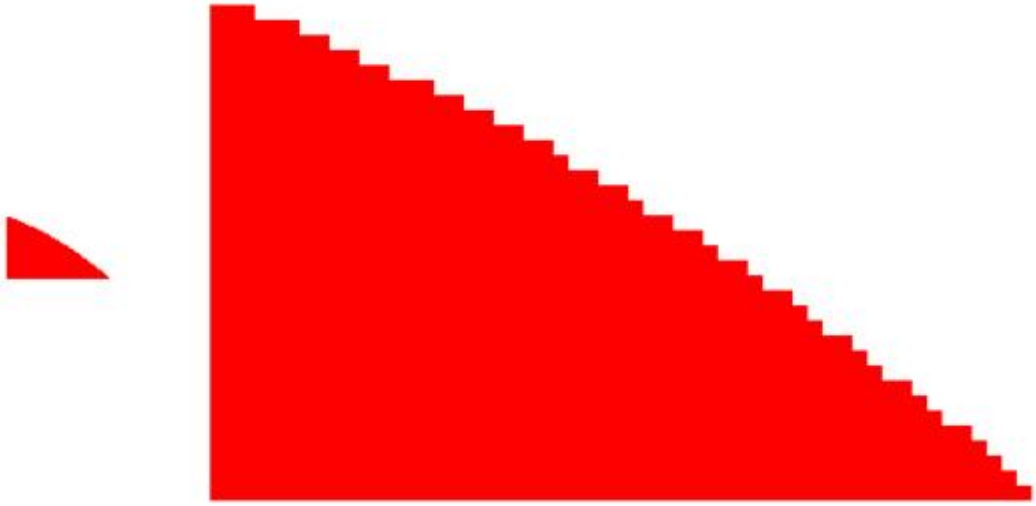
Obr. 155

Artefakt zvaný **halo** vzniká při doostřování obrazu (např. v grafickém programu). Doostření je matematická úprava obrazu, která zvyšuje subjektivní vjem ostrosti tak, že zvyšuje kontrast v okolí všech hran obrazu. Touto úpravou ale není možné obnovit žádné detaily obrazu, které v nedoostřeném obrazu nebyly. Touto úpravou také roste šum obrazu.

V ideálním případě tedy doostření hranu zobrazenou na obr. 154b (hrana se mění zvolna) převádí na hranu zobrazenou na obr. 154a, na kterém se mění hrana velmi prudce. Pokud se hrana zvedne příliš (nad vodorovnou část grafu zobrazeného na obr. 154), vznikne kolem hrany halo.

Kolem objektů se tak vytvoří jakési kroužky, obraz bude mít „duchy“, ...

Typicky zubatý a kostrbatý vzhled šikmých čar, kruhů a dalších objektů zejména ve zvětšených obrázcích se označuje jako **aliasing**. Tyto nežádoucí projevy při zobrazení obrazu vznikají jako důsledek pravidelné struktury digitálního obrazu složeného z jednotlivých pixelů. Obraz s typickým aliasingem je zobrazen na obr. 156: hrany jsou kostrbaté zejména při zvětšení snímku (pravá část obrázku je 8krát zvětšená levá část obrázku).



Obr. 156

Anti-aliasing odstraňuje kostrbatý vzhledem zjemněním hran a vytváří tak dojem vyššího rozlišení obrazu. Matematická metoda, podle které je anti-aliasing aplikován, počítá průměr hodnot pixelů podél jednotlivých hran obrazu. Místo dvou barev zobrazených na obr. 156 anti-aliasingové algoritmy vytvářejí řadu odstínů a přechodů od jedné barvy ke druhé, které se vkládají do pixelů v blízkosti hrany (viz obr. 157). Tím se vytvoří plynulý přechod a hrana se zdá plynulá a jemná. Anti-aliasing ale v principu rozostřuje hrany, což je proti požadavku ostrosti snímku.



Obr. 157

Barevná vada obrazu je dána barevnou vadou čoček, kterými je tvořen objektiv fotoaparátu nebo kamery. Tato vada vzniká v důsledku disperze světla (rozklad bílého světla na spektrum). Tento typ vady se snaží výrobci objektivů odstranit, ale zcela odstranit ji není možné. Projevuje se zejména u objektivů s dlouhou ohniskovou vzdáleností.

Dalším artefaktem obrazu je **posterizace**. Jedná se o vadu, která vzniká při nedostatečné jemnosti barev (při malém tonálním rozsahu). Vlivem malého barevného rozsahu se v obraze objevují skoky mezi jednotlivými barvami a ne plynulé přechody. I jednoduché levné fotoaparáty mají takovou barevnou hloubku (rozsah barev), že viditelná posterizace nenastává. Tento artefakt vzniká pouze při editaci obrazu. Posterizaci lze omezit ukládáním statického obrazu do formátu RAW, který je svou vyšší barevnou hloubkou proti vzniku posterizace odolnější.

Fotografie bez posterizace je zobrazena na obr. 158, tatáž fotografie s posterizací je zobrazena na obr. 159. Na tomto obrázku jsou jasně vidět skokové změny barev - zejména je to patrné u barevného podání oblohy zobrazené na fotografiích. Na obr. 160 je zobrazen histogram fotografie

z obr. 158. Je zřejmé, že histogram je spojitý - obsahuje tedy všechny odstíny a mezi nimi jsou plynulé přechody. Na obr. 161 je zobrazen histogram fotografie zobrazené na obr. 159, který obsahuje pouze několik barevných odstínů. Tyto odstíny jsou ty, které na fotografii zůstaly po záměrně provedené posterizaci.



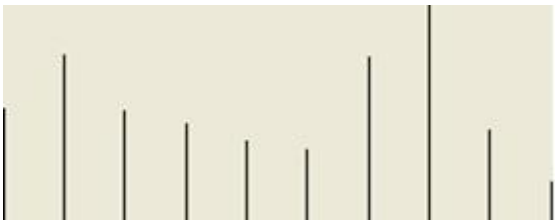
Obr. 158



Obr. 159



Obr. 160



Obr. 161

Artefakt obrazu nazývaný **blooming** vzniká již na senzoru, který přeměňuje dopadající světlo na elektrický signál (tímto senzorem může být např. CCD snímač). Při fotografování jasné scény se může stát, že na daný pixel snímače dopadne velké množství světla. Světelná energie se fotoelektrickým jevem přemění na elektrickou energii uvolněných elektronů. Je-li těchto elektronů opravdu mnoho, mohou se dostat i do sousedních pixelů snímače a tím negativně ovlivnit těmito okolními pixely zpracovávanou informaci.

V daném pixelu se prostě vytvoří tolik elektronů, že je pixel nemůže sám zpracovat a elektrony „přetečou“ do sousedních pixelů. Tím ale zničí obraz těchto pixelu - obraz vlivem těchto „přiteklých“ elektronů bude jasnější, bělejší, než by měl být.

Přestože řada moderních fotoaparátů má tzv. antibloomingové obvody, které výskyt bloomingu částečně kompenzují, nejsou snímače proti tomuto artefaktu obrazu zcela odolné. Tak se může stát, že přeexponované bílé plochy obrazu poškodí obraz i v místech, kde měl mít obraz jinou barvu. Typicky se blooming vyskytuje při fotografování větví stromů, stožárů, ... proti jasné obloze.

Světlo, které přichází od fotografovaného objektu k objektivu fotoaparátu, dopadá na rozhraní dvou optických prostředí: vzduch a sklo. Zde nastává částečně odraz světla (odráží se přibližně 5 % dopadajícího světla) a lom světla. Stejná situace nastává při přechodu světla přes další rozhraní optických prostředí, kterých je v objektivu více. (Objektiv není tvořen jen jednou čočkou, ale více čočkami, protože tyto čočky navzájem kompenzují své optické vady.)

Odražené světlo nejen, že snižuje množství světla, které dopadne nakonec na světlocitlivý snímač fotoaparátu nebo kamery, ale také může způsobit nežádoucí **odlesky**. Tyto odlesky jsou výraznější při fotografování objektů osvětlených jasnými zdroji světla (Slunce, žárovky, lampy, ...).

Tyto nežádoucí odlesky částečně eliminují speciální antireflexní vrstvy (protiodrazné vrstvy), kterými jsou objektivy potaženy. U kvalitních objektivů je použito několik antireflexních vrstev, z nichž každá potlačuje odlesk jedné vlnové délky (resp. malého intervalu vlnových délek) lidským okem viditelného elektromagnetického záření. Těmito vrstvami lze snížit odraz světla na hodnotu přibližně 0,3 % dopadajícího světla. Negativním dopadem těchto antireflexních vrstev je to, že mohou částečně ovlivnit barevné podání snímaného obrazu.

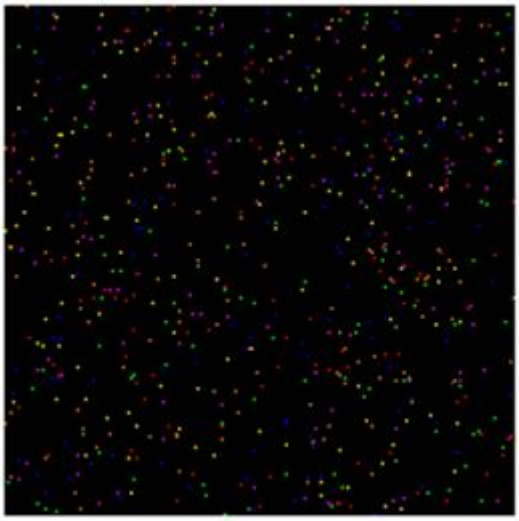
Antireflexní vrstvy nemohou být zcela průhledné - jsou vyrobeny ze speciálních materiálů s daným indexem lomu. A právě průchodem světla přes antireflexní vrstvy se světlo pozmění - změní se jeho barva.

Sférická vada je typická pro širokoúhlé objektivy a je to vlastně sférická vada čoček, které jsou v objektivu fotoaparátu nebo kamery umístěné.

Šum, který působí ve všech elektrotechnických zařízeních (záznam obrazu, záznam zvuku, reprodukce obrazu, reprodukce zvuku, ...) rušivě, je důsledkem základní vlastnosti fyziky mikrosvěta (resp. kinetické teorie látek): částice tvořící látku jsou v neustálém chaotickém pohybu. V důsledku toho bude každý pixel CCD snímače fotoaparátu nebo kamery generovat určitý signál. A to i tehdy, nebude-li na něj dopadat žádné světlo. Takto generovaný šum má náhodnou strukturu a není možné jej předvídat. S rostoucí teplotou roste i úroveň šumu.

Bude-li tedy jeden pixel CCD snímače exponován několikrát za sebou světlem o stejné intenzitě, nepředá pokaždé dalším částem zařízení stejný signál. Signál se bude náhodně lišit vlivem šumu. Proto i zcela zakrytý senzor nebude vykazovat nulový signál (tj. černou plochu), ale náhodné barvy různých pixelů - šum (viz obr. 162).

Pokud je snímaný signál vzhledem k šumu slabý, bude šum v obraze významnou složkou. V tomto případě říkáme, že odstup signálu od šumu (*Signal-to-noise Ratio*) je malý (viz obr. 163). Je-li odstup signálu od šumu velký, šum se projeví v obraze méně (viz obr. 164).



Obr. 162



Obr. 163

Pokud slabý signál, který je zobrazen na obr. 163, zesílíme, zesílí se odpovídajícím způsobem i šum (viz obr. 165). Šum totiž není možné od ostatního signálu nijak odlišit.

V případě fotoaparátů přesně tento jev nastane při zvyšování ISO citlivosti.



Obr. 164



Obr. 165

Šum je relativně menší, pokud je snímaný signál relativně silnější vůči šumovému pozadí.

Větší plocha každého pixelu u reálných senzorů zachytí více světla, a proto klesá vliv šumu na daný obraz. Šum tedy s rostoucí plochou senzoru snímače klesá.

V praxi se tento poznatek projevuje tím, že DSLR mají výrazně nižší hladinu šumu ve srovnání s kompaktními fotoaparáty: pixely DSLR jsou totiž větší.

Senzor reálného fotoaparátu DSLR používá tzv. Bayerovu masku, v níž je zelená složka světla zastoupená více, než jsou zastoupené složky světla červené barvy a modré barvy. Proto je plocha pixelů citlivých na zelenou barvu větší, a proto je šum zelené složky obrazu nejmenší ve srovnání ostatními dvěma základními barvami RGB modelu. Signál odpovídající modré složce obrazu se ale kvůli nižší citlivosti pixelů právě na modrou barvu zesiluje více, než ostatní složky obrazu. Proto je šum v modré složce obrazu největší.

Šum také omezuje dynamický rozsah obrazu (tj. odstup nejnižšího jasu a nejvyššího jasu obrazu). Senzor totiž není schopen (právě vlivem šumu) vykreslit černou barvu; ta vlivem šumu není zcela černá, ale podle úrovně šumu více či méně šedá.

Dalším artefaktem obrazu je **vinětace obrazu**. Jedná se o vadu objektivu, která se projevuje redukcí jasu na okrajích obrazového pole. Zejména nastává v rozích obrazu v porovnání s částmi obrazu v okolí jeho středu. Není-li tato vada příliš markantní, může být korigována např. v různých softwarech na úpravu obrazu. V některých případech je do obrazu záměrně přidávána, aby autor obrazu upoutal divákovy oči na střed obrazu. Vinětaci mají širokoúhlé objektivy, teleobjektivy a může být způsobena nevhodnou sluneční clonou nebo příliš velkým počtem filtrů našroubovaných na přední závit objektivu.

JPEG artefakt obrazu se týká ukládání obrazu ve formátu JPEG. JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) je formát pro ukládání fotografií. Název vychází z názvu mezinárodní komise, která byla založena v roce 1986 a která v roce 1992 vytvořila standard pro ukládání a kompresi obrazu. JPEG používá ztrátovou kompresi, což znamená, že část informace o obraze se během komprese ztratí. Při dobře nastaveném stupni komprese je ale rozdíl originálu oproti komprimovanému obrazu okem nepostřehnutelný. Stupeň komprese lze přitom nastavit tak, že obraz vyhoví svojí kvalitou jak např. pro tisk (kde musí být kvalita vysoká), tak např. pro sdílení obrazu pomocí internetu nebo mailových služeb, kde je vhodné mít soubor co nejmenší datové velikosti.

Datová velikost souboru (a tedy i míra zkreslení komprimovaného obrazu) závisí nejen na zvoleném stupni komprese, ale také na obsahu komprimovaného obrazu. Obraz plný jemných detailů (listnaté stromy, tráva, …) lze komprimovat mnohem méně, než např. portrét s rozostřeným

pozadím nebo pohled na jednotvárnou oblohu.

> Pro zobrazení listů na stromě či stébel trávy potřebujeme prostě více informací, které při dodržení požadované kvality nemůžeme ze souboru odstranit (nebylo by pak možné obnovit všechny listy, stébla trávy, ...). Obraz s rozostřeným pozadím nebo jednobarevná obloha vyžadují k plné rekonstrukci výrazně méně informací. Proto bude v tomto případě i datová velikost souboru menší.

JPEG artefakty se objevují kolem jemné kresby a čar a to tím více, čím vyšší stupeň komprese použijeme. Tento druh komprese tedy není vhodný pro ukládání čárové grafiky, protože všechny čáry, písmena, ... budou rozostřené.

> Písmena se jakoby „ušpiní“.

JPEG artefakty se objeví také na plynulých přechodech na velkých plochách (obloha, pozadí, ...). Vzhledem k tomu, že komprese se provádí po jednotlivých čtvercových blocích, mohou být tyto čtverce v komprimovaném obraze viditelné.

I přes uvedené nedostatky je formát JPEG velmi dobrý a výhody dané významným zmenšením obrazových souborů jsou obrovské. Přesto má některá omezení:

1. Formát JPEG nepodporuje vyšší barevnou hloubku a vždy pracuje s barevnou hloubkou pouze 8 bitů na jeden kanál (tj. celkem 24 bitů). Proto v tomto formátu nelze provést náročnější editace, u kterých je vyšší barevná hloubka nutná.
2. Formát JPEG nepodporuje průhlednost objektů, tj. nedokáže uložit obrázky na průhledném pozadí. Průhlednost je však při vytváření počítačové grafiky či koláže často potřeba a je tak třeba použít jiné grafické formáty.
3. Použitá metoda komprese znemožňuje použití formátu JPEG pro ukládání grafiky (kresby, grafy, ikony, ...). Komprese má tendenci čáry a písmena rozpít a rozostřit, a tak zhoršit jejich vzhled a čitelnost.
4. Formát JPEG nepodporuje animace.
5. Formát JPEG nepodporuje bezeztrátovou kompresi. I při ztrátové kompresi je ale výsledný obraz při vysoké kvalitě nerozeznatelný od formátů bezztrátové komprese.
6. Formát JPEG nepodporuje ukládání obrazu obsahujícího více vrstev.
7. Formát JPEG nepodporuje vektorovou grafiku; je vhodný pouze pro ukládání fotografií.
8. Opakované ukládání změněné fotografie do JPEG formátu může fotografii degradovat.

Posledním typem artefaktu obrazu je tzv. **moaré**. To se projevuje stejným způsobem jako moaré (resp. aliasing) vznikají při vzorkování signálu a převodu analogového signálu na digitální signál.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.