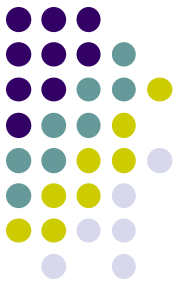
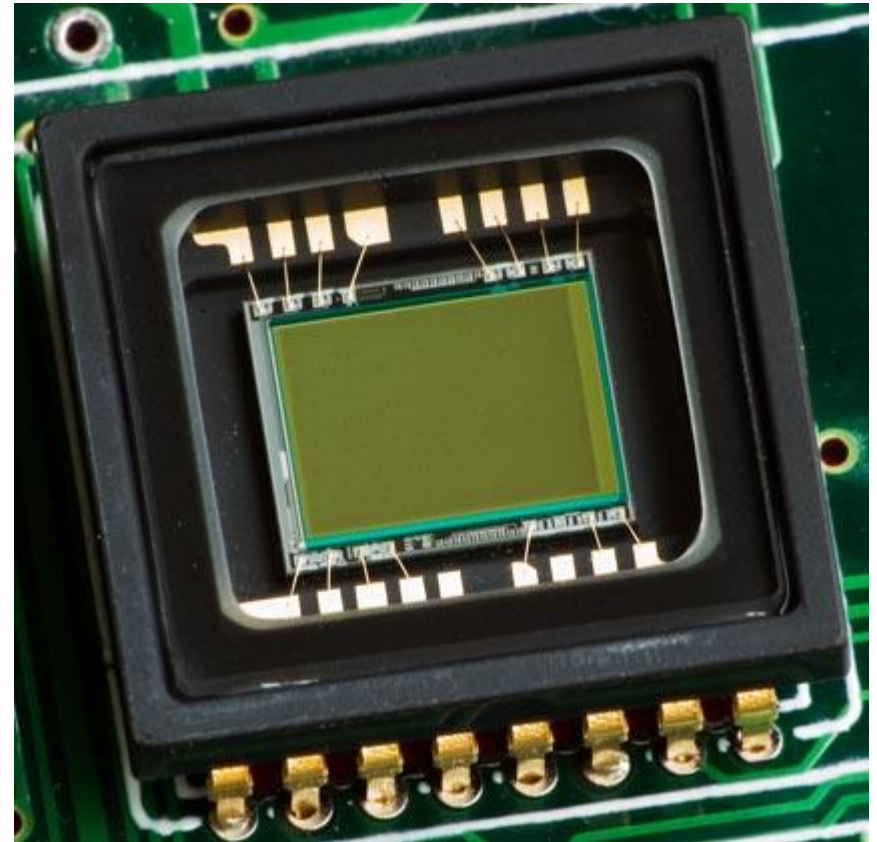


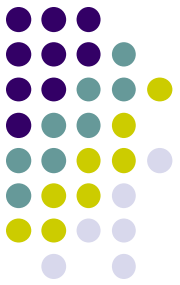
CCD



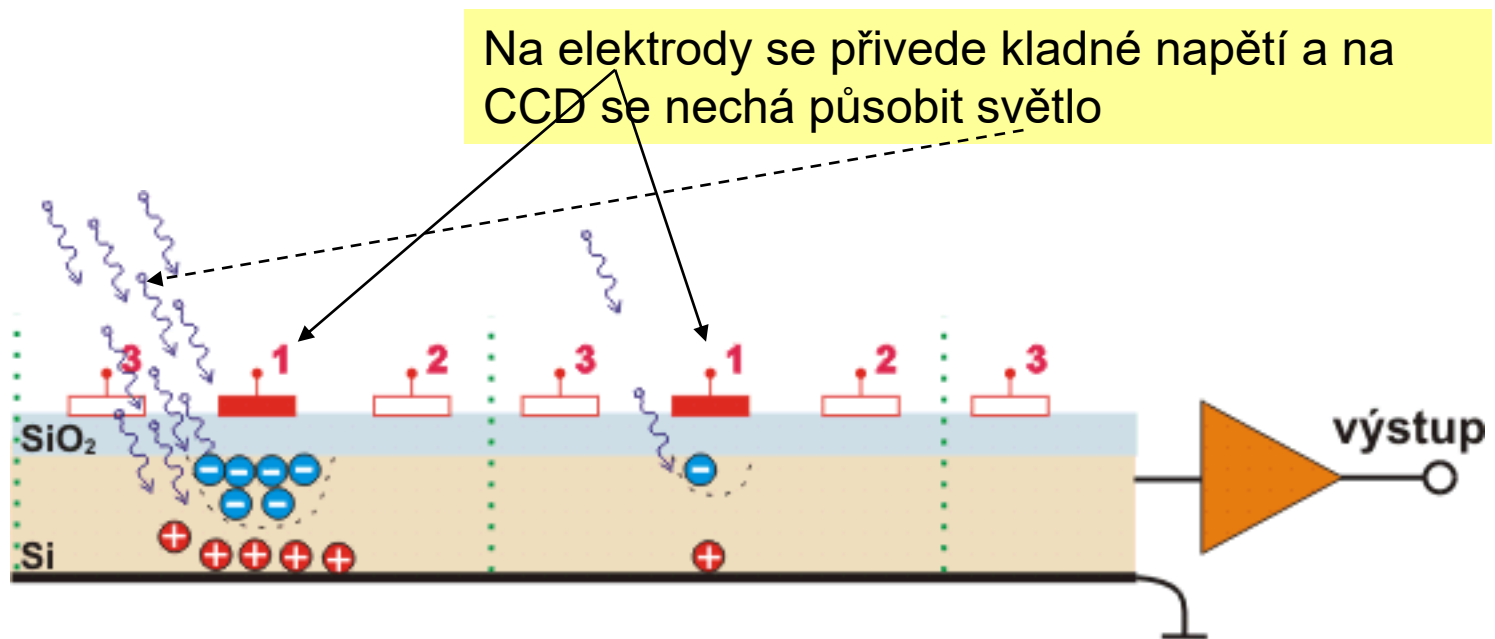
- CCD snímač je základní součástíou všech zařízení snímajících obraz (fotoaparát, kamera, scanner, čtečka čárových kódů, optická myš...)
- Úkolem CCD snímače je převést obraz na obrazový signál
- CCD = Charge-Coupled Device (překlad: zařízení s vázanými náboji)
- CCD snímač byl vynalezen v Bellových laboratořích v roce 1969 a jeho vynález byl později oceněn Nobelovou cenou
- V televizní technice se používá od roku 1975
- Ve fotoaparátech se používá přibližně od roku 1990



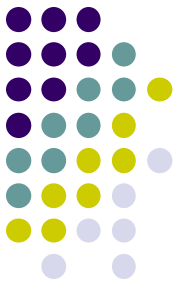
CCD



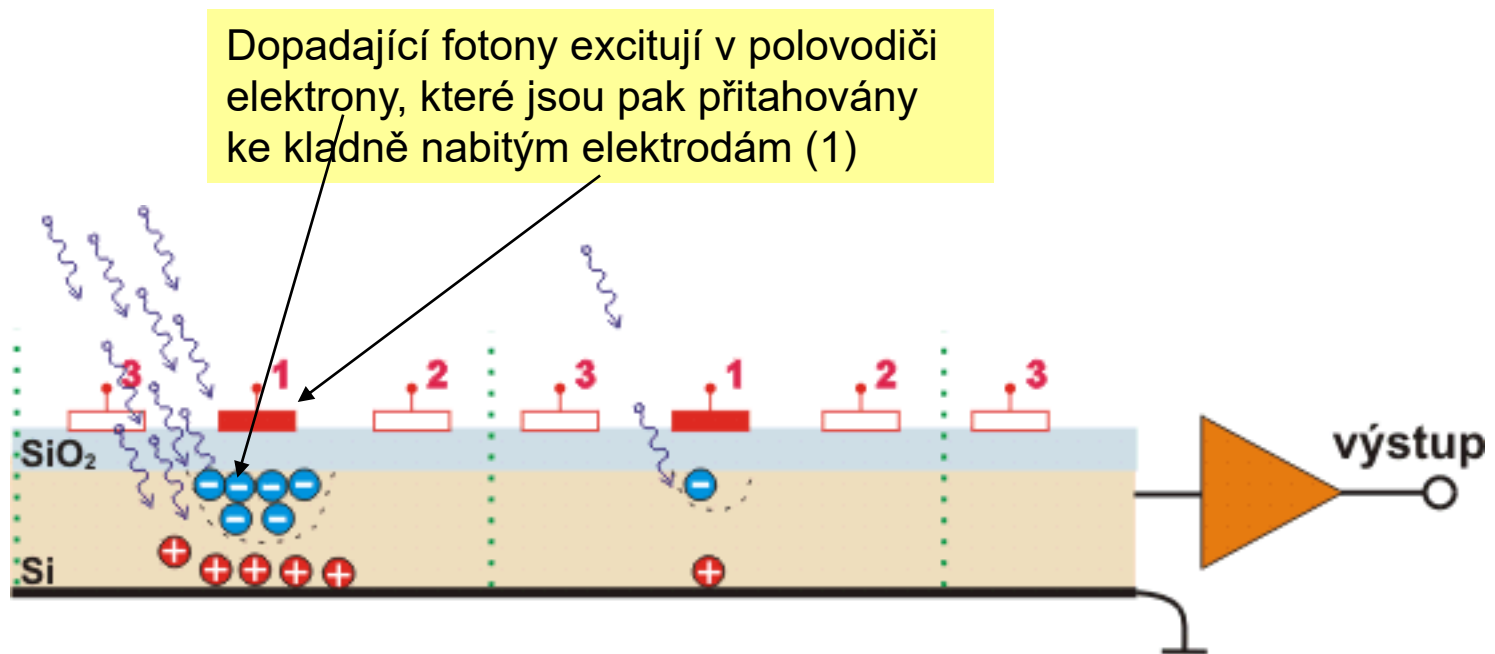
- Využívá **fotoelektrický jev** – foton dopadajícího světla při nárazu do atomu senzoru dokáže převést některý z jeho elektronů ze základního do tzv. excitovaného stavu



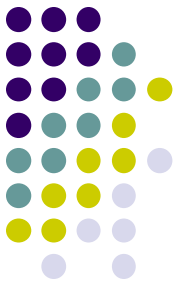
CCD



- Využívá **fotoelektrický jev** – foton dopadajícího světla při nárazu do atomu senzoru dokáže převést některý z jeho elektronů ze základního do tzv. excitovaného stavu

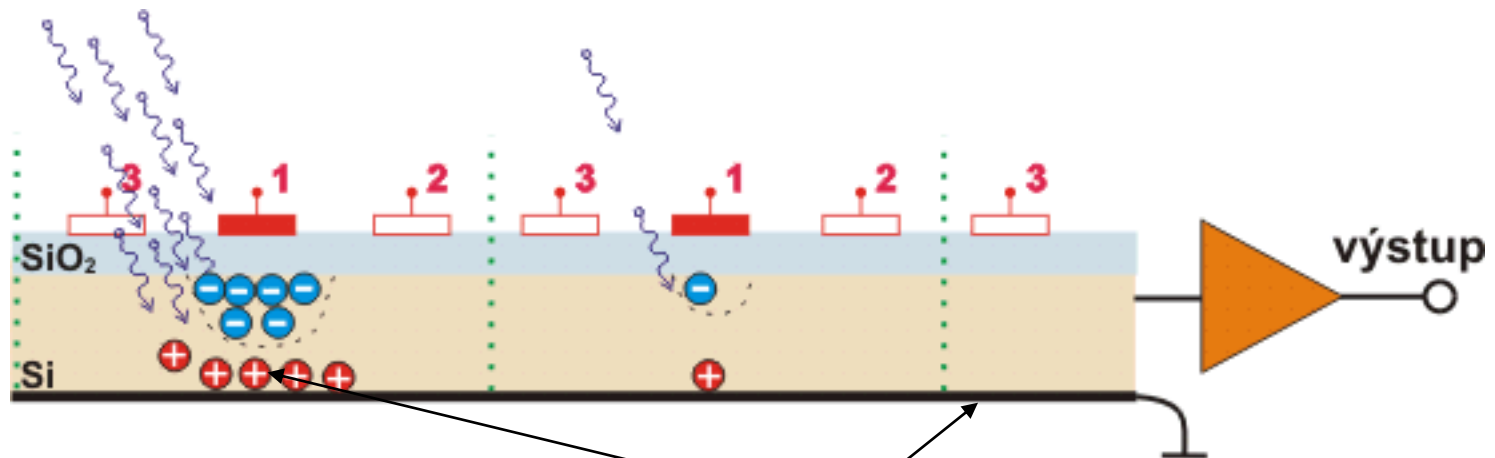


CCD



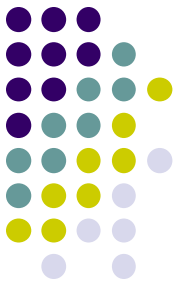
- Využívá **fotoelektrický jev** – foton dopadajícího světla při nárazu do atomu senzoru dokáže převést některý z jeho elektronů ze základního do tzv. excitovaného stavu

Dopadající fotony excitují v polovodiči elektrony, které jsou pak přitahovány ke kladně nabitým elektrodám (1)



Po elektronech zbudou v polovodiči díry, které vůči svému okolí vykazují kladný náboj a ty jsou naopak přitahovány spodní zápornou elektrodou

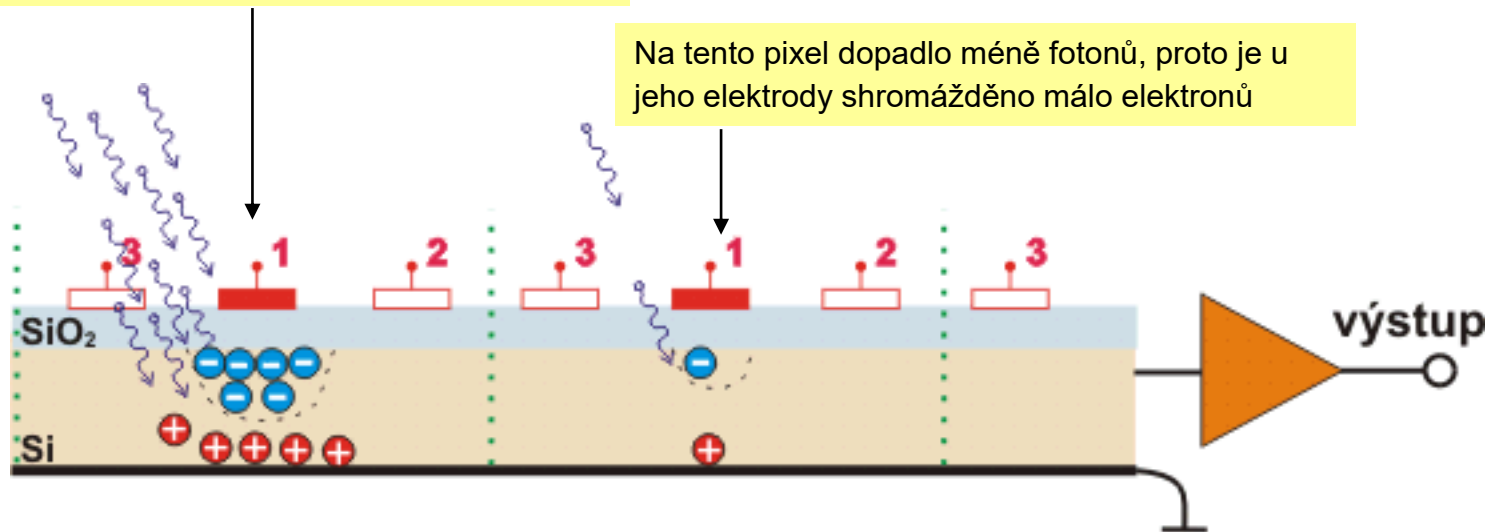
CCD



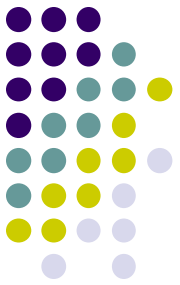
- Využívá **fotoelektrický jev** – foton dopadajícího světla při nárazu do atomu senzoru dokáže převést některý z jeho elektronů ze základního do tzv. excitovaného stavu

Na tento pixel dopadlo více fotonů, proto je u jeho elektrody (1) shromážděno více elektronů

Na tento pixel dopadlo méně fotonů, proto je u jeho elektrody shromážděno málo elektronů

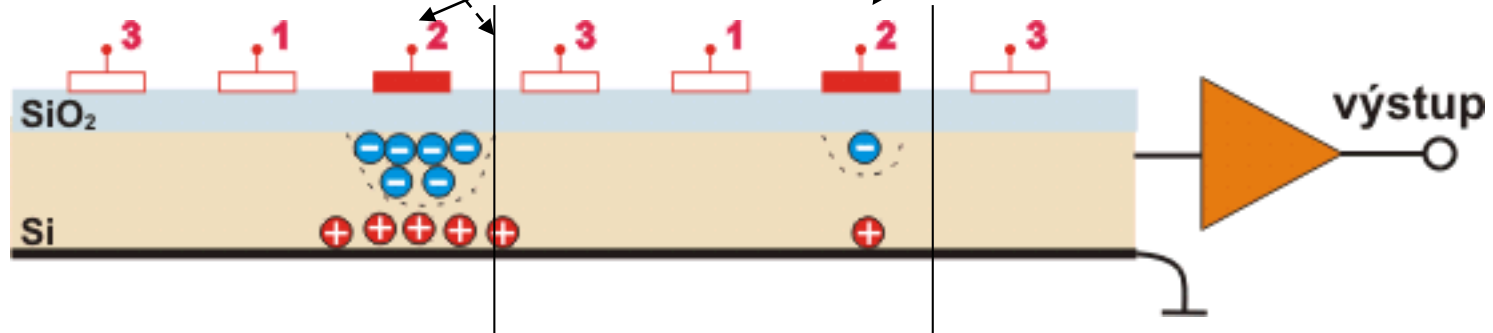


CCD



- V další fázi je třeba excitované elektrony z jednotlivých pixelů odvést ven ze snímače a změřit náboj (počet elektronů) zachycený v každém pixelu
- Náboj se postupně posouvá směrem k výstupu – náboj tedy není změřen ve všech buňkách senzoru naráz

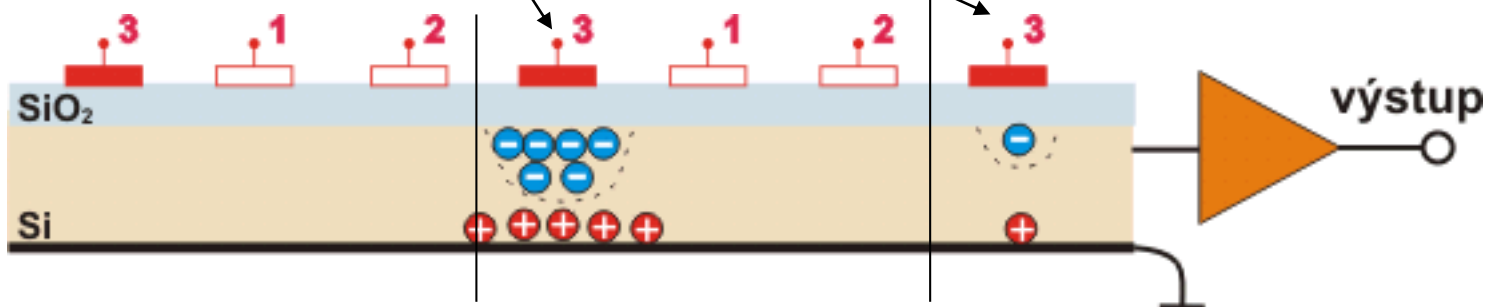
Postupně se zvyšuje napětí na elektrodách č.2 na hranici pixelu a náboj se přesouvá ze středu pixelu k jeho pravému okraji, napětí na centrální elektrodě 1 se přitom snižuje



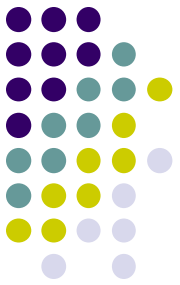
CCD



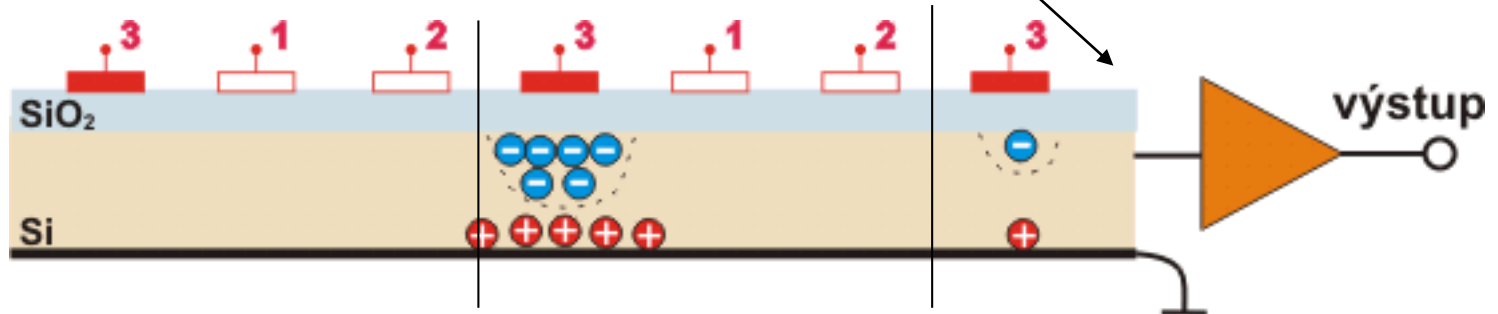
V další fázi se postupně se zvyšuje napětí na elektrodách č.3 a náboj se přesouvá přes hranice pixelu do sousední buňky

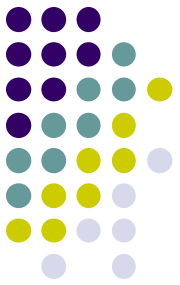


CCD



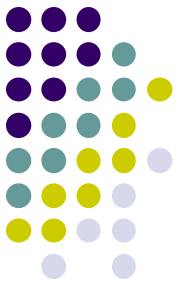
Takto se postupně náboje ze všech pixelů dostanou k výstupu snímače, kde je změřena jejich velikost, která se odpovídá jasu pixelu





Animace činnosti CCD

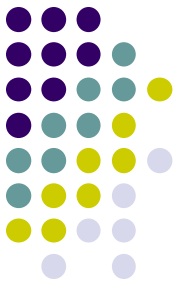
- Rozhovor ČT s vynálezcem CCD snímače
 - <https://www.ceskatelevize.cz/porady/10441294653-hyde-park-civilizace/213411058091207-george-elwood-smith>
- Shlédněte video o fotoelektrickém jevu
 - <https://www.youtube.com/watch?v=0b0axfyJ4oo>
- Prohlédněte si názornou animaci posuvu náboje CCD snímačem
 - <http://www.umelevne.cz/picture/reference/flash/ccd.html>



Lineární CCD

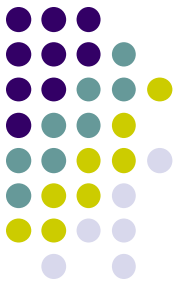
- Výše uvedený popis odpovídá fungování **lineárního CCD** snímače
- Lineární snímač obsahuje pouze **jednu řadu pixelů**
- Tento typ snímače se používá v zařízeních, kde stačí pouze jednorozměrný obraz (posloupnost jasu pixelů v jednom řádku) – např. čtečky čárového kódu
- Snímání druhého rozměru může být realizováno posuvem snímaného obrazu (postupně snímáme jednotlivé řádky posouvajícího se obrazu) - **fax**
- nebo posuvem snímače nad nehybným obrazem – **scanner**

- Na rozdíl od plošného CCD snímače **není potřeba** promítat obraz na snímač **objektivem**
- Řešení s lineárním snímačem pro snímání statických obrázků je tedy levnější, protože optika je dnes obvykle dražší než samotný snímač
- Snímat jdou ale právě pouze statické obrázky – Při postupném posuvu snímače nebo předlohy a snímání jednotlivých řádků jsou neměnné
- Ve fotoaparátech nebo kamerách je tento typ snímače nepoužitelný



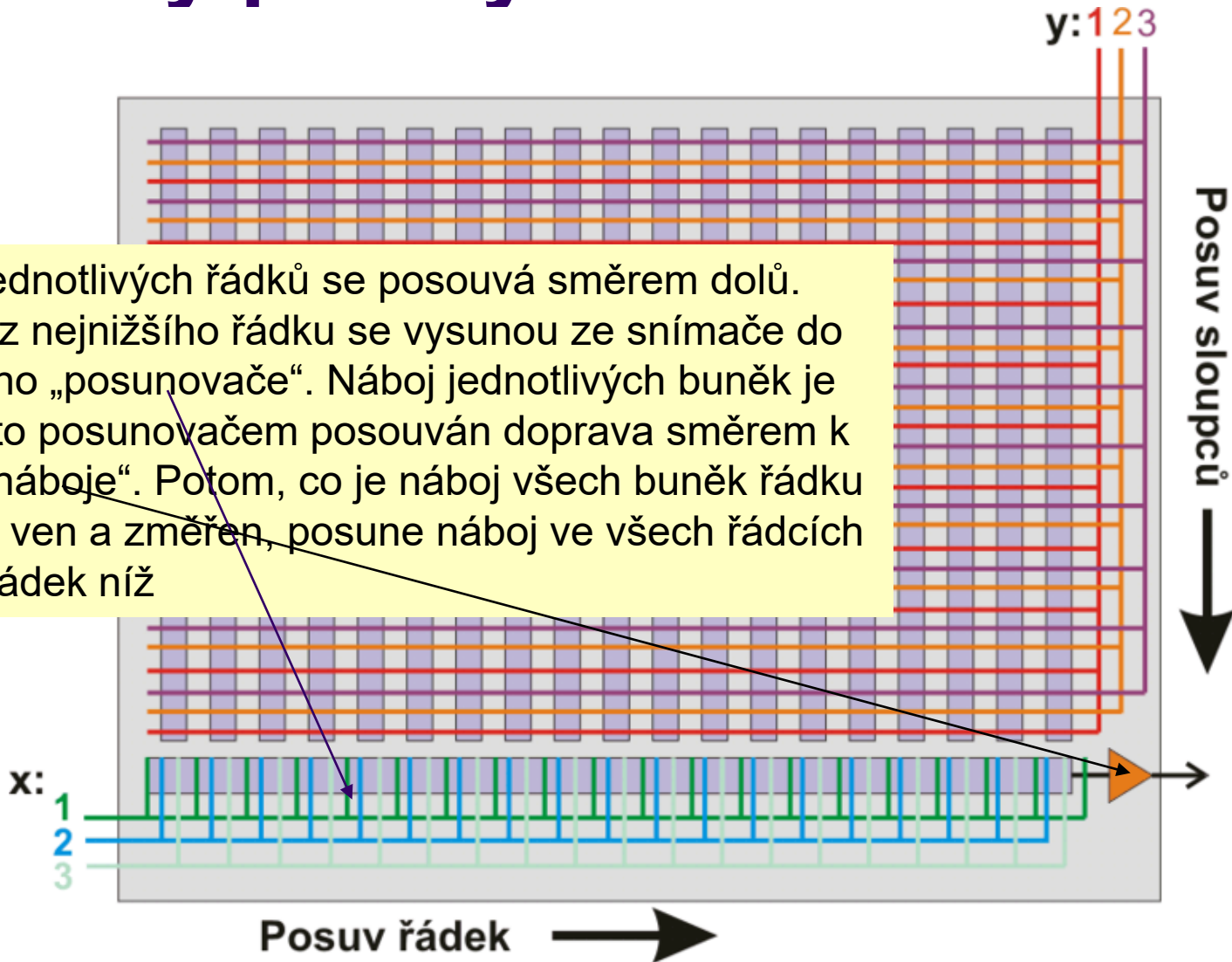
Plošné CCD

- V kamerách a digitální fotoaparátech je potřeba sejmout celý snímek naráz pomocí **plošného CCD** snímače
- Plošné CCD vznikne spojením mnoha řad lineárních CCD na jediném čipu.
- Obraz na CCD je **promítán objektivem**
- Na konci jednotlivých řad náboje vstupují ovšem do dalšího lineárního CCD, které je k řadám kolmé, funguje pouze jako „posunovač“ a tímto CCD teprve postupují k jedinému snímači
- Získání obrazového signálu z 10 Mpx snímače tímto způsobem vyžaduje 10 milionů postupných měření hodnoty náboje a to je velmi pomalé
- Pokud chceme získat několik snímků za sekundu je třeba použít rychlý plošný snímač, který měří paralelně hodnotu náboje vystupujícího na konci všech řádků současně (nikdy však hodnotu náboje všech buněk na celém snímači)
- Takové snímače jsou dražší a musí být přesně zkalibrované, aby měření hodnot výstupu jednoho řádku nevykazovalo stálou kladnou odchylku a na jiném řádku naopak stálou zápornou – některé celé řádky obrazu by se jevily tmavší a jiné světlejší
- U pomalého plošného CCD je každý náboj z libovolného postupně změřen stejným převodníkem, takže k nerovnoměrnostem při měření nemůže docházet

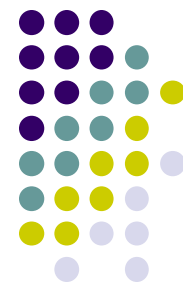


Pomalý plošný CCD snímač

Náboj jednotlivých řádků se posouvá směrem dolů. Náboje z nejnižšího řádku se vysunou ze snímače do lineárního „posunovače“. Náboj jednotlivých buněk je pak tímto posunovačem posouván doprava směrem k „měřiči náboje“. Potom, co je náboj všech buněk řádku vysunut ven a změřen, posune náboj ve všech řádcích opět o řádek níž

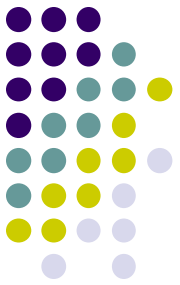


Základní parametry CCD



- Rozměr
 - Obvykle udávaný jako úhlopříčka v palcích nebo zlomcích palce (např. $1/3''$, $1/2''$, $3/4''$)
 - Rozměr snímáče má **zásadní vliv na kvalitu** výsledné fotografie, především na šum, dynamický rozsah, přesnost převodu
 - Na velký snímáč lze snáze vykreslit objektivem kvalitní kresbu
 - Čím větší je každý jednotlivý pixel, tím víc na něj dopadne světla a tím kvalitnější informaci poskytne k dalšímu zpracování
 - Snímky pořízené malým snímáčem obvykle trpí řadou obrazových vad
 - Digitální zrcadlovky používají velké snímáče (např 36x24 mm)
 - Celá plocha snímáče nemusí použita k získání obrazových dat
 - Některé fotoaparáty a kamery používají relativně velký snímáč, ale obrazová data používají pouze z jeho středu, protože na okrajích snímáče nedokáže objektiv vykreslit dostatečně ostrý obraz a data z okrajů snímáče se použijí pouze například k digitální stabilizaci obrazu

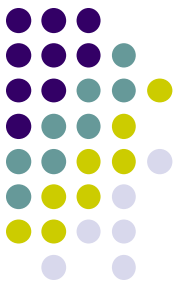
Základní parametry CCD



Sensor Name	Medium Format	Full Frame	APS-H	APS-C	4/3	1"	1/1.63"	1/2.3"	1/3.2"
Sensor Size	53.7 x 40.2mm	36 x 23.9mm	27.9x18.6mm	23.6x15.8mm	17.3x13mm	13.2x8.8mm	8.38x5.59mm	6.16x4.62mm	4.54x3.42mm
Sensor Area	21.59 cm ²	8.6 cm ²	5.19 cm ²	3.73 cm ²	2.25 cm ²	1.16 cm ²	0.47 cm ²	0.28 cm ²	0.15 cm ²
Crop Factor	0.64	1.0	1.29	1.52	2.0	2.7	4.3	5.62	7.61
Image									
Example									

Crop factor udává, kolikrát je strana snímače kratší než, než šířka Full Frame snímače

Full Frame snímač má stejné rozměry jako klasický kinofilm u analogové fotografie



Základní parametry CCD

- **Poměr stran** (vyrábí se typy 4:3, 3:2, 16:9)
 - Přestože dnes naprostá většina displejů má poměr stran 16:9 a fotografie na papír se standardně dělají s poměrem stran 3:2, má z nepochopitelných důvodů většina vyráběných snímače stále ještě poměr stran 4:3
- **Rozlišení snímače - počet pixelů**
 - Udáváno v Megapixelech – Mpx
 - Detailní rozlišení udáváno v počtech pixelu na jednom řádku x počet řádků (např. 4000 x 3000 px)
 - Více megapixelů – více obrazových dat
 - Snímač s vyšším rozlišením nemusí poskytovat lepší snímky – záleží také na tom, jak kvalitní obraz na něj vykreslí objektiv a jak přesně ho nakonec převedeme na čísla
 - Ze snímače s vysokým rozlišením získáme „hodně čísel“ – teď jde ještě o to, jak jsou tyto hodnoty „kvalitní“

Základní parametry CCD



- **Přesnost AD převodu**

- Výstup CCD snímače je analogový (ven vyleze elektrický náboj)
- Změřená hodnota náboje je následně převedena na digitální informaci
- Hodnota jasu pixelu je pak reprezentována jako několikabitové číslo – právě počet bitů bývá různý
- Čím je CCD snímač kvalitnější, tím více různých hodnot jasu dokáže rozeznat
- 8-bitová přesnost je dnes nedostatečná, protože získané hodnoty je třeba transformovat do sRGB barevného prostoru pomocí Gamma (2,2) křivky
- Digitální zrcadlovky vyjádří jas pixelu 16-bitovou hodnotou
- Kvalitní kompaktní fotoaparáty vyjádří jas pixelu 14-bitovou hodnotou
- Levné snímače používají pouze 8-bitové nebo 10-bitové hodnoty
- Surová data – několikabitové hodnoty jasu jednotlivých pixelů – lze využít, pokud fotoaparát uloží snímek ve formátu RAW

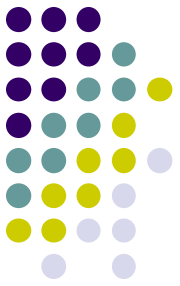
Základní parametry CCD



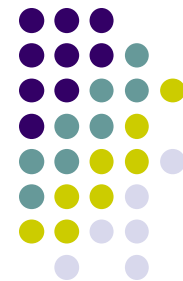
- **Šum**

- Vzniká především kvůli tepelné energii, která je schopna excitovat elektrony bez jakéhokoliv působení dopadajících fotonů
- Elektrony mohou být excitovány i vlivem elektromagnetického pole nebo ionizujícího záření
- Takový elektron je přitažen k expoziční elektrodě, a přičítá se tak k hodnotě světelné expozice dané buňky – způsobí zkreslení dat
- Těchto teplem generovaných elektronů vznikne v každé buňce jiný **náhodný počet** a proto jejich vliv na obraz nelze odstranit
- V každé buňce snímače tedy vzniká jiný **náhodný počet excitovaných elektronů**
- Také v buňkách, na které nedopadlo žádné světlo vzniknou excitované elektrony
- Nejvíce je šum patrný v tmavých plochách – poměr elektronů excitovaných dopadajícím světlem a náhodně excitovaných elektronů je zde nepříznivý
- Čím vyšší teplota, tím vyšší bude šum
- Čím delší je doba expozice fotografie, tím více elektronů se stihne excitovat vnějšími vlivy a šum bude výraznější
- Malé snímače mají obvykle vyšší šum – více na ně působí teplo a jiné vlivy a při tom zachytí méně fotonů

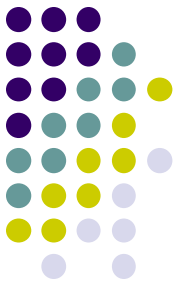
Obrazový šum – nízký šum



Obrázový šum – značný šum



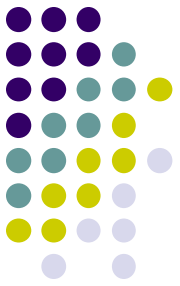
Základní parametry CCD



- **Citlivost a dynamický rozsah**

- **Citlivost** – na jaké nejslabší množství světla je snímač schopen reagovat
- kolik fotonů musí dopadnout, aby náboj v buňce nebyl změřen jako nulová hodnota
- Existuje také maximální množství světla, které dokáže pixel zachytit - kolik elektronů vzniklých interakcí fotonů je schopna pojmout
- I kdyby dopadalo více světla než toto maximum, bude jas bodu vyjádřen stále stejným maximálním číslem
- **Dynamický rozsah** – interval mezi minimálním a maximálním množstvím dopadajícího světla, které dokáže snímač převádět na efektivní datové hodnoty
- Snímač s malým dynamickým rozsahem nevidí kresbu v tmavých plochách – vše pod určitý jas je pro něj černá
- Snímač s malým dynamickým rozsahem nevidí kresbu ani v jasných plochách – vše nad určitý jas je pro něj maximální bílá
- Snímače s malým rozměrem mají obvykle malý dynamický rozsah, což je dáno malým rozměrem buněk snímače (typické pro mobilní telefony)
- Největší dynamický rozsah mívají snímače v digitálních zrcadlovkách
- Základní citlivost lze uměle zvýšit zesílením náboje před jeho změřením – tím se ale zesílí i šum
- Vyšší **ISO** u fotoaparátu znamená jen **vyšší zesílení** náboje zesilovačem a tím pádem zhoršení dynamického rozsahu, zvýšení šumu a degradaci obrazu

Dynamický rozsah



Nízký dynamický rozsah

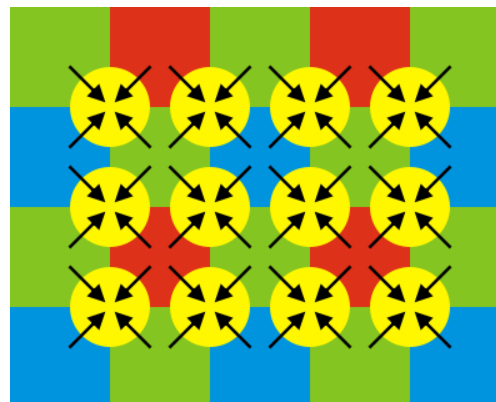
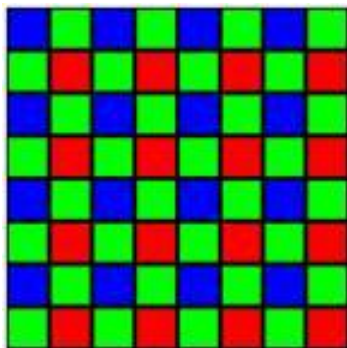


Vysoký dynamický rozsah

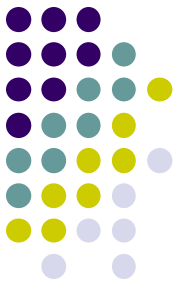
Bayeroва maska



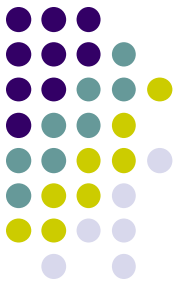
- CCD snímač obsahuje pixely, ale ty jsou schopné zaznamenat pouze intenzitu světla. Nezaznamenají ale barvu světla.
- Pixely jsou tedy barevně „slepé“ - „vidí“ pouze černobíle
- Chceme-li CCD snímačem zaznamenat barvu světla, je nutné před pixely předřadit barevné filtry
- Každý pixel snímače je pak citlivý na jinou základní barvu
- Maska se skládá ze tří druhů filtrů, každý propouští jen světlo jedné vlnové délky – červené, modré nebo zelené
- Prvků propouštějících zelenou je 2× více než prvků propouštějících ostatní 2 barvy. Vyšší počet zelených elementů odráží vlastnosti lidského oka, které je nejcitlivější právě na tuto barvu



Bayerova maska – počet megapixelů



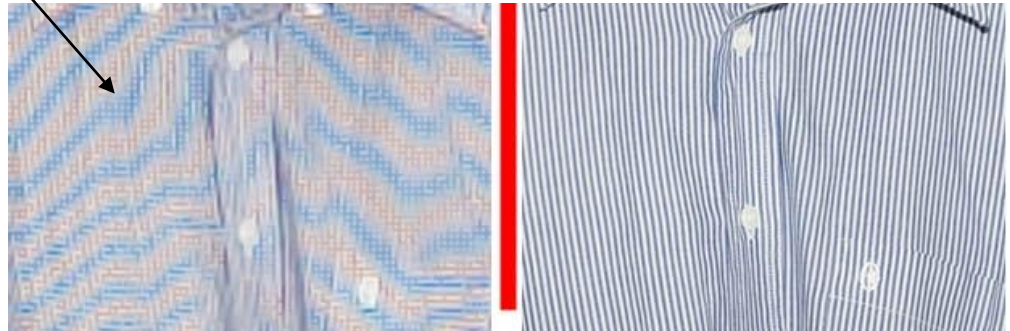
- Výsledkem snímání přes Bayerovu masku je snímek se stejným počtem pixelů jako rozlišení čipu, i když každý pixel snímače získá údaje jen o jedné dopadající barvě.
- Další dvě barevné složky pro každý pixel výsledného snímku je potřeba dopočítat
- Pro vytvoření **jednoho pixelu výsledného obrazu** je tedy třeba zkombinovat hodnoty získané z několika sousedních pixelů snímače citlivých na různé barvy R, G a B
- Získání plnohodnotné barevné informace se provádí pomocí interpolace.
- Ze čtyř navzájem nejbližších pixelů senzoru se vypočítá jeden pixel obrazu
- Další sousední pixel obrazu se počítá z další čtveřice pixelů, která je oproti minulé posunuta o jeden pixel).
- Každý pixel snímače (kromě těch na okrajích snímače) je tedy použit celkem čtyřikrát.
- Snímač s rozlišením 1 Mpx tedy neumí poskytnout 1 Mpx plnohodnotných obrazových dat a záleží velmi na firmwaru fotoaparátu, jak kvalitně interpoluje a dopočítá jas a barvu chybějících pixelů
- Snímač obsahující 12 milionu pixelů (12 Mpx), nad kterým bude Bayerova maska, bude mít 3 miliony pixelů citlivých na červené světlo, 6 milionů pixelů citlivých na zelené světlo a 3 miliony pixelů citlivých na modré světlo.
- **1 pixel snímače s Bayerovou maskou tedy rozhodně není totéž jako jeden pixel na displeji**
- **Snímače neobsahují žádné subpixely** – takový pojem v souvislosti se snímačem ani nepoužíváme a nedává smysl

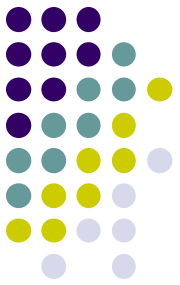


Bayerova maska - artefakty

- Struktura Bayerovy masky **artefakty** obrazu, mezi které patří např. šum obrazu nebo **moaré**.
- Nejméně šumu obsahuje **zelený kanál** nesoucí informaci o zelené barvě - informací o zelené barvě je dvojnásobné množství, než o ostatních barvách RGB modelu.
- Vzhledem k tomu, že jsou senzory pro **červenou** barvu a **modrou** barvu relativně daleko od sebe, je systém využívající Bayerovu masku náchylný ke vzniku **barevného moaré**.
- Jednotlivé pixely jsou od sebe dále, a obraz s pravidelným vzorem (např. proužky) způsobí, že světlo pravidelně dopadá na pixely citlivé na stejnou barvu a tím vznikne barevný artefakt
- U moderních snímačů je problém barevného moaré řešen pomocí tzv. **OLPF** (*Optical Low-Pass Filter*) vrstvy nanesené na snímači.
- Tato vrstva **odstraňuje detaily** obrazu, které by způsobily vlivem Bayerovy masky barevné moaré nebo jiný artefakt obrazu.
- OLPF funguje tak, že ve vertikálním i horizontálním směru snižuje ostrost, která odpovídá přibližně vzdálenosti dvou nejbližších senzorů citlivých na zelenou barvu.
- Větší rozsah by redukoval příliš mnoho detailů, nižší by byl neúčinný.

Moaré v červené a modré barvě



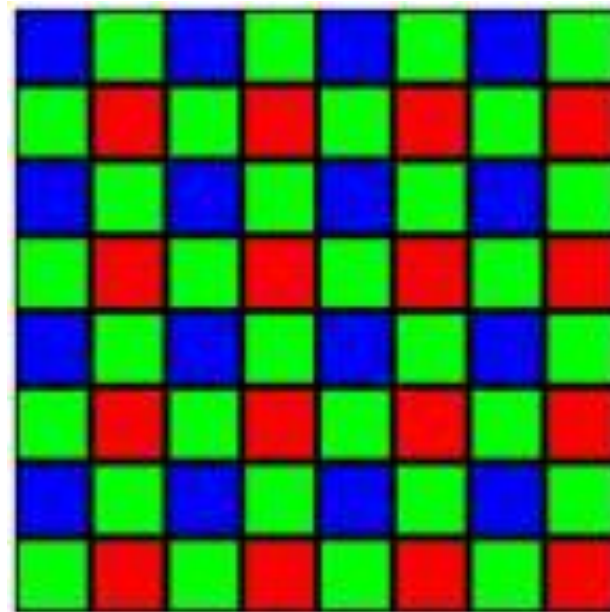


Bayerova maska - Moiré

Proužkovaná košile



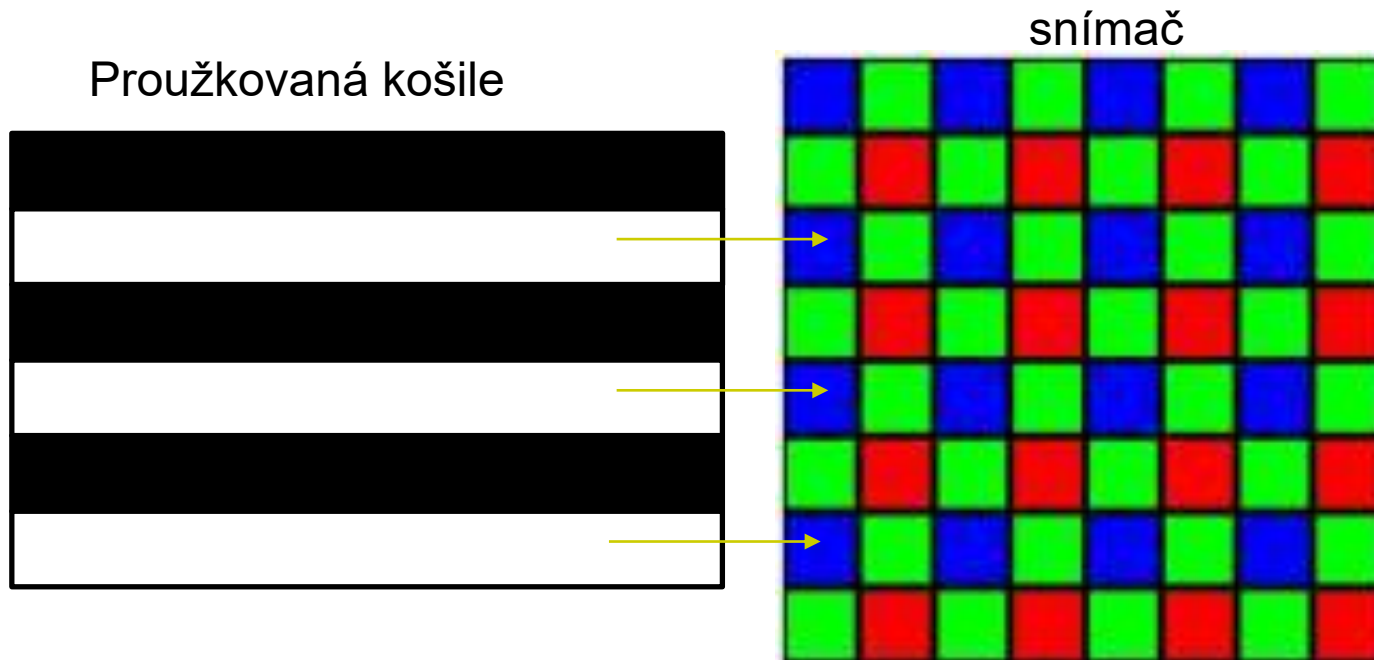
snímač



Světlo dopadá na snímač pouze z bílých proužků proužkované košile. Černé proužky světlo neodrážejí. Proužky mají bohužel přesně takovou rozteč, že světlo z bílých proužků dopadá pouze na každý druhý řádek. Na sudých řádcích, na které dopadá světlo jsou pouze pixely citlivé na zelenou a červenou barvu. Pixely citlivé na modrou barvu jsou pouze na lichých řádcích, na které ale objektiv právě promítá černé proužky. Košile se tedy bude zdát načervenalá

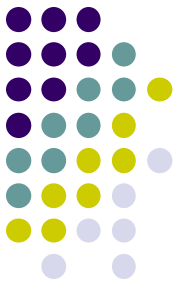


Bayeroва maska - Moiré

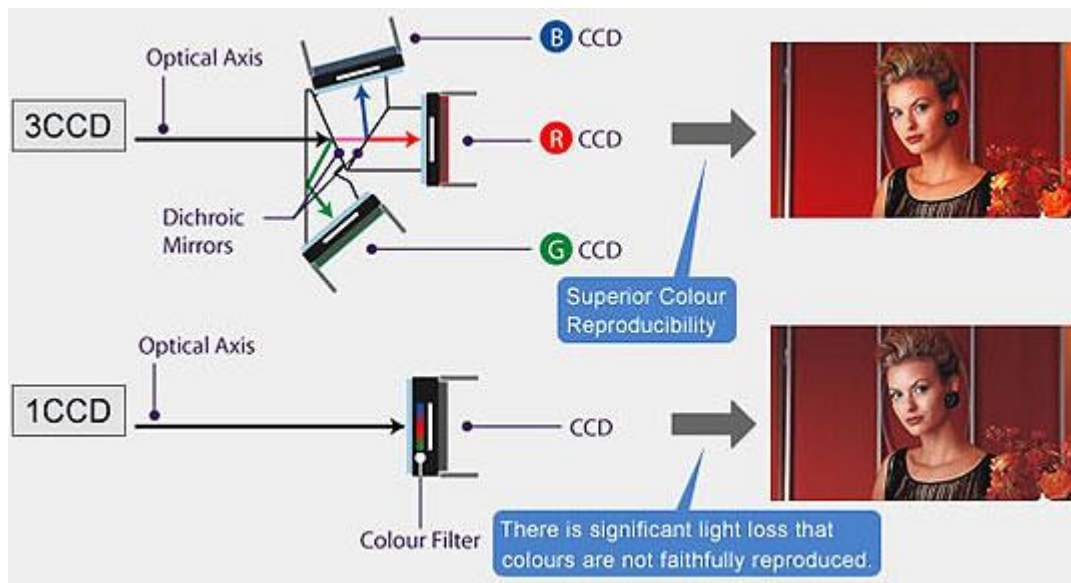


Dojde-li k drobnému pohybu kamery nebo košile, situace se obrátí. Světlo z bílých proužků teď dopadá na liché řádky, na kterých jsou pouze pixely citlivé na zelenou a modrou barvu. Košile se najednou bude zdát namodralá

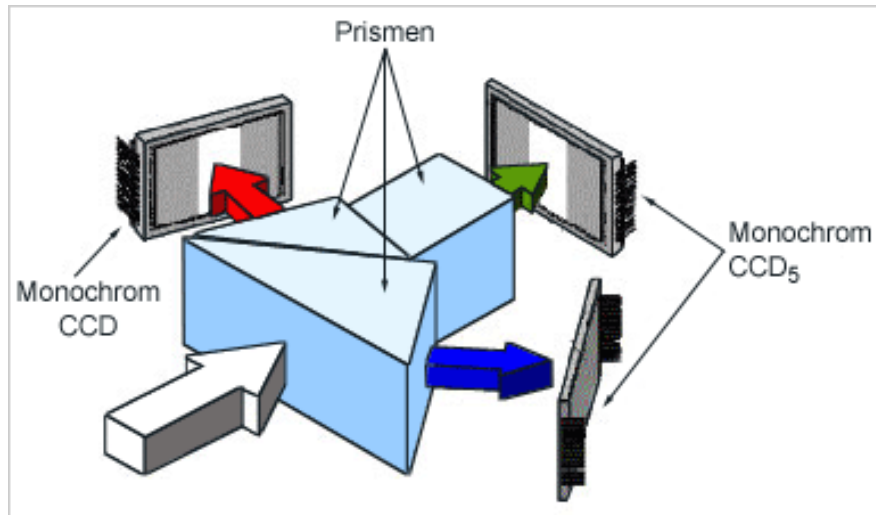
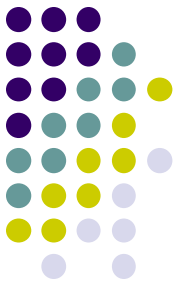
3 CCD



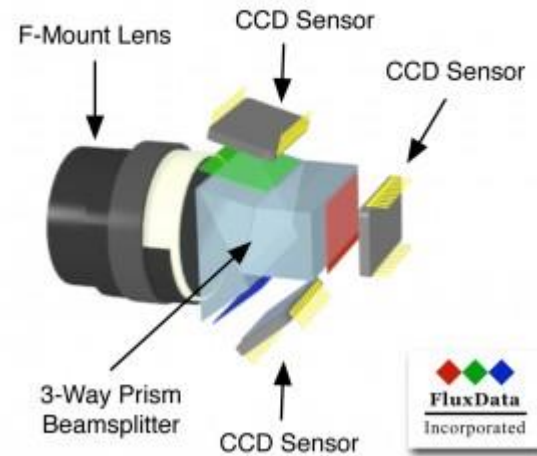
- Profesionální přístroje používají tři nezávislé monochromatické snímače pro snímání každé barevné složky zvlášť
- Tříčipový systém používá samostatné CCD snímače pro každou základní barvu (červená, zelená, modrá).
- Světlo, které vystupuje z objektivu, je diachronickými zrcadly (optickými hranoly) rozděleno na jednotlivé základní barevné složky
- Zařízení s 3 CCD snímači je zcela bez problému moaré a má lepší barevné podání
- Při nepřesném provedení může nastat problém se správným nasměrováním světla na odpovídající si body na jednotlivých panelech
- Ve fotoaparátech se nepoužívají kvůli velkým rozměrům (ve videokameře to kvůli jejímu dlouhému tělu nevadí)



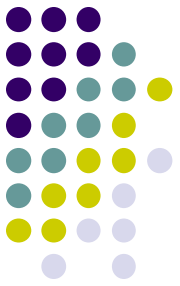
3 CCD



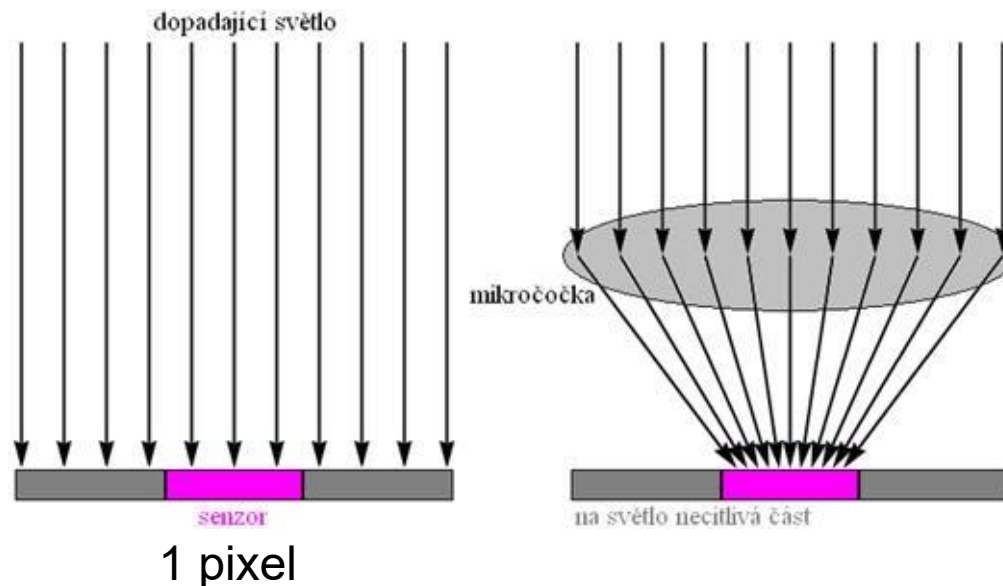
Schematic View of 3-CCD Camera



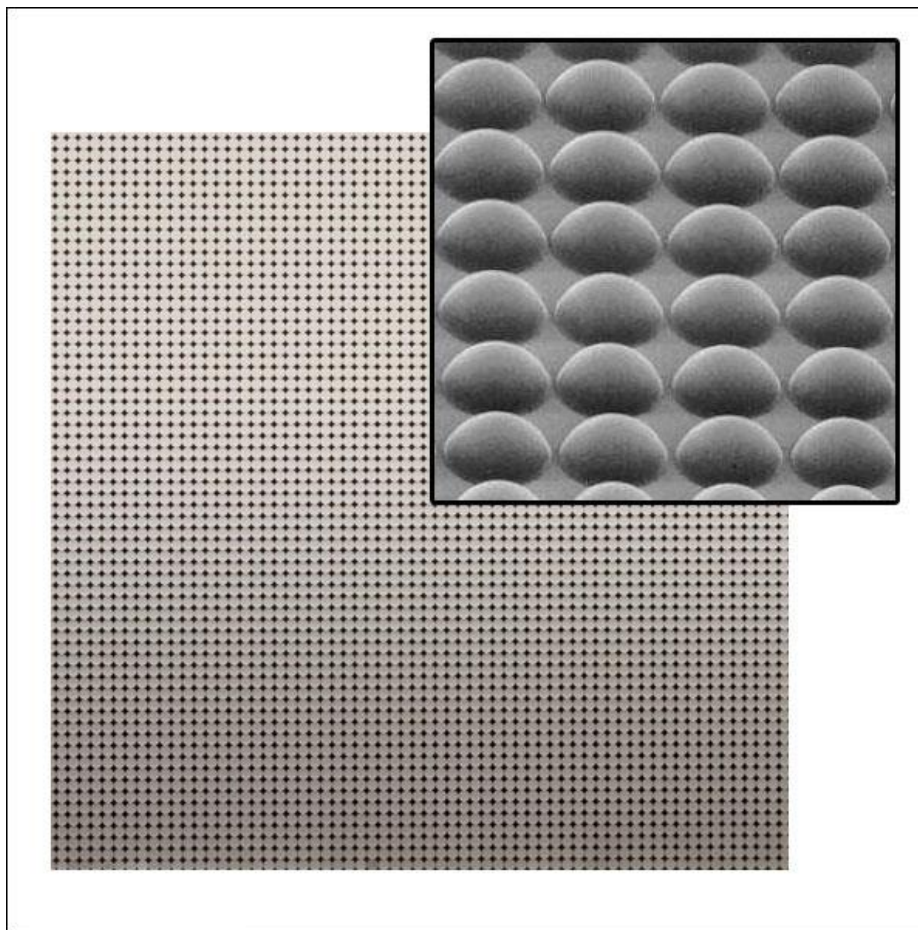
Mikročočky

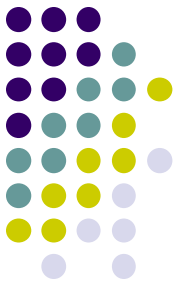


- Jednotlivé senzory na snímači spolu nesousedí zcela těsně, ale jsou mezi nimi **mezery**
- Tyto mezery pohlcují nebo odrážejí dopadající světlo
- Část na pixel dopadajícího světla tedy není vůbec zachycena – pixel je citlivý jen uprostřed
- Řešením je použití mikročoček
- Světlo, které by bez použití mikročoček dopadlo do mezer mezi pixely, je směřováno do středu buňky
- Každý pixel má svou vlastní miniaturní mikročočku
- Mikročoček jsou tedy na snímači miliony
- Mikročočky zvyšují citlivost snímače – zlepšují schopnost jednotlivých pixelů zachycovat světlo



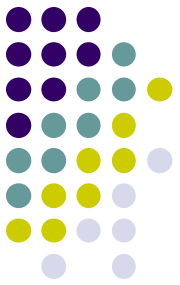
Mikročočky





Více megapixelů = lepší obraz ?

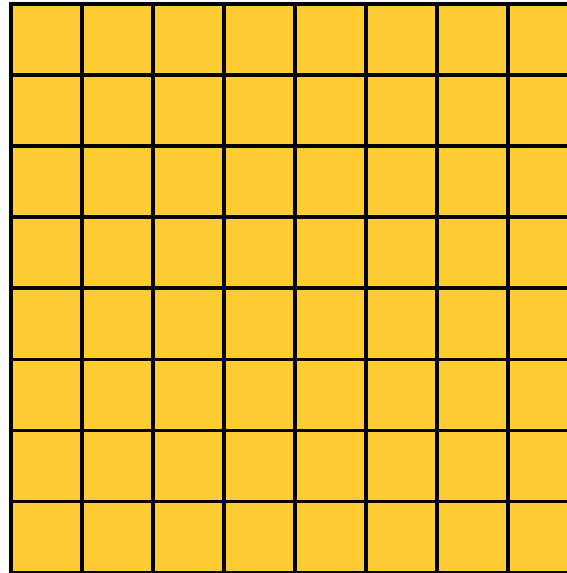
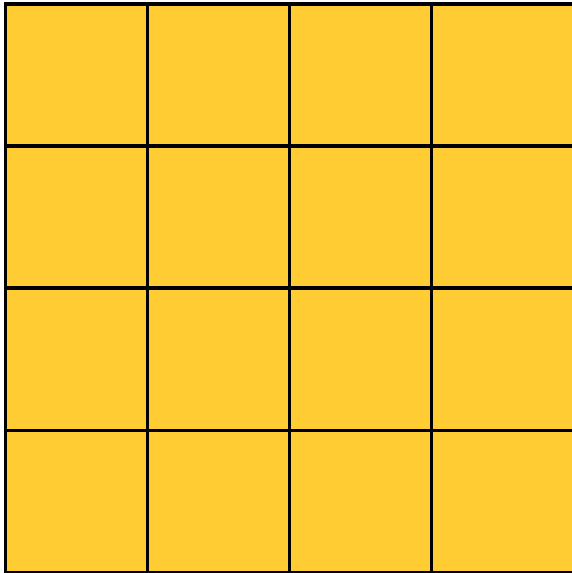
- Výrobci stále zvyšovali rozlišení snímačů fotoaparátů, až narazili na fyzikální limity.
- Novější modely pak často fotily hůř než jejich předchůdci.
- Výrobci digitálních fotoaparátů mezi sebou soupeří o zákazníka pomocí snadno porovnatelných parametrů
- Ti, kteří se v problematice digitální fotografie příliš neorientují, vybírají podle počtu megapixelů, které dokáže fotoaparát zaznamenat
- Vyšší rozlišení může ale paradoxně znamenat nižší obrazovou kvalitu
- Rozměry snímače v nejlevnějších fotoaparátech jsou velmi malé – cca 4 x 6 mm
- Aby se více pixelů vešlo na malý snímač v levném fotoaparátu, musí být **pixely velmi malé**
- Velmi malé pixely mají ale špatnou citlivost (zachytí méně fotonů) a obraz je degradován šumem
- Zaostřit obraz na velmi malé pixely je složité a vyniknou při tom všechny optické vady objektivu
- **Hustota pixelů** na snímači je příliš vysoká a **optika nezvládá tak jemnou kresbu** – sousední pixely snímače vidí v podstatě totéž
- Důležité je hledět nejen na rozlišení, ale i na poměr rozlišení a velikosti čipu – hustotu pixelů (pixel density)



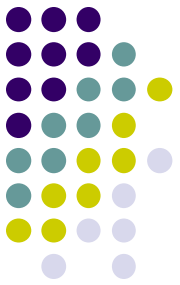
Snímače obrazu

- **Hustota megapixelů – pixel density**
 - Astronomické dalekohledy 0,5 až 1 Mpx/cm²
 - Zrcadlovky 1 až 3 Mpx/cm²
 - Nej kvalitnější kompakty 15 až 25 Mpx/cm²
 - Průměrné kompakty 25 až 45 Mpx/cm²
 - Mobilní telefony přes 50 Mpx/cm²

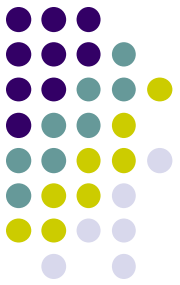
Pixely tohoto snímače zachytí 4x více světla než pixely snímače napravo. Snímek bude mít ale méně detailů.



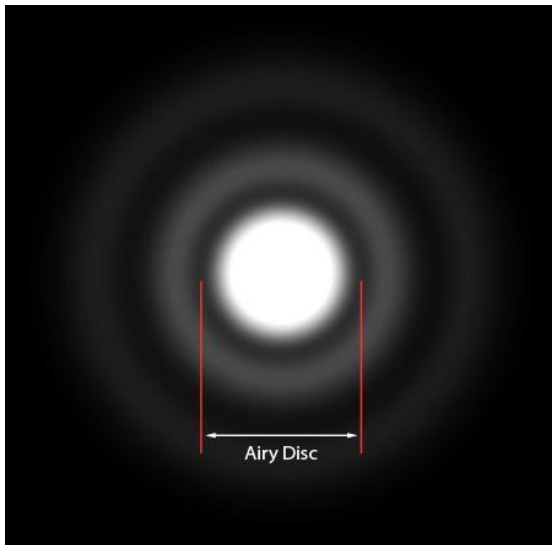
Tento snímač má vyšší hustotu pixelů. Na stejné ploše je umístěno 4x více pixelů, takže snímek bude mít vyšší rozlišení. Každý pixel tohoto snímače ale zachytí 4x méně světla než pixel snímače nalevo. Obraz bude mít výrazně vyšší šum. Abychom opravdu viděli na snímku více detailů, je třeba použít kvalitní objektiv, který dokáže na každý malý pixel vykreslit „jinou informaci“



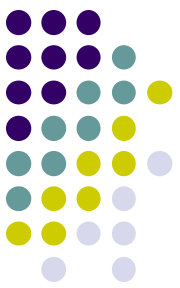
Difrakce



- Obraz na snímač musí být promítnut **objektivem**
- Objektiv neumí vykreslovat **nekonečně malé body**
- Světelný bod bude i tím nejkvalitnějším objektivem vykreslen jen jako rozmazané kolečko s určitým průměrem
- „Rozpliznutí“ vykreslovaného obrazu způsobuje jev zvaný **difrakce**
- Rozmazané kolečko, které objektiv vykreslí na snímač místo dokonalého nekonečně malého bodu se nazývá **Airyho disk**



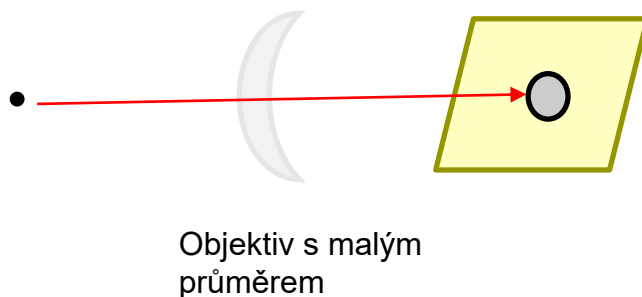
Airyho disk – podoba nejmenšího bodu, jaký dokáže objektiv vykreslit



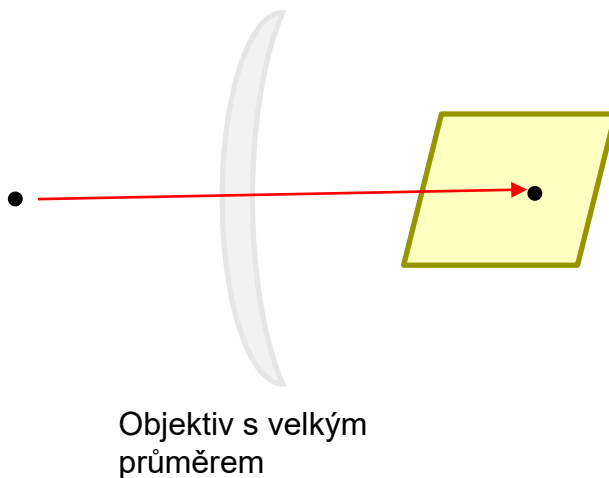
Difrakce

- Velikost Airyho disku závisí na jediném parametru – na **průměru objektivu**
- Čím má objektiv **větší průměr**, tím **menší body** dokáže na snímač vykreslit
- Čím má objektiv dalekohledu **větší průměr**, tím **lepší detaily** s ním lze pozorovat – proto se u astronomických dalekohledů neuvádí jejich zvětšení ale průměr (ten je důležitý také v tom, kolik slabého světla dalekohled zachytí)
- To, zda rozlišíte pětikorunu na vzdálenost 1 kilometr, nezáleží na zvětšení, ale na **průměru objektivu** (*mimochodem v tomto případě je potřeba průměr alespoň 25 milimetrů*)
- Vykreslit detailní obraz na miniaturní pixely snímače umí lépe objektiv s velkým průměrem než objektiv s malým průměrem

Difrakce



Vykreslí na snímač obraz hvězdy jako velké rozmazané kolečko – Problém je pokud je průměr tohoto kolečka (Airyho disku) větší než rozměr pixelu – V takovém případě má snímač zbytečně velký počet malých pixelů. Objektiv nedokáže vykreslit tolik detailů, kolik je pixelů

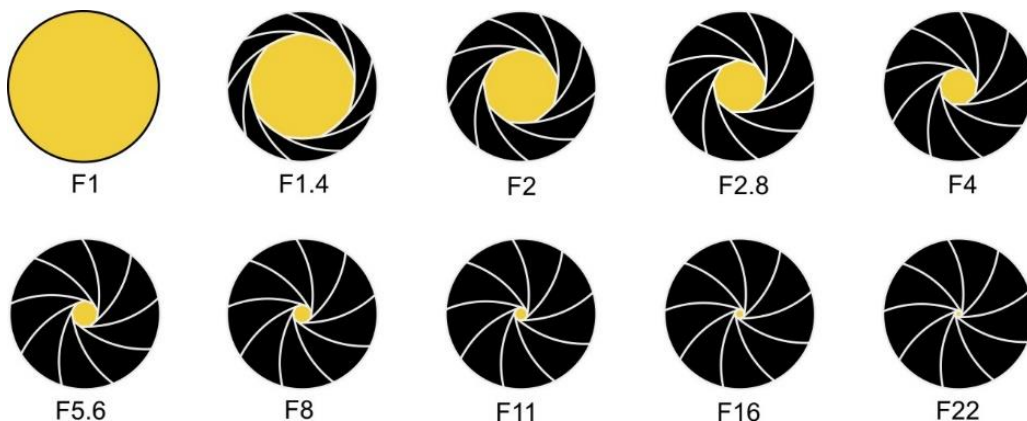


Dokáže na snímač vykreslit obraz hvězdy jako malý bod

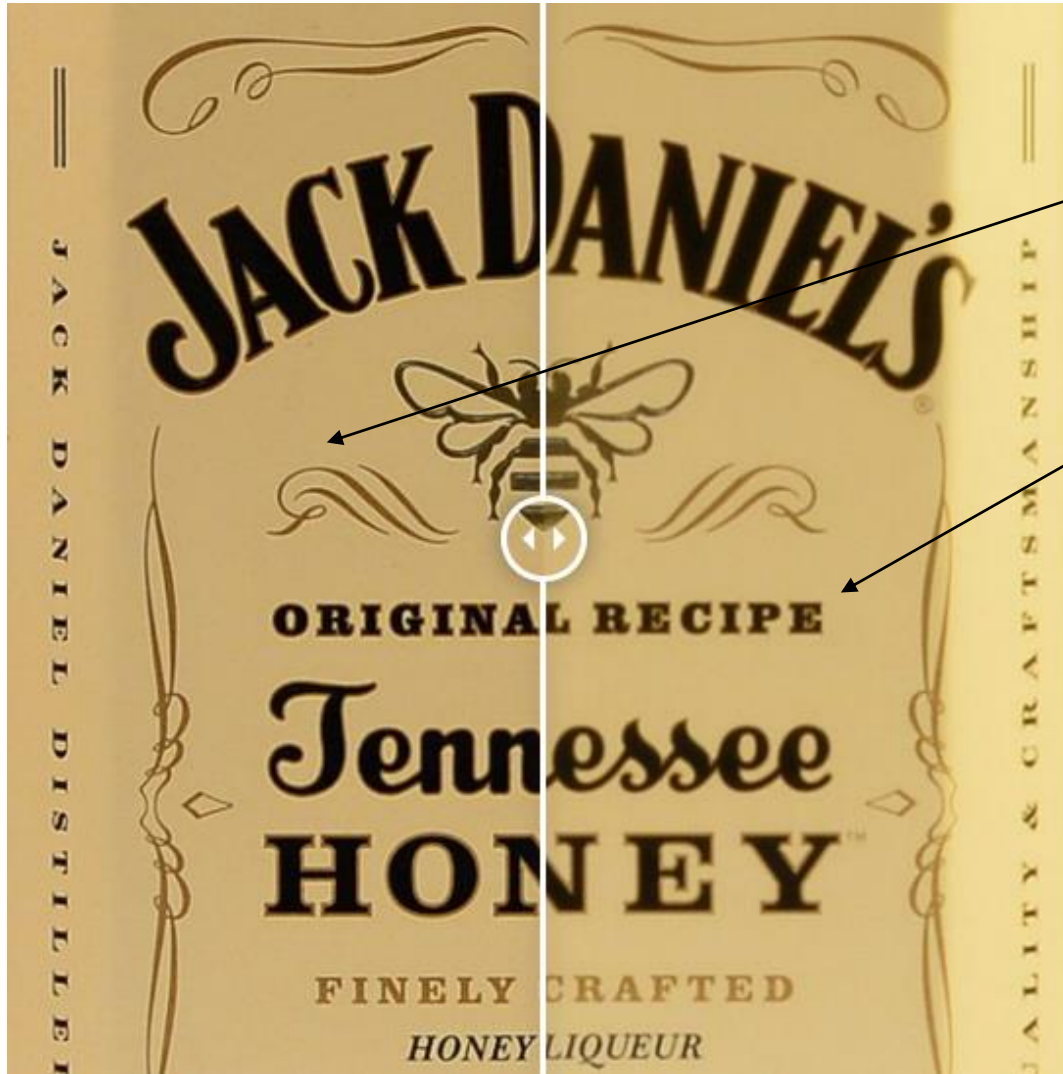
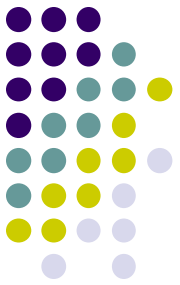
Clona



- Objektiv lze **zaclonit** a tím snížit množství zachyceného světla
- Zacloněním objektivu se ale také zmenší jeho **efektivní průměr**
- Čím více bude objektiv zacloněný, tím horší má **rozlišovací schopnost** – vykresluje větší Airyho disky (rozmazaná kolečka místo malých ostrých bodů)
- Příliš zacloněný objektiv nedokáže na snímač vykreslovat body menší, než jaká je velikost pixelů
- Příliš zacloněný objektiv, má malý efektivní průměr a vykresluje body větší, než jaká je velikost pixelů na snímači – obraz je méně ostrý



Difrakce



Snímek nalevo byl pořízen s clonou 1,8 – tedy odcloněný objektiv s velkým průměrem

Snímek napravo byl pořízen se clonou 16 – objektiv je zacloněný, efektivní průměr objektivu se zacloněním zmenšil a objektiv nedokáže vykreslit malé ostré body na snímáči



Hloubka ostrosti

- Z dob fotografie na kinofilm platí pravidlo: čím **vyšší clona**, tím větší **hloubka ostrosti**
- **Hloubka ostrosti** = na fotografii budou ostré předměty, na které je objektiv zaostřený i objekty **v pozadí a popředí**
- Čím větší hloubka ostrosti, tím hlouběji před a za ostřeným objektem bude obraz ostrý
- Čím více byl objektiv zacloněný, tím byla **hloubka ostrosti vyšší**
- U digitálních fotoaparátů toto nemusí platit kvůli **difrakci** a malému rozměru objektivu a snímáče
- Difrakce při velkém zaclonění způsobuje, že se bod nezobrazí jako bod, ale jako rozplzlé kolečko - **Airyho disk**
- Na snímáči s vysokou hustotou pixelů, na pixely s rozměrem menším než Airyho disk, pak zacloněný objektiv vykresluje rozmazaný obraz a hloubka ostrosti se nezvýší
- Na fotoaparátu s **vysokou hustotou pixelů** snímáče tedy **vyšší clona** nezpůsobí zvýšení hloubky ostrosti, ale naopak celkovou **ztrátu ostrosti** (zvětšením Airyho disku nad průměr miniaturních pixelů)
- Nastavení hloubky ostrosti pomocí clony tak funguje dobře pouze na dražších fotoaparátech s **velkým snímáčem** a objektivem (typicky digitální zrcadlovky) – i při zacloněném objektivu dokáží vykreslovat body menší než jsou pixely na snímáči
- **Malé kompaktní fotoaparáty nebo mobilní telefony vůbec clonu nemají.** Kdyby se jejich miniaturní objektiv ještě zaclonil, zůstal by velmi malý průměr a klesla by jeho schopnost vykreslovat ostře body na malý snímáč

Hloubka ostrosti



Závislost hloubky ostrosti na cloně



f/ 2.8



f/ 4



f/ 5.6



f/ 8



f/ 11



f/ 16

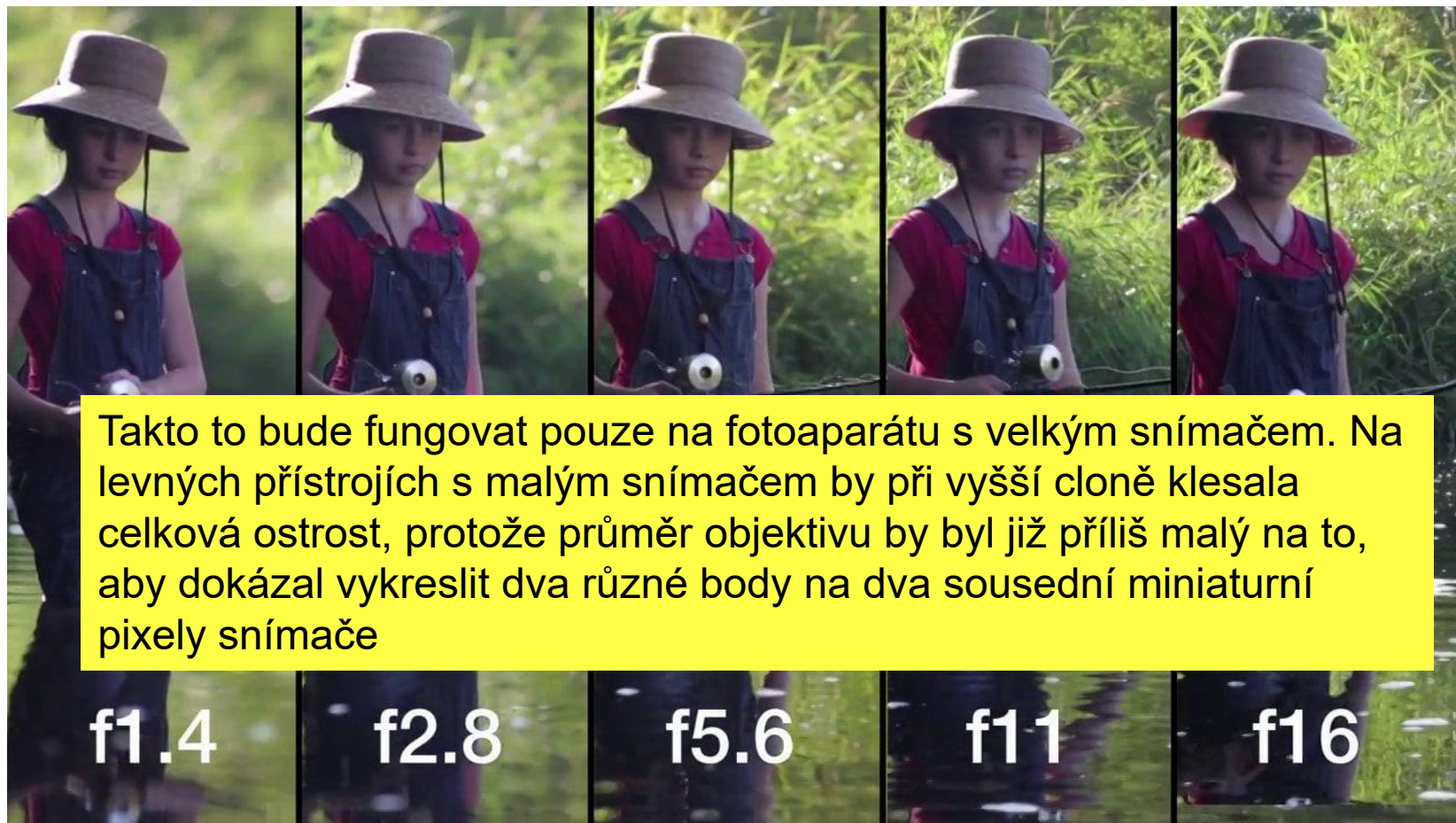




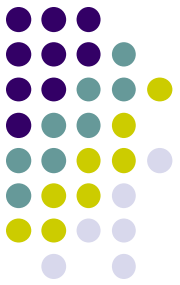
Hloubka ostrosti

Malá hloubka ostrosti

Velká hloubka ostrosti

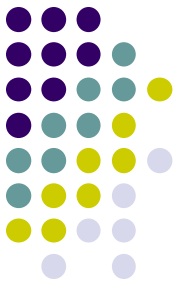


Blooming



- Je-li snímán **silný bodový zdroj světla**, na některé pixely dopadne tolik fotonů, že se překročí jejich kapacita udržet excitované elektrony
- Přebytkové elektrony se pak roztečou do okolních pixelů, takže okolo silného světla vzniknou na fotografii ovály a čáry nepravidelných délek
- Čím menší rozměry pixelu a vyšší hustota pixelů, tím větší bude náchylnost snímače k bloomingu
- Na fotoaparátech s **CMOS** snímačem (probereme později) se **neprojevuje**, protože tam nedochází k akumulaci náboje



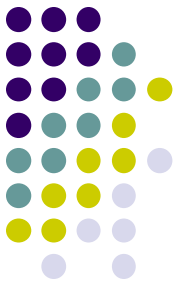


Smearing

- Vzniká u fotoaparátu a kamer, které nemají mechanickou uzávěrku
- CCD vlastně pracuje ve dvou fázích
 - **Expozice** – dochází k osvětlení pixelů přicházejícími fotony akumulaci excitovaných elektronů
 - **Readout** – posuv náboje směrem ven a vyhodnocení jeho velikosti
- Během fáze **readout** stále dopadají na snímač nové fotony a pixely pokračují ve sbírání světla
- K nábojům akumulovaným ve fázi expozice se při jejich posunu přičítají nově excitované elektrony
- Fáze readout sice proběhne velmi rychle, ale silné zdroje světla přesto dokáží vyprodukovat v posouvajícím se zachyceném obraze „**vertical smear**“
- Čím je fáze **readout** rychlejší, tím bude **smearing** slabší, ale sníží se přesnost měření náboje a tím pádem se zvýší **šum**
- Fotoaparát s **mechanickou uzávěrkou** během fáze Readout **uzavře objektiv** a náboje posouvající se CCD snímačem směrem k okraji již na své cestě nemůže nic ovlivnit

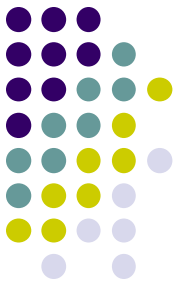


Smearing

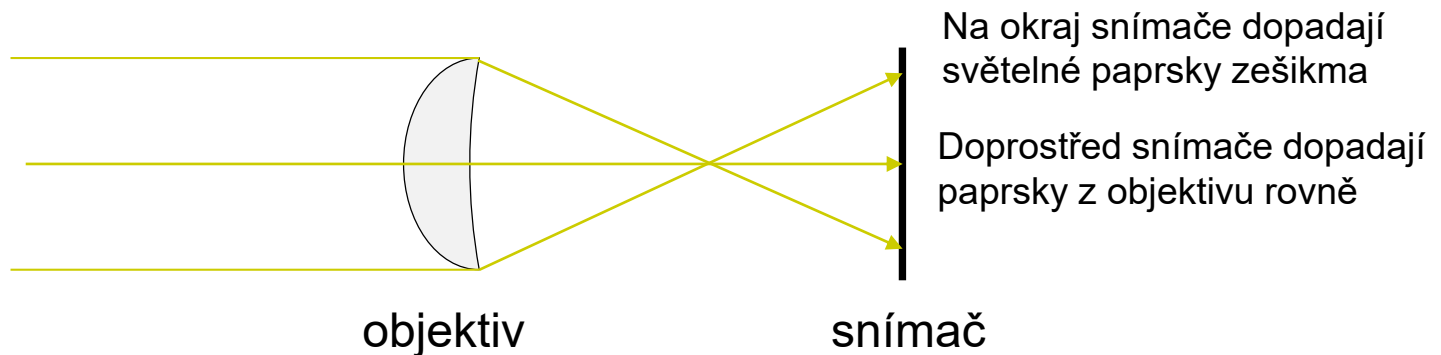


- Smearing je možné spatřit při průběžném sledování jasného zdroje světla na displeji fotoaparátu s CCD snímačem
- Na vlastní fotografii se pak obvykle tyto jasné vertikální čáry neobjeví – po expozici snímku se ve fázi readout se snímač zakryje nebo jinak znecitliví
- Při **průběžném sledování** (přípravě snímku před vlastním stisknutím spoušti) je snímač stále aktivní a odkrytý a smearing je patrný
- Na fotoaparátech s **CMOS** snímačem (probereme později) se smearing **neprojevuje**, protože tam nedochází k posuvu náboje

Vinětace



- Nad jednotlivými pixely jsou umístěny **mikročočky**, které soustřeďují přicházející světlo do středu pixelu, aby fotony nedopadaly do mezipixelových mezer (viz několik stránek zpět)
- Tyto mikročočky soustředí do středu pixelu pouze paprsky dopadající kolmo na mikročočku
- Jakmile dopadají paprsky na mikročočku šikmo, budou soustředěny mimo citlivý střed pixelu
- Bohužel z běžného objektivu ve fotoaparátu dopadají paprsky kolmo na snímáček jen uprostřed a směrem ke krajům snímáče se jejich úhel zvětšuje

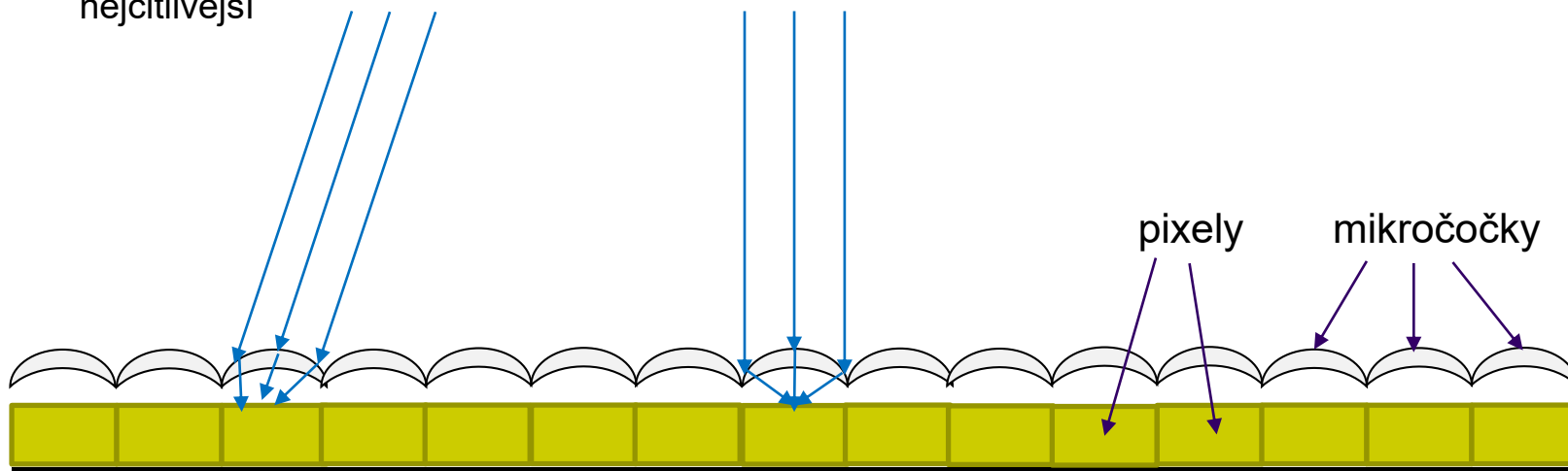


Vinětace



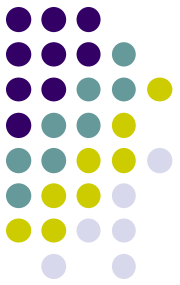
Na mikročočky na krajích snímače dopadá světlo z objektivu zešikma a ty ho nemohou správně soustředit doprostřed pixelu, kde je nejcitlivější

Na mikročočky uprostřed snímače dopadá světlo z objektivu kolmo a tak ho mohou správně soustředit doprostřed pixelu, kde je nejcitlivější



SNÍMAČ

Vinětace

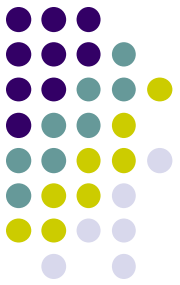


- Světlo dopadající na **pixels na okrajích snímáče** bude tedy snímáno hůř, protože do těchto míst dopadá z objektivu pod odkloněným úhlem
- Na optiku objektivu pro digitální fotoaparáty jsou proto kladeny vyšší nároky než na optiku filmových aparátů (kinofilm)
- Kombinace objektivu/snímáče musí být dobře „vyladěny“
- Mikročočky v **rozích snímáče**, na které dopadá světlo z objektivu pod nejvíce odkloněným úhlem mohou být upravené tak, aby tento úhel kompenzovaly
- To bude ale fungovat pouze pro objektiv s pevnou ohniskovou vzdáleností
- Objektiv se zoomem má proměnlivou ohniskovou vzdálenost a s ní se mění i úhel, pod kterým se lámou paprsky do ohniska a promítají na snímáče
- U levných objektivů se zoomem se vinětace se obvykle objeví při kratší ohniskové vzdálenosti (nejmenší přiblížení, širokoúhlý pohled – tehdy je úhel paprsků dopadajících do rohů snímáče nejvyšší)
- Vinětace se projeví například tak, že vyfotíte bílou zeď, ale na fotografiích je bílý pouze střed a směrem do rohů fotografie se z bílé stává šedá

Vinětace

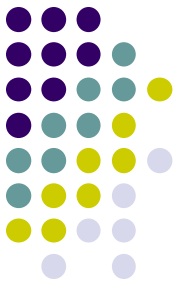


Citlivost na různé vlnové délky

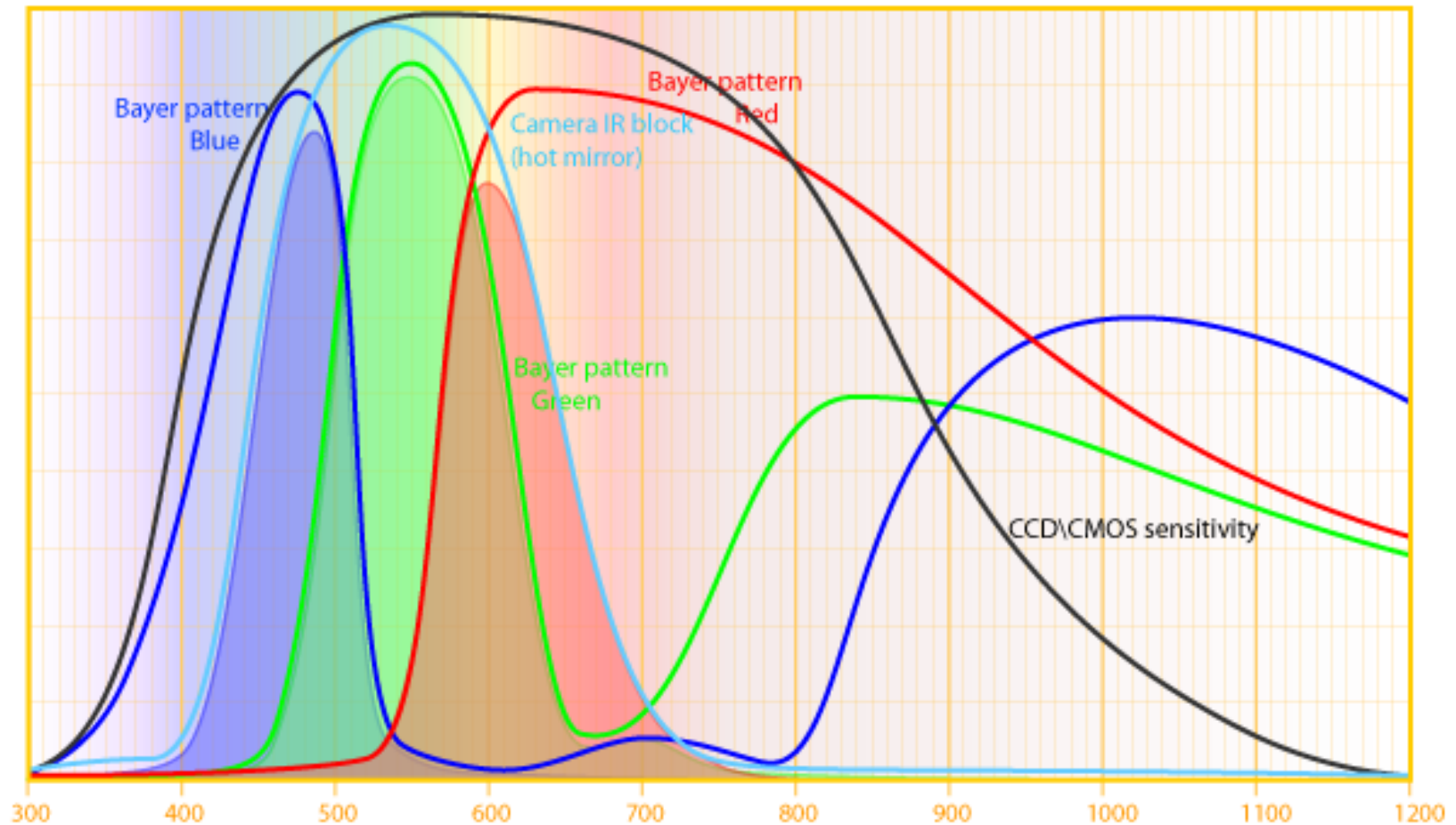
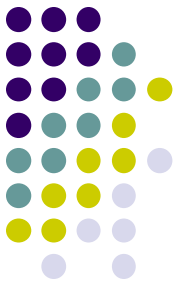


- CCD snímače jsou citlivé i na fotony vlnových délek, které jsou pro lidské oko neviditelné
 - Fotografie tak může být ovlivněna neviditelným **UV a IR zářením**
 - Některé záhadné fotografie „duchů a UFO“ byly nakonec vysvětleny zachycením silných IR zdrojů snímačem fotoaparátu
 - Fotoaparát nebo kamera je například schopna zachytit světlo IR LED diod z dálkového ovládání TV (vyzkoušejte si to)
 - **IR LED** diody lze použít k „neviditelnému“ osvětlení při nočním vidění – Místnost osvítíte zdrojem světla složeného z IR LED a přesto, že pro lidské oko v ní bude naprostá tma, fotoaparát nebo kamera „uvidí“ a budou fungovat
 - **Bezpečnostní kamery** mohou snímat místnost i **v noci**, protože si ji osvítí IR diodami
 - Většina snímačů je opatřena IR filtrem, který redukuje množství dopadajícího IR záření, které by interferovalo s obrazem ve viditelném spektru a degradovalo by zejména barevné vyvážení.
 - ICR – IR Cut Filter Removable – V denním režimu je IR filtr aktivován a v nočním režimu je možné ho posunout mimo snímač a povolit tak zachycení většího počtu IR fotonů
- <http://www.dallmeier.com/fr/produits-electronic/cameras/bon-a-savoir/fonction-icr.html>



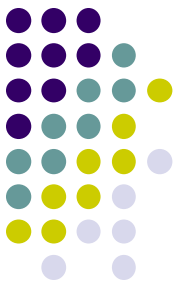


Citlivost barevného CCD snímače



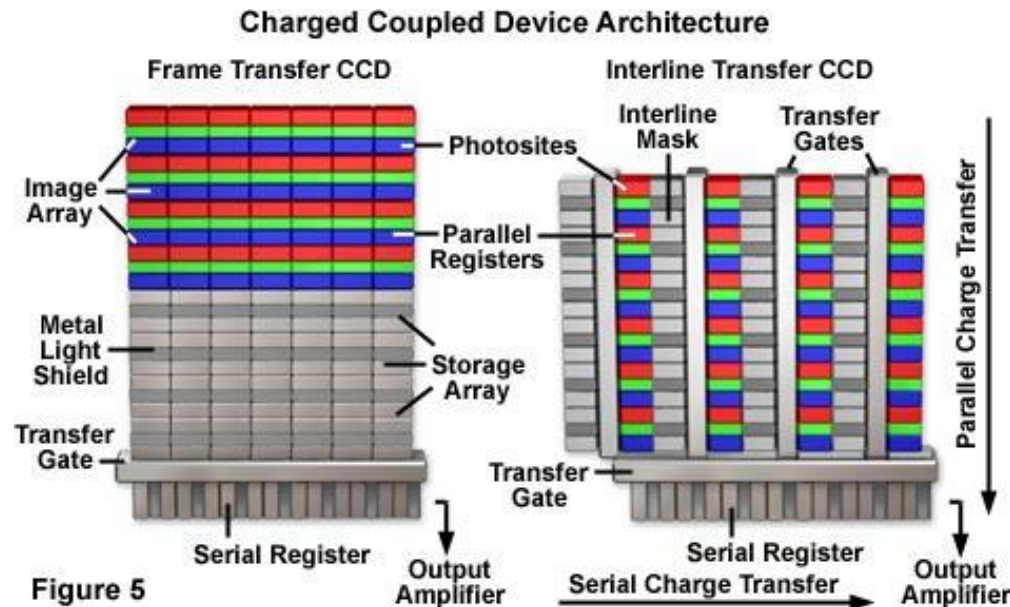
Citlivost snímače na IR

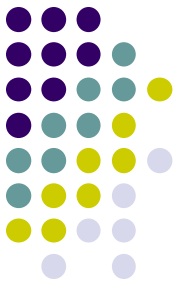




Interline transfer video-CCD

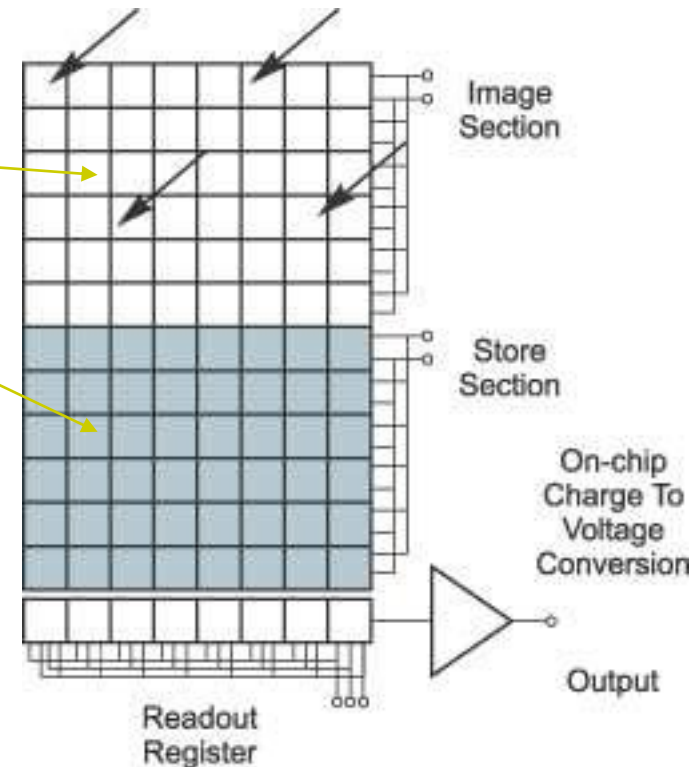
- **Fill factor** – udává kolik plochy CCD snímáče je skutečně použito k snímání světla (Nikdy to nemůže být 100%, protože mezi pixely jsou mezery)
- **Interline Transfer** CCD (ITL CCD) má u každého sloupce pixelů malý kanál stíněný před světlem
- Zde je možné po expozici snímku akumulovaný náboj schovat a tyto schované náboje následně vysouvat ven a číst
- Zatímco ze stíněného kanálu probíhá **čtení minulého snímku**, aktivní pixely sbírají světlo pro **další snímek**
- Takové snímáče umožňují po expozici jednoho snímku ihned pořizovat další snímek a používají pro **snímání videa**
- Nevýhodou je **nižší fill faktor**, který může klesnout až na 30 - 50 % - plocha snímáče není tvořena pouze citlivými pixely ale také stíněnými kanály, které si pamatují náboje minulého snímku





Frame transfer video-CCD

- **Frame transfer** CCD využívá druhé pole pixelů jako **odkládací**
- Exponována je pouze citlivá část snímače (image section)
- Po expozici se obsah všech pixelů přesune druhého pole pixelů (store section), které je skryto před světlem
- Přesun trvá déle než v případě Interline Transfer CCD – náboje se do store section musí postupně přesunout přes všechny řádky
- Výhodou je vyšší fill factor oproti Interline Transfer CCD – záložní pole pixelů leží mimo exponovanou oblast snímače a ne „mezi řádky“, takže nezabírá žádnou užitečnou plochu snímače



CMOS snímač

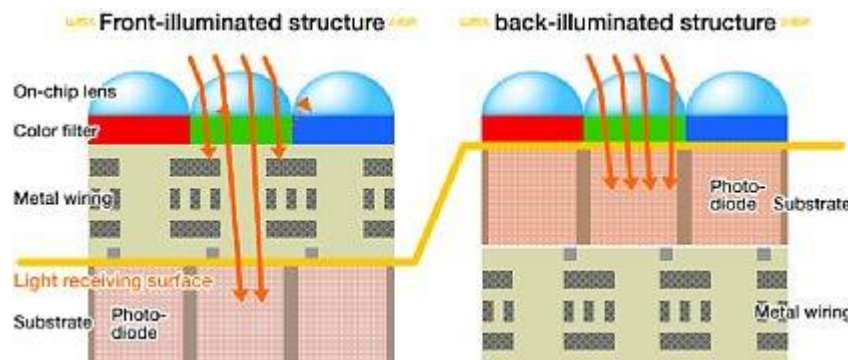


- **CMOS** (Complementary Metal Oxide Semiconductor)
- **CCD** snímač funguje na principu fotoelektrického jevu a **následného posuvu excitovaného náboje** v jednotlivých buňkách
- **CMOS snímač** je v podstatě běžný **integrovaný obvod** s tranzistory citlivými na světlo
- CMOS snímače jsou vyráběny velmi jednoduchou technologií podobně jako mikroprocesory, zatímco výroba CCD snímačů byla zcela odlišná a mnohem komplikovanější
- První CMOS snímače měly špatnou citlivost, nízký dynamický rozsah a vyšší šum oproti CCD, ale postupně se daří tyto nedostatky eliminovat
- Snímače CMOS mají menší spotřebu energie a jsou výrobně levnější
- CMOS čipy jsou v současné době **nejpoužívanějším typem obrazového snímače** ve fotoaparátech, kamerách, mobilních telefonech atd.
- CMOS senzor umí přenášet data **z každého bodu samostatně** - dokáže adresovat každou jednotlivou buňku zvlášť, není potřeba číst postupně hodnoty ze všech buněk jako u CCD
- Z CMOS senzoru lze tedy snadno okamžitě přečíst hodnotu jasu pixelu uprostřed snímače, číst okamžitě data z pixelu na libovolných souřadnicích x-y, číst data jenom z vybraného výřezu snímače, číst data jen z vybraných sloupců nebo řádků atd.

CMOS snímač



- CMOS snímač obvykle není jen snímačem, ale součástí tohoto integrovaného obvodu je rovnou i mikroprocesor zpracovávající získaná obrazová data
- Moderní CMOS snímač je tedy doslova mikroprocesorem s vrstvou tranzistorů reagujících na světlo
- Kromě tranzistorů reagujících na množství dopadajícího světla obsahují na své ploše další miliony tranzistorů, kterými jsou získaná data rovnou zpracovávána
- Malá citlivost levných CMOS čipů oproti CCD je způsobena právě těmito obvody, kvůli kterým je činná plocha čipu jen kolem 30 % - zbytek jsou výpočetní obvody
- Problém lze vyřešit opět mikročočkami nad každým pixelem
- Kvalitní fotoaparáty používají **back-illuminated CMOS čipy – BSI CMOS**
- Back Illuminated = „Zadní podsvícení“ - to bohužel není zrovna přesný název
- Přesunutím elektroniky za světlocitlivou část u těchto čipů vzroste činná plocha na téměř 100 %, výroba je ale podstatně složitější a dražší – jedná se o vícevrstvý integrovaný obvod
- **BSI CMOS** snímače jsou pak na výrobu obvykle dražší než CCD

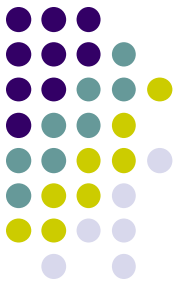


CMOS snímače



- S použitím CMOS snímačů lze snadno realizovat „jednočipové“ fotoaparáty
- V CMOS snímači je integrovaná i veškerá řídicí elektronika – v reálném čase je vyhodnocován kontrast, podle kterého se zaostřuje objektiv, jas podle kterého se upravuje expozice a snímky jsou výpočetními obvody snímače rovnou komprimovány do formátu JPG
- Do CCD snímače by toto integrovat nikdy nešlo – CCD snímač nemá nic společného s mikroprocesorem, jde v podstatě o zvláštní analogový obvod

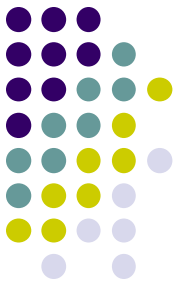




CMOS rolling shutter

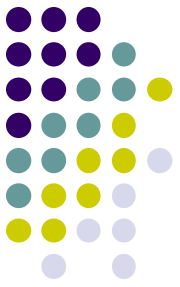
- Při zpracování obrazových dat z CMOS snímače se běžně používá metoda zvaná **rolling shutter**
- CMOS snímač je podstatě procesor s tranzistory citlivými na světlo a podobně jako klasický mikroprocesor má určitou „taktovací frekvenci“
- Obrazová data všech pixelů nemohou být zpracována všechna naráz a v nekonečně krátkém čase
- Expozice každého řádku snímku trvá stejně dlouho, ale je započata a dokončena v jiný časový okamžik
- Nejprve jsou exponovány **horní řádky** a až nakonec **spodní řádky**
- Čím je zpracování dat ve snímači pomalejší, tím větší je časový rozdíl mezi zpracováním dat v jednotlivých řádcích
- Špičkové drahé CMOS snímače dokáží zpracovat data ze všech řádků snímače skoro naráz
- Pomalé levné CMOS snímače (například v mobilních telefonech) zpracovávají dat ze spodních řádků snímače o dost později než z horních řádků)
- Ve chvíli, kdy jsou zpracovávána získaná obrazová data ze spodních řádků, mohou se horní řádky již exponovat následujícím snímekem

CMOS rolling shutter

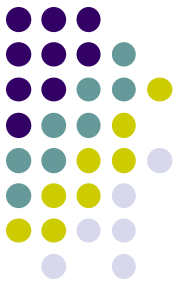


- Fotoaparáty s CMOS snímačem dosahují oproti CCD lepšího výkonu při sekvenčním snímání a snímání videa (tam se musel použít interline nebo frame transfer snímač)
- Pomalý **Rolling shutter** u levných CMOS snímačů má ale bohužel mnoho zásadních nevýhod:
 - Předměty, které se pohybují **zleva doprava** se budou jevit jako **nakloněné** (data na horních řádcích byla zpracována dříve a expozice těchto řádků započala dříve a v tu chvíli byl předmět více vlevo)
 - Předměty, které se pohybují **zprava doleva** se budou jevit jako **nakloněné** (data na horních řádcích byla zpracována dříve a expozice těchto řádků započala dříve a v tu chvíli byl předmět více vpravo)
 - Předměty, které se pohybují **shora dolů** se budou jevit jako **protažené** (Expozice dolních řádků a zpracování dolních řádků probíhá později a předmět se sem mezitím posunul a tím se jeho obraz protáhnul)
 - Předměty, které se pohybují **zdola nahoru** se budou jevit jako **zkrácené**
 - Předměty, které se **otáčejí** budou vypadat vytvářet bizarní **artefakty** (například listy rotující vrtule jsou na každém opožděně exponovaném řádku zachyceny v jiné poloze)
 - Krátké záblesky světla během delší expozice způsobí osvětlení pouze některých řádků obrazu (záblesk bude vidět pouze na těch řádcích snímku, které byly právě snímány během trvání záblesku, zatímco zbývající řádky snímány po nebo před zábleskem budou tmavé)
- <http://dvxuser.com/jason/CMOS-CCD/>

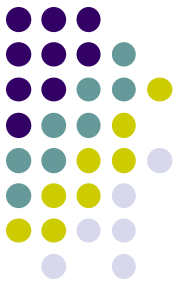
CMOS rolling shutter



Rolling shutter



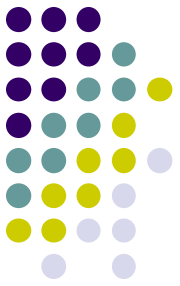
Rolling shutter



CCD

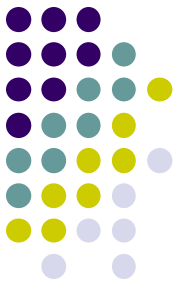
CMOS

CMOS rolling shutter



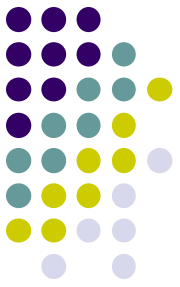
- <http://www.youtube.com/watch?v=17PSgsRIO9Q>
- <http://www.youtube.com/watch?v=LVwmtwZLG88>
- <http://www.youtube.com/watch?v=S1oPiyXu-hY>
- http://www.youtube.com/watch?v=iXg_7Ckv_io
- <http://www.youtube.com/watch?v=Dk6o5RAIaj4>
- <http://www.youtube.com/watch?v=uFFRGSCmTWc>
- http://www.youtube.com/watch?v=4IHlzRw_Oek

Objektiv

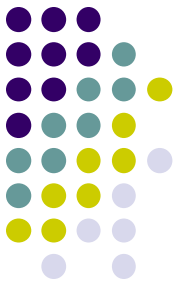


- Úkolem objektivu je promítnout fotografovanou scénu na snímač
- Základním parametrem objektivu je **ohnisková vzdálenost** (označujeme f – focal length), kterou udáváme v milimetrech
- Čím **kratší ohnisková vzdálenost**
 - Tím je objektiv širokoúhlejší
 - Objektiv je kratší
 - Má větší zorné pole
 - Má menší přiblížení
 - Na snímač vykreslí menší obraz předmětu
- Čím **větší ohnisková vzdálenost**
 - Tím delší objektiv
 - Objektiv má užší zorné pole
 - Větší „přiblížení“
 - Na snímač vykreslí větší obraz předmětu
- Většina moderních objektivů nemá pevnou ohniskovou vzdálenost, ale lze ji plynule měnit v určitém rozsahu – ZOOM objektiv
- Uveden pak bývá interval, ve které lze ohniskovou vzdálenost objektivu nastavit
- např. (30 - 300 mm 10x ZOOM)

Objektiv ohnisková vzdálenost

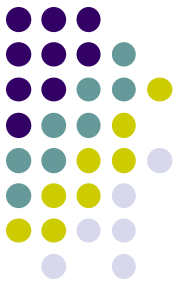


Objektiv



- Výsledné zorné pole a přiblížení nezáleží pouze na ohniskové vzdálenosti objektivu, ale také na velikosti snímáče
- Fotoaparát s polovičním rozměrem snímáče pořídí fotografii s dvojnásobným zvětšením než fotoaparát se stejným objektivem ale větším snímáčem
- Aby bylo možné porovnat zorné pole a přiblížení různých fotoaparátů s různou velikostí snímáče, udává se obvykle nikoliv skutečná ohnisková vzdálenost objektivu, ale **přepočítaná ohnisková vzdálenost**
- Přepočítaná - **ekvivalentní ohnisková vzdálenost** objektivu – jakou by měl objektiv se stejným zorným úhlem na kinofilmovém fotoaparátu – rozměr snímáče (políčka kinofilmu) 36x24 mm
- Objektiv s ohniskovou vzdáleností **25 mm** vykreslí na snímáč o rozměrech 18x12 mm stejný snímek, jaký by na **full-frame snímáč** (36x24 mm) vykreslil objektiv s ohniskovou vzdáleností **50 mm**
- Pro objektiv s ohniskovou vzdáleností 25mm ve fotoaparátu se snímáčem *18x12 mm* bude uvedena **ekvivalentní ohnisková vzdálenost 50 mm**
- Pokud by tento stejný objektiv byl použit ve fotoaparátu se snímáčem *9x6 mm*, byla by jeho **ekvivalentní ohnisková vzdálenost 100 mm**

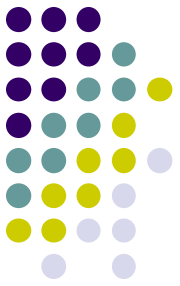
Objektiv



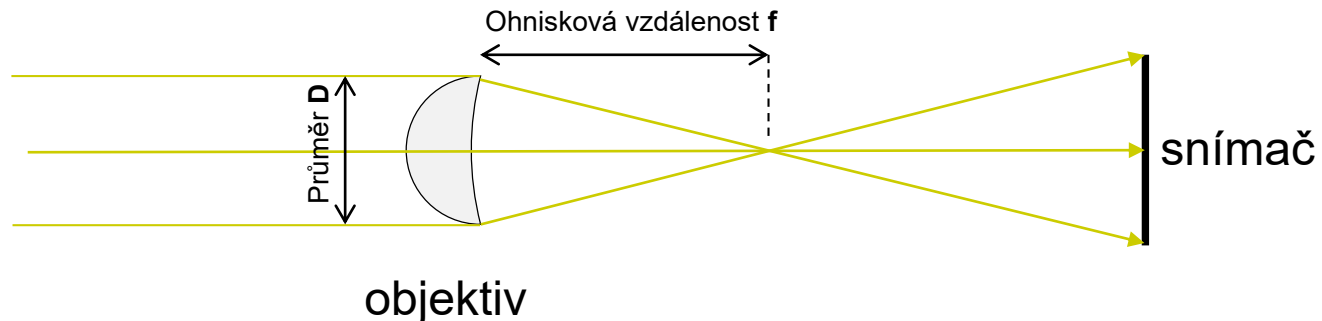
Příklad

- Jednopalcový snímač s rozměry **13,2x8,8 mm**
 - Ohnisková vzdálenost objektivu je **11 mm**
 - Jaký crop factor má tento snímač?
 - Jaká ekvivalentní ohnisková vzdálenost tomu odpovídá?
-
- Šířka snímače je 2,7x menší než šířka full-frame snímače ($36 \text{ mm} / 13,2 \text{ mm} = 2,7$)
 - Crop factor = **2,7**
 - Ekvivalentní ohnisková vzdálenost objektivu bude 2,7x větší, protože snímač je 2,7x menší
 - Ekvivalentní ohnisková vzdálenost objektivu je $2,7 \times 11 \text{ mm} = \mathbf{30 \text{ mm}}$
 - Na klasickém analogovém fotoaparátu na kinofilm by stejné zorné pole (do šířky) jako tento objektiv měl objektiv s ohniskovou vzdáleností 30 mm

Clona, clonové číslo



- Otvor pro vstup světla je vybaven **clonou**, umožňující měnit jeho velikost a tím ovlivňovat množství vnikajícího světla a tím i výslednou světlost fotografované scény
- používá se tzv. **clonové číslo**, které vyjadřuje poměr ohniskové vzdálenosti a průměr otvoru objektivu
- Clonové číslo se značí velkým písmenem F nebo jako podíl f/n
- f – ohnisková vzdálenost objektivu, d – průměr objektivu
- $F = f / d$

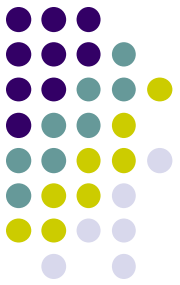




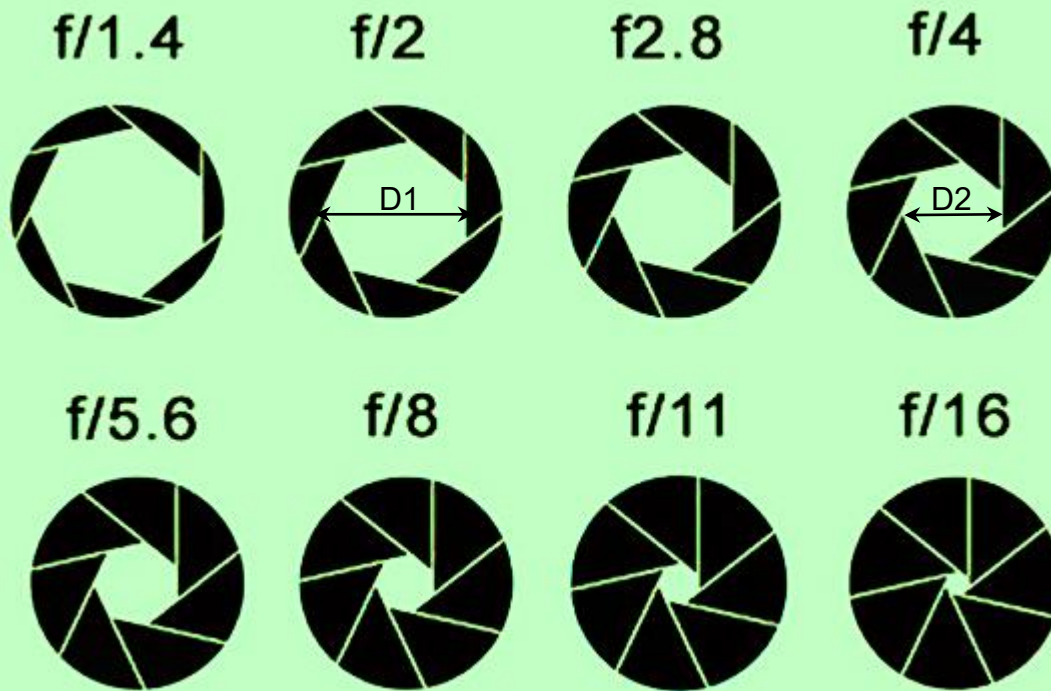
Clona, clonové číslo

- Čím je clonové číslo **nižší**, tím je **objektiv světelnější**
- Důležité je clonové číslo objektivu bez clony – to udává **světelnost objektivu**
- Zvýšit clonové číslo pak lze jednoduše zacloněním objektivu, ale naopak to nejde (to by se musel zvětšit průměr skel objektivu)
- **Dvojnásobné clonové číslo**, znamená **poloviční efektivní průměr** objektivu, což znamená **čtyřikrát menší plochu** zachycující světlo (plocha je na průměru závislá **kvadraticky**)
- **Dvojnásobné clonové číslo** znamená **čtyřikrát méně zachyceného světla** a pro expozici stejné fotografie pak bude nutný čtyřikrát delší čas, aby snímač zachytil stejné množství fotonů
- U fotoaparátů s velkým snímačem se vzrůstajícím zacloněním roste **hloubka ostrosti** (oblast před i za zaostřeným místem, v níž se budou předměty stále jevit jako ostré), u kompaktních fotoaparátů bohužel vlivem difrakce při vysoké clonovém čísle ostrost celkově klesá (viz předchozí stránky dříve)

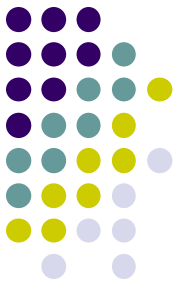
Clona, clonové číslo



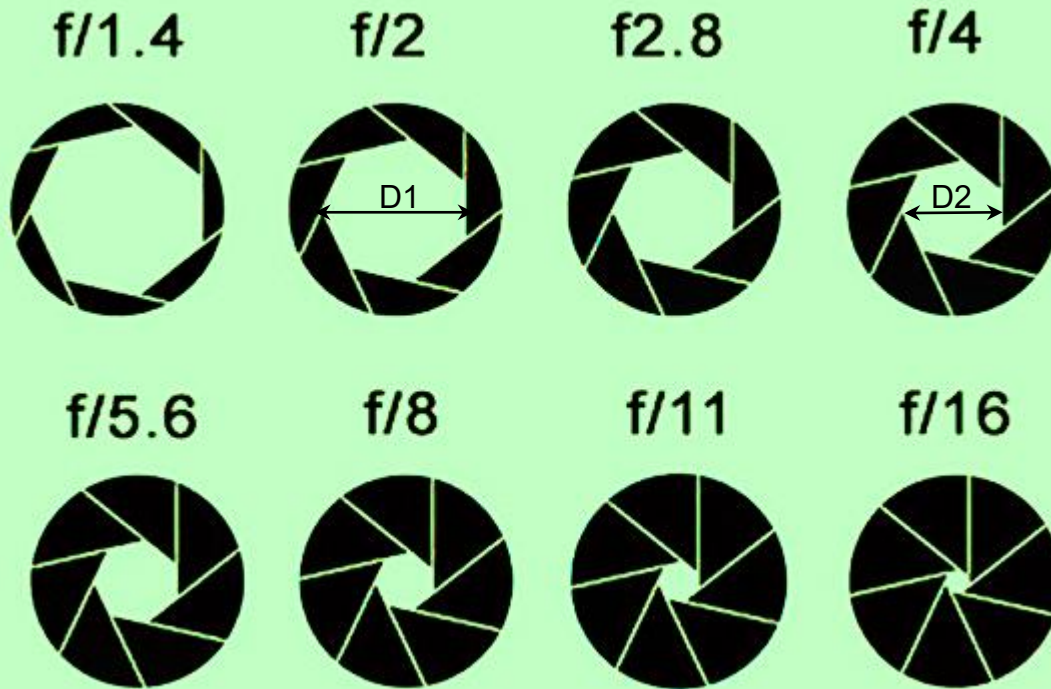
S nastavením clony $f/4$ je průměr objektivu $D2$, kterým může procházet světlo **poloviční**, oproti průměru $D1$ při nastavení clony $f/2$

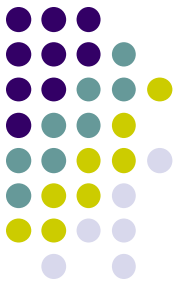


Clona, clonové číslo



S nastavením clony $f/4$ je plocha kterou může procházet světlo čtyřikrát menší, oproti ploše objektivu při nastavení clony $f/2$



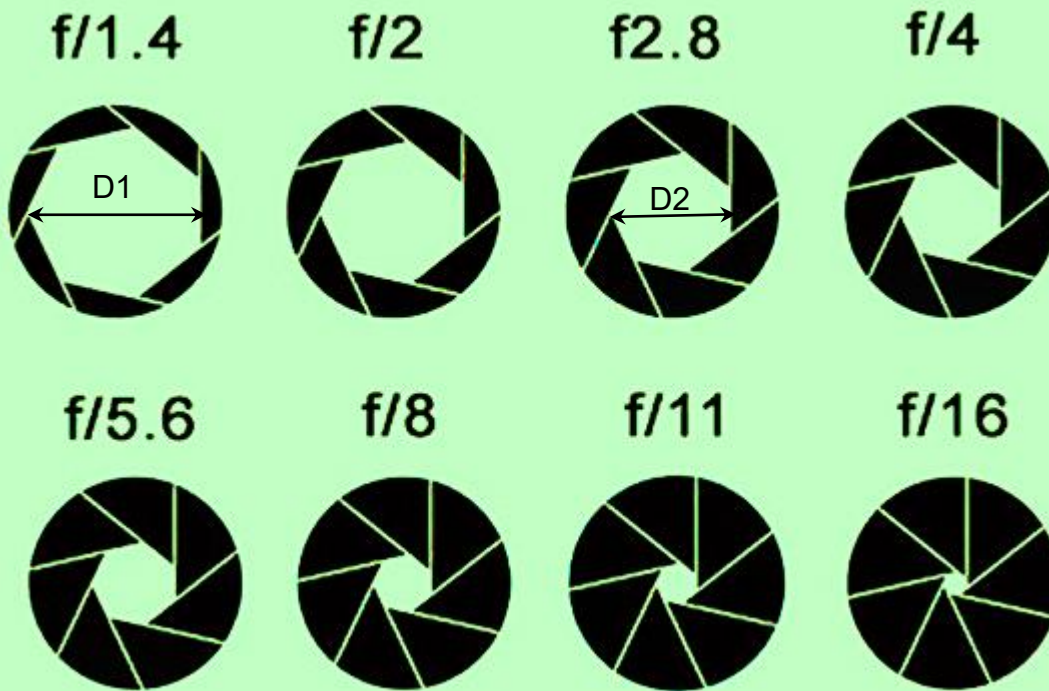


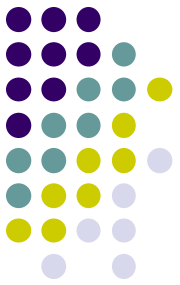
Clona, clonové číslo

Totéž platí pro clony 1.4 a 2.8

Objektiv se clonou 2.8 má ve srovnání se clonou 1.4

poloviční efektivní průměr a tím pádem **čtyřikrát menší plochu**, kterou může procházet světlo. Objektiv se clonou 2.8 zachytí **čtyřikrát méně světla**, než se clonou 1.4



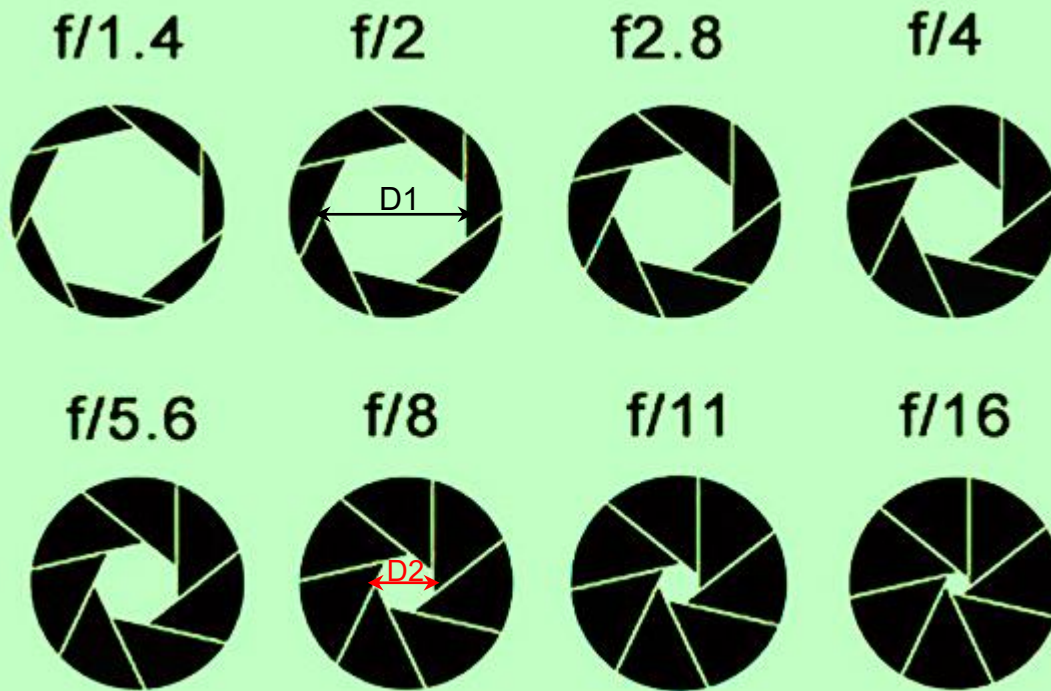


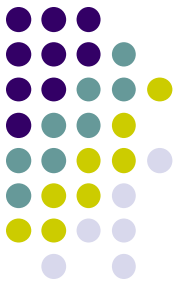
Clona, clonové číslo

Objektiv se clonou 8 má efektivní průměr D2 **čtyřikrát menší** než je průměr D1 u objektivu se clonou 2.

Plocha více zacloněného objektivu, kterou může procházet světlo, je v tomto případě **šestnáctkrát menší** než u objektivu se clonou 2.

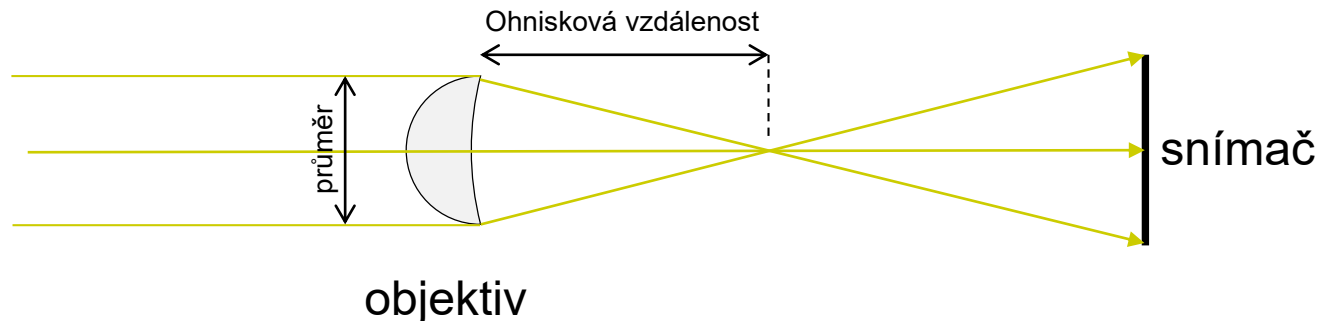
Objektiv se clonou 8 zachytí **šestnáctkrát méně světla** než objektiv se clonou 2.

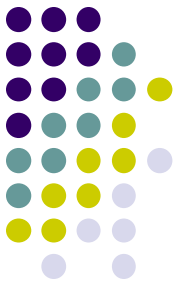




Clona, clonové číslo

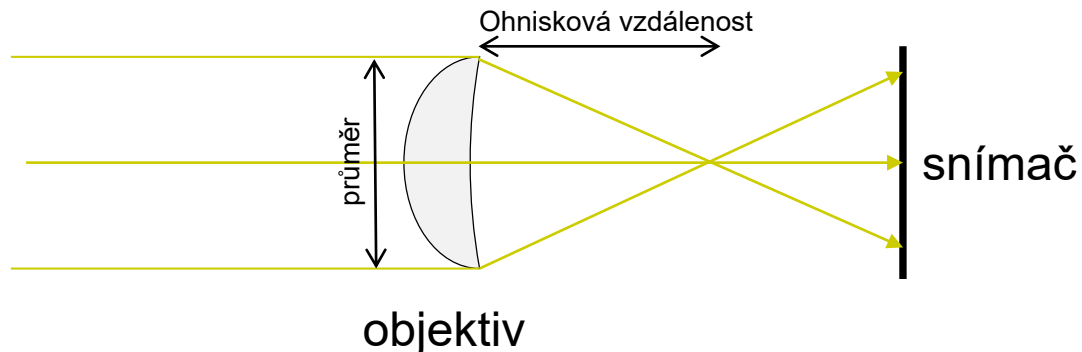
- Příklad
- Objektiv má ohniskovou vzdálenost 50 mm a průměr 18 mm
- Jaké má objektiv základní clonové číslo?
- $F = f / D = 50 \text{ mm} / 18 \text{ mm} = 2.8$
- Objektiv má clonové číslo 2.8

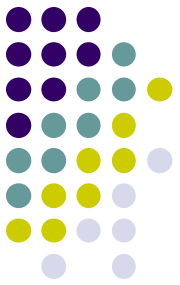




Clona, clonové číslo

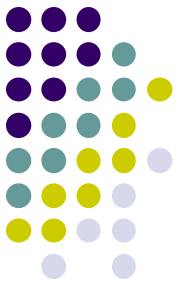
- Příklad
- Objektiv má ohniskovou vzdálenost 50 mm a průměr 35 mm
- Jaké má objektiv základní clonové číslo?
- $F = f / D = 50 / 35 = 1.4$
- Objektiv má **clonové číslo 1.4**
- Oproti objektivu z předchozího příkladu zachytí tento objektiv mnohem více světla a také bude podstatně dražší, složitější a větší. Vyrobit takový světelný objektiv bez optických vad není snadné





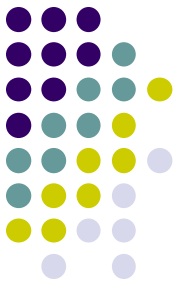
Clona, clonové číslo

- Příklad
- Kolikrát více světla zachytí objektiv se **clonovým číslem 1.8** oproti objektivu se **clonovým číslem 4**?
- Objektiv se clonovým číslem 1.8 má **2,222x větší průměr** než druhý objektiv ($4 / 1.8 = 2,222$)
- Plocha druhého objektivu $S_2 = \pi r_2^2$
- Poloměr prvního objektivu $r_1 = 2,222r_2$
- Plocha prvního objektivu $S_1 = \pi r_1^2 = \pi(2,222r_2)^2 = 4,94\pi r_2^2 = 4,94S_2$
- **Plocha** objektivu se clonovým číslem 1.8 (S1) je **4,94x větší** než plocha druhého objektivu (S2) se clonovým číslem 4
- Objektiv se clonovým číslem 1.8 tedy zachytí skoro **pětkrát více světla**



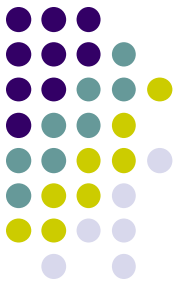
Clona, clonové číslo

- Příklad
- Jakou clonu nastavíte, aby objektivem procházelo dvakrát více světla než při cloně $F=5.6$?
- Aby procházelo **dvakrát více světla**, je třeba, aby plocha objektivu byla **dvojnásobná**
- Tedy $\frac{S_2}{S_1} = 2$
- Pak musí platit, že $\frac{\pi r_2^2}{\pi r_1^2} = 2$
- Tím pádem $\frac{r_2^2}{r_1^2} = 2$ a z toho vyplývá $r_2^2 = 2r_1^2$
- $r_2 = \sqrt{2r_1^2} = r_1\sqrt{2} = 1,414r_1$
- Aby procházelo dvakrát více světla, je třeba efektivní poloměr objektivu zvětšit 1,414x
- **Aby procházelo dvakrát více světla, clonové číslo musí být 1,414x nižší, tedy $F=4$**
- Výsledek: Je třeba nastavit clonu $F=4$, aby objektivem procházelo dvakrát více světla než se clonou 5.6



Uzávěrka

- **Mechanická závěrka** brání dopadu světla na snímač ve chvíli, kdy se nefotografuje
- Závěrka je **otevřena** pouze **po dobu expozice** snímku a během čtení dat ze snímače se uzavře
- Většina dnešních levných fotoaparátů neobsahuje mechanickou závěrku, ale pracuje na principu tzv. elektronické uzávěrky – Snímač je osvětlen trvale, neprobíhá-li expozice odvádí se získaný náboj z pixelů pryč v případě CCD. U CMOS snímačů se pixely „resetují“
- Na počátku expozice se resetuje snímač, poté se odměří expoziční čas a nakonec dojde k přečtení a změření získaných nábojů
- Velikou výhodou elektronické uzávěrky je to, že takto lze velmi levně dosáhnout extrémně krátkých časů (např. 1/10000 s)
- Mechanická uzávěrka je dražší a nelze s ní jednoduše dosáhnout kratších časů



Uzávěrka, expozice snímku

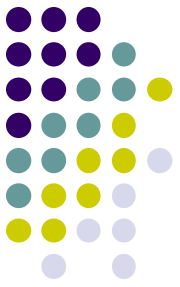
- Délka expozice snímku se obvykle udává ve zlomcích sekundy (např. $1/250$ s)
- Pozor! $1/6$ je delší čas $1/30$ s
- Čím **delší čas expozice** bude použit
 - Tím více světla snímač zachytí a bude možné pořídit fotografii při slabém osvětlení nebo půjde použít větší clonu a tím dosáhnout větší hloubky ostrosti
 - Více se projeví šum snímače
 - Fotoaparát i snímané předměty musí zůstat v klidu jinak bude fotografie rozmazaná
- Čím **kratší čas expozice** bude použit
 - Tím méně bude v obraze šumu (šum je způsoben tepelnou energií a ta bude působit krátce)
 - Snímek bude ostřejší, protože případný pohyb fotoaparátu (třes rukou) se neprojeví
 - Pohybující se předměty budou zachyceny ostře bez rozmazání ve směru pohybu
 - Snímač stihne zachytit méně fotonů, takže krátké časy lze použít pouze je-li dostatek světla
 - Snímač zachytí méně fotonů, takže nepůjde použít velké clonové číslo

Expozice



- Kombinace **clonového čísla** a **doby expozice** určuje množství světla, které snímač zachytí
- Bude-li zachyceného světla příliš, snímek bude **přeexponovaný**
- Přeexponovaný snímek obsahuje „**přepálená místa**“ – místa, na kterých jas dosáhl maximální možné hodnoty
- V plochách s přepáleným jasnem není zachycena **žádná kresba** – všechny body mají jas vyjádřený maximální používanou hodnotou (např. 255)
- I když na různé pixely v přepálených plochách dopadlo různé množství světla, jas všech bodů je vyjádřen stejnou (maximální) hodnotou
- Přeexponovanou fotografii s plochami s přepáleným jasnem **nelze nijak následně upravit** – chybí nám informace o jasu bodů v přesvětlených plochách, všechny se tváří stejně
- Ztmavením přeexponovaných částí obrazu v nich ztracená kresba nevznikne
- Bude-li zachyceného světla málo, snímek bude **podexponovaný**
- Podexponovaný snímek je tmavý a nevyužívá celý dynamický rozsah snímače. Jas jednotlivých pixelů leží například pouze v rozsahu 0-130 zatímco možné hodnoty jsou 0-255
- Podexponovaný snímek lze na rozdíl od přeexponovaného trochu zachránit dalšími úpravami.
- Získané hodnoty jasu jednotlivých pixelů lze vynásobit a „roztáhnout“ do hodnot 0-255 tak, aby nejjasnější bod snímku měl jas 255
- Tak vlastně zvýšíme kontrast snímku, ale zároveň dojde k zesílení šumu

Expozice



Tento snímek je přeexponovaný
Ve světlých plochách chybí kresba
Na snímáček dopadlo příliš mnoho světla a jas všech bodů
ve světlých plochách je vyjádřen stejnou maximální
číselnou hodnotou

Expozice



- Podstatný vliv na expozici (clonové číslo a expoziční čas) má také „citlivost snímáče“
- Fotoaparáty umožňují zvýšení základní citlivosti snímáče
- Zvýšením citlivosti z hodnoty ISO 100 na ISO 200 bude možné zkrátit čas expozice na polovinu
- Snímáč při tom nezachytí dvakrát více fotonů. Pouze pro jejich stejné množství dostaneme na výstupu dvojnásobnou číselnou hodnotu jasu.
- Uvědomte si, že snímáč při zkrácení expozice na poloviční čas zachytí poloviční množství fotonů, pro které při zvýšení ISO přiřadí vyšší výstupní číselné hodnoty
- Zvýšením citlivosti na vyšší než základní, ale reálně citlivost snímáče vůbec nestoupá, pouze dochází k zesílení zachyceného náboje (a tím pádem i šumu) před vyhodnocením jeho velikosti
- CCD nebo CMOS snímáč je v podstatě citlivý stále stejně
- Jeho citlivost je dána kvantovou účinností (poměr mezi počtem dopadajících fotonů a excitovaných elektronů) a ta je konstantní !!!
- Zvýšením citlivosti z ISO 100 na ISO 1600 se citlivost snímáče nezvýší, pouze se získané hodnoty 16x zesílí a přesnost snímáče bude tím pádem 16x menší a stoupne šum

Expozice



- Příklad
- Fotografie byla pořízena s nastavením expozice **ISO100 – F8 – čas 1/50 s**
- Protože na fotografii byly zachyceny pohybující se osoby rozmazaně, rozhodl se fotograf pořídit novou fotografii s kratším časem expozice **1/200 s**
- Jak je třeba změnit nastavení clony, aby byla fotografie exponována stejně?
- Zkrácením času expozice na 1/200 s se množství zachycených fotonů sníží 4x (čas 1/200 s je čtyřikrát kratší než 1/50 s)
- Je tedy třeba, aby objektivem procházelo 4x více světla
- 4x více světla bude objektivem procházet, jestliže se jeho plocha 4x zvětší
- 4x větší plocha objektivu se docílí dvojnásobným efektivním průměrem
- Dvojnásobný efektivní průměr zajistí poloviční clonové číslo
- Je třeba nastavit clonu F4

Expozice

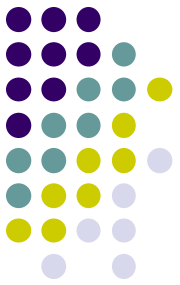


- Příklad
- Fotografie byla pořízena s nastavením expozice **ISO100 – F2 – čas 1/500 s**
- Protože má fotografie malou hloubku ostrosti, rozhodl se fotograf pořídit novou fotografii s nastavením většího clonového čísla **F5,6**
- Jak je třeba změnit délku expozice, aby byla fotografie exponována stejně?
- Zvýšením clonového čísla se efektivní průměr objektivu 2,8x zmenší ($5,6 / 2 = 2,8$)
- Plocha objektivu, kterou prochází světlo se zmenší $2,8^2 = 7,84$ krát
- Aby snímač zachytil stejné množství fotonů, je třeba čas expozice 7,84x prodloužit
- $T = 7,84 \times 1/500s = 1/64 s$
- Je třeba nastavit délku expozice 1/64 s

Expozice

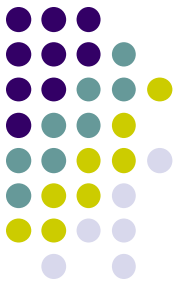


- Příklad
- Fotografie byla pořízena s nastavením expozice **ISO100 – F2 – čas 1/50 s**
- Protože na fotografii byly zachyceny pohybující se osoby rozmazaně, rozhodl se fotograf pořídit novou fotografii s kratším časem expozice **1/200 s**
- **F2** je základní clonové číslo objektivu, nastavit nižší clonu tedy nelze
- Aby mohl fotograf použít kratší čas expozice, bude třeba nastavit vyšší citlivost snímáče
- Jak je třeba změnit nastavení citlivosti, aby byla fotografie exponována stejně?
- Zkrácením času expozice na 1/200 s se množství zachycených fotonů sníží 4x (čas 1/200 s je čtyřikrát kratší než 1/50 s)
- Je tedy třeba, aby byl snímáč 4x citlivější
- Je třeba nastavit citlivost snímáče **ISO400**
- Snímáč zachytí 4x méně fotonů, protože čas expozice je 4x kratší, ale získaná číselná data ze snímáče budou 4x „vynásobena“. V obrazu bude patrný vyšší šum



Kontrolní otázky

- Kolik pixelů citlivých na zelenou barvu obsahuje CCD snímač s Bayerovou maskou s rozlišením 16 Mpx ?
- Co je to ekvivalentní ohnisková vzdálenost ?
- Co se děje, zvýšíme-li hodnotu ISO na fotoaparátu ?
- Co je to hloubka ostrosti ?
- Proč se na fotoaparátu s malým snímačem nezvýší hloubka ostrosti při zvýšení clony ?
- Jak vzniká šum na CCD snímači ?
- Co je blooming ?
- Co je to smearing ?
- Popište, jak dochází k vinětaci
- Proč obsahují CCD snímače mikročočky ?
- Co je to fill factor?
- Jak se liší Interline a frame transfer CCD snímač? Kde se používá?
- Proč obsahuje každý pixel CCD snímače více kladných elektrod ?
- Výstup z CCD snímače je analogový nebo digitální?
- Proč představuje větší problém přexponovaná fotografie než podexponovaná ?



Kontrolní otázky

- Co je to dynamický rozsah CCD snímače ?
- V jakém rozsahu přibližně leží rozměry snímačů běžně používaných ve fotoaparátech, videokamerách a mobilních telefonech ?
- Je lepší vyšší nebo nižší hustota pixelů na snímači a proč ?
- Proč má moiré modrou a červenou barvu ?
- V čem je výhoda zařízení se 3 CCD snímači ?
- Vysvětlete, proč fotoaparát s vyšším rozlišením nemusí mít lepší obraz
- Jaké výhody mají CMOS snímače oproti CCD ?
- Jaké nevýhody mají CMOS snímače oproti CCD ?
- Který typ snímače používá snímání videa metodou rolling-shutter a jaké vady v obraze se zde objeví ?
- Co udává clonové číslo ?
- Snímek byl pořízen s nastavením clona 8, čas expozice 1/125, ISO 80 – Jak se změní doba expozice druhého snímku, který má exponován stejně, ale s clonou 16.
- Jakou výhodu a nevýhodu má mechanická uzávěrka fotoaparátu ?
- Objektiv s větší ohniskovou vzdáleností má větší/menší zorné pole a větší/menší přiblížení ?