**Image Acquisition**

**(Snímanie obrazu)**

Vnímanie sveta je spojité.

Digitalizace - diskretizace, vzorkování v intervalech.

Dirakova delta funkce - vzorkovací funkce.

**Alfa záření** - proud alfačástic (p+ a n0)

**Beta záření** - proud elektronů (e-)

**Gama záření** - nie časticové, ale elektromagnetické .

**Detektory:**

Max 2D. Jinak se musí scannovat. **1D** detektory: line camera (riadkové kamery)

**Základní vlastnosti dig. obrazu:**

- počet vzorků v osách.

- bitová hloubka. log2(NI), NI=počet bitov/λ

- přepočet pixelu na reálnou vzdálenost.

(**λ** - vlnová dĺžka)

**Druhy záření:**

- **Slunce** - široké spektrum

- **laser** - jedna hlavní vlnová délka, pár vedlejších

- **výbojky** - 405nm...

Žárovka - hůře převádí energii na záření. Halogen je lepší. Nejlepší výbojky.

**Oko:**

čočka se adaptuje.

Čípky - barevné vidění. Jsou RGB.

Tyčinky - intenzita světla

**Kamery:**

- velikost pixelu

- kvalita čipu

- kapacita pixelu

- šumové charakteristiky

- bitová konverze **AD (Analóg - Digitál) převodníku**

- vyčítací rychlost

- spojování pixelů do superpixelů - **binning**.

- **spektrální odezva**. (typicky 30 %) / **Kvantová účinnost** lidského oka je kolem 10 %.

**Foto:**

Fotofilm - halogenid stříbra.

Větší zrna - větší citlivost.

Optická hustota - porovnání zHustota se sčítá.

Záření, které jde dovnitř a ven z vrstvy.

*H&D křivka* - krivka emulznej charakteristiky - charakteristika citlivé vrstvy - jak moc to černá s přibývající expozicí. Při extra velké přeexpozici to mírně zesvětlá.Strmější křivka - citlivější film. Křivka je lineární (díky logaritmům).

U klasické foto neplatí, když bude dvojnásobná expozice, tak zčernání bude dvojnásobné.

**Detektory na báze polovodičov:**

Germanium - do 1700nm

Křemík - detekuje 190-1100nm.

**0D** detektory:

Fotodioda (**PD** - **Photo Dioda**).

Fotonásobič (**PMT** - **Photo Multiplier Tube**) - násobí 10x. **10^8** (při 8ks). Dioda násobí e-.

Lavinové fotodiody - něco mezi fotodiodou a fotonásobičem (cca **10^2**).

**2D** detektory:

1. foto - 1826, expozice 8h.

1. barevná foto - 1861.

1. digi foto - 1981.

**Velikost senzoru:**

Měřila se velikost tubusu, kde byl obdélníkový senzor. Pomer ostáva: **2:3**

Fotofilm - **24x36mm**.

**Historie fotografie:**

**zootrop** - válec s jednotlivými snímky. Hlavně kreslené. Válec se otáčel a přes štěrbinu se sledoval pohybující se obraz. Lidské oko si obraz dointerpoluje...cca 19. století.

1885 - první fotofilm.

1886 - první kamera na neohebný film (destička). Deska rozdělena na 4x4 snímků, kamera měla 16 objektivů. Celá sekvence měla cca 1s.

1888 - kamera s jedním objektivem s odvíjejícím se filmem. Snímá cca 20FPS.

Přelom 19./20. století - první němé filmy (pohyblivé obrázky).  *MOVIES*

Mluvený film - 20. léta 20. století. *TALKIES*

Barevný film - 40. léta 20. století.

**Přenos (transmission) informace na dálku:**

První zařízení cca 1832.

1884 - Přenos informací pomocí kotoučem, kde byla vespirále vyřezanáé díry. Jede po sloupcích a ty nejsou rovné, ale ve křivkách (kvůli tomu, jak se to pohybuje). Zaznamenává se fotodiodou. **(Nipkovův disk)**

1925 - první televize (5FPS = frame per second).

1897 - první **CRT** (**Cathode Ray Tube**) - katódová trubica - obrazovka.

1927 - první CRT detektor.

**CCD (Charged-Coupled Device) kamery:**

80. léta 20. století. (t.j. 1980+)

**Zrcadlovky:**

**SLR (Single Lens Reflex)** - Výměnné objektivy. Čo vidíš je čo fotíš (get). AE+AF senzory.

- Nízká hloubka ostrosti - lze dělat snímky s *ostrým popředím a neostrým pozadím*.

**Kompakty** (**point-and-shoot cameras**) menší detektor - nevýměnné objektivy. má velkou hloubku ostrosti, ale nižšiu senzitivitu. Náchylnejšia k šumu. Ľahší a lacnejší.

**Pixel (Picture Element):**

Nad ním je farebný filter a mikročočka směrující záření do štěrbiny. Ne celý pixel je svetlocitlivý  
**Fill factor - FF**- jaká část pixelu je fotocitlivá. FF = (Apd / Apixel ) x 100%.   
**Numerická apertúra (NA)** - NA = n\*sin(θ), n - index lomu; θ - uhol na obr.:

**Filtry** se střídají v matici 2x2, zelená je dvakrát, protože oko je na zelenou nejcitilivější.

Další může být CMYG (cyan, magenta, yellow and green).

Ke snímání se může použít i **3x sensor**: **trichroické prizmy; 3CCD; 3CMOS;;** (**Foveon X3**)  
Každá detekuje jednu barevnou složku. Žádné záření se nezahazuje. Důležité bylo precizní dílenské zpracování.Modrá proniká do nejmenší hloubky, červená nejvíce.

**Způsob záznamu (Vyčítania):**

Prokládané (**Interlaced Scanning**)- střídají se liché a sudé řádky. Tím pádem bylo dvojnásobné (virtual refresh rate) alebo FPS (frame per second) Európa z 25 na 50; USA z 30 na 60.

Neprokládané (**Progresive Scanning**) - číta sa riadok po riadku

Presun náboja vs. X-Y schéma adresácie pixelu:

**CCD** - náboj sa posúva po určitých "cestách" k zosilovaču a AD prevodníku.

**CMOS** **- přímá adresace (X - Y)**. Každá PD posúva náboj priamo do zosilovača a AD prevod.

- **aktivní (pixel scheme)** - u každého pixelu je zesilovač. Jeden spoločný AD prevodník.

- **pasivní** - zesílení signálu až v centrálním místě pred AD prevodníkom.

**Časování CMOS/CCD:**

3 elektrody, spíná se 1+3k atd. Náboj se rozprostírá.

- CMOS - kolo je šišaté, protože horní část je snímána v jinou dobu než spodní. Pri transfére náboja pri CMOS sa nesníma. Musí sa počkať... *"obdobie temna" :)*

- CCD - u prokládaného snímání můžou být "duchy"- akoby 2 obrazy cez seba.

**Zlepšení přenosu signálu CCD:**

- **(FF)CCD** bez zlepšováku - přenos bez bufferu. Signál se sesouvá a pak jde do AD převodníku.

- s vedlejším bufferem (**FTCCD** - **frame transfer CCD**) - celý obraz se přehrne do vedlejšího bufferu a až tam se vyčítá. Mezitím se může opět exponovat.

- každý senzor má svůj buffer (**ITCCD** - **interline transfer CCD**) - přenos signálu je ještě rychlejší. Obraz mírně poskočí do boku. Náročné na výrobu.

- kombinace obou předchozích (**FITCCD - frame-interline transfer CCD**).

Realizace prokládaného/neprokládaného vyčítání:

- **neprokládané** - náboj se přesune do bufferu.

- **prokládané** - buffer stačí poloviční.

**Pixely:**

- **osmiúhelníkové** místo čtverce (**SuperCCD** - **PIACCD** - 2000) - na střídačku aktivní a pasivní. Pasivní místa se dointerpolují. V hluchých místech je místo pro elektroniku. Výrobci neuváděli rozlišení aktivních pixelů, ale aktivních + pasivních (reálně tedy polovina).

- 2003 - rozdělení osmiúhelníku na 2 různě velké části - každá část exponovala s různou citlivostí. Větší byla citlivější. (Vysoké rozlíšenie vs. Super rýchle snímanie.) Křivka jde tedy prvně strměji nahoru, až začne exponovat menší část, tak jde méně strmě.

- 2011 - posledná generácia - Fujifilm

**Nízká úroveň osvětlení (astronomie, mikroskopie):**

**Back-iluminated CCD** - CCD čip se osvětluje z druhé strany.

- velký vyčítací šum.- použití snímače s vysokou kvantovou účinností.

* **ICCD** (**Intensified CCD**) - CCD so zosilovačom **MCP** (**Micro-Channel Plate**) - kanáliková doštička t.j. s dierkami. CCD môže byť s MCP spojená 2 spôsobmi (optické):
  + **Fiber(-optic) coupled** - každá dírka destičky je spojena vláknem do snímače
  + **Lens(-optic) coupled** - čočky, pomocí kterých se to přenese do snímače - lze oddělat, ale horší kvalita

-- zesílení než dopadne na snímač - např. brýle pro noční vidění. Při průchodu dírkou se elektrony znásobí (pomocí vysokého napětí). Buď se to pošle na snímač nebo na fosforeskující destičku a pak následně do očí.

--zesílení po detekci (2000) - mezi registr a AD převodník dáme zesilovací kaskádu MCPs. Obdobné jako u fotonásobiče - EMCCD

* **EMCCD (Electron Multiplying CCD)**. Vyčítací šum je zanedbateľný. Často spojeno s **Back-iluminated CCD**. Lze detekovat extrémě nízké úrovně světla. Nevýhoda je vyšší nejistota při kvantifikaci - nevíme, kolikrát jsme to aktuálně zesílili. Pošleme 1 foton a je z toho např. 10000 nebo 20000 fotonů. Ale vstup je stejný. Skoro 100 % QE. (**QE** = **Quantum Efficiency** = elektrón/fotón; fotón t.j. vlnová dĺžka (λ); graf: x- λ, y-QE[%])  
  **QE(λ) = T(λ) · FFeff · η( λ)**; η( λ) = Signal\_charge / Photo\_generated\_charge, T(λ) -transmittance of light above the detector

**CMOS:**

- **"PPS"(Pasive Pixel Sensor)** - 1 pre všetky pixely

- **APS (Active Pixel Sensor)** - zesílení v každém pixelu. Problém je v tom, že zesílení není stejné pro každý pixel. Eliminace pomocí **FPN (Fixed Pattern Noise)** - dělá se mapa, kolik jednotlivé pixely zesilují. Po zmapování se to dá kompenzovat.

**3 Vyčítacie schémy dostupné pre CMOS:** pri vyčítaní sú pixely zakryté - tmavé (Prez.03\_end)

- Pixel serial readout

- Column parallel readout (najčastejšie)

- Pixel parallel readout (rýchle ale nižší FF - Fill Factor)

***"Rolling shutter"*** - problém s geometriou napr. kruhy - pre posun sa mení na elipsu.

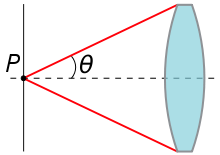
Přidává se buffer na jeden řádek. Různé časování u jednotlivých pixelů se řeší závěrkou, která se otvírá v jeden okamžik, až všechny pixely jsou připraveny. Místo závěrky se používá buffer.

**Šum:**

- **aditivní** - přičítá se k výslednému signálu. Způsobeno zesílením signálu kolem AD převodníku. Závisí na teplotě a na rychlosti vyčítání. Vyčítání v MHz/s. **NR- vyčítací šum** (biely Gaussov)

- **impulsní** - horúce a mrtvé pixely. Barva. *"Sůl a pepř"*

- **Poissonův** - výstrelový šum. Nelze ovlivnit. Také též **fotonový šum (NP - Photon noice)**. **NP= sqrt(SP)** (čím vyšší signál, tím menší podíl šumu). Prevence: expoziční doba, větší osvětlení nebo vyšší kvantová účinnost. **SP** [e-/pixel] = I \* QE \* time; **I** [photons/pixel/sec] = photon flux.

- **temný proud SD** - způsoben samovolným uvolňováním elektronů v samotném snímači bez vstupu fotónu. Elektrony se uvolňují teplem ze snímače. Závisí také na expoziční době. Výrobci uvádějí konstantu Sd v tisícinách. Problém může nastat při mnohem vyšší expoziční době. Opět je šum ND = odmocnine ze signálu SD. S klesající teplotou klesá i tento šum. Chladí se jen senzor a bezprostřední okolí. **ND** - je tiež poissonov výstrelový (shot) šum. u PD, PMT, CCD

- u CMOS je **FPN (Fixed Pattern Noice)** - **fixní šum** - vysokofrekvenční (zubatost) a nízkofrekvenční (senzor na kraji je nejméně citlivý.) - dá sa odčítať a ostane impulzný šum.

**Celkový (totálny) šum NT** = odmocnina ze součtu čtverců jednotlivých šumů (vyčítací, temný, photonový). Ideální je, když je dominantní *fotonový šum* (Poissonov šum).

**SNR or S/R (signal to noise ratio)** - poměr chceného signálu a nechceného šumu **[SP/NT].** Pokud je fotonový šum dominantní - pomer signálu k šumu = odmocnina ze signálu. Někdy se udává v deciBeloch: *20\*log10(signál/šum) dB*. SNR v desítkách je v pohodě.

Potlačení šumu např. **binningem** - spojování pixelu do superpixelu, např. 2x2, 4x4 atd. Snížime tím ale rozlišení. Čím vyšší binning, tím je možná nižší expoziční doba a tedy menší šum.

**ISO speed (International Organization for Standardization)**

Čím vyšší ISO, tím vyšší citlivost a větší zrno na kinofilmu. U vyšších citlivostí byl velký šum u zvětšenin. Též také stupnice DIN (logaritmická) a ASA(lineárna). Citlivosť filmu alebo senzoru.

U digitálních kamer: rychlost převodu signálu na výstupu.

**Dynamický rozsah = počet bitov v A/D prevodníku**

U 8bitového AD převodníku je dynamický rozsah 1/256.

U kamer býva cca o 2 bity nižší než u foťáku.

Nebo **poměr mezi kapacitou jamky (well) v elektronech a vyčítacím (+ temným) šumem**.

Roli hraje *velikost vyčítacího pixelu* a *vyčítací rychlosti*.

**Dynamický rozsah se týká kamery; SNR snímaného snímku.**

Dynamický rozsah (DR) sa znižuje s: 1.) vyšší ISO citlivostí; 2.) delší expozicí.   
DR rasie s: 1.) nižší teplotou; 2.) nižším rozlíšením, 3.) nižšou readout speed

**Artefakty:**

- Elektronické snímače fungují lineárně. Cca **od 90 procent saturace už není lineární**.

- přetékání fotonů do vedlejších jamek při maximální saturaci. Přetéká jen do jednoho směru, protože v druhém jsou odváděcí kanálky. Předchází se tomu uzemňovacími mechanismy. Je vhodné jamky pročišťovat. **(blooming**-kvitnutie **and smear** - škvrna**) - problém CCD**

**Solution: Overflow Drain** (drážky odvádzajúce fotóny) **and Electronic Shutter** (môžeme ovplyvniť vypustenie e- / fotónov z well, keď je ich príliš veľa. Vyhneme sa tak smear/blooming)

- na okraji je obraz tmavší než ve středu díky odlišnému úhlu, a fotony se hůře směrují do jamek na čočky. Předchází se tomu druhou mikročočkou.

- **Moiré** - vzory v obraze. Způsobeno nedostatečnou vzorkovací frekvencí. Předchází se tomu:

* snížením detailů, **(artificial blurring** - umelé rozostrenie**)**
* přidáním filtru (destička s dírkami). Filtru se říká **OLPF** **(optical low pass filter)**.

- **image lag** (oneskorenie) - způsobeno nedostatečným vyprázdněním jamky a do dalšího snímku se přenese část toho předchozího. Proto se to třeba *čistí vícekrát*. Je to viac u **CCD ako CMOS**.

- **digitální zoom** - nezvětšuje opticky. Je to prakticky výřez z původního snímku. Ten výřez je pak zvětšen. Optický a digitální zoom se násobí. Smysl má, pokud snímáme 2MPx video 20MPx snímačem - potom se použije obdoba binningu. Pozerať len na optický zoom pri kúpe.

- **problém s prokládaným snímáním**. Při 2 půlsnímcích jsou pak pohybující se objekty zubaté. *"Combing/ Feathering"* - paradajka; *"Line Twitter"* - riadkové chvenie - lyžiar; Nevhodné pre LCD - tam len progresívne vyčítanie; vhodné pre CRT - ako interlace (prekladané vyčítanie)

- **artefakt chvění** - při velmi malých objektech - přes 1 pixel, třeba lyže. Ta může z obrazu pak mizet. Provádí se operace **deinterlacingu** - doplní chybějící vzorky. Např. se překopírují vedlejší pixely (není moc vhodné). Spíše se to kopíruje časoprostorově. Preferujeme *časového souseda*, pokud tam není pohyb. *Pokud je pohyb, preferujeme prostor*.

**Automatické korekcie:**

- stabilizace obrazu **IS (Image Stabilization)**

- aotomatické ostření **AF (Autofocus)**

- poloautomatický režim **AGC (Automatic Gain Control)** - podle clony a podle času závěrky

- automatická expozícia **AE (Auto-Exposure)**

- vyvážení bílé barvy **AWB (Autom-White-Balance)** - bílá stěna vyzařuje různé vlnové délky. Ovlivňuje to osvětlení. Používají se heuristiky.

**Automatické ostření (AF):**

* **aktivní** - měří se vzdálenost pomocí senzoru. Bývá ***ultrazvuk*** nebo ***infra***. Problém při průchodu sklem nebo při makru.
* **pasivní** - používá se častěji. Na základě obrazu zkoumáme, zda je obraz ostrý. Nefunguje to ve tmě, musí se mírně přisvětlovat. Vyhodnocuje se kontrast ve scéně. Problém při ostření pouze na bílou stěnu (nemá se čeho chytit).
  + **fázová detekce** - přidává se dodatečná součástka - **1D snímač**. Do jedné části jde světlo z jedné části snímku, do druhé zase z opačné části. Generuje to *"kopečky"*. Podle jejich vzdálenosti a celé geometrii soustavy se dá dopočítat, zda je zaostřeno. Zkoumalo se *"opticky"*.
  + **měření kontrastu** - zkoumá se digitální obraz. Počítá se kontrast obrazu v určité oblasti - dá se nastavit, většinou uprostřed. Počítají se diference. Musí se ale dělat více snímků v různých polohách čočky objektivu. Vyjde z toho křivka. Kde má táto krivka maximum, tam je zaostrené.

**Stabilizace obrazu (IS):**

- **optická** **(OIS)**- člen (čočka) z optické soustavy se vychyluje tak, aby se obraz nehýbal.

- **elektronická/digitálna** - pokud je snímač větší než snímaný obraz - při nechtěném pohybu se vezme část obrazu z části vedle.

**Advantages of CMOS (APS = active pixel sensors)**

* + Oveľa lacnejšie než CCD, dostupnejšie - manufacturing lines
  + Lower voltage, less power consumption (by order of magnitude)
  + Kombinuje funkcie obrazového senzora aj procesora v tom istom integrovanom obvode
  + Zanedbateľné efekty: blooming a smearing
  + Rýchlejšie vyčítanie (priamy prístup, no charge transport conveyers)
  + Možnosť vyčítania *"podoblastí"* - sub-region (e.g., digital zoom, scientific applications)
  + Full 35mm-film size 20-22 Mpix CMOS sensor sold for DSLR *(digitálna zrkadlovka)*

**Disadvantages of CMOS (APS)**

* Viac FPN ako CCDs (riešenie odpočítaním od referenčného obrazu v elektronike kamery)
* Nižší fill factor (riešnie: by microlenses) - *to bol problém\_shading (?)*
* Nevhodné pre málo osvetlené obrazy: more noise as compared to (EM)CCD

**Komprese a kódování videa:**

**Analogové video:**

NTSC - 1941 čierno-biele; 1953 pro barevné. 525 řádků. Zobrazuje se jen cca 480. 30-60 FPS.

SECAM - 1956 v Evropě. 819 řádků. 25 FPS kvůli většímu počtu řádků. Zavedeno hlavně ve Francii a jejich koloniích + Rusko (vtedy ZSSR)

PAL - v Německu. 625 řádků/25FPS. 580 řádků viditelných.

Později se vyráběly TV s normou PAL/SECAM. Zvysok sveta, co nemal NTSC ani SECAM.

Kvůli menší přenosové kvalitě se šidila barva - chroma-**sub-supling**. Převedlo se to do jiného barevného modelu.U analogu YPbPr. V jedné složce intenzita, v druhé barvy**. 4:4:4 (profi HD) bez podvzorkování. 4:2:0 (MPEG-2) podvzorkovává se horizontálně i vertikálně dvakrát**.

**Digitální obraz:**

Kompresia bez straty: TIFF, GIF, NPG, BMP, ...

Kompresia so stratou - menšie formáty: JPEG, JPEG 2000

Existují i vícerozměrné formáty (3D). 3D TIFF.

1990 - ICS (Image Cytometry Standard) - (ICS, ICS2, IDS) - optická mikroskopia, viacdim. data

1992 - TIFF - 3D data uložené ako "kopa" 2D obrázkov; mikroskopia - vlastné formáty 3D TIFF

**CODEC**= COmpression-DECompression. Oddeľuje video a audio codecs

**Intraframe** komprese - komprese jednoho daného snímku. DIGITÁLNY OBRAZ

**Interframe** - komprese přes několik snímků. CBR - konstantní bitrate, VBR - variabilní bitrate - ušetří se u statických scén. DIGITÁLNE VIDEO

**Digitální video:**

**Interframe video codec/kodek - história**

H.261 - 1991 - malé velikosti. Len progressive. Podvzorkování 4:2:0. Obraz na čtverečky (8x8). Multimedia (CIF); videokonferencie (QCIF). Na báze DCT (discrete cosine transform)

**MPEG-1**- 1993 - Intra pictures (**I-picture**) - referencia len na seba; Predicted pictures   
(**P-pictures**) - referencia na posledný dekódovaný obrázok; Bi-predictive pictures (**B-pictures**) - referencia na posledné 2 dekódované snímky. 1 predchádzajúci a 1 nasledujúci od daného B-obr.

**GOP** (**Group of pictures**) je od "i" po "i" napr. séria: "ipbpbbpbbi" - bežná kompresia. Snímky cca po pol sekundách, aby sa predišlo chybám.

**MPEG**-**2 / H262** - 1995 - doděláno bylo prokládané snímání. Stále podvzorkování. Podporuje teda progresívne aj prekladané skenovanie. Platí to čo pre MPEG-1 aj GOP. Typická NTSC sekvencia je 15 frames (0.5s): IBBPBBPBBPBB(I).

*Využitie*: ***Digitálne TV vysielanie, DVD-video, HDV-formát*** *(HD video kamery)*

**H.263** - 1998 - moc se nepoužívalo, pro videokonference, videotelefóny. H264 - to prekonalo.

**MPEG-4/2** - 1998 - podvzork., DCT, silnější komprese. Kodeky DivX a XviD (nelicencovaný).

**MPEG-4/10 /H.264 /AVC** - 2003 - bez podvzork. Blue-ray, HDTV, HD-DVD. 2x MPEG 2 kompresia

**Kódování zvuku - Audio CODEC history:**

**PCM** (Pulse-Code Modulation) - 1937 - pouze modulace, nekomprim.; CDs, digital audio in PC

MPEG-1/3 - mp1, mp2 a **mp3**. - 1991 - Video CD (VCD), DVD-Video

Dolby Digital 5.1 - 1992 - Kodek **AC3**.

1997 - MPEG-2/7 - kodek **AAC**

1991 - MPEG-4/3 - ACC - Apple iTunes/iPod, Sony, mobiles, Sony PlayStation3

**Kontejnery** pre Audio a/alebo Video:

Je to video+audio+další věci. Nejznámější QuickTime od Apple (**MOV**) - 1991, **AVI** od Microsoftu v 1992. **MPEG-4/14 - mp4**. Zjednodušená verzia pre mobily - **3GP**.

**Normy** na pásky - v 19 storočí - chaos, ale mikrobiológia mala ICS (1990) a medicína DICOM:

**SD (Standard Definition) Video**

- 1994 - DV, miniDV

- DVCAM (Sony) - s rychlejším převíjením pásky, takže menší chybovost.

- DVCPRO (Panasonic) - robustnejšie, menšia chybovosť

**HD (High Definition) Video**

- HDV pro HD video; AVCHD s MPEG-4, DD 5.1 nebo PCM 7.1 audio. Záznam na SD atd.

- Profi HDCAM (Sony) - 180 Mpbs, DVCPRO-HD (Panasonic) - 100 Mbps

**Přenos obrazu:**

**Analogové video:**

Jedním kabelem - kompozitní video.

2 kabely - S-VIDEO. 1 jas a druhý barvu.

3 kabely - komponentní video YPbPr video nebo RGB video.

SCART - 20 pinů. 3 kanály pro video, 2 pro audio

**Digitální video:**

**USB** (**Universal Serial Bus**) vs. Apple FireWire (**IEEE**).

USB1.1 - 12Mbps

USB2.0 - 480Mbps

USB3.0 - 1998

Firewire400

Firewire800

FirewireS800T

**Specializované rozhrania:** veda, ved. kamery, **CAN (Control Area Network) bus** - v autech.

**Přenos na delší vzdálenosti:**

Analógové vysielanie bolo zrušené do r. 2012. Nastala éra digitálneho vysielania.

Digitálne vysielanie:

DVB-T (terestriálne - vzduchom) - zdarma

DVB-C (káblové) - platené

DVB-S (satelitné)- zväčša platené

- děleno na **multiplexy** - cca 20Mbit/s. V multiplexu až 5 SD stanic (2-4Mbit/s) nebo 2 HD kanály (cca 10Mbit/s). Používá se **MPEG-2 (SD)** a **MPEG-4 (HD)**.

Cez internet - nižšia kvalita; vyššia kvalita len cez akademické siete - telemedic., telemikroskop.

**Ukládání (storage)**:

**Analog storage:**

**VHS** (JVC) vs. **Betacam**. VHS ale není ta kvalitnější. **S-VHS** 400 řádků.

MiniDV páska - 15-20Mbit.

**Digitálne ukladanie snímok (images):**

**Flash Memory Cards (USB)** - (8 MB - 256 GB)

**Optické disky** (650MB - 50 GB): **CD**, **DVD**, **HD-DVD**, **BD** (Blue-ray Disk)

**HDD (Hard Disk Drives)** - (100GB - 4TB) - RAIDs môže udržať viac dát a pracovať rýchlejšie

**Digital Tape Robots** - several TB - stovky TB

**Digitálne ukladanie videa:**

**Video pásky**: 1995\_ **MiniDV** (Panasonic, Sony), D-VHS (JVC), Digital8 (Sony)

**Optické disky**: DVD-Video, BD-Video

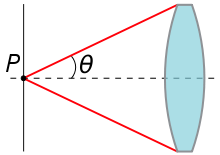
**Profi HD Video ukladanie:**

- pásky (tapes) - D5HD, HDCAM, DVCPRO HD, HDCAM SR

- Random Access: XDCAM (Sony): rôzne médiá napr. optické disky (BD), pamäťové karty.

Convertovanie Filmu (analógového) na Digitál - halogénový film sa naskenuje (foto-shopy)

- elektronické analóg.video - A-D konvertor



**Geometrická optika:**

Směr paprsků se mění na rozhraní dvou médií.

**Zákon odrazu:** úhel dopadu se rovná úhlu odrazu.

**Snellov zákon lomu:**  , v - rýchlosť lúča/paprsku v daných prostředích.

**Index lomu** **(n)** označuje jak rychle se v daném prostředí paprsek pohybuje (n).

**n** **=** rýchlosť svetla v referenčnom médiu**/** rýchlosť svetla v danom médiu. Referenční médium je vakuum. nair ≈ nvacuum = 1, nwater ≈ 1.3, nglass ≈ 1.5

**Čočky/ Šošovky:**

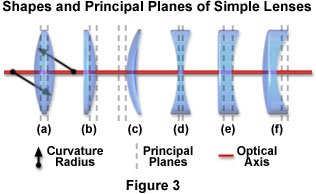
2 ohniska (F, F´). Ohnisková vzdálenost je kolmo na ohnisko (rovnoběžně s čočkou). Při paralelním průchodu čočkou se sbíhají v ohnisku. Pokud paprsky nejdou vodorovně, tak se paprsky za čočkou setkají v ohniskové rovině (pod nebo nad ohniskem).

**Ohnisková vzdialenosť (f, f´):**, a - vzdálenost zobrazovaného objektu od čočky

b - je vzdálenost obrazu od čočky

**Optická mohutnost - 1/f - dioptrie**.

**Typy šošoviek:**

**Pozitívne (konvexné) - Spojky**

- zväčšenie, ďalekozrakosť, lupa

- môže byť prevrátený

(a) bi-konvexné (dvojvypuklé)

(b) plano-konvexné (ploskovypuklé)

(c) konkávno-konvexné (dotuvypuklé)

**Negatívne (konkávne) - Rozptylky**

- zmenšenie, krátkozrakosť,

- virtuálny obraz - treba ešte 1 spojku

(d) bi-konkávne (dvojvyduté)

(e) plano-konkávne (ploskoduté)

(f) konvexno-konkávne (vypukloduté)

**Lens maker equation:**

R1 a R2 jsou poloměry zakřivení povrchů čočky. R>0 při dopadu na vypouklý povrch.

**Více čoček:**

Optická mohutnost (1/f) se sčítá - pokud jsou vedle sebe 1/f = 1/f1 + 1/f2. Ak nie sú vedľa seba a ich vzdialenosť je d, potom všeobecný zápis: f = f2(f1-d) / (f1 + f2 - d)

**Soustava více čoček - objektivy**:

Při krátké ohniskové vzdálenosti se používají na širokoúhlé záběry.

Clona (Lens Aperture); čím väčšia clona, tým menšia "diera" a veľká hĺbka ostrosti, krátka expozícia = rozmazané pozadie. Čím menšia clona, tým väčšia "diera" a menšia hĺbka ostrosti.

**f/2.8** - cca třetina ohniskové vzdálenosti - **clonové číslo F#**. **F# = 1/(2\*NA)**

**Clonové číslo** **(F#)** v násobcích odmocniny dvou - je to kvůli ploše, ta se zvětšuje dvakrát.

**NA (Numerická Apertúra) = n\*sin θ = N\*AA**; vyjadruje účinnú svetelnosť objektívu. Najkvalitnejšie objektívy majú NA =1,3 až 1,4; bezrozmerné číslo.

**AA (Angular aperture) - uhlová - AA = sin θ**

**Depth of focus** - ostrost obrazu na straně senzoru (OBRAZU). Senzor/film má byť umiestnení do vzdialenosti max. depth of focus. Je to vzdialenosť, keď sa to už rozostruje. Hloubka zaostření.

**Depth of field** - rozsah ostrosti obrazu v ktorej je objekt stále ostý. Na strane OBJEKTU. Ostrost obrazu před čočkou. Hloubka ostrosti. OBE Depths sa znižujú s apertúrou.

**CoC (circle of confussion)** (**c**) - **rozptylový kroužek** - každý objektiv lze v jednu chvíli zaostřit jen na jednu konkrétní vzdálenost. Sebemenší odchylka od této zaostřené vzdálenosti způsobí, že obraz na senzoru bude již rozostřen. Velikost tohoto rozostření je možné snadno změřit změřením průměru kruhu (v milimetrech), který se na senzoru vytvoří místo bodu. Jinými slovy - rozostření obrazu zobrazí světelný bod na senzoru jako kruh a průměr tohoto kruhu měří velikost rozostření.

Pro malé senzory je to číslo velice striktné.

**Hyperfokální vzdálenost (H)** - Ak zaostříme na vzdálenost H, je zaostřeno od H/2 do ∞; ~ f^2 / F# \* c

**Charakteristiky optickách systémov\_propouštění detailů:**

**Impulzní odezva systému** - chování na jednotkový impuls (minizdroj záření)

**PSF (point spread function) - Rozptylová funkcia.**

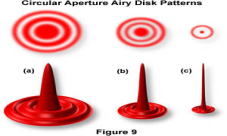
**OTF** **(optical transfer function) - Optická prenosová funkcia** - komplexná; získa sa z PSF Furierovou transformáciou. V jedné ose jsou frekvence (detaily) a na druhé ose je jak dobře soustava přenáší danou frekvenci (detail).

**Mezní frekvence (cut-off frequency)** - limit po který přenáší detaily (max). Aby sme zachovali vzorkovací teorém, vzorkovacia frekvencia musí byť aspoň 2x väčšia oproti medznej frekvencii.

**MTF (modulation transfer function)** je reálná funkce. Vyjadruje rozsah (magnitude) OTF.

**PTF (phase transfer function)** je fáza OTF.

Detaily závisí na velikosti díry (clonové číslo). nejmenší otvor je nevětší hloubka ostrosti. Velký otvor má nejméně strmou charakteristiku mezní frekvence.

**Airy Pattern (Airy Disks) - prstence**

Zobrazení malinkatého bodu jako prstence - má to na svědomí pozitivní a negativní interference. Ty stavy se střídají a tak jsou tam ty prstence (proužky). Je to také díky různé tloušťce čočky.

**Optické rozlišení** soustavy - minimální vzdálenost při které ještě rozlišíme dva svítící objekty vedle sebe. Používajú sa na to Airyho disky. Potrebujeme zistiť ich polomer. Polomer sa počíta: 1.) Rayleigh kritérium - 0,61 \*vlnová délka světla (λ) / numerická apertura (NA).

2.) Abbe-Sparrow limit - 1/mezní frekvence = 0.5\* λ/NA

**Vady objektivů (aberácie):**

**Monochromatické:**

- **sférická vada** - pokud paprsky procházející různými poloměry čočky. Vytváří pak ohnisko v různé vzdálenosti od čočky. Viditelné je to hlavně u skleněné koule. Čočka tedy nesmí být kulatá. Projevuje se to pak rozmazáním. (Môže byť aj výrobná vada). Může se projevovat ta vada i pokud se čočka dívá do jiného prostředí než je stavěná (voda, vzduch, olej...)

- **koma** - vypadá jako kometa. Paprsky na různých poloměrech se nevykreslí jinde ve vzdálenosti od čočky jako u sférické, ale je to posunuté v rámci ohniskové roviny jinde. Paprsky ve středu čočky jsou nejméně rozmazané, na kraji nejvíce rozmazané. Vypadá to jako sněhulák částečně vnořený do sebe (koule od nejmenší po největší).

- **astigmatismus** - vytvoření dvou ohnisek ( <-> a ↕). Rozostrenie horizontálne/ vertikálne.

- **zakřivení pole** - čočka produkuje zakřivený obraz. Objektivy tedy neprodukují vydutý obraz ale rovný. Približovanie k objektívu => rozostrenie okolia a ostrý stred. Vzďaľovanie od objektívu =>rozostrenie stredu a ostrá periféria.

- **geometrické zkreslení** - při širokoúhlém focení a focení do dálky. Při focení mřížky se rohy buď smrsknou dovnitř (*soudkovitost*) nebo se trošku vytáhnou ven (*poduškovitost*). Nejvíce se to objevuje v rozích obrazu.

**Chromatické vady:**

**Lateral (transversal) chromatic aberration - Priečne chromatické vady**

**Axial (longitudinal) chromatic aberration - Pozdĺžne chromatické vady**

Například posunutí barevné složky. Každý barevný kanál zobrazuje tedy objekt posunutě. Uprostřed obrazu se vada neprojevuje, zvyšuje se posunutí až ve směru k rohům obrazu. Vada se týká indexu lomu a vlnové délky. Modrá je méně zvětšená než červená (díky optické vzdálenosti). Velikost posunu barev může dosáhnout pri neskorigovanom objekte 1-2 %. U zkorigovaného objektivu to může být řádově méně (0,2%) (**apochormats**).

**Nezkorigované**, **achromatické** (zkorigované 2 barvy), lepší jsou **apochromatické** (3 barvy) a nejlepší **superachromatické** (4 barvy).

Není možné mít objketiv, který je zkorigovaný na všechny vlnové délky!

Lze to korigovat i softwareově.

- **diletace** - "*vinětace*" - obdoba shadingu - intenzita obrazu je největší ve středu

- **nepřesnost centrování** - různé barvy mají různou osu

- **odraz** - zabraňuje se antireflexními potahy čoček

- **nečistota na čočce**

*Zhrnutie* - najlepšie je **medium** aperture size (stredné aj F-číslo).

Vikingové už vyráběli cosi, co se dalo považovat za čočku.

16. století - dochovaly se zvětšovací čočky.

17. storočie - První teleskop - Galileo Galilei.

Polovina 17. století - první mikroskopy.

18. století - Heydens - dvoučočkový mikroskop.

**Dalekohledy = Teleskopy:**

Dalekohledy na určitá spektra:

Zo Zeme: viditeľné svetlo a rádiové vlny. Môžu ovplyvňovať nežiadúce turbulencie.

Z obežnej dráhy: X-rays, Gama-ray (aj iné) - výhoda kvůli absenci atmosféry.

**Dalekohledy se zrcadly nebo čočkami.**

* **čočky**:

1608 - první dalekohled - *Galileiho*. - konvexná (sleduje objekt) a konkávna (pri oku)

1611 - *Keplerov* teleskop - 2 konvexné. Ich vzdialenosť je súčet ich ohniskových vzdialeností. Väčšie zorné pole a zväčšenie. Veľký rozsah. Prevrátený obraz.

* **zrcadla**:

- 1670 - *Newtonov ďalekohľad* - pozeral z hora. Obraz sa odrazil z parabolického zrkadla na sekundárne rovné zrkadlo do kukátka. Nebolo vidieť časť, kvôli 2nd. mirror.

- 1672 - *Cassegrainov teleskop* - Pohľad ako klasický ďalekohľad - ozadu. 2 parabolické zrkadlá. Prvé odráža obraz na druhé a to do kukátka. Nie je tam slepé miesto.

* **kombinované: čočka + zrkadlo**

stred 20. stor. - šošovka má uprostred zrkadlo a je na vzdialenejšom konci od okulára, pri okulári sú ešte bočné zrkadlá, ktoré odrážajú obraz na zrkadlo v čočke a odtiaľ do oka: *Schmidt-Cassegrainov* design; *Maksutov-Cassegrainov* design.

Zrcadla jsou obecně lepší kvůli menším vadám.

**Dalekohledy**:

- maximalizuje se apertura - priemer objektívu (kvůli lepšiemu uhlovému rozlišeniu)

Nebo se maximalizure kvůli maximálnímu pohlcení fotonů. Objektív a hlavné zrkadlo musia byť vyrobené bezchybne - berú sa do úvay optické chyby. Zrkadlá netrpia chromatickými chybami. Negatívne ovplyvniť môže aj počasie - mraky... Ideálne je mať teleskop vo vermíre.

Přímo úměrné vlnové délce a nepřímo úměrné velikosti čočky - pro malé úhlové rozlišení. Musí být tedy malá vlnová délka (neovlivnitelné) a velký průměr apertury.

Čočky ze skla se vyrábějí max cca jeden metr. Inak hrozí tečenie skla.

Zrcadla cca 8m (1 kus) nebo cca 10m (z více kusů).

Dají se skládat paralelně.

Hubbleův teleskop - průměr zrcadla 4m - od UV do IR oblasti

Výhoda teleskopů na bázi odrazu - nízká aberace (vady).

Maximalizace hlavního zrcadla - kvůli průchodu více fotonů.

Adaptivní optika - přizpůsobuje se aberacím.

**Mikroskopy**: (prvý v 17. storočí - Nizozemsko)

* **LM (light microscope)** světelný mikroskop (optický)
  + lze používat UV i infra paprsky. Nejrozšířenější. Detekuje priechodom or odrazom
* **EM (electron microscope) - so skenovacou sondou**
  + **SEM (Scanning EM) -** e-skenuje povrch - meria odrazy
  + **TEM (Transmission EM) -** e-prechádza kompletne cez sledovaný objekt.
* **SPM (scanning probe microscope)**
  + info o povrchu vzorky sa meria. Fyzik. sonda sa používa v úzkom kontakte so vzork.
  + na základe rôznych interakcií rozlišujeme:
    - **AFM (atomic force microscope)**
    - **electric force microscope**
    - **magnetic force microscope ...**
* **Ostatné miskroskopy** napr. **akustické mikroskopy** - defekty pod povrchom, malá f

**Flourecsenčná mikroskopia** - zafarbovanie vzoriek - imisný a excitačný filter,zrkadlo

* musí se brát v úvahu spektrální charakteristiky.
* omezení tak na 3 až 4 barvy
* pohltí G a vyzáří R, ne naopak.. Nebo pohltí B a vyzáří G (zelenou)
* musí mít silnější světelný zdroj (výbojky (xenon, mercury) nebo lasery)
* používají se barevné optické filtry (excitační a imisní), + dichroické zrcadlo, které určitou barvu odrazí, ale jinou propustí.
* Dichroic mirror + emission + excitation filter sú často namontované spolu v filter-cube
* širokospektrálne svetlo- cez excitačný filter prejde len určitá vlnová dĺžka, ktorá sa kompletne odrazí od dichroického zrkadla na objekt. Ten vyžiary svetlo s ineou vlnovou dĺžkou, ktoré prejde cez dichoické zrkadlo a cez emisný filter na detektor.

**Typy objektivů:**

- **suché** (přes vzduch) - přes 2 indexy lomu

- **olejové** - index lomu 1,5 (jako sklo) - jen 1 přechod indexu lomu.

- ***"vodní"*** - vzorek má index lomu 1,3 a voda také - jen jeden přechod indexu lomu.

Pro velké zvětšení musí být krátká ohnisková vzdálenost (a tím velká mohutnost čočky).

Numerická apertura je v reálu o něco menší než teoretické maximum (0,95 suchý, 1,45 olej a 1,3 u vody) - úhel je mezi cca 72° a 78° (stupni).

Optické rozlišení vychází cca 1/4 μm pro nejpříznivější vlnovou délku - při maximální apertuře.

Podélné (axiálne) rozlišení bývá cca 3,5x horší než laterálne (priečne).

**Fluorescenční mikroskopy ("FM"):**

Nasbírané fotony úměrné ploše čočky. S čtvrtou mocninou apertury (**NA^4**) roste počet fotonů.

Index lomu se mění s teplotou - ideálne má byť umiestnený v miestnosti so stálou teplotou.

U mikroskopů se maximalizuje apertura kvůli optickému rozlišení.

**Problémy FM:**

- málo svetla

- niektoré farby rýchlo blednú a nestíhajú sa zachytiť - riešenie protiblednúce chemikálie

- prekrývanie sa farieb - riešenie kvalitejšie filtre a voľba kontrastnejších farbieb

- fototoxicita - zosilnenie svetelného zdroja môže škodiť až zabíjať živé bunky. Treba iné riešenie

**3D snímání:**

3D obraz je 3D matice. **3D pixel = voxel**.

- **fyzické řezy** - po zmrazení a rozřezání kryocutem. Řeže v jednotkách μm.

- **virtuální řezání** - fixace objektu a snímač obíhá (např. CT, MR). Snímá se pomocí série 2D snímků.

Daleko ostřejší 3D snímek získáme **konfokálními technikami**:)

Používá se bodové skenování. Pomocí zařízení podobného Nipkovovu disku.

Zkoumá se tisíce bodů paralelně. Po jedné otáčce disku se nasnímá celý objekt.

Získáme tím **konfokální jev**. Světlo projde dírkou, vrátí se zpět do detektoru, před kterým je štěrbina. Potom paprsky z mimofokálních rovin jsou ztraceny. Snímá se jen to, co je v ohniskové rovině, zbytek se nevidí.

Dírky musí být daleko od sebe, kvůli tomu, aby to zablokovalo všechny nežádoucí paprsky.

**(Viac-)Bodové mikroskopy** (svetelné alebo laserové prisvietenie). - CNSm. Nevýhoda velké intenzity a možnosti zničení preparátu.

Nebo místo laseru se opět použije Nipkovův disk s druhou vrstvou, kde jsou větší dírky s čočkami.

Obdoba Nipkovova disku z 60. let 20. století. - průměr cca 10 cm.

Dírky mají pár desítek mikrometrů, vzdálenost jsou stovky mikrometrů.

Disk s většími dírkami bude procházet více světla, ale bude zobrazovat silnou vrstvu.

**CLSM (confocal laser scanning microscopy)** - flourescenčný mód v biomedicíne. Stala sa štandardnou technikou pre najlepšie výskumné pracoviská.

**Vícefotonová excitace** (u fluorescenčních):

* **Single-photon Excitation Microscopy** - 1 fotón na vstupe a 1 fotón na výstupe.
* **Multi-photon Excitation Microscopy** - N fotónov na vstupe a 1 fotón na výstupe. Napr pre N= 2 sa vyrábajú **TPE (Two photon excitation)** microscopes.

Vybudíme 2 fotony zároveň se stejnou energií jako jeden foton. Musí se potkat ve stejném čase i místě. Použije se ***pulzní laser***, lebo je to dostatočne silný zdroj, "bodový". Ten je ale příliš drahý.

**Multidimenzionální snímání obrazu**

- zorné pole (různé objekty): kamera vidí pouze omezený zorný (prostorový úhel), snímáme pouze jeden podprostor (př. **konfokální mikroskopie**)

- úhel pohledu (stejného objektu): ve 3D nebo tomografie, může být snímám paralerně (mnoho kamer) nebo postupně (jedna kamera, která se otáčí/pohybuje kolem objektu)

- způsob zobrazení (stejného objektu): stejný statický objekt může být postupně získán různými zobrazovacími režimy (fluorescence, přenos, fázový kontrast, atd.) nebo nástroji (optická mikroskopie, MRI, CT, zvuk, atd.) - tzv. modalit.

- stav zobrazení (stejného objektu): stejný objekt může být postupně snímán v různých podmínkách a stavech (různé oblečení/ nálady pro lidi, různé druhy barvení buněk, atd.)

**Skenování ve vlnové dimenzi (Scanning in Wavelength Dimension)**

- **částečné spektrální zobrazování**: jsou snímány jen některé kanály(channels), každá má jinou křivku spektrální citlivosti. 3 kanály jsou používá v lidském oku jako RGB kamery. 3-4 používány ve fluorescenční mikroskopii.

- **rýdze (proper) spektrální zobrazování**: záznam plného spektrálního rozložení světla v určitém rozsahu vlnových délek (např. 400-700nm), vzorky v pravidelných intervalech. hranol nebo mřížka se používá k rozptýlení 0D světla paprsku na 1D informaci zaznamenanou paralerně. pro spektrální zaznamenání 1D obrazu se používá 2D kamery v x-režimu, pro 2D/3D je potřeba bod nebo linie skenování.

- **aplikace**: Astronomie (stanovení koncentrace jednotlivých chem. prvků ve hnězdách na základě známých emisních spekter těchto prvků), Mikroskopie (kombinační označení - přiřazení konkrétních kombinací barviva pro jednotlivé cíle - zejména pro rozlišení všech typů lidských chromozomů)

**Micro-axial (pozdĺžna) tomografie**

- na povrchu buňky je umístěno tenké skleněné vlákno, které se otáčí podél své vlastní osy kolmo k optické ose. tento typ akvizice produkuje sérii vzájemně nakloněných 2D/3D obrázků, které musí být registrovány a sloučeny. to umožňuje překonat anizotropní rozlišení v optické mikroskopii.

**FOV (field of view) ?**