

VIDEOTECHNIKA

Előadásvázlat

Mócsai Tamás

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások

Tanszék

2015

Csoportosítási lehetőségek

- Konzumer / fél-professzionális / professzionális (azon belül **"broadcast"** / **"cine"**)
- Hordozható / stúdió (system-camera)
- Rögzítővel egybeépített (kamkorder) / nem egybeépített
- Kimenőjel alapján CVBS, komponens (RGB / YCbCr), analóg / digitális kimenet, egyéb (tömörített, esetleg RAW)
- Képformátum SD / HD / 2k / 4k / 8k / ...
- Rögzítő média alapján szalag / HDD / optikai lemez / memóriakártya / SSD / stb ...
- Rögzítési formátum alapján (szalagos D1-D12), file alapú HDCAM, XDCAM, AVCHD ... stb
- Szenzor típus alapján (CCT / CCD / CMOS)
- Szenzorok száma alapján (1 vagy 3)
- Szenzor méret alapján (1/3", 2/3", stb ...)



Alapvető felépítés

- Szűrők (korrekciós színszűrők, ND szűrők, speciális effekt szűrők)
- Optika
- Blende (írisz)
- Mechanikus zár (ha van)
- Színbontók : prizma, vagy CFA (Color Filter Array)
- Szenzor (optoelektromos átalakító)
- Jelerősítés (gain) - és szabályzás
- Jelfeldolgozás (mátrixolás, fehéregyensúly, stb.)
- Kimeneti interfészek
- Kiszolgáló áramkörök (tápegység, korrekciós áramkörök, optika vezérlés (zoom, fókusz, írisz) / képkereső / egyéb be-kimenetek (hang, szinkron, idő kód, stb.)



Elvi színbontás

- A színes kamerától azt várjuk el, hogy az adott RGB színtérnek (pl. HD esetében ITU-709) megfelelő RGB alapszín komponensekhez tartozó fényűrűség-eloszlást állítsa elő
- Első közelítésben használjunk három különálló képalkotó eszközt (szenzor) a három komponensű (RGB) kép előállítására
- Használjuk a CIE XYZ színtér összetevő függvényeit a színbontás céljára
- Adott RGB színtér és a CIE XYZ színtér közötti lin. transzformáció az **A** mátrixszal írható le:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



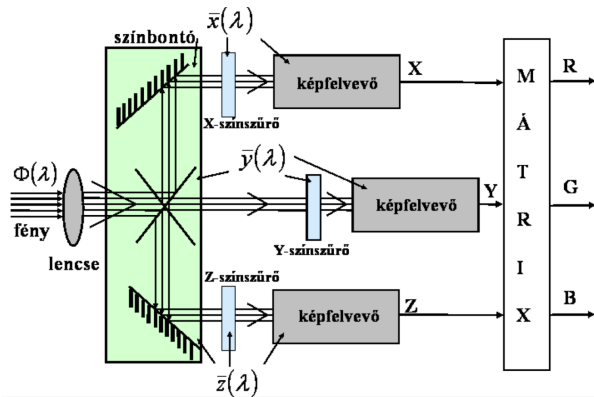
Elvi színbontás

- A CIE XYZ színkoordinátákat a $X = \int \bar{x}(\lambda) \phi(\lambda) d\lambda$, $Y = \int \bar{y}(\lambda) \phi(\lambda) d\lambda$ és $Z = \int \bar{z}(\lambda) \phi(\lambda) d\lambda$ kifejezések alapján kaphatjuk, ahol $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ és $\bar{z}(\lambda)$ a CIE XYZ színösszetevő függvények (CMF), és $\phi(\lambda)$ a jelenetről a kamerába érkező fény spektrális sűrűségfüggvénye.
- Megoldandó feladatok
 - Biztosítani kell az optikai kép egyidejű szétosztását 3 egyforma optikai úthosszal (azonos fázisban) a három szenzor felé
 - Optikai szűrőkkel biztosítani kell, hogy a CIE XYZ összetevő függvényekkel megszűrt spektrális eloszlású megvilágítást kapják a szenzorok
 - A három szenzor XYZ összetevő képeit át kell alakítani RGB komponens képekké (lineáris transzformáció)



Kolorimetriai megfontolások

Elvi színbontás





Kolorimetriai megfontolások

CIE XYZ - ITU-709 RGB konverziós mátrix

$$\begin{bmatrix} R_{\text{ITU-709}} \\ G_{\text{ITU-709}} \\ B_{\text{ITU-709}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{3.2406} & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Megoldás hátrányai:

- A mátrixolásból adódó SNR romlás (zajszint növekedés, pl. a 3.2406-es együttható esetén)
- Az RGB térbe transzformált képben out-of-gamut tartományokat (negatív, illetve 1-nél nagyobb RGB értékek) "kezelni" kell
- A CIE XYZ komponens jelek digitalizálása komponensenként legalább 16 bitet igényelne



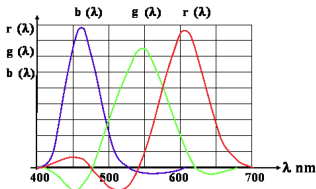
Kolorimetriai megfontolások

- Célszerű lenne olyan szűrőrendszer alkalmazása, mely után nincs szükség színtér transzformációra, vagyis az adott RGB színtérhez tartozó színösszetevő függvényeknek (CMF)-nek megfelelő optikai szűrők használata
- Probléma: A kijelző RGB színterekhez (fizikailag megvalósítható RGB alapszínforrások) tartozó színösszetevő függvényeknek (CMF-ek) negatív tartományai is vannak, így ezek a szűrők közvetlenül nem realizálhatók
- Megoldás: Az adott RGB színtér CMF-jeit minél inkább közelítő, de csak pozitív értékeket tartalmazó szűrőkarakterisztika megvalósítása, majd mátrixolás (ekkor az SNR romlás kisebb mértékű)



Kolorimetriai megfontolások

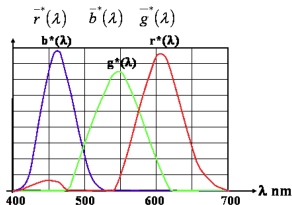
Legegyszerűbb RGB kamera : CMF-ek vágása a nulla alatt - mátrioxolás nem szükséges. (Ennél a gyakorlatban "kifinomultabb" megoldásokat alkalmaznak)



$$R = \int_0^{\infty} \bar{r}(\lambda) \cdot \phi(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int_0^{\infty} \bar{g}(\lambda) \cdot \phi(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int_0^{\infty} \bar{b}(\lambda) \cdot \phi(\lambda) d\lambda$$



$$B^* = \int_0^{\infty} \bar{b}^*(\lambda) \cdot \phi(\lambda) d\lambda$$

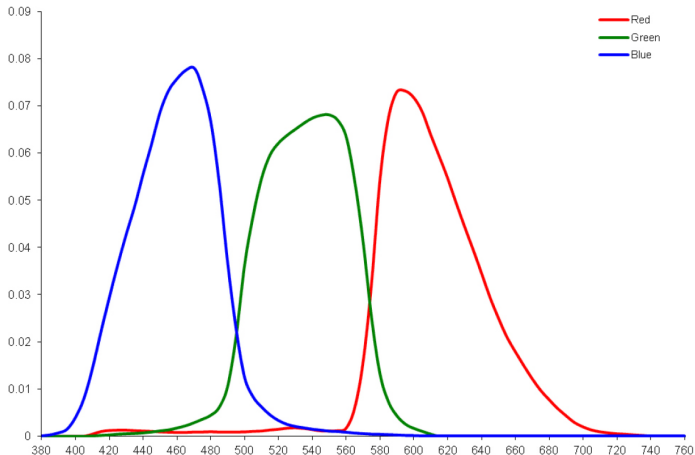
$$G^* = \int_0^{\infty} \bar{g}^*(\lambda) \cdot \phi(\lambda) d\lambda$$

$$R^* = \int_0^{\infty} \bar{r}^*(\lambda) \cdot \phi(\lambda) d\lambda$$



Kolorimetriai megfontolások

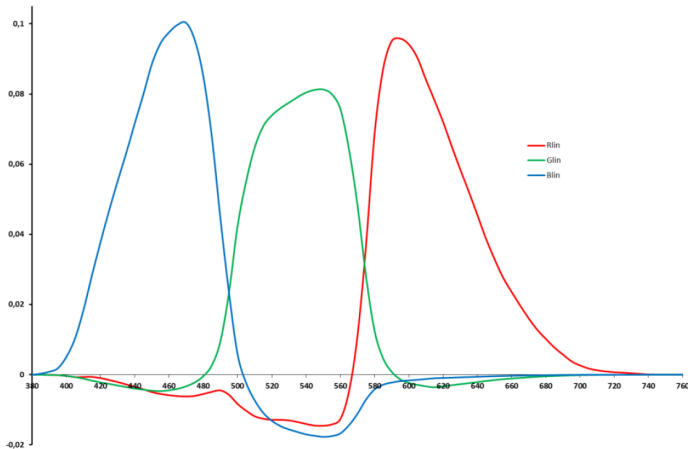
Gyakorlati HD (ITU-709) kamera RGB szűrőkarakterisztikák



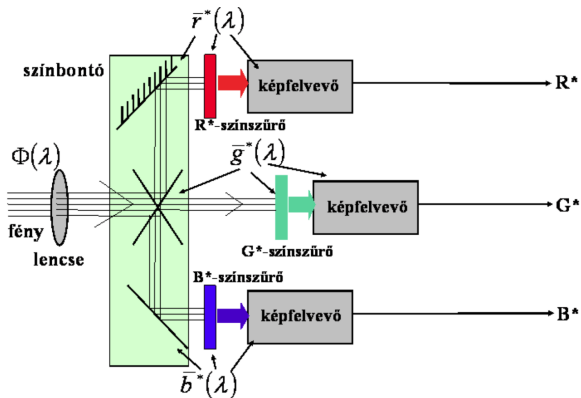


Kolorimetriai megfontolások

Gyakorlati HD (ITU-709) kamera RGB karakterisztika mátrixolás után

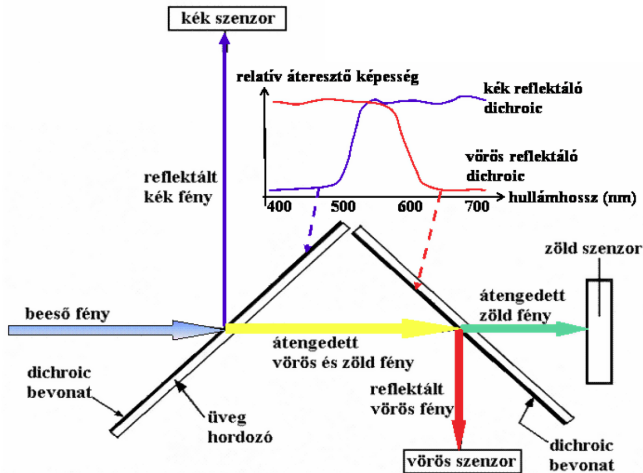


RGB kamera - "gyakorlatiasabb" blokkvázlat



Színbontás a gyakorlatban

Dichroikus tükrök



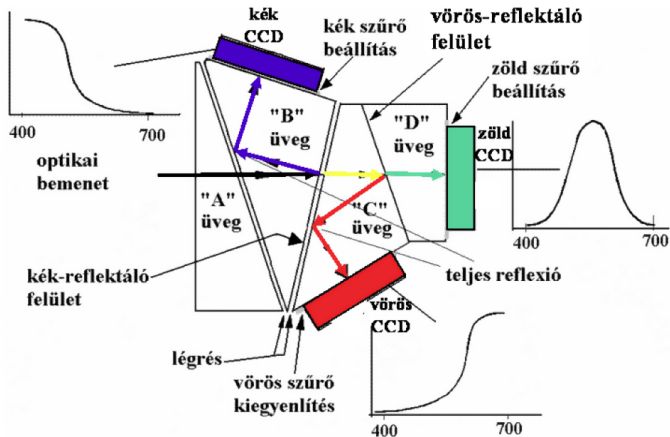


Színbontás három szenzor esetében

- A színbontás történhet dichroikus tükrökkel, melyeknél az optikai hordozóra ún. dichroikus réteget visznek fel
- Ezen a rétegen a különböző hullámhosszúságú beeső fénysugarak eltérően törnek meg, vagy verődnek vissza
- Gyakorlatilag a dichroikus tükrök a hullámhosszra nézve felüláteresztő, illetve aluláteresztő színszűrőként működnek
- A kamerákban általában két dichroikus tükör van:
 - Az első tükör reflektálja a kék tartományt, míg a sárga-zöld tartományt átengedi
 - A második tükör reflektálja a vörös tartományt, míg a zöld tartományt átengedi

Színbontás a gyakorlatban

Dichroikus prizma



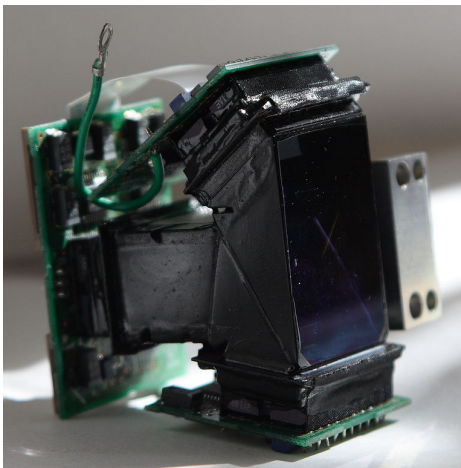


Dichroikus prizmák

- A prizmákat légrés választja el egymástól, a dichroikus rétegek a prizmák külső felületén találhatóak
- A fény először a kék tartományt reflektáló (B üveg) dichroikus rétegébe ütközik, ami reflektálja a kék tartományt és a B komponensnek megfelelő szenzorra továbbítja
- A zöld-vörös tartomány áthalad a B/C prizmán, eléri a C üveg külső felületére felvitt vörös tartományt reflektáló dichroikus réteget
- A vörös tartomány az R komponensnek megfelelő szenzorra kerül, míg a zöld tartomány egyenesen eléri a G komponensnek megfelelő szenzort
- A prizmák alakja, és a kialakított légrések biztosítják, a kék és a vörös tartomány teljes visszaverődését, aminek a következtében a fény nem tud kilépni a "saját" prizmájából



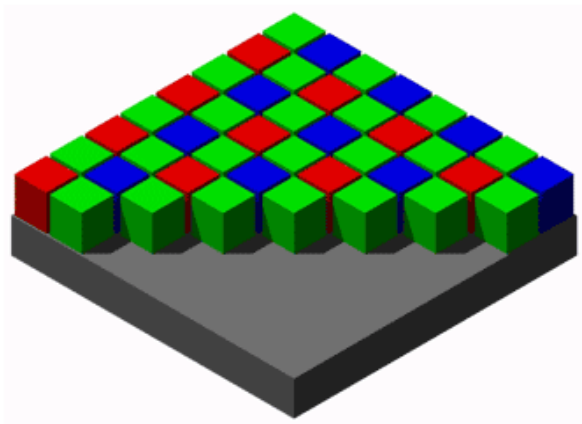
Dichroikus prizma





Színbontás a gyakorlatban

Színbontás egyetlen szenzor esetében: Bayer-szűrő (részletesebben lásd később a CMOS szenzoroknál)

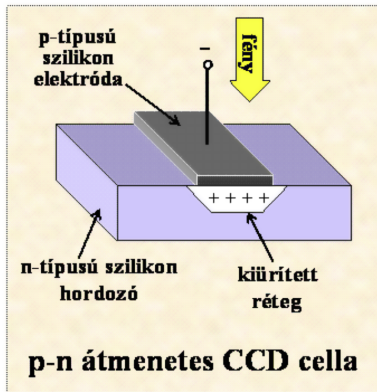
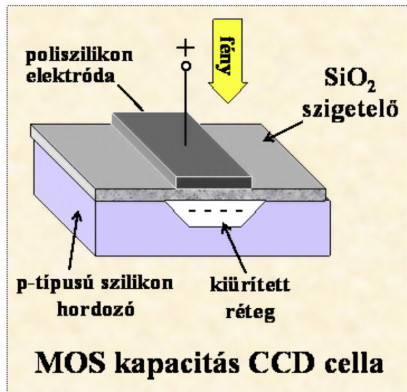


CCD (Charge Coupled Device): töltéscsatolt eszköz

- A CCD eszköz alapegysége a cella, mely megfelelő vezérlési feltételek mellett (vezérlőfeszültség) képes a megvilágítással arányos mennyiségű töltés generálására, összegyűjtésére, tárolására és kiléptetésére
- Szilícium egykristályon, egymás mellett elhelyezkedő több százezer, ill. millió ilyen elemi cella alkotja a CCD felvevő (szenzor) chipet
- Az egyes elemi cellák általában mátrixszerűen, ortogonális struktúrában helyezkednek el
- A leggyakrabban alkalmazott kétféle CCD cella:
 - SiO₂ MOS kapacitás
 - P-N átmenetes cella
- A CCD működés alapvetően három részből áll:
optoelektromos átalakítás, töltéstárolás, töltésmozgatás



CCD keresztmetszet



- Optoelektromos átalakítás
 - A cellát fedő elektróda teljesen átlátszó
 - Ha a MOS CCD cellát fény éri, akkor abban a becsapódó fotonok hatására szabad elektronok keletkeznek
 - A keletkező elektronok száma (első közelítésben) arányos a becsapódó fotonok számával

– Töltéstárolás

- Ha megfelelő vezérlőfeszültséget kapcsolunk a cella elektródájára, akkor alatta a szilícium rétegben kialakul egy potenciálgödör, mely összegyűjti a keletkező elektronokat
- A CCD cella mindaddig tárolja az elektronokat, amíg a vezérlő feszültséget meg nem változtatjuk

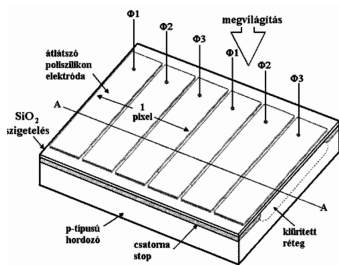
– Töltésmozgatás

- A CCD cellára kapcsolt vezérlőfeszültséggel a kialakuló potenciálgödör mélységét változtatni is lehet
- Ezt felhasználva lehet mozgatni a töltéseket a CCD szomszédos cellái között, ha azok megfelelően sűrűn egymás mellett helyezkednek el
- A vezérlőfeszültség változtatásával a potenciálgödörben lévő elektronok az egyik cella alól a másik alá tölthetők

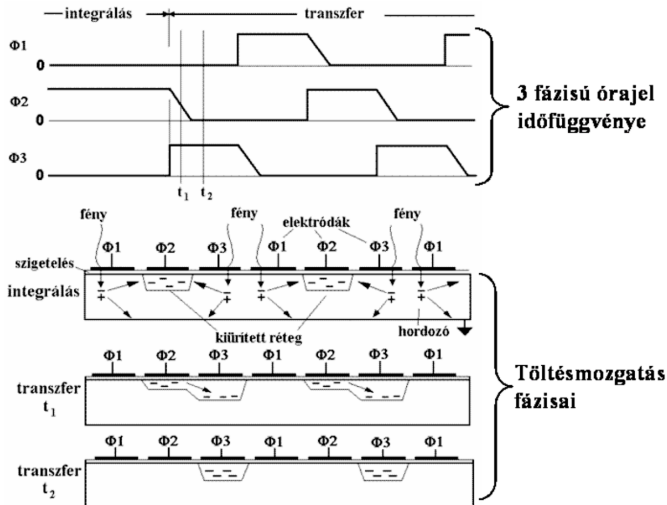


CCD működése

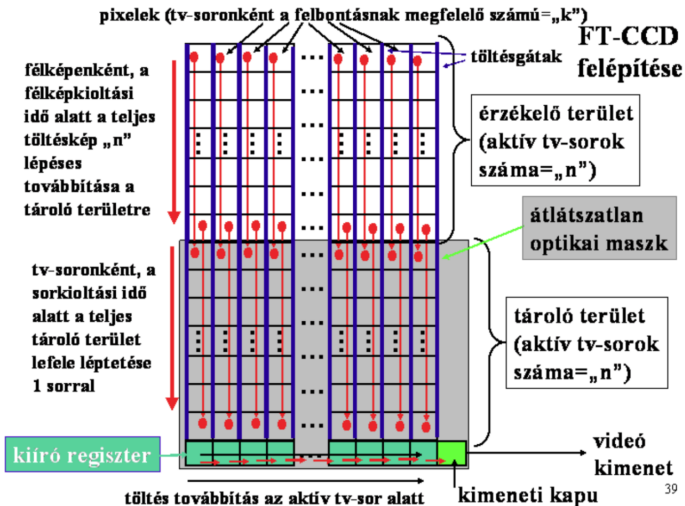
- Megfelelően kialakított cella szerkezettel a fény hatására keletkező elektronokat a kimenetre lehet "mozgatni"
- A töltésmozgatás megfelelő léptető órajelekkel lehetséges
- Több fázisú órajelre van szükség, melyet megfelelő számú egymás melletti cellára kell kapcsolni
- PI: Háromfázisú töltésmozgatás esetén a töltés továbbítás alapegysége a három egymás melletti cella, három órajellel



Töltésmozgatás fázisai



- A helyes működéshez a CCD cellához számos járulékos elem kell, ezek közül a legfontosabbak: a csatorna stop, és a túlcsondulás nyelő
 - A csatorna stop feladata a töltések megfelelő irányba történő terelése, és a töltések szétterjedésének megakadályozása
 - A túlcsondulás nyelő nagy megvilágítottságok esetén, a már nem tárolható töltéseket vezeti el - ezáltal megakadályozza, hogy azok szomszédos cellákba kerüljenek át, és elmosás a képet
- A CCD működését (töltésmozgatás módja, ütemezése) a szerkezeti felépítése határozza meg
- Többféle struktúra terjedt el, ezek közül tekintsünk át hármat:
 - Frame-Transfer CCD (FT-CCD)
 - Interline-Transfer CCD (IT-CCD)
 - Frame-Interline-Transfer CCD (FIT-CCD)

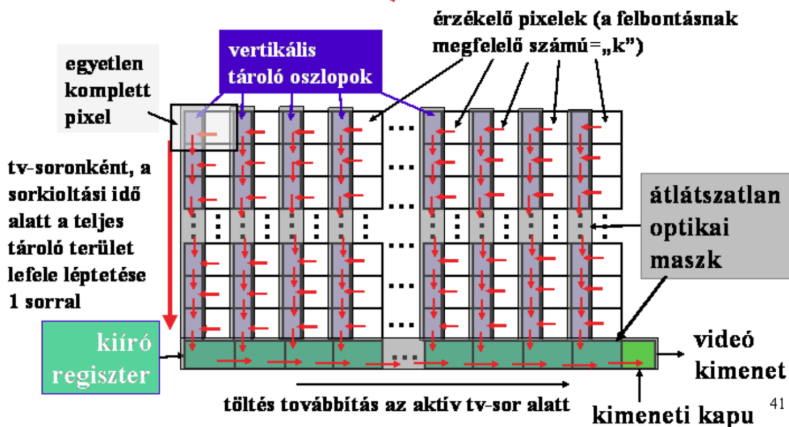


The logo for FT-CCD features a stylized red waveform on the left, resembling a signal trace, and the text "FT-CCD" in a bold, red, sans-serif font to its right.

FT-CCD

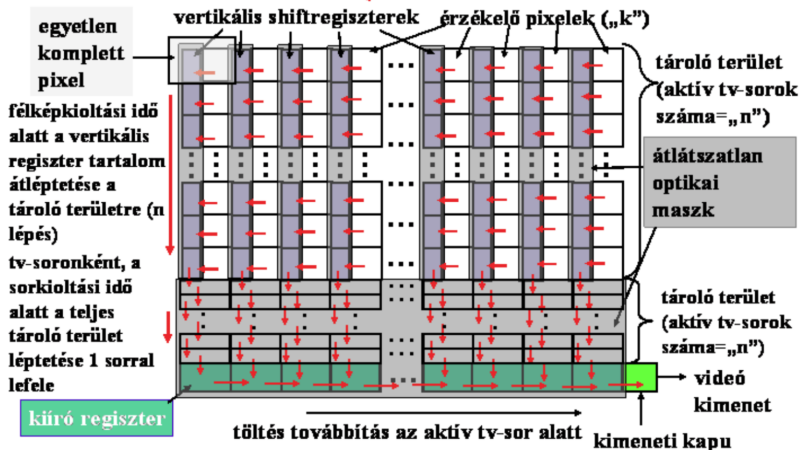
- A legegyszerűbb struktúra, és a legkönnyebb gyártani (kezdeti CCD chipék struktúrája)
- Egy összefüggő tároló és egy összefüggő érzékelő terület alkotja
- A tároló és érzékelő terület azonos számú sorból és oszlopból áll
- Mind a tároló, mind az érzékelő területen minden egyes cella egy-egy pixelt reprezentál
- A tároló terület teljesen el van zárva a fénytől
- A CCD chip felülete nem pontosan kétszerese az érzékelő terület felületének: a tároló cellák alkotta felület általában kisebb
- Csatorna stop, és túlcsoordulás nyelőék célja: a függőleges oszlopok között ne alakuljon ki töltés áthatás
- A függőleges irányú léptetés függőlegesen elmossa a képtartalmat, ha a léptetés alatt megvilágítás éri a szenzort
- Ez a transzfer elkenés az FT-CCD jellemző hibája - megoldás: az érzékelési terület töltéseinek mozgatása alatt kikapcsoljuk a megvilágítást: **mechanikus zár** van szükség
- Másik lehetőség: átléptetési idő rövidítése: a töltésmozgatás ütemezésének gyorsítása

félképenként, a félképköltési idő alatt
egy lépésben a teljes töltéskép balra
léptetése a vertikális tároló oszlopokba



- Az oszlop struktúrájú érzékelő cellák között található a függőleges oszlopokat alkotó tároló cellák is
- A vertikális tároló oszlopok egy vízszintes, ún. sortároló shift-regiszterbe csatlakoznak
- Az IT-CCD függőlegesen nem keni el a képet, hiszen a függőleges léptetés fénytől elzárt területen, a függőleges léptető regiszterben zajlik
- Ennek ára, hogy csökken az érzékelési terület, így az érzékenység is
- Az érzékenység a CCD chipre integrált mikro-lencserendszerrel javítható
- A gyakorlatban a függőleges léptető regiszterek fénytől történő elzárása nem lehet tökéletes, különösen a nagy hullámhosszúságú, nagy behatolási mélységű vörös tartományra
- Ez függőleges elkenődést okoz, jellemzően a nagy megvilágítású pixelek alatt és felett
- Megfelelő kialakítású potenciálgátakkal, és túlcsondulásnyelőkkel a jelenség jól kontrollálható

félképenként, a félképköltési idő alatt egy lépésben a teljes töltéskép balra léptetése a vertikális tároló oszlopokba





- Kiküszöböli a töltés mozgatóból származó elmosódást azáltal, hogy a megvilágítási időben a mozgások számát csökkenti
- Az érzékelési és a tárolási terület teljesen elválasztott, függőleges shift-regiszter köti össze őket
- Az aktív képidőben az érzékelési területen gyűlnek a töltések
- A félképköltési idő elején egyetlen lépésben átírjuk a teljes érzékelési területet a függőleges shift-regiszterekbe
- A függőleges regiszterek tartalmát a CCD-n lévő sorok számának megfelelő számú léptetéssel mozgatjuk a tároló területre (félképköltési idő alatt)
- Innen a vízszintes regiszterbe való mozgató az FT-CCD-vel megegyező módon történik



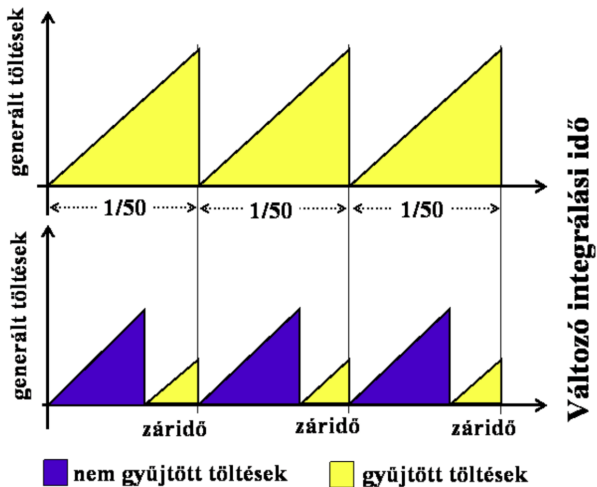
Váltott soros jel előállítás

- Az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy a CCD sorainak száma megegyezik a televíziós rendszer aktív sorainak számával
- A váltott soros rendszerek az összes TV sor felét (tehát páratlan, majd a páros indexű sorok) jelzik ki egy függőleges lefutás alatt
- Egy félképhez tehát a CCD minden második sorát (tehát páratlan, majd a páros indexű sorokat) kell csak kiolvasni
- A töltésgyűjtés időzítése szempontjából kétféle megközelítés lehetséges:
 - Kép integrálási mód: A CCD minden cellája teljes kép ideig gyűjti a töltést, páratlan félképnél a páratlan sorok, míg páros félképnél a páros sorok tartalmát olvassuk ki - maximális felbontást eredményez, de gyors mozgás esetén mozgáselmosódást okoz
 - Félkép integrálási mód: A töltésgyűjtés csak félkép-ideig tart (az expozíció csökken) - két szomszédos sor töltései összeadhatók (az expozíció ekkor nem csökken), de a függőleges felbontást csökkenti

- Változó integrálási idő / záridő alkalmazása:
 - A CCD és CMOS cellák alkalmazása lehetővé teszi az elektronikus zár alkalmazását
 - A töltésgyűjtési idő (integrálási idő) változtatható: a gyűjtési intervallumot megelőző időben keletkező töltéseket nem gyűjtjük (kiürítjük)
 - A rövidebb záridő csökkenti az expozíciót, de a gyors mozgások elmosódása is csökken
 - Az expozíciót (megvilágítottság) az írisz (blende) nyitásával lehet kompenzálni (lásd később)

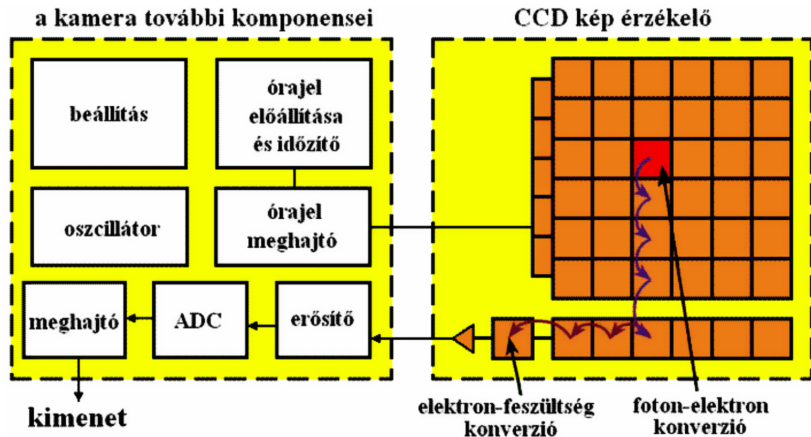


Záridő szabályzás CCD esetén





CCD chip és kiegészítő áramkörei



- A CMOS érzékelő chip ma kizárólagosan a CMOS gyártási technológiára épülő APS (Active Pixel Sensor) típusú érzékelőt jelenti
- Míg a CCD gyártása drága, és speciális technológiát igényel, a CMOS APS chipek gyártása a hagyományos CMOS félvezető technológia gyártási folyamatához hasonló
- Ma már szinte tetszőleges méretű és felbontású CMOS APS chip készíthető

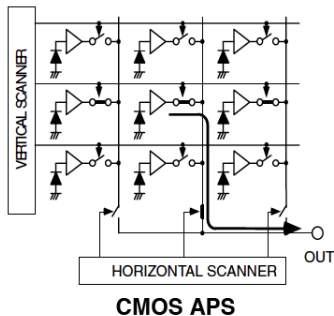
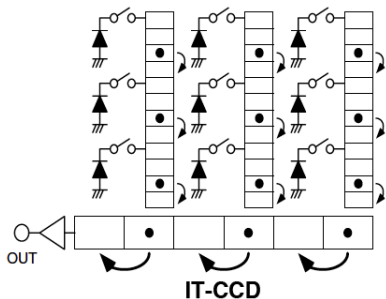
- A CMOS APS alapvetően egy CMOS gyártási technológiájú fotodióda, mely mellett a chipre integrálva kiegészítő áramkörök (általában legalább három tranzisztor: reset, sor és oszlop kiválasztó kapcsoló tranzisztor, valamint töltés feszültség-konverter)
- A CMOS érzékelő chipre integráltan megtalálhatók általában az egyéb kiegészítő áramkörök (órajelgenerálás, vezérlés, erősítés, töltés/feszültség konverter, zajkioltás, AD-konverzió, stb)
- Az APS-t alkotó tranzisztorok az APS effektív felületét csökkentik, így az optikai érzékelő felület, és az aktív cella felület hányadosa, a *fill factor* kisebb, mint 100%
- A gyakorlatban a fill factor csökkenését az APS-ekre integrált mikro-lencsékkel kompenzálják: a mikro-lencsék gyűjtőlencsék, melyek az inaktív felületre eső fénysugarakat az aktív felületre fókuszálják



- A CMOS pixeleinek kiolvasása X-Y címzési rendszerben történik: a kiolvasandó sor és oszlop kiválasztásával
- A teljes X-Y címzési rendszer előnye az alacsony teljesítményfelvétel (mindig csak egy pixel aktív), és a kiolvasás tetszőleges ütemezése (alacsony felbontású kiolvasás, pl. sorok/oszlopok szerinti decimálással, vagy crop-funkció szűkített pixeltartomány kiolvasásával)
- Ezen előnyök ellenére számos címzési/kiolvasás ütemezési megoldás/változat terjedt el (lásd a következőkben)

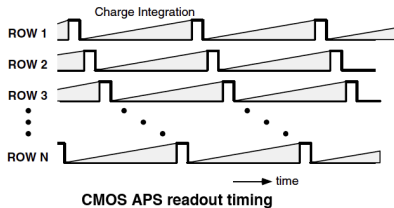
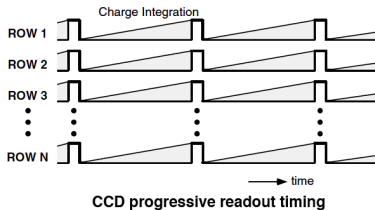


Összehasonlítás

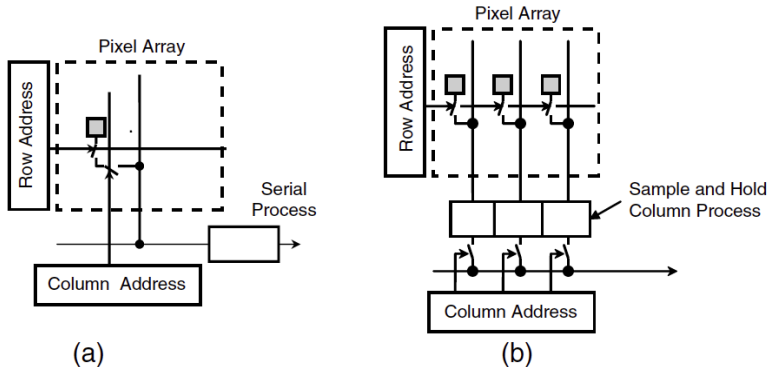




Összehasonlítás



Lehetőségek



(a)

(b)

(a) pixel serial readout and processing;

(b) column parallel readout and processing;

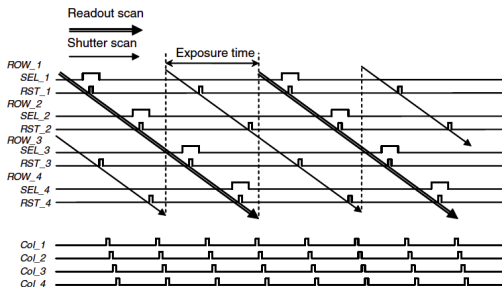
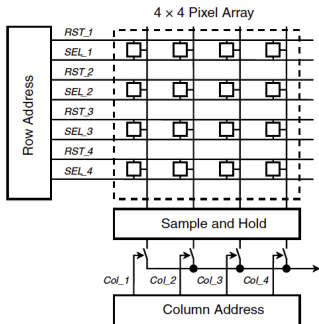


CMOS kiolvasási ütemezés

- Pixelek szerinti soros architektúra (a): a sor-/oszlop-kiválasztó jelek egyszerre egy pixelt címeznek meg. A pixel kiolvasása és a kimenetre továbbítása után az adott sor következő oszlopában történő pixel címzése történik, majd annak kiolvasása után továbbítása a soros kimenetre. A töltés integrálási idő így pixel-ről pixelre csúszik (pixelenkénti rolling shutter)
- Az oszlopok szerinti párhuzamosítás (b) esetében egy sor összes pixeléhez tartozó feszültségszinteket mintavételezzük, majd beírjuk egy sortárolóba. A sortároló tartalmának kiolvasása szekvenciálisan történik. Az egy soron belül pixelek integrálási idejének ütemezése azonos, de sorról sorra csúszik (soronkénti rolling shutter). Ez a megvalósítás a leggyakrabban alkalmazott ütemezés. A címzés nem teljes X-Y címzés, hiszen csak sorkiválasztás történik: az APS mérete csökkenthető, illetve az aktív felület növelhető, mert kevesebb integrált vezetékre van szükség.



Oszlopok szerinti párhuzamosítás





CMOS rolling shutter hatása

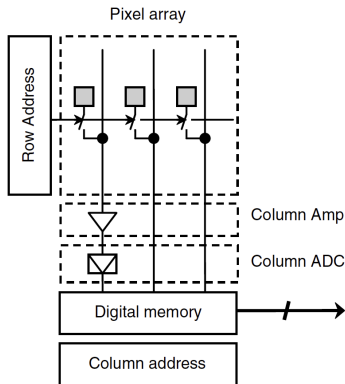
Canon 5D Mark III
rolling shutter





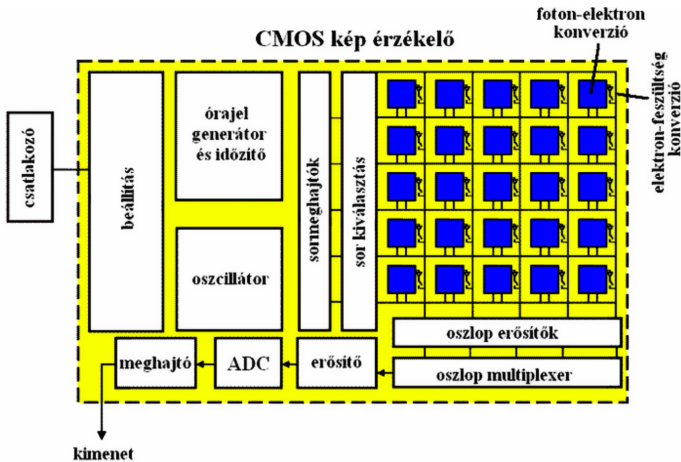
CMOS rolling shutter hatás csökkentése

Soronkénti kiolvasás gyorsítása, A/D konverzió után sor,
vagy akár frame tároló memóriába írás





CMOS APS chip és kiegészítő áramkörei





CMOS vs. CCD

Összehasonlítás, és trendek I.

- Korábban a CCD szenzorok jelentették a professzionális minőséget, a CCD alacsony zajszintje miatti jó SNR miatt
- A CMOS gyártási technológia alacsony költsége miatt CMOS szenzorok eleinte elsősorban a konzumer, illetve mobil/webkamera alkalmazásokban voltak jelen
- Mára a CMOS technológia optimalizálásával (mikro-lencsék alkalmazása, kis-zajú erősítő és A/D áramkörök alkalmazása), valamint az utólagos zajcsökkentő eljárások (pl. sötét-offszet (zaj) feszültség kivonása a pixel kimeneti feszültségéből), és egyéb DSP eljárásokkal a CMOS szenzorok minősége a CCD-vel vetekszik
- Mind a CCD, mind a CMOS érzékelő dinamikatarományát alapvetően a töltés-szaturációs szint, vagyis az elemi cellában tárolható töltések maximális száma határozza meg. Az azonos szenzorméret melletti pixelszám növelése, illetve a szenzorméret csökkentése (pl. mobil alkalmazásokra) a töltés-szaturációs szint arányos csökkenését okozza, így ez a tendencia további optimalizálás nélkül a dinamika-tartomány és az SNR romlásához vezet.



Összehasonlítás, és trendek II.

- A CMOS szenzorok teljesítményfelvétele töredéke a CCD teljesítményfelvételének, ennek elsősorban mobil alkalmazásokban, illetve nagysebességű alkalmazásokban (nagysebességű képalkotás) van jelentősége
- A CMOS chipre integrálható számos funkció a gyártási technológiából adódóan. Konzumer esetekben akár a teljes digitális jelfeldolgozás (A/D konverzió, erősítés szabályzás, fehérregyensúly-állítás, mintaformátum konverziók, utószűrés, zajcsökkentés) a CMOS chipbe integrált.
- Mivel a CMOS gyártási technológiájával szinte tetszőleges méretű, és pixelszámú szenzor jelentős költségnövekedés nélkül gyártható (a CCD méret, illetve pixelszám növelése a drasztikusan növeli a szenzor fejlesztési/gyártási költségét), a CMOS szenzorok a professzionális alkalmazásokban elsősorban a nagy szenzorméretű/nagy pixelszámú igények esetén fordulnak elő (pl. DSLR kamerák, digitális-mozikamerák)



Színbontás egy szenzor esetén

Bayer pattern

R	G	R	G	R
G	B	G	B	G
R	G	R	G	R
G	B	G	B	G
R	G	R	G	R



Színbontás egy szenzor esetén

Bayer pattern

- Minden elemi cella (CCD vagy CMOS fotodióda) fölött egy-egy színszűrő helyezkedik el, melyek együttesen egy CFA (Color Filter Array) struktúrát alkotnak
- A legelterjedtebb a Bayer mintastruktúra (számos változatban), mely a HVS zöld tartományra vonatkozó magasabb érzékenysége miatt kétszer annyi G pixelt tartalmaz, mint R illetve B pixelt. Így a G komponens kép térbeli felbontása nagyobb lesz, így a világosságjel felbontása is jobb lesz, mintha egyenlő számú R,G,B pixel lenne a struktúrában.
- Emellett a mintastruktúra sorról-sorra eltoltt, így minden vízszintes pozícióban van G minta, a függőleges felbontás rovására
- A hiányzó komponensek (pl. az R pixel helyén a G komponens, stb.) térbeli interpolálással számíthatók, melynek megoldására speciális de-bayering (de-mosaicing) szűrő algoritmusok léteznek



3 szenzor vs. 1 szenzor

- A 3 szenzoros, színbontós kamerák minden szenzora azonos pixelszámú, tehát az RGB komponens képek felbontása azonos. Professzionális esetben ezek jellemzően CCD szenzorok (a 3 szenzoros kamerák nagy része mind professzionális kategóriájú, az utóbbi években jelent meg néhány fél-profi, illetve pro-konzumer 3 CMOS szenzoros kamera)
- Konzumer (video)kamerákban, és digitális fényképezőgépekben a szenzor általában CMOS, és a színbontás mindig Bayer CFA elvű



3 szenzor vs. 1 szenzor

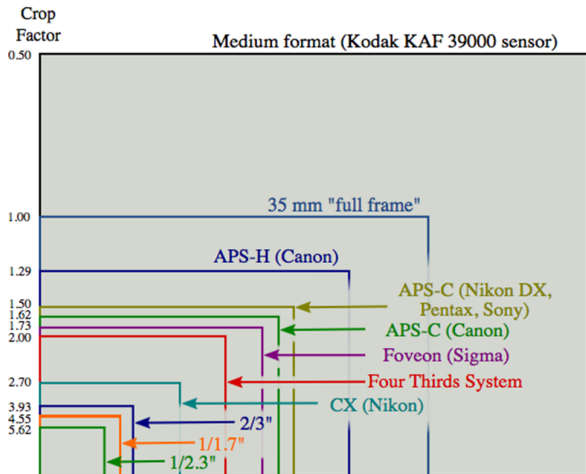
- Nagy-formátumú, és nagy pixelszámú alkalmazásokban (pl. 35mm film formátumú szenzorméret) DSLR és digitális mozikamerákban (cine) a szenzor jellemzően CMOS Bayer CFA színbontással:
 - Itt a de-bayering szűrés kritikus, a végleges szűrés akár a "raw" formátumú video szoftveres utófeldolgozási lépése is lehet
 - A kamera saját DSP-je bizonyos esetekben csak "preview" de-bayering szűrést alkalmaz
- Broadcast alkalmazásokban, ahol a nagy felbontású (jelenleg max. 1920x1080 HD) 4:4:4 mintaformátumú RGB képre azonnal (real-time) szükség van, a 3 szenzoros kamera kikerülhetetlen
- A de-bayering eljárások sohasem lehetnek tökéletesek, ezért ha a jelenet színtartalma térben túl komplex, aliasing jelenségek, színes moire ábrák keletkezhetnek. Nem live-broadcast esetekben "megengedhető" a felvett jelenet újraforgatása (pl. díszlet, kosztümök megváltoztatása)



3 szenzor vs. 1 szenzor

- A CFA színszűrők (kb. 1 mikronos rétegvastagság!) hosszú idejű kolorimetriai stabilitása nem ismert
- A színbontó prizmák jelenléte megváltoztatja az alkalmazott optika tulajdonságait (pl. fókusztávolság), emellett az esetleges belső tükröződések korrekciójára is szükség van. Általánosságban a 3 szenzoros kamerák dedikált optikát igényelnek, míg az egy szenzoros kamerák sok esetben optikailag kompatibilisek a filmes kamerákkal is (digitális mozi-film alapú mozi munkafolyamat kompatibilitása)
- A 3 szenzoros kamerák szenzorainak összehangolása (zajszűrés, árnyalat korrekció, feketeszint állítás) bonyolultabb

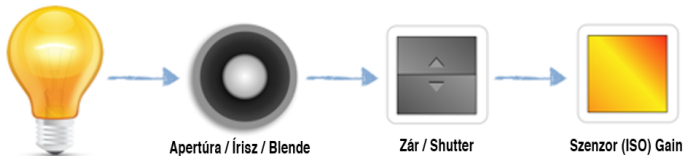
Tipikus szenzor méretek





Expozíció (megvilágítottság)

- A szenorra beérkező fény mennyiségét alapvetően az írisz (blende) nyitottsága, illetve a záridő (integrálási idő) hossza határozzák meg
- Mivel a szenor optoelekromos átalakító, a leképezett digitális kép expozíciója a szenor feszültségkimenetének erősítésével is növelhető
- Az erősítés növelése természetesen a szenor tényleges érzékenységét nem növeli, hiszen a zajt is erősíti, így SNR romlással jár





Expozíció (megvilágítottság)

- Az expozíció értelmezésére hasznos a fotográfiában alkalmazott EV skála:

$$EV = \log_2 \frac{F^2}{T}$$

ahol az F , F-stop, F-érték, vagy rekesznyílás érték definíciója:

$$F = \frac{f}{D}$$

ahol f az optika fókusz távolsága, D a rekesznyílás átmérője.

- Az EV kifejezésből látható, hogy -1 EV expozíció változás a leképezett kép kétszeres megvilágítottságát jelenti (pl. kétszeres záridőt, vagy $\sqrt{2}$ -ed értékű F-stop értéket a korábbi beállításhoz képest), +1 EV expozíció változás a leképezett kép fele akkora megvilágítottságát jelenti (pl. fele akkora záridőt, vagy $\sqrt{2}$ -szeres értékű F-stop értéket a korábbi beállításhoz képest).



Expozíció (megvilágítottság)

- Az EV skála érték ily módon fénymérésre használható, a nagyobb EV értékek nagy külső megvilágítottság esetén használható rekesznyílás/záridő kombinációkat, míg a kisebb értékek alacsony külső megvilágítottság esetén használható záridő/rekesznyílás kombinációkat jelölnek, azonos szenzorérzékenység mellett:
 - A külső jelenet megvilágítottságának kétszeres értékre növekedése esetén +1 EV értékű módosítás (záridő vagy rekeszérték változtatás, vagy ezek ekvivalens kombinációi) ad a képen a korábbival azonos megvilágítottság értéket.
 - A külső jelenet megvilágítottságának fele értékre növekedése esetén -1 EV értékű módosítás (záridő vagy rekeszérték változtatás, vagy ezek ekvivalens kombinációi) ad a képen a korábbival azonos megvilágítottság értéket.
 - Az előbbi módon definiált EV skála nem keverendő össze a fényképezőgépeken/kamerákon látható "EV compensation" skálával, melynél a beavatkozás előjele pont ellentétes értelmű: +1 EV kompenzáció kétszerezi a kép megvilágítottságát.



Expozíció (megvilágítottság)

- F (rekesznyílás/írisz) értékek
 - Az F érték (F-stop) szabványos, ún. "egész" értékei: 1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22 ... stb. Látható, hogy minden "egész" F-stop lépés az előző értékhez képest $\sqrt{2}$ -ed részére csökkenti az írisz átmérőjét, így a növekvő értékekhez egyre kisebb rekesznyílások tartoznak: a szenzor megvilágítottságát minden "egész" F-érték lépés a felére csökkenti (a megvilágítottság a rekesznyílás sugarának/átmérőjének négyzetével arányos)
- Záridő értékek
 - A T záridő szabványos értékei: ..., 1/30, 1/60, 1/120, 1/250, (a videótechnikában a képsebességhez igazított záridők használata elterjedtebb, pl: 1/25, 1/50, 1/100, illetve 1/24, 1/48 ... stb)
- Erősítés (gain) értékek
 - Általában 0 db, + 6dB, +12 dB, +24 dB, + 36 dB lépésekben

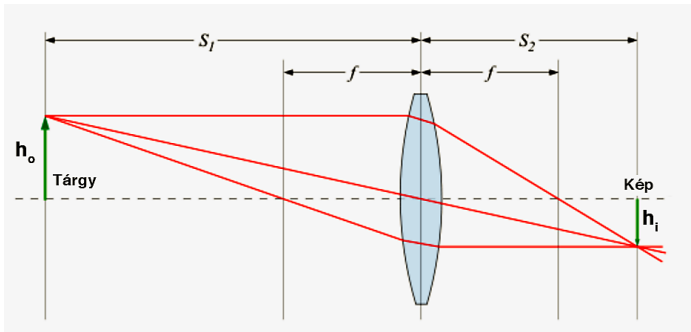


Expozíció (megvilágítottság)

Ekvivalens expozíciós értékek, abszolút és relatív EV skála

-2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m	64 m	128 m	256 m
-1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m	64 m	128 m
0	1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m	64 m
1	1/2	1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m
2	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m
3	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m
4	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m
5	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30	60	2 m
6	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30	60
7	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30
8	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15
9	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8
10	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4
11	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2
12	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1
13	1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2
14		1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4
15			1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8
16				1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15
17					1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30
18						1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60
19							1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125
20								1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250
21									1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500
EV	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8.0	11	16	22	32	45	64
	f-number												

Egyszerű gyűjtőlencse





Optikai alapok

- A gyűjtőlencse a végtelen távolságból párhuzamosan beérkező fénysugarakat a fókuszpontba gyűjti össze (fókuszálja). A lencse főtengelyének és a fókuszpontnak a távolsága a fókusz-távolság (f)
- Élesre állított kép (fókuszált kép) esetén igaz, hogy

$$\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} = \frac{1}{f}$$

, ahol S_1 a tárgytávolság, S_2 a képtávolság. Az optika "nagyítása" (leképzési tényezője):

$$M = \frac{f}{S_1 - f} = \frac{S_2 - f}{f} = \frac{h_i}{h_o}$$

ahol h_o és h_i a valódi kép (tárgy), illetve a leképzett kép egy adott irányú kiterjedése. Megjegyzés: látható, hogy a kamerák esetén $M < 1$.



Az optika alapvető tulajdonságai

- Gyújtótávolság (mm): meghatározza a „nagyítás” mértékét és a látószöget
- Maximális apertúra (rekesznyílás): meghatározza az optika fényerejét, (maximálisan mennyi fényt enged át a lencse), és a legkisebb mélységélességet
- Mivel az érzékelőn kialakult kép látószöge (szögátfogása) az érzékelő méretétől is függ, a gyújtótávolságot általában a normál filmes (35mm-es film) optikákkal ekvivalens gyújtótávolságban adják meg. Ekkor az azonos ekvivalens fókusztávolságú objektívek az érzékelő méretétől függetlenül azonos tárgy távolság esetén közel azonos látószögű képet képeznek le a szenzorra.
 - rövid (< 50 mm) – széleslátószög
 - normál (50 mm) normál emberi látószög (fő látószög)
 - hosszú (> 50 mm) - teleobjektív



Fókusz távolság / látószög példák I.

Állandó tárgy távolság



Super telephoto: 600 mm



400 mm



300 mm



telephoto 100



Telephoto: 70 mm



Standard: 50 mm



Wide: 28 mm



20 mm



Ultra-wide: 14 mm



10 mm



Fókusz távolság / látószög példák I.

Állandó képméret

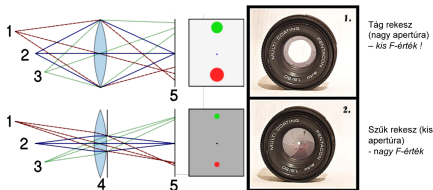
A virtuális kép méretét azonosan tartva (pl. a fókusz távolságot növelve, és a tárgytól távolodva) változik a perspektíva. A fókusz távolság csökkentésével a környezet jelentős része a képereten belül van, a párhuzamos vonalak összetartanak. A fókusz távolság növelésével a háttér szerepe és aránya csökken.



Rekesznyílás méretének hatása

F-érték vs. a kép mélységélessége I.

Mélységélesség alatt azt a fókuszált tárgy távolságtól való eltérést nevezzük, amelyen belül a képsíkra vetített tárgyak még élesnek tekinthetők.

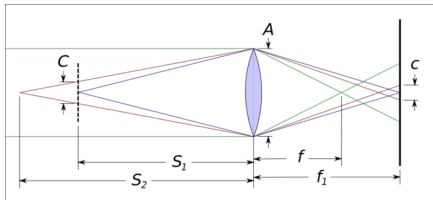


A 2. pontra élesre állított lencse a 2.ponttól eltérő távolságú (1. és 3.) pontok képét már nem egy pontszerű képbe képezi le. Szűkebb rekesznyílás esetén az 1. és 3. pontok képe is kisebb (pontszerűbb), így élesebbnek tekinthető. (5. a képsík).

Szűkebb rekesznyílás esetén tehát a mélységélesség nő. Nagyobb rekesznyílás esetén a mélységélesség csökken.



Rekesznyílás méretének hatása



Az itt látható jelölésekkel, az előzőek alapján

$$\frac{1}{S_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{f}$$

Circle of Confusion (elmosódás: c) – Egy tárgy pont elmosódott képének nagysága a képsíkon. A CoC határ az a legnagyobb c átmérő, amely mellett a kép még élesnek tekinthető.

A mélységélesség tartomány (DOF) a fókusz távolság, a tárgy távolság, a rekesznyílás, a CoC határ, és a képméret függvénye.



Rekesznyílás méretének hatása

Példa:

Egy 20 mm-es nagylátószögű objektívvel 5.6-s F-érték esetén a fókuszált tárgytávolságot 2 méterre állítva kb. 1.2 métertől gyakorlatilag a végtelenig minden éles lesz.

Egy 200 mm-es teleobjektívvel ugyanezen F-érték esetén a 2 méter távolságra lévő riportalany arcán az élességet a szemre állítva a fül, illetve a távolabbi hajszálok nem lesznek teljesen élesek.

DOF példa

Állandó EV érték mellett



aperture....f 1.8
shutter.....1/500

aperture....f 4
shutter.....1/125

aperture....f 8
shutter.....1/40

DOF példa

Mélységélesség azonos fókusztávolság, rekesz (apertúra), de különböző tárgytávolságok esetén: a tárgytávolság csökkenésével a mélységélesség csökken

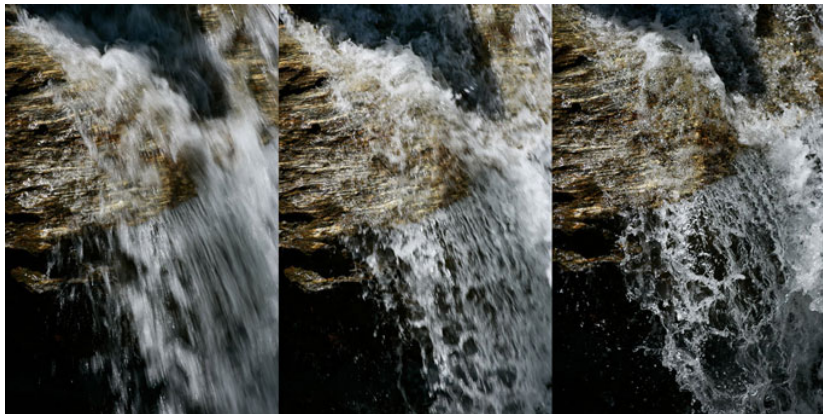


aperture....f 8
shutter.....1/160
distance...~5ft

aperture....f 8
shutter.....1/160
distance...~3ft

aperture....f 8
shutter.....1/160
distance...~1.5ft

A záridő hatása a mozgás elmosódására: 1/40s - 1/125s - 1/2500s

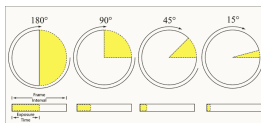


Rotary shutter

A filmes alapú kamerákban (filmfelvevő) ún. forgó zár (rotary shutter) található, melynek nyílásszöge határozza meg a záridőt.

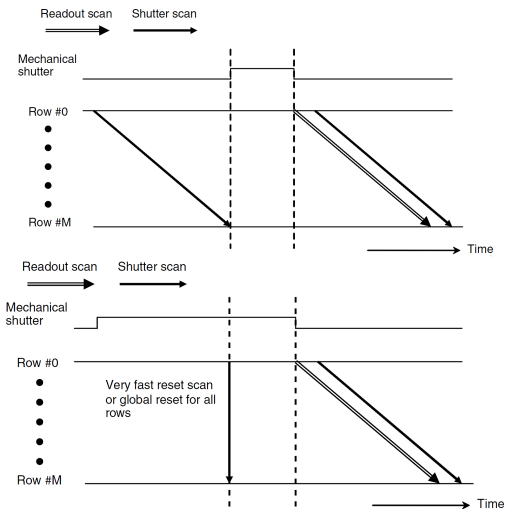
$$T = \frac{1}{f_{fps}} \frac{\alpha}{360} \quad (1)$$

ahol α a fokban kifejezett záridőt jelenti. Tipikus filmes érték pl. a 180 fokos záridő, amely a mozi 24 Hz-es képsebessége esetén 1/48s záridőt jelent.





CMOS kiolvasás ütemezési lehetőségei mechanikus zár esetén



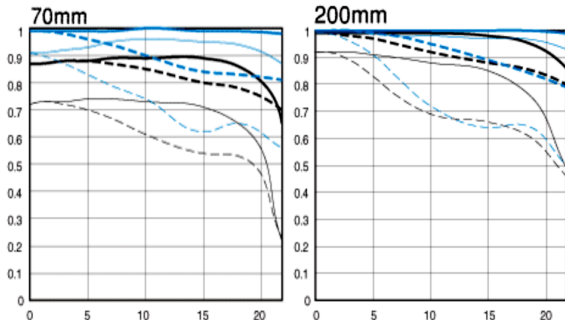


Optikai elemek minősítése

- MTF: Modulation transfer function: megadja, hogy egyenletesen sűrűsödő fekete-fehér vonalakat ábrázoló tesztábra a lencse által leképezve milyen mértékű kontraszt csökkenést szenved, a vonalsűrűség függvényében. Az MTF tehát gyakorlatilag az optikai átviteli út térbeli frekvenciaátviteli karakterisztikája
 - Az $MTF=1$ érték azt jelenti, hogy nincs kontrasztcsökkenés (éles kép)
 - Az $MTF=0$ érték azt jelenti, hogy a vonalak megkülönböztethetetlenek (szürke kép)
- A gyakorlati minőségi határ az $MTF=0.5$, ezzel specifikálják az optika (vagy adott esetben az optikai érzékelő, vagy teljes elektro-optikai jelút) felbontóképességét. Lencsék esetében a képtartomány különböző részein, illetve különböző irányokban is változik az MTF, jellemzően a képszélek felé romlik.

MTF példa

Canon EF 70-200mm f/2.8 L IS II USM Lens



Távolság a kép közepétől (mm)

- Vastag vonal: 10 vonal/mm tesztábra (kontraszt átvitel)
- Vékony vonal: 30 vonal/mm tesztábra (felbontás átvitel)
- Szaggatott vonal: képátolól párhuzamos vonalak
- Sima vonal: képátolóra merőleges párhuzamos vonalak
- Fekete vonal: max. apertúra
- Kék vonal: f8 rekesznyílás



Egyéb optikai elemek

- Színkorrekciós szűrők (az "ideálistól" eltérő színhőmérsékletű megvilágítás hatását korigálja. Pl. Ha a kamera 3200K színhőmérsékletű fehér fényel megvilágított szabványos 90%-os visszaverőképességű szürke felület (white-card) esetén ad "fehér" képet ($R=G=B$ =azonos), akkor az 5600K színhőmérsékletű megvilágítás spektrális eloszlását megfelelő optikai színszűrővel módosítani kell). Tipikus megvilágítási körülményekre adaptált színszűrők: B 3200K (stúdió, naplemente, napfelkelte), C 4300K (szabad tér, tiszta ég, hó, víz), D 6300K (felhős ég)
- ND-szűrők (Neutral Density, vagy szürke szűrő): színhőmérséklettől függetlenül a beérkező fény intenzitását csökkenti. Tipikus értékei: 1/4, 1/16, 1/64. Használata: pl. túl erős fényben, ha nagy rekesznyílásra van szükség (kis mélységélességhez, pl. portré/riport)
- UV-, polarizáló, és egyéb effekt szűrők (nem részletezzük)



Érzékelő zaj forrásai, jellemzői

- Időben fix mintázatú zajforrások:
 - Érzékelő sötét árama (megvilágítás nélkül esetben is kialakuló töltések, és rekombinációs áramok) - az integrálási idővel arányosan növekszik
 - CMOS esetén az aktív pixelek erősítő és kapcsoló tranzisztorainak offszetjei, illetve az erősítés szórása
- Időben változó zajforrások:
 - Termikus zaj - alapvetően a hőmérséklettől függ
 - Foton-töltés "konverzió" fluktuációi (photon shot noise) - a megvilágítási szinttel arányos



Photon shot noise

- Az időegység alatt a szenzor egy pixelére beérkező fotonok száma állandó megvilágítás mellett sem állandó, hanem a Poisson eloszlást követi
- A Poisson eloszlás annak a valószínűségét (p) adja meg, hogy ha átlagosan λ esemény (pl. becsapódó fotonok száma) következik be időegység alatt, akkor mi a valószínűsége k esemény bekövetkezésének, vagyis

$$p(k, \lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!},$$

ahol a Poisson eloszlás várható értéke, és szórása: $\mu = \lambda$,
 $\sigma^2 = \lambda$, $\sigma = \sqrt{\lambda}$



Photon shot noise

- A photon shot noise-t tehát a poisson eloszlásból adódó fluktuáció okozza, így arányos a megvilágítási szinttel
- A photon shot noise-ből adódó jel-zaj viszony: $SNR = \frac{\mu}{\sigma} = \sqrt{\lambda}$
- Látható, hogy a photon shot noise-ből adódó jelzajviszony növekszik a megvilágítási szinttel



Sötét áram / Dark current

- Termikus hatásra, megvilágítás nélkül is kialakuló töltés generáció és rekombináció okozza
- A sötét áram függ a hőmérséklettől, és sötét áram okozta zaj az expozíciós idővel lineárisan növekszik
- Időben fix mintázat jellemzi, ezért
- az ún. dark frame subtraction-el csökkenthető a sötét áram okozta képzaj (mintavételezzük a megvilágítás nélküli zajképet, és kivonjuk a tényleges képből)



Fixed pattern noise (FPN)

- A sötét áram okozta zaj mellett az APS elemek gyártási szórása, erősítő offszetek, stb. is fix mintázatú zaj-ábrát eredményez
- Elsősorban a CMOS szenzorokra jellemző
- Időben változatlan, mintavétellel eltávolítható



Read noise

- A kimeneti áramkörökben (pl. CCD kimeneti erősítő, illetve CMOS APS-ek erősítői) fellépő termikus zaj
- A CMOS szenzoroknál jelentősebb, mint a CCD-nél
- A read noise a kimeneti áramkörök additív zaja, tehát nem tartalmazza a szenzor egyéb zajforrásait



Szenzor jel-zaj viszony

Közelítés, a legfontosabb zajforrások feltüntetésével

- $SNR = \frac{\mu}{\sigma} = \frac{PQ_e t}{\sqrt{PQ_e t + D_t + N_r^2}}$, ahol
- P : egy pixelre időegység alatt becsapódó fotonok várható értéke (foton sűrűség)
- Q_e : Kvantum hatékonyság $Q_e = \frac{n_{e^-}}{n_{photon}}$
- t : Expozíciós idő
- D_t : Sötét áram (elektronok száma/pixel/másodperc)
- N_r : Read noise (elektronok száma/pixel/másodperc (RMS-ben))
- A zajtényezők függetlenek, tehát teljesítményük négyzetesen összegezhető

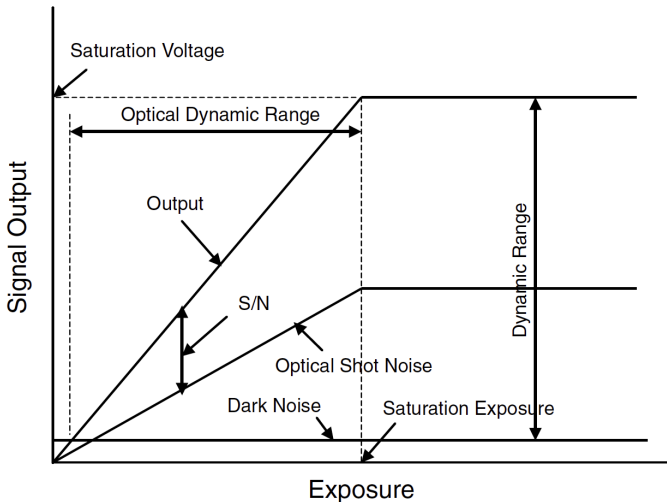


Közelítés, a legfontosabb zajforrások feltüntetésével

- $DR = \frac{\text{Max. output}}{\text{noise in dark}} = \frac{\text{Sat. level} - D_t}{\sqrt{D_t + N_r^2}}$
- *Sat.level*: szenzor szaturációs szint
- D_t : Sötét áram (elektronok száma/pixel/másodperc)
- N_r : Read noise (elektronok száma/pixel/másodperc (RMS-ben))



Érzékelő zaj forrásai, jellemzői





Specifikációk - érzékenység

Általánosságban az érzékenység az a legkisebb megvilágítási szint, mely mellett a kamera valamilyen műszaki feltételnek megfelelő kimeneti jelet szolgáltat. Megadási módjai:

- Legkisebb megvilágítási szint (luxban), mely mellett a világosságjel eléri az 50 vagy 100% -os szintet, miközben a
 - a blende maximálisan nyitott
 - az erősítés (gain) maximális



Specifikációk - érzékenység

- Az elérhető max. SNR biztosításához szükséges megvilágítás értéke luxban kifejezve (általában 2000 lux), miközben
 - az objektív előre specifikált állapotban van (rekesznyílás adott)
 - a megvilágítás színhőmérséklete definiált (általában 3200K)
 - az átlagos visszaverődési tényező definiált (általában 90%)
 - a gain (erősítés) állás definiált (általában 0 dB)
- Az elérhető max. SNR biztosításához szükséges rekesznyílás értéke (általában $F=10$), miközben
 - a megvilágítás (luxban) definiált értékű
 - a megvilágítás színhőmérséklete definiált (általában 3200K)
 - az átlagos visszaverődési tényező definiált (általában 90%)



Specifikációk - felbontás

- A kép függőleges méretének megfelelő vízszintes távolságon megjeleníthető pixelek száma
- Ez névleges érték, a szenzor pixelben meghatározott felbontását adja meg, de nem tájékoztat arról, hogy ezen vízszintes távolságon megjelenített képtartalom térbeli frekvencia tartalma milyen (gyakorlatilag mennyire éles, illetve aliasing mentes a kép)

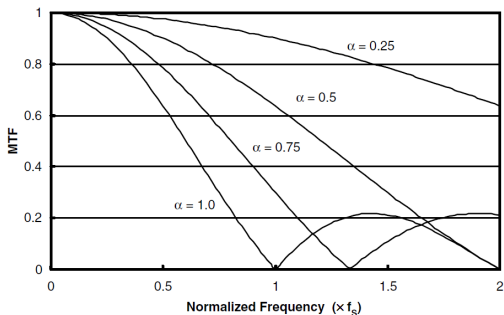


Leggyakoribb megadási módjai

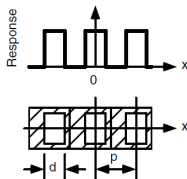
- Mivel a pixelek véges szélességűek (nem térbeli dirac mintavételezést valósítanak meg), és a pixelek szélessége összemérhető a mintavételi távolsággal, mind függőleges, mind vízszintes irányban egy $\sin(x)/x$ jellegű nagyfrekvenciás csillapítás jellemzi a szenzorok térbeli frekvencia átviteli képességét (MTF)
- A modulációs mélységgel általában az adott formátumnak megfelelő világosságjel sávszélesség felső határán (pl. SD: 5 MHz) mért MTF értéket szokták megadni.
- Mivel a $\sin(x)/x$ jellegű MTF karakterisztika aliasing jelenségeket okoz, ezért a szenzor felületén megfelelő optikai aluláteresztő szűrő réteget is meg kell valósítani



Szenzor MTF



$$\alpha = \frac{\tau}{\rho}$$



Specifikációk - példa

Sony HDC 2500 HD Broadcast camera

General	
• Power requirement	240 V AC, 1.4 A (max.), 180 V DC, 1.0 A (max.), 12 V DC, 7 A (max.)
• Operating temperature	-20°C to +45°C (-4°F to +113°F)
• Storage temperature	-20°C to +60°C (-4°F to +140°F)
• Mass	4.5 kg (9 lb 15 oz)
Camera	
• Pickup device	3-chip 2/3-inch type Progressive CCD
• Effective picture elements (H x V)	1920 x 1080
• Signal format	1080/50i, 59.94i, 23.98p, 24p, 25p, 29.97p 1080/50p, 59.94p, 720/50p, 59.94p, 1080/100i, 119.88i, 720/100p, 119.88p
• Spectrum system	F1.4 prism system
• Lens mount	Sony bayonet mount
• Built-in filters CC	A: CROSS, B: 3200K, C: 4300K, D: 6300K, E: 8000K
• Sensitivity (at 2000 lx, 3200K, 89.9% reflectance)	F11 (1080/50i), F10 (1080/59.94i)
• Built-in filters ND	1: CLEAR, 2: 1/4ND, 3: 1/8ND, 4: 1/16ND, 5: 1/64ND
• Signal-to-noise ratio (1080i, typical)	-60 dB/-64 dB (w/NS max.)
• Horizontal resolution (1080i)	1000 TV lines (at center)
• Shutter speed selection	1/60, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000 sec (50i) 1/100, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000 sec (59.94i) 1/32, 1/48, 1/96, 1/100, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000 sec (23.98p/24p) 1/33, 1/50, 1/100, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000 sec (25p) 1/40, 1/60, 1/100, 1/120, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000 sec (29.97p) 1/60, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000 sec (50p) 1/100, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000 sec (59.94p)
• Modulation depth (1080i, typical)	Y: 50% at 27.5 MHz (800 TV lines with typical lens), Pb/Pr: 80% at 12 MHz



Kamera A/D konverzió bitszám igénye

- A kvantálási jel-zaj viszony n bites kvantálás esetén videojelre a következő: $\frac{S}{N} = \frac{(q \cdot 2^n)^2}{q^2/12} = 12 \times 2^{2n}$, ahol q a kvantálási lépcsőméret.
- Átrendezve azt kapjuk, hogy:
$$\frac{S}{N} = 10 \log_{10}(12 \times 2^{2n}) = (6.02n + 10.8)[dB]$$
- Megjegyzés: ez az eredmény nem egyezik meg az audio kvantálás megszokott $SNR[dB] = 6.02n + 1.71[dB]$ eredményével, mert nem egy harmonikus (hasznos) jel RMS értékét, hanem pixelenkénti DC szintek kvantálását veszi figyelembe



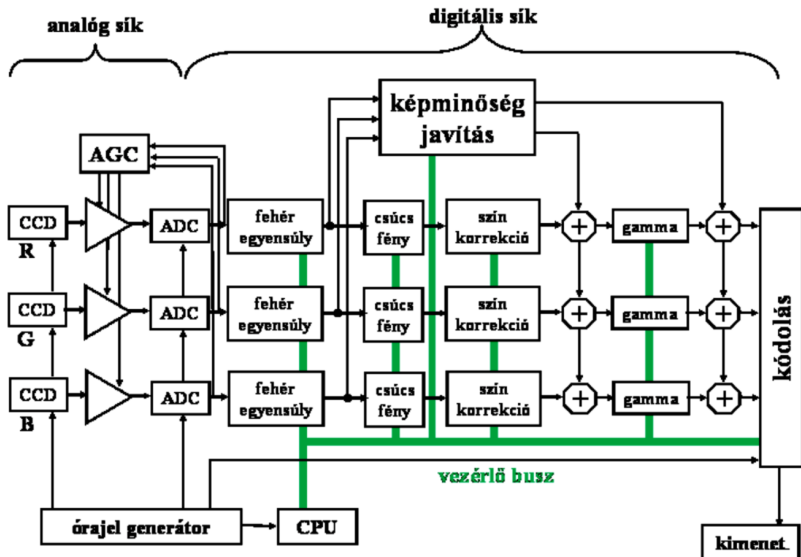
Kamera A/D konverzió bitszám igénye

- Ha 60 dB SNR-t szeretnénk elérni úgy, hogy a 100%-os fehérszint felett 6x-szoros tartalékkal rendelkezzen a kameránk (lásd később a csúcsfény kezelésnél), és az SNR-t a kvantálási jelzajviszonynál 6 dB-el jobbra szeretnénk beállítani (hogy a kvantálás hatása ne legyen számottevő), akkor

$$n \geq \frac{(60 + 6 + 20 \log_{10}(6) - 10.8) [dB]}{6.02 [dB]} = 11.7$$

- Minimum 12 bitre van szükség (a gyakorlatban ez inkább 14)

Egyéb kamera funkciók



A fehéregyensúly beállítás igénye a HVS működése alapján

- Általában nem az adott jelenetről a kamerába érkező fény spektrális eloszlásának pontos reprodukcióját tartjuk élethűnek, hanem a jelenetnek azt a "képét", amit akkor látnánk, ha a téma "valamely" fehér fénnel lenne megvilágítva
- A helyes színvisszaadás tehát általában nem valóság-hű színreprodukciót jelent a kamerával történő felvétel esetén - e kettő csak akkor egyezik, ha a megvilágítás fehér fénnel történt

A fehéregyensúly beállítás igénye a HVS működése alapján

- Azért igényeljük a fehér fényel megvilágított téma reprodukcióját a TV képernyőjén, mert a valóságban a nem fehér fényel megvilágított jelenet spektrális eloszlásához a szemünk adaptálódik, és a nem fehér megvilágítás hatását kompenzálja (gyakorlatilag viszonylag szélsőséges spektrális eloszlású megvilágítás esetén is képesek vagyunk felismerni a színeket, és a fehér felületeket fehérnek látjuk!)
- A szemünk környezeti megvilágítás spektrális eloszlásához történő adaptációját a kamerában meg kell valósítanunk, hogy tetszőleges (ideális esetben referencia fehér) háttérmegvilágítás, és referencia fehér színt ($R=G=B$ esetén) előállító kijelzőnkön az adaptált állapotnak megfelelő képet lássuk
- Általánosságban ezen folyamatok a kromatikus adaptáció (a HVS-ben), és ennek "numerikus" megvalósítása a fehérpont-konverzió (vagy kromatikus adaptációs transzformáció)



Von Kries modell

- 1-es számú adaptált állapotból transzformáció a 2-es számú adaptált állapotba

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \mathbf{T} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$$

- A \mathbf{T} transzformációs mátrix Von Kries-féle definíciója:

$$\mathbf{T} = \mathbf{M}^{-1} \mathbf{DM}$$

ahol \mathbf{M} egy 3x3-as nem-szinguláris mátrix mely a CIE XYZ koordináta rendszerből az L,M,S csapok "ingerület-terébe" transzformál

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \mathbf{M} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

ahol L,M,S a megfelelő csapokban kiváltott ingerület nagysága



Egy gyakorlatban használt **M** mátrix például

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.38971 & 0.68898 & -0.07868 \\ -0.22981 & 1.18340 & 0.04641 \\ 0.00000 & 0.00000 & 1.00000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$



Kromatikus adaptáció

- A $\mathbf{A} \mathbf{T} = \mathbf{M}^{-1} \mathbf{D} \mathbf{M}$ kifejezésben szereplő \mathbf{D} diagonális mátrix a 2-es adaptált állapot és az 1-es adaptált állapot közötti L,M,S csap ingerület-transzformációt írja le:

$$\begin{bmatrix} L_2 \\ M_2 \\ S_2 \end{bmatrix} = \mathbf{D} \begin{bmatrix} L_1 \\ M_1 \\ S_1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} L_2^w/L_1^w & 0 & 0 \\ 0 & M_2^w/M_1^w & 0 \\ 0 & 0 & S_2^w/S_1^w \end{bmatrix}$$

ahol $L_1^w \dots S_2^w$ az indexeknek megfelelően az 1-es, illetve 2-es adaptált állapotra jellemző környezeti fehér fényre adott L,M,S csap ingerületek.

- A modell azt fejezi ki, hogy a szemben a kromatikus adaptációt az L,M,S csapok érzékenységének változása okozza, oly módon, hogy pl. egy hullámhossztól függetlenül 1-es visszaverődési tényezőjű felületet a szem a (szintén homogénnek tekintett) környezeti megvilágítás spektrális eloszlásától függetlenül fehér felületnek lát.



Kromatikus adaptáció

- Alkalmazás példa (CIE A (kb. wolframszálas izzó fénye) eloszlású környezeti megvilágításra adaptált állapotból CIE C (átlagos nappali) eloszlású környezeti megvilágításra adaptált állapotba történő transzformáció:

$$\begin{bmatrix} L_A \\ M_A \\ S_A \end{bmatrix} = \mathbf{M}_1 \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 111.83 \\ 93.30 \\ 32.60 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} L_C \\ M_C \\ S_C \end{bmatrix} = \mathbf{M}_1 \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100.83 \\ 99.75 \\ 108.60 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} L_C/L_A & 0 & 0 \\ 0 & M_C/M_A & 0 \\ 0 & 0 & S_C/S_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.898 & 0 & 0 \\ 0 & 1.069 & 0 \\ 0 & 0 & 3.327 \end{bmatrix}$$

- Ezután a $\mathbf{T} = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{D}\mathbf{M}$ transzformációs mátrixszal egy adott objektumról CIE A megvilágítás mellett visszaverődött fény X,Y,Z színkoordinátái transzformálhatók annak CIE C megvilágítás mellett észlelt megfelelőjébe.

- Diagonális mátrixszal történő transzformáció, ahol X_2^w , X_1^w , Y_2^w , Y_1^w az 1-es, illetve 2-es megvilágítási körülmény fehérpontjának XYZ koordinátái.

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_2^w / X_1^w & 0 & 0 \\ 0 & Y_2^w / Y_1^w & 0 \\ 0 & 0 & Z_2^w / Z_1^w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$$

- Valamely RGB térben diagonális mátrixszal történő transzformáció, ahol R_2^w , R_1^w , G_2^w , G_1^w az 1-es, illetve 2-es megvilágítási körülmény fehérpontjának -ugyanazon RGB színtérben vett - RGB koordinátái.

$$\begin{bmatrix} R_2 \\ G_2 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_2^w / R_1^w & 0 & 0 \\ 0 & G_2^w / G_1^w & 0 \\ 0 & 0 & B_2^w / B_1^w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 \\ G_1 \\ B_1 \end{bmatrix}$$



Egyszerűsítések

- Speciális eset: pl. ITU-709 (sRGB), ahol a fehérpont a D65 ($R=G=B=1$), és $R_1^w \dots B_1^w$ a felvételi megvilágítás ITU-709-es RGB színtérben kifejezett színkoordinátái. Ekkor a D65 megvilágítási körülményre transzformált (tehát fehéregyensúly korigált) RGB koordináták:

$$\begin{bmatrix} R_{WB} \\ G_{WB} \\ B_{WB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/R_1^w & 0 & 0 \\ 0 & 1/G_1^w & 0 \\ 0 & 0 & 1/B_1^w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 \\ G_1 \\ B_1 \end{bmatrix}$$

Ez utóbbi kvázi-automatikusan is könnyen elvégezhető, ha van pl. egy 90%-os visszaverő felületünk (white-card), amelyet homogén módon megvilágít az ismeretlen színhőmérsékletű fényforrás: ekkor a kamera "mért" RGB értékeivel normalizálunk.



Megvalósítási lehetőségek

- Legyen az ismeretlen megvilágítás RGB koordinátája: R_1^w, G_1^w, B_1^w ,
- kameránk RGB kimenetét majd az ismeretlen megvilágítás RGB koordinátáinak maximumával normalizáljuk (miután az ismeretlen megvilágítás RGB koordinátáit meghatároztuk):

$$\text{MAX}_{\text{RGB}} = \text{MAX}(R_1^w, G_1^w, B_1^w)$$

$$\begin{bmatrix} R_{WB} \\ G_{WB} \\ B_{WB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{MAX}_{\text{RGB}}/R_1^w & 0 & 0 \\ 0 & \text{MAX}_{\text{RGB}}/G_1^w & 0 \\ 0 & 0 & \text{MAX}_{\text{RGB}}/B_1^w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 \\ G_1 \\ B_1 \end{bmatrix}$$



Automatikus fehéregyensúly állítás

- Az ismeretlen R_1^w, G_1^w, B_1^w meghatározásának lehetőségei:
 - "Gray-world" feltételezés: a jelenet átlagos reflektanciája (visszaverési tényező) a hullámhossz függvényében konstans, tehát az átlagos "világ" szürke, a kamerába érkező fény konstanstól eltérő spektrális eloszlását a megvilágítás okozza. Ez alapján:

$$R_1^w = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N R_1(i, j)$$

$$G_1^w = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N G_1(i, j)$$

$$B_1^w = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B_1(i, j)$$

ahol M és N a kép méretei pixelben, $R_1(i, j) \dots B_1(i, j)$ a szenzor adott pixelének R,G,B értékei.



Automatikus fehérregyensúly állítás

- Az ismeretlen R_1^w, G_1^w, B_1^w meghatározásának lehetőségei:
 - Max-RGB feltételezés: azon alapul, hogy a HVS úgy állítja az L,M,S csapok érzékenységének adaptációját, hogy a látott jeleneten belül detektálja a legmagasabb reflektanciájú területeket, külön-külön az L,M,S csatornákra. Az algoritmus ennek megfelelően megkeresi a képen belül a maximális R,G,B értékeket (ezek nem feltétlenül esnek egy helyre!), és ezekre értékekkel normalizál.

$$R_1^w = \max_{i,j} R_1(i,j) \quad G_1^w = \max_{i,j} G_1(i,j) \quad B_1^w = \max_{i,j} B_1(i,j)$$



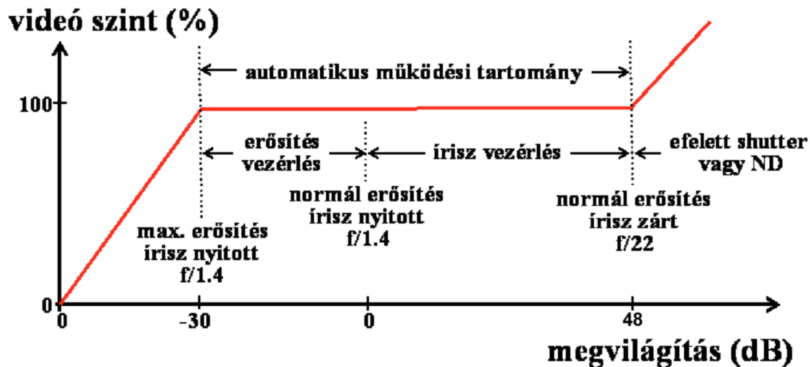
Megvalósítási lehetőségek

- Általában nem kívánatos, hogy ismeretlen színhőmérsékletű forrás esetében az AWB (Auto White Balance) folyamatosan működjön, mert a fent leírt algoritmusok miatt, és különböző szögekből beeső esetlegesen különböző megvilágítások miatt folyamatosan változna a kép színegyensúlya, színezettsége.
- Az AWB állítás általában minden kamerán rendelkezik pillanatkapcsolóval, amellyel tetszőleges időpontban végrehajtható az automatikus fehér egyensúly beállítás, de nem reagál folyamatosan a képtartalom változásaira



Automatikus expozíció vezérlés

Megvalósítási lehetőség





Automatikus expozíció vezérlés

Megvalósítási lehetőség

- Ha a megvilágítás szintje olyan kicsi, hogy max. erősítés és max. nyitott írisznél a jelszint a képen belül sehol sem éri el a 100%-ot, akkor nincs beavatkozás
- Efölött csökkenteni kell az erősítést, mert a jelszint különben meghaladná a 100%-ot
- Ha elértük a 0 dB erősítést, és a külső megvilágítási szint növekszik, az írisz nyitottságát (rekesznyílás) csökkentjük
- Ha az írisz már nem zárható jobban (pl. $F=22$, az adott optikától függő érték), akkor a záridő csökkentésével csökkenthető a jelszint és az expozíció (ha a kép megvilágítottságának további csökkentésére van szükség, vagy nagyobb rekesznyílás értékre van szükség, akkor ND szűrőt kell alkalmazni)



Knee

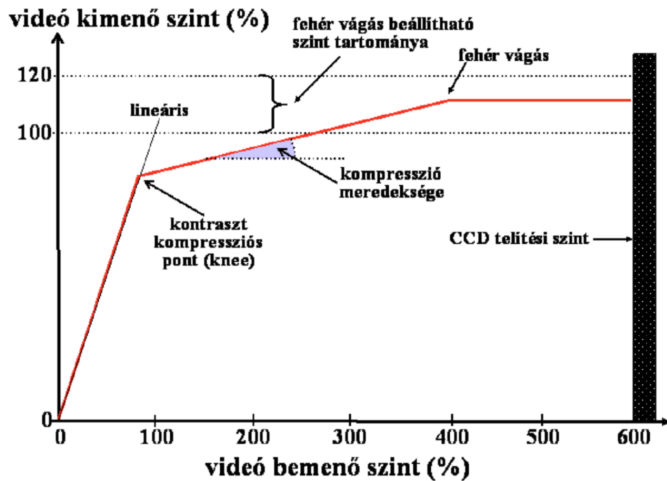
- A csúcsfehér/csúcsfény alatt azokat az általában váratlanul fellépő megvilágítási szinteket értjük, melyek egy adott jelentre beállított optimális expozíció esetén pl. a 100%-os világosságjelszinthez tartozó megvilágításnál nagyobb megvilágítási szinteket képviselnek
- Tipikus csúcsfények: váratlanul egy nem a képbe "komponált" fényforrás kerül a kamera látószögébe / váratlan tükröződések, becsillanások / kinti felvételeknél előbújik a nap a felhők mögül, stb.
- Ezen megvilágítási szintek kezelésére minden kamera tartalmaz tartalék dinamika tartományt (egészen a szenzor töltéstelítődési szintjéig)



Knee

- A csúcsfények kezelése:
 - Egy bizonyos könyökponti bemenő jelszintig (knee) lineáris az átvitel
 - A könyökpont felett kompresszió (egynél kisebb meredekségű transzferkarakterisztika), egészen a fehér vágás (white clip) szintig
 - Ezzel a váratlan, csúcs megvilágítási szintek a normál világosságjel tartományába kompresszálhatók
 - A könyökpont szintjétől, és a kompresszió meredekségétől függően a csúcsmegvilágítások tónusrészletezettsége változik

Knee





Canon C300 din. tartomány

