

Digitális képfeldolgozás

# Digitalizálás 2.: Fényképezőgépek, kamerák

Horváth András, SZE GIVK

v 1.0



- 1 Bevezetés
  - A fényképezőgépek szerkezete

- 2 Részletek
  - Objektív
  - Érzékelők

- 3 Érdekességek
  - Az emberi szem

# A szerkezet áttekintése

Két fő rész:

- **Objektív:** képet alkot egy érzékeny felületre.
- **Szenzor:** megméri a képet.

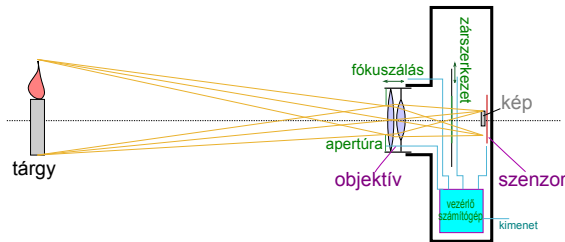
A digitális fényképezőgépekben az optika 1–10 lencséből áll, a szenzor pedig egy elektronikus eszköz, mely a fényintenzitást elektromos jellé alakítja.

# A szerkezet áttekintése

Két fő rész:

- **Objektív:** képet alkot egy érzékeny felületre.
- **Szenzor:** megméri a képet.

A digitális fényképezőgépekben az optika 1–10 lencséből áll, a szenzor pedig egy elektronikus eszköz, mely a fényintenzitást elektromos jellé alakítja.



**apertúra:** egy változtatható méretű lyuk

**fókuszálás:** az objektív áthelyezése a kép élesítése céljából

**zárszerkezet:** az expozíciós időt szabályzó mechanizmus

**vezérlő számítógép:** vezérli a teljes eszközt, tárolja a szenzor értékeit

(Megjegyzés: ezek csak a legfontosabb részek!)

# Az objektív paraméterei

Az objektív fő jellemzői:

- **Fókusz távolság** ( $f$ ): az objektív fókusz távolsága.  
Az objektív lencsési helyet változtathatnak  $\Rightarrow$   $f$  változik.
- **Aperture size** ( $D$ ): a lyuk átmérője.  
Mérhető abszolút skálán (mm, cm, m) vagy a fókusz távolsághoz viszonyított nagysága ("f/16" apertúra azt jelenti, hogy  $D = f/16$ .)

Nagy  $f$ : nagyobb kép, de kisebb fényesség a szenzoron.

Nagy  $D$ : azonos méretű kép, de fényesebb, nagyobb felbontású kép a szenzoron, de a lencsehibák hatása erősebb.

f/2.8



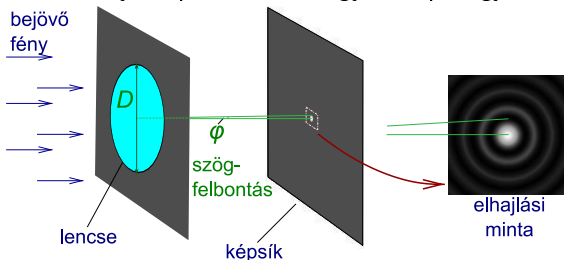
f/16



# Az objektív szögfelbontása

A fény egy hullám  $\Rightarrow$  az apertúra szélén fényelhajlás lép fel.

Eredmény: a pontszerű tárgyak képe egy korong lesz kis gyűrűkkel.



$$\varphi = 1,22 \frac{\lambda}{D},$$

$\lambda$ : hullámhossz

$\varphi$  radiánban értendő

**Következmény:** Ha két fényforrás közelebb van egymáshoz, mint  $\varphi$  (az objektívtól nézve), akkor képük összemosódik.

A képen azonosítható legkisebb részlet szögmérete  $\varphi$ .

Megjegyzés: Ez csak az elvi határ. A valódi lencsék hibái csak rontanak ezen.

# Valódi objektívek

Az egyszerű lencséknek sokféle problémájuk lehet:

- **Pontatlanság** olcsóbb lencsék nem pontosan követik az ideális alakot, ezért többféle torzítást okoznak
- **Geometriai:** A valóságban egyenes vonalak képe görbe lehet a képen.
- **Diszperzió**  $f$  függ a hullámhossztól, ezért éles határoknál szivárványszínű vonalak jelennek meg
- **Kóma:** a kép közepe éles, de a széle felé nem

# Valódi objektívek

Az egyszerű lencséknek sokféle problémájuk lehet:

- **Pontatlanság** olcsóbb lencsék nem pontosan követik az ideális alakot, ezért többféle torzítást okoznak
- **Geometriai:** A valóságban egyenes vonalak képe görbe lehet a képen.
- **Diszperzió**  $f$  függ a hullámhossztól, ezért éles határoknál szivárványszínű vonalak jelennek meg
- **Kóma:** a kép közepe éles, de a széle felé nem

Egy jó objektív 2–10 db precíziós lencséből áll. ( $\Rightarrow$  Magas ár!)

Olcsó fényképezőgépek (webkamerák, olcsóbb mobil telefonok): rögzített, egyszerű lencsék.  $\Rightarrow$  fókuszálási problémák, diszperzió, geometriai torzítások.

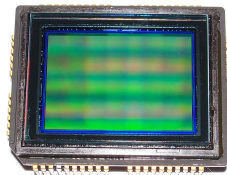


# Az érzékelő felbontása

A kép-érzékelők (szenzorok) rácsban elhelyezett fénymérőkből állnak.

Négyzetrácsos háló paraméterek:

- Fizikai méret:  $X, Y$
- Kép szélesség és magasság:  $S_x, S_y$   
( $S_x \cdot S_y / 10^6$ : a “megapixelek” száma)



(az érzékelő-háló túl sűrű, ezért nem látni itt)

# Az érzékelő felbontása

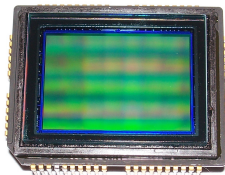
A kép-érzékelők (szenzorok) rácsban elhelyezett fénymérőkből állnak.

Négyzetrácsos háló paraméterek:

- Fizikai méret:  $X, Y$
- Kép szélesség és magasság:  $S_x, S_y$   
( $S_x \cdot S_y / 10^6$ : a “megapixelek” száma)

Könnyű kiszámolni:

- A pixelek távolsága:  $\Delta x = X/S_x, \Delta y = Y/S_y$   
( $\Delta x = \Delta y$  a legtöbb esetben)
- Az érzékelő szögfelbontása: (ha a tárgytávolság  $\gg f$ )  
 $\varphi_x = \tan^{-1}(\Delta x/f) \approx \Delta x/f$  (rad),  $\varphi_y \approx \Delta y/f$
- Közelítő látószög:  $F_x \approx \varphi_x \cdot S_x, F_y \approx \varphi_y \cdot S_y$



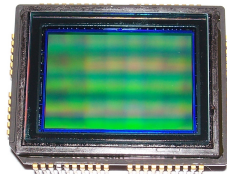
(az érzékelő-háló túl sűrű, ezért nem látni itt)

# Az érzékelő felbontása

A kép-érzékelők (szenzorok) rácsban elhelyezett fénymérőkből állnak.

Négyzetrácsos háló paraméterek:

- Fizikai méret:  $X, Y$
- Kép szélesség és magasság:  $S_x, S_y$   
( $S_x \cdot S_y / 10^6$ : a “megapixel” száma)



(az érzékelő-háló túl sűrű, ezért nem látni itt)

Könnyű kiszámolni:

- A pixelek távolsága:  $\Delta x = X/S_x, \Delta y = Y/S_y$   
( $\Delta x = \Delta y$  a legtöbb esetben)
- Az érzékelő szögfelbontása: (ha a tárgytávolság  $\gg f$ )  
 $\varphi_x = \tan^{-1}(\Delta x/f) \approx \Delta x/f$  (rad),  $\varphi_y \approx \Delta y/f$
- Közelítő látószög:  $F_x \approx \varphi_x \cdot S_x, F_y \approx \varphi_y \cdot S_y$

Megjegyzések:

- Nagyobb  $f$ : kisebb  $\varphi_x, \varphi_y$ , ami “nagyobb zoom”-ot jelent.
- A tényleges látómező a lencse torzításoktól is függ.

# Érzékelő paraméterek

Két domináns érzékelő-típus:

- **CCD:** Charge Coupled Device
- **CMOS:** Complementary Metal–Oxide–Semiconductor

Mindegyik félvezető alapú eszköz. A megmunkálási technikák függvényében előnyös és hátrányos tulajdonságaik változnak.

# Érzékelő paraméterek

Két domináns érzékelő-típus:

- **CCD**: Charge Coupled Device
- **CMOS**: Complementary Metal–Oxide–Semiconductor

Mindegyik félvezető alapú eszköz. A megmunkálási technikák függvényében előnyös és hátrányos tulajdonságaik változnak.

Tipikus szenzor-méret (X, Y): 5–30 mm.

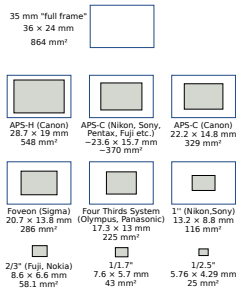
Tipikus kép szélesség és magasság ( $S_x$ ,  $S_y$ ):

500–10000.

Egyéb **fontos paraméterek**:

- zajszint
- kiolvasási sebesség
- fogyasztás
- színhűség

Nem egyszerű a legjobb érzékelőt megtalálni egy adott célhoz.



# Színes képalkotás

Egy szenzor-elem 1 “intenzitás”-adatot ad. Színes képet többféleképp készíthetünk:

**Szűrőcsere.**  $N_{ch}$  különböző szűrőüveg használata,  $N_{ch}$  kép készítése, majd kombinálása.

Probléma: a mozgó tárgyak speciális torzításokat okoznak.



# Színes képalkotás

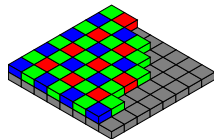
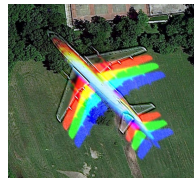
Egy szenzor-elem 1 “intenzitás”-adatot ad. Színes képet többféleképp készíthetünk:

**Szűrőcsere.**  $N_{ch}$  különböző szűrőüveg használata,  $N_{ch}$  kép készítése, majd kombinálása.

Probléma: a mozgó tárgyak speciális torzításokat okoznak.

**Bayer-szűrő.** Sakktábla-szerű színszűrő-réteg az érzékelőn.

Probléma: minden pixel csak 1 színcsatornát érzékel, a többit a szomszéd érzékelők adataiból kell megbecsülni.



# Színes képalkotás

Egy szenzor-elem 1 “intenzitás”-adatot ad. Színes képet többféleképp készíthetünk:

**Szűrőcsere.**  $N_{ch}$  különböző szűrőüveg használata,  $N_{ch}$  kép készítése, majd kombinálása.

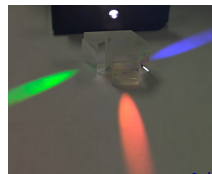
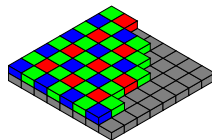
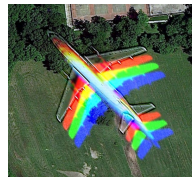
Probléma: a mozgó tárgyak speciális torzításokat okoznak.

**Bayer-szűrő.** Sakktábla-szerű színszűrő-réteg az érzékelőn.

Probléma: minden pixel csak 1 színcsatornát érzékel, a többit a szomszéd érzékelők adataiból kell megbecsülni.

**3CCD technika.** Speciális prizma használata, mely a képet szín alapján 3 részre osztja és mindegyik képet külön-külön szenzor érzékeli.

Probléma: drága, érzékeny a megmunkálási hibákra.





# Színes képalkotás: a Bayer-szűrő

Praktikus megfontolások: a Bayer-szűrő a legelterjedtebb megoldás.

Jelentős problémák: lásd a jobb oldali képeket:

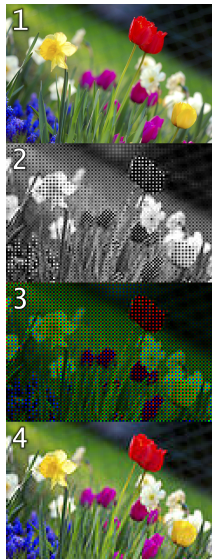
- 1 Eredeti kép.
- 2 A szenzoron mért értékek. Minden pixel csak egy színcsatornát mér.
- 3 A mért csatornának megfelelően színezett pixelek.
- 4 Rekonstruált kép. (Interpoláció a szomszédok közt.)

⇒ **A Bayer-szűrő jelentős zajt visz a színekbe!**

Családi fotóknál ez elfogadható, de a képfeldolgozásban néha foglalkozni kell vele.

Egyszerű megoldás: mindkét irányban felezett felbontás használata.

Pontos megoldás: csak a mért értékeket (2. kép) használni.

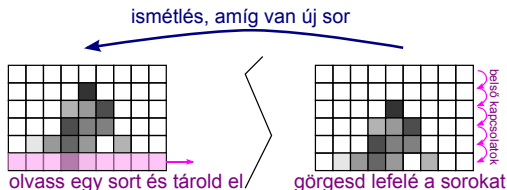


# Az adatok kiolvasása az érzékelőből

A szenzorok sok millió pixel adatait tartalmazzák, de nem lehet mindet egyesével közvetlenül kiolvasni.

A tipikus megoldás:

- 1 Pixel adatok olvasása egy szélső sorból (mondjuk az aljáról).
- 2 A sorok görgetése (lefelé.)
- 3 Ha még van sor, vissza az 1-es lépésre.

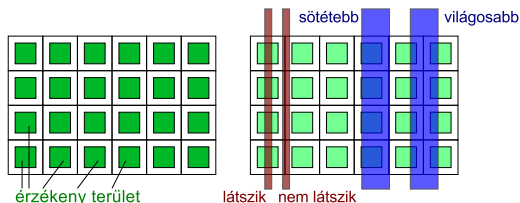


Problémák:

- Nagy felbontású képek kiolvasása sokáig tarthat.
- A görgetés zajforrás lehet.
- A sorok különböző időpontokhoz tartozhatnak. (Olcsó eszközök.)

# Érzéketlen területek a szenzorokon

Az érzékelő pixelei nem teljes területen érzékenyek.

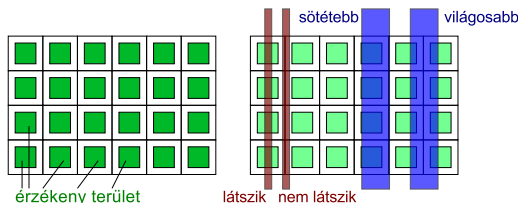


Látványosan hamisíthatja a képeket:

- keskeny vonalak eltűnhetnek
- periodikus minták képe interferencia-szerűen változhatnak (Moire-minták)

# Érzéketlen területek a szenzorokon

Az érzékelő pixelei nem teljes területen érzékenyek.



Látványosan hamisíthatja a képeket:

- keskeny vonalak eltűnhetnek
- periodikus minták képe interferencia-szerűen változhat (Moire-minták)

Megoldás:

- Szoftveres korrekció. (Esetleg a kamerába beépítve.)
- Egy “anizotrópia-szűrő” réteg ez érzékelőn, mely kissé elmossa a képet.

# Zaj

## Zajforrások:

- **Gyártási hiba:** halott pixelek. (nem feltétlen feketék!)
- **Gyártási pontatlanság:** pixelfüggő érzékenység, a sorok görgetésénél fellépő csíkozás.
- **Termikus zaj:** az elektronok hőmozgása miatti bizonytalanság.
- **Statisztikus hiba:** véges expozíciós idő, véges számú foton pixelenként: statisztikus ingadozás.
- **Kvantálási hiba:** A pixelértékek tárolásának véges pontosságából (pl. 1 bájt/pixel) származó hiba.

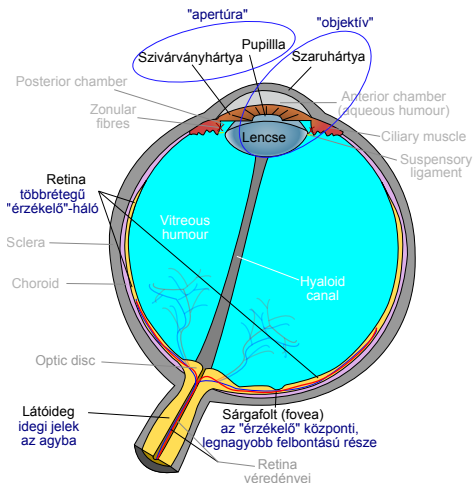
Ezek némelyike az expozíciós idő, az apertúraméret vagy az eszköz hőmérséklete segítségével csökkenthető.

Másokat közelítőleg semlegesíteni lehet képfeldolgozással.

# Az emberi szem

Az emberi szem sokban különbözik egy kamerától:

- az érzékelő (retina) **felbontóképessége irányfüggő**
- az érzékelőhálózat **közel háromszög-háló**
- fókusztávolság:  **$f$  változtatása**, nem a lencse helyéé
- hullámhossz: **400–700 nm**, csúcs érzékenység (nappal) 550 nm-nél.



(Csak a legfontosabbakat említettük.)

# Közelítő adatok

**Közelítő adatok** átlagember, látómező közepe

- $D = 2\text{--}8\text{ mm}$  (a környezet megvilágításától függ)
- $f = 20\text{--}25\text{ mm}$  (a tárgytávolságtól függ)
- $\Delta x = \Delta y \approx 2\mu\text{m}$ .

Kiszámolható:

- fényelhajlás miatti elvi felbontóképesség 550 nm-en:  
Ha  $D = 2\text{ mm}$  (nappal):  $\varphi_0 = 0.000335(\text{rad}) = 0.0192^\circ = 1.15'$   
Ha  $D = 8\text{ mm}$  (éjjel):  $\varphi_m = 0.29'$
- érzékelő felbontás:  $\varphi_x = \varphi_y \approx 0.30'$

**Az emberi látás átlagos szögfelbontása**  $\varphi_0 \approx 1' = 1^\circ/60$ .  
(a látómező közepén, nappal)