

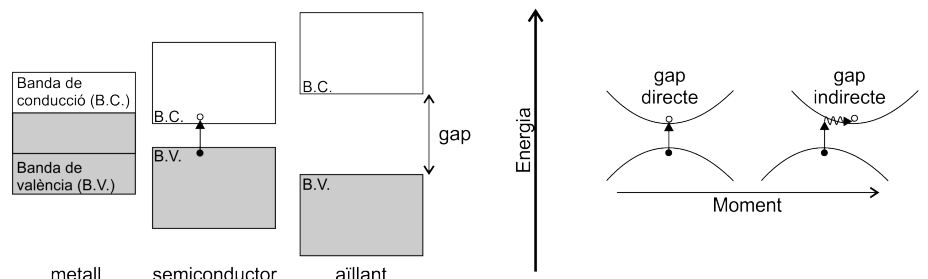
Problemes de VC/PSIV

Solució parcial

Felipe Lumbreras Ruiz

1 Formació de la imatge

- 1.1 Un sensor CCD/CMOS està fet de Silici (Si). Fins quina longitud d'ona serà sensible aquest sensor coneixent que el gap d'aquest semiconductor es 1.11 eV.



$$E \geq 1,11 \text{ eV},$$

$$h = 4,13566733 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \text{ (planck constant, wikipedia),}$$

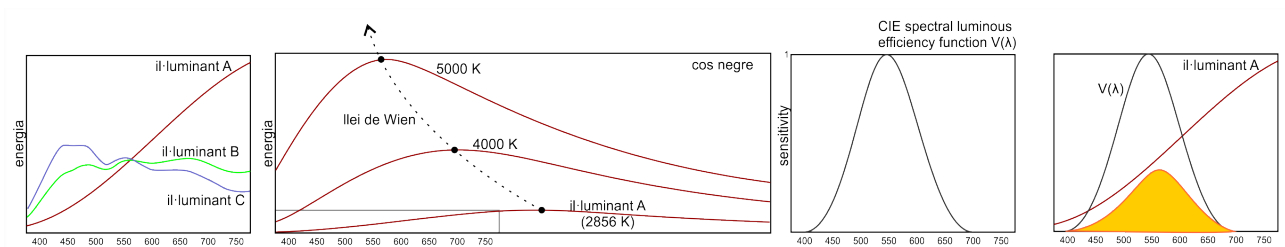
$$c = 299792458 \text{ m/s} \text{ (speed of light, wikipedia)}$$

solució (aproximació gap directe, encara que el silici té gap indirecte):

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4,13566733 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \cdot 299792458 \text{ m/s}}{1,11 \text{ eV}} = 1,117 \cdot 10^{-6} \text{ m} =$$

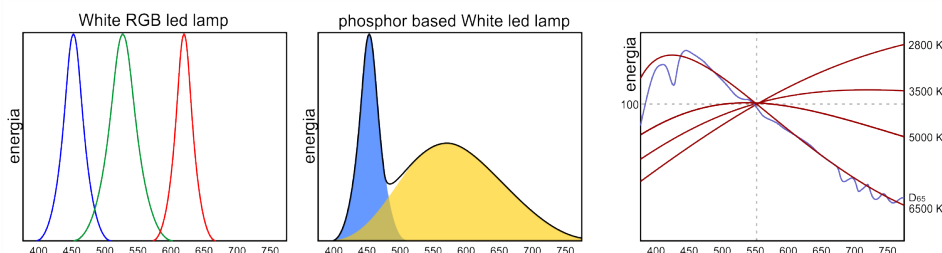
$$\lambda = 1117 \text{ nm}$$

- 1.2 De quin color veurem una llum incandescent tenint en compte només l'espectre d'emissió (il·luminant A) i la sensibilitat de l'ull humà. No fa falta arribar a la data concreta, només la interacció de les dues corbes.



- 1.3 El LED blanc va sorgir després del descobriment del LED blau (1994, Shuji Nakamura, Nichia Corporation). Busca i compara l'espectre d'emissió d'una llum blanca composta per un LED blau més un fòsfor groc amb l'espectre d'un LED blanc aconseguit mitjançant tres LEDs: blau, verd i vermell que es poden regular independentment. Quin d'aquests dos tipus donarà un millor CRI (Color Rendering Index).

"A color rendering index (CRI) is a quantitative measure of the ability of a light source to reveal the colors of various objects faithfully in comparison with an ideal or natural light source. [...] Numerically, the highest possible CIE Ra value is 100 and would only be given to a source identical to standardized daylight or a black body (incandescent lamps are effectively black bodies) [...]" (wikipedia)



La distribució del led blanc basat en fòsfor és més uniforme, omple tot l'espectre visible i per tant tindrà un major CRI que un led blanc basat en tres xips que radien cadascú en una banda separada.

1. 4 (*) Pren una imatge de la teva mà a sobre d'un fons uniforme amb una càmera digital. Agafa la mesura de la mà i la distància a la que has fet la foto i busca informació de la focal i el sensor (internet, EXIF). Mira de trobar la mida del sensor o la focal a partir de la resta d'informació.
1. 5 (*) Amb la mateixa focal anterior fes una foto d'un objecte d'altura coneguda. Calcula mitjançant la informació anterior la distància a la qual es trobava aquest objecte.
1. 6 Volem examinar les mides d'un objecte d'uns 10×10 cm agafant dos centímetres extrems al voltant. Utilitzarem una càmera amb un sensor ICX445 (1292×964 píxels, $3.75 \mu\text{m}$ mida de píxel, monocrom) i amb una òptica de 25 mm. A quina distància hem de ficar la càmera?
(*) primera aproximació (semblança de triangles), suficient en molts casos:

$$\frac{d}{140 \text{ mm}} = \frac{25 \text{ mm}}{964 \text{ pix} \cdot 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ mm/pix}} \rightarrow d = 968,19 \text{ mm}$$

(**) segona aproximació, lent prima (lleis de Gauss $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$, $d \equiv u$):

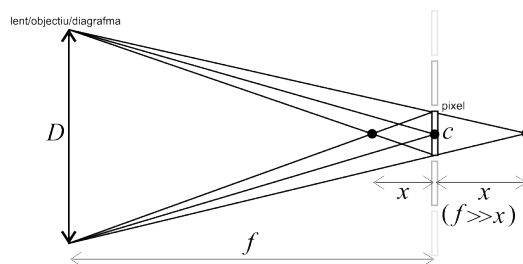
$$\begin{cases} \frac{1}{25 \text{ mm}} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \\ \frac{u}{140 \text{ mm}} = \frac{v}{964 \text{ pix} \cdot 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ mm/pix}} \end{cases} \rightarrow v = \frac{964 \cdot 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ mm}}{140 \text{ mm}} \cdot u = 0,02582u$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{25 \text{ mm}} &= \frac{1}{u} + \frac{1}{0,02582u} \rightarrow u = 25 \text{ mm} \left(1 + \frac{1}{0,02582}\right) \\ u &= 993,19 \text{ mm} \quad (d \equiv u), \quad (v = 25,64 \text{ mm}) \end{aligned}$$

1. 7 Quin detall mínim serem capaços de veure amb la configuració d'abans (criteri per veure un detall 2 píxels).
detall \rightarrow 2 píxels

$$\begin{aligned} (*) \quad \frac{d}{x} &= \frac{f}{\text{detall}} \rightarrow x = 0,29 \text{ mm} \\ (**) \quad \frac{u}{x} &= \frac{v}{\text{detall}} \rightarrow x = 0,29 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. 8 (*) Amb una càmera amb sensor MT9P031 i una òptica d'EFL de 12 mm agafem imatges en tres situacions: a) a distància de 2 cm de l'òptica volem capturar insectes, b) a distància de 5 m volem capturar objectes i c) enfocant a l'infinit volem veure estels. Si fem una suposició sempre de càmera enfocada a l'infinit, quin serà el camp de vista vertical per cadascun dels tres supòsits? (en l'últim cas (c) dóna el camp angular). Si utilitzem la fórmula de Gauss i suposem que enfoquem. Quins seran els camps en els tres supòsits. Fes una taula comparativa.
1. 9 Calcula la fórmula de la distància hiperfocal d'un sistema de focal f , diàmetre d'apertura D (f-número $N = f/D$) i cercle de confusió c . Sabent que la distància hiperfocal és aquella a la que hem d'enfocar per tal que els punts situats a l'infinit encara siguin nítids.



$$\frac{D}{f} = \frac{1}{N} = \frac{c}{x}$$

on D diàmetre, N apertura, f focal, c cercle de confusió i x variació al voltant del sensor on s'enfoca aproximadament igual.

usando la fórmula de Gauss,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{H} + \frac{1}{v} \rightarrow v = \frac{fH}{H-f} \quad (1)$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{v-x} \rightarrow v = f+x \quad (2)$$

on H és la distància hiperfocal. La Eq.1 és la situació normal en la qual estem enfocant a una distància H . La Eq.2 és el cas extrem dels raigs de l'infinit que cauen a una distància x del sensor i per tant també queden enfocats. Igualo:

$$\begin{aligned} f + cN &= \frac{fH}{H-f} \\ \frac{H-f}{fH} &= \frac{1}{f+cN} \rightarrow (H-f)(f+cN) = fH \\ &\rightarrow H(f+cN) - fH = H(f+cN-f) = f^2 - fcN \\ H &= \frac{f^2}{cN} + f \approx \frac{f^2}{cN} \end{aligned}$$

1. 10 (*) Seguint amb l'exercici anterior. A quina distància dins l'escena estaran situats els punts més propers que encara estiguin enfocats?
1. 11 (*) En una aplicació industrial de control de qualitat ens demanen que la mesura d'una peça sigui de 10 ± 0.1 mm. Quina quantitat de píxels necessitem en la direcció de la mesura amb una càmera monocroma?. Si volem una precisió en la mesura de ± 0.1 mm, vol dir que hem de mesurar com a mínim amb una precisió per píxel de ± 0.05 mm.
1. 12 Per a una aplicació d'ADAS (Ajuda a la conducció) utilitzem una càmera amb resolució WVGA (MT9V032C12STM: 752x480 píxels, 6 μ m mida de píxel, monocrom) amb una òptica de focal 8 mm, per distingir cotxes per la nit (en el mateix sentit i en el sentit oposat). Considerant un cotxe com un parell de llums separades una distància d'un metre. Fins a quina distància podem veure cotxes.

Si considerem un cotxe com un parell de llums separades vol dir que hem d'arribar en el cas més extrem a veure un cotxe representat com tres píxels (llum-foscor-llum). Per sota d'aquest escenari tenim dos píxels o un píxel il·luminats i no podem establir de què es tracta (moto, cotxe llunyà, fanal, reflex, ...). Per tant podem agafar com a límit inferior 3 píxels. Si fem servir la premissa de l'exercici 7 necessitem 4 píxels per veure els dos fars d'un cotxe (2 píxels per cada element mínim que volem veure). Aquest escenari no és tan estricte. Agafarem com a mida entre fars 1 metre com diu l'enunciat, i mirem a quina distància hem de projectar sobre el sensor amb aquesta òptica un metre si tenim 3 o 4 píxels a la imatge.

$$\begin{aligned} \text{mínim cotxe} = 3 \text{ píxels} &\rightarrow \frac{d}{1 \text{ m}} = \frac{8 \text{ mm}}{3 \text{ pix} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ mm/pix}} \rightarrow d = 444 \text{ m} \\ \text{mínim cotxe} = 4 \text{ píxels} &\rightarrow \frac{d}{1 \text{ m}} = \frac{8 \text{ mm}}{4 \text{ pix} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ mm/pix}} \rightarrow d = 333 \text{ m} \end{aligned}$$

1. 13 Amb la versió color (*bayer pattern*) del sensor anterior. Quins avantatges tindríem? Quins desavantatges tindríem?

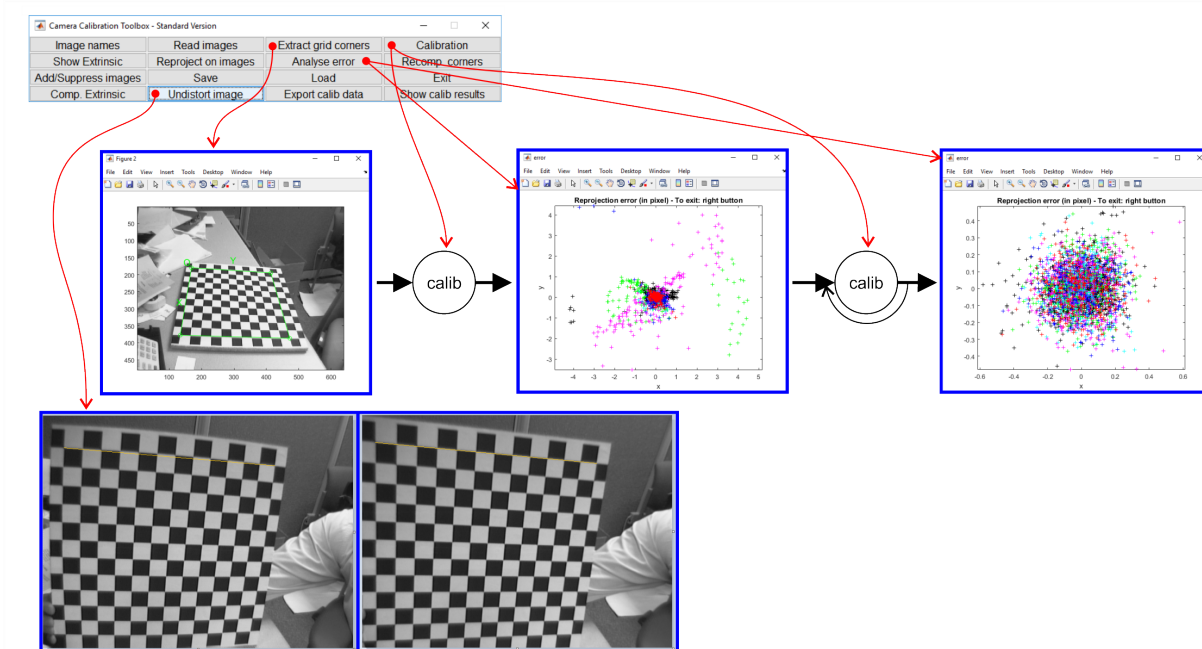
avantatge:

- color implica distingir tipus de llums (davanteras (headlights), posteriors (rear lights), per tant distingir vehicles que van de vehicles que vénen.

desavantatges:

- menys resolució, la reduïm a la meitat. Encara que amb algorismes de *demosaiicing* (interpolació cromàtica) intentem restablir la resolució, la resolució base es veu minvada a la meitat.
- menys sensibilitat. El fet de ficar filtres davant de cada píxel del sensor vol dir que arribaran menys fotons i per tant necessitarà més llum (més apertura, més temps d'integració) per obtenir nivells de senyal similars.

1. 14 (*) Volem veure senyals de transit en autopistes amb la configuració anterior (càmera monocroma i òptica). Suposem la càmera centrada en el cotxe, el cotxe centrat al segon carril i un altre carril, el voral i un altre metre més fins arribar a la zona on són els senyals. Quina mida màxima en píxels tindrem pels senyals de limitació de velocitat? (www.carreteros.org)
1. 15 (*) En una línia de producció que es mou a 0.5 m/s volem capturar imatges amb una càmera que porta el sensor EV76C560BB (1280×1024 píxels, 5.3 μ m monocrom), amb una òptica de 50 mm de focal i a una distància de 70 cm sobre la línia. Quin temps d'exposició hem d'escollir perquè el desenfocament degut al moviment quedi per sota d'un píxel.
1. 16 Descarrega e instal·la el paquet de calibratge de càmeres d'en Jean-Yves Bouguet (www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/). De l'apartat d'exemples descarrega el primer exemple (www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/htmls/example.html). Segueix les instruccions per tal de calibrar les imatges de l'exemple. Treu-li la distorsió a una de les imatges del exemple.



Calibration parameters after initialization:

```
Focal Length:   fc = [ 670.72175  670.72175 ]
Principal point: cc = [ 319.50000  239.50000 ]
Skew:          alpha_c = [ 0.00000 ] => angle of pixel = 90.00000 degrees
Distortion:    kc = [ 0.00000  0.00000  0.00000  0.00000  0.00000 ]
```

Main calibration optimization procedure - Number of images: 20

Gradient descent iterations: 1...2...3...4...5...6...7...8...9...10...11...12...13...14...15...16...17...18...19...20...21...22...23...24...done

Estimation of uncertainties...done

Calibration results after optimization (with uncertainties):

```
Focal Length:   fc = [ 662.47733  664.66419 ] +/- [ 1.44359  1.54942 ]
Principal point: cc = [ 306.50105  241.71587 ] +/- [ 2.84372  2.62615 ]
Skew:          alpha_c = [ 0.00000 ] +/- [ 0.00000 ] => angle of pixel axes = 90.00000 +/- 0.00000 degrees
Distortion:    kc = [ -0.27892  0.31972  0.00050  0.00028  0.00000 ] +/- [ 0.01148  0.04742  0.00065  0.00067  0.00000 ]
Pixel error:   err = [ 0.59169  0.42257 ]
```

[...]

Calibration results after optimization (with uncertainties):

```
Focal Length:   fc = [ 657.37172  657.74229 ] +/- [ 0.34796  0.37135 ]
Principal point: cc = [ 302.96765  242.56830 ] +/- [ 0.70490  0.64754 ]
Skew:          alpha_c = [ 0.00000 ] +/- [ 0.00000 ] => angle of pixel axes = 90.00000 +/- 0.00000 degrees
Distortion:    kc = [ -0.25584  0.12750  -0.00021  0.00003  0.00000 ] +/- [ 0.00271  0.01075  0.00015  0.00014  0.00000 ]
Pixel error:   err = [ 0.12629  0.12597 ]
```

1. 17 (*) Calibra la teva càmera. Fes un patró de calibratge (quadrícula amb quadrats de mida coneguda) imprès i pla. Pots moure la càmera en comptes de moure el patró. Passa per tot el procés de calibratge. Fes una foto amb la teva càmera i treu-li la distorsió. El resultat és la comparació de les fotos abans i després de la rectificació. Afegeix els valors dels paràmetres intrínsecs i calcula la mida de píxel aproximada si coneixes la focal en mil·límetres.