INSTITUT d'OPTIQUE GRADUATE SCHOOL ParisTech | LEnsE Laboratoire d'Enseignement Expérimental

Institut d'Optique Graduate School
Interfaçage Numérique

INTERFAÇAGE NUMÉRIQUE

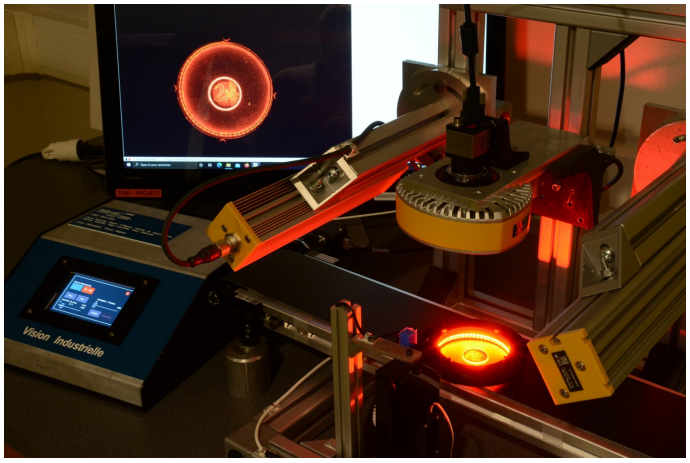
Travaux Pratiques

Semestre 6

Chaine d'acquisition d'une image
Manipulation d'images

---

2 séances



Ce sujet est disponible au format électronique sur le site du LEnsE - https ://lense.institutoptique.fr/ dans la rubrique Année / Première Année / Interfaçage Numérique S6 / Bloc Caméra.

Chaine d'acquisition d'une image et manipulation d'images avec OpenCV

Objectifs du bloc

L'objectif principal de ce bloc est de découvrir les **différents paramètres impactant la qualité d'une prise d'image par une caméra** dans un environnement industriel ainsi que la **manipulation d'images numériques**, à l'aide de la bibliothèque **OpenCV**.

On s'intéressera à l'impact du **temps d'intégration**, de la **résolution** de la caméra et de l'**éclairage** (couleur et intensité) de la scène et des objets sur l'image résultante.

À l'issue des séances de TP concernant le bloc sur les caméras industrielles et la manipulation d'images, les étudiant·es seront capables de :

- paramétrer le temps d'exposition en fonction de l'intensité lumineuse pour **obtenir une image d'une qualité exploitable**
- utiliser des outils d'analyse (histogramme notamment) pour **améliorer numériquement** la qualité d'une image (contraste, luminosité...)
- **manipuler une image numérique** à l'aide de la bibliothèque *OpenCV*

Cette étude sera complétée par un TP plus détaillé sur les bruits associés à l'utilisation des caméras CMOS en 2ème année du cycle ingénieur à Palaiseau.

Des cours et des projets autour du traitement d'images sont également proposés dans les prochaines années de formation, quelque soit le site. Ces deux séances sont une introduction à ces modules plus avancés.

*Le bloc **Images et OpenCV** (facultatif) de ce module permet d'aller également plus loin dans le pré-traitement des images et leur manipulation.*

Ressources

- ??

Déroulement du bloc

Séance 1 - Modélisation primaire d'une chaine d'acquisition

Etape 0 - 30 min Prendre en main l'interface de pilotage

Etape 1 - 30 min Décrire le rôle des principales caractéristiques d'une caméra CMOS (AOI/ROI, temps d'intégration, échantillonnage, quantification...)

Etape 2 - 60 min Analyser l'impact des outils de base de la manipulation d'images (*Contraste, luminosité, seuillage et filtrage*)

Etape 3 - 30 min Analyser l'impact du choix de la couleur de l'éclairage en fonction des caractéristiques d'un objet

Etape 5 - 90 min Détecter des objets dans une image

Séance 2 - Manipulation d'images

Etape 1 - 20 min Ouvrir une image sous OpenCV (niveau de gris et couleur) et extraire les informations utiles de l'image

Etape 2 - 20 min Calculer l'histogramme d'une image et l'afficher

Etape 3 - 20 min Améliorer numériquement la qualité d'une image : contraste, luminosité...

Etape 4 - 90 min Appliquer un filtre moyenneur (*Gaussian blur*) sur une image et analyser l'impact du choix du noyau

Etape 5 - 60 min Appliquer un filtre passe-haut (*Roberts, Sobel*) sur une image et analyser l'impact du choix du noyau

Etape 6 - 30 min Appliquer un filtre par l'intermédiaire de la transformée de Fourier

---

Séance 1 / Modélisation primaire d'une chaine d'acquisition

Ce bloc de travaux pratiques utilise un **banc de vision industrielle** avec une lampe de type Effi-Ring RGB, une caméra Basler et une interface développée en **Python** (*PyQt6*) et qui utilise des fonctionnalités de la bibliothèque **OpenCV**.

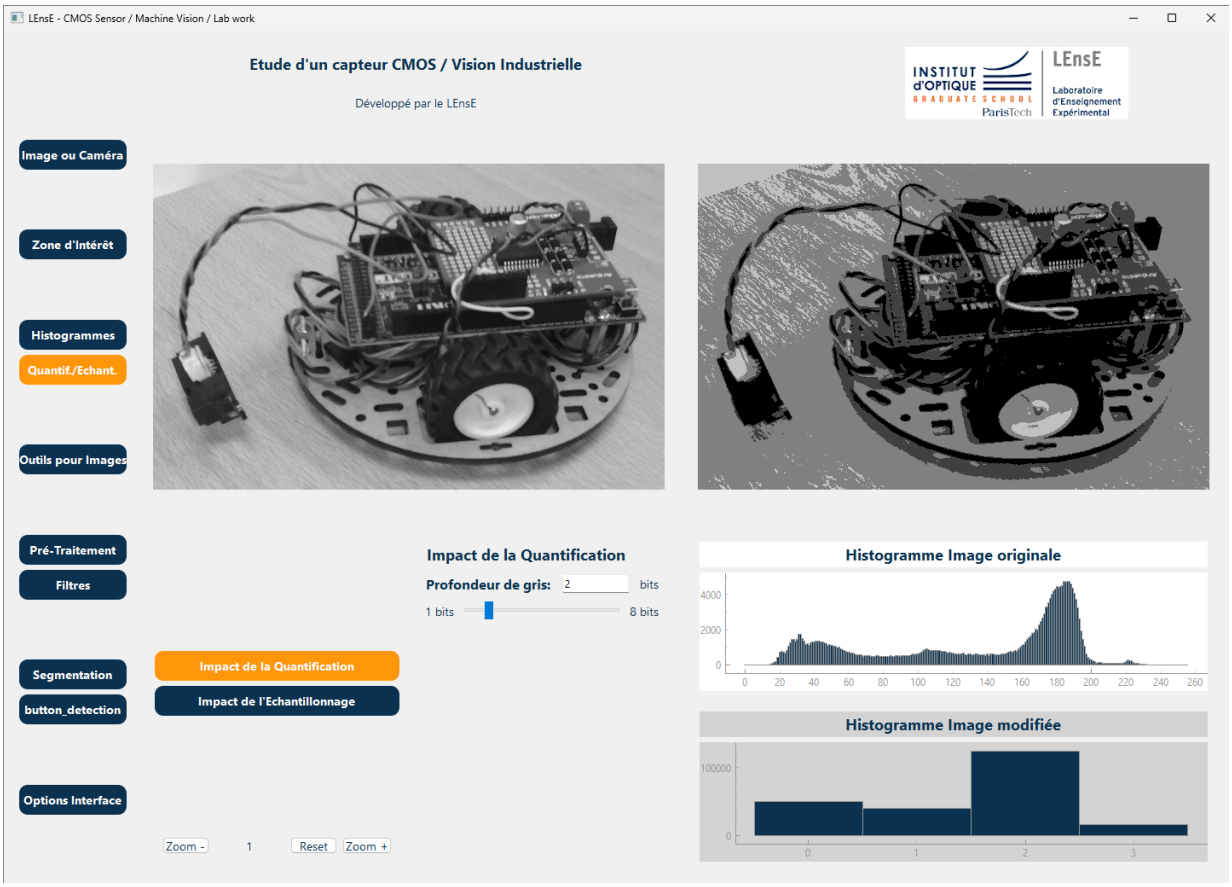
Les documentations de la caméra et de l'éclairage sont disponibles aux adresses suivantes :

— Basler **a2A 1920 - 160ucBAS** : https://docs.baslerweb.com/a2a1920-160ucbas#specifications
— **Effi-Ring** : https://www.effilux.com/fr/produits/annulaire/effi-ring

Prendre en main l'interface de pilotage

Temps conseillé : 30 min

➜ **M** Lancer l'application CMOS_Machine_Vision depuis ...
(pour l'instant dernière version officielle sur le github suivant :
https ://github.com/IOGS-LEnsE-ressources/camera-gui
- répertoire applis/CMOS-MachineVision_v3)



➜ **M** Ouvrir la première caméra disponible dans l'onglet IMAGE OU CAMÉRA / SÉLECTIONNER UNE CAMÉRA / OUVRIR LA PREMIÈRE CAMÉRA.

Eclairage et zone d'intérêt

➜ **M** Allumer l'éclairage annulaire du banc (trois couleurs).

➜ **Q** Quelle couleur d'éclairage obtient-on ?

➜ **M** Placer un objet (un cube de couleur par exemple) dans le champ de la caméra.

➜ **M** Ajuster la zone d'intérêt (ou *Area of Interest* - AOI) à l'aide de l'onglet ZONE D'INTÉRÊT pour ne sélectionner qu'une partie de l'image autour de l'objet.

➜ **Q** Que pouvez-vous dire des deux histogrammes affichés ? Quelles sont les valeurs minimale et maximale prises par les pixels de la caméra ? Quelle est alors la résolution de la caméra utilisée ?

Pour la suite du TP, on s'assurera de prendre une zone d'intérêt à peu près centrée dans l'image et d'une taille d'environ 500 par 500 pixels.

Décrire le rôle des principales caractéristiques d'une caméra CMOS

Temps conseillé : 30 min

Temps d'intégration

➜ **M** Dans l'onglet IMAGE OU CAMÉRA, sélectionner un *Black Level* de 0. Modifier le temps d'intégration de la caméra.

➜ **Q** Que constatez-vous sur l'histogramme de l'image ? Sur la moyenne et l'écart-type de la répartition de la luminosité des pixels ?

➜ **M** Placer un cache devant la caméra (ou Prévoir une caméra annexe avec cache - pour éviter d'enlever l'objectif et mettre un cache...) pour vous placer dans l'obscurité.

➜ **Q** La répartition de la luminosité perçu par chaque pixel est-elle uniforme ? Que pouvez-vous en conclure ?

Black Level

➜ **M** Dans l'obscurité, relever l'histogramme de l'image ainsi que la moyenne et l'écart-type de la répartition de la luminosité des pixels pour différentes valeurs du *black level* : 0, 10, 20, 50.

➜ **Q** Que peut-on conclure de l'intérêt du black level ?

Echantillonnage et quantification

➜ **M** Replacer l'objectif sur la caméra. Placer des objets dans le champ de la caméra. Sélectionner une zone d'intérêt d'environ 500 pixels par 500 pixels autour de l'objet à visualiser. Ajuster le temps d'intégration pour obtenir une image non saturée avec un éclairage blanc.

➜ **M** Dans la section QUANTIF./ECHANT., modifier la profondeur de quantification des informations.

➜ **Q** Que peut-on conclure sur l'effet de la quantification sur l'image ? Vous pourrez vous appuyer sur l'histogramme pour analyser le résultat.

➜ **M** De la même façon, dans la section QUANTIF./ECHANT., modifier le nombre de pixels de sous-échantillonnage.

On parle ici d'un phénomène de **binning**. La résolution de l'image est "dégragée" numériquement dans ce cas et les nouveaux pixels affichés sont la moyenne de N x N pixels de l'image initiale.

Dans le cas présent, ce phénomène peut simuler le changement de résolution de la caméra sur l'acquisition d'une image numérique.

➜ **Q** Que peut-on conclure sur l'effet de la résolution de la caméra sur l'image ? Vous pourrez vous appuyer sur l'histogramme pour analyser le résultat.

Analyser l'impact des outils de base de la manipulation d'images

Temps conseillé : 60 min

Dans cette section, nous allons nous intéresser à quelques fonctionnalités permettant de **manipuler des images** pour les rendre utilisables : suppression du bruit, seuillage, amélioration du contraste...

Contraste et Luminosité

➜ **M** Placer un objet dans le champ de la caméra. Sélectionner une zone d'intérêt d'environ 500 pixels par 500 pixels autour de l'objet à visualiser. Ajuster le temps d'intégration pour obtenir un histogramme dont le pixel maximum a une valeur de l'ordre des 2/3 de la valeur maximale de la caméra.

➜ **M** Dans la section PRÉ-TRAITEMENT, puis sous-section CONTRASTE / LUMINOSITÉ, modifier les valeurs de contraste et de luminosité de l'image.

➜ **Q** Quelles sont les opérations mathématiques réalisées sur les pixels par ces deux fonctionnalités ? Vous pourrez vous appuyer sur les histogrammes des images brutes et modifiées pour analyser vos résultats.

➜ **M** Dans la sous-section AMÉLIORATION DU CONTRASTE, tester l'effet des deux curseurs.

➜ **Q** Proposer une interprétation de l'opération effectuée sur chacun des pixels.

Seuillage

➜ **M** Dans la section PRÉ-TRAITEMENT, puis sous-section SEUILLAGE, sélectionner le seuillage *Normal* et modifier la valeur du seuil.

➜ **Q** Que pouvez-vous conclure sur l'intérêt du seuillage ? Vous pourrez essayer avec des objets de taille, de forme et de couleurs différentes.

➜ **M** Tester également le mode *Inversé* et *Double*.

➜ **Q** Que pouvez-vous conclure sur ces deux modes ?

Filtrage

➜ **M** Dans la section FILTRES, puis sous-section FILTRE DE LISSAGE, sélectionner le filtre *Blur Moyen* et un noyau de taille 15.

➜ **Q** Que se passe-t-il sur l'image ? Vous pourrez également vous appuyer sur la différence entre l'image de base et l'image modifiée, en cliquant sur l'option *Image - Effet*, pour analyser les effets sur l'image.

➜ **Q** Quel est l'effet de la taille du noyau sur le filtrage ?

➜ **Q** Qu'en est-il avec le filtre de type *Médian* ?

Les aspects théoriques liés au filtrage de données (signaux et images) sont abordés dans les modules MATHS ET SIGNAL *(semestre 5) et* TRAITEMENT DU SIGNAL *(semestre 6).*

La mise en oeuvre de ces filtres sur des images sera abordée en TD de ce module et également dans des modules de traitement d'images dans vos prochaines années de formation.

Analyser l'impact du choix de la couleur de l'éclairage

Temps conseillé : 30 min

L'acquisition d'image réalisée par l'interface est monochrome. Il est toutefois possible de détecter des couleurs dans les objets à analyser en jouant sur le choix de l'éclairage et sa couleur.

Vous avez à votre disposition plusieurs objets de couleurs différentes.

IMAGES AVEC CUBES ?

➜ **M** Placer des cubes de différentes couleurs dans le champ de la caméra.

➜ **M** Visualiser les images acquises par la caméra en utilisant des couleurs d'éclairage différentes sur les objets.

Il est préférable de faire ces analyses dans une environnement sombre, voir dépourvu de tout éclairage parasite.

➜ **Q** Est-il possible de distinguer des couleurs différentes à l'aide de prise d'images successives dans des environnements lumineux différents ? On pourra s'intéresser aux histogrammes des image mais également au procédé de seuillage...

Détecter des objets dans une image

On se propose de détecter les **veines de nos mains** à l'aide de la caméra et de l'éclairage présent sur le banc. *Et peut-être ainsi vérifier si des aliens se cachent parmi nos troupes...*

EXEMPLE D'IMAGE (Julien M. ?)

Pour cela, nous allons devoir trouver une spécificité dans la couleur de l'objet que l'on cherche à identifier par rapport au reste de la scène (le sang qui coule dans nos veines est plutôt de couleur rouge...).

On peut montrer expérimentalement que l'image résultante (I) du calcul suivant permet d'obtenir une image relativement exploitable :

$$I = \frac{I_R}{\sqrt{I_G^2 + I_B^2}}$$

où $I_X = X_{main} - X_{blanc}$ correspond à l'image de la main prise en éclairage R-G-B (rouge, vert ou bleu) sur un fond blanc, à laquelle on a retranché le fond blanc prise dans les mêmes conditions d'éclairage et de temps d'exposition.

Protocole

L'ensemble des images devront être prises dans les mêmes conditions géométriques (vous ne devrez pas bouger ni le fond blanc ni votre main) et d'acquisition (temps d'intégration notamment).

On se placera dans la section HISTOGRAMMES, sous-section RÉPARTITION SPATIALE de l'interface de pilotage. Cette section permet de régler le temps d'intégration mais également de sauvegarder une image au format PNG.

Le protocole proposé est le suivant :

— Régler le temps d'intégration pour ne pas saturer l'image mais garantir une bonne dynamique d'acquisition, quelques soient les conditions d'éclairage (R, G, B). *Il faudra également vérifier cette dynamique sur fond blanc et en présence de votre main.*
— Acquérir les images sur fond blanc **sans** l'objet à analyser avec un éclairage rouge, puis bleu, puis vert et les sauvegarder indépendamment au format PNG.
— Acquérir les images sur fond blanc **avec** l'objet à analyser avec un éclairage rouge, puis bleu, puis vert et les sauvegarder indépendamment au format PNG.
— Ouvrir les images avec un script (Python par exemple).
— Réaliser le traitement proposé précédemment.
— Afficher l'image résultante.

Ouverture d'une image avec OpenCV

Pour ouvrir les images, nous allons utiliser la bibliothèque **OpenCV** (plus de détails dans la séance 2 de ce TP). Nous utiliserons la version développée pour le langage Python.

Pour installer cette extension sous Python, il faut exécuter la commande suivante dans un terminal (ou Invite de commande sous Windows) :

```
pip install opencv-python
```

Si l'on souhaite ouvrir l'image *test.png* stockée dans le même que votre script en Python, à l'aide de la bibliothèque OpenCV et l'afficher, il faut utiliser les instructions suivantes :

```
import cv2
from matplotlib import pyplot as plt

grayscale_image = cv2.imread('test.png', cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
plt.imshow(grayscale_image, cmap='gray')
plt.show()
```

L'objet *grayscale_image* est une matrice en deux dimensions, issue de la bibliothèque *Numpy*. Il est alors possible de faire des calculs sur cette matrice : moyenne, somme, addition et autres opérations mathématiques avec d'autres matrices...).

Il sera également possible d'appliquer d'autres fonctionnalités de pré-traitement ou de filtrage. Ces notions seront abordées dans la séance de TP suivante.

Traitement avec OpenCV

➜ **M** Réaliser les premières étapes du protocole afin de prendre des images exploitables du fond blanc choisi dans les 3 conditions d'éclairage proposées (R, G et B) ainsi que les images d'une main dans les mêmes conditions d'éclairage et d'acquisition pour la caméra.

➜ **M** Réaliser un script Python permettant d'ouvrir et d'afficher les 6 images.

➜ **M** Ajouter à ce script la possibilité de calculer l'image résultante du traitement proposé pour détecter les veines.

➜ **Q** Est-ce concluant ? Vous pourrez répéter ces étapes afin d'obtenir une meilleure qualité d'image (en jouant sur le temps d'intégration notamment).

Séance 2 / Manipulation d'images (OpenCV) et filtrage

Lors de cette séance, vous devrez écrire vos propres scripts en **Python** (avec l'IDE PyCharm par exemple) permettant de réaliser des opérations de base de manipulation d'images, à l'aide notamment de la célèbre bibliothèque **OpenCV**.

Ressources

Un tutoriel sur les bases d'OpenCV est disponible à l'adresse suivante :
https://iogs-lense-training.github.io/image-processing/
Un **kit d'images** est disponible sur le site du LEnsE dans la rubrique *Année / Première Année / Interfaçage Numérique S6 / Bloc Images et OpenCV / Kit d'images*.
Diapos : SC19 - Image Processing

Ouvrir une image sous OpenCV

Temps conseillé : 20 min

Notions : *Open an image* - *Display an image*

➜ **M** Créer un nouveau projet sous PyCharm.

➜ **M** Impoter la bibliothèque **OpenCV2** (*cv2*).

Pour la suite, il est nécessaire de placer ***tous les fichiers dans le même dossier*** *: votre script Python, les différentes images et les bibliothèques de fonction (fichier images_manipulation.py)*

➜ **M** Ouvrir l'image *robot.jpg* du kit d'images fourni, au format RGB.

➜ **Q** Quelle est la taille de l'image ? Quel est le type de données d'un élément ?

➜ **M** Ouvrir l'image *robot.jpg* du kit d'images fourni, en niveau de gris.

➜ **Q** Quelle est la taille de l'image ? Quel est le type de données d'un élément ?

Calculer l'histogramme d'une image et l'afficher

Temps conseillé : 20 min

Notions : *Calculate the histogram*

➜ **M** Calculer l'histogramme de l'image précédente et l'afficher.

Il peut être intéressant de ***créer une fonction qui affiche automatiquement l'histogramme*** *d'une image à partir de ses données. Elle sera très utile dans la suite du TP pour voir l'impact des effets appliqués sur les images.*

Améliorer numériquement la qualité d'une image

Temps conseillé : 20 min

Notions : *Enhance Contrast/Brightness*

Pour modifier le contraste et la luminosité d'une image, il faut appliquer une transformation linéaire **à chaque pixel** de l'image pouvant être exprimé mathématiquement comme suit :

$$P_{new} = \alpha \cdot P_{old} + \beta$$

où α est le facteur de contraste. Une valeur supérieure à 1 augmente le contraste, tandis qu'une valeur entre 0 et 1 le réduit.
β est l'offset de luminosité. Une valeur positive rend l'image plus lumineuse, tandis qu'une valeur négative l'assombrit.

On utilisera la fonction *cv2.convertScaleAbs()* pour modifier le contraste et la luminosité de l'image.

➜ **M** Ouvrir l'image *robot.jpg* du kit d'images fourni, en niveau de gris.

➜ **M** Modifier le contraste de l'image et comparer les histogrammes de l'image originale et de la version modifiée pour différente valeur de α.

➜ **M** Modifier la luminosité de l'image et comparer les histogrammes de l'image originale et de la version modifiée pour différente valeur de β.

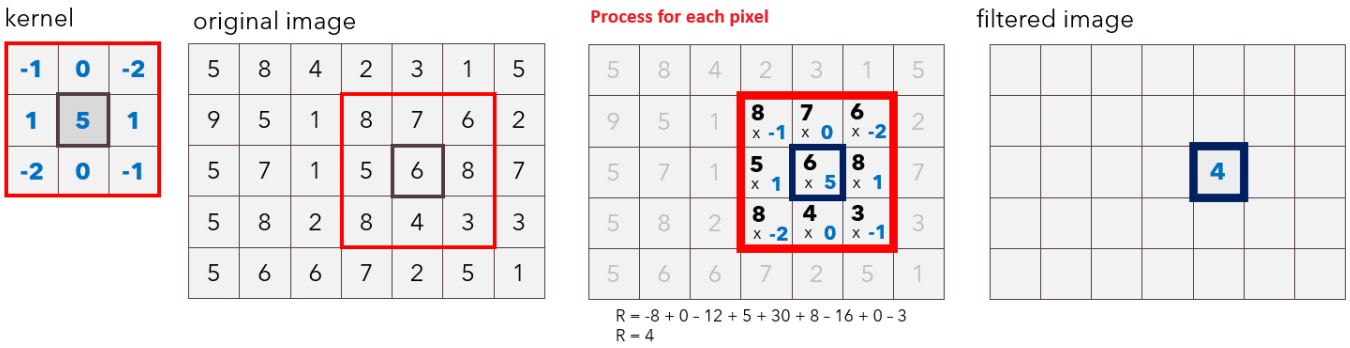
Appliquer un filtre moyenneur sur une image

Temps conseillé : 90 min

La transformation précédente ne prend pas en compte les pixels voisins. Il est pourtant intéressant dans de nombreuses situations de capturer des relations spatiales entre les pixels.
Les filtres prenant en compte les pixels voisins exploitent les relations locales dans une image, ce qui est crucial pour des tâches comme la suppression de bruit, la détection de contours, l'extraction de caractéristiques, et l'amélioration de la qualité visuelle. Travailler sur des pixels isolés limite l'analyse à des informations ponctuelles, tandis que considérer les voisins permet une compréhension plus riche et contextuelle de l'image.

Eléments structurants ou noyau

Un **élément structurant** (ou noyau) est une petite matrice (généralement de taille et de forme prédéfinies, comme un carré, un disque, une ligne, etc.) qui sert de sonde pour inspecter et modifier les pixels d'une image.



Les éléments structurants jouent un rôle clé en traitement d'image, notamment dans les opérations de morphologie mathématique. Ces opérations sont principalement utilisées pour analyser et traiter des images binaires ou en niveaux de gris en modifiant leurs formes ou en extrayant des structures spécifiques.

Filtre moyenneur gaussien

Notions : *Blur with OpenCV*

➜ **M** Créer un nouveau projet sous PyCharm.

➜ **M** Impoter la bibliothèque **OpenCV2** (*cv2*).

➜ **M** Ouvrir l'image *bricks2.jpg* du kit d'images fourni, en niveau de gris.

➜ **M** Appliquer un filtre gaussien (fonction *cv2.GaussianBlur()*) sur l'image précédente, de taille 5 x 5 pixels.

➜ **M** Afficher les deux images pour les comparer.

➜ **Q** Comment peut-on montrer de manière objective les modifications apportées à l'image ?

➜ **M** Mettre en oeuvre la méthode proposée.

On se propose d'utiliser la fonction *compare_blur_fft()* fournie dans le fichier *images_manipulation.py* pour comparer l'effet.

Ce fichier est disponible sur le site du LEnsE dans la rubrique *Année / Première Année / Interfaçage Numérique S6 / Bloc Images et OpenCV / Répertoire vers codes à tester*.

➜ **M** Tester cette fonction sur l'image précédente.

➜ **Q** Etudier cette fonction. Quelles méthodes sont utilisées pour comparer les images ?

➜ **Q** Quelle est la fonction réalisée par le filtre précédent ?

On cherche à présent à voir l'impact du noyau sur l'image finale.

➜ **M** Tester la fonction précédente avec des noyaux de taille différente et comparer les résultats à la fois sur l'image obtenue mais également sur la transformée de Fourier.

➜ **Q** Que pouvez-vous conclure sur l'impact de la taille du noyau ?

Bruit sur une image

On se propose d'étudier la fonction *generate_gaussian_noise_image()* fournie dans le fichier *images_manipulation*

➜ **M** Tester l'exemple fourni dans le fichier *noise_test1.py*.

➜ **Q** Comment vérifier la distribution du bruit généré par cette fonction ?

On se propose d'étudier la fonction *generate_uniform_noise_image()* fournie dans le fichier *images_manipulation*

➜ **M** Tester l'exemple fourni dans le fichier *noise_test2.py*.

➜ **Q** La distribution du bruit généré par cette fonction est-elle uniforme ?

➜ **M** A l'aide de la fonction *generate_gaussian_noise_image_percent()*, générer un bruit gaussien de moyenne 30 et d'écart-type 20 sur 10% de l'image *robot.jpg* ouverte précédemment en nuance de gris. Visualiser le résultat.

Il peut-être nécessaire de normaliser les images bruitées afin que les ***données entières*** *de chaque pixel soient comprises* ***entre 0 et 255****, afin que les images puissent être affichées correctement.*

➜ **M** Tester la fonction *compare_blur_fft()* fournie dans le fichier *images_manipulation.py* et comparer les résultats à la fois sur l'image obtenue mais également sur la transformée de Fourier.

Appliquer un filtre passe-haut sur une image

Temps conseillé : 60 min

Le **filtre moyenneur** précédent permet de conserver les **éléments à basse fréquence spatiale** dans l'image. C'est une méthode intéressante pour supprimer des bruits ponctuels (des éléments isolés et donc "rapides"). Il est également possible en choisissant un autre élément structurant de réaliser l'opération complémentaire qui supprime le fond continu et ne conserve que les transitions de fréquence spatiale élevée (bords d'un objet par exemple).

Il est possible d'utiliser la fonction *cv2.filter2D()* pour appliquer un noyau particulier sur une image.

Opérateur de Roberts

L'opérateur de Roberts est l'un des premiers filtres de **détection de contours**. Il repose sur la convolution avec deux petits noyaux 2x2, conçus pour approximer les dérivées en diagonale de l'image.

Les noyaux de convolution sont les suivants :

$$K_x = \begin{bmatrix} +1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad K_y = \begin{bmatrix} 0 & +1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Il est alors possible de calculer l'amplitude du gradient par l'opération suivante :

$$\text{Amplitude} = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

où G_x est le résultat de la convolution de l'image par le noyau K_x et G_y le résultat de la convolution de l'image par le noyau K_y.

Une forte amplitude indique un contour ou un bord marqué. Une faible amplitude indique une région où l'intensité est relativement constante.

➜ **M** Ecrire un script qui permet d'appliquer cette opération sur l'image *bricks2.jpg* du kit d'images fourni, en niveau de gris.

➜ **M** Visualiser l'image originale, le résultat du filtrage selon X et le résultat du filtrage selon Y.

➜ **Q** Que pouvez-vous conclure sur l'effet de ce filtre ?

Opérateur de Sobel

L'opérateur de Sobel permet de réaliser une opération similaire à celui de Roberts, mais en étant moins sensible aux bruits dans l'image, puisqu'il se base sur un noyau plus large et ainsi lisse l'image dans la direction perpendiculaire au gradient mesuré.

Les noyaux de convolution sont les suivants :

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

De la même façon que précédemment, on peut calculer l'amplitude du gradient par l'opération suivante :

$$\text{Amplitude} = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

où G_x est le résultat de la convolution de l'image par le noyau K_x et G_y le résultat de la convolution de l'image par le noyau K_y.

➜ **M** Ecrire un script qui permet d'appliquer cette opération sur l'image *bricks2.jpg* du kit d'images fourni, en niveau de gris.

➜ **M** Visualiser l'image originale, le résultat du filtrage selon X et le résultat du filtrage selon Y.

➜ **Q** Que pouvez-vous conclure sur l'effet de ce filtre ?

Appliquer un filtre par l'intermédiaire de la transformée de Fourier

Temps conseillé : 30 min

On s'intéresse ici à la **transformée de Fourier discrète en deux dimensions** permettant de représenter l'image dans le domaine fréquentiel, plutôt que dans le domaine spatial.

➜ **M** Ouvrir l'image *robot.jpg* du kit d'images fourni, en niveau de gris.

➜ **M** Calculer la transformée de Fourier discrète de cette image à l'aide de la fonction *fft2()* de la bibliothèque **Numpy / FFT**. Afficher l'image et sa transformée de Fourier. *Pensez à utiliser la fonction fftshift...*

On se propose d'utiliser la fonction *circular_mask()* fournie dans le fichier *images_manipulation.py* pour appliquer un masque sur la transformée de Fourier de l'image.

Ce fichier est disponible sur le site du LEnsE dans la rubrique *Année / Première Année / Interfaçage Numérique S6 / Bloc Images et OpenCV / Répertoire vers codes à tester*.

➜ **M** Appliquer un masque circulaire sur la transformée de Fourier de l'image, à l'aide de la fonction *circular_mask()*. Afficher le résultat.

➜ **M** Calculer l'image résultante à l'aide de la fonction *ifft2()* de la bibliothèque **Numpy / FFT**. Afficher l'image résultante et la comparer à l'image originale.

➜ **M** Ecrire et tester une fonction permettant de réaliser un masquage rectangulaire sur une image, dont on pourra préciser la largeur et la longueur, ainsi que le barycentre du rectangle (point d'intersection des diagonales).

➜ **Q** Que se passe-t-il lorsque vous appliquez un masque rectangulaire (dont la largeur et la longueur sont différentes) sur une image ? Qu'en est-il d'un masque circulaire ?

Institut d'Optique Graduate School
Interfaçage Numérique

Interfaçage Numérique

Travaux Pratiques

Semestre 6

Ressources

Bloc Caméra

Liste des ressources

— Camera and sensor / Key concepts

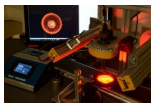
INSTITUT d'OPTIQUE GRADUATE SCHOOL ParisTech | LEnsE Laboratoire d'Enseignement Expérimental

Cameras for Machine Vision

Institut d'Optique – Engineers Training

Semester 6 – Digital Interface

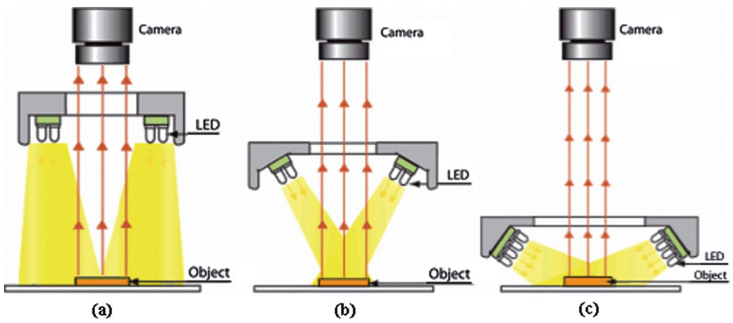
Julien VILLEMEJANE



Cameras and Interfaces

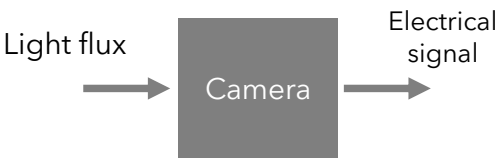
Camera in a machine vision system

INSTITUT d'OPTIQUE GRADUATE SCHOOL ParisTech | LEnsE Laboratoire d'Enseignement Expérimental

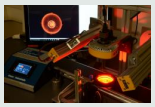


Camera

Device that transforms a **light flux** into a **measurable electrical signal**

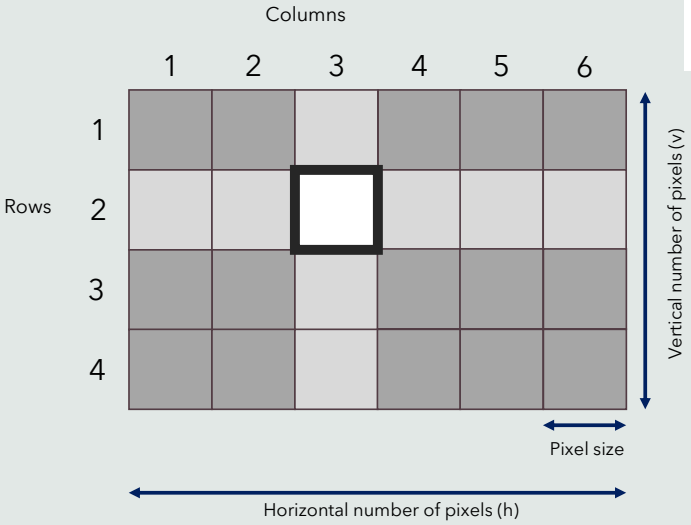


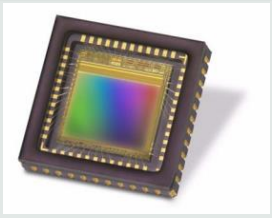
Dong, Jing-Tao & lu, rs & Shi, Yan-Qiong & Xia, Rui-Xue & Li, Qi & Xu, Yan. (2011). Optical design of color light-emitting diode ring light for machine vision inspection. Optical Engineering - OPT ENG. 50. 10.1117/1.3567053.



Cameras and Interfaces

Camera : array of small sensors

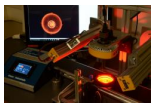




e2v sensor EV76C560ACT

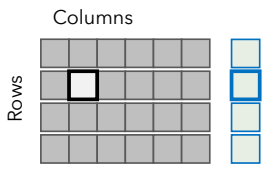
Capteur	
Type de capteur	CMOS Couleur
Mode d'obturateur	Global / Rolling / Global Start
Caractéristique du capteur	Linéaire
Méthode de lecture du capteur	Progressive scan
Classe de pixels	1,3 MP
Résolution	1,31 Mpx
Résolution (h x v)	1280 x 1024 Pixel
Rapport hauteur/largeur	5:4
CAN	10 bit
Profondeur des couleurs (caméra)	8 bit
Classe de capteur optique	1/1,8""
Surface optique	6,784 mm x 5,427 mm)
Diagonale du capteur optique	8,69 mm (1/1,84")
Taille de pixel	5,3 µm
Fabricant	e2v
Désignation du capteur	EV76C560ACT
Amplification (complet/RVB)	4x/4x

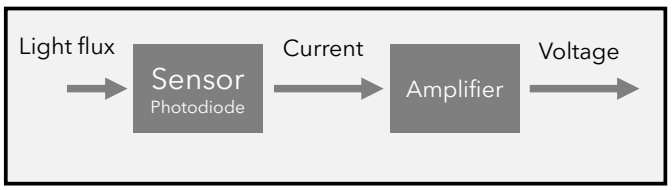
Resolution
Size / Form factor



Cameras and Interfaces

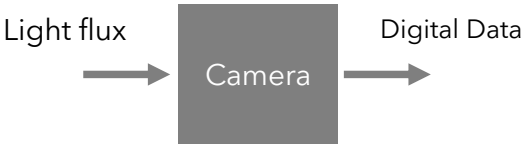
From analog signal to digital data

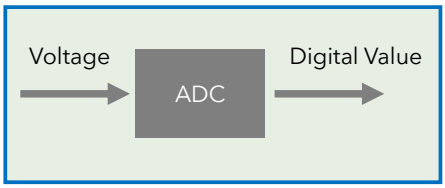


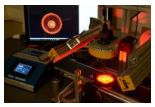


Digital Camera

Device that transforms an array of **light flux sensors** into **digital data** called pixels

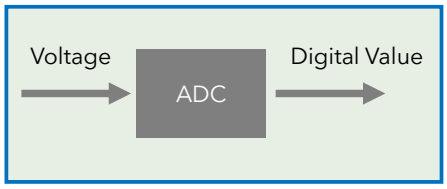


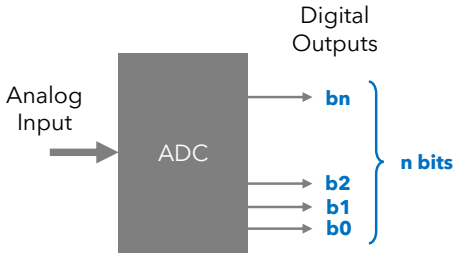




Cameras and Interfaces

How an Analog to Digital Converter works ?



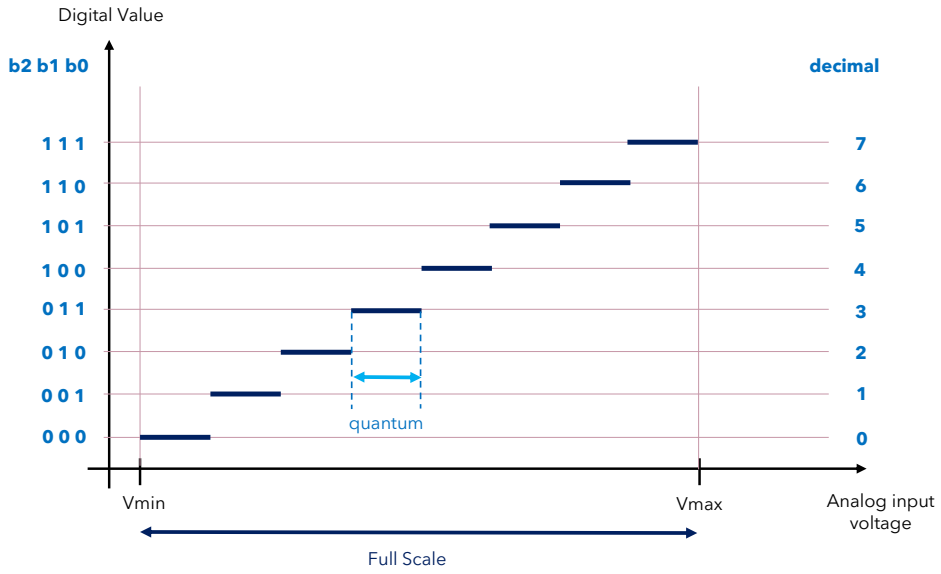


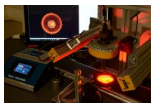
Each bit can have one of two values: **0** or **1**.

The **number of different values** that can be represented by **n bits** is **2^n**.

Example for n = 3 bits

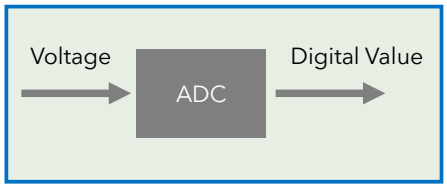
Quantification

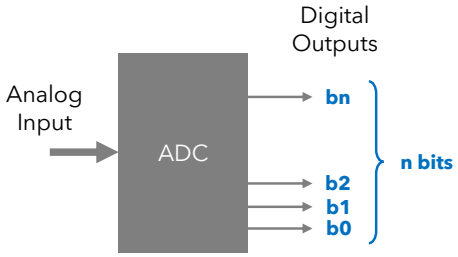




Cameras and Interfaces

How an Analog to Digital Converter works ?

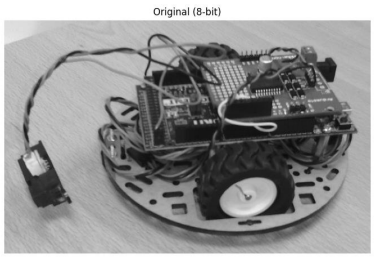


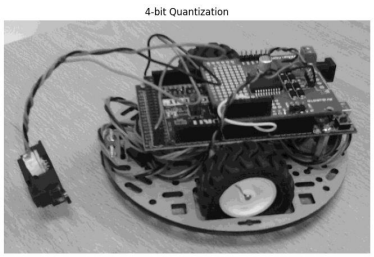


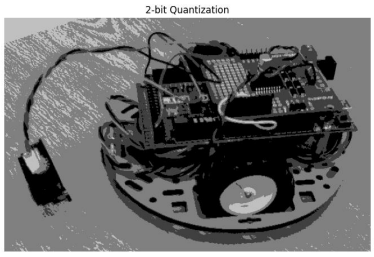
Each bit can have one of two values: **0** or **1**.

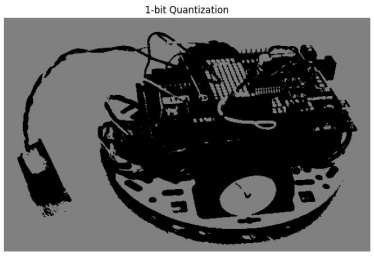
The **number of different values** that can be represented by **n bits** is **2^n**.

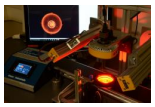
Quantification





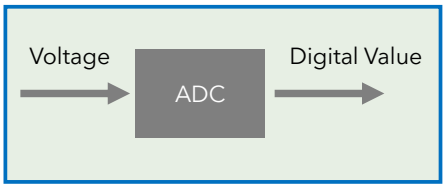






Cameras and Interfaces

Sampling and quantification of an image



Sampling

Barcode to decode

Area of sampling

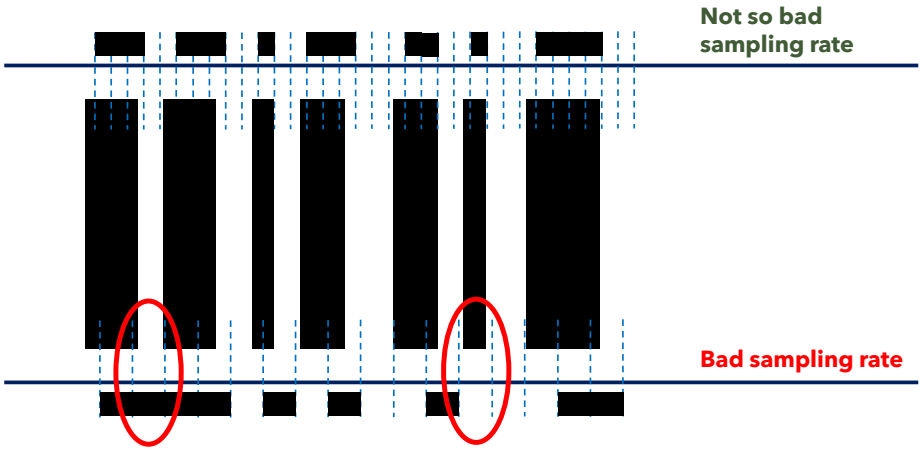
https://barcode-coder.com/fr/specification-ean-13-102.html

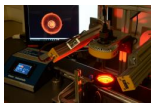
Sampling theorem

Nyquist–Shannon sampling theorem

The sampling frequency must be equal to or **greater than twice** the frequency associated with the finest detail in the image (edges).

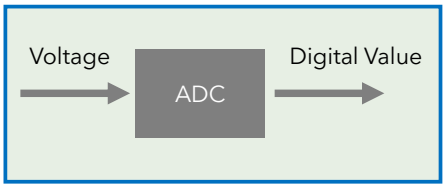
*With a grid spacing of **d** , a periodic component with a period higher than **2.d** can be reconstructed.*



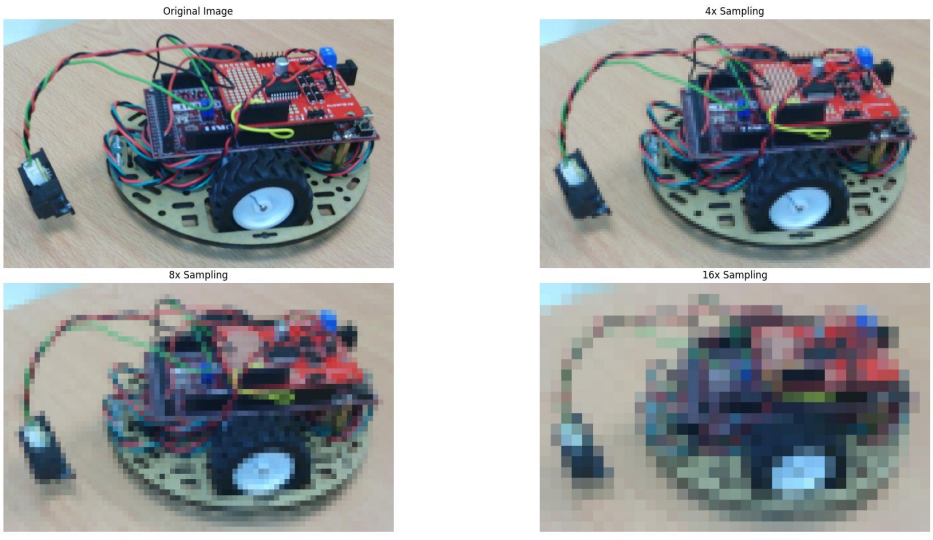


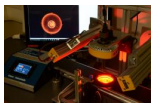
Cameras and Interfaces

Sampling and quantification of an image



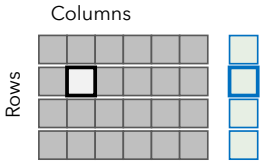
Sampling

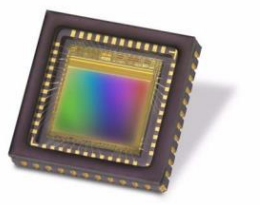




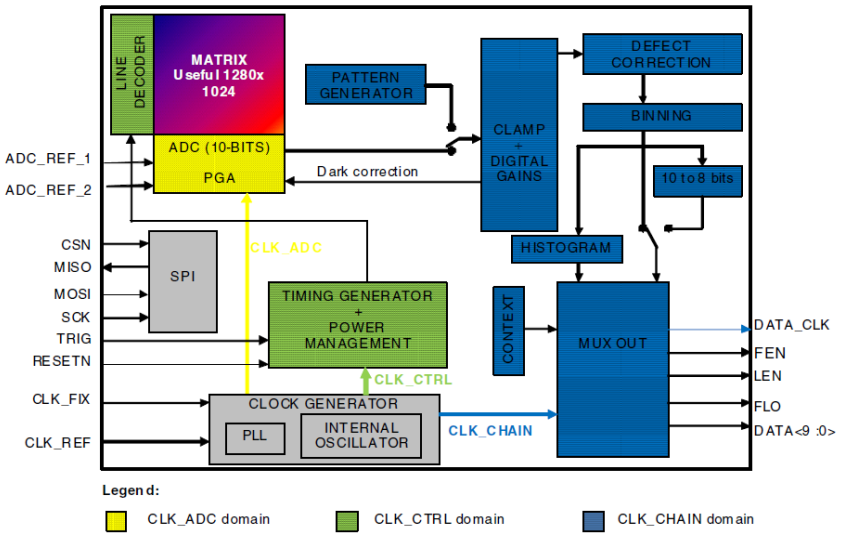
Cameras and Interfaces

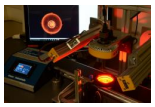
Inside a real camera





e2v sensor EV76C560ACT





Cameras and Interfaces

Frame rate

Each image has a total amount of binary data :

Nb of data (bits) = **Nb of pixels** x **n**

The amount of data per second :

Nb of data per s (bits/s) = **Nb of data** (bits) x **FPS**

Example for a 4k camera in 12 bits @ 30 fps :

Nb of data (bits) = **3840** x **2160** x **12** = **99 532 800** bits

Nb of data per s (bits/s) = **99 532 800** x **30** = **2,9 billions of bits / s** = **2,78 Gbit/s**

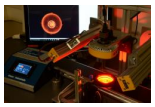
In 2024, the transfer rate of a home router (optical fiber) is theoretically 8 Gbit/s (Free telecom - France)

Frame rate

Number of individual frames captured **per second** by a device

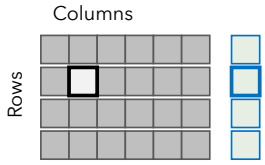
Expressed in frames per second (fps)

Higher framerates result in smoother motion in video footage



Cameras and Interfaces

Black level : an offset to compensate electronic defaults

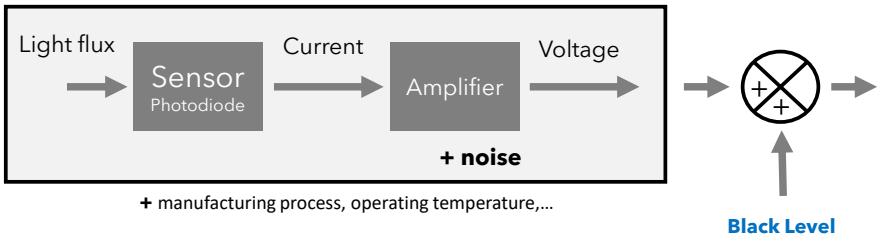


Dark Current

Response of the sensor to **complete darkness**

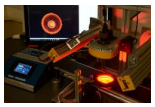
Black Level

Change the **overall brightness** of an image.



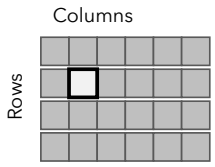
*Adjusting the camera's black level will result in **an offset to the pixel's gray values** output by the camera.*

Due to ***various physical and electronic factors***, the sensor's output is never zero, even in the complete absence of light



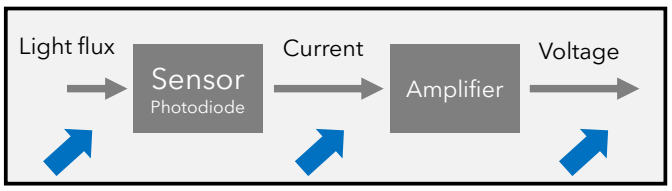
Cameras and Interfaces

Exposure time and linearity

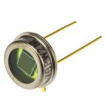


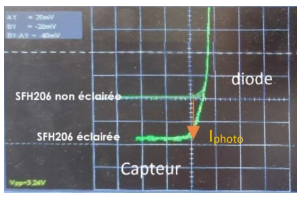
Exposure Time

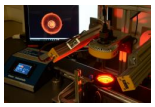
Duration for which the **camera's sensor is exposed to light**, when capturing an image.



This parameter determines the amount of light collected.



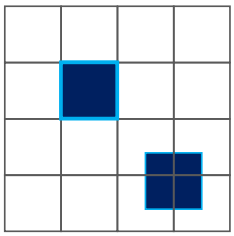




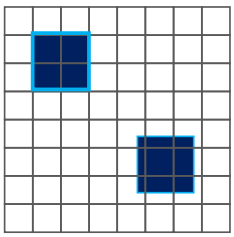
Cameras and Interfaces

Spatial resolution

Small object to detect



$$P = d$$



Security factor S

$$P = \frac{d}{S}$$

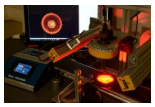
Spatial resolution / P

Distance observed by a single pixel in a given direction

This security factor is due to the Nyquist-Shanon theorem.

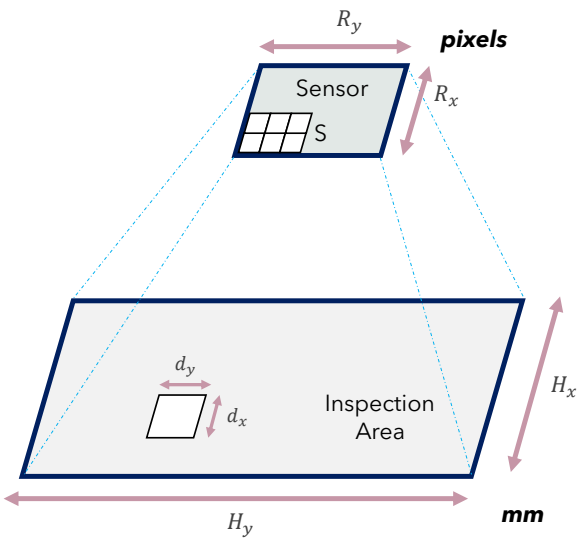
And S >= 2

To verify is the spatial resolution is good enough, ***calibration target*** *can be used. (Foucault)*



Cameras and Interfaces

Resolution of the sensor



Spatial resolution / P

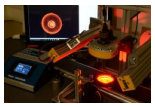
Distance observed by a single pixel in a given direction

$$P = \frac{d}{S}$$

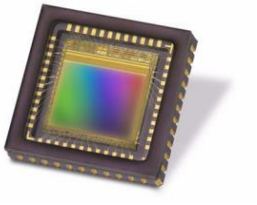
Sensor resolution (pixels)

$$R = \frac{H}{P} = \frac{S \times H}{d}$$

H (mm) → R (px)
d (mm) → S (px)
P (mm) → 1 (px)



Camera : Bayer filter for color sensor



e2v sensor EV76C560ACT