



Traitement d'Image avec OpenCV

Aperçu sur les fonctions de la librairie

Séminaire Captronic 28/06/2018

Julien Arzi (julien.arzi@tsdconseil.fr)

Plan

- 1 Représentation des images
 - Espaces de couleur classiques
 - Algorithmes de détection simple
- 2 Filtrage
 - Filtrage non linéaire (médian, bilatéral)
 - Filtrage directif
 - Traitements dans le domaine fréquentiel
- 3 Reconnaissance de formes simples
 - Canny
 - Transformée de Hough
- 4 Segmentation d'image
 - Seuillage
- Ligne de partage des eaux
- Superpixels
- Applications : recherche de zones d'intérêt
- 5 Reconnaissance d'objets
 - Détection d'objets génériques
 - Détection de points d'intérêts
- 6 Traitements vidéo
 - Calcul de flux optique
- 7 Vision 3d
- 8 Autres fonctions
- 9 Formations

TSD : Conseil en Traitement du Signal Digital

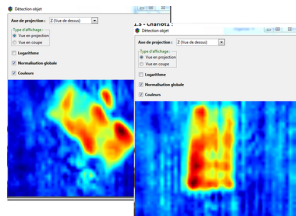
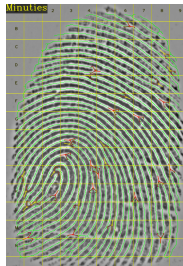
Accompagnement et formation

● Traitement d'image :

- ▶ Identification à partir des empreintes digitales,
- ▶ Contrôle d'accès (codes à bulles),
- ▶ Comptage de véhicules,
- ▶ Calibration automatique de projecteur.

● Radio logicielle :

- ▶ Modulateurs / démodulateurs embarqués sur DSP (DMR),
- ▶ SDR (*Software Defined Radio*) : traitement radio sur PC.
Réseau SIGFOX (carte son), comms. satellite (USRP)
- ▶ Radar SAR : reconstitution 3D à partir d'un réseau d'antennes.



OpenCV : généralités

- OpenCV = **Open Computer Vision**
- Projet initié par **INTEL** (Intel Russia / Nizhny Novgorod) en 1999
- Logiciel libre (BSD)
- Primitives très optimisées
- Cœur en **C/C++**
- Langages (Python, JAVA, etc).
- **Portabilité**

Plan

- 1 Représentation des images
 - Espaces de couleur classiques
 - Algorithmes de détection simple
- 2 Filtrage
 - Filtrage non linéaire (médian, bilatéral)
 - Filtrage directif
 - Traitements dans le domaine fréquentiel
- 3 Reconnaissance de formes simples
 - Canny
 - Transformée de Hough
- 4 Segmentation d'image
 - Seuillage
- Ligne de partage des eaux
- Superpixels
- Applications : recherche de zones d'intérêt
- 5 Reconnaissance d'objets
 - Détection d'objets génériques
 - Détection de points d'intérêts
- 6 Traitements vidéo
 - Calcul de flux optique
- 7 Vision 3d
- 8 Autres fonctions
- 9 Formations

Représentation des images

Espaces de couleur classiques (1)

- Une image = tableau 2D (« matrice »), mono ou multicanaux, entier, flottant, etc.
- **Niveaux de gris**
- **Rouge / Vert / Bleu** (RVB / RGB) : modèle additif (format natif des écrans, capteurs CMOS / CCD, ...)
- **YCbCr/YUV** : Y = luminance ($Y \sim 0.3R + 0.6V + 0.1B$), C_b , C_r = deux canaux pour la chrominance ($C_b \sim B - Y$, $C_r \sim R - Y$). Exemple : formats JPEG, MJPEG, NV12, NTSC, PAL, etc.



$Y = 0$



$Y = 0.5$

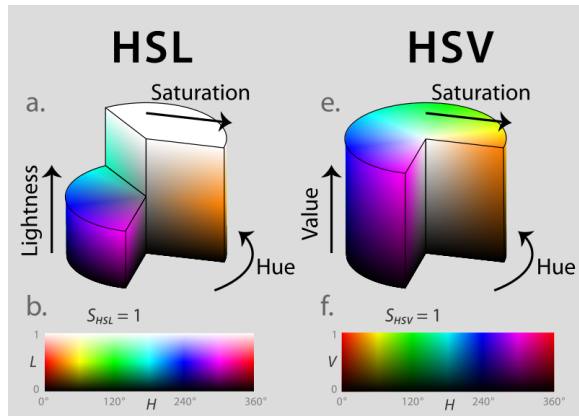


$Y = 1.0$

Représentation des images

Espaces de couleur classiques (2)

- **TSV / HSV** (Teinte, Saturation / chrominance, Valeur)
- **TSL / HLS** (Teinte, Saturation / chrominance, Luminance)
- Intérêt : un seul paramètre pour la teinte (couleur)
- Saturation : pureté de la teinte (saturation = 0 \Rightarrow gris)

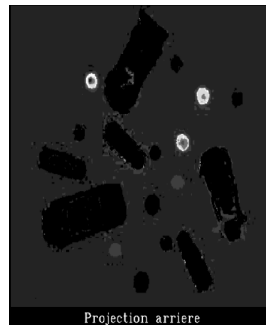
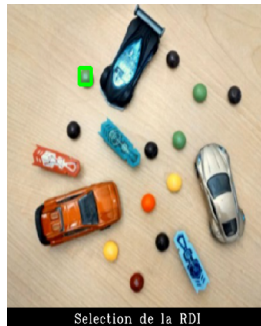


(image wikipédia)

Algorithmes de détection simple

Détection par colorimétrie

- Détection par **seuillage** (teinte, saturation, luminosité, etc.)
- **Projection arrière d'histogramme**
- **Distance de Mahalanobis**

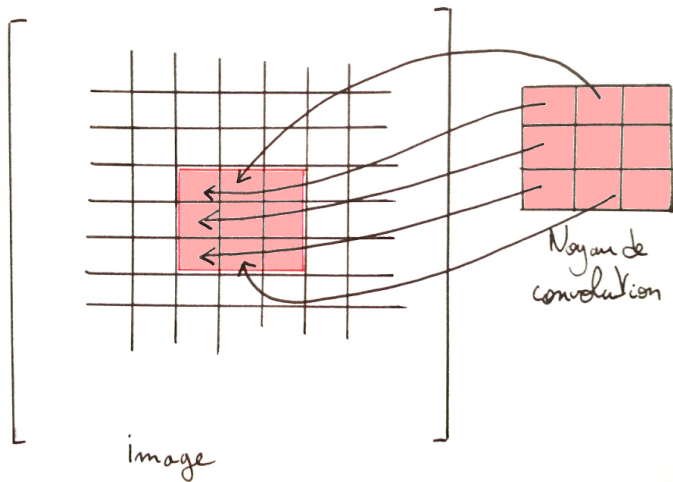


Plan

- 1 Représentation des images
 - Espaces de couleur classiques
 - Algorithmes de détection simple
- 2 Filtrage
 - Filtrage non linéaire (médian, bilatéral)
 - Filtrage directif
 - Traitements dans le domaine fréquentiel
- 3 Reconnaissance de formes simples
 - Canny
 - Transformée de Hough
- 4 Segmentation d'image
 - Seuillage
- Ligne de partage des eaux
- Superpixels
- Applications : recherche de zones d'intérêt
- 5 Reconnaissance d'objets
 - Détection d'objets génériques
 - Détection de points d'intérêts
- 6 Traitements vidéo
 - Calcul de flux optique
- 7 Vision 3d
- 8 Autres fonctions
- 9 Formations

Filtrage

Filtrage linéaire FIR (produit de convolution)



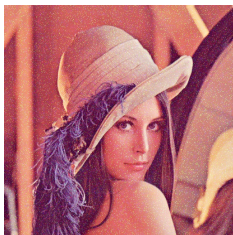
Filtrage

Exemples de filtres linéaires

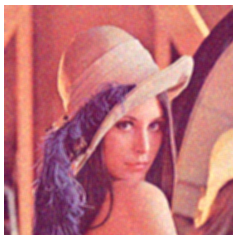
- Filtre à **moyenne glissante** : $K = \frac{1}{9} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

- Filtre **gaussien** :

$$K(x, y) = k \cdot e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$



Bruitée



Glissante

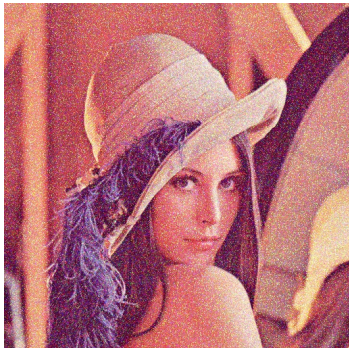


Gaussien

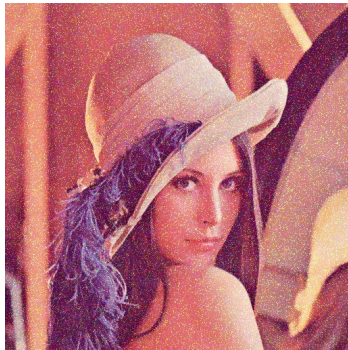
Filtrage

Filtrage non linéaire

- Filtre Médian (pixels bruités isolés)
- Filtre bilatéral

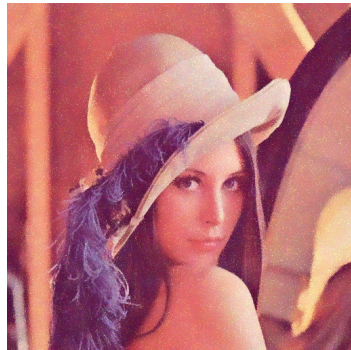


Bruitée



Bilatéral

$$\sigma_{col} = 20, \sigma_{espace} = 40$$



Bilatéral

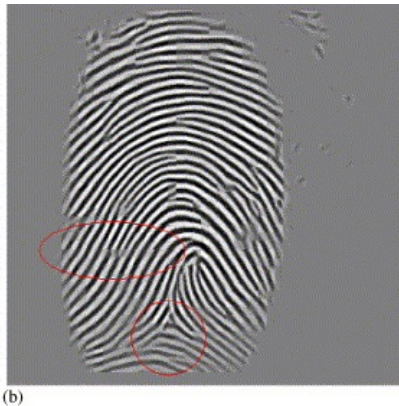
$$\sigma_{col} = 50, \sigma_{espace} = 100$$

Filtrage

Filtrage directif (Gabor)

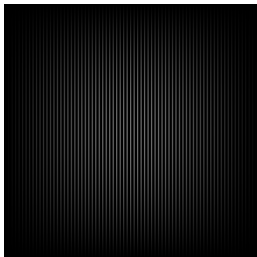
Exemples d'applications :

- Génération de **descripteurs** (reconnaissance de visages, ...)
- **Filtrage adaptatif et directionnel** par zones

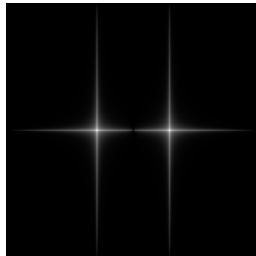


Traitements dans le domaine fréquentiel

- **Transformée de Fourier discrète 2D**
- Entrée : image, sortie image, dans le domaine fréquentiel



Entrée



Mag TFD

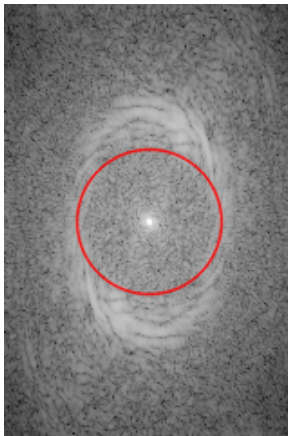
- **Quelques applications :**
 - ▶ Filtrage rapide,
 - ▶ Détection de période,
 - ▶ Détection de translation / rotation / échelle,
 - ▶ Suppression de bruits périodiques,
 - ▶ etc.

Traitements dans le domaine fréquentiel

Exemple : détection de période



Entrée

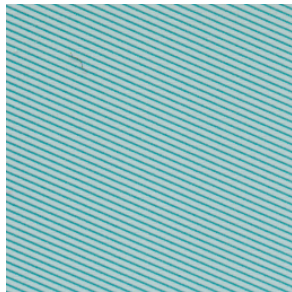


Mag TFD

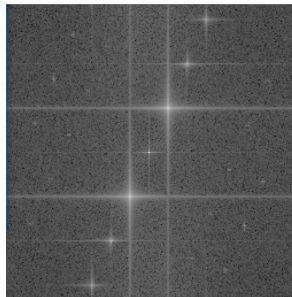
Traitements dans le domaine fréquentiel

Exemple : soustraction spectrale

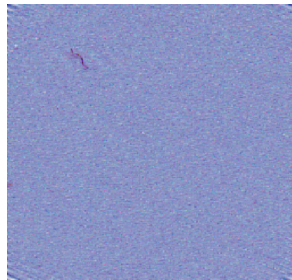
- Objectif : suppression des motifs périodiques dans une image
- Approche simple : annulation des pics dans le domaine fréquentiel



Image



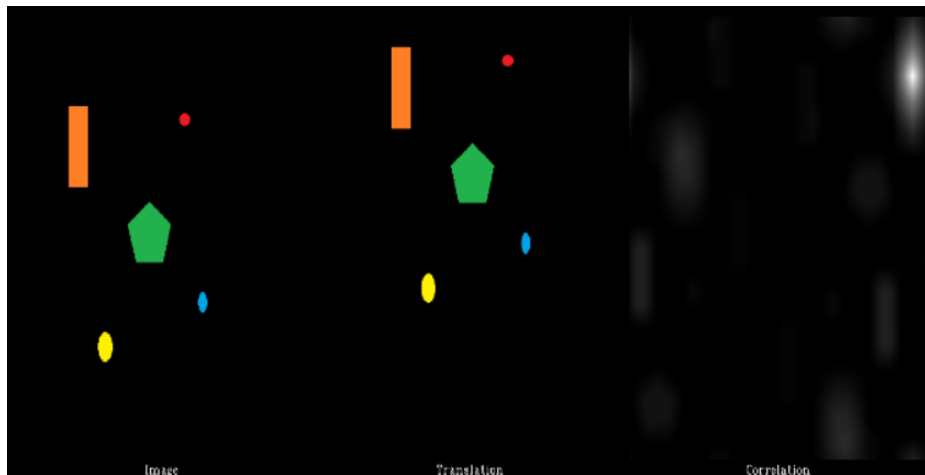
TFD



Suppression des pics

Traitements dans le domaine fréquentiel

Exemple : détection de translation



Plan

- 1 Représentation des images
 - Espaces de couleur classiques
 - Algorithmes de détection simple
- 2 Filtrage
 - Filtrage non linéaire (médian, bilatéral)
 - Filtrage directif
 - Traitements dans le domaine fréquentiel
- 3 **Reconnaissance de formes simples**
 - Canny
 - Transformée de Hough
- 4 Segmentation d'image
 - Seuillage
- Ligne de partage des eaux
- Superpixels
- Applications : recherche de zones d'intérêt
- 5 Reconnaissance d'objets
 - Détection d'objets génériques
 - Détection de points d'intérêts
- 6 Traitements vidéo
 - Calcul de flux optique
- 7 Vision 3d
- 8 Autres fonctions
- 9 Formations

Reconnaissance de formes simples

Calcul du gradient

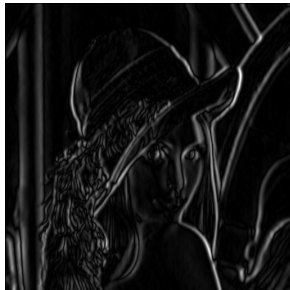
- **Objectif** : sur une image I en niveaux de gris, estimer :

$$\nabla I = \left(\frac{dI}{dx}, \frac{dI}{dy} \right)$$

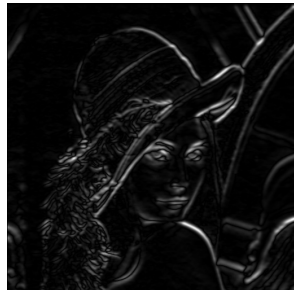
- **Applications** : extraction de contour, segmentation, incrustation d'images, flux optique, transformée de Hough, ...



Niveaux de gris



Gradient horizontal



Gradient vertical

Reconnaissance de formes simples

Algorithme de Canny

Étapes :

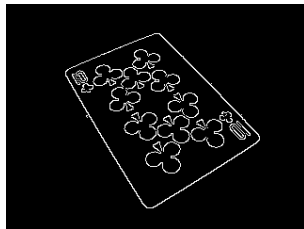
- ➊ Réduction du bruit (noyau gaussien)
- ➋ Calcul du gradient (masque de Sobel)
- ➌ Suppression des non-maxima (suivant la direction du gradient)
- ➍ Hystérésis (seuillage, 2 paramètres à spécifier)



Image d'entrée



Gradient

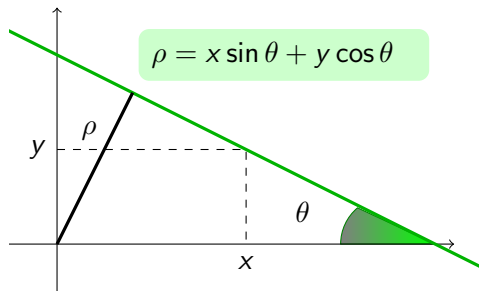


Canny

Transformée de Hough

Principe

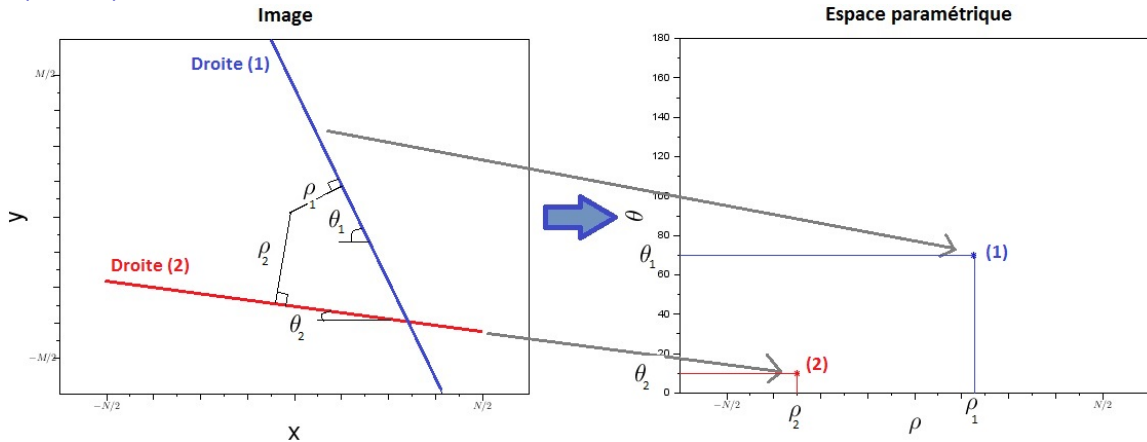
- Objectif : détection des lignes droites
- Représentation polaire d'une droite : (ρ, θ)



- Transformée de Hough = image / plan cartésien $(x, y) \mapsto$ espace paramétrique (ρ, θ)

Transformée de Hough

Espace de paramètre



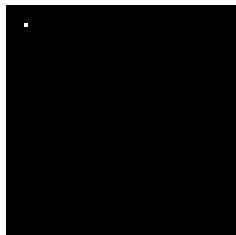
$$\rho = x \sin \theta + y \cos \theta$$

Transformée de Hough

Algorithme basé sur la détection des contours

Algorithme

- 1 Calcul du gradient
- 2 Extraction des contours
- 3 Mise à zéro d'un accumulateur dans l'espace de paramètre : $\forall \rho, \theta, A(\rho, \theta) = 0$
- 4 Pour tous les points appartenant au contour, on ajoute un vote pour toutes les droites possibles passant par ce point : $\forall (x, y) \in \text{contour}, \forall \theta, A(x \sin \theta + y \cos \theta, \theta)++$

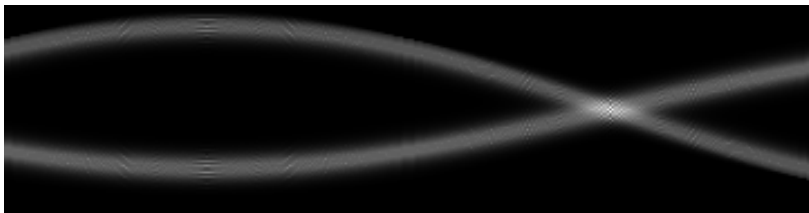
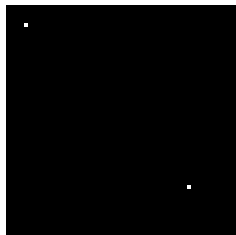


Transformée de Hough

Algorithme basé sur la détection des contours

Algorithme

- 1 Calcul du gradient
- 2 Extraction des contours
- 3 Mise à zéro d'un accumulateur dans l'espace de paramètre : $\forall \rho, \theta, A(\rho, \theta) = 0$
- 4 Pour tous les points appartenant au contour, on ajoute un vote pour toutes les droites possibles passant par ce point : $\forall (x, y) \in \text{contour}, \forall \theta, A(x \sin \theta + y \cos \theta, \theta)++$

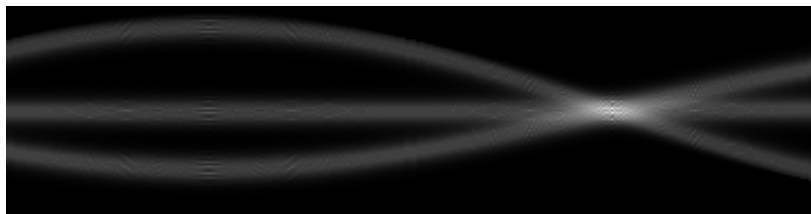
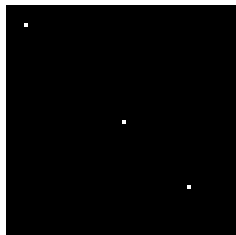


Transformée de Hough

Algorithme basé sur la détection des contours

Algorithme

- 1 Calcul du gradient
- 2 Extraction des contours
- 3 Mise à zéro d'un accumulateur dans l'espace de paramètre : $\forall \rho, \theta, A(\rho, \theta) = 0$
- 4 Pour tous les points appartenant au contour, on ajoute un vote pour toutes les droites possibles passant par ce point : $\forall (x, y) \in \text{contour}, \forall \theta, A(x \sin \theta + y \cos \theta, \theta)++$

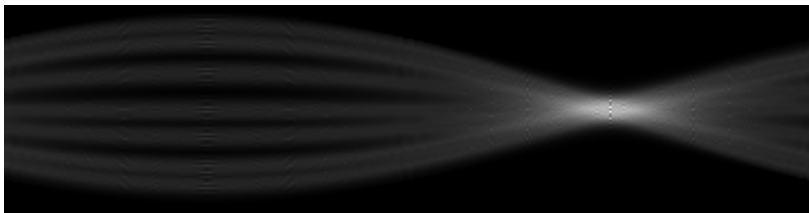


Transformée de Hough

Algorithme basé sur la détection des contours

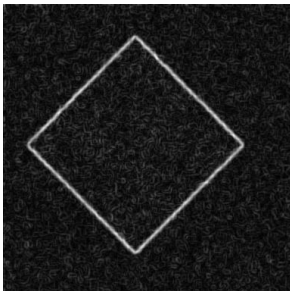
Algorithme

- 1 Calcul du gradient
- 2 Extraction des contours
- 3 Mise à zéro d'un accumulateur dans l'espace de paramètre : $\forall \rho, \theta, A(\rho, \theta) = 0$
- 4 Pour tous les points appartenant au contour, on ajoute un vote pour toutes les droites possibles passant par ce point : $\forall (x, y) \in \text{contour}, \forall \theta, A(x \sin \theta + y \cos \theta, \theta)++$

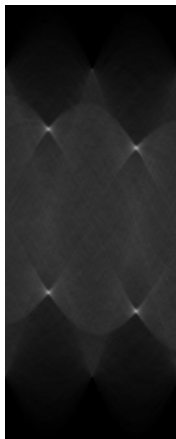


Transformée de Hough

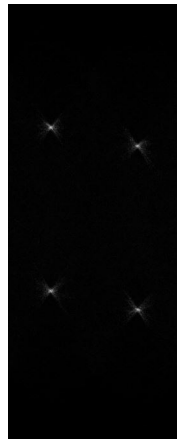
Exemple simple



Gradient



Transformée de Hough
/ contours



Transformée de Hough
/ gradient

Transformée de Hough

Adaptation pour la recherche de formes circulaires

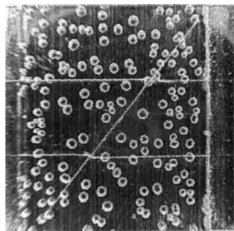
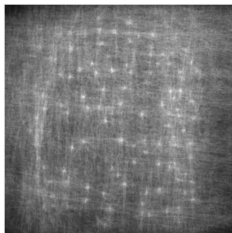
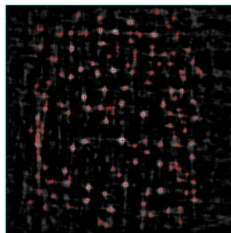


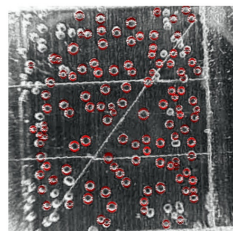
Image d'origine



Accumulation des
rayons



Filtrage
passe-bande



Identification des
cercles

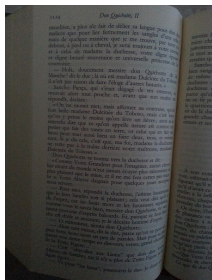
Plan

- 1 Représentation des images
 - Espaces de couleur classiques
 - Algorithmes de détection simple
- 2 Filtrage
 - Filtrage non linéaire (médian, bilatéral)
 - Filtrage directif
 - Traitements dans le domaine fréquentiel
- 3 Reconnaissance de formes simples
 - Canny
 - Transformée de Hough
- 4 Segmentation d'image
 - Seuillage
 - Ligne de partage des eaux
 - Superpixels
 - Applications : recherche de zones d'intérêt
- 5 Reconnaissance d'objets
 - Détection d'objets génériques
 - Détection de points d'intérêts
- 6 Traitements vidéo
 - Calcul de flux optique
- 7 Vision 3d
- 8 Autres fonctions
- 9 Formations

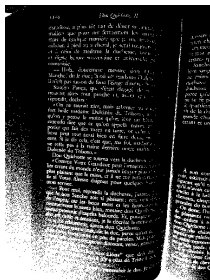
Segmentation d'image

Seuillage

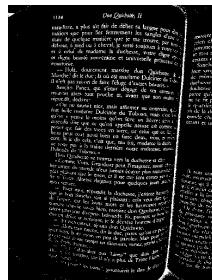
- **Principe** : image en niveaux de gris → image binaire
- Problème : **choix du seuil**.



Image



Seuillage fixe



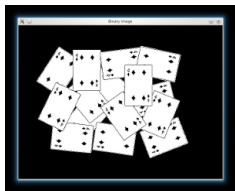
Seuillage adaptatif

- Solutions :
 - ▶ Seuil automatique (fixe) : **Otsu**
 - ▶ **Seuillage adaptatif**

Segmentation d'image

Ligne de partage des eaux

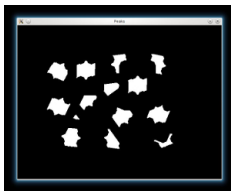
- « *Watershed* »
- Nécessite des points de départ (« graines »), puis remplissage
- Pour trouver les points de départ : **transformée de distance**



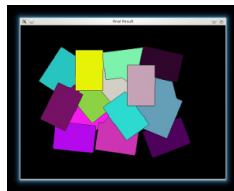
Image



Transformée de
distance



Seuillage

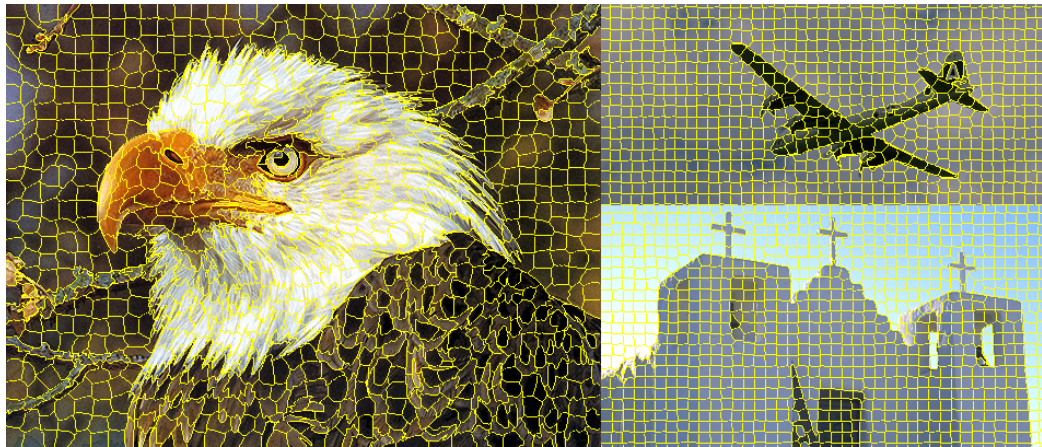


Segmentation

Segmentation d'image

Superpixels

- Graines uniformément réparties
- 1 **super-pixel** = zone \sim uniforme

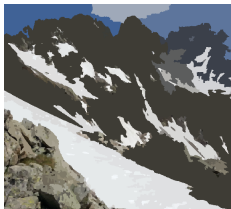


Segmentation hiérarchique

Exemple



Niveau 1 (racine)



Niveau 30 (~ 2500 segments)



Niveau 51 (~ 8700 segments)



Niveau 91 (~ 18000 segments)

Segmentation d'image

Applications : recherche de zones d'intérêt



1 - Image initiale (~ 900 KPixels)



3 - Zones d'intérêts (~ 10 zones)



2 - Segmentation (~ 14 KSegments)



4 - Identification

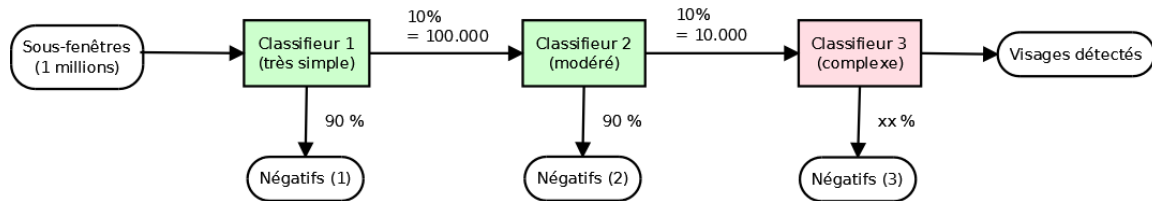
Plan

- 1 Représentation des images
 - Espaces de couleur classiques
 - Algorithmes de détection simple
- 2 Filtrage
 - Filtrage non linéaire (médian, bilatéral)
 - Filtrage directif
 - Traitements dans le domaine fréquentiel
- 3 Reconnaissance de formes simples
 - Canny
 - Transformée de Hough
- 4 Segmentation d'image
 - Seuillage
 - Ligne de partage des eaux
 - Superpixels
 - Applications : recherche de zones d'intérêt
- 5 Reconnaissance d'objets
 - Détection d'objets génériques
 - Détection de points d'intérêts
- 6 Traitements vidéo
 - Calcul de flux optique
- 7 Vision 3d
- 8 Autres fonctions
- 9 Formations

Détection d'objets génériques

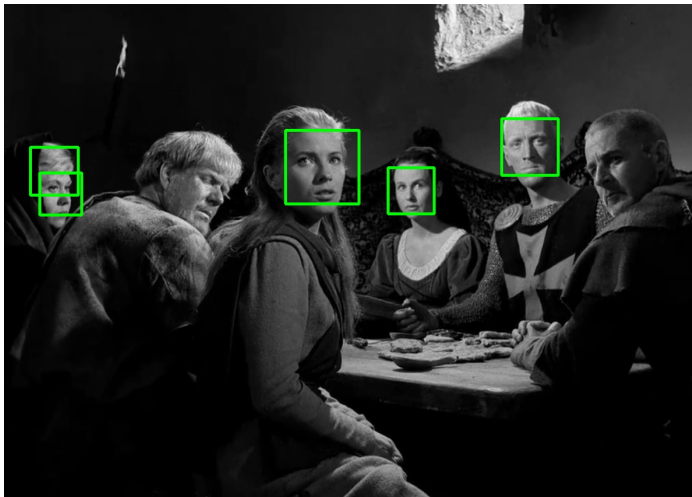
Principe général

- On suppose que la taille de l'objet à détecter est connue
- Alors on va tester toutes zones d'intérêt possibles dans l'image
- Mais : le nombre de zones possibles est très important
⇒ Besoin d'éliminer très rapidement les zones qui ne présentent pas d'intérêt
- C'est le principe d'un détecteur en cascade :



Détecteurs en cascade

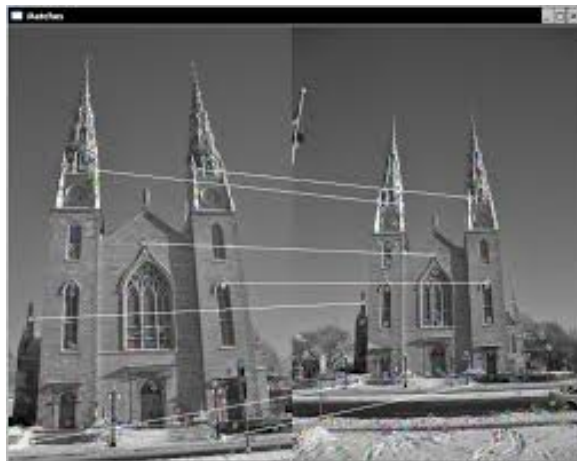
Exemple



Mise en correspondance de points d'intérêt

Applications

- Reconnaissance d'une image / objet d'après une base de données (FLANN)
- Suivi d'objets en mouvement
- Réalisation de panoramas
- Estimation d'homographies
- Vision stéréo
- etc.



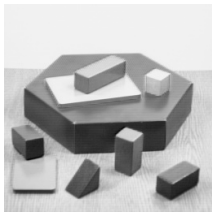
Mise en correspondance de points d'intérêts

- ① **Localiser des points d'intérêt :**
 - ▶ En nombre limité
 - ▶ Stabilité, répétabilité
- ② Pour chaque point d'intérêt, **calculer des traits**
- ③ **Faire correspondre des points d'intérêt** sur 2 images

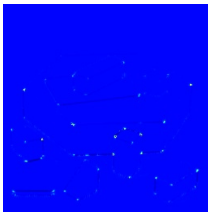


Détection de points d'intérêts

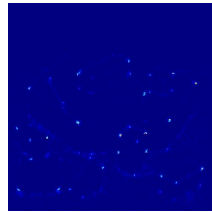
Détecteurs de Harris / Shi-Tomasi



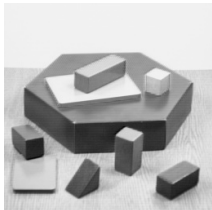
Image



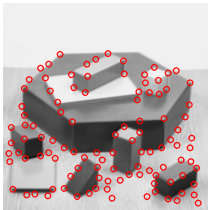
Harris



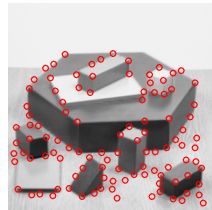
$\min(\lambda)$



Image



GFTT (Harris)

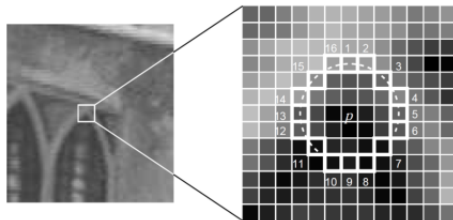


GFTT ($\min(\lambda)$)

Détection de points d'intérêts

Autres détecteurs

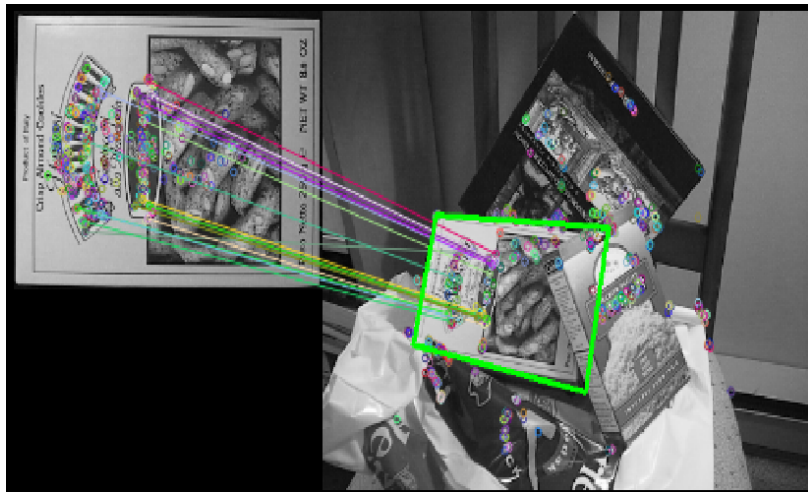
- **FAST** (2006) : Un cercle autour de chaque pixel. Au moins n pixels dans le cercle bien supérieurs (ou bien inférieurs) au pixel central.



- **ORB** (2011) : Calcul sur une pyramide. Tri des points FAST (FAST-9) d'après le score de Harris et sélection des N meilleurs coins. Mesure de l'orientation.
- **BRISK** (2011) : Fondé sur FAST avec une pyramide (4 images / octave) et interpolation quadratique. Calcul d'orientation.

Mise en correspondance

Exemple (avec descripteurs ORB)



Plan

- 1 Représentation des images
 - Espaces de couleur classiques
 - Algorithmes de détection simple
- 2 Filtrage
 - Filtrage non linéaire (médian, bilatéral)
 - Filtrage directif
 - Traitements dans le domaine fréquentiel
- 3 Reconnaissance de formes simples
 - Canny
 - Transformée de Hough
- 4 Segmentation d'image
 - Seuillage
- Ligne de partage des eaux
- Superpixels
- Applications : recherche de zones d'intérêt
- 5 Reconnaissance d'objets
 - Détection d'objets génériques
 - Détection de points d'intérêts
- 6 **Traitements vidéo**
 - **Calcul de flux optique**
- 7 Vision 3d
- 8 Autres fonctions
- 9 Formations

Détection d'arrière-plan

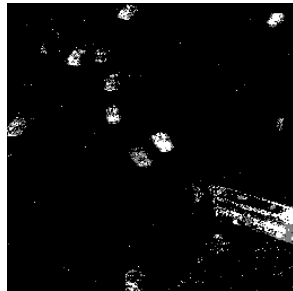
Exemple (mélange de gaussiennes)



Vidéo



Arrière-plan



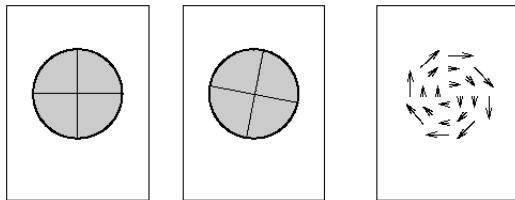
Avant-plan

Calcul de flux optique

Principe

- Flux optique = vitesse de chaque pixel sur une séquence vidéo :

$$\phi(t) = \left(\phi_x(t) \quad \phi_y(t) \right) = \left(\frac{dx}{dt} \quad \frac{dy}{dt} \right)$$



- Méthodes creuses** (Lucas-Kanade) : le flux optique est calculé seulement au niveau de points d'intérêts
- Méthodes denses** (Farnebäck, TV L1, SimpleFlow) : sur toute l'image

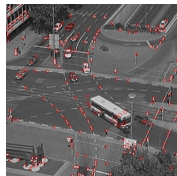
Calcul de flux optique

Exemples

- Flux optique creux :



Vidéo



Points d'intérêt

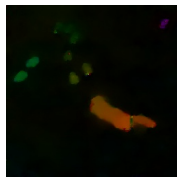


Flux optique

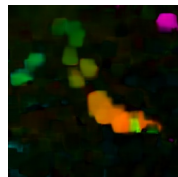
- Flux optique dense :



Vidéo



TV-L1



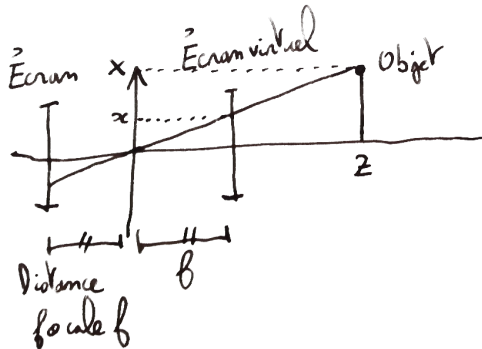
Farnebäck

Plan

- 1 Représentation des images
 - Espaces de couleur classiques
 - Algorithmes de détection simple
- 2 Filtrage
 - Filtrage non linéaire (médian, bilatéral)
 - Filtrage directif
 - Traitements dans le domaine fréquentiel
- 3 Reconnaissance de formes simples
 - Canny
 - Transformée de Hough
- 4 Segmentation d'image
 - Seuillage
- Ligne de partage des eaux
- Superpixels
- Applications : recherche de zones d'intérêt
- 5 Reconnaissance d'objets
 - Détection d'objets génériques
 - Détection de points d'intérêts
- 6 Traitements vidéo
 - Calcul de flux optique
- 7 **Vision 3d**
- 8 Autres fonctions
- 9 Formations

Modèles de caméra

Sténopé : projection de perspective (modèle simplifié)



$$\frac{b}{Z} = \frac{x}{X} \Rightarrow x = \frac{Xb}{Z}$$

Plus généralement : $x = \frac{f_x X}{Z} + u_0$, $y = \frac{f_y Y}{Z} + v_0$

Et **modèle de scène** :
$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} + t$$

Modèle de caméra

Modélisation des distorsions

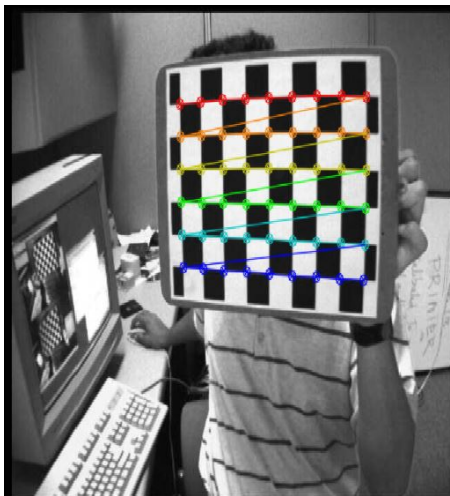
- Les lentilles ne sont pas parfaitement paraboliques (effet « *fisheye* »)



- **Indépendant de la scène** \Rightarrow correction possible après calibration

Calibration automatique

Exemple : correction de distorsion



Detection des coins



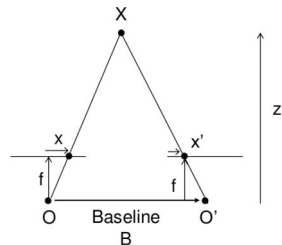
Distorsion corrigée

Vision stéréo

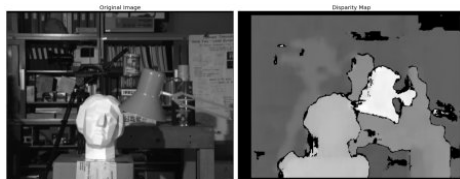
Estimation de la distance des objets

- Supposons que les caméras soient *parfaitement alignées verticalement* et *regardant dans la même direction*
- Alors la projection d'un point 3D sur les 2 caméras diffère uniquement en x , et :

$$x - x' = \frac{Bf}{Z}$$



(source : manuel OpenCV)



Plan

- 1 Représentation des images
 - Espaces de couleur classiques
 - Algorithmes de détection simple
- 2 Filtrage
 - Filtrage non linéaire (médian, bilatéral)
 - Filtrage directif
 - Traitements dans le domaine fréquentiel
- 3 Reconnaissance de formes simples
 - Canny
 - Transformée de Hough
- 4 Segmentation d'image
 - Seuillage
- Ligne de partage des eaux
- Superpixels
- Applications : recherche de zones d'intérêt
- 5 Reconnaissance d'objets
 - Détection d'objets génériques
 - Détection de points d'intérêts
- 6 Traitements vidéo
 - Calcul de flux optique
- 7 Vision 3d
- 8 Autres fonctions**
- 9 Formations

Quelques autres fonctions

- Stabilisation vidéo
- Super-résolution



- Fonctions **d'apprentissage automatique** (KNN, SVM, Adaboost, etc.)
- *Image stitching* (panoramas)
- Module photo : débruitage, fusion HDR, etc.
- Accélérations GPU : CUDA (NVIDIA), OpenCL (portable)
- Nombreuses contributions

Plan

- 1 Représentation des images
 - Espaces de couleur classiques
 - Algorithmes de détection simple
- 2 Filtrage
 - Filtrage non linéaire (médian, bilatéral)
 - Filtrage directif
 - Traitements dans le domaine fréquentiel
- 3 Reconnaissance de formes simples
 - Canny
 - Transformée de Hough
- 4 Segmentation d'image
 - Seuillage
- Ligne de partage des eaux
- Superpixels
- Applications : recherche de zones d'intérêt
- 5 Reconnaissance d'objets
 - Détection d'objets génériques
 - Détection de points d'intérêts
- 6 Traitements vidéo
 - Calcul de flux optique
- 7 Vision 3d
- 8 Autres fonctions
- 9 Formations

OpenCV pour le traitement d'image	Traitement d'image classique (filtrage, reconnaissance de contours, de formes géométriques, etc.), reconnaissance d'objets, points d'intérêts, traitement vidéos (soustraction d'arrière-plan, flux optique), traitements 3d	3 jours
Apprentissage automatique avec OpenCV (2019)	Approche classique : calcul de traits + classifieur. Traits de Haar, HoG, LBP. Technique ACP. Exemple d'apprentissage avec KNN, SVM, ANN simples.	2 jours

Merci !