

Traitement de l'image et du signal

Partie TI

Emanuel Aldea <emanuel.aldea@u-psud.fr>
<http://hebergement.universite-paris-saclay.fr/emi/453>

Master Electronique, énergie électrique, automatique 1^{ère} année

Nécessité de l'invariance en TI

Les contours

- ▶ traitement relativement peu coûteux
- ▶ détection robuste de courbes paramétriques (Hough)

Nécessité de l'invariance en TI

Les contours

- ▶ traitement relativement peu coûteux
- ▶ détection robuste de courbes paramétriques (Hough)
- ▶ applications variées dans des environnements spécifiques :
 - ▶ détection de la route, des panneaux, du texte
 - ▶ imagerie médicale et satellitaire
 - ▶ inspection par vision industrielle

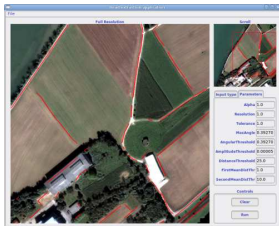
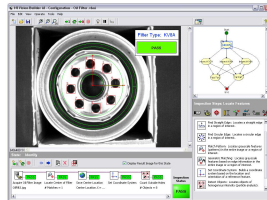


Image aérienne



Détection de voies



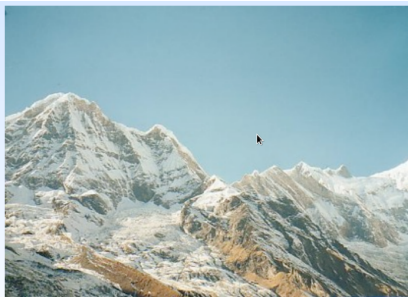
Vision industrielle

Nécessité de l'invariance en TI

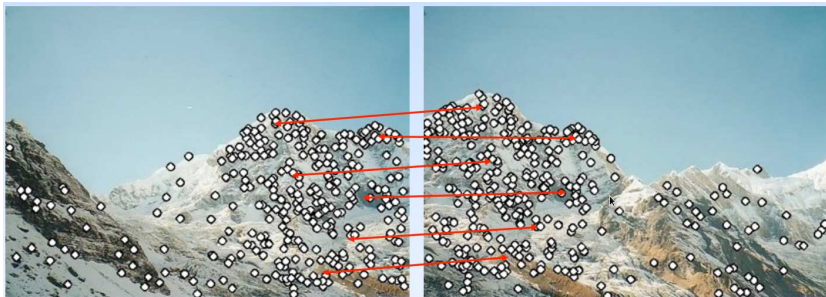
Les contours

- ▶ traitement relativement peu coûteux
- ▶ détection robuste de courbes paramétriques (Hough)
- ▶ applications variées dans des environnements spécifiques :
 - ▶ détection de la route, des panneaux, du texte
 - ▶ imagerie médicale et satellitaire
 - ▶ inspection par vision industrielle
- ✓ tâches rapides et spécialisées
- ✓ invariants aux variations d'intensité
- ✗ sensibles aux autres transformations géométriques
- ✗ problème pour la reconnaissance de formes

Motivation - images panoramiques



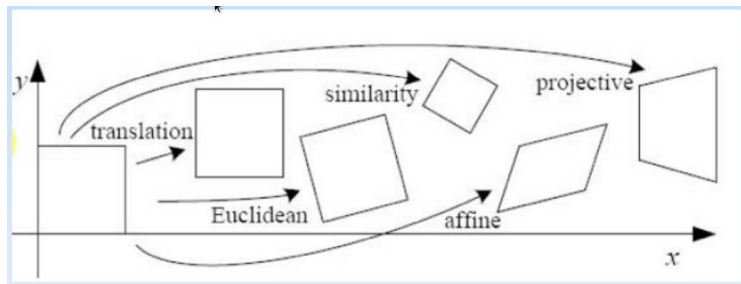
Motivation - images panoramiques



Motivation - images panoramiques



Le problème



- translation
- Euclidienne (translation + rotation)
- similarité (tr. + rot. + échelle)
- affine (rot. + échelle + shear + translation)
- projective

Nécessité de l'invariance en TI

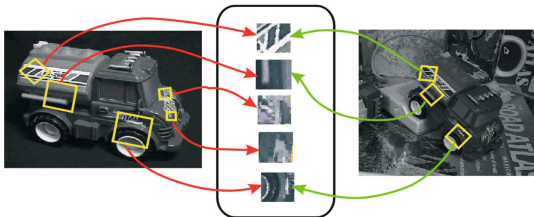
Objectif

- ▶ identifier des structures qui sont **invariantes** par rapport aux rotations, changements d'échelle, etc.
- ▶ ces structures sont appelées couramment **points d'intérêt** ou **coins**

Nécessité de l'invariance en TI

Objectif

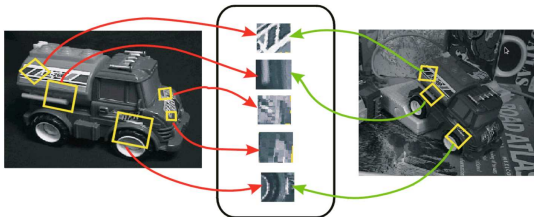
- ▶ identifier des structures qui sont **invariantes** par rapport aux rotations, changements d'échelle, etc.
- ▶ ces structures sont appelées couramment **points d'intérêt** ou **coins**



Nécessité de l'invariance en TI

Objectif

- ▶ identifier des structures qui sont **invariantes** par rapport aux rotations, changements d'échelle, etc.
- ▶ ces structures sont appelées couramment **points d'intérêt** ou **coins**



Comment faire pour :

- ▶ les identifier de manière non supervisée ?
- ▶ les associer de manière robuste ?

Détecteurs de coins : les bases

Définition

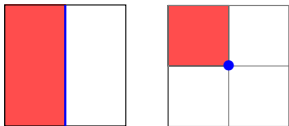
Coin : un endroit de l'image qui présente une forte variation d'intensité en deux directions différentes.



Détecteurs de coins : les bases

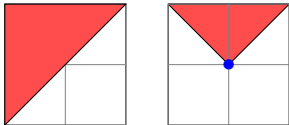
Définition

Coin : un endroit de l'image qui présente une forte variation d'intensité en deux directions différentes.



Toujours besoin de calculer les gradients locaux, mais

- pas suffisant de faire comme auparavant (dans le repère image) !



Détecteurs de coins : les bases

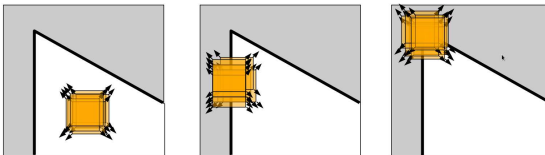
Définition

Stratégie : le contenu d'un patch centré dans le coin devrait varier dans toutes les directions

Détecteurs de coins : les bases

Définition

Stratégie : le contenu d'un patch centré dans le coin devrait varier dans toutes les directions



Comportement :

- ▶ régions homogènes : pas de changement
- ▶ contours : pas de changement le long du contour
- ▶ coins : changement important dans toutes les directions
- ▶ qualité du pixel : le plus petit changement
- ▶ introduit par Moravec en 1980
- ▶ pas isotrope : certains contours mal détectés, fausse réponse coin

Détecteurs de coins : les bases

Changement d'intensité par shift de $(\Delta x, \Delta y)$

$$E(x, y, \Delta x, \Delta y) = \sum_x \sum_y w(x, y) [I(x, y) - I(x + \Delta x, y + \Delta y)]^2$$

Détecteurs de coins : les bases

Changement d'intensité par shift de $(\Delta x, \Delta y)$

$$E(x, y, \Delta x, \Delta y) = \sum_x \sum_y w(x, y) \left[\underbrace{I(x, y)}_{\text{intensité}} - I(x + \Delta x, y + \Delta y) \right]^2$$

Détecteurs de coins : les bases

Changement d'intensité par shift de $(\Delta x, \Delta y)$

$$E(x, y, \Delta x, \Delta y) = \sum_x \sum_y w(x, y) \left[\underbrace{I(x, y)}_{\text{intensité}} - \underbrace{I(x + \Delta x, y + \Delta y)}_{\text{intensité shiftée}} \right]^2$$

Détecteurs de coins : les bases

Changement d'intensité par shift de $(\Delta x, \Delta y)$

$$E(x, y, \Delta x, \Delta y) = \sum_x \sum_y \underbrace{w(x, y)}_{\text{support}} \left[\underbrace{I(x, y)}_{\text{intensité}} - \underbrace{I(x + \Delta x, y + \Delta y)}_{\text{intensité shiftée}} \right]^2$$



FIGURE – Types de fonction support $w(x, y)$

$E(x, y)$ large indique potentiellement un coin.

Détecteurs de coins : les bases

Approximation au premier ordre du dév. en série Taylor

$$f(x + \Delta x, y + \Delta y) = f(x, y) + f_x(x, y)\Delta x + f_y(x, y)\Delta y$$

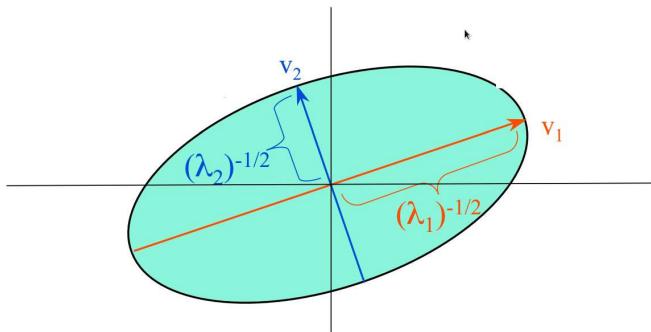
On l'utilise pour réécrire la variation d'intensité par shift :

$$\begin{aligned}\sum [I(x + \Delta x, y + \Delta y) - I(x, y)]^2 &\approx \sum [I(x, y) + \Delta x I_x(x, y) + \Delta y I_y(x, y) - I(x, y)]^2 \\ &\approx \sum \Delta x^2 I_x^2 + 2\Delta x \Delta y I_x I_y + \Delta y^2 I_y^2 \\ &\approx \sum [\Delta x \Delta y] \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \\ &\approx [\Delta x \Delta y] \left(\sum \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \\ E(x, y, \Delta x, \Delta y) &\approx [\Delta x \Delta y] \left(\sum w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \\ &\approx [\Delta x \Delta y] \underbrace{\begin{bmatrix} \langle I_x^2 \rangle & \langle I_x I_y \rangle \\ \langle I_x I_y \rangle & \langle I_y^2 \rangle \end{bmatrix}}_{\text{tenseur de structure}} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Détecteurs de coins : le tenseur de structure

Propriétés

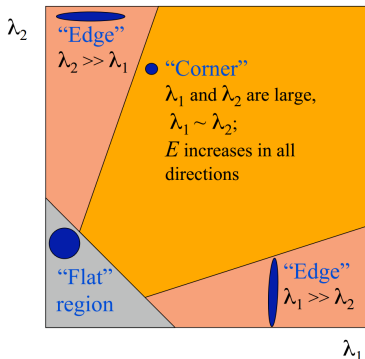
- ▶ les vecteurs propres indiquent les direction principales de variation de gradient dans le voisinage du point (voir l'ellipse du changement constant)
- ▶ ex. : si $\lambda_2 > \lambda_1$, variation forte en v_2 et plus faible en v_1
- ▶ si coin, λ_1, λ_2 sont larges



Détecteurs de coins : le tenseur de structure

Propriétés

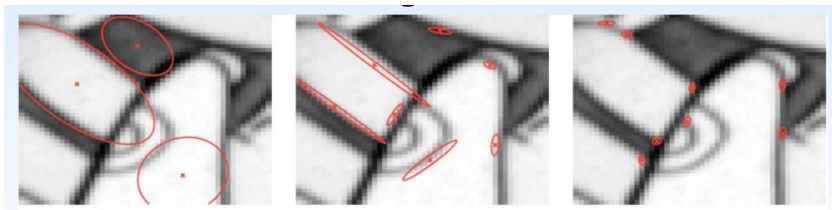
- ▶ les vecteurs propres indiquent les direction principales de variation de gradient dans le voisinage du point (voir l'ellipse du changement constant)
- ▶ ex. : si $\lambda_2 > \lambda_1$, variation forte en v_2 et plus faible en v_1
- ▶ si coin, λ_1, λ_2 sont larges



Détecteurs de coins : le tenseur de structure

Propriétés

- ▶ les vecteurs propres indiquent les direction principales de variation de gradient dans le voisinage du point (voir l'ellipse du changement constant)
- ▶ ex. : si $\lambda_2 > \lambda_1$, variation forte en v_2 et plus faible en v_1
- ▶ si coin, λ_1, λ_2 sont larges



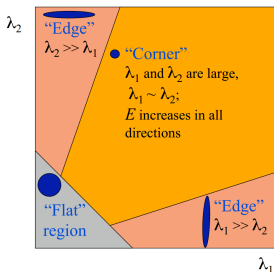
Détecteurs de coins : décision

Décision en fonction des valeurs propres du tenseur

- ▶ on peut calculer λ_1, λ_2 explicitement mais trop lourd
- ▶ méthode préférée :

$$R = \det(M) - \alpha \text{trace}^2(M) = \lambda_1 \lambda_2 - \alpha(\lambda_1 + \lambda_2)^2$$

- ▶ valeur du paramètre α en général 0.04 - 0.06
- ▶ valeurs propres intéressantes = maximum local de R



Détecteurs de coins : rappel

Étapes de l'algorithme

1. calcul des gradients $I_x = \frac{\partial}{\partial x} g(\sigma_D) \star I$, $I_y = \frac{\partial}{\partial y} g(\sigma_D) \star I$
2. calcul du tenseur de structure :

$$M = g(\sigma_I) \star \begin{bmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 \end{bmatrix}$$

3. calcul de la fonction de réponse R :

$$R = \det(M) - \alpha \text{trace}^2(M)$$

4. seuillage de R
5. suppression de valeurs non maximales de R

Détecteurs de coins : exemple



FIGURE – Paire initiale

Détecteurs de coins : exemple

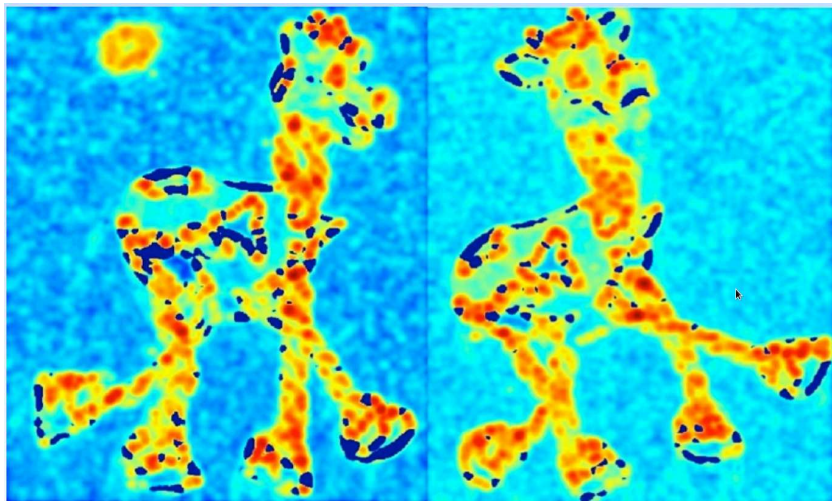


FIGURE – Fonction de réponse R

Détecteurs de coins : exemple

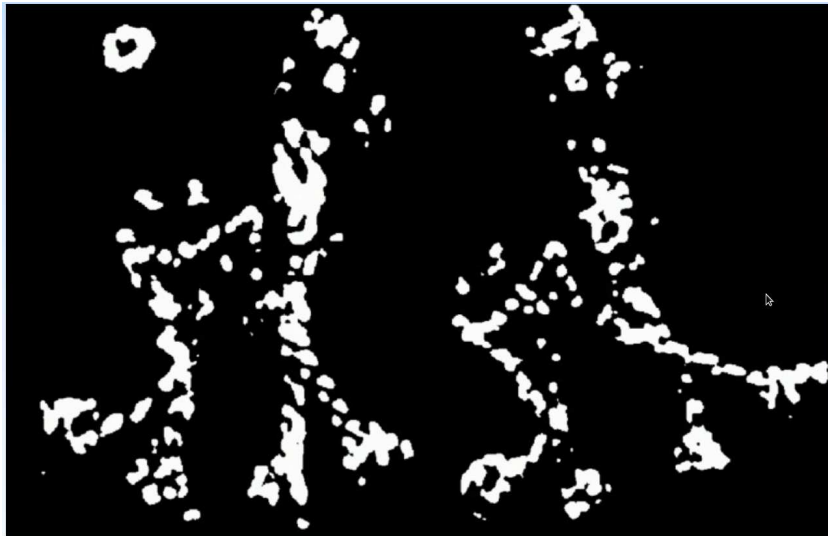


FIGURE – Seuillage de R

Détecteurs de coins : exemple

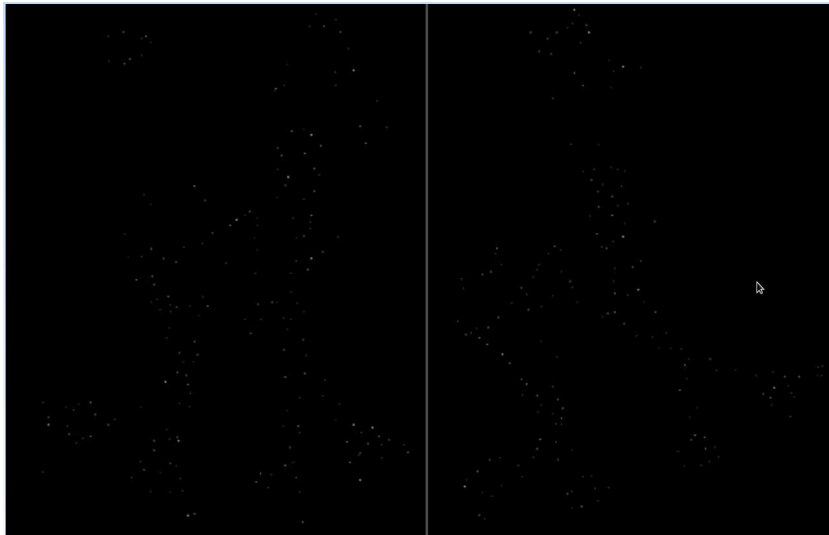


FIGURE – Suppression non maximale de R

Détecteurs de coins : exemple

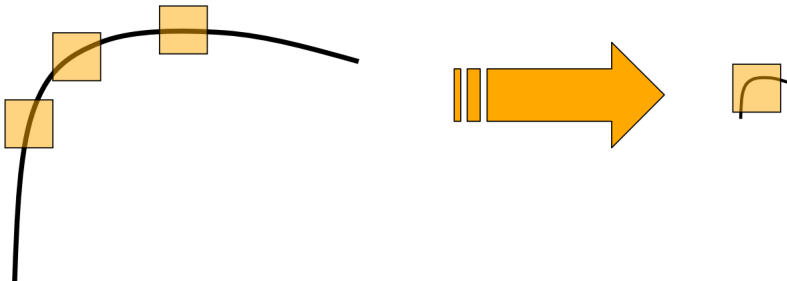


FIGURE – Résultat détection

Détecteur de Harris

Conclusions

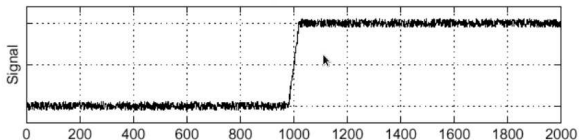
- ✓ détection invariante à la rotation
- ✓ détection invariante aux changements d'intensité
- ✗ pas robuste au changement d'échelle



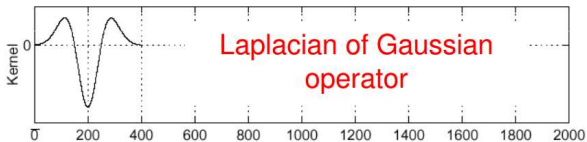
L'échelle caractéristique

Rappel du cours précédent :

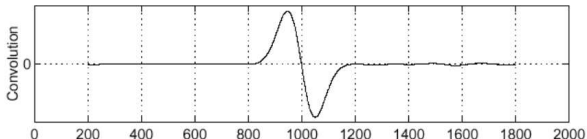
f



$\frac{\partial^2}{\partial x^2} h$

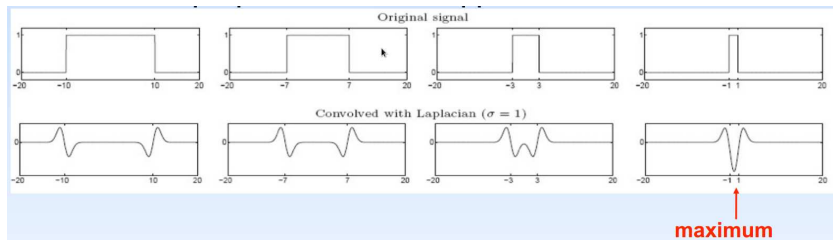


$(\frac{\partial^2}{\partial x^2} h) \star f$



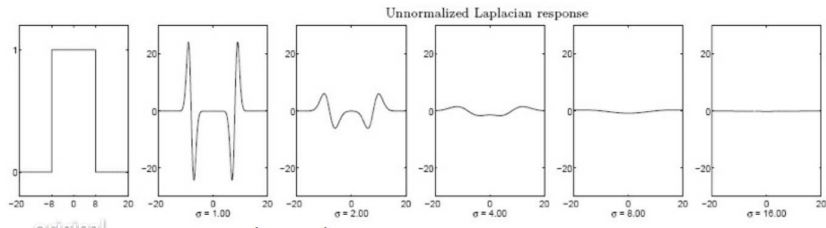
Filtrage Gaussien + Laplace (LoG) - passage en 0

L'échelle caractéristique



La réponse au Laplacien - maximale si l'échelle du Laplacien correspond a l'échelle de la variation dans l'espace image

L'échelle caractéristique



Si on varie σ , la réponse du Laplacien diminue ; il faut normaliser le résultat par une multiplication avec σ^2

L'échelle caractéristique

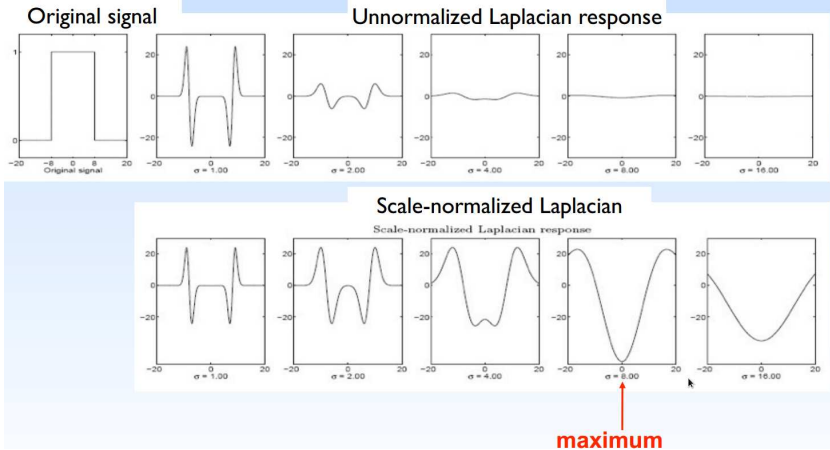
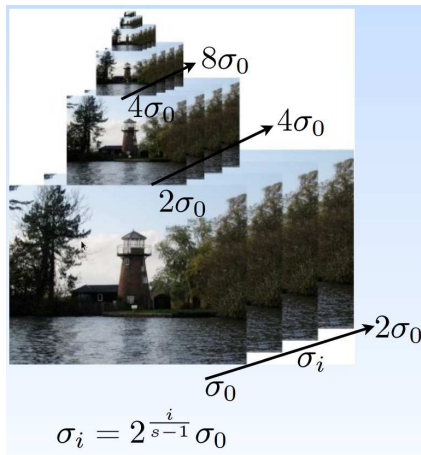
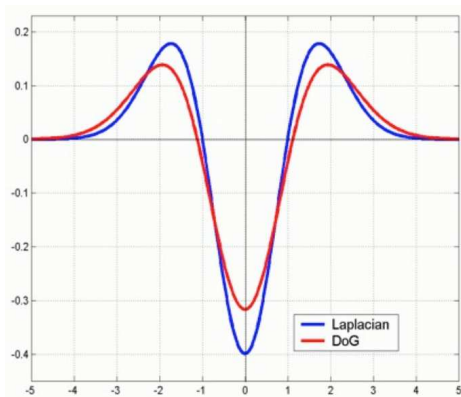


FIGURE – Réponse multi échelle normalisée du Laplacien

La représentation pyramidale



Approximation du Laplacien



Laplacien :

$$L = \sigma^2(G_{xx}(x, y, \sigma) + G_{yy}(x, y, \sigma))$$

Différence de Gaussiennes :

$$DoG = G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)$$

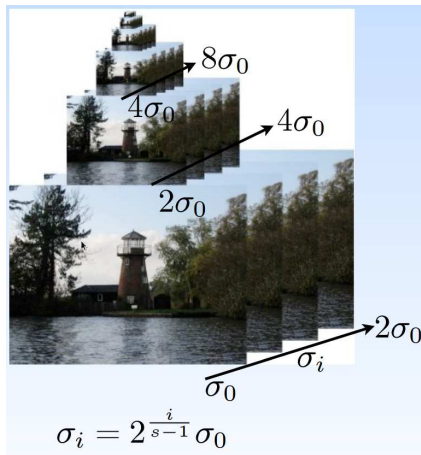
Le détecteur SIFT

Scale Invariant Feature Transform

- ▶ très performant
- ▶ très coûteux
- ▶ descripteur intégré

1. Construction de l'espace d'échelle
2. Calcul des DoGs
3. Calcul de l'échelle caractéristique
4. Localisation sous-pixel
5. Élimination des réponses des contours
6. Calcul de l'orientation
7. Calcul du descripteur

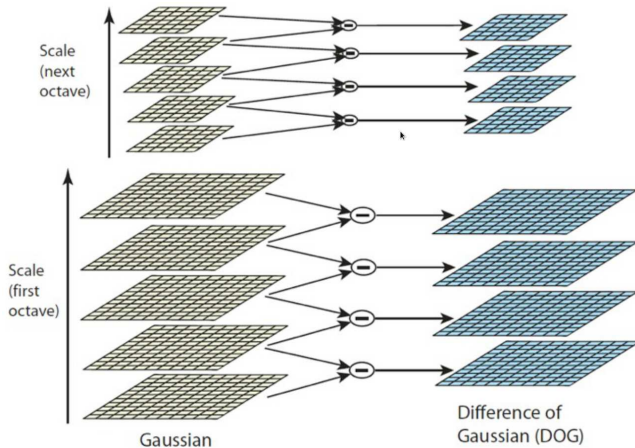
La représentation pyramidale



Le détecteur SIFT

1. Construction de l'espace d'échelle
2. Calcul des DoGs
3. Calcul de l'échelle caractéristique
4. Localisation sous-pixel
5. Élimination des réponses des contours
6. Calcul de l'orientation
7. Calcul du descripteur

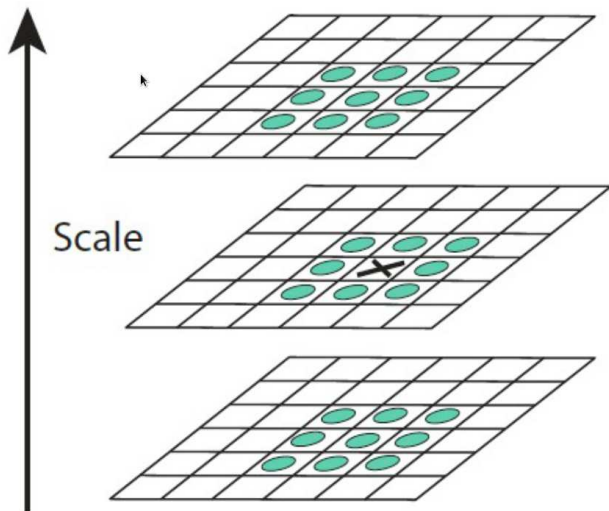
Calcul des DoGs



Le détecteur SIFT

1. Construction de l'espace d'échelle
2. Calcul des DoGs
3. Calcul de l'échelle caractéristique
4. Localisation sous-pixel
5. Élimination des réponses des contours
6. Calcul de l'orientation
7. Calcul du descripteur

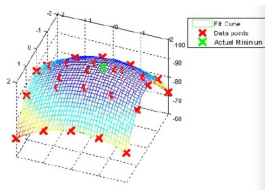
Détermination des points extrêmes



Le détecteur SIFT

1. Construction de l'espace d'échelle
2. Calcul des DoGs
3. Calcul de l'échelle caractéristique
4. Localisation sous-pixel
5. Élimination des réponses des contours
6. Calcul de l'orientation
7. Calcul du descripteur

Localisation sous pixel



Interpolation des mesures discrètes de $D(x, y, \sigma)$. Utilisation du dév. Taylor de deuxième ordre :

$$D(x) = D + \frac{\partial D}{\partial x} x + \frac{1}{2} x^T \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} x$$

Solution :

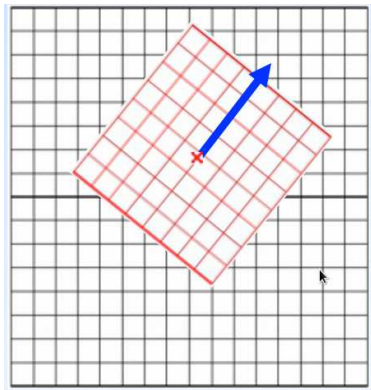
$$\hat{x} = -\frac{\partial^2 D}{\partial x^2}^{-1} \frac{\partial D}{\partial x}$$

Le détecteur SIFT

1. Construction de l'espace d'échelle
2. Calcul des DoGs
3. Calcul de l'échelle caractéristique
4. Localisation sous-pixel
5. Élimination des réponses des contours
6. Calcul de l'orientation
7. Calcul du descripteur

Calcul de l'orientation

1. Calcul des gradients locaux a l'échelle caractéristique
2. Calcul de l'histogramme de gradients locaux
3. L'orientation canonique est la direction maximale
4. Chaque coin est caractérisé par : localisation, échelle, orientation
5. système de coordonnées local pour construire un descripteur

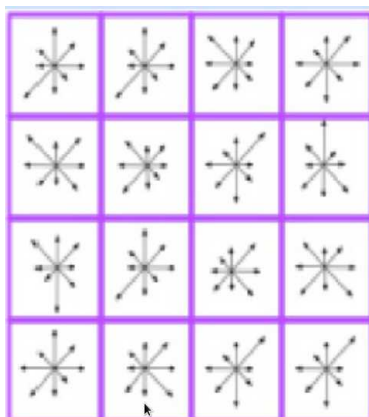


Le détecteur SIFT

1. Construction de l'espace d'échelle
2. Calcul des DoGs
3. Calcul de l'échelle caractéristique
4. Localisation sous-pixel
5. Élimination des réponses des contours
6. Calcul de l'orientation
7. Calcul du descripteur

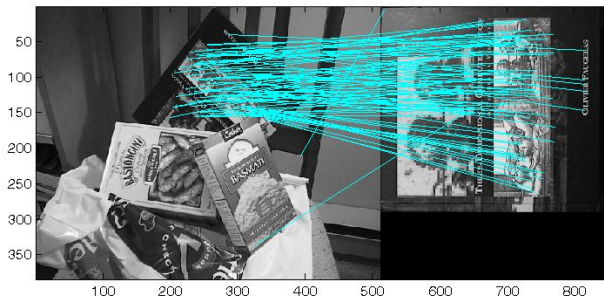
Calcul du descripteur

1. Orientations locales du gradients en 16 régions voisines
2. Système de coordonnées relatif au coin
3. $4 \times 4 \times 8$ orientations = 128 (dimension descripteur)



Conclusion SIFT

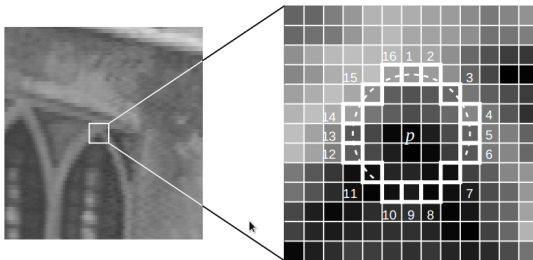
- ▶ Invariant échelle
- ▶ Invariant rotation
- ▶ Invariant illumination
- ▶ Invariant perspective
- ▶ Coûteux



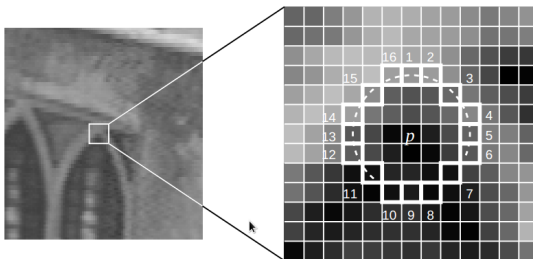
Le détecteur FAST

Features from Accelerated Segment Test

- ▶ extrêmement rapide
- ▶ pas d'opérations complexes (convolution, calcul de gradients etc.)
- ▶ peu robuste
- ▶ pas de descripteur



Le détecteur FAST - stratégie



$$S_{p \rightarrow x} = \begin{cases} d, & I_{p \rightarrow x} \leq I_p - t \\ s, & I_p - t < I_{p \rightarrow x} < I_p + t \\ b, & I_p + t \leq I_{p \rightarrow x} \end{cases}$$