



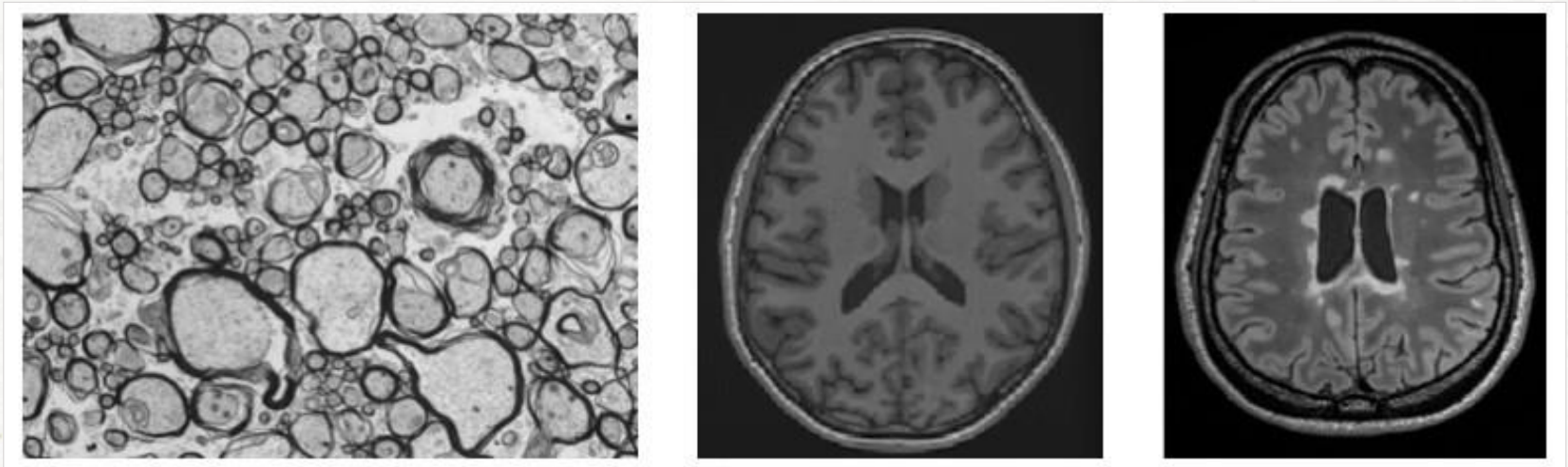
Segmentation d'images et détection de contours

Eva Alonso Ortiz

ELE8812

22 février 2024

La segmentation



Plan

1. **Introduction**
2. **Détection de contours**
 - Formulation du problème
 - Méthodes élémentaires: gradient et laplacien
 - Méthode de Canny
 - Détection de frontières
3. **Segmentation de régions**
 - Position du problème
 - Techniques de seuillage global
 - Techniques de seuillage local ou adaptatif
 - Autres méthodes

Plan

1. Introduction

2. Détection de contours

- Formulation du problème
- Méthodes élémentaires: gradient et laplacien
- Méthode de Canny
- Détection de frontières

3. Segmentation de régions

- Position du problème
- Techniques de seuillage global
- Techniques de seuillage local ou adaptatif
- Autres méthodes

Introduction

Qu'est ce que la segmentation ?

- *Partitionnement* d'une image en régions R_i connexes (en un sens à préciser)
- Chaque région doit satisfaire une propriété $\mathcal{P}(R_i)$
- Deux régions voisines ne doivent pas satisfaire la même propriété

Dualité contour région



© 1992-2008 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Contours ou regions ?

Formulations équivalentes?

- Réponse théorique : oui
- Réponse pratique : non

Distinction des deux formulations

Plan

1. Introduction

2. Détection de contours

- Formulation du problème
- Méthodes élémentaires: gradient et laplacien
- Méthode de Canny
- Détection de frontières

3. Segmentation de régions

- Position du problème
- Techniques de seuillage global
- Techniques de seuillage local ou adaptatif
- Autres méthodes

Détection de contours

Position du problème

Contour et détection

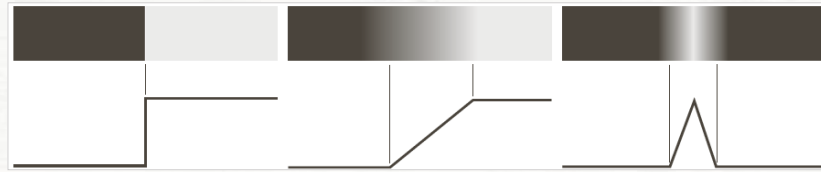
- Contour : discontinuité dans *l'intensité* de l'image

Contenu hautes fréquences

- Détection de contour : filtrage passe-haut

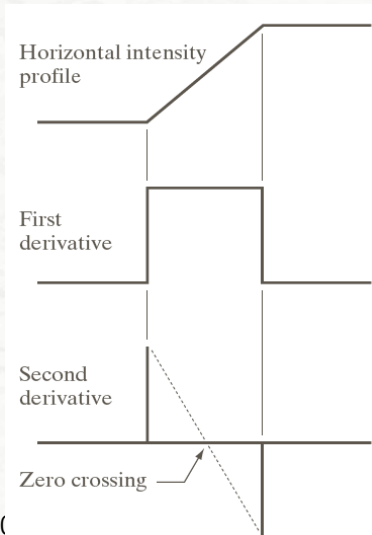
Types de contours et détection

Types de contours



© 1992-2008 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Filtrage passe haut : différences premières et secondes



© 1992-2008

Woods

Différences premières : contours épais

Différences secondes : double réponse
—> détection des passages par zéro

Détection de contours

Position du problème

Cadre 1D

- Filtrage passe haut en temps continue : dérivée première ou seconde
- Filtrage passe haut en temps discret : différences premières ou secondes
 - Différences premières :

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f'(x) = \frac{f(x+1) - f(x)}{1}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f'(x) = \frac{f(x+1) - f(x-1)}{2}$$

- Différences secondes :

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} &= \frac{\partial f'(x)}{\partial x} = f'(x+1) - f'(x) \\ &= f(x+2) - f(x+1) - f(x+1) + f(x) \\ &= f(x+2) - 2f(x+1) + f(x) \end{aligned}$$

Expansion autour de x : soustraire 1 = $f(x+2-1) - 2f(x+1-1) + f(x-1)$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$$

Méthodes élémentaires de détection de contours

Gradient de l'image

Approximations numériques

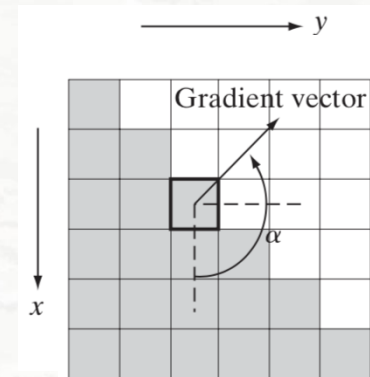
- Opérateurs centrés exacts :

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x-1) = [-1 \quad 0 \quad 1] \circledast [f(x-1) \quad f(x) \quad f(x+1)]$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = (-1 \quad 0 \quad 1) * f; \quad \frac{\partial f}{\partial y} = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} * f$$

- Exemple d'opérateur utilisé : Prewitt

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} * f; \quad \frac{\partial f}{\partial y} = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^t$$



Méthodes élémentaires de détection de contours

Gradient de l'image

Définition et propriétés élémentaires

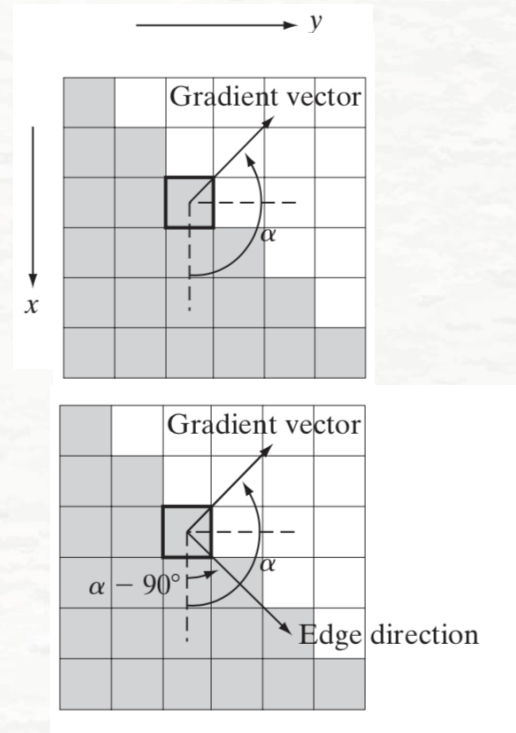
- Définition : $\nabla f(x, y) = \begin{pmatrix} \partial f / \partial x \\ \partial f / \partial y \end{pmatrix}$
- Magnitude : *rapidité* des variations de f

$$M(x, y) = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$$

- Direction : plus grande pente

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left[\frac{g_y}{g_x} \right]$$

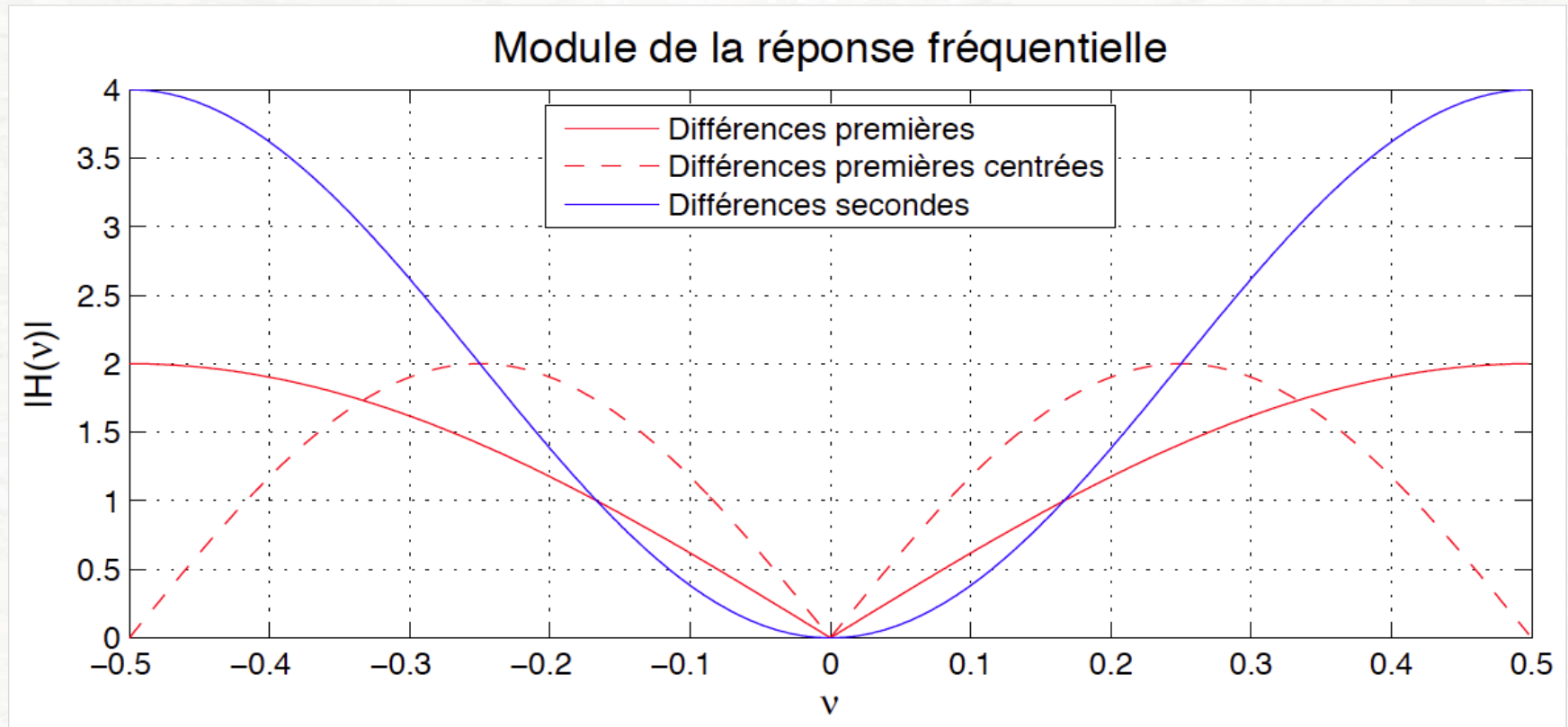
** Les angles sont mesurés dans le sens inverse des aiguilles d'une montre par rapport à l'axe des x. **



Le gradient est orthogonal aux lignes de niveau (contours)

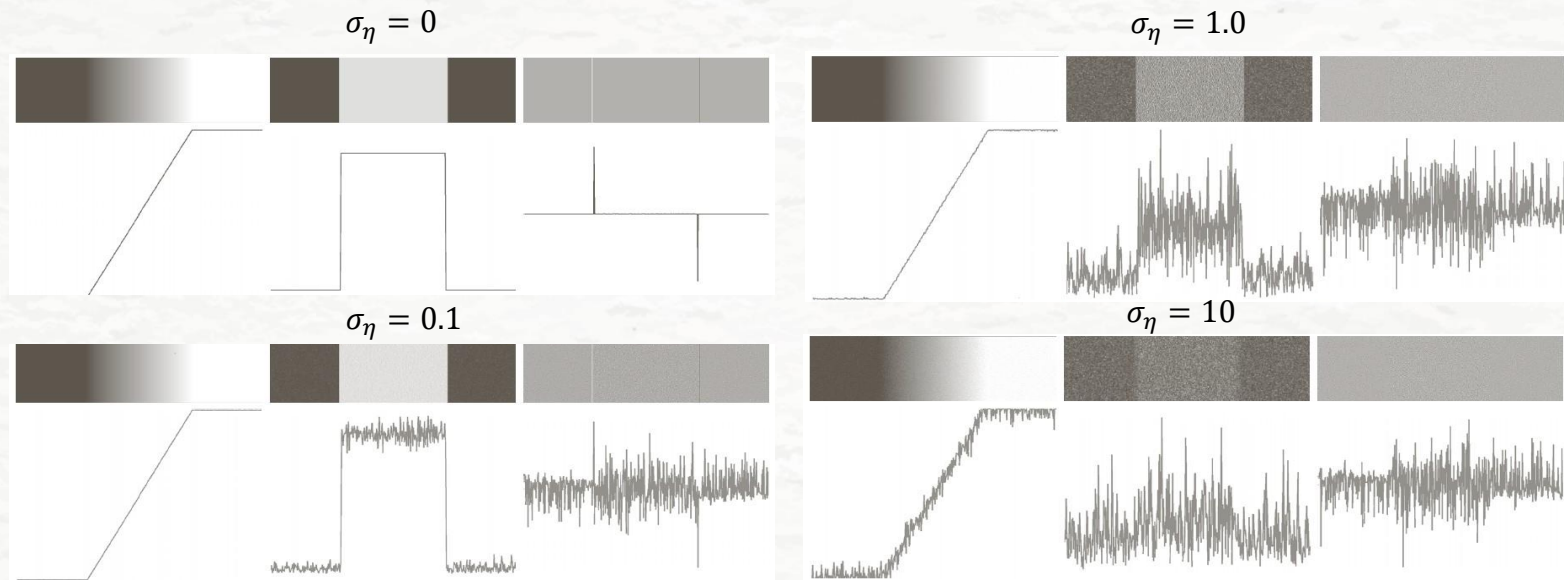
Différences premières et secondes

Comportement fréquentiel



Sensibilité au bruit

Effet de différents niveaux de bruit sur les détecteurs par différences



© 1992-2008 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Synthèse

- Différences premières : contours épais
- Différences secondes : double réponse \rightarrow passages par zéro
 - Forte sensibilité au bruit

Quiz

Quelle est la différence entre les opérateurs de différence première 1D et 2D ?

- (a) L'opérateur 2D donnera des résultats plus exacts parce que on prend en considération plus de pixels
- (b) L'opérateur 2D sert pour des données 2D, tandis que l'opérateur 1D sert pour des données 1D
- (c) Les deux donneront le même résultat

slido

Please download and
install the Slido app on
all computers you use



**Quelle est la différence
entre les opérateurs de
différence première 1D
et 2D ?**

① Start presenting to display the poll results on this slide.

Détection par gradient

Approximations numériques

- Exemple d'opérateur utilisé : Sobel

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} * f = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} (-1 \ 0 \ 1) * f; \quad \frac{\partial f}{\partial y} = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^t$$

- Justification: interprétation fréquentielle
- Détection *directionnelle* des contours
- Magnitude : norme du gradient
- Autres approximations possible (Roberts, ...)

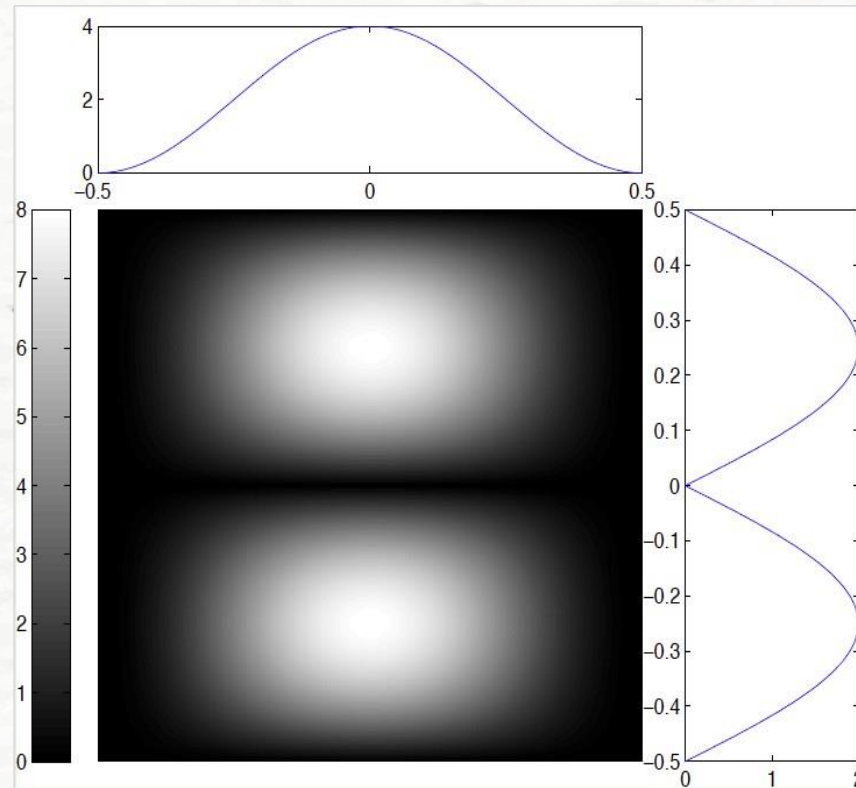
Opérateurs de gradient

Interprétation fréquentielle

Opérateur de Sobel

Interpretation fréquentielle (selon composite y)

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$



Méthodes élémentaires de détection de contours

Laplacien de l'image

Définition et propriétés élémentaires

- Définition : $\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$
- Isotrope : pas d'indication de direction des variations
- Magnitude : *rapidité* des variations de f

Méthodes élémentaires de détection de contours

Laplacien de l'image

Approximations numériques

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y)$$
$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) - 2f(x, y) + f(x, y-1)$$

$$\begin{aligned}\nabla^2 f(x, y) &= \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \\ &= f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)\end{aligned}$$

Méthodes élémentaires de détection de contours

Laplacien de l'image

Approximations numériques

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) + f(x, y - 1) - 4f(x, y)$$

Meilleure isotopie

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Quiz

Vrai ou faux?

- a) Pour détecter un contour avec le filtre Laplacien on doit identifier des passages par zero
- b) Si notre image est très bruyante, une détection de contour par filtre Sobel est une approche raisonnable
- c) La direction du Laplacien nous informe sur la direction dans laquelle « f » change le plus rapidement

Méthodes élémentaires de détection de contours

Synthèse

Laplacien

- Isotrope
- Très sensible au bruit (différences secondes)
- Double réponse aux discontinuités \Rightarrow détection des passages par zero
- Possibilité de lissage préalable supplémentaire

Gradient

- Possibilité de detection directionnelle
- Détection par la magnitude du gradient (norme L_1 ou L_2)
- Opérateur de Sobel : lissage partiel
- Moins sensible au bruit (différences premières)
- Possibilité de lissage préalable supplémentaire

Demo !   [Open in Colab](#)

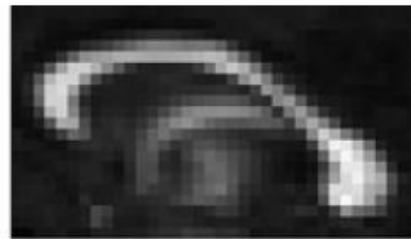
Application pratique

Exemple : Gradient – corps calleux

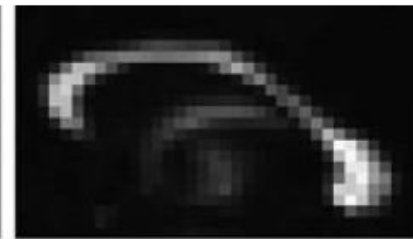
J Math Imaging Vis (2013) 45:214–226



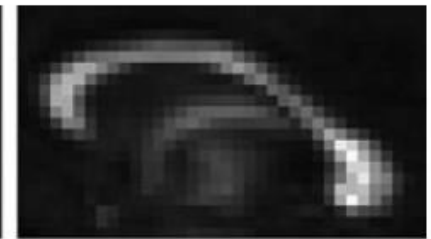
(a) *MD*



(b) *FA*



(c) *VF*



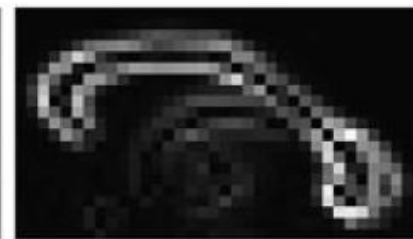
(d) *sRA*



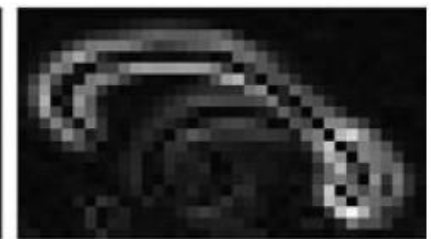
(e) *MG-MD*



(f) *MG-FA*



(g) *MG-VF*



(h) *MG-sRA*

Application pratique

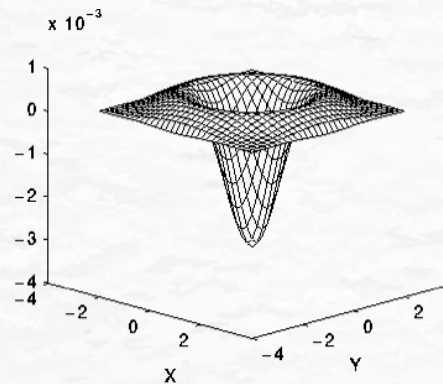
Méthode de Marr-Hildreth

- Méthode inspirée des neurosciences
- Faire un filtrage gaussien préalable (sensibilité au bruit)
- Applique Laplacien
- Détecter les passages par zéro

A noter:

$$\nabla^2(f * g) = f * \nabla^2 g$$

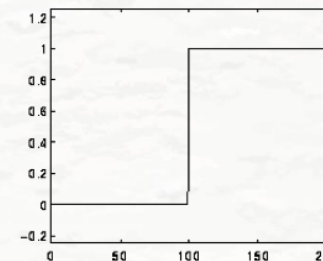
Filtre gaussien



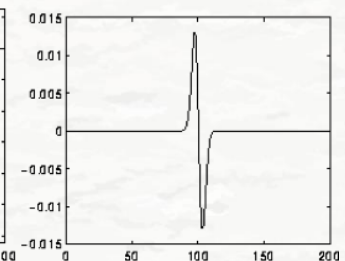
2-D Laplacian of Gaussian (LoG) function

<https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/log.htm>

signal



réponse au LoG



Application pratique

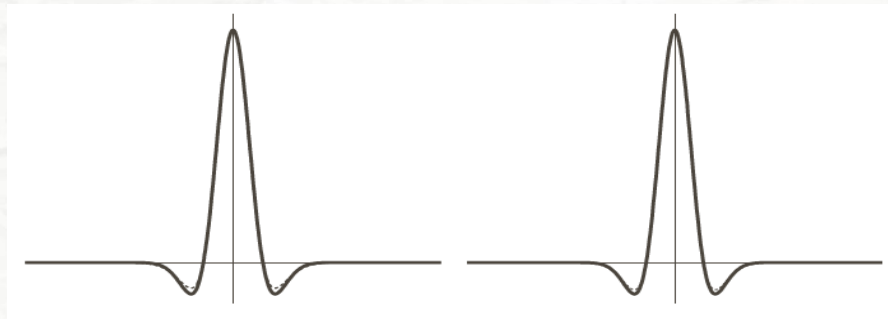
Méthode de Marr-Hildreth : mise en œuvre

- Filtrage gaussien : *séparable*; laplacien : somme d'opérateurs 1D

$$f * \nabla^2 g = f * \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} g + \frac{\partial^2}{\partial y^2} g \right) = f * \frac{\partial^2}{\partial x^2} g + f * \frac{\partial^2}{\partial y^2} g$$

⇒ Mise en œuvre par opérateurs 1D

- Approximation separable du filtre LoG par la différence de deux gaussiennes 2D d'écart-type différent ; *séparabilité préservée*

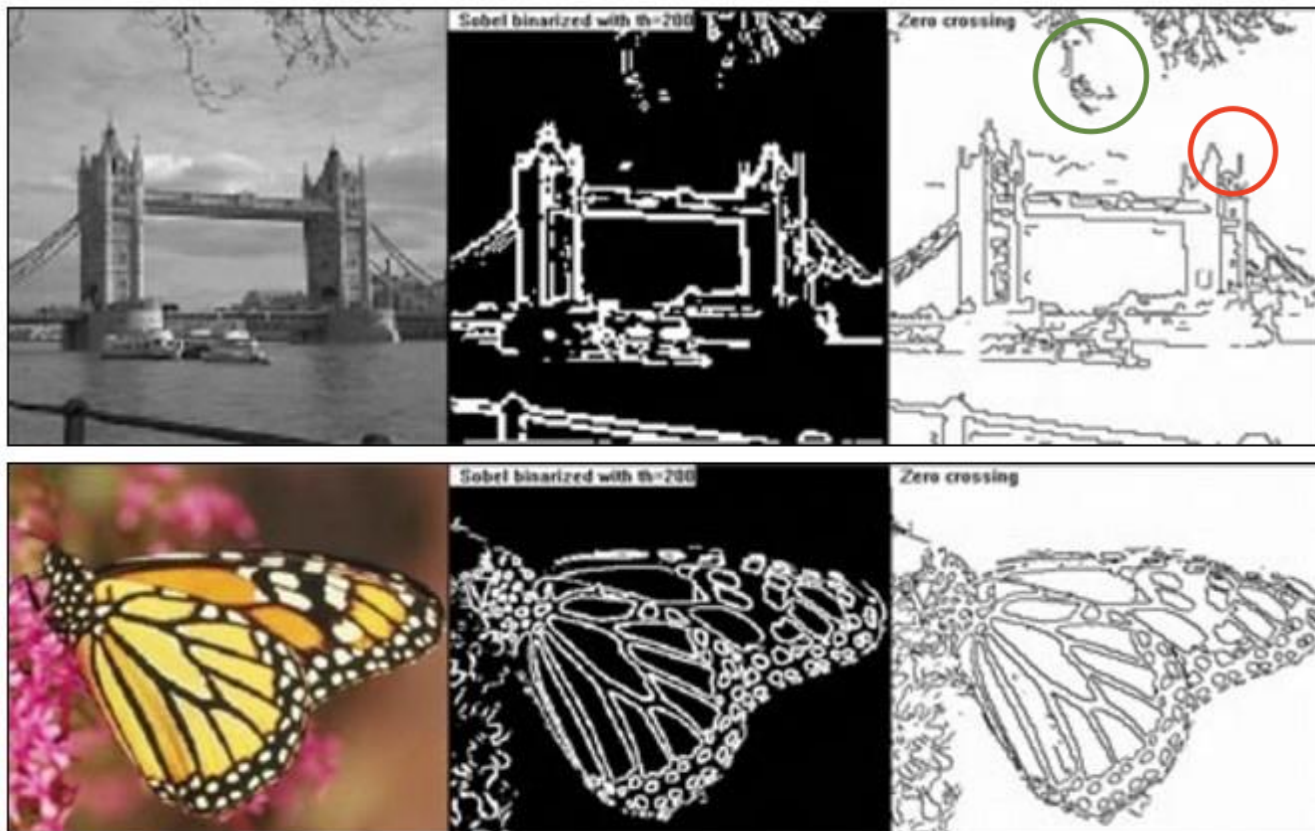


© 1992-2008 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

Exemple : voir [demo_lap](#)

Application pratique

Exemple : Sobel (centre) et Marr-Hildreth (droite)



description plus fine

manque certains détails

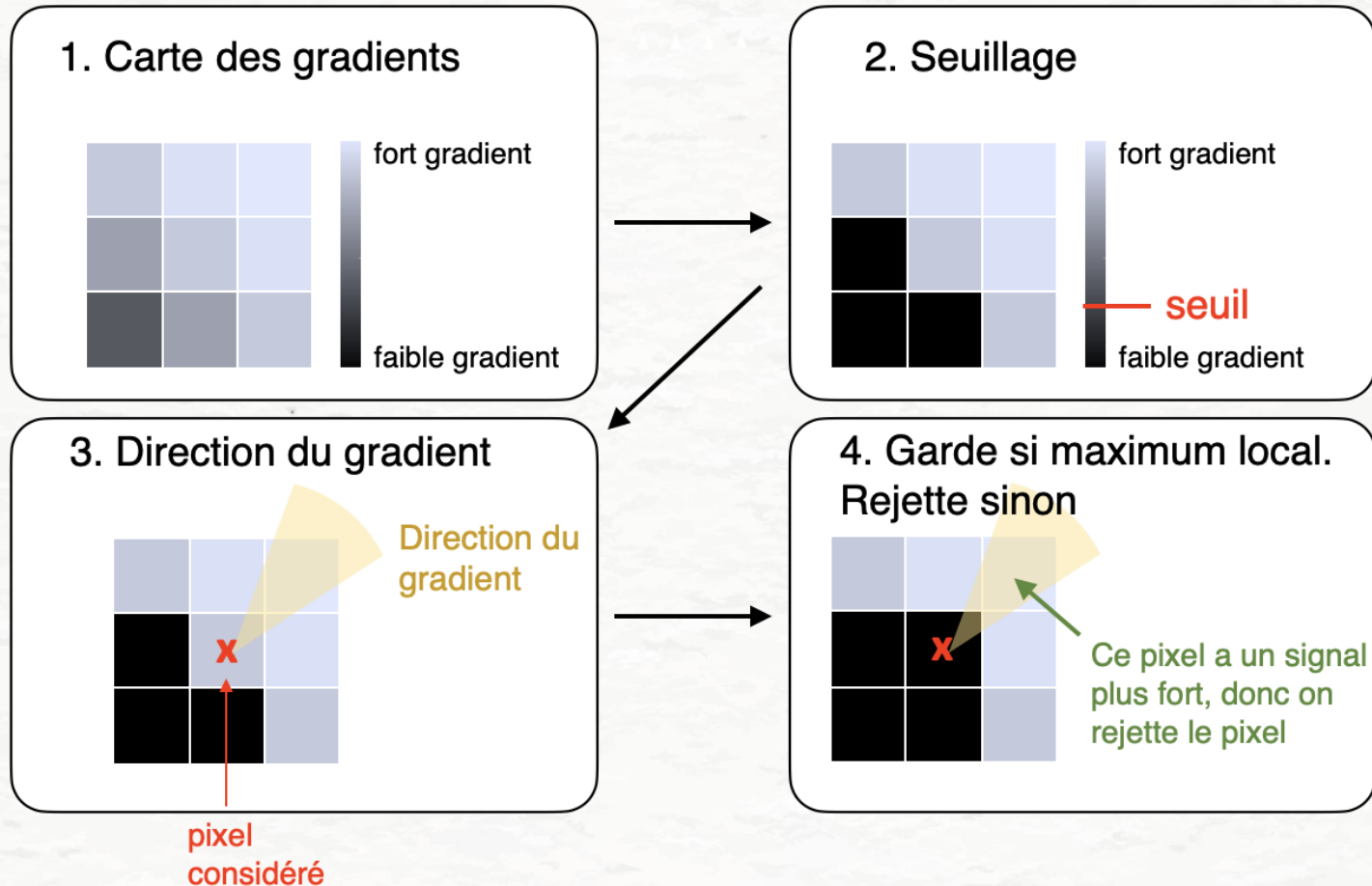
Détection de contours : méthode de Canny

Démarche

1. **Lisser l'image** avec un filtre gaussien pour diminuer le bruit (comme avec Marr-Hildreth)
2. Trouve la **direction et la magnitude des gradients** d'intensité de l'image (dérivée 1^{ère})
3. **Affinage des contours** (voir diapo suivante)
4. **Double seuil** pour déterminer les arêtes potentielles (voir diapos suivantes)
5. **Suivi des bords par hystérésis** : finalise la détection des bords en supprimant tous les autres bords faibles et non connectés à des bords forts (voir diapos suivantes)

Détection de contours : méthode de Canny

Affinage des contours



Détection de contours : méthode de Canny

Réduction des fausses detection et connexion des contours

Approche : seuillage avec hystérésis

- **Double seuillage**
 - « fort seuil » et « faible seuil »
 - Ces deux classes seront utilisés dans l'étape hystérésis.
- **Connexion des contours par hystérésis**
 - Identifier le premier/prochain pixel considéré comme contour « fort »
 - Tous les pixels du contour faible qui sont connectés au pixel fort sont marqués comme « pixel du contour »
 - On itère a travers de touts les pixels forts

Exemple : voir [demo_canny](#)

Détection de contours : méthode de Canny

Démarche

1. **Lisser l'image** avec un filtre gaussien pour diminuer le bruit (comme avec Marr-Hildreth)
2. Trouve la **direction et la magnitude des gradients** d'intensité de l'image (dérivée 1^{ère})
3. **Affinage des contours**
4. **Double seuil** pour déterminer les arêtes potentielles
5. **Suivi des bords par hystérésis** : finalise la détection des bords en supprimant tous les autres bords faibles et non connectés à des bords forts

Détection de frontières

Position du problème

- Contours détectés : représentation incomplète des frontières présentes dans l'image
- Nécessité de joindre entre eux les éléments d'une même frontière
- Comment savoir si des pixels de frontière correspondent au même objet/structure ?

Approches

- Approche locale
 - Seuillage avec hystérésis (Canny)
 - Méthodes empiriques : magnitude semblable et angle du gradient correct
- Approche par régions (exemple : approximations polygonales) voir manuel
- Approche globale : **transformée de Hough**

Quiz

Vrai ou faux?

- a) La méthode de Marr-Hildreth donne des contours plus fins que celle du filtrage Sobel parce que elle est moins sensible au bruit
- b) La méthode de Canny est moins sensible au bruit comparé a la méthode de Marr-Hildreth parce que se sert de la première dérivé
- c) La méthode de Canny est moins sensible au bruit comparé a la méthode de Marr-Hildreth parce que elle détecte des passages par zéro
- d) La méthode de Marr-Hildreth donne des contours plus fins que celle du filtrage Sobel parce que elle détecte des passages par zéro

Plan

1. Introduction

2. Détection de contours

- Formulation du problème
- Méthodes élémentaires: gradient et laplacien
- Méthode de Canny
- Détection de frontières

3. Segmentation de régions

- Position du problème
- Techniques de seuillage global
- Techniques de seuillage local ou adaptatif
- Autres méthodes

Problème à résoudre

Montrez que le résultat obtenu en soustrayant le Laplacien d'une image

$$\begin{aligned} \nabla^2 f(x, y) \\ = f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) + f(x, y - 1) - 4f(x, y) \end{aligned}$$

est proportionnel au résultat obtenu en appliquant un masquage flou sur cette image. La définition du rehaussement par masquage flou est :

$$g(x, y) = f(x, y) + k(f(x, y) - \bar{f}(x, y))$$

Il suffit de montrer que cela est valide pour une seule valeur de k .

Indice : Comment pouvez-vous définir $\bar{f}(x, y)$, la version "floue" (filtrée passe-bas) de f , à partir de composantes de f ?