

IMPLEMENTATION RECURSIVE DE DETECTEURS DE CONTOURS

Mme A. Serir M B. Sansal

USTHB Institut d'Electronique, Laboratoire de traitement du signal
BP 32 EL Alia Bab Ezzouar Alger

RÉSUMÉ

Parmi les différentes méthodes de détection de contours existantes, celle que nous proposons, a pour origine les travaux de base de Marr [5] et de Deriche [2] ; elle consiste en deux processus dont une implémentation récursive a été réalisée ; de l'étude comparative de notre méthode avec celle de Shen [3], il ressort que, globalement les performances du processus de Marr ou gaussien sont de loin les meilleures.

ABSTRACT

Among the existenting methods for edge detection, we propose a new scheme based on Marr's [5] and Deriche's [2] work ; This method consist of a recursive implementation of two processes. From the comparative study with Shen's method, it appears that globally that our technique's performances are far better.

INTRODUCTION

La qualité de la segmentation d'images en régions par détection de contours est étroitement liée à celle du détecteur utilisé. Nous nous intéressons aux détecteurs à caractéristiques fréquentielles non figées (Canny [1], Deriche [2], Marr [5] et Shen [3]). La détection de contours se fait par deux approches, Gradient et Laplacien, chacune d'elles présente des avantages et des inconvénients. L'exploitation simultanée des deux images contours obtenues par les deux approches nous permet d'espérer l'amélioration de la qualité de détection en essayant de tirer profit de leurs avantages respectifs. Cette remarque, nous a conduit à proposer la notion de processus de détection de contours.

NOTION DE PROCESSUS DE DETECTION DE CONTOURS

Par processus de détection de contours, on désigne la suite d'opérations suivantes : le lissage, l'application du gradient et le Laplacien à la même image lissée.

On utilisera l'image gradient pour améliorer le contour obtenu par l'approche du Laplacien et cela par :

- la suppression des points contours bruit,
- la vérification des points contours par le gradient,
- la fermeture des contours en respectant leur réalité physique.

Pour cela, nous avons été amené à introduire des variantes aux filtres de Deriche (basé sur le gradient) et de Marr (basé sur le Laplacien).



VARIANTE DE LA METHODE DE DERICHE

D'après Marr [5], tout détecteur de contours peut être considéré comme une cascade d'un filtre de lissage suivi d'une différentiation. Par conséquent, à partir du détecteur de Deriche qui est basé sur le gradient, on peut déduire le filtre de lissage 1-D (primitive du filtre détecteur) :

$$h(x) = (C_1 \sin \omega |x| + C_2 \cos \omega |x|) e^{-\alpha |x|}$$

$$\text{avec } C_1 = \frac{k \alpha}{\alpha^2 + \omega^2} \quad C_2 = \frac{k \omega}{\alpha^2 + \omega^2}$$

$$\text{et } k = \frac{[1 - 2e^{-\alpha} \cos \omega + e^{-2\alpha}][\alpha^2 + \omega^2]}{2 \alpha e^{-\alpha} \sin \omega + \omega - \omega e^{-2\alpha}}$$

Etant donnée que les variables x et y sont indépendantes, on peut étendre le filtre $h(x)$ au filtre de lissage 2-D,

$$h(x,y) = h(x) * h(y)$$

* : convolution

Si on applique le Laplacien à l'image lissée $I(x,y)$:

$$\Delta^2 I(x,y) = [h''(x) * h(y) + h(x) * h''(y)] * I(x,y)$$

Avec

$$h''(x) = (C_1 \sin \omega |x| + C_2 \cos \omega |x|) e^{-\alpha |x|}$$

et si on pose :

$$S(x,y) = h''(x) * h(y) * I(x,y)$$

$$R(x,y) = h(x) * h''(y) * I(x,y)$$

le Laplacien est alors donné par la somme des deux images S et R . La réalisation récursive de cette variante se fait comme suit :

Soit $s(i,j)$: image lissée suivant les colonnes.

L'application du filtre de lissage $h(y)$ suivant les colonnes donne :

$$s(i,j) = s^+(i,j) + s^-(i,j)$$

$$s^+(i,j) = a_0 I(i,j) + a_1 I(i-1,j)$$

$$- b_1 s^+(i-1,j) - b_2 s^+(i-2,j)$$

$$s^-(i,j) = a_2 I(i+1,j) + a_3 I(i+2,j)$$

$$- b_1 s^-(i+1,j) - b_2 s^-(i+2,j)$$

et celle de $h''(x)$ aux lignes s'écrit :

$$S(i,j) = S^+(i,j) + S^-(i,j)$$

$$i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, M$$

$$S^+(i,j) = d_0 s(i,j) - d_1 S^+(i,j-1) - d_2 S^+(i,j-2)$$

$$S^-(i,j) = f_0 s(i,j+1) - f_1 S^-(i,j+1) - f_2 S^-(i,j+2)$$

avec

$$a_0 = C_2 ; a_1 = -(C_2 \cos \omega + C_1 \sin \omega) e^{-\alpha}$$

$$a_2 = a_1 - C_2 b_1 ; a_3 = -C_2 b_2$$

$$b_1 = -2 e^{-\alpha} \cos \omega ; b_2 = e^{-2\alpha}$$

$$d_0 = -k \omega ; d_2 = (\alpha^2 + \omega^2) / 2 \sin^2 \omega e^{-2\alpha}$$

$$d_1 = ((\alpha \sin \omega - \omega \cos \omega) / \omega) e^{-\alpha}$$

$$f_0 = k(\alpha \sin \omega - \omega \cos \omega) e^{-\alpha}$$

$$f_1 = - \frac{\alpha \sin 2\omega - \omega \cos 2\omega}{\alpha \sin \omega - \omega \cos \omega} e^{-\alpha}$$

$$f_2 = \frac{k(\alpha \sin 3\omega - \omega \cos 3\omega)}{f_0} - f_1^2$$

On appliquera la même procédure pour l'obtention de $R(x,y)$.

Cette variante apporte les éléments complémentaires à la méthode de Deriche pour réaliser un premier processus de détection de contours.

VARIANTE DE LA METHODE DE MARR

Le filtre de lissage que nous utilisons est le filtre gaussien et s'écrit :

$$g(x) = (1/(2\pi)^{1/2} \sigma) e^{-(x^2/2\sigma^2)}$$

Si on applique le gradient à l'image lissée, on obtient :

$$\text{grad } x = f(x) * g(y) * I(x,y)$$

$$\text{grad } y = f(y) * g(x) * I(x,y)$$

Le filtre détecteur $f(x)$ s'exprime

$$f(x) = (-x/\sigma^2) e^{-(x^2/2\sigma^2)} = g'(x)$$

Réalisation récursive de $\text{grad } x$:

Soient $r(i,j)$: image $I(x,y)$ lissée par $g(x)$ suivant les colonnes.

$R(i,j)$: image $\text{grad } x$

- Application du filtre de lissage aux colonnes :

$$r(i,j) = r^+(i,j) + r^-(i,j)$$

$$i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, M$$

$$r^+(i,j) = c_0 I(i,j) - c_1 r^+(i-1,j)$$

$$- c_2 r^+(i-2,j)$$

$$r^-(i,j) = d_0 I(i+1,j) - d_1 r^-(i+1,j)$$

$$- d_2 r^-(i+2,j)$$



- Application du filtre détecteur aux lignes :

$$R(i,j) = a_0 (R^+(i,j) + R^-(i,j))$$

$$i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, M$$

$$R^+(i,j-1) = r(i,j) - a_1 R^+(i,j-1) - a_2 R^+(i,j-2)$$

$$R^-(i,j-1) = r(i,j+1) - a_1 R^-(i,j+1) - a_2 R^-(i,j+2)$$

$$c_0 = 1/(2\pi)^{1/2} \sigma ; \quad c_1 = -e^{(-1/2\sigma^2)}$$

$$c_2 = -c_1^4 + c_1^2 ; \quad d_0 = -c_0 c_1$$

$$d_1 = c_1^3 ; \quad d_2 = e^{(-3/\sigma^2)} - e^{(-4/\sigma^2)}$$

$$a_0 = (1/\sigma^2) c_1 ; \quad a_1 = a_0 c_1^2$$

$$a_2 = (1/\sigma^2)(4 c_1^6 - 3 c_1^8)$$

La réalisation de grad y se fait en lissant l'image suivant les lignes et en appliquant le filtre détecteur aux colonnes de l'image lissée.

Cette variante apporte les éléments complémentaires au détecteur de Marr pour la réalisation d'un second processus de détection de contours.

On cherchera à situer ces deux processus par rapport à un troisième mis en oeuvre à partir des travaux de Shen et Castan [3,4].

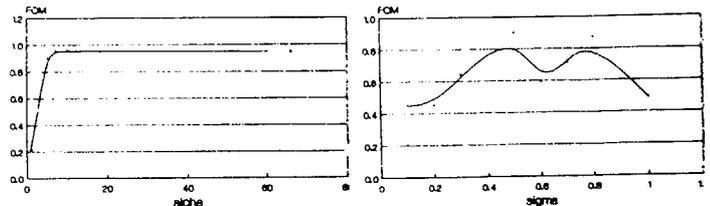
ETUDE COMPARATIVE

La différence entre processus de détection de contours est limitée à celle du filtre de lissage utilisé. Le filtre de lissage de chaque processus dépend d'un ou de plusieurs paramètres qui n'ont pas forcément le même domaine de valeurs. Pour pouvoir comparer ces trois processus nous devons d'abord fixer ces paramètres. Nous avons pensé leur affecter la valeur qui permet au filtre de donner les meilleures performances (sensibilité, localisation, immunité au bruit).

L'étude de l'évolution des performances de chaque processus en fonction du paramètre caractéristique nécessite la recherche d'un critère adéquat. Pour se faire, nous utilisons la fonction de mérite de Pratt, car elle est

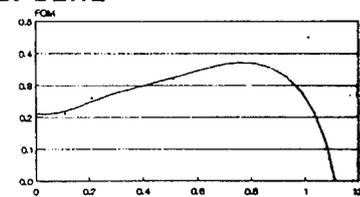
explicite, résume convenablement les anomalies de la détection et permet l'évaluation du comportement global du détecteur en fonction du paramètre d'adaptabilité [6].

En appliquant chaque processus à une image test dont le contour réel est connu, nous obtenons l'évolution de la fonction de mérite suivant le paramètre d'adaptabilité.



Processus
Deriche

Processus
Marr



Processus
Shen

- Pour le processus de Deriche, il existe un intervalle assez large de valeurs de α pour lequel nous avons le maximum de performances ($\alpha_{opt}=10$)

- Pour le processus de Marr, il existe un seul paramètre optimal. Des variations faibles de σ , entraînent des variations appréciables de la valeur du critère, ce qui constitue une certaine instabilité des performances du filtre ($\sigma_{opt}=0.5$).

- Pour le processus de Shen, nous avons de meilleures performances pour "a" proche de 1. ($a_{opt} = 0.8$).

ETUDE COMPARATIVE THEORIQUE

Critères d'évaluation :

- précision de localisation du contour détecté (\times_e erreur de localisation).
- performance de filtrage du bruit, évaluée par le calcul du rapport signal à bruit.
- respect de la contrainte de la réponse unique [1] (k tend vers 0).
- complexité de calcul.

Il existe deux modélisations différentes de ces critères



de Canny[1] et celle de Castan[4]. Nous avons calculer les performances d'après le modèle de Canny [6].

Per.	Deriche	Marr	Shen
x_e	$0.7/\gamma\alpha$	$1.15/\gamma\alpha$	$\alpha/\gamma\alpha$
x_{eopt}	0.221	0.813	0.729
SNR	$1.41/\gamma\alpha$	$1.06/\gamma\alpha$	$1/\gamma\alpha$
SNR_{opt}	0.44	0.75	1.23
k	$0.63/\alpha$	$0.63/\alpha$	$1/\alpha$
k_{opt}	0.063	0.32	1.25
C.C.	moyenne	moyenne	faible

- Le filtre de Deriche a une meilleure localisation et respecte le mieux la contrainte de la réponse unique.

- Le filtre de Shen présente de meilleures performances que le filtre de Deriche mais il est loin de respecter la contrainte de la réponse unique.

- Le filtre gaussien a une bonne performance de lissage pour une erreur de localisation acceptable.

ETUDE COMPARATIVE PRATIQUE

Les résultats théoriques ont été vérifiés pratiquement en utilisant des images test bruitée et non bruitée.

Nous avons calculé :

- la distance des points détectés par rapport au contours réel,
- la largeur du contour par rapport au contour réel (distance chamfer),
- le nombre de points détectés pour une image bruitée SNR = 10.

Proces.	largeur	distan	N de pts
Deriche	1.009	1139	3887
Marr	1.001	835	4037
Shen	1.97	2837	7138

La largeur du contour nous renseigne sur la sensibilité du détecteur, la distance sur la localisation des contours par rapport au contour réel et le nombre de points détectés sur l'efficacité du filtrage du bruit.

D'après les résultats obtenus, les processus de Marr et de Deriche ont une sensibilité équivalente, le processus de Shen présente une surdétection. Le processus de Marr a une meilleure localisation et

celui de Deriche a une meilleure immunité au bruit (pour des images moyennement bruitées).

Nous avons également testé les trois processus sur des images de différents types, scène réelle, satellitaire et biomédicale. Pour des images présentant des effets de flous, le processus de Deriche dédouble le contour, contrairement à celui de Marr. Ceci s'explique par le fait que le détecteur de deriche découle d'une modélisation d'un bruit additif, alors que nous sommes en présence d'un bruit convolutif. Exemple :



Image test
Scène réelle



Méthode de
Deriche



Variante de
Marr



Variante de
Deriche

Conclusion

Les deux processus de Deriche et de Marr introduits ont de meilleures performances que celui de Shen ; ce qui permet de dire que les variantes introduites sont pertinentes. La pratique montre que le processus gaussien présente les meilleures caractéristiques. L'implémentation récursive des deux processus permet d'envisager une exécution en temps réel sur une architecture parallèle.

Références

- [1] J.F. Canny "Finding edges and lines in images", MIT ART, TR720 1983
- [2] R. Deriche "optimal edge detection..", IJ of CV 1987
- [3] J. Shen "un nouvel algorithme de détection..", 5ème AFCET 1986, [4]
- [4] S. Castan "Optimal filter for edge detection", ECCV 90.
- [5] D. Marr "Theory of edge detection", proc. R. Soc. 1980.
- [6] A. Serir "Segmentation d'images en régions" Thèse de Magister,