

Élimination des faux contours par séparation et propagation de seuil

S. TABBONE et D. ZIOU

CRIN - INRIA Lorraine

B.P. 239 - 54506 Vandœuvre-lès-Nancy CEDEX - FRANCE

RÉSUMÉ

ABSTRACT

Résumé : Un opérateur Laplacien d'une Gaussienne engendre une classe de faux points de contour qui ne peut-être supprimée par les méthodes classiques de seuillage. Nous proposons un algorithme d'élimination des faux contours en tenant compte de leurs différentes origines. Par ailleurs, en étudiant le comportement du contour dans un espace échelle, nous déduisons un algorithme d'élimination automatique des faux contours obtenus à différentes échelles.

Abstract : The Laplacian of a Gaussian operator produces a class of false edge points which cannot be suppressed by usual thresholding methods. We propose a new thresholding algorithm which takes the physical origins of spurious edges into account. We study the behavior of an edge in the scale space in order to derive an algorithm for automatic thresholding of edges obtained at different scales.

1 Introduction

Le seuillage a pour objectif d'augmenter le rapport signal/bruit en éliminant les faux points de contours. Le principe du seuillage est d'assigner à chaque point de contour une mesure de plausibilité représentant une de ses caractéristiques. Il existe différentes méthodes de seuillage [Wes 78] dont les plus usuelles sont :

- le fixe : il s'agit de déliminer tous les points dont l'attribut est inférieur à un seuil donné,
- l'hystérésis [Can 83] : il s'agit de préserver la continuité du contour. Une chaîne de points est préservée si la valeur des attributs de tous ses points est supérieure à un seuil bas et si la valeur d'au moins un de ses points est supérieure à un seuil haut. En définissant deux seuils, les fluctuations trop brusques - le long du contour - sont atténuées et ainsi les contours sont moins troués que dans le cas d'un seuillage fixe.

Habituellement, on suppose que les faux contours sont engendrés par le bruit et qu'ils possèdent une mesure de plausibilité faible. Or, suivant le détecteur utilisé, l'association contour-mesure de plausibilité sera plus ou moins évidente. En effet, cette association ne pose pas de problème dans le cas d'opérateur de différentiation du premier ordre (utilisation du module du gradient), elle devient ambiguë pour un opérateur de type Laplacien d'une Gaussienne. Par exemple, on associe souvent aux passages par zéro le module du gradient [She 85, Cla 89]. Or, il n'y a pas de correspondance entre les deux. D'une manière générale, étant donnée un détecteur Laplacien trois problèmes se posent :

- Quelles sont les origines des faux contours?
- Quelle mesure de plausibilité utiliser?
- Comment déterminer de façon automatique les seuils?

Cet article apporte une réponse à ces trois questions. Plus précisément, pour pallier au problème de correspondance et de continuité, nous seuillons en tenant compte de l'origine des faux points de contour et utilisons l'amplitude du passage par zéro (fig. 1) comme mesure de plausibilité. Par ailleurs, pour remédier au problème de calcul automatique de seuil, nous exploitons le comportement du contour dans un espace échelle.

Nous commençons par situer notre travail. Puis, nous montrons qu'il existe des origines différentes des faux contours et déduisons des règles de seuillage adéquates. Nous discutons également le choix de la mesure de plausibilité et proposons un algorithme de seuillage d'une image de contours. A partir de l'étude de comportement de l'amplitude dans un espace échelle, nous dérivons un algorithme de seuillage automatique applicable à un ensemble d'images multi-échelle (c'est-à-dire issues du même détecteur mais à différentes échelles).

2 Contexte

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la détection multi-échelle de contours [Zio 91]. Celle-ci se décompose en trois phases : détection, seuillage et fusion. La détection se fait en deux étapes : un filtrage et une différentiation. L'opérateur de différentiation a pour rôle de mettre en évidence les différentes variations et le filtre de lissage pour atténuer le bruit contenu dans l'image. Le paramètre qui régule le lissage s'appelle l'échelle. L'échelle correspond à l'écart type σ de la Gaussienne. La détection, dans notre contexte, se fait dans un espace échelle qui représente les contours en fonction de l'échelle à laquelle ils sont détectés [Wit 83]. La fusion consiste à combiner les différentes images de contours (seuillées) pour en obtenir une qui soit meilleure que chacune d'elles prise séparément. Afin d'aplanir les problèmes de fusion nous utilisons un



détecteur stable : pas de nouveaux contours créés lorsque l'échelle augmente. Celui-ci est défini par [Tab 90] :

$$f(x) = (\alpha * k * \sin(w|x|) + w * \cos(w|x|)) * e^{-\alpha|x|} \quad (1)$$

où, dans ce cas, α est égal à $1/\sigma$.

3 Origine des faux contours

Les images de contours résultant d'un opérateur Laplacien contiennent au moins deux classes de faux points :

- ceux engendrés par le bruit ("électronique"¹ et "sémantique"²...). En général, ces contours possèdent une faible mesure de plausibilité et sont facilement éliminés par un algorithme de seuillage classique de type hystérésis,
- ceux engendrés par les double marches de forme escalier. Ce type de contour engendre à basse échelle trois contours fermés dont un est faux (celui du milieu voir fig. 2). Une méthode d'élimination qui préserve la continuité n'est pas souhaitable, dans ce cas, pour éliminer ce faux contour. Celui-ci correspond à un minima positif dans l'image I' et par conséquent $I' \times I''' > 0$. Cette condition s'écrit plus simplement dans le cas discret :

$$((I(p_1) - I(p_2)) \times (lap(p_1) - lap(p_2)) > 0). \quad (2)$$

Où p_1 et p_2 correspondent à des extremum situés de part et d'autre du passage par zéro. Pour diminuer l'effet du bruit, nous utilisons l'intensité lissée aux points p_1 et p_2 .

En résumé, il existe au moins deux classes de faux points d'origines différentes ne pouvant être éliminés de la même façon et qui sont mis en évidence par deux règles d'élimination.

4 Mesure de plausibilité

Certains auteurs associent aux passages par zéro le module du gradient. Or il n'y a pas d'équivalence entre le gradient et le Laplacien (sauf si la courbure moyenne du contour est nulle [Tor 86]). En effet, à un "vrai" passage par zéro peut correspondre un module du gradient nul (e.g. fonction harmonique) et à un faux passage par zéro peut correspondre un module du gradient fort [Tor 86]. En alternative, nous proposons l'amplitude du passage par zéro comme mesure de plausibilité. Elle est définie par : $|lap(p_1) - lap(p_2)|$ (voir fig. 2). Notre choix est motivé par les raisons suivantes :

- elle évite le problème de correspondance entre le passage par zéro et le module du Gradient évoqué précédemment,
- le calcul de celle-ci est directement déduit du calcul de l'image du Laplacien. Ceci constitue un gain temporel par rapport aux méthodes existantes qui demandent un traitement supplémentaire (e.g le module du gradient).

5 Algorithme de seuillage

A partir des règles d'élimination (cf §3), le seuillage d'une image donnée se fait, par conséquent, en deux temps :

- élimination des faux points de contour de la deuxième classe en utilisant la formule (2),
- élimination des faux points de contour de la première classe par seuillage hystérésis en utilisant l'amplitude du passage par zéro comme mesure de plausibilité.

Le résultat du seuillage d'une image donnée est présenté figure (4). La figure (4.d) montre la deuxième classe de faux points de contour qui ne peut être éliminée par les méthodes classiques de seuillage. La différence des résultats avec un seuillage classique est significative (fig. 4.e-f, 10% de faux points proviennent de contours double marches).

6 Seuillage automatique

La détection multi-échelle des contours nécessite, entre autres, l'élimination des faux contours dans chaque image obtenue. Il est fastidieux, en utilisant les règles classiques de seuillage de trouver expérimentalement un seuil à chaque échelle. Nous proposons un algorithme fondé sur le comportement du contour dans un espace échelle et qui procède par propagation de seuil. Il s'agit de déterminer expérimentalement le seuil dans une image de contours puis de calculer le seuil de n'importe quelle autre image en se basant sur le seuil déjà calculé et la variation de l'échelle. Notre détecteur de contours étant stable, nous connaissons la loi de comportement de tous les contours : l'amplitude du passage par zéro est inversement proportionnelle à l'échelle. En effet, soit un modèle de marche idéale défini par :

$$S(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq 0 \\ A & \text{sinon} \end{cases} \quad (3)$$

où A représente le contraste de la marche. La convoluée d'une marche idéale par la dérivée seconde du filtre présenté §2 s'écrit :

$$C^\alpha(x) = \begin{cases} -A(\alpha^2 + w^2) \sin(wx) e^{\alpha x} & \text{si } x < 0 \\ -A(\alpha^2 + w^2) \sin(wx) e^{-\alpha x} & \text{si } x \geq 0 \end{cases}$$

Pour calculer l'amplitude H à une échelle $(1/\alpha)$, le maximum est défini au point : $x = \frac{1}{w} \arctan(\frac{w}{\alpha})$, d'où :

$$H(\alpha) = \frac{2 * A * w * (\alpha^2 + w^2)}{\alpha * e^1} \quad (4)$$

Nous obtenons de manière formelle une expression où l'amplitude du passage par zéro H dépend de l'échelle. Le seuillage de n images se fait de la manière suivante :

- seuillage de l'image de contour obtenue à haute échelle en utilisant l'algorithme précédent (cf. §6). A cette échelle, l'image contient peu de bruit et le seuil est facilement calculable soit expérimentalement soit automatiquement en utilisant une formule décrite dans [Had 88, Del 89],
- les seuils pour les autres images sont calculés automatiquement à partir de celui obtenu à haute échelle. Le calcul du seuil aux différentes échelles, en utilisant la formule (4), est défini par :

$$S_c = S_h * \frac{H(\alpha_c)}{H(\alpha_h)} = S_h * \frac{\alpha_h * (\alpha_c^2 + w^2)}{\alpha_c * (\alpha_h^2 + w^2)} \quad (5)$$

¹bruit introduit par le dispositif physique de formation de l'image

²bruit introduit par la nature propre de la scène (e.g la texture)

Où S_h représente le seuil défini expérimentalement à haute échelle et S_c le seuil calculé automatiquement à échelle courante.

La mise en pratique de cette formule est sanctionnée figure (5). Le calcul automatique de seuils porte sur trois images de contours définies à trois échelles décroissantes (fig. 5.b-c-d). Le seuil calculé pour l'image à plus haute échelle (fig. 5.b, résultat fig. 5.e) est propagé aux autres images de contour (fig. 5.f-g).

7 Conclusion

Les méthodes de seuillage présentées dans cette article sortent du cadre classique des méthodes existantes. Nous avons montré :

- qu'il existe au moins deux classes de faux points,
- que l'utilisation d'un algorithme de seuillage fondé sur la continuité n'est pas viable sans élimination préalable des faux contours engendrés par les double marches.

Pour remédier au problème de correspondance, nous utilisons comme mesure de plausibilité l'amplitude du passage par zéro, dont la détermination est déduite directement à partir de l'image de Laplacien. Nous proposons, en conséquence, un algorithme qui tient compte des origines différentes des faux contours. En outre, l'étude du comportement d'un contour de type marche idéale dans un espace échelle a permis de déduire des règles de seuillage applicables à un ensemble d'images issues du même détecteur mais obtenues à différentes échelles.

Nous souhaitons par la suite généraliser l'étude de comportement à d'autres modèles de contour afin de dériver une formule similaire à celle de la marche où l'amplitude du passage par zéro est fonction de l'échelle. Il faudra également tenir compte du modèle du bruit lors de la propagation des seuils.

Références

- [Can 83] J.F. Canny. Finding Edges and Lines in Images. Technical report no. 720, Massachusetts Institut of Technology, 1983.
- [Cla 89] J.J. Clark. Authenticating Edges Produced by Zero-Crossing Algorithms. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, 11(1):43-57, Jun 1989.
- [Del 89] S. Dellepiane, D.D. Guisto, et G. Vernazza. Automatic Parameter Computation for Edge Detection by the Zero-Crossing Method. *Actes du 12^{ème} Colloque sur le Traitement du Signal et des Images (GRETSI)*, pages 617-620, Nice, 1989.
- [Had 88] J.F. Haddon. Generalised threshold selection for edge detection. *Pattern Recognition*, 21(3):195-203, 1988.
- [She 85] J. Shen et S. Castan. Un nouvel algorithme de détection de contours. *Actes du 5^{ème} Congrès AFCET Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle*, pages 201-213, Grenoble, 1985.
- [Tab 90] S. Tabbone. Vers une approche multi-échelle pour la détection de contours. Rapport interne, CRIN, 1990.
- [Tor 86] V. Torre et T.A. Poggio. On Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, 8(2):147-163, Mar 1986.
- [Wes 78] J.S. Weszka. A survey of threshold selection techniques. *Computer Graphics and Image Processing*, 7:259-265, 1978.
- [Wit 83] A. P. Witkin. Scale-Space Filtering. *Proceedings of the 4th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, pages 1019-1022, 1983.
- [Zio 91] D. Ziou et S. Tabbone. Fusion des contours dans un espace échelle. *13^{ème} Colloque sur le Traitement du Signal et des Images (GRETSI)*, à paraître, 1991.

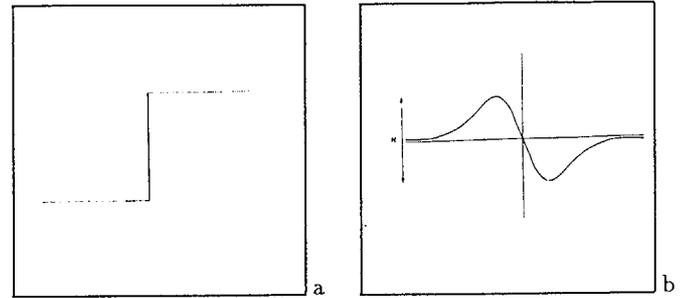


Figure 1: a) profil d'une marche idéale. b) la réponse d'un détecteur de type Laplacien d'une Gaussienne, H indique la hauteur du passage par zéro.

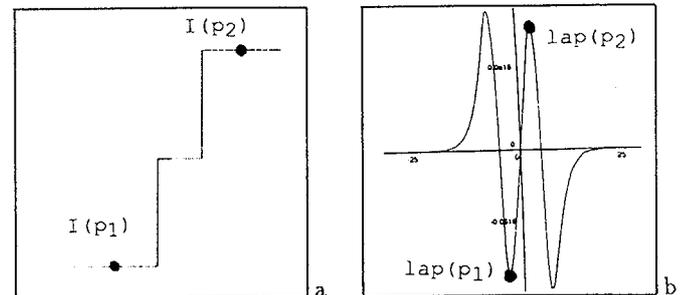


Figure 2: a) profil d'une double marches de forme escalier. b) la convoluée avec la dérivée seconde du filtre présenté §2, le passage par zéro qui se trouve au milieu est un faux.

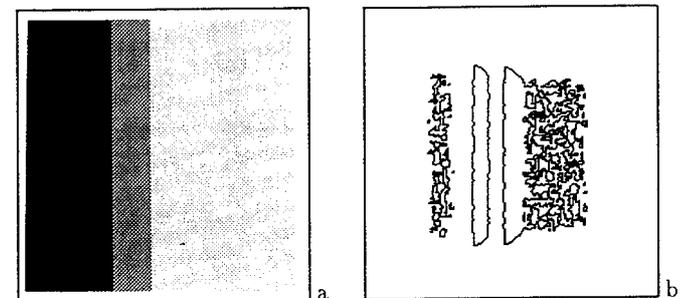


Figure 3: (a) Image de synthèse ($R.S.B = 3$ dB) contenant une double marche de forme escalier. b) résultat de la détection de contours.

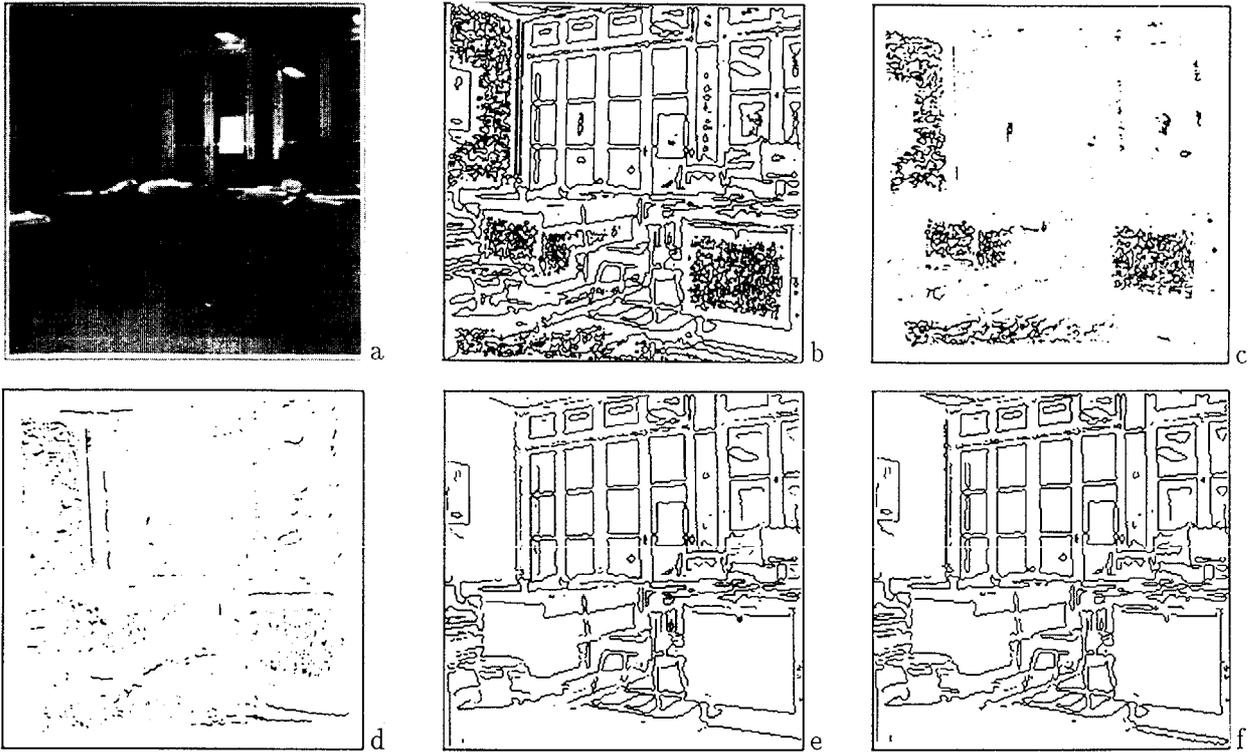


Figure 4: (a) Image de scène intérieure. b) image de contours (12537pts détectés, $\alpha = 1.0$) c) image de faux contours engendrés par le bruit, élimination avec un seuillage hystérésis $seuil_{bas} = 28$ $seuil_{haut} = 53$. d) les faux contours engendrés par les doubles marches en utilisant eq. 2. e) image de contours après élimination de tous les faux contours (6000pts présents). f) image de contours en utilisant uniquement un seuillage classique (7000pts présents).



Figure 5: a), b) et c) images de contours obtenues à différentes échelles ($\alpha = 0.5, 0.7, 1.0$). d), e), f) images de contours après élimination des faux contours engendrés par le bruit et les double marches. Les seuils bas et haut déterminés expérimentalement pour l'image à plus haute échelle valent 2 et 4, les seuils calculé automatiquement pour les deux autres images valent respectivement 12 et 24 pour l'image (e), 28 et 53 pour l'image (f).