

Fusion des contours dans un espace échelle

D. Ziou et S. Tabbone

CRIN - INRIA-Lorraine

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

RÉSUMÉ

ABSTRACT

Dans cet article, nous présentons un ensemble de règles de comportement du contour dans un espace échelle et dérivons ensuite à partir de ces règles un algorithme pour la fusion des contours obtenus à différentes échelles par un détecteur laplacien. Enfin, nous montrons que deux échelles sont suffisantes pour une description correcte de l'image en terme de contours.

Using rules describing the behavior of edges in scale space, we deduce an algorithm for combining edge information obtained from a laplacian detector at different scales. We emphasize that two scales are sufficient for good edge detection.

1 Introduction

L'intérêt de la détection de contours en utilisant une approche multi-échelle n'est plus à démontrer [Mar 80, Wit 83, Can 83, Ber 87]. Cette approche consiste à exécuter un détecteur à des échelles successives et à combiner les informations contours obtenues. Deux problèmes se posent : comment sélectionne-t-on les échelles utilisées ? comment combine-t-on les contours ?

Ces deux problèmes ont été abordés de nombreuses fois. F. Bergholm [Ber 87] propose un algorithme de fusion qui consiste à exécuter un détecteur à des échelles décroissantes et à remplacer l'ancien contour (échelle précédente) par le nouveau contour (échelle courante). Cette méthode pose trois problèmes : (1) certains contours (e.g. ceux engendrés par l'illumination) sont mieux localisés à haute échelle qu'à basse échelle, (2) les contours qui apparaissent à des échelles intermédiaires ne sont pas pris en considération, (3) le nombre d'échelles utilisées est important (e.g. treize échelles), ce qui pose un problème d'efficacité. V. Lacroix [Lac 90] propose l'utilisation de la stratégie inverse "fine-to-coarse" pour pallier aux deux premiers problèmes. Cependant, son approche pose des problèmes semblables à ceux de Bergholm, en particulier certains contours (e.g. les doubles) sont mieux localisés à basse échelle.

L'objectif de notre communication est de présenter un algorithme de fusion de contours obtenus à différentes échelles et de montrer que sous certaines conditions, l'utilisation de deux échelles (une haute et une basse) sont généralement suffisantes pour une description correcte de l'image. Nous présentons dans le premier paragraphe les hypothèses du travail et nous discutons le choix du détecteur de contours à utiliser. Le deux paragraphes suivants sont consacrés à l'étude du comportement des contours dans un espace échelle et à la description de l'algorithme de fusion.

Enfin, les résultats expérimentaux sont donnés dans le dernier paragraphe.

2 Hypothèses de travail

On appelle échelle le paramètre d'un détecteur contrôlant le degré du lissage. Le laplacien d'une gaussienne est le détecteur souvent utilisé en multi-échelle. Le terme échelle fait référence alors à l'écart-type de la gaussienne. On appelle espace échelle un plan $x - e$, dans lequel les contours issus d'un signal $S(x)$ sont décrits en fonction de l'échelle e (voir fig 1).

Pour aplanir le problème de fusion, le détecteur de contours utilisé doit être stable dans un espace échelle : il ne doit pas créer des nouveaux contours quand l'échelle augmente (fig. 1). Yuille [Yui 86], Babaud [Bab 86] ont montré qu'en 2D, seul le laplacien d'une gaussienne est stable. Au lieu d'utiliser ce détecteur, nous préférons le suivant :

$$f(x, y) = h''(x)h(y) + h''(y)h(x) \quad (1)$$

Avec,

$$h(x) = e^{-\alpha|x|}(c\alpha|x| + 1)$$

Le détecteur $f(x, y)$ est une bonne approximation du laplacien d'une gaussienne, donc stable dans espace échelle. La relation entre le paramètre α et l'écart-type σ de la gaussienne est donnée par : $\alpha = 1/\sigma$. Il en résulte que la haute échelle correspond à une petite valeur de α et inversement. c est un paramètre de normalisation calculé automatiquement à partir de α .

La raison essentielle pour utiliser $f(x, y)$ est le fait qu'il peut être implanté facilement par des équations aux



différences [Zio 89, Tab 90]. Ainsi, ni la complexité spatiale, ni la complexité temporelle du détecteur résultant ne sont affectées par le changement de l'échelle. Ceci confère au détecteur $f(x, y)$ un énorme avantage pour être utilisé en détection multi-échelle de contours.

Nous considérons dans ce travail les quatre modèles de contours de type marches, les plus fréquents dans des images de scènes d'intérieur (voir fig. 2) :

- les marches idéales : elles correspondent généralement aux frontières des objets (c'est-à-dire, les contours physiques),
- les marches brouillées : elles sont souvent dues aux changements de l'illumination dans la scène,
- les doubles marches de type crêtes : ces contours sont dus généralement à un objet mince posé sur un fond ou bien à l'illumination mutuelle entre objets,
- les doubles marches de type escaliers : ces contours sont dus généralement à la présence d'objets contigus de niveaux de gris différents et monotones et dont au moins un de ces objets est mince.

3 Comportement du contour dans un espace échelle

Notre démarche est fondée sur le comportement des contours dans un espace échelle. Plus précisément, les contours dans une image sont différents et se comportent différemment dans un espace échelle.

Il est possible alors d'identifier les différents types de contours (e.g. le modèle du contour) dans une image à partir de leur comportement et de les localiser à l'échelle où ils sont mieux détectés.

Considérons le détecteur $h''(x)$ et les quatre modèles de contours définis dans le paragraphe précédent. Le profil de la marche brouillée peut être modélisé par :

$$S_b(x) = \begin{cases} A * (1 + e^{-\mu x}(x + \frac{1}{2})) & \text{si } x \geq 0 \\ A * (e^{\mu x}(x - \frac{1}{2})) & \text{si } x \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

La convolution de $S(x)$ et de $h''(x)$ donne :

$$C_b(x, \alpha) = \begin{cases} e^{-x}(x(4\alpha^3 - 4) - 6\alpha^3 - 10) - e^{-\alpha x}(x(2\alpha^6 - 9\alpha^4 + 8\alpha^2 - 1) - 6\alpha^3 - 10\alpha) & \text{si } x \geq 0 \\ e^x(x(4\alpha^3 - 4) + 6\alpha^3 + 10) - e^{\alpha x}(x(2\alpha^6 - 9\alpha^4 + 8\alpha^2 - 1) + 6\alpha^3 + 10\alpha) & \text{si } x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

où A est l'amplitude de la marche et μ un scalaire positif représentant la pente de la marche.

Les deux autres modèles de contours sont représentés communément par la fonction suivante :

$$S_s(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq -l \\ A & \text{si } -l < x < l \\ k * A & \text{si } x \geq l \end{cases} \quad (4)$$

avec l la largeur de la marche et k une constante positive. Le résultat de la convolution de $h''(x)$ et de $S(x)$ est donné par :

$$C_s(x, \alpha) = \begin{cases} (1-k)(x-l)e^{\alpha(x-l)} - (x+l)e^{\alpha(x+l)} & \text{si } x \leq -l \\ (1-k)(x-l)e^{\alpha(x-l)} - (x+l)e^{-\alpha(x+l)} & \text{si } -l < x < l \\ (1-k)(x-l)e^{\alpha(l-x)} - (x+l)e^{-\alpha(x+l)} & \text{si } x \geq l \end{cases} \quad (5)$$

Examinons maintenant le comportement de chacun de ces contours :

- marche simple : en remplaçant dans $S_s(x)$ (eq. 4) $l = 0$ et $k = 1$, on obtient le profil d'une marche idéale. Dans ce cas, $S_s(x)$ présente un saut à l'origine ($x = 0$) et la fonction $C_s(0, \alpha) = 0$. Il en résulte que, la position du contour dans le cas d'une marche idéale est indépendante de l'échelle. D'une manière générale, les marches idéales sont localisées correctement à toute échelle.
- double marches de type crête : elle est définie par $S_s(x)$ avec $k = 0$. $S_s(x)$ présente deux sauts aux points $x = l$ et $x = -l$ et $C_s(l, \alpha) = -2le^{-2\alpha l}$ (le cas $x = -l$ est symétrique). Si α est proche de zéro (grande échelle) alors le terme $e^{-2\alpha l}$ est proche de 1 et le déplacement est alors de l'ordre de $2l$. En revanche, si α est très grand (basse échelle) le terme $e^{-2\alpha l}$ est proche de zéro. Il en résulte un déplacement presque nul.
- En résumé, les doubles marches de type crête sont localisées correctement à basse échelle. A haute échelle, l'erreur de localisation due au phénomène d'influence est importante.
- double marches de type escalier : elle est définie par $S_s(x)$ avec $k > 0$. $S_s(x)$ présente deux sauts aux points $x = l$ et $x = -l$. Cependant, nous avons $C(0, \alpha) = 0$ et $C_s(l, \alpha) = -2le^{-2\alpha l}$ (le cas $x = -l$ est symétrique). La fonction $C(x, \alpha)$ présente trois passages par zéro à basse échelle et un seul passage par zéro à haute échelle. Le passage par zéro au point $x = 0$ est indépendant de l'échelle. En revanche, le déplacement des passages par zéro aux points $x = -l$ et $x = l$ suit le même comportement que le cas précédent.
- marche brouillée : la fonction $S_b(x)$ possède un point de contour au point $x = 0$. La fonction $C_b(x, \alpha)$ présente un passage par zéro à haute échelle (α petit) et trois passages par zéro à basse échelle (α grand). Cependant nous avons $C_b(0, \alpha) = 0, \forall \alpha$.

Les marches brouillées sont localisées correctement à haute échelle. A basse échelle, les contours sont tordus et bruités. Ceci est dû aux deux petits pics qui se trouvent de part et d'autre de la marche.

Le comportement de ces quatre modèles de contours montre que les marches doubles sont mieux localisées à basse échelle, les marches brouillées à haute échelle et les marches idéales

sont localisés correctement à toutes les échelles. On peut déduire le résultat suivant : dans le cas d'une image ne contenant que ces quatre modèles de contours, deux échelles (une haute et une basse) sont suffisantes pour détecter correctement ces contours. Le choix de ces deux échelles dépend essentiellement de certaines caractéristiques de ces contours : largeur, netteté et rapport signal/bruit. Si la haute échelle est basse alors les contours de type marches brouillées sont tordus et éfilochés. Si la basse échelle est haute, les doubles marches sont mal localisées. Il n'y a pas de règle précise pour choisir les deux échelles. L'expérimentation est le moyen le plus fiable pour fixer les deux échelles les plus appropriées pour l'image considérée.

4 Algorithme de fusion

L'algorithme de fusion que nous proposons tire partie du comportement des contours. Il comporte deux étapes : soient deux images de contours obtenues à haute et à basse échelle par le détecteur $f(x, y)$ (eq. 1) et seuillées par l'algorithme décrit dans [Tab 91].

- identification de contours en se fondant sur leur comportement respectif et sur les deux images de contours,
- la formation de l'image résultat en considérant les marches idéales et les doubles à basse échelle et les brouillés à haute échelle.

L'identification des contours est effectuée selon les règles suivantes :

- les marches idéales correspondent aux contours qui coïncident dans les deux images ou ceux qui apparaissent à basse échelle et non à haute. L'étiquetage de ces contours se fait par raffinements successifs en utilisant comme primitive le point et la chaîne de points. Le nombre de voisins de chaque point de contour est comparé avec celui de l'image addition (image à basse échelle plus image à haute échelle). Si le voisinage est le même, alors le point de contour est étiqueté comme idéal. La chaîne de points de contours prend l'étiquette de la majorité de ses points.
- les doubles marches de forme escalier et crête sont étiquetées dans l'image à basse échelle où la localisation est meilleure. Leur mise en évidence se fait par la recherche de contours parallèles. La différenciation des crêtes et des escaliers peut être effectuée à l'aide du signe du contraste.
- les marches brouillées sont recherchées dans l'image à haute échelle. Ce sont ceux restants après avoir identifié les double marches. L'identification se fait par mise en correspondance avec les contours définis à basse échelle.

5 Résultats expérimentaux et conclusion

Cet algorithme a été testé sur une variété d'images de synthèses et d'images naturelles. La figure 3.a présente une

image originale 256×256 à 256 niveaux de gris. Les figures 3.b et 3.c décrivent respectivement les images de contours obtenues à basse ($\alpha = 1.2$) et haute ($\alpha = 0.7$) échelles. Notons que l'ombre des lunettes (contours brouillés) est mieux localisée à haute échelle. Cependant, les contours doubles (lunettes) sont mieux localisés à basse échelle. Nous obtenons une image de fusion (fig. 3.d) qui décrit bien les contours double marches et brouillés. Les résultats semblent être satisfaisants.

L'étude du comportement des contours a montré que l'exécution d'un détecteur à deux échelles (la haute et la basse), permet d'obtenir une description correcte de l'image en termes de contours. Ceci constitue un avantage énorme de notre algorithme relativement à ceux proposés dans [Can 83, Ber 87, Lac 90].

Une image naturelle étant souvent complexe, l'analyse du comportement d'un contour idéal isolé peut ne pas être suffisante. De ce fait, il est intéressant de : 1) considérer des combinaisons linéaires de modèles de contours bruités, 2) introduire des nouveaux modèles de contour pour aboutir à un algorithme général. Ceci constitue la suite de ce travail.

Références

- [Bab 86] J. Babaud, A.P. Witkin, M. Baudin, et R.O. Duda. Uniqueness of the Gaussian Kernel for Scale-Space Filtering. *IEEE, PAMI*, 8(1):26-33, Jan 1986.
- [Ber 87] F. Bergholm. Edge Focusing. *IEEE, PAMI*, 9(6):726-741, Nov 1987.
- [Can 83] J.F. Canny. Finding Edges and Lines in Images. Tech. rep. no. 720, MIT, 1983.
- [Lac 90] V. Lacroix. The Primary Raster: A Multiresolution Image Description. *Proceedings of the 10th ICPR*, pages 903-907, 1990.
- [Mar 80] D. Marr et E.C. Hildreth. Theory of Edge Detection. *Proc. of the Roy. Soc. of London B207*, pages 187-217, 1980.
- [Tab 90] S. Tabbone. Vers une approche multi-échelle pour la détection de contours. Rapport de DEA, CRIN, 1990.
- [Tab 91] S. Tabbone et D. Ziou. Elimination des faux contours par séparation et propagation de seuil. *Actes du 13^{ème} GRETSI, Juan-les-Pins, à paraître*, 1991.
- [Wit 83] A. P. Witkin. Scale-Space Filtering. *Proceedings of the 4th IJCAI*, pages 1019-1022, 1983.
- [Yui 86] A.P. Yuille et T.A. Poggio. Scaling Theorems for Zero-Crossings. *IEEE, PAMI*, 8(1):15-25, Jun 1986.
- [Zio 89] D. Ziou et B. Wrobel-Dautcourt. Filtrés récursifs pour la détection de contours "ligne de crêtes" et "marches". *Actes du 12^{ème} GRETSI*, pages 637-640, Nice, 1989.

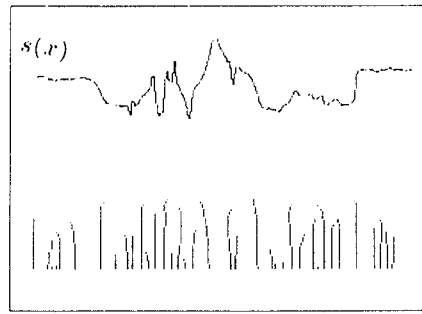


Figure 1: *Espace échelle du signal $s(x)$ résultat de l'exécution du détecteur $f(x, y)$ (eq. 1) à plusieurs échelles. Un arche dans cet espace représente l'évolution de la position du contour en fonction de l'échelle de $f(x, y)$.*

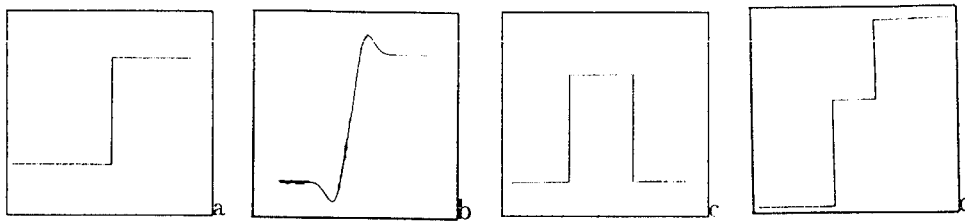


Figure 2 : *Profil d'une marche (a) idéale. b) brouillée. c) double de type crête. d) double de type escalier.*

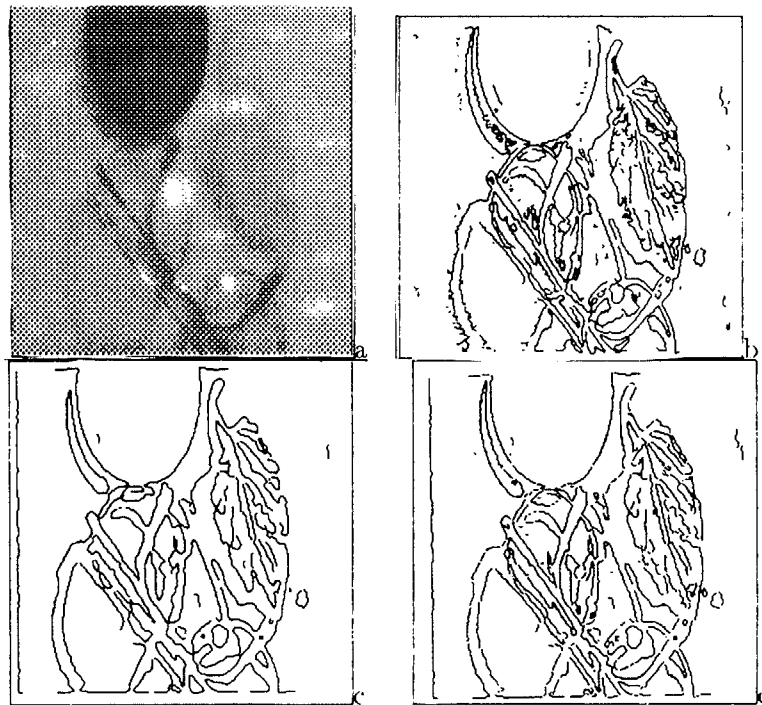


Figure 3: (a) *Image naturelle contenant des contours engendrés à la fois par plusieurs phénomènes physiques (par exemple l'ombre des lunettes est une crête). b) et c) Image de contours obtenues respectivement à basse ($\alpha = 1.2$) et à haute ($\alpha = 0.7$) échelle. d) Image de contours résultat de la fusion.*