

QUATORZIEME COLLOQUE GRETSI - JUAN-LES-PINS - DU 13 AU 16 SEPTEMBRE 1993  
**UN RESEAU COOPERATIF MULTI-RESOLUTION  
POUR LE GROUPEMENT DE CONTOURS**

**Frank MANGIN  
Marc BERTHOD  
Josiane ZERUBIA**

INRIA  
BP 93 - 06902 Sophia-Antipolis Cedex  
Email : mangin@sophia.inria.fr Fax : 93 65 77 66

#### RÉSUMÉ

Un schéma multi-résolution de groupement perceptuel de contours est proposé. Il utilise des processus de coopération locales entre éléments de contours à deux résolutions différentes. A basse résolution, le modèle est régi par des règles telles que proximité, bonne continuation et parallélisme des contours dont la psychophysologie a démontré la pertinence. L'organisation globale ainsi obtenue est utilisée à haute résolution pour améliorer l'image de contours initiale par un processus itératif. L'algorithme ne fait intervenir que des calculs locaux et est mis en œuvre sur une machine massivement parallèle. Il permet d'obtenir en quelques itérations un résultat stable pour des images de toutes origines dont des images satellitaires particulièrement complexes.

## 1 Introduction

La détermination des limites des objets dans une scène présente un intérêt crucial pour le traitement de l'image. En effet analyser une scène suppose dans un premier temps d'en isoler les éléments constituants. Or des objets distincts possèdent le plus souvent des aspects de surface différents par leur couleur, leur texture, ou leurs conditions d'éclairage. Ces contrastes forment les contours de l'image qui sont classiquement obtenus en appliquant en chaque position un filtre local détecteur de discontinuité, et en seuillant le résultat pour produire l'image des contours. L'information ainsi obtenue est difficilement utilisable directement pour la segmentation ou l'interprétation, parce qu'il n'existe pas de relation simple entre les intensités d'une image digitale et les contours ou les surfaces des objets de la scène. Dans le cas du système visuel humain, la psychophysologie a mis en évidence l'existence d'une phase préattentive appelée «groupement perceptuel». Pendant cette phase, de nouveaux contours apparaissent et les contours non pertinents sont supprimés, selon des règles étudiées par la «Gestalt Theory» (cf. [Wertheimer23]). Plus récemment, [Lowe85] a utilisé le principe de «non-accidentalité» pour proposer une explication générale du phénomène d'organisation perceptuelle. Cependant la quantité d'information à traiter et l'aspect combinatoire du problème rendent extrêmement difficile l'utilisation de ces résultats pour l'organisation perceptuelle d'images de scènes réelles.

## 2 Le groupement de contours

Le groupement de contours est un problème difficile pour au moins deux raisons :

#### ABSTRACT

A multiresolution scheme for perceptual contour grouping is proposed. It uses local cooperation-inhibition processes between edge elements at two different resolutions. At the lower resolution, interaction rules such as contour proximity, continuity, or parallelism are designed after basic psychophysiological results. At the higher resolution, the information provided by the low resolution organization process allow to iteratively update the initial edge image. Only local computations take place at each resolution, and the algorithm is thus efficiently implemented on a fine-grained parallel machine. Results, obtained in less than ten iterations, exhibit high mid-range grouping capabilities for images of complex real scenes like satellite images.

- les règles permettant de choisir le meilleur groupement sont nombreuses et complexes.
- ces règles dépendent de caractéristiques globales du contour, qui sont difficiles à extraire efficacement.

Les modèles existants peuvent être évalués selon deux critères : règles de groupement mises en œuvre d'une part, et possibilité d'interaction directe entre éléments de contours distants d'autre part. Les critères de groupement utilisés par les modèles existants sont de deux types : qualité globale du contour, et symétries. Dans tous les cas l'évaluation de la qualité du contour prend en compte un critère de continuité : groupement de segments proches [Lowe85], [Grossberg85], [Zucker89], [Medioni92], [Mohan89], [Dolan92]), contribution nulle des positions ne portant pas de segment ([Shaashua88]), rapport entre potentiels des configurations de terminaison et de continuation dans les modèles markoviens ([Marroquin89]). Généralement un critère de régularité ou de faible courbure intervient également. Une méthode courante consiste à vérifier l'alignement des tangentes aux extrémités des contours à grouper ([Lowe85], [Grossberg85], [Mohan89], [Dolan92]). Elle possède le grave inconvénient de ne pas prendre en compte l'orientation et la courbure globales du contour, et de conduire à des groupements parfois erronés. Un critère plus fiable est donné par la prise en compte de la courbure globale du contour, soit directement comme dans [Shaashua88], soit indirectement par la définition de champs de compatibilités comme dans [Zucker89] ou [Medioni92]. Enfin l'introduction de classes de courbures ([Zucker89]) permet un contrôle plus précis de la régularité du contour. En plus de ces critères de qualité globale du contour, [Lowe85] et [Mohan89] détectent les symétries en



mettant en correspondance les extrema de courbure entre deux contours.

Bien que les règles de groupement décrites soient relativement simples, leur application dans le cas d'images complexes est difficile et a motivé la recherche d'algorithmes efficaces de mise en œuvre du groupement perceptuel. [Shaashua88] a proposé un algorithme qui s'apparente à la programmation dynamique. Le meilleur contour passant en chaque position est déterminé itérativement en évaluant une fonction de coût :

$$S_n = \sum_{i=1}^n \sigma_i C_{i,j}$$

où  $\sigma_i$  vaut 0 ou 1 selon qu'un segment existe ou non en position  $i$ , et

$$C_{i,j} = \prod_{k=i}^{j-1} \exp\left(-\alpha \tan \frac{|\theta_{k+1} - \theta_k|}{2}\right)$$

évalue la courbure totale du contour. [Marroquin89] utilise une modélisation markovienne (cf [Geman84]) pour représenter les contours rectilignes. Enfin [Zucker89] utilise un modèle de relaxation (cf [Zucker83]) pour assurer la cohérence d'un champs de labels. Ces différentes approches ne permettent pas de définir directement les lois d'organisation globales entre contours distants, et d'exploiter entre autres exemples une notion telle que le parallélisme entre deux segments. Les modèles fondés sur l'aggrégation de «token» (cf [Dolan92]) résolvent ce problème, mais les critères retenus (proximité des contours, alignement des tangentes aux extrémités) ne tiennent pas compte de la qualité globale du contour.

### 3 Le modèle proposé

Une approche multi-résolution a été retenue pour permettre la mise en œuvre directe d'interactions globales entre contours distants. L'image de contour initiale est obtenue par un détecteur classique de type [Canny86] ou [Deriche87] et forme l'image haute résolution. Celle-ci est utilisée pour calculer l'image basse résolution, dans laquelle les groupements sont alors déterminés. La mise à jour de l'image haute résolution est alors effectuée selon un processus itératif utilisant l'information globale calculée à basse résolution.

#### 3.1 Formation de l'image haute résolution

Un détecteur d'éléments de contours est appliqué à l'image de contours obtenue par détection classique. En chaque position de l'image haute résolution, des noyaux de convolution orientés dans 16 semi-directions prédéfinies permettent de déterminer une direction d'entrée  $\theta^{in}$ , une direction de sortie  $\theta^{out}$ , et une intensité  $v$ . Ces triplets forment les éléments de contours  $L_{ij}$  de l'image haute résolution, utilisés pour calculer l'image basse résolution.

#### 3.2 Formation de l'image basse résolution

Les éléments de contours de courbure importante, non intéressants pour les interactions globales, sont tout d'abord éliminés :

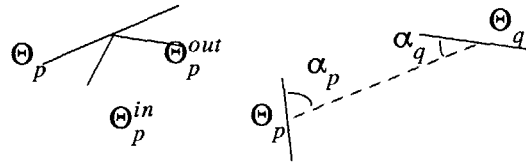
L'image haute résolution est divisée en carrés  $S_{IJ}$  de  $9 \times 9$  pix-

$$|\theta_{ij}^{in} - \theta_{ij}^{out} - \pi| > \frac{\pi}{4} \Rightarrow v_{ij} = 0$$

els qui forment les positions de l'image basse résolution. Les deux meilleurs éléments de contours  $L_{IJ}^1$  et  $L_{IJ}^2$  sont alors extraits dans chaque carré.  $L_{IJ}^1$  est l'élément d'intensité maximale, tandis que  $L_{IJ}^2$  est choisi parmi les éléments de contour non alignés avec  $L_{IJ}^1$  de manière à fournir une hypothèse différente. L'image basse résolution est formée par les paires  $(L_{IJ}^1, L_{IJ}^2)$ .

#### 3.3 Groupement dans l'image basse résolution

L'objectif est de trouver en chaque position la meilleure hypothèse de contour modélisé par un arc de cercle. Pour cela, on définit tout d'abord un coefficient de cocircularité entre deux éléments de contour en comparant les angles des tangentes avec la ligne joignant les deux positions :



$$\text{Coc} \{L_p, L_q\} = |\alpha_p - \alpha_q|$$

La condition de cocircularité permet de plus de définir le cercle inféré par deux éléments de contours.

En chaque position, on construit un ensemble de  $N_h$  hypothèses de contours inférés par  $L_{IJ}^1$  en utilisant la cocircularité avec les éléments  $L_{KL}^p$  du voisinage :

$$\begin{aligned} \text{Coc}(L_{IJ}^1, L_{K_1 L_1}^{p_1}) &\leq \text{Coc}(L_{IJ}^1, L_{K_2 L_2}^{p_2}) \leq \dots \\ &\dots \leq \text{Coc}(L_{IJ}^1, L_{K_{N_h} L_{N_h}}^{p_{N_h}}) \end{aligned}$$

Les arcs circulaires correspondants sont notés

$$\{H_{IJ}^1, H_{IJ}^2, \dots, H_{IJ}^{N_h}\}$$

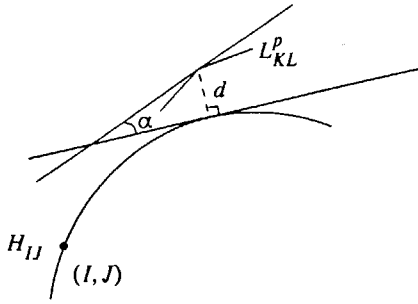
L'étape suivante consiste à évaluer le support de chaque hypothèse en utilisant les règles du groupement perceptuel.

Pour cela, on dit qu'un élément de contour  $L_{KL}^p$  et une hypothèse  $H_{IJ}$  sont compatibles si et seulement si :

- $\text{dist}(L_{KL}^p, H_{IJ}) < d_o$
- L'angle entre la tangente à  $L_{KL}^p$  et la tangente à  $H_{IJ}$  est



faible :

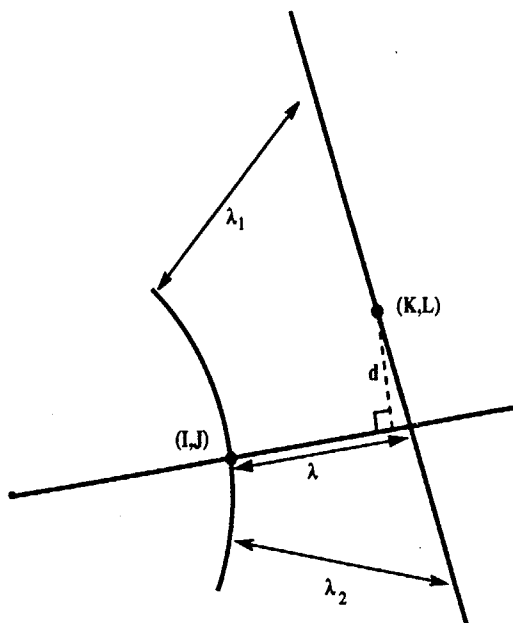


Le support de l'hypothèse  $H_{IJ}$  est la somme des  $v_{KL}^p$  tels que  $L_{KL}^p$  est compatible avec  $H_{IJ}$ , cependant les contributions localisées à la même abscisse le long du contour ne doivent être comptées qu'une fois. Pour réaliser ceci, le contour  $H_{IJ}$  est divisé en petites sections selon la distance curviligne à  $(I, J)$ . Dans chaque section, seule la meilleure contribution parmi les  $L_{KL}^p$  compatibles est conservée, et le support est obtenu en sommant les contributions des différentes sections.

Le support de chaque hypothèse étant ainsi évalué selon un critère de qualité globale, on note  $H_{IJ}^{qual}$  l'hypothèse ayant le plus fort support en  $(I, J)$  :

$$S(H_{IJ}^{qual}) = \max_{k < N_h} (H_{IJ}^k)$$

Chaque hypothèse est alors comparée aux meilleures hypothèses du voisinage pour détecter les parallélismes, et son support est augmenté d'une fraction du support des hypothèses parallèles. La relation de parallélisme entre deux hypothèses de contours, notée  $\text{Par}(H_{IJ}^k, H_{KL}^{qual})$ , est définie selon deux critères illustrés ci-après : le premier critère assure que les contours se chevauchent, et le second vérifie leur parallélisme en évaluant la variation relative de la distance entre les contours.



En reprenant les notations de la figure précédente, les conditions s'écrivent :

$$\text{Par}(H_{IJ}^{qual}, H_{IJ}^k) \Leftrightarrow \begin{cases} d < d_0 \\ \max\left(\frac{\lambda_1}{\lambda}, \frac{\lambda_2}{\lambda}\right) < l_0 \end{cases}$$

où  $d_0$  et  $l_0$  sont des seuils fixes. Une fois les relations de parallélisme déterminées, les nouveaux supports  $S_{\text{par}}(H_{IJ}^k)$  sont calculés en ajoutant une fraction  $\alpha$  du support des contours parallèles :

$$S_{\text{par}}(H_{IJ}^k) = S(H_{IJ}^k) + \alpha \sum_{\substack{(KL) \in \\ V_g(IJ)}} \{v_{KL}^{qual} \mid \text{Par}(H_{IJ}^k, H_{KL}^{qual})\}$$

La meilleure hypothèse en chaque position est alors celle qui maximise  $S_{\text{par}}(H_{IJ}^k)$ .

#### 4 Amélioration de l'image haute résolution

Les hypothèses de contours déterminées à basse résolution sont «imprimées» à haute résolution pour former une image de décision. La mise à jour de l'image de contours initiale se fait de manière itérative : à chaque itération, deux processus se succèdent :

- une coopération locale qui utilise l'image de décision pour calculer le renforcement appliqué sur l'image de contour
- une compétition sous forme d'une suppression de non-maxima locaux, qui n'utilise que l'information locale de l'image de contours.

La définition élaborée du processus de coopération assure la stabilité du processus, et les groupements globaux déterminés à basse résolution sont ainsi exploités en respectant la configuration locale des contours. Pour plus de détail sur cette étape, on pourra se reporter à [Mangin92].

#### 5 Réalisation et résultats

L'algorithme est réalisé en C, C\*, et C-Paris sur la «Connexion Machine II». La conception massivement parallèle du modèle permet de traiter une image 256x256 en une dizaine de secondes avec 16k processeurs. L'image résultat présentée est formée par la superposition de l'image des hypothèses de contour et de l'image de contours initiale. Des exemples de résultats finaux sont présentés dans [Mangin92].

#### 6 Conclusion

L'algorithme multi-résolution présenté permet de mettre en œuvre des règles de groupement perceptuel complexes faisant intervenir des notions telles que parallélisme ou courbure globale des contours. De conception massivement parallèle, il permet d'obtenir rapidement une image de contour améliorée dans laquelle les groupements détectés sont concrétisés. Il s'applique à des images de scènes réelles complexes de toutes origines (scènes d'intérieur ou d'extérieur, images aériennes, ...). La souplesse du modèle permettra de facilement prendre en compte de nouvelles règles de groupement, et cette approche semble bien adaptée au problème du groupement perceptuel de contours.



## 7 Bibliographie

- Canny86 J. Canny. A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. PAMI-8(6), pages 679-698, 1986.
- Deriche87 R. Deriche. Using Canny's Criteria to Derive a Recursively Implemented Optimal Edge Detector. *International Journal of Computer Vision*. pages 167-187, 1987.
- Dolan92 J. Dolan et E. Riseman. Computing Curvilinear Structure by Token-based Grouping. *Proc. CVPR 92*, pages 264-270. Champaign, Illinois, 1992.
- Geman84 S. Geman et D. Geman. Stochastic Relaxation, . *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. PAMI-6(6), November, 1984.
- Grossberg85 S. Grossberg et E. Mingolla. Neural Dynamics of Perceptual Grouping: Textures, Boundaries, and Emergent Segmentations. *Perception & Psychophysics*. Vol. 38-2, pages 141-171, 1985.
- Lowe85 D.G. Lowe. Perceptual Organization and Visual Recognition. *Kluwer Academic Publishers*, Hingham, 1985.
- Mangin92 F. Mangin, M. Berthod et J. Zerubia. A Cooperative Network for Contour Grouping. *Proc. IAPR 1992*, pages 315-318. The Hague, 1992.
- Marroquin89 J.L. Marroquin. A Markovian Random Field of Piecewise Straight Lines. *Biological Cybernetics*. Vol. 61, pages 457-465, 1989.
- Medioni92 G. Gideon et G. Medioni. Perceptual Grouping using Global Saliency-Enhancing Operators. *Proc. ICPR 92*, pages 99-103. La Haye, 1992.
- Mohan89 R. Mohan et R. Nevatia. Segmentation and Description based on Perceptual Organization. *Proc. CVPR 89*, pages 333-341. 1989.
- Shaashua88 A. Sha'ashua. Structural Saliency: The detection of globally salient structures using a locally connected network. *Master's thesis, Weizmann Institute of Science*, 1988.
- Wertheimer23 M. Wertheimer. Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II. *Psychol. Forsch.* (4), 1923. Traduit en «Principles of Perceptual Organization», *Readings in Perception*, Beardslee et Wertheimer, Eds, pages 115-135, 1958.
- Zucker83 R.A. Hummel et S.W. Zucker. On the Foundations of Relaxation Labeling Processes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. PAMI-5(3), pages 267-287, 1983.
- Zucker89 P. Parent et S.W. Zucker. Trace Inference, Curvature Consistency, and Curve Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. PAMI-11(8), August, 1989.

Figure 1: Image de contour initiale



Figure 2: Image de contours groupés

