

Segmentation Multiéchelle: Injection d'a priori spatial dans la construction d'une hiérarchie optimale de régions

Jean Pierre COCQUEREZ, Karim YOUSFI

HEUDIASYC UMR 6599, Université de Technologie de Compiègne
Centre de Recherche de Royallieu, BP 20 529, 60205 COMPIEGNE cedex, France
cocquerez@hds.utc.fr

Résumé – Ce travail présente une méthode de construction optimale de hiérarchie de régions avec injection d'a priori dans le cadre de la théorie ensemble échelle. Cette approche repose sur la minimisation d'une énergie sous additive qui intègre un a priori spatial

Abstract – This work presents an optimal method of construction of hierarchy of regions with injection of a priori within the framework of the scale set theory. This approach is based on the minimization of an under additive energy in which the spatial a priori is embedded

1 Contexte du travail

Dans cet article, nous proposons une approche novatrice de construction de hiérarchie de régions dont l'objectif est de s'adapter à la complexité des objets composant l'image. Le moyen d'y parvenir est d'intégrer un *a priori* spatial afin de souligner l'importance de certains objets et structures dans l'image.

Nous nous situons dans le contexte de la segmentation multi échelle et plus précisément dans le cadre de la théorie ensemble échelle [1] qui peut être considérée comme le "dual région" de la théorie "espace échelle" exposée dans [3], [2], [5], [6]. Nous présentons quelques développements théoriques de notre approche basée sur l'exploitation d'une énergie sous additive incorporant l'a priori spatial. Nous proposons différentes façons de construire cette énergie spatiale. La dernière partie présente quelques résultats expérimentations parmi les nombreux qui ont été menées sur un large panel d'images.

2 Théorie « Ensemble Échelle » avec injection d'a priori

Dans l'approche « Ensemble Échelle » [1], Guigue & all proposent une représentation de l'image sous forme d'une hiérarchie de régions dont les coupes horizontales sont des partitions monotones indicées continuellement en échelle et optimales au sens d'une énergie affine séparable sur une partition P :

$$E_\lambda(P) = \sum_{R \in P} \lambda C(R) + D(R) \quad (1)$$

D représente un terme d'attache aux données qui exprime la qualité de régression. C représente un terme de régularisation de type modèle constant par morceaux de Mumford-Shah et $\lambda \in \mathbb{R}$ est un paramètre de pondération.

2.1 Importance de l'injection d'un a priori

Avec l'approche citée ci dessus, bien que dans l'ensemble les résultats obtenus soient très satisfaisant, nous avons constaté des fusions aberrantes et l'absorption précoce (en échelle) de structures pertinentes à haute échelle. Ces phénomènes s'expliquent par le fait que les énergies sont basées sur des attributs de « bas niveau » et que les décisions sont locales. Nous proposons donc de corriger l'inadaptation du modèle en injectant un a priori spatial sous forme de blocs qui entoureront les structures pertinentes à haute échelle. Ce problème a été très peu abordé dans le cadre de la segmentation multiéchelle. Citons cependant Monasse et Guichard [4] qui proposent de ne retenir d'une image que la structure des composantes connexes des ensembles de niveau (supérieures ou inférieures), indépendamment de l'échelle à laquelle elles apparaissent. Étant invariante par changement de contraste, ils peuvent en effet argumenter qu'il s'agit de structures fortes de l'image, mais sans notion d'échelle d'analyse et de persistance en échelle.

2.2 Présentation de la démarche

Notre démarche repose sur le principe de l'existence d'une forte attraction entre les structures à l'intérieur des blocs par rapport aux structures entourant les blocs. Nous allons pour cela, à la manière du principe d'attraction entre objets dans la théorie de gravitation, définir un po-

tentiel caractérisant l'attraction qu'exerce un blob sur une région de l'image. Néanmoins, nous ne parlerons pas de forces d'attraction, qui impliquent une représentation vectorielle orientée comme c'est le cas pour la théorie de gravitation, mais plutôt de potentiel ou d'intensité de l'attraction entre régions ou entre régions et un blob.

Dans la théorie de la gravitation (ou celle de l'électrostatique), l'attraction entre deux objets est inversement proportionnelle à la distance les séparant. Dans notre modélisation, nous adopterons la position inverse, le potentiel entre deux régions sera proportionnel à la distance séparant deux régions¹.

A partir de ces potentiels, nous allons construire des énergies qui, pour respecter les hypothèses de la théorie « ensemble échelle », devront être séparables et sous additives. Elles sont construites à partir de potentiels que nous définissons dans la section suivante et qui sont présentés en détail dans le chapitre 3 de la thèse [7].

2.3 Construction d'une énergie spatiale

Soit I une image dont le support spatial est noté Ω . Soit : $\mathcal{B} = \{B_1, \dots, B_M\}$ un ensemble de blobs disjoints appartenant au support de l'image Ω . Nous proposons les énergies spatiales suivantes :

- L'énergie mono-potentielle d'une région qui représente l'attraction ou une pseudo attraction (définie plus loin dans le texte au moment de la présentation des potentiels) entre la région et un blob.
- L'énergie multi-potentielle d'une région qui prend en compte l'attraction ou une pseudo attraction de la région avec le blob mais intègre également les énergies spatiales des régions qui lui sont connexes.
- L'énergie bi-potentielle qui représente l'attraction ou une pseudo-attraction entre un couple de régions connexes et un blob.

Une énergie spatiale est basée sur un ou plusieurs potentiels d'attraction. Nous en avons donc défini plusieurs et étudié leur propriétés en regard de la hiérarchie des contraintes suivante : 1) sous additivité, 2) ultra additivité, 3) supra additivité, 4)convexité. Nous nous sommes intéressés aux potentiels supra et ultra additifs car tout potentiel supra additif est ultra additif et tout potentiel ultra additif est sous additif. Par ailleurs tout potentiel convexe est ultra additif. Les définitions de l'ultra additivité et de la supra additivité sont rappelées ci-dessous.

On appelle **potentiel ultra-additif (resp. supra-additif) relatif à un blob B** toute application $\delta(., B)$ opérant sur l'ensemble des parties $\mathcal{P}(\Omega)$ sur Ω , telle que $\mathcal{P}(\Omega) \longrightarrow \mathbb{R}^+$ vérifie les propriétés suivantes :

- $\forall R \in \mathcal{P}(\Omega), \quad \delta(R, B) \geq 0,$
- **Ultra-additivité** : $\forall R, R' \in \mathcal{P}(\Omega) \text{ t.q. } R \leftrightarrow R',$

1. En physique, l'attraction est inversement proportionnelle au carré de la distance séparant les deux objets : $\frac{1}{d^2}$.

$$\delta(R \cup R', B) \leq \max(\delta(R, B), \delta(R', B)).$$

- **Supra-additivité** : $\forall R, R' \in \mathcal{P}(\Omega) \text{ t.q. } R \leftrightarrow R',$

$$\delta(R \cup R', B) \leq \min(\delta(R, B), \delta(R', B)).$$

Dans [7], nous nous sommes intéressés à plusieurs types de potentiels, dans cet article, nous ne présentons que le potentiel suivant :

Le potentiel sous-additif relatif à un blob B est une application $\delta(., B) : \mathcal{P}(\Omega) \longrightarrow \mathbb{R}^+$ définie par :

$$\forall R \in \mathcal{P}(\Omega), \quad \delta(R, B) \geq 0, \text{ et } \forall R, R' \in \mathcal{P}(\Omega) \text{ TelQue : } \\ \text{Radjaent}R' \Rightarrow \delta(R \cup R', B) \leq \delta(R, B) + \delta(R', B)$$

Ce potentiel est à valeur positif et nous le choisirons proportionnel à la distance séparant la région du blob.

A partir de ce potentiel, nous définissons les deux énergies suivantes :

Énergie multi-potentielle relative à un blob :

Une énergie spatiale relative à un blob B peut être définie en utilisant simplement la notion de potentiel sous-additif. L'énergie sera qualifiée de *multi-potentielle* si elle prend en compte les potentiels des régions voisines.

Soit B un blob appartenant au support Ω de l'image I et P une partition quelconque. Soit $\delta(., R)$ un potentiel sous-additif relatif au blob B . On appelle **énergie multi-potentielle relativement au blob B** toute application $D(., B) : \mathcal{P}(\Omega) \longrightarrow \mathbb{R}^+$ définie par la relation suivante :

$$\forall R \in \mathcal{P}(\Omega), \quad D(R, B) = \sum_{R' \in T(R)} \delta(R', B).$$

tel que $T(R) = V(R) \cup \{R\}$ englobe le voisinage de la région R ainsi que la région R elle-même. Dans le cas où $T(R) = \{R\}$ on dira que l'énergie est **mono-potentielle**.

Nous avons démontré dans [7] que toute énergie multi-potentielle (ou mono-potentielle) relative à un blob B est sous-additive.

L'énergie mono potentielle n'est autre que le potentiel sous additif relatif à un blob. Pour définir quelques exemple concret de potentiels, nous utilisons une notion de distance comme dans ce qui suit.

Soit d une distance métrique sur $\Omega \subseteq \mathbb{R}^2$ issue d'un produit scalaire $\langle ., . \rangle$. On appelle **potentiel attractif relativement au blob B** la fonction définie par :

$$\forall R \in \mathcal{P}(\Omega), \quad \delta_2(R, B) = \beta \frac{d^2(R, B)}{|R| \cdot |B|},$$

où β est une constante qui dépend du blob B et $d(R, B) = d(c_R, c_B)$ représente la distance entre les centres de gravité de la région R et du blob B .

Nous utiliserons aussi des **fonctions faiblement sur-additive relativement à un blob B** définie par toute application $f(., B) : \mathcal{P}(\Omega) \longrightarrow \mathbb{R}^+$ vérifiant les propriétés suivantes :

- $\forall R \in \mathcal{P}(\Omega), f(R, B) \geq 0,$
- $\forall R, R' \in \mathcal{P}(\Omega) \text{ t.q. } R \leftrightarrow R',$
 $f(R \cup R', B) \geq \max(f(R, B), f(R', B)).$

Par ailleurs, pour un blob B , une d une distance métrique issue d'un produit scalaire et f une fonction faiblement sur-additive, on montre que

$$\forall R \in \mathcal{P}(\Omega), \quad \delta_2(R, B) = \beta \frac{d^2(R, B)}{f(R, B)},$$

est un potentiel convexe et par conséquent sous-additif relativement au blob B .

Dès lors, nous avons proposé d'autres potentiels convexes (donc sous-additifs) qui sont appelés **pseudo-attractifs** en remplaçant le produit des masses de la région et du blob, $|R| \times |B|$, par une fonction faiblement sur-additive.

Voici quelques exemples de potentiels construits suivant ce principe :

1. pour $f(R, B) = 1$, on obtient $\delta(R, B) = d^2(R, B)$,
2. si $f(R, B) = |R \cup B|$, on obtient $\delta(R, B) = \frac{d^2(R, B)}{|R \cup B|}$,
3. si $f(R, B) = \frac{|R|}{|B|}$, on obtient $\delta(R, B) = \frac{d^2(R, B)}{|R|/|B|}$,
4. ..., etc.

3 Résultats

Nous utilisons comme partition d'initialisation la sur-segmentation obtenue avec un algorithme de partage des eaux. Nous comparons nos nouvelles représentations avec celles obtenues sans *a priori* spatial sur la base d'une énergie affine séparable sur une partition P définie par l'équation (1).

Les représentations ensembles-échelles avec *a priori* spatial sont construites en combinant la même énergie radiométrique D avec une énergie spatiale qui peut être mono ou multi-potentielle. Les résultats présentés ont été obtenus avec une énergie mono potentielle.

3.1 Test sur image de synthèse

Sur la figure 1 nous constatons l'influence de l'*a priori* spatial qui maintient dans le haut de la hiérarchie le rectangle sélectionné par le blob.

3.2 Test sur image urbaine

Sur la figure 2 nous constatons que pour des coupes comportant le même nombre de régions (20 par exemple), les fusions ont été évitées dans la zone du blob. On obtient ainsi une segmentation optimale permettant une bonne analyse de l'objet recherché. Attention ! On pourrait croire que l'image à gauche comporte, moins de régions. En réalité, c'est faux, il y a des petites régions qui ne sont pas visibles, compte tenu de la résolution de la reproduction.

4 Conclusion

De nombreux exemples figurent dans [7]. L'*a priori* spatial peut être un ou des blobs tracés de manière interactive ou fournis par un système télémétrique implémenté sur la plate forme « PACPUS véhicule intelligent » du laboratoire Heudiasyc UMR 6599. Les améliorations que nous avons apportées dans cette étude, respectent les hypothèses de la théorie « Ensemble Échelle ». Les structures des objets concernés par l'*a priori* spatial sont effectivement préservés d'absorptions précoces et sont décrits par une segmentation optimale en regard de la minimisation des différentes énergies que nous avons définies. Par contre à l'extérieur des blobs, la représentation est simplifiée. Ainsi, dans le cadre de l'analyse de scène nous disposons d'une description détaillée de l'objet d'intérêt dans un contexte simplifié, nous pensons ainsi réduire la charge de calcul et faciliter l'interprétation de la scène représentée. Il n'y a pas de pénalisation notable des temps de calcul de la méthode « Ensemble Échelle » sans *a priori* fournis dans [1]. Rappelons que grâce aux propriétés de séparabilité et de sous additivité, nous utilisons un algorithme de programmation dynamique pour construire les hiérarchies.

Références

- [1] Laurent GUIGUES, Jean Pierre COCQUEREZ et Herve LE MEN : Scale-Sets Image Analyzis. *International Journal of Computer Vision*, 68(1), April 2006.
- [2] J. KOENDERINK : The structure of images. *Biol. Cybern.*, 50:363–370, 1984.
- [3] J. KOENDERINK et A. VAN DOORN : The structure of locally orderless images. *International Journal of Computer Vision*, 31(3/2):159–168, 1999.
- [4] P. MONASSE et F. GUICHARD : Fast computation of a contrast-invariant image representation. *IEEE Trans. on Image Processing*, 9(5):860–872, 2000.
- [5] P. PERONA et J. MALIK : Scale space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE trans. on PAMI*, 12(1):629–639, 1990.
- [6] A. WITKIN : Scale-space filtering. *Proc. of 8th Int. Joint Conf. on Artificial Intell., Karlsruhe, West Germany*, pages 1019–1021, 1983.
- [7] K. YOUSFI : *Segmentation hiérarchique optimale par injection d'a priori : radiométrique, géométrique ou spatiale*. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne, 3 Novembre 2008.

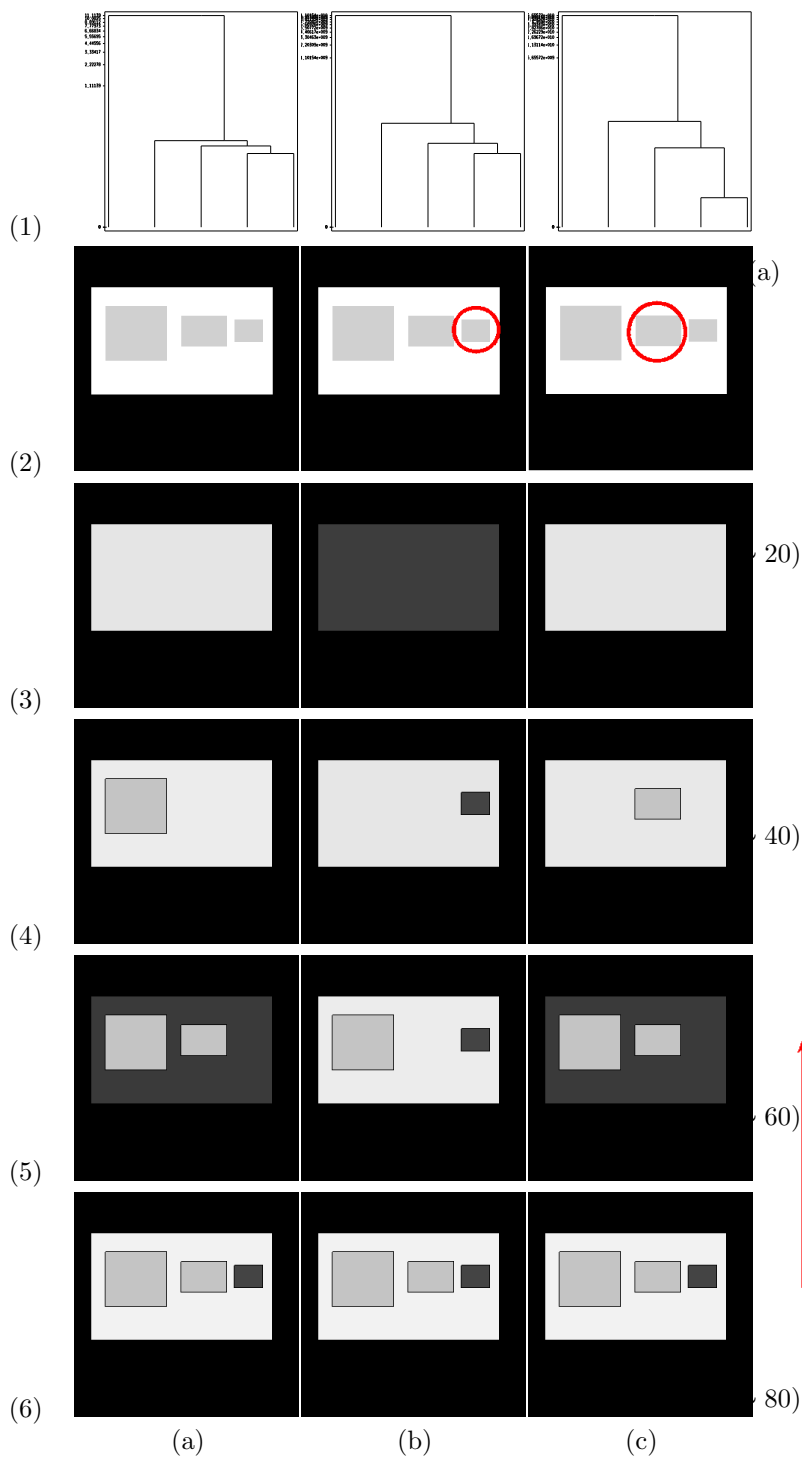
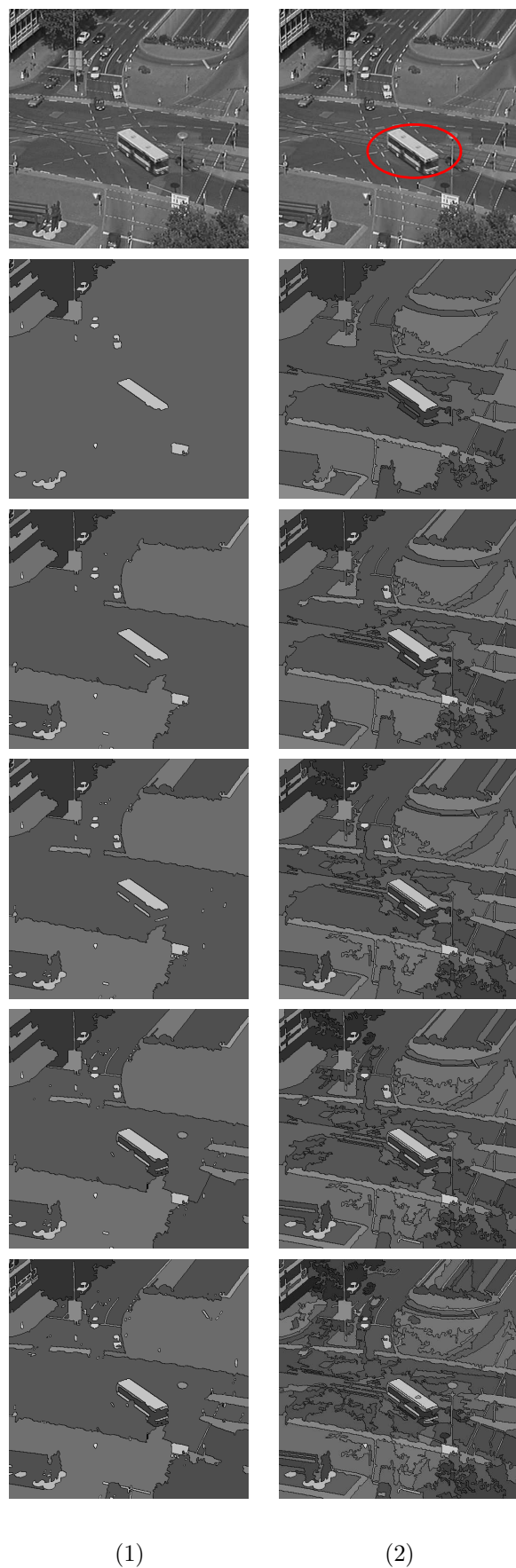


FIGURE 1 – En haut figurent les dendrogrammes des hiérarchies (indiquées en échelle), sur la ligne du dessous, les images initiales avec les blobs.

Ensuite, à partir du bas en (6), (5), (4), (3) figurent les coupes dans les dendrogrammes à indice d'échelle croissant

La colonne (a) illustre l'ensemble-échelle obtenu avec l'énergie de Mumford-Shah sans a priori. La colonne (b) celui obtenu avec l'énergie spatiale mono-potentielle attractive partant d'un blob entourant le petit rectangle. La dernière colonne (c) utilise un blob entourant le rectangle de taille moyenne.



(~ 150)

FIGURE 2 – En haut figurent les images initiales avec un blob pour la colonne (2). Ensuite, à partir du bas figurent les coupes dans les dendrogrammes à indice d'échelle croissant avec le nombre de régions correspondant.

Colonne (1) : ensemble-échelle obtenu avec l'énergie de Mumford-Shah sans a priori. Colonne (2) représente l'ensemble-échelle obtenu avec l'énergie spatiale mono-potentielle (attractive). La fonction faiblement sur-additive utilisée est : $|R| \cdot |B|$.