

EXTENSION DE LA METHODE DE RELAXATION A UN ENSEMBLE D'IMAGES MULTI-SOURCES

Rachid HARBA

Gérard JACQUET

GREMI, Université d'Orléans, BP 6759, 45067 ORLEANS CEDEX 2
et GDR 134 "Traitement du Signal et des Images", CNRS.

RÉSUMÉ

Le traitement global de différentes images de la même scène obtenues par des capteurs différents demande une approche particulière. En effet, l'exploitation optimale de toutes les informations nécessite un traitement simultané sur l'ensemble des images. Nous proposons ici une méthode de relaxation multi-images, extension de la méthode de relaxation, pour segmenter un ensemble de N images issues de la même scène, ces images ayant la particularité d'être complémentaires, c'est à dire superposables comme un puzzle. L'analyse par composantes spectrales d'un objet en microscopie électronique à balayage fournit des images de ce type. La méthode de relaxation multi-images est tout d'abord évaluée sur des images synthétiques, puis appliquée à des coupes pétrographiques permettant de déterminer l'état des pierres des monuments. Les résultats montrent que la prise en compte de l'information inter-images permet de réduire sensiblement le taux d'erreur de classification.

INTRODUCTION

La diversification des capteurs en imagerie permet d'obtenir des images numériques par de nombreux procédés : caméras NB, couleur, dans des longueurs d'onde non visible (infra-rouge, rayons X) ou par des processus physiques différents (émission d'électrons, ultrasons). Chaque type de capteurs apporte des informations spécifiques sur la scène analysée. Dans de nombreux cas, il est possible d'obtenir, pour une même scène, plusieurs images ayant chacune des caractéristiques propres. Le traitement ultérieur doit alors prendre en compte simultanément toutes les images. En effet, analyser ces images individuellement pour ensuite fusionner les résultats ne permet pas d'utiliser de manière optimale toutes les informations provenant de caractéristiques qui n'apparaissent que globalement sur l'ensemble des images.

Un cas particulier de l'imagerie multi-sources est celui où chaque objet constituant la scène ne se retrouve que dans l'une des images, la somme des objets recouvrant tout le champ. De telles images, dites complémentaires, s'emboitent comme un puzzle. La connaissance d'une telle information permet d'affiner la classification d'un pixel lors du processus de segmentation, un point ne pouvant être classé objet que dans une seule image.

L'analyse de coupes d'objets par microscopie électronique à balayage fournit un ensemble d'images répondant à cette définition de complémentarité. En effet, l'analyse globale par détection des électrons secondaires permet de déterminer la présence ou non de matière dans la coupe étudiée. L'analyse sélective par rayons X permet d'avoir une image pour chaque élément constitutif du matériau en ne conservant que la longueur d'onde propre à cet élément.

Pour s'affranchir du bruit lors du processus de segmentation, il faut prendre en compte le contexte local de chaque point. La méthode de relaxation appliquée à la segmentation permet de classer itérativement chaque pixel en fonction des valeurs des pixels voisins. Dans le cas d'un ensemble

The global processing of several images of the same scene from various transducers requires a particular approach. Indeed, the optimal utilization of all the informations needs a simultaneous processing of the entire set of images. To perform this, a multi-images probabilistic relaxation method is proposed. This method realizes a segmentation of a set of N images issued from the same scene, these images have the particularity to be complementary, they are superimposable as a jigsaw puzzle. The analysis of an object by spectral components with an electronic microscop provides images as described previously. First, the multi-images relaxation method is evaluated on synthetic images, next, it is applied on petrographic slides to determine the degradation of historical monuments stones. The results show that the use of the inter-images information allows to reduce obviously the classification error level.

ABSTRACT

d'images multi-sources complémentaires, pour tenir compte de cette information supplémentaire, il faut non seulement considérer les pixels voisins mais aussi le voisinage des points de position identique dans les autres images. La méthode de relaxation multi-images, extension de la méthode de relaxation, permet d'inclure les contraintes locales à chaque image et la condition de complémentarité inter-images.

Après un rappel de la méthode de relaxation appliquée à une image, nous décrivons la méthode de relaxation multi-images. Les résultats obtenus par cette dernière méthode sont ensuite présentés pour des images synthétiques puis pour un ensemble de trois images provenant de l'analyse par microscopie électronique de pierres de monuments historiques.

LA METHODE DE RELAXATION

Les méthodes de relaxation appliquées à la segmentation d'images ont été développées par Rosenfeld et Smith [1] à partir des travaux de Zucker et al. [2] et de Peleg [3] qui concernaient la détection et la classification de courbes dans des images.

D'une manière générale, ces méthodes font varier itérativement la probabilité de chaque objet d'appartenir à une classe donnée en fonction de critères locaux. Le processus trouve un équilibre respectant au mieux certaines informations a priori. Il maximise la probabilité d'appartenance de chaque objet à une classe donnée.

Soit un ensemble d'objets $\{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ et un ensemble de classes $\{k_1, k_2, \dots, k_m\}$

$p_i^{(k+1)}(\lambda)$ probabilité pour que l'objet i appartienne à la classe λ à l'itération $k+1$ se calcule itérativement :



$$p_i^{(k+1)}(\lambda) = \frac{p_i^k(\lambda) [1 + q_i^k(\lambda)]}{\sum_{\lambda'} p_i^k(\lambda') [1 + q_i^k(\lambda')]} \quad (1)$$

$q_i^k(\lambda)$ étant le facteur de correction à l'itération k :

$$q_i^k(\lambda) = \frac{1}{n} \sum_j \sum_{\lambda'} r_{ij}(\lambda, \lambda') p_j^k(\lambda) \quad (2)$$

La première somme sur j est réalisée sur n objets. La deuxième sur λ' s'effectue sur toutes les classes.

$r_{ij}(\lambda, \lambda')$ est un coefficient de compatibilité, positif si l'appartenance de l'objet i à la classe λ est compatible avec celle de l'objet j à la classe λ' , négatif en cas d'incompatibilité, nul si les deux événements sont indépendants.

Deux éléments fondamentaux interviennent pour mettre en oeuvre le processus de relaxation : la probabilité initiale de chaque objet, et la valeur du facteur de correction ou plus exactement du coefficient de compatibilité servant à le calculer.

Cette méthode peut être utilisée pour réaliser la segmentation d'une image par ses niveaux de gris. En effet, il est possible de considérer chaque pixel comme un objet pouvant appartenir à deux classes B ou N (blanche ou noire) qui seraient le résultat d'un seuillage. La probabilité d'appartenance à la classe blanche (respectivement noire) dépend alors du niveau de gris du point considéré. Cette probabilité (ou le niveau de gris du point) évolue au cours du processus de relaxation. Les points clairs sont rendus plus blancs, les sombres plus foncés. Les itérations peuvent être arrêtées lorsque les niveaux de gris ont atteint des valeurs très distinctes, la segmentation est alors aisée en choisissant un seuil entre les deux pics de l'histogramme.

Le facteur de correction q_i^k s'écrit alors pour la classe B (blanche) :

$$q_i^k(B) = \frac{1}{n} \sum_j (r_{ij}(B, B) p_j^k(B) + r_{ij}(B, N) p_j^k(N)) \quad (3)$$

En général, la somme sur j est limitée aux 8 plus proches voisins du point i , pour que le coefficient de compatibilité r_{ij} garde un caractère local.

En l'absence d'information a priori, les valeurs des coefficients de compatibilité peuvent être choisies en fonction d'une statistique réalisée sur l'image. Il est montré dans la référence [4] que des variations limitées des valeurs de ces coefficients n'ont qu'une influence relativement mineure sur le résultat.

Les valeurs initiales de la probabilité d'appartenance d'un pixel à la classe noire ou blanche peuvent être déterminées en fonction de la valeur de son niveau de gris. La méthode la plus simple consiste à affecter une probabilité dépendant directement de la position du niveau de gris dans toute la dynamique. Pour une image codée sur 256 niveaux nous avons alors :

$$p_i^{(0)}(B) = g_i / 256$$

avec g_i niveau de gris du point i .

Si les niveaux de gris du fond et des objets sont majoritairement dans la même partie de l'échelle des niveaux, il est nécessaire d'apporter une correction pour le calcul de la probabilité. Rosenfeld et al. [1] proposent la formule suivante :

$$p_i^{(0)}(B) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{g_i - m}{255 - m} \quad \text{pour } g_i > m$$

où m est le niveau de gris moyen de l'image.

METHODE DE RELAXATION MULTI-IMAGES

Dans le cas d'un ensemble d'images complémentaires il faut faire intervenir dans le calcul du facteur de correction non seulement la probabilité des voisins du point considéré mais aussi celle des pixels de même position dans toutes les images. La somme s'écrit alors :

$$q_i^k(B) = \frac{1}{m} \frac{1}{n} \sum_p \sum_j (r_{ipj}(B, B) p_{pj}^k(B) + r_{ipj}(B, N) p_{pj}^k(N)) \quad (4)$$

La somme sur toutes les m images est réalisée par l'indice p . L'indice j réalise comme précédemment la somme sur les n voisins du point i .

$r_{ipj}(B, B)$ étant le coefficient de compatibilité entre le pixel à la position i appartenant à la classe B (Blanc) et le pixel j de l'image p appartenant à B.

$P_{pj}^k(B)$ étant la probabilité d'appartenance à la classe B du pixel j dans l'image p à l'itération k .

La mise en oeuvre de cette méthode nécessite, comme la relaxation simple, la détermination des probabilités initiales et des coefficients de compatibilité.

Pour les probabilités initiales les méthodes décrites préalablement s'appliquent de la même manière. L'hypothèse de complémentarité doit être introduite dans la valeur des coefficients de compatibilité. En effet, l'appartenance d'un point à la classe B (Blanc) est incompatible avec l'appartenance à la même classe d'un point de même position dans une autre image.

Ceci implique donc $r_{ipj}(B, B) = -1$

Pour des raisons de voisinage $r_{ipj}(B, B)$ doit aussi être négatif.

Pour des raisons analogues $r_{ipj}(B, N)$ et $r_{ipj}(N, B)$ doivent être positifs (égaux à 1 si $i = j$).

Pour $r_{ipj}(N, N)$, il y a incompatibilité si le nombre d'images est 2. Dans les autres cas, il peut être pris à 0 (événements indépendants) car le fait d'appartenir à la classe N (Noir) ne préjuge en rien de la non appartenance à cette même classe pour un point d'une autre image, la complémentarité s'effectuant sur la classe B qui correspond aux objets et non au fond.

RESULTAT DE LA SEGMENTATION SUR DES IMAGES TEST.

Pour tester l'efficacité de l'algorithme de segmentation il a été nécessaire de construire des images test de synthèse. En effet, la qualité de la segmentation peut être jugée de deux manières dans le cas d'images complémentaires. La première consiste à calculer le nombre des pixels qui après segmentation ont des classes incompatibles avec l'hypothèse de complémentarité (par exemple, objet dans plusieurs images). La deuxième est de travailler sur des images dégradées artificiellement et ensuite de comparer les images segmentées avec les images initiales.

Le principe de l'algorithme fait que la première méthode est difficilement utilisable pour le qualifier. En effet, le processus itératif conduit dans la plupart des cas à ce que pour chaque position il n'y ait qu'une image où le pixel est blanchi alors que, dans les autres images, ils sont noircis. Le



caractère complémentaire des images peut être alors respecté sans pour cela que la segmentation soit correcte.

Des images tests ont donc été construites en respectant les critères de forme des images réelles. En partant d'images exactement complémentaires il a été rajouté du bruit et les transitions ont été filtrées.

Les images présentées avec leurs histogrammes figures 1, 2 et 3 montrent un ensemble de tests de trois images (le bruit gaussien a un écart type de 30 niveaux de gris, le filtrage est réalisé sur un voisinage 7×7).

Après 8 itérations les pixels sont pratiquement classés comme le montrent les images résultats

(partie droite des figures). La série des histogrammes relative à ces images résultats illustre l'efficacité du processus de segmentation.

Il est intéressant de noter que pour des valeurs différentes des coefficients de compatibilité, la convergence se réalise de manière comparable. Le choix des valeurs de ces coefficients intervient cependant sur le nombre de pixels mal-classés. Si les valeurs absolues des coefficients sont toutes prises voisines de 1, il subsiste des pixels mal-classés au niveau des transitions. En effet, la valeur $r_{ipj}(N, B)$ ne devrait pas être négative.

Le tableau 1 montre l'évolution du nombre de pixels mal-classés en fonction du nombre d'itérations. 12 itérations suffisent pour réduire le nombre de pixels

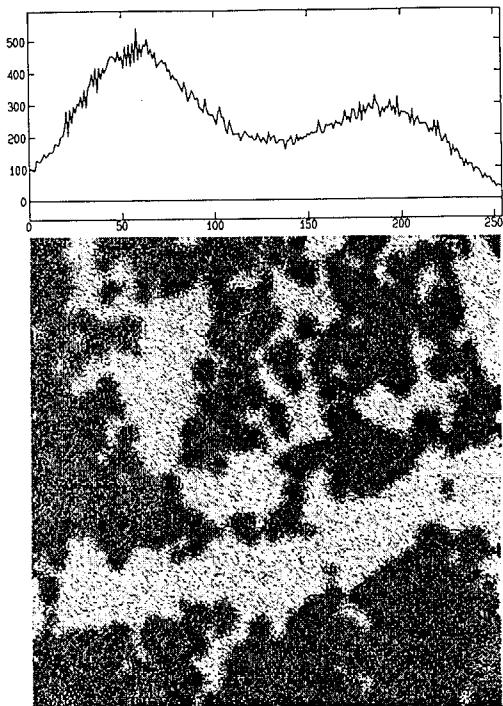


Figure 1 : image 1 et son histogramme avant relaxation

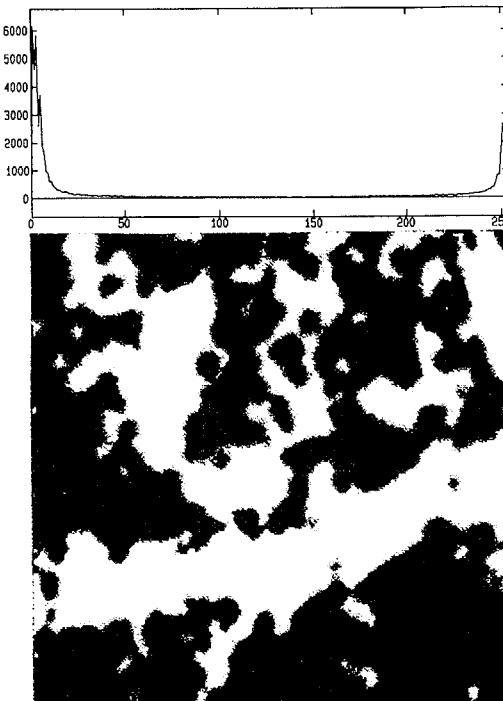


image 1 et son histogramme après relaxation.

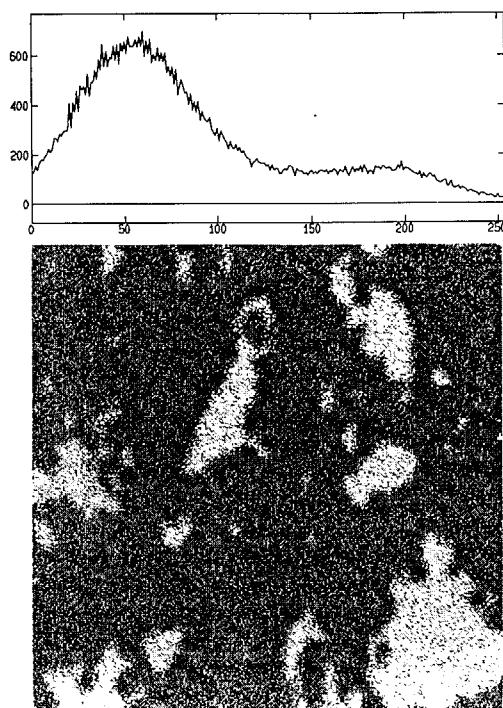


Figure 2 : image 2 et son histogramme avant relaxation

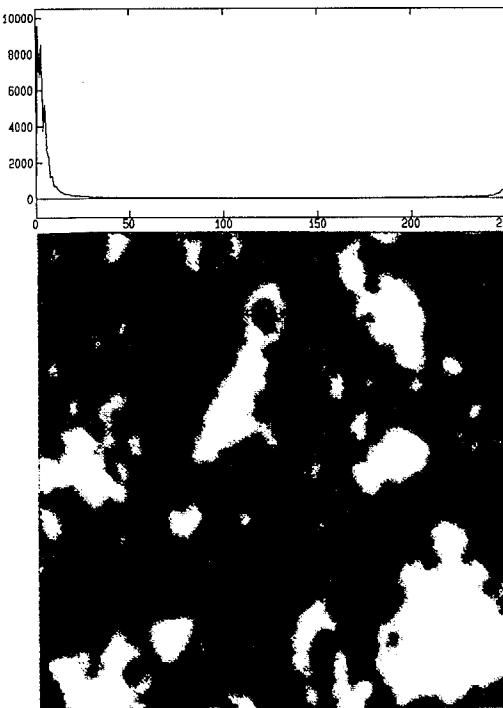


image 2 et son histogramme après relaxation.

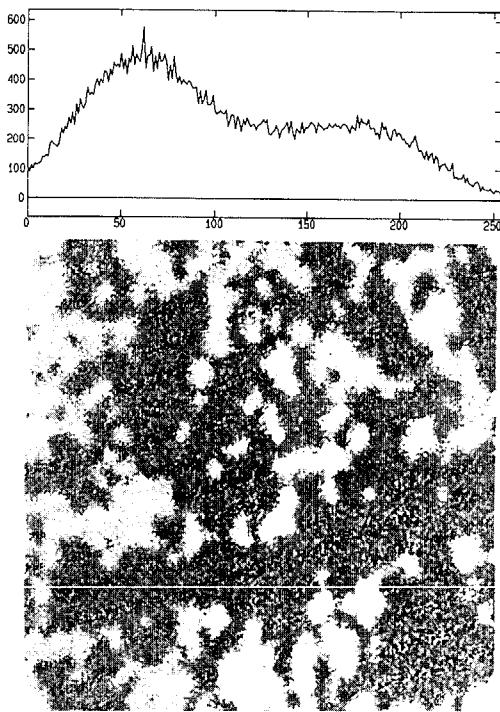


Figure 3 : image 3 et son histogramme avant relaxation

mal-classés au sens de la superposition à une valeur très faible (colonne 1). Il subsiste tout de même une erreur de 5000 points environ entre les images références et les images segmentées (colonne 2). Ces points se situent sur les frontières mais proviennent plus particulièrement de l'image 2 qui contient de nombreuses petites particules qui disparaissent par suite de la prise en compte des voisinages.

nombre d'itérations	erreur super.	erreur globa.	erreur image1	erreur image2	erreur image3
4 itérations	4658	7059	3510	5561	3531
8 itérations	2604	5530	3221	5089	3265
12 itérations	1886	5121	3206	5023	3254
16 itérations	1665	5039	3244	5034	3263

nombre total de pixels : 65536.

Tableau 1 : évolution des erreurs de classification en fonction du nombre d'itérations

RESULTATS SUR DES IMAGES REELLES.

Lors de l'expertise de monuments historiques il est nécessaire de connaître l'état de dégradation des pierres constituant l'édifice. L'analyse par microscopie électronique à balayage permet d'obtenir la composition élémentaire de la pierre. L'image obtenue par électrons secondaires met en évidence les parties poreuses (c'est à dire sans matériau) de la pierre, les analyses sélectives par rayons X produisent des images où chaque élément choisi apparaît séparément. Les pierres utilisées (Tuffeau) ont deux éléments constitutifs principaux (calcium et silicium). Avec l'image porosité nous aurons donc trois images approximativement complémentaires. La segmentation permettra de déterminer le pourcentage de chaque élément, la direction principale de la porosité ou d'autres caractéristiques granulométriques importantes pour qualifier l'état de dégradation de la pierre.

Les résultats de la segmentation sont présentés tableau 2.

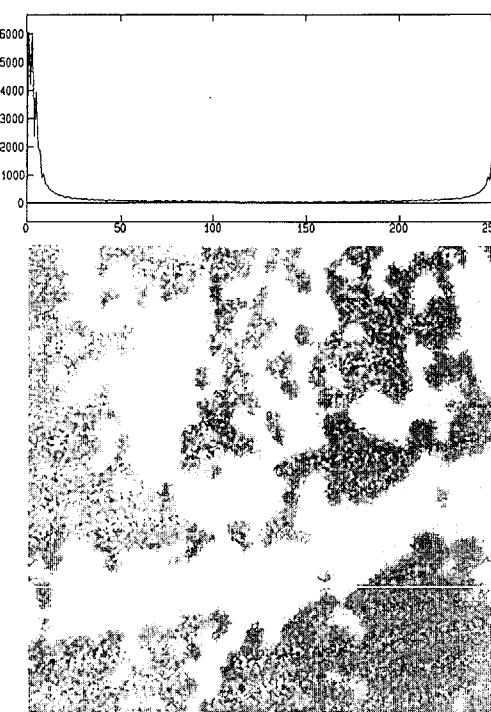


image 3 et son histogramme après relaxation.

	nombre de pixels	pourcentage
porosité	24 817	37.9 %
calcium	16 063	24.5 %
silicium	22 051	33.6 %
mal classés	2 605	4.0 %

nombre total de pixels : 65536.

Tableau 2 : composition de la pierre analysée.

CONCLUSION.

L'extension de la méthode de segmentation par relaxation à des images complémentaires permet d'obtenir des résultats très satisfaisants que ce soit sur des images tests de synthèse ou sur des images réelles obtenues à partir d'un microscope électronique à balayage. La prise en compte simultanée des informations inter-images et locales à chaque image permet de combiner les avantages des deux types de méthodes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. Rosenfeld and C.S. Smith, "Thresholding using relaxation", IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-3, no.5, pp. 598-606, September 1981.
- [2] S.W. Zucker, R.A. Hummel and A. Rosenfeld, "An application of relaxation labeling to line and curve enhancement", IEEE transactions on Computers, vol. C-26, no.4, pp. 394-403, April 1977.
- [3] S. Peleg, "A new probabilistic relaxation scheme", IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-2, no.4, pp. 362-369, July 1980.
- [4] S. Peleg, A. Rosenfeld, "Determining compatibility coefficients for curve enhancement relaxation process", IEEE transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. SMC-8, no. 7, pp.548-555, July 1978.