

ANALYSE DES DEFORMATIONS ET DU BRUIT DANS LES TEXTURES  
 STRUCTUREES NATURELLES

W.Z. GUO A. BRUNO

 I.N.S.A., laboratoire d'Automatique  
 20, avenue des Buttes de Coësmes,  
 35043 RENNES CEDEX - FRANCE -

## RESUME

D'un point de vue structurel, les textures sont formées de motifs de base (primitives) qui se répètent selon certaines règles de placement.

Le modèle structurel de textures utilisé ici suppose que l'agencement spatial des primitives est régulier. La texture est décrite par un ensemble réduit de paramètres : deux vecteurs de régularité correspondant aux distances moyennes entre primitives voisines et un médaillon de texture correspondant à une primitive. Pour modéliser les variations globales de la texture, la description précédente est réalisée sur un ensemble de sous-images.

Des améliorations sont apportées lors de la phase d'analyse de la texture. D'une part, nous avons entièrement automatisé cette phase d'analyse, d'autre part, nous l'avons étendue aux textures hiérarchiques. Pour modéliser les variations locales, un bruit blanc limité en fréquence peut être utilisé. Nous avons développé une méthode d'analyse permettant d'estimer les paramètres de ce bruit (variance, largeur de bande) sur la texture naturelle. Les défauts de structure de la texture sont détectés lors de cette analyse.

## SUMMARY

From a structural point of view, textures are constituted by texture elements (primitives) which are repeated according to some placement rules.

The structural texture model used here assumes that the primitive spatial arrangement is regular. The texture is described by a reduced parameter set : two regularity vectors corresponding to mean distances between neighbouring primitives and a texture stamp corresponding to a primitive. The above description is performed over a set of sub-images for the texture global variations modeling.

Improvements are brought to the analysis stage. On the one hand, we have completely automatized the analysis stage, on the other hand, we have extended it to the hierarchical textures. To model the local variations, a band-limited white noise can be used. We have developed an analyzer which allows to estimate the noise parameters (variance, frequency bandwidth) on the natural texture. The defects of structure in the texture are also detected by this analyzer.

## 1. INTRODUCTION

Dans les images numériques, on peut considérer que le signal de luminance est la somme de deux signaux possédant des propriétés différentes et supportant des informations de nature très distinctes. Le premier signal correspond à des changements brusques de la valeur moyenne locale, il porte l'information de contours, tandis que les variations de luminance autour de la valeur moyenne locale sont décrites par le second signal. Ce signal porte l'information de texture, il caractérise l'aspect de surface des objets dans les images.

La texture est caractérisée par la distribution spatiale des niveaux de gris dans un ensemble connexe de points d'image. Plus précisément, elle possède des caractéristiques visuelles invariantes aux translations d'une fenêtre d'observation de taille donnée. Suivant la taille de cette fenêtre, on parle de micro-texture ou de macrotecture. Les macrotectures, appelées aussi textures structurées, présentent un ou plusieurs motifs appelés primitives, qui se reproduisent plus ou moins régulièrement.

Divers auteurs [1-3] ont proposé des modèles



pour les textures structurées. Ces modèles structurels décrivent la texture comme un arrangement spatial de primitives obéissant à certaines règles d'assemblage. Zucker [1] décrit l'agencement des primitives avec un graphe, chaque primitive est aussi décrite avec un graphe. La texture observable est obtenue par déformation de cette texture idéale. Lu et Fu [2] ont utilisé des graphes similaires à ceux de Zucker associés à des grammars stochastiques pour modéliser le bruit dans la texture. Matsuyama et al [3] apporte des améliorations sur la modélisation des règles de placement pour prendre en compte l'existence d'une hiérarchie dans l'agencement des différents types de primitives. Ces modèles permettent facilement de synthétiser les textures analysées. Les résultats obtenus montrent que ces modèles décrivent mal les déformations globales de la texture, les variations locales dans l'agencement des primitives et les variations des primitives.

Le modèle structurel développé par Volet et Kunt [4] ne présente pas les défauts énoncés ci-dessus car il modélise localement les variations des primitives et de la règle de placement.

Cette publication présente les améliorations que nous avons apportées au modèle de Volet et Kunt. Dans une première phase, nous avons étendu la méthode d'analyse aux textures hiérarchiques. Une texture hiérarchique est considérée ici d'être formée par la répétition régulière d'une primitive hiérarchique. Une primitive hiérarchique (appelée super-primitive) est une primitive telle qu'elle est constituée d'un groupe de primitives simples et plus petites (appelée sous-primitives). Cette méthode d'analyse a été entièrement automatisée. Dans une seconde phase, nous avons ajouté une méthode permettant l'estimation des paramètres du bruit (variance, largeur de bande) de l'agencement spatial des primitives. Cette méthode nous permet de plus de détecter les défauts de structure de la texture. Les améliorations apportées présentent donc un intérêt aussi bien en analyse qu'en synthèse de texture.

## 2. TRAVAUX ANTERIEURS

Par rapport aux méthodes proposées dans [1-3,5], la méthode d'analyse-synthèse développée par Volet et Kunt [4] possède l'avantage d'être capable de décrire et de restituer les déformations globales et locales des textures structurées périodiques. L'autre avantage de cette méthode est la robustesse vis-à-vis de l'extraction des primitives dans les textures déformées et bruitées. Le modèle décrit la texture de façon simple bien que l'analyse soit complexe. Il est cependant bien adapté à la synthèse.

L'analyse peut être séparée en deux phases. La première phase porte sur l'analyse locale de la texture. L'image est divisée en un ensemble de sous-images contenant chacune un nombre minimum de primitives de façon à réaliser une analyse locale assez simple dans chaque sous-image. Le calcul de la fonction d'auto-corrélation (FA) sur chaque sous-image permet d'extraire dans celle-ci une paire de vecteurs appelés "vecteurs de régularité" (VR), définit par la position des deux maxima les plus proches de l'origine. Une transformation géométrique est alors effectuée sur chaque sous-image de façon à transformer les VR en vecteurs orthonormés. Un facteur d'échelle  $\lambda$ , égal à la plus grande norme de tous les VR, est appliqué sur les vecteurs orthonormés pour ne pas sous-échantillonner les sous-images transformées et donc perdre de l'information.

La deuxième phase d'analyse concerne l'extraction d'une primitive représentative dans chaque sous-image. Les sous-images normalisées sont découpées en médaillons de taille  $\lambda * \lambda$ , puis tous ces médaillons sont sommés pour obtenir les

primitives moyennes locales. Ces dernières sont remises en phase avant d'être sommées pour produire la primitive moyenne globale (PMG). L'intercorrélation de la PMG avec chaque sous image permet d'extraire un médaillon (de taille  $\lambda * \lambda$ ) là où le signal est maximum, qui est considéré comme la primitive représentative de cette sous-image.

La description de la texture est locale, pour chaque sous-image on connaît une primitive et deux vecteurs de régularité qui définissent l'assemblage des primitives. Ces seules informations sont utilisées pour la synthèse de la texture.

A la reconstruction, en chaque pel une paire de vecteurs est calculée par l'interpolation bilinéaire des VR attribués aux centres des quatre sous-images encadrant ce pel. Les positions dans l'image transformée des pels de l'image originale sont obtenues par une transformation liée à la paire de vecteurs calculée en chaque pel. Finalement, la luminance d'un pel est calculée par l'interpolation bilinéaire des luminances des pels des primitives représentatives associées au centre des quatre sous-images encadrant ce pel.

Cependant, plusieurs problèmes importants limitent la portée de ce modèle :

L'analyse est effectuée de façon supervisée, ce qui rend la méthode inutilisable pour les applications réelles.

Le modèle n'est applicable qu'à des textures simples. La description des textures hiérarchiques n'est pas mise en oeuvre.

Le modèle permet de reproduire des variations locales plus ou moins rapides en plus des variations globales sur les règles de placement. Cependant l'estimation des paramètres du bruit (variance, largeur de bande) n'est pas effectuée.

## 3. AMELIORATIONS

Une analyse globale de la règle de placement est introduite avant l'analyse locale. L'objectif de cette analyse est de mettre à jour, parmi les éventuelles périodes dans une texture une paire de VR caractérisant correctement l'agencement spatial des primitives. Les informations portées par ces vecteurs (normes et orientations) permettent de décrire les textures hiérarchiques. Cette paire de vecteurs est utilisée pour subdiviser automatiquement l'image en un ensemble de sous-images. Une analyse locale est alors effectuée dans chaque sous-image pour extraire automatiquement une paire de vecteurs de régularité moyens locaux (VRML). Ces VRML ne peuvent décrire que des variations globales. Les variations locales sont modélisées par un bruit blanc de fréquence limitée. Les paramètres le caractérisant (variance, largeur de bande) sont estimés directement à partir de la texture originale en étudiant les écarts entre les positions réelles et celles fournies par les VR reconstruits en chaque pel.

### 3.1. Analyse globale de la règle de placement

Le problème crucial pour l'ensemble de la phase de l'analyse est le choix d'une paire de VR dans chacune des sous-images. Volet et Kunt [4] proposent de choisir les deux vecteurs les plus proches des deux demi-axes positifs dont la distance à l'origine est la plus faible. Mais malheureusement, ce choix n'est valable que pour les textures simples. Matsuyama et al [5] suggère le choix d'une paire de fréquences correspondant à la périodicité d'apparition des primitives en examinant le spectre de la texture. A nouveau, le problème de la description des textures hiérarchiques n'est pas abordé. Matsuyama et al [3] considèrent les textures hiérarchiques comme le résultat des superpositions de textures simples

décalées entre elles suivant des relations d'arrangement locales entre les sous-primitives. Cette méthode est inefficace même pour les textures simples, car une description complète de tous les vecteurs relatifs (distance entre positions des centres des primitives) est nécessaire. La figure 1 montre les onze assemblages réguliers [1] souvent utilisés comme les différentes décompositions possibles des textures idéales. Il est donc vivement souhaitable de disposer d'une technique générale et simple permettant de choisir dans ces différentes situations une paire de VR représentant les vraies périodes.

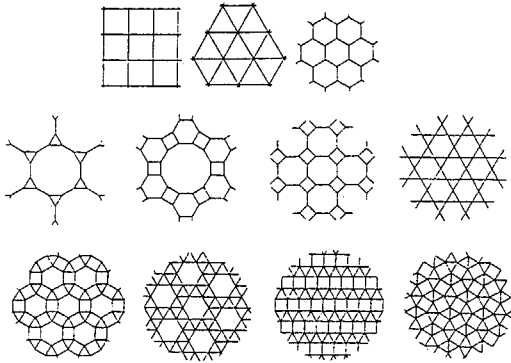


Fig. 1 : Décompositions des textures idéales

Théoriquement, la FA du signal d'une texture hiérarchique doit atteindre une valeur plus élevée pour un décalage égal à la dimension d'une super-primitive qu'un décalage égal à celui de l'une des sous-primitives. Cette considération est correctement vérifiée par nos expérimentations à condition que l'estimation de la FA soit effectuée sur une fenêtre assez grande (sur l'image globale par exemple). Cette condition est nécessaire pour que l'estimateur biaisé de la FA [6] puisse révéler cette propriété. Ainsi, sous l'hypothèse de la périodicité des textures étudiées, le choix des deux VR représentant la règle de placement des primitives doit porter sur les deux vecteurs non colinéaires définis par les deux maxima locaux de la FA les plus élevés dans le demi-plan positif ( $x \geq 0$ ). Pour les différencier des VR calculés dans l'étape de l'analyse locale, on va les appeler ci-dessous "Vecteurs de Régularité Moyens Globaux" ou VRMG. Pour faciliter la détection des maxima locaux de la FA, on a l'intérêt de calculer celle-ci sur l'image prétraitée (par un filtre médiant par exemple).

### 3.2. Analyse locale de la règle de placement

L'existence des variations globales de la règle de placement et de la primitive implique que l'analyse doit être effectuée localement, ce qui nécessite de subdiviser l'image de texture. La taille de chaque sous-image joue un rôle important pour la subdivision de l'image, car plus elle est grande, plus les variations capturées sont basses. Du point de vue pratique, il vaut mieux garder 3-4 primitives dans chaque dimension d'une sous-image afin que la périodicité puisse correctement être estimée. Le nombre des sous-images est choisi tel que les sous-images sont adjacentes. Selon ce raisonnement, l'information nécessaire pour la subdivision automatique de l'image est uniquement la taille moyenne des primitives. Celle-ci est déjà connue puisque l'analyse globale nous a fourni la taille moyenne de l'ensemble des primitives.

Après avoir subdivisé l'image, l'analyse est effectuée localement sur l'ensemble des sous-images : la FA de chaque sous-image est d'abord calculée, puis ses maxima locaux sont détectés et finalement une paire de VRML doit être

choisie. Pour suivre fidèlement les variations de la règle de placement d'une sous-image à l'autre, il faut que les VRML choisis dans une sous-image soient en accord avec ceux choisis dans une autre. Il faut, ce qui est le plus important, que les VRML choisis soient en accord avec les VRMG. A cause de l'étendue trop limitée de chaque sous-image, la technique proposée dans la section 3.1 n'est plus utilisable (à cause du biais de l'estimateur). Pour résoudre ce problème, une façon économique et efficace consiste à utiliser la notion de vecteur de référence. Plus précisément, lors de la recherche des VRML dans la première sous-image, les VRMG servent de référence et on se contente de la recherche dans une zone délimitée par un angle (30° par exemple) autour du vecteur de référence. Cette recherche s'effectue dans une région s'étendant entre 0.5 et 1.5 fois la longueur du vecteur de référence. Pour les autres sous-images, les VRML moyennés des sous-images voisines servent de référence. Cette technique possède l'avantage de trouver de façon automatique et fidèle dans chacune des sous-images une paire de VRML représentant correctement l'arrangement spatial des primitives simples ou hiérarchiques, même si ces régions sont pourvues de variations spatiales importantes.

### 3.3. Modélisation du bruit de la règle de placement

L'analyse locale fournit une description moyenne locale de la texture, elle ne décrit pas les variations locales de la règle de placement. Celles-ci peuvent être modélisées par un bruit blanc limité en fréquence (composante aléatoire de la règle de placement) [4]. Les paramètres caractérisant ce bruit sont sa moyenne, sa variance et sa largeur de bande. La moyenne doit être nulle afin de respecter la composante déterministe. La variance dépend de l'amplitude des variations à reproduire et quant à la largeur de bande, elle est liée à la vitesse de changement de ces variations. Deux possibilités existent pour introduire cette composante aléatoire dans la règle de placement : soit sur les vecteurs reconstruits en chaque pel, soit sur les positions (x,y) calculées. Cette dernière façon de procéder est plus économique et donne de meilleurs résultats selon nos expérimentations.

La méthode pour extraire le bruit de la règle de placement que nous proposons commence par la localisation des primitives dans la texture originale. Pour cela, la PMG est d'abord retransformée dans l'espace originale en utilisant une paire de vecteurs calculée à partir des VRML. La texture originale prétraitée est ensuite intercorrélée avec la PMG inverse et les maxima des intercorrélations sont détectés. Un balayage avec un petit masque (de taille 5x5 par exemple) centré sur chaque maxima est utile pour supprimer des maxima parasites. Seuls le maxima le plus élevé dans le masque est conservé. Les maxima ainsi obtenus correspondent à des positions réelles des primitives dans la texture originale. Après cette opération, une recherche des liens entre maxima voisins est effectuée et un graphe est créé dans lequel chaque noeud correspond à un maxima. En chacun des noeuds, les informations suivantes sont disponibles : position (x,y) du maxima du noeud courant et les noeuds fils correspondant à ses quatre maxima voisins, droite, bas, gauche et haut. Les liens entre eux sont établis à l'aide des vecteurs reconstruits en chaque pel. Si le lien entre l'une des quatre directions  $v_1, v_2, -v_1$  et  $-v_2$  ( $v_1$  et  $v_2$  représentent la paire de vecteurs reconstruits en un pel) ne peut pas être établi, une anomalie existe à cet endroit. Un défaut de structure est donc détecté. En parcourant le graphe, on obtient deux ensembles de chaînes de



maxima : l'un est horizontal de direction  $v_1$  et l'autre est vertical de direction  $v_2$ . On appellera vecteur relatif la distance entre positions de deux maxima voisins dans une chaîne. Placé à la position d'un maxima, le vecteur reconstruit indique la position idéale de l'apparition de la primitive suivante. Quant au vecteur relatif, il pointe sur la position réelle de l'apparition de cette primitive dans la texture originale. Les écarts  $(\Delta x, \Delta y)$  entre les vecteurs relatifs et les vecteurs reconstruits permettent donc de calculer les écarts-type des deux composantes aléatoires à ajouter aux positions  $(x, y)$ .

La largeur de bande des composantes aléatoires peut être directement estimée par l'étude des FA des écarts  $(\Delta x, \Delta y)$  de toutes les chaînes des maxima dont la longueur est supérieure à un seuil donné. Une FA moyenne est calculée pour chacune des deux ensembles des FA de l'écart  $\Delta x$  et de l'écart  $\Delta y$ . Le premier passage au zéro de la FA moyenne permet donc de connaître la fréquence de courbure  $f_c$ . Il faut indiquer que la vraie largeur de bande du filtre à appliquer au bruit blanc pour limiter sa fréquence est égale à  $\tau_c$  ( $\tau_c = 1/f_c$ ) fois la norme du vecteur  $v_1$  ou  $v_2$ .

#### 4. RESULTATS

Les figures 2 à 5 montrent les résultats de synthèse obtenus sur 4 textures naturelles (de taille  $256 \times 256$  et codée sur 256 niveaux de gris). Les deux premières textures sont hiérarchiques et présentent plusieurs types de primitives différents. La figure 4 est consacrée à la présentation des résultats obtenus sur une texture pourvue de déformations et de dégradations assez importantes. Cette texture possède également des défauts de structure (disparition brutale de certaines rangées de primitives). Les figures 4a-b présentent la texture originale et la synthèse sans ajout de bruits dans la règle de placement. Les positions des primitives et les liens entre celles-ci sont visualisés sur la figure 4c. On peut facilement vérifier que les liens entre les maxima voisins s'arrêtent là où il y a une anomalie ou un défaut de structure. La figure 4d montre le résultat final avec l'ajout des bruits dans la règle de placement. La figure 5 illustre les résultats obtenus sur une autre texture naturelle.

#### 5. CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce papier des améliorations importantes à un modèle structural. Avec notre contribution, ce modèle est capable de décrire automatiquement les textures structurées périodiques. Il s'applique maintenant aussi bien aux textures simples qu'aux textures hiérarchiques avec un coût de calcul strictement identique.

L'ajout d'une composante aléatoire à l'agencement spatial des primitives permet d'accroître considérablement le réalisme des images synthétisées. La méthode d'analyse du bruit de la règle de placement que nous avons développée permet d'estimer de façon automatique des paramètres du bruit dans une texture structurée naturelle et périodique. Cette méthode permet également de détecter certains défauts de structure dans l'agencement spatial des primitives.

#### REMERCIEMENTS

Cette étude est soutenue en partie par le CELAR (convention n°011.41.87) que nous remercions.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] S.W. ZUCKER, "Toward a model of textures", C.G.I.P., proc. 5, pp. 190-202, 1976.  
 [2] S.Y. Lu and K.S. Fu, "A syntactic approach to texture analysis", C.G.I.P. 7, pp. 303-330, 1978.

- [3] T. MATSUYAMA, K. SABURI and . NAGAO, "A structural analyzer for regularly arranged textures", C.G.I.P. 18, pp. 259-278, 1982.  
 [4] P. VOLET and M. KUNT, "Synthesis of natural structured textures", Congrès EUSIPCO 86, la Haye, Pays-Bas, pp. 913-916.  
 [5] T. MATSUYAMA, S.I. MIURA and M. NAGAO, "Structural analysis of natural textures by Fourier transformation", C.G.I.P. 12, pp. 286-308, 1980.  
 [6] M. KUNT, "Traitement numérique des signaux", traité d'électricité, vol. XX, Presses Polytechniques Romandes, deuxième édition, 1984.

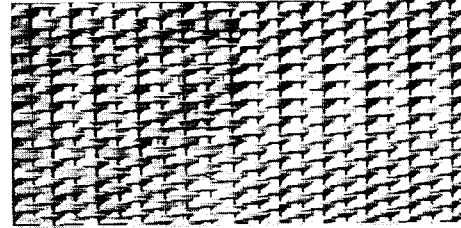


Fig. 2 : a) originale b) synthèse

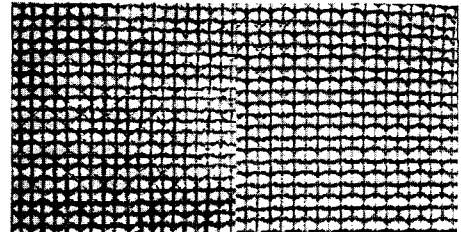


Fig. 3 : a) originale b) synthèse

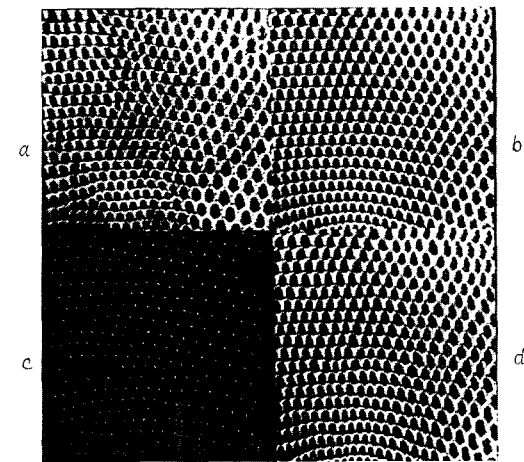


Fig. 4 : a) originale b) synthèse sans bruits  
 c) graphe de lien d) synthèse avec bruits

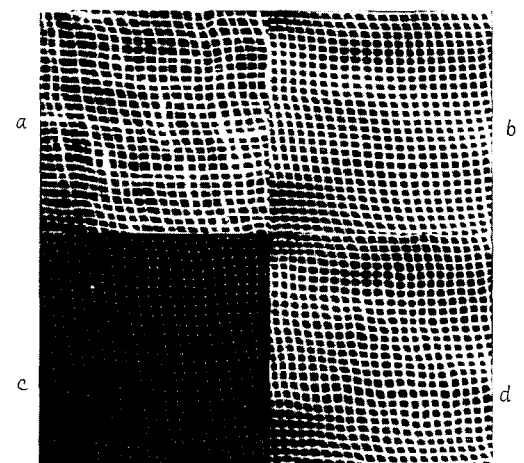


Fig. 5 : a) originale b) synthèse sans bruits  
 c) graphe de lien d) synthèse avec bruits