

REPRESENTATION PYRAMIDALE PASSE-BANDE DES TEXTURES
EN SYNTHESE D'IMAGES

A. BRUNO W. GUO

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

RESUME

L'utilisation des textures naturelles permet d'accroître beaucoup le réalisme des images de synthèse. Cependant les modèles de texture naturelle étant peu performants, celles-ci sont mieux décrites par un médaillon contenu dans une table. L'utilisation de cette représentation en synthèse d'images apporte un certain nombre de problèmes. Les solutions présentées dans la littérature sont surtout orientées vers le traitement de l'aliassage. Cette publication propose des solutions permettant un affichage de qualité de la texture avec des résolutions fortement variables.

La représentation de la texture sous forme de pyramide laplacienne est à la base des solutions proposées. Elle permet d'une part d'utiliser un faible volume mémoire pour décrire la texture, et d'autre part, de limiter la charge de calcul nécessaire à la reconstruction de la texture pour une résolution donnée.

Le raccordement des bords du médaillon non périodique est obtenu par un filtrage local sur chacun des signaux passe-bandes de la texture. L'aliassage est supprimé par un filtrage effectué dans une seule bande de fréquence, d'où une charge de calcul très faible.

La structure de données sous forme de pyramide laplacienne est étendue à une structure multi-pyramide permettant un affichage de la texture avec un niveau de détails constant pour des distances d'observation très différentes.

SUMMARY

The use of natural textures increases a lot the realism of computer generated images. Meanwhile models of natural textures being poor, these are best described by a stamp memorized in a table. The use of this representation in computer generated images raises some problems. The solutions given in the literature are directed toward aliasing problems. This paper brings some solutions to produce quality imagery of textures at various scales.

The proposed solution uses a laplacian pyramid for the texture description. This peculiar description gives two advantages : first, it reduces the memory amount containing the texture description, and secondly it decreases the calculus cost for the reconstruction of the texture at a given scale.

The edgsmatching of non periodical texture stamps is realized by local filtering in each frequency band. Aliasing is removed by a filtering applied in only one frequency band. So, the calculus cost is kept at a low level.

The data structure of the laplacian pyramid can be extended to a multi-pyramid structure to produce quality imagery of textures with a constant level of details at any scale.

INTRODUCTION

Le réalisme des images de synthèse est fortement amélioré par l'ajout de texture sur les facettes des objets visualisés. Le type de texture utilisée, artificielle ou naturelle, est lié au domaine d'application. Les textures naturelles s'utilisent notamment dans le domaine de la simulation où l'on cherche à restituer, pour un observateur, l'environnement visuel correspondant à une application donnée (simulateur pour l'entraînement des pilotes d'hélicoptère par exemple).

S'il est relativement facile de modéliser et décrire sous une forme implicite les textures artificielles, il est par contre très difficile de modéliser les textures naturelles. Les nombreux travaux effectués dans ce domaine montrent clairement qu'un modèle unique décrivant l'ensemble des textures naturelles n'est pas encore construit. En conséquence, la plus fidèle description de ces textures reste une description explicite sous forme de table bidimensionnelle de points d'image de texture. Cette description est obtenue par simple numérisation d'un médaillon de texture naturelle.



La taille limitée du médaillon de texture pose un sérieux problème lorsque la surface à texturer est de taille supérieure à celle du médaillon. Dans ce cas, le médaillon de texture est répété plusieurs fois pour couvrir toute la surface texturée, mais la périodicité du médaillon, et surtout la présence de frontières visibles entre médaillons adjacents sont visuellement gênantes.

D'autre part, une surface texturée est généralement affichée avec des résolutions variables liées à la distance d'observation et à la perspective notamment. Dans le plan de l'image, en certaines zones le signal de texture peut être fortement sous-échantillonné alors qu'il est sur-échantillonné par ailleurs. Dans le premier cas des moirés apparaissent sur la texture, alors que dans le second, ce sont des pavés de luminance uniforme qui deviennent visibles.

Cette publication présente une nouvelle technique pour résoudre les problèmes présentés ci-dessus. Elle utilise une représentation de la texture sous forme de pyramide laplacienne afin de mieux contrôler les problèmes d'échantillonnage, de raccordement de table de texture, mais aussi pour diminuer le volume mémoire nécessaire à la table par comparaison aux autres méthodes.

LES TECHNIQUES DE FILTRAGE DES TEXTURES

Les défauts d'échantillonnage visibles dans les textures en synthèse d'images sont combattus avec des méthodes plus ou moins bien adaptées au modèle choisi pour décrire la texture. Il existe un certain nombre de solutions travaillant avec une description explicite de la texture (table de texture), alors que les solutions basées sur une description implicite, sous forme de fonction mathématiques (série de Fourier par exemple), sont moins développées du seul fait de la difficulté de modéliser les textures naturelles.

Feibush et al [1] utilisent un filtre à réponse impulsionnelle non uniforme et à support variable. Ce filtre appliqué en chaque pel est capable de prendre en compte des problèmes spécifiques aux méthodes de synthèse d'images, notamment celui du recouvrement des facettes voisines dans l'image. Cette méthode offre de bons résultats car la sélection des points texture est précise et les meilleures fonctions de pondération (gaussiennes) peuvent être utilisées. Cependant la charge de calcul peut devenir très élevée si la texture est fortement compressée.

Cette méthode présente une charge de calcul importante et variable parce que le filtrage est simultané à celui du calcul de l'image. Pour diminuer cette charge de calcul il est donc préférable d'effectuer le filtrage avant le calcul de l'image (filtrage à priori).

Williams [2] utilise ainsi une table de texture contenant un jeu de textures préfiltrées en plus de la texture originale. Les filtres utilisés sont à support carré, de tailles linéaires successives d'un facteur deux. Cependant le filtrage obtenu est médiocre car les réponses impulsionnelles des filtres sont uniformes et les supports sont fixés à priori. D'autre part, la taille de la table de texture doit être augmentée d'un facteur quatre pour contenir les différentes textures préfiltrées.

Les inconvénients du filtrage multi-tables de Williams sont en partie supprimés par les méthodes de Crow [3] et Heckbert [4]. Crow utilise une table contenant l'intégrale du signal de texture et non plus la texture originale. Cette intégrale est calculée sur un support rectangulaire délimité par le point courant et le point d'entrée de la table. Ce filtre possède une taille quelconque mais sa réponse impulsionnelle est uniforme. Les travaux de Heckbert ont généralisé la méthode développée par Crow : le degré n de la

réponse impulsionnelle (R_i) du filtre peut être quelconque, soit pratiquement un (R_i triangulaire) ou deux (R_i parabolique). Ces filtres dont la R_i est de degré n doivent être appliqués à l'intégrale nième du signal de texture. Les résultats du filtrage sont excellents. Cependant, cette méthode ne donne des résultats de qualité, quelque soit le taux de compression de la texture, que si les précautions suivantes sont prises :

- la dimension de la table doit être augmentée d'un facteur quatre pour traiter correctement les situations où le point courant est situé en bord de table lorsque le filtre possède un support de grande taille.

- la profondeur de la table doit être augmentée pour contenir l'intégrale nième qui possède une dynamique supérieure à celle du signal original,

- si la texture est peu ou pas compressée, chacune des valeurs utilisées dans la sommation doit être obtenue par interpolation bilinéaire des quatre valeurs adjacentes lues dans la table de texture.

On constate donc une augmentation de la charge de calcul parallèlement à celle du volume mémoire contenant la table. De plus, le problème du sur-échantillonnage de la texture n'est pas traité. Pour le traiter correctement, il faut disposer d'une description de la texture sur un médaillon de taille plus grande. Dans le cas d'une description implicite, ce problème n'existe pas car le modèle utilisé reste généralement valable pour des résolutions très différentes.

Ainsi la méthode proposée par Norton et al [5] utilise une description du signal en série de Fourier. Le filtrage du signal est obtenu par l'atténuation ou la suppression des termes de hautes fréquences de la série de Fourier. Les défauts de sur-échantillonnage n'existent pas et le traitement du sous-échantillonnage est obtenu avec une charge de calcul relativement faible. Le principal inconvénient des méthodes de ce type réside dans l'obtention de la description implicite d'une texture naturelle.

De cette étude comparative de quelques méthodes de filtrage des textures, nous pouvons tirer les quelques remarques qui suivent :

1. les descriptions explicites de la seule texture originale entraîne une charge de calcul inacceptable.

2. les descriptions explicites contenant des textures préfiltrées entraîne une charge de calcul acceptable, mais le coût mémoire devient trop important.

3. les descriptions fréquentielles sont bien adaptées au filtrage, le coût mémoire est très faible, mais il est généralement impossible d'obtenir la description de la plupart des textures naturelles.

L'ensemble de ces observations nous a conduit à chercher une méthode de description à la fois explicite et fréquentielle afin de cumuler les avantages propres à chacune de ces descriptions.

REPRESENTATION AVEC UNE PYRAMIDE LAPLACIENNE

Les techniques d'analyse d'images utilisant une représentation multi-niveaux sont en pleine expansion depuis quelques années [6] [7] [8]. Ces techniques présentent des avantages évidents pour des opérations simples telles que la caractérisation de textures observées à différentes distances ou la recherche d'un objet connu mais dont la taille est inconnue dans l'image. Par exemple pour cette dernière opération, la recherche peut s'effectuer de deux manières :

- soit seule l'image originale est utilisée, alors la recherche s'effectue avec un ensemble de n masques de convolution de tailles variables.



- soit l'image originale est décomposée en une pyramide de n images passe-bas et la recherche de l'objet s'effectue avec un seul masque de convolution sur l'ensemble de ces images.

La charge de calcul à effectuer dans le premier cas est très nettement supérieure à celle dans le second cas, sans parler de la mise en oeuvre simplifiée dans ce dernier cas. On comprend ainsi tout l'intérêt des représentations pyramidales pour la recherche de structures de taille inconnue a priori. Cet intérêt se retrouve en synthèse de texture car celle-ci doit être affichée avec une résolution inconnue a priori. Ainsi les problèmes de sous-échantillonnage ne sont effectifs que dans une bande de fréquence donnée, les fréquences supérieures sont simplement ignorées. De cette façon, le support du filtre est toujours de taille minimale et donc la charge de calcul peut être minimisée.

La description de la texture sous forme de pyramide laplacienne s'obtient facilement [9] [10]. La structure de données est la même que celle utilisée par Williams [2], mais chaque niveau de la pyramide contient les fréquences du signal correspondant à ce niveau, et non à l'ensemble des fréquences accumulées sur ce niveau et les niveaux supérieurs (figure 1). Pour retrouver la texture originale, à chaque niveau de la pyramide, le signal doit être ré-échantillonné et ajouter à celui situé au niveau juste inférieur. Le ré-échantillonnage est obtenu par le même filtrage, que ce soit pour l'expansion ou la réduction de la texture. Ces filtrages et les opérations effectuées entre chaque niveau de la pyramide représente un filtrage passe-bande de type laplacien (différence de deux gaussiennes).

Cette description pyramidale et fréquentielle permet de résoudre plus facilement le problème de raccordement du bord des médaillons de texture. Un filtrage passe-bas est effectué localement, sur les bords du médaillon, et dans chaque bande de fréquence pour forcer la continuité du signal. Le filtre de reconstruction de la texture doit être modifié pour prendre en compte la continuité forcée du signal. Comme le montrent les figures 2 et 3 sur une texture naturelle, les résultats du traitement sont acceptables. Des résultats identiques ont été obtenus pour la plupart des textures naturelles, seules les textures fortement structurées posent quelques problèmes. Un traitement de même nature peut être appliqué pour forcer le raccordement de la texture entre des facettes contiguës. Nous n'avons pas encore expérimenté ce dernier traitement. Cependant la charge de calcul nécessaire à l'obtention du signal reconstruit avec ce traitement peut être évaluée à un peu plus du double de ce qu'elle est sans traitement. De plus la mise en oeuvre semble ne poser aucun problème particulier.

Le second problème à traiter est lié à l'échantillonnage de la texture dans le plan de l'image. Lors de la synthèse de l'image, la valeur de la texture doit être calculée en chaque pel. Cette reconstruction du signal de texture doit être opérée une fois connue la fréquence de Nyquist correspondante dans l'espace de la texture. Différentes méthodes [11] permettent de calculer cette fréquence. C'est la connaissance de cette dernière qui détermine à quel niveau descendre dans la pyramide laplacienne, et quelle pondération donner aux plus hautes fréquences utilisées. La charge de calcul pour la reconstruction du signal dépend du nombre de niveau à traverser dans la pyramide. Pour passer d'un niveau au suivant, il faut effectuer, en moyenne, 7,5 lectures de tables, 7,5 multiplications et 7,5 additions. Le nombre exact est de 6 ou 9 suivant la position particulière du pel. Les multiplications peuvent être tabulées puisque les coefficients des filtres sont constants. La charge de calcul est donc

faible. En moyenne il faut traverser deux niveaux dans la pyramide ce qui double la charge de calcul évaluée précédemment. A cela il faut ajouter le traitement au niveau le plus bas : une lecture de table et un produit par un coefficient variable, mais ce produit peut être tabulé sans perte de qualité.

Ces différentes opérations peuvent être parallélisées et sérialisées pour réduire la durée du calcul. Le volume mémoire nécessaire pour contenir la pyramide de textures passe-bandes est comparable à celui contenant la texture originale. En effet si cette dernière est quantifiée sur 8 bits, les textures passe-bandes peuvent être quantifiées sur seulement 6 bits, donc au total le volume mémoire est égale à :
 $(128 \times 128 + 64 \times 64 + 32 \times 32 + 16 \times 16 + 8 \times 8) \times 6 = 130944$ bits alors que le volume initiale est égale à $128 \times 128 \times 8 = 131072$ bits.

Les résultats de cette méthode sont bons, bien qu'inférieurs à ceux obtenus avec la méthode de l'intégrale multiple en ce qui concerne le traitement du sous-échantillonnage. Cependant cette méthode ne traite pas le problème du sur-échantillonnage.

Le sur-échantillonnage est particulièrement gênant lorsque les plus hautes fréquences de la texture sont très inférieures à la fréquence de Nyquist du plan image. Pour un médaillon de taille donnée, il faut donc augmenter la résolution de la description de la texture. Ainsi la texture affichée sera très réaliste car le niveau de détails dans l'image devient indépendant de la distance d'observation. On retrouve ainsi les avantages des modèles à base de fractals [12]. Si la texture naturelle est supposée posséder des propriétés de similitude interne, la description de la texture peut être obtenue en combinant plusieurs descriptions à des résolutions différentes (figure 4). Toutes ces descriptions peuvent être identiques, à un facteur d'amplitude près. Le volume mémoire reste alors inchangé. Les mêmes données représentent ainsi un jeu de médaillons à des résolutions très différentes. A la reconstruction de la texture chacune des répliques du petit médaillon sur le plus grand est assujettie à une modulation d'amplitude légèrement différente, ce qui masque la périodicité de ce petit médaillon. Si la texture naturelle ne présente pas de propriétés fractales, alors il faut mémoriser les descriptions propres à chaque médaillon.

La figure 4 montre la structure multi-pyramide de la base de données pour contenir deux médaillons de résolution différente dans le cas d'une texture non fractale. Le volume mémoire n'est plus que la moitié de ce qu'il était pour la pyramide laplacienne à cinq niveaux (figure 1), bien que la structure soit équivalente à une pyramide à huit niveaux. Les charges de calcul moyenne et maximale sont diminuées pour chacune des pyramides. De plus les calculs sur chaque pyramide sont indépendants donc entièrement parallélisables. La texture en un pel donné est obtenue par addition des deux signaux calculés sur chacune des pyramides. Cette méthode est actuellement en cours d'expérimentation.

CONCLUSION

Cet article a présenté de nouvelles solutions pour une meilleure utilisation des textures en synthèse d'images. Ces solutions passent par l'utilisation d'une description de la texture en bandes de fréquence. Une structure de données sous forme de pyramide laplacienne permet de reconstruire facilement la texture en respectant les contraintes propres aux machines de synthèse d'images fonctionnant en temps réel. Ces contraintes concernent surtout la charge de calcul et le volume mémoire contenant la texture. Les



problèmes de raccordement de bord de médaillon et d'anti-aliasage sont résolus. Des extensions en cours de développement permettront de résoudre les défauts de sur-échantillonnage.

REMERCIEMENT

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

BIBLIOGRAPHIE

[1] E.A. FEIBUSH, M. LEVAY, R.L. COOK, "Synthetic texturing using digital filters". Computers graphics, 14(3), july 1980, pp. 295-301.
 [2] L. WILLIAMS, "Pyramidal parametrics", Computer graphics, 17(3), july 1980, pp. 295-301.
 [3] F.C. CROW, "Summed-area tables for texture mapping" Computer graphics, 18(3), july 1984, pp. 207-212.
 [4] P. HECKBERT, "Filtering by repeated integration". Computer graphics, 20(4), august 1986, pp. 297-306.
 [5] A. NORTON, A.P. ROCKWOOD, P.T. SKOLMOSKI, "Clamping : a method of antialiasing textured surfaces by bandwidth limiting in object space". Computer graphics, vol. 16, n°3, july 1982.
 [6] A. ROSENFELD (Ed.) "Multiresolution Image Processing and Analysis". Springer-Verlog - Berlin 1984.
 [7] S. TAMIMOTO, T. PAVLIDIS, "A hierarchical data structure for picture processing". Computer graphics and Image processing, 4, 1975, pp. 104-119.
 [8] P.J. BURT, "Pyramid based extraction of local image features with applications to motion and texture analysis". Proceedings Soc. Photo-opt. Instrum. Eng., Aug. 1982, San Diego, pp. 114-124.
 [9] P.J. BURT, E.H. ADELSON, "A multiresolution Spline with applications to image mosaics". ACM Transactions on Graphics, vol. 2, n°4, oct. 1983.
 [10] L.O' GORMAN, A.C. SANDERSON, "A comparison of methods and computation for multi resolution low and Band-Pass transforms for image processing, vol. 37, 1987, pp. 386-401.
 [11] A. BRUNO, W. GUO, J. RONSIN, "Mise en oeuvre, développement et étude comparative de méthodes anti-moirage. Amélioration de la visualisation des textures". Rapport de convention n°011.41.87 CELAR, Novembre 1987.
 [12] B.B. MANDELBROT, "Fractals : Form, chance and Geometry", Freeman Press, San Francisco, 1977.

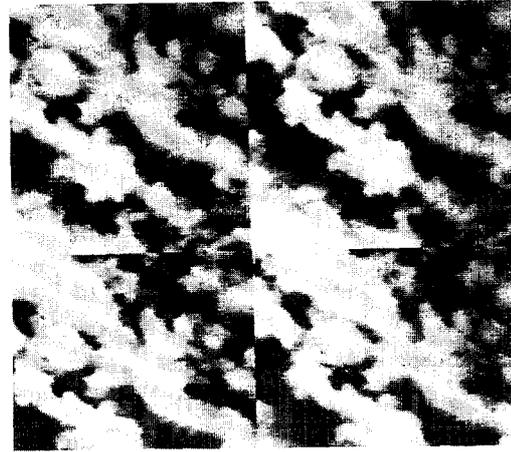


Figure 2 : Texture naturelle

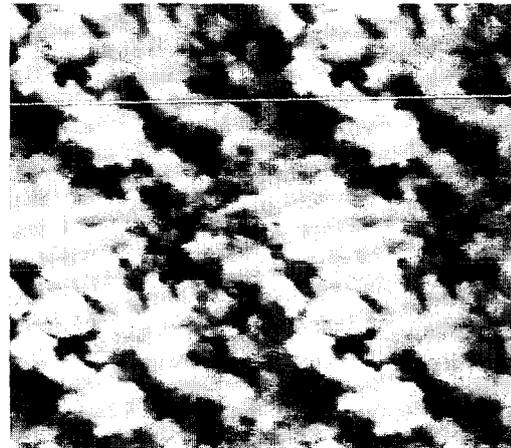


Figure 3 : Texture naturelle avec le raccordement des bords de table

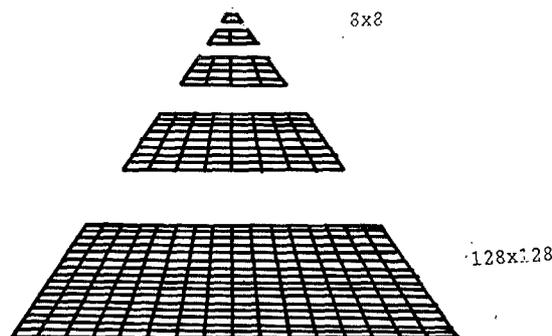


Figure 1 : Structure de la pyramide laplacienne

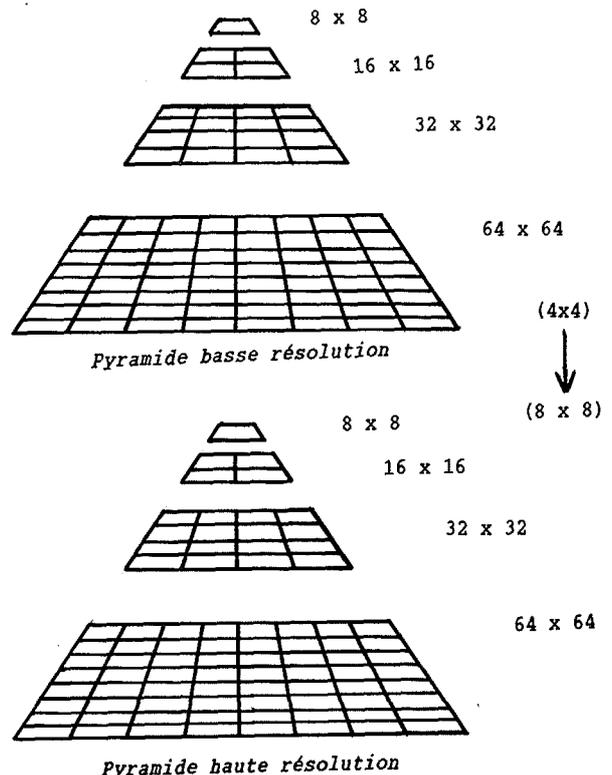


Figure 4 : Structure multi-pyramide