

Applications de l'estimation de la variation des échelles locales d'un plan texturé

Justin Plantier¹, Laurent Boutté^{1,2}, Sylvie Lelandais²

¹ Département Sciences Cognitives

IMASSA

BP 73

91223 BRETIGNY sur ORGE

Email : jplantier@imassa.fr

² Université d'Evry Val d'Essonne

CEMIF – Groupe Systèmes Complexes

CE 1455 COURCOURONNES

91020 EVRY CEDEX

Email : s.lelandais@iut.univ-evry.fr

Résumé – Les méthodes de “*Shape From Texture (SFT)*” permettent de retrouver l’orientation d’un plan texturé incliné à partir d’une image unique de ce plan. L’objectif de cet article est de montrer l’apport d’une de ces méthodes pour quatre applications : segmentation des texels, construction d’un maillage, extraction de défauts, calcul de l’orientation à partir de la ligne de fuite. La méthode de “*SFT*” développée est basée sur une analyse de la variation des échelles locales. Elle est articulée en deux parties : extraction des échelles locales puis interpolation de la carte des échelles obtenues avec la surface théorique afin de calculer directement l’orientation du plan ou d’utiliser ces résultats pour les applications visées.

Abstract – The “*Shape From Texture (SFT)*” methods allow to obtain three dimensional information with only a monocular view of a scene. The aim of this paper is to present some applications of one of these methods : texels extraction, mesh building, defects detection and an improvement of the orientation computation using the vanishing line equation. In this article, the “*SFT*” method developed is computed in two steps. First a new local scales extraction technique is performed. Then an interpolation of the local scales map by a theoretical surface allows to recover the orientation of the textured plane. This interpolation is also used for the different applications.

1. Introduction

A partir d’images représentant des plans texturés orientés dans l’espace, cet article présente quatre applications basées sur une méthode de “*Shape From Texture*” (SFT) [1] :

1. Extraction de texels
2. Construction d’un maillage
3. Détection de défauts
4. Calcul de la ligne de fuite pour déterminer l’orientation du plan.

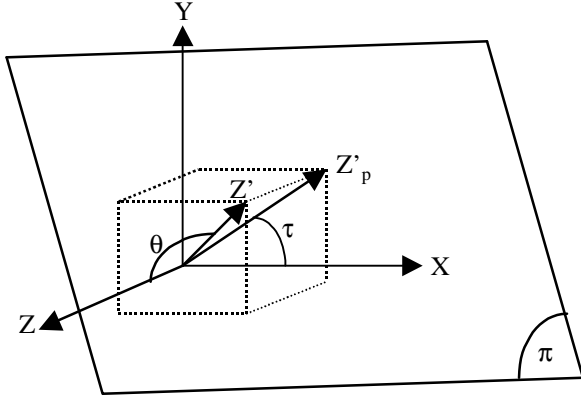
La projection d’un plan incliné texturé dans une image provoque la déformation de la texture. La texture peut être caractérisée par les formes élémentaires qui la composent (texels) ou bien par ses fréquences locales. Dans la description fréquentielle, l’inclinaison du plan va se traduire par une variation de la fréquence locale [2][3][4]. L’avantage

de cette approche est que l’on obtient des informations en tous points de l’image, contrairement à la description par les texels.

2. Présentation de la méthode « SFT »

Une étude théorique utilisant le système de représentation basé sur un modèle de projection perspective et décrit par les angles de slant et de tilt a permis d’obtenir l’équation théorique du plan incliné (Figure 1).

Pour déterminer cette équation, nous devons étudier la déformation de la texture causée par la projection dans l’image. L’étude utilisant la représentation basée sur les angles de tilt et de slant permet d’obtenir l’équation reliant l’équation du plan avec les fréquences locales de l’image.



Π : le plan texturé, Z' : la normale au plan Π , XY : Plan image, Z : la normale à l'image, Z'_p : la projection de Z' sur XY .

θ : l'angle de slant (angle entre les axes Z et Z') et τ : l'angle de tilt (angle entre les axes X and Z'_p)

FIG. 1 : Représentation des angles de slant et de tilt

Pour trouver cette équation [5], nous commencerons par un cas simple, c'est à dire un cas où l'angle de tilt est nul. Posons $S(x_\pi, y_\pi)$ une texture sinusoïdale dans le plan Π . Avec l'hypothèse de projection perspective, l'équation de la texture dans l'image devient dans le plan XY :

$$S(x_\pi, y_\pi) = \cos(\gamma(x_\pi))$$

avec

$$\gamma(x_\pi) = \omega \cdot x_\pi = \omega \left[\frac{(f+Z)}{f} \cdot \frac{1}{\cos\theta} \cdot \frac{x}{1 - \frac{x}{f} \tan\theta} \right] \quad (1)$$

Dans cette équation, f représente la focale de la caméra, Z la distance entre le plan incliné et la caméra et θ l'angle de slant. La fréquence locale est définie par :

$$F(x, y) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\gamma(x_\pi)}{dx} = \frac{\omega}{2\pi} \cdot \frac{(f+Z)}{f} \cdot \frac{1}{\cos\theta} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{x}{f} \tan\theta\right)^2} \quad (2)$$

Il est possible de changer cette expression pour avoir l'échelle locale en chaque point de l'image. Ainsi, l'échelle locale sera la grandeur retenue dans cette étude car l'interpolation d'un polynôme du 2nd degré polynomial est plus facile que l'interpolation d'un hyperboloïde.

$$E(x, y) = \frac{1}{F(x, y)} = \beta_2 x^2 + \beta_1 x + \beta_0 \quad (3)$$

avec

$$\beta_0 = \frac{2\pi}{\omega} \left(\frac{f}{f+Z} \right) \cos\theta$$

$$\beta_1 = \beta_0 \left(\frac{-2}{f} \right) \tan\theta$$

$$\beta_2 = \beta_0 \left(\frac{1}{f^2} \right) \tan^2\theta$$

Ainsi, nous pouvons déterminer l'angle de slant :

$$\theta = \arctan \left(\sqrt{f^2 \frac{\beta_2}{\beta_0}} \right) \quad (4)$$

Pour généraliser à tous les angles de tilt, nous devons effectuer une rotation des coordonnées de l'image avec l'angle de tilt τ . Ainsi, l'équation (3) devient :

$$E(x, y) = a_1 x^2 + a_2 xy + a_3 y^2 + a_4 x + a_5 y + a_6 \quad (5)$$

avec

$$a_1 = \beta_2 \cos^2 \tau; \quad a_3 = \beta_2 \sin^2 \tau, \quad a_5 = \beta_1 \sin \tau;$$

$$a_2 = 2\beta_2 \cos \tau \sin \tau; \quad a_4 = \beta_1 \cos \tau; \quad a_6 = \beta_0$$

L'angle de tilt sera obtenu à partir d'une de ces équations :

$$\tau = \arctan \left(\frac{a_2}{2a_1} \right) \quad \text{ou} \quad \tau = \arctan \left(\frac{2a_3}{a_2} \right)$$

Pour obtenir $E(x, y)$, nous devons déterminer les six paramètres a_i de l'équation 5. Nous devons interpoler la carte des échelles locales $E_L(x, y)$, avec cette équation. Cette équation, qui utilise un modèle sinusoïdal peut être généralisée à des textures ayant une fréquence dominante.

La carte des échelles locales $E_L(x, y)$ est construite en effectuant les étapes suivantes :

1. Une décomposition de l'image $I(x, y)$ sur une base d'ondelettes utilisant des filtres de type DOG (Difference Of Gaussians) à différentes échelles notées " σ " est réalisée ; les décompositions obtenues sont notées $I_\sigma(x, y)$;
2. Pour chaque point de l'image, on recherche l'échelle σ qui fournit le maximum de réponse dans la série de décomposition $I_\sigma(x, y)$ et on retient la valeur de cette échelle notée σ_i [3] (cf. figure 2);

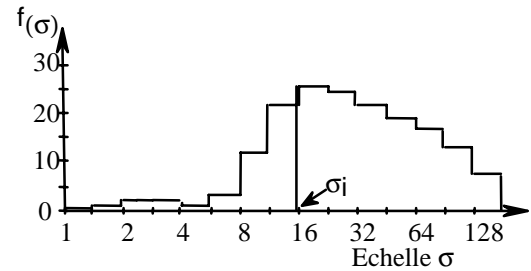


FIG. 2 : Réponse des ondelettes sur un point de l'image.

3. Une interpolation parabolique entre la réponse de cette échelle et celles des deux plus proches voisines est effectuée pour obtenir une valeur plus précise de l'échelle locale (cf. figure 3).

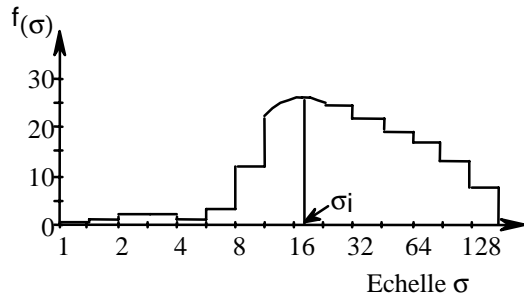


FIG. 3 : Interpolation de la réponse des ondelettes.

Un exemple de carte d'échelles locales $E_L(x,y)$ est montré sur la figure 4, sur cette image, les niveaux de gris les plus clairs correspondent aux grandes échelles (basses fréquences spatiales), les gris les plus foncés correspondent aux petites échelles (hautes fréquences spatiales).

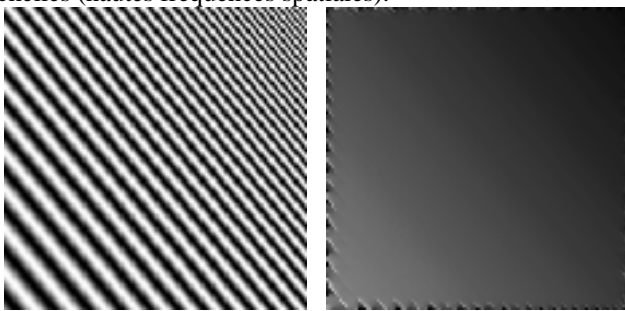


FIG. 4 : Echelles locales.

3. Extraction des texels

La difficulté d'extraire des texels d'un plan incliné projeté sur une image est due au fait que la taille des texels n'est pas constante mais varie en fonction de leur position dans l'image. Ceci se traduit aussi par une variation des échelles locales. Il est nécessaire d'effectuer un seuillage adaptatif qui tient compte de cette variation [6]. Les valeurs de seuils sont déterminées à partir de l'équation 5. Connaissant la courbe $E(x,y)$, l'image permettant d'extraire les texels est calculée de la façon suivante :

$$R(x,y) = 0 \text{ si } E_L(x,y) > E(x,y) * P \text{ ou}$$

$$R(x,y) = 1 \text{ si } E_L(x,y) < E(x,y) * P.$$

Le paramètre P permet de supprimer le bruit dû aux hautes fréquences spatiales induites par les contours des texels (dans la figure n° 1, P est égal à 1,3). Ce paramètre permet de généraliser cette méthode à des macrotextures non sinusoidales.

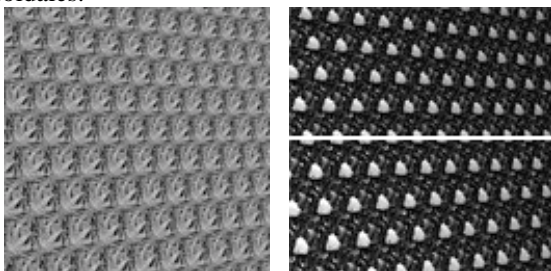
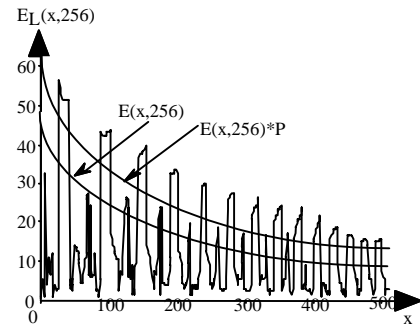
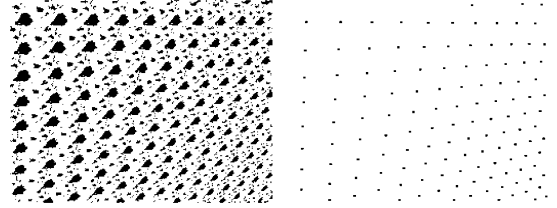


Image originale Echelles locales $E_L(x,y)$



Seuillage adaptatif sur la ligne blanche de $E_L(x,y)$

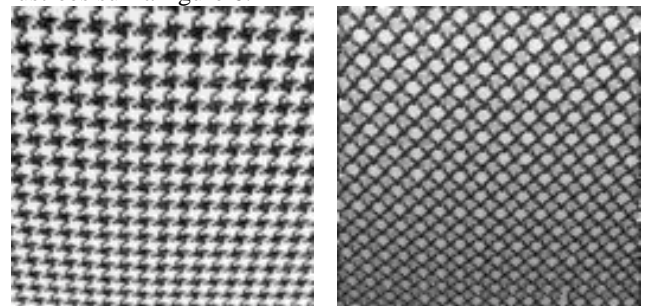


Texels extraits $R(x,y)$ Centres des texels

FIG. 5: Principe graphique du seuillage et résultat obtenu

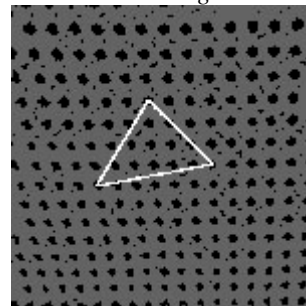
4. Construction d'un maillage

A partir des centres des texels, nous pouvons créer une grille décrivant l'organisation spatiale de la macrotexture en utilisant la triangulation de Delaunay [7]. La triangulation est conduite de la manière suivante : initialisation du processus par construction d'un premier triangle basé sur trois texels ; intégration incrémentale des autres texels avec construction à chaque fois d'une nouvelle triangulation. Pour créer un maillage régulier à partir de la triangulation définitive, il faut éliminer les triangles qui assurent la convexité de l'ensemble et assembler les triangles restant deux par deux pour créer des « quasi-parallélogrammes » dont les côtés constituent les axes du maillage. Les différentes étapes de ce processus sont illustrées sur la figure 6.

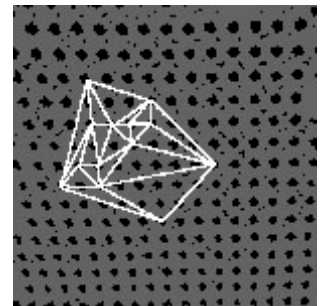


Texture Originale

Echelles locales



1^{ère} triangulation



Triangulation N

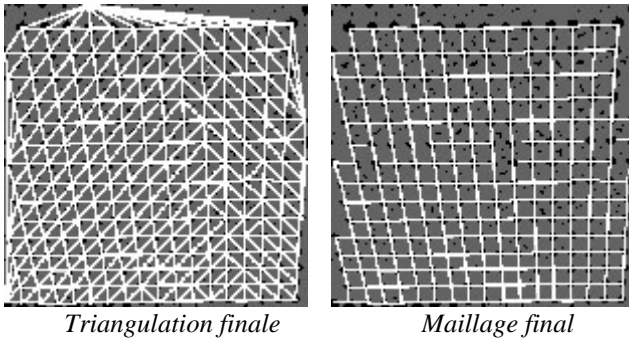


FIG. 6 : Construction du maillage

5. Extraction des défauts

A partir de la grille donnant la description de l'organisation spatiale des texels présents sur le plan, la détection de défauts se ramène à une recherche d'irrégularités dans cette grille. En effet, la présence d'un défaut dans une zone de l'image, va affecter les texels présents dans cette zone. La carte des échelles locales sera modifiée autour du défaut et la procédure de seuillage ne permettra plus d'extraire ces texels dégradés. Cette situation se traduira par des trous dans la grille qui seront assimilés à des défauts [8]. La figure 7 donne un exemple de défaut consistant en un texel déformé. On constate que le défaut est détecté mais également parfaitement localisé.

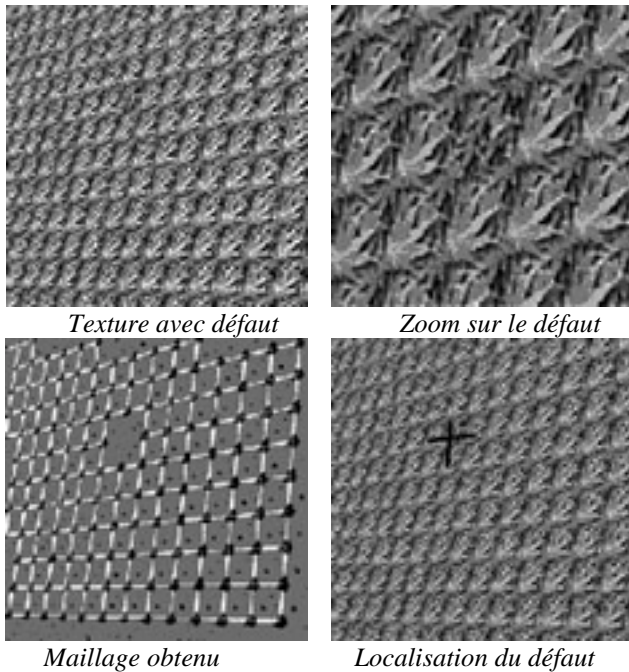


FIG. 7 : Détection d'un défaut

6. Ligne de fuite et orientation du plan

Classiquement, le calcul de l'orientation se fait directement en utilisant l'équation 5 qui permet de remonter aux angles de tilt et de slant, mais il est aussi possible d'utiliser l'équation de la ligne de fuite du plan. Pour obtenir cette ligne de fuite, nous utilisons la grille reconstruite à partir des centres des texels. En effet, puisque nous avons fait l'hypothèse que les

textures étudiées étaient composées de texels répartis suivant une grille uniforme dans l'espace 3D, ceux-ci sont alignés suivant des droites parallèles. Lors de la projection du plan dans l'image, ces droites vont se couper en un point appartenant à la ligne de fuite. Pour pouvoir retrouver la ligne de fuite, il faut utiliser plusieurs alignements différents [5]. Le tableau 1 montre la comparaison des résultats obtenus en terme d'erreurs par les deux méthodes, réalisée à partir d'une trentaine d'images naturelles. Une amélioration de l'estimation de l'angle de slant est notable par la méthode de la ligne de fuite.

TAB. 1 : Comparaison des résultats

	Méthode classique SFT		Méthode ligne de fuite	
	Slant	Tilt	Slant	Tilt
Moyenne	14,1°	7,7°	3,3°	7°
Ecart type	13,9°	7°	3,4°	7°

7. Conclusion

Les applications que nous présentons ici, permettent d'illustrer que les méthodes de calcul d'une forme à partir du seul paramètre de texture (*Shape From Texture*) ont un intérêt très pratique. Les résultats obtenus sont tout à fait satisfaisants, tant sur des images de synthèse que sur des images naturelles. De plus, extraction de texels, triangulation de Delaunay, recherche de défauts, peuvent se faire sur des images sans connaissance a priori sur la texture et sans procédure de calibration de la caméra. Ces méthodes sont toutefois limitées à des textures macroscopiques.

Références

- [1] J. Aloimonos. *Shape from texture*, Biological Cybernetics, Vol.58, pp.345-360, 1988.
- [2] C. S. Lu, W. L. Hwang, H. Y. Mark, H. Y. Lio, P. C. Chung. *Shape from texture based on the ridge of continuous wavelet transform*, IEEE International Conference on Image Processing, Sept. 1996, Switzerland, 1996.
- [3] K. Sakai, H. Finkel. *Characterization of the spatial-frequency spectrum L. in the perception of shape from texture*, Journal of Opt. Soc. Am. A., Vol.12, N°.6, pp.1208-1224, 1995.
- [4] B. Super, A. Bovik. *Shape From Texture using local spectral moments*, IEEE PAMI, Vol.17, N°.4, pp.333-343, Avril 1995.
- [5] L. Boutté. *Extraction des échelles locales appliquée au calcul de l'orientation d'un plan texturé*, PhD thesis, University of Evry Val d'ESSONNE, November 2000.
- [6] L. Boutté, J. Plantier, S. Lelandais, P. Checchin. *Texel extraction on inclined textures by adaptive thresholding of local scales*, ICPR 2000, pp.560-563, Vol. 3, September 2000, Barcelone, Spain, 2000.
- [7] P. L. George, H. Borouchaki. *Triangulation de Delaunay et maillage*, HERMES Editors, Paris, France, 1997.
- [8] S. Lelandais, L. Boutté, J. Plantier. *Defects detection on inclined textured planes*, QCAV 2001, Le Creusot, France, 21-23 mai 2001.