

Caractérisation de textures par l'analyse spectrale locale

Y.M.Zhu, F.Peyrin R.Goutte et M.Amiel

URA CNRS 1216 - L.T.S.U. - INSA de Lyon
20, av. A. Einstein - 69621 Villeurbanne Cedex

RÉSUMÉ

L'analyse spectrale locale est une méthode intéressante pour obtenir des caractéristiques pertinentes d'une image. Cette communication propose une nouvelle méthode d'analyse spectrale locale permettant de caractériser de façon précise les textures d'une image. Elle est basée sur la transformation de Wigner-Ville bidimensionnelle (TWV 2D), et présente l'intérêt de donner une bonne discrimination des propriétés de textures telles que la granularité, la direction, la périodicité, etc.

I. Introduction

La texture est une caractéristique importante de la surface et/ou de la structure interne d'un objet. L'analyse de texture joue un rôle essentiel dans l'interprétation automatique des scènes.

Dans ce domaine, une tâche primordiale est la caractérisation des textures. Cette étape a pour objectif principal de fournir les meilleurs indicateurs possibles permettant d'identifier les propriétés pertinentes d'une région de l'image. Par région, on entend ici un ensemble de points possédant certaines caractéristiques d'homogénéité. En pratique, ces indicateurs peuvent être de différentes natures, en particulier ils peuvent provenir d'une analyse spectrale. Pour cela on utilise le plus souvent la transformation de Fourier bidimensionnelle (TF 2D). L'intérêt de cette méthode réside dans le fait que la TF permet parfois de mettre en évidence des informations qui n'étaient pas facilement décelables dans le domaine spatial. Cette méthode a déjà fait ses preuves pour certaines classes d'images. Toutefois, la performance de cette technique reste assez limitée dans beaucoup de situations, à cause du compromis incontournable entre les résolutions spatiale et fréquentielle. Ceci est particulièrement vrai lorsqu'il s'agit d'analyser des régions texturées de l'image de petites tailles.

Dans cette communication, nous proposons une nouvelle méthode permettant d'obtenir des indicateurs fréquentiels sur des régions de l'image de différentes tailles. Cette méthode est basée sur la notion d'analyse spectrale locale, et utilise la transformation de Wigner-Ville bidimensionnelle (TWV 2D) de l'image.

Après avoir brièvement rappelé le principe des méthodes d'analyse spectrale locale, nous décrivons la TWV 2D, en soulignant en particulier les aspects liés aux propriétés elles-mêmes de la TWV 2D. Nous présentons enfin les résultats de caractérisation de textures, obtenus aussi bien sur des images de synthèse que sur des images naturelles.

II. Méthodes d'analyse spectrale locale

Une image est un support physique de l'information. Analyser une image, c'est essayer d'isoler chaque composante pertinente contenue dans l'image, afin de mieux comprendre le phénomène auquel elle correspond.

Il existe un grand nombre de méthodes d'analyse d'images. On peut distinguer trois grandes classes de méthodes :

- méthodes spatiales
- méthodes spectrales

ABSTRACT

Local spectrum analysis is an interesting method for obtaining pertinent features of an image. This communication proposes a new local spectrum analysis method allowing to accurately characterizing image textures. It is based on the use of the two-dimensional Wigner-Ville distribution (2D WVD), and shows a good discrimination capability for texture properties such as coarsness, direction and periodicity.

- méthodes spectrales locales.

Chaque classe permet de mieux exploiter un certain type d'information. L'analyse spatiale est souvent la première technique que l'on emploie pour analyser une image. Cette méthode opère directement dans le domaine spatial, et se montre efficace pour décrire certains types d'objets, de formes géométriques simples, par exemple. Elle s'avère par contre inadaptée pour l'analyse d'images complexes. Dans ce dernier cas, on recourt souvent des méthodes spectrales. L'utilisation de la transformation de Fourier bidimensionnelle, permet parfois de mieux décrire l'image en mettant en évidence de manière simple ses composantes caractéristiques de fréquence.

Une simple analyse spatiale ou spectrale apparaît suffisante pour une large classe d'images. Mais dans certains types d'applications, une analyse qui prend en compte à la fois des aspects spatial et fréquentiel de l'image peut s'avérer nécessaire. C'est le cas par exemple lorsque l'on veut segmenter les régions d'une image. Dans ce dernier cas, on fait intervenir naturellement le concept d'analyse spectrale locale qui consiste à restreindre l'opération d'analyse spectrale sur des blocs de l'image.

Un exemple classique d'analyse spectrale locale est le spectrogramme en 2D. Il est défini par :

$$Sf(x,y,u,v) = \left| \int_{R^2} f(x',y') w(x-x',y-y') \exp\{-2j\pi(x'u+y'v)\} dx'dy' \right|^2 \quad (1)$$

où $f(x,y)$ représente l'image, et $w(x,y)$ une fenêtre glissante.

Le spectrogramme a été largement développée dans le cas de signaux monodimensionnels (1D). Il est de nos jours utilisés comme une technique de routine dans beaucoup d'applications en Parole, Sonar, Radar, etc. En revanche, dans le domaine de traitement d'image, cette technique ne semble pas encore très répandue. Ceci est peut-être dû au fait que l'on obtient des résultats acceptables seulement lorsque la taille de la région analysée de l'image est suffisamment grande, ce qui n'est pas toujours le cas.

Depuis quelques années, des efforts croissants, consacrés au développement de la TWV en vue de l'analyse d'image, ont été constatés ([1] à [4]). La TWV qui a été initialement développée pour analyser des signaux (1D) non-stationnaires dans un plan temps-fréquence [5] a subi, dans la dernière décennie, un développement prodigieux dans divers domaines d'applications.

La TWV 2D d'une image $f(x,y)$ est définie par :



$W_f(x,y,u,v)=$

$$\int_{\mathbb{R}^2} f\left(x+\frac{\alpha}{2}, y+\frac{\beta}{2}\right) f^*\left(x-\frac{\alpha}{2}, y-\frac{\beta}{2}\right) \exp\{-2j\pi(u\alpha+v\beta)\} d\alpha d\beta \quad (2)$$

La TWV d'une image 2D est donc une fonction de 4 variables x, y, u, v qui fournit une représentation conjointe espace/fréquences spatiales de cette image. Pour chaque couple fixé de variables spatiales (x, y) , cette fonction 4D se réduit à une fonction 2D de variables fréquentielles u et v . Ainsi, par la représentation espace/fréquences spatiales on associe à chaque point de l'image un spectre local bidimensionnel. Une telle représentation permet donc de localiser de façon précise, les changements spatiaux de l'image dans le domaine de fréquences spatiales.

III. Lissage de la TWV 2D

La TWV 2D est une transformation bilinéaire. Cela signifie que la TWV de la somme de deux images n'est pas simplement égale à la somme des TWV de chaque image, mais contient un terme croisé fonction des deux images. Une telle bilinéarité peut créer dans l'espace espace/fréquence spatiale les deux types d'interférence suivants :

- interférence entre les fréquences spatiales positives et négatives du spectre d'une image réelle,
- interférence entre les composantes distinctes de l'image dans l'espace espace/fréquence spatiale.

Ces termes additifs peuvent brouiller l'interprétation des résultats dans beaucoup de cas. En général, ces deux types de termes interférentiels sont indépendants, la réduction de l'un n'entraînant pas forcément une réduction significative de l'autre. Dans la plupart des cas, on a toujours intérêt d'abord à supprimer les termes d'interaction entre les fréquences spatiales positives et négatives, en utilisant la notion d'image analytique ([6] et [7]). L'utilisation de cette dernière présente en plus l'avantage de réduire la redondance spectrale, et d'éviter dans une certaine mesure le suréchantillonnage de l'image réelle de départ [8]. Après ce stade, un lissage fréquentiel, et spatial dans certains cas, de la TWV 2D est généralement nécessaire s'il s'agit d'une image à plusieurs composantes.

Un lissage fréquentiel de la TWV 2D correspond à la formule suivante :

$PW_f(x,y,u,v)=$

$$4 \int_{\mathbb{R}^2} |w(\alpha,\beta)|^2 f\left(x+\frac{\alpha}{2}, y+\frac{\beta}{2}\right) f^*\left(x-\frac{\alpha}{2}, y-\frac{\beta}{2}\right) \exp\{-2j\pi(u\alpha+v\beta)\} d\alpha d\beta \quad (3)$$

où $w(x,y)$ représente la fonction de lissage.

Le terme dans le membre de droite de l'équation (3) définit ce qu'on appelle souvent la transformation de pseudo-Wigner-Ville (TPWV).

Un lissage à la fois en fréquence spatiale et en espace peut se réaliser aisément en lissant la TPWV 2D définie par la relation (3) dans le domaine spatial. Mathématiquement, cela correspond à la formule suivante :

$$PWL_f(x,y,u,v)= \int_{\mathbb{R}^2} h(x',y') PW(x-x',y-y',u,v) dx'dy' \quad (4)$$

où $h(x,y)$ représente la fonction de lissage spatial.

Dans la section suivante, nous montrons comment utiliser les techniques discutées ci-dessus pour caractériser les propriétés des textures des images.

IV. Exemples de caractérisation de textures

Dans la méthode classique d'analyse de Fourier, il est déjà bien connu qu'un motif spatial dans une image correspond à des fréquences spatiales caractéristiques dans le domaine transformé. Afin d'illustrer ceci dans le cas de la méthode par TWV 2D, nous travaillons tout d'abord sur une image de synthèse dont les caractéristiques spatiales et fréquentielles sont a priori parfaitement connues. Une telle image est présentée sur la Fig.1a. Elle est composée de deux textures différentes seulement en orientation. Pour analyser ces textures, nous avons choisi de caractériser leurs propriétés d'orientation et de granularité. La méthode consiste d'abord à calculer le spectre local correspondant à chaque point de l'image en utilisant la TWV 2D, et à partir de ce spectre local à évaluer ensuite l'orientation et la distance (par rapport à l'origine du plan fréquentiel) de la composante dominante de fréquences. L'orientation et la distance ainsi obtenues sont considérées comme deux caractéristiques de texture qui serviront à la segmentation. Pour réaliser cette dernière opération, nous remplaçons le point courant de l'image par la valeur du paramètre d'orientation (ou de distance). A l'issue de cette étape, on obtient une image segmentée.

Les Fig.1b à 1d montrent les résultats de segmentation obtenus en utilisant la caractéristique "orientation", les trois images correspondant respectivement aux cas où on utilise la TWV 2D de l'image réelle de départ, celle de l'image analytique associée et la TPWV de l'image analytique en utilisant une fenêtre de Hamming. On constate que les deux textures sont bien segmentées en utilisant le descripteur d'orientation, et que l'utilisation de l'image analytique donne un meilleur résultat. Avec le descripteur de distance, la frontière entre les deux textures est bien mise en évidence.

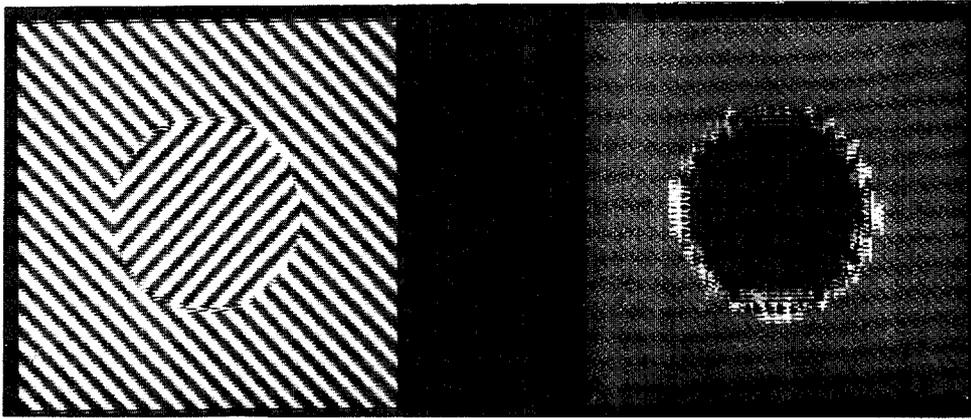
La Fig.2 illustre un autre exemple d'application sur une image de textures naturelles. Nous présentons les résultats obtenus avec la TWV2D et le spectrogramme. On constate que la TWV 2D donne un meilleur résultat de segmentation que le spectrogramme 2D.

V. Conclusion

Dans cette communication, nous avons proposé une nouvelle méthode pour caractériser les textures d'une image, fondée essentiellement sur l'exploitation des propriétés spectrales locales de l'image, obtenues en utilisant la TWV 2D. Etant donnés les résultats de segmentation obtenus sur des images de textures aussi bien artificielles que naturelles, les perspectives de cette nouvelle technique semblent très prometteuses.

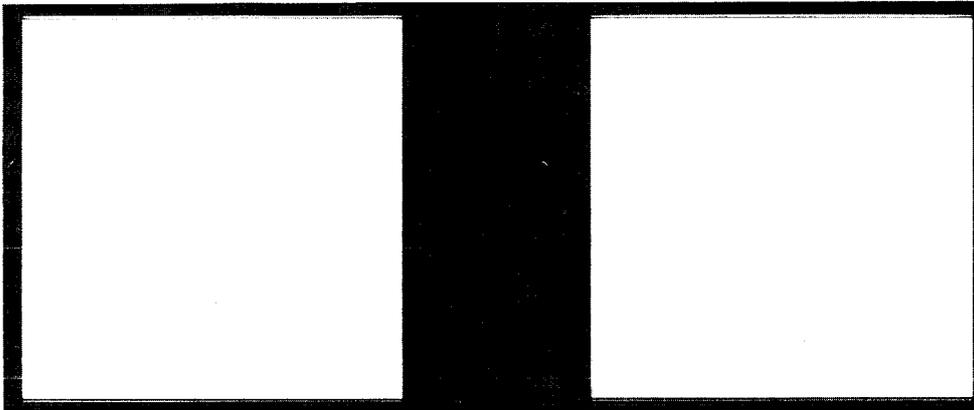
Bibliographie

- [1] L. Jacobson and H. Wechsler . A theory for invariant object recognition in the frontoparallel plane , *IEEE trans. on PAMI*, vol.PAMI-6, 3, may 1984, pp. 325-331.
- [2] Y. M. Zhu, F. Peyrin, R.Goutte .Utilisation de la Transformation de Wigner-Ville pour le traitement numérique des signaux et des images : Mise en oeuvre et interprétation. *Pro. 11ème colloque GRETSI*, 1-5 juin 1987, Nice, pp.21-24.
- [3] Y.M. Zhu, F.Peyrin et R.Goutte, Transformation de Wigner-Ville : description d'un nouvel outil de traitement du signal et des images, *Ann. Télécom.*, 1987, vol.42, n° 3-4, pp. 105-118.
- [4] T. Reed and H. Wechsler. Segmentation of textured images and Sestalt organisation using spatial/spatial-frequency representation, *IEEE trans. on PAMI*, vol.PAMI-12, 1, Jan. 1990, pp. 325-331.
- [5] P. Flandrin , Représentation temps-fréquence des signaux non-stationnaires, Thèse Doct.-état, INPG, Grenoble, 1987.
- [6] Y. M. Zhu, F. Peyrin, R. Goutte . Equivalence between the two-dimensional real and analytic signal Wigner distributions . *IEEE Trans. on ASSP* , vol. ASSP-37, Oct. 1989, pp.1631-1634 .
- [7] Y. M. Zhu, F. Peyrin, R. Goutte . The use of a two-dimensional Hilbert transform for Wigner analysis of 2-D real signals . *Signal Processing* , vol. 19, Mar. 1990, pp. 205-220.
- [8] Y.M. Zhu. Transformation de Wigner-Ville des signaux et des images. Thèse Doctorat, INSA, Lyon, France, 1988.



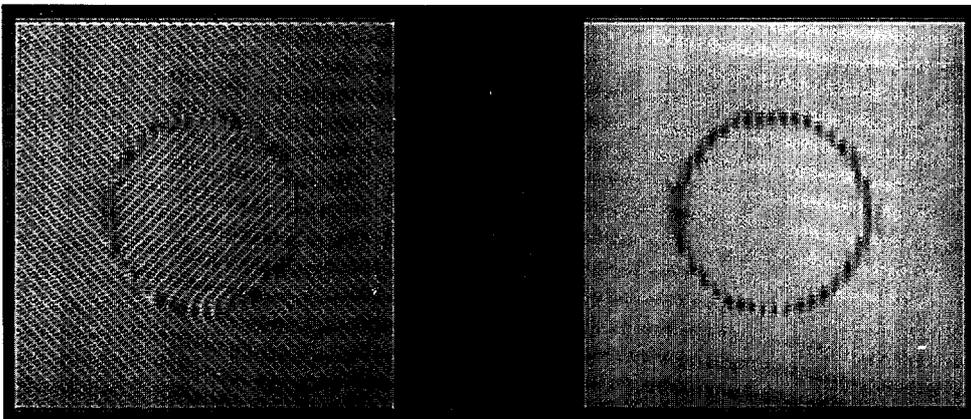
a)

b)



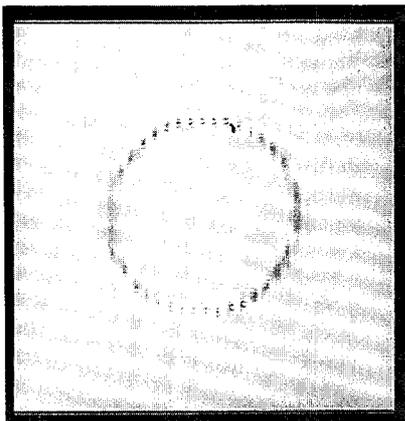
c)

d)



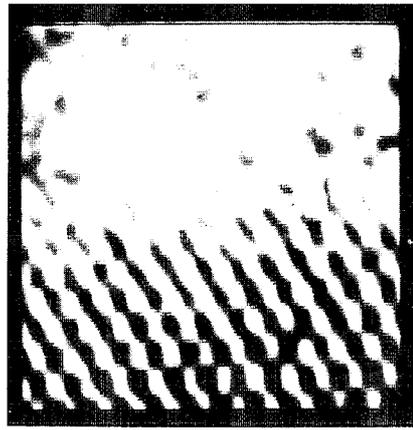
e)

f)

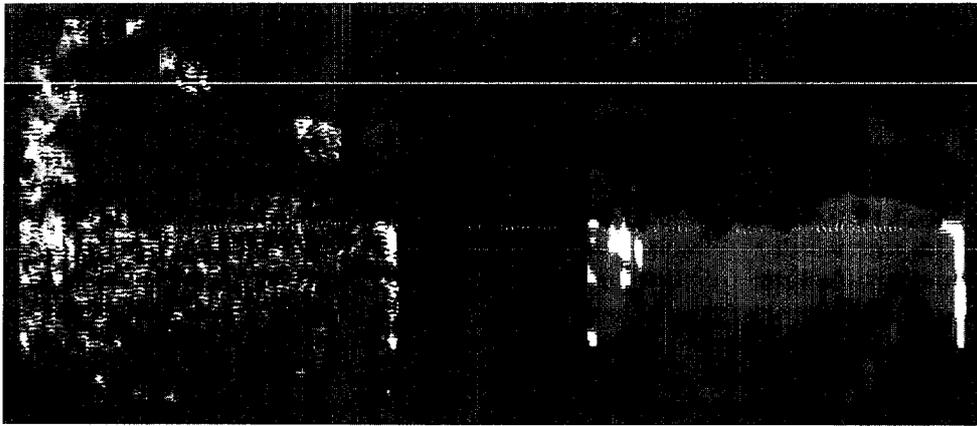


g)

Fig.1 Résultats de segmentation obtenus en utilisant respectivement les caractéristiques "orientation" (Fig. 1b à 1d) et "distance" (Fig.1e à 1g).



a)



b)

c)



d)

e)

Fig.2 Segmentation d'une image de textures naturelles (Fig.2a), en utilisant respectivement le spectrogramme 2D (Fig.2b et 2c) et la TWV 2D (Fig.2d et 2e). Les Fig.2b et 2c (ou Fig.2d et 2e) correspondent respectivement aux cas où on utilise les caractéristiques "orientation" et "distance".