

# Mesure de qualité d'image par approche multiéchelle multidirectionnelle

Z. Haddad<sup>1,2</sup>

A. Beghdadi<sup>1</sup>

A. Serir<sup>2</sup>

A.Mokraoui<sup>1</sup>

<sup>1</sup> L2TI (Laboratoire de Traitement et de Transport de l'Information)

Institut Galilée, Université Paris 13  
99 avenue Jean Baptiste Clément, Villetaneuse – France

<sup>2</sup> LTIR (Laboratoire de Traitement d'Image et Rayonnement)

Institut d'électronique et d'informatique, USTHB  
Bp 32, El Alia 16111 Bab ezzouar, Alger – Algérie

{zehira.haddad, beghdadi}@univ-paris13.fr

## Résumé

*Évaluer la qualité d'une image revient à estimer le changement de certaines caractéristiques de cette image. L'étape d'extraction des caractéristiques constitue donc l'étape la plus importante dans l'établissement d'une mesure de qualité d'images. La transformée en curvelet est actuellement l'une des transformées qui représente le mieux une image et ses principales caractéristiques. Ce document présente une nouvelle métrique d'évaluation de la qualité d'images basée sur la transformée en curvelet. La métrique proposée a été testée sur la base de données LIVE et a été comparée à d'autres mesures d'évaluation de la qualité d'images. Les résultats obtenus montrent l'intérêt et la fiabilité de cette mesure.*

## Mots clefs

Qualité d'images, Système visuel humain HVS, transformée en curvelet, DMOS, fonction logarithmique.

## 1 Introduction

L'objectif des méthodes d'évaluation de la qualité d'images est de proposer une mesure qui permet d'évaluer la qualité des images d'une manière cohérente tout en étant en accord avec les jugements subjectifs de l'œil humain. Dans de nombreuses applications de traitement d'image telles que la compression avec perte, le tatouage numérique ou le rehaussement d'images, il est nécessaire de pouvoir quantifier l'impact visuel de la dégradation engendrée.

Les deux plus anciennes méthodes, qui sont malheureusement les plus utilisées, pour mesurer la qualité d'une image sont le PSNR et l'erreur quadratique moyenne (EQM). Ces deux métriques sont très simples et faciles à calculer. Toutefois, ces métriques ne sont pas toujours en accord avec l'appréciation visuelle d'un

opérateur humain. En effet, plusieurs études ont montré que des images peuvent avoir la même EQM ou le même PSNR que l'image originale tout en présentant des qualités perceptuelles très différentes. De même, les petites déformations géométriques peuvent facilement créer une EQM très élevée sans avoir de conséquences sur la qualité de l'image. De ce fait, plusieurs recherches ont été dédiées à l'élaboration de méthodes plus efficaces pour évaluer la qualité d'images. Le but étant de chercher des méthodes plus en accord avec le jugement humain. Les mesures de qualité d'images sont répertoriées selon trois catégories principales: les mesures avec référence, les mesures sans référence et les mesures à référence réduite.

Les mesures avec référence [1], [2], utilisent toute l'information contenue dans l'image originale. Les premières métriques de cette catégorie ne sont pas en accord avec la perception visuelle de l'œil humain, tel est le cas du PSNR et de l'EQM. Lors de ces dernières années, de nombreuses études se sont orientées vers l'utilisation des principales propriétés du système visuel humain [17] pour l'établissement d'une mesure de qualité d'images. L'une des métriques les plus connues de cette catégorie est le SSIM, cette mesure de qualité structurelle reflète le fait que le système visuel humain soit sensible à l'extraction de l'information structurelle présente dans une image [3]. Les métriques qui ne nécessitent pas d'informations sur l'image originale sont répertoriées comme étant des métriques sans référence [4], [5], [6]. Notons toutefois que l'inconvénient principal de ces métriques est qu'elles sont généralement dédiées qu'à un certain type de dégradation. La dernière catégorie de métriques [7] n'a besoin que d'une partie des informations sur l'image original.

Ces dernières années ont vu l'émergence de différentes nouvelles transformées appelées transformées géométriques. Ces transformées représentent une

extension des ondelettes classiques dans un espace de représentation plus large. Leur principale caractéristique est qu'elles permettent de corriger certains inconvénients des ondelettes classiques [10] dans le cadre de la représentation d'objets anisotropes.

Des études assez récentes ont montré que l'une de ces transformées, la transformée en contourlet, a donné de très bons résultats dans le domaine de la qualité d'images. [20] et [21] offrent deux façons différentes d'utiliser cette transformée pour élaborer une mesure de qualité d'image. Dans le premier article, les auteurs utilisent une transformée en contourlet, tandis que dans le second les auteurs utilisent une transformée en contourlet basée sur la transformée en ondelettes. En étudiant de près ces nouvelles transformées, nous pensons que la transformée en curvelet peut être très intéressante et tout à fait appropriée au développement d'une mesure de qualité d'image. Les principales propriétés de cette transformée sont la richesse de sa représentation et sa pertinence pour la représentation des contours et des courbes dans une image. Etant donné que les dégradations les plus visibles dans une image se situent au niveau de ses contours, les propriétés des curvelets sont des atouts non négligeables pour l'élaboration d'une mesure de qualité d'image. Ce document vise à évaluer la qualité d'image en utilisant la représentation multi-échelle et multidirectionnelle des curvelets. Le fait d'évaluer la qualité d'image dans une représentation aussi riche permet d'extraire plus de caractéristiques représentatives de l'image pour mieux l'évaluer. De plus, la métrique proposée utilise différents paramètres reflétant certaines propriétés de l'image et introduisant des propriétés spécifiques du système visuel humain.

Ce papier est organisé comme suit. Dans la section 2, nous introduisons brièvement la transformée en curvelet. La métrique d'évaluation de la qualité d'image proposée est présentée dans la section 3. La section 4 est dédiée à la présentation et à la discussion des résultats obtenus. La section 5 conclut ce travail.

## 2 Transformée en curvelet

La transformée en ondelettes est un outil très intéressant qui a fait ses preuves en traitement d'images. Le succès de cette transformée a été tel que son utilisation s'est étendue dans différents domaines tels que le filtrage [11], le rehaussement, la reconnaissance de formes ou la compression, [12], [13]. Toutefois, il faut savoir que les ondelettes présentent quelques inconvénients. En effet, l'extension des ondelettes dans le domaine 2D est généralement effectuée par un produit tensoriel simple séparable. Ce qui génère plusieurs coefficients de fortes énergies le long des contours d'une image (figure 1). Pour remédier à cet inconvénient, de nouvelles transformées multi-échelles ont été développées [14]. On peut distinguer deux catégories différentes, des approches adaptative et non adaptatives, celles basées sur des bancs

de filtres directionnels fixe, et celles qui utilisent un modèle géométrique indiquant une orientation d'analyse locale.

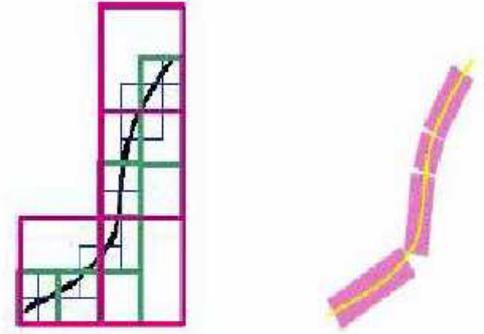


Figure 1 – Différence entre une représentation en ondelettes et une représentation géométrique appropriée.

La transformée en curvelet est une généralisation de la transformée en ridgelets. Donc, pour bien comprendre la transformée en curvelet il faut d'abord définir la transformée en ridgelet. La transformée en Ridgelet [15] est définie comme une ondelette  $\Psi_{a,\theta,b}$  construite le long d'une ligne orientée d'un angle  $\theta$  et définie dans le plan cartésien  $(x_1, x_2)$  par l'équation:

$$\Psi_{a,\theta,b} = a^{-1/2} \Psi\left(\frac{(x_1 \cos(\theta) + x_2 \sin(\theta) - b)}{a}\right) \quad (1)$$

Les coefficients en ridgelet  $Rid_f$  d'une fonction  $f$  sont obtenus par projection sur cette base:

$$Rid_f(a, \theta, b) = \iint f(x_1, x_2) \Psi_{a,\theta,b}(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \quad (2)$$

Cette projection est étroitement liée à la transformée de Radon qui consiste à intégrer une image selon un ensemble de lignes:

$$Rad_f(t, \theta) = \int f(x_1, x_2) \delta(-x_1 \sin \theta + x_2 \cos \theta - t) dx_1 dx_2 \quad (3)$$

Par conséquent, la transformée en ridgelet peut être considérée comme une transformée en ondelettes 1D de la transformée de Radon le long de l'axe de translation  $t$ :

$$Rid_f(a, \theta, b) = \int Rad_f(t, \theta) a^{-1/2} \Psi\left(\frac{(t-b)}{a}\right) dt \quad (4)$$

La transformée en Ridgelet a été développée pour analyser des objets qui contiennent des discontinuités linéaires. Les contours d'une image sont dans la plupart du temps curvilignes et non rectilignes. Sachant qu'une courbe peut être représentée par plusieurs segments de droite. En se basant ainsi sur le fait qu'une image est supposée contenir localement des contours rectiligne, la transformée en ridgelet peut être généralisée du cas linéaire au cas curviligne. C'est l'idée de la transformée en curvelet. L'objectif de la transformée en curvelet [16] est de décrire l'image comme des petites parties d'une certaine taille et

d'orientation donnée. Pour cela, une analyse multirésolution est appliquée à l'image avant de lui appliquer la transformée en ridgelet localement sur des blocs dyadiques.

La transformée en curvelet effectue d'abord une analyse multi-échelles en différents niveaux  $K$ .

$$f = A_f^{[K]} + \sum_{k=1}^{K-1} HF_f^{[k]} \quad (5)$$

Puis, on applique à chaque image haute fréquence  $HF_f^{[k]}$ ,  $k = K-1, \dots, 1$  une transformée en ridgelet locale en passant par les différentes étapes suivantes:

- Initialisation de la taille du bloc  $B_l = B_{min}$ .
- Pour chaque image haute fréquence  $HF_f^{[k]}$ ,  $k = K-1, \dots, 1$ , appliquer localement la transformée en ridgelet.

La taille de chaque bloc peut changer d'une sous bande à l'autre selon les conditions suivantes :

- Si  $B^{[k]} \bmod 2 = 1$ ,  $B^{[k+1]} = 2B^{[k]}$ ,
- Sinon,  $B^{[k+1]} = B^{[k]}$ .

Un curvelet est définie comme une fonction  $x = f(x_1, x_2)$

à l'échelle  $2^{-j}$ , de l'orientation  $\theta_j$  et à la position

$x_k^{(j,l)} = R_{\theta,l}^{-1}(k_1 2^{-j}, k_2 2^{-j/2})$  par:

$$\varphi_{j,l,k}(x) = \varphi_j(R_{\theta_l}(x - x_k^{(j,l)})) \quad (6)$$

La transformée en curvelet est définie par [16]:

$$c(j, l, k) = \langle f, \varphi_{j,l,k} \rangle = \int_{\square} f(x) \varphi_{j,l,k}(x) dx \quad (7)$$

La figure 2 représente la décomposition en curvelet.

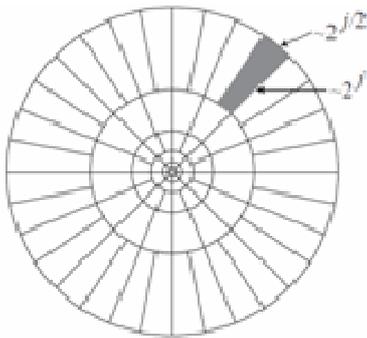


Figure 2 – La décomposition en curvelet.

### 3 La métrique de qualité d'image proposée

L'établissement d'une métrique de qualité d'image suit les deux étapes suivantes. Tout d'abord, nous décomposons l'image de référence et l'image dégradée en différentes sous-bandes et différentes orientations en utilisant la transformée en curvelet. Puis, nous calculons les dégradations, les variations des coefficients visuellement

sensibles dans chaque sous-bande. L'utilisation de la transformée en curvelet pour la représentation d'images permet d'évaluer les distorsions dans un espace de représentation très riche. Par conséquent, elle permet de mieux évaluer la qualité d'image.

Soit  $f$  l'image originale et  $\hat{f}$  l'image dégradée.

La décomposition en curvelet donne plusieurs coefficients  $c_k^\theta(x_k, y_k)$  correspondent à l'échelle  $k$  et à l'orientation  $\theta$ .

La métrique de qualité d'image proposée est définie par la formule suivante:

$$mcurv = 20 \log_{10} \left( \frac{\sum_{x,y,\theta} \max_k 2^{-ksl} |c_k^\theta(x_k, y_k)|^l}{\sum_{x,y,\theta} \max_k 2^{-ksl} |c_k^\theta(x_k, y_k) - \hat{c}_k^\theta(x_k, y_k)|^l} \right)^{1/l}$$

(8)

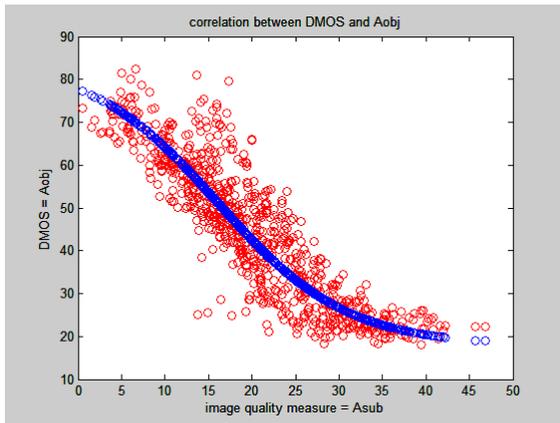
Nous avons choisi, comme modèle de la métrique d'évaluation de la qualité d'images, une sorte de rapport signal sur bruit appliqué aux coefficients en curvelet pour chaque orientation et chaque échelle. Ce modèle comporte des paramètres différents qui utilisent nos connaissances sur le système visuel humain. Dans le but d'avoir une sensibilité visuelle uniforme se rapprochant de la perception humaine pour chaque échelle et chaque orientation, nous introduisons un masquage perceptuel pour chaque sous-bande via le facteur  $2^{-ksl}$ . De nombreuses études ont été faites sur la discernation de la texture par le système visuel humain [18], nous simulons cet effet par le paramètre  $s$  qui est adapté à la structure de l'image à évaluer.

### 4 Les résultats expérimentaux obtenus

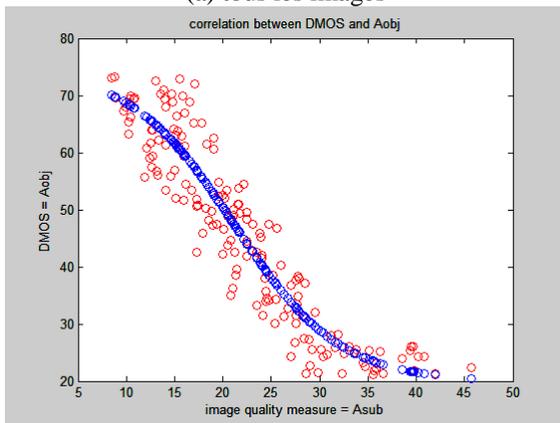
Nous testons la métrique de qualité d'images proposée sur la base de données LIVE [22]. Cette base de données se compose de 20 images originales et de 779 images dégradées. Cette base de données est notamment subdivisée en cinq classes. Chaque classe correspond à un type de distorsion particulier tout en comprenant des images originales et des images dégradées. La base de données comprend 227 images correspondant à des dégradations dues à la compression JPEG2000, 233 images correspondant au format JPEG, 174 images correspondant au flou gaussien, 174 images correspondant à un bruit blanc et 174 images correspondant à des erreurs de bit dans JPEG2000. Cette base de données fournit les évaluations subjectives (DMOS) d'environ 25000 individus. Nous jugeons qu'une mesure d'une qualité d'image est fiable si elle est bien corrélée à l'appréciation visuelle d'un opérateur humain. Généralement, pour la validation d'une métrique de qualité d'image, une fonction logistique est utilisée pour ajuster les mesures de qualité d'image objectives en minimisant

l'erreur quadratique moyenne entre les mesures objectives et subjectives. Dans cette étude, nous utilisons une fonction sigmoïde.

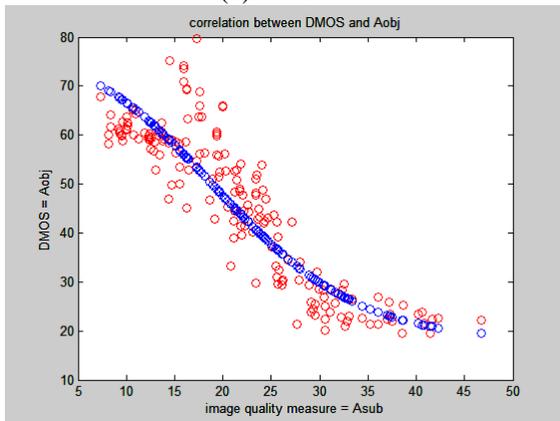
La figure 3 représente les résultats obtenus des évaluations objectives et subjectives sur la base de données LIVE. Les critères de validation choisis sont le coefficient de corrélation de Spearman, l'erreur quadratique moyenne et le coefficient de corrélation classique.



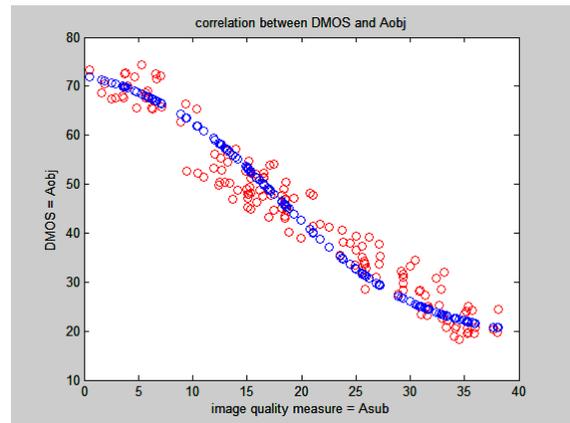
(a) tous les images



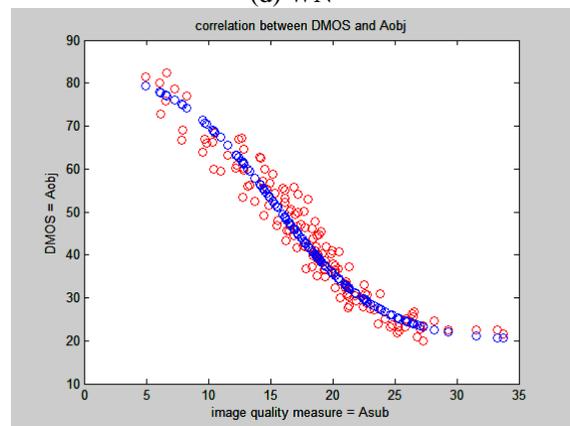
(b) JPEG2K



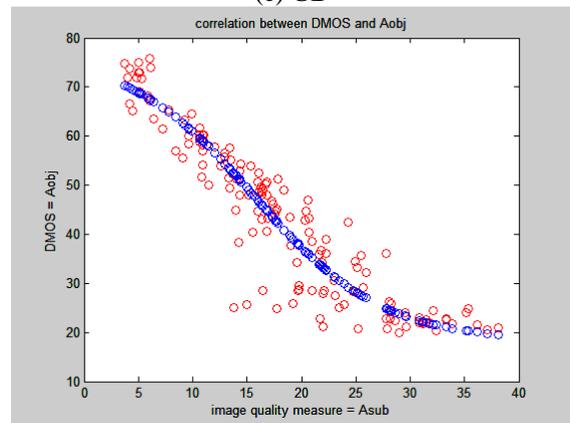
(c) JPEG



(d) WN



(e) GB



(f) FF

Figure 3 – Evaluations subjectives et objectives de la distortion perçue dans les différentes classes de la base LIVE. L'axe verticale représente le DMOS et l'axe horizontale représente la métrique proposée. Le tracé bleu représente la fonction logistique.

Le tableau 1 représente les résultats de corrélation obtenus de la mesure proposée avec les mesures subjectives données par la base de données LIVE en utilisant la fonction logistique.

Dans le but de comparer les résultats obtenus de la métrique proposée avec d'autres métriques, nous donnons les résultats de corrélation des mesures de qualité d'images wssim [19], wbct [20] et msdd [21] avec la même base de données. Les résultats montrent que la métrique proposée est meilleure que les précédentes métriques pour les dégradations JPEG2K, GB et FF. On note également que pour toutes les dégradations confondues (la case ALL), la métrique proposée obtient les meilleurs résultats de corrélation.

Correlation coefficient						
	jpg2k	Jpeg	Wn	Gb	Ff	All
mcurv	0.941	0.898	0.968	0.969	0.929	0.893
wssim	0.940	0.935	0.962	0.952	0.953	0.884
wbct	0.914	0.880	0.970	0.377	0.812	0.674
msdd	0.914	0.925	0.958	0.950	0.923	0.890
Root Mean Squared Error						
mcurv	5.431	6.956	4.177	3.840	5.999	7.247
wssim	5.504	5.652	4.357	4.829	4.983	7.532
wbct	6.559	7.603	3.929	14.58	9.591	11.90
msdd	6.584	6.063	4.556	4.904	6.314	7.341
Rank order correlation coefficient						
mcurv	0.934	0.894	0.966	0.973	0.931	0.897
Wssim	0.931	0.899	0.957	0.960	0.962	0.879
Wbct	0.919	0.825	0.979	0.312	0.782	0.624
Msdd	0.899	0.883	0.946	0.948	0.923	0.890

Tableau 1 – Résultats de corrélation de la métrique proposée avec la base de données LIVE.

## 5 Conclusion

Ce document présente une métrique de qualité d'image multi-échelle multidirectionnelle. Cette métrique utilise les distorsions dans les différentes échelles et orientations de la décomposition en curvelet. Évaluer les distorsions dans une zone de représentation très riche permet de mieux évaluer la qualité d'image et de rendre la métrique de qualité très discriminante. Les tests de validation ont été effectués sur la base de donnée LIVE. Cette base de données a été spécialement conçue pour l'évaluation des performances des métriques de qualité d'images. Les résultats obtenus confirment l'efficacité de la métrique proposée. Le fait d'introduire dans l'établissement de la métrique, des propriétés connues du système visuel humain, rend cette métrique plus fiable et plus proche du jugement humain. Dans le cadre de travaux futurs, nous pensons que l'application de la métrique proposée peut être très intéressante pour des images qui contiennent beaucoup de contours ou des courbes comme dans le cas d'images d'empreintes digitales. Nous proposons également de tester la mesure sur d'autres bases de données et d'analyser en profondeur le fonctionnement de la métrique en s'attachant à l'aspect multi-résolution afin de tirer profit de la similarité entre la représentation en

curvelets et représentation fréquentielle effectuée au niveau du cerveau.

## Références

- [1] I. Avcibas, B. Sankur, K. Sayood, "Statistical evaluation of image quality measures", *Journal of Electron Imaging* 11, 206–213, 2002.
- [2] H.R. Sheikh, A.C. Bovik, G. de Veciana, "An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics", *IEEE Trans. Image Process.* 14, 2117–2128, 2005.
- [3] Z. Wang, A. Bovik, H. Sheikh, E. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity", *IEEE Trans. Image Process.* 13, 600–612, 2004.
- [4] H. Sheikh, A. Bovik, L. Cormack, "No-reference quality assessment using natural scene statistics: JPEG2000", *IEEE Trans. Image Process.* 14, 1918–1927, 2005.
- [5] Z. Wang, A.C. Bovik, B.L. Evans, "Blind measurement of blocking artifacts in images", *ICIP*, Vancouver, Canada, pp. 981–984, 2000.
- [6] H. Sheikh, Z. Wang, L. Cormack, A. Bovik, "Blind quality assessment for JPEG2000 compressed images", *ICIP*, New York, pp. 1735–1739, 2002.
- [7] Z. Wang, E. Simoncelli, "Reduced-reference image quality assessment using a wavelet-domain natural image statistic model", *Human Vision and Electronic Imaging X*, Proceedings, vol. 5666, pp. 149–159, 2005.
- [8] A. Beghdadi, B. Pesquet-Popescu, "A new image distortion measure based on wavelet decomposition". *ISSPIT*, Vol. 1, pp. 485- 488, 2003.
- [9] R. Eslami, H. Radha, "Wavelet-based contourlet transform and its application to image coding", *ICIP*, Singapore, pp. 3189–3192, 2004.
- [10] E. Candes, D. Donoho, "Recovering edges iill-posed inverse problems: optimality of Curvelet ", *annals of statistics*, vol. 30, no. 3, pp. 784-842, 2002.
- [11] Starck J, Candès E, Dohono D. "The curvelet transform for image denoising", *IEEE trans. on image processing*, 11, pp. 670-684, 2000.
- [12] Hilton M, L., Jawerth B. D, et Sengupta A., "Compressing still and moving images with wavelets", *Multimedia systems*, vol. 2, pp.218-227, 1994.
- [13] Marcellin M. W., Gormish M. J., Biling. A et Boliek M. P., "An overview of JPEG 2000", *Data Compression Conference*, pp. 523-544, 2000.
- [14] H. Führ, L. Demaret, F. Friedrich, "Beyond wavelets: New image representation Paradigms," *Survey article*, preprint version, 2005.
- [15] E. Candes, D. Donoho, "Ridgelets: A key to higher-dimensional intermittency?" *Philosophical transactions Royal Society. Mathematical, physical and engineering sciences*, vol. 357, no. 1760, pp.2495- 2509, 1999.

[16] E. Candes, D. Donoho, "Curvelets - A surprisingly effective nonadaptive representation for objects with edges, curves and surfaces", *Curves and Surfaces*, Vanderbilt University Press, Nashville, TN, 1999.

[17] "Special Issue on Image Quality Assessment", *Signal Processing*, Vol 70, 1998.

[18] J. Malik and P. Perona, "Preattentive texture discrimination with early vision mechanisms", *Journal Opt. Soc. Amer. A*, vol.7, pp.923-932, 1990.

[19] Z. Wang and EP Simoncelli. "Translation insensitive image similarity in complex wavelet domain. *ICASSP*, Vol. 2, pp. 573-576, March 2005

[20] X. Gao, W. Lu and D. Tao "Wavelet based contourlet in quality evaluation of digital images" *Neurocomputing*, 72 (1-3) pp, 378-385, 2008.

[21] Mingna Liu and Xin Yang, "Image quality assessment using contourlet transform", *optical engineering*, 48(10)107201, October 2009.

[22] <http://live.ece.utexas.edu/>