Intégration d'un Nouveau Marqueur dans le Codeur d'Images EZW basé sur les Ondelettes

Sabrina Chouchane, William Puech

▶ **To cite this version:**

Sabrina Chouchane, William Puech. Intégration d'un Nouveau Marqueur dans le Codeur d'Images EZW basé sur les Ondelettes. CORESA: COmpression et REprésentation des Signaux Audiovisuels, Nov 2005, Rennes, France. lirmm-00106479

HAL Id: lirmm-00106479

https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00106479

Submitted on 16 Oct 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Intégration d'un nouveau marqueur dans le codeur d'images EZW basé sur les ondelettes

S. Chouchane[1] W. Puech[2]

[1] Intelligent Systems Laboratory, Faculté des sciences de l'ingénieur
Université Ferhat Abbes de Sétif, ALGERIE

[2] LIRMM, UMR CNRS 5506, Université Montpellier II
161 rue Ada, 34392 MONTPELLIER cedex 5, FRANCE.

chouchane_sabrina@yahoo.fr william.puech@lirmm.fr

Mots clés : multi-marquage, compression, EZW, ondelettes, protection de données.

Résumé

Dans cet article, nous présentons une nouvelle méthode de tatouage non aveugle à clef secrète effectuant un multi-marquage dans la même image lors de son codage avec la méthode EZW basée sur la transformée en ondelettes [1]. La détection des marques est cependant faite lors de la décompression. L'algorithme, testé sur des images de taille 256 x 256 en niveaux de gris, reste robuste aux attaques tant que l'image reste exploitable.

Mots clefs

Multi-marquage, compression, EZW, ondelettes, protection de données.

1 Introduction

Avec l'apparition et le développement des nouvelles technologies numériques, les copies illégales de documents numériques se multiplient. Ce problème de copie souligne le manque de méthodes concernant la protection des données numériques. Pour répondre à ce problème, un nouvel axe de recherche se développe très rapidement : le marquage d'image afin d'assurer les droits des auteurs [2, 3].

Nous proposons dans cet article une nouvelle méthode de marquage combinée avec le compresseur d'images EZW (Embedded Zerotree Wavelet) basé sur les ondelettes [1]. L'algorithme se compose de deux processus : l'insertion de la marque qui intervient après l'étape de décomposition multi-niveaux de l'image hôte alors que la détection de celle-ci intervient avant la reconstruction de l'image ainsi compressée et marquée. La marque utilisée est une image à niveaux de gris de taille beaucoup plus petite que celle de l'image hôte. Le principe dans notre méthode de marquage est de remplacer les coefficients ondelette de l'image hôte jugés significatifs par le codeur EZW par d'autres, jugés significatifs aussi, appartenant à la marque. Ceci nous assure l'imperceptibilité de la marque et la robustesse face à la compression EZW ainsi qu'à d'autres attaques.

Notre article présente des brefs aperçus sur le marquage et la compression basée sur les ondelettes [4,5]. En particulier, nous présentons le fonctionnement du codeur EZW qui servira de base pour notre algorithme de marquage.

L'idée de combiner un marqueur avec un compresseur vient du fait que la compression est l'une des attaques les plus dures que peut subir une image ainsi marquée. En plus, cette combinaison est l'un des objectifs du JPEG2000 où un module de tatouage est intégré dans le produit mais qui n'a pas encore atteint ses objectifs.

Le principe est de bénéficier du fonctionnement du compresseur en question, construire une certaine prévention des pertes d'information qu'il peut effectuer et insérer la marque de telle sorte qu'elle restera même après l'étape de quantification exécutée par ce compresseur [7, 8, 9, 10]. La robustesse contre une première attaque, très fréquente, qui est la compression est implicite dans notre schéma de marquage que nous allons proposer ici.

2 Le marquage pour la protection des droits des auteurs

Le principe du marquage est d'insérer une marque dans l'image de manière imperceptible. Dans le cadre de la protection des droits d'auteurs, la marque insérée, correspond au code du copyright. Ce type de marquage doit répondre à deux contraintes qui sont la robustesse et l'imperceptibilité. En effet, quelles que soient les attaques (licites ou illicites) subies par l'image, la marque doit rester présente tant que la donnée reste exploitable. De plus, cette marque ne doit être détectable que par des personnes autorisées possédant la clef de détection.

Notre système de multi-marquage entre dans le cadre de la protection des droits d'auteurs, on fait appel alors à une clé secrète de détection contenant des informations utiles pour l'extraction des différentes marques insérées. L'idée de notre algorithme converge vers une application de type authentification car le processus de détection peut détecter si l'image tatouée a été modifiée puisqu'il connaît préalablement les marques et leur taille ainsi que le nombre de celles-ci qui doit rendre l'ajout d'une autre marque impossible.

De nombreux algorithmes ont été présentés récemment [6, 7, 8, 9] mais aucun d'entre eux ne satisfait pleinement au cahier des charges idéal.

Le domaine des ondelettes est l'un des domaines privilégiés pour l'insertion de la marque [2, 3, 6, 7, 9]. Un des avantages de la transformée en ondelettes est qu'elle obéit aux caractéristiques du système visuel humain (SVH) comparée à la FFT ou la DCT. Ceci nous permet d'utiliser des marques à haute énergie dans les régions où le SVH est moins sensible comme les bandes de détail hautes résolutions. L'insertion des marques dans ces régions permet d'augmenter la robustesse sans affecter la qualité de l'image.

3 La transformée en ondelettes

La transformée en ondelettes peut être vue comme une décomposition dyadique de l'image [5], réalisée à l'aide d'une paire de filtres QMF (filtres quadratiques miroirs), l'un étant passe haut (H) et l'autre passe bas (L). Ces deux filtres sont successivement appliqués sur toute l'image qui à leur sortie subissent un sous échantillonnage par un facteur 2.

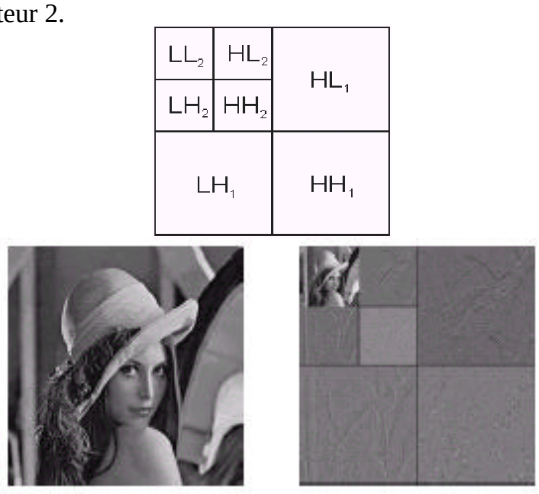


Figure 1 – *Décomposition de l'image de Lena sur 2 niveaux de résolution.*

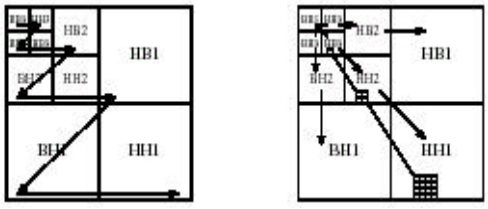
Nous obtenons ainsi une sous-bande basses fréquences LL, et trois sous-bandes hautes fréquences présentant des orientations spatiales caractéristiques (diagonale, horizontale et verticale) : HH, HL et LH respectivement. L'opération est ensuite renouvelée sur la sous-bande LL jusqu'à l'atténuation d'un certain niveau de décomposition désiré. Un tel procédé permet une représentation multirésolution de l'image de départ (cf. Figure 1).

4 Embedded Zerotree Wavelet

L'idée de l'algorithme EZW [1] est de trouver le meilleur ordre de transmission des coefficients ondelettes, qui est l'ordre décroissant de leur valeur absolue. Shapiro proposa de transmettre les coefficients sous forme d'une suite de bits obtenue par enchâssement progressif des bits des coefficients les plus significatifs en commençant par les bits les plus importants. Ceci permet à l'algorithme EZW de faire de la transmission progressive d'images puisque le décodeur peut s'arrêter n'importe où dans la suite de bits transmise et produire la meilleure image reconstruite possible avec cette suite de bits tronquée [4].

Après avoir calculé une DWT (Discret Wavelet Transform) de l'image, l'algorithme code les coefficients transformés à l'aide d'une suite décroissante de seuils $T_0,\ldots,T_{N?1}$, avec $T_i ? \frac{T_{i?1}}{2}$ et $T_0 ? \frac{|c_{\max}|}{2}$ où $|c_{\max}|$ est le coefficient le plus grand en amplitude. L'algorithme effectue récursivement deux passes successives, ne traitant à chaque fois que les coefficients significatifs par rapport au seuil courant, i. e. valeur absolue supérieure au seuil.

Dans la première passe, la "dominante", l'algorithme parcourt les coefficients suivant l'ordre donné par la figure 2(a) à la recherche de ceux significatifs par rapport au seuil courant. En utilisant la hiérarchie donnée par la figure 2(b), l'algorithme produit alors une carte marquant la position des coefficients significatifs ainsi que leur signe. Elle est obtenue en associant à chaque coefficient suivant sa valeur absolue et celle de ses fils l'un des symboles suivants : *Zerotree root* (ZT) pour un arbre non significatif, *Isolated zero* (IZ) pour un coefficient non significatif ayant des descendants qui le sont, *Positive significant* (P) et *Negative significant* (N) pour un coefficient significatif suivant le signe.



(a) *(b)*

Figure 2 - *(a) Ordre de parcours des coefficients, (b) Organisation hiérarchique des coefficients.*

Chaque coefficient significatif est ensuite mis à zéro dans la DWT afin que sa position ne soit plus encodée et sa valeur absolue est placée dans une liste pour la coder par approximations successives (passe subordonnée).
En effet, chaque carte est suivie d'une suite de symboles "0" et "1" qui permettent au décodeur de fixer une valeur de reconstruction approximative aux coefficients significatifs. Cette valeur s'affine pour se rapprocher de plus en plus de la valeur réelle des coefficients au fur et à mesure que des suites de symboles sont encodées.
Si T_i est le seuil courant, alors les coefficients marqués dans la passe précédente ont leur valeur absolue dans $[T_i,2T_i[$. Cet intervalle est alors divisé en deux $[T_i,3\frac{T_i}{2}[$ et $[3\frac{T_i}{2},2T_i[$. Aux coefficients dont la valeur absolue se trouve dans le 1er intervalle on associe le symbole "0" alors qu'à ceux se trouvant dans le 2ème intervalle on associe le symbole "1". Lorsque la seconde passe est finie, l'algorithme reprend le processus et génère la carte suivante, le nouveau seuil étant T_{i+1} dans la 2ème passe, un nouvel intervalle s'ajoute aux deux précédents : $[T_i,T_{i+1}[$. Ces trois intervalles sont alors raffinés comme dans la passe du cycle précédent pour transmettre une suite de symboles "0" ou "1", chacun étant associé à un coefficient significatif. Ce processus récursif s'arrête lorsque T_{N+1} est atteint ou que le nombre de bits désiré a été transmis.
Pour terminer, avant transmission, l'algorithme compresse les suites de symboles produites par un codeur arithmétique adaptatif. L'algorithme de décodage suit les opérations inverses, i.e. décodage arithmétique, passe dominante puis passe subordonnée et enfin la IDWT (Inverse Discret Wavelet Transform) pour reconstruire l'image.

5 Algorithme proposé

Le multi-marquage à clef secrète développé dans cet article est dit non aveugle car au niveau du décodeur EZW la marque initiale est utilisée pour détecter celle insérée. Les marques insérées sont des images en niveaux de gris comme l'image hôte mais de taille plus petite. Deux processus s'ajoutent au codeur EZW : *insertion* dans le compresseur après l'étape de décomposition en ondelettes (DWT) et *détection* dans le décompresseur avant l'étape de reconstruction (IDWT).
Les algorithmes présentés dans les sections 5.1 et 5.2 sont développés pour une seule marque. Cependant, pour insérer plusieurs marques dans une image il faut appliquer l'algorithmes autant de fois qu'il y a de marques. Les notations utilisées sont : $[T_0,T_{N+1}]$: Intervalle des seuils.
T_i : Seuil considéré, $|c_{i,j}|$: Coefficient significatif de l'image, $|\hat{c}_{i,j}|$: Coefficient significatif marqué, $|m_{k,p}|$: Coefficient significatif de la marque, $|\hat{m}_{k,p}|$: Coefficient significatif de la marque détecté, Clé : clé privée de détection de la marque.

5.1 Algorithme d'insertion d'une marque

Nous décomposons en premier la marque en utilisant un filtre QMF jusqu'à un niveau désiré puis nous exécutons l'algorithme suivant :

Initialisation : Clé vide.
Pour tout seuil $T_i \in [T_0,T_{N+1}]$
  Pour tout $|c_{i,j}| \in [T_i,\frac{3T_i}{2}]$ et $(i,j) \notin$ Clé,
    Chercher un $|m_{k,p}| \in [T_i,\frac{3T_i}{2}]$,
    $|\hat{c}_{i,j}| := |m_{k,p}|$,
    Ajouter i,j,k et p à Clé,
    $|m_{k,p}| := 0$,
  Fin pour
  Pour tout $|c_{i,j}| \in [\frac{3T_i}{2},2T_i]$ et $(i,j) \notin$ Clé,
    Chercher un $|m_{k,p}| \in [\frac{3T_i}{2},2T_i]$,
    $|\hat{c}_{i,j}| := |m_{k,p}|$,
    Ajouter i,j,k et p à Clé,
    $|m_{k,p}| := 0$,
  Fin pour
Fin pour

5.2 Algorithme de détection d'une marque

Nous avons besoin dans cette étape de la matrice des coefficients ondelettes de la marque initiale ainsi que celle de l'image compressée et marquée.
Initialisation : matrice des coefficients détectés à zéro.
Pour tout seuil $T_i \in [T_0,T_{N+1}]$,
  Pour tout $|m_{k,p}| \in [T_i,\frac{3T_i}{2}]$ et $(k,p) \notin$ Clé,
    Chercher un $|\hat{c}_{i,j}| \in [T_i,\frac{3T_i}{2}]$,
    $|\hat{m}_{k,p}| := |\hat{c}_{i,j}|$,
    Soustraire (k,p) de Clé
  Fin pour
  Pour tout $|m_{k,p}| \in [\frac{3T_i}{2},2T_i]$ et $(k,p) \notin$ Clé,
    Chercher un $|\hat{c}_{i,j}| \in [\frac{3T_i}{2},2T_i]$,
    $|\hat{m}_{k,p}| := |\hat{c}_{i,j}|$,

Soustraire (k, p) de Clé

Fin pour

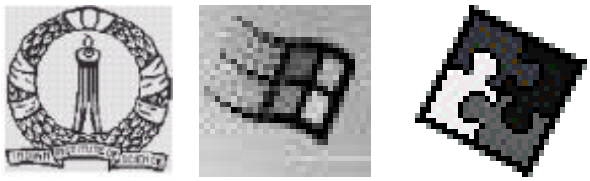
Fin pour

Appliquer la IDWT à $\hat{m}$ pour reconstruire la marque.

6 Résultats

Plusieurs images en niveaux de gris de taille 256x256 pixels ont été marquées en insérant trois marques de taille 32x32 pixels présentées figure 3. Dans les schémas présentés nous avons inséré seulement trois marques, mais expérimentalement l'insertion de huit marques est possible. En effet, avec un calcul théorique basé sur la taille des marques, la taille de l'image hôte, l'ondelette utilisée lors de la décomposition de l'image hôte ainsi que des marques et le seuil final à atteindre (i. e. le taux de compression désiré), il est possible d'estimer le nombre d'insertion possible à effectuer.

Les images marquées ont subi plusieurs transformations (translation, rotation, zoom, rognage, ajout de bruit, transformations affine et projective et filtrage). Les figures 5, 6 et 7 récapitulent la réponse de détection de chacune des trois marques après quelques attaques (en terme de PSNR) pour l'image *Peppers* marquée et compressée avec un taux de compression de 6.5. Ce dernier a été choisi après plusieurs expériences pour avoir une image exploitable. Aussi, le codeur EZW que nous avons utilisé pour implémenter notre système de marquage utilise les filtres QMF de différentes tailles (5, 8, 9, 13, etc.). Dans cet article, les résultats présentés utilise le filtre QMF5 lors de la décomposition en ondelettes de l'image hôte jusqu'au sixième niveau ainsi que les différentes marques jusqu'au troisième niveau.



(a) (b) (c)

Figure 3 – M*arques utilisées (a, b, c).*

(a) (b) (c)

Figure 4 – a) I*mage originale, b) Image compressée, c) Image compressée marquée.*

Le PSNR entre l'image originale et celle compressée est de 27.60 dB. Après l'intégration du marqueur, le PSNR entre l'image originale et celle compressée marquée est de 27.51 dB, ce qui prouve l'imperceptibilité des marques insérées.

Aucune restriction n'a été faite sur le choix des sous-bandes où peut se faire l'insertion des différentes marques puisque le processus d'insertion a pour but de détecter les coefficients, significatifs par rapport à un seuil donné, adéquats à la substitution indifféremment à leur appartenance à une sous-bande donnée. Le tableau 1 présente le taux d'insertion dans chaque sous-bande de chaque niveau de décomposition de l'image hôte marquée par l'insertion de la marque présentée figure 3(a) où le taux de compression est de 6.5 :

Sous-bande	Taux = nombre de coefficients insérés dans la sous-bande / nombre total des coefficients insérés * 100
LL6	0.15
LH6	0.31
HL6	0.92
HH6	0.77
LH5	1.53
HL5	3.83
HH5	1.53
LH4	0.31
HL4	15.95
HH4	0.31
LH3	0
HL3	25.31
HH3	0
LH2	0
HL2	31.75
HH2	0
LH1	0
HL1	17.33
HH1	0

Tableau 1 – *Taux d'insertion dans les sous-bandes.*

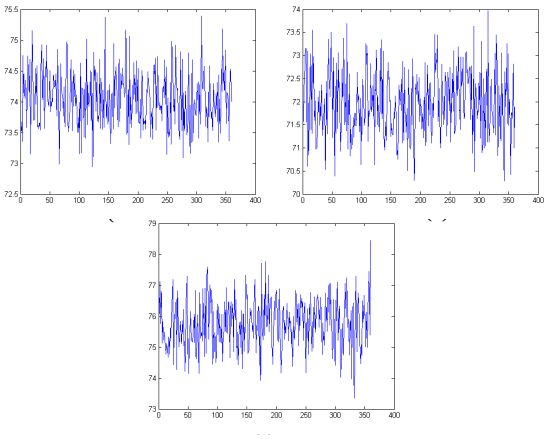


Figure 5 – Rotation : *PSNR calculé entre la 1ère (a), la 2ème (b) et la 3ème (c) marque et celle détectée en fonction de l'angle de rotation en degré.*

Ce tableau révèle que l'insertion a été faite dans toutes les sous-bandes (approximation et détails) mais avec des taux variés. Il est clair que la majorité des coefficients insérés se trouve dans les sous-bandes HL des niveaux inférieurs (4, 3, 2 et 1) mais cela ne nous empêche pas de dire qu'il y a une réelle participation de la substitution aussi bien dans la sous-bande d'approximation LL6 que dans les sous-bandes hautes fréquences HH.

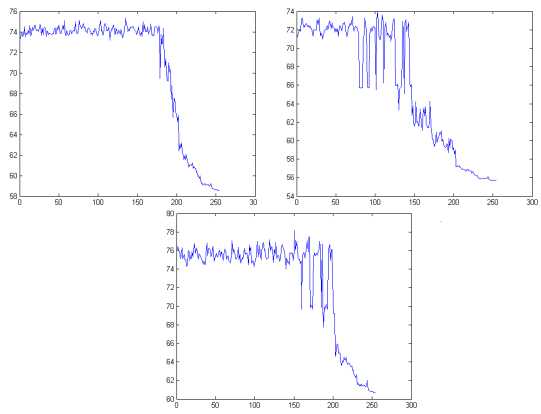


Figure 6 – *Translation : PSNR calculé entre la 1ère (a), la 2ème (b) et la 3ème (c) marque et celle détectée en fonction du nombre de pixels translatés verticalement.*

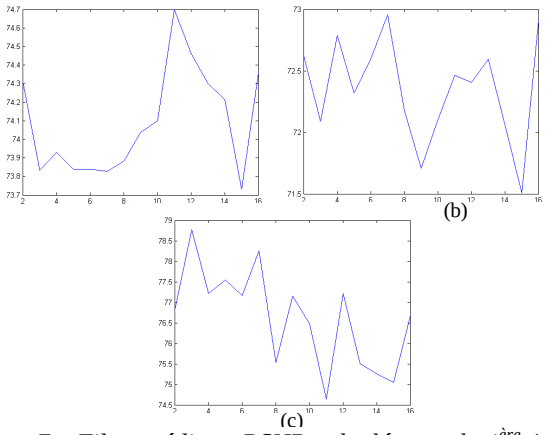


Figure 7 – Filtre médian : *PSNR calculé entre la 1ère (a), la 2ème (b) et la 3ème (c) marque et celle détectée en fonction de la taille du filtre médian (X x X).*

La méthode de sélection des sites d'insertion proposée assure les deux contraintes de marquage : l'imperceptibilité puisque les coefficients de la marque sont identiques à ceux qu'ils remplacent et la robustesse, puisque les coefficients remplaçants sont significatifs, donc ils ne seront pas affectés par la compression qu'ils subissent. Aussi, si le processus de détection ne trouve pas le coefficient recherché dans la matrice de l'image marquée à l'emplacement indiqué par la clé, il effectue une recherche de celui-ci ailleurs. Il se trouve que dans notre méthode d'insertion, il est toujours possible de trouver un coefficient équivalent à celui recherché. Ceci s'argumente par la taille de la marque qui est beaucoup plus petite que celle de l'image hôte donc le domaine de recherche est plus grand.

En comparant notre méthode de tatouage avec d'autres méthodes combinant la compression et le marquage en utilisant la CDT [8] ou la DWT [6, 7, 9, 10], on constate que le principe de notre algorithme de marquage est similaire à celui de [9, 10] puisque l'insertion de la marque prend en considération le fonctionnement du schéma de compression basé sur les ondelettes. Evidemment, les trois algorithmes sont robustes à la compression en question. Pour notre cas, le codeur EZW utilisé comme plate-forme dans notre schéma de marquage donne toujours les taux de compression les plus faibles si on veut obtenir une image compressée exploitable. Cependant, on spécifie que notre algorithme de marquage est considéré robuste à la compression EZW si cette dernière fournit une image compressée plus ou moins exploitable. La figure 8 montre la variation du taux de compression en fonction du PSNR calculé entre une marque insérée et celle extraite. On a constaté que même si l'image hôte subit une dégradation visible après une compression EZW, il est toujours possible d'extraire une marque de bonne qualité mais si la dégradation devient forte alors la marque extraite l'est aussi. Par contre, notre schéma a prouvé une meilleure robustesse face aux différentes attaques (plus précisément les transformations géométriques et la rotation) parce que notre processus de détection ne fait pas appel aux sites d'insertion de la marque, i. e. un coefficient ondelettes extrait n'est pas forcement celui qu'on a inséré mais un autre équivalent.

Pour l'attaque de rotation, si on se réfère à la figure 5 on constate immédiatement que notre algorithme est robuste à toutes les rotations possibles tandis que la méthode proposée dans [6] ne permet que de petites rotations (?5°) alors que dans [7, 9] la détection échoue.

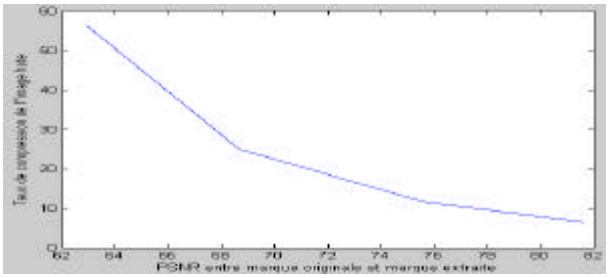


Figure 8 – T*aux de compression de l'image marquée en fonction du PSNR calculé entre la 1ère marque insérée et celle détectée.*

La figure 6 illustre les réponses de détection des différentes marques après avoir translaté verticalement l'image marquée. On note que notre méthode résiste jusqu'à 60% de translation 1D et 30% de translation 2D alors que le schéma de [6] échoue à cette attaque.

La figure 7 révèle aussi la robustesse de notre algorithme contre le filtrage médian, considéré ici, et plusieurs autres filtres de différentes tailles allant de 2x2 jusqu'à 16x16 tels que le filtre de Weiner, le filtre moyenneur, le filtre de Prewitt, le filtre de Sobel et le filtre Laplacien. Dans [6], l'algorithme est aussi robuste à quelques filtres tels que le filtre Gaussien et le filtre moyenneur de taille 2x2 ou 3x3.
D'autre part, si on parle d'autre attaques non illustrées ici, on certifie que notre algorithme de marquage est plus performant que ceux de [6, 7, 8] contre l'attaque de rognage. Cette dernière méthode de marquage résiste au découpage allant de 1 à 10% de la taille de l'image tatouée alors que notre méthode résiste jusqu'à 75% de rognage sous réserve que la partie restante de l'image ne doit pas être uniforme.
Face aux transformations géométriques, notre schéma de marquage extrait totalement les marques insérées alors que pour les méthodes de [7, 8] l'extraction est partielle et dans [6] il est impossible de détecter le signal inséré. Selon [6], l'algorithme de marquage n'est pas robuste à la diminution mais dans notre cas, le processus de détection reste robuste jusqu'à ce que la taille de l'image atteigne 64x64 pixels alors que l'agrandissement n'a pas d'effet sur ce processus.
L'ajout de bruit laisse la détection parfaite pour notre schéma de marquage et celui de [7] pour une grande variance (bruit gaussien et bruit de Poisson) mais dans [8], le processus de détection échoue si la variance du bruit additif est assez large.
Finalement, les résultats expérimentaux présentés prouvent la robustesse et l'imperceptibilité de notre méthode de marquage dans la majorité des attaques que peut subir l'image marquée et pour toutes les marques insérées. La majorité des coefficients insérés est détectée tant que le nombre de coefficients de l'image marquée est suffisamment grand car la probabilité de trouver un coefficient dans un domaine croît avec la taille de ce dernier.

7 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté une nouvelle méthode de multi-marquage d'images que nous avons intégré dans le compresseur EZW basé sur la transformée en ondelettes [1]. La méthode de marquage proposée est aveugle car au niveau de la détection d'une marque, on a besoin de la marque initiale ainsi que la clé de détection mais on ne fait pas appel à l'image originale. Nous avons inséré deux processus dans le codeur EZW, le premier sert à insérer une ou plusieurs marques dans l'image hôte après l'étape de décomposition en ondelettes fournissant ainsi une ou plusieurs clés de détection séparément. Ainsi, le deuxième processus intervient avant l'étape de reconstruction de l'image ainsi compressée et marquée pour pouvoir détecter la ou les marques imperceptiblement insérées. Notre algorithme a prouvé son imperceptibilité puisque l'insertion s'agit d'un remplacement des coefficients originaux par d'autres de la marque équivalents dans le sens de signifiance du codeur EZW. Aussi, la robustesse de l'algorithme face aux différentes attaques que peut subir l'image a été remarquablement prouvée sauf s'il y a une grande quantité d'information perdue dans l'image marquée qui devient alors inexploitable.

Références

[1] J. M. Shapiro, Embdded image coding using zerotrees of wavelet coefficients, *IEEE Transactions of Signal Processing*, 41(12) : 3445-3462, Décembre 1993.

[2] C. V. Serdean, M. Tomlinson, G. J. Wade and A. M. Ambroze, Protecting intellectual Rights : Digital Watermarking In The Wavelet Domain, *University of Plymouth, United Kingdom and The University of Newcaste*, Australia, 2001.

[3] V. H. Vallabha, Multiresolution Watermark Based on Wavelet Transform for Digital images, *Cranes Software International Limited*, 2003.

[4] D. Le Guen, Stratégies de quantification pour la compression d'images par transformées en ondelettes : un état de l'art, *Projet TEMICS – IRISA*, Mars 1998.

[5] M. Antonini, Transformée en ondelettes et compression numérique des images, Doctorat d'état, *Université de Nice-Sophia Antipolis*, Septembre 1991.

[6] A. Manouri, Tatouage d'images numériques par paquets d'ondelettes, Doctorat d'état, *Université de Nantes*, Decembre 2001.

[7] L. Xie , G. R. Arce, Joint Wavelet Compression and Authentication Watermarking. Proc. IEEE ICIP, pp. 391-395, Chicago, USA, Octobre 1998.

[8] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video, Proc. ICIP'96, vol.3, pp.243-246, 1996.

[9] H. Inoue, A. Miyazaki, A. Yamamoto, T. Katsura, A Digital Watermark Based on the Wavelet Transform and its Robustness on Image Compression, Proc. IEEE ICIP, pp. 391-395, Chicago, USA, Octobre 1998.

[10] L. Guillemot, J-M. Moureaux, Tatouage d'images : une nouvelle approche basée sur une méthode de compression, Proc. CORESA'03, Lyon, France, Janvier 2003.