

Tatouage d'images couleur avec adaptation locale des forces de marquage

A. Parisis^{1,2}, P. Carré¹, C. Fernandez-Maloigne¹, N. Laurent²

¹Laboratoire SIC - FRE 3127, université of Poitiers
SP2MI – Blvd Marie et Pierre Curie – BP 30179
86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL
{parisis, carre,
fernandez}@sic.sp2mi.univ-poitiers.fr

²FRANCE TELECOM, DIH/HDM
4 rue du Clos Courtel
35510 CESSON SEVIGNE
{nathalie.laurent@rd.francetelecom.com

Résumé

Le travail présenté dans cet article a pour objectif de proposer une nouvelle méthode de tatouage d'images digitales. Pour cela, nous avons élaboré un nouveau système de tatouage dans le domaine des ondelettes où la marque est insérée, après pondération, dans les composantes couleurs, afin d'offrir le meilleur compromis entre invisibilité et robustesse. Cette pondération est obtenue en combinant une segmentation texture de l'image avec un principe de rétroaction, où chaque élément de la marque, correspondant à une zone non-homogène, est pondéré en fonction de son effet visuel sur l'image. Cette approche nous a permis d'obtenir un tatouage couleur robuste, respectant la qualité de l'image.

Mots clefs

Tatouage couleur, ondelettes.

1 Introduction

Avec l'apparition et le développement des nouvelles technologies numériques, les fraudes se sont multipliées, soulignant le manque de méthode concernant la protection des données numériques. Les données sont en effet très faciles à pirater : on peut les stocker, les copier, les modifier, ... Pour répondre à ces besoins, un nouvel axe de recherche se développe rapidement : le tatouage. le principe des techniques de tatouage est d'insérer une marque imperceptible dans les données.

Le problème majeur en tatouage est basé sur la subjectivité du compromis entre invisibilité et robustesse de cette marque. En particulier, la notion d'invisibilité est complexe à aborder, notamment avec des documents couleur. D'une part, il n'existe pas de méthode d'évaluation de qualité d'une image couleur. Par exemple, le PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) a démontré son efficacité pour des images en niveaux de gris, mais a montré son incohérence dans le cas des images couleur [1]. D'autre part, l'insertion d'une marque doit être réalisée en fonction des contenus couleur de l'image.

La dimension couleur est rarement prise en compte. Nous

proposons alors en section 2 une technique de tatouage couleur vectorielle. Afin d'optimiser le compromis entre invisibilité et robustesse et d'exploiter judicieusement la perception des couleurs entre les zones homogènes et les zones texturées, nous présentons en section 3 un nouvel algorithme permettant de contrôler efficacement le poids affecté à l'insertion de chaque élément de la marque. Les résultats expérimentaux proposés en section 4 notent l'efficacité de cette hybridation. Enfin, en section 5, nous concluons et présentons les perspectives de cette étude.

2 Technique de tatouage

Dans cette section, nous proposons un nouvel algorithme de tatouage qui utilise vectoriellement l'information de trichromacie dans les différents espaces de primaires. Cependant, afin de faciliter la lecture de ce document, toutes les illustrations et formulations sont exposées sur la base de l'espace couleur RGB . Pour la lisibilité des figures, nous notons P_β l'extrémité du vecteur \vec{V}_β .

2.1 Insertion de la marque

Le schéma d'insertion est le suivant :

- La première étape consiste à appliquer une transformée en ondelettes pour chacune des composantes, à une échelle donnée N .
- Une signature, définie par l'utilisation d'un code pseudo-aléatoire et contrôlée par une clé K , est générée. La marque M_k est générée par répétition de la signature. Si la répétition est effectuée bit par bit, la marque sera plus robuste, compte-tenu de l'interaction, de proche en proche, des coefficients d'ondelettes. Si la répétition est appliquée signature par signature, cela permet d'avoir une marque robuste aux translations et au fenêtrage.
- Au niveau N de décomposition, nous définissons un ensemble de triplets $(\vec{V}_R(x, y), \vec{V}_G(x, y), \vec{V}_B(x, y))$ défini pour chaque pixel (x, y) appartenant au niveau de résolution donné, tels que :

$$\vec{V}_a(x, y) = \{c_a^j(x, y)\}$$

avec $a = \{R, G, B\}$, $1 \leq j \leq 3$, et $c_a^j(x, y)$ représentant le coefficient d'ondelettes de la bande j associé à la com-

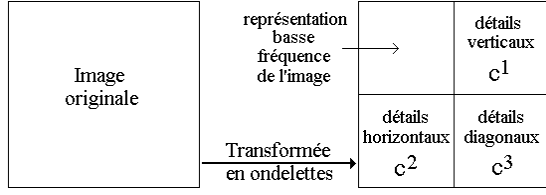


Figure 1 – décomposition en ondelettes à l'échelle $N = 1$

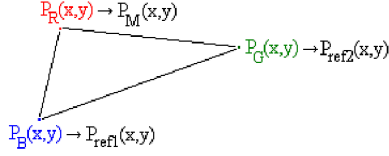


Figure 2 – exemple d'affectation des vecteurs de référence et marqué, en fonction de leur position par rapport aux autres

posante a , comme noté figure 1.

- Le marquage consiste à modifier, pour chacun des triplet, un des 3 vecteurs en fonction des deux autres. Pour cela, nous calculons les distances entre vecteurs d'un même triplet tel que

$$D_{E,F}(x, y) = |\vec{V}_E(x, y) - \vec{V}_F(x, y)|$$

La distance la plus grande est alors définie par deux vecteurs, appelés vecteurs de référence, et notés \vec{V}_{ref1} et \vec{V}_{ref2} , comme montré sur la figure 2. Le troisième vecteur du triplet, noté \vec{V}_M correspond au vecteur à marquer : son extrémité est alors déplacé vers l'extrémité d'un des deux vecteurs de référence en fonction d'une règle de convention choisie au préalable et définie en figure 3. Les flèches indiquent le sens de déplacement du vecteur \vec{V}_M en fonction de son origine (\vec{V}_R , \vec{V}_G ou \vec{V}_B) et suivant la valeur de la marque.

De façon plus générale, le marquage se présente sous la forme :

$$\vec{V}_{M,W}(x, y) = \vec{V}_{refi}(x, y) - (1 - F_a(x, y)) \cdot (\vec{V}_{refi}(x, y) - \vec{V}_S(x, y))$$

avec : $i = \{1, 2\}$, $a = \{R, G, B\}$ et $0 \leq F_a(x, y) \leq 1$. S est tel que $S = M$ (respectivement $S = int$) suivant le cas 1 (respectivement le cas 2) présenté en figure 4. En effet, dans le cas 2, un déplacement minimum, de P_M à P_{int} , est nécessaire, pour que la configuration de la position des vecteurs, après insertion de la marque, respecte le principe du marquage. F_a représente la matrice des forces d'insertion, qui permet de contrôler le compromis entre invisibilité et robustesse de la marque. Si $F_a = 0$, la force est minimum. Si $F_a = 1$, la force est maximum et $\vec{V}_{M,W}$ est égal à \vec{P}_{refi} . Dans ce cas, un problème de conflit est soulevé. L'association des vecteurs \vec{V}_M , \vec{V}_{ref1} et \vec{V}_{ref2} aux vecteurs \vec{V}_R , \vec{V}_G et \vec{V}_B , pendant l'étape de détection (détaillée dans le paragraphe suivant), peut être erronée si la force de marquage est maximum. Sur la figure 3, nous constatons que la valeur de la marque est $M(x, y) = 0$ ou 1 suivant le sens du déplacement entre P_R et P_B . Dans ce cas, nous proposons de poser $F_a(x, y) = 0,9$. Cette valeur, choisie après expérimentation, permet de minimiser les erreurs dues à ce

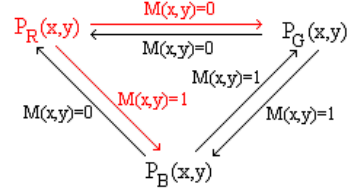


Figure 3 – exemple de convention

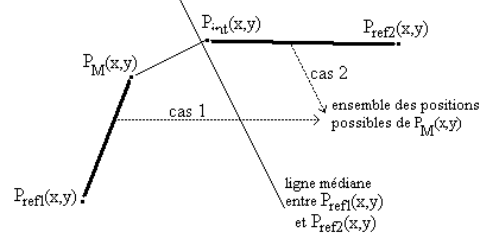


Figure 4 – positions possibles de $P_{M,W}$

conflit.

Ces opérations sont appliquées sur l'intégralité de l'image. - Et la dernière étape de l'insertion de la marque consiste à reconstruire l'image par transformée en ondelettes inverse, en tenant compte des nouveaux coefficients marqués.

2.2 Détection de la marque et décision

L'opération de détection comprend les opérations suivantes :

- La première phase de détection de la marque consiste également à décomposer les composantes de l'image par transformée en ondelettes. La même base d'ondelette doit être utilisée pour l'insertion et la détection.

- Pour chaque coordonnée (x, y) , les vecteurs \vec{V}_R , \vec{V}_G et \vec{V}_B sont associés aux vecteurs \vec{V}_M , \vec{V}_{ref1} et \vec{V}_{ref2} suivant le même principe que lors de l'insertion.

- Chaque élément de la marque détectée, notée M_D est alors déduite de la comparaison entre $\|\vec{V}_{ref1}(x, y) - \vec{V}_M(x, y)\|$ et $\|\vec{V}_{ref2}(x, y) - \vec{V}_M(x, y)\|$, et du schéma de convention présenté figure 3. Les valeurs de la marque M_D sont ainsi retrouvées, en effectuant cette opération sur l'intégralité de l'image.

- Ensuite, la construction de la signature détectée, notée S_D , est calculée en appliquant :

- la moyenne des valeurs de M_D correspondant à un élément de la signature, suivant le mode de redondance utilisée dans l'étape d'insertion (bit par bit ou signature par signature).

- le forçage aux valeurs les plus proches 0 ou 1 pour obtenir une écriture binaire de S_D .

Pour décider si S_D correspond à S , une mesure de corrélation cc leur est appliquée :

$$cc(S_{init}, S_D) = \frac{\sum S_{init}(x, y) * S_D(x, y)}{\sqrt{\sum S_{init}^2(x, y) * S_D^2(x, y)}}$$

Si $cc(S, S_D) \geq T$, où T est un seuil donné, S_D correspond à S .

3 Adaptation de la force d'insertion

Afin de prendre en compte le contexte local de l'image durant l'opération de tatouage, nous proposons d'adapter les éléments des matrices de pondération de la marque F_a . Pour cela, deux techniques complémentaires sont présentées dans ce paragraphe. La première est basée sur une pré-segmentation texturale de l'image effectuée dans le domaine des ondelettes. La seconde utilise une mesure directe de dégradation visuelle entre l'image originale et l'image marquée.

3.1 Segmentation texture

Le principe de cette méthode repose sur la détection des hauts niveaux d'énergie (correspondant à une texture), où la marque insérée sera moins visible compte tenu de l'ensemble des variations ainsi présente dans l'image. Les autres zones sont exclues du tatouage, car la marque y serait trop apparente.

Cette segmentation 'texture' est obtenue en appliquant les opérations suivantes sur chacune des composantes :

- Une décomposition en ondelettes est calculée. L'utilisation du filtre de Haar permet d'éviter les problèmes d'effet de bord. Nous proposons d'utiliser la même échelle de décomposition que lors du tatouage, afin d'obtenir des résultats de segmentation directement applicable aux étapes d'insertion et de détection de la marque.

- Tous les coefficients d'ondelettes sont pris en valeur absolue afin d'obtenir une notion d'énergie.

- Pour chaque imagerie de la décomposition, et pour chaque coordonnée (x, y) , un filtre médian de support $3 * 3$ est appliqué, afin de supprimer les informations de contours, qui ne sont pas relatifs à la texture.

Ainsi, nous obtenons des vecteurs tridimensionnels, notés : $\vec{V}_{C_a^j}(x, y) = \{E_{C_a^1}(x, y), E_{C_a^2}(x, y), E_{C_a^3}(x, y)\}$. Ces vecteurs $\vec{V}_{C_a^j}(x, y)$ sont classés selon une méthode K-means, décomposés en cinq classes :

- la classe 1 correspond aux zones uniformes, avec des valeurs d'énergie faibles. Le centre initial est défini par :

$$g_0 = [0 \ 0 \ 0];$$

- la classe 2 correspond aux variations vecticales majoritaires. Le centre initial est défini par : $g_1 = [\max(C_a^1) \ 0 \ 0];$

- la classe 3 correspond aux variations horizontales majoritaires. Le centre initial est défini par : $g_2 = [0 \ \max(C_a^2) \ 0];$

- la classe 4 correspond aux variations diagonales majoritaires. Le centre initial est défini par : $g_3 = [0 \ 0 \ \max(C_a^3)];$

- et la classe 5 correspond aux valeurs d'énergie hautes pour toutes les directions. Le centre initial est défini par : $g_4 = [\max(C_a^1) \ \max(C_a^2) \ \max(C_a^3)];$

Un exemple de classification est présenté figure 5.

Dans le cadre de l'application au tatouage, les valeurs de $F_a(x, y)$ qui correspondent aux zones homogènes (classe 1) de l'image sont alors mises à 0. Lors de la détection, tous les bits de la marque correspondant à une classe 1 ne

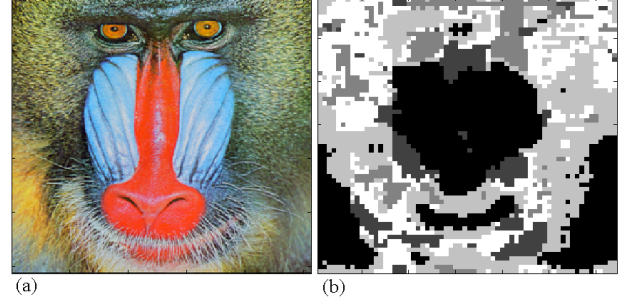


Figure 5 – a) image originale ; b) exemple de segmentation à une échelle 2, les zones définies comme homogènes (classe 1) sont en noir, et les autres zones en gris et blanc (classes 2 à 5)

seront pas pris en compte car la probabilité d'erreur de ces éléments est grande.

Enfin, pour définir précisément les valeurs des poids correspondants aux zones texturées, nous proposons une méthode par rétroaction, présentée dans le paragraphe suivant.

3.2 Algorithme de rétroaction

L'objectif de cet algorithme est d'optimiser chaque force de marquage dans la limite d'une certaine dégradation. Pour ce faire, nous vérifions pour chaque élément de la marque introduite dans l'image, que la différence entre l'image originale et l'image marquée n'est pas visible par le Système Visuel Humain (SVH) [2]. L'idée principale est d'utiliser la méthode commune d'évaluation de différence entre deux couleurs (C_1 et C_2), définie dans le système $L^*a^*b^*$ (espace perceptuellement uniforme) par :

$$\Delta E(C_1, C_2) = \sqrt{(L_{C_1} - L_{C_2})^2 + (a_{C_1} - a_{C_2})^2 + (b_{C_1} - b_{C_2})^2}$$

Si $\Delta E \leq 3$, C_1 et C_2 sont visiblement identiques. Il faut ensuite considérer qu'un élément de la marque affecte un bloc de 2^{2N} pixels, compte-tenu de l'application dans le domaine des ondelettes. Ainsi, pour chacun de ces blocs, nous proposons deux solutions :

- Cas 1 : $\Delta E_A(x, y)$ représente la moyenne de l'ensemble des mesures ΔE pour un bloc de 2^{2N} pixels correspondant à un bit de la marque ;

- Cas 2 : $\Delta E_M(x, y)$ représente la valeur maximale des mesures ΔE pour un bloc de 2^{2N} pixels correspondant à un bit de la marque.

L'algorithme de rétroaction est défini par :

Tous les éléments $F_a(x, y)$ sont mis à 0.9 Tant que $\min_{x,y} \Delta E_c(x, y) > 3$, avec $c = \{A, M\}$:

- Tatouage de l'image

- Mesure de la différence de couleur ΔE

- Pour chaque $\Delta E(x, y) > 3$,

$$F_a(x, y) \leftarrow (F_a(x, y) - 0.1)$$



Figure 6 – (haut) : images originales ; (milieu) image tatouée avec des forces d’insertion constantes ; (bas) image tatouée en utilisant les algorithmes de segmentation et de rétroaction

4 Résultats

4.1 Paramètres

Pour nos tests et concernant la transformée en ondelettes, nous avons choisi un filtre de ‘Daubechies’ de taille 8 (‘D8’, correspondant à une décomposition orthogonale avec un bon compromis entre support temporel et fréquentiel du filtre), et quatre niveaux de décomposition ($N = 4$) afin d’obtenir un bon compromis entre ratio de la marque et robustesse face à la compression JPEG. Enfin, nous proposons un seuil de décision $T = 0.7$.

4.2 Images et résultats des tests

La figure 6 présente des exemples d’images tatouées, utilisant ou non les techniques d’optimisation des forces de marquage. Sur la figure 7, nous présentons l’évolution de la robustesse de notre technique de tatouage contre les attaques par compression JPEG, filtrage médian et ajout de bruit. Nous constatons alors que l’utilisation combinée de la segmentation et de la rétroaction permet d’obtenir des images tatouées de meilleure qualité, et dont la robustesse de la marque est nettement améliorée.

5 Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons proposé une technique de tatouage, spécifique aux images couleur, robuste à la compression JPEG, au filtrage médian et à l’ajout de bruit. Cet algorithme prend en compte la dimension couleur du do-

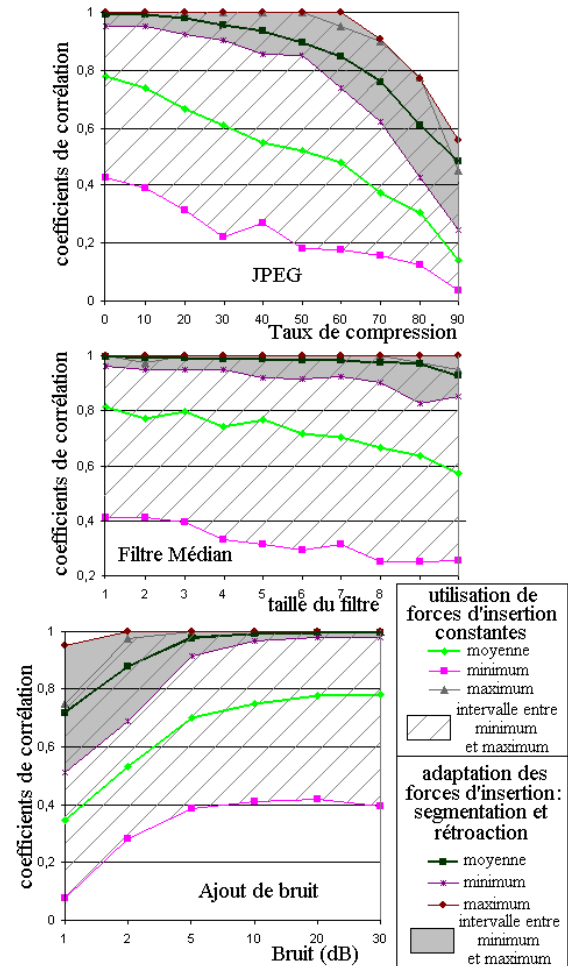


Figure 7 – attaques par compression JPEG, sur les images I_{w1} , et I_{w2} de la figure 6

cument et utilise deux méthodes complémentaires afin de déterminer la meilleure force de marquage. Les deux techniques définissant les forces de marquage permettent d’optimiser le compromis entre invisibilité et robustesse.

Les prochains travaux auront pour but de rendre cette méthode de tatouage robuste aux attaques géométriques (rotation et changement d’échelle). L’idée est de synchroniser l’image tatouée sans utiliser l’image initiale. Elle est basée sur le principe de tatouage de seconde génération, présentées par Kutter [3].

Références

- [1] C. Fernandez-Maloigne. Image quality assessment : metrics and psychosensorial experiments applied to colour image compression and watermarking. In *Summer research Institute, EPFL, Lausanne, Suisse*, July 2003.
- [2] D. J. Fleet and D. J. Hegger. Embedding invisible information in color image. In *IEEE International Conference on Image Processing, Santa Barbara*, volume 1, pages 532–535, october 1997.
- [3] M. Kutter, S.K. Bhattacharjee, and T. Ebrahimi. Towards second generation watermarking schemes. In *6th International Conference on Image Processing ICIIP’99, Kobe, Japon*, volume 1, pages 320–323, october 1999.