

TATOUAGE D'IMAGES COULEUR ADDITIF : VERS LA SELECTION D'UN ESPACE D'INSERTION OPTIMAL

Patrick Bas¹

Benoît Roue¹

Jean-Marc Chassery¹

¹ Laboratoire des Images et des Signaux

961 rue de la Houille Blanche, Domaine Universitaire
BP 46 38402 Saint Martin d'Hères cedex FRANCE

{Patrick.Bas, Benoit.Roue, Jean-Marc.Chassery}@lis.inpg.fr

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'utilisation et la sélection d'un espace couleur approprié pour effectuer l'insertion et la détection d'une signature au sein d'une image numérique. Un système de tatouage additif classique est tout d'abord présenté puis il est étendu au tatouage de composantes couleurs. En définissant un critère de robustesse fonction d'une probabilité de fausse-alarme, chaque espace d'insertion est évalué en terme de visibilité obtenue pour une robustesse constante. Cette étude permet tout d'abord de montrer l'intérêt perceptif d'un espace d'insertion basé sur la chrominance. La robustesse face à la compression JPEG et au filtrage passe-bas est ensuite évaluée. Il en ressort que l'insertion basée sur la chrominance représente un intérêt évident face aux traitements sur la luminance. Une méthode de sélection automatique d'espace d'insertion, basée sur l'entropie des différentes composantes, est ensuite présentée.

Mots clefs

tatouage, watermarking, étalement de spectre, espace couleur, entropie

1 Introduction

Le tatouage d'images numériques permet l'insertion d'une information invisible qui doit être préservée lorsque l'image subit divers traitements. L'imperceptibilité d'un schéma de tatouage doit être dans tous les cas maximale contrairement à la robustesse qui est variable selon le types d'application envisagée. Nous dressons dans cette section un rapide inventaire des méthodes de tatouage qui utilise l'information de tri-chromacie.

◊ Une des premières solutions envisagées en tatouage d'images couleur consiste à utiliser le canal bleu comme espace d'insertion car c'est le canal qui est le moins sensible de la décomposition RVB. Ainsi dans [1], l'insertion s'effectue en modifiant la composante bleue B de certains pixels dont les positions sont définies à partir d'une clef secrète.

◊ Il est également possible de prendre en compte les trois

composantes couleurs plutôt qu'une seule pour augmenter l'espace d'insertion de l'image. Dans [2], la puissance de la signature dépend de la réponse de l'oeil humain aux différentes longueurs d'onde. Ainsi l'amplitude de la signature est environ 10 fois plus importante sur la composante bleue α_B que sur la composante verte α_V et 5 fois plus importante sur la composante bleue que sur la composante rouge α_R .

◊ La décomposition Lab présente également des propriétés intéressantes dans le contexte du tatouage car elle offre un espace euclidien "sensitif". Le schéma de tatouage présenté dans [3] est issu de la décomposition Lab. Les auteurs proposent d'utiliser une extension de la décomposition Lab, appelée S-CIELAB, qui dépend également de la structure locale de l'image. Cette décomposition exploite le fait que la perception des couleurs diffère entre les zones homogènes et les zones texturées. L'insertion de la signature s'effectue en ajoutant une grille sinusoïdale pondérée par le masque obtenu dans la bande de couleur Jaune/Bleu (O_3). La détection de la signature s'effectue par une détection de pics correspondant à la présence de sinusoïdes dans le spectre de la composante O_3 .

L'objectif de notre étude est de développer un algorithme de tatouage additif opérant en sélectionnant des composantes couleur appropriées, c'est à dire offrant la meilleure invisibilité pour une robustesse donnée. Ce document se décompose en 7 parties. La première présente les méthodes de tatouage additif, et décrit plus précisément la méthode que nous utilisons durant le reste de notre étude. La deuxième partie dresse un rapide inventaire des différents espaces couleur qui ont été utilisés comme domaine d'insertion de la signature. La troisième partie expose le protocole de comparaison utilisé et les résultats obtenus. La quatrième propose une évaluation de la robustesse face à la compression JPEG et au filtrage passe-bas pour une insertion basée sur la chrominance et une insertion basée sur la luminance. La cinquième partie aboutit à la sélection automatique de l'espace d'insertion optimal par un critère

entropique. Enfin la dernière partie conclut cette étude en proposant différentes perspectives de ce travail.

2 Tatouage additif dans le domaine pixelique

Les schémas additifs, appelés également schémas par étalement de spectre, constituent une classe particulière de méthodes de tatouage où la signature, qui représente le signal, est ajoutée à des composantes de l'image correspondant au bruit [4]. Le schéma d'insertion est le suivant :

- Une signature $W(K)$ est générée, elle est construite à l'aide d'un générateur aléatoire et dépend d'une clef secrète K .
- La signature $W(K)$ est pondérée par une constante p , déterminant la puissance de la signature, et est ensuite ajoutée sur la composante de l'image $C(I)$ pour obtenir la composante $C_K(I_w) = C_K(I) + p \times W(K)$ de l'image marquée.
- L'image marquée est reconstruite à partir de $C_K(I_w)$.

La détection de la signature est réalisée à partir d'un vecteur d'observation r exprimé comme la corrélation entre W et la composante C_t provenant de l'image test. Cette corrélation peut s'écrire sous la forme :

$$r = \langle W, C_t \rangle = \sum_{i,j} w_{i,j} C_{t,i,j}$$

La détection de la signature s'effectue ensuite en comparant C_t à un seuil. Ce seuil est fonction d'une probabilité de fausse alarme et dépend de la variance des valeurs de corrélation obtenues en utilisant une clef différente à la clef d'insertion.

3 Espaces couleurs utilisés

Nous avons voulu évaluer dans cette étude l'impacte visuel dû au tatouage de composantes couleur différentes. Pour cela nous avons sélectionné des espaces utilisés classiquement en codage (YIQ et YCrCb) et en représentation d'image couleur (XYZ et Lab) [5]. Dans ce contexte, la signature est ajoutée sur une composante de l'image pour obtenir l'image tatouée. D'autres schémas de tatouage d'image couleurs ont déjà été proposés mais souvent dans un cadre de tatouage substitutif [6].

4 Protocole de comparaison et résultats obtenus

Nous avons ensuite décidé d'insérer une signature successivement dans chacune des composantes et de reconstruire l'image tatouée à partir de la composante tatouée. La puissance de la signature p a été calculée de manière à ce que la robustesse R de l'image reconstruite soit constante. Dans cette étude, la robustesse R est définie comme le rapport entre, d'une part la moyenne des valeurs de corrélation obtenues en utilisant pour la détection une clef égale à la

clef d'insertion, et d'autre part l'écart type des valeurs de corrélation obtenues en utilisant une clef différente. Cette division permet de se placer à probabilité de fausse alarme constante quel que soit le domaine d'insertion :

$$R = \frac{E[\langle W_{Ki}, C_{ki} \rangle]_{Ki}}{\sqrt{E[\langle W_{Ki \neq Kj}, C_{ki} \rangle^2]_{Ki, Kj}}}$$

Nous avons répertorié les résultats obtenus dans différents tableaux en testant notre algorithme sur un jeu de trois images couleur. Les appréciations des rendus visuels sont décomposées en 5 appréciations : mauvais (1), moyen (2), correct (3), bien (4) et très bien (5).

Le tableau 1 présente pour chaque composante, la qualité de l'image tatouée reconstruite. Basé sur ces résultats, nous pouvons observer d'une part qu'il est préférable de tatouer des composantes de chrominance (IQ, CrCb, ab, XZ) plutôt que des composantes de luminance (cf. Figure 1), et d'autre part que la composante de chrominance présentant la visibilité la plus faible dépend de l'image considérée.

5 Robustesse aux opérations de filtrage et de compression

La section précédente avait pour objectif de comparer différents espaces de représentation couleur en fonction d'une robustesse ne dépendant que des statistiques de détection de la signature. Le but de cette section est d'évaluer la robustesse réelle de ce schéma vis à vis de la compression JPEG et du filtrage passe-bas. Pour cela nous avons calculé le facteur R dans le cas d'une insertion de la signature sur la composante de luminance (R_L) et d'une insertion sur une composante de chrominance Q (R_Q). Les tableaux 2 et 3 présentent ces différents résultats.

Si l'utilisation des composantes de chrominance pour le tatouage reste intéressante pour des facteur de qualité relativement élevé (95%), la robustesse de ce type d'insertion face à la compression JPEG devient de plus en plus faible lorsque le facteur de qualité diminue et il est alors plus intéressant de tatouer la composante de luminance. Ce phénomène s'explique par le fait que la compression JPEG quantifie les composante de chrominance d'une façon plus grossière que les composantes de luminance. D'autre part, dans certains cas celles-ci peuvent également être sous-échantillonnées. Nous retiendrons cependant que pour un taux de compression faible et une robustesse équivalente, l'insertion sur une composante de chrominance offre une imperceptibilité plus importante par rapport à la luminance. Cette propriété est illustrée sur la figure 2.

La robustesse face au filtrage passe-bas présente des résultats opposés. En effet, puisque ce type de traitement affecte principalement la luminance de l'image et très peu les composantes de chrominance, l'insertion sur une composante de chrominance offre une robustesse plus importante que sur la luminance.

Espace	XYZ			Lab			YCbCr			YIQ		
Composante Tatouée	X	Y	Z	L	a	b	Y	Cr	Cb	Y	I	Q
Amplitude	10	10	10	8	4	4	10	3	4	10	4	3
Rendu visuel	2	1	3	1	3	5	1	5	5	1	4	5

Tableau 1 – Comparaison du rendu visuel pour différents espaces d’insertion couleur.

Facteur de qual. JPEG	95%	90%	80%	75%
R_L/R_Q	1.15	1.7	6.1	10.5

Tableau 2 – Comparaison des facteurs de détection face à la compression JPEG

Taille du filtre	3	5
R_L/R_Q	0.7	0.6

Tableau 3 – comparaison des facteur de détection face au filtrage passe-bas

6 Sélection d’un espace approprié par critère entropique

L’étude qualitative présentée dans la section précédente montre qu’il existe, pour une robustesse constante, des composantes dont l’imperceptibilité est beaucoup plus importante que d’autres. Nous avons donc voulu sélectionner de manière automatique l’espace et la composante à tatouer provoquant le moins de dégradation visuelle. Cette opération est effectuée en évaluant la densité de probabilité associée à chaque composante de l’espace couleur. Nous calculons ensuite l’entropie associée à la composante et décidons d’insérer la signature à la composante présentant l’entropie de l’image qui est la plus faible. Le tableau 4 montre pour 7 images tests la composante sélectionnée et la qualité obtenue.

L’apport d’un critère basé sur l’entropie est double : d’une part il permet de minimiser la puissance de l’image en sélectionnant une composante peut bruitée dans l’image, et d’autre part il permet de profiter d’un effet de masquage en ne tatouant que les composantes qui ne présentent que peu d’information [7].

7 Conclusion et perspectives

Le but de cette étude était déterminer quel est l’apport des transformations couleurs dans le contexte du tatouage d’image couleur. Nous nous sommes placés dans le cadre de schéma de tatouage additif dans le domaine pixelique et nous avons montré que le tatouage de composantes de chrominance présente une invisibilité plus importante par rapport aux méthodes de tatouage classiques utilisant la luminance. En contrepartie l’insertion basée sur les composantes de chrominance est moins robuste vis à vis de la compression JPEG mais offre une très bonne robustesse face au filtrage passe-bas. Nos perspectives se tournent maintenant sur la conception d’un schéma générique permettant d’offrir une robustesse plus large où l’insertion

s’effectue à la fois sur la luminance et sur la chrominance de l’image.

Références

- [1] M. Kutter, F. Jordan, et F. Bossen. Digital signatures of color images using amplitude modulation. Dans *SPIE, EI97 Proceedings*, pages 518–526, San Jose, California USA, Février 1997.
- [2] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, et V. Cappellini. Exploiting the cross-correlation of rgb-channels for robust watermarking of color images. Dans *IEEE-ICIP’99*, volume 1, pages 306–310, Kobe (Japan), Octobre 1999.
- [3] D. Fleet et D. Heeger. Embedding invisible information in color images. Dans *IEEE-ICIP’97*, volume 1, pages 532–535, Santa Barbara (Cal) Usa, 1997.
- [4] P. Bas. *Méthodes de tatouages d’images fondées sur le contenu*. Thèse de doctorat, Thèse de l’Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 2000. manuscrit available on http://www.lis.inpg.fr/pages_perso/bas/index.htm.
- [5] G. Sharma, M. J. Vrhel, et H. J. Trussell. Color imaging for multimedia. *Proceedings of the IEEE*, 86(6) :1088–1108, jun 1998.
- [6] A. Parisi, P. Carré, et C. Fernandez-Maloigne. Watermarking et couleur : étude de différents espaces de représentation couleur. Dans *Coresa01*, Dijon, France, 2001.
- [7] J.O. Limb, C.B. Rubinstein, et J.E. Thompson. Digital coding of color video signals - a review. *IEEE Transactions on Communications*, 25 :1349–1384, nov 1977.

Image	Lena	Pepper	Irlande	Baboon	Port	Sail	Christ
Composante tatouée	Q	b	Q	Q	Q	Q	a
Espace de la composante	YIQ	Lab	YIQ	YIQ	YIQ	YIQ	Lab
Rendu visuel	5	5	5	5	5	5	5

Tableau 4 – Espace de couleur sélectionné automatiquement par critère entropique.



Tatouage de la composante Q



Tatouage de la composante Q



Tatouage de la composante Y



Tatouage de la composante Y

Figure 1 – Comparaison de la visibilité de la signature insérée pour un critère R égal.

Figure 2 – Comparaison de la visibilité de la signature insérée pour un critère R égal après une compression JPEG d'un facteur de qualité de 95%.