

# Tatouage vidéo utilisant l'ACI et basé sur un treillis informé

Hussein JOUMAA, Franck DAVOINE

Laboratoire Heudiasyc, CNRS, Université de Technologie de Compiègne  
BP 20529, 60205 Compiègne Cedex.

Joumaahu@hds.utc.fr, Franck.Davoine@hds.utc.fr

**Résumé** – L'Analyse en Composantes Indépendantes (ACI) a été utilisée récemment dans plusieurs schémas de tatouage. Il s'avère important d'évaluer la robustesse d'un système de tatouage dans cet espace et de la comparer par rapport à celles réalisées dans d'autres espaces, notamment celui obtenu par la Transformée en Cosinus Discrète (TCD). Ainsi, nous proposons dans cet article d'évaluer la performance d'un schéma de tatouage informé, utilisant l'ACI, et de montrer ses principaux intérêts et inconvénients par rapport à d'autres domaines. Pour ce faire, nous présentons une méthode de tatouage basée sur le treillis modifié d'un code convolutif, et opérant dans deux espaces transformés à l'aide d'une TCD ou d'une ACI. Le système ainsi proposé assure, dans les deux domaines, un niveau de robustesse important, ainsi qu'une capacité d'insertion intéressante pour les applications d'augmentation de contenu. Dans cet article, nous nous intéressons à l'application suivante : le tatouage constitue un canal caché transmis au sein d'un canal de TV numérique, compressé par MPEG-2

**Abstract** – Independent Component Analysis (ICA) techniques have been recently used in different watermarking schemes. However, performance of an ICA video watermarking scheme in comparison with those using classical domains, such as the Discret Fourier Transform (DCT) domain, is still not clear. In this paper, we attempt to fill this gap. Therefore, we propose a video watermarking scheme, using an informed trellis, applied in two transformed domains obtained by using respectively the DCT transform and an ICA coding technique. We show that, for both domains, the scheme offers a good robustness against MPEG-2 compression, as well as an important capacity level. We consider in this paper data hiding in digital TV channels where data are compressed using MPEG-2.

## 1 Introduction

L'Analyse en Composantes Indépendantes (ACI) a été utilisée dans plusieurs schémas de tatouage pour images fixes [3] [11]. Il est nécessaire d'évaluer la robustesse d'un système de tatouage dans cet espace. Nous proposons dans cet article d'évaluer la performance d'un schéma de tatouage informé, utilisant l'ACI, et de montrer ses principaux intérêts par rapport à d'autres domaines, notamment celui obtenu par la Transformée en Cosinus Discrète (TCD). Nous présentons ainsi une méthode de tatouage basée sur le treillis modifié d'un code convolutif (Section 2), et opérant dans deux espaces transformés à l'aide d'une TCD (Section 3) ou d'une ACI (Section 4).

Dans les deux schémas, l'insertion est effectuée dans les images d'erreur de prédiction de mouvement d'une séquence vidéo. Nous prenons ainsi en compte la dimension temporelle de la vidéo et nous améliorons par conséquent la performance du schéma de tatouage. En effet, les premières méthodes de tatouage ont été conçues pour des images fixes. Le domaine de tatouage vidéo a ensuite gagné une grande attention, et beaucoup de chercheurs se sont intéressés à définir des schémas de tatouage qui lui sont propres. La plupart d'entre eux avaient déjà développé des algorithmes pour les images fixes, il était donc naturel qu'ils appliquent, dans un premier temps, leurs algorithmes sur la vidéo en considérant celle-ci comme une série d'images indépendantes [4] [1].

Une deuxième classe de méthodes de tatouage vidéo prend en compte l'information temporelle présente dans la vidéo et l'exploite [14] [6]. La troisième classe effectue le tatouage directement dans le flux compressé [10] [2]. Elle nécessite une maîtrise de la structure du codeur utilisés dans la compression, afin de pouvoir modifier quelques paramètres du flux d'une façon

appropriée.

Nous avons donc choisi de travailler dans le cadre de la première classe de méthodes, tout en exploitant la dimension temporelle de la vidéo : le message est inséré dans les images d'erreur de prédiction de mouvement afin d'exploiter la dimension temporelle de la séquence.

Dans cet article, nous nous intéressons à l'application suivante : le tatouage constitue un canal caché transmis au sein d'un canal de TV numérique, compressé par MPEG-2. L'article se termine par la fourniture de résultats de comparaison de robustesse entre les deux schémas utilisant respectivement la TCD et l'ACI.

## 2 Une méthode de tatouage vidéo informée

Dans cette partie, nous présentons une technique d'insertion informée inspirée du schéma proposé par Miller et al. [12] pour le tatouage d'images fixes.

Dans un système de tatouage informé, on associe à chaque message  $\mathbf{m}$  un "sous-dictionnaire de codage"  $CB_m$ . Lors de la phase d'insertion,  $\mathbf{m}$  est codé par le vecteur de  $CB_m$  le plus proche du signal hôte. Quant au décodage, il s'effectue au niveau du "dictionnaire principal" constitué de l'union des différents sous-dictionnaires : l'appartenance du vecteur décodé à un sous-dictionnaire particulier permet d'identifier le message incrusté dans le signal hôte.

Les codes correcteurs d'erreur permettent de construire et d'organiser le dictionnaire principal, ainsi que les différents sous-dictionnaires de codage [8]. La technique utilisée dans cet ar-

ticle repose sur le treillis pleinement connecté d'un code convolutif constituant le dictionnaire principal d'un système de tatouage informé. Les sous-dictionnaires de codage sont ensuite construits en élaguant le treillis en fonction du message à insérer.

Dans le cas d'un code convolutif traditionnel, représenté par un treillis, un message  $\mathbf{m}$  de  $k$  bits est associé à un chemin particulier du treillis :  $\mathbf{m}$  est ainsi codé par une suite de  $k$  branches du treillis. Dans le treillis, deux branches sont issues de chaque nœud : la première correspond à un bit 0 de  $\mathbf{m}$  et la seconde à un bit 1. Une branche peut coder un vecteur aléatoire de longueur  $n_b$  et ainsi, en sortie du treillis, un message de  $k$  bits est codé par un vecteur de taille  $k \times n_b$ .

Pour construire un tatoueur informé à partir du système précédent, Miller et al. [12] ont associé à un message  $\mathbf{m}$  plusieurs chemins du treillis. Ces associations définissent un sous-dictionnaire. Elles s'effectuent en commençant par construire un treillis pleinement connecté  $T$  qui constitue le dictionnaire principal : chaque nœud est connecté à tous les nœuds qui le précèdent et qui le suivent immédiatement. La moitié des branches porte un bit 0, l'autre un bit 1. Un message particulier  $\mathbf{m}$  est ainsi représenté par plusieurs chemins dans le treillis : ces chemins constituent un treillis  $T_{\mathbf{m}}$  correspondant au sous-dictionnaire  $CB_{\mathbf{m}}$ . Le treillis pleinement connecté  $T$  est constitué de l'union des treillis  $T_{\mathbf{m}}$ .

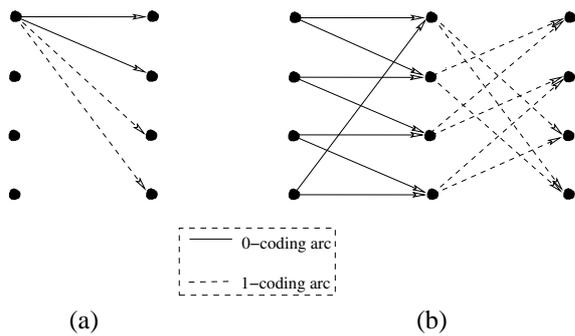


FIG. 1 – Treillis pleinement connecté à 4 états : Dans la figure (a), on représente seulement les arcs issus de l'état A. Chaque bit est codé par 2 manières différentes. Dans la figure (b), on représente le treillis  $T_{01}$  correspondant au message 01.

### 3 Tatouage vidéo dans le domaine TCD

Dans cette partie, nous présentons le schéma de tatouage vidéo utilisant la Transformée en Cosinus Discrète. Le message est inséré dans les images d'erreur de prédiction de mouvement afin d'exploiter la dimension temporelle de la séquence. Pour préserver la qualité visuelle de la vidéo, nous avons choisi de ne pas tatouer toutes les images de la séquence 3. Nous avons choisi ainsi d'insérer le message dans des images d'erreur de prédiction de mouvement  $P_e$ , séparées par des images I (codées en Intra). Une image  $P_e$  tatouée est décomposée en des blocs  $8 \times 8$ , transformés par la TCD. Une série de  $n_1$  coefficients est extraite de chaque bloc transformé, pour construire le signal hôte  $\mathbf{x}$ . On applique ensuite l'algorithme de Viterbi sur  $\mathbf{x}$  pour trouver, parmi les vecteurs du sous-dictionnaire correspondant au message  $\mathbf{m}$ , le vecteur  $\mathbf{w}$  le plus proche de  $\mathbf{x}$ .

Le décodage de Viterbi est dans ce cas pondéré, et considère une mesure de corrélation pour trouver le chemin le plus vraisemblable.  $\mathbf{w}$  est ensuite ajouté à  $\mathbf{x}$  avec une pondération  $\alpha$  permettant de régler la force du tatouage :  $\mathbf{s} = \mathbf{x} + \alpha\mathbf{w}$ . Le décodage se fait en aveugle en appliquant l'algorithme de Viterbi sur un vecteur  $\mathbf{y}$  extrait de la séquence reçue.

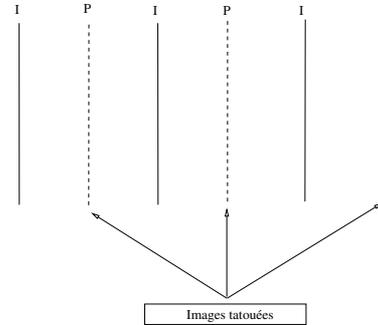


FIG. 2 – Codage par ACI

FIG. 3 – Le message est inséré dans des images d'erreur de prédiction de mouvement  $P_e$ , séparées par des images I (codées en Intra).

## 4 Tatouage vidéo dans le domaine ACI

Dans cette partie, nous présentons le schéma de tatouage vidéo utilisant l'Analyse en Composantes Indépendantes. Nous commençons par rappeler les principes de l'ACI, ainsi que les principaux schémas de tatouage utilisant l'ACI. L'ACI est une technique statistique dont l'objectif est de décomposer un vecteur  $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^m$  en une combinaison linéaire de sources indépendantes, i. e.  $\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s}$  où  $\mathbf{s}$  est un signal à composantes indépendantes et  $\mathbf{A}$  une matrice à coefficients réels. Cette technique est appliquée à des problèmes où les sources peuvent être supposées indépendantes. Le but de la technique est de trouver une matrice  $\mathbf{W}$  telle que le vecteur obtenu par action de  $\mathbf{W}$  sur  $\mathbf{x}$  ait des composantes les plus indépendantes possibles.

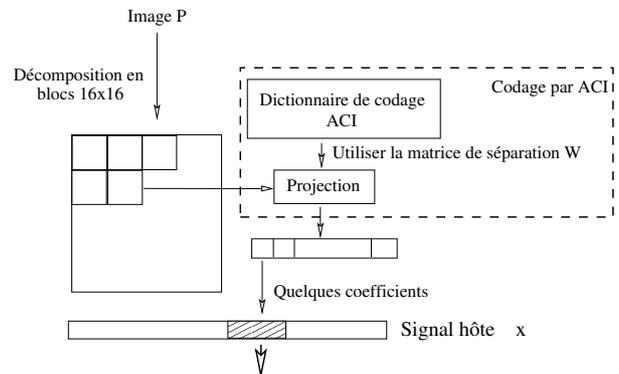


FIG. 4 – Codage d'une image P par ACI

Dans le cadre du tatouage, l'ACI a été utilisée par González-Serrano et al. [7]. Leur méthode consiste à modifier les composantes de faible amplitude du signal transformé. Elle est utilisée dans le cadre d'un schéma de tatouage fragile. Bounkong et al. [3] ont proposé une technique de tatouage basée sur la quantification des coefficients ACI d'une partition d'image. Chaque bit du message est inséré dans un seul coefficient ACI, afin de permettre une quantification forte des coefficients tatoués. Récemment, un schéma de tatouage pour images fixes, utilisant l'ACI, a été proposé par Lu et al. [11]. Une technique efficace est mise en oeuvre afin de choisir les coefficients ACI destinés à être tatoués : les coefficients sont classifiés suivant leur fréquence, en plusieurs catégories. Cette classification s'effectue en se basant sur leur amplitude. Les coefficients de faible amplitude représentent ainsi des composantes de haute fréquence de l'image.

Dans cet article, nous nous inspirons du schéma de tatouage proposé par Bounkong et al. [3], afin de proposer une méthode de tatouage vidéo, opérant dans un domaine transformé par ACI.

Pour mettre en oeuvre un algorithme de codage par ACI, il est nécessaire de construire un dictionnaire de codage formé d'un ensemble de fonctions de base, adapté au signal hôte. Cette étape a été réalisée à l'aide de l'algorithme FastICA [9]. Les images utilisées pour construire le dictionnaire (base des observations) sont extraites de séquences vidéo de scènes naturelles. Nous avons choisi d'insérer le message dans les images d'erreur de prédiction de mouvement  $P_e$ , comme dans le cas du schéma précédent, appliqué dans le domaine TCD.

Une image  $P_e$  est ainsi décomposée en des blocs  $8 \times 8$ , transformés par ACI. Une série de  $n_1$  coefficients est extraite de chaque bloc transformé, pour construire le signal hôte  $x$ .

On a effectué différents tests pour définir une technique efficace du choix des coefficients :

- Une première approche consiste à ordonner les coefficients ACI suivant leur module décroissant, et à choisir pour le tatouage, les  $n_1$  premiers coefficients de la série ordonnée. Cependant, l'ordre défini au codeur peut être altéré après une compression, résultant ainsi en une désynchronisation du décodeur.
- Une seconde approche, s'inspirant de l'article de Lu et al. [11], classe les fonctions de base du dictionnaire suivant leur fréquence, afin d'appliquer le tatouage dans une bande de fréquence appropriée. Toutefois, pour les images d'erreur de prédiction de mouvement, la structure des fonctions de base est différente de celle obtenue pour les images fixes. Leur structure localisée ne permet pas de les classer efficacement suivant le critère de fréquence.

Suite aux tests effectués, il paraît plus intéressant de tatouer les coefficients correspondant à un ensemble aléatoire de fonctions de base.

Une fois le signal hôte  $x$  déterminé, les opérations d'insertion et de détection sont identiques à celles effectuées pour le schéma TCD (Section 3).

## 5 Résultats et discussion

Nous avons évalué la performance du système de décodage suite à une compression de type MPEG-2 [13].

Les tests ont été effectués sur les séquences de format QCIF : Suzie, News, Mother daughter, Hall monitor, Container, composée chacune de 150 images. Le nombre de bits insérés est de  $k = 22$  bits par image. La qualité visuelle moyenne des séquences tatouées, mesurée par le PSNR, est fixée à 41 dB.

Pour le schéma appliqué dans l'espace transformé par TCD, on extrait 8 coefficients par bloc  $8 \times 8$  transformé (Section 3,  $n_1 = 8$ ). Ceci nous permet d'insérer 22 bits dans une image de taille  $176 \times 144$ . La performance de cette méthode, suite à une compression MPEG-2, est présentée sur la figure 5 représentant le pourcentage moyen des bits erronés au décodeur en fonction du taux de compression MPEG-2. On remarque que pour un taux de compression de 35, on est capable de décoder le message inséré avec un pourcentage d'erreur binaire de 2%.

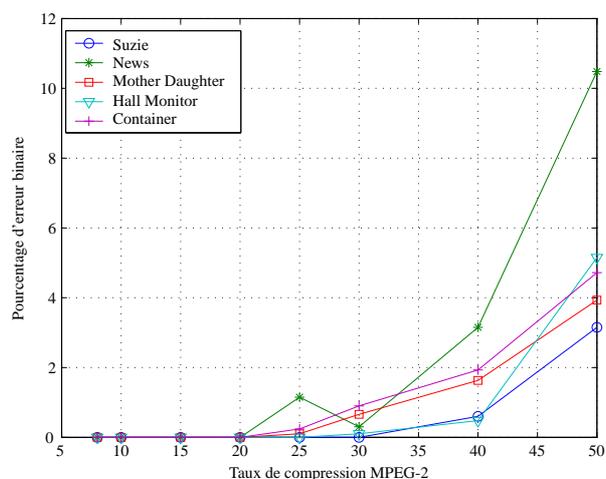


FIG. 5 – Robustesse de la méthode utilisant la TCD face à une compression MPEG-2

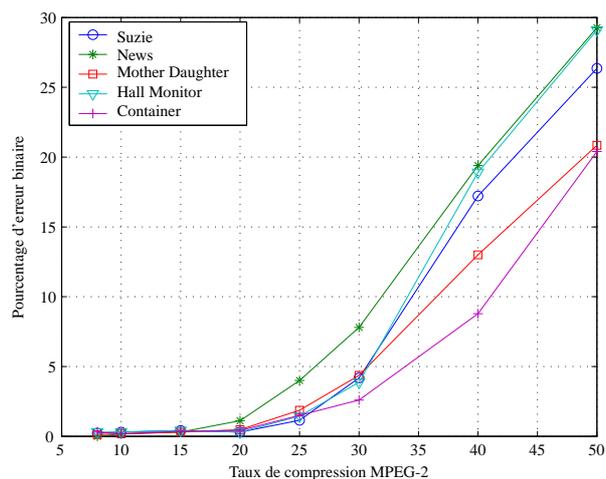


FIG. 6 – Robustesse de la méthode utilisant l'ACI face à une compression MPEG-2

Dans le second schéma, on extrait également 8 coefficients par bloc  $8 \times 8$  transformé. On a pu ainsi insérer 22 bits dans une image de taille  $176 \times 144$ . La robustesse de cette méthode suite

à une compression MPEG-2 est présentée sur la figure 6. On remarque que pour un taux de compression de 25, on est capable de décoder le message inséré avec un pourcentage d'erreur binaire de 2%.

L'algorithme basé sur le treillis a été appliqué dans les domaines générés par les transformations TCD et ACI. On remarque que les deux schémas présentent, face à une compression MPEG-2, un niveau de robustesse important. Cependant, la méthode appliquée en TCD permet d'obtenir des niveaux de robustesse meilleurs que ceux obtenus dans le domaine généré par ACI.

Le fait que, dans le domaine TCD, on a une idée de la plage des coefficients qui va être dégradée par MPEG-2, nous permet d'obtenir une bonne performance : l'espace d'insertion est compatible avec celui de la compression par MPEG, ainsi le choix d'insérer le message dans la plage des fréquences moyennes s'avère très pratique, comme effectué dans la littérature des techniques de tatouage par étalement de spectre [5].

Néanmoins, pour le domaine généré par une transformation ACI, cette information ne peut pas être estimée à l'avance. On peut affirmer une seule chose : les coefficients significatifs du signal doivent être réservés, après compression. Pour chaque bloc codé, l'ACI associe à chaque fonction du dictionnaire de codage ACI, un coefficient correspondant. L'importance d'une fonction ou d'une autre, dans la représentation du bloc, est pondérée par le module de ce coefficient. Or, l'algorithme de tatouage prend toujours une plage fixe de fonctions de base, dans laquelle, il insère le tatouage, sans tenir compte de l'importance de ces fonctions dans la représentation. On peut ainsi tatouer des coefficients, non significatifs, qui s'annulent suite à la compression.

Nous avons essayé de choisir les coefficients à tatouer en fonction de leur module (la plage de coefficients tatoués n'est pas la même pour tous les blocs). Nous étions ainsi amené à établir un ordre donné des coefficients tatoués, selon leur module. Cependant, suite à la compression, il était difficile d'établir le même ordre : les coefficients choisis appartiennent à la même plage de module, ainsi une petite perturbation est capable de changer leur ordre relatif. Ce qui provoque une désynchronisation totale dans le processus de détection.

## 6 Conclusion

Nous avons présenté deux schémas de tatouage informé à base de treillis, appliqués en ACI et en TCD, testés sur les images d'erreur de prédiction de mouvement d'une séquence vidéo. Les schémas se montrent robustes face à la compression de type MPEG-2. La robustesse de la méthode en TCD dépasse celle utilisant l'ACI. Ceci est dû en particulier au choix des coefficients tatoués en TCD : ces coefficients constituent des composantes de fréquence moyenne, non perturbée par la compression.

Les résultats obtenus pour l'ACI sont prometteurs. Nous travaillons actuellement pour choisir des coefficients plus robustes, en fonction de leur fréquence et leur module. Nous étudions également une amélioration du schéma opérant dans le domaine transformé par ACI, qui consiste à ne pas tatouer les blocs homogènes dans une image d'erreur de prédiction de mouvement : ces blocs contiennent généralement peu d'information

utile et risquent d'être complètement altérés suite à une compression.

## Références

- [1] M. Barni, F. Bartolini, R. Caldelli, A. De Rosa, and A. Piva. A robust watermarking approach for raw video. In *Proceedings of 10th International Packet Video Workshop*, Cagliari, Italy, March 2000.
- [2] P. Bas, N. V. Boulgouris, F. D. Kovaros, J. M. Chassery, M. G. Strintzis, and B. Macq. Robust watermarking of video object for MPEG-4 applications. In *SPIE Annual Meeting*, San-Diego, USA, 2001.
- [3] S. Bounkong, B. Toch, D. Saad, and D. Lowe. ICA for watermarking digital images. *Journal of Machine Learning Research*, 4 :1471–1498, 2003.
- [4] J. J. Chae and B. S. Manjunath. Data hiding in video video. In *IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe, Japan, 1999.
- [5] I. J. Cox, T. Leighton, and T. Shamoan. Secure spread spectrum watermarking for multimedia. *IEEE Transactions on Image Processing*, 6(12) :1673–1687, 1997.
- [6] F. Deguillaume, G. Csurka, J. O'Ruanaidh, and T. Pun. Robust 3D DFT video watermarking. In *Proceedings of SPIE 3657, security and watermarking of multimedia content*, pages 113–124, 1999.
- [7] F. J. González-Serrano, H. Y. Molina-Bulla, and J. J. Murillo-Fuentes. Independent component analysis applied to digital watermarking. In *IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing*, Utah, USA, May 2001.
- [8] G. Le Guelvouit and S. Pateux. Wide spread spectrum watermarking with side information and interference cancellation. In *Proceedings of SPIE : Security and Watermarking of Multimedia Contents*, Santa Clara, USA, January 2003.
- [9] A. Hyvärinen, J. Karhunen, and E. Oja. *Independent Component Analysis*. Wiley-Interscience, 2001.
- [10] C. S. Lu, J. R. Chen, H. Y. M. Liao, and K. C. Fan. Real-time MPEG-2 video watermarking in the VLC domain. In *International Conference on Pattern Recognition*, Quebec, Canada, August 2002.
- [11] W. Lu, X. Sun, and K. Okada. A digital watermarking technique based on ICA image features. In *Fifth International Conference on ICA*, Granada, Spain, September 2004.
- [12] M. L. Miller, G. J. Döer, and I. J. Cox. Dirty-paper trellis codes for watermarking. In *IEEE International Conference on Image Processing*, New York, USA, September 2002.
- [13] MPEG Software Simulation Group (MSSG). *MPEG-2 video codec*. World Wide Web, <http://www.mpeg.org/MPEG/MMSG>.
- [14] M. Swanson, B. Zhu, and A. Tewfik. Multiresolution scene-based video watermarking using perceptual models. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 16(4) :540–550, 1998.