

Insertion d'une palette couleur dans une image en niveaux de gris

Marc CHAUMONT, William PUECH

LIRMM (Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier),
UMR CNRS 5506, Université de Montpellier II,
161, rue Ada, 34392 Montpellier Cedex 05, France.
Marc.Chaumont@lirmm.fr, William.Puech@lirmm.fr

Résumé – Ce papier traite de la protection de l'information couleur d'une image couleur. L'image, dont la couleur est protégée par **insertion de données cachées**, est accessible librement en niveaux de gris et seuls les détenteurs d'une clé secrète peuvent reconstruire l'image couleur. L'approche permet donc de proposer une solution de sécurisation de bases de données images donnant à la fois un accès gratuit à des images en niveaux de gris et un accès sécurisé aux mêmes images en couleur. La contribution principale de ce papier est de modéliser et optimiser une fonctionnelle décrivant le principe de **décomposition d'une image couleur** en une image d'*index* et une palette couleur. Le modèle proposé permet d'obtenir une décomposition en une image d'*index* semblable à l'image de luminance et une palette de couleurs adaptée pour l'insertion de données cachées. L'image d'*index* est visuellement plaisante et l'équilibre qualitatif entre l'image d'*index* et l'image couleur quantifiée est respecté.

Abstract – In this paper, we propose a method to embed the color information of an image in its corresponding grey-level image. The objective of this work is to allow free access to the grey-level image and give color image access to secret key owners. This method is made of two steps which are the color image decomposition (in a grey-level image and its associated color information) and the data-hiding. The main contribution of this paper is the energetic function proposed to model the decomposition of the color image. The optimization of the proposed energetic function leads to the obtention of an *index* image and a color palette. The good properties of that decomposition are an *index* image which is similar to the luminance of the color image and a color palette which is well suit for the data-hiding. The obtained results confirm the model quality.

1 Introduction

Actuellement peu de solutions sécurisées sont proposées pour donner à la fois un accès gratuit à des images de basse qualité et un accès sécurisé aux mêmes images à qualités supérieures. Nous proposons ici une solution à ce problème de sécurisation des bases de données images par l'intermédiaire d'une méthode d'insertion de données cachées. L'image peut être obtenue librement mais sa visualisation à haute qualité exige l'utilisation d'une clé secrète. Plus précisément, dans notre solution l'image en niveaux gris est librement accessible mais seuls les possesseurs d'une clé secrète peuvent reconstruire l'image en couleur. Notre objectif est donc de protéger les informations couleur en incorporant ces informations dans l'image en niveaux de gris¹.

De nombreux travaux stéganographiques proposent de dissimuler dans une image, des données numériques, en utilisant un domaine d'insertion issu de la décomposition

d'une image couleur en une image d'*index* et une palette de couleurs. L'insertion de données est alors effectuée : soit dans l'image d'*index* [1], soit dans la palette de couleurs [2, 3]. Parmi les nombreux travaux du domaine, aucun ne propose de cacher la palette de couleurs dans l'image d'*index* c'est-à-dire de protéger les informations couleur.

Dans [4] nous proposons une première solution pour protéger l'information couleur en cachant la palette de couleurs dans l'image d'*index*. L'approche consistait tout d'abord à décomposer l'image couleur en une image d'*index* et une palette couleur, puis à ordonner les couleurs de la palette et obtenir une image d'*index* proche de l'image de luminance. L'approche proposée dans le présent article utilise le même domaine d'insertion (issu de la décomposition d'une image couleur) mais elle est différente dans le sens où elle repose sur une formulation globale et améliorée du problème et non plus sur une approche sous-optimale.

Dans le domaine du tatouage, les travaux [5, 6, 7] basés sur la décomposition en ondelettes et la substitution de sous-bandes proposent des solutions pour insérer les informations couleur dans une image de niveaux de gris. Leurs domaines de recherche sont la compression perceptive et l'authentification d'image pour [5, 6] et l'impression d'image pour [7]. Même si ces techniques dissimulent l'in-

¹Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet TSAR 2005-2008 (Transfert Sécurisé d'images d'Art haute Résolution) retenu par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) dont l'un des objectifs est de donner un accès limité à la base de données de peintures numériques du Musée du Louvre à Paris.

formation couleur, leur approche et leur but se distinguent clairement de ce qui est exposé dans cet article.

Dans la section 2, nous présentons le modèle énergétique de décomposition d'une image couleur. Nous abordons ensuite, dans la section 3, la méthode d'insertion de la palette couleur dans son image d'*index*. Finalement, dans la section 4 nous analysons les résultats expérimentaux et les comparons à ceux de [4]. Nous concluons alors dans la section 5.

2 Le modèle énergétique

Dans [4] l'approche proposée se décompose en deux étapes successives : une quantification et un réordonnement de la palette des couleurs. La contribution majeure repose sur la définition d'un *algorithme de parcours en couche* dont le but est de parcourir l'espace RGB quantifié pour trouver une palette de couleurs réorganisée. L'approche est extrêmement rapide mais l'image d'*index* obtenue est fortement contrastée.

Dans ce papier, nous proposons une solution pour obtenir une image d'*index* visuellement plus plaisante et donc obtenir un meilleur équilibre qualitatif entre l'image d'*index* et l'image couleur quantifiée. De plus, le problème est mieux modélisé : la quantification de l'image couleur et l'ordonnement de palette de couleurs sont réalisés en une seule étape, la contrainte sur la continuité des couleurs de la palette est plus faible et la solution optimale du modèle énergétique est atteinte et non approchée.

La décomposition d'une image couleur doit respecter les trois contraintes suivantes :

1. l'image d'*index* doit être semblable à l'image de luminance,
2. l'image couleur quantifiée doit être fidèle à l'image couleur originale,
3. la palette couleur doit être composée de couples de couleurs proches.

Mathématiquement cela revient à trouver les $C(k)$ couleurs (C représente la palette de couleurs) avec k appartenant à $[1, K]$ et les valeurs d'appartenance $P_{i,k}$ indiquant le degré d'appartenance d'un pixel i à la $k^{\text{ème}}$ couleur. Notons que les $P_{i,k}$ appartiennent à $[0, 1]$ et sont appelées valeurs d'appartenance floue (*fuzzy membership values*) dans les approches de clustering c-mean flou [8]. Notons également que l'ensemble des $P_{i,k}$ donne indirectement l'image d'*index* telle que : $Index(i) = \arg_k \max_k P_{i,k}$.

Ainsi, nous cherchons à minimiser le modèle énergétique

E pour obtenir $\forall i, \forall k, P_{i,k}$ et $C(k)$:

$$E = \underbrace{\sum_{i=1}^{i=N} \sum_{k=1}^{k=K} P_{i,k}^m (C(k) - I(i))^2}_{\text{premier terme}} + \lambda_1 \underbrace{\sum_{i=1}^{i=N} \sum_{k=1}^{k=K} P_{i,k}^m (Y(i) - k)^2}_{\text{deuxième terme}} + \lambda_2 \underbrace{\sum_{k|k \in [1..K] \text{ and } k \text{ is odd}} (C(k) - C(k+1))^2}_{\text{troisième terme}}, \quad (1)$$

avec I l'image couleur, Y l'image de luminance, λ_1 et λ_2 deux scalaires et $m \in]1, \infty[$ le coefficient flou réglant le degré d'équi-répartition².

Le premier terme exprime la contrainte de quantification couleur. Le but est de trouver les K couleurs les plus représentatives. Le deuxième terme force l'image d'*index* à être la plus proche possible de l'image de luminance Y . Le dernier terme contraint les couples de couleurs de la palette à être proches.

La minimisation de l'équation 1 telle que :

$$\{P_{i,k}, C(k)\} = \arg \min_{\{P_{i,k}, C(k)\}} E, \quad (2)$$

est obtenue en itérant alternativement le calcul des couleurs $C(k)$ et le calcul des valeurs d'appartenance $P_{i,k}$. Cette technique de résolution se retrouve dans les algorithmes de c-mean flou conventionnels. Les couleurs $C(k)$ sont donc mises à jour en figeant les valeurs d'appartenance $P_{i,k}$ et en résolvant le système linéaire suivant :

$\forall k$ impair :

$$(\lambda_2 + \sum_{i=1}^{i=N} P_{i,k}^m) \times C(k) - \lambda_2 \times C(k+1) = \sum_{i=1}^{i=N} P_{i,k}^m I(i),$$

$\forall k$ pair :

$$-\lambda_2 \times C(k-1) + (\lambda_2 + \sum_{i=1}^{i=N} P_{i,k}^m) \times C(k) = \sum_{i=1}^{i=N} P_{i,k}^m I(i). \quad (3)$$

Les valeurs d'appartenance $P_{i,k}$ (avec $m = 2$) sont mises à jour en figeant les $C(k)$:

$$P_{i,k} = \frac{(\sum_{l=1}^{l=K} \frac{1}{2 \times ((C(l) - I(i))^2 + \lambda_1 (Y(i) - l)^2)})^{-1}}{2 \times ((C(k) - I(i))^2 + \lambda_1 (Y(i) - k)^2)}. \quad (4)$$

Les détails mathématiques sont donnés en Annexe.

3 La méthode d'insertion de données cachées

Pour ce papier, nous insérons la palette couleurs dans les bits de poids faibles (*LSB : Least Significant Bit*) des

² m est positionné à 2 pour réduire la complexité calculatoire.

pixels de l'image d'*index* de taille N pixels. La palette de couleur C , c'est-à-dire le message à insérer, est représentée par un vecteur binaire V composé de v bits³ tel que $V = b_1b_2\dots b_v$. Le facteur d'insertion, en *bit/pixel*, est donc $E_f = v/N$. Par conséquent, le facteur d'insertion E_f dépend uniquement de la taille N de l'image d'*index*.

L'image d'*index* est donc divisée en régions de taille $\lfloor 1/E_f \rfloor$ pixels. Un Générateur de Nombre Pseudo-Aléatoire (GNPA) choisit aléatoirement, pour chaque région, *un seul pixel* i comme site d'insertion. Cette procédure de partitionnement garantit une répartition homogène du message sur toute l'image d'*index*. Le LSB du pixel i est alors modifié en fonction du bit b_j à insérer⁴ :

$$Index_V(i) = Index(i) - Index(i) \bmod 2 + b_j,$$

avec $Index_V(i)$ la valeur du pixel i après insertion.

Cette technique d'insertion de la palette de couleurs garantit que chaque pixel marqué est au pire modifié d'un niveau de gris. De plus, le pixel couleur reconstruit est toujours proche de sa couleur originale. En effet, le troisième terme de l'équation 1 impose aux couples de couleur d'être proches.

4 Résultats

Nous avons appliqué notre méthode sur des images couleur de taille 256×256 pixels. Pour toutes les expériences, $\lambda_1 = 1$, $\lambda_2 = 0.01 \times N/(K+1)$ et $m = 2$ (voir équation 1). Les résultats obtenus montrent que l'approche est efficace quel que soit le type d'image (voir PSNR du tableau 1). Ci-dessous, les principales étapes de notre approche sont commentées sur l'image *baboon*⁵.

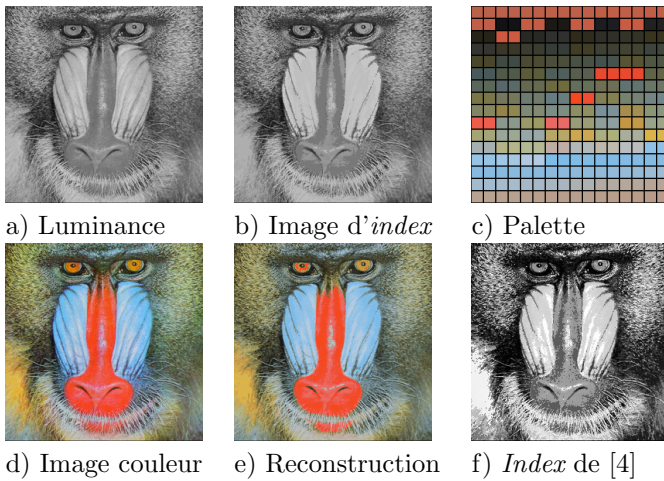


FIG. 1 – Quelques étapes de la sécurisation de la couleur.

Après avoir minimisé l'équation 1 sur l'image *baboon* avec $K = 256$ couleurs nous obtenons une image d'*index*

³ $v = 256$ couleurs \times 3 composantes \times 8 bits = 6144 bits.

⁴La formule est donnée pour des valeurs d'*index* appartenant à $[0, K - 1]$.

⁵Notons que les résultats obtenus sur l'image *baboon* donnent la borne inférieure en terme de qualité PSNR.

(figure 1.b) et sa palette de couleurs (figure 1.c). L'image de luminance est donnée figure 1.a. L'image d'*index* et l'image de luminance sont visuellement similaires et la valeur de PSNR de 27.90 dB confirme ce sentiment. Notons que l'image d'*index* est bien meilleure que celle obtenue dans [4] et représentée figure 1.f. (PSNR = 16.32 dB).

La première étape de la méthode proposée dans [4] est une quantification vectorielle sur $K = 256$ couleurs. Une telle quantification tend à uniformiser la distribution des valeurs *index*; l'histogramme de l'image d'*index* de [4] est donc relativement plat (voir l'histogramme « Index histogram with k-mean » de la figure 2). La similarité avec l'histogramme de luminance est donc faible. Dans la méthode que nous proposons ici, l'intervalle de niveaux de gris et la forme de l'histogramme de l'image d'*index* (figure 2) sont plus proches de l'histogramme de luminance. On peut également remarquer sur l'histogramme d'*index* que de nombreuses valeurs d'*index* sont inutilisées ce qui se traduit par la présence de couleurs inutiles dans la palette de couleurs (figure 1.c). Notons également sur la palette de couleurs de la figure 1.c, que les couples de couleur sont colorimétriquement proche ceci grâce au troisième terme de l'équation 1.

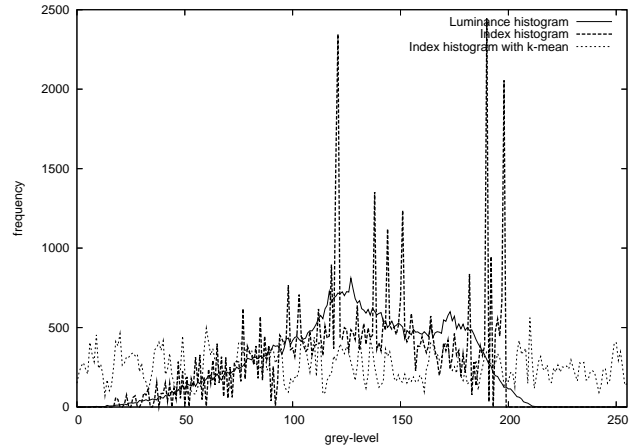


FIG. 2 – Histogrammes.

La longueur du message inséré (la palette de couleurs) est de $v = 6144$ bits ce qui donne un facteur d'insertion pour une image de 256×256 pixels, de $E_f = 6144/(256 \times 256) = 0.093$ bit/pixel. L'image d'*index* est alors partitionnée en blocs de 10 pixels. Dans chaque bloc, un bit de la palette de couleurs est inséré à la position choisie par le GNPA comme expliqué dans la section 3. La sécurité est obtenue par l'utilisation d'une clé secrète de 128 bits comme graine pour le GNPA.

La figure 1.e représente l'image couleur reconstruite à partir de l'image d'*index*-marquée. Cette image est visuellement proche de l'image couleur originale même si la valeur de PSNR de 27.90 dB est faible. Notons que la dégradation de l'image couleur quantifiée due à l'insertion de données cachées (dans l'image d'*index*) est faible car

au pire une couleur est remplacée par une couleur colorimétriquement proche. En effet, la valeur d'*index* est au maximum modifiée d'un niveau et une couleur est remplacée dans ce cas par sa couleur voisine dans la palette de couleurs; cette couleur voisine est par construction colorimétriquement proche (voir troisième terme de l'équation 1).

Quelques valeurs de PSNR sont données dans le tableau 1. Les images couleur reconstruites sont de qualité moyenne (plus de 27 dB), mais visuellement plaisantes. Les valeurs de PSNR pour l'image d'*index*-marqué ont des PSNR supérieurs à 29 dB ce qui est un très bon résultat en comparaison des résultats de [4].

TAB. 1 – Comparaisons des PSNR.

images	PSNR ^{luminance} _(orig.,index-marqué)	PSNR ^{couleur} _(orig.,recons.)
baboon	29.74 dB	27.90 dB
airplane	35.95 dB	33.66 dB
pepper	35.03 dB	31.68 dB
house	35.40 dB	35.45 dB
barbara	34.86 dB	30.74 dB

5 Conclusion

Dans ce papier, nous proposons une méthode pour insérer de manière sécurisée dans une image en niveaux de gris ses informations couleur. Cette méthode repose sur la décomposition d'une image couleur en une image d'*index* et une palette de couleur. L'image d'*index* joue le rôle de l'image de luminance et la palette de couleurs est cachée dans l'image d'*index*. La méthode est composée de deux étapes majeures qui sont : la décomposition de l'image couleur (en une image d'*index* et une palette couleurs) et l'insertion de données cachées. L'originalité de ce papier est de modéliser le problème avec une fonction énergétique et ensuite de la minimiser. Les résultats obtenus montrent une réelle amélioration en comparaison de [4]. Nos travaux futurs traiteront des possibilités de compression et d'insertion de données cachées plus robustes.

Annexe

Calcul des $P_{i,k}$

Sachant que les valeurs d'appartenance doivent appartenir à l'intervalle $[0, 1]$ et que $\forall i \sum_{k=1}^K P_{i,k} = 1$, nous exprimons cette contrainte supplémentaire en ré-écrivant l'équation 1 :

$$E_{mod} = E + \lambda \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K (1 - P_{i,k}).$$

En annulant $\frac{\partial E_{mod}}{\partial P_{i,k}}$ nous pouvons exprimer $P_{i,k}$:

$$P_{i,k} = \frac{\lambda}{2 \times ((C(k) - I(i))^2 + \lambda_1(Y(i) - k)^2)}. \quad (5)$$

Sachant que $\forall i \sum_{k=1}^K P_{i,k} = 1$, nous déduisons alors λ :

$$\lambda = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{2 \times ((C(i) - I(i))^2 + \lambda_1(Y(i) - I(i))^2)}}.$$

L'équation 4 est alors obtenue en substituant λ dans l'équation 5.

Calcul des $C(k)$

En annulant $\frac{\partial E}{\partial C(k)}$, nous pouvons exprimer $C(k)$ par un système linéaire donné à l'équation 3; La matrice A et le vecteur B du système linéaire $A.C = B$ sont donnés ci-dessous :

$$A = \begin{pmatrix} \lambda_2 + \sum_{i=1}^N P_{i,1}^m & -\lambda_2 & 0 & \dots \\ -\lambda_2 & \lambda_2 + \sum_{i=1}^N P_{i,2}^m & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \lambda_2 + \sum_{i=1}^N P_{i,3}^m & \dots \\ 0 & 0 & -\lambda_2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}.$$

$$B = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^N P_{i,1}^m I(i) \\ \sum_{i=1}^N P_{i,2}^m I(i) \\ \dots \\ \sum_{i=1}^N P_{i,K-1}^m I(i) \\ \sum_{i=1}^N P_{i,K}^m I(i) \end{pmatrix}.$$

Références

- [1] J. Fridrich, "A New Steganographic Method for Palette-Based Images," in *Proceedings of the IS&T PICS conference*, Apr. 1998.
- [2] M.-Y. Wu, Y.-K. Ho, and J.-H. Lee, "An Iterative Method of Palette-Based Image Steganography," *Pattern Recognition Letters*, vol. 25, pp. 301–309, 2003.
- [3] C.H. Tzeng, Z.F. Yang, and W.H. Tsai, "Adaptative Data Hiding in Palette Images by Color Ordering and Mapping With Security Protection," *IEEE Transaction on Communications*, vol. 52, no. 5, pp. 791–800, 2004.
- [4] M. Chaumont and W. Puech, "A Color Image in a Grey-Level Image," in *IS&T Third European Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision, CGIV'2006*, Leeds, UK, June 2006, pp. 226–231.
- [5] P. Campisi, D. Kundur, D. Hatzinakos, and A. Neri, "Compressive Data Hiding : An Unconventional Approach for Improved Color Image Coding," *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, vol. 2002, no. 2, pp. 152–163, 2002.
- [6] Y. Zhao, P. Campisi, and D. Kundur, "Dual Domain for Authentication and Compression of Cultural Heritage Images," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 13, no. 3, pp. 430–448, 2004.
- [7] R. de Queiroz and K. Braun, "Color to Gray and Back : Color Embedding Into Textured Gray Images," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 15, no. 6, pp. 1464–1470, 2006.
- [8] J. C. Dunn, "A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters," *Journal of Cybernetics*, vol. 3, pp. 32–57, 1974.