

Stéganographie d'images couleur dans l'espace $L^*a^*b^*$ par modulation de distance

Gaël CHAREYRON¹, Dinu COLTUC², Alain TRÉMEAU¹

¹Laboratoire LIGIV - Université Jean Monnet
10 rue Barrouin, 42000 Saint Etienne, France

²Laboratoire FIE - Université Valahia Targoviste
BP 16-296, Bucarest, Roumanie
chareyron@ligiv.org, tremeau@ligiv.org
coltuc@valahia.ro

Résumé – Dans ce papier, nous proposons une nouvelle approche de stéganographie vectorielle afin de cacher un message dans une image couleur par modulation de distances dans l'espace $L^*a^*b^*$. Afin de minimiser les artefacts visuels, nous introduisons une méthode qui permet de moduler la force de l'insertion en fonction d'un critère d'invisibilité donné. Le principal atout de cette approche est de pouvoir marquer une image couleur avec un message d'au moins 8 bits par pixel sans diminuer la qualité de l'image résultante.

Abstract – In this paper, we propose a vectorial approach of steganography in order to hide a message in a color image by modulation of distances computed in the $L^*a^*b^*$ color space. In order to minimize the visual artefacts, we introduce a method which enables to modulate the weight of the embedding in function of a given invisibility criteria. The main interest of this approach is to be able to watermark a color image with a message with at least 8 bits per pixel without decreasing the quality of the resulting image.

1 Introduction

Dans ce papier nous nous intéressons au problème de cacher un message dans une image couleur par modulation de distances dans l'espace $L^*a^*b^*$. Alors que les méthodes usuelles séparent les trois plans couleurs et utilisent une approche scalaire pour insérer le message afin de minimiser les artefacts visuels [6, 4, 5, 3, 1], nous proposons une approche vectorielle qui permet de moduler la force de l'insertion en fonction d'un critère d'invisibilité donné. L'idée est d'insérer une signature en chacun des pixels à partir du calcul de la distance couleur qui sépare chaque paire de 2 pixels consécutifs définie par une clé secrète. L'extension à des groupes de p pixels est également abordée. Cette signature repose sur une sélection de couleurs qui vérifient une certaine contrainte liée à la minimisation de l'écart couleur qui sépare la couleur d'origine de la nouvelle couleur. Le principal atout de cette approche, confirmé par plusieurs séries de tests, est que l'on peut notamment marquer une image couleur avec un message d'au moins 8 bits par pixel sans diminuer trop significativement la qualité de l'image résultante.

2 Principe du schéma d'insertion

La technique d'insertion que nous proposons consiste à insérer un message dans un ensemble donné de n groupes de p pixels consécutifs. Afin d'illustrer la capacité des divers schémas d'insertion qui peuvent être définis selon cette approche, nous avons choisi de présenter différentes stratégies basées sur le marquage d'une suite donnée de couples de pixels (i.e. $p = 2$).

Afin d'avoir un certain niveau de sécurité, nous proposons

de sélectionner à partir d'une clé secrète l'ensemble des $n \times p$ pixels à marquer. En effet, un très grand nombre de partitions en groupes de p pixels peut être défini pour un ensemble donné de n groupes. Par contre, l'ordre dans lequel sont traités ces p pixels à l'intérieur de chaque groupe n'a pas de répercussions sur le nombre de combinaisons. Cette clé a pour principale fonction de définir le chemin qui aura été suivi dans l'image afin de marquer celle-ci. Différentes possibilités peuvent bien entendu être utilisées afin de constituer cet ensemble, par exemple une suite chaînée de n groupes consécutifs ou un ensemble donné aléatoire de n groupes indépendants. Nous avons considéré que le cardinal de l'ensemble des n groupes de p pixels consécutifs à marquer devait être égal au nombre P de pixels de l'image, et que tout pixel devait contribuer à p groupes afin que la capacité du schéma d'insertion soit maximal.

Soit I le tableau, de dimension $n \times p$, des pixels qui auront été marqués. Notons $j = 1, \dots, n \times p$ l'indice de parcours du tableau I . Considérons à titre d'exemple le cas d'une liste chaînée avec $p = 2$, alors tout pixel P_i recensé dans le groupe j doit nécessairement être également recensé dans le groupe $j - 1$. Enfin notons également C la palette des couleurs de l'image d'origine.

Le principe que nous avons utilisé consiste à calculer dans un premier temps la distance couleur qui sépare ces p pixels, puis d'utiliser une fonction de modulation sur cette distance afin de modifier ces pixels.

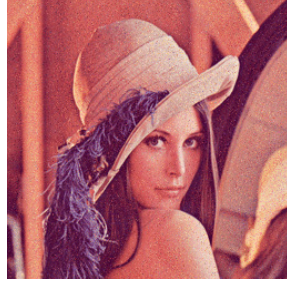
L'espace de travail dans lequel le calcul des distances couleur est effectué est l'espace $L^*a^*b^*$, ce dernier étant par définition plus à même (au sens de la perception visuelle) de décrire correctement de petites différences de couleur [7].

2.1 Cas où $p = 2$

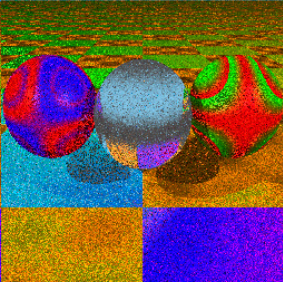
Pour illustrer l'approche que nous avons développée, illustrons tout d'abord un des cas d'étude les plus simples; celui de l'insertion à la chaîne de deux pixels consécutifs pour lequel chaque pixel est marqué en fonction de son prédécesseur.



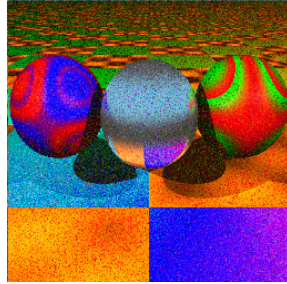
(a) Insertion d'un message sans ajout de couleurs (PSNR=29,06).



(b) Insertion d'un message avec ajout de couleurs (PSNR=30,86).



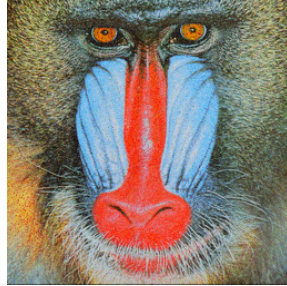
(c) Insertion d'un message sans ajout de couleurs (PSNR=18,12).



(d) Insertion d'un message avec ajout de couleurs (PSNR=23,02).



(e) Insertion d'un message sans ajout de couleurs (PSNR=28,10).



(f) Insertion d'un message avec ajout de couleurs (PSNR=30,77).

FIG. 1: Comparaison de la qualité de l'image obtenue sans insertion de nouvelles couleurs ou avec (boite $3 \times 3 \times 3$), pour un message de 8 bpp.

Considérons dans un premier temps que nous voulons insérer un message m de longueur $\log_2 M$ bits (e.g. 8 bits pour $M = 256$) entre un pixel donné P_i et le pixel suivant P_{i+1} . Notons \vec{O}_i la couleur du pixel P_i dans l'image d'origine et \vec{M}_i la couleur modifiée après marquage. Notons $\Delta E_{ab}(\vec{O}_i, \vec{M}_i)$

l'écart couleur entre la couleur d'origine du pixel P_i et sa nouvelle couleur après marquage. Cette distance est calculée dans l'espace couleur $L^*a^*b^*$ à partir de la formule CIE 1976 ΔE_{ab} [7].

Pour chaque pixel P_i , il est possible de trouver une couleur pour laquelle :

$$\left[\Delta E_{ab}(\vec{O}_i, \vec{M}_i) \times c \right] \bmod M = m \quad (1)$$

où $[\cdot]$ représente la fonction partie entière et c est une constante d'échelle.

Le schéma d'insertion que nous avons développé consiste à marquer chaque pixel P_{i+1} de chaque couple de pixels (P_i, P_{i+1}) , de façon à ce que tous les pixels de l'image soient marqués une et une seule fois.

Pour se faire deux stratégies peuvent être utilisées.

La première stratégie consiste à rechercher parmi l'ensemble C la couleur \vec{M} qui vérifie l'expression (1), puis à changer la couleur du pixel P_{i+1} par cette valeur, i.e. $\vec{M}_{i+1} = \vec{M}$. Cette méthode permet de ne pas accroître le nombre de couleur de l'image générée tout en conservant la palette des couleurs de l'image originale.

La deuxième stratégie consiste à :

1. générer, dans l'espace des couleurs $L^*a^*b^*$, un boîte englobante (e.g. un cube) centré sur la couleur \vec{O}_{i+1} du pixel P_{i+1} ,
2. rechercher dans cette boîte englobante la couleur \vec{M} qui vérifie l'expression (1),
3. changer la couleur du pixel P_{i+1} par cette valeur, i.e. $\vec{M}_{i+1} = \vec{M}$.

Cette méthode réduit le champ d'investigation à un ensemble de couleurs plus cohérentes, ce qui revient à minimiser la perte de qualité résultante, au dépend éventuellement d'une augmentation du nombre de couleurs.

Quelque soit la stratégie utilisée, nous pouvons être confronté à la situation où plusieurs couleurs \vec{M} satisfont aux conditions que l'on s'est fixé. Nous avons donc établi une contrainte supplémentaire qui consiste à ne retenir que le candidat qui minimise la distance $\Delta E_{ab}(\vec{O}_{i+1}, \vec{M}_{i+1})$.

Dans l'hypothèse ou aucune couleur \vec{M} ne satisfait aux conditions que l'on s'est fixé, cas qui ne peut se produire que dans le cadre de la seconde stratégie, il suffit alors d'augmenter la taille de la boîte englobante jusqu'à obtenir au moins un candidat.

Ce processus est itéré tant que la liste du tableau I n'est pas entièrement parcourue, afin de marquer tous les pixels de l'image. A l'itération $i + 1$ le pixel P_{i+1} devient pixel pivot, il n'est alors pas modifié, par contre le pixel P_{i+2} est à son tour modifié en fonction de la couleur d'origine \vec{O}_{i+1} du pixel P_{i+1} .

Les deux stratégies de marquage que nous avons proposé ne présentent pas les mêmes avantages. La première permet de ne pas rajouter de nouvelles couleurs à l'image, ce qui permet de garder un nuage couleur, une palette de couleurs, sensiblement identique à l'image originale. A contrario, la seconde stratégie permet la création de nouvelles couleurs qui vont perturber plus ou moins fortement le nuage couleur, tout en assurant une meilleure invisibilité perceptuelle de la marque (cf. images de la colonne de gauche/colonne de droite dans la Fig. 1). Plus les boîtes englobantes sont denses, i.e. plus il y a de candidats qui à la fois appartiennent à l'ensemble C et aux boîtes englobantes, plus le nuage couleur reste stable. A titre d'exemple, à l'inverse

des images « Lena » et « Mandrill » pour lesquels la distribution des couleurs est dense, l'image « Balls » est constituée de couleurs clairsemées.

Etant donné que l'on insère un message de taille $\log_2 M$ dans chaque pixels, i.e. dans P pixels, la capacité du schéma est égal à $\log_2 M$ bpp.

2.2 Cas où $p > 2$

Dans le cas où $p > 2$, la capacité de l'image support diminue. Néanmoins l'utilisation d'un nombre de pixels plus important permet de diluer encore plus la signature dans l'image. Toute la difficulté consiste à définir un mode de marquage des pixels qui permet d'optimiser la qualité d'image tout en préservant la capacité.

3 Principe de détection, cas où $p = 2$

La détection du message s'effectue grâce à la clé secrète qui nous permet de retrouver dans quel ordre les pixels de l'image ont été marqués. Nous pouvons alors reconstituer le tableau I des couples de pixels marqués, puis à partir de l'expression $\Delta E_{ab}(O_{i+1}, \vec{M}_{i+1})$ retrouver le message m qui a été inséré en chaque pixel P_{i+1} . L'intégralité du message est alors décodé lorsque tous les pixels de l'image ont été parcourus, i.e. tous les couples de pixels du tableau I .

4 Evaluation de la capacité et de la qualité

Afin de tester la capacité et de cette méthode, nous avons testé différentes tailles de message. Dans ce papier nous avons choisi de présenter quelques résultats illustratifs calculés à partir d'images tests de taille 512×512 . Afin de tester l'invisibilité de l'insertion du message nous avons calculé tout d'abord le PSNR (cf. Fig. 2), puis le ΔE_{ab} moyen entre l'image d'origine et l'image marquée, ainsi que l'écart type associé (cf. Fig. 3). Les résultats que l'on a obtenu confirment que la mesure du ΔE_{ab} moyen est plus pertinente que la mesure du PSNR pour décrire la perte de qualité visuelle générée par un processus donné [2].

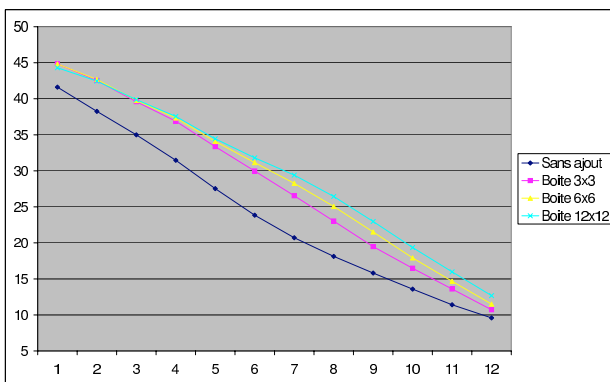
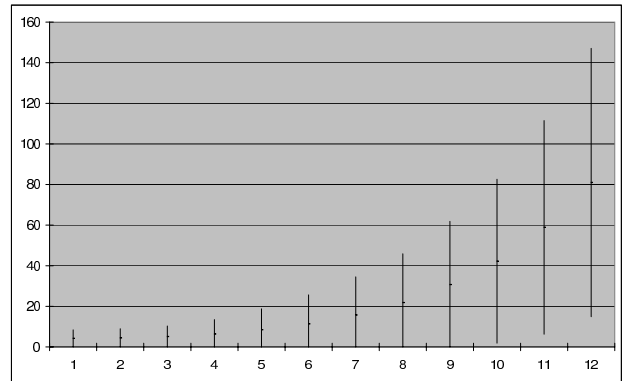
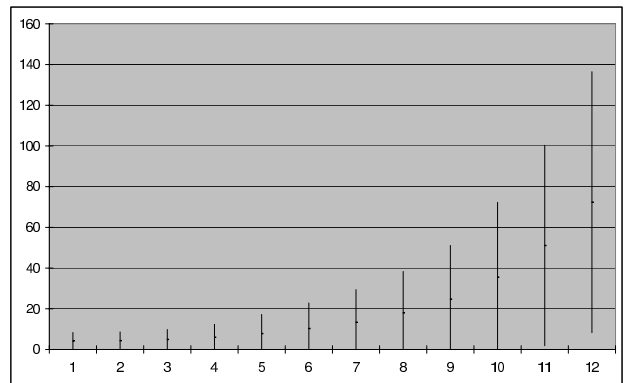


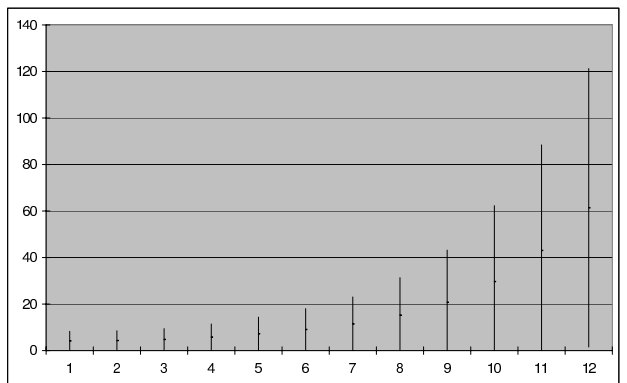
FIG. 2: Evolution du PSNR en fonction de la quantité d'information insérée.



(a) Pour une boîte englobante $3 \times 3 \times 3$.



(b) Pour une boîte englobante $6 \times 6 \times 6$.

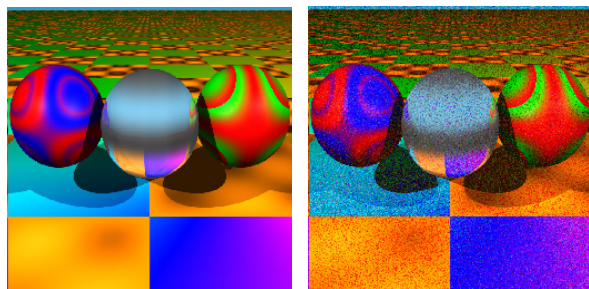


(c) Pour une boîte englobante $12 \times 12 \times 12$.

FIG. 3: Evolution du ΔE_{ab} moyen et de l'écart type associé en fonction de la quantité d'information insérée, pour différentes tailles de boîtes englobantes.

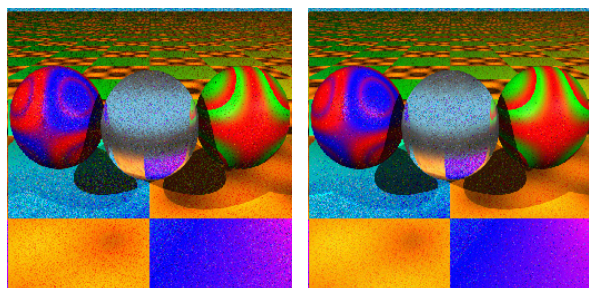
Nous avons ainsi inséré entre 1 bit/pixel et 12 bit/pixels. Nous avons également utilisé des boîtes englobante de taille $3 \times 3 \times 3$ à $12 \times 12 \times 12$ dans l'espace des couleurs $L^*a^*b^*$ (cf Fig. 4). Au-delà d'une certaine taille, en l'occurrence $9 \times 9 \times 9$, tout ajout de couleurs devient perceptible, d'autant plus perceptible quand il intervient dans une zone localement homogène.

Afin de rester dans le cadre d'une relative invisibilité de la marque, nous n'avons pas considéré des boîtes englobantes de plus grande taille.



(a) Image «Balls»

(b) Insertion d'un message avec ajout de couleurs (PSNR=23,02), avec une boîte $3 \times 3 \times 3$.



(c) Insertion d'un message avec ajout de couleurs (PSNR=25,06), avec une boîte $6 \times 6 \times 6$.

(d) Insertion d'un message avec ajout de couleurs (PSNR=26,44), avec une boîte $12 \times 12 \times 12$.

FIG. 4: Qualité de l'image obtenue en fonction de la taille de la boîte englobante, pour un message de 8 bpp.

A supposer qu'aucune boîte englobante de taille inférieure à $9 \times 9 \times 9$ centrée en une couleur donnée, ne satisfait aux conditions que l'on s'est fixé (dans le cadre de la seconde stratégie pour l'insertion du message), nous avons pris le parti de nous replacer dans le cadre de la première stratégie, i.e. d'étendre la recherche à l'ensemble C de toutes les couleurs de l'image originale.

La Figure 2 permet d'analyser comment varie le PSNR en fonction de la taille du message à insérer et de la taille des boîtes englobantes. On constate que, pour de petites capacités, plus la taille de la boîte englobante est importante moins le PSNR est bon. Par contre, pour de plus grandes capacités, la qualité devient meilleure. En effet, plus la boîte englobante est de taille importante plus on s'éloigne des couleurs originales de l'image d'où un PSNR moins bon pour les petites capacités. En conséquence, si l'on veut éviter l'apparition de fausses cou-

leurs particulièrement visibles, il ne faut pas utiliser des boîtes englobantes de taille supérieure à du $9 \times 9 \times 9$.

De même, plus la longueur du message inséré dans l'image est important plus la qualité de l'image résultat diminue. Cela étant, si l'on veut éviter une perte de qualité trop importante (e.g. un PSNR inférieur à 30), la méthode proposée ne permet pas d'aller au-delà d'un message de taille 10 bpp, ce qui en soit est déjà conséquent. Au delà de 10 bpp le message est déformé. On ne trouve pas toujours un couple de couleur qui permet l'insertion du message.

5 Conclusion

Nous avons présenté une méthode de tatouage d'image couleur haut débit orienté vers la stéganographie et l'authentification d'image. Cette méthode permet une meilleure invisibilité du tatouage qu'une méthode traditionnelle utilisant une séparation des trois composantes. Les deux stratégies présentées permettent de contrôler le nombre de couleurs de l'image finale afin de passer inaperçu aux techniques de détection statistique.

Des travaux sont en cours pour généraliser cette approche à des groupes de p pixels ($p > 2$) de façon à minimiser plus encore la perte de qualité résultante, i.e. de lisser spatialement le bruit résultant qui se superpose à l'image.

Références

- [1] J. Fridrich, R. Du, and M. Long. Steganalysis of lsb encoding in color images. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2000.
- [2] D. Coltuc G. Chareyron and A. Trémeau. Watermarking and authentication of color images based on segmentation of the xyy color space. In *to be published in JIST*, 2005.
- [3] N. Memon I. Avcibas and B. Sankur. Steganalysis using image quality metrics. In *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 12, pages 221–229, 2003.
- [4] M. Goljan J. Fririch and R. Du. Reliable detection of lsb steganography in color and grayscale images. In *Proceedings of the ACM Workshop on Multimedia and Security*, pages 27–30, 2001.
- [5] E. Kawaguchi M. Niimi, H. Noda and R. O. Eason. Luminance quasi-preserving color quantization for digital steganography to palette-based images. In *Proceedings of IC-PR'02, Vol. 4*, page 102252, 2002.
- [6] D. Hatzinakos P. Campisi, D. Kundur and A. Neri. Compressive data hiding: An unconventional approach for improved color image coding. In *JASP vol 2*, pages 152–163, 2002.
- [7] A. Trémeau, C. Fernandez-Maloigne, and P. Bonton. *Images Couleur : de l'acquisition au traitement*. Dunod, 2004. Collection Science Sup.