

Amélioration de l'invisibilité par adaptation de la quantification aux données à insérer.

Jean - Luc TOUTANT, William PUECH, Christophe FIORIO

LIRMM

161 rue Ada, 34392 Montpellier Cedex 5, France

toutant@lirmm.fr, puech@lirmm.fr, fiorio@lirmm.fr

Résumé – Cet article présente une amélioration pour les méthodes d'insertion de données basées sur la DCT : l'adaptation de la quantification à l'insertion de données cachées. Les méthodes actuelles n'intègrent l'information secrète qu'après l'étape de quantification de la compression JPEG. La robustesse au format JPEG est bien obtenue, mais l'image subit deux pertes d'information successives : la quantification et l'insertion des données. En adaptant la quantification au message secret, nous réduisons les variations induites et donc, améliorons la qualité de l'image compressée et marquée vis-à-vis de l'originale.

Abstract – This paper presents an improvement for DCT-based data-hiding methods : embedding bits during quantization. Current methods embed the secret information after the quantization of the JPEG compression. The robustness to JPEG is obtained but the image undergoes two successive losses of information: the quantization and the data-hiding. By taking into account the hidden bit in the quantization, we reduce the induced variation and so, improve the quality of the stego-image relatively to the original one.

1 Introduction

Dans cet article, nous proposons une amélioration pour les méthodes d'insertion de données basées sur la compression JPEG. Elle s'applique aux méthodes procédant par substitution des bits de poids faibles (LSBs) des coefficients DCT.

Actuellement, la quantification et l'insertion de données sont des étapes bien distinctes. L'image subit donc deux dégradations successives.

En intégrant l'information pendant la quantification, nous réduisons la dégradation finale. Pour cela, nous minimisons l'approximation faite par la quantification en fonction des données à insérer. La qualité visuelle de l'image compressée et marquée est ainsi améliorée.

Nous commencerons par nous intéresser à la compression JPEG et aux méthodes d'insertions de données basées sur la DCT. Nous présenterons ensuite l'amélioration de la qualité visuelle avant d'illustrer notre propos par une application sur la méthode *Jpeg/Jsteg*.

2 La compression JPEG

Avec le développement des réseaux, la compression est devenue un point essentiel pour garantir des transmissions rapides. Le format JPEG [1], basé sur la Transformée Cosinus Discrète (DCT), est le standard actuel de compression pour les images. Les méthodes d'insertion de données se doivent d'y être robustes.

La compression JPEG se décompose en différentes étapes présentées figure 1 : la transformation du domaine spatial à un domaine fréquentiel, la quantification et le codage entropique. C'est une méthode de compression avec pertes puisque la quantification dégrade le contenu de l'image.

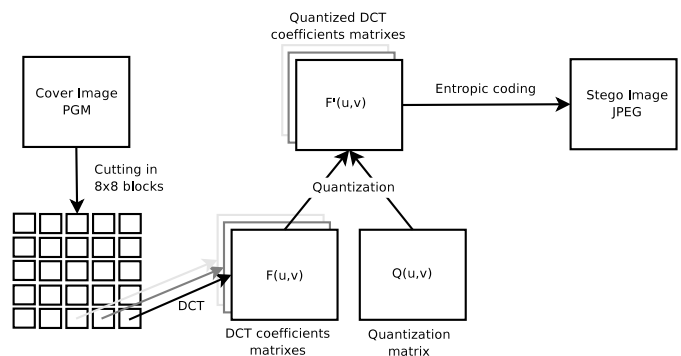


FIG. 1 – Le processus de compression JPEG.

Au préalable, pour réduire la complexité des calculs en espace et en temps, l'image est divisée en blocs de 8×8 pixels qui seront traités séparément.

Ensuite, l'image est transformée de sa représentation initiale, une matrice de pixels, à sa décomposition en une somme de fréquences. À partir de chaque bloc de 8×8 pixels, une matrice 8×8 est déterminée par la DCT. Un couple de coordonnées (u, v) définit alors une fréquence et la valeur associée dans la matrice, appelée coefficient DCT et notée $F(u, v)$, correspond à son amplitude. L'ensemble de ces valeurs constituent les coefficients DCT.

Les basses fréquences sont localisées dans le coin supérieur gauche et les hautes fréquences dans le coin inférieur droit.

La deuxième étape, où se produit la perte d'information, est la quantification. Chaque coefficient DCT, $F(u, v)$, est réduit par un facteur de quantification, $Q(u, v)$, dépendant de ses coordonnées dans la matrice, c'est-à-dire de la fréquence. Ces facteurs forment la matrice de quantification. La même est utilisée pour le traitement de tous les blocs 8×8 issus de l'image.

Le résultat est une nouvelle matrice, d'entiers, les coefficients DCT quantifiés, $F'(u, v)$. Le but est de créer un maximum de redondance, notamment un grand nombre de valeurs nulles. La matrice de quantification s'appuie sur une matrice standard et le facteur de qualité de la compression JPEG. Ce facteur détermine la qualité relativement à l'image originale. Il amplifie ou réduit les valeurs des facteurs de quantification pour augmenter ou diminuer les dégradations.

Enfin, le codage entropique compresse l'image. En utilisant le code de Huffman, les coefficients DCT quantifiés sont transformés en une forme plus compacte. En particulier, les coefficients nuls créés par la quantification améliorent grandement le taux de compression.

3 Insertion de données basée sur la DCT

La stéganographie désigne la dissimulation d'une information dans un autre support. Elle possède trois grandes caractéristiques qui dirigent ses utilisations : la robustesse, l'invisibilité et la capacité. La robustesse assure que l'information secrète ne peut pas être détruite sans dégrader fortement l'image. L'invisibilité vise à ce que l'image ne soit pas perturbée par l'information secrète. La capacité définit la quantité d'information qui peut être intégrée dans le support.

Ces trois caractéristiques sont en relation étroite et inverse. Par exemple, l'amélioration de la capacité a généralement une influence négative sur la robustesse.

L'insertion de données nécessite une bonne invisibilité et une grande capacité. Elle s'oppose au tatouage (watermarking), par exemple, qui propose une grande robustesse pour un message très court, d'une centaine de bits. Elle ne peut pas prétendre à la même robustesse et à répondre à des attaques ciblées. Par contre, il est intéressant qu'elle supporte des manipulations plutôt courantes sur les images, comme la compression.

En général, la robustesse à la compression JPEG s'obtient en travaillant dans le même domaine fréquentiel, celui de la DCT. Les méthodes d'insertion de données existantes suivent ce principe.

3.1 Méthodes existantes

L'insertion de données dans les composantes continues (DC) se base sur la connaissance de l'influence de cette composante : elle est proportionnelle à la moyenne de l'intensité des pixels du bloc. L'insertion d'un bit secret par substitution du LSB de la composante continue conduit donc à des modifications bien définies.

Cette méthode possède deux avantages : sa simplicité et sa robustesse. Au contraire, sa capacité est médiocre puisque seul un bit est intégré dans chaque bloc de 8×8 pixels. Les données insérées ne peuvent dépasser 0.19% de la taille de l'image. C'est ce point que les méthodes suivantes cherchent à améliorer.

La méthode Jpeg/Jsteg [2] étend l'idée précédente à tous les coefficients DCT de valeur absolue supérieure à 1. La restriction sur le choix des coefficients préserve les valeurs nulles pour conserver une bonne compression.

Cette méthode est basée sur le contenu de l'image. En effet, un bloc homogène contient peu de coefficients non nuls et intégrera moins de données qu'un bloc hétérogène qui contient de tels coefficients en plus grand nombre. Ce principe coïncide avec un constat évident sur le système visuel humain (SVH) : les modifications sont moins visibles dans les zones hétérogènes que dans les zones homogènes.

Le principal point négatif de cette méthode reste l'incertitude sur la capacité. Elle peut varier de 0% (pour une image homogène de gris moyen) à 12,5% de la résolution de l'image. Elle reste néanmoins supérieure à la capacité de l'insertion de données dans la composante DC pour des images réelles. Comme la quantité d'information insérée est plus importante, la méthode s'avère aussi moins robuste.

L'insertion de données par modification de la matrice de quantification [3]. En fonction du facteur de qualité choisi pour la compression JPEG, la variation d'un coefficient DCT quantifié peut conduire à d'importants changements dans l'image. Cette méthode d'insertion de données propose de choisir des coefficients qui ne seront pas quantifiés et pourront intégrer l'information sans dégrader l'image. La capacité est connue à l'avance et dépend simplement du nombre de coefficients non quantifiés. La méthode originale s'appuie sur 26 coefficients choisis parmi les moyennes fréquences dans chaque bloc. Elle insère deux bits secrets par substitution sur les deux LSBs. La capacité atteint alors 10.16% de la taille de l'image.

La matrice de quantification est présente dans le fichier compressé JPEG pour reconstruire l'information. L'invisibilité n'est pas entièrement satisfaisante puisqu'il suffit de relire ce fichier pour détecter l'utilisation de la méthode.

L'insertion de données adaptée au SVH exploite plus significativement que la méthode Jpeg/Jsteg les carences visuelles de l'oeil humain [4]. L'idée est, là encore, d'insérer plus de données dans les régions hétérogènes. La première étape consiste justement à trier les blocs 8×8 de l'image selon ce critère. Ensuite, les données sont intégrées dans les mêmes coefficients que pour le Jpeg/Jsteg. Seulement, ce n'est plus un seul, mais plusieurs bits qui peuvent être intégrés en fonction de l'homogénéité du bloc. La capacité est améliorée comparativement au Jpeg/Jsteg, mais reste dépendante de l'image.

3.2 Point commun de ces méthodes : insertions de données par substitution après la quantification

Les méthodes présentées sont assez dissemblables, elles reflètent différentes approches, basées ou non sur le SVH, s'appuyant sur des coefficients DCT différents. Néanmoins, toutes ces méthodes insèrent les données après la quantification, comme présenté figure 2, et par substitution des LSBs. Cette substitution peut être formalisée par l'équation suivante (uniquement pour le LSB) :

$$F'_1(u, v) = F'(u, v) - F'(u, v) \% 2 + b_t, \quad (1)$$

où $x \% y$ est le reste de la division entière de x par y , et b_t , le bit à insérer.

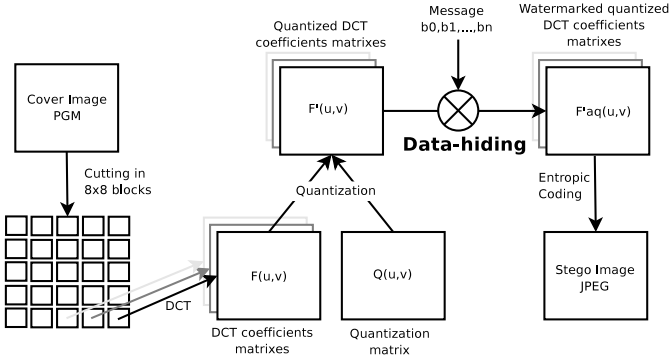


FIG. 2 – Insertion de données après quantification.

Cette approche est la plus simple, mais elle ajoute une perte d'information supplémentaire au processus de compression : l'insertion des données cachées.

4 Quantification adaptée aux données à insérer

En groupant les deux pertes d'information, la quantification et l'insertion de données, nous contrôlons mieux la perte finale et pouvons la réduire substantiellement.

4.1 Principes

Après la quantification, si le bit secret est différent du LSB, deux entiers sont à considérer : celui juste supérieur et celui juste inférieur au coefficient DCT quantifié. Il est impossible de les départager puisqu'ils sont à même distance de la valeur entière actuelle. La substitution est alors le choix arbitraire de l'un d'entre eux, en l'occurrence, celui qui conduira à ne pas modifier les autres bits du coefficient.

Au contraire, avant quantification, un coefficient DCT est une valeur flottante. Nous pouvons alors évaluer l'entier le plus proche qui conduira à un coefficient DCT quantifié possédant le bit secret comme LSB. Ce choix va réduire l'approximation globale.

Cette explication est valable pour le LSB et s'étend facilement à des substitutions sur plusieurs LSBs. Elle se formalise par les équations suivantes (toujours pour le LSB) :

$$F'_2(u, v) = \begin{cases} \left\lfloor \frac{F(u, v)}{Q(u, v)} \right\rfloor & \text{si } \left\lfloor \frac{F(u, v)}{Q(u, v)} \right\rfloor \% 2 = b_t \\ \left\lceil \frac{F(u, v)}{Q(u, v)} \right\rceil & \text{si } \left\lceil \frac{F(u, v)}{Q(u, v)} \right\rceil \% 2 = b_t \end{cases} \quad (2)$$

Exemple

- Bit secret : $b_t = 1$,
- valeur du coefficient : $F(u, v) = 96$,
- facteur de quantification associé au coefficient : $Q(u, v) = 10$,
- Valeur du coefficient quantifié : $F'(u, v) = \left\lfloor \frac{96}{10} \right\rfloor = 10$.

Avec l'approche usuelle, la valeur du coefficient quantifié intégrant le bit serait : $F'_1(u, v) = 11$.

Les deux valeurs les plus proches du coefficient DCT qui conduisent à des valeurs entières après quantification sont 90 et 100. Nous choisissons la valeur qui, après quantification, aura son LSB égal à b_t , le bit secret. Nous avons alors pour l'approche par adaptation de la quantification :

$$F'_2(u, v) = 9.$$

Les deux approches conduisent à des résultats différents. Adapter la quantification conduit à une valeur plus proche de la valeur flottante du coefficient DCT quantifié, 9.6.

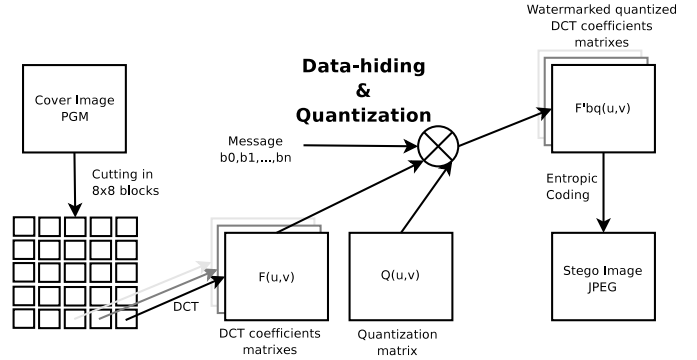


FIG. 3 – Adaptation de la quantification aux données à insérer.

L'adaptation de la quantification aux données à insérer est illustrée figure 3.

4.2 Résultats théoriques

4.2.1 Domaine fréquentiel

Encore une fois, nous ne prenons en compte que le LSB. Les différents cas sont présentés dans le tableau 1 : l'adaptation de la quantification est toujours au moins aussi performante que l'insertion après quantification. Les coefficients DCT quantifiés sont moins modifiés et l'image moins perturbée.

4.2.2 Domaine Spatial

Les résultats dans le domaine fréquentiel attestent d'une meilleure conservation de l'image avec l'adaptation de la quantification, mais sans information quantitative sur ce gain. Les résultats dans le domaine spatial, c'est-à-dire, sur les variations d'intensités des pixels, vont combler cette lacune. Nous nous intéressons donc à deux indicateurs, l'Erreur Quadratique Moyenne (EQM) et le Pic du Rapport Signal à Bruit (PSNR). C'est principalement le PSNR qui nous intéresse, mais la EQM est nécessaire pour l'utiliser.

L'EQM, pour un support de taille $N \times N$, peut être exprimée par :

$$EQM = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (p(i, j) - p'(i, j))^2}{N^2}, \quad (3)$$

où $p(i, j)$ et $p'(i, j)$ sont respectivement l'intensité du pixel (i, j) de l'image originale et de l'image marquée,

TAB. 1 – Comparaison des variations induites entre l’insertion de données après ou pendant la quantification.

$\left[\frac{F(u,v)}{Q(u,v)} \right]$	$\left[\frac{F(u,v)}{Q(u,v)} \right]$				$\left[\frac{F(u,v)}{Q(u,v)} \right]$			
$\left[\frac{F(u,v)}{Q(u,v)} \right] \%2$	0		1		0		1	
b_t	0	1	0	1	0	1	0	1
Après la quantification : $ \Delta F_1'(u,v) $	δ	$1 - \delta$	$1 + \delta$	δ	$1 - \delta$	$2 - \delta$	δ	$1 - \delta$
Pendant la quantification : $ \Delta F_2'(u,v) $	δ	$1 - \delta$	$1 - \delta$	δ	$1 - \delta$	δ	δ	$1 - \delta$
Gain : $ \Delta F_1'(u,v) - \Delta F_2'(u,v) $	0	0	2δ	0	0	$2 - 2\delta$	0	0

δ , partie flottante de $\frac{F(u,v)}{Q(u,v)}$: $\delta = \frac{F(u,v)}{Q(u,v)} - \left\lfloor \frac{F(u,v)}{Q(u,v)} \right\rfloor$

et le PSNR par :

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{EQM}. \quad (4)$$

Le PSNR donne une idée de la qualité objective par rapport à l’image originale. Plus il est élevé, plus l’image marquée et l’originale sont proches.

Des résultats théoriques sont difficiles à obtenir. Ils sont très dépendants du contenu de l’image et nécessitent de trouver les modélisations probabilistiques adaptées. Nous ne nous attardons pas sur cette partie et l’illustrerons plutôt par des résultats pratiques.

4.3 Application à la méthode Jpeg/Jsteg


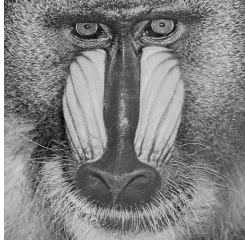

<p>lena</p>  <p>PSNR(o) = 50.94 dB PSNR(m) = 52.49 dB gain=3%</p>	<p>baboon</p>  <p>PSNR(o) = 50.28 dB PSNR(m) = 52.17 dB gain=3.6%</p>
<p>boat</p>  <p>PSNR(o) = 51.45 dB PSNR(m) = 52.77 dB gain = 2.6%</p>	<p>girl</p>  <p>PSNR(o) = 51.55 dB PSNR(m) = 52.91 dB gain = 2.6%</p>

FIG. 4 – Comparaison de la qualité pour des images marquées obtenues avec Jpeg/Jsteg (o) et Jpeg/Jsteg adaptatif (m) pour un facteur de qualité de 100%.

Nous avons implémenté les différentes méthodes en adaptant la quantification aux données à insérer. Les résultats pour le Jpeg/Jsteg sont présentés figure 4. Pour chaque image, avec un facteur de qualité de 100%, le gain est conséquent et dépasse les 2,5%.

Les résultats sont similaires pour les autres méthodes : la qualité visuelle objective est améliorée.

Il est important de noter que le facteur de qualité de la compression JPEG joue un rôle important. Si il est élevé, les erreurs induites par la quantification reste faible et le gain obtenu est visible. Au contraire, si il est faible, le gain est réduit par le bruit trop important généré par la quantification : pour la méthode Jpeg/Jsteg, avec un facteur de qualité de 50%, le gain chute à moins de 1%.

5 Conclusion

Nous proposons une amélioration pour les méthodes d’insertion de données basées sur la DCT. Au lieu d’être intégrée après la quantification et par simple substitution, l’information à insérer guide la quantification. La qualité visuelle est améliorée dans des proportions dépendantes du facteur de qualité de la compression JPEG.

Nous avons présenté des résultats et des applications uniquement pour la substitution du LSB, mais ils peuvent facilement être étendus à la substitution sur les LSBs.

Références

- [1] G. Wallace. *The JPEG still picture compression standard*. Communication of the ACM, Apr. 1991, volume 34(4), pp 31-44.
- [2] C.-T. Hsu et J.-L. Wu. *Hidden Digital Watermarks in Images*. IEEE Transaction on Image Processing, 1999, volume 8, pp 58-68.
- [3] C.-C. Chang, T.-S. Chen et L.-Z. Chung. *A Steganographic Method Based upon JPEG and Quantization Table Modification*. Information Sciences, 2002, volume 141, pp 123-138.
- [4] H.-W. Tseng and C.-C. Chang. *High Capacity Data Hiding in JPEG-Compressed Images*. Informatica, 2004, volume 15(1), pp 127-142.