

Optimisation du codage d'image par les critères d'information

Azza OULED ZAID, Christian OLIVIER, François MARMOITON, Olivier ALATA

IRCOM-SIC, UMR CNRS 6615, SP2MI

Téléport 2, Boulevard M. et P. Curie,
F-86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex

Emails : {ouled, olivier, marmoiton, alata}@sic.sp2mi.univ-poitiers.fr

Résumé - Pour améliorer les performances de la chaîne de codage du type JPEG, nous proposons d'intégrer une opération de seuillage adaptatif avant l'étape de quantification, afin de raffiner le choix du quantificateur, soit de réduire l'erreur de déquantification. Nous proposons tout d'abord une méthode de sélection des seuils basée sur les critères d'information ensuite une autre méthode basée sur la modélisation statistique. Pour obéir au problème d'allocation binaire, nous utilisons une technique de quantification presque optimale basée sur l'approche Lagrangienne.

Abstract - To improve the performance of the baseline JPEG codeur, we propose to incorporate global thresholding. This allows finer quantizer scales for the coefficients that are retained and reduce the dequantization error. We propose two thresholding techniques, the first one is based on the information criteria and the second is based on the coefficients distribution model. In order to resolve the bit allocation problem, we adopt a near optimal quantization technique based on Lagrangian approach.

1. Introduction

La transmission d'images numériques fixes, dont le développement massif est prévisible dans le cadre du multimédia, requière un codage très performant afin de réduire très fortement le débit des données. Dans ce contexte, plusieurs techniques sur l'optimisation du codage ont été appliquées dans le cas de communication à débit limité.

Les recherches actuelles visent en particulier à l'élaboration de méthodes efficaces de compression qui, sous une contrainte de débit de transmission donnée, assurent la meilleure qualité possible de reconstruction des images transmises. Différentes méthodes de compression (irréversibles: avec pertes) ont été étudiées dans la littérature. Celles-ci peuvent se diviser en deux classes dont la frontière est de plus en plus difficile à déterminer : les méthodes par transformées orthogonales (DCT, ondelettes...) et les méthodes spatiales, basées sur un partitionnement géométrique de l'image (géométrie fractale).

Dans nos travaux, nous nous sommes intéressés à la première classe, spécialement à la chaîne de compression du type JPEG [1]. Nos recherches consistent dans un premier temps à déterminer la table de seuillage global à appliquer sur chaque bloc 8x8 de l'image transformée puis de générer la table de quantification Q adéquate en tenant compte du problème d'allocation binaire. Une fois quantifiés, les coefficients transformés seront par la suite stockés sous forme d'une chaîne de bits en utilisant un codeur entropique à longueur variable de type Huffman optimisé.

Le seuillage global a été appliqué dans plusieurs algorithmes de compression d'images basés sur la DCT;

notamment dans [2], [3]. Ces travaux utilisent une stratégie de recherche des valeurs des seuils tout en obéissant à une certaine contrainte sur le débit ou la distorsion par minimisation du coût Lagrangien ou par la programmation dynamique. Les améliorations apportées sont considérables, mais elles ont l'inconvénient d'être très coûteuses en temps de calcul. Pour remédier à ce problème nous avons proposé deux méthodes automatiques de sélection des seuils. Dans la première méthode, nous utilisons les critères d'information (IC pour information criteria) pour avoir une représentation optimale de l'histogramme des coefficients AC à travers tous les blocs de l'image transformée. Le but est en effet d'obtenir une sélection des coefficients de faibles amplitudes qui méritent d'être mis à zéro avant l'étape, de recherche du meilleur quantificateur. La deuxième méthode est basée sur la modélisation statistique des coefficients à travers tous les blocs de l'image transformée.

Pour se limiter à une certaine contrainte sur le débit, nous adoptons une technique de quantification presque optimale, connue sous le nom RD-OPT [4] qui s'appuie sur la prédiction des caractéristiques (débit/distorsion) et le choix du meilleur quantificateur selon l'approche Lagrangienne.

2. Seuillage global

Le seuillage global est spécifié par une table T de taille 8x8 composée de valeurs réelles positives non nulles, qui décide si le coefficient DCT doit être conservé ou non.

Pour simplifier la notation, les coefficients d'un bloc 8x8 sont rangés dans un vecteur 1-D à 64 valeurs indexé

par n . Par exemple, pour un coefficient situé à la localisation spatio-fréquentielle (i,j) n sera égal à $(8 \times i) + j$. Un tel coefficient sera noté $F[n]$.

Un coefficient DCT $F[n]$ sera alors mis à zéro si sa valeur absolue est inférieure à la valeur du seuil correspondant, noté $T[n]$. Le résultat combiné de la quantification et du seuillage de ce coefficient sera alors défini par :

$$\text{si } |F[n]| \geq T[n] \Rightarrow F_{Q,T}[n] = \left[\frac{F[n]}{Q[n]} + 0.5 \right] \quad (1)$$

$$\text{sinon } F_{Q,T}[n] = 0$$

où $F_{Q,T}[n]$ est la valeur à transmettre à travers le codeur entropique. Nous mentionnons que la valeur de $T[0]$ sera toujours égale à zéro car le coefficient $F[0]$ (coefficient DC) contient l'information la plus significative, et par suite il mérite d'être conservé.

Nous notons que la table T ne sera pas incluse à l'image compressée car le décodeur n'a besoin que de la table de quantification pour reconstruire l'image.

Dans ce qui suit, nous allons présenter la technique de modélisation statistique des coefficients DCT sur laquelle nous nous sommes basés pour la génération de la table de seuillage global à appliquer sur chaque bloc 8×8 de l'image transformée.

3. Modélisation statistique des coefficients DCT

Suite aux travaux présentés dans [5] [6] par l'intermédiaire de tests du χ^2 , les 63 distributions des coefficients AC à travers l'image transformée sont approchées par des lois Laplaciennes (voir figure 1). D'autres approches plus récentes proposent une autre modélisation à base de lois de Cauchy [7], ou bien encore de mélange de lois Gaussiennes ou Laplaciennes [8]. A partir de ces dernières études, il a été confirmé que la meilleure modélisation de la distribution des coefficients AC est un mélange de 1, 2, 3 lois Gaussiennes. Nous retiendrons tout de même une modélisation Laplacienne, d'une part pour la faisabilité des calculs, et d'autre part par le fait qu'il n'y ait qu'un paramètre (α : paramètre de la Laplacienne) à déterminer pour trouver la modélisation correspondante à la distribution en question.

Rappelons qu'une distribution Laplacienne μ est définie par une densité de probabilité du type:

$$\mu(x) = \frac{\alpha}{2} e^{-\alpha|x|} \quad (2)$$

Le paramètre α adéquat, peut être déterminé en fonction de l'écart type σ de la distribution réelle des coefficients, soit:

$$\alpha = \frac{\sqrt{2}}{\sigma} \quad (3)$$

Dans la partie suivante, nous expliquons les deux techniques de génération de la table de seuillage que nous

avons élaboré, en se basant sur la fusion des classes représentants les histogrammes des coefficients AC par application des IC puis par la modélisation des statistiques des coefficients AC issus de l'image transformée.

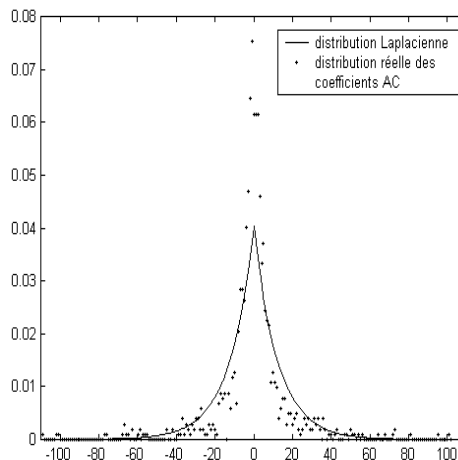


Fig.1: exemple de distribution du coefficient d'indice $n=29$ des différents blocs DCT appliquée sur l'image *Bateau*, et distribution du modèle Laplacien avec $\alpha = 0.1916$. Les valeurs affichées pour le modèle Laplacien ont été quantifiées, afin de retomber dans le modèle discret de la loi initiale

4. Techniques de seuillage utilisées

4.1 Seuillage par application des IC

Les IC sont des critères de type log-vraisemblance pénalisée. Ils ont été déjà utilisés avec succès en traitement d'image pour la détection des contours [9], l'optimisation du codage entropique, la segmentation, le seuillage des histogrammes des images en niveau de gris [10], ainsi qu'en codage [11].

Dans nos travaux nous appliquons les IC pour déterminer la sous partition optimale notée \hat{c} des coefficients AC. C'est à dire le nombre et les pas des classes de l'histogramme qui représente au mieux la répartition des coefficients à travers tous les blocs de l'image transformée. Nous rappelons qu'une image transformée I de taille $H \times L$ est représentée par un ensemble de $N = \frac{H \times L}{64}$ blocs tels que chaque bloc est constitué par un coefficient DC et 63 coefficients notés AC_n , $n = 1, \dots, 63$. Nous supposons qu'un coefficient AC_n est une variable aléatoire X (que nous percevons par une suite de N observations), que la loi théorique γ de la variable X est approchée par une distribution donnée par les N valeurs d'observation de la variable X . A partir d'un histogramme initial M de ces valeurs à m classes, nous cherchons la sous partition \hat{c} à \hat{c} classes telle que l'histogramme ainsi construit approche γ au sens d'une fonction coût que nous définissons ultérieurement. Le processus peut être divisé en deux étapes :

- Une étape donnant la forme d'un histogramme au nombre de classes fixé approchant au sens de maximum de vraisemblance la loi de probabilité γ

- Une deuxième étape définit comme coût une mesure de Hellinger aboutissant, par approximation asymptotique pour N grand et par adéquation avec les résultats obtenus pour IC sur des modèles paramètres (type AR); à un critère, noté φ_β (formule 4) et donnant l'histogramme optimal au sens de ce coût,

$$\varphi_\beta(c) = \frac{c(1+N^\beta \log(\log N))}{N} - 2 \sum_{B \in C} \theta_{c,n}(B) \log \left(\frac{\theta_{c,n}(B)}{\mu_n(B)} \right), \quad (4)$$

$0 < \beta < 1$

μ_n est la loi de probabilité fixée à priori (loi Laplacienne) des coefficients AC_n et $\theta_{c,n}$ la loi estimée, représentée par l'histogramme à c classes B de la partition C . Notons que μ_n peut être toute autre loi à condition que γ soit absolument continue par rapport à μ_n .

La partition optimale \hat{C} cherchée est celle telle que son nombre de classes \hat{c} minimise le critère φ_β :

$$\hat{c} = \arg \min_{1 \leq c \leq m} \varphi_\beta(c) \quad (5)$$

Pour la construction des histogrammes suivant les valeurs de c décrémentées à partir de m jusqu'à minimisation du critère, nous établissons l'algorithme de fusion suivant [12]:

Le problème consiste en le choix d'une fusion possible des classes A_1, \dots, A_m d'une partition initiale M de la loi de probabilité γ soit d'approcher γ par un histogramme optimal construit sur la sous partition $C = B_1, \dots, B_c$ de M à c classes, avec $c < m$.

Supposons que la sous partition, à une étape de l'algorithme, soit composée de k classes $B_r, r=1, \dots, j, \dots, k$. Si deux classes B_j et B_{j+1} fusionnent, telle que $B_r = B_j \cup B_{j+1}$, nous obtenons une nouvelle partition à $(k-1)$ classes. Parmi toutes les fusions possibles à $(k-1)$ classes, nous retenons la fusion qui maximise $\varphi_\beta(k) - \varphi_\beta(k-1)$. A chaque itération, nous cherchons les deux classes adjacentes telles que leur fusion donne la valeur du $\varphi_\beta(k-1)$ minimale. Le processus est finalement arrêté quand la différence $(\varphi_\beta(k) - \varphi_\beta(k-1))$ devient négative. Nous trouvons alors le nombre de classes c cherché ainsi que la sous partition optimale associée $\{(\theta_c(B_r))\}_{r=1 \dots c}$. La loi θ_c construite avec C sera une estimation optimale de γ selon le coût défini ultérieurement.

Précisons que notre but est de sélectionner la classe de faibles valeurs (*la zone morte*). La valeur du seuil choisie est égale à la borne positive de cette classe, contenant zéro. Comme l'algorithme de fusion des classes est appliqué sur les 63 histogrammes correspondants aux 63 coefficients AC_n , nous obtenons la table de seuillage global cherchée. Nous verrons au (§ 5) les limites de la méthode.

4.2 Seuillage théorique: par modélisation statistique

En s'inspirant des travaux de Eude [8] sur la compression JPEG basée sur la modélisation statistique, nous proposons de générer la table de seuillage global en tenant compte de la densité de probabilité à priori μ_n de

chaque coefficient AC_n sur tous les blocs de la matrice image. Etant donné que les coefficients ne représentent pas tous la même quantité d'information, la mise à zéro d'un coefficient correspondant aux hautes fréquences ne provoquera pas autant de dégradation que celle d'un coefficient correspondant aux basses fréquences. Ainsi, connaissant les fonctions de répartition des coefficients, nous pouvons définir les seuils au-dessus desquels ils ont peu de probabilité d'apparaître. C'est alors dans ce cas qu'ils ne doivent pas être mis à zéro sous peine de dégradation visible.

Un coefficient d'indice n a une probabilité faible d'apparaître si sa valeur est supérieure à une valeur limite ρ_n définie par :

$$\int_{-\infty}^{\rho_n} \mu_n(x) dx = 0.95. \quad (6)$$

Ainsi, à partir des 63 modalités Laplaciennes à travers toute l'image transformée, nous pouvons définir les coefficients $T[n]$ avec $n \in \{1, \dots, 63\}$ de la table de seuillage, tel que :

$$T[n] = \frac{F_e}{\rho_n} \quad (7)$$

avec F_e un facteur d'échelle fixé à priori (dans nos tests $F_e = 50$).

Après avoir calculé les valeurs ρ_n correspondants aux différents coefficients AC_n , on s'aperçoit que ces dernières sont faibles aux hautes fréquences. Tandis qu'en basses fréquences les valeurs ρ_n sont élevées, les seuils correspondants sont faibles et donc la plupart des coefficients AC en basses fréquences sont conservés.

5. Résultats expérimentaux

Afin d'évaluer les performances des deux techniques de seuillage que nous avons proposés, nous avons mis en œuvre une chaîne de codage adaptée dans laquelle nous avons adopté une méthode de quantification sous optimale dans le sens débit/distorsion (RD-OPT), basée sur l'approche Lagrangienne. Nous avons appliqué nos algorithmes hybrides sur différentes images naturelles telle que *Lena*, *Bateau*,... et sur des images satellitaires comme *Toulouse* et *Istar*. Les résultats de nos tests ont montré que dans le cas du seuillage théorique notre méthode a apporté un gain de l'ordre de 1 à 3 décibels (dB) au niveau du PSNR pour chacune des images traitées, par rapport au résultats obtenus par RD-OPT sans seuillage pour un débit fixé à priori. Une comparaison est aussi faite entre les performances de notre chaîne de codage hybride et celle proposée par JPEG classique. A partir de cette comparaison nous avons pu constater que nous pouvons atteindre des gains importants de l'ordre de 4 dB. Le seuillage par IC couplé à la méthode RD-OPT n'a apporté qu'une faible amélioration au niveau de la qualité de restitution de l'ordre de 0.1 à 0.3 décibels, dans le cas de faibles débits jusqu'à 0.6 bpp (bits par pixel) ou même 1 bpp suivant les images. Nous avons pu constater une dégradation au niveau de la qualité de l'image reconstruite à des hauts et moyens débits. Par contre la

méthode permet le calcul d'un seuil d'une manière automatique.

Dans les figures 2 et 3, nous donnons les résultats expérimentaux pour les deux images *Lena* et *Toulouse* toutes les deux de taille 512x512.

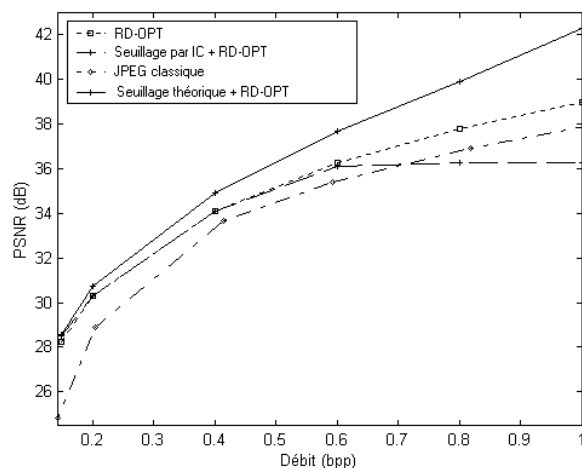


Fig. 2: variation du PSNR en fonction du débit pour l'image *Lena*

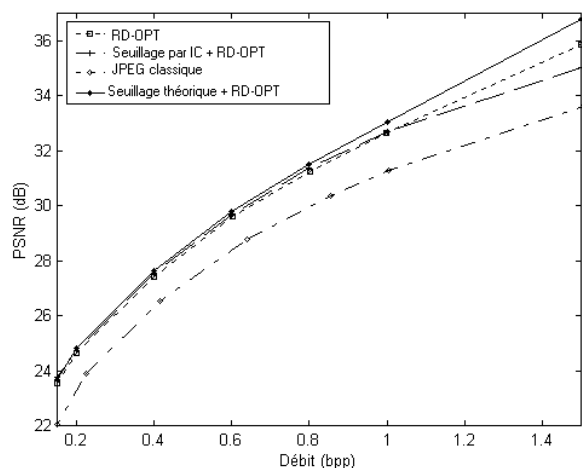


Fig. 3: variation du PSNR en fonction du débit pour l'image *Toulouse*

6. Conclusion

Dans nos travaux, nous avons proposé une technique de codage hybride dans laquelle nous faisons appel à un seuillage global des coefficients issus de la transformée DCT appliquée sur chaque bloc de l'image. Nous générons la table de quantification optimale en utilisant une approche d'allocation de débit presque optimale (minimisation de Lagrange). Dans un premier temps, nous avons opté pour une recherche de la distribution optimale des coefficients AC qui s'approche le plus de la distribution réelle au sens du critère d'information du type ϕ_β . Les résultats de nos tests sur différentes images montrent qu'il n'y a pas d'améliorations significatives (quelques dixièmes de dB seulement) par rapport à d'autres techniques d'optimisation d'allocation de débit déjà existantes. Elle a cependant le mérite d'utiliser aucun paramètre a priori tout en automatisant le seuil de mise à zéro. Dans un deuxième lieu,

nous avons proposé une table de seuillage théorique basée sur la densité de probabilité de chaque coefficient AC sur tous les blocs 8x8 de la matrice image. Les résultats de nos tests appliqués sur les mêmes images montrent un gain au niveau du PSNR de l'ordre de 1 à 3 dB par rapport à l'algorithme d'optimisation du débit sans seuillage. Nous signalons que notre technique à l'avantage d'être simple et efficace. En plus, aucune information sur la table de seuillage ne mérite d'être transmise au niveau du codeur et seul un facteur d'échelle doit être fixé a priori.

Références

- [1] W. B. Pennebaker et J.L. Mitchell. *JPEG Still Image Data Compression Standard*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.
- [2] M. Crouse, K. Ramchandran. JPEG optimization using an entropy-constrained quantization framework. *Proceedings of Data Compression Conference*, pp. 342-351, 1995.
- [3] V. Ratnakar. *Quality-Controlled Lossy Image Compression*. Thèse de Doctorat, Université de Wisconsin., USA, 1997.
- [4] V. Ratnakar et M. Livny. An Efficient Algorithm For Optimizing DCT Quantization. *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, n°2, pp. 267-270, février, 2000.
- [5] Reininger (R. C.) et Gibson (J. D.). – Distributions of the Two-Dimensional DCT Coefficients for Images. *IEEE Trans. Communications*, vol. 31, n°6, pp. 835-839, juin 1983.
- [6] F. Bellifemine et A. Cappellino, A. Chimienti, R. Picco et R. Ponti. Statistical analysis of the 2D-DCT coefficients of the differential signal for images. *Signal Processing: Image Communication*, vol 4, n°6, pp. 477-488, 1992.
- [7] A. Baskurt. *Compression d'images numériques par la transformation cosinus discrète*. Thèse de Doctorat, Université de Lyon, juin 1989.
- [8] T. Eude, R. Grisel, H. Cherifi et R. Debric. On the distribution of the DCT coefficients. *ICASSP'94*, vol. 5, pp. 365-368, South Australia, avril, 1994.
- [9] F. Jouzel, C. Olivier et A. El Matouat. Information criteria based edge detection. *EUSIPCO Patern Recognition*, vol. 2, pp. 997-1000, 1998.
- [10] P. Courtellemont, C. Olivier, F. Jouzel. Information Criteria for Histogram Thresholding Techniques. *EUSIPCO*, vol. 4, pp. 2509-2512, 1998.
- [11] S. Pateux. *Segmentation spatio-temporelle et codage orienté-regions de sequences video basés sur le formalisme MDL*. Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1, Septembre 1998.
- [12] C. Olivier, P. Courtellemont, O. Colot, D. de Bruçq et A. El Matouat. Comparison of histograms: a tool of detection. *European Journal of Diagnosis and safety in Automation*, vol. 4, n°3, pp. 335-355, 1994.