

Décomposition en quadtree de la DCT globale pour la compression des images

F-Z.N. Nacer⁺*, A. Zergainoh⁺, A. Merigot^{*}

*: Université Paris sud, IEF, Bât 220,
F91405 Orsay Cedex France.

nacer@ief.u-psud.fr

+ : L2TI, Institut Galilée, Université Paris 13,
99, avenue J-B Clément F93430 Villetaneuse, France
zergainoh@l2ti.univ-paris13.fr

Résumé

Nous proposons un nouveau schéma de codeur pour la compression des images fixes. Il permet d'atteindre de forts taux de compression tout en conservant une bonne qualité visuelle de l'image décodée. Notre codeur est basé sur une technique hybride qui combine la transformée en cosinus discrète et la décomposition en quadtree. Cette opération est suivie d'une quantification et d'un codage efficace. Des résultats de simulations, sur des images de tests, sont fournis.

Mots Clefs

DCT, quadtree, quantification, codage entropique, courbe de Hilbert.

1 Introduction

Le domaine des communications est un domaine en pleine évolution. En effet, nous sommes passés au cours du siècle dernier de la transmission d'une simple information sonore à une information multimédia, qui contient à la fois du texte, du son et de l'image. Il s'ensuit alors une forte croissance du trafic d'information transmise. L'explosion actuelle d'Internet en est un exemple parfait.

Pour répondre à ces besoins croissants de communication, une des solutions consiste à augmenter les débits offerts par l'utilisation des techniques de compression. Celles-ci permettent de transmettre une quantité d'information importante pour un débit donné. Néanmoins de nombreux travaux de recherche, sur ce sujet, ne cessent de se développer dans le but d'accroître les performances des techniques existantes. Pour atteindre de fort taux de compression, tout en préservant une bonne qualité visuelle de l'image décodée, nous proposons un schéma de codeur basé sur une technique hybride combinant la Transformée en Cosinus Discrète (DCT) et la décomposition en

QuadTree (QT), appelé codeur GDCT-QT. La figure 1 présente le schéma bloc de notre codeur. Ses différents modules sont décrits dans les sections qui suivent. La section 2 argumente les besoins d'appliquer la DCT sur l'image entière. La section 3 présente le principe de la décomposition en quadtree de l'image dans le domaine transformé. La section 4 propose un choix de parcours optimal pour le balayage des différents niveaux de résolution. La phase de codage est développée en section 5. Les résultats de la simulation sont présentés en section 6.

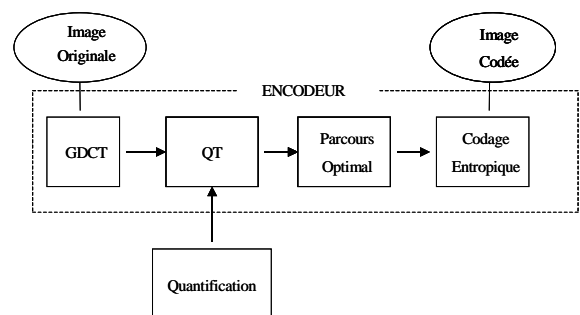


Figure 1 Codeur GDCT-QT

2 Transformée en Cosinus Discrète Globale

Dans les schémas classiques de la compression des images, la DCT n'est généralement pas appliquée sur l'image entière. Celle-ci est décomposée en petits blocs, de tailles identiques, sur lesquels la DCT est ensuite appliquée [1]. Cette procédure engendre, dans le cadre de la compression à bas débits, des artefacts [2] tels que :

- l'effet de blocs (effet de pixelisation) pour lequel la vision humaine est sensible,
- l'effet des oscillations dû au phénomène de Gibbs.

L'avancée de la technologie et la possibilité de réaliser des circuits spécialisés nous permettent de proposer un nouveau schéma de compression basé sur une DCT appliquée à l'image entière. Le schéma de compression

proposé permettra d'éliminer les artefacts causés par les transformations en blocs. L'appellation **GDCT** est adoptée pour la désignation de la Transformée en Cosinus Discrète Globale [3, 4].

3 Principe de la décomposition en quadtree

La décomposition en QuadTree (QT) est une technique qui permet de représenter une image sur différents niveaux de résolution [5 6].

A la première itération, l'image initiale de taille $2^n \times 2^n$ est subdivisée en plusieurs blocs de taille $2^{n-1} \times 2^{n-1}$. Chaque bloc est appelé nœud de l'arbre ou nœud « parent ». Certains blocs peuvent être, à leur tour, subdivisés pour donner des nœuds « fils » de taille $2^{n-2} \times 2^{n-2}$. Le processus de décomposition des blocs est itéré de façon à obtenir une structure arborescente appelée arbre. Cette arborescence est contrôlée, à chaque niveau de décomposition, par des critères d'homogénéité dans les blocs. Lorsqu'un bloc est homogène, le processus de décomposition est interrompu pour ce bloc.

De nombreux tests et critères de décision pour l'homogénéité ont été introduits dans la littérature [5]. Pour le codeur GDCT-QT, la décision d'homogénéité dans un bloc est calculée en considérant l'écart entre la valeur minimale et maximale des coefficients transformés. Cet écart est comparé à un seuil empirique. Dans le cas où un bloc s'avérerait homogène (selon notre critère de décision choisi), le bloc est représenté par un seul pixel appelé feuille. Le niveau de gris de la feuille est donné par le calcul de la moyenne de tous les niveaux de gris des pixels appartenant à ce bloc. Un exemple de décomposition en QT est donné par la figure 2. Dans cet exemple, le processus de décomposition en bloc s'arrête au troisième niveau de résolution. Les carrés noirs représentent des nœuds et les carrés blancs des feuilles.

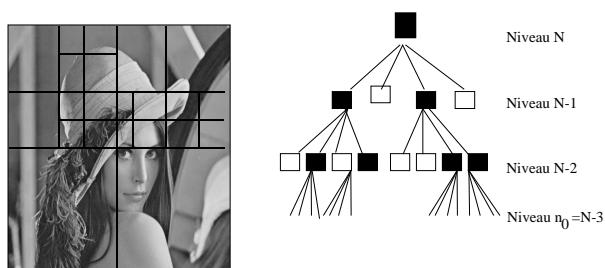


Figure 2. Décomposition en QT

4 Choix du parcours optimal

Après avoir décomposé l'image en une structure arborescente, il est important de parcourir judicieusement cette dernière afin d'exploiter au mieux la redondance de l'information pour la phase de codage.

Un parcours représente la règle selon laquelle les différents blocs de la décomposition en quadtree sont visités. Les règles de voisinage et de corrélation entre

blocs et pixels voisins doivent être respectées pour garantir un codage optimal. Le parcours optimal est donné par la définition suivante [7] : *Un parcours est dit optimal s'il ne passe que par les blocs voisins (blocs partageant des contours) et s'il ne visite chaque bloc qu'une seule fois.*

Cette définition découle du fait qu'un chemin optimal doit parcourir des blocs fortement corrélés. Ces derniers sont toujours des blocs voisins.

Le parcours optimal que nous proposons est basé sur la courbe de Hilbert appelée aussi la courbe de Peano [8]. La courbe de Hilbert est construite selon un certain ordre de parcours. Le premier ordre de parcours peut avoir quatre orientations possibles notées par 0, 1, 2, 3 (voir figure 3a, 3b, 3c et 3d). Le second ordre est généré de manière récursive à partir du premier ordre de parcours. Notons que chaque second ordre est constitué de quatre courbes de premier ordre de parcours.

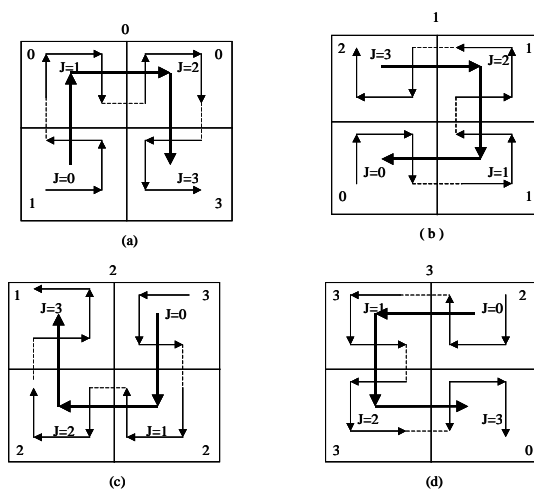


Figure 3 Les quatre premiers ordres possibles de la courbe de Hilbert

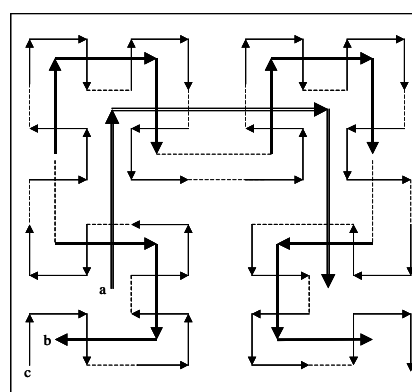


Figure 4 Génération récursive du parcours selon la courbe de Hilbert

La relation entre le premier et le second ordre de parcours selon la courbe de Hilbert peut être généralisée à l'aide de l'algorithme que nous décrirons ci-dessous.

On définit $O_{l,i}$ l'orientation du parcours à l'ordre $i \in [0,1,2,3]$, au niveau de résolution l , pour le bloc $b_{l,i}$. La récursivité nécessite d'être initialisée pour une orientation désirée. Pour le premier ordre de la courbe de Hilbert, fixons $O_{N,o} = 0$ (la figure 3(a)). La courbe de Hilbert d'ordre N est ensuite construite à partir de l'appel de la fonction « *orient* (l,i) ». Celle ci est décrite ci-dessous avec les paramètres $l = N$ et $l = 0$:

orient(l,i) :

$$O_{l-1,4*i+0} = (5 - O_{l,i})_{\text{Modulo}4}; O_{l-1,4*i+1} = O_{l,i};$$

$$O_{l-1,4*i+2} = O_{l,i};$$

$$O_{l-1,4*i+3} = 3 - O_{l,i};$$

if ($l-1 > 1$)

orient($l-1,4*i+0$);

orient($l-1,4*i+1$);

orient($l-1,4*i+2$);

orient($l-1,4*i+3$);

Les orientations résultantes à chaque niveau de la décomposition en QT, au niveau de résolution l pour $N \geq l \geq 1$, correspondent aux courbes de Hilbert d'ordre $N-l+1$. La figure 4 présente la génération récursive, au troisième ordre, du parcours selon la courbe de Hilbert. La courbe a été générée en utilisant la fonction « *orient* (3,0) ».

5 Codage de la structure arborescente

Dans la littérature, il existe différentes méthodes de codage de la structure arborescente. Les nœuds sont codés par « 1 » et les feuilles par « 0 ». Il en résulte une trame binaire. Nous proposons, dans ce paragraphe, une nouvelle méthode de codage. Après avoir appliqué la décomposition en QT sur l'image transformée (coefficients DCT), une opération de quantification intervient à chaque niveau de résolution. La valeur moyenne de chaque bloc est alors calculée. Les valeurs moyennes des blocs aux différents niveaux de résolution sont ensuite parcourues dans l'ordre imposé par la courbe de Hilbert. Le codage de Huffman [9, 10, 11] est appliqué sur la séquence issue du parcours de Hilbert. Pour la reconstruction de l'image, trois tables de Huffman sont calculées :

- Table des valeurs moyennes de chaque bloc quantifié,
- Table des coordonnées de la position de chaque blocs,
- Table de la taille des différents blocs issus de la décomposition en quadtree.

6 Résultats expérimentaux

De nombreuses simulations ont été réalisées sur de images de test. Deux exemples sont présentés : l'image « Boat » et l'image « Lena ». Ces deux images ont une taille de

512×512 pixels. Chaque pixel est codé sur 8 bits. Un critère de fidélité objectif (PSNR) est utilisé pour mesurer la qualité de l'image reconstruite. Il est défini par l'équation suivante :

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2}{\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N [x_{i,j} - \hat{x}_{i,j}]^2} \right]$$

où $x_{i,j}$ représente le niveau de gris d'un pixel de l'image initiale, $\hat{x}_{i,j}$ correspond au niveau de gris du pixel après reconstruction.



Figure 5 (a) Image originelle, (b) Image décodée par GDCT-QT : 0.09 *bpp*, (c) Image décodée par JPEG : 0.19 *bpp*

Pour un PSNR égal à 27 *dB*, notre méthode (GDCT-QT) permet de coder l'image « Boat » sur 0.09 *bpp*, tandis que JPEG code l'image sur 0.19 *bpp*. Ces images sont présentées par la figure 5.

Le tableau 1 présente les résultats expérimentaux obtenus par les codeurs JPEG et GDCT-QT.

| Images | PSNR (dB) | CODEURS | |
|-------------|--------------|--------------------------|-----------------------|
| | | GDCT-QT (bits/pixels) | JPEG (bits/pixels) |
| Lena | 29 | 0.15 | 0.2 |
| | 27 | 0.1 | 0.15 |
| Boat | 27 | 0.09 | 0.16 |
| | 26 | 0.07 | 0.14 |

Tableau 1. Résultats expérimentaux (GDCT-QT et JPEG).

Pour un taux de compression donné, les images reconstruites par notre décodeur sont de meilleures qualités objectives comparées à celles obtenues par JPEG (figure 5 et figure 6). Il est clair que nos images décodées présentent toujours un effet de flou que nous pouvons éliminer en adoptant soit :

- une quantification non uniforme des différents niveaux de résolution,
- un post filtrage qui permet de lisser le phénomène de Gibbs.

Pour de forts taux de compression, notre codeur GDCT-QT, présente des performances significatives en terme de qualité visuelle de l'image décodée.

Bibliographie

- [1] R.J. Chen, B.C. Chien, A fully adaptative DCT based color image sequence coder. *Signal processing : image commun.* Vol. 6, N°. 4, pp. 289-301, 1994.
- [2] O. Egger, W.Li, M.Kunt, High compression image coding using an adaptive morphological subband decomposition, *Proceeding of the IEEE*, Vol. 83, N°.2, February 1995.
- [3] F.Z.N. Nacer, G. Constantinescu, A. Merigot, F. Devos, Image compression by global orthogonal transformation, *ICOMT'98*, pp. 1-7, Budaepst, Oct 98.
- [4] F.Z.N. Nacer, E. Ademovic, A. Merigot, Optimal DCT of image compression, *Int. Conf. ICSST'00*, Las végas, Nevada, June 2000.
- [5] E. Shusterman, Meir Feder, Image Compression via Improved quadtree decomposition algorithms. *IEEE Trans. on image processing*, Vol. 3, N°. 2, March 1994.
- [6] P. Strobach, Image coding based on quadtree structured recursive leastsquare approximation. In *proc. Int. Conf. Speech, Signal Processing*, 1989.
- [7] G.M. Shuster, A.K. Katsaggelos, Rate-distortion based video compression. *Kluwer academic publishers*, 1997.
- [8] B.B. Mandelbrot, *The fractal geometry of nature*, W.H.Freeman and Compagny, San Francisco, 1983.
- [9] X. Marsault, *Compression et cryptage des données multimédia 2ème édition*, Hermès.

[10] F.Z.N. Nacer, E. Ademovic, A. Merigot., Huffman coding for GDCT coefficients, *Int. Conf. on Image and Signal Processing, ICISP'01*, Vol. 2, pp. 758-762. Maroc, 2001.

[11] F.Z.N. Nacer, A. Zergainoh, A. Merigot, Global Discrete cosine transform for image compression. *6th IEEE International Symposium on Signal Processing and its Applications*, *proc. IEEE ISSPA 2001*, pp 545-548.

-a-



-b-



-c-



Figure 6 (a) Image originelle, (b) Image décodée par GDCT-QT : 0.1 *bpp*, (c) Image décodée par JPEG : 0.15 *bpp*.