

NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 20 MAI 1983

CODAGE DIFFERENTIEL ADAPTATIF D'IMAGES AVEC QUANTIFICATION VECTORIELLE

S. CABRERA , I.D. LANDAU

Laboratoire d'Automatique de Grenoble, E.N.S. d'Ingénieurs Electriciens de Grenoble,
Domaine Universitaire, B.P. 46, 38402 - Saint-Martin-d'Hères, France

RESUME

Le codage d'images utilisant une quantification vectorielle directement sur les niveaux de luminance fût traité dans [3]. Nous présentons ici un schéma de codage vectoriel différentiel, où un vecteur est prédit d'une façon recursive. Le predicteur est basé sur un modèle à covariance séparable, et ses paramètres sont calculés recursivement pour s'adapter à la non-stationnarité des images. La différence entre le vecteur réel et le vecteur prédit nous donne un vecteur d'erreur qui est quantifié par la suite. Le numéro du niveau choisi par le quantificateur donne le code résultant. Le calcul des niveaux du quantificateur est fait par un algorithme de type LBG[6]. Plusieurs essais ont été faits avec trois images codées sur 8 bits/pixel. L'introduction d'un lissage [7] de la ligne courante permet d'améliorer les performances du codage. Le rapport signal/erreur dans les exemples traités s'est situé entre 10 et 17 Db, et le nombre de bits/pixel après compression varié entre 0,375 b/p et 1,0 b/p.

SUMMARY

Image coding using vector quantization directly over the illumination levels was discussed in [3]. We prehere a vector-DPCM scheme where a vector is recursively predicted. The predictor is based on a separable covariance model where the parameters are recursively computed in order to adapt to the image non-stationarity. The difference between the real and the predicted vectors gives us an error vector that is then quantized. The resulting code depends of the chosen level number. The quantizer level computation is done by an LBG type [6] algorithm. Several experiments have been carried out with three 8 bit/pixel-coded images. Performances have been increased by using current line smooting [7]. The signal to error ratio for these three examples has been situated at 10 to 17 dB and the number of bits/pixel after compression varies between 0.375 b/p and 1.0 b/p.



I- INTRODUCTION

L'objet de ce codage est la compression des données des images numériques. Les techniques de codage différentiel effectuent cette compression en réduisant la redondance de l'information. L'information est redondante parce qu'usuellement il existe une forte corrélation spatiale dans les images. Le codage différentiel est bien exposé dans [1] et [2].

Le codage des images en utilisant une quantification vectorielle a été proposé par A. Gersho et B. Ramamurthi [3], la quantification vectorielle est directement appliquée aux niveaux de luminance d'un groupe de pixels traités en bloc.

Dans ce travail nous faisons le codage différentiel sur un groupe de pixels adjacents dans une ligne, traités comme un vecteur.

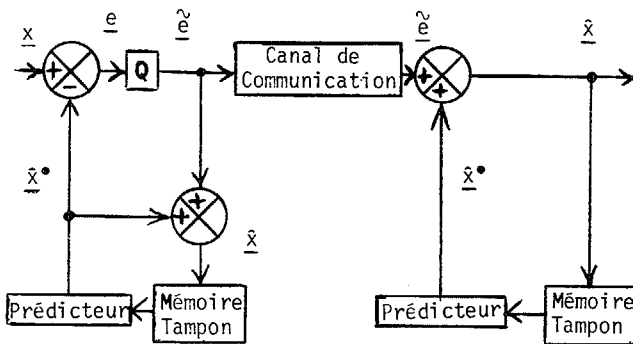


Fig. n° 1 Schéma du codage Vectoriel-Différentiel

Dans la fig. n° 1, nous montrons le schéma général du codage vectoriel-différentiel. La notation est la suivante :

\underline{x} = vecteur de luminance original.

$\underline{\hat{x}}^o$ = vecteur prédit

$\underline{\hat{x}} = \underline{\hat{x}}^o + \underline{\tilde{e}} =$ vecteur reconstruit.

(Les éléments de ces trois vecteurs sont des niveaux de luminance).

$\underline{e} = \underline{x} - \underline{\hat{x}}^o =$ vecteur d'erreur

$\underline{\tilde{e}} = Q(\underline{e}) =$ vecteur d'erreur quantifié.

Le traitement de l'image s'effectue de gauche à droite et de haut en bas (ligne à ligne).

Le prédicteur détermine d'une façon récursive $\underline{\hat{x}}^o$ en fonction de l'information déjà traitée (les niveaux de luminance reconstruits) de la ligne antérieure et de la ligne courante. Cette information est maintenue dans une mémoire tampon et elle est actualisée régulièrement (par les vecteurs $\underline{\hat{x}}$).

Le vecteur d'erreur \underline{e} est quantifié par Q. Le quantificateur vectoriel Q a un nombre de niveaux (vecteurs) égal au nombre de codes différents utilisés pour la transmission (généralement une puissance de 2). Sur le canal on transmet uniquement le code correspondant au niveau choisi. Le niveau choisi est celui qui est le plus proche du vecteur à quantifier. A la réception le code reçu désigne le niveau dans un tableau, et le processus de reconstruction du vecteur $\underline{\hat{x}}$ est le même qu'à la transmission.

Par la suite nous allons décrire le prédicteur, le quantificateur, puis un schéma de lissage qui améliore les performances en réduisant le bruit et finalement les résultats expérimentaux de ce codage.

II- LE PREDICTEUR.

Plusieurs modèles mathématiques pour le traitement d'images ont été développés. A.K. Jain a donné récemment un panorama de ces modèles [4].

Pour chaque type de traitement d'images il existe un ou plusieurs modèles mathématiques qui sont adaptés au problème particulier considéré. L'un des modèles les plus simples pour la prédiction bi-dimensionnelle est le modèle causal à covariance séparable. La fig. n° 2 nous montre le pixel courant $p_{i,j}$ et les trois pixels adjacents qui interviennent dans la formulation de ce modèle.

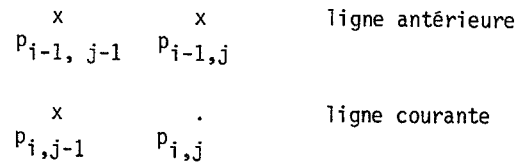


Fig. n° 2 Domaine du modèle causal à covariance séparable.

Le modèle causal à covariance séparable peut s'écrire ainsi :

$$u_{i,j} = au_{i-1,j} + bu_{i,j-1} - abu_{i-1,j-1} + \epsilon_{i,j} \quad (1)$$

où : $u_{i,j}$ = niveau de luminance du pixel $p_{i,j}$

a = corrélation verticale à un pas

b = corrélation horizontale à un pas

$\epsilon_{i,j}$ = bruit blanc

$$0 < a, b \leq 1$$

Pour les images monochromes une valeur typique est $a=b=0,95$

A cause de la non-stationnarité des images, il n'est pas raisonnable de fixer les valeurs de a et b au début du traitement d'une image et conserver ces valeurs jusqu'à la fin du traitement.

Pour adapter les méthodes de codage à la non-stationnarité des images, plusieurs solutions ont été proposées. Pour une présentation, des diverses techniques de codage adaptatif d'images voir l'article de A. Habib [5].

Le prédicteur que nous utilisons est le suivant :

$$\hat{u}_{i,j}^o = a\hat{u}_{i-1,j} + b\hat{u}_{i,j-1} - ab\hat{u}_{i-1,j-1} \quad (2)$$

où : $\hat{u}_{i,j}^o$ = niveau de luminance prédit

$\hat{u}_{i,j}$ = niveau de luminance reconstruit

a = estimation de la corrélation verticale à un pas.

b = estimation de la corrélation horizontale à un pas.

Le calcul récursif de a et b est donné par :

$$a_k = ca_{k-1} + (1-c) \left(1 - \frac{|u_{i,j-1} - \hat{u}_{i-1,j-1}|}{N} \right) \quad (3)$$

$$b_k = cb_{k-1} + (1-c) \left(1 - \frac{|u_{i-1,j} - \hat{u}_{i-1,j-1}|}{N} \right) \quad (4)$$

où : N = Nombre de niveaux de luminance
 $0 \leq c < 1$

La prédiction du premier élément du vecteur \hat{x}^o est faite avec les équations (2), (3) et (4). La prédiction du reste des éléments du vecteur \hat{x}^o est faite avec ces équations mais en substituant préalablement $\hat{u}_{i,j-1}$ par $\hat{u}_{i,j-1}^o$. Le calcul des éléments du

vecteur \hat{x}^o est ainsi fait récursivement.

III- LE QUANTIFICATEUR

Le calcul des niveaux du quantificateur vectoriel a été fait avec l'algorithme décrit par Linde, Buzo et Gray [6]. Cet algorithme nous donne les niveaux (vecteurs) du quantificateur en réduisant l'erreur quadratique moyenne, par rapport à un nombre suffisamment grand de vecteurs-différence (ou vecteurs-erreur) représentatifs statistiquement de ceux qu'on veut traiter.

Un diagramme de l'algorithme LBG est donné sur la fig. n° 3. Au début on initialise les niveaux avec des valeurs qui les situent comme des points bien séparés et distribués dans l'espace n-dimensionnel (n étant la dimension du vecteur). Dans l'étape n° 2 on fait la classification des vecteurs. On classe un vecteur comme appartenant à la classe qui contient le niveau le plus proche. Il y a autant de classes que de niveaux. On calcule au même temps la valeur D_k qui est une mesure de la distorsion. D_k est la somme des distances de chaque niveau aux vecteurs appartenant à sa classe. Au point n° 3 on calcule la réduction relative de la distorsion. Si elle est en dessous d'un seuil e, on arrête les calculs et les valeurs actuelles des niveaux, deviennent les niveaux sélectionnés pour le quantificateur. Si la réduction relative de la distorsion est au dessus du seuil e on passe au point 4 où les niveaux sont déplacés vers le centre de gravité de sa classe, puis on passe au point n° 2 pour commencer une nouvelle itération.

Il est à noter qu'on peut utiliser le même quantificateur pour traiter plusieurs images si ces images sont de la même complexité que celle qui a servi pour le calculer.

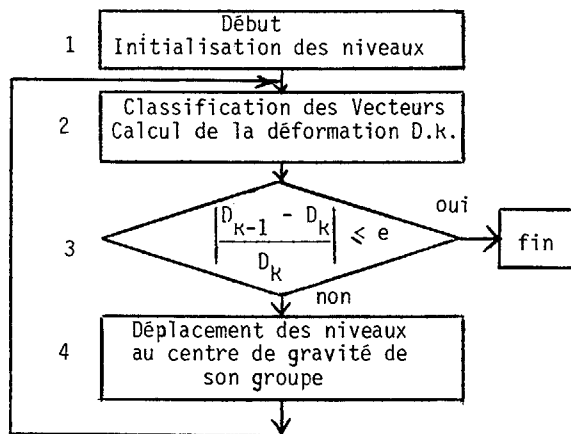


Fig. n° 3 Représentation de l'algorithme LBG

IV LE LISSAGE

Afin de réduire le bruit introduit dans l'image du fait de son codage et décodage, on peut effectuer un lissage sur les lignes déjà reconstruites. Le schéma de lissage de l'inverse du gradient pondéré décrit par D.C.C. Wang et A.H. Vagnucci [7], nous a semblé approprié pour notre problème. Quand on a fini de reconstruire la ligne courante, on effectue le lissage sur la ligne complète, puis cette ligne devient la ligne antérieure et on commence à traiter la ligne suivante.

Le schéma de lissage permet de réduire le bruit dans les régions, sans affecter les frontières entre les différentes régions.

Pour effectuer le lissage on se sert de la ligne antérieure et de la ligne courante. On glisse sur ces lignes un masque de 2 x 3 dont les coefficients de pondération sont actualisés à chaque coup. L'inverse du gradient absolu au point $p_{i,j}$ est donnée par :

$$g(i,j,k,l) = \frac{1}{|\hat{u}(i+k,j+l) - \hat{u}(i,j)|} \quad (5)$$

défini dans le domaine $D(i,j)$ où $k=-1,0 ; l=-1,0,1 ;$ sauf dans $k=l=0$, si $\hat{u}(i+k,j+l) = \hat{u}(i,j)$, le gradient est 0 et on assigne $g(i,j,k,l) = 2$.

Le masque de 2 x 3 est :

$$W(i,j) = \begin{bmatrix} w(i-1,j-1) & w(i-1,j) & w(i-1,j+1) \\ w(i,j-1) & w(i,j) & w(i,j+1) \end{bmatrix}$$

où les coefficients de pondération w sont donnés par :

$$w(i,j) = 1/2 \\ w(i+n, j+m) = \frac{g(i,j;n,m)}{2 \sum_{k,l} g(i,j;k,l)} \quad (6)$$

pour $n=-1,0 ; m=-1,0,1 ;$ sauf $n=m=0$
 La nouvelle valeur du pixel $p_{i,j}$ est :

$$\hat{u}_{i,j} = \sum_{k=-1}^0 \sum_{l=-1}^1 w(i+k,j+l) \hat{u}(i+k, j+l) \quad (7)$$

La ligne courante est actualisée avec cette valeur qui sera utilisée pour le traitement du pixel suivant.

V- RESULTATS EXPERIMENTAUX

Nous avons choisi l'image A (fig. 4) comme image d'entraînement pour calculer le quantificateur vectoriel. Les images B et C (fig. 5 et 6) furent utilisées pour essayer le codage avec ce même quantificateur. Ces trois images ont été quantifiées originellement sur 64 niveaux, codées sur 6 bits, mais en rajoutant 2 bits supplémentaires, mis à zéro on les a traitées comme des images codées sur 256 niveaux (8 bits). Ces trois images de base utilisent seulement les niveaux 0,4,8,...,252.

Afin d'obtenir à partir de l'image A un fichier de vecteurs-différence, (ou vecteurs-erreur), nous prenons une paire de lignes adjacentes. L'une est la ligne courante, et l'autre est la ligne antérieure. La ligne antérieure est prise comme la prédiction de la ligne courante. La différence de ces deux lignes nous donne la ligne-différence qui est segmentée pour obtenir des vecteurs de la dimension voulue. Si le nombre de vecteurs-différence dans le fichier n'est



pas encore suffisant, on choisi une autre paire de lignes et on répète le processus. La taille des fichiers utilisés est de 1000 vecteurs-différence.

Avec l'algorithme LBG [6] et un fichier de vecteurs-différence de dimension approprié on a calculé les quantificateurs du tableau 1.

Quantificateur	dimensions	niveaux	num.de bits/pixel
Q(4,8)	4	8	0,75
Q(4,16)	4	16	1,00
Q(8;32)	8	32	0,625
Q(8,128)	8	128	0,875
Q(16,64)	16	64	0,375

Tableau n° 1 Liste des quantificateurs calculés.

Nous avons procédé à des essais avec l'image A. Les algorithmes utilisés ont été (1) le codage vectoriel-différentiel simple, et (2) le codage vectoriel-différentiel avec lissage de la ligne courante.

L'image au décodage n'est pas identique à l'image originale. Comme mesure de la distorsion on a considéré le rapport signal/erreur :

$$rse : 10 \log_{10} \left(\frac{\sigma_i^2}{e_{ms}^2} \right)$$

où : σ_i^2 = variance de l'image originale
 e_{ms}^2 = erreur quadratique moyenne entre l'image originale et l'image reconstruite

$$e_{i,j} = u_{i,j} - \hat{u}_{i,j}$$

Rapport signal/erreur (Db) de l'image "A" reconstruite			
Quantificateur utilisé	Nombre de bits/pixel	Codage vectoriel-différentiel	
		simple	avec lissage
Q(4,8)	0,75 b/p	10,13 Db	13,96 Db
Q(4,16)	1,0 b/p	14,6 Db	16,9 Db
Q(8,32)	0,625b/p	12,96 Db	13,68 Db
Q(8,128)	0,875b/p	14,53 Db	15,85 Db
Q(16,64)	0,375b/p	10,16 Db	10,95 Db

Tableau n° 2 Résultats numériques obtenus.

Les résultats sont montrés dans le tableau n° 2. Plusieurs des images reconstruites sont montrées dans les figures 7, 8, 9, 10. L'utilisation du lissage améliore le rapport signal/erreur dans tous les cas, mais à divers degrés. Le meilleur cas se présente avec l'utilisation du quantificateur Q(4,8), où le gain est supérieur à 3,5 Db.

Nous avons utilisé le codeur avec le quantificateur Q(4,8) pour traiter les images de test B et C. Les résultats sont donnés dans le tableau n° 3 et les fig. 11, 12, 13 et 14.

Quantificateur utilisé	Rapport signal/erreur (Db)			
	Q(4,8)			
Image	A	B	C	
Codage vectoriel-dif- férentiel	simple	10,13	9,65	-1,15
	avec lissage	13,96	17,67	7,90

Tableau n° 3 Test sur les images B et C.

En examinant les résultats du tableau 3 on constate que l'utilisation du codage vectoriel-différentiel avec lissage sur les images de test B et C nous donne un gain du rapport signal/erreur supérieur à 8 Db. Ceci est notable surtout sur l'image C où le rapport signal/erreur passe de -1,15 Db à 7,9 Db.

VI CONCLUSION

Nous avons présenté un schéma de codage vectoriel-différentiel et fait plusieurs essais sur l'images d'entraînement et sur deux images de test. En rajoutant le lissage de la ligne courante les performances s'améliorent, spécialement si on utilise une image différente de celle qui a servi au calcul du quantificateur. Le taux de compression est de l'ordre de 8 à 21 selon le quantificateur utilisé. La qualité de l'image dépend de : (1) la dimension des vecteurs utilisés, et (2) du nombre de niveaux du quantificateur. Ces deux paramètres déterminent aussi le taux de compression et le temps de calcul.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 A.N. Netravali et J.O. Limb, "Picture Coding : A Review", Proc. IEEE, vol. 68, n° 3, pp.366-406, march 1980.
- 2 A.K. Jain, "Image Data Compression : A Review", Proc. IEEE, vol. 69, n° 3, pp.349-389, march 1981.
- 3 A. Gersho et B. Ramamurthi, "Image Coding Using Vector Quantisation", IEEE Proc. Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Paris, vol. 1, pp.428-431.
- 4 A.K. Jain, "Advances in Mathematical Models for Image Processing", Proc. IEEE, vol. 69, n° 5, pp.502-528, may 1981.
- 5 A. Habibi, "Survey of Adaptive Image Coding Techniques", IEEE Trans. on Com.; Vol. COM-25, n° 11, pp. 1275-1284, nov. 1977
- 6 Y. Linde, A. Buzo et R.M. Gray, "An Algorithm for Vector Quantizer Design", IEEE Trans. on Com. vol. COM-28, n° 1, pp.84-95, jan. 1980
- 7 D.C.C. Wang, A.H. Vagnucci et C.C.Li, "Gradient Inverse Weighted Smoothing Scheme and the Evaluation of its Performance", Computer Graphics and Image Processing 15, pp. 167-181, 1981.



Fig n° 4 Image originale de entraînement (Image "A")



Fig n° 7 Image "A" reconstruite (sans-lissage), avec Q(4,8), 0,75 b/p, rse = 10,13 Db



Fig n° 5 Image originale de test. (Image "B")



Fig n° 8 Image "A" reconstruite (sans-lissage), avec Q(4,16), 1,0 b/p, rse = 14,6 Db



Fig n° 6 Image originale de test (Image "C")



Fig n° 9 Image "A" reconstruite (sans-lissage), avec Q(8,32), 0,625 b/p, rse = 12,96 Db



Fig n° 10 Image "A" reconstruite (sans-lissage),
avec $Q(8,128)$, 0,875 b/p, rse = 14,53 Db



Fig n° 14 Image "C" reconstruite (avec-lissage),
avec $Q(4,8)$, 0,75 b/p, rse = 7,9 Db.



Fig n° 11 Image "B" reconstruite (sans-lissage),
avec $Q(4,8)$, 0,75 b/p, rse = 9,65 Db



Fig n° 12 Image "B" reconstruite (avec-lissage),
avec $Q(4,8)$, 0,75 b/p, rse = 17,67 Db

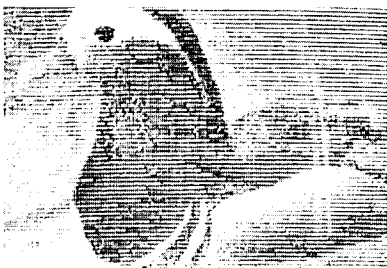


Fig n° 13 Image "C" reconstruite (sans-lissage),
avec $Q(4,8)$, 0,75 b/p, rse = -1,15 Db