



AMELIORATION DE LA QUALITE D'IMAGES FORTEMENT COMPRESSEES PAR
QUANTIFICATION VECTORIELLE

Improvement of the Quality of Highly Compressed Images by
Vector Quantization

GOLDBERG M., SCHMITT F., NGWA-NDIFOR N., BOUCHER P.

Laboratoire Image - ENST - 46 rue Barrault 75634 PARIS CEDEX 13

RESUME

Nous Présentons diverses techniques simples permettant d'améliorer la qualité des images fortement comprimées. La méthode de codage utilisée est une quantification vectorielle. Elle consiste en:

- 1- Une décomposition de l'image en blocs de 2×2 points
- 2- Une classification dynamique des blocs en 2^N classes pour chacune desquelles est défini un bloc représentatif
- 3- Un codage de chaque bloc par l'étiquette à N bits du bloc représentatif le plus proche

Cette récente technique de codage répond bien aux besoins des systèmes d'archivage et de transmission d'images où une reconstruction simple et rapide est exigée, comme dans les systèmes Videotex. Une bonne qualité subjective est normalement obtenue avec 1,8 bit/point. Mais à des débits binaires plus faibles des défauts visuels apparaissent.

Il est possible d'implémenter des techniques permettant de réduire ces défauts et n'impliquant qu'une intelligence limitée au niveau du décodeur. De bonnes reconstructions sont obtenues pour des textures codées à 0,75 bit/point, un bruit adaptatif étant juste ajouté au décodeur. Pour les images de télévision, deux types de défauts: i) des faux contours dans les plages quasi-uniformes, ii) un effet en "marche d'escalier" sur les vrais contours doivent être traités séparément. Cet article conduit aux conclusions suivantes:

- Les faux contours peuvent être gommés par un filtrage adaptatif efficace assurant un gain supérieur à 0,25 bit/point.
- Les points de vrai contour doivent être spécifiquement traités à l'étape de la quantification.

SUMMARY

We present various simple techniques allowing the improvement of highly compressed pictures. The coding method used is a vector quantization. It consists of:

- 1- A 2×2 pixel bloc decomposition of the image
- 2- A dynamic classification of the blocs into 2^N classes for each of which a representative vector is defined
- 3- An encoding of each bloc by the N bit label of the nearest representative vector

This recent coding technique corresponds well to the needs of image retrieval systems where simple and fast image reconstruction is required as in the Videotex systems. A good visual quality is normally achievable at 1,8 bits/pixel. But for lower bit rates visual defects appear.

Using only a limited intelligence at the decoder, simple techniques can be implemented allowing the reduction of these defects. Good reconstruction is thus obtained for textures coded at 0,75 bit/pixel, an adaptive noise only being added at the decoder. For television pictures, two types of defects: i) false edges in the quasi-uniform areas, ii) staircase effect on the real edges, have to be treated separately. This paper leads to the following conclusions:

- False edges can be rubbed out by an efficient adaptive filtering assuring a minimum saving of 0,25 bits/pixel
- Real edge blocs have to be specifically treated at the quantization stage.



AMELIORATION DE LA QUALITE D'IMAGES FORTEMENT COMPRESSEES PAR
QUANTIFICATION VECTORIELLE

GOLDBERG M., SCHMITT F., NGWA-NDIFOR N., BOUCHER P.

INTRODUCTION

Les techniques de codage d'image permettant d'obtenir une forte compression des données sont particulièrement recherchées dans le contexte actuel des bases de données d'image, notamment celles associées aux systèmes du type Videotex. De nombreuses solutions puissantes ont été proposées /1/ dont les codages par transformation par bloc et les codages prédictifs. Une nouvelle technique, la quantification vectorielle, a démontré son efficacité pour le traitement de la parole /2/ et a fait l'objet de travaux de recherche récents sur les images multispectrales /3,4/ et les images de télévision /5,6,7,8/. Des débits binaires de 1,8 bit/point sont obtenus avec une bonne qualité subjective des images reconstruites. La quantification vectorielle repose sur des méthodes de classification et offre l'avantage d'un décodage particulièrement simple.

Les images ayant subies une quantification vectorielle à très fort taux de compression peuvent présenter deux types de défauts :

- i) la restitution des contours avec des déformations du type "marche d'escalier"
- ii) la présence de faux contours dans les zones quasi-uniformes.

Nous décrivons dans cet article diverses méthodes permettant d'améliorer notablement la qualité subjective de la reconstruction de ces images très fortement comprimées. Nous utilisons pour cela des techniques d'estompage (dithering) et de filtrage adaptatif pouvant s'implémenter aisément au niveau du décodeur.

L'article est composé selon le plan suivant. Une description de la quantification vectorielle est rappelée dans la première partie. La deuxième partie est consacrée aux cas particuliers des images de texture fortement comprimées pour lesquelles sont obtenus des débits binaires de 0,75 bit/point. Dans la troisième partie est considéré le cas général des images de type télévision. Les deux types de défauts et leurs corrections sont traités séparément et illustrés dans les deux sections de cette partie. Finalement, des recommandations pour l'amélioration de la qualité subjective des images fortement comprimées sont indiquées en conclusion.

I- QUANTIFICATION VECTORIELLE

En quantification scalaire l'amplitude de chaque échantillon isolé d'un signal analogique est quantifiée selon une fonction en escalier et étiquetée à l'aide d'un code binaire pour le stockage ou la transmission. L'erreur de quantification correspondante peut être réduite si on tient compte de la corrélation qui peut exister entre des échantillons voisins. Pour cela on regroupe les échantillons S_x du signal dans des voisinages de taille d pour former des vecteurs V , $V=(S_1, S_2, \dots, S_d)$ qui deviennent ainsi les représentants d'un processus aléatoire vectoriel.

La quantification vectorielle consiste alors à décomposer ou subdiviser l'espace vectoriel à d dimension S_d en Q classes ou régions de décision disjointes D_q , $q=1\text{à}Q$, telles que ces régions

constituent une partition de S_d .

Si le signal vectoriel V est inclus dans la région de décision D_q alors V est quantifié en un vecteur de reconstruction R_q , représentatif de la classe D_q . Dans le cas des images discrètes la première étape de la quantification vectorielle est de décomposer cette image en une liste de vecteurs de dimension d . Ceci peut être effectué de nombreuses manières différentes. Une approche très simple consiste à décomposer l'image en blocs identiques de d points, l'intensité des points constituant les coordonnées S_i , $i=1\text{à}d$, de V .

La difficulté essentielle de la quantification vectorielle est le découpage de l'espace vectoriel S_d en Q régions de quantification. La classification dynamique est une technique largement utilisée notamment l'algorithme des K-means. Elle repose sur la minimisation d'un critère de performance et fonctionne de manière itérative selon le schéma suivant :

- 1) choix des noyaux initiaux de chacune des classes à constituer,
- 2) affectation de chaque vecteur à la classe dont le noyau est le plus proche.
- 3) pour chacune des classes constituées à l'étape 2, calcul d'un nouveau noyau correspondant au vecteur le plus représentatif de la classe,
- 4) test de convergence. Si les noyaux n'ont pas encore convergés vers une position stable, nouvelle itération de l'algorithme à l'étape 2.

Le choix de la distance utilisée est prépondérant. La métrique euclidienne permet de minimiser comme critère la variance intra-classe, ce qui est optimum au sens de l'erreur quadratique moyenne. Dans ce cas les noyaux correspondent, après chaque itération, aux centres de gravité des classes et constituent, après convergence, les vecteurs de reconstruction R_q , $q=1\text{à}Q$.

Un autre facteur prépondérant pour l'algorithme est le choix des Q noyaux initiaux. Un des auteurs a montré qu'un prétraitement des données par une approche issue de la théorie des graphes permet d'assurer une convergence rapide /9/. La charge de calcul supplémentaire est faible, de l'ordre d'une itération de l'algorithme des K-means. La convergence des classes est évaluée par un critère simple en mesurant leurs différences entre deux interactions successives et en tenant compte de la distribution et de la dynamique des données.

En général on choisit pour le nombre de classes Q une puissance N de 2 ($Q=2^N$) de telle sorte qu'on puisse affecter à chacun des Q vecteurs représentatifs R_q une étiquette de N bits. L'ensemble de ces étiquettes et des vecteurs R_q constituent le dictionnaire des codes et doit être transmis vers les récepteurs. L'image est alors quantifiée et codée en affectant à chaque vecteur V l'étiquette q du vecteur de reconstruction dont il est le plus proche.

Cette technique de codage par classification dynamique est certes coûteuse en temps de calcul, mais elle n'est effectuée qu'une fois avant le stockage de l'image dans une base de données. Afin d'illustrer la compression d'information qui peut être obtenue par cette technique de codage considérons l'exemple suivant. Soit une image source de 8 bits par point et décomposée en blocs carrés de 2×2 points. Si 16 classes sont utilisées



AMELIORATION DE LA QUALITE D'IMAGES FORTEMENT COMPRESSEES PAR
QUANTIFICATION VECTORIELLE

GOLDBERG M., SCHMITT F., NGWA-NDIFOR N., BOUCHER P.

pour représenter les vecteurs à 4 dimensions, le dictionnaire des codes sera constitué de 16 vecteurs représentatifs de 32 bits (4×8) chacun. Le dictionnaire est transmis au décodeur. Puis l'image est transmise par l'envoi des codes de 4 bits représentant les blocs de 2×2 points quantifiés, ce qui ne représente plus qu'un débit binaire de 1,0 bit/point.

Mais un des intérêts majeurs de la quantification vectorielle est d'offrir un décodage très simple au niveau du récepteur et d'en diminuer son coût. En effet il suffit d'utiliser les codes des blocs comme adresse pour accéder à une table de transcodage contenant le dictionnaire. Ce décodage pouvant être effectué à la fréquence video, il permet de réduire la dimension de la mémoire de trame du récepteur puisque celle-ci n'a plus qu'à contenir l'image sous forme codée. Dans l'exemple précédent cette réduction est d'un facteur 8.

Cette technique de codage, assez peu sensible au bruit, a aussi été développée par deux des auteurs sur des transformations orthogonales par blocs, permettant alors un codage progressif des images /67/.

II- CAS DES TEXTURES FORTEMENT COMPRIÉES

Les textures constituent une composante très importante des images. Nous nous sommes intéressés dans un premier temps à la quantification vectorielle sur cette classe d'image, en espérant pouvoir descendre largement en dessous d'un débit binaire de 1,5 bit/point.

Sur les nombreuses textures testées il nous est apparu qu'une quantification sur $Q=4$ classes introduisait des défauts subjectifs inacceptables. Avec $Q=8$ la qualité devient acceptable. En haut de la Figure 1 sont représentées de droite à gauche: une texture originale (Paillason) à 8 bits par point et ses versions quantifiées linéairement à 3 bit/point, puis vectoriellement avec $Q=8$ classes (0,75 bit/point) et $Q=16$ (1,0 bit/point).

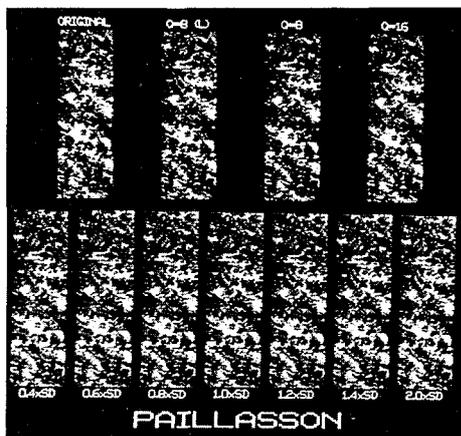


Figure 1

Malheureusement cette figure et les suivantes ne

peuvent restituer ce que l'oeil perçoit directement sur l'écran de télévision. Leur intérêt s'en trouve donc réduit à celui d'une simple illustration.

En général on a pu constater qu'une texture quantifiée vectoriellement à 0,75 bit/point est très comparable à sa version quantifiée linéairement à 3 bit/point. excepté fréquemment une perte de contraste due essentiellement à l'absence des zones ponctuelles lumineuses.

Afin de limiter ce défaut et d'améliorer la qualité visuelle des textures comprimées à 0,75 bit/point, nous avons augmenté artificiellement la dynamique en rajoutant un bruit étroitement lié à la technique de codage. Pour cela nous avons supposé que dans une classe donnée, les 4 coordonnées des vecteurs, c'est à dire les intensités des 4 points des blocs, étaient distribuées selon des lois gaussiennes non corrélées. En additionnant à chaque coordonnée de la valeur moyenne d'une classe (c.à.d. du vecteur de reconstruction R_q) une proportion aléatoire de l'écart-type correspondant, il est possible de reconstruire d'une manière beaucoup plus variée les vecteurs originaux de cette classe et en particulier les zones ponctuelles lumineuses.

La Figure 1 (bas) montre les résultats de la texture quantifiée vectoriellement (0,75 bit/point, $Q=8$) pour un bruit uniformément réparti dont l'amplitude maximum varie de 0,4 à 2,0 fois l'écart-type (SD). La qualité visuelle s'améliore progressivement au fur et à mesure que l'amplitude du bruit est augmentée pour se stabiliser autour d'un optimum situé en moyenne entre $0,8 \times SD$ et $1,2 \times SD$. Au delà l'avantage obtenu par l'augmentation du contraste est détruit par la perception trop importante du bruit granulaire.

Nous avons aussi testé un bruit additif tenant compte des corrélations spatiales des vecteurs au sein d'une classe. Pour cela on diagonalise la matrice des covariances de la classe afin d'en déterminer les valeurs et vecteurs propres. Le bruit est alors obtenu en sommant vectoriellement les vecteurs propres pondérés par la racine carrée de la valeur propre associée et par un coefficient aléatoire uniformément réparti entre 0 et un maximum donné.

Malgré une approche théorique plus satisfaisante que dans le cas du bruit aux composantes non corrélées, les résultats de cette seconde approche n'apportent pas d'amélioration subjective notable, en particulier le bruit granulaire n'est pas réduit. Cela indiquerait que les vecteur-blocs ont une distribution quasi-sphérique au sein des classes et que l'hypothèse de composantes corrélées n'est pas satisfaite. C'est très certainement une conséquence du choix de la métrique euclidienne dans l'algorithme des K-means.

La technique de bruitage décrite précédemment peut être aisément implémentée au niveau du décodeur. Il suffit pour cela de rallonger le dictionnaire des codes avec les valeurs des 4 écart-types de chacune des classes et de doter le codeur d'un minimum d'intelligence puisqu'il doit disposer d'un générateur de nombre pseudo-aléatoire et effectuer deux opérations arithmétiques par point: une pondération, qui peut s'approximer par un simple décalage binaire. et une addition.



AMELIORATION DE LA QUALITE D'IMAGES FORTEMENT COMPRESSEES PAR
QUANTIFICATION VECTORIELLE

GOLDBERG M., SCHMITT F., NGWA-NDIFOR N., BOUCHER P.

Le codage des textures par quantification vectorielle permettant d'atteindre de forts taux de compression s'est montré d'une très grande utilité pour les méthodes de synthèse de textures. Nous avons pu obtenir un gain considérable du temps de calcul et une amélioration substantielle de la qualité pour la synthèse de textures naturelles /8.10/

III- CAS DES IMAGES FORTEMENT COMPRIEES

Nous venons de voir comment il était possible de coder avec une bonne qualité visuelle les textures à 0,75bit/point en additionnant au signal quantifié vectoriellement un bruit dépendant des classes. Que peut-il advenir d'une telle démarche dans le cas plus général des images? La figure 2 représente une image (Frank) à 8 bit/point et ses versions quantifiées vectoriellement avec $Q=16$, 32 et 64 classes, soit respectivement un débit binaire de 1,0 1.25 et 1,5 bit/point. En l'examinant on constate que deux nouveaux problèmes apparaissent comparé aux textures quantifiées avec un nombre de classes équivalent:

- i-les contours présentent des déformations du type marche d'escalier,
- ii-les surfaces quasi-uniformes sont restituées avec des faux contours.

Ces défauts sont d'autant plus marqués que le nombre de classes Q est faible.



Figure 2

La Figure 3 montre l'image originale et 3 versions bruitées de l'image quantifiée avec $Q=16$ classes, le bruit ayant une dynamique de 0,8, 1,4 et 2,0 fois l'écart-type sur chacune des 4 composantes. On peut constater que dans la version à $0,8*SD$, quelques faux contours sont effectivement réduits sans que la présence du bruit granulaire ne soit gênante. Cette addition du bruit est similaire en fait aux techniques d'estompage (dithering). Classiquement celles-ci introduisent le bruit avant la quantification. Ici, l'estompage est effectué après quantification et transmission

Mais un examen attentif de la Figure 3 révèle cependant que cet estompage ne parvient pas à réduire d'autres faux contours plus importants comme ceux de la partie droite du visage. Enfin les défauts en marche d'escalier sur les vrais contours ne semblent pas, quant à eux, être très affectés par ce traitement. Ces constatations suggèrent donc

de considérer séparément ces deux défauts et de rechercher de nouveaux traitements susceptibles d'améliorer la qualité subjective des images fortement quantifiées vectoriellement au niveau du récepteur.



Figure 3

III.1- TRAITEMENT DES VRAIS CONTOURS

Pour traiter les vrais contours, il est nécessaire de les reconnaître! Comme cela ne peut être effectué avec la seule donnée des codes au niveau du récepteur, il est impératif que cette information soit reconnue au moment de la quantification. Si on optait pour un traitement spécifique des contours au niveau du décodeur, il faudrait le prévenir de l'envoi d'un contour et ajouter, par exemple, un bit supplémentaire aux codes. Ceci impliquerait une augmentation pénalisante du débit binaire de 0,25bit/point.

Afin de voir si une telle démarche peut présenter un certain intérêt nous avons recherché quelles en pouvaient être les performances maximales selon le critère de la qualité subjective. Celles-ci sont obtenues dans le cas limite où les contours seraient parfaitement reconstruits. Pour visualiser ce cas, nous avons détecté les contours au niveau du quantificateur en déterminant expérimentalement un seuil. Si la différence entre l'intensité d'un point dans l'image originale et sa représentation quantifiée est supérieure à ce seuil, alors le bloc auquel appartient ce point est considéré comme un bloc-contour et est transmis exhaustivement. En fait il n'est pas nécessaire d'envoyer les 8 bits de chaque point. Les 4 bits de poids fort suffisent car dans une zone de contour le phénomène de masquage intervient, réduisant la sensibilité de l'oeil au petit écart d'intensité

Dans le cas de l'image Frank, 7% des blocs ont été classés comme contour, leur transmission nécessitant ainsi une contribution supplémentaire au débit binaire global de 0,28 bit/point à laquelle se rajoute la contribution des 0,25 bit/point due à l'entête des codes. On peut voir sur la Figure 4 l'image correspondante obtenue avec

AMELIORATION DE LA QUALITE D'IMAGES FORTEMENT COMPRESSEES PAR QUANTIFICATION VECTORIELLE

GOLDBERG M., SCHMITT F., NGWA-NDIFOR N., BOUCHER P.

Q=16 classes et intitulée 1.0*SD+E(4b). Elle a nécessité 1,53 bit/point (1,0 + 0,28 + 0,25). les contours y sont parfaitement restitués, mais la présence très gênante des faux contours rend la qualité générale de cette image inférieure à celle obtenue par la quantification vectorielle seule avec Q=64 classes pour laquelle le débit binaire de 1,5 bit/point est plus faible.



Figure 4

Le traitement des contours au niveau du récepteur ne semble donc pas être une solution à retenir. Il a l'inconvénient d'augmenter le débit binaire et de plus, s'il est implémenté avec un codage à longueur de code variable, il nécessite que le récepteur dispose d'une mémoire tampon supplémentaire. Les images ainsi reconstruites ne peuvent, même dans le meilleur des cas, égaler subjectivement celles obtenues directement par quantification vectorielle avec un débit binaire comparable. Il semble donc préférable d'allouer le bit supplémentaire minimum nécessité par cette technique à la quantification vectorielle en doublant le nombre des classes

Une excellente approche à conseiller est alors celle adoptée par Gersho et Ramamurthi /5/: l'image est initialement segmentée en 2 ensembles, les blocs correspondant aux contours et les autres. Ces deux ensembles sont ensuite séparément quantifiés vectoriellement.

III.2- TRAITEMENT DES FAUX CONTOURS

Nous avons vu (Figure 3) comment la technique d'estompage, satisfaisante dans le cas des textures, devient peu efficace dans le cas des images fortement comprimées où les faux contours sont particulièrement visibles. Nous avons alors testé diverses autres techniques d'estompage et de filtrage adaptatif implémentables aisément au niveau du récepteur /11/. Nous n'en présentons ici que les résultats les plus significatifs.

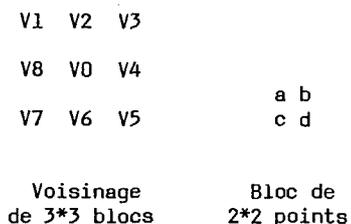


Figure 5

L'idée du filtrage adaptatif repose sur le fait que les faux contours sont essentiellement perceptibles dans les zones à basses fréquences. Si

le récepteur disposait d'un critère pour repérer une telle zone, il pourrait alors effectuer un filtrage passe-bas pour les gommer. Pour cela on considère les 8 blocs V1 à V8 voisins du bloc V0 à reconstruire (cf. Figure 5). La détection des contours dans l'image Frank a montré que, statistiquement, ceux-ci se produisent dans des voisinages composés d'au moins 3 classes différentes. En choisissant comme critère celui de filtrer le vecteur-bloc V0 lorsque son voisinage ne contient au plus que deux types de classes distincts on assurera dans le cas général la préservation des contours.

Trois types de filtrage ont été testés. Le premier, AF1, affecte brutalement aux 4 pixels de V0 l'intensité moyenne des 36 pixels constituant le voisinage. Le deuxième filtrage AF2 remplace le vecteur V0 par la moyenne vectorielle des 9 vecteur-blocs du voisinage. Le troisième filtrage AF3 reconstruit le point élémentaire a du vecteur V0 par la valeur moyenne des intensités des 3 points connexes extérieurs et de lui-même: b de V8, c de V1, d de V2 et a de V0. Les trois autres points b, c et d de V0 sont reconstruits de manière similaire. Ce dernier filtrage AF3 utilise des statistiques plus locales que AF1. Il aura donc une action plus nuancée.

La Figure 6 montre une image synthétique circulaire sans contours, ses versions quantifiées Q=16 et Q=64 ne présentant donc que des faux contours. Les images filtrées du bas constituent un bon test pour juger de l'action des 3 filtres.

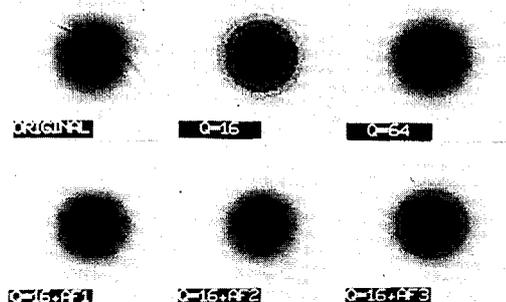


Figure 6

La Figure 7a montre les résultats obtenus avec l'image Frank quantifiée sur Q=16 classes, et la Figure 7b ceux obtenus avec l'image Tableau. Alors que le filtrage AF3 est notablement moins efficace sur l'image synthétique, il parvient sur l'image réelle à réduire les faux contours sans présenter les excès de lissage perceptibles avec AF1 et AF2.

L'observation de ces images indique que, en ce qui concerne les faux contours, les images filtrées Q=16+AF1, Q=16+AF2, Q=16+AF3 correspondant à 1,0 bit/point procurent de meilleurs résultats que les images non filtrées avec Q=32 (1.25bit/point) voir Q=64 (1.50 bit/point).

Un filtrage adaptatif au niveau du récepteur permettrait donc d'économiser au moins un bit par code en gommant les faux contours. Ce bit pourrait être exploité pour améliorer la qualité des vrais contours et être affecté, par exemple, à leur classification vectorielle comme indiqué dans la section précédente. Le critère utilisé (filtrage si



AMELIORATION DE LA QUALITE D'IMAGES FORTEMENT COMPRESSEES PAR
QUANTIFICATION VECTORIELLE

GOLDBERG M., SCHMITT F., NGWA-NDIFOR N., BOUCHER P.

2 classes différentes au plus présentes dans le voisinage) serait alors simplifié et amélioré, le filtrage n'étant effectué que lorsqu'aucun code de bloc-contour n'est présent dans le voisinage. Cette combinaison d'un filtrage adaptatif et d'une quantification vectorielle séparée des blocs de contour devrait permettre d'obtenir des images à un débit binaire voisin de 1,0 bit/point avec une qualité subjective acceptable.

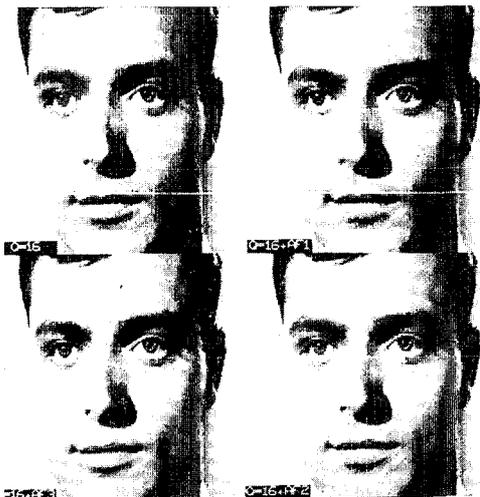


Figure 7a



Figure 7b

CONCLUSION

Cet article n'est qu'une présentation très ponctuelle d'une large étude effectuée sur l'application de la quantification vectorielle aux images /6,7,8/. Son but est de montrer la possibilité d'implémenter au niveau du récepteur des traitements spécifiques simples permettant d'améliorer la qualité subjective des images reconstruites dans le cas de transmission à fort taux de compression. L'implémentation de ces traitements au niveau même des récepteurs est assez simple pour ne pas nécessiter une grande intelligence locale, ce qui préserve un des grands avantages de la quantification vectorielle qui est

d'offrir un décodage simple ne nécessitant qu'une mémoire de traîne réduite.

Il a été montré que l'adjonction d'un bruit dépendant statistiquement des diverses classes du signal permet de reconstruire de manière très satisfaisante des textures fortement comprimées à 0,75bit/point. Dans le cas des images de type télévision fortement quantifiées, les deux types de défauts perceptibles doivent être traités séparément:

-Les faux contours peuvent être fortement réduits au niveau du décodage par un filtrage passe-bas adaptatif permettant de gagner au moins 0,25bit/point sur le débit binaire à qualité subjective égale.

-Pour la reconstruction des vrais contours présentant des défauts en "marche d'escalier", il est préférable de fournir les efforts au niveau du quantificateur en séparant les blocs correspondant à des contours des autres blocs de l'image et en effectuant une quantification vectorielle séparée sur ces deux ensembles. La combinaison de ces deux approches devrait permettre de coder à 1,0 bit/point les images avec une qualité subjective satisfaisante.

REFERENCES

- /1/ Habibi A, "A Survey of Adaptive Image Coding Techniques". IEEE Trans on Communications, Vol. COM-25. No 11. Nov. 1977, pp. 1275-1284
- /2/ Abut H., Gray R.M., Rebolledo G. "Vector quantization of Speech and Speech-like Waveforms", IEEE Trans. on ASSP, Vol ASSP-30, June 1982
- /3/ Hilbert E. E., 'Joint Pattern Recognition/Data Compression Concept for ERTS Multispectral Data', SPIE Vol 66, "Efficient Transmission of Pictorial Information". August 1975
- /4/ Lowitz G.E., Vivier J.M, "Cascaded Clustering of Compressed Multispectral Image Data", European Space Agency CR(P)-1387, Data Rate Reduction, Vol 3, MATRA, France, Jul. 1980
- /5/ Gersho A., Ramamurthi B., "Image Coding Using Vector Quantization", IEEE ICASSP, France, Mai 1982 pp. 428-431
- /6/ Boucher P., Goldberg M., "Transform Image Coding by Vector Quantization", 9è Colloque sur le Traitement du Signal et ses Applications, Nice, 16-20 Mai 1983 pp. 629-633
- /7/ Boucher P., "Adaptive Vector Quantization of Pictorial data", PhD, University of Ottawa, Ontario 1984
- /8/ Schmitt F., Goldberg M., Ngwa-Ndifor J., Boucher P., "Texture Representation and Synthesis by Vector Quantization", 7th ICPR, Monreal, Canada. August 1984
- /9/ Narendra P.M., Goldberg M., "A Non-parametric Clustering Scheme for Landsat", Pattern recognition, Vol 9, 1977, pp. 1292-1294
- /10/ Schmitt F., "Synthèse de Textures Naturelles", SEE, Journée d'Etude "Nouvelles Images Electroniques", Rennes, Oct. 1983
- /11/ Ngwa-Ndifor J., "Vector Quantization in Image Compression and Texture Synthesis", MSc Project Report, University of Essex (GB), ENST (Paris), 1983