

PREMIER COLLOQUE IMAGE

Traitement, Synthèse, Technologie et Applications

BIARRITZ - Mai 1984 -

CLADYNE, UN NOUVEAU COMPRESSEUR POUR LA TELEVISION COULEUR NUMERIQUE

CLADYN, A NEW COMPRESSOR FOR DIGITAL COLOR T.V.

GABRIEL E. LOWITZ / PIERRE CASSAGNE

MATRA ESPACE, rue des Cosmonautes, Z.I.Palays, 31077 TOULOUSE CEDEX, FRANCE

RESUME

Le compresseur CLADYNE utilise au mieux les propriétés topologiques d'une image colorée pour obtenir le plus fort taux de compression possible, compatible avec le minimum de dégradation visible de l'image reconstituée.

Dans le cas des signaux de la télévision couleur numérisée suivant le standard CCIR où sont transmises les composantes de luminance "Y" et les composantes de chrominance "R-Y", "B-Y" sur un canal de 162 MB/S, le débit de sortie du compresseur CLADYNE est de 25 MB/S, débit qui ne tient pas compte ni des canaux "son", ni des codes correcteurs d'erreurs. Cette réduction de débit de l'ordre de 7 à 1 est obtenue sans utiliser la redondance temporelle temporelle des trames successives d'images.

La technique de compression proposée est robuste à la propagation des erreurs de transmission et produit des mots de codes à longueur fixe.

MOTS CLE : COMPRESSION DES DONNEES IMAGE, TRANSFORMATION UNITAIRE, CLUSTERING, TELEVISION

INTRODUCTION -

Une image couleur présente une particularité topologique qui n'a pas toujours été reconnue : chacun des 3 canaux est en fait une image spatiale en soi, elle possède donc une topologie forte dans son domaine x,y. Dans ce domaine x,y on peut parler de stationnarité car la matrice de corrélation prend la forme dite de "Toeplitz" à savoir que les coefficients de corrélation sont "égaux" sur les diagonales principales. Il en résulte, grosso modo, que la transformation unitaire du type Fourier, à bases fixes, ne donne pas de moins bonne décorrélation que la transformation de Karhunen-Loève dont les bases dépendent des statistiques (spatiales) de l'image (Fukunaga¹). Si donc on utilise la

SUMMARY

The CLADYN compressor banks on the topological properties of a color image to achieve the highest possible data rate reduction with the minimum amount of visible degradation.

In the case of numerical color TV, the input data rate at 162 MB/S are the CCIR recently adopted luminance Y and chrominance B-Y, R-Y components.

The output of the CLADYN compressor is at 25 MB/S exclusive of sound channels and error correcting overhead.

This data rate reduction in the order of 7/1 is obtained without using any temporal redundancy from sequential fields or trames.

The compression technique that does not use any DPCM or predictor based strategy is robust to the propagation of transmission errors and yields fixed length output words.

transformation de Fourier, la transformation cosinus, ou même la transformation de Walsh-Hadamard, le terme de fréquence (séquence) zéro présente toujours un problème de quantification: l'image principale correspondant à ce coefficient n'est rien d'autre qu'une réplique filtrée (avec moins de pixels) de l'image spatiale originale. Sa variance est toujours très grande et nécessite plus de bits de quantification que l'image des autres coefficients. Elle demande donc une décorrélation additionnelle si l'on veut réaliser un fort taux de compression. Rice² a proposé une solution élégante à ce problème dans sa fameuse "Machine de Rice" : Cette solution consiste à itérer la transformation



CLADYN, A NEW COMPRESSOR FOR DIGITAL COLOR T.V.
GABRIEL E. LOWITZ / PIERRE CASSAGNE

(de W.H.) un certain nombre de fois en re-décomposant le coefficient de séquence la plus faible en séquences basses et hautes. Le seul inconvénient de cette solution est qu'elle étend spatialement la segmentation de l'image sur laquelle la transformation est effectuée : elle nécessite donc plus d'espace de mémoire et coûte cher en arithmétique d'adressage.

La seconde particularité topologique d'une image couleur (formée de plusieurs images spatiales prises dans des fenêtres spectrales différentes) concerne la structure des composants du vecteur radiométrique qui définissent la superposition des couleurs (différentes réponses spectrales) attachées à chaque pixel de la grille x, y commune. Les composants de ce vecteur sont ici définis dans un domaine de "couleurs", attributs certes "étiquetables" mais non "ordonnables" comme le seraient des niveaux de gris. Dans un tel domaine les notions d'ordre et de distance n'ont pas de sens précis, la notion de stationnarité doit être re-définie: les matrices de "corrélation" entre composantes ne sont plus de type Toeplitz, la décorrélation implique une transformation de Karhunen-Loève.

Il n'a pas été reconnu jusqu'à présent (à l'exception de E.E. Hilbert³, Lowitz^{4,5}) que, dans un tel domaine que l'on peut qualifier de domaine à topologie faible, un codage adaptatif extrêmement performant, allant bien au-delà de la décorrélation, peut être réalisé par la recherche des classes "indépendantes" de ces vecteurs, dans un block statistique donné, comprenant un certain nombre de réalisations. La stratégie CLADYNE se sert d'un tel procédé de "classification" pour décorréler les coefficients de séquence zéro des transformations unitaires effectuées sur chacune des images spatiales constituant l'image colorée.

LE PROCÉDE CLADYNE DE COMPRESSION DES SIGNAUX TV COULEUR NORME CCIR.

Suivant la norme récente CCIR⁶ la télévision numérique est transmise en signaux $Y, B-Y, R-Y$. L'image complète comporte 575 lignes actives transmises successivement en trames impaires et paires. La ligne de luminance Y comporte 702 pixels dont la radiométrie est transmise sur 8 bits, la ligne de chrominance $R-Y, B-Y$ est sous-échantillonnée pour chacun de ces deux signaux qui comportent 175 double) pixels codés sur 8 bits.

L'information globale $Y, R-Y, B-Y$ est donc codée sur 16 bits rapportés aux pixels de luminance. On transmet 25 images complètes par seconde ce qui correspond donc à un débit de 162 MB/S.

Pour simplifier la présentation nous supposons que la compression porte sur l'image complète de 576 lignes. Nous supposons que la segmentation est effectuée par des pavés de 4×4 pixels, et que le bloc statistique comporte 144 pavés compris sur 4 lignes adjacentes. En réalité d'autres types de segmentation sont plus favorables à l'élimination de défauts en comportement dynamique mais ne changent en rien le principe sous-jacent.

La première opération consiste à moyenner sur chaque paire de 4×4 pixels les radiométries $Y, R-Y, B-Y$: ceci conduit à 175 réalisations par bloc d'un vecteur moyen $\bar{Y}, \bar{R-Y}, \bar{B-Y}$.

On obtient ainsi les trois coefficients de séquence zéro de transformations de W.H. effectuées sur chacune des 3 images spatiales.

Comme l'oeil est très peu sensible à la résolution spatiale sur des images de chrominance, le développement de W.H. pour les signaux $R-Y$ et $B-Y$ est réduit à son premier terme $\bar{R-Y}$ et $\bar{B-Y}$.

La seconde opération concerne la classification du nuage des 175 réalisations du vecteur $\bar{Y}, \bar{R-Y}, \bar{B-Y}$ en un nombre réduit de classes (64 ou moins) et leur codage (en 6 bits ou moins). La reconstruction s'effectuera au centre de ces classes et demande donc un dictionnaire par bloc dont le coût sera au plus de 1280 bits :

La simulation digitale a montré qu'une reconstruction de l'image couleur d'excellente qualité pouvait être obtenue en reconstruisant \bar{Y} sur 8 bits, $\bar{B-Y}, \bar{R-Y}$ sur 6 bits.

Le coût du codage sera le suivant pour 4 lignes d'image, 175 réalisations d'un pavé de 4×4 pixels, soit 175 réalisations de $\bar{Y}, \bar{R-Y}, \bar{B-Y}$:

- Codes des 175 vecteurs $175 \times 6 = 1050$ bits
- Dictionnaire de reconstruction :
 $64 \times (8 + 6 + 6) = 1280$ bits

TOTAL DU BLOC DE 175 PAVES = 2330 bits

On a donc réduit le coût du codage des coefficients de séquence zéro à :

$$\text{Coût par pixel } \bar{Y}, \bar{R-Y}, \bar{B-Y} \frac{2330}{4 \times 702} = .83 \text{ bit.}$$

L'opération de classification demande un ensemencement, une initialisation du centre (présupposé) des classes. Pour les applications de télévision une telle initialisation peut s'effectuer par le ré-

CLADYN, A NEW COMPRESSOR FOR DIGITAL COLOR T.V.
GABRIEL E. LOWITZ / PIERRE CASSAGNE

sultat de la classification du même bloc mais obtenu dans l'image (ou la trame) qui l'a précédée temporellement. On classe les vecteurs au centre (présumé) le plus proche, puis on calcule le centre exact de chaque classe pour les besoins du dictionnaire et l'initialisation des centres du bloc correspondant dans l'image (ou la trame) qui suit temporellement. La redondance temporelle naturelle donne l'équivalent de plusieurs itérations qui sont généralement nécessaires pour la convergence d'algorithme de regroupement de ce type (ISO DATA).

Lors de changements abrupts de plans - qui ne sont psychologiquement pas perceptibles à cause du retard d'attention nécessaire pour reconnaître la nouvelle scène - ce type d'algorithme "raccroche" en 2 ou 3 images complètes.

La troisième opération est une transformation de W.H. dans le domaine spatial de Y, sur des pavés de 4 x 4 pixels, un domaine à topologie forte. Le coefficient de séquence zéro a été codé par classification comme indiqué plus haut. Restent à coder les 15 coefficients à séquence non nulle. Ceci requiert 24 bits par pavé de 4 x 4 pixels. Une quantification adaptée aux statistiques du bloc des 175 pavés coûte un supplément de 336 bits pour tout le bloc :

Codage du bloc de 175 pavés :
Codes des 15 coefficients de W.H. :
175 x 24 = 4200 bits
Dictionnaire de reconstruction adaptative 336 bits
TOTAL DU BLOC DE 175 PAVES 4536 bits

Il résulte de ces chiffres que le coût moyen par pixel de la grille x, y du Y est de 1.62 bits. Si l'on ajoute à ce chiffre le coût du coefficient de séquence zéro trouvé précédemment, soit .83 bits il en résulte un coût total de 2.44 bits/pixel, c'est-à-dire un taux de compression de :

$$M = \frac{16}{2.44} = 6.54/1.$$

Le débit d'entrée du compresseur de 162 MB/S a été réduit à sa sortie à 24.8 MB/S, disons 25 MB/S. Bien que les codes de la carte d'adresse soient robustes à la propagation des erreurs de transmission, les mots des dictionnaires doivent être protégés par un codage qui détecte les erreurs et qui remplacera une chaîne erronée par la chaîne correspondante de l'image ou de la trame précédente. Un code du type 7/8 est suffisant mais augmentera

le débit de 25 MB/S à 29 MB/S. Dans le cas d'un canal de transmission de 30 MB/S il reste donc place pour 1 MB/S de canaux sons. Dans le cas d'un canal de transmission de 34 MB/S il reste 5 MB/S de disponible.

CONCLUSION

Le principe de fonctionnement du compresseur CLADYNE développé par MATRA a été brièvement esquissé. La compression se fait uniquement sur des blocs spatiaux comprenant plusieurs lignes de données.

Ceci permet un haut degré de modularité pour la mécanisation du procédé, donc permet l'utilisation de composants relativement lent. Ce type de compresseur a aussi l'avantage d'être robuste à la propagation des erreurs et permet d'utiliser des codes correcteurs à faible redondance.

Les résultats de simulation d'une des versions possibles de CLADYNE sont actuellement en cours d'évaluation dynamique (courtes séquences d'images choisies) au centre CCETT de Rennes.

Des études se poursuivent dans le laboratoire de traitement des images de MATRA ESPACE de Toulouse en vue d'optimiser la segmentation des trames d'images.

La Figure , une reproduction photographique en couleurs, montre 3 images brutes et leur reconstruction après compression.

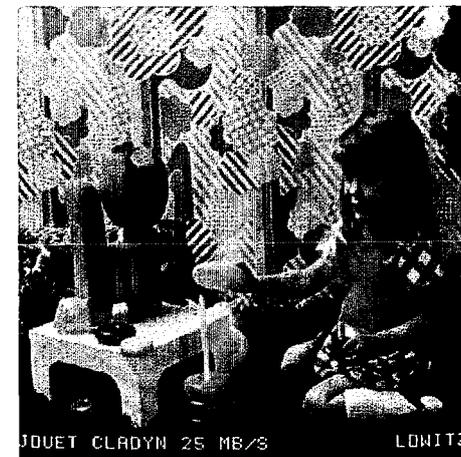
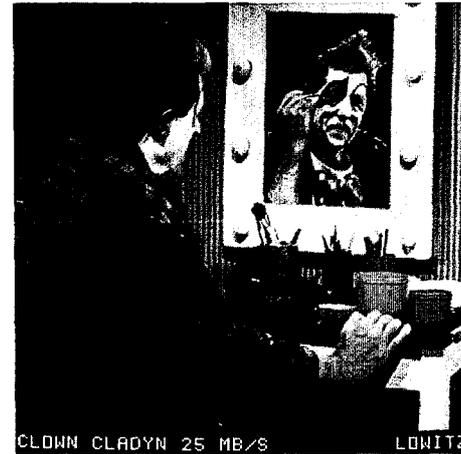
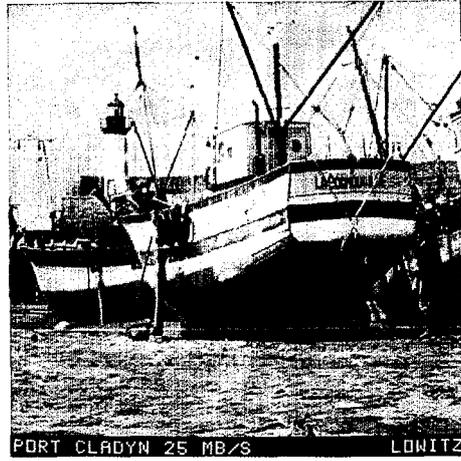
REFERENCES

1 - K. FUKUNAGA : "Introduction to Statistical Pattern Recognition". Academic Press, 1972 pp 239-241.
2 - R.F. RICE : "The Rice Machine". JPL publication 79-22, CALTECH, Pasadena, CA. March 15, 1979.
3 - E.E. HILBERT : "Joint Pattern Recognition/ Data Compression Concept for ERTS Multispectral Imagery" Proc. SPIE VOL 66, pp 122-134,
4 - G.E. LOWITZ : "Compression des Données Images par Reconnaissance des formes et Clustering". Proc. Int. Conf. on Earth observation and Space Management Toulouse 1978 (ESA SP-143)
5 - G.E. LOWITZ : "Study of Image On-Board Processing Methods" ESTEC 2898-R1, July 1979
6 - C C I R : "Transmission Numérique de Télévision", A-604, 1982.



CLADYNE, UN NOUVEAU COMPRESSEUR POUR LA TELEVISION COULEUR NUMERIQUE

CLADYN, A NEW COMPRESSOR FOR DIGITAL COLOR T.V.
GABRIEL E. LOWITZ / PIERRE CASSAGNE



CLADYNE, UN NOUVEAU COMPRESSEUR POUR LA TELEVISION COULEUR NUMERIQUE